



Mineralogical, granulometric and environmental characterization of recent quaternary deposits of beaches between Sassandra and Fresco (Ivory Coast)

N'Doufou Gnosseith Huberson Claver¹, Gbangbot Jean Michel Kouadio², Saimon Aby Atsé Mathurin³

¹ Département Géosciences, UFR Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly Korhogo, Korhogo, Côte d'Ivoire

² Département Sciences de la terre, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Daloa Côte d'Ivoire

³ Département Environnement, Laboratoire de physiques et de géologie marine (phygem), Centre de recherches océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

This study was conducted to determine, on the one hand, the granulometric and mineralogical characteristics of sediments collected from the beaches of Sassandra and Fresco, and on the other hand the factors controlling the distribution and transport of these sediments. The mineralogical procession is largely dominated by quartz and ilmenite. This procession comes from an environment of sigmoid facies consisting of medium-to-coarse sands transported mainly by saltation. Part of the mineralogical cortège in sediments would be derived from the decomposition of the metamorphic and magmatic rocks (granite, pegmatite) in hinterland and then to their coastal transport by storm water. A second part would come from the erosion of the granite of the continental shelf by tides, currents and waves. Tides, currents, waves and runoff are agents responsible for sediments distribution and transport. The concentration of identified minerals (ilmenite, quartz, zircon...) in moveable sediments provided a more or less complete picture of the distributing provinces.

Keywords: minerals, ilmenite, quartz, granulometry, procession

1. Introduction

Toute roche contient des minéraux accessoires, dont certains sont remarquables par leur stabilité chimique et leur densité élevée. Ces derniers, lorsqu' ils ont une densité supérieure à 2,89 caractérise ce que l'on nomme « minéraux lourds ». Les minéraux lourds accompagnent, dans d'infimes proportions, la roche après son érosion, dans ses divers processus sédimentaires. Ils agissent ainsi tels des marqueurs qui renseignent sur l'origine des roches, les conditions de transport des sédiments (Gentile, 1992a)^[9]. Le transport et la distribution des particules dépend de plusieurs facteurs dont la taille du matériel, l'origine, les processus hydrodynamiques (pendant le transport et le dépôt) et les processus diagénétiques qui peuvent agir sur la taille de certaines catégories de particules (Folk, 1980; Lewis *et al.* 1994; Cojan et Renard, 1995)^[6, 13, 3]. Seule une analyse poussée au laboratoire peut éclairer sur le comportement des particules au cours de leur transport, sur leur origine, sur leurs axes précis de migration, déposition et remobilisation. Cet article a de ce fait bénéficié de matériel nouveau et performant dont le MEB-EDS. Il présente la distribution granulométrique des faciès et les différentes espèces minérales rencontrées sur le littoral compris entre Sassandra et Fresco. En effet, l'étude des minéraux sur ces plages est fragmentaire. Les premiers travaux enregistrés sont ceux de Papon (1973)^[21] et Pomel (1979)^[24]. Les travaux de Papon (1973)^[21] révèlent la présence de disthène, de grenat, de tourmaline, de zircon, et d'épidote dans ce secteur. Ce cortège est complété par Pomel (1979)^[24] dont les travaux mettent en lumière la présence de

sillimanite et d'amphibole qui proviendraient de l'érosion des amphibolites. Les travaux ultérieurs dans ce secteur révèlent des concentrations non négligeables d'ilménite (N'Doufou, 2012; Yao, 2012)^[19, 38]. Ce travail s'inscrit dans cette démarche.

L'objectif est de caractériser les sédiments d'un point de vue granulométrique et minéralogique et de d'identifier les facteurs qui contrôlent la distribution et le transport des sédiments.

2 Matériel et méthodes

Contexte géologique et hydrodynamique

Les formations géologiques de la Côte d'Ivoire se répartissent entre deux entités chronologiquement distinctes. On a d'une part un bassin sédimentaire (2,5%) d'âge fini secondaire à quaternaire au Sud, et d'autre part, un socle précambrien (97,5%) qui constitue la majeure partie du pays (Pothin *et al.* 2000)^[26]. Le littoral de Sassandra appartient au socle précambrien (figure 1). Ce secteur du littoral ivoirien est orienté à environ 68° par rapport au Nord et est bordé par les séries métamorphiques du socle précambrien (Tastet, 1972)^[31]. La morphologie de la côte est marquée par une disposition en échelon du fait de l'érosion différentielle. Les caps sont sous-tendus par des filons de roches basiques (dolérites ou gabbro) ou de pegmatites ayant mieux résisté à l'érosion (Martin, 1973 b)^[12]. Dans ce secteur, cette disposition en échelon s'oppose en partie au transit sédimentaire (Martin, 1973b)^[12]. A partir de Fresco, le socle disparaît sous une couverture sédimentaire sensible à l'érosion marine. Ce

secteur est orienté 81° par rapport au Nord et se distingue par les formations du Mio-Pliocène (constituées de sables argileux et de grès) et des formations paléocènes et quaternaires à faible extension. Le périmètre littoral de Fresco est le seul secteur du littoral ivoirien qui présente des falaises vives sur plusieurs kilomètres. Ces falaises sont d'âge Paléocène (Tastet, 1979) [32]. La houle dominante dans le secteur d'étude provient du Sud-Ouest. De l'ouest du pays à Fresco, la houle est fortement oblique par rapport à la direction de la côte avec un angle d'incidence de 45° (Hinsberger, 1977) [11]. La houle en Côte d'Ivoire est marquée par un maximum en mai, juin et juillet et un minimum en novembre, décembre et janvier (Tastet *et al.* 1985) [33].

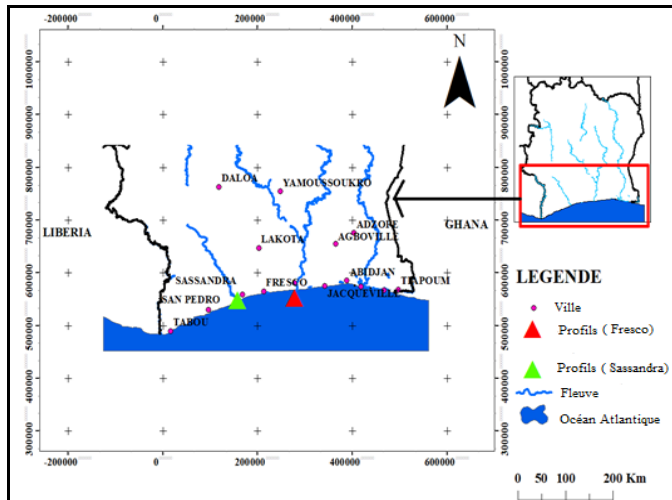


Fig 1: Carte de localisation de la zone d'étude

Minéralogie

Le matériel utilisé dans cette étude est constitué d'échantillon de sables prélevés de façon synchrone sur les différentes unités lithologiques des plages au cours de deux campagnes d'échantillonnage. La première campagne d'échantillonnage a été réalisée en mai 2017 (période d'agitation) et la seconde en novembre 2017 (période d'accalmie). Au laboratoire, après traitement et tamisage sur une série de tamis répondant aux normes AFNOR, les échantillons dont les diamètres sont compris entre $63\mu\text{m}$ et $125\mu\text{m}$ ont été retenus pour l'étude minéralogique. En effet, divers travaux (Pomerol, 1968; Pupin, 1976; Tourenq, 1986; Censier, 1991) [25, 27, 34, 2] ont montré que le résidu lourd de cette fraction est représentatif d'un sédiment détritique. Il est alors possible d'établir les filiations minéralogiques susceptibles d'exister entre les différentes formations, puis de localiser les provinces pétrographiques d'où elles sont issues. La composition minéralogique des sables a été déterminée, au microscope optique et au microscope électronique (MEB-EDS) après confection de lames minces.

Les lames minces ont été observées au microscope optique en lumière naturelle (LN), et en lumière polarisée (LP) au Centre d'Analyses et de recherches de la PETROCI. L'appareil utilisé est un microscope polarisant Eclipse 50i POL couplé à une caméra numérique. Les images numérisées ont été traitées à l'aide de logiciel d'exploitation d'images numérisées. L'estimation de la teneur des minéraux s'est faite à partir du

diagramme établi par Cailleux et Tricart (1959) [1].

Les lames minces confectionnées ont également fait l'objet d'analyses chimiques au MEB-EDS avec une surface minimale analysée de 4mm^2 . Le MEB de type FEG SUPRA 40 VP Zeiss a permis de caractériser la morphologie et la chimie des différentes phases minérales des échantillons. Des spectres caractéristiques en dispersion d'énergie de quelques phases minérales ont été réalisés afin de préciser la teneur des éléments présents. Les images en mode rétrodiffusés et les microanalyses ont été réalisées sous une tension d'accélération de 12 kV.

Granulométrie et environnement de dépôt

Les principaux paramètres granulométriques que sont la moyenne, l'écart-type, le skewness et le kurtosis et la médiane ont été calculés selon la méthode de Folk et Ward (1957) [7]. Le mode de transport des sédiments a été déterminé à partir du test de Visher (1969) [36]. En effet, la distribution granulométrique des sédiments à partir des courbes cumulatives présente le plus souvent des courbes formées de plusieurs segments de droites. Ce qui semble indiquer que le sédiment est constitué d'un mélange de plusieurs familles granulométriques. Les types de courbes obtenus sont directement reliés aux modes de transport des particules. Cette méthode permet de définir trois modes de transport (Sanchez, 1992) [16]: la suspension (90 à 100%): les particules progressent dans le sens du courant au sein même du liquide sans jamais retomber, sauf très épisodiquement, sur le fond; la saltation (10 à 90%): les particules se déplacent par sauts et retombent successivement à des distances relativement appréciables; le charriage ou roulement (0 à 10%): les particules glissent et roulent (ou bien sautent légèrement) dans le sens du courant sur le fond". Les courbes cumulatives ont permis également de déterminer les différents faciès granulométriques. La détermination s'est faite à partir de la terminologie de Tricart (1965) [35]. Les faciès granulométriques reflètent soit un mode de dépôt, soit un type d'évolution après le dépôt (Pinot, 1994) [18]. Enfin la détermination de l'environnement de dépôt a été possible à partir du digramme de dispersion ($Md-S_0$) de Moiola et Weiser (1968) [17]. Le diagramme de dispersion $Md-S_0$ permet de différencier les sédiments de rivière des sédiments de plage à partir de la droite d'équation $Y = -4,9x + 3,76$.

3. Résultats

Périmètre littoral de Alessandra

Caractérisation granulométrique

En période d'agitation, les sables sont moyens à grossiers ($466 < Mz < 785$) modérément à mal classés ($0,66 < \sigma < 0,81$), symétriques et mésokurtiques ($0,65 < K < 1,16$). En période d'accalmie, les sédiments sont moyens ($388 < Mz < 443$) bien classés ($0,49 < \sigma < 0,50$), symétriques ($-0,01 < Sk < 0,01$) et platykurtiques ($0,46 < K < 0,47$). Les sédiments sont plus grossiers en période d'agitation. Les fortes houles généralement enregistrées en mai auraient entraîné les sédiments grossiers sur les plages. Les variations granulométriques les plus importantes s'observent au niveau du bas estran (figure 2). En mai, la moyenne granulométrique au niveau du bas estran est de $785\mu\text{m}$ contre $388\mu\text{m}$ en novembre. En période d'accalmie les sédiments du haut estran

sont plus grossiers que ceux du bas estran (figure 2). Les sédiments sont généralement transportés par saltation (79,75%). Le transport par charriage caractérise la fraction grossière (figure 3). Il est estimé à 10,75%. Le transport par suspension ne concerne que les fractions fines et moyennes. Leur proportion est de 9,50%. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments ont dans l'ensemble une allure sigmoïde (figure 4). Ce faciès indique que le dépôt s'est réalisé du fait d'une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport. De tels faciès sont le plus souvent rencontrés dans des sédiments mis en place à partir de courants de surface ou de masses d'eaux. La sédimentation s'est faite par accumulation libre. On observe un redressement partiel de cette courbe du bas estran.

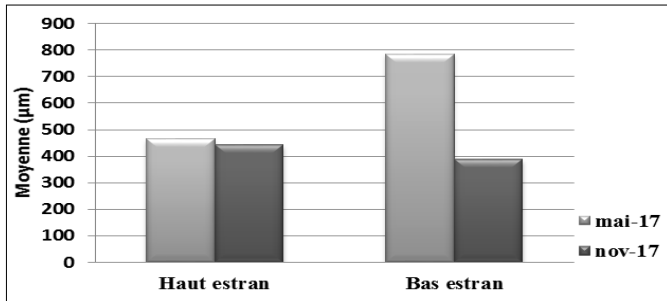


Fig 2: Variation de la taille des sédiments selon les saisons et les unités morphologiques de la plage

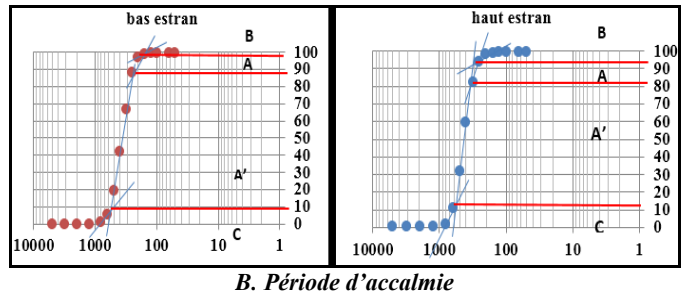
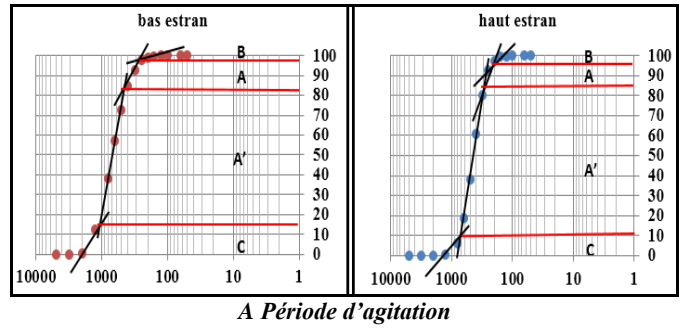


Fig 3: Mode de transport des sédiments sableux sur la plage de Sassandra Population A et A' = Saltation Population B = suspension Population C = charriage

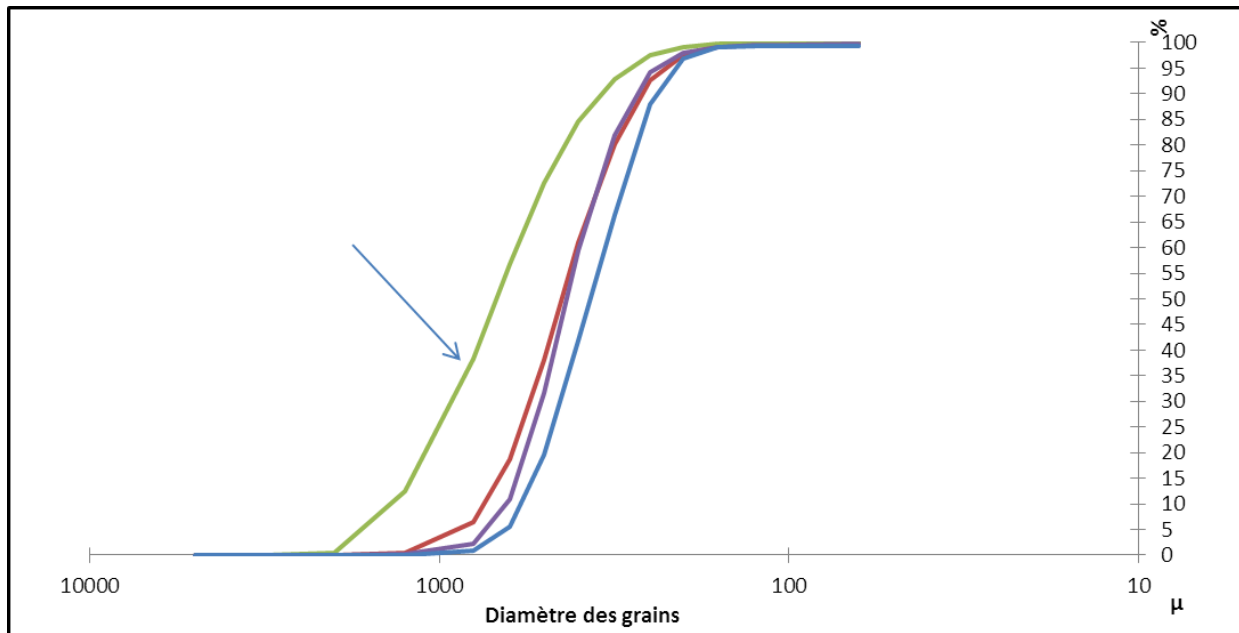


Fig 4: Faciès granulométriques

Environnement de dépôt

Les diagrammes de Moiola et Weiser (1968)^[19] révèlent que les sédiments qui composent la plage à Sassandra sont d'origine diverse (figure 5). L'apport fluvial représente la plus grande partie (plus de 50%). Les sédiments attribués au domaine plage devraient provenir à la fois de la réserve de sable de la plage sous-marine remontée par les houles longues du Sud, et des cordons sableux de l'Ouest du périmètre littoral de Sassandra par la dérive littorale ouest-est. Ces houles

longues du Sud occasionneraient à certaines périodes de l'année, l'érosion de la plage sous-marine au profit de la plage aérienne favorisant ainsi une redistribution de sédiments entre les deux domaines de la plage (Gbessi, 2011)^[10]. Le faible taux attribué au domaine plage pourrait être lié non seulement au fait que le littoral rocheux libère très peu de matériel sableux mais aussi et surtout au fait que les sédiments aient été prélevés à proximité de l'embouchure.

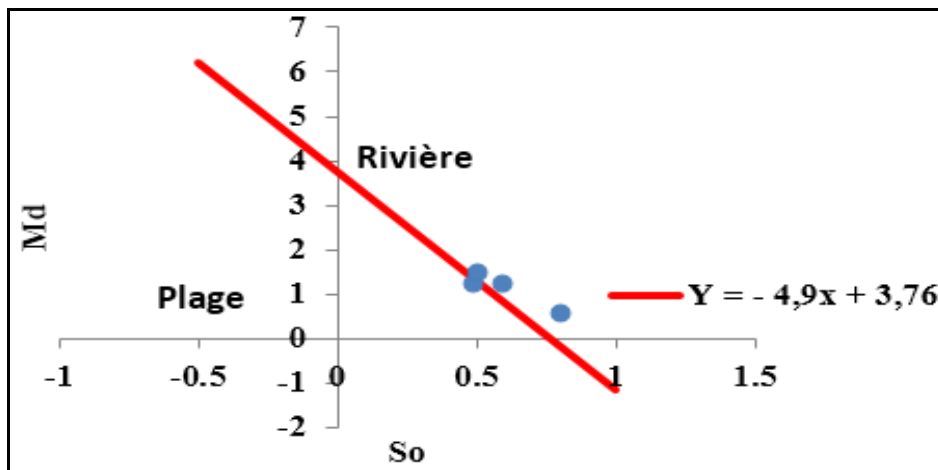


Fig 5: Environnement de dépôt

Minéralogie des sédiments

Les analyses chimiques effectuées sur lames minces révèlent des teneurs élevées en SiO₂ (figure 6). L’observation au microscope polarisant, montre la prédominance du quartz (40%) et confirme les résultats de l’analyse chimique. Les teneurs en Na₂O, Al₂O₃ et K₂O n’atteignent pas 1%. Ces éléments chimiques pourraient expliquer la présence de feldspaths (microcline *et* albite) identifiés au microscope polarisant (figure 7). L’analyse chimique effectuée montre des teneurs en FeO qui témoignent de la présence d’oxyde de fer qui avec le dioxyde de titane (TiO₂) confirme la présence d’ilménite (25%) (FeTiO₃). En effet, la région comprise entre la frontière libérienne et le fleuve Sassandra est caractérisée par l’abondance de formations ferrugineuse (Papon, 1973) [5]. Les grains d’ilménite sont tabulaires en lamelles plus ou moins émoussés car l’ilménite s’use difficilement même après un long transport (Parfenoff *et al.* 1970) [22]. Le rutile lui est associé en faible quantité. Le rutile se présente généralement sous l’aspect de grains arrondis brun rouge qui se forment à partir de l’ilménite par un processus hydrothermal (Wilhelm, 1988) [37]. Hormis le quartz, les minéraux ferrugineux et les feldspaths (5%), on y rencontre la sillimanite (12%), le zircon (3%), la tourmaline (4%), l’amphibole (Hornblende verte)

(4%). Le disthène, l’épidote, le sphène, la biotite et le grenat sont très peu représentés (1 à 2%). La sillimanite et l’amphibole proviendraient de l’érosion des amphibolites (Pomel, 1979) [24]. Le pyroxène se présente sous forme de grains prismatiques, souvent allongés, verts, brillants, avec un éclat vitreux. Les grains clairs sont porteurs de métaux (figure 8).

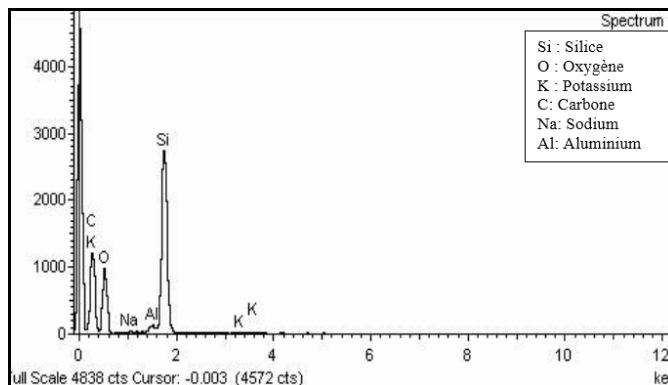


Fig 6: Spectre de l’analyse chimique des sédiments

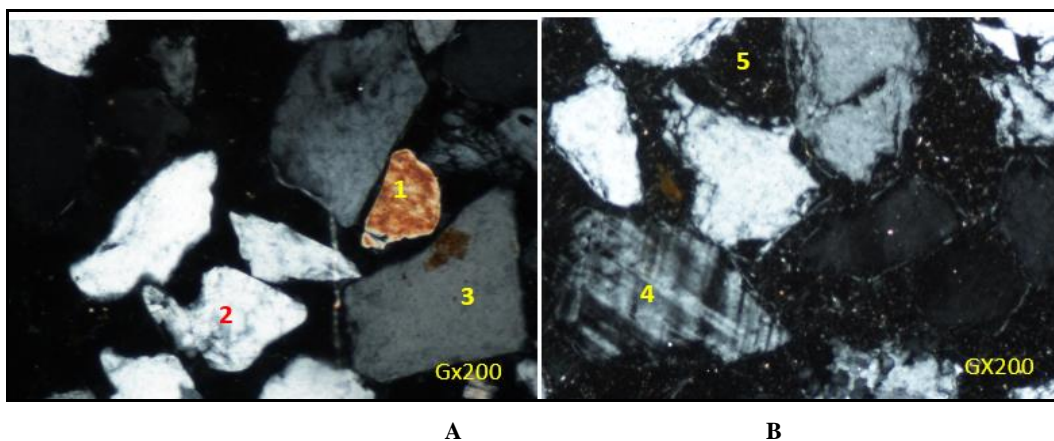


Fig 7 (a et b): Lame mince de sable de la plage de Sassandra en lumière polarisée
1: biotite; 2: quartz; 3: sphène; 4: microcline; 5: ilménite

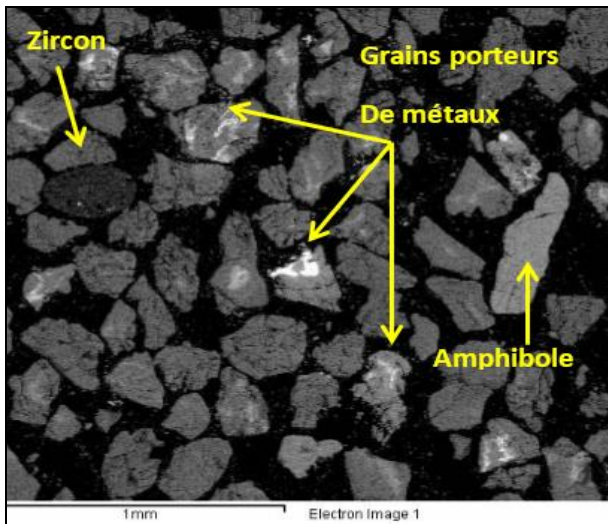


Fig 8: Minéraux et grains clairs porteurs de métaux

Périmètre littoral de Fresco
Caractérisation granulométrique

En période de forte agitation, les sables sont moyens à

grossiers ($497 < Mz < 585$) modérément classés ($0,53 < \sigma < 0,59$) et symétriques ($0,00 < Sk < 0,02$). Les sédiments sont mésokurtiques au niveau du haut estran ($K = 0,61$) et Platykurtiques au bas estran ($K = 0,53$). En période d'accalmie, les sédiments sont moyens ($442 < Mz < 466$) modérément à bien classés ($0,48 < \sigma < 0,57$) et symétriques ($-0,02 < Sk < 0,01$). Le Kurtosis est semblable à celui observé en mai c'est-à-dire mésokurtique au niveau du haut estran ($K=0,6$) et platykurtique au niveau du bas estran ($K=0,41$). Au niveau du bas estran la distribution apparaît plus plane qu'une distribution normale. En période d'accalmie les sédiments du haut estran sont plus grossiers que ceux du bas estran (figure 9). Les sédiments sont transportés majoritairement par saltation (89,5%), Le transport par charriage représente 6% et seulement 4,5% des sédiments sont transportés par suspension (figure 10). Ces derniers représentent la fraction fine. Le transport par saltation demeure dominant sur les deux périodes. Toutes les courbes cumulatives ont une allure sigmoïde (figure 11). Ce faciès indique que le dépôt s'est réalisé du fait d'une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport.

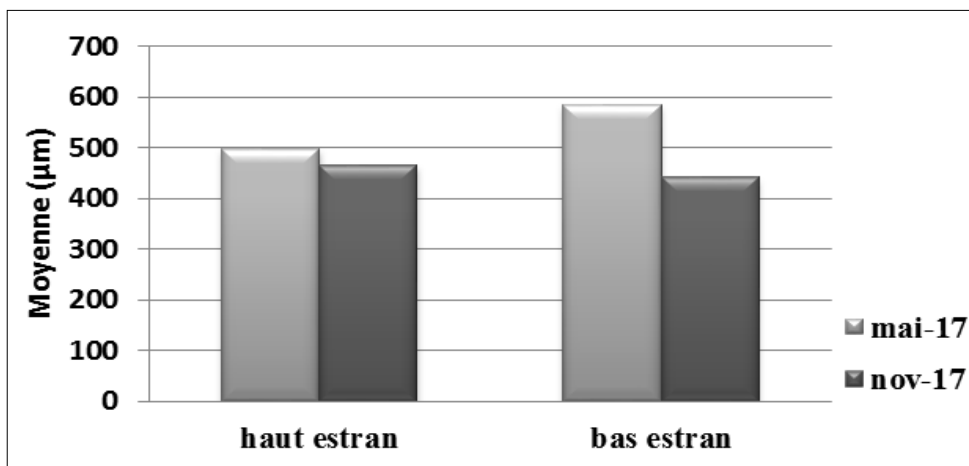
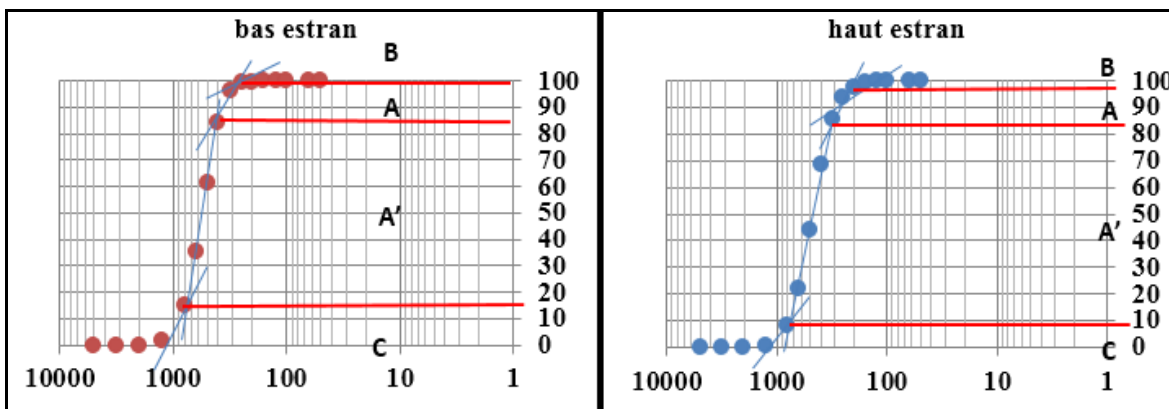


Fig 9: Variation de la taille des sédiments selon les saisons et les unités morphologiques de la plage



A période d'agitation

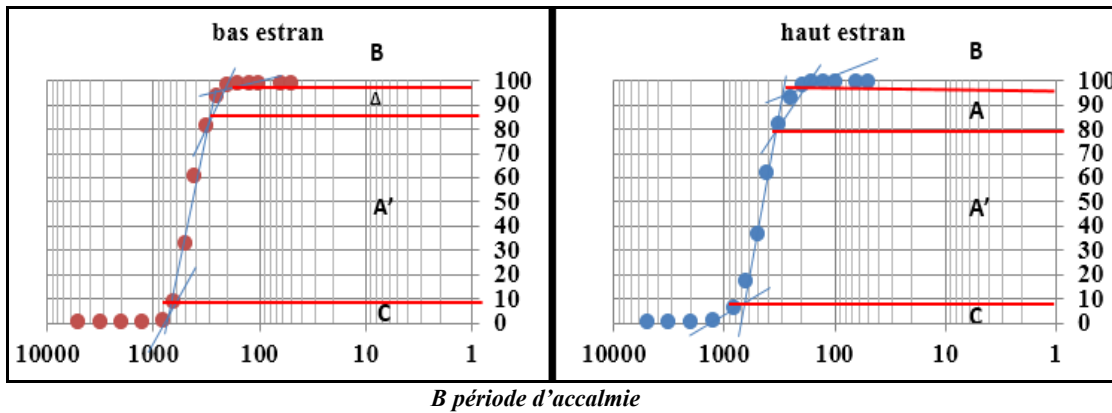


Fig 10: Mode de transport des sédiments sableux sur la plage de Fresco Population A et A' = Saltation Population B = suspension Population C = charriage

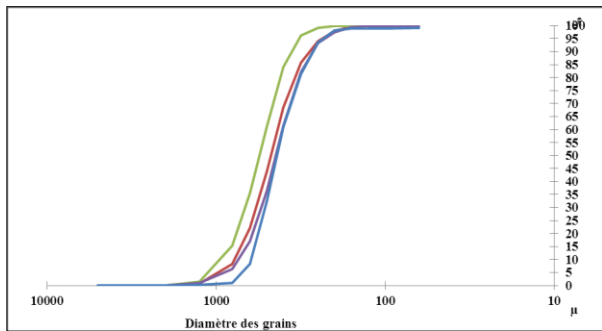


Fig 11: Faciès granulométriques

Environnement de dépôt

A Fresco, le diagramme de dispersion montre également des sédiments issus soit d'une plage soit d'une rivière en des proportions sensiblement identiques (environ 50%) (Figure 12). A partir de Fresco, le socle disparaît sous une couverture sédimentaire sensible à l'érosion marine. De ce fait, la plateforme serait susceptible de libérer beaucoup plus de matériel sableux *et* alimenter la plage. On pourrait expliquer ainsi l'augmentation du matériel provenant de la plage.

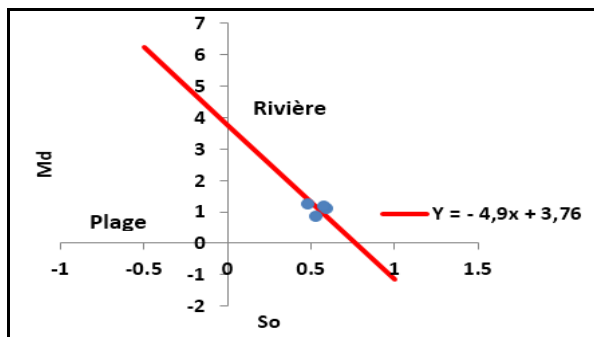


Fig 12: Environnement de dépôt

Minéralogie des sédiments

Concernant les sédiments de Fresco, l'analyse chimique effectuée révèle des teneurs élevées en SiO₂ (figure 13). Le dioxyde de titane (TiO₂) et l'oxyde de fer (FeO) sont peu abondants. Les autres éléments (K₂O; CaO; Al₂O₃; MgO; Na₂O) ont des teneurs inférieures à 1%. L'observation au microscope polarisant (Fig. 14) révèle la prédominance du

quartz (45%). L'ilménite est en quantité non négligeable (23%). Les plages de Fresco renferment aussi de l'olivine (4%), la biotite (6%), le microcline (3%), les plagioclases (2%), la tourmaline (7%) et la sillimanite (6%).

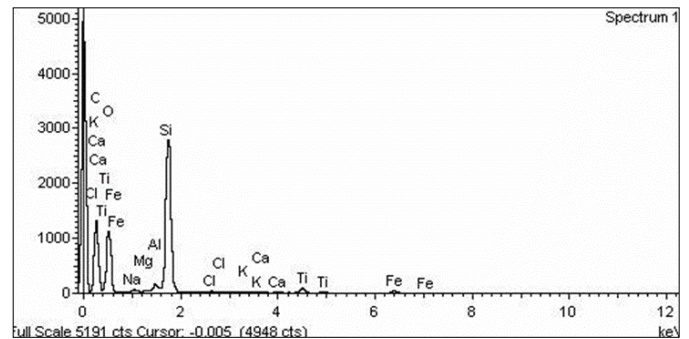


Fig 13: Spectre de sédiment analysé au MEB

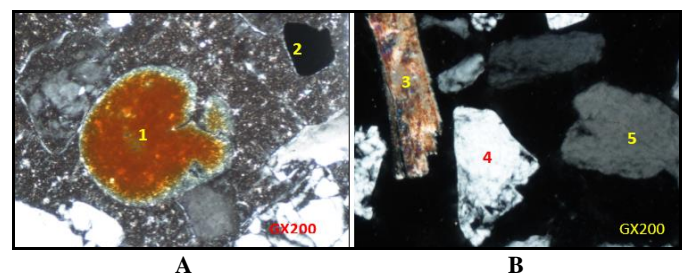


Fig 14 (a et b): Lame mince de sable en lumière polarisée 1: olivine; 2: ilménite; 3: tourmaline 4: Quartz 5: Feldspath

4. Discussion

Les sédiments prélevés sur la plage de Sassandra renferment des proportions élevées de quartz, d'ilménite et de sillimanite en accord avec les travaux de N'Doufou (2012) [19] et Yao (2012) [38]. Pomel (1979) [24] signale également des concentrations non négligeables d'amphibole qui proviendraient de l'érosion des amphibolites. Dans le même secteur, la présence de disthène, de grenat, de tourmaline, de zircon, et d'épidote confirme les travaux de Papon (1973) [21]. Les grains d'ilménite contenus dans les sédiments sont noirs, tabulaires en lamelles plus ou moins émoussés comparables aux grains décrits par Parfenoff *et al.* (1970) [22] et ceux décrits par Mhammdi *et al.*, (2005) [15] sur la côte atlantique

marocaine. Ces minéraux proviendraient des roches éruptives et métamorphiques (Deferne, 2016) ^[4]. Sur les deux sites les minéraux lourds les plus abondants sont les grains d'ilménite. Cette tendance serait probablement liée à la position géographique des sites de prélèvement localisés au niveau des embouchures qui fournissent d'avantages des grains d'ilménite. L'ilménite étant d'origine continentale. Cette hypothèse est confortée par les travaux de Stuij (1982) ^[30] qui envisage une telle éventualité pour les silts du Surinam. Ce dernier observe une décroissance des teneurs, de l'embouchure de la rivière vers le large. Les teneurs en quartz des échantillons étudiés au microscope optique, couplées avec les spectres EDS, indiquent une source granitique en accord avec les travaux de Megneng (2015) ^[14]. Dans cette étude nous avons attribué ces teneurs élevées de grains de quartz à l'érosion des granites du plateau continental par les houles et les courants du sud de direction ouest est. Les courbes cumulatives ont dans l'ensemble une allure sigmoïde. On note cependant un redressement partiel de la courbe du bas estran. Le redressement de cette courbe qui tend à annuler la symétrie serait lié à un enrichissement en éléments grossiers selon les travaux de Rivière (1977) ^[28]. En période d'accalmie, les sédiments du haut estran sont généralement plus grossiers que ceux du bas estran. Les sédiments du bas de plage soumis à des conditions plus énergétiques devraient être plus grossiers que ceux du haut estran (Miller et Zeigler, 1958; Fox *et al.* 1966; Dubois, 1982; Niang-Diop, 1995) ^[16, 8, 5, 20]. Les sédiments grossiers auraient été déposés sur la haute plage pendant le jet de rive. Lors du retrait, les vitesses de courant étant faibles, la fraction des sédiments grossiers n'a pu être entraînée vers le large. L'action des vagues se traduit ainsi par un tri sédimentaire, le sédiment fin est vanné vers le large alors que le sédiment grossier s'accumule sur la côte (Zenkovich, 1946; Murray, 1967) ^[39, 18]. La répartition des minéraux sur les plages est donc contrôlée par l'hydrodynamique locale (vagues et courants côtiers) et dépend de la taille des différentes espèces minérales en accord avec les observations faites par Parfenoff *et al.* (1970) ^[22].

5. Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence une diminution de la granulométrie des sédiments en période d'accalmie et une tendance opposée en période d'agitation. En effet, l'augmentation de l'énergie de la houle en mai engendre un remaniement. Il en résulte une sélection de la fraction grossière au profit de la fraction fine. L'analyse granulométrique a montré une prédominance des sables moyens à grossiers sur les deux sites qui sont transportés principalement par saltation. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments ont dans l'ensemble une allure sigmoïde indiquant que le dépôt des sédiments sur les plages s'est réalisé du fait d'une variation banale et modérée dans la compétence du courant de transport. La minéralogie des sédiments de plage est en accord avec la description géologique et minéralogique de la région. Ces travaux montrent qu'une partie des sables fins et de leur contenu minéralogique a été acheminé par les fleuves. Les minéraux accessoires sont représentés par le Sphène (1 à 5%) et le Zircon (1 à 7%). Les minéraux légers sont représentés par un cortège varié de minéraux où le quartz occupe plus de 50% de

la fraction détritique. C'est un minéral très résistant et son abondance dans les sédiments traduit une source pourvoyeuse riche en quartz. Les échantillons prélevés sur les plages de Sassandra et Fresco présentent des concentrations élevées d'ilménite. La proportion de ce minéral dans la fraction constituée uniquement de minéraux lourds est de 43% à Sassandra et 39% à Fresco. Ce cortège, qui traduit en partie l'héritage continental, proviendrait des formations quaternaires drainées principalement par le fleuve Sassandra, et de l'érosion des falaises côtières qui bordent le littoral de Fresco, affecté par l'action des courants et la houle de direction ouest est. Le quartz, la biotite et les feldspaths proviennent de l'altération des roches environnantes, notamment les granites. Ces minéraux sont acheminés sur les plages à travers les eaux de ruissellement, les fleuves et l'érosion des granites du plateau continental. Les minéraux lourds sont donc partagés entre les deux principales provinces distributives.

6. Références

1. Cailleux A. et Tricart J. Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre Documentation, Univ. Eit. Paris, tome 1, 1959, 379.
2. Censier C. Dynamique sédimentaire d'un système fluviatile diamantifère mésozoïque: la Formation de Carnot (République Centrafricaine). – Thèse Doct. Univ. Bangui et Univ. Bourgogne. Mémoire BRGM, 2005, 1991, 568.
3. Cojan I, Renard M. *Sédimentologie*. Masson, 1995, 418.
4. Deferne J. La classification des minéraux, 2016, 45.
5. Dubois RN. Relation among wave conditions, sediment texture, and rising sea level: an opinion. *Shore and Beach*, Berkeley (Cal.). 1982; 50(2):30-32.
6. Folk RL. Petrology of sedimentary rocks. Hemphills, Austin, 1980, 182.
7. Folk RL. Ward WC. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J Sedim. Petrol.*, Tulsa (Okl.). 1957; 27(1):3-26.
8. Fox WT, Ladd JW, Martina MK. Profile of the four moment perpendicular to a shore line, South Haven, Michigan *J Sedim. Petrol.* Tulsa (Okl.). 1966; 36(4):1126-1130.
9. Gentile W. La granulométrie des sables, 1992a, 135.
10. Gbessi AHS. Evolution morpho-sédimentaire du périmètre de plage de Sassandra (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire DEA Univ. Cocody, 2011, 78.
11. Hirschberger F. Aspects et problèmes d'aménagement du littoral en Côte d'Ivoire Cahier nantais, n°13, 1977, 51-63.
12. Martin L. Carte sédimentologique du plateau continental de Côte d'Ivoire. Notice explicative, n°48, ORSTOM Paris, 1973, 19.
13. Lewis DG, Mc Conchie D. Analytical sedimentology. Chapman & Hall. London, 1994, 360.
14. Megneng MR. Les minéraux accessoires à U, Th, ETR dans les grès et les conglomérats archéens du bassin de Pongola (Afrique du Sud). Thèse université Paris-sud, 2015, 184.
15. Mhammdi N, Achab M, Hamoumi N et, Azza A. Les sables titanifères du littoral d'Azemmour et de l'estuaire de l'Oum Er-Rbia (côte atlantique marocaine): sédimentologie et potentiel d'exploitation. Bulletin de

- l'institut Scientifique, section Sciences de la terre, N°27, 2005, 83-91.
16. Miller RL, Zeigler JM. A model relating dynamics and sediment pattern in equilibrium in the region of shoaling waves, breaker zone and foreshore. *J Geol. Chicago*. 1958; 66(4):417-441.
 17. Moiola RJ, Weiser D. Textural parameters: an evaluation. *Journ. Sedim. Petrol*, n°38, 1968, 45-53.
 18. Murray M. Control of grain dispersion by particle size and wave state. *Journal of Geology* 75, 1967, 612-634.
 19. N'Doufou GHC. Contribution de l'étude morpho sédimentologique 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.
 20. Niang-Diop I. L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Ruffisque. Passé-Présent-Futur. Thèse de l'Univ. d'Angers, N°110, 1995, 318.
 21. Papon A. Géologie et minéralisations du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Synthèse des travaux de l'opération SASCA 1962-1968. *Bull. Direction des Mines et de la Géologie de Côte d'Ivoire*. n°6, 1973, 285.
 22. Parfenoff A, Pomerol C, Tourenq J. Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et détermination. Masson, Paris, 1970, 600.
 23. Pinot JP. Manipulations sédimentologiques courantes: Techniques Usuelles de Recherche en Géomorphologie et en Aménagement du Littoral. *TURGAL* n° 1 à 7; Université de Bretagne occidentale, Brest, 1994, 118.
 24. Pomel R. Géographie physique de la basse Côte d'Ivoire, au Sud du parallèle 6°N. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Caen, 1979, 629.
 25. Pomerol C. Intérêt et applications de l'étude des minéraux lourds. *Rev. Geogr. Phys. Geol. Dyn.* 10, 1968, 383-396.
 26. Pothin KBK, Gioan P, Gronayes CC. Bilan géochronologique du socle précambrien de Côte d'Ivoire. *Bioterre, Rev. Intern Sci. de la Vie et de la Terre*, n°1, Presses Universitaires de Côte d'Ivoire. 2000; 1:36-47.
 27. Pupin JP. Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Applications. – Thèse Doct. Etat. Univ. Nice, 1976, 410.
 28. Riviere A. Méthode granulométrique: techniques et interprétation. Ed. Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, 1977, 149.
 29. Sanchez AMA. Modélisation dans un estuaire à marée. Rôle du bouchon vaseux dans la tenue des sols sous-marins. Thèse de doctorat, Univ. Nantes, 1992, 210.
 30. Stuij J. Behaviour of silt along the Guyana coast. *Proc. FURORIS Congress*, 1982, 277-328.
 31. Tastet JP. Quelques considérations sur la classification des côtes. La morphologie côtière. *Ann. Univ. Abidjan (c)*. 1972; 7(2):135-162.
 32. Tastet JP. Environnements sédimentaires et structuraux quaternaire du littoral du golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Benin). Thèse de Doctorat Sc. Nat. Univ. Bordeaux I, n°621, 1979, 175.
 33. Tastet JP, Caillon L, Simon B. La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan: impact des aménagements. Contribution à la compréhension des phénomènes d'érosion et de sédimentation. *Rapp. Min., Marine, Abidjan*, 1985, 39.
 34. Tourenq J. Étude sédimentologique des alluvions de la Loire et de l'Allier, des sources au confluent. Les minéraux lourds des roches des bassins versants. – Documents BRGM, n, 1986, 108.
 35. Tricart J. Principes et méthodes de la géomorphologie, Paris: Ed. Masson. 1965, 496.
 36. Visher GS. Grain size distributions and depositional processes. *Jour. Sedim. Petrol.*, Tulsa, vol. n° 3, 1969; 39:1074-1106.
 37. Wilhem E. L'analyse des minéraux lourds en exploitation minière. *Chron. Rech. Min*, 1988, 490.
 38. Yao KS. 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.
 39. Zenkovich VP. On the study of shore dynamics. *Akademiya nauk. USSR Institut. Okéandogi, Trudy*, 1, 1946, 99-112.