

Les Diatomées Sub-fossiles de L'estuaire du Saloum, Sénégal: inventaire floristique et paléo-environnement fournis par la carotte de Ndangane Babou

Gueye Adama
Badiane Insa
Youm Cheikh Ibrahima
Sow El Hadji
Fofana Cheikh Abdoul Kader

Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-Fann, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n33p55](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p55)

Submitted: 23 April 2022
Accepted: 07 October 2022
Published: 31 October 2022

Copyright 2022 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Gueye A., Badiane I., Sow E.H. & Fofana C.A.K. (2022). *Les Diatomées Sub-fossiles de L'estuaire du Saloum, Sénégal: inventaire floristique et paléo-environnement fournis par la carotte de Ndangane Babou*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (33), 55.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p55>

Resume

Dans le programme de reconstitution de l'histoire des estuaires et lagunes du Sénégal et de l'inventaire de la microflore à diatomées de la Séné-Gambie, une carotte de sondage de 400 cm de long a été réalisée à Ndangane Babou sur un des bras de l'estuaire du Saloum (14°07'53.86" N/16°17'40.08" W) à 95 km de l'embouchure. L'analyse comparée de la lithologie et de la microflore a montré une corrélation significative entre la fraction pélitique, l'abondance absolue des diatomées et leur diversité spécifique. Le faible taux de sable, majoritairement d'origine marine tout au long de la carotte pourrait s'expliquer par l'éloignement du site de prélèvement par rapport à l'embouchure du fleuve. L'étude a permis d'inventorier 89 espèces et variétés de diatomées appartenant à 48 genres. Les genres les plus représentés sont *Nitzschia* (11 espèces), *Coscinodiscus* (7 espèces), *Amphora* et *Navicula* (4 espèces chacune). Huit espèces sont citées pour la première fois en Séné-Gambie. La dominance des espèces euryhalines tout au long de la carotte ainsi que la présence constante des formes d'eau douce témoignent de variations de

la salinité entre les saisons hivernales marquées par des apports d'eau douce et les saisons sèches. D'un milieu deltaïque ouvert aux influences marines (Zone A), le Saloum a été marqué par des upwellings qui ont apportés des sels nutritifs jusqu'à la hauteur de Ndangane Babou durant le dépôt de la zone B. Par la suite, l'installation d'un climat chaud et humide a entraîné une augmentation de la pluviométrie et permis d'atteindre une paléo-productivité primaire et une paléo-biodiversité maximales au sommet de la zone C, avant l'installation d'un climat aride à l'origine du caractère inverse de l'estuaire (zone D). Dans ce milieu, l'hydrodynamisme serait à l'origine de l'augmentation du taux de sable et corrélativement la diminution des diatomées suivie de leur disparition.

Mots-clés: Estuaire, diatomées, lithologie, euryhalinité, eau douce, upwelling.

Sub-fossil Diatoms from the Saloum Estuary, Senegal, West Africa: Floristic Inventory and Paleo-environment Provided by the Ndangane Babou Core

Gueye Adama

Badiane Insa

Youm Cheikh Ibrahima

Sow El Hadji

Fofana Cheikh Abdoul Kader

Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar-Fann, Sénégal

Abstract

As part of the program to rebuilt the estuaries and lagoons history in Senegal and the inventory of the diatom microflora in Senegal and Gambia, a 400 cm long core was taken at Ndangane Babou on one of the arms from the Saloum estuary (14°07'53.86" N/16°17'40.08" W), 95 km from the ocean. The comparative analysis of the lithology and the microflora showed a significant correlation between the lutite fraction, the absolute abundance of diatoms and their specific diversity. The low rate of sand, mostly of marine origin throughout the core, could be explained by the distance of the site from the mouth of the estuary. The study allowed to inventory 89 species and varieties of diatom belonging to 48 genera. The most represented genera are *Nitzschia* (11 species), *Coscinodiscus* (7 species each), *Amphora* and *Navicula* (4 species each). Eight species are cited for the first time in Sene-Gambia. The dominance of euryhaline species throughout the core as well as the constant

presence of freshwater forms attest to variations in salinity between the rainy seasons marked by freshwater inflows and the dry seasons. From a delta environment open to marine influences (Zone A), the Saloum estuary was marked by upwellings brought nutritive salts up to the height of Ndangane Babou during Zone B deposit. Subsequently, the installation of a hot and humid climate led to an improvement in rainfall and allowed to achieve maximum primary paleo-productivity and paleo-biodiversity at the top of zone C, before the installation of an arid climate at the origin of the opposite character of the estuary (zone D). In this environment, hydrodynamics would be the cause of the increase in the rate of sand and correlatively the decrease in diatoms followed by their disappearance.

Keywords: Estuary, diatoms, lithology, euryhalinity, freshwater, upwelling

Introduction

Les zones humides constituent un maillon essentiel du fonctionnement des écosystèmes à travers le monde. Or, dans la plupart des régions du monde, ces zones subissent un déclin continu dans leur superficie et leur qualité. Au Sénégal, au titre de zones humides fragiles figure l'estuaire du Saloum. Cet estuaire (figure 1), situé au centre-ouest du Sénégal, dans la région naturelle du Sine Saloum, s'étend sur environ 500.000 ha. Il est composé de trois bras ayant un débouché direct sur la mer : le Saloum lui-même au Nord, le Diomboss au centre et le Bandiala au Sud (Diouf, 1996). Ces bras principaux sont interconnectés par des chenaux, en général peu profonds. L'estuaire du Saloum est localisé au Nord immédiat de l'embouchure du fleuve Gambie. Le climat de la zone est de type tropical semi-aride et caractérisé par deux saisons : une saison humide de juillet à octobre et une saison sèche de novembre à juin.

L'estuaire du Saloum remplit les fonctions classiques d'une zone humide. En effet, les diverses études entreprises ont mis en évidence (i) un écosystème de mangrove avec ses vasières riches en matière organique (Dièye et al., 2013), (ii) la présence d'une multitude de chenaux servant de zone tampon entre l'estuaire et l'océan et assurant l'interaction avec le réseau hydrographique en amont (Diouf, 1996), (iii) la diversité spécifique tant animale que végétale (Ausseil-Badie et Monteillet, 1985), (iv) la présence d'écosystèmes marins-saumâtre, et continentaux (Dia, 2003). Compte tenu de l'importance de la zone aux plans écologique et économique et des menaces auxquelles elle fait face dont l'hypersalinisation et la détérioration de la végétation de mangrove, l'estuaire du Saloum est un site protégé et inscrit au réseau du programme Man And Biosphère (MAB) de l'UNESCO. Ce dernier l'a érigé en Réserve de Biosphère du Delta du Saloum (RBDS) en 1981 et en Patrimoine mondial de l'Humanité en juin 2011 (Dieye et al., 2013).

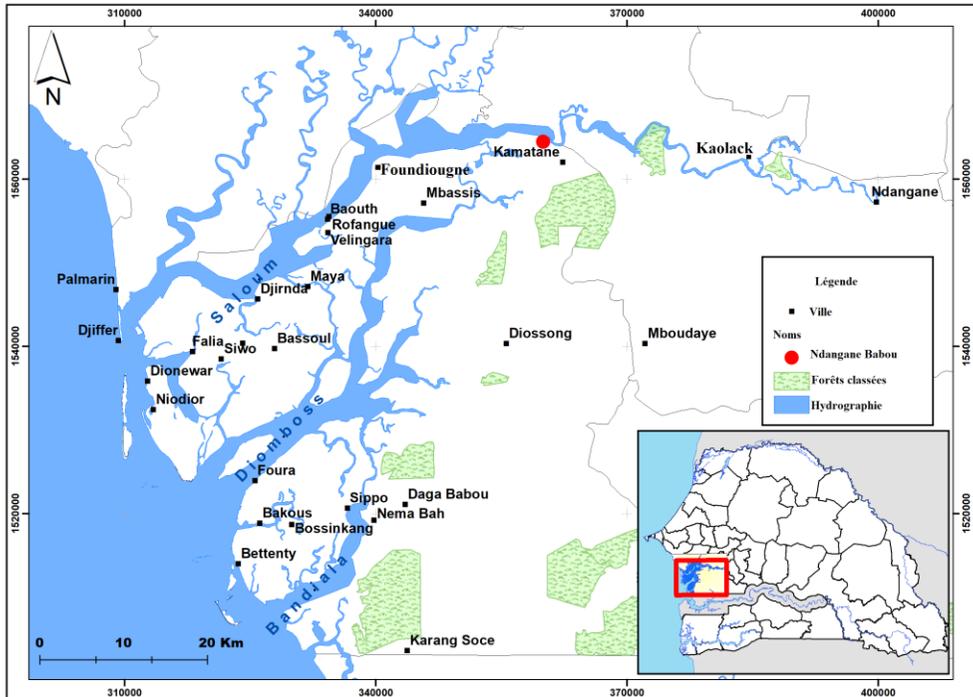


Figure 1. Carte de localisation du site de l'étude dans l'estuaire du Saloum

Le complexe estuarien du Sine-Saloum a commencé à se former au Tchadien (13 000 à 8 000 B.P.) ; cependant, la phase la plus importante de sa formation est située au Nouakchottien (6800 à 4200 B.P.) (Diouf, 1996). Les âges les plus anciens obtenus sur le substratum sédimentaire tournent autour de 6130 et 6070 obtenus à Bandiala par Kalck (1978). Durant cette période, la région était occupée par un vaste golfe marin remontant jusqu'à l'amont de Kaolack (à plus de 110 km de l'embouchure).

L'estuaire du Saloum a fait l'objet de plusieurs études basées sur la mangrove, son évolution et sa détérioration (JICA, 2005 ; Dièye et al., 2013), la sédimentologie (Ausseil-Badie et al., 1991 ; Barusseau et al., 1985), la géomorphologie, la granulométrie, l'exoscopie et la minéralogie (Diop, 1978 et 1986), la microfaune et la macrofaune (Ausseil-Badie et Monteillet, 1985), la salinité, la pluviométrie et les précipitations-évaporations (Pagès et Citeau, 1990 ; Descroix et al., 2020 ; Azzoug et al., 2012) et la biologie des peuplements de poissons (Sow, 2005). Peu d'étude ont été cependant consacrées au paléo-environnement (Kalck, 1978, Ausseil-Badie et Monteillet, 1985, Azzoug et al., 2012).

Notre étude s'inscrit dans la continuité des travaux cités avec comme but la reconstitution du paléoenvironnement et du paléoclimat du Nouakchottien (6800–4200 ans B.P.) à l'Actuel par une approche paléolimnologique basée sur l'étude des diatomées subfossiles. Ces

indicateurs biologiques ont apporté des informations utiles sur les plans paléo-environnement et paléo-climatique le long de l'estuaire de la Casamance (Sow et Diène, 2002, Sow et al., 2002 et 2005). Ce travail permet également de poursuivre notre programme d'inventaire de la microflore diatomique de la Séné-Gambie (Sénégal et Gambie) auquel nous nous attelons depuis deux décennies (Gueye et al., 2020 ; Sow, 2021).

1- Matériels et Methodes

1.1. Prélèvement et traitement des échantillons

La carotte sédimentaire étudiée a été prélevée sur un chenal de la rive sud de l'estuaire du Saloum à 95 km de l'embouchure, à hauteur du village de Kamatane (lieu-dit Ndangane Babou : 14°07'53.86" N/16°17'40.08" W, figure 1) en février 2015. Les prélèvements ont été faits à l'aide d'une tarière manuelle Russe munie d'un système de fermeture évitant les contaminations. Le fond de la vase, c'est-à-dire du dépôt de remplissage du chenal, a été atteint à 400 cm de profondeur. Sur cette carotte, 2 lots d'échantillons ont été constitués : l'un destiné à l'étude des diatomées, l'autre à la détermination des fractions sableuses et pélitiques.

Pour l'étude des diatomées une quantité de 0,1g de sédiment sec a été prélevée tous les 10 cm le long de la carotte. Chaque échantillon a été traité par une double attaque à chaud à HCl puis H_2O_2 . Chaque attaque a été suivie de 3 lavages à l'eau distillée après une période de décantation de 4 heures. Le culot a été dilué dans 20 ml d'eau distillée. Après agitation pour homogénéisation, 2ml de suspension ont été montés entre lame et lamelle dans du baume du Canada. Pour chaque échantillon deux lames ont été préparées. La détermination des fractions granulométriques a été effectuée sur un deuxième lot de prélèvements. Pour obtenir une quantité représentative de matériel, nous avons procédé, pour chaque échantillon, au cumul des sédiments sur 5 cm. Chaque échantillon, après séchage à l'étuve à 50°C pendant six heures, est pesé puis traité avec H_2O_2 ; le reste de la procédure étant le même que le premier lot. Trois tamis superposés ont été utilisés pour le lavage : 1000 μ m, 500 μ m et 63 μ m de diamètre. Le tamis de 1000 μ m est utilisé comme tamis de protection ; le tamis de 500 μ m retient les débris de coquilles alors que le tamis de 63 μ m retient la fraction sableuse. Après séchage et pesée de chaque fraction obtenue le total déduit du poids initial représente la fraction pélitique. La détermination de ces trois fractions permet de préciser la lithologie.

1.2. Observation et identification des diatomées

L'observation, l'identification et le comptage des diatomées ont été faits au microscope optique (Leica DM 2500) au grossissement 1000. Sur chaque échantillon, un minimum de 300 valves a été compté sur les deux

lames et où la surface comptée a été notée. Les comptages permettent de calculer le nombre de valves par g de sédiment sec (abondance absolue) et la fréquence relative des espèces et groupes écologiques pour chaque échantillon. Nous avons distingué deux principaux groupes écologiques : marines-saumâtres et dulçaquicoles. Parallèlement, nous avons regroupé les espèces supportant des variations importantes de salinité sous l'appellation d'espèces euryhalines. Quant aux espèces marines, leur abondance a permis de les classer selon les modes de vie planctonique, benthique et épiphyte. Compte tenu de leur faible pourcentage, nous n'avons pas jugé utile de diviser les espèces d'eau douce en groupe écologique.

L'identification taxonomique et la classification écologique des diatomées ont été basées essentiellement sur les travaux de Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991), Foged (1986), Gasse (1986), Compère (1991), Vyverman (1991), Cocquyt (1998), Bey & Ector (2013) et Taylor & Cocquyt (2016). La classification selon la salinité est basée sur une compilation de classes de salinité établie par Van der Werff et al. (*in* Denys 1991).

1.3. Analyse statistique

Pour connaître la distribution des associations de diatomées le long de la carotte, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) basées sur la matrice présence-absence des espèces les plus constantes a été effectuée à l'aide du logiciel PAST version 3.12. L'évolution, le long de la carotte, de chaque paramètre a été traduite en graphique sur Excel et finalisée sur Paint.

2- Resultats

2.1. Description lithologique

La carotte montre de haut en bas la succession suivante (figure 2a):

- 0-40cm : vase sableuse grisâtre à débris végétaux ;
- 40-200cm : vase sablo-argileuse noire à débris végétaux ;
- 200-300cm : vase sableuse avec peu de débris végétaux ;
- 300-400cm : vase sableuse à débris végétaux fréquents et rares débris de coquilles vers le bas.

La fraction pélitique est largement dominante tout au long de la carotte (figure 2b), la fraction sableuse n'étant importante qu'à la base et au sommet.

2.2. Abondance des diatomées dans le sédiment

Les diatomées sont présentes tout au long de la carotte sauf dans les 10 derniers cm. Elles montrent deux pics à 310 cm ($160 \cdot 10^6$ valves par g de sédiment sec) et 40 cm ($125 \cdot 10^6$ valves par g de sédiment sec). Au-dessus de 40cm, le nombre de valves par g chute rapidement pour s'annuler au sommet (figure 2c).

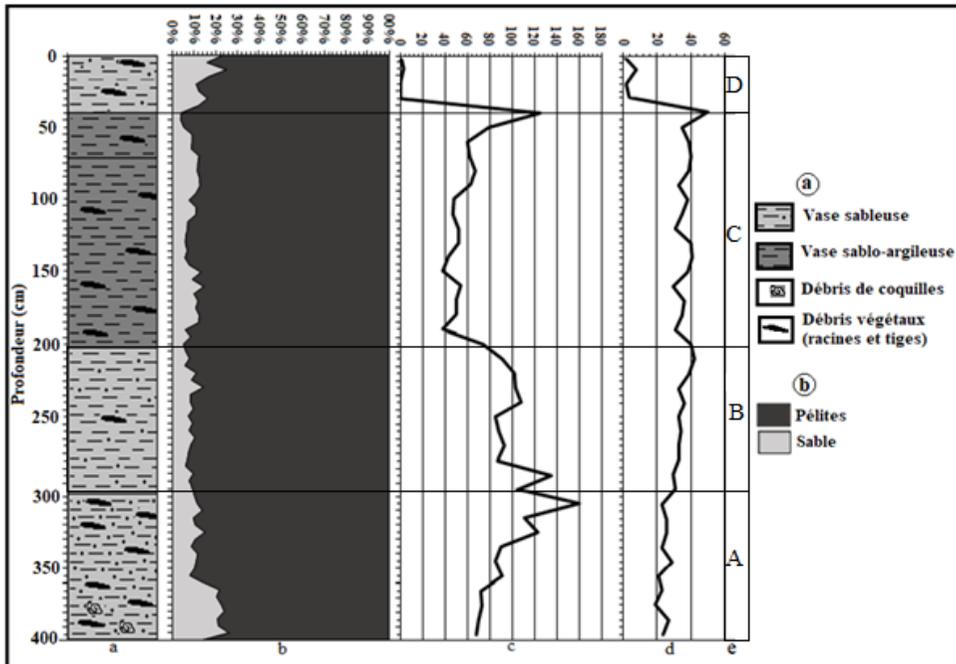


Figure 2. Lithologie (a), évolution du pourcentage de sable (b), du nombre de valves /g de sédiment sec (c), du nombre d'espèces (d) et zones diatomifères (e) le long de la carotte de Ndangane Babou.

2.3. Analyse de la richesse spécifique des diatomées

Un total de **89** taxons appartenant à **51** genres a été inventorié le long de la carotte (tableau 1). 8 espèces sont citées pour la première fois en Sénégal-Gambie. Les genres les plus représentés sont *Nitzschia* (11 espèces), *Coscinodiscus* (7 espèces), *Amphora* et *Navicula* (4 espèces chacune). Le long de la carotte, la richesse spécifique varie très peu (figure 2d). Elle suit l'évolution de la fraction pélitique avec un maximum de 50 espèces à 40 cm. La microflore est essentiellement composée d'espèces marines-saumâtres planctoniques surtout euryhalines (tableau 2 et figure 3). Elle est largement dominée par *Cyclotella striata*. Les quelques espèces d'eau douce rencontrées sont représentées essentiellement par *Cyclotella meneghiniana* et les genres *Aulacoseira* et *Nitzschia*.

Tableau 1. Liste des espèces de diatomées inventoriées le long de la carotte de Ndangane Babou, classées par groupe écologique et codes des espèces. Les espèces signalées pour la première fois en Séné-Gambie sont marquées d'un astérisque.

Taxons	Code	Taxons	Code
ESPECES MARINES-SAUMATRES		<i>Petronis monilifera</i> (Cleve) A.J. Stickle & D.G.Mann 1990	
Marines-saumâtres planctoniques		<i>Pinnunavis yarrensensis</i> (Grunow) H. Okuno 1975	
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory ex Greville) Hustedt 1957	Acno	<i>Plagiogramma rhombicum</i> Hustedt 1955	
<i>A. octonarius</i> Ehrenberg, 1837*	Acoc	<i>P. tenuistriatum</i> Cleve 1881	
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843	Atse	<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith 1852*	
<i>A. splendens</i> (Schadbolt) Ralfs 1861		<i>P. intermedium</i> W. Smith 1853	
<i>Auliscus sculptus</i> (W. Smith) Brightwell 1860	Ausc	<i>Pyxilla prolongata</i> Brun 1893*	
<i>Cerataulus smithii</i> Ralfs ex Pritchard 1861		<i>Seminavis ventricosa</i> (W.Gregory) M.Garcia-Baptista 1993	Seve
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864*		<i>Terpsinoe americana</i> (Bailey) Ralfs 1861	Team
<i>C. amanita</i> Cleve-Euler 1915	Cham	<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) Cleve 1894	Tras
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg 1844		<i>Triceratium favus</i> Ehrenberg 1839	trfa
<i>C. centralis</i> Ehrenberg 1839		<i>Trigonium alternans</i> (Bailey) A.Mann 1907	
<i>C. eccentricus</i> Ehrenberg 1840	Coec	Marines-saumâtres épiphytes	
<i>C. marginatus</i> Ehrenberg 1843	Coma	<i>Achnanthes brevipes</i> Agardh 1824	Acbr
<i>C. oculus-iridis</i> Ehrenberg 1840	Cooi	<i>Amphora crassa</i> Gregory 1857	
<i>C. perforatus</i> Ehrenberg 1844		<i>Cocconeis debesii</i> var. <i>rufisquiana</i> Amossé 1970	Code
<i>C. radiatus</i> Ehrenberg 1841	Cora	<i>C. diminuta</i> Pantocsek 19016-1902*	
<i>Cosmioneis pusilla</i> (W. Smith) D.G. Mann & Stickle 1990		<i>Nitzschia punctata</i> (W. Smith) Grunow 1880	
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow 1880	Cyst	<i>Plagiogramma appendiculatum</i> Giffen 1975	
<i>Cymatosira belgica</i> Grunow in Van Heurck 1881	Cybe	ESPECES D'EAU DOUCE	
<i>Hyalodiscus scoticus</i> (Kützing) Grunow 1879	Hysc	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing 1844	
<i>Navicula directa</i> (W. Smith) Brébisson 1854		<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen 1979	Auam
<i>Surirella striatula</i> Turpin 1828	Sust	<i>A. distans</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902	Thni	<i>A. granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979	Augr
<i>Thalassiosira decipiens</i> (Grunow) Jørgensen 1905	Thde	<i>Caloneis liber</i> (W. Smith) Cleve 1994	

<i>T. eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve 1904	Thec	<i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenberg 1840	Cacl
<i>T. oestrupii</i> (Ostenfeld) Hasle 1972	Thoe	<i>Cocconeis. placentula</i> Ehrenberg 1838	Codi
Marines-saumatres benthiques		<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G. Mann 1990	
<i>Amphora proteus</i> Gregory 1857	Ampr	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing 1844	
<i>Dimeregramma minus</i> (Gregory) Ralfs 1861	Dimi	<i>Diatoma vulgare</i> Bory 1824*	
<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg 1853	Dibo	<i>Falacia forcipata</i> (Greville) Stickle & D.G. Mann 1990	
<i>D. chersonensis</i> (Grunow) Cleve 1894		<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844	
<i>D. smithii</i> (Brébisson) Cleve 1894	Dism	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	
<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1845*		<i>N. linearis</i> (Agardh) W. Smith 1853	
<i>E. paludosa</i> (W.Smith) Reimer 1975*		<i>N. lorenziana</i> Grunow in Cleve & Möller 1879	
<i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg 1840	Groc	<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	
<i>Gyrosigma balticum</i> (Ehrenberg) Cleve 1894		<i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith 1853	
<i>Halamphora coffeaeformis</i> (Agardh) Mereschkowsky 1903		<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg 1843	
<i>Hemidiscus weissflogi</i> (Grunow) Kuntze 1898	Hewe	<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg 1843	
<i>Nitzschia granulata</i> Grunow 1880	Nigr	<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova 1996	Plde
<i>N. lanceola</i> Grunow 1880		<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) Williams & Round 1988	Psbr
<i>N. scalaris</i> (Ehrenberg) W. Smith 1853		<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller 1899	Rhgi
<i>N. vidovichii</i> Grunow 1862		<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg 1843	
<i>Opephora martyi</i> Heribaud 1902		<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) William & Round 1987	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve 1873	Pasu	<i>Tabellaria fasciculata</i> (Agardh) D.M. William & Round 1986	
<i>Petroneis latissimi</i> (Gregory) A.J.Stickle & D.G.Mann 1990*		<i>Tryblionella hantzschiana</i> Grunow 1862	trha
<i>P. marina</i> (Ralfs) D.G. Mann in Round et al. 1990	-	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère 2001	

Tableau 2. Liste des espèces euryhalines de diatomées inventoriées le long de la carotte de Ndangane Babou, classées par ordre alphabétique.

ESPECES EURYHALINES	
<i>Achnanthes brevipes</i>	<i>Halamphora coffeaeformis</i>
<i>A delicatula</i>	<i>Hemidiscus weissflogi</i>
<i>Actinocyclus normanii</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>
<i>Amphora ovalis</i>	<i>Nitzschia N. lanceola</i>
<i>Campylodiscus clypeus</i>	<i>N. lorenziana</i>
<i>Cosmioneis pusilla</i>	<i>N. sigma</i>
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>N. tryblionella</i>
<i>C. striata</i> (Kützing)	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>
<i>Cymatosira belgica</i>	<i>Rhopalodia gibberula</i>
<i>Diploneis smithii</i>	<i>Seminavis ventricosa</i>
<i>Entomoneis paludosa</i>	<i>Surirella striatula</i>

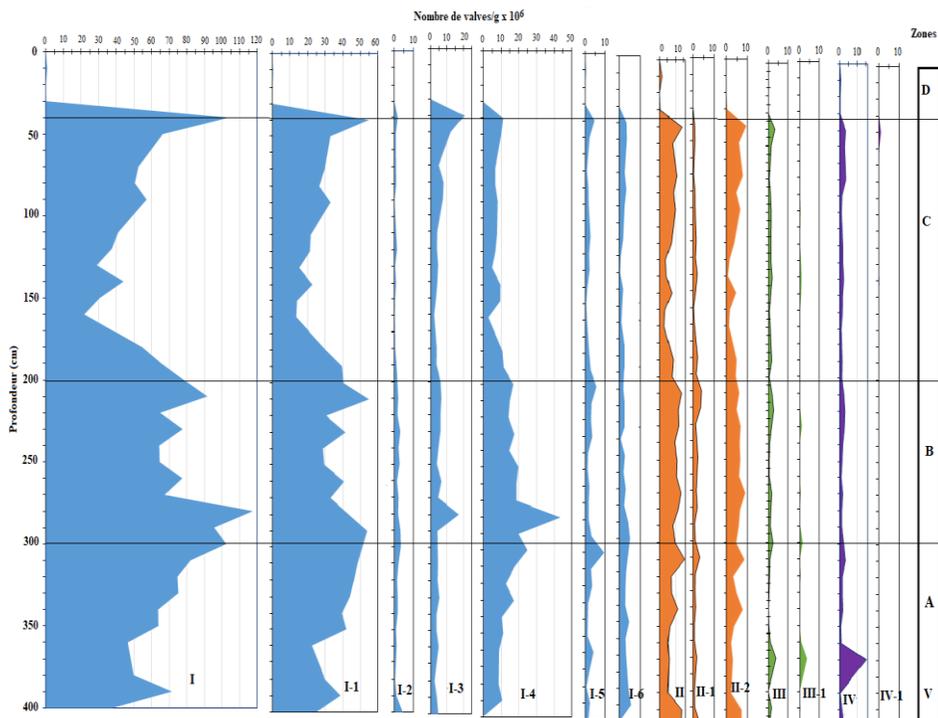


Figure 3. Evolution du nombre de valves par g de sédiment sec des groupes écologiques, des espèces dominantes de diatomées le long de la carotte de Ndangane Babou : marines-saumâtres planctoniques (I), marines-saumâtres benthiques (II), marines-saumâtres épiphytes (III), eau douce (IV) et zones diatomifères (V) : I-1 = *Cyclotella striata*, I-2 = *Actinocyclus normanii*, I-3 = *Thalassiosira decipiens*, I-4 = *Thalassiosira eccentrica*, I-5 = *Thalassionema nitzschioides*, I-6 = *Actinoptochus senarius*, II-1 = *Hemidiscus weissflogii*, II-2 = *Paralia sulcata*, III-1 = *Nitzschia punctata*, IV-1 = *Pseudostaurosira brevistriata*.

2.4. Distribution des diatomées

L'analyse factorielle des correspondances (AFC)

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) basée sur la matrice présence-absence des espèces les plus constantes a permis de visualiser la distribution des échantillons et de distinguer quatre zones (figure 4) correspondant aux quatre zones définies le long de la carotte (figure 2, 3 et 5). Les deux premiers axes factoriels de l'AFC représentent 46,80 % de la variabilité expliquée et ces résultats confirment les quatre groupes d'échantillons qui sont bien différenciés. La répartition de ces taxons suivant l'AF1 correspond à un gradient de la salinité car on trouve à droite les assemblages A et B dont les espèces sont plus tolérantes à la salinité et à gauche les assemblages C et D qui contiennent les espèces les moins tolérantes à la salinité.

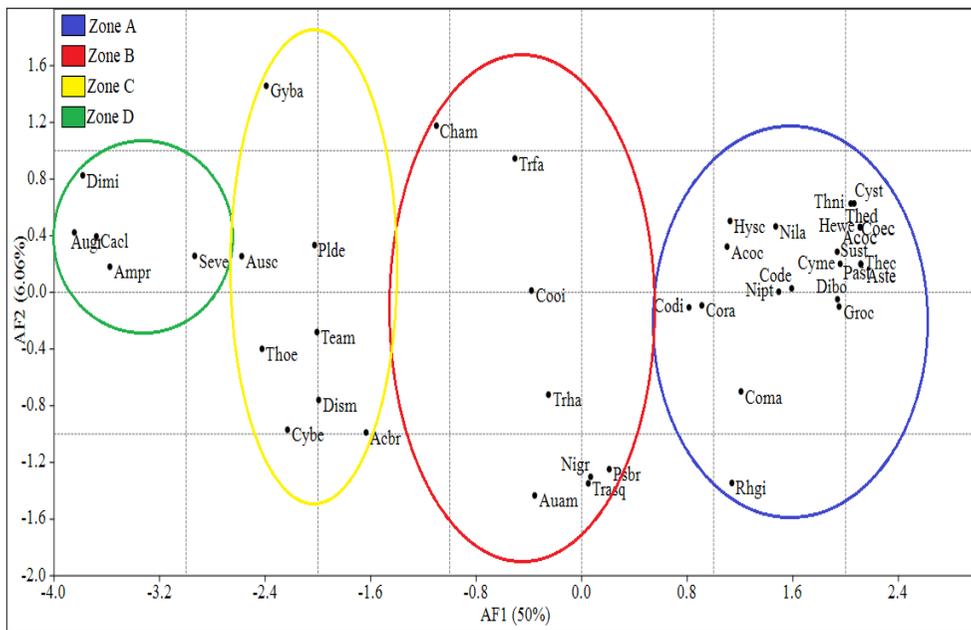


Figure 4. Analyse factorielle des correspondances (AFC) des diatomées le long de la carotte de Ndangane Babou. Le code des espèces est indiqué sur le tableau 1.

De 400-300 cm (zone A) les débris végétaux sont fréquents (figure 2a). Dès la base on note une diversité spécifique assez importante 24 espèces à 400 cm (figure 2d). L'abondance absolue augmente de la base au sommet où elle dépasse 160.10^6 valves par g de sédiment sec (figure 2c). Cette augmentation est surtout due à la prolifération des espèces marines-saumâtres planctoniques (figure 3-I) dont le pourcentage atteint parfois 90% (figure 5-I) ; elles sont dominées par *Cyclotella striata* (figures 3-I-1) accompagnée par *Thalassiosira eccentrica* (figure 3-I-4) et *Thalassiosira decipiens* (figure 3-I-3),

Actinoptychus senarius (figure 3-I-6) et *Actinocyclus normanii* (figure 3-I-2). Quelques formes d'eau douce s'y développent avec une abondance absolue maximale de $15,22 \cdot 10^6$ valves/g de sédiment sec à 360 cm (figure 3-IV) et relative dépassant 21% (figure 5-IV). Elles sont dominées par *Cyclotella meneghiniana* accompagnée par *Nitzschia scalaris* et *Ulnaria ulna* qui n'apparaissent que dans cette zone. Le pourcentage des espèces euryhalines varie entre 50 et 60% sauf à la base où il atteint 77% (figure 5-V).

Dans la zone B (300-200 cm) les débris végétaux sont moins fréquents. L'abondance absolue diminue d'une façon irrégulière. La diversité spécifique (en nombre de taxons) augmente et atteint 42 espèces à 210 cm. La microflore reste dominée par les formes marines-saumâtres planctoniques avec les mêmes espèces que dans la zone A. Ce groupe écologique est renforcé par des espèces nouvellement apparues telles *Thalassiosira oestrupii*, *Cymatosira belgica* et *Auliscus sculptus*. En contrepartie, on assiste à la disparition de certaines espèces comme *Coscinodiscus asteromphalus*, *Chaetoceros affinis*, *Navicula directa*, *Navicula tripunctata*. L'abondance absolue des formes marines-saumâtres benthiques augmente également (figure 3-II) de même que leur diversité. Elles restent dominées par *Paralia sulcata* (figure 3-II-2) dont les valves sont généralement de petite taille. Puis apparaissent de nouvelles espèces comme *Nitzschia vidovichii*, *Opephora martyi*, *Entomoneis paludosa* et *Halamphora coffeaformis*. Les formes marines-saumâtres épiphytes (figure 3-III) comme dulçaquicoles (figure 3-IV), bien que peu abondantes, sont constantes dans la zone et dominées respectivement par *Nitzschia punctata* (figure 3-III-1), et *Pseudostaurosira brevistriata* (figure 3-IV-1) renforcée par *Staurosira construens*, *Pinnularia viridis* et *Nitzschia amphibia*. Leur pourcentage reste cependant très faible, inférieur à 5% (figure 5-III et IV). Le pourcentage des espèces euryhalines reste inférieur à 60%.

Dans la zone C (200-40 cm), la faible diminution du pourcentage des sables (figure 2b) est accompagnée d'une augmentation des débris végétaux (figure 2a). L'abondance absolue des diatomées augmente lentement avant de connaître une brusque augmentation au sommet de la zone (figure 2c). Ce pic affecte tous les groupes écologiques. La diversité spécifique (en nombre de taxons) évolue très peu avant d'augmenter rapidement et atteindre son maximum (50 espèces) à 40 cm (figure 2d). La microflore reste dominée par les formes marines-saumâtres planctoniques avec les mêmes dominantes que précédemment. Les formes marines saumâtre benthique sont marquées par l'apparition de quelques rares valves de *Pleurosigma intermedium*, *Plagiogramma rhombicum*, *Petroneis marina* et *Pyxilia prolungata*. Les formes marines-saumâtres épiphytes ont une présence constante mais disparaissent au sommet de la zone. Les espèces d'eau douce telle qu'*Achnanthes delicatula* augmentent d'abondance dans la partie supérieure de la zone avec notamment de nouvelles apparitions. Des squelettes de

Dictyocha fibula Ehrenberg (1839) (silicoflagellés) sont également rencontrés.

Dans la zone D (40-00 cm) la fraction pélitique, après un maximum de 96% entre 45 et 50 cm, chute rapidement vers le sommet. L'abondance absolue comme la diversité spécifique des diatomées, après le pic à la base de la zone, chutent rapidement pour s'annuler à 10 cm de la surface. Seules six espèces se poursuivent dans cette zone : 2 marines-saumâtres planctoniques, 3 marines-saumâtres benthiques et 2 d'eau douce. Les formes marines-saumâtres épiphytes sont absentes et la microflore dulçaquicole s'enrichit d'une nouvelle et troisième espèce : *Aulacoseira granulata*. En valeurs relatives, les formes marines-saumâtres planctoniques diminuent d'importance au profit des formes benthiques et d'eau douce (figure 5-II et IV).

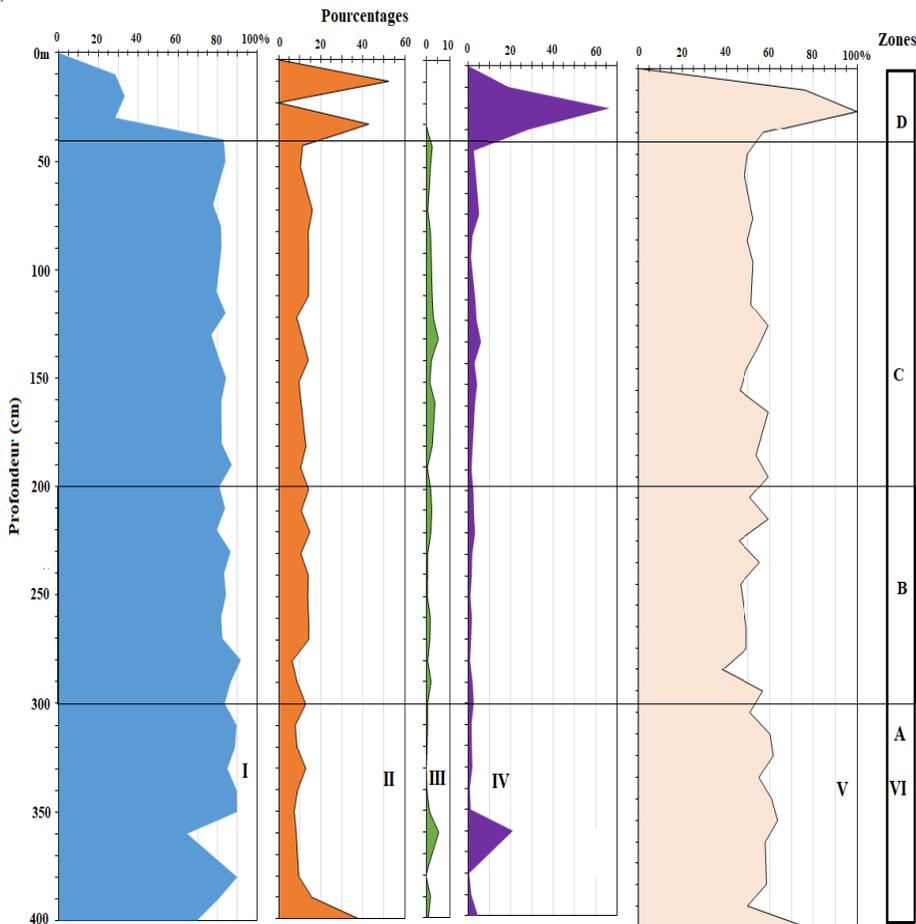


Figure 5. Evolution du pourcentage des espèces marines-saumâtres planctoniques (I), marines-saumâtres benthiques (II), marines-saumâtres épiphytiques (III), d'eau douce (IV), euryhalines (V) et zones diatomifères (VI) le long de la carotte de Ndangane Babou.

3. Discussion

La fraction sableuse aurait une origine marine tel qu'en atteste le caractère sub-émoussé et luisant des grains de quartz (Diouf, 1996). Son taux faible tout au long de la carotte pourrait s'expliquer par l'éloignement du site de l'embouchure (85 km). Les argiles quant à elles, seraient héritées du Continental Terminal (Ausseil-Badie et al., 1991). Cette dernière fraction, largement dominante, présente une corrélation positive avec la richesse spécifique ainsi que la courbe de variation du nombre de valves de diatomées/g de sédiment sec, assimilable à une courbe de paléoprodutivité primaire (Sow & Diène 2002). Cette productivité était assez importante à la base (54.10^6) et très faible à nulle au sommet de la carotte. Elle est comparable à celle de Ziguinchor (prélevée à 75 km de l'embouchure de l'estuaire de la Casamance) où la fraction pélique est dominante et la microflore composée essentiellement de formes marines à marine-saumâtres. Les différences constatées dans la lithologie et la richesse spécifique par rapport aux autres carottes le long de la Casamance – Sédhiou (Sow et Diène, 2002) et Diana Malari (Sow et al., 2002) - s'explique par leur position plus éloignée de l'embouchure et par conséquent, l'influence plus importante des apports fluviaux.

A Ndongane Babou, l'espèce dominante, *Cyclotella striata*, est une espèce marine littorale (Hustedt 1930), euryhaline, marine ou continental (Barde-Labayle-Boune, 1980), mésohalobe (Foged, 1986 et 1987), halophile en eaux saumâtres (Vyverman, 1991). Il s'agit donc d'une espèce tolérant une large gamme de salinité allant des eaux marines aux eaux douces mais à conductivité élevée, fréquente sur toutes les côtes de la mer du Nord et des estuaires du Tay et Clyde (Hendey, 1964).

Dans la zone A, les débris végétaux proviendraient de la mangrove en cours d'installation dans cette zone ; autour de 6130 et 6070 correspondant à l'âge le plus ancien obtenu sur le substratum sédimentaire par Kalck (1978). Dans ce milieu, la paléo-productivité primaire était élevée comme en atteste l'abondance absolue des diatomées. La dominance des espèces marines-saumâtres planctoniques avec à leur tête *Cyclotella striata* indique une ouverture du cour d'eau sur la mer, aucun mouvement eustatique significatif n'ayant été signalé après le Nouakchottien. Les apports en eau douce étaient cependant importants par moments, ce qui a occasionné le développement d'espèces oligohalobes, notamment halophiles. Les dépôts de cette zone correspondraient à ceux de l'Unité inférieure sablo-argileuse d'Ausseil-Badie et al. (1991) datée de 6130 à 3500 ans B.P. Selon les auteurs, le rapport « minéraux micacés/kaolinite » proche de $\frac{1}{2}$ reflète l'influence du Continental Terminal dans la région du Saloum. Ils signalent par ailleurs que les assemblages de foraminifères indiquent un milieu deltaïque ouvert aux

influences marines mais faiblement, à cause du caractère euryhalin de l'assemblage.

La zone B est marquée par une augmentation de la paléo-biodiversité affectant les espèces marines-saumâtres comme d'eau douce. La constance des espèces dulçaquicoles, bien qu'étant majoritairement euryhalines, indique le maintien de la double influence : marine et fluviale.

L'ouverture sur la mer est confirmée par la présence de valves de *Paralia sulcata* (forme marine benthique) de petite taille, interprétée par Abrantes (1991) comme un indicateur de milieu riche en sels nutritifs d'origine marine et par Margalef (1978) et Margalef et al. (1979) qui considèrent, à partir de leurs études le long de l'Atlantique ouest, que les petites cellules de *Paralia sulcata* dominant dans le centre de l'upwelling.

Les dépôts de cette zone correspondraient à ceux de la première Unité de la Formation des siltites argileuses et sableuses supérieures d'Ausseil-Badie et al. (1991) datée de 2000 à 1500 ans B.P. D'après les auteurs les argiles seraient également héritées du Continental Terminal (60 à 85% de kaolinites).

Dans la zone C la paléo-productivité primaire est croissante et atteint son maximum absolu au sommet de la zone, de même que la paléo-biodiversité. La double influence marine/fluviale constatée avant se poursuit. La présence constante du silicoflagellé *Dictyocha fibula* considéré comme polyhalobe planctonique, mésoeuryhaline et eutrophe dans les eaux côtières et marines chaudes (Horner 2002) avec un maximum de développement dans les zones sous influence fluviale (Rigual-Hernandez *et al.* 2010) s'inscrit parfaitement dans cette dynamique. Le sommet de cette zone correspond à la période où la paléo-productivité primaire et la paléo-biodiversité atteignent leur maximum, corrélativement au taux de pélites.

Les dépôts de cette zone correspondraient à ceux de la deuxième Unité de la Formation des siltites argileuses et sableuses supérieures d'Ausseil-Badie et al. (1991) datée de 1020 à 600 ans B.P. D'après les auteurs les associations de microfaune et la présence de pyrite diagenétique indiquent une sédimentation en milieu intertidal avec des apports d'eau douce.

Dans la zone D, l'augmentation de la fraction sableuse est bien connue au sommet de la série sédimentaire des dépôts de remplissage de l'estuaire du Saloum (Ausseil-Badie et al., 1991 ; Barusseau et al., 1985). Après une prolifération de tous les groupes écologiques de diatomées, on assiste à une diminution brutale de la paléo-productivité et de la paléo-biodiversité avant la disparition complète des diatomées. Cette chute est à mettre en parallèle avec l'augmentation du taux de sable. Dans cette zone l'augmentation de l'abondance relative des espèces dulçaquicoles semble indiquer un léger accroissement des influences fluviales à la base de la zone, consécutive d'une période humide datée de 1800 à 1500 ans par Carré et al., (2018) obtenu par

analyse des isotopes stables sur des amas coquilliers archéologiques du Saloum. Les formes dominantes de diatomées : *Pseudostaurosira brevistriata*, *Amphora ventricosa*, *Campylodiscus clypeus* sont des espèces d'eau douce à tendance euryhaline, donc tolérant une forte concentration en sels minéraux, ce qui indique le maintien des conditions de salinité variables. La diminution des formes planctoniques au profit des benthiques serait due à une diminution de la profondeur du cour d'eau et confirme une augmentation des apports continentaux qui auraient drainé ici une partie des sables.

L'absence de diatomées dans les 10 derniers cm serait attribuée à l'hydrodynamisme qui est également responsable de l'augmentation de la fraction sableuse. Ces sables seraient d'origine marine et introduits sous l'effet du fonctionnement estuarien inverse (Barusseau et al., 1985) en climat aride.

Conclusion

Il existe une bonne corrélation entre le pourcentage des pélites, l'abondance absolue des diatomées et la richesse spécifique. Le taux faible de sable majoritairement d'origine marine tout au long de la carotte pourrait s'expliquer par l'éloignement du site par rapport à l'embouchure du fleuve. L'analyse de la microflore à diatomées le long de la carotte de Ndangane Babou a permis d'inventorier 89 espèces et variétés appartenant à 51 genres. Les genres les plus représentés sont *Nitzschia* (11 espèces), *Coscinodiscus* (7 espèces), *Amphora* et *Navicula* (4 espèces chacune). La dominance des espèces euryhalines tout au long de la carotte sédimentaire ainsi que la présence constante de formes d'eau douce témoignent de variations de la salinité entre les périodes hivernales marquées par des apports d'eau douce et les périodes sèches.

Dans la zone A datée de 6130 à 3500 ans B.P., le dépôt s'est fait en milieu deltaïque ouvert aux influences marines avec une paléo-productivité primaire déjà élevée. La composante argileuse de la fraction pélitique serait héritée du Continental Terminal.

La zone B est marquée par une augmentation de la paléo-biodiversité avec des courants d'upwelling côtier qui atteignaient le site et apportaient des sels nutritifs d'origine marine ayant permis le développement de *Paralia sulcata* de petite taille. Les influences fluviales se confirment de même que l'origine continentale des argiles.

Dans la zone C, La double influence marine/fluviale constatée avant se poursuit. La présence constante de *Dictyocha fibula* témoigne, en plus de l'influence fluviale, l'existence d'un climat chaud. Au sommet de cette zone le taux de pélites, la paléo-productivité primaire et la paléo-biodiversité atteignent leur maximum. Cette augmentation serait consécutive d'un léger accroissement des influences fluviales consécutives d'une période humide.

Dans la zone D, la baisse brutale du taux de péliste, de la paléo-productivité et de la paléo-biodiversité est à mettre en parallèle avec l'hydrodynamisme du milieu. Cet hydrodynamisme croissant serait à l'origine de l'absence de diatomées dans les dix derniers centimètres. Il serait consécutif d'une diminution de la profondeur du cour d'eau avec une origine continentale d'une partie des sables.

References:

1. Abrantes, F., (1991). Increased upwelling off Portugal during the last glaciation: Diatom evidence. *Marine Micropaleontology*, 17, 285-310.
2. Ausseil-Badie, J., Barousseau, JP, Descamps, C., Diop, EHS., Giresse, P. & Pazdur, M., (1991). Holocene deltaic sequence in the Saloum estuary, Senegal. *Quaternary Research*, 36, 178-194.
3. Ausseil-Badie, J. & Monteillet, J., (1985). Incidence des variations climatiques récentes enregistrées par la microfaune et la malacofaune des estuaires du Sénégal et du Saloum. *Océanographie tropicale*, 20 (2), 151-160.
4. Azzoug, M., Carré M. & Schauer, AJ, (2012). Reconstructing the duration of the West African Monsoon season from growth patterns and isotopic signals of shells of *Anadara senilis* (Saloum Delta, Senegal). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 346–347, 145–152.
5. Barousseau, JP, Diop, ES, Monteillet, J. & Ocha, CY, (1985). Caractères sédimentologiques. *In: L'estuaire et la mangrove du Sine - Saloum*. Atelier régional UNESCO/COMAR tenu à Dakar (Sénégal) du 28 février au 5 mars 1983. Rapport UNESCO sur les Sciences de la Mer, 32, 28-44.
6. Barde-Labayle-Bouines, MF, (1980). Les Diatomées du Quaternaire terminal de l'Atlantique nord-oriental. Apport à la connaissance des phénomènes hydrologiques. Thèse de doctorat ès sciences, Bordeaux 1, 155 p., 15 pl.
7. Bey, MY & Ector, L., (2013). Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhone-Alpes. Site internet de la DREAL Rhône-Alpes, www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr, 1180p.
8. Carré, M., Azzoug, M., Zaharias, P., Camara, A., Cheddadi, R., Chevalier, M., Fiorillo, D., Gaye, AT, Janicot, S., Khodri, M., Lazar, A., Lazareth, CE, Mignot, J., García, NM, Patris, P., Perrot, O., Wade, M., (2018). Modern drought conditions in western Sahel unprecedented in the past 1600 years. *Climate Dynamics* <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4311-3>
9. Cocquyt, C., (1998). Diatoms from the northern basin of Lake Tanganyika. *Bibliotheca Diatomologica* 39, 275 p.

10. Compère, P., (1991). Contribution à l'étude des algues du Sénégal. Algues du lac de Guiers et du Bas Sénégal. Bulletin du Jardin Botanique Nationale de Belgique, 61, 171-267.
11. Denys L., (1991). A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirement. Part 1. Service Géologique de Belgique, Professional Paper, 1991/2, 246, 134p.
12. Descroix, L., Sané, Y., Thior, M., Manga, SP, Ba, BD, Mingou, J., Mendy, V., Coly, S., Dièye, A., Badiane, A., Senghor, MJ, Diedhiou, AB, Sow, D., Bouaita, Y., Soumaré, S., Diop, A., Faty, B., Sow, BA, Machu, E., Montoroi, JP, Andrieu, J. & Vandervaere, JP, (2020). Inverse Estuaries in West Africa: Evidence of the Rainfall Recovery? *Water* **2020**, *12*, 647. <https://doi.org/10.3390/w12030647>
13. Dia, IMM, (2003). Elaboration et mise en œuvre d'un plan de gestion intégrée. La réserve de biosphère du delta du Saloum, Sénégal. Programme Zones Humides et Ressources en Eau UICN Sénégal, 130 p.
14. Dieye, EB, Diaw, AT., Sané, T. & Ndour, N., (2013). « Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010 ». *Cybergeo: European Journal of Geography* [In line], Environnement, Nature, Paysage, document 629, posted on January 09, 2013, consulted on March 01, 2016. URL: <http://cybergeo.revues.org/25671> ; DOI : 10.4000/cybergeo.25671
15. DIOP, ES, (1978). L'estuaire du Saloum et ses bordures (Sénégal). Etude de géomorphologie. Thèse de 3eme cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 247 p, 54 fig., 4 pl.
16. DIOP, ES, (1986). "L'écosystème mangrove: l'exemple des "Rivières du sud", *In UNESCO-MAB, Écologie d'un écosystème spécifique à usages multiples: la mangrove*, (Cours de sensibilisation, 01-06 décembre 1986, Dakar, Toubacouta), Paris, rapport final, 290 p.
17. DIOUF, PS, (1996). Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest: l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, 267 p + annexes.
18. Foged, N., (1986). Diatoms in Gambia. *Bibliotheca Diatomologica*, 12 (1), 124p., XI pl.
19. Foged, N., (1987). Diatom from Viti Levu, Fiji Islands. *Bibliotheca Diatomologica*, 14, 124p., XI pl.
20. Gasse, F., (1986). East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution. *Bibliotheca Diatomologica*, 11, 217 p., VII pl.

21. Gueye, A., Badiane, I., Sow, E., Fofana, CAK, (2020). Synopsis des diatomées de la Séné-Gambie. *Afrique Science* 17(3), 78 - 109 78 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>
22. Hendey, NI (1964). An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V: Bacillariophyceae (diatoms). pp. [i]-xxii, 1-317. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fishery Investigations. Her Majesty's Stationery Office.
23. Horner, RA, (2002). *A Taxonomic Guide to Some Common Phytoplankton*. Biopress Limited, Dorset Press, Dorchester, UK. 200
24. Hustedt, F., (1930). Heft 10. Bacillariophyta (Diatomeae). In A. Pascher (ed.), *Die Süßwasser-flora Mitteleuropas, Zweite Auflage*. Verlag von Gustav Fischer, Jena, [i]-vii, [1]-466.
25. JICA, (2005). Etude pour une gestion durable de la mangrove de la Petite Côte et du Delta du Saloum de la république du Sénégal. Plan de gestion durable de la mangrove. Rapport final, février 2005, 193 p.
26. Kalck, Y., (1978). Evolution des zones de mangroves au Quaternaire récent. Etudes géologiques et géochimiques. Thèse de 3^{ème} cycle, U.L.P. Strasbourg, 120p.
27. Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., (1986). Bacillariophyceae. 1 Teil: Naviculaceae. *Subwasserflora von Mitteleuropa* 2/1, xiv + 876p., Stuttgart, Gustav Fischer.
28. Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., (1988). Bacillariophyceae. 2 Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Subwasserflora von Mitteleuropa* 2/2, x + 596p., Stuttgart, Gustav Fischer.
29. Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., (1991). Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. *Subwasserflora von Mitteleuropa* 2/3, xiii + 576p., Stuttgart, Gustav Fischer.
30. Margalef, R., (1978). Life Forms of Phytoplankton as Survival Alternatives in an Unstable Environment. *Oceanology Acta*, 1, 493-509.
31. Margalef, R., Estrada, M. & Blasco, D., (1979). Functional morphology of organisms involved in red tides, as adapted to decaying turbulence. In Taylor, D. and Seliger, H. (eds), *Toxic Dinoflagellate Blooms*. Elsevier, New York, pp. 89–94.)
32. Pagès, J. & Citeau, J., (1990). Rainfall and salinity of a Sahelian estuary between 1927 and 1987. *Journal of Hydrology*, 113, 325–341
33. Rigual-Hernandez, AS, Barcena, MA, Sierro, FJ, Flores, JA, Hernandez-Almeida, I, Sanchez-Vidal, A., Palangues, A. & Heussner, S., (2010). Seasonal to interannual variability and geographic distribution of the silicoflagellate fluxes in the Western Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, 77(1-2), 46-57.

34. Sow, E., (2021). Synopsis of senegal diatoms. Generis Publishing: 203 p. ISBN 9798718397512: www.generis-publishing.com
35. Sow, E. & Diene, M., (2002). Résultats préliminaires sur les Diatomées de la Casamance (Sénégal) : mise en évidence de deux périodes pluviales le long du sondage de Sédhiou. *Diatom Research*, 17 (1), 219-234.
36. Sow, E., Sarr, R. & Diop-Ngom, F., (2005). Les diatomées du Quaternaire récent de Diana Malari (Casamance, Sénégal): implications paléoclimatiques. *Sécheresse*, 16, 137–142.
37. Sow, E., Sarr, R. & Malou, R., (2002). Evolution de la microflore à diatomées du Nouackchottien à l’actuel le long du sondage de Ziguinchor: implications paleoenvironnementales. *Journal des Sciences*, 02, 75–84.
38. Sow, FM, (2005). Les fonctions de la mangrove dans la structuration et la biologie des peuplements de poissons de l’estuaire du Sine-Saloum, Thèse de troisième cycle, Université Cheikh Anta Diop, 141 p.
39. Taylor, JC & Cocquyt, C., (2016). Diatoms from the Congo and Zambezi Basins - Methodologies and identification of the genera. *ABC Taxa*, 16, 364p.
40. Vyverman, W., (1991). Diatoms from Papua New Guinea. *Bibliotheca Diatomologica*, 22, 433p.