



Evolution morphosédimentaire de la côte nord de Dakar (Sénégal) : exemple des plages de Guediawaye et Malika

Morphosedimentary evolution of the northern coast of Dakar (Senegal): example of Guediawaye and Malika beaches

Papa SAGNE ^(1,2), Boubacar FALL ⁽¹⁾, Kader BA ^(1,2), Jean-Paul Marcel YOUM ^(1,2),
Jean-Pierre GANE SARR ⁽¹⁾ & El hadji SOW ⁽¹⁾

Abstract: Coastal areas management which faces major challenges such as coastal erosion implies an in-depth knowledge of their functioning. Thus, this study proposes, through topographic and sedimentological methods, to know the morphosedimentary dynamics of the northern coast of Dakar which is currently under strong human pressure.

Topographic methods allowed to highlight relatively narrow beaches with a certain variability in morphological characteristics depending on the wave regime. The average width is 48.31 m and the average slope is 5.03%. The dominant shape of the profiles is concavo-convex. However, these aerial beaches on the north coast of Dakar are slightly wider than those in the west and south. These methods have also made it possible to identify a negative annual balance sheet of vertical movements indicating an erosive tendency and a seasonal cycle of this movements with a predominance of erosion during the dry season and accumulation during the rainy season.

Sedimentological methods have shown fine to medium sands very well to moderately well classified. The scatter diagram shows a certain heterogeneity which, combined with the bimodal sediments sometimes found, indicate a high variability of hydrodynamic conditions and/or different sediment sources.

Keywords: beach profile, morphosedimentary, vertical movements, sediments, grain size

Résumé : La gestion des zones côtières qui se confronte à des défis majeurs comme l'érosion côtière implique une connaissance approfondie de leur fonctionnement. Ainsi, cette étude se propose, à travers des méthodes topographiques et sédimentologiques, de connaître la dynamique morphosédimentaire de la côte nord de Dakar qui subit actuellement une forte pression humaine.

Les méthodes topographiques ont permis de mettre en évidence des plages aériennes relativement étroites avec, en moyenne, une largeur de 48,31 m et une pente de 5,03 %, et une certaine variabilité des caractéristiques morphologiques selon le régime des houles. La forme dominante des profils est concavo-convexe. Toutefois, ces plages aériennes de la côte nord de Dakar sont légèrement plus larges que celles de l'ouest et du sud. Ces méthodes ont également relevé un bilan annuel négatif des mouvements verticaux indiquant une tendance érosive et un cycle saisonnier de ces mouvements avec une prédominance des érosions pendant la saison sèche et des accumulations pendant l'hivernage.

Les méthodes sédimentologiques ont montré des sables fins à moyens très bien à moyennement bien classés. Le diagramme de dispersion montre une certaine hétérogénéité qui, cumulé aux sédiments bimodaux parfois retrouvés indique une forte variabilité des conditions hydrodynamiques et/ou des sources sédimentaires différentes.

Mots clés : profil de plage, morphosédimentaire, mouvements verticaux, sédiments, granulométrie,

INTRODUCTION

Le littoral est un espace exigu caractérisé par des mouvements sédimentaires importants qui occasionnent des variations morphologiques au niveau des profils de plage dont l'importance dépend en grande partie de la nature et de l'amplitude des agents hydrodynamiques que sont les houles, les vagues et les marées (IBE & QUELENNEC, 1989). Ces variations morphologiques sont donc des réponses graduelles des plages aux changements des conditions hydrodynamiques (FALL, 2004 ; SAGNE *et al.*, 2019).

⁽¹⁾ : Laboratoire de Biostratigraphie-Sédimentologie, Département de Géologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal). Courriels : sagneucad@hotmail.fr ; boubafall@yahoo.fr ; kaderba73@gmail.com ; youmjeanpaul@yahoo.fr ; sarrjeanpierre9@gmail.com ; elhsow@yahoo.fr

⁽²⁾ : Laboratoire de Télédétection Appliquée, Institut des Sciences de la Terre, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal).

Le littoral constitue, par ailleurs, le siège de multiples enjeux environnementaux et socio-économiques (PASKOFF, 1984 ; NIANG-DIOP, 1995). Les potentialités économiques de cette zone sont actuellement les principales raisons de la forte pression humaine dont elle est victime.

Aujourd'hui, la gestion de la zone côtière se trouve confrontée à des défis majeurs tels que le phénomène de l'érosion côtière entre autres qui, par les modifications lentes ou brutales qu'il occasionne, constitue une grande contrainte pour son aménagement (SAGNE *et al.*, 2020). Le préalable pour la gestion efficace de cet environnement complexe implique une connaissance approfondie de son système de fonctionnement (PINOT, 1998 ; NDOUR, 2015).

Du point de vue dynamique, la côte nord de Dakar qui subit actuellement une forte pression humaine (coupes de filaos, constructions, extension de la Voie de Dégagement Nord...) n'a jusqu'à présent fait l'objet que d'une étude morphosédimentaire (FALL, 2004) limitée uniquement à la plage de Yoff. De ce fait, cette étude réalisée entre octobre 2017 et octobre 2018 au niveau de la zone de Malibu à Malika (au nord de Dakar) à travers des profils de plage transversaux au rivage et des échantillonnages sédimentologiques effectués dans différents endroits de ces profils, se propose de déterminer :

- les caractéristiques morphologiques (largeurs et pentes et forme des profils) de chaque unité morphologique de la plage, ainsi que leurs variations selon la variabilité des conditions hydrodynamiques ;
- le bilan annuel des mouvements sédimentaires verticaux qui correspond à la tendance de l'évolution des érosions et accumulations en réponse à l'action des agents hydrodynamiques ;
- la nature, la taille, le classement et l'homogénéité des sédiments de cette zone qui, en grande partie, dépendent aussi des facteurs hydrodynamiques.

La connaissance de la dynamique morphologique et sédimentaire de cette zone en réponse à l'action des agents hydrodynamiques permettra aux décideurs de bien gérer son occupation et de mieux la préserver.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La portion du littoral nord de Dakar faisant l'objet de cette étude s'étend de la plage de Malibu au sud-ouest à celle de Malika au nord-est (Fig. 1).

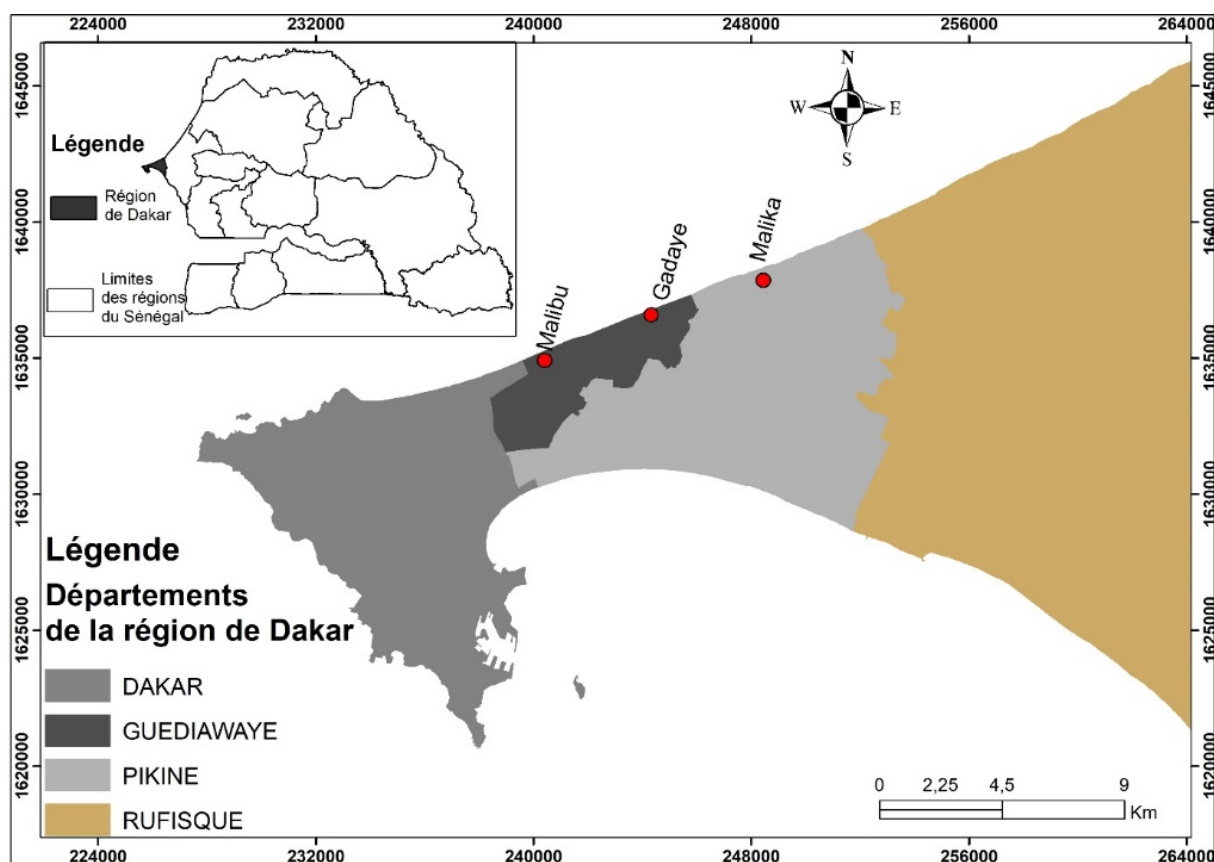


Figure 1 - Situation de la zone d'étude.

Du point de vue administratif, la plage de Malibu appartient à la commune de Golf Sud dans le département de Guédiawaye alors que celle de Gadaye se situe dans la commune de Wakhinane Nimzatt dans le même département. Cependant, la zone de Malika se situe au nord du département de Pikine.

La zone d'étude est sous l'influence des vents du N, du NNE et du NE dont les actions se font plus sentir entre novembre et avril (SAGNE, 2015). Leurs vitesses varient entre 4,46 et 5,17 m/s. Ces vents entraînent le déplacement d'importantes quantités de sédiments de la haute plage et des dunes vers le continent. Par ailleurs, ils auraient entraîné une amplification des houles du nord-ouest (SAGNE *et al.*, 2020) puisque que IBE & QUELENNEC (1989) et MUGICA *et al.* (2008) ont indiqué que les vents sont responsables de la génération et de l'amplification des houles et vagues. Ces houles du nord-ouest constituent les principaux agents responsables de la dynamique morphologique et sédimentaire sur cette partie du littoral de Dakar puisqu'elle est protégée des houles du sud-ouest par la configuration géomorphologique de la région de Dakar (NIANG-DIOP, 1995 ; NDOUR, 2015) qui constituent un obstacle empêchant leurs arrivées à la côte nord.

La marée est de type semi-diurne avec un marnage variant entre 0,5 et 0,6 m lors des marées de mortes eaux et entre 1,2 et 1,6 m pendant les marées de vives eaux (NIANG-DIOP, 1995). Ce faible marnage (inférieur à 2 m) offre au littoral sénégalais le caractère de côte micro-tidale. Les vitesses des courants de marées sont inférieures à 0,15 m/s indiquant une faible influence de la marée sur les mouvements de ce littoral (FALL, 2004 ; NDOUR, 2015 ; STEPHANAIN *et al.*, 2011).

En ce qui concerne les caractéristiques géologiques, la zone d'étude appartient au domaine de la Grande Côte du Sénégal caractérisé par de puissants massifs dunaires datés du Quaternaire (ROGER *et al.*, 2009). Ces dunes, par la réserve en sable qu'elles représentent, auraient joué un rôle important dans l'équilibre dynamique des plages qu'elles bordent (PASKOFF, 1993 ; PINOT, 1998).

MATERIEL ET METHODES

Matériels et méthodes topographiques

L'acquisition de données morphologiques avec une fréquence de mesure mensuelle permet de bien représenter les micro-fluctuations de la morphologie côtière (JOYAL & MORISETTE, 2013). Ces informations fournissent une bonne image des mécanismes responsables de la sensibilité de la côte aux agents hydrodynamiques (JOYAL & MORISETTE, 2013). C'est pour tenir compte de ces réalités que des levées topographiques ont été effectués mensuellement le long de la zone d'étude pendant la période allant d'octobre 2017 à octobre 2018. Ils consistent à mesurer la morphologie de la plage par une série de profils perpendiculaires à la ligne de rivage, depuis l'arrière plage jusqu'à la zone de déferlement ; ce qui permet d'observer les variations morphologiques mensuelles de la plage en réponse à l'action des agents dynamiques durant toute la période de suivi. En effet, un profil de plage est généralement caractérisé par sa forme, sa largeur et sa pente qui changent constamment selon les conditions du milieu (BERNABEU *et al.*, 2003).

Les levés topographiques ont été effectués avec un trépied, un niveau de chantier, une mire, un ruban, une boussole et un GPS. La direction de chaque profil de plage a été contrôlée par la boussole durant toute la période de mesure alors que les coordonnées du point de départ (repère fixe) ont été déterminées par le GPS ; ceci pour permettre une comparaison rigoureuse des profils levés au même endroit à différentes périodes. Pour mieux respecter la morphologie de la plage observée pendant la période de mesure, tous les points de rupture de pente ont été minutieusement levés de même que les limites des différentes unités morphologiques de la plage.

Globalement, 03 (trois) profils de plage ont été levés. Ils sont nommés P1, P2 et P3 et sont respectivement levés au niveau des plages de Malibu (situé dans le Golf Sud dans le département de Guédiawaye), de Gadaye (à Wakhinane Nimzatt dans département de Guédiawaye) et de Malika (département de Pikine) (Fig. 2).

Après les levés topographiques, les données obtenues ont été intégrées dans le logiciel « Profiler 3.0 XL » qui est une extension de Microsoft Excel. Celui-ci permet de tracer les profils mais également de calculer les pentes (exprimées en pourcentage) des unités morphologiques des plages et les volumes de sédiments mobilisés par les agents dynamiques. Ces volumes sédimentaires exprimés en mètre cube par mètre linéaire de plage (m^3/m de plage) sont obtenus par superposition des profils levés dans un même endroit. Par ailleurs, la mise en forme des profils de plage déjà établis par le logiciel « Profiler 3.0 XL » a été faite au moyen du logiciel « Adobe Illustrator 10 ».

Les limites de ces méthodes peuvent être liées à la qualité des outils utilisés mais également à leur manipulation. En effet, le niveau de chantier, le trépied et la mire qui sont les outils topographiques utilisés dans la présente étude, sont très classiques comparés à la technologie actuelle (du tachéomètre laser au DGPS) pour les études de ce genre (SAGNE *et al.*, 2019). Cependant, ils constituent les seuls outils disponibles à notre niveau. Ceci fait que, la majorité des erreurs qu'on puisse relever soient liées à la manipulation. Il s'agit des erreurs de centrage à la borne, de lecture, de changement de borne, etc. Cependant, puisque les variations

morphologiques à un mètre de part et d'autre du profil sont très faibles, ces erreurs sont considérées comme étant négligeables (DIADHIOU *et al.*, 2016). Malgré toutes ces limites, ces méthodes utilisées permettent d'obtenir une bonne idée des mouvements verticaux affectant un profil donné dans le temps (SAGNE *et al.*, 2019).

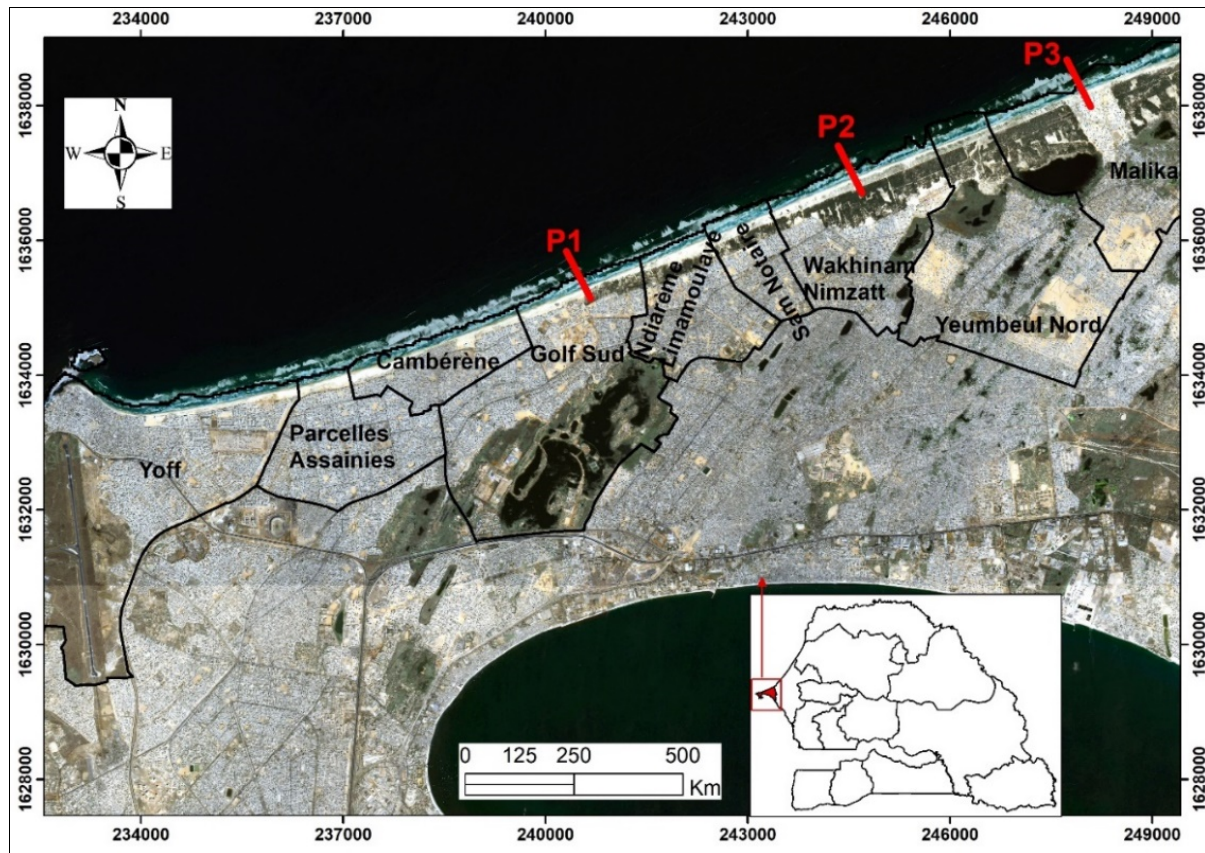


Figure 2 - Position des profils dans la zone d'étude.

Matériels et méthodes sédimentologiques

Parallèlement aux levés topographiques, des échantillons sédimentologiques ont été prélevés le long de chaque profil de plage. Quatre (4) points d'échantillonnage ont été considérés sur chaque profil : la haute plage, le mi-estran, le niveau mer encore appelé bas estran et la zone de déferlement située dans la plage sous-marine (Photo 1).

Au total, 84 échantillons ont été prélevés. Tenant compte de l'importance des techniques de prélèvements pour l'étude des caractéristiques sédimentaires d'une plage (DIAW, 1981), l'échantillonnage a été effectué par simple raclage au niveau de la couche superficielle des sédiments pour ne prendre en compte que ceux déposés par la dynamique précédent l'échantillonnage (CHAUHAN, 1992 ; ABUODHA, 2003). En effet, cette technique d'échantillonnage évite d'avoir des mélanges de différentes laminées sédimentaires exprimant des conditions de dépôts différentes (CHAUHAN, 1992).

Les sédiments prélevés ont par la suite subi un certain nombre de traitements au laboratoire de Biostratigraphie et de Sédimentologie du Département de Géologie de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Un premier lavage sous l'eau avec un tamis 50 μm consiste à enlever les sels, les impuretés ainsi que la fraction fine d'habitude composée de limons et d'argile (KHALIDI *et al.*, 2008). Cette étape est suivie d'un séchage des échantillons à l'étuve. Après séchage, un poids de 150 g de ce sédiments secs a été prélevé puis attaqué à froid par l'acide chlorhydrique dilué à 30 % pour éliminer les carbonates. A la suite de plusieurs lavages, l'échantillon décarbonaté a été séché à l'étuve puis tamisé en utilisant une colonne de 16 tamis de norme AFNOR (série de raison $\sqrt[10]{10}$). Les refus pondéraux des tamis ont été pesés avec une balance de précision au milligramme près,

puis reportés sur une fiche de tamisage. Le poids des différents refus des tamis a été intégré dans un programme informatique nommé « GRADISTART » qui permet de déterminer automatiquement les indices granulométriques selon la méthode de FOLK & WARD (1957). Les indices granulométriques pris en compte sont la moyenne

granulométrique (Mz), l'indice de classement (Sigma ou Sig) et l'indice d'asymétrie ou skewness (SK) mais uniquement pour les sédiments unimodaux. Ils permettent une bonne caractérisation des sédiments et renseignent sur leurs processus de transport et de dépôt.



Photo 1 - Points d'échantillonnage sur la plage.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractéristiques morphologiques

Le suivi morphologique du littoral nord de Dakar entre la plage de Malibu et celle de Malika montre globalement deux grandes unités morphologiques : une plage aérienne et une plage sous-marine. La plage aérienne est bordée vers l'arrière par des dunes (Photo 2).



Photo 2 – Les unités morphologiques de la côte nord de Dakar.

La plage aérienne est large, en moyenne, de 48,31 m et présente une pente moyenne égale à 5,03 %. Une légère variation spatiale de la largeur de cette unité est notée avec les profils 5 et 6 dont les largeurs s'écartent légèrement de la moyenne avec, respectivement, 41,94 m et 58,52 m contre 48,31 m pour la largeur

moyenne (Tab. 1). Une autre remarque est la variabilité temporelle, au sein d'un même profil, des largeurs et pentes de la plage aérienne (Tab. 1) qui s'accompagnent aussi de changements remarquables de la forme des profils de plages (Fig. 3, Fig. 4 et Fig. 5). En effet, au niveau du profil 1, les largeurs varient entre 37 et 65,5 m et les pentes se situent entre 2,76 et 8,56 %. Au niveau du profil 2, les largeurs, avec une moyenne de 41,49 m, peuvent augmenter jusqu'à 56,8 m ou diminuer jusqu'à 28,2 m. Les pentes varient quant à elles entre 3,11 et 10,56 %. La même chose se note au profil 3 (Tab. 1).

Tableau 1 – caractéristiques morphologiques des plages aériennes des profils levés

Mois	P1 Malibu (Golf Sud)		P2 Gadaye		P3 Malika		Moyenne	
	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)
Octobre 2017	26,5	5,29	43,5	5,34	70,2	2,75	46,73	4,46
Novembre	43,5	3,89	49	4,63	61,5	2,69	51,33	3,74
Décembre	60,7	2,99	56,8	4,48	70,5	3,81	62,67	3,76
Janvier	38	5,44	42	5,01	66	3,38	48,67	4,61
Février	31,5	7,71	46,9	3,11	67	3,42	48,47	4,75
Mars	51,8	5,08	31,5	5,93	76,1	3,48	53,13	4,83
Avril	42	5,29	29,7	7,87	48	4,1	39,90	5,75
Mai	34,5	8,56	45,5	5,11	43	4,2	41,00	5,96
Juin	41	4,51	45,6	5,63	40,5	4,44	42,37	4,86
Juillet	37	7,38	28,2	10,56	47,5	5,17	37,57	7,70
Août	52	4,58	47,2	3,86	48,5	6,34	49,23	4,93
Septembre	65,5	2,76	39,5	6,94	67	5,51	57,33	5,07
Octobre 2018	54	3,91	39,8	4,03	55	7,29	49,60	5,08
Moyenne	44,46	5,18	41,94	5,58	58,52	4,35	48,31	5,03

Cette remarque serait liée au caractère ouvert de la côte nord de Dakar qui est exposée à la variabilité de l'énergie des houles du nord-ouest en raison de l'absence d'édifices immergés dans la plage sous-marine pouvant casser l'énergie de ces houles avant leur arrivée sur le rivage. Ces houles du nord-ouest très énergétiques avec une puissance moyenne de 18 KW.m^{-1} (NARDARI, 1993) déferlent donc directement sur la plage en entraînant par conséquent des mouvements sédimentaires importants à l'origine de ces modifications morphologiques. En effet, NIANG-DIOP (1995), FALL (2004), GOURIOU (2007) et NDOUR (2015) avaient indiqué que les variations des caractéristiques morphologiques des plages sableuses sont intimement liées aux changements de l'énergie de la houle. La hauteur et la direction sont les paramètres les plus déterminants des houles qui contrôlent ces transformations morphologiques (BRUZZI & LIPPMANN-PROVANSAL, 1996). Par ailleurs, la nature sableuse de cette côte faisant que les sédiments sont facilement mobilisables par les agents hydrodynamiques pourrait expliquer, d'une part, la sensibilité de cette côte à la variabilité des conditions hydrodynamiques.

En ce qui concerne la forme du profil de plage, celle-ci est une représentation schématisée de la morphologie d'un segment côtier et qui évolue également en fonction des agents dynamiques (PASKOFF, 1984 ; BERNABEU *et al.*, 2003 et JOYAL & MORISETTE, 2013). Cette forme est à dominance concavo-convexe dans la zone d'étude. Cependant, des formes rectilignes, rectilignes à concaves et convexes à rectilignes sont quelque part notées (Fig. 3, Fig. 4 et Fig. 5).

La plage aérienne de la zone d'étude est également caractérisée morphologiquement par la présence d'un estran qui constitue la zone de balancement des marées et d'une haute plage (Fig. 3, Fig. 4 et Fig. 5) située vers l'arrière et qui représente la partie de la plage aérienne qui n'est recouverte que lors des périodes de fortes houles comme les houles de tempête. Cette haute plage se distingue des dunes par l'absence de végétation. L'estran occupe l'essentiel de la plage aérienne. Il entre en contact avec les dunes suite à la disparition de la haute plage pendant une bonne partie de la saison sèche (Fig. 3, Fig. 4 et Fig. 5), période pendant laquelle des houles très fortes sont fréquemment notées dans cette partie nord du littoral de Dakar. Cette disparition de la haute plage qui se présente sous forme de berme (plus ou moins horizontale) lorsqu'elle apparaît (Fig. 3, Fig. 4 et Fig. 5), est notée entre mars et mai 2018 (saison sèche) au profil 1, puis entre mars et août 2018 (saison sèche et début saison des pluies) au profil 2 et enfin entre mars et juillet 2018 (saison sèche et début saison des pluies) au profil 3. Elle s'accompagne aussi d'une certaine concavité de l'estran au niveau des profils 1 et 2 qui aurait témoigné un départ important de sédiments de la plage aérienne vers la plage sous-marine pendant la saison sèche.

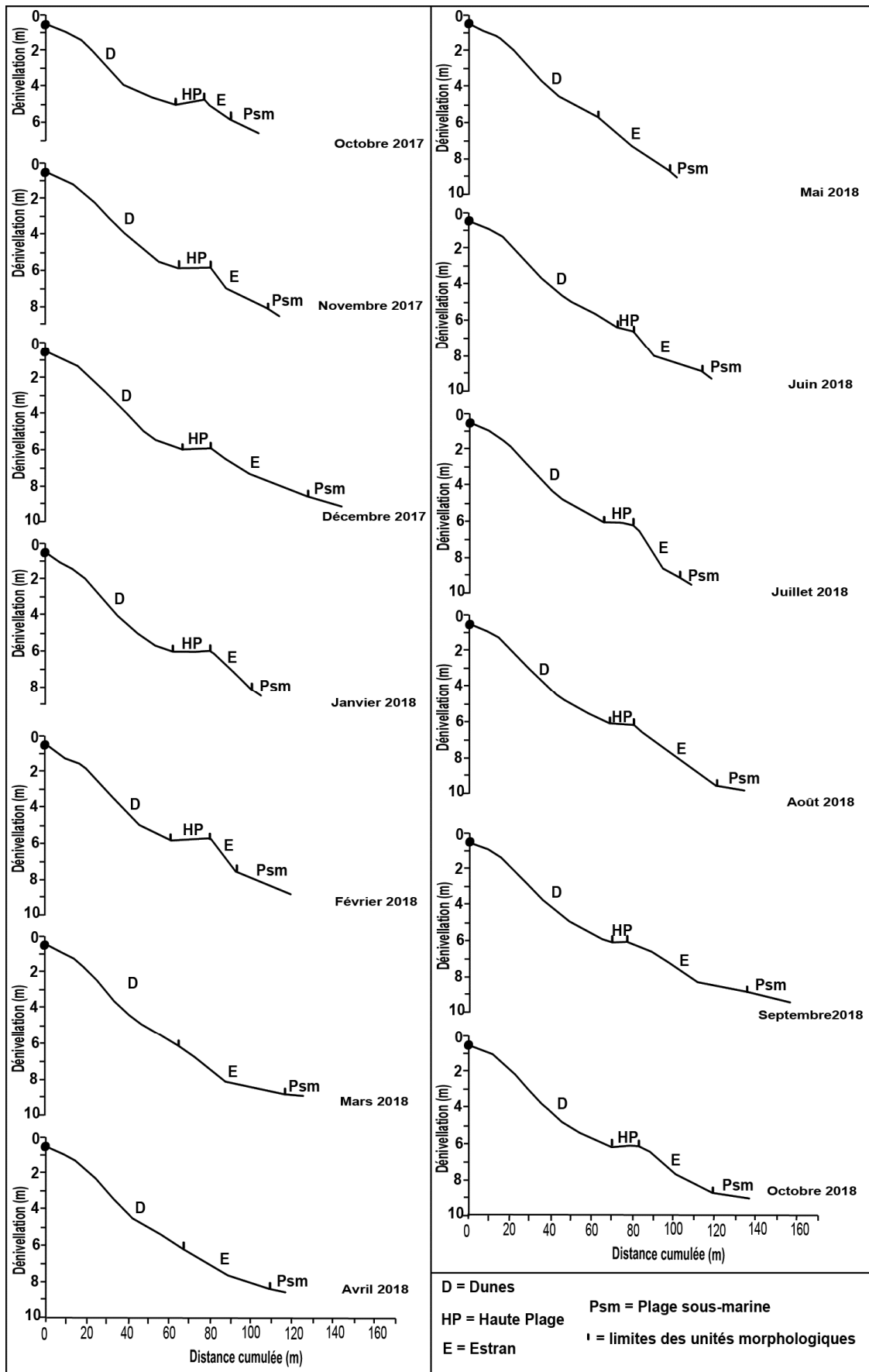


Figure 3 - Profils mensuels levés à la plage de Malibu (P1).

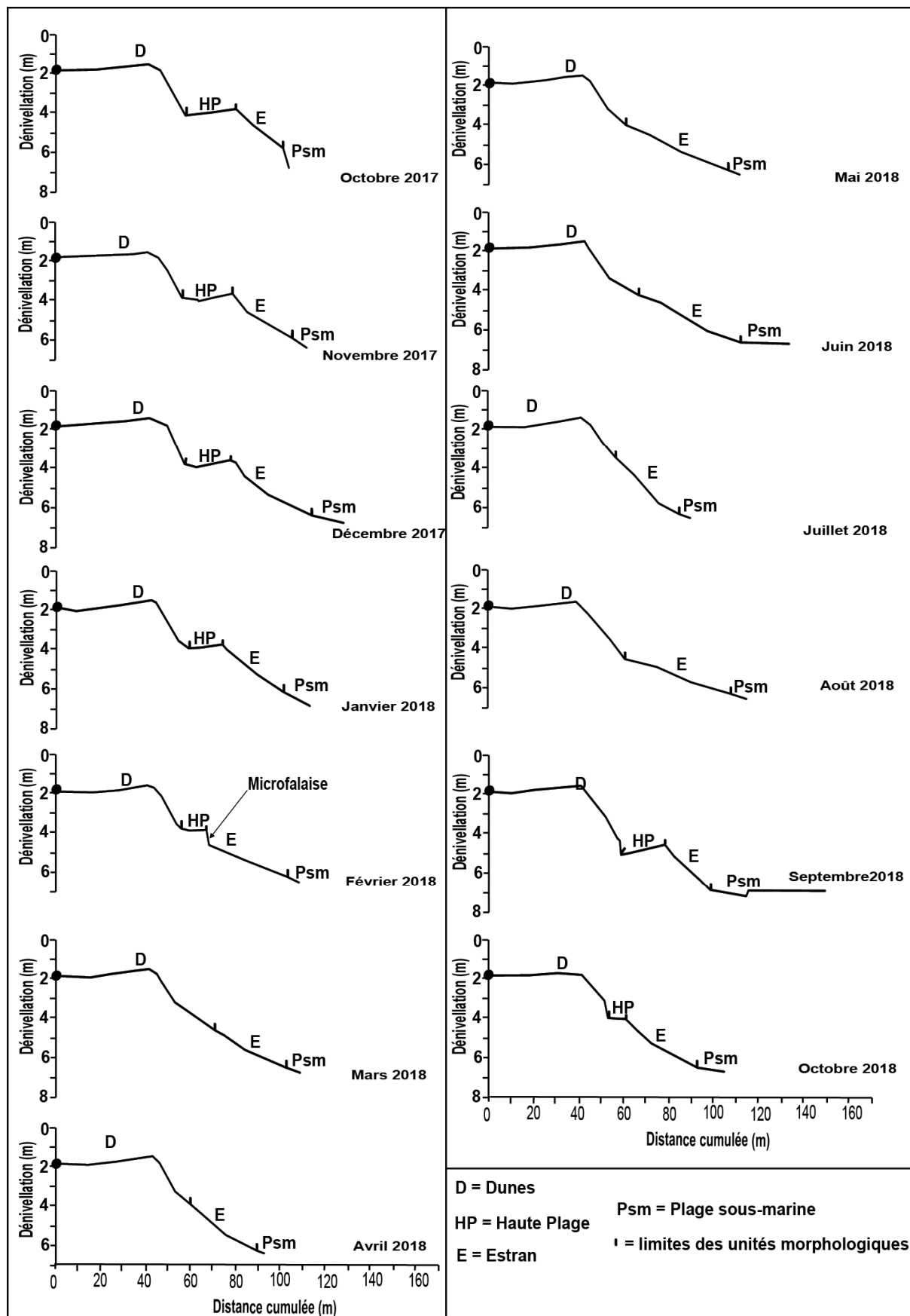


Figure 4 - Profils mensuels levés à la plage de Gadaye (P2).

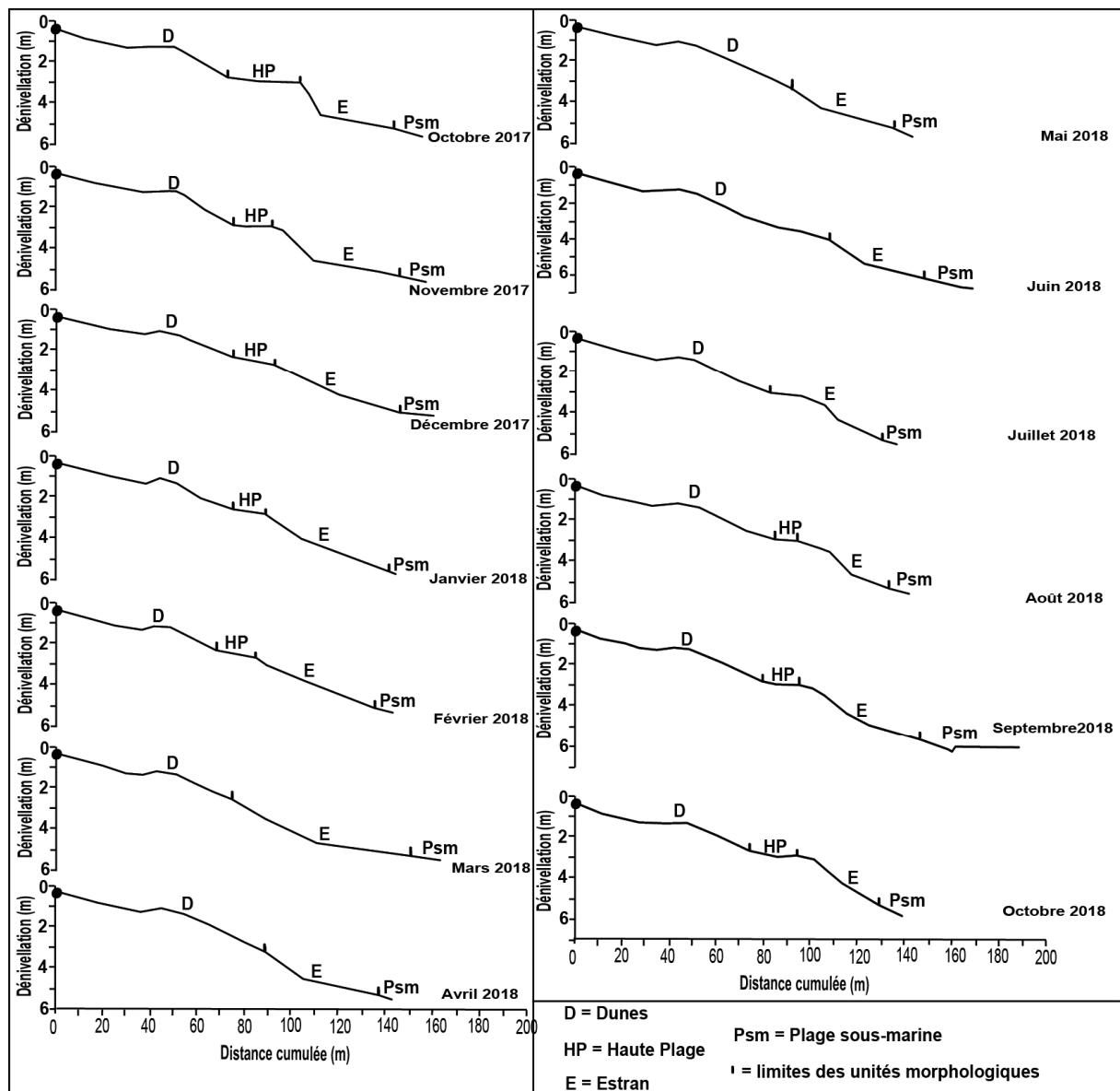


Figure 5 - Profils mensuels levés à la plage de Malika (P3).

Cette disparition momentanée de la haute plage serait liée à l'étroitesse de la plage aérienne qui permet aux houles fortes d'atteindre toute la plage aérienne comme l'avait notée NDOUR (2015) à Rufisque (au sud de Dakar) et SAGNE *et al.*, (2019) aux Mamelles et Ouakam (à l'ouest). Cette étroitesse de la plage aérienne entraîne même des inondations de l'arrière plage pendant les fortes houles comme celle du 17 au 19 novembre 2018 (SAGNE *et al.*, 20120) ; ce qui expose l'extension 3 de la Voie de Dégagement Nord à ces conditions de houles énergétiques. Par ailleurs, SAGNE *et al.*, (2020) avaient montré qu'en plus du caractère ouvert et de la topographie basse de la zone caractérisée par des altitudes qui atteignent rarement 20 m, c'est l'étroitesse de la plage aérienne qui expose la zone aux fortes houles dont les effets se font sentir même au niveau des dunes où d'importantes quantités de sédiments y sont érodées.

Toutefois, la plage aérienne de la zone d'étude est comparable, du point de vue de sa largeur et de la variabilité temporelle de toutes ses caractéristiques morphologiques, à celle du littoral de Yoff située à l'extrême sud-ouest de la zone d'étude sur la même côte. En effet, cette unité présente à Yoff une largeur moyenne de 48 m (FALL, 2004). Cependant, ces plages aériennes de la côte nord de Dakar sont un peu plus larges que celles de l'ouest et du sud. En effet, les plages aériennes des Mamelles, Ouakam, Reubeuss et Mermoz situées à l'ouest de Dakar présentent respectivement une largeur moyenne de 32,98 m, 27,53 m (SAGNE *et al.*, 2019), 38,6 m (DIOP, 2015) et 30,93 m (SARR, 2015). Ces plages de la côte ouest de Dakar sont toutes bordées de falaises qui limiteraient leur extension et expliqueraient leur plus grande étroitesse. Cependant, la présence de massifs dunaires au niveau de la côte nord dont l'évolution selon le régime des houles aurait permis d'avoir des plages un peu plus larges (SAGNE *et al.*, 2019) expliquerait ces largeurs plus importantes au nord de Dakar. A

Rufisque, situé sur la côte sud, la plage aérienne présente une largeur moyenne de 41 m (NDOUR, 2015). Cette zone avec une absence de massifs dunaires est caractérisée par une forte occupation de son arrière plage.

Mouvements verticaux

L'étude de l'évolution des mouvements verticaux de la plage aérienne montre une variabilité d'un profil à un autre mais surtout d'une période à une autre au sein d'un même profil (Fig. 6).

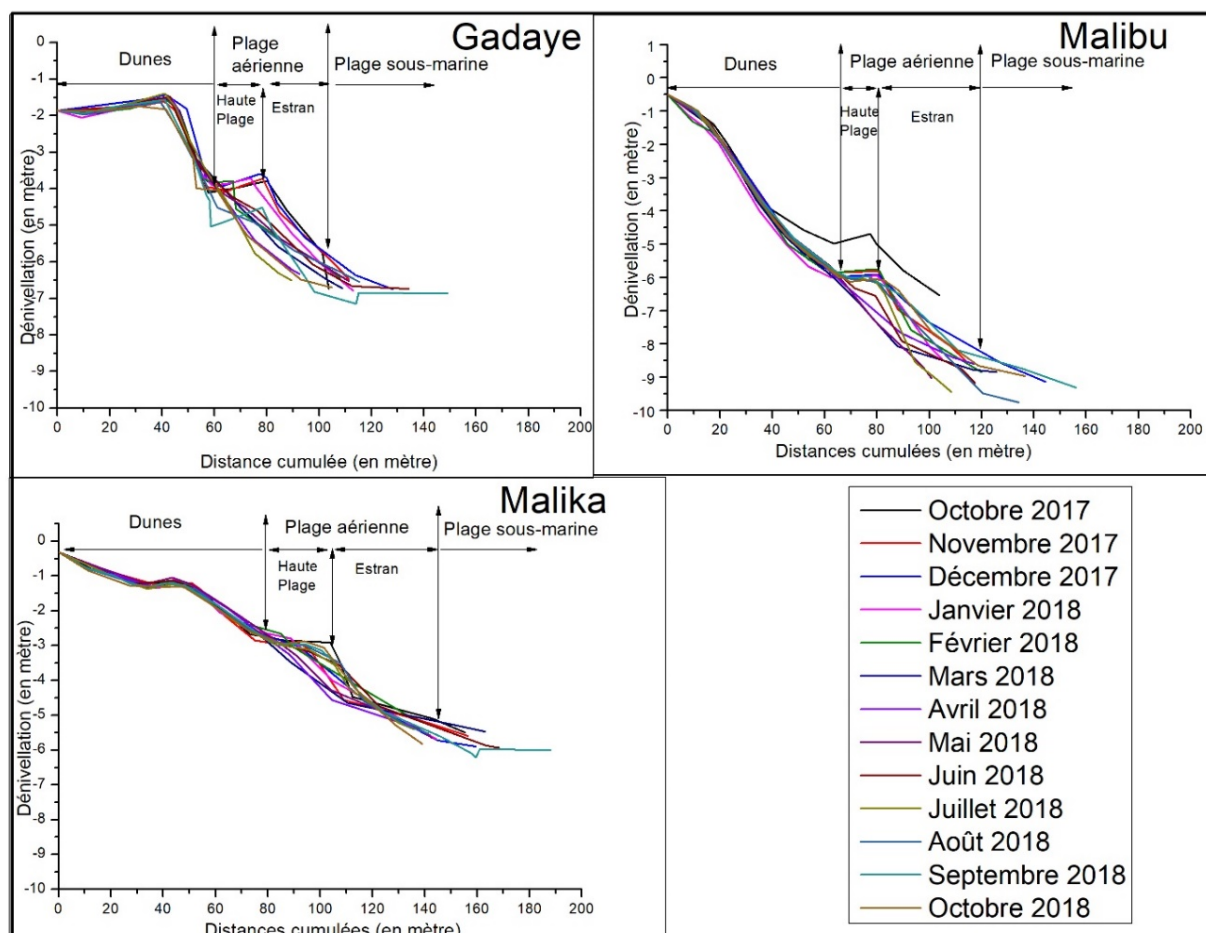


Figure 6 – Superposition des profils mensuels des trois plages.

Cette variabilité des mouvements sédimentaires verticaux combinée à celle des caractéristiques morphologiques notées en haut témoignent d'une forte variabilité des conditions de houles auxquelles cette partie nord du littoral de Dakar est soumise comme l'avait remarqué FALL (2004) à Yoff. L'intensité plus importante des mouvements d'érosion a occasionné un bilan sédimentaire annuel négatif sur l'ensemble des profils indiquant une tendance érosive. Les volumes correspondants sont de $-28,21 \text{ m}^3/\text{m}$, $-57,31 \text{ m}^3/\text{m}$ et $-9,89 \text{ m}^3/\text{m}$ respectivement au niveau des plages de Malibu, Gadaye et Malika (Tab. 2).

Cette érosive est plus remarquable dans la zone de Malibu et Gadaye qu'à Malika en raison de la largeur un peu plus importante à Malika puisque que les plages plus larges possèdent une meilleure capacité à amortir les chocs liés aux houles que les plages étroites (PASKOFF, 1993). Par ailleurs, cette tendance à l'érosion pourrait, si elle continue sur le long terme, avoir des répercussions sur le trait de côte et mettre à la portée des houles fortes l'extension 3 de la Voie de Dégagement Nord (VDN 3) construite sur les dunes à quelques mètres de la haute plage (Photo 3).

Tableau 2 – Evolution des mouvements verticaux (en m³/m de plage) des plages aériennes des profils

Périodes	P1 (Malibu)	P2 (Gaye)	P3 (Malika)	Moyenne
Octobre 2017 – Novembre	-27,56	-2,9	-18,73	-16,4
Novembre – Décembre	+6,06	+5,54	+3,57	+5,06
Décembre - Janvier 2018	-10	-14,4	+0,83	-7,86
Janvier 2018 – Février	+2,23	-18,26	+10,32	-1,9
Février – Mars	-31,21	-6,51	-25,35	-21,02
Mars – Avril	+14,15	-8,77	-6,3	-0,31
Avril – Mai	-11,35	+13,86	+8,94	+3,81
Avril – Juin	+11,9	+2,42	+18,16	+10,82
Juin – Juillet	-1,5	-22,51	-6,69	-10,23
Juillet – Août	+16,22	+7,36	+4,49	+9,35
Août-Septembre	+20,38	-11,39	+0,81	+3,27
Septembre-Octobre 2018	-7,14	-9,97	-2,53	-6,55
Octobre 2017-Octobre 2018	-28,21	-51,37	-9,89	-29,82



Photo 3 - Extension 3 de la Voie de Dégagement Nord (Guédiawaye et Nations Unies).

Malgré cette variabilité, trois périodes d'érosion généralisée peuvent être notées : d'octobre à novembre 2017, puis de février à mars 2018, périodes se situant pendant la saison sèche et, enfin, de septembre à octobre 2018 marquant le début de la saison sèche. Les plus forts taux d'érosion sont notés entre février et mars 2018, période pendant laquelle des houles très fortes sont d'habitude enregistrées dans la partie nord du littoral sénégalais. En effet, selon SOGREAH INGENIEURS CONSEILS, (1981), la côte nord de Dakar est soumise à des houles de fortes hauteurs dont la fréquence annuelle est de 73 jours cumulés en moyenne par an pour des hauteurs observées qui dépasseraient 1,75 m et variant entre 3,75 à 5,75 m. Ces houles apparaissent durant les mois de janvier à juin et septembre et sur 6 à 10 jours pour chaque mois. Cependant, on peut en observer durant le mois de décembre pour une fréquence mensuelle de 2 à 4 jours. Ces houles seraient responsables de l'érosion notée dans cette partie du littoral sénégalais pendant une bonne partie de la saison sèche. Les accumulations généralisées se situent entre novembre et décembre 2017, puis entre avril et juin 2018 (à l'approche de la saison des pluies) et enfin entre juillet et août 2018 (en pleine saison des pluies). Une analyse globale des mouvements verticaux indique une prédominance des mouvements d'érosion pendant la période allant d'octobre 2017 à mars 2018 (saison sèche) et des mouvements d'accumulation pendant la saison des pluies sauf au profil 2 où on note une forte érosion d'août à octobre 2018. Cette remarque faite au profil 2 pourrait être due à l'action du canal d'évacuation des eaux pluviales qui entraîne le départ d'une certaine quantité des sédiments des dunes et de la plage aérienne (Photo 4) vers le large.



Photo 4 – Erosion des dunes et de la haute plage de Gadaye par les eaux pluviales évacuées par le canal.

Par ailleurs, il est également constaté sur ce segment littoral surtout pendant la saison sèche :

- la présence de microfalaises et de croissants de plage qui sont caractéristiques d'une situation de démaigrissement de plage. En effet, selon PINOT (1998), si la houle est forte, et surtout de longue période, il se crée des croissants de plage, de telle sorte que si le jet de rive escalade la plage sur tout le front, la nappe de retrait converge vers le creux des croissants. Ce type de courant de retour appelé courant d'arrachement, entraîne le départ de la couche superficielle de sables fins et son transport jusqu'à la limite d'action de la houle ;

- une forte agitation de la mer traduisant un hydrodynamisme fort avec un déferlement à différents niveaux qui témoignerait de la succession de sillons et de barres. Ces formes géomorphologiques littorales ont été signalées au niveau du littoral de Yoff par FALL (2004) et seraient caractéristiques de la côte nord de Dakar. Le déferlement est majoritairement plongeant et donc favorable à un transfert de sédiments vers le large (NDOUR, 2015) qui serait quelque part responsable de la prédominance des mouvements d'érosion pendant cette saison.

Cette situation laisse entrevoir un fonctionnement saisonnier du littoral allant de la plage de Malibu à celle de Malika. Ces variations saisonnières des mouvements verticaux constituent une caractéristique normale des plages (PASKOFF, 1998). En effet, la morphologie des plages répond directement aux conditions hydrodynamiques, où des conditions plus calmes favorisent l'accumulation sédimentaire sur les plages, alors que les conditions de plus grande énergie ont tendance à les éroder (MASSELINK & PATTIARATCHI, 2001 ; CATTO, 2006).

Ce fonctionnement saisonnier mis en évidence par la présente étude est identique à celui du littoral de Yoff (FALL, 2004) situé au nord de Dakar. Ainsi, la côte au nord de Dakar est caractérisée par une prédominance de phases d'érosion pendant la saison sèche et de phases d'engraissement en saison des pluies. Cependant, le fonctionnement saisonnier de la côte nord est l'inverse de celui noté au niveau de la côte au sud de Dakar. En effet, NDOUR (2015) indique qu'à Rufisque (au sud de Dakar) les érosions se situent majoritairement pendant la saison des pluies alors que la saison sèche est favorable à un engraissement. Ceci s'explique par le fait que l'action combinée des houles du sud-ouest, présentes entre juillet et octobre, et celles perpendiculaires à la côte sont responsables des phénomènes de submersion et d'érosion à la côte sud pendant la saison des pluies. Cependant, en saison sèche, du fait que les houles du sud-ouest sont absentes et que la Petite Côte est protégée de l'action des houles du nord-ouest par la configuration de tête de la Presqu'île de Dakar favorable à la diffraction de ces houles, on assiste à un engraissement de cette partie sud. La côte nord quant à elle, abritée aux houles du sud-ouest, s'engraisse en saison des pluies alors qu'en saison sèche, elle est soumise à l'action des houles du nord-ouest qui sont responsables de son érosion.

Caractéristiques sédimentologiques

En considérant tous les profils, on remarque que le littoral de Malibu à Malika est caractérisé par des sédiments de nature sableuse dont la granulométrie est moyenne à fine. En effet, la moyenne M_z varie globalement entre 156,7 et 462,2 μm (Fig. 7). Leur classement va de très bien à moyennement bien matérialisé par un indice de classement qui se situe globalement entre 0,29 et 0,69 ϕ . Le diagramme de dispersion de ces sédiments montre une certaine hétérogénéité (Fig. 7).

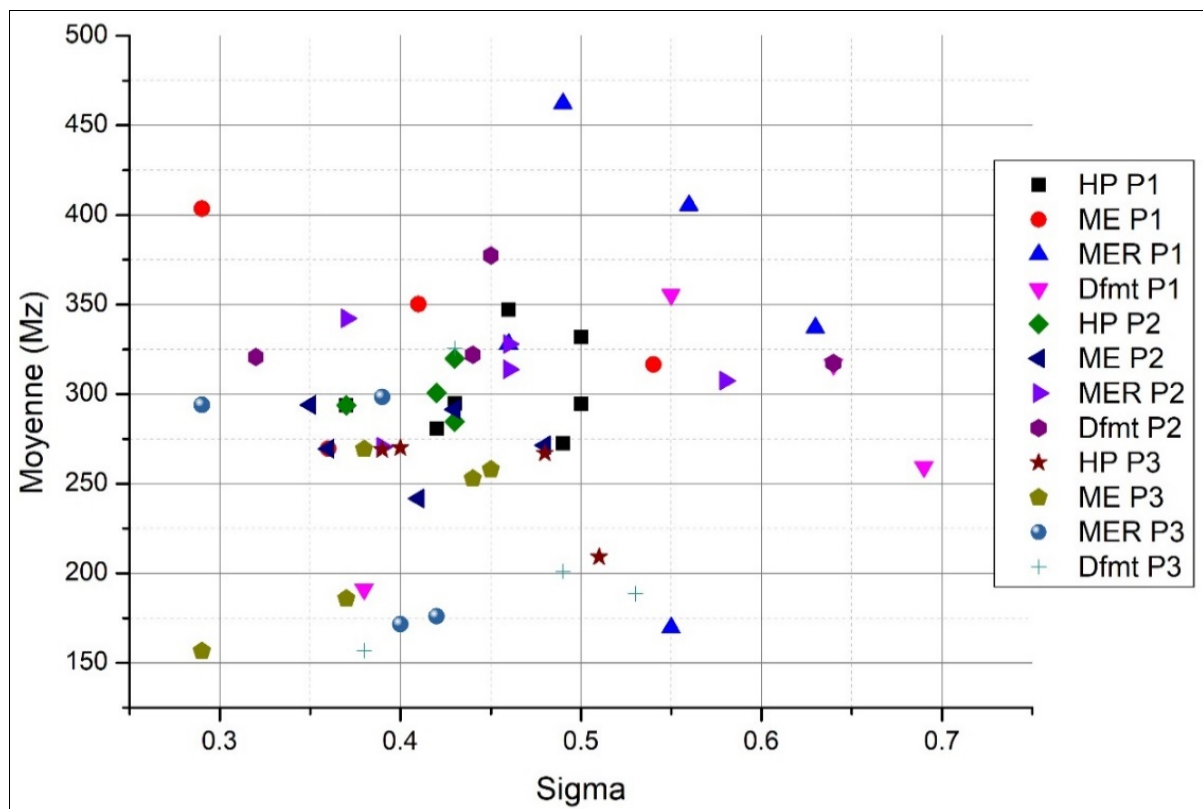


Figure 7 - Diagramme de dispersion Mz-Sigma des sédiments des plages de Guédiawaye et Malika.

En plus de quelques grossiers, des sédiments granulométriquement identiques ont été retrouvés par FALL (2004) à Yoff. Ce qui indique que la côte nord de Dakar est dominée par des sables moyens à fins.

L'asymétrie est majoritairement positive indiquant un étalement des particules vers les fines. Cet enrichissement en éléments fins peut être lié au fait que cette zone aurait reçu une certaine charge sédimentaire fine sous l'action des vents (MARTINS, 1965 ; FOLK, 1966, GREENWOOD, 1969). On note également la présence de beaucoup de sédiments bimodaux qui seraient issus d'un mélange de sables autochtones, typiques à la plage et d'autres qui seraient issus des dunes. En effet, les houles fortes provoquent parfois des érosions importantes des plages de cette côte nord dont les effets se font sentir même au niveau des dunes où des quantités parfois importantes de sédiments sont entraînées vers la plage (SAGNE *et al.*, 2020). Ces sédiments dunaires sont facilement mobilisables au niveau de la zone nord de Dakar en raison de leur faible couverture végétale les exposant même à une forte déflation éolienne surtout pendant les périodes de forts coups de vents. Cette observation est confirmée par l'hétérogénéité des sédiments de cette zone montrée par le diagramme de dispersion Mz-Sigma qui, également, en plus des sources sédimentaires différentes (NIANG-DIOP, 1995 ; KHALIDI *et al.*, 2008) traduit également une certaine variabilité de l'énergie des houles (NDOUR, 2015).

En considérant uniquement la plage aérienne, on constate surtout à Malibu (P1) et Malika (P3) que les sédiments de la haute plage sont un peu plus grossiers que ceux de l'estran. Or, sur la plupart des littoraux sableux, c'est l'estran, soumis à des conditions plus énergétiques de houles que la haute plage qui présentent les sédiments les plus grossiers (DUBOIS, 1982 ; KHALIDI *et al.*, 2008). Ce tri granulométrique est dû essentiellement à l'effet combiné des vagues, particulièrement les courants de retour (lame de retrait), qui entraînent un vannage sélectif des particules de faibles tailles de l'estran vers le large, d'une part (KHALIDI *et al.*, 2008), et d'autre part, à l'action des vents dominants qui agissent sur le haut de plage en entraînant le départ des fins. En effet, selon ROGER *et al.*, (2009), le vent balaie une bonne partie des sables de la haute plage du littoral nord de Dakar qui par la suite forment des dunes vives de quelques mètres. Les sédiments piégés par la bande de terre pleine située au milieu de l'extension 3 de la Voie de Dégagement Nord (Photo 5) elle-même construite sur les dunes, confirment ce transport sédimentaire par le vent. Cette déflation éolienne risque d'être accélérée par la coupe de filaos alors que cette végétation jouait le rôle de brise-vent et donc empêchait l'avancée des sables des dunes et de la haute plage au-delà de l'espace côtier (PASKOFF, 1993).



Photo 5 – Accumulation de sables sur l’extension 3 de la Voie de Dégagement Nord (VDN 3)

La granulométrie et les teneurs en CaCO_3 des sédiments sont variables d’un profil à un autre mais aussi d’une période à une autre au sein d’un même profil. Ce phénomène est lié à la variation du niveau d’énergie des vagues le long du littoral. Les carbonates sont plus faibles au niveau du profil 3 qui présente les sédiments les plus fins. Cela est différent de ce que l’on observe dans les littoraux sableux. En effet, selon AOUICHE *et al.* (2018), les zones agitées et ouvertes aux actions des agents hydrodynamiques présentent généralement des sables de taille moyenne et des pourcentages en calcite plus élevés tandis que les zones calmes favorisent la sédimentation des sables de taille assez fine et des pourcentages de calcite plus faible. Cela serait donc dû à une alimentation de la plage en éléments fins sous l’action du vent comme indiqué précédemment. Cependant, la taille des sédiments est beaucoup plus variable au niveau du bas estran et à la zone de déferlement sur tous les profils. Ceci, en plus des pourcentages de CaCO_3 qui sont plus élevés dans ces deux unités sont liés au fait que ce sont ces deux parties de la plage qui sont soumises à des conditions plus énergétiques de houles. Les carbonates se forment préférentiellement dans des milieux plus ou moins énergétiques.

En étudiant séparément les profils, on constate quelques différences.

-En effet, au niveau du profil 2, la plage sous-marine présente des sédiments plus grossiers que ceux de la plage aérienne car les sédiments les plus grossiers du profil sont rencontrés au niveau de la zone de déferlement qui est soumise à des conditions énergétiques de houles très fortes. Cette plage sous-marine qui présente les sédiments les plus grossiers est plus pentue que la plage aérienne. Cette observation a également été faite au niveau des plages Mamelles et de Ouakam (SAGNE *et al.*, 2019) et s’explique par le fait qu’il existe une nette relation entre la granulométrie des sédiments et la pente de la plage. Ainsi, les pentes tendent à devenir d’autant plus fortes que les sédiments sont grossiers, ceci pour de mêmes conditions de houles (MIGNIOT & BOULOC, 1981). Cela est dû au fait que les sédiments grossiers sont moins cohésifs et favorisent l’infiltration d’une grande quantité d’eau qui réduit la puissance du courant de retour, ce qui augmente la pente de la plage. Les sédiments fins quant à eux sont plus cohésifs et augmentent alors la puissance de la lame de retrait, la pente s’adoucit alors (NIANG-DIOP, 1995).

-Cependant, au niveau du profil 3, les sédiments s’affinent pendant les périodes d’accumulation et tendent à devenir plus grossiers ou même bimodaux pendant les périodes d’érosion. Ce qui indique une relation nette entre les mouvements sédimentaires verticaux et les évolutions granulométriques dans cette plage. En effet, les érosions auraient entraîné une mise à nue des sédiments grossiers suite au départ des éléments fins. En considérant uniquement les sédiments de la plage aérienne, on constate qu’ils sont plus grossiers à la haute plage que sur l’estrans. Or c’est le contraire qui s’observe dans la plupart des littoraux sableux où l’estrans soumis à des conditions plus énergétiques de houles présente des sédiments plus grossiers que la haute plage (DUBOIS, 1982). Une déflation éolienne des sédiments fins de la haute plage vers le continent entraînant une mise à nu des grossiers pourrait expliquer cette granulométrie plus grossière des sédiments de la haute plage.

CONCLUSION

L’étude de la dynamique morphosédimentaire des plages de Malibu, Gadaye et Malika situées au nord de Dakar a été effectuée entre octobre 2017 et octobre 2018 en utilisant des méthodes topographiques et des méthodes sédimentologiques. Celles-ci ont permis de mettre en évidence des variations saisonnières des

caractéristiques morphologiques (largeurs, pentes), des mouvements verticaux (volume de sédiments) ainsi que des caractéristiques sédimentologiques de ces plages en réponse au régime des houles.

En effet, du point de vue morphologique, des plages aériennes relativement étroites ont été remarquées dans cette zone avec une largeur moyenne de 48,31 m et une pente moyenne égale à 5,03 %. La forme dominante des profils est concavo-convexe. Toutefois, ces plages aériennes de la côte nord de Dakar sont légèrement plus larges que celle de l'ouest et du sud sans doute en raison des dunes qui les bordent dont l'évolution selon les houles entraînent leur extension. Une certaine variabilité des caractéristiques morphologiques selon le régime des houles est également mise en évidence indiquant que les systèmes littoraux sableux répondent constamment aux fluctuations des agents hydrodynamiques.

En ce qui concerne les mouvements verticaux, la superposition des profils deux à deux dans un intervalle de temps séparant deux campagnes a permis de constater un bilan annuel négatif sur tous les profils. Ce qui indique une tendance érosive à la côte nord de Dakar probablement liée à son exposition aux fortes houles. Ceci fait que l'occupation de cette zone doit tenir compte de cette tendance érosive qui risque d'être irréversible en raison de la fréquence accrue des houles fortes et de l'élévation globale du niveau de la mer en réponse au changement climatique. Les dunes qui constituent un élément de stabilité de cette zone méritent donc d'être bien protégées pour éviter de rendre la zone très sensible à la recrudescence des houles exceptionnelles.

Par ailleurs, des évolutions saisonnières de ces mouvements verticaux ont été notées dans chacun des profils de plage avec une prédominance des phases d'érosion pendant la saison sèche et de phases d'engraissement en saison des pluies. Ce fonctionnement saisonnier est également lié au régime des houles.

L'étude des caractéristiques sédimentologiques a montré que les différentes classes granulométriques trouvées dans ces plages sont constituées par des sédiments sableux moyens à fins. Leur classement va de très bien à moyennement bien classés. Ces plages renferment également des sédiments bimodaux probablement liés à une forte dynamique marine ou à des sources sédimentaires différentes représentées par les dunes et l'avant plage.

Globalement, les facteurs responsables de toutes les évolutions notées dans cette partie sont principalement d'ordre naturel. En effet, à l'exception du canal d'évacuation des eaux usées de Gadaye, les agents hydrodynamiques et les vents dans certains cas, constituent les facteurs d'évolution morphosédimentaire de la côte nord de Dakar.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABUODHA J.O.Z. 2003 - Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi bay coast, Kenya. *J. African Earth Science*, 36 : 41-54.
- AOUICHE I., DAOUDI L., ELMIMOUNI A., IHBACH F. Z., SEDRATI M. & OUAHMANE B. 2018 - Dynamique morpho-sédimentaire de la baie d'Agadir : Caractérisation sédimentologique et évolution des petits fonds
- BERNABEU A., M. MEDINA R. & VIDAL C. 2003 - A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences. *Marine. Geology*, 197, 1 : 95-116.
- BRUZZI C. & LIPPMANN-PROVANSAL M. 1996 - Impacts morphosédimentaires des tempêtes sur les Côtes de Provence. *Quaternaire*, 7, 2: 129-137.
- CATTO N. 2006 – More than 16 years, more than 16 stressors: Evolution of a reflective gravel beach, 1989-2005. *Géographie physique et Quaternaire* 60:49-62.
- CHAUHAN O.S. 1992 - Laminae and grain-size measures in beach sediments, East Coast Beaches, India. *Journal of Coastal Research.*, 8(1) :172-182.
- DIADHIOU Y. B., NDOUR A., NIANG I. & NIANG-FALL A. 2006 - Etude comparative de l'évolution du trait de côte sur deux flèches sableuses de la Petite Côte (Sénégal) : cas de Joal et de Djiffère », *Noroi*, 240, 3 : 25-42.
- DIAW A. T. 1981 - Etude morpho-sédimentologique de l'estran sur la côte nord du Sénégal », *Bulletin de l'IFAN*, Dakar, p. 69-77.
- DIOP S. A. M. 2015 - Evolution morphosédimentaire de plage de Reubeuss d'août 2013 à janvier 2014. *Mémoire de Master 2*, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar. 69 pp.
- DUBOIS R. N. 1982 - Relation among wave conditions, sediment texture, and rising sea level: an opinion, *Shore and Beach*, 30-32
- FALL B. 2004 - Le littoral de Yoff : évolution morphosédimentaire et changements à long terme de la ligne de rivage. *Thèse 3^{ème} cycle*, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 165 p, 41 tab, 70 fig, 8 photos.
- FOLK R.L. 1966 - A review of grain-size parameters. *Sedimentologie.*, Amsterdam, 6:73-93,
- FOLK R.L. & WARD W.C. 1957 - Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 : 3-26.

- GOURIOU T. 2007 - Evolution morphologique d'une plage sableuse : comparaison entre un site préservé et un site anthropisé : plages du Biscarrose et du Truc Vert (Côte Aquitaine). *Mémoire de Master 2*, Université. Bordeaux I. 112 pp.
- GREENWOOD B. 1969 - Sediment parameters and environment discrimination: an application of multivariate statistics. *Can. J. Earth Sci.*, 1347-1358.
- IBE A.C. & QUELENNEC R.E. 1989 - Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. *Rapports et Etudes mers régionales*, PNUE, Nairobi, 107 pp.
- JOYAL G. & MORISSETTE A. 2013 - Évolution côtière micro-échelle et mise au point d'un Indice de sensibilité géomorphologique des plages (ISGP) *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 19, 3 : 353-368 <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.10338>
- KHALIDI K. E., MINOUBI A., CHAIBI M., ZOURARAH B., LEONE F. & AAJJANE A. 2008 - Caractérisation granulométrique de la plage sableuse de Sidi Moussa (côte atlantique marocaine) », p. 8.
- MARTINS L.R. 1965 - Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journal of Sedimentary Research*, 35(3) : 768-770.
- MASSELINK G. & PATTIARATCHI C.B. 2001 - Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology* 172 : 243-263.
- MIGNIOT C. BOULOC J. 1981 - Erosion et sédimentation en mer et en rivière. In: Filliat G. (ed.) *La pratique des sols et fondations*, Edition du Moniteur, Paris, 627-731, 191 fig.
- MUGICA J. MALLET C. & HENNEQUIN V. 2008 - Etude de l'évolution géomorphologique récente de la côte de sableuse aquitaine. *BRGM/RP-56874-FR*, 29 ill., 9^e année., 165 pp.
- NARDARI B. 1993 - Analyse de la houle sur les côtes du Sénégal. Application à la pointe de Sangomar. *Rapport de stage U.T.I.S.* 31 pp.
- NDOUR A. 2015 - Evolution morphosédimentaire et impacts des ouvrages de protection sur le littoral de Rufisque, Petite Côte, Sénégal. *Thèse de Doctorat*, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 239 p, 43 tab, 93 fig, 20 photos.
- NIANG-DIOP I. 1995 - L'érosion côtière sur la Petite-Côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque. Passé - Présent - Futur. *Thèse Université, Angers*, tome 1, 318 pp, 112 fig., 47 tab
- PASKOFF R. 1984 - L'érosion des côtes. *Presse universitaire de France*. 127 pp.
- PASKOFF R. 1993 - Côtes en danger. *Masson*, Paris, 250 p, 50 fig.
- PINOT J. P. 1998 - Gestion du littoral. Tome I- littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses. *Institut océanographique*, Paris, 399 p, 222 fig
- ROGER J., BANTON O., BARUSSEAU J.P., CASTAIGNE P., COMTE J. C., DUVAIL C., NEHLIG P., NOËL B. J., SERRANO O. & TRAVIY 2009 - Notice explicative de la cartographie multi-couches à 1/50 000 et 1/20 000 de la zone d'activité du Cap-Vert. Ministère des Mines, de l'Industrie et des PME, Direction des Mines et de la Géologie, Dakar, 245 p.
- SAGNE P. 2015 - Etude morphosédimentaire des plages des Mamelles et de Ouakam d'Août 2013 à Janvier 2014. *Mémoire de Master de Géosciences*, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 77 p, 22 tab, 39 fig, 8 photos.
- SAGNE P., FALL B., BA K. & SOW E. H. 2019 - Morphosedimentary evolution of Mamelles and Ouakam beaches (Dakar, Senegal); *EWASH & TI Journal, Volume 3 Issue 4*, 238-252
- SAGNE P., FALL B., BA K., FAYE G., SOW E. H. & NIANG I. 2020 - Impacts of the storm surges on sandy beaches: example of northern coast of Dakar (Senegal); *EWASH & TI Journal, Volume 4 Issue 1*. 325-335
- SARR J. P. G. 2015 - Evolution morphosédimentaire des plages de Mermoz et de l'Université de Dakar d'août 2013 à janvier 2014. *Mémoire de Master 2*, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar. 64 pp.
- SOGREAH INGERIEURS CONSEILS/MIFERSO (Société des Mines de Fer du Sénégal Oriental) 1981 - Etude de la houle, du vent, du courant sur le site de Port Sédar (République du Sénégal). R 35 1160, 47 p., 38 pl.
- STEPHANAIN A., BALOUIN Y., BELON R. & BODERE G. 2011 - Etude complémentaire sur le littoral de la plaine Orientale de Corse - état des connaissances sur les impacts des tempêtes sur le littoral. Rapport final du BRGM RP- 59058-FR 137p., 64 ill., 4 ann.