

# Université Assane Seck de Ziguinchor



UFR Sciences et Technologies

Département de Physique

Mémoire de Master Physique et Applications

Spécialité : Sciences de l'Atmosphère et de l'Océan

---

## Erosion côtière sur le littoral de la Casamance : cas des îles de Diogué et Carabane

---

Présenté par :

**Eliane DIATTA**

Sous la direction de

**Issa Sakho (UAM) et Bamol Ali Sow (UASZ)**

Soutenu publiquement le 11 Juillet 2024

Devant le jury composé de :

---

---

M. Joseph Sambasène Diatta	Maître de Conférences	Président	UASZ
M. Mouhamadou Bachir Diouf	Professeur Titulaire	Rapporteur	UCAD
M. Mamadou Lamine Mbaye	Maître de Conférences	Examineur	UASZ
M. Papa Sagne	Assistant	Examineur	UCAD
Mme Boury Angélique Diouf	Chargée de projet GIZC	Invitée	DCCTEFV

---

---

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire à ma maman Agnès DIATTA que j'ai vue marcher sous le soleil brûlant afin de vendre ses marchandises et subvenir à nos besoins*

*A mon brave père Albert DIATTA pour tous les sacrifices*

*A ma tante Anna DIATTA*

*A mon tendre époux pour le soutien*

*À mes frères et sœurs pour tout leur soutien*

*A ma belle famille pour le soutien et l'encouragement*

*Ainsi que mes professeurs qui m'ont toujours donné goût à la science,*

*Mes amis et camarades étudiants promotionnaires,*

*À tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu,*

# Remerciements

Je remercie le Miséricordieux Dieu de m'avoir donné la force, le courage et la santé nécessaires pour mener ce travail à bien. À mes parents, Albert DIATTA et Agnès DIATTA, qui ont remué ciel et terre dans le but de nous instruire, je vous dis merci du fond du cœur. Je remercie également ma tante, Anna DIATTA, ainsi que tous ceux qui ont contribué à ma réussite. À mes frères et sœurs, et à tous les autres membres de ma famille, je vous exprime ma profonde gratitude. À mon mari, Francis Didier MANGA, qui, au-delà d'être un mari aimant et protecteur, a su relever avec brio le rôle autrefois tenu par mes parents, merci pour ton soutien infaillible. À ma belle-famille, je vous remercie de tout cœur. Je remercie aussi tous les enseignants que j'ai rencontrés durant ces années d'acquisition de connaissances, de l'école élémentaire à l'université. Un vif remerciement à Monsieur Albert DIEME du lycée Djignabo et à Malang DIEDHIOU du CEM Boucotte EST, qui m'ont fait aimer la science. Je remercie chaleureusement mes encadreurs, Monsieur Bamol Ali SOW et Monsieur Issa Sakho, pour leur patience, leurs conseils avisés, leur expertise et leurs encouragements, qui ont été essentiels durant cette période de recherche. Une mention spéciale à Monsieur Habib Dieng, qui, bien que n'étant pas mon encadreur, n'a pas hésité à accorder de son temps pour m'aider et me conseiller dans mon travail. Je remercie également les professeurs du Master SAO : Monsieur MBAYE, Monsieur Joseph DIATTA, Monsieur Samo DIATTA, Monsieur CAMARA, Monsieur DIOUF, etc. Chacun d'entre eux nous a enseigné bien plus que les connaissances académiques. Je suis également reconnaissante envers Monsieur Kader BA et Monsieur Papa SAGNE, professeurs à l'université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) au département de géologie, ainsi qu'à Monsieur Ibrahima DIOUF, doctorant en géologie marine à l'UCAD, et au technicien du laboratoire de géologie et leurs étudiants. Je ne saurais terminer sans remercier tous les membres du Laboratoire d'Océanographie, des Sciences de l'Environnement et du Climat (LOSEC), en particulier Amadou DIOUF, qui, malgré ses nombreuses tâches de recherche, n'a jamais hésité à m'apporter son soutien et à consacrer du temps face aux différentes difficultés que j'ai rencontrées durant ce travail. Enfin, merci à mes camarades de classe avec qui j'ai partagé ces deux années de cours, riches en expériences, positives comme négatives.

# Résumé

Les zones côtières sont des régions très fréquentées, subissant une forte pression due aux aléas naturels. L'érosion côtière, qui constitue aujourd'hui le plus grand problème auquel les littoraux sont confrontés, reste un phénomène complexe. Ce projet de mémoire, financé par la Direction de l'Environnement des Établissements Classés (DEEC) dans le cadre de son projet de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC), a pour objectif principal de comprendre le processus d'érosion sur le littoral de la Casamance, en particulier les îles de Diogué et de Carabane, situées à l'embouchure du fleuve, afin d'identifier des solutions de protection de la côte en fonction de la dynamique du milieu. Pour atteindre cet objectif, deux objectifs spécifiques (OS) ont été définis. Le premier OS est d'analyser la variabilité temporelle de l'évolution morphologique du processus d'érosion. Le deuxième OS est d'identifier des solutions de protection de la côte. Ainsi, pour répondre à ce processus d'érosion, les méthodologies des levés topographiques au DGPS et de l'analyse granulométrique ont été adoptées. De plus des recherches ont été effectuées sur le milieu grâce aux études antérieures. Les levés topographiques permettent donc de quantifier les changements dans la forme de la plage notamment l'érosion et l'accrétion. L'analyse granulométrique quant à elle permet donc de déterminer la composition granulométrique et de comprendre les processus récents du milieu. Les résultats obtenus montrent une dynamique distincte du processus d'érosion sur les deux sites d'étude. À Diogué le volume de sédiment le plus important perdu au niveau de l'unité estran du profil 6 est  $66m^3/ml$  soit un taux de  $16,517(m^3/ml)/mois$  alors que le dépôt de sédiments le plus important est  $6,117m^3/ml$  soit un taux de  $1,529(m^3/ml)/mois$  (estran de P1) en l'espace de quatre mois. À Carabane, la perte la plus importante est de  $21,546m^3/ml$  sur l'estran du profil 5 soit un taux de  $5,3865(m^3/ml)/mois$  alors que le dépôt le plus important est de  $2,729m^3/ml$  soit un taux de  $0,68225(m^3/ml)/mois$  (estran de P4) pour la même période. Ceci montre que la dynamique du processus d'érosion est beaucoup plus marqué à Diogué qu'à Carabane. De plus, les paramètres granulométriques indiquent que la zone de Diogué est un environnement à forte énergie, contrairement à Carabane, qui est un environnement à faible énergie. Il est également noté que la majeure partie des sédiments est transportée en suspension étant donné que le milieu est majoritairement constitué de sable moyen et fin. Cette étude présente des limites dans la mesure où les données hydrodynamiques pendant la période d'étude n'ont pas été obtenues mais aussi les différentes mesures ne couvrent pas toute l'année. Cependant, les résultats obtenus mettent en évidence l'urgence de mettre en place des solutions de protection. Pour une bonne surveillance et une meilleure gestion des côtes, il est suggéré de mener une étude basée sur un renforcement des observations et l'utilisation d'outils de modélisation pour mieux comprendre les processus.

**Mots-clés :** Érosion côtière, littoral, Casamance, Diogué, Carabane.

# Abstract

Coastal areas are highly frequented regions experiencing significant pressure due to natural hazards. Coastal erosion, which currently represents the greatest problem faced by shorelines, remains a complex phenomenon.

This research project, funded by the Directorate of the Environment for Classified Establishments (DEEC) as part of its Integrated Coastal Zone Management (GIZC) project, aims primarily to understand the erosion process on the Casamance coast, particularly the islands of Diogué and Carabane, located at the river mouth, to identify coastal protection solutions based on the area's dynamics. To achieve this goal, two specific objectives (SO) have been defined. The first SO is to analyze the temporal variability of the morphological evolution of the erosion process. The second SO is to identify coastal protection solutions. Thus, to address this erosion process, DGPS topographic surveys and granulometric analysis methodologies were adopted. Additionally, research was conducted on the environment using previous studies. The topographic surveys allow for quantifying changes in beach shape, notably erosion and accretion. Granulometric analysis helps determine the granulometric composition and understand the recent processes of the environment. The results show a distinct dynamic of the erosion process at the two study sites. In Diogué, the most significant sediment loss in the intertidal unit of profile 6 is  $66m^3/ml$ , with a rate of  $16.517(m^3/ml)/month$ , while the most significant sediment deposition is  $6.117m^3/ml$ , with a rate of  $1.529(m^3/ml)/month$  (intertidal zone of P1) over four months. In Carabane, the largest loss is  $21.546m^3/ml$  in the intertidal zone of profile 5, with a rate of  $5.3865(m^3/ml)/month$ , while the largest deposition is  $2.729m^3/ml$ , with a rate of  $0.68225(m^3/ml)/month$  (intertidal zone of P4) for the same period. This indicates that the erosion process dynamics are much more pronounced in Diogué than in Carabane. Moreover, granulometric parameters indicate that Diogué is a high-energy environment, unlike Carabane, which is a low-energy environment. It is also noted that most sediments are transported in suspension since the environment is mainly composed of medium and fine sand. This study presents limitations as hydrodynamic data during the study period were not obtained, and the various measurements do not cover the entire year. However, the results highlight the urgency of implementing protection solutions. For effective monitoring and better coastal management, it is suggested to conduct a study based on enhanced observations and the use of modeling tools to better understand the processes.

**Keywords :** Coastal erosion, shoreline, Casamance, Diogué, Carabane.

# Abréviations et Acronymes

<b>DEEC</b>	Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés.
<b>GIZC</b>	Gestion Intégrée des Zones Côtières.
<b>MOLOA</b>	Mission d'Observation du Littoral Ouest Africain.
<b>ZCIT</b>	Zone de Convergence Intertropicale.
<b>PA</b>	Plage Aérienne.
<b>PSM</b>	Plage Sous-marine.
<b>HP</b>	Haute Plage.
<b>PM</b>	Pleine Mer.
<b>BM</b>	Basse Mer.
<b>BP</b>	« Before Present », avant le présent dont la référence fixé à 1950.
<b>DGPS</b>	« Differential Global Positioning System », GPS différentiel.

# Table des matières

Dédicace	ii
Remerciements	iii
Résumé	iv
Abstract	v
Abréviations et Acronymes	vi
Table des figures	ix
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>1 Cadre de l'étude</b>	<b>3</b>
1.1 Définition des concepts	3
1.2 Caractéristiques physiques du littoral de la Casamance	4
1.2.1 Contexte climatique	4
1.2.2 Contexte géologique et géomorphologique	5
1.2.2.1 Le Tertiaire	6
1.2.2.2 Le Quaternaire	6
1.2.3 Hydrologie du fleuve Casamance	7
1.2.4 Conditions météo-marines	8
1.2.4.1 Les vagues/houles	8
1.2.4.2 La marée	9
1.3 Hotspots de l'érosion sur le littoral de la Casamance	10
1.4 Risques côtiers et enjeux sur les sites ateliers	14
1.5 Conclusion	15
<b>2 MÉTHODOLOGIE</b>	<b>16</b>
2.1 Stratégie d'étude	16
2.2 Analyse de la variabilité temporelle de l'érosion côtière	16
2.2.1 Choix des profils de plage	16
2.2.2 Levés topographiques au DGPS	17
2.2.2.1 Outils et techniques de traitement des données	19
2.2.2.2 Typologie des résultats des levés topographiques	20
2.2.3 Analyses sédimentaires	20
2.2.3.1 Stratégie d'échantillonnage	20
2.2.3.2 Prélèvements de sédiments	20
2.2.3.3 Traitement des échantillons	21
2.2.3.4 Typologie des résultats des analyses sédimentaires	23

<b>3</b>	<b>RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</b>	<b>27</b>
3.1	Quantification de la variabilité temporelle des dynamiques sédimentaires . . . . .	27
3.1.1	Dynamique sédimentaire à Diogué . . . . .	27
3.1.2	Dynamique sédimentaire à Carabane . . . . .	34
3.1.3	Synthèse sur les processus sédimentaires . . . . .	41
3.2	Techniques de lutte contre l'érosion côtière . . . . .	41
	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>46</b>
	<b>ANNEXES</b>	<b>48</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>54</b>
	<b>Webographie</b>	<b>56</b>

# Table des figures

1.1	Directions principales et fréquences des vents à la station de Ziguinchor Thior (2020)	5
1.2	Morphologie de le la basse Casamance au quaternaire vers 5 500 BP à 1 500 BP Thior (2020)	7
1.3	Bassin versant de la Casamance (Diakhaté, 2017)	7
1.4	Houles du Nord-ouest et Sud-ouest sur le littoral de la Casamance Thior <i>et al.</i> (2022)	8
1.5	Vitesse et sens des courants de marée à l’embouchure de la Casamance Thior <i>et al.</i> (2022)	10
1.6	Cinématique du trait de côte de Diogué de 1968 à 2017 Thior (2020)	11
1.7	Cinématique du trait de côte de Carabane de 1968 à 2017 Thior (2020)	11
1.8	Localisation des sites d’étude (Carabane et Diogué)	12
1.9	Occupation du sol Thior <i>et al.</i> (2021)	13
1.10	Unités de transformations et claies de séchages des produits halieutiques à Diogué	14
2.1	Localisation des profils de mesure à Diogué et Carabane	17
2.2	Utilisation du DGPS pour la mesure topographique	19
2.3	Principales unités morphologiques d’une plage sableuse (Faye, 2010)	20
2.4	Prélèvements de sédiments	21
2.5	Lavage des échantillons de sédiments bruts	21
2.6	Décarbonatation des sédiments (réaction entre l’acide et le carbonate de calcium)	22
2.7	Outils de traitements des échantillons de sédiments	23
2.8	Image de la feuille d’entrée de données GRADISTAT	24
2.9	Image de la feuille de sortie de données GRADISTAT	24
2.10	Courbes illustratives de la valeur du skewness	26
3.1	Comparaison des profils de plages à Diogué en Octobre et Décembre 2023.	28
3.2	Comparaison des profils de plages à Diogué Décembre 2023 et Mars 2024.	29
3.3	Comparaison des profils de plages à Diogué en Octobre 2023 et Mars 2024.	30
3.4	Courbes de fréquence granulométriques des profils de plages de Diogué sur la période d’étude.	32
3.5	Variation de la moyenne granulométrique des sédiments de l’estran des profils du site de Diogué	33
3.6	Variation longitudinale de classement granulométrique des sédiments de l’estran des profils du site de Diogué	33
3.7	indice d’asymétrie de l’unité estran des profils de plages de Diogué.	34
3.8	Comparaison des profils de plages de Carabane en Octobre et Décembre 2023.	35
3.9	Comparaison des profils de plages de Carabane en Décembre 2023 et Mars 2024.	36
3.10	Comparaison des profils de plages de Carabane en Octobre 2023 et Mars 2024.	37
3.11	Courbes de fréquence granulométriques des profils de plages de Carabane sur la période d’étude.	39

---

3.12	Variation de la moyenne granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane. . . . .	40
3.13	Variation longitudinale de l'indice de classement granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane. . . . .	40
3.14	Variation longitudinale de l'indice d'asymétrie des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane. . . . .	41

# INTRODUCTION

Pour une superficie de 510 millions de  $km^2$ , la planète Terre est constituée à 70% d'océans et de mer, et à 30% de continents. La zone qui sépare les océans des continents, également connue sous le nom de côte, a historiquement attiré les humains en raison de ses nombreux bienfaits, de sa valeur esthétique et des multiples services écosystémiques qu'elle offre. En conséquence, les zones côtières à travers le monde sont devenues des lieux très peuplés et densément développés, avec 15 des 20 plus grandes mégapoles (population > 10 millions) situées en zone côtière. Le littoral mondial présente une grande diversité spatiale, comprenant différents types de reliefs côtiers tels que des presqu'îles, des falaises, des estrans et des deltas fluviaux (Luijendijk *et al.*, 2018). Cependant, ces zones ne sont pas à l'abri des aléas naturels tels que la submersion marine et l'érosion. L'érosion côtière, qui se définit comme la perte de matière des sols situés en bordure de mer, entraîne le recul du trait de côte. C'est un phénomène généralisé à l'échelle planétaire. En Europe, environ 20% des plages sont touchées par l'érosion (Européen Commission), tandis qu'en Amérique, ce pourcentage atteint 45 % des plages de la Floride à la Caroline du Nord (Morton *et al.*, 2005) Morton *et al.* (2005) et 40% des plages californiennes (Hapke *et al.*, 2006). L'analyse d'images basée sur des pixels montre que 31% du littoral libre de glace est sableuse et que le continent ayant la plus forte présence de plages sableuses est l'Afrique avec un pourcentage de 66% (Luijendijk *et al.*, 2018).

Les côtes sableuses sont particulièrement vulnérables à l'érosion en raison de leur dynamisme, de leur instabilité et de leur mobilité (MOLOA 2017). Environ 70% des plages sableuses mondiales sont affectées par l'érosion (Bird, 1985). Cependant, cette estimation résulte d'interviews menées sur 200 participants. Une étude plus récente basée sur l'analyse de données du littoral global provenant d'observations satellitaires réalisée en 2018 indique que 24% des plages sableuses du monde s'érodent à un rythme dépassant 0,5 m/an sur la période 1986-2016 (Luijendijk *et al.*, 2018). Au niveau mondial, les littoraux ouest-africains, composés en grande partie d'estuaires et de plages, subissent également ce phénomène, avec des taux de recul pouvant atteindre 1,2 à 6 m/an (Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE), 1985; Faye, 2010).

Le Sénégal, avec ses 706,72 km de côtes, fait partie des pays d'Afrique de l'Ouest les plus touchés par l'érosion côtière, avec un taux de recul moyen annuel qui varie entre 1 et 2 m/an (Niang-Diop, 1995). Les études menées par divers auteurs au cours des dernières décennies, tels que Bird (Niang-Diop, 1995; Luijendijk *et al.*, 2018). Thior (2020); Cissé *et al.* (2023); Mendoza (2023) illustrent l'ampleur de ce phénomène. Le littoral de la Casamance, au sud du Sénégal, est marqué par un recul généralisé du trait de côte, à l'exception de quelques espaces progrades dans sa partie nord. Les îles de Carabane, Diogué et la pointe de Gnikine, caractérisées par une topographie basse d'environ 2 m et des plages sableuses, sont particulièrement vulnérables et s'inscrivent dans cette dynamique régressive (Thior *et al.*, 2022).

Ce travail de recherche se concentre spécifiquement sur le littoral de la Casamance, en particulier sur les plages de Carabane et Diogué, qui sont des hotspots de l'érosion côtière en Casamance. Le choix de ces sites repose sur les enjeux économiques, sociaux, culturels et environnementaux importants, ainsi que sur le fait qu'ils semblent se trouver dans une zone de déficit sédimentaire par rapport aux secteurs de la grande côte sénégalaise ouverte sur le littoral sénégal-mauritanien Faye (2010); Sy (2013), et sur l'importance de son embouchure en termes de navigation et de

---

site patrimonial.

Les facteurs à l'origine de ce processus d'érosion côtière peuvent être naturels ou anthropiques ((Niang-Diop, 1995; Barry, 2017)). Il est donc essentiel de comprendre ce processus afin de proposer des solutions durables de lutte et de protection du littoral. L'objectif général de cette recherche est donc de comprendre la dynamique du processus d'érosion côtière dans cette région afin de proposer des solutions de protection. Cet objectif général est décliné en deux objectifs spécifiques (OS).

Le premier OS vise à analyser la variabilité temporelle de l'évolution morphologique du processus d'érosion à partir de données de levés topographiques sur le profil cross-shore de la plage. Ces levés sont effectués durant les mois d'octobre 2023, décembre 2023 et mars 2024, ce qui permettra d'obtenir des profils topographiques détaillés. Ces missions de mesure ont été planifiées par la DEEC dans le cadre du projet GIZC.

Le deuxième OS consiste à répertorier les solutions possibles de protection du littoral, afin d'atténuer les effets de l'érosion côtière. Le travail s'articule autour de trois chapitres encadrés par une introduction et une conclusion :

[chapitre 1](#) : Cadre de l'étude

[chapitre 2](#) : Méthodologie

[chapitre 3](#) : Résultats et discussions

# Chapitre 1

## Cadre de l'étude

Dans le but de comprendre la dynamique du processus d'érosion sur le littoral de la Casamance en vue d'identifier des solutions de protection de la côte, il est important de connaître les caractéristiques physiques du milieu dans lequel se fait l'étude, l'occupation du sol et les activités socio-économiques ainsi que les risques côtiers auxquels il est confronté. L'objectif de ce chapitre est d'apporter les informations sur le climat du milieu, la formation géologique et géomorphologique, sur l'hydrologie du fleuve et les conditions météo-marines d'une part et d'autre part l'occupation du sol et les risques.

### 1.1 Définition des concepts

**Erosion côtière :** elle est défini comme la rupture d'équilibre entre la partie marine et la partie terrestre de la côte, avec l'apparition d'un déficit de sédiments au niveau de la partie marine.

**Morphodynamique côtière :** comme son nom l'indique la morphodynamique côtière est la dynamique de la morphologie des plages. Elle fait référence à l'étude de l'évolution de la forme et de la structure externes des plages.

**Plage :** la plage est définie en géomorphologie comme une accumulation sur le bord de mer, sur la rive d'un cours d'eau, d'un lac ou plan d'eau quelconque, de géomatériaux d'une taille variable allant des sables fins aux blocs. La plage est une étendue de particules de sédiments de taille variée situés en amont de la mer, d'un lac etc.

**Marée :** la marée est un mouvement oscillatoire du niveau de la mer causée par l'attraction entre la lune, la terre et le soleil.

**Houle :** la houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer, généralement causé par des vents lointains ou des perturbations atmosphériques. Elle se caractérise par une série de vagues régulières et uniformes qui se déplacent sur de longues distances, souvent bien après que le vent qui les a générées ait cessé de souffler.

**Vague :** une vague est une déformation de la surface d'une étendue d'eau comme l'océan, la mer ou le lac le plus souvent sous l'effet du vent.

**Courant littoral :** le courant littoral est un déplacement de masse d'eau le long de la côte du à l'approche des vagues avec un certain angle au niveau du rivage déplaçant ainsi l'eau parallèlement au rivage.

**Dérive littoral :** la dérive littorale est le transport de sédiments résultant du Swash (montée d'eau vers le haut par le courant littoral) transportant des particules de sédiment le long

de la plage et du backwash (déplacement de l'eau vers le bas par le courant de retour) déplaçant les sédiments vers le bas de plage.

**Transport cross-shore :** le transport cross-shore est le mouvement de courants perpendiculaires aux rivages produit par l'action combinée des vagues, du vent et des marées.

**Solutions douces :** les solutions douces ou méthodes souples sont des solutions de protections de la côte basées sur la nature. Ces solutions sont définies comme les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou de modifier pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité.

**Solutions dures :** les solutions dures sont des méthodes de protection du littoral sur les enjeux immédiats et ont pour rôle de fixer le trait de côte.

**Aléas :** les aléas sont des événements naturels imprévisibles pouvant perturber l'équilibre d'un milieu.

**Enjeu :** un enjeu de façon plus simple est ce que l'on peut gagner ou perdre. Dans notre contexte l'enjeu peut être défini comme les conséquences liées aux différents aléas et peut être d'ordre social, économique ou environnemental.

**Risque :** le risque est la probabilité d'apparition d'un éventuel danger. Il est aussi définie comme une mesure de la situation dangereuse qui résulte de la confrontation entre l'aléas et les enjeux.

**Vulnérabilité :** la vulnérabilité est la sensibilité à laquelle une population ou un milieu peut être affecter par les effets d'un aléa.

## 1.2 Caractéristiques physiques du littoral de la Casamance

### 1.2.1 Contexte climatique

Le climat détermine l'ensemble des conditions météorologiques moyennes observées sur une longue période dans une région donnée. Le littoral de la Casamance qui se situe au Sud du Sénégal appartient au domaine Sénégal-Mauritanien (Thior, 2020). Son climat, qui est de type tropical soudano-guinéen est une variante du climat tropical que l'on trouve principalement dans la région soudano-guinéenne. Il est caractérisé par une alternance de saisons sèches et humides, avec une forte influence des moussons et des alizés (Figure 1.1). La saison sèche dure de novembre à mai et la saison des pluies de juin à octobre.

- Les alizés : ce sont des vents permanents des régions intertropicales. Deux types d'alizés circulent sur les côtes sénégalaises et donc sur le littoral de la Casamance : l'alizé maritime et l'alizé continental. L'alizé maritime est issu de l'anticyclone des Açores et circule du nord-est vers le sud-ouest entre janvier et mai. Les alizés maritimes jouent un rôle important dans le remaniement des sédiments des dunes et deviennent également destructeurs lorsque le climat est aride (Fall et al., 2022). Les alizés continentaux encore appelés harmattan sont issus de l'anticyclone maghrébin. Ils sont principalement dirigés du nord-est vers le sud-ouest dans l'hémisphère nord. Ils soufflent de décembre à février et influent moins la zone côtière.
- La mousson : la mousson est un vent issu de l'anticyclone de Sainte-Hélène. Elle a des impacts significatifs sur le climat et les conditions météorologiques en Afrique de l'Ouest et sur l'océan Atlantique. Elle est saisonnière et est caractérisée par des vents de surface et des retenues abondantes qui concernent l'Afrique de l'Ouest, en particulier entre juin et septembre. Elle est provoquée par les variations saisonnières de la position de la ZCIT et est à l'origine des précipitations au Sénégal.

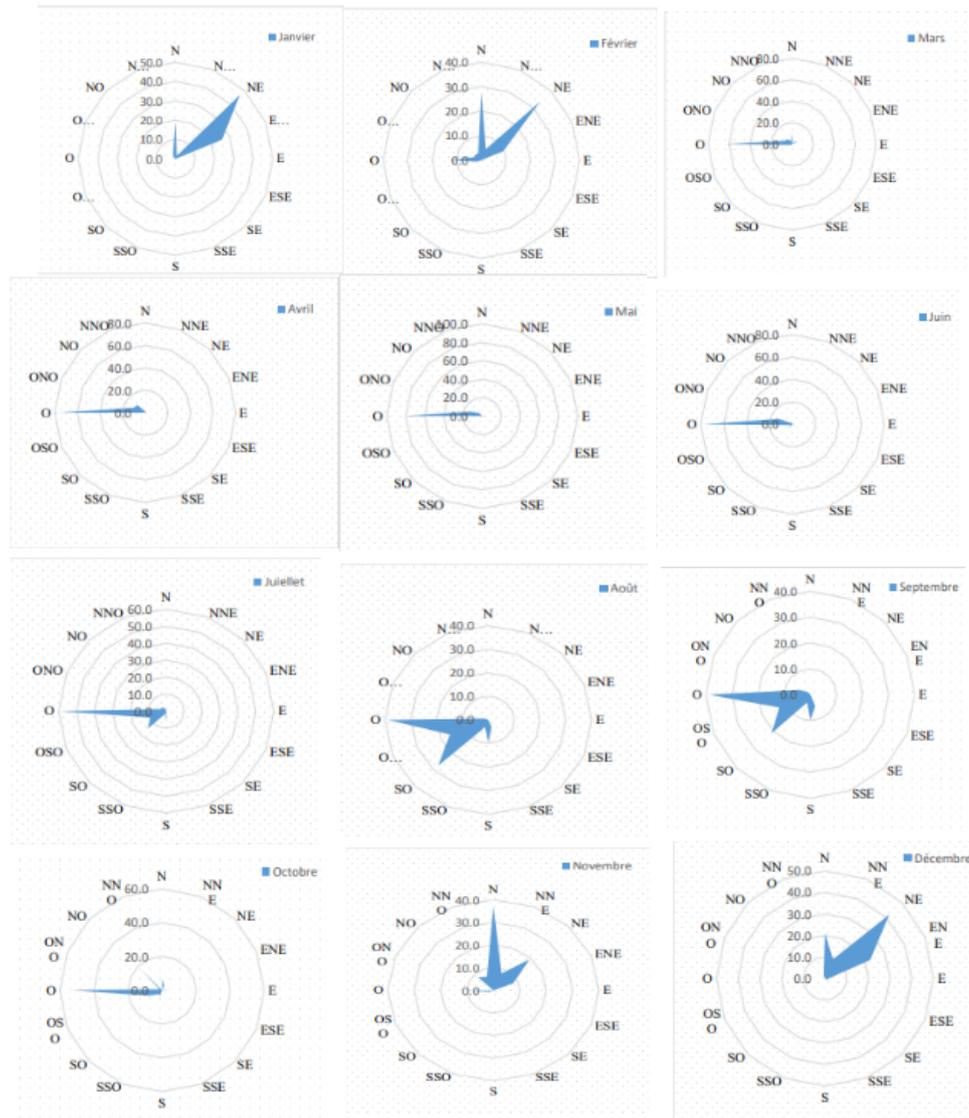


FIGURE 1.1 – Directions principales et fréquences des vents à la station de Ziguinchor [Thior \(2020\)](#)

### 1.2.2 Contexte géologique et géomorphologique

Pour mieux comprendre les transformations géologiques qui sont à l'origine de cette morphologie actuelle, il faut retourner à l'échelle des temps géologiques qui n'est rien d'autre que le système de classement qui découpe l'histoire de la terre en différents noms selon le temps. L'échelle géologique est constituée de plusieurs ères et celle qui nous intéresse le plus est le Cénozoïque qui regroupe le tertiaire et le quaternaire. Le quaternaire estimée à 2,6 millions d'années, est la période la plus récente sur l'échelle des temps géologiques. C'est particulièrement la période géologique durant laquelle beaucoup de formes et formations se sont mises en place. Le littoral de la Casamance, aux caractéristiques à dominance estuarienne, s'est formé pendant la transgression holocène où le niveau de la mer s'est élevé ([Thior, 2020](#)).

### 1.2.2.1 Le Tertiaire

Le tertiaire est la période géologique qui précède le Quaternaire et qui s'étend de 66 à 2,6 millions d'années avant notre ère. Il est divisé en deux époques majeurs : le Paléogène et le Néogène. Le Paléogène comprend les périodes du Paléocène, de l'Éocène et de l'Oligocène, tandis que le Néogène englobe le Miocène et le pliocène. En basse Casamance, la géologie du tertiaire est marqué par des événements importants, notamment au cours du Miocène (série du Néogène). Durant cette période, une phase de transgression marine a entraîné le dépôt de sédiments argilo-sableux d'une épaisseur comprise entre 50 à 150 m sur l'ensemble de la Basse région (Saos *et al.*, 1987). Par la suite, une phase de régression marine a suivi cette transgression, conduisant à la formation de dépôt sédimentaires d'origine continentale, connu sous le nom de Continental Terminal. Ces sédiments détritiques sont constitués de grès argileux bariolés, inter-stratifiés de couches d'argile, et serait originaire des régions plus élevées à l'est du bassin (Fouta Djallon) et se serait déposé sous l'action d'un climat tropical à tendance subaride (Malou, 1992).

### 1.2.2.2 Le Quaternaire

Le Quaternaire est subdivisé en deux époques géologiques qui sont le Pléistocène et Holocène. Le milieu estuarien de la Casamance s'est mis en place sous l'effet des changements climatiques survenus au cours de cette période, notamment de l'Holocène moyen ou Nouakchottien (Malou, 1992). A partir de 500 000 BP, un niveau initial d'érosion s'observe sur le plateau. Vers 30 000 BP, une forte régression marine (creusement des vallées) causée par la glaciation de Würm (période majeure de glaciation de l'ère quaternaire en Europe marquant la fin du pléistocène et le début de l'holocène) commence. Cette régression entraîne le niveau de la mer à une cote minimale de -120 m entre 20 000 et 17 000 BP période où son maximum est observé. Suite à ça, la Casamance entaille profondément son lit sous un climat aride et les grandes dunes ogoliennes envahissent la majeure partie du Sénégal entre 18 000 et 15 000 BP (Malou, 1992). A partir de 15 000 BP, une phase de transgression marine débute conduisant à une mise en place de 10 m de terrasse. Elle est vite suivie d'une autre phase de régression marine (phase de recreusement des vallées) à 14 000 BP divisant le plateau. Une nouvelle phase de transgression marine s'observe vers 5500 BP, mettant fin à la période de régression et ramène le niveau de la mer à la côte maximale de +2,5m. C'est en effet cette période que la mer a connu son plus haut niveau et est connu sous le nom de transgression Nouakchottien. Durant cette période Nouakchottien, lorsque la transgression atteint son maximum (5 500 BP), la basse Casamance est fortement envahie par la mer qui y forme un large golf ouvert sur l'océan (Figure 1.2). Aux environs de 4 500 BP, l'apparition de la dérive littorale N-S provoque la formation de cordons littoraux qui tendent à fermer le golf de la Casamance. La progression de ces cordons littoraux vers 3 000 BP fait que le golf de la Casamance se présente alors sous la forme d'une grande lacune où la mangrove peut se développer intensément. La Casamance prend alors son allure comparable à l'actuelle vers 1 500 BP. La fermeture du golf par les cordons littoraux entraîne la diminution des apports marins et par conséquent un important ralentissement de l'évolution morphologique (Kalck, 1978).

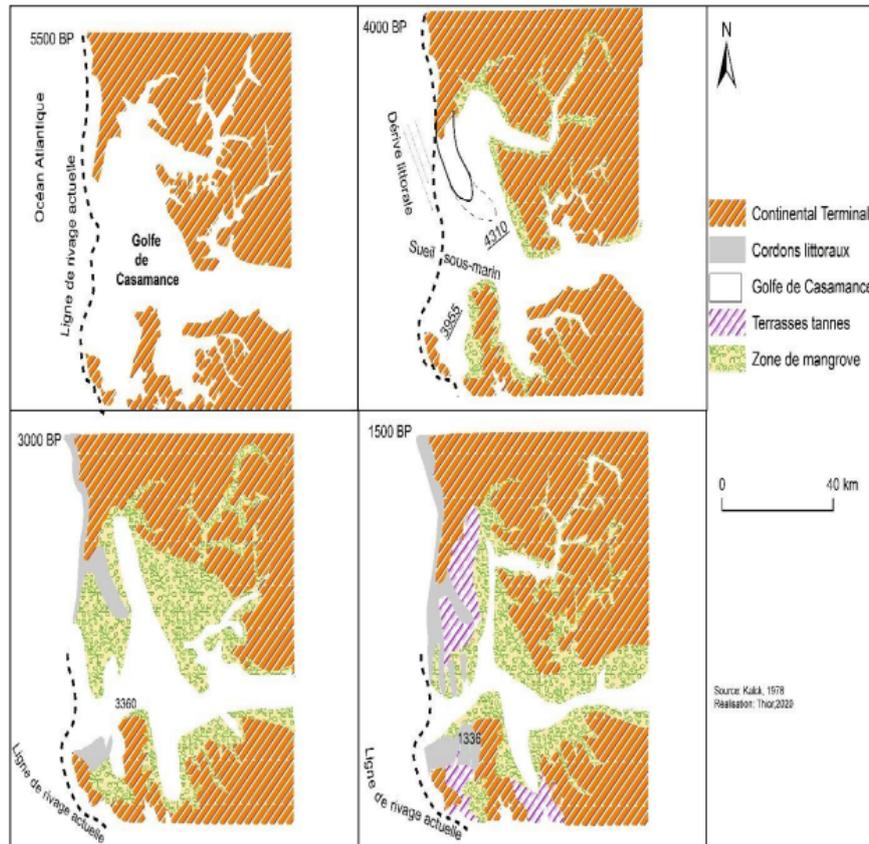


FIGURE 1.2 – Morphologie de la basse Casamance au quaternaire vers 5 500 BP à 1 500 BP Thior (2020)

### 1.2.3 Hydrologie du fleuve Casamance

Le fleuve Casamance, comme son nom l'indique appartient au bassin versant de la Casamance ( Figure 1.3).

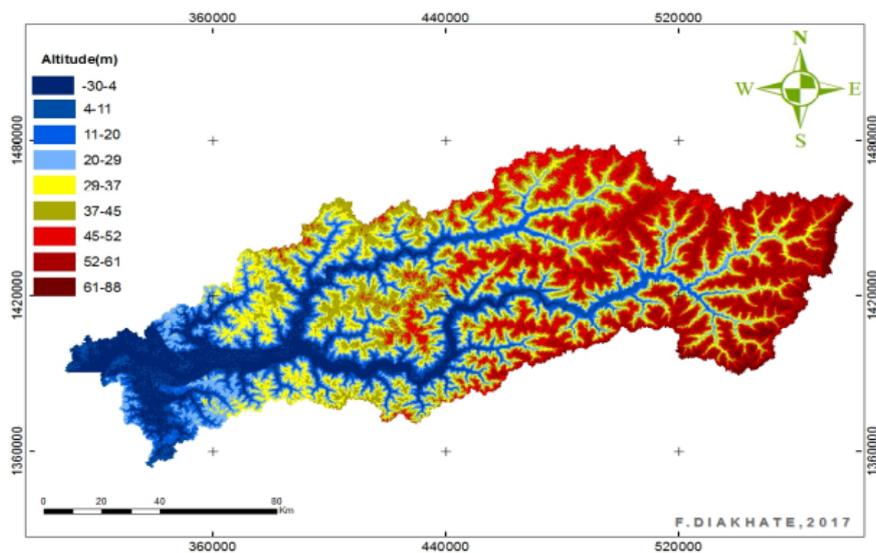


FIGURE 1.3 – Bassin versant de la Casamance (Diakhaté, 2017)

Il s'étend sur une longueur de 350 km entre les latitudes 12°20 et 13°21N et les longitudes 14°17 et 16°47 W. Il prend sa source à Fafacourou et son écoulement pérenne est estimé environ à 129 millions  $m^3$ /an à la station hydrologique de Kolda (Thior, 2020).

## 1.2.4 Conditions météo-marines

### 1.2.4.1 Les vagues/houles

Le vent est le principal déclencheur des houles. Lorsqu'il souffle sur la surface de l'océan, il lui transfère son énergie par friction, créant ainsi des ondes qui se propagent et plus le fetch (distance sur laquelle le vent souffle sans interruption sur la surface de l'eau) est long plus les vagues sont grandes. Lorsqu'elle s'approche de la côte, le creux de l'onde a tendance à être freiné par le fond marin entraînant une augmentation de l'amplitude de la crête et finit ainsi par déferler au niveau de la côte. Les houles induisent sur le littoral sénégalais, des courants parallèles à la côte (dérive littorale) de directions et sens préférentiels Nord-Sud et Sud-Nord (Diop, 1990; Niang-Diop, 1995). Le transit sédimentaire le long du littoral est assuré essentiellement par ces courants de dérive et se fait du Nord vers le Sud. Le littoral du Sénégal est confronté à des houles longues générées dans les hautes latitudes (Niang-Diop, 1995). Cependant, les houles longues qui affectent le plus le littoral du Sénégal donc de la Casamance sont les houles de nord-ouest et les houles de sud-ouest ( Figure 1.4).

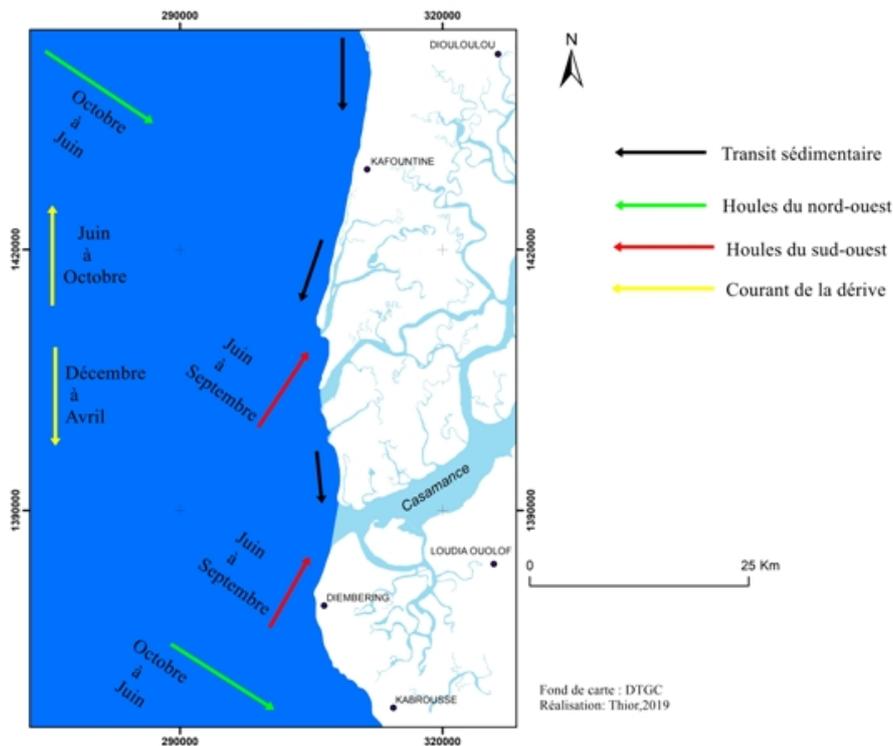


FIGURE 1.4 – Houles du Nord-ouest et Sud-ouest sur le littoral de la Casamance Thior *et al.* (2022)

Les houles de Nord-ouest originaires de l'Atlantique Nord sont obliques à la côte sénégalaise où elles ont une présence permanente (Sakho, 2011). Mais elles sont plus importantes pendant la saison sèche entre les mois d'octobre et juin. L'effet de la direction oblique du Nord au Sud entraîne sur les côtes Sud la formation des flèches littorales et des cordons sableux allongés vers le Sud. Sur les côtes casamançaises, cette houle a orienté les cordons sableux récents de Diogué, les petites flèches de Kalissaye et au Sud de l'embouchure (Commune de Diembering).

En revanche, les dépressions et les dunes de la côte de Gnikine sont sous l'influence de la houle du Sud-Ouest ([Thior et al., 2022](#)).

Les houles de Sud-ouest issues de l'Atlantique sont principalement générées par des systèmes de dépressions atmosphériques intenses, appelés cyclones extratropicaux, qui se forment et se déplacent dans les latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère sud. Ces dépressions sont fréquentes dans la région autour du 40<sup>ème</sup> parallèle sud, souvent surnommées les "Quarantièmes Rugissants" en raison de la force des vents et des conditions océaniques tumultueuses. Elles trouvent leur limite septentrionale sur la Petite Côte du fait de la diffraction subie autour de la presqu'île du Cap-Vert, elles sont présentes pendant la saison des pluies entre juin et septembre sur les côtes sénégalaise. Son influence sur les côtes casamançaises est surtout marquée par l'orientation des dunes sableuses au Nord.

#### 1.2.4.2 La marée

Au Sénégal, la marée est semi-diurne donc constituée de deux marées hautes ou pleine mer (PM) et de deux marées basses (BM). La durée entre une PM et une BM est d'environ 6h et les hauteurs des BM et des PM varient en fonction de la position des astres. Lorsque les astres sont en phase c'est-à-dire alignés on parle de (BM) ou (PM) de vives eaux et lorsqu'ils sont en quadrature (directions Terre-Soleil et Terre-Lune perpendiculaires) on parle de (BM) ou (PM) de mortes eaux. Les vives eaux se produisent en nouvelle lune ou en pleine lune avec des amplitudes de marées nettement supérieures à la moyenne. Les mortes eaux se produisent au premier ou au dernier quartier lunaire avec des amplitudes de marées nettement inférieures à la moyenne. Elle est associée à l'onde de marée et au courant de marée. Le courant de marée comme son nom l'indique est engendré par la marée, elle constitue la composante horizontale de l'onde de marée et du marnage (différence de hauteur entre la PM et la BM) ([Durand, Durand](#)). Sur le littoral de la Casamance au fur et mesure qu'on s'approche de l'embouchure, la vitesse du courant augmente et atteint 1,2 m/s au cours des marées de printemps (de mars à mai). Ils sont plus forts en BM qu'en PM ( [Figure 1.5](#)) et constituent un agent de transport et de dépôt des matières vers l'embouchure ([Thior et al., 2022](#)).

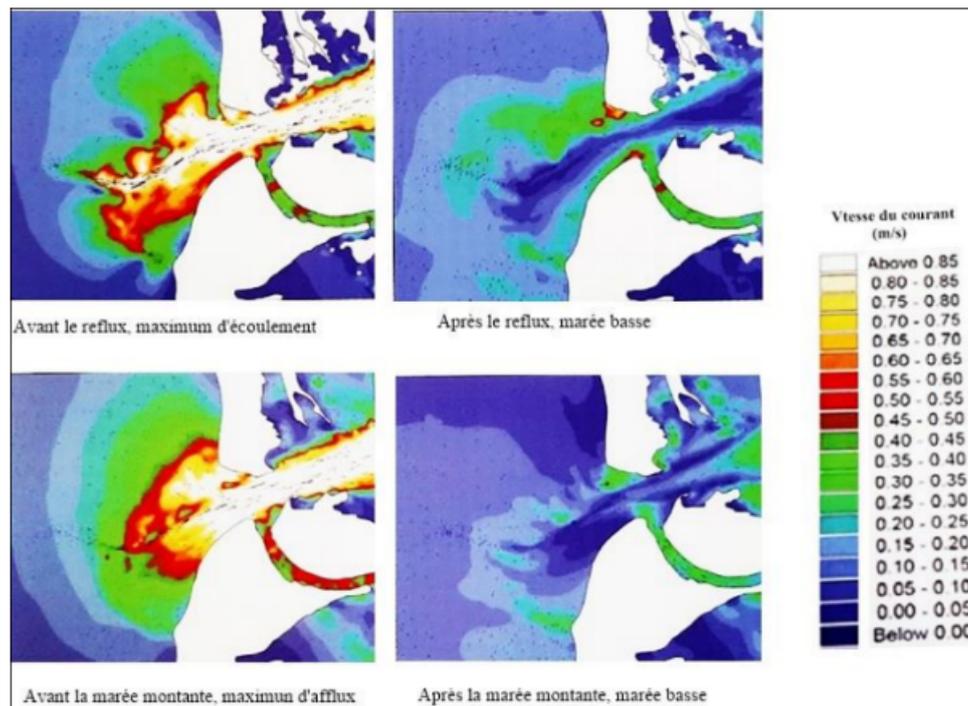


FIGURE 1.5 – Vitesse et sens des courants de marée à l’embouchure de la Casamance [Thior et al. \(2022\)](#)

L’onde de marée qui se produit devant l’embouchure d’un fleuve donne naissance à une onde dérivée qui remonte le fleuve vers l’amont. Au niveau de l’estuaire de la Casamance, l’onde de marée remonte dans le fleuve Casamance jusqu’à plus de 200 km de son embouchure correspondant à sa partie maritime. On appelle partie maritime d’un fleuve celle qui s’étend de l’embouchure jusqu’au point où les plus fortes marées, pendant les périodes d’étiage du débit fluvial, cessent de se faire sentir. Les courants qui s’observent dans la partie maritime d’un fleuve sont les résultats des courants variables qui accompagnent l’onde de marée et du courant dû au débit fluvial. La prédominance du jusant (flux descendant) sur le flot (flux montant) augmente à mesure que l’amplitude de la marée diminue. Cela continue jusqu’à atteindre un point, qui varie en fonction du débit du fleuve, au-delà duquel seul le jusant reste, avec une intensité qui change selon l’heure de la marée. Tant qu’on observe la renverse des courants, le flot s’établit toujours après le moment de la marée basse et dure, pour une onde de marée déterminée, de moins en moins longtemps lorsqu’elle remonte le fleuve, si bien que le jusant qui, vers l’embouchure, s’établissait après le moment de l’étale de marée haute, arrive en amont à s’établir avant même cette étale ([Brunet-Moret, 1970](#)).

### 1.3 Hotspots de l’érosion sur le littoral de la Casamance

Les études menées par [Thior \(2020\)](#) sur la période de 1968 à 2017 montrent que l’évolution du trait de côte à l’échelle du littoral de la Casamance n’est pas homogène. La dynamique du trait de côte montre deux tendances : une première période (1968-1986) caractérisée globalement par une progradation et une seconde période (1986-2017) caractérisée par un recul global de la plage. Environ 70% des plages du littoral de la Casamance sont en érosion.

La cinématique du trait de côte dans la partie Sud de Diogué (portion 160) montre un recul général du trait de côte ( [Figure 1.6](#)). De 1968-1986, elle a connu une perte de 145,08 m soit

une vitesse de recul de 8,06 m/an, de 1986-2004, une perte de 236,88 m est enregistrée soit un taux de recul de 13,16 m/an et pour la période 2004-2017 l'érosion est de 49,27 m donc 3,79 m/an. La plage de Diogué totalise donc un recul de 549,78 m sur la période d'étude soit une vitesse de recule de 11,22 m/an.

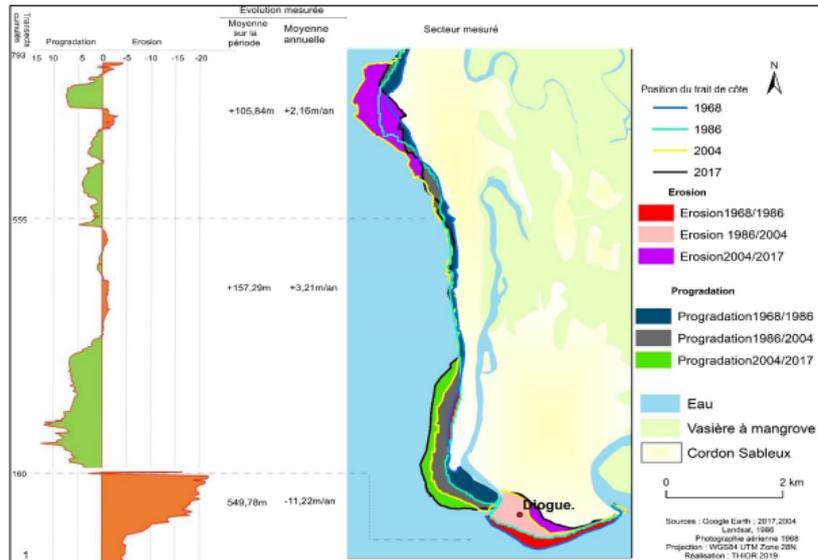


FIGURE 1.6 – Cinématique du trait de côte de Diogué de 1968 à 2017 Thior (2020)

L'évolution pluri décennale du trait de côte du site de Carabane de 1968 à 2017 est représentée sur la ( Figure 1.7), la partie Nord-Est qui est marquée par une évolution régressive est notre zone d'intérêt. Entre 1968 et 1986, il y a progradation de 47,66 m soit une vitesse d'avancement de 2,37 m/an. Entre 1986 et 2004, le trait de côte régresse avec une vitesse de 1,14 m/an donc un recul de 20,52 m du trait. De 2004 à 2017 un autre recul de 22,13 m est noté soit une vitesse de recul de 1,73 m/an. En moyenne le trait de côte a reculé de 44,49 m soit une vitesse de recul de 0,91 m/an.

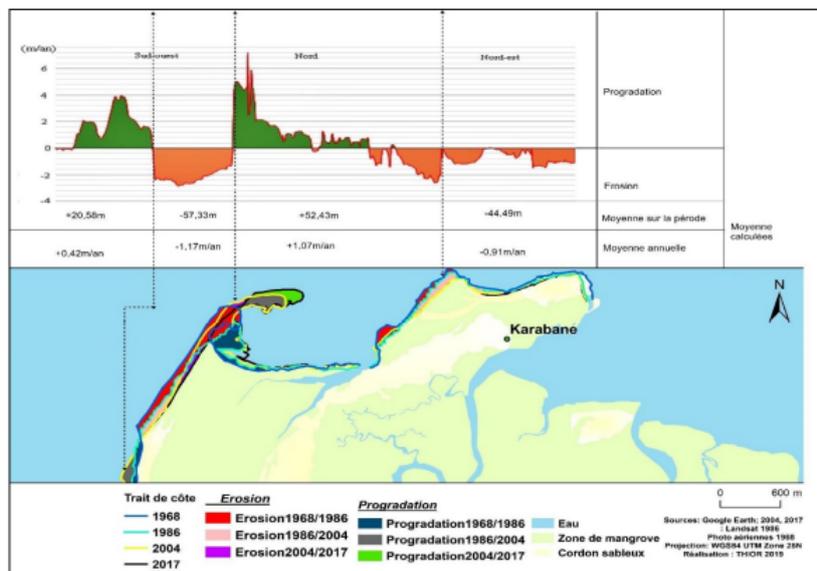


FIGURE 1.7 – Cinématique du trait de côte de Carabane de 1968 à 2017 Thior (2020)

Cependant, les zones autour de l'embouchure du fleuve Casamance connaissent une érosion généralisée avec des maxima notés à Diogué avec un taux de recul de 5,85 m/an et à Carabane avec 0,60 m/an (Thior, 2020). Ces hotspots d'érosion sur le littoral de la Casamance justifient le choix des îles de Diogué et de Carabane ( Figure 1.8)) comme sites d'étude dans le cadre de ce travail.

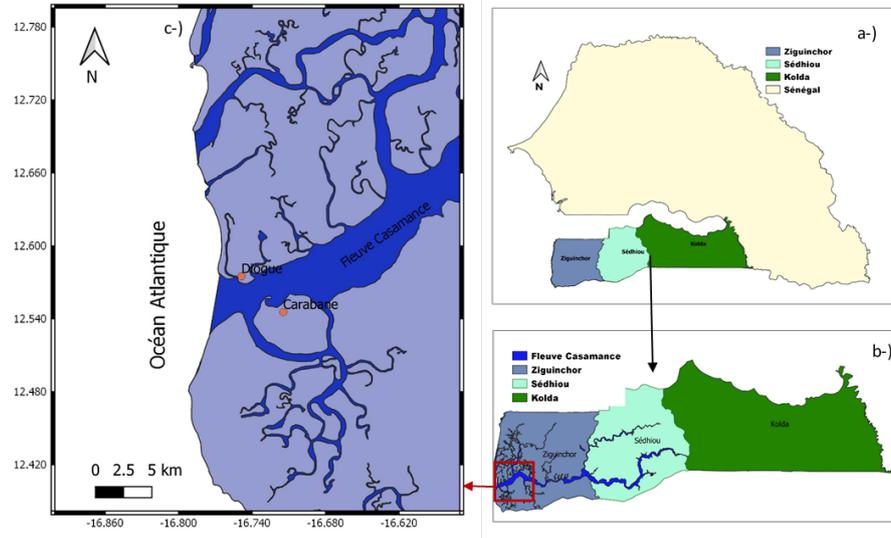


FIGURE 1.8 – Localisation des sites d'étude (Carabane et Diogué)

- Diogué se situe à  $12^{\circ}34'N$  et  $16^{\circ}45'W$ , il se trouve sur la rive droite de l'embouchure du fleuve Casamance.
- Carabane est une île fluviale qui se situe à  $12^{\circ}32'N$  et  $16^{\circ}43'W$  sur la rive gauche de l'embouchure du fleuve Casamance.

## Occupation du sol

- Diogué a une superficie de  $320 \text{ km}^2$ , son sol est réparti en différentes zones selon l'occupation. La zone de mangrove occupe la plus grande partie suivie de la zone agricole (rizière) et la zone d'habitation (face au fleuve). La plage et le cordon sableux semble occuper la plus petite partie ( Figure 1.9).

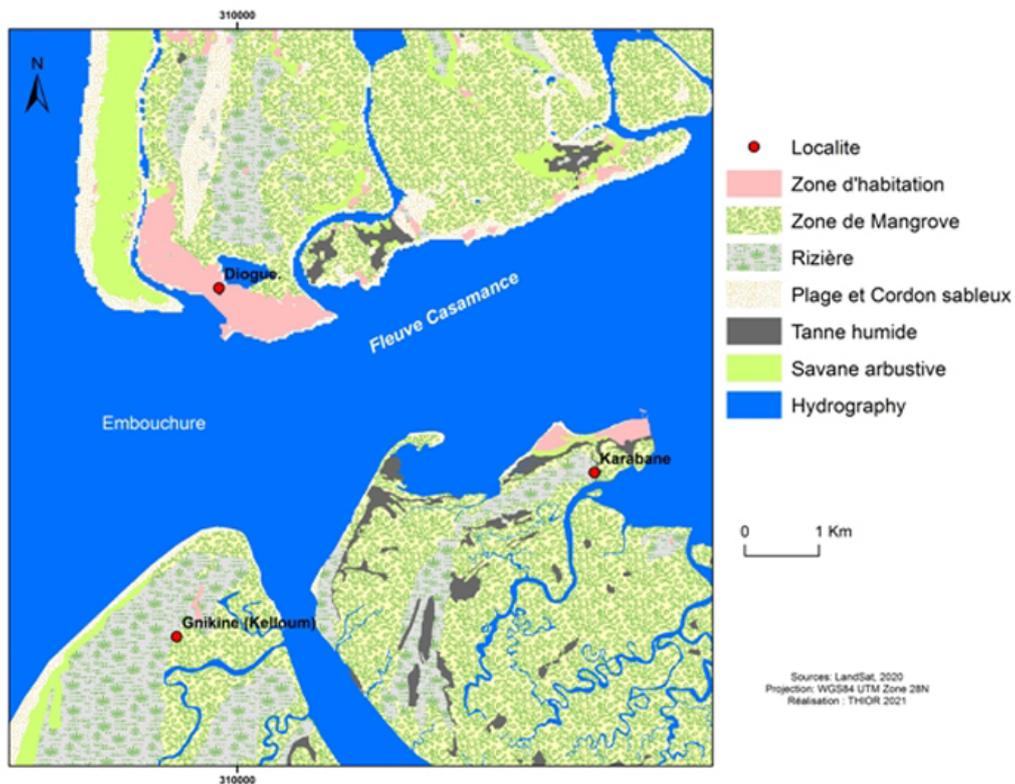


FIGURE 1.9 – Occupation du sol Thior *et al.* (2021)

- Carabane quant à elle, a une superficie est de  $57 \text{ km}^2$ . La zone de mangrove occupe presque 90% de l'île, suivie de la zone agricole, les tannes et en dernière position la zone d'habitation.

### Activités socio-économiques

- Dans le village de Diogué, les activités socio-économiques sont la pêche, l'agriculture et les transformations des produits halieutiques ( Figure 1.10). Cependant la principale activité économique est la pêche.



FIGURE 1.10 – Unités de transformations et claies de séchages des produits halieutiques à Diogué

- L'île de Carabane quant à elle, occupe une première place dans le tourisme de découverte des vestiges historiques en basse Casamance. Le tourisme est donc la plus grande activité socio-économique de ce site. Toutefois, la pêche artisanale et la collecte de crustacés, y sont aussi pratiquées. La production de l'huile de palme et du vin fait partie des activités complémentaires ([Le soleil](#)).

## 1.4 Risques côtiers et enjeux sur les sites ateliers

Les risques côtiers désignent les menaces et dangers auxquels les zones littorales sont exposées, en raison de leur position géographique et des activités humaines. Ces risques peuvent avoir des impacts significatifs sur les populations locales, les infrastructures et les écosystèmes.

### Diogué

Le site de Diogué est exposé à différents dangers parmi lesquels on peut citer :

- Érosion côtière : érosion des plages et des falaises due aux vagues, aux courants et aux tempêtes entraînant la perte de terres et de propriétés.
- Inondations côtières : tempêtes et marées hautes pouvant provoquer des inondations dans les zones côtières.
- Salinisation des terres agricoles et des sources d'eau douce.

### Carabane

Le site de Carabane tout comme Diogué est exposé aux mêmes menaces côtières. Mais les enjeux sont plus élevés au niveau de l'île de Carabane où les patrimoines historiques sont menacés comme l'ancienne église bretonne, l'entrepôt des esclaves, la prison ([Thior et al., 2021](#)).

## 1.5 Conclusion

En résumé, ce chapitre intitulé "cadre d'étude" a permis de disposer d'informations essentielles du milieu d'étude grâce à la littérature existante. Ainsi, les différents concepts développés dans ce chapitre offrent une base nécessaire à la compréhension du sujet de notre étude. Dans le chapitre suivant, la méthodologie employée pour répondre à la question de recherche sera détaillée, tout en expliquant les choix méthodologiques et les techniques de traitement.

# Chapitre 2

## MÉTHODOLOGIE

L'objectif de ce chapitre est de faire l'inventaire des différents matériels utilisés et d'apporter des explications sur le mode d'utilisation de chaque outil mais aussi d'expliquer les différentes méthodes et formules utilisées pour chaque paramètre choisi lors de ce travail. La méthode utilisée dans le cadre de ce travail repose sur la méthode de levés topographiques et l'analyse sédimentaire.

### 2.1 Stratégie d'étude

La stratégie de cette étude qui est de comprendre la dynamique du processus d'érosion repose sur deux stratégies liées aux objectifs spécifiques (OS) définis plus haut :

- La première stratégie est l'analyse de la variabilité temporelle de l'évolution morphologique de l'érosion côtière sur chaque site atelier à partir de données in situ. Elle repose sur la méthode des levés topographiques au DGPS qui permettront de quantifier la variabilité temporelle du processus d'érosion dans lequel s'inscrit le transport et le dépôt.
- La deuxième stratégie est d'identifier des solutions de protections de la côte selon la dynamique du milieu.

### 2.2 Analyse de la variabilité temporelle de l'érosion côtière

#### 2.2.1 Choix des profils de plage

Un profil de plage est la description graphique des variations d'altitude le long d'un axe transversal à la côte. Sur chaque site d'étude, six profils cros-shore (perpendiculaire au trait de côte) ont été pris comme indiqué sur les ( [Figure 2.1](#)). Le choix des différents profils dépend de la géomorphologie de la plage, des facteurs environnementaux et anthropiques. La mesure des profils se fait en relevant les coordonnées des différents points qui constituent le profil tout en tenant compte des ruptures de pentes dans le but de voir les variations verticales des différents profils entre les campagnes de mesure. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un GPS différentiel (DGPS pour Differential Global Positioning System).

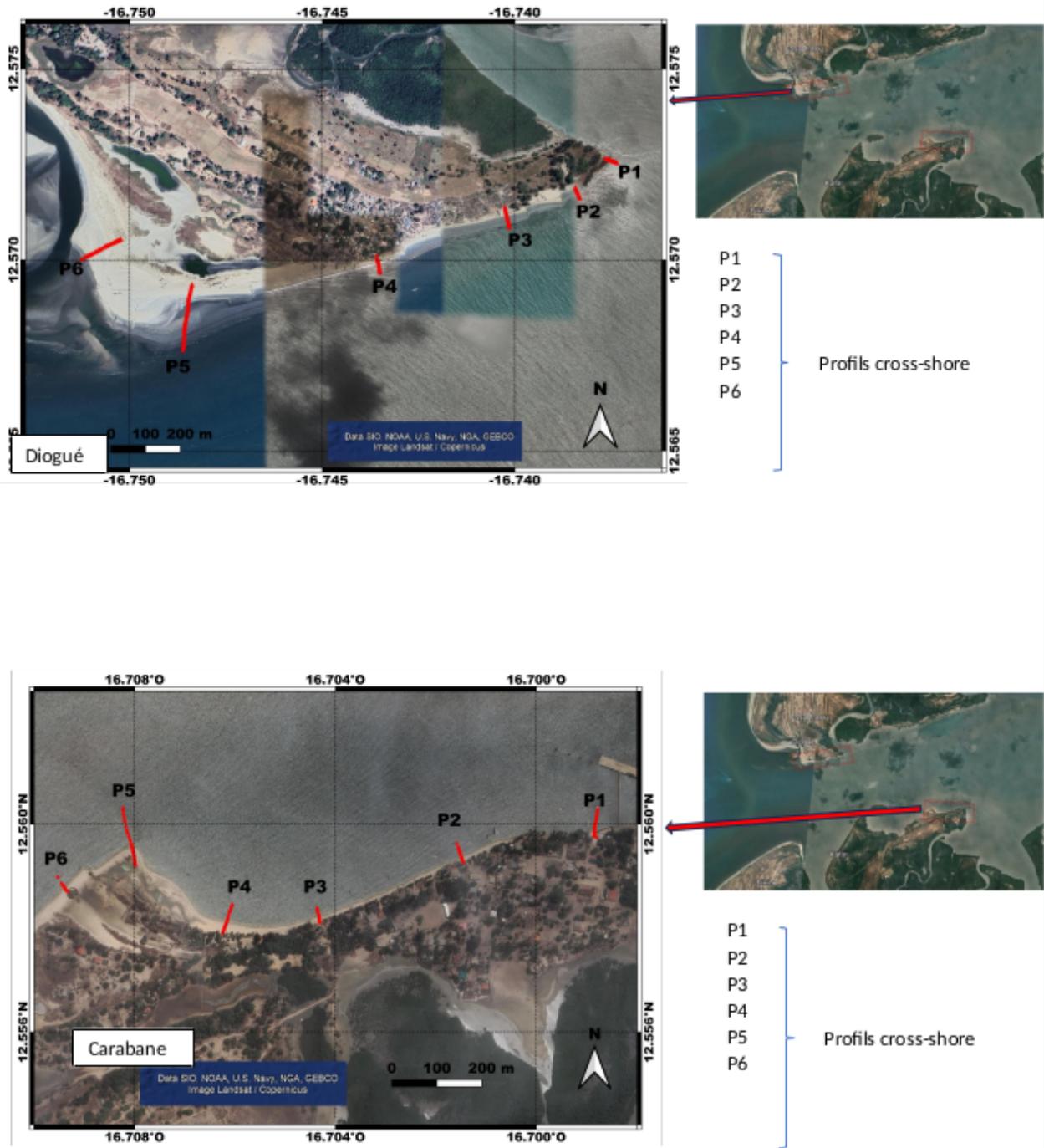


FIGURE 2.1 – Localisation des profils de mesure à Diogué et Carabane

### 2.2.2 Levés topographiques au DGPS

Les levés topographiques sont effectués sur trois campagnes de mesures. Elles se font en période de marée basse de morte eau car c'est la période où l'estran est plus visible. Les périodes de mesure des différentes campagnes sont les suivantes :

- La première campagne de mesure s'est tenue au mois d'octobre 2023, le 23 pour Carabane et le 24 pour Diogué. A Carabane, les mesures ont été faites entre 9h et 11 h avec des hauteurs de marée comprises entre 0,76 m et 0,69 m. A Diogué, les mesures sont effectuées entre 10h et 12 h pour des hauteurs de marées variant de 0,69 m à 0,1 m.
- La deuxième campagne de mesure a été faite au mois de décembre 2023, le 20 pour le

site de Carabane entre 8h et 9h30 pour des hauteurs de marée comprises entre 0,66 m et 0,55 m.

- La troisième campagne de mesure a eu lieu au mois de Mars 2024 précisément le 5 pour les deux sites entre 9h et 13h pour des hauteurs de marée comprises entre 0,81 m et 0,94 m.

L'outil utilisé pour la mesure topographique est le DGPS ( [Figure 2.2](#)) qui est une amélioration du GPS. Il est utilisé en mode RTK (Real Time Kinematic) c'est-à-dire cinématique en temps réel. La mesure repose sur l'utilisation de deux capteurs l'un est installé sur un point fixe appelé « la base » et l'autre capteur qui est mobile permettra de mesurer les coordonnées des points qui constituent chaque profil. Le capteur de la base étant donc fixe, il détermine à chaque moment les écarts entre sa position réelle et les distances mesurées via le signal satellite. Ces écarts sont transmis au mobile grâce à une liaison radio qui les applique aux signaux satellite qu'il reçoit et calcule ainsi sa position avec une plus grande précision en temps réel [Jaud \(2011\)](#).

- Installation de la station de base
  - Montage de l'antenne : installation de l'antenne DGPS sur un trépied stable, en s'assurant qu'elle est à niveau et qu'elle a une vue dégagée du ciel.
  - Connexion des câbles : connexion du câble de l'antenne au récepteur DGPS de la station de base. Il faut s'assurer que toutes les connexions sont sécurisées.
  - Alimentation : branchez le récepteur de la station de base à la source d'alimentation (batterie).
- Configuration de la station de base
  - Allumage : mise sous tension du récepteur de la station de base.
  - Paramètres de base : configuration des paramètres de la station de base (emplacement de la station coordonnées exactes).
- Installation du récepteur Rover
  - Montage de l'antenne Rover : fixation de l'antenne Rover sur un mât.
  - Connexion des câbles : connecter le câble de l'antenne au récepteur Rover.
  - Alimentation : branchement du récepteur Rover à une source d'alimentation (batterie ou autre).
- Configuration du récepteur Rover
  - Allumage : mise sous tension du récepteur Rover.
  - Paramètres Rover : configuration des paramètres du récepteur Rover pour recevoir les corrections de la station de base.
  - Recevoir les corrections : s'assurer que le Rover reçoit correctement les signaux de correction de la station de base. Cela peut nécessiter de vérifier les connexions radio ou la connexion Internet.

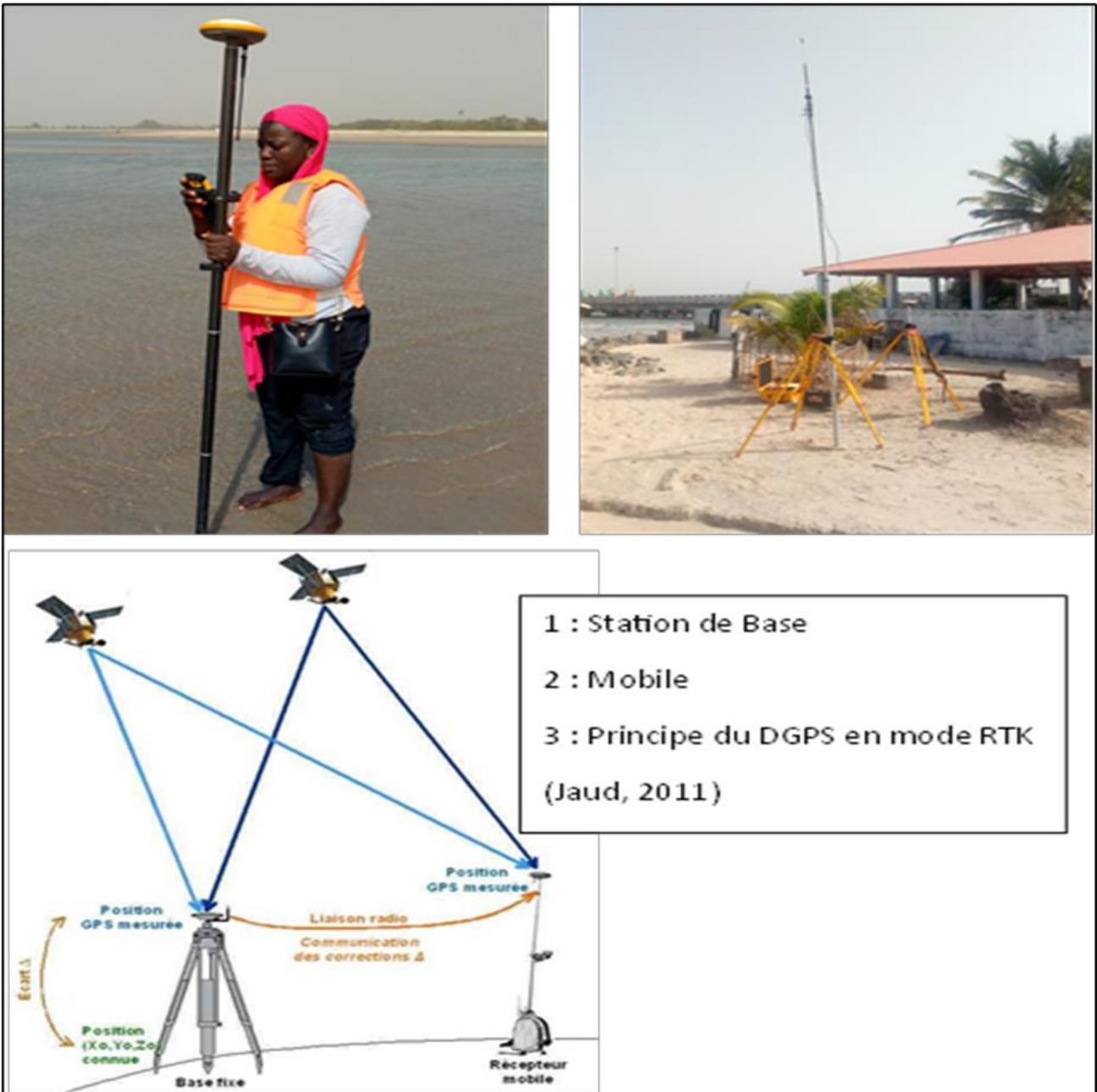


FIGURE 2.2 – Utilisation du DGPS pour la mesure topographique

### 2.2.2.1 Outils et techniques de traitement des données

Les données collectées sont traitées avec le logiciel « PROFILER 3.0 XL » qui est une suite de procédures en Visual Basic pour application, construction et traitement de profils topographiques dans Microsoft Excel. les différents paramètres morphologiques calculés à l'issu de ce traitement sont la pente et la largeur de chaque unité morphologique. Le volume est également calculé en superposant les mêmes profils pour des périodes de mesure différente. La représentation graphique des profils a été faite avec la version R2018 du logiciel (payant) MATLAB. MATLAB (MATRIX LABORATORY) est un logiciel permettant de manipuler des données matricielles ou d'en créer, d'afficher des courbes en 2D ou 3D mais aussi de créer des interfaces d'utilisation. Le volume est calculé en multipliant l'aire érodée par un mètre de longueur de côte et s'exprime en ( $m^3/ml$ ).

$$V = s \times 1 \quad (2.1)$$

La pente( $P$ ) de chaque unité est calculée en utilisant la formule suivante :

$$P = \frac{\Delta H}{\Delta D} \times 100 \quad (2.2)$$

Avec  $\Delta H$  = dénivelée entre le point le plus haut et le point le plus bas de l'unité et  $\Delta D$  = *distance* entre ces deux points.

### 2.2.2.2 Typologie des résultats des levés topographiques

Les différents résultats obtenus après traitement des données sont descriptifs du milieu comme la pente et la largeur des différentes unités, les profils topographiques mais aussi analytiques comme le volume qui permet de mesurer la quantité de sédiments gagnée ou perdue par un profil entre deux périodes.

## 2.2.3 Analyses sédimentaires

### 2.2.3.1 Stratégie d'échantillonnage

La stratégie d'échantillonnage consiste à comprendre les processus récents du milieu. Pour cela, des échantillons de sédiments ont été prélevés sur chaque unité morphologique (la haute plage (HP), l'estran (ESTR) et la plage sous-marine (PSM)) suivant le profil ( [Figure 2.3](#)).

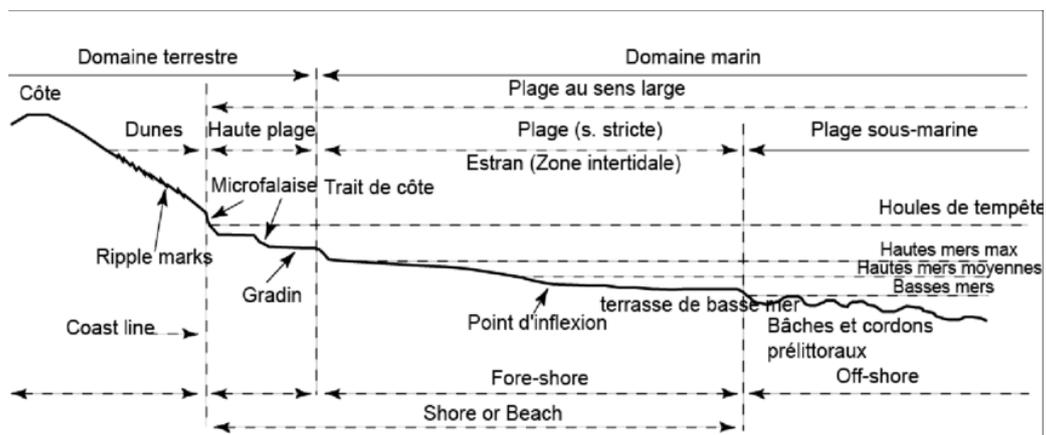


FIGURE 2.3 – Principales unités morphologiques d'une plage sableuse (Faye, 2010)

### 2.2.3.2 Prélèvements de sédiments

Les prélèvements se font en surface (sur les premières couches) pour chaque unité. Ils s'effectuent par raclage à la main ( [Figure 2.4](#)) puis mis dans des sachets portant les informations sources du lieu de prélèvement.



FIGURE 2.4 – Prélèvements de sédiments

### 2.2.3.3 Traitement des échantillons

Les échantillons de sédiments ont été traités au laboratoire de Géologie de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar. Les échantillons passent par trois modes de traitements :

- Le lavage ( Figure 2.5) : il a pour but d'enlever la quantité de sel et les impuretés présentes dans le sédiment, qui pourraient altérer les résultats de l'analyse. Il a été fait manuellement et consiste à mettre une partie du sédiment prélevé dans un récipient, y ajouter de l'eau puis frotter avec la main. Les sédiments sont ensuite laissés au repos avant de décanter l'eau. Le processus est reproduit au moins trois fois afin de s'assurer que toute la quantité de sel est éliminée. Une fois le lavage terminé, les sédiments sont séchés à l'étuve.



FIGURE 2.5 – Lavage des échantillons de sédiments bruts

- La décarbonatation ( [Figure 2.6](#) ) : La décarbonatation, comme son nom l'indique, permet d'éliminer le carbone présent dans le sédiment, particulièrement le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Le processus est presque identique au lavage. Il se fait en pesant 150 g de sédiments déjà lavés à l'aide d'une balance de précision tarée et à l'abri des mouvements d'air. Ensuite, les sédiments sont placés dans un bol en verre, puis on y ajoute une solution d'acide chlorhydrique diluée à 20 %. C'est-à-dire que, pour une solution d'acide préparée, l'acide représente 20 % et l'eau 80 %. Le contact entre les sédiments et l'acide produit une réaction d'effervescence. Une fois la réaction terminée, tout le carbone présent est dissous et les sédiments peuvent alors être lavés avec de l'eau au moins trois fois avant d'être mis à l'étuve pour le séchage, puis pesés.



FIGURE 2.6 – Décarbonatation des sédiments (réaction entre l'acide et le carbonate de calcium)

- Le tamisage ( [Figure 2.7](#) ) : le tamisage se fait à sec et permet de connaître les variations granulométriques du milieu. Pour cette étape 100 g de sédiments décarbonatés sont mis dans une colonne de tamis. La colonne de tamis est constituée de 18 tamis superposés les uns aux autres et rangés par ordre décroissant en fonction du diamètre des mailles. Le diamètre des mailles varie de 2 mm à 40  $\mu\text{m}$ . Après une vibration constante de la colonne de tamis pendant 15 minutes, chaque refus de tamis est pesé.



FIGURE 2.7 – Outils de traitements des échantillons de sédiments

#### 2.2.3.4 Typologie des résultats des analyses sédimentaires

Les résultats obtenus après traitement des échantillons renseignent sur la granulométrie et peuvent être répartis en deux groupes :

- Distribution granulométrique : mesure de la taille des grains dans un échantillon, présentée sous forme de courbes granulométriques ou de diagrammes de fréquence.
- Paramètres statistiques descriptifs : la moyenne ( $Mz$ ), l'indice de classement ( $So$ ), l'indice d'asymétrie ou skewness ( $sk$ ).

Ces différents paramètres statistiques sont calculés avec la version 4.0 du logiciel GRADISTAT colonne complète. GRADISTAT est un programme d'Excel qui permet de faire l'analyse de la taille des sédiments. Lorsque le fichier est ouvert sur Excel, il s'affiche ainsi ( [Figure 2.8](#) ) :

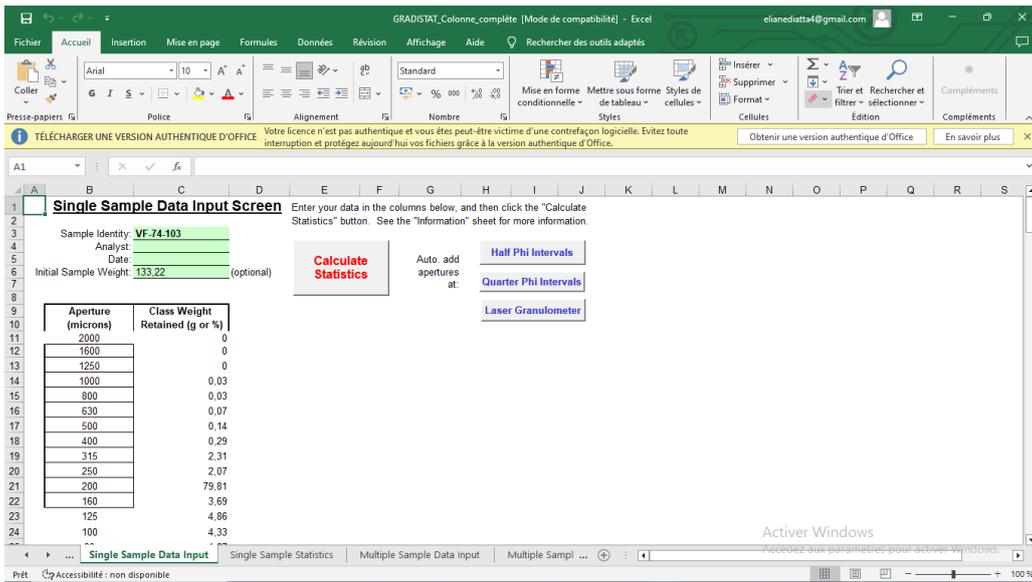


FIGURE 2.8 – Image de la feuille d’entrée de données GRADISTAT

Le fichier est composé de plusieurs feuilles, la première comporte les informations du programme, la deuxième feuille comme illustré sur l’image et qui correspond à l’interface lorsque GRADISTAT est ouvert montre un tableau de deux colonnes et de plusieurs lignes. La première colonne correspond au diamètre de trou des tamis et la deuxième aux différents refus obtenus lors du tamisage. Après avoir placé les différentes masses, le calcul est lancé en cliquant sur le box « calculate statistique ». Quand le programme finit de tourner, il apparaît une fenêtre, cliquer sur « OK ». Les résultats statistiques des calculs s’affichent sur la troisième feuille comme montré ci-dessous ( Figure 2.9).

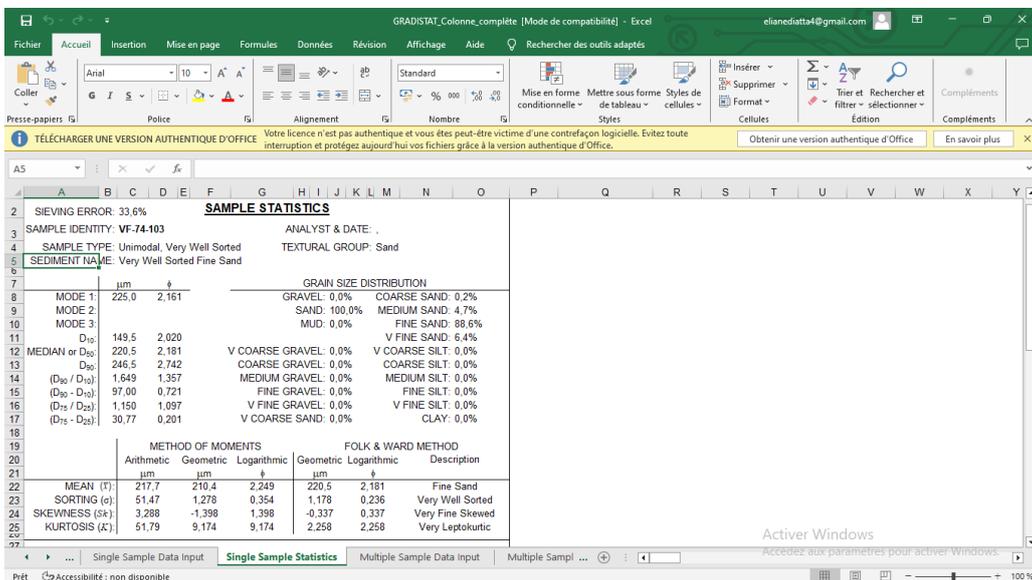


FIGURE 2.9 – Image de la feuille de sortie de données GRADISTAT

Sur le tableau les différents paramètres granulométriques sont classés sur la dernière ligne et suivant la méthode utilisée.

Les paramètres granulométriques utilisés dans le cadre du travail sont la moyenne, le sorting, le skewness et la méthode de calcul choisie est celle de FOLK et WARD.

- La moyenne : (Mz) est la moyenne logarithmique ou arithmétique des valeurs de variables indépendantes. Elle renseigne non seulement sur la valeur moyenne des grains de sédiments

mais aussi sur l'énergie cinétique lors du dépôt de sédiments et donc sur la distance de transport des sédiments. La formule utilisée pour le calcul de ce paramètre est la suivante :

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (2.3)$$

$\phi_{16}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{84}$  représentent respectivement le 16<sup>ième</sup>, 50<sup>ième</sup> et 84<sup>ième</sup> percentile dans la distribution cumulative.

La moyenne permet aussi de classer les sédiments suivant l'échelle de Wentworth illustré sur le tableau 2.1 suivante :

TABLE 2.1 – Tableau de référence sur le classement de la taille des sédiments selon la valeur de la moyenne.

Catégorie de Wentworth	Taille ( $\mu\text{m}$ )	Taille (mm)	Phi
Gravier	>2000	>2	>-1
Sable très grossier	2000 à 1000	2 à 1	-1 à 0
Sable grossier	1000 à 500	1 à 0,5	0 à 1
Sable moyen	500 à 250	0,5 à 0,25	1 à 2
Sable fin	250 à 125	0,25 à 0,125	2 à 3
Sable très fin	125 à 62,5	0,125 à 0,0625	3 à 4
Silt (limons)	62,5 à 4	0,0625 à 0,004	4 à 8
Argile	<4	<0,004	>8

- Le sorting : encore appelé indice de classement, ou coefficient de classement noté (So) ou sigma, est une mesure statistique qui décrit la dispersion ou le tri des tailles des particules dans un échantillon de sédiments. Il est souvent utilisé en sédimentologie pour évaluer la qualité du tri des sédiments et, par extension, pour déduire les conditions de dépôt et les processus de transport. Un bon tri des sédiments indique des conditions de dépôt relativement stables et un agent de transport efficace, tandis qu'un mauvais tri suggère des conditions plus turbulentes ou des dépôts rapides. Plus le sorting est petit plus le classement des sédiments est meilleur (Tableau 2.2). Il est obtenu grâce à la formule suivante :

$$\sigma = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_{50}}{6.6} \quad (2.4)$$

$\phi_5$  et  $\phi_{95}$  représentent respectivement le 5<sup>ième</sup> et 95<sup>ième</sup> percentile dans la distribution cumulative.

TABLE 2.2 – Tableau de référence sur le classement des sédiments selon la valeur du sorting.

sorting	Qualité du classement
< 0,35 phi	Très bien classé
0,35 - 0,50phi	Bien classé
0,50 - 0,71phi	Assez bien classé
0,71-1 phi	Moyennement classé
1 - 2 phi	Mal classé
2 - 4 phi	Très mal classé

- Le skewness : le skewness ou coefficient d'asymétrie renseigne sur l'asymétrie de la distribution des sédiments mais aussi sur l'énergie du milieu. D'après ([source](#)) le skewness

indique aussi bien l'environnement de dépôt que le transport. Il est calculé par la formule suivante :

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{85} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{50} + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_{50})} \quad (2.5)$$

Trois possibilités se présentent lorsqu'on calcule le skewness ( [Figure 2.10](#) ) :

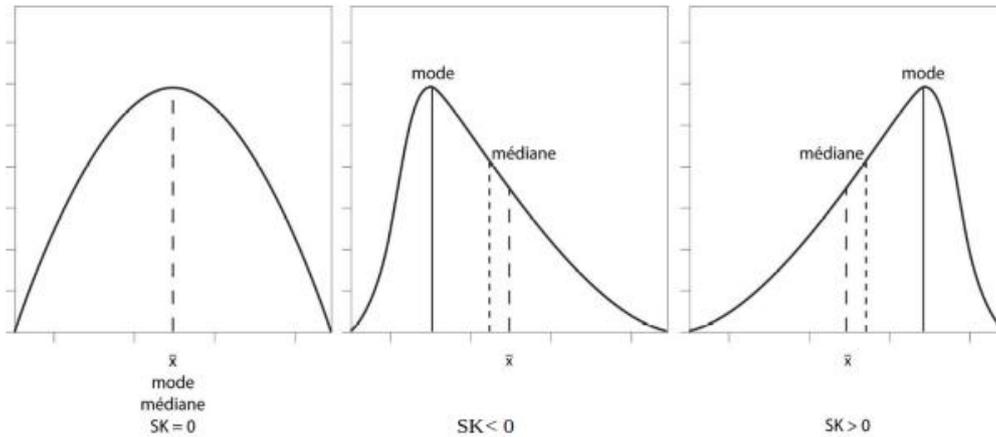


FIGURE 2.10 – Courbes illustratives de la valeur du skewness

- Si  $Sk=0$ , la distribution est symétrique donc la moyenne, le mode et la médiane coïncident.
- Si  $Sk > 0$ , la distribution est étalée à gauche par rapport à la moyenne donc elle s'étend plus vers les grosses particules indiquant un excès de particules fines. Le skewness positif indique un environnement de faible énergie.
- Si  $Sk < 0$ , la distribution est étalée à droite par rapport à la moyenne donc elle s'étend plus vers les particules fines indiquant un excès de particules grosses. Le skewness indique un environnement de haute énergie.

NB :  $\phi_5$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{95}$  représentent respectivement le 5<sup>ième</sup>, 16<sup>ième</sup>, 50<sup>ième</sup>, 84<sup>ième</sup> et 95<sup>ième</sup> percentile dans la distribution cumulative.

## Conclusion

Ce chapitre « Méthodologie » pose les bases de cette études. Les méthodes de traitements choisies sont alignés avec les objectifs de recherche fixés et visent à amélioré notre compréhension du sujet étudié, à savoir le processus d'érosion. Ainsi, les résultats obtenues de cette méthodologie seront donc analysés et discutés dans le chapitre qui va suivre intitulé « Résultats et discussion ».

# Chapitre 3

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Cette section présente les résultats de l'analyse granulométrique des échantillons sédimentaires prélevés le long des différents profils de plage, ainsi que leur interprétation en termes de processus sédimentaires et de conditions dépôt et permet aussi d'évaluer les différents mouvements verticaux sur chaque profil de plage pendant les périodes de mesure. Une analyse générale en terme de perte ou dépôt de chaque profil sera faite. Cependant, les volumes sédimentaire donnés ne concerne que l'estran (partie délimitée sur les profils) car il constitue la partie la plus dynamique de la plage et c'est le lieu où les échanges sédimentaires se font le plus. Les valeurs des autres unités sont reportées en annexe.

### 3.1 Quantification de la variabilité temporelle des dynamiques sédimentaires

#### 3.1.1 Dynamique sédimentaire à Diogué

La superposition des différents profils de plage pour la période d'octobre à décembre 2023 ( ??) montre les variations suivantes au niveau de l'estran :

- P1 : le profil 1 connaît une perte de sédiments presque tout au long de son tracé où la valeur de l'estran est de  $6,117 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- P2 : le profil 2 enregistre une accumulation dont le volume de l'estran est  $0,129 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- P3 : une accumulation est aussi enregistrée sur ce profil 3 avec un volume sur l'estran de  $0,702 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- P4 : le profil 4 enregistre aussi une accumulation tout au long du profil où le cumul de l'estran est de  $0,763 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- P5 : le profil 5 enregistre une perte de sédiments sur tout le tracé avec un volume de  $39,393 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran,.
- P6 : tout comme le profil 5, le profil 6 connaît aussi une perte dont le volume au niveau de l'estran est de  $17,203 \text{ m}^3/\text{ml}$ .

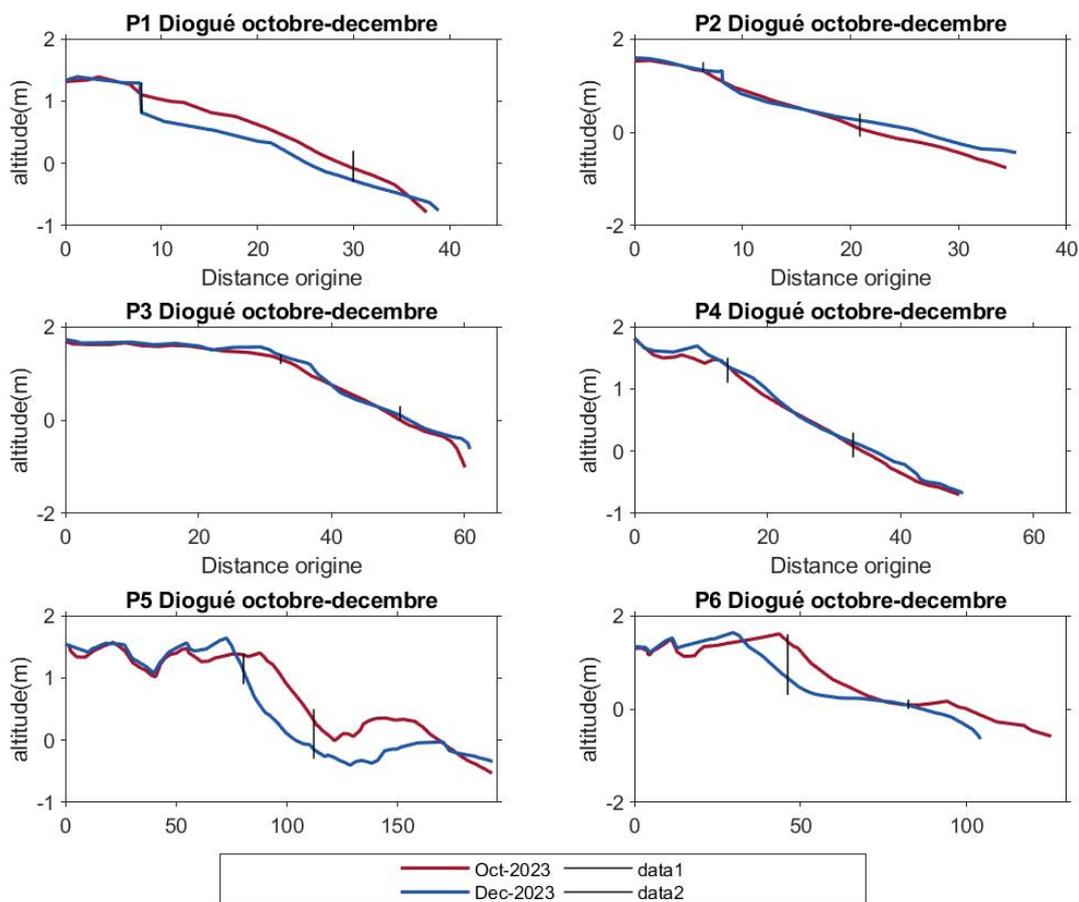


FIGURE 3.1 – Comparaison des profils de plages à Diogué en Octobre et Décembre 2023.

Pour les périodes décembre 2023 et mars 2024, les profils de plages ( Figure 3.1) montrent les variations suivantes :

- P1 : une importante accumulation est notée sur ce profil 1 avec un dépôt de  $12,393 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur l'estran .
- P2 : une légère accumulation est enregistrée avec un volume de dépôt de  $1,32 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran.
- P3 : une alternance de dépôt et de perte de sédiments est enregistrée sur ce profil 3 avec un volume positif de  $0,861 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de son estran.
- P4 : le profil 4 est aussi marqué par une alternance de dépôt et de perte avec un volume de perte de  $1,304 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.
- P5 : le profil 5, quant à lui, est marqué par une érosion presque tout au long du profil avec une perte de sédiments de  $16,082 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur l'estran.
- P6 : le profil 6 enregistre aussi une importante perte de  $52,169 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.

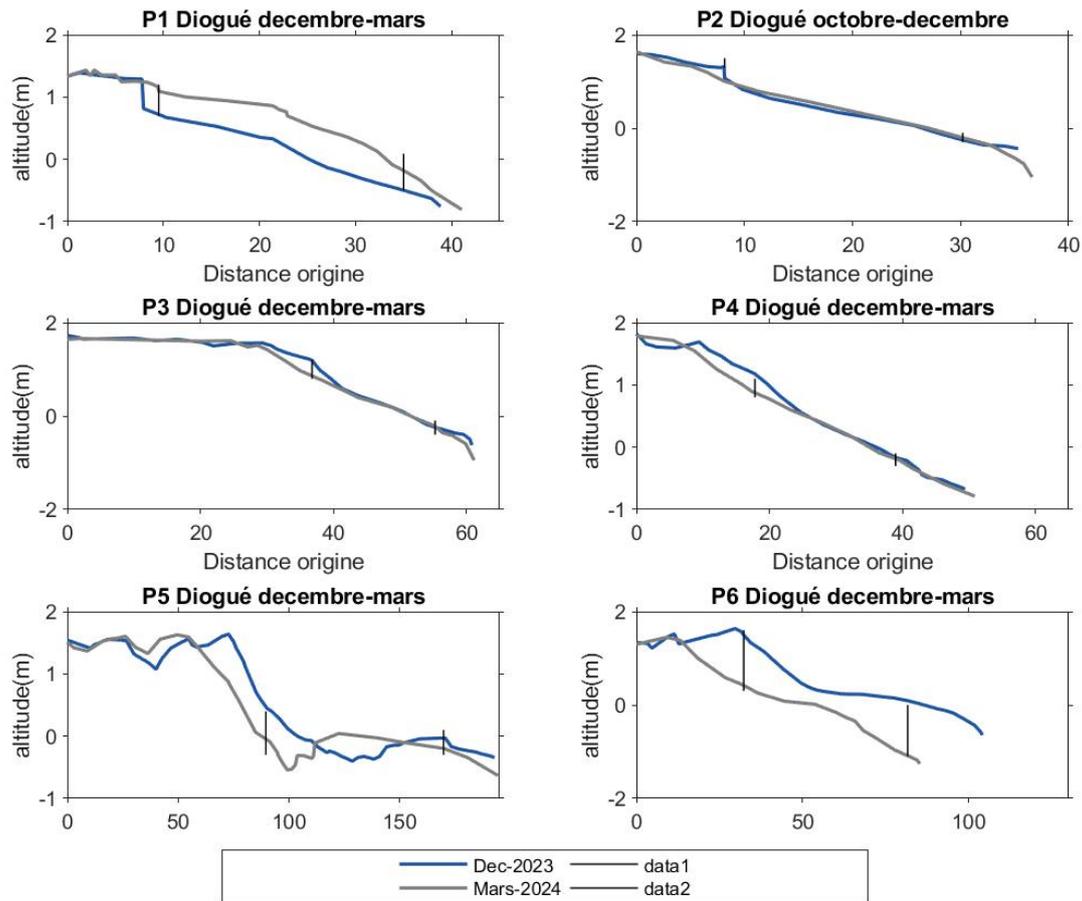


FIGURE 3.2 – Comparaison des profils de plages à Diogué Décembre 2023 et Mars 2024.

D’octobre 2023 à mars 2024 les profils de plages ( [Figure 3.2](#)) montrent les mouvements sédimentaires suivants :

- P1 : le profil 1 connaît une perte de sédiments presque tout au long du profil avec une valeur de  $6,117 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur l’estran.
- P2 : le profil 2 enregistre une accumulation avec un volume au niveau de l’estran de  $0,129 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- P3 : une accumulation est aussi enregistrée sur ce profil 3 avec un volume de  $0,702 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.
- P4 : le profil 4 enregistre aussi une accumulation tout au long du profil avec un volume de  $0,763 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.
- P5 : le profile 5 enregistre une perte de sédiments sur tout le profil avec un volume de  $39,393 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.
- P6 : tout comme le profil 5, le profil 6 connaît aussi une perte dont le volume est de  $17,203 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur l’estran.

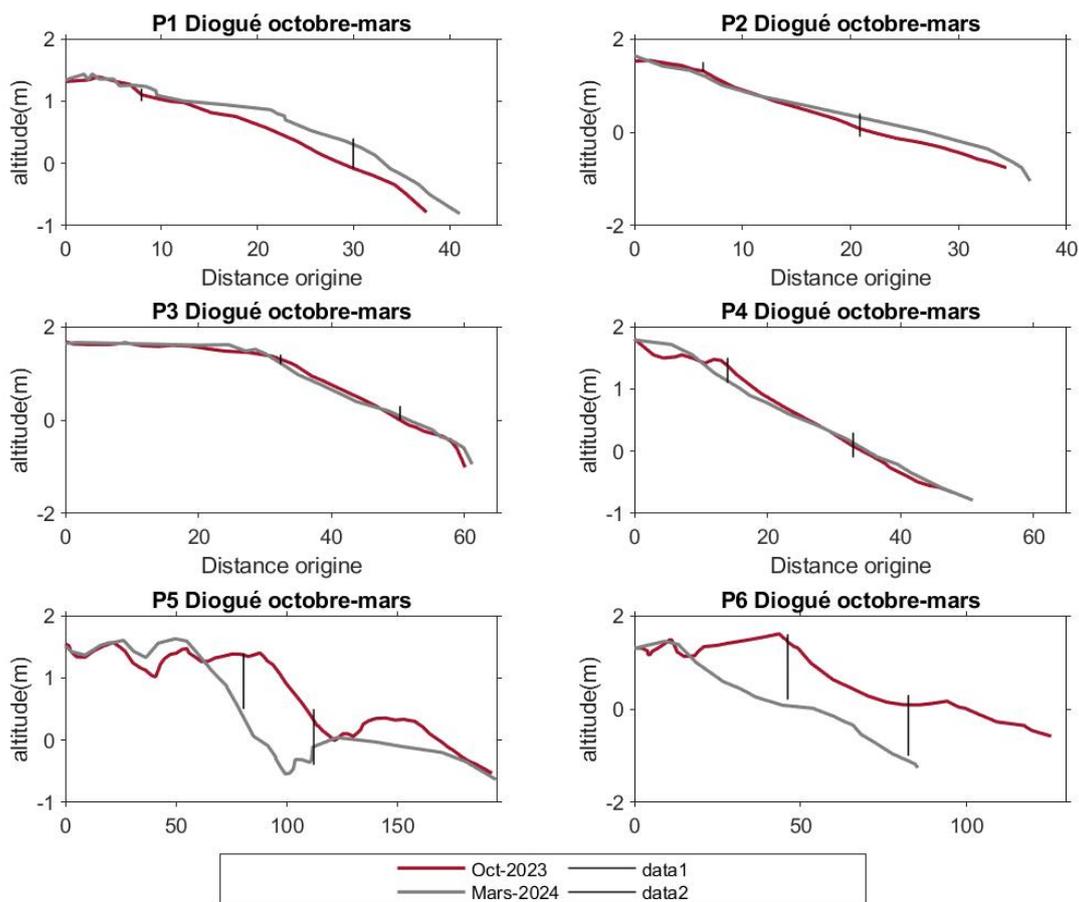


FIGURE 3.3 – Comparaison des profils de plages à Diogué en Octobre 2023 et Mars 2024.

Pour la période d’octobre et décembre 2023, et mars 2024, les profils de plages de Diogué présentent des variations significatives dans leurs caractéristiques morphologiques (tableau 3.1).

- Le profil 1 démontre une augmentation de la largeur de l’estran d’octobre à décembre 2023. Cependant, sa pente diminue d’octobre à décembre 2023 puis de décembre 2023 à mars 2024 la tendance s’inverse.
- Le profil 2 montre une augmentation de la largeur de l’estran d’octobre à décembre 2023 et suivie d’une diminution de décembre 2023 à mars 2024. Sa pente, elle, connaît une diminution d’octobre 2023 à mars 2024.
- Le profil 3 démontre des variations positives de la largeur de l’estran avec une pente qui augmente d’octobre à décembre 2023 puis diminue de décembre 2023 à mars 2024.
- Tout comme le profil 3, la largeur de l’estran du profil 4 augmente aussi sur toute la période alors que sa pente diminue.
- Le profil 5 voit sa largeur d’estran diminuer sur toute la période tandis que sa pente augmente.
- La largeur de l’estran du profil 6 augmente d’octobre à décembre 2023 puis diminue de décembre 2023 à mars 2024. Cependant, sa pente diminue progressivement d’octobre 2023 à mars 2024.

TABLE 3.1 – Largeur et pente des P1 à P6 pour les mois spécifiés

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Largeur (m)						
Octobre 2023	22,040	14,507	13,672	18,864	86,938	53,293
Décembre 2023	20,750	22,039	18,515	21,139	31,700	58,312
Mars 2024	25,481	21,852	21,456	24,831	25,155	39,004
Pente (%)						
Octobre 2023	5,373	8,016	7,178	6,606	1,203	2,56
Décembre 2023	4,797	5,376	7,307	6,141	3,548	2,337
Mars 2024	4,970	5,290	5,930	5,120	5,190	2,180

L'évolution générale des profils se base sur le critère de forme du profil. Un profil en équilibre ou en engraissement est convexe, tandis qu'un profil en érosion est rectiligne ou concave (Gregory, 2010). En résumé, pour le site de Diogué, les profils 5 et 6 présentent une forme concavo-convexe. Cependant, la concavité est beaucoup plus marquée indiquant une érosion, tandis que les profils 2 et 4 montrent une forme rectiligne, également associée à l'érosion mais ici le profil 2 est plutôt marqué par une accumulation. En revanche, les profils 1 et 3 présentent une forme convexe, indiquant un engraissement de la plage. Les volumes de dépôt ou de transport par mois de chaque profil (unité estran) pour la période de mesure sont résumés dans le tableau 3.2 ci-dessous :

TABLE 3.2 – Évolution des volumes sédimentaires par mois entre les campagnes de mesure à Diogué.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Octobre-Décembre 2023						
$v(m^3/ml)$	-6,117	0,129	0,702	0,763	-39,216	-17,203
$V ((m^3/ml)/mois)$	-3,058	0,064	0,351	0,381	-19,608	-8,601
Décembre 2023-Mars 2024						
$v(m^3/ml)$	12,393	1,32	0,861	-1,304	-16,082	-52,169
$V ((m^3/ml)/mois)$	6,196	0,660	0,430	-0,652	-8,041	-26,0845
Octobre 2023-Mars 2024						
$v(m^3/ml)$	6,117	0,728	-1,392	-1,306	-53,412	-66,070
$V ((m^3/ml)/mois)$	1,529	0,182	-0,348	-0,326	-13,353	-16,517

Les différents profils de Diogué sont tous en érosion comme indiqué par Thior (2020) à l'exception des profils 1, 2 et 3 qui connaissent une légère accumulation sur la période de mesure. Ces profils connaissent des processus différents mais également, une composition en sédiments distinctes. Tous les profils présentent des sédiments bimodaux en Octobre 2023 sauf le profil 1 qui est plurimodal ( [Figure 3.4](#) ), traduisant une hétérogénéité des sédiments le long de la plage. Cette hétérogénéité des sédiments signifie que le dépôt est composé de différents types de sédiments mélangés (variabilité dans les conditions de dépôt ou de processus de transport distinct) ici du sable moyen au limon. En décembre 2023, les sédiments unimodaux sont présents sur tous les profils (unité estran) le long de la plage traduisant une homogénéité des sédiments. Les sédiments homogènes reflètent une énergie de dépôt uniforme, des conditions environnementales constantes et un tri efficace des sédiments par les agents de transport.

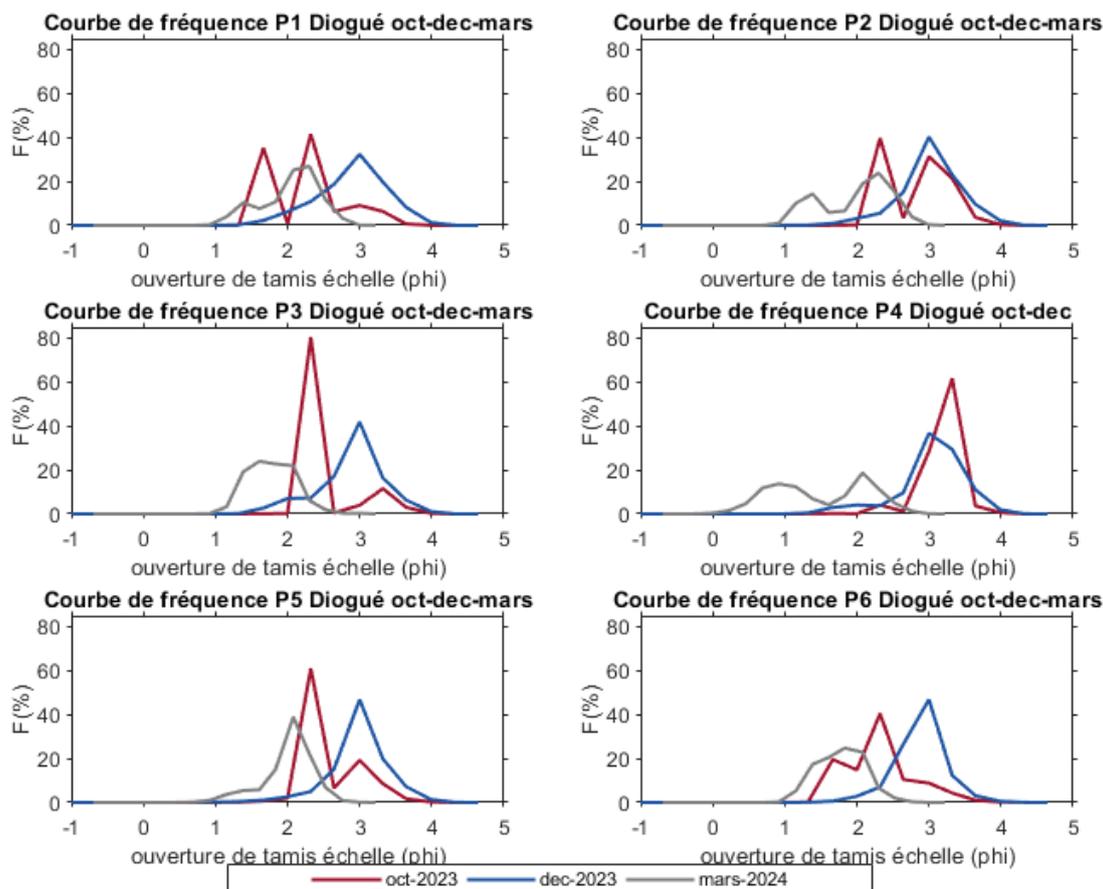


FIGURE 3.4 – Courbes de fréquence granulométriques des profils de plages de Diogué sur la période d'étude.

La variation de la moyenne et de l'indice de classement le long de la plage indique l'existence d'un courant de dérive de l'amont vers l'aval de l'embouchure comme illustré sur les figures ( [Figure 3.5](#)) et ( [Figure 3.6](#)) où le classement est meilleur en allant vers le profil 6 (vers l'embouchure) en décembre 2023 tandis qu'au mois de mars 2024, une alternance de classement (moyen et bien) est observée dans le sens contraire. Cependant, la moyenne des sédiments est beaucoup plus petite en allant vers le profil 1 donc de l'aval vers l'amont de l'embouchure (sens de la dérive littorale). Cela peut expliquer les différentes évolutions sédimentaires observées sur l'unité estran de chaque profil.

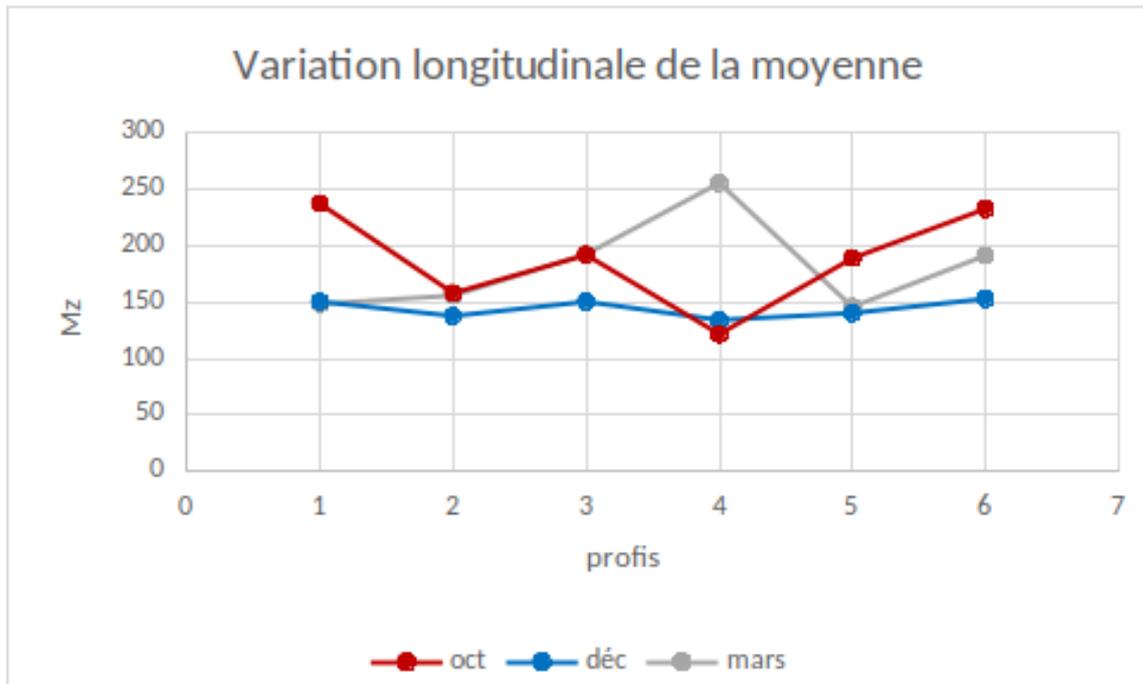


FIGURE 3.5 – Variation de la moyenne granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Diogué

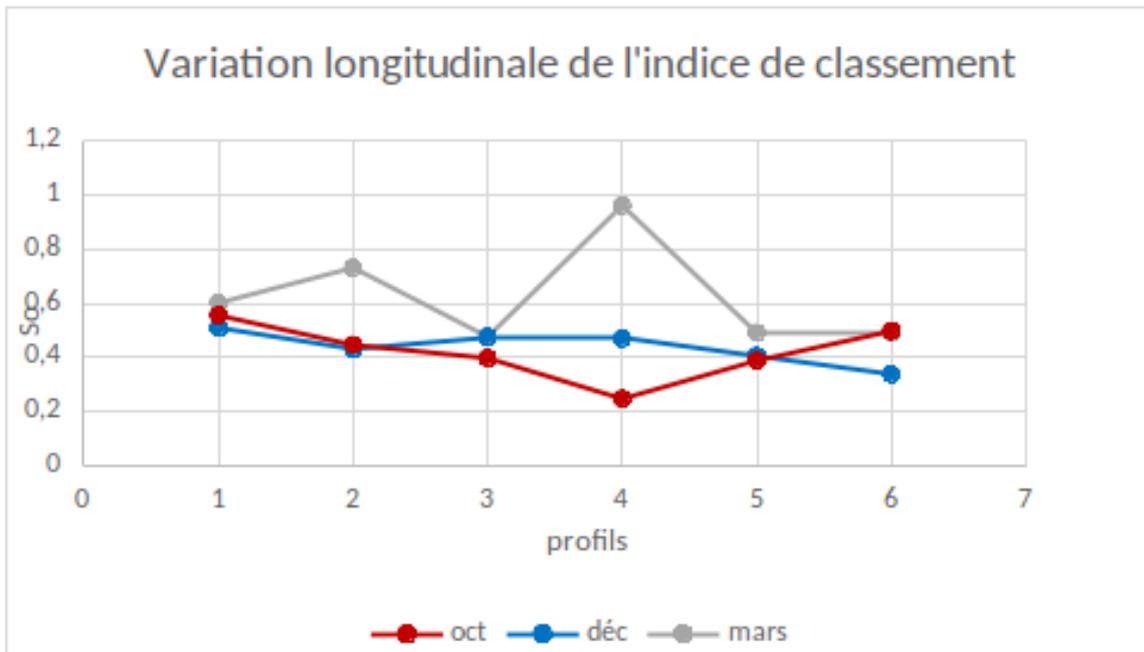


FIGURE 3.6 – Variation longitudinale de classement granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Diogué

En effet, si la dérive se fait de l'amont vers l'aval de l'embouchure en décembre 2023, cela expliquerait les observations le long de la plage. Les sédiments bien classés de l'amont vers l'aval, homogènes et à skewness tous négatifs (( Figure 3.7)) indiquent une dominance des particules grossières. Les vagues arrachent les sédiments de l'estran du profil 1 (backwash) et

les transportent via le courant de dérive. Ces sédiments se déposent progressivement le long de la côte et de façon sélective et homogène c'est-à-dire que les sédiments plus grossiers sont déposés non loin de la source justifiant ainsi les différents dépôts obtenus au niveau des profils 2, 3 et 4. Cependant, l'érosion observée au niveau des profils 5 et 6 pourrait s'expliquer par un changement de l'énergie hydrodynamique du milieu et donc un important transport de sédiments fins.

En mars 2024, les profils dont les skewness changent de signe indiquent un changement d'énergie dans le milieu. Le changement du signe de l'indice d'asymétrie entre les profils 5 et 4 d'une part et entre les profils 3 et 2 d'autre part respectivement de négatif à positif et de positif à négatif, traduit le passage d'un environnement de haute énergie à un environnement de basse énergie et vice versa. Ainsi, ce changement d'énergie pourrait expliquer l'hétérogénéité des sédiments au niveau des profils 2 et 4. Les profils 6 et 5 correspondent à des zones de forte énergie tout comme les profils 1 et 2 où les particules grossières dominant. En tenant compte de la dérive littorale, cela explique les phénomènes observés de l'aval vers l'amont, c'est à dire une érosion des particules grossières des profils 6 et 5 et fines des profils 4 et 3. Et pour les profils 2 et 1 l'accumulation observée est due au dépôt de sédiment grossières.

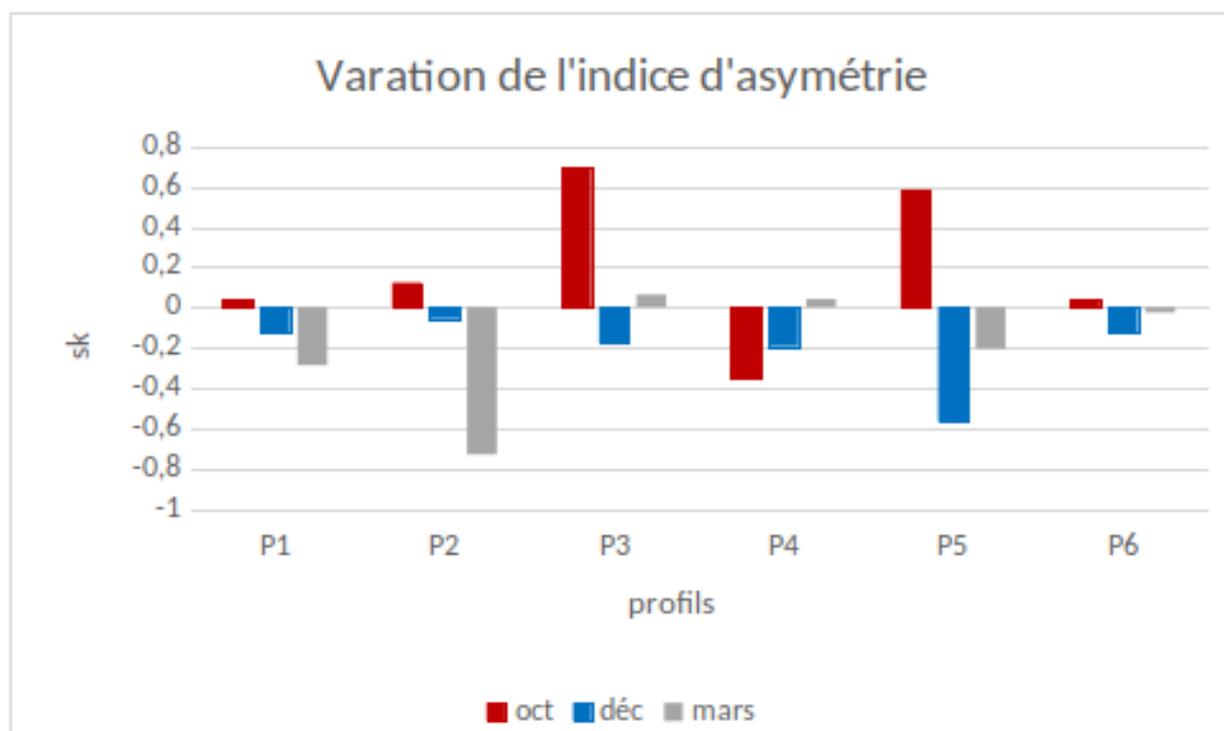


FIGURE 3.7 – indice d'asymétrie de l'unité estran des profils de plages de Diogué.

### 3.1.2 Dynamique sédimentaire à Carabane

Les analyses permettent d'évaluer les dynamiques sédimentaires sur la plage de Carabane et de comprendre les processus d'érosion et d'accrétion sous le contrôle du forçage saisonnier. La superposition des différents profils de plage à Carabane pour la période d'Octobre à Décembre 2023 (( ??)) montre les variations suivantes au niveau de l'estran :

- Les mouvements verticaux de l'unité estran du profil 1 (P1) montrent une évolution régressive de  $-5,189 \text{ m}^3/\text{ml}$ . Cependant, le profil 1 est marqué au début par une érosion suivie d'une accumulation vers la fin.
- Le profil 2 (P2) a enregistré une accumulation presque sur tout le profil avec un volume de dépôt de  $2,192 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.

- Le profil 3 (P3) connaît une légère perte de sédiments sur son estran avec un volume de  $-0,128 \text{ m}^3/\text{ml}$ , mais le profil dans sa totalité connaît une accumulation.
- Le profil 4 (P4) enregistre un cumul positif tout au long du profil avec un dépôt de  $2,729 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran.
- Le profil 5 (P5) quant à lui enregistre une importante perte sur son estran d'un volume de  $-12,175 \text{ m}^3/\text{ml}$  et presque sur tout le profil.
- Le profil 6 (P6) aussi enregistre une érosion de l'ordre de  $-2,553 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran mais aussi sur tout le profil.

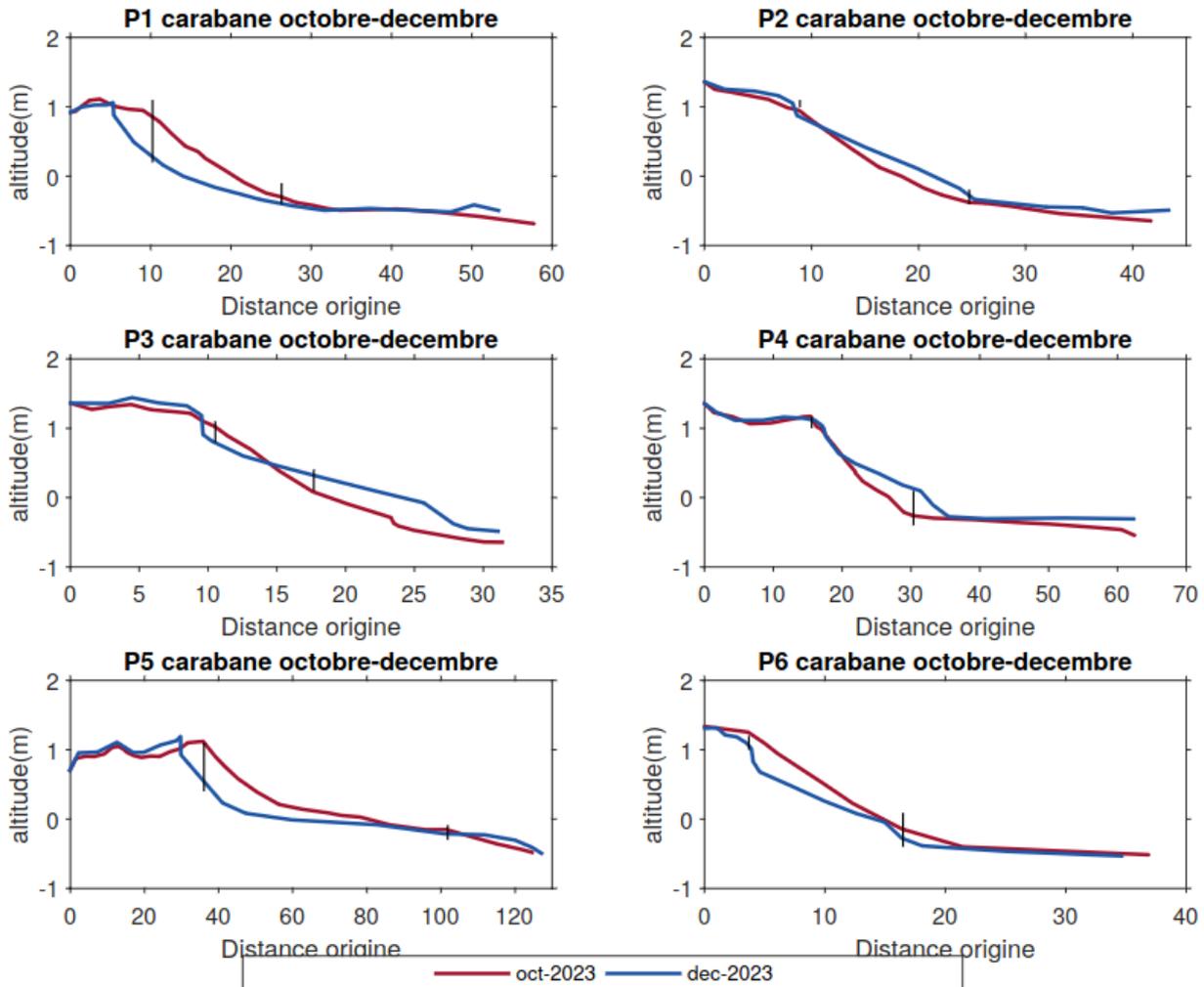


FIGURE 3.8 – Comparaison des profils de plages de Carabane en Octobre et Décembre 2023.

Pour la période de décembre 2023 à mars 2024 ( [Figure 3.8](#)), les différents profils de plages montrent les variations suivantes en termes de processus sédimentaires :

- L'estran du profil 1 enregistre une perte de sédiments avec un volume de  $1,304 \text{ m}^3/\text{ml}$ . La même tendance est observée sur tout le profil.
- Le profil 2 connaît également une perte de sédiments presque tout au long de son tracé avec un volume de  $2,521 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de son estran.
- Le profil 3 enregistre une accrétion de  $0,308 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran, tandis que le profil sur sa longueur connaît une accumulation suivie d'une perte.
- Pour le profil 4, un cumul positif de  $0,633 \text{ m}^3/\text{ml}$  est observé sur l'estran. Cependant, le profil 4 présente une variation similaire au profil 3 sur toute sa longueur.

- Le profil 5 est marqué par une érosion dans sa totalité avec une perte sur l'estran de  $15,960 \text{ m}^3/\text{ml}$ .
- Enfin, le profil 6 enregistre une accrétion presque tout au long du profil avec un volume de dépôt de  $0,346 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran.

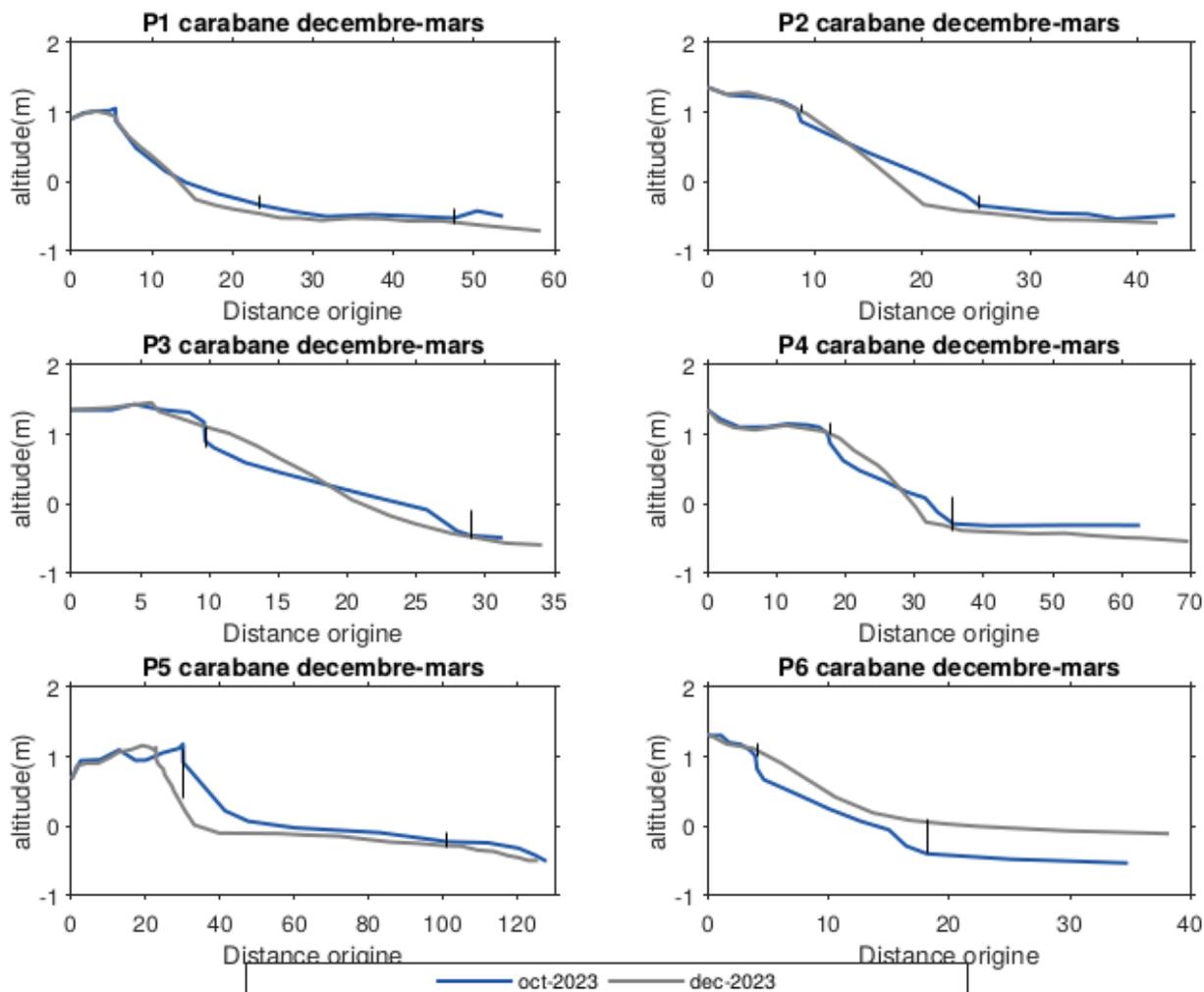


FIGURE 3.9 – Comparaison des profils de plages de Carabane en Décembre 2023 et Mars 2024.

Pour la période d'Octobre 2023 à Mars 2024 (( Figure 3.10)), les différents profils de plages montrent les dynamiques sédimentaires suivantes :

- Le profil 1 présente une perte de sédiments tout au long du profil avec un volume de  $7,031 \text{ m}^3/\text{ml}$  sur son estran.
- Le profil 2 connaît également une perte de  $0,287 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran. Cependant, le profil 2 dans sa totalité est marqué d'abord par une accumulation suivie d'une perte.
- Le profil 3 montre une évolution progressive sur tout le profil avec un volume de dépôt de  $2,037 \text{ m}^3/\text{ml}$  au niveau de l'estran.
- Le profil 4 enregistre un gain de  $4,026 \text{ m}^3/\text{ml}$  de sédiments au niveau de l'estran. Le profil 4 sur sa longueur est marqué par une accumulation suivie d'une perte.
- Le profil 5 est marqué par une importante érosion, avec un volume de  $21,546 \text{ m}^3/\text{ml}$  perdu par l'estran.
- Enfin, le profil 6 enregistre une accrétion presque tout au long du profil avec un dépôt au niveau de l'estran de  $0,346 \text{ m}^3/\text{ml}$ .

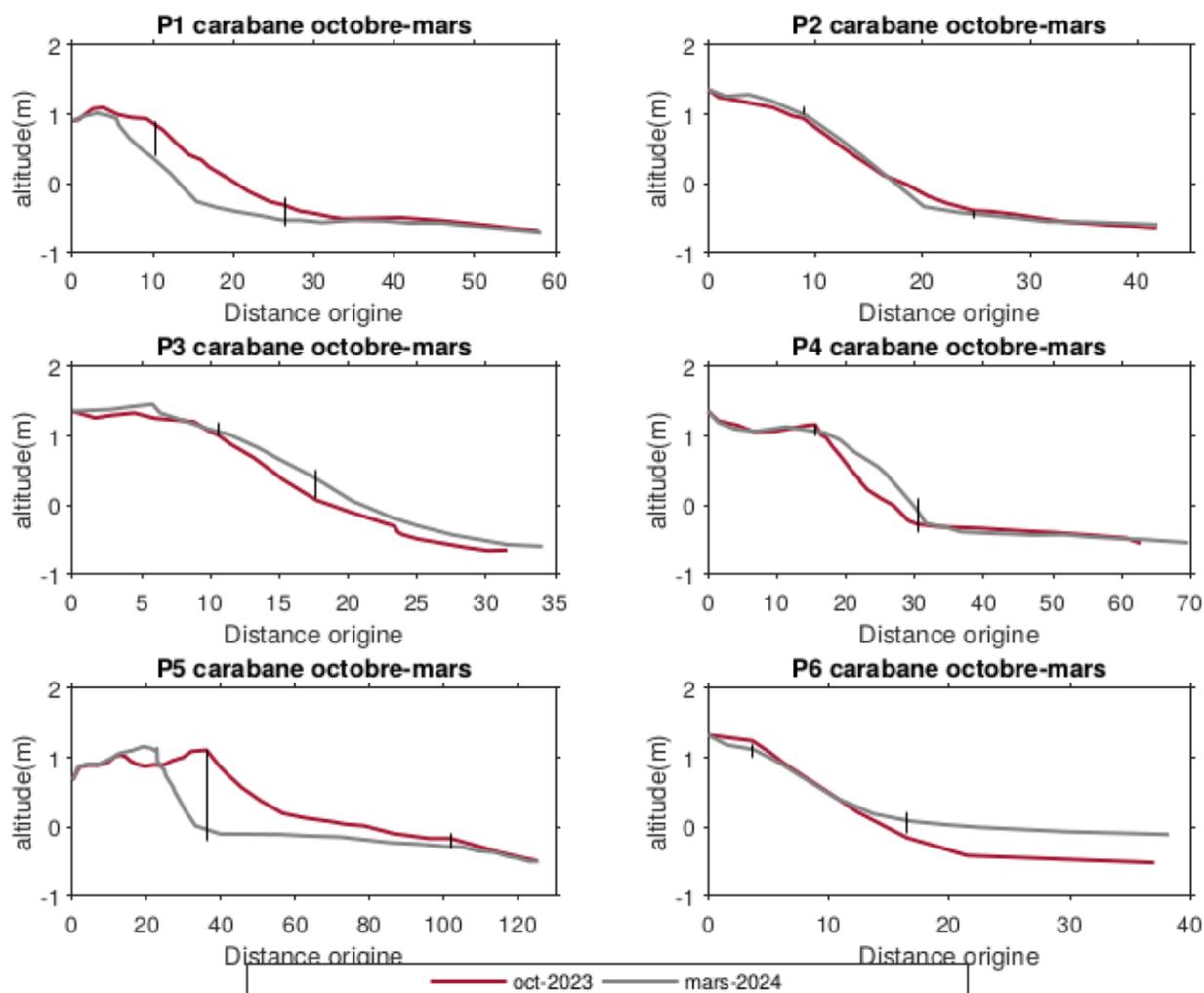


FIGURE 3.10 – Comparaison des profils de plages de Carabane en Octobre 2023 et Mars 2024.

Sur la période d'étude, les différents profils de Carabane présentent les caractéristiques morphologiques suivantes (tableau 3.3) :

- La largeur de l'estran du profil 1 augmente en décembre 2023 puis diminue en mars 2024, tandis que sa pente augmente.
- L'estran du profil 2 connaît les mêmes variations que le profil 1 en termes de largeur et de pente.
- Le profil 3 connaît également les mêmes variations que les profils 1 et 2 sur son estran en termes de largeur. Cependant, sa pente varie en sens inverse, c'est-à-dire diminue puis augmente.
- L'estran du profil 4 connaît les mêmes variations que le profil 3.
- La largeur du profil 5 augmente entre octobre 2023 et mars 2024, tandis que sa pente augmente puis diminue.
- La largeur du profil 6 augmente également, mais sa pente diminue sur la période d'étude.

TABLE 3.3 – Largeur et pente des P1 à P6 pour les mois spécifiés

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Largeur (m)						
Octobre 2023	16,074	15,865	7,149	14,805	65,742	12,793
Décembre 2023	18,148	16,6	19,218	18,864	71,059	14,059
Mars 2024	12,457	7,755	12,163	6,995	82,039	16,678
Pente (%)						
Octobre 2023	7,371	8,365	13,238	9,772	1,764	11,067
Décembre 2023	8,137	8,016	6,498	6,606	1,222	8,137
Mars 2024	10,51	12,45	9,78	11,68	1,37	7,96

Le tableau 3.4 montre les évolutions des volumes sédimentaires entre les campagnes de mesure à Carabane entre octobre 2023 et mars 2024. Les profils 1, 2, 4 et 5 sont concaves, indiquant ainsi une érosion. Cependant, le profil 6, bien qu'il présente une forme concave, est en engraissement, tout comme le profil 3 qui, quant à lui, a une forme convexe.

TABLE 3.4 – Évolution des volumes sédimentaires par mois entre les campagnes de mesure à Carabane

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Octobre-Décembre 2023						
V (m <sup>3</sup> /ml)	-5,189	2,192	-0,128	4,626	-12,175	-2,553
V ((m <sup>3</sup> /ml)/mois)	-2,5945	1,096	-0,064	2,313	-6,0875	-1,2765
Décembre-Mars 2024						
V (m <sup>3</sup> /ml)	-1,304	-2,521	0,308	0,633	-15,96	3,514
V ((m <sup>3</sup> /ml)/mois)	-0,652	-1,2605	0,154	0,3165	-7,98	1,757
Octobre 2023-Mars 2024						
V (m <sup>3</sup> /ml)	-7,031	-0,287	2,037	2,729	-21,546	0,346
V (m <sup>3</sup> /ml)/mois)	-1,75775	-0,07175	0,50925	0,68225	-5,3865	0,0865

Pendant cette période, les sédiments de l'unité estran des profils des plages sont unimodaux excepté les profils 1 et 4 dont les sédiments sont bimodaux en Mars 2024 et Décembre 2023 respectivement (( Figure 3.11)). La majorité des grains de sédiments unimodaux appartient à la même classe de taille dominante. L'uniformité de ces sédiments indique un environnement avec des conditions de dépôt constantes. Cependant, les sédiments bimodaux présents en Mars 2024 sur le profil 1 et en Décembre 2023 sur le profil 4 indiquent une dominance de deux tailles de grains traduisant une variabilité dans les conditions de dépôt ou des processus de transport. Pour le profil 1, l'estran est en moyenne constitué de sable moyen d'Octobre à Décembre 2023. L'estran du profil 2 est moyennement composé de sable fin en Octobre 2023 et en Mars 2024 et de sable fin en Décembre 2023. En moyenne, l'estran du profil 3 est constitué de sable fin d'Octobre à Décembre 2023, et en Mars 2024 le sable moyen domine. Les profils 4 et 6 ont des estrans constitués de sable moyen en Octobre 2023 et Mars 2024 et de sable fin en Décembre 2023. Le profil 6 qui, en moyenne est constitué de sable moyen en Octobre 2023 au niveau de l'estran et de Décembre 2023 à Mars 2024 de sable fin (Figure 3.13).

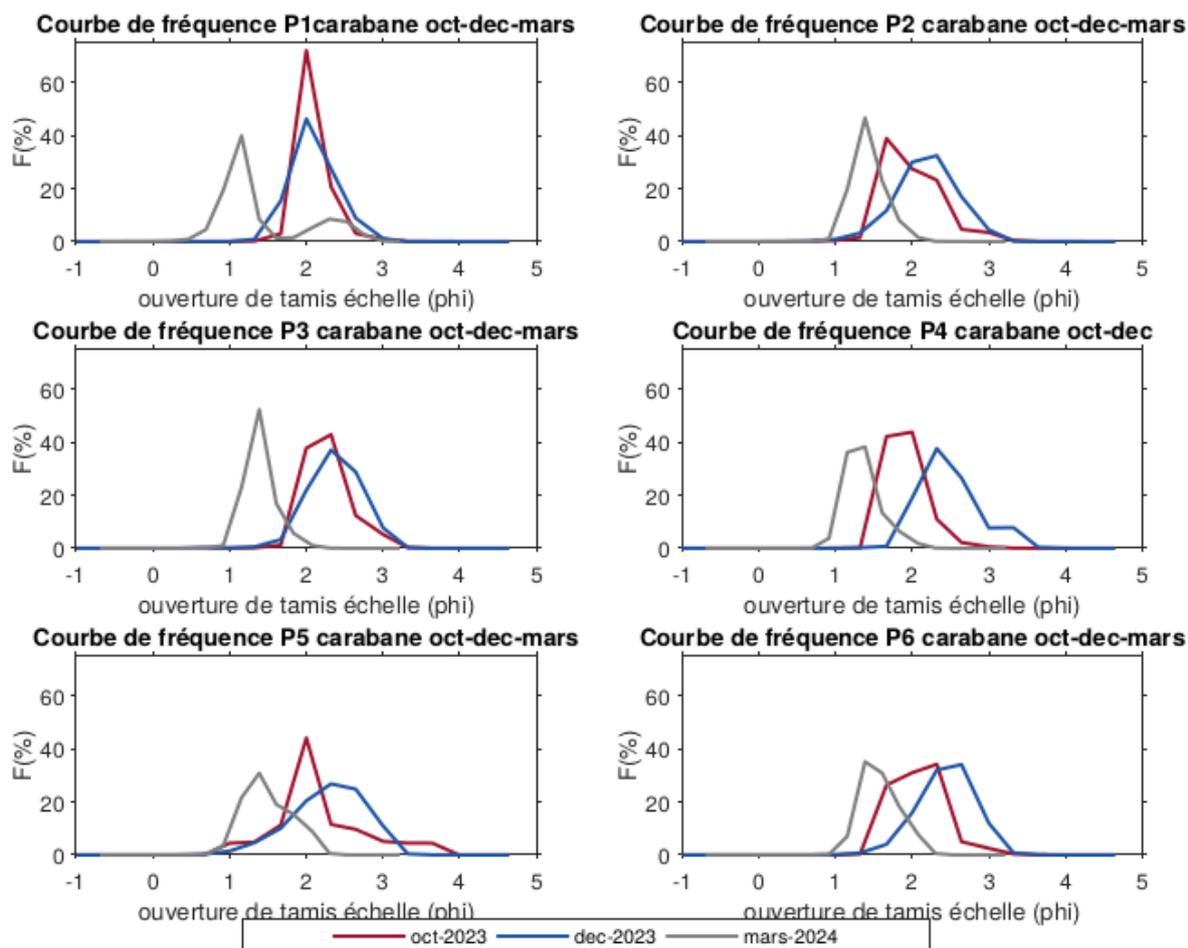


FIGURE 3.11 – Courbes de fréquence granulométriques des profils de plages de Carabane sur la période d'étude.

En général, les sables des plages sont bien triés, cela peut s'expliquer par l'énergie forte de l'environnement, de la longueur du transport et de l'action continue des vagues qui éliminent les particules plus fines. La circulation des courants dominants pilote le sens de la dérive littorale. Les courants fluviaux circulent de l'amont vers l'aval de l'embouchure et les courants marins de l'aval vers l'amont. Lorsqu'ils circulent, ils transportent les sédiments arrachés par le courant de retour des vagues (backwash) le long du littoral. Ces sédiments se déposent à tour de rôle en fonction de la densité de l'eau, de la taille des particules et de la vitesse de l'eau. Les particules les plus grossières se déposent en premier suivi des moyennes grossières ainsi de suite et ce long transport en plus des fortes énergies donnent un très bon classement des sédiments. C'est ce qui a été observé au niveau du site de Carabane, sur l'unité estran. Le profil 1 présente des sables moyens entre Octobre et Décembre 2023 et enregistre une érosion qui peut s'expliquer par le fait qu'une bonne partie des sédiments fins a été transportée en suspension par le courant de dérive littorale le long de la côte. Ces particules se déposent en fonction de la taille et de l'affaiblissement du courant justifiant les dépôts observés au niveau des profils 2, 3 et 4 sur l'unité estran et dont le décalage des courbes de fréquence (( Figure 3.11)) vers la droite (vers les diamètres de tamis faibles) montre clairement le dépôt sélectif des sédiments fins. Cependant, l'érosion observée sur les profils 5 et 6 peuvent s'expliquer par le transport en suspension des sables fins. De plus, les variations longitudinales de l'indice de classement et de la moyenne des sédiments (Figures (( Figure 3.12)) et (( Figure 3.13))) justifient encore ces observations et sont en adéquation avec les suppositions faites sur le site de Diogué par rapport à la direction et au sens de la dérive littorale. En Mars 2024 les sédiments sont plus bien classés de l'aval vers

l'amont, sens de la dérive littorale donc des courants fluviaux et cela se confirme avec les figures 3.12 et 3.13. En effet, sur le site de Carabane en Mars 2024, le long de la plage, les sédiments passent d'un bon classement à un très bon classement (de P6 à P2) et se terminent par un classement moyen sur le profil 1. L'accumulation noté au niveau du profil 6 peut s'expliquer par le dépôt des particules grossières, ensuite les sédiments les plus fins du profil 5 qui sont transportés en masse par le courant de dérive se déposent tout au long de la côte à tour de rôle, ce sont donc les dépôts observés au niveau des profils 2, 3 et 4. Le profil 1 dont les sédiments sont bimodaux peut expliquer le classement moyen de ces derniers.

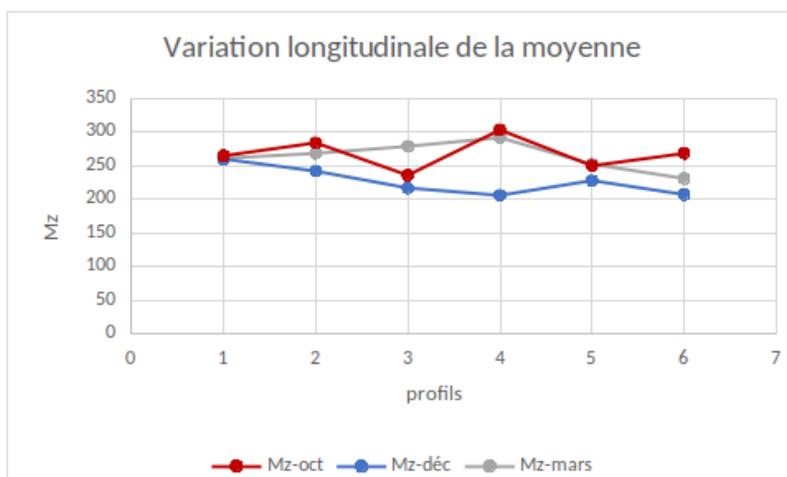


FIGURE 3.12 – Variation de la moyenne granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane.

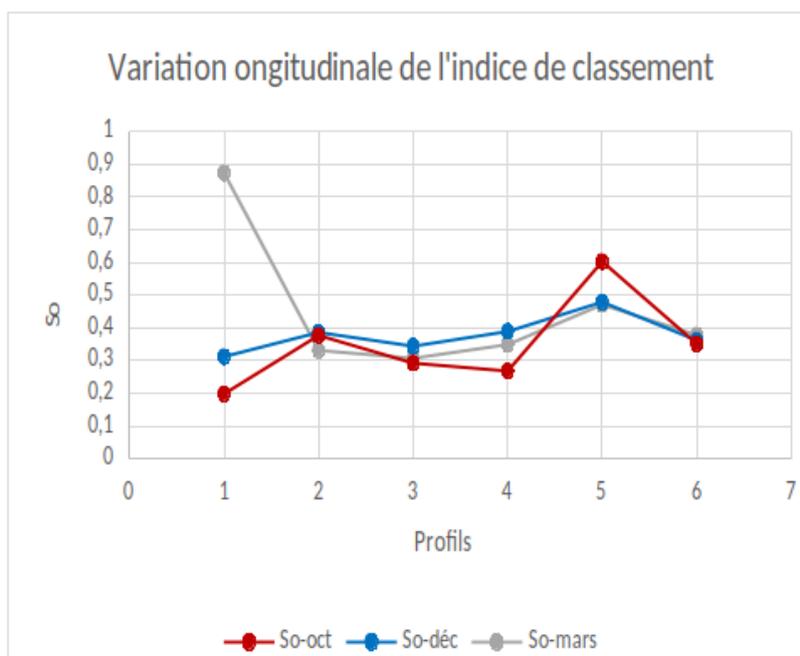


FIGURE 3.13 – Variation longitudinale de l'indice de classement granulométrique des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane.

Tout comme à Diogué, on observe des milieux d'nergies diffrentes. En Décembre 2023 les variations du skewness (( Figure 3.14)) illustre des milieux de hautes nergies (P6, P5 et P2) et des milieux de faibles nergies (P1, P3 et P4). En Mars 2024, la plage est marquée par une nergie faible avec des valeurs de skewness positives obtenues justifiant ainsi les variations observées du milieu.

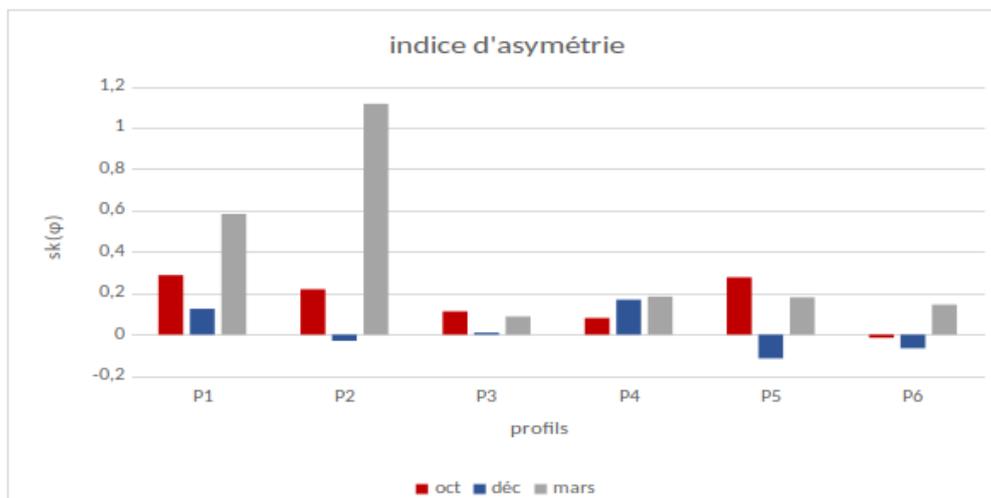


FIGURE 3.14 – Variation longitudinale de l'indice d'asymétrie des sédiments de l'estran des profils du site de Carabane.

### 3.1.3 Synthèse sur les processus sédimentaires

Les diffrents processus sédimentaires montrent principalement deux modes de transport dans ces sites d'étude à savoir le charriage et la suspension qui constituent la plus grande partie. De plus, les environnements de dépôt n'ont pas la même nergie et se distinguent par leur indice d'asymétrie qui prend une valeur négative lorsqu'on a un environnement de forte nergie, une valeur positive lorsqu'on a un environnement de faible nergie. Le changement de signe de la valeur du skewness constitue un environnement de transition. Sur la période d'étude, le site de Diogué présente l'environnement le plus nergique donc plus dynamique que le site de Carabane dont l'environnement est de faible nergie.

## 3.2 Techniques de lutte contre l'érosion côtière

Une solution de lutte contre l'érosion désigne toute stratégie, technique ou mesure mise en œuvre pour prévenir, réduire ou stabiliser les effets de l'érosion sur les sols, les berges, les plages et d'autres surfaces exposées. Les solutions de lutte contre l'érosion visent à protéger les surfaces affectées en stabilisant le sol, en contrôlant le mouvement des sédiments, et en minimisant l'impact des agents érosifs. Les solutions de lutte contre l'érosion sont souvent classées en deux groupes : les solutions douces et les solutions dures.

- Les solutions douces de protection de la côte sont des ouvrages ou des mesures qui visent à atténuer l'érosion côtière et à protéger les rivages tout en respectant l'environnement et en préservant les écosystèmes naturels.
- Les solutions dures, également appelées structures côtières ou infrastructures de défense côtière, impliquent l'utilisation de matériaux solides et durables pour protéger les côtes contre l'érosion, les inondations et les tempêtes. Elles sont souvent employées dans les zones où les solutions douces ne sont pas suffisantes ou pratiques.

Les méthodes douces comme expliqué par le Réseau Atlantique pour la Prévention et la Gestion des Risques littoraux sont conçues pour travailler avec la nature en intégrant la dynamique naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte. Les tableaux ci-dessous regroupent des propositions de solutions douces possibles de lutte contre l'érosion dans cette zone.

TABLE 3.5 – Solutions de lutte contre l'érosion côtière

Type d'ouvrages	Description Technologique	Contribution à la protection	Sensibilité par rapport aux forçages	Avantages	Inconvénients
Restauration des mangroves	Replantation de mangroves dans des zones humides dégradées.	Développement rapide, piège les sédiments, stabilise le sol.	Atténue les vagues, marées et tempêtes.	Séquestre le CO <sub>2</sub> , protège les ressources halieutiques.	Nécessite l'approbation de la communauté.
Les géotextiles	Toiles perméables en fibres synthétiques remplies de sable, placées au rivage.	Maintient le sable en place, favorise la reformation des plages.	Résistants aux vagues, houles et courants.	Moins agressifs visuellement, perméables, favorisent la végétation.	Cause un déficit sédimentaire dans les zones non protégées, entretien régulier nécessaire.
Restauration dunaire	Utilisation de ganivelles ou formation naturelle par le vent et les sédiments.	Alimente les plages en sédiments, amortit l'érosion et la submersion.	Sensible aux fortes énergies des vagues.	Protège l'arrière-pays, conserve l'écosystème, ressource sédimentaire.	Érosion due à la montée des usagers, risque d'ensablement.
Végétalisation d'arrière plage	Recréation ou densification de la couverture végétale au-delà de la zone des marées.	Stabilise les sédiments en les fixant.	Diminue la vitesse des vents et le ruissellement.	Capture les sédiments et polluants avant qu'ils n'atteignent les eaux.	Vulnérable aux événements extrêmes, compétition avec espèces envahissantes.
Mise en place de ganivelle	Barrières aérées d'environ 1 m de hauteur, disposées en rideaux successifs ou en casiers.	Provoque des turbulences et dépose des sédiments, stabilise la plage.	Dissipe l'énergie des vagues.	Facile à mettre en œuvre, peu coûteuses.	Efficacité limitée, suivi régulier nécessaire, obstacles pour les usagers.
Rechargement sédimentaire	Apport de sédiments par camion, dragues en mer, étalés sur la plage.	Corrige les déséquilibres du littoral, maintient la plage.	Améliore la dissipation de l'énergie des vagues.	Rétablit rapidement l'équilibre, impact paysager nul.	Source de sédiments nécessaire, renouvellement régulier, coûteux.

TABLE 3.5 – (suite)

Type d'ouvrages	Description Technologique	Contribution à la protection	Sensibilité par rapport aux forçages	Avantages	Inconvénients
Les épis	Structures côtières perpendiculaires au rivage en divers matériaux.	Interrompt le transport sédimentaire, piège les sédiments.	Diminue la vitesse et modifie la direction des vagues.	Élargit la plage en amont, solide et durable.	Défaut en sédiments et érosion en aval.
Les digues	Structures longues fixées au rivage, en enrochements ou blocs artificiels.	Réduit l'impact des vagues, prévient la submersion.	Résistantes à la pression de l'eau et aux vagues.	Dissipe l'énergie des vagues, réduit la charge sur la structure.	Très coûteuses, besoin élevé en matériaux, grande empreinte carbone.

L'analyse des résultats de cette étude indique une dynamique distincte du processus d'érosion sur les deux sites. Le processus d'érosion est beaucoup plus marqué à Diogué qu'à Carabane où le taux le plus élevé de sédiments perdus est de 16,517 ((m<sup>3</sup>/ml)/mois) sur l'unité estran du profil 6 d'octobre 2023 à mars 2024. A Carabane, le taux le plus élevé de sédiments perdus est de 5,3865 ((m<sup>3</sup>/ml)/mois) sur l'estran du profil 5 pour la même période d'étude. les différents indices granulométriques calculés sur la durée de notre étude révèle que le site de Diogué est plus énergétique que Carabane. De plus, le processus de dépôt est plus complexe à Diogué où on remarque majoritairement une distribution plurimodale des sédiments pour les mois d'octobre 2023 et mars 2024. Ainsi, ces résultats réponds à l'objectif spécifique 1 fixé qui est l'analyse de la variabilité temporelle du processus d'érosion. Bien que l'objectif spécifique 1 (OS.1) atteint, l'OS.2 ne l'ai car les solutions identifier sont d'ordre générale et non spécifique à chaque site.

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif général de cette recherche était de comprendre la dynamique du processus d'érosion côtière à Diogué et à Carabane afin d'identifier des solutions de protection. Pour atteindre cet objectif, deux objectifs spécifiques ont été fixés : Le premier OS était l'analyse de la variabilité temporelle du processus d'érosion et le deuxième OS d'identifier des solutions de lutte selon la dynamique du milieu.

Les résultats des levés topographiques effectués montrent une dynamique de l'érosion plus marquée à Diogué par rapport à Carabane. À Diogué, au niveau de l'unité estran, quatre profils sur six (P2 à P6) sont en érosion avec un taux qui varie de  $-0,306 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$  à  $16,517 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$ . Les deux profils restant (P1 et P2) sont en accrétion avec un faible taux,  $1,529 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$  pour P1 et  $0,182 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$  pour P2 entre les deux campagnes de mesures qui encadrent la période d'étude ( Octobre 2023 et Mars 2024).

À Carabane, toujours au niveau de l'estran les profils (1, 2 et 5) connaissent une perte avec un taux qui varie entre  $0,07175 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$  et  $5,3865 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$ . Les trois autres profils (3, 4 et 6) sont donc marqués par une faible accumulation avec un taux qui varie entre  $0,0865 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$  et  $0,68225 \text{ (m}^3\text{/ml)/mois}$ . Conformément aux observations de Thior (2020), où le recul du trait de côte est beaucoup plus marqué à Diogué qu'à Carabane, notre étude montre aussi que la dynamique du processus d'érosion est beaucoup plus important à Diogué.

L'analyse granulométrique des sédiments de l'estran de chaque profil entre octobre 2023 et mars 2024 révèle une dynamique complexe de dépôt et d'érosion influencé par les variations de l'énergie environnementale plus particulièrement à Diogué. Les sédiments plurimodaux à Diogué indiquent une hétérogénéité, suggérant des conditions variables et des conditions de transport distincts. Contrairement à Diogué, les sédiments du site de Carabane sont uni-modaux indiquant une homogénéité donc des conditions de transport et de dépôt stables. De plus, l'indice d'asymétrie montre que Diogué est un milieu de forte énergie contrairement à Carabane qui est un environnement de faible énergie sur notre période d'étude. Le milieu étant constitué de sable moyen et fin, les sédiments sont plus transportés en suspension. Cependant, certains sont transportés par charriage. Les résultats de notre étude fournissent des informations qui aident à mieux comprendre comment l'érosion se produit dans la zone étudiée. Ainsi, grâce au informations obtenues, nous pouvons dire qu'une partie de l'objectif général, qui visait à enrichir la compréhension de la dynamique du processus d'érosion dans notre zone d'étude afin d'identifier des solutions de protection, a été atteint. Toutefois, même si la partie qui visait à identifier des solutions de protection a été faite, elle reste qu'à même non atteinte en raison des limites du travail.

- Tout d'abord, le manque de données sur les forçages hydrodynamiques lors de l'étude.
- Deuxièmement, la périodicité des levés topographiques devrait être mensuelle pour voir la variation sur une année complète, ce qui permettra de comparer les saisons. Ces limites doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

En termes de perspectives, une étude plus complète de ce processus d'érosion côtière devrait être entreprise sur les îles de la Casamance exposées à l'érosion en commençant par Diogué

et Carabane. Cette étude serait basée sur un renforcement des observations et l'utilisation des outils de modélisation pour mieux comprendre les processus.

- L'analyse des bassins versants dans le but de connaître leurs caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques pour comprendre le processus d'érosion à une échelle plus large et de fournir un cadre contextuel pour les observations locales.
- Les tracés sédimentaires qui consistent à utiliser des matériaux marqués (colorants, isotopes) pour suivre le mouvement des sédiments érodés et de comprendre les chemins de transport.
- La réalisation d'expériences pilotes basées sur l'utilisations des solutions douces de lutte contre l'érosion côtière dans les îles de la Casamance.

# ANNEXES

Les tableaux suivants contiennent les volumes sédimentaires et les caractéristiques morphologiques de chaque unité de plages du site de Diogué.

## Annexe 1

TABLE 3.6 – Volume sédimentaire de chaque profil entre octobre et décembre 2023

Profil	V.HP	V.ESTRAN	V.PA	V.PSM
<b>P1</b>		-6,117	-6,117	-0,744
<b>P2</b>	0,087	0,129	0,216	2,975
<b>P3</b>	1,239	0,702	1,941	1,159
<b>P4</b>	1,111	0,763	1,874	1,424
<b>P5</b>	0,27	-39,216	-38,946	1,156
<b>P6</b>	0,227	-17,203	-16,976	-1,374

TABLE 3.7 – Volume sédimentaire de chaque profil entre décembre 2023 et Mars 2024

	V.HP	V.ESTRAN	V.PA	V.PSM
P1		12,393	12,393	3,696
P2	-0,796	1,32	0,524	-0,159
P3		-0,861	-0,861	-0,407
P4		-1,304	-1,304	-0,316
P5		-16,082	-16,082	4,829
P6	0,43	-52,169	-51,739	-1,374

TABLE 3.8 – Volume sédimentaire de chaque profil entre décembre 2023 et mars 2024

	V.HP	V.ESTRAN	V.PA	V.PSM
P1	0,085	6,117	6,202	0,744
P2	-0,304	0,728	0,424	3,354
P3	0,8	-1,392	-0,592	0,898
P4	0,373	-1,306	-0,933	0,898
P5	0,076	-53,412	-53,336	-1,696
P6	0,433	-66,07	-65,637	

## Annexe 2

TABLE 3.9 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Diogué, Octobre 2023

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)
P1			22,04	5,373	27,643	5,373	7,638	9,043
P2	6,36	3,592	14,507	8,016	20,867	5,804	13,549	6,015
P3	18,718	1,83	13,672	7,178	32,39	4,504	5,143	8,847
P4	11,725	1,352	18,864	6,606	30,589	3,979	15,966	4,982
P5	2,632	1,661	86,938	1,203	89,57	1,432	22,756	2,186
P6	33,249	1,153	53,293	2,56	86,542	1,8565	25,959	2,126

TABLE 3.10 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Diogué, Décembre 2023

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Larg. (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)
P1			20,75	4,797	20,75	4,797	10,175	5,006
P2	8,163	4,931	22,039	5,376	30,202	5,1535	5,135	3,308
P3			18,515	7,307	18,515	7,307	5,526	5,781
P4	16,369	2,874	21,139	6,141	37,508	4,5075	10,428	4,83
P5	68,382	5,022	31,7	3,548	100,082	4,285	80,69	1,319
P6	19,48	1,332	58,312	2,337	77,792	0,666	13,361	4,152

TABLE 3.11 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Diogué, Mars 2024

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Larg. (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)
P1	3,879	3,23	25,481	4,97	29,36	4,1	6,051	10,51
P2	0	0	21,852	5,29	21,852	2,645	6,696	11,84
P3	33,173	1,56	21,456	5,93	54,629	3,745	4,746	11,67
P4	0	0	24,831	5,12	24,831	2,56	8,745	4,7
P5	50,367	0,42	25,155	5,19	75,522	2,805	102,937	1,3
P6	13,547	5,82	39,004	2,18	52,551	4	19,497	4,36

## Annexe 3

TABLE 3.12 – Paramètres granulométriques du site de Diogué Octobre 2023

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	259.2	258.9	202.3	191.5	186.5	
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.815	0.816	0.481	0.359	0.421	
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0.329	0.328	0.243	0.537	-0.059	
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	379.4	183.2	246.1	233.5	169	
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.927	0.689	0.382	0.366	0.732	
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0.372	-0.39	0.213	0.01	-0.303	
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	379.4	362.8	164.8	182	231.5	220.5
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.927	1.015	0.735	0.506	0.492	0.236
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0.372	0.402	-0.563	0.613	0.134	0.337

TABLE 3.13 – Paramètres granulométriques du site de Diogué Décembre 2023

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	164.3	157.8	202.3	191.7	206.5	
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.394	0.349	0.481	0.523	0.448	
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.142	-0.104	0.243	-0.208	0.031	
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	147.2	153.8	145.3	246.1	198.2	127.1
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.692	0.387	0.611	0.382	0.589	0.373
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.547	-0.15	-0.35	0.213	-0.271	0.155
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	156.5			182	251	164.9
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.65			0.506	0.851	0.66
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.302			0.613	-0.362	-0.325

TABLE 3.14 – Paramètres granulométriques du site de Diogué Mars 2024

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	149	166	159.1	112.3	152.7	186.5
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.341	0.382	0.425	0.621	0.437	0.418
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.084	-0.113	-0.163	-0.387	-0.245	-0.061
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	138.5	107	229.7	157.6	136.5	169.2
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.674	0.393	0.33	0.302	0.837	0.736
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.447	-0.127	0.044	0.147	-0.365	-0.303
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	95.54	132.6	107.1	237.2	137	
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0.27	0.482	0.395	0.418	0.538	

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0.066	-0.188	-0.13	0.057	-0.141	

## Annexe 4

Les données sédimentaires, morphologiques et granulométriques des autres unités de plage du site de Carabane sont regroupées dans les différents tableaux qui suivent :

TABLE 3.15 – Volume sédimentaire de chaque profil entre octobre et décembre 2023

<b>Profil</b>	<b>V.HP</b>	<b>V.ESTRAN</b>	<b>V.PA</b>	<b>V.PSM</b>
<b>P1</b>	-0,396	-5,189	-5,585	0,499
<b>P2</b>	0,503	2,192	2,695	1,168
<b>P3</b>	0,569	-0,128	0,441	3,873
<b>P4</b>	0,06	4,626	2,789	3,398
<b>P5</b>	0,073	-12,1756	-12,1026	1,11
<b>P6</b>	-0,155	-2,553	-2,708	-0,477

TABLE 3.16 – Volume sédimentaire de chaque profil entre décembre 2023 et mars 2024

	<b>V.HP</b>	<b>V.ESTRAN</b>	<b>V.PA</b>	<b>V.PSM</b>
<b>P1</b>	-0,115	-1,299	-1,414	-2,468
<b>P2</b>	0,144	-2,521	-2,377	-1,242
<b>P3</b>	-0,144	0,308	0,164	-0,085
<b>P4</b>	-0,486	0,633	0,147	-3,217
<b>P5</b>	0,073	-15,960	-15,887	-2,46
<b>P6</b>	-0,155	3,514	3,359	6,549

TABLE 3.17 – Volume sédimentaire de chaque profil entre octobre 2023 et mars 2024

	<b>V.HP</b>	<b>V.ESTRAN</b>	<b>V.PA</b>	<b>V.PSM</b>
<b>P1</b>	-0,351	-7,031	-7,382	-1,746
<b>P2</b>	0,644	-0,287	0,357	-0,143
<b>P3</b>	0,014	1,319	1,333	1,729
<b>P4</b>	-0,113	4,026	3,913	-0,855
<b>P5</b>	-6,421	-21,546	-27,967	-1,698
<b>P6</b>	-0,298	0,346	0,048	7,536

## Annexe 5

TABLE 3.18 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Carabane, Octobre 2023

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Larg. (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)	Larg. (m)	Pente (%)
<b>P1</b>	10,24	0,699	16,074	7,371	26,314	4,035	31,643	0,928
<b>P2</b>	8,908	4,289	15,865	8,365	24,773	6,327	17,076	1,572
<b>P3</b>	8,903	2,673	7,149	13,238	16,052	7,9555	13,842	5,306
<b>P4</b>	15,558	0,883	14,805	9,772	30,363	5,3275	32,379	0,733
<b>P5</b>	20,539	1,087	65,742	1,764	86,281	1,4255	23,361	1,378
<b>P6</b>	3,689	2,277	12,793	11,067	16,482	6,672	25,959	1,492

TABLE 3.19 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Carabane, Décembre 2023

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)
<b>P1</b>	5,519	10,199	18,148	8,137	23,667	9,168	29,933	0,291
<b>P2</b>	8,717	4,359	16,6	8,016	25,317	6,1875	18,216	0,873
<b>P3</b>	9,704	2,922	19,218	6,498	28,922	4,71	2,298	1,261
<b>P4</b>	11,725	1,352	18,864	6,606	30,589	3,979	15,966	4,982
<b>P5</b>	10,03	1,025	71,059	1,222	81,089	1,1235	26,622	1,011
<b>P6</b>	4,096	10,199	14,059	8,137	18,155	9,168	16,638	0,79

TABLE 3.20 – Caractéristiques morphologiques des unités de plage du site de Carabane, Mars 2024

Profil	Haut plage		Estran		Plage aérienne		Plage sous-marine	
	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)	Largeur (m)	Pente (%)
<b>P1</b>	5,436	0,64	12,457	10,51	17,893	5,575	40,362	0,7
<b>P2</b>	12,38	5,46	7,755	12,45	20,135	8,955	21,783	1,15
<b>P3</b>	2,785	6,35	12,163	9,78	14,948	8,065	9,987	3,34
<b>P4</b>	24,654	2,45	6,995	11,68	31,649	7,065	38,022	0,6
<b>P5</b>	10,208	0,53	82,039	1,37	92,247	0,95	20,781	1,05
<b>P6</b>	-	-	16,678	7,96	16,678	7,96	21,525	0,86

## Annexe 6

TABLE 3.21 – Paramètres granulométriques du site de Carabane Octobre 2023

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	243,2	240	222,3	238,1	261,8	218,4
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,275	0,265	0,195	0,252	0,383	0,252
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,091	-0,001	0,097	-0,049	0,007	0,184
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	259,2	280,1	219,3	269,5	222,4	259,2
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,362	0,311	0,339	0,407	0,165	0,326
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,102	0,077	0,044	0,051	0,256	0,102
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	269,2	302,9	329,8	319,1	220,3	307
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,353	0,341	0,327	0,339	0,196	0,488
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,065	0,387	0,269	0,322	0,255	0,384

TABLE 3.22 – Paramètres granulométriques du site de Carabane Décembre 2023

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	238	211,7	202	205,1	204,9	195
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,31	0,413	0,294	0,343	0,348	0,34
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,042	-0,121	0,103	0,028	0,001	-0,83
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	242,1	231	220,6	204,5	185,4	209
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,396	0,293	0,379	0,394	0,37	0,552
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,022	0,03	0,064	0,139	0,128	-0,23
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	240,2	162	199,4	188,1	173,4	199,5
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,432	0,321	0,385	0,365	0,359	0,55
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	0,022	0,048	-0,114	-0,082	-0,171	-0,296

TABLE 3.23 – Paramètres granulométriques du site de Carabane Mars 2024

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
<b>Haut Plage</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	225,1	224,7	219,1	191,5	189,1	
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,36	0,334	0,42	0,27	0,334	
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0,011	-0,019	-0,058	0,069	-0,076	
<b>Mer</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	176,6	216,3	186,9	195	168,4	175,9
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	1,276	0,38	0,367	0,382	0,362	0,435
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0,653	-0,038	-0,0117	-0,118	-0,128	-0,216
<b>Déferlement</b>						
<b>Mz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	210,3	225,9	201,2	188,8	164,7	169,3
<b>sig (<math>\phi</math>)</b>	0,409	0,425	0,406	0,396	0,324	0,364
<b>sk (<math>\phi</math>)</b>	-0,14	0,012	-0,156	-0,139	-0,107	-0,067

# Bibliographie

- Hapke, Cheryl and Reid, David and Richmond, Bruce M and Ruggiero, Peter and List, Jeff, 2006** : National Assessment of shoreline change<sup>3</sup> : Historical shoreline change and associated land loss along sandy shoreline of the California coast. Open-File Report 2006-1219.
- Barry, Mamadou, 2017** : Erosion côtière et impacts dans la commune de Kafountine (basse Casamance). *Mémoire de master*, 123.
- Bird, E. C. F. (Eric Charles Frederick), 1985** : *Coastline changes : a global review*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore : John Wiley & Sons.
- Brunet-Moret, Yves, 1970** : Etude des marées dans le fleuve Casamance. 7(4), 3–4.
- Cissé, Cheikh Omar Tidjani, Rafael Almar, Jean Paul Marcel Youm, Serge Jolicoeur, Adelaide Taveneau, Boubou Aldiouma Sy, Issa Sakho, Bamol Ali Sow, and Habib Dieng, 2023, January** : Extreme Coastal Water Levels Evolution at Dakar (Senegal, West Africa). *Climate* 11(1), 6. Number : 1 Publisher : Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Diop, E Salif, 1990** : *La côte ouest-Africaine du Saloum(Sénégal)à la mégalopole (réf. de Guinée)* (ORSTOM ed.). Études et Thèses. Paris.
- Durand, Paul** : *L'évolution des plages de l'ouest du golfe du Lion au XX<sup>e</sup> siècle. Cinématique du trait de côte, dynamique sédimentaire, analyse prévisionnelle*. Thèse de doctorat, Lyon 2.
- Fall, Marième, Souleymane Niang, and Boubou Aldiouma Sy, 2022, November** : Les Niayes du Littoral Nord du Sénégal : Processus de Mise en Place, Salinisation des eaux souterraines et des Sols. *European Scientific Journal, ESJ*, 11, 199–199.
- Faye, Ibrahima B Nd, 2010** : Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes.
- Jaud, Marion, 2011** : *Techniques d'observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale-Brest.
- Kalck, Yves, 1978** : *Evolution des zones à mangroves du Sénégal au quaternaire récent. Etudes géologiques et géochimiques*. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, ULP Strasbourg.
- Luijendijk, Arjen, Gerben Hagenaars, Roshanka Ranasinghe, Fedor Baart, Gennadiy Donchyts, and Stefan Aarninkhof, 2018, April** : The State of the World's Beaches. *Scientific Reports*, 8.
- Malou, Raymond, 1992** : Etude des aquifères superficiels en basse Casamance : un modèle de bilan hydrique. 12(3), 45–67.

- Mendoza, Miguel Ángel Gómez, 2023** : Une contribution à l'histoire des épidémies, du climat et des catastrophes naturelles. *UNiversité du sud-ouest Néofit Rilski* 32(3).
- Morton, Robert A., Tara L. Miller, and Laura J. Moore, 2005**. Rapport Techn. 2004-1043, Geological Survey (U.S.). ISSN : 2331-1258 Publication Title : Open-File Report.
- Niang-Diop, Isabelle, 1995** : *L'érosion côtière sur la petite côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque passé - présent - futur*. Thèse de Doctorat, D'Angers.
- Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE), (PNUE), 1985** : *Erosion côtière en Afrique de l'ouest et du centre*. programme des Nations-Unies pour l'environnement.
- Sakho, I, 2011** : *Évolution et fonctionnement hydro-sédimentaire de la lagune de la Somone, Petite Côte, Sénégal*. These de doctorat, Université de Rouen ; Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
- Saos, Jean Luc, Catherine Le Bouteiller, and E Salif Diop, 1987** : Aspects géologiques et géomorphologiques de la Casamance : étude de la sédimentation actuelle. (20), 3–4.
- Sy, Amadou A., 2013** : *Dynamiques sédimentaires et risques actuels : Axe Saint-Louis-Gandioul, littoral Nord du Sénégal* (Académiques ed.).
- Thior, Mamadou, 2020** : *Dynamique du littoral de la Casamance : caractéristiques morphodynamiques, changements environnementaux et impacts socioéconomiques*. Thèse doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor.
- Thior, Mamadou, Amadou A. Sy, Issa Mballo, El hadj Balla Dieye, Dramane Cissokho, Djiby Sow, and Luc Descroix, 2021, October** : L'île de Carabane. Méditerranée. *Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography* (133), 139–144. ISBN : 9791032003619 Number : 133 Publisher : Presses Universitaires de Provence.
- Thior, Mamadou, Amadou Abou Sy, and Boubacar Solly, 2022, January** : Évaluation des dynamiques estuariennes en Casamance : cas des îles de Karabane et Diogué et de la pointe de Gnikine. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies* 98(3/4), 440–458. Number : 3/4 Publisher : Association de géographes français.

# Webographie

- [https://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins\\_textes/\\_textes\\_2/etudes\\_theses/40109.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/_textes_2/etudes_theses/40109.pdf)/consulté le 20/06/2024
- [http://www.euroasion.org/reports-online/part1\\_fr.pdf](http://www.euroasion.org/reports-online/part1_fr.pdf)/consulté le 26/06/2024
- <https://fr.scribd.com/document/372272094/Tp-Granulometrie12>/consulté le 26/06/2024
- <https://www.aquaportail.com/definition-4164-erosion.html>/consulté le 26/04/2024
- [https://www.journalgeneraldeleurope.org/article\\_dossier/erosion-littoral-phenomene](https://www.journalgeneraldeleurope.org/article_dossier/erosion-littoral-phenomene) le 12/04/2024
- <https://www.climato-realistes.fr/trait-de-cote-etude-nature-avril-2018>/consulté le 01/03/2024
- <https://www.seneplus.com/economie/ile-de-carabane-un-paradis-menace-par-la-mer/>consulté le 28/06/2024
- <https://spartan.ac.brocku.ca/~rcheel/teaching/sedimentology/SedNotes/Chap1.pdf>/consulté le 28/06/2024