



OBSERVATOIRE DE LA CÔTE
NOUVELLE-AQUITAINE

Document public

Rapport final

Caractérisation des évolutions morphologiques récentes (période 2011-2023) du cordon dunaire de la côte de Gironde et des Landes

BRGM/RP-73986-FR
Version 1 du 28/10/2024

Nicolae Lerma A. et Ayache B.



Ce rapport a été vérifié le 07/10/2024 et approuvé le 24/11/2024 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu contractuellement.

Le demandeur assure lui-même la diffusion qu'il souhaite des exemplaires de ce tirage initial, dont il est seul propriétaire.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur, ainsi que par les termes de la convention.

Les justificatifs du contrôle qualité de ce rapport (auteur, vérificateur, approbateur) peuvent être communiqués à titre confidentiel au destinataire du rapport, à sa demande et dans le strict respect de la réglementation applicable au traitement des données à caractères personnels.

Le BRGM ne saurait être tenu responsable de la divulgation du contenu total ou partiel de ce rapport à un tiers non-autorisé qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots-clés : Erosion marine, érosion éolienne, cordon dunaire, levés LiDAR, côte aquitaine

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Nicolae Lerma A. et Ayache B. (2024) - Caractérisation des évolutions morphologiques récentes (période 2011-2023) du cordon dunaire de la côte de Gironde et des Landes. Rapport final - version 1 du 28/10/2024. BRGM/RP-73986-FR, 36 p., 20 Ill., 1 tab.

Synthèse

Au travers de différents indicateurs, définis pour suivre les évolutions morphologiques des plages et des dunes le long de la côte aquitaine (Gironde et Landes), une analyse est réalisée durant la période 2011-2023. Elle se base sur les données des levés LiDAR aéroportés, réalisés annuellement à l'échelle régionale par l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA).

En synthèse, l'évolution des volumes sédimentaires du cordon dunaire pour la côte girondine suit nettement 3 séquences avec :

- 1/ une perte de volume liée à l'érosion marine entre 2011 et 2014,
- 2/ une relative stabilité entre 2014 et 2018,
- 3/ une forte accumulation entre 2018 et 2023 avec un bénéfice maximal dans la partie sud de la Gironde.

Ces séquences sont moins nettes pour la côte landaise où d'une part, la perte de volume lors de la période 2011-2014 est nettement inférieure, d'autre part la période 2014-2018 est aussi bien marquée par de nouvelles érosions dunaires (2014-2016) que par des accumulations importantes (2016-2017). Enfin la période 2018-2023 présente, comme pour la côte girondine, de fortes accumulations mais aussi de nouvelles pertes de volumes (hiver 2021-2022). *In fine*, les évolutions du cordon dunaire landais sont plus variables à l'échelle interannuelle que celle de la côte girondine. On retrouve toutefois pour le bilan 2014-2023, une tendance globale à l'accumulation de sable au sein du cordon dunaire.

Les séquences post-érosion marine de 2013-2014 (2/ et 3/) ont pu se mettre en place grâce à l'absence de nouvelles érosions marines importantes (stabilité globale de la position du trait de côte entre 2014 et 2023). De plus, cette stabilité a permis l'adoucissement des pentes de front dunaire du fait à la fois de nouveaux apports en sable, sur les hauts de plage formant des avant-dunes, et d'une érosion sous l'effet du vent au niveau des crêtes de la face marine. Cette évolution progressive a eu lieu au cours de la période 2014-2018 et a eu pour effet de rétablir, puis faciliter les transferts entre les hauts de plage et la partie haute des dunes.

Dans un second temps, qui correspond à la période 2018-2023, la mobilité et le stockage de sédiments, lorsque les plages présentent de forte disponibilité sédimentaire (moitié sud de la Gironde), se sont accentués. L'hiver 2019-2020 a en particulier entraîné de très fortes évolutions au niveau de certains secteurs avec l'initiation de la mobilité du fait de conditions de forçages éoliens exceptionnels. Sur la côte landaise, la mobilité dunaire est réduite à des secteurs plus limités (par exemple au nord de Biscarrosse) qui connaissent des dynamiques différentes parfois antérieures à 2013-2014.

Sur une grande partie du cordon dunaire girondin, les évolutions ont été importantes et la mobilité forte (supérieure à 20 % voire 30 % des volumes de la dune en place), conduisant à des évolutions de la morphologie globale du cordon dunaire. Si les conditions continuent à être favorables (i.e. forçage éolien important, disponibilité sédimentaire, absence de nouvelles érosions marines, faible dynamique de végétation...), le processus de migration dunaire sera amené à se poursuivre et potentiellement à s'étendre à des secteurs où la mobilité est encore partielle.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Contexte	9
3. Données et méthode	11
3.1. DONNEES LIDAR.....	11
3.1.1. Base de données.....	11
3.1.2. Traitement.....	11
3.2. FORÇAGES METEO-MARINS.....	13
4. Résultats	15
4.1. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE GENERALE DU CORDON DUNAIRE.....	15
4.2. EVOLUTION GENERALE PENDANT LA PERIODE 2011-2023.....	16
4.2.1. Gironde.....	16
4.2.2. Landes	17
4.3. EVOLUTION DES INDICATEURS MORPHOLOGIQUES.....	19
4.3.1. Position du trait de côte	19
4.3.2. Pentés des fronts de dune.....	20
4.3.3. Crêtes de dunes.....	21
4.4. EVOLUTION DES VOLUMES SEDIMENTAIRES.....	22
4.4.1. Volume de plage.....	22
4.4.2. Volume des dunes	23
4.4.3. Bilan des volumes plages-dunes.....	25
4.5. MOBILITE DU CORDON DUNAIRE.....	26
4.5.1. Indicateur de mobilité	26
4.5.2. Mobilité et forçages.....	27
5. Discussion et conclusion	31
6. Bibliographie	35

Liste des illustrations

Illustration 1 - Fonctionnement et principales formes du système littoral sableux en Nouvelle-Aquitaine (ONF, d'après P. Barrière)	9
Illustration 2 - Temporalité et séquences successives d'évolution des dunes en réponse à une érosion marine (issu de Nicolae Lerma et al., 2023)	10

Illustration 3 - Carte de localisation et méthode d'extraction	12
Illustration 4 - Indicateurs morphosédimentaires	13
Illustration 5 - Série temporelle d'énergie des vagues (en haut) et de flux éoliens potentiels (en bas) au niveau du Cap Ferret, associée aux valeurs cumulées saisonnières, estivales (en bleu) et hivernales (en rouge)	14
Illustration 6 - Caractéristiques morphologiques du cordon dunaire : en haut le long de la Gironde (de l'anse du Gulp au Cap Ferret), en bas le long de la côte des Landes (du Trencat à Capbreton) ; les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux Boucau, m. Hossegor	15
Illustration 7 - Différentiels topographiques le long de la côte girondine ; les zones grisées indiquent les zones urbaines pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau	17
Illustration 8 - Différentiels topographiques le long de la côte landaise ; les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau et m. Hossegor	18
Illustration 9 - Evolution de la position du trait de côte le long des côtes de Gironde et des Landes, au cours de la période 2011-2023 : une valeur positive par rapport à 2011 doit être interprétée comme un recul et une valeur négative comme une avancée.....	19
Illustration 10 - Evolution des pentes de dunes le long des côtes de Gironde et des Landes au cours de la période 2011-2023 (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)	21
Illustration 11 - Evolution de la hauteur des crêtes le long des côtes de Gironde et des Landes, au cours de la période 2011-2023 (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)	22
Illustration 12 - Différence de volume sédimentaire au niveau des plages (Vp), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)	23
Illustration 13 - Différence de volume sédimentaire au niveau des dunes (Vd), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux Boucau, m. Hossegor).....	24
Illustration 14 - Evolution des bilans sédimentaires au niveau des systèmes plage-dune, au cours de la période 2011-2023, en référence à la situation de 2011.....	25
Illustration 15 - Mobilité relative (M/Vd 2023), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor).....	26
Illustration 16 - Exemple de profils illustrant divers niveaux de mobilité en Gironde (en haut) et dans les Landes (en bas) : Profil A : secteur de Carcans, Profil B : sud de Lacanau, Profil C : secteur du Truc Vert, Profil D : nord de Biscarrosse, Profil E : Centre des Landes, Profil F : secteur de Messanges	27
Illustration 17 - Evolution des volumes de plage, en référence à l'année 2011, et relation avec l'énergie cumulée des vagues pour la Gironde (en haut) pour les Landes (en bas)	28

Illustration 18 - Relations entre mobilité du cordon dunaire et flux éoliens potentiels : a. évolutions de Mb par rapport à 2011, b. flux éoliens cumulés (Q), c. relation entre énergie de vague (P) et flux éoliens cumulés (Q), d. et e. relation entre Mb et Q respectivement pour la Gironde et les Landes29

Illustration 19 - Exemple de 3 types d'évolutions morphologiques (vue en coupe) dans le sens du profil, le long de la côte girondine, pour des conditions d'évolutions des stocks sableux, de mobilité (partie haute du graphique) et de dimensions de dune (courte, moyenne et large) variées (Les profils et cadres de couleur illustrent des dunes de dimensions différentes : en vert, des dunes peu mobiles ; en violet, des dunes mobiles ; en jaune, des dunes transgressives)32

Illustration 20 - Exemples d'évolution de la couverture végétale pour les profils présentés en Illustration 19, avec a) profil G (végétation altérée en début de période), b) profil I (altération de la végétation lors de la période) et c) profil C (maintien de la végétation)33

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques générales des données LiDAR11

1. Introduction

La côte sableuse de l'ex-Aquitaine est un ensemble sédimentaire d'environ 230 km de long, faisant face à l'Océan Atlantique. La combinaison de dynamiques marines et éoliennes a conduit à l'édification de plusieurs générations de dunes au cours des derniers millénaires (BRGM et ONF, 2018). Au XIX^{ème} siècle, le travail de l'homme pour contrôler la dynamique sédimentaire a donné naissance à de larges cordons dunaires, qualifiés de dunes bordières. Aujourd'hui, l'Office National des Forêts (ONF), le gestionnaire principal des dunes littorales sur la côte de Nouvelle-Aquitaine, pratique une gestion éco-dynamique consistant en une veille d'observations continue des évolutions et l'exploitation des dynamiques naturelles à l'échelle locale. Son but est à la fois de limiter la mobilité des cordons et de favoriser le maintien de la biodiversité. Par l'utilisation, au cas par cas, de méthodes dites souples (couverture de branchages, plantations, filets en fibre de coco ...), ces actions ont globalement permis de maîtriser les évolutions morphologiques du cordon dunaire lors des 50 dernières années (Bossard et Nicolae Lerma, 2020 ; Robin et al., 2021). De dimensions souvent impressionnantes (de 100 à 400 m de largeur pour des hauteurs de 15 à 30 m), ces systèmes naturels et/ou aménagés sont cependant par nature dynamiques. Soumis aux aléas météo-marins du golfe de Gascogne, ils peuvent connaître des fragilisations ou des déstabilisations rapides.

Au fil des saisons, les dunes, initialement de formes géométriques dites « calibrées », ont ainsi subi de nombreuses perturbations, causées à la fois par l'érosion marine et l'érosion éolienne. Lors de la dernière décennie, ces perturbations se sont caractérisées par d'importantes évolutions morphologiques à grande échelle. Ces évolutions, bien qu'elles soient en opposition des objectifs longtermes visés de réduction maximale de la mobilité des dunes, permettent une réflexion et de nouvelles perspectives de gestion, basées sur des pratiques complémentaires consistant à mettre en place l'accompagnement de la mobilité naturelle des dunes littorales. Là où le déplacement du cordon est possible ou souhaitable, ces mesures pourraient être de nature à permettre une meilleure adaptation à l'érosion chronique et aux effets du changement climatique. Ces pratiques (dites de solutions fondées sur la nature) s'appuient sur la maîtrise relative des processus naturels afin de permettre l'adaptation de la forme et de la position des cordons dunaires au contexte de l'érosion littorale actuelle et future, mais également à terme de permettre le maintien et le développement d'une large biodiversité.

Malgré l'importance du rôle que jouent les dunes côtières pour la protection des enjeux humains et écosystèmes littoraux, notre compréhension sur la façon dont les forçages météo-marins et les méthodes de gestion affectent l'évolution des dunes sur des échelles de temps, allant de quelques années à quelques décennies, est encore relativement limitée (Ruggiero et al., 2019). Ainsi l'objectif de cette étude est de caractériser les évolutions morphologiques du cordon dunaire à l'échelle régionale (de l'anse du Gurg à Capbreton) pendant une période de plus de 10 ans. Cette étude vient ainsi en complément du travail réalisé sur l'analyse des évolutions à l'échelle locale pour des sites où des méthodes spécifiques de stimulation ou de limitation de la mobilité ont été mises en place (Nicolae Lerma et Rosebery, 2023).

A partir de données acquises dans le cadre de l'Observatoire de la Côte de Nouvelle-Aquitaine (OCNA), nous proposons de décrire les évolutions du cordon dunaire de front de mer le long des littoraux de Gironde et des Landes sur la période 2011-2023. A partir d'un travail complémentaire de celui mené dans Nicolae Lerma et Rosebery 2023, on analysera d'une part les perturbations à l'interface plage-dune associées aux conditions marines énergétiques de l'hiver 2013-2014. D'autre part, on se concentrera sur l'analyse des réponses des dunes aux forçages météo-marins et en particulier éoliens sur la période 2014-2023. Enfin, une analyse comparative des évolutions le long des côtes girondine et landaise et le lien avec les forçages météo-marins sera proposée.

Ce travail s'inscrit dans les actions de l'OCNA, menées dans le cadre du programme de suivi des évolutions de la côte sableuse. Il poursuit comme objectif :

- ① d'analyser les évolutions morpho-sédimentaires substantielles connues sur le cordon dunaire, au cours de cette dernière décennie ;
- ① de caractériser la variabilité spatiale de ces évolutions à l'échelle régionale ;
- ① de mettre en relation à l'échelle régionale, les évolutions observées avec les conditions de forçages éoliens, de morphologie du cordon dunaire et de disponibilité sédimentaire.

2. Contexte

Les dunes littorales réunissent de multiples rôles et services, dit « écosystémiques », critiques pour les communautés humaines et la biodiversité (Barbier et al., 2011). Ce sont des zones de préservation d'espèces spécifiques (Delgado-Fernandez et al., 2019), les principaux remparts naturels contre les aléas littoraux (érosion et submersion, e.g., Sallenger, 2000 ; Nordstrom et al., 2007) et des zones attractives pour les activités touristiques (Guerry et al., 2012). Ainsi, les dunes littorales sont reconnues comme un élément fondamental pour l'adaptation des sociétés, au carrefour des problématiques associées aux effets du changement climatique, à la réhabilitation de la biodiversité, à la protection contre les aléas et à la pression humaine liée à l'occupation croissante des espaces littoraux.

Sur le plan géomorphologique, les dunes sont des objets complexes des systèmes littoraux sableux. Ces accumulations de sédiments, positionnées en front de mer, sur l'ensemble des côtes sableuses dans le monde, sont soumises à la fois aux forçages marins et éoliens et peuvent prendre des formes extrêmement variées (Hesp, 2002). Au sein des littoraux de climats tempérés, bien que les raisons soient multiples et pour certaines toujours en débat, les systèmes dunaires sont globalement stables et fixés par le développement de la végétation (Gao et al., 2020). Sur les littoraux soumis à des forçages marins et éoliens énergétiques, où la disponibilité sédimentaire est modérée à forte, on observe selon leurs morphologies, leurs dimensions ou leurs positions, plusieurs formes d'érosions et de dépôts sur les dunes. L'illustration 1 synthétise les principaux types de perturbations observables sur les dunes, en particulier ici avec une terminologie adaptée aux dunes de Gironde et des Landes.

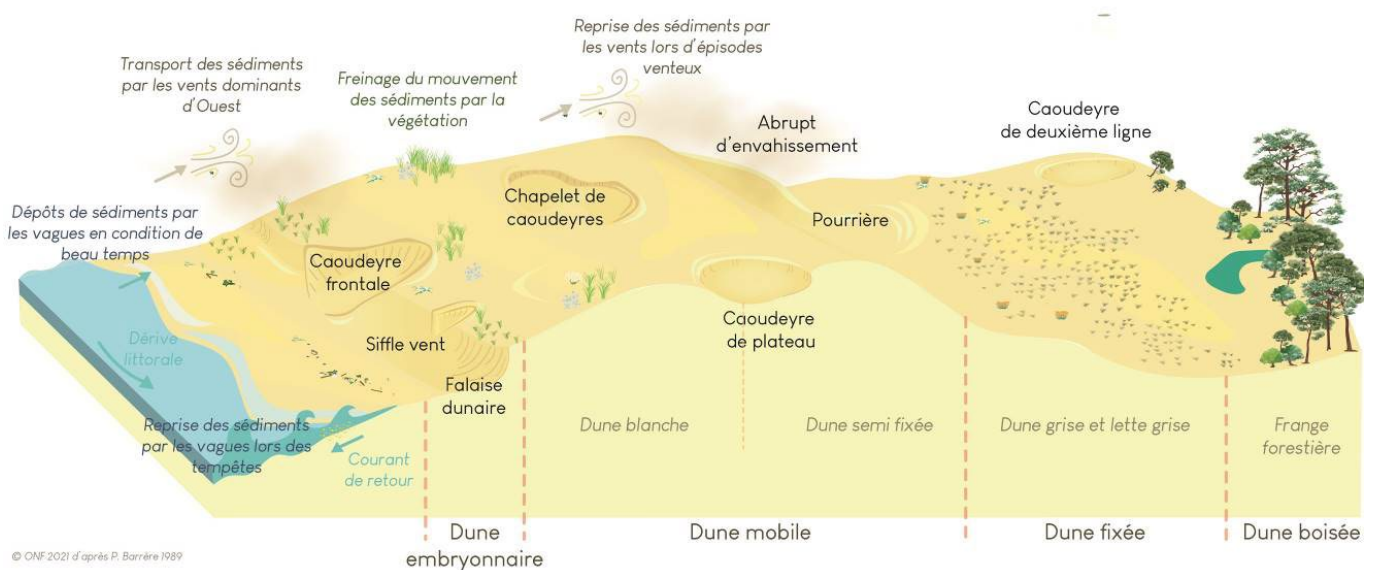


Illustration 1 - Fonctionnement et principales formes du système littoral sableux en Nouvelle-Aquitaine (ONF, d'après P. Barrière)

Le moteur principal de la mobilité dunaire est l'action du vent. Toutefois, la dynamique des dunes et leurs évolutions morphologiques sont contrôlées par des mécanismes d'interactions multiples et non linéaires entre des forçages externes (i.e. les forçages météo-marins) et des paramètres internes (i.e. caractéristiques locales propres). Parmi les facteurs influençant les évolutions morphologiques contemporaines des systèmes dunaires, l'état et la dynamique de la couverture de végétation en sont deux qui contrôlent la possibilité de connaître ou non des évolutions morphologiques (Durán and Herrmann, 2006 ; Luna et al., 2011 ; McGuirk et al., 2022). Si la couverture de végétation connaît une densité suffisante et n'est pas altérée par des actions mécaniques (piétinement, criblage, ensevelissement...) ou des

3. Données et méthode

3.1. DONNEES LIDAR

3.1.1. Base de données

Pour réaliser cette étude, la source principale de données est la base de données d'acquisition LiDAR à l'échelle régionale, mise en place et actualisée annuellement par l'OCNA, dans le cadre des activités de suivi des évolutions des côtes sableuses. L'OCNA acquiert et diffuse, chaque année depuis 2016 et précédemment en 2014, un levé LiDAR, en automne, couvrant l'ensemble de la bande littorale de Gironde et des Landes. Associées à ces levés, des orthophotographies synchrones sont acquises ; elles ne seront pas utilisées dans cette étude. Précédemment, l'IGN avait réalisé la première acquisition LiDAR couvrant l'ensemble du linéaire de la région Aquitaine, au printemps 2011. Ces différents millésimes de données ont permis de générer des Modèles Numériques de Terrain (MNT), de 1 m de résolution et dont la précision verticale a été évaluée, pour chaque millésime, à partir d'une base de données de plusieurs centaines de points, collectés indépendamment au D-GPS, le long de l'ensemble du littoral (Ayache et Billère, 2023). La précision obtenue pour ces données est globalement croissante dans le temps (Tableau 1) et est équivalente ou supérieure aux performances affichées communément pour ce type de données (précision supérieure à 20 cm).

<i>Campagnes</i>	<i>Acquisition</i>	<i>Précision Z (m)</i>	<i>Nombre de point minimal au m²</i>
<i>LiDAR 2011</i>	<i>mai</i>	<i>0,20</i>	<i>8</i>
<i>LiDAR 2014</i>	<i>octobre</i>	<i>0,14</i>	<i>8</i>
<i>LiDAR 2016</i>	<i>Octobre</i>	<i>0.16</i>	<i>8</i>
<i>LiDAR 2017</i>	<i>octobre</i>	<i>0,11</i>	<i>8</i>
<i>LiDAR 2018</i>	<i>octobre</i>	<i>0,10</i>	<i>12</i>
<i>LiDAR 2019</i>	<i>décembre</i>	<i>0,10</i>	<i>16</i>
<i>LiDAR 2020</i>	<i>octobre</i>	<i>0,08</i>	<i>16</i>
<i>LiDAR 2021</i>	<i>octobre</i>	<i>0,09</i>	<i>16</i>
<i>LiDAR 2022</i>	<i>octobre</i>	<i>0,10</i>	<i>16</i>
<i>LiDAR 2023</i>	<i>septembre</i>	<i>0,08</i>	<i>16</i>

Tableau 1 - Caractéristiques générales des données LiDAR

3.1.2. Traitement

Dans cette étude, les données LiDAR sont traitées sous la forme de transects perpendiculaires à la côte, espacés tous les 10 mètres le long de la côte girondine et des Landes (Illustration 3). Sur les figures présentées ensuite, cette succession de profils le long de la côte est présentée du nord vers le sud pour chacun des départements, le long d'un axe référencé en coordonnée Y (nord-sud) Lambert 93 (e.g. Illustration 6).

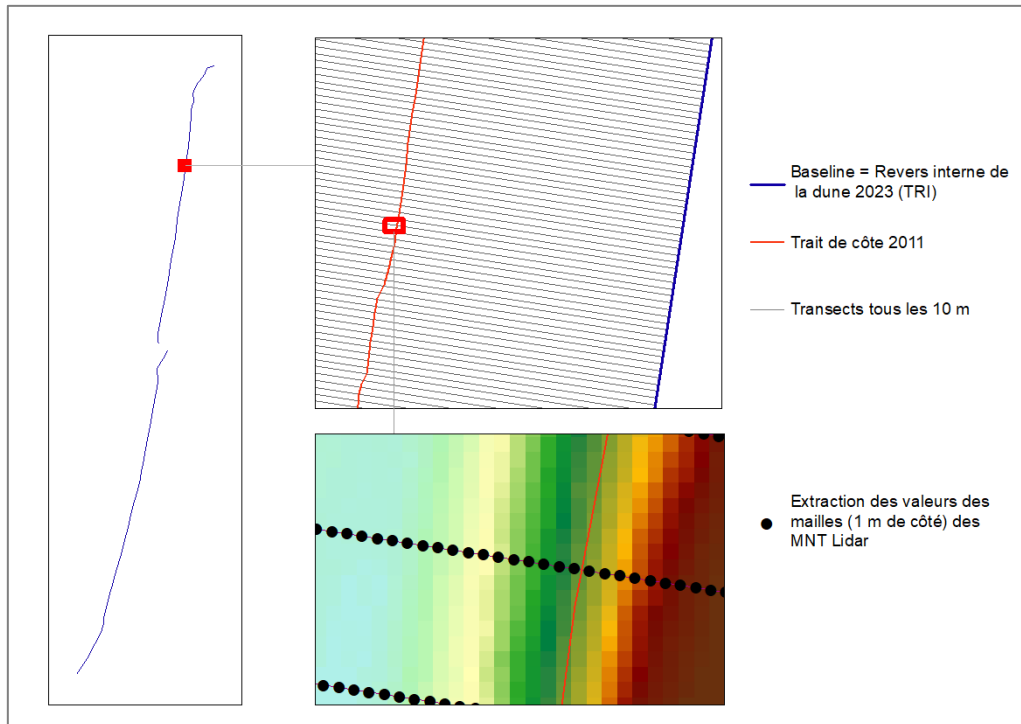


Illustration 3 - Carte de localisation et méthode d'extraction

Pour chaque transect, sont calculés ou localisés différents indicateurs pour chaque année permettant de constituer des séries temporelles d'évolutions. Les indicateurs calculés sont (voir Illustration 4) :

- ① la position de l'isocontour 6 m NGF, considérée ici comme le pied de dune ou le trait de côte (TDC) ;
Bien qu'il puisse y avoir une grande variabilité de la hauteur du pied de dune (entre 4 et 7 m NGF), le long de la côte et selon les périodes (post-érosion marine ou en présence d'avant-dunes), l'analyse statistique des valeurs topographiques relatives aux positionnements du trait de côte par photo-interprétation sur plusieurs années (Ayache et al., 2019) a montré que la valeur de 6 m NGF permettait de décrire les évolutions interannuelle de la position du trait de côte à l'échelle régionale et une quantification objective et inter-comparable spatialement et temporellement tout le long de la côte (Nicolae Lerma et al., 2022).
- ① la pente du front dunaire (β), côté mer, entre les isocontours 6 m NGF (TDC) et 12 m NGF ;
- ① la hauteur maximale de la dune ou hauteur de crête (C) exprimée en m NGF ;
- ① la position du revers interne (TRI), défini comme la rupture de pente entre la dune et l'arrière-pays, lors de la dernière année traitée (ici 2023) ;
- ① le volume de la dune (V_d), estimé entre la position du TDC 2011 et TRI 2023 ;
- ① le volume de la plage (V_p), estimé entre la position du niveau marin moyen et la position du TDC de l'année ;
- ① la mobilité brute (M_b), calculée telle comme la différence absolue cumulée (gain et perte) entre deux relevés topographiques au niveau du cordon dunaire (espace entre TDC 2011 et TRI 2023) ;
- ① la mobilité relative (M_r), tel que M_b/V_d 2023 ; cet indicateur permet d'évaluer le degré de mobilité de la dune relativement au volume sédimentaire qui la constitue et ainsi de comparer ces évolutions d'un profil ou d'un secteur à l'autre.

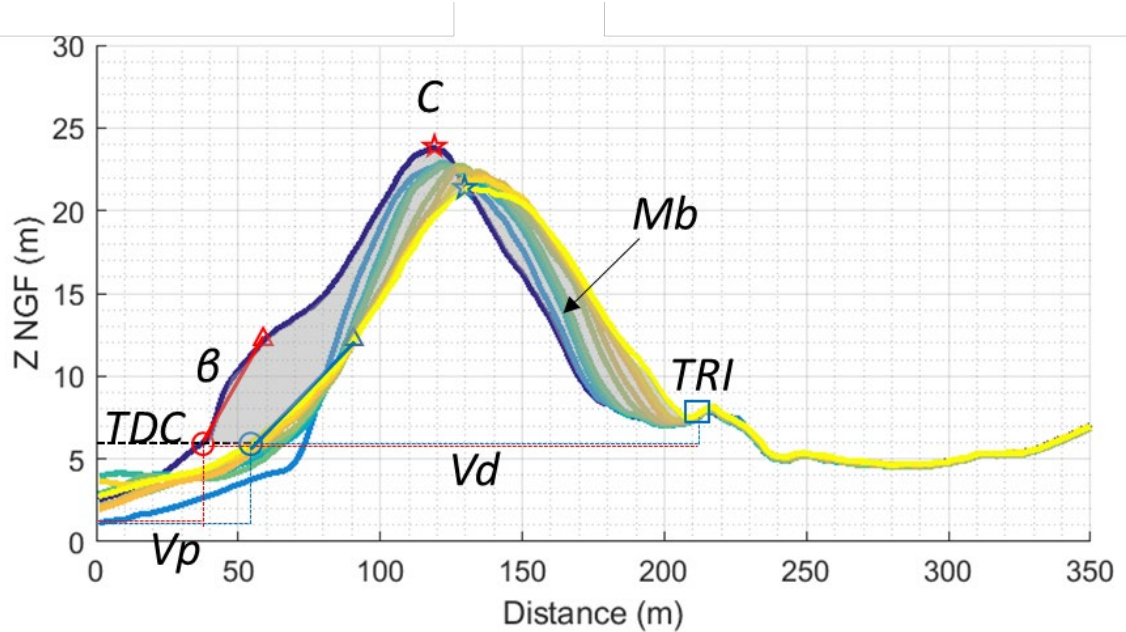


Illustration 4 - Indicateurs morphosédimentaires

L'analyse des données sera présentée (i) soit pour l'ensemble de la période, (ii) soit en illustrant les évolutions années après années ou (iii) soit autour de 3 séquences : 2011-2014 (S1), 2014-2018 (S2), 2018-2023 (S3), correspondant à des périodes où les évolutions sont relativement homogènes pour certains secteurs de la côte.

3.2. FORÇAGES METEO-MARINS

Les forçages météo-marins utilisés dans cette étude et mis en lien avec les évolutions morphologiques observées sont issus d'une part de la plateforme de modélisation MARC pour les paramètres de vagues (Robinet et Bernon, 2024), à la localisation de la bouée Cap Ferret, et d'autre part des observations au niveau du sémaphore du Cap Ferret pour les caractéristiques du vent (Nicolae Lerma et Rosebery, 2023).

On renverra le lecteur aux rapports Nicolae Lerma et Rosebery (2021) et Nicolae Lerma et Rosebery (2023), pour une description détaillée des conditions de vagues et de vents moyens ainsi que l'analyse de leurs caractéristiques saisonnières.

Dans cette étude, sont plus spécifiquement considérées deux variables de forçage, dérivées des conditions de vagues et de vents (Illustration 5).

On utilise, l'énergie des vagues notée P (m^2/s) et définie tel que :

$$P = H_s^2 * T_p$$

avec H_s la hauteur significative en mètres et T_p la période des vagues en secondes.

On calcule également le flux éolien potentiel, noté Q qui consiste en une évaluation du volume de sable potentiellement déplacé par unité de temps, pour des caractéristiques granulométriques types sur la côte aquitaine. Il s'exprime en $kg/m/s$.

Ainsi à partir des paramètres de vent, ici l'intensité du vent (u), dont la valeur est exploitée par une moyenne horaire exprimée en m/s et ramenée à une hauteur conventionnelle à 10 m du sol, on détermine le flux de sable potentiel. Les différentes étapes du calcul sont présentées dans le rapport Nicolae Lerma et Rosebery (2021).

A noter que pour les variables P et Q , les valeurs utilisées sont cumulées dans le temps pour les périodes hivernale (d'octobre à avril) et estivale (de mai à septembre) (Illustration 5).

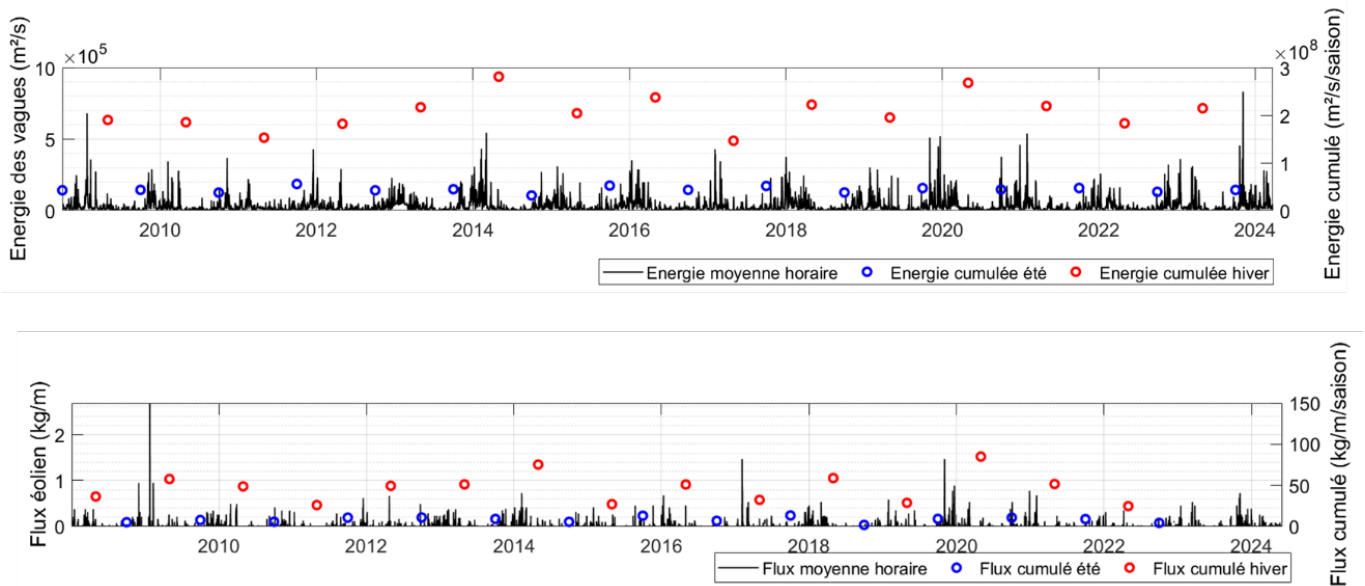


Illustration 5 - Série temporelle d'énergie des vagues (en haut) et de flux éoliens potentiels (en bas) au niveau du Cap Ferret, associée aux valeurs cumulées saisonnières, estivales (en bleu) et hivernales (en rouge)

La période étudiée, s'étendant sur 13 ans, a connu une grande variabilité des conditions de vague et de vent dont des hivers relativement calmes, comme les hivers 2011-2012, 2016-2017 ou 2022-2023. En revanche, la période comprend également l'hiver 2013-2014 qui a été le plus énergétique depuis 1948 pour la majeure partie de la côte atlantique de l'Europe (Masselink et al., 2016) et l'hiver 2019-2020 qui a été le deuxième plus actif en termes de flux éoliens potentiels depuis 1980 (Nicolae Lerma et Rosebery, 2021).

Ces données de forçages seront reprises dans la suite du rapport et mises au regard des évolutions morphologiques observées. Pour être consistant, lorsque ces mêmes variables sont comparées aux évolutions morpho-sédimentaires, elles sont intégrées dans le temps au cours de la période séparant deux dates d'acquisition de données LiDAR.

4. Résultats

Les résultats sont organisés d'abord avec la description de la morphologie générale du cordon dunaire, puis des grandes évolutions morphologiques observables autour des 3 séquences (2011-2014 (S1), 2014-2018 (S2), 2018-2023 (S3)) et enfin de la période complète 2011-2023. Les évolutions temporelles des différents indicateurs morphologiques et des volumes sédimentaires sont ensuite analysées pour l'ensemble de la période. Enfin, l'analyse de la mobilité dunaire est mise en relation avec les forçages météo-marins.

4.1. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE GENERALE DU CORDON DUNAIRE

L'illustration 6 présente la morphologie du cordon dunaire en 2023, le long de côte de Gironde et des Landes. Comme premier élément, on constate une différence nette entre les caractéristiques générales des dunes en Gironde et dans les Landes.

En Gironde, on observe un gradient nord-sud très marqué de la largeur du cordon dunaire qui passe d'une centaine de mètres (voire moins de 50 m entre Hourtin et Carcans ; marqueur c. et d., Illustration 6) à progressivement plus de 200 m et jusqu'à 350 à 400 m au sud, le long de la flèche du Cap Ferret. En opposition, on retrouve au nord les dunes les plus hautes (altitude de 25 à 30 m NGF), aux abords des marqueurs b. et c. (Illustration 6), puis des altitudes progressivement plus limitées (de l'ordre de 20 m NGF). A l'extrême sud, on retrouve toutefois des dunes présentant localement des altitudes supérieures à 25 m NGF.

Dans les Landes, mis à part au nord de Biscarrosse (marqueur f.), les dunes sont assez homogènes en largeur (autour de 200 - 250 m) pour des altitudes de 20 à 25 m NGF.

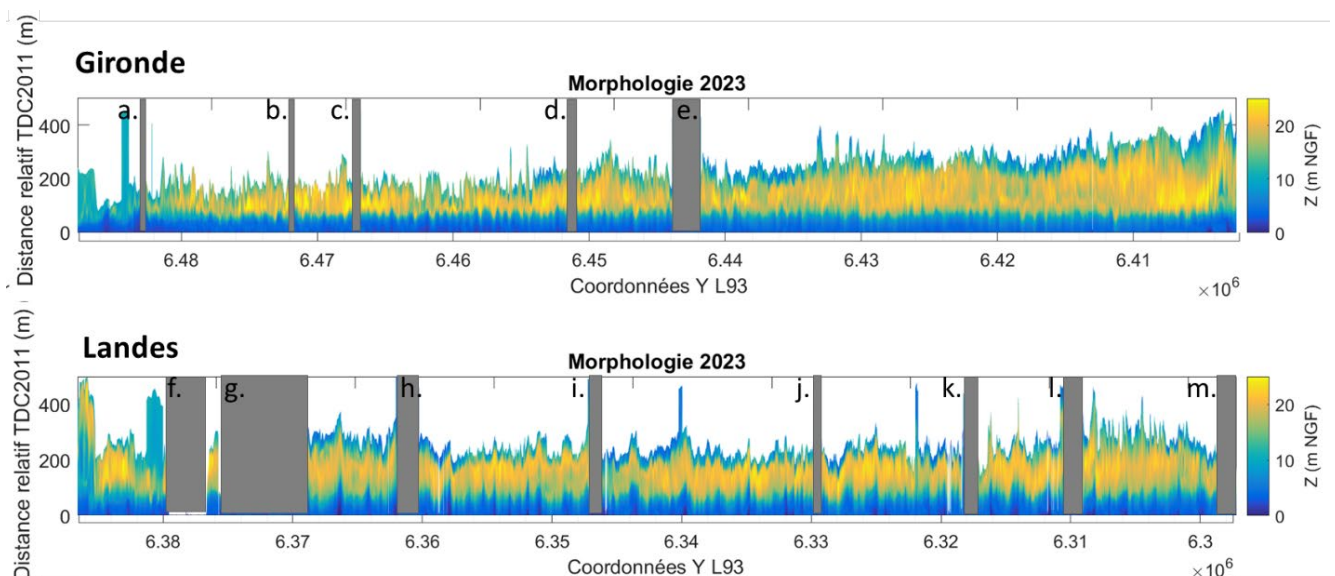


Illustration 6 - Caractéristiques morphologiques du cordon dunaire : en haut le long de la Gironde (de l'anse du Gурp au Cap Ferret), en bas le long de la côte des Landes (du Trençat à Capbreton) ; les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux Boucau, m. Hossegor

4.2. EVOLUTION GENERALE PENDANT LA PERIODE 2011-2023

4.2.1. Gironde

Le différentiel obtenu pour la première période S1 (2011-2014) permet de mettre en évidence l'érosion marine des fronts dunaires apparue à la suite à l'hiver 2013-2014. On observe, conformément aux travaux de Castelle et al. (2017) et Nicolae Lerma et al. (2019), une érosion marine considérable, atteignant localement plusieurs dizaines de mètres et dont la forme de type « coup de cuillère », ou « méga cusp », est très marquée (Illustration 7). On note, lors de cette séquence, que la mobilité sédimentaire sous l'effet des forçages éoliens est faible au niveau des plateaux dunaires et des revers de dunes avec des accumulations légères.

Durant la période S2 (2014-2018), on observe une accrétion considérable au niveau des hauts de plages montrant une capacité à combler en grande partie les concavités issues de l'érosion (forme de baie) observée lors de la période S1. Au total, l'accumulation de sable est de nature à compenser l'érosion précédemment observée pour la partie sud de la côte girondine (à partir du secteur de Lacanau, i.e. au sud du marqueur e.). Toutefois, à part quelques exceptions locales, les transferts de sables des hauts de plage vers les dunes (élévation des plateaux dunaires) restent faibles. On pourra se référer à l'étude Robin et al. (2021), pour une illustration de cette séquence à partir de levés géoradar, couplée aux données LiDAR, effectués au niveau de la dune du Truc Vert.

Lors de la période S3 (2018-2023), deux évolutions contrastées sont observées au niveau des hauts de plage. Au nord de Lacanau (marqueur e.), les plages connaissent des situations contrastées alternant spatialement entre érosion et accrétion, alors qu'au sud, les hauts de plage connaissent de manière uniforme une période d'accrétion.

Au niveau des dunes, on observe quatre situations différentes selon les secteurs. Au nord de Hourtin (marqueur c.), des transferts éoliens modérés sont observés associant des érosions des fronts dunaires et des crêtes à des accumulations en arrière de l'ordre du mètre. Pour le secteur Hourtin à Carcans (compris entre c. et d.), des évolutions nettement plus importantes, caractérisées par des érosions des crêtes de front de mer et des accumulations en arrière de plusieurs mètres de hauteur (> 5 m) sont observées. On peut souligner que ces évolutions semblent apparaître principalement dans l'axe des baies issues de l'érosion lors de la période S1. Pour les secteurs au sud de Carcans jusqu'au Porge (entre x = 6.45 et 6.435), le même type de comportement est constaté avec toutefois des érosions et des dépôts éoliens plus limités, sauf en quelques localisations au sud de la ville de Lacanau (comme autour de x = 6.44). Pour le secteur du Porge à la plage du Cimetière à Lège Cap Ferret (entre x = 6.435 à 6.41), on constate essentiellement de l'accumulation éolienne localisée au niveau de la partie avant du cordon dunaire et globalement une accrétion continue depuis 2014. Enfin, de la plage du cimetière (x = 6.41) à la pointe de la flèche du Cap Ferret, on observe une forte érosion des fronts dunaires avec la localisation des plus fortes figures d'érosion marine depuis la période S1. Ces érosions sont associées à des transferts de sable sous l'effet du vent s'accumulant sur le plateau des dunes.

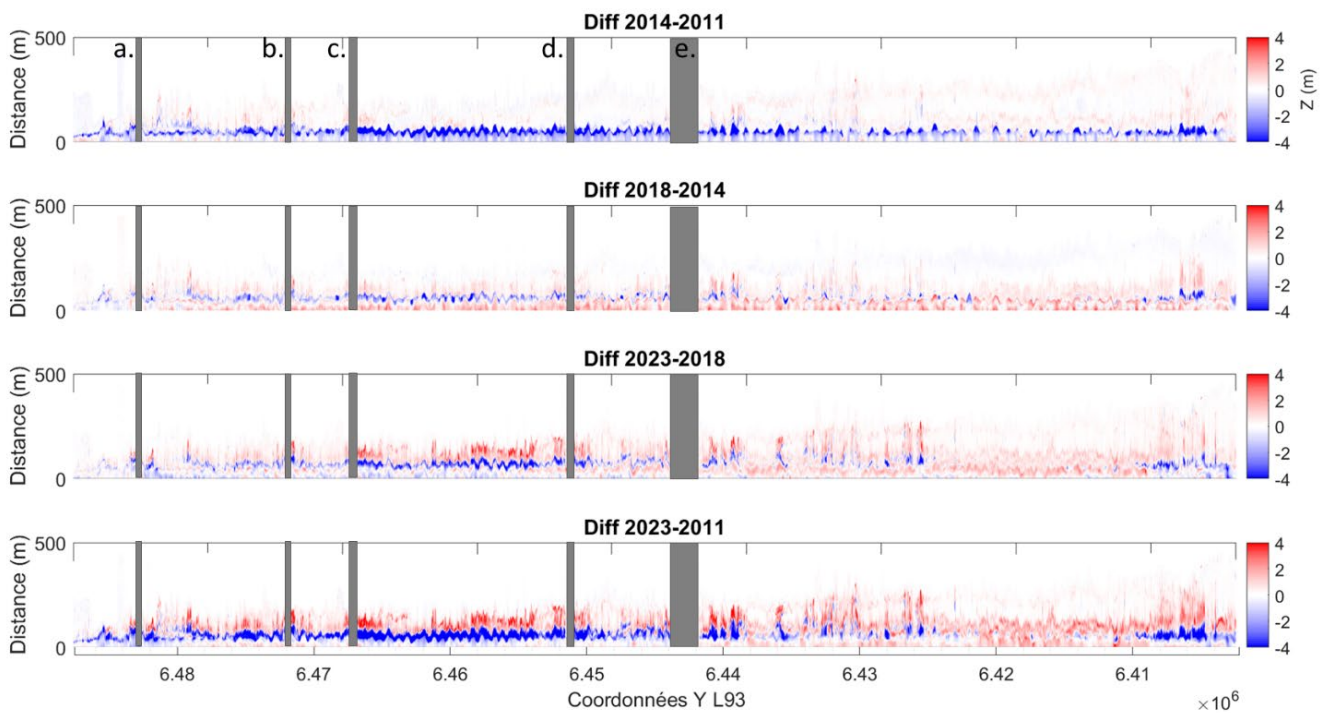


Illustration 7 - Différentiels topographiques le long de la côte girondine ; les zones grisées indiquent les zones urbaines pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau

Globalement, l'ensemble de la côte a connu de très importantes évolutions morphologiques du fait de transferts de sable massif entre les plages, les parties avant des cordons dunaires et les plateaux ou l'arrière-dune. Ces évolutions sont cependant hétérogènes avec des secteurs où elles sont particulièrement prononcées : entre Hourtin et Carcans, au sud direct de Lacanau ou au niveau de la pointe du Cap Ferret. Dans ces secteurs, après une phase rapide de récupération post-hiver 2013-2014, on observe principalement de l'accumulation de sédiments au niveau des dunes.

4.2.2. Landes

Comme pour le paragraphe précédent, l'illustration 8 présente les différentiels topographiques pour le littoral des Landes, lors de différentes séquences. Le différentiel obtenu pour la première période S1 permet de mettre en évidence l'érosion marine des fronts dunaires apparue à la suite à l'hiver 2013-2014. De manière comparable à ce qui est observé en Gironde, la mobilité associée à la dynamique éolienne lors de cette période est relativement limitée, mise à part dans des secteurs de dunes non végétalisées au nord de Biscarrosse ou localement au sud de la côte (ponctuellement entre le courant d'Huchet et Hossegor). Par contre, à la différence de ce qui est observé le long de la côte girondine, les figures d'érosion sont à la fois plus limitées et moins régulières. On observe toutefois, en de nombreux endroits, des formes de « coup de cuillère » très prononcées, de plusieurs mètres à dizaine de mètres de profondeur. Lors de cette période, les dunes sont relativement stables et généralement assez marquées par une accumulation en arrière de dune. Localement, au nord de Biscarrosse (marqueur f.) et au nord de Vieux-Boucau (marqueur l.), on peut observer que les dunes connaissent des mouvements sédimentaires importants. On souligne ici que ces dynamiques locales d'évolution sont antérieures à l'hiver 2013-2014 et n'ont pas été initiées lors de la période S1.

La période S2 est marquée par une accumulation généralisée de sédiments au niveau des hauts de plage et une grande stabilité des dunes, comme cela a pu être observé en Gironde. Seules les dunes des secteurs

à l'extrême nord (au nord de Biscarrosse, marqueur f.) et plus modestement au nord du marqueur l. (Vieux-Boucau) connaissent des évolutions significatives (migration) sous l'effet des forçages éoliens. Pour cette dernière localisation, de nombreux travaux ont eu lieu à partir de 2017 consistant à remodeler et stabiliser la dune.

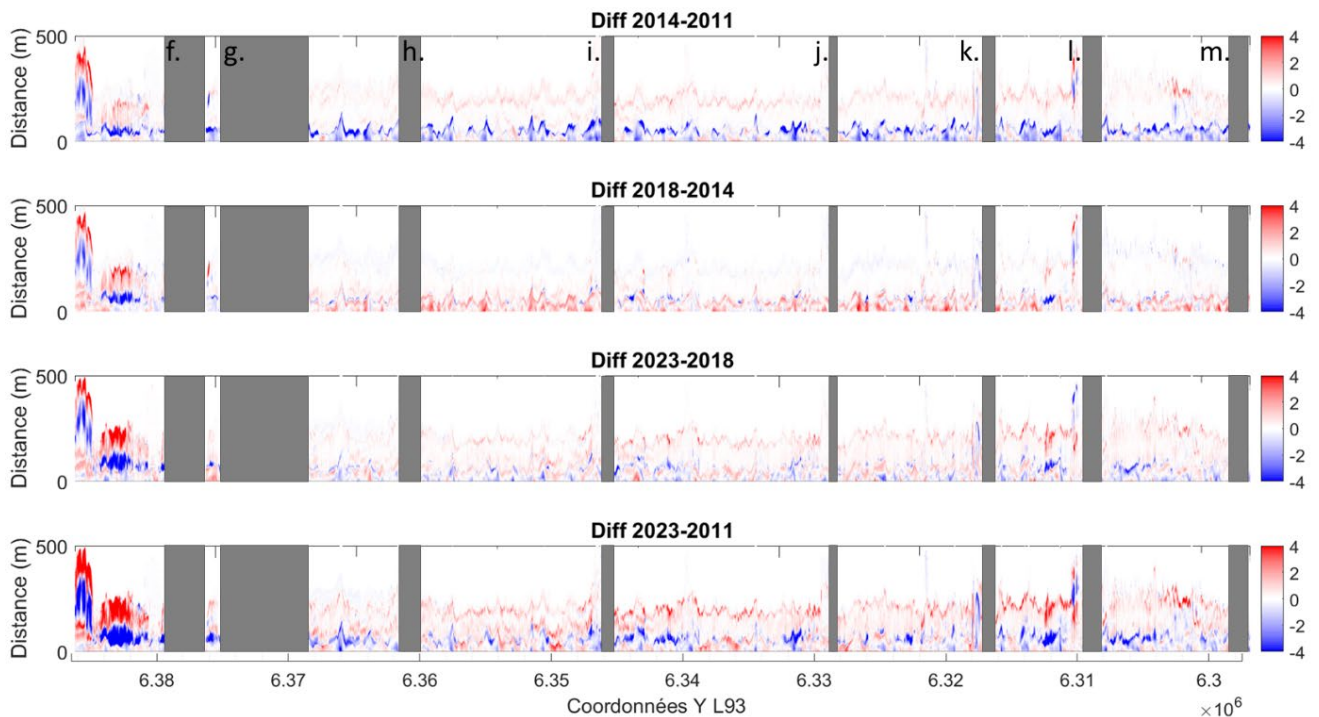


Illustration 8 - Différentiels topographiques le long de la côte landaise ; les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau et m. Hossegor

Lors de la période S3 et en contraste avec la côte girondine, on observe peu d'évolutions massives, hormis le secteur à l'extrême nord. On voit alterner des secteurs d'accumulation avec des secteurs en érosion sans qu'une organisation spatiale nette soit observable à l'échelle régionale. On note toutefois que le secteur entre l'embouchure du courant d'Huchet et Vieux-Boucau (entre les marqueurs k. et l.) est le secteur qui connaît le plus d'évolutions. Celles-ci avaient déjà été initiées lors de la période S2 et consistent en une érosion des fronts dunaires sous l'effet du vent et un dépôt au niveau du revers du cordon (Nicolae Lerma et Rosebery, 2023). Au l'endroit de la ville de Vieux-Boucau, les évolutions observées sont très largement associées à des actions de travaux dunaires consistant en un remodelage de la dune au nord de la station.

Globalement, l'ensemble de la côte des Landes connaît assez peu d'évolutions majeures et contrairement aux trajectoires d'évolution observées sur la côte girondine, les évolutions observées sont moins directement associées aux effets de l'hiver 2013-2014. Les évolutions, lorsqu'elles sont importantes, sont soit issues d'une dynamique d'évolutions dunaires antérieures à la séquence S1 (comme à l'extrémité nord), soit relativement localisées comme entre $x = 6.32$ et 6.31 ou entre $x = 6.35$ et 6.34 .

4.3. EVOLUTION DES INDICATEURS MORPHOLOGIQUES

4.3.1. Position du trait de côte

La position du trait de côte (défini ici comme la cote altimétrique +6 m NGF) est un indicateur qui illustre l'évolution de l'interface plage-dune. L'illustration 9 présente les évolutions de la position du trait de côte le long des littoraux de Gironde et des Landes. Cette position, pour chaque année, est présentée en référence à la position du trait de côte en 2011. On voit, comme premier point, un recul quasi généralisé de la position, suite à l'hiver 2013-2014. En Gironde, le recul assez homogène tout le long du littoral atteint une valeur moyenne de -10,2 m. Dans les Landes, la variabilité spatiale est beaucoup plus importante et la valeur moyenne de recul est légèrement inférieure avec -8 m.

Après 2014, la valeur moyenne d'évolution de la position du trait de côte en Gironde est de + 6,3 m, soit + 0,7 m/an (période 2014-2023). On observe un très net gradient nord-sud, déjà évoqué dans le paragraphe précédent, au sujet de la dimension des dunes et de l'effet de l'hiver 2013-2014. Il se caractérise par une situation stable au nord de la côte (au nord de Carcans) sans de nets nouveaux reculs du trait de côte, ni de nettes avancées entre 2014 et 2023. Il convient de rappeler ici que l'analyse ne couvre pas le secteur du Nord Médoc, où le cordon dunaire est localement totalement érodé, du fait de reculs chroniques du trait de côte de plusieurs mètres par an, depuis plusieurs décennies. Au sud de Carcans, à la plage du cimetière sur la pointe du Cap Ferret (entre $x = 6.41$ et 6.45), l'avancée progressive du trait de côte est de plus en plus importante vers le sud et l'avancée maximale atteint jusqu'à + 20 m soit + 2,2 m/an. La position est ainsi avancée de plus de 10 m par rapport à 2011. Au niveau du Cap Ferret, au sud de la plage du cimetière ($x = 6.41$), les évolutions, du fait des interactions avec la dynamique des passes du bassin d'Arcachon et leurs influences sur le fonctionnement hydro-sédimentaire des plages dans ce secteur, entraînent un comportement original par rapport au reste de la côte. On y observe des phases d'avancée et de recul de la position du trait de côte et, en bilan, un recul entre 15 et 20 m depuis 2011.

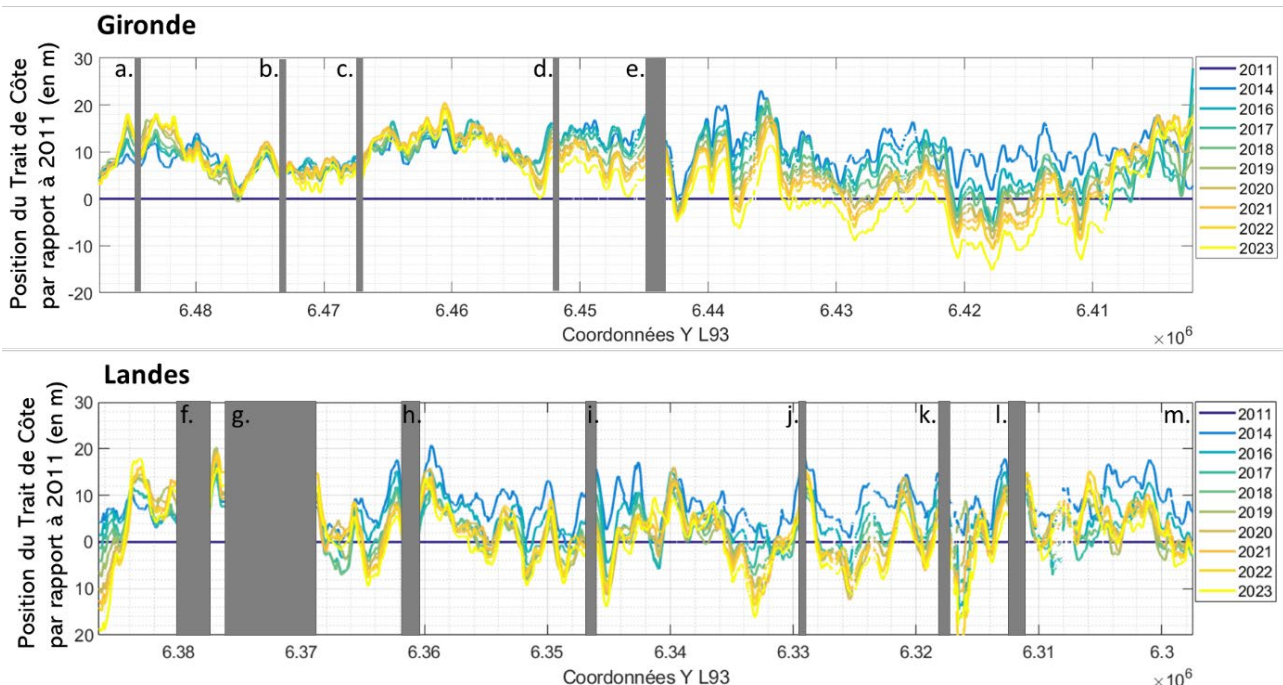


Illustration 9 - Evolution de la position du trait de côte le long des côtes de Gironde et des Landes, au cours de la période 2011-2023 : une valeur positive par rapport à 2011 doit être interprétée comme un recul et une valeur négative comme une avancée

Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor

Le long du littoral landais, les situations sont assez hétérogènes spatialement. La période 2014-2023 est aussi caractérisée par des évolutions contrastées localement, avec des alternances d'avancée ou de recul plus importantes au nord et au sud des secteurs urbanisés et aux embouchures des courants landais. Au global, la position du trait de côte (isocontour 6 m NGF) a progressé de + 7,2 m en moyenne soit + 0,8 m/an. Dans plusieurs secteurs, la position de cet indicateur en 2023 est plus avancée de 10 à 20 m par rapport à 2011. En revanche, dans certains secteurs et plutôt au niveau des secteurs urbanisés, la position peut être en retrait de 5 à 10 m par rapport à la situation de 2011.

4.3.2. Pentes des fronts de dune

La pente de front de dune, coté marin, calculée ici entre les isocontours +6 m NGF (TDC) et +12 m NGF, est un indicateur de l'état de la face marine du cordon dunaire. Des valeurs de pente forte (entre 40 et 60°) correspondent à des situations de falaise dunaire dues à des érosions marines. A l'inverse, des dunes, dont les pentes de front dunaire sont douces, caractérisent des systèmes en accrétion, temporaire (plusieurs années) ou durable (échelle décennale). Les pentes douces correspondent également à des dunes où la dynamique éolienne est potentiellement forte et où les transferts de sédiments des hauts de plage vers les dunes (plateau ou arrière-dune) sont facilités.

Les dynamiques observées le long des côtes de Gironde et des Landes (Illustration 10) sont en lien avec celles observées pour l'indicateur du trait de côte. En effet, la stabilité ou l'avancée progressive de la position du trait de côte a permis, le long de la côte girondine, un adoucissement généralisé des pentes de front dunaire du fait de nouvelles accumulations en pied de dune et/ou d'érosion des crêtes de front de mer par érosion éolienne. Ainsi pour la période 2014 -2023, les pentes de front de dunes passent de valeurs de 45% à 26% en moyenne. Au nord de la côte, en 2014, les pentes étaient de 50 à 60% ; elles passent à des valeurs de 40 à 30% en 2023. On notera que dans le secteur nord, les pentes étaient déjà très fortes en 2011, ce qui montre que l'érosion marine affectait déjà les dunes avant l'hiver 2013-2014. Pour la partie sud de la côte girondine, bénéficiant de situation encore plus favorable, les pentes y sont encore plus douces en 2023, atteignant 20 à 30%, qui sont des valeurs équivalentes à des systèmes stables ou même en accrétion.

Sur le littoral landais, du fait d'érosion moins marquée en 2013-2014 et donc de falaise dunaire moins généralisée et d'une avancée rapide et quasi généralisée du trait de côte, les pentes passent de valeur de 42% en 2014 à 24% en 2023 en moyenne, et des valeurs de 27% en moyenne dès 2017. Elles sont ensuite stables pendant la période suivante, hors évolutions locales (ex. au niveau de x = 6.305).

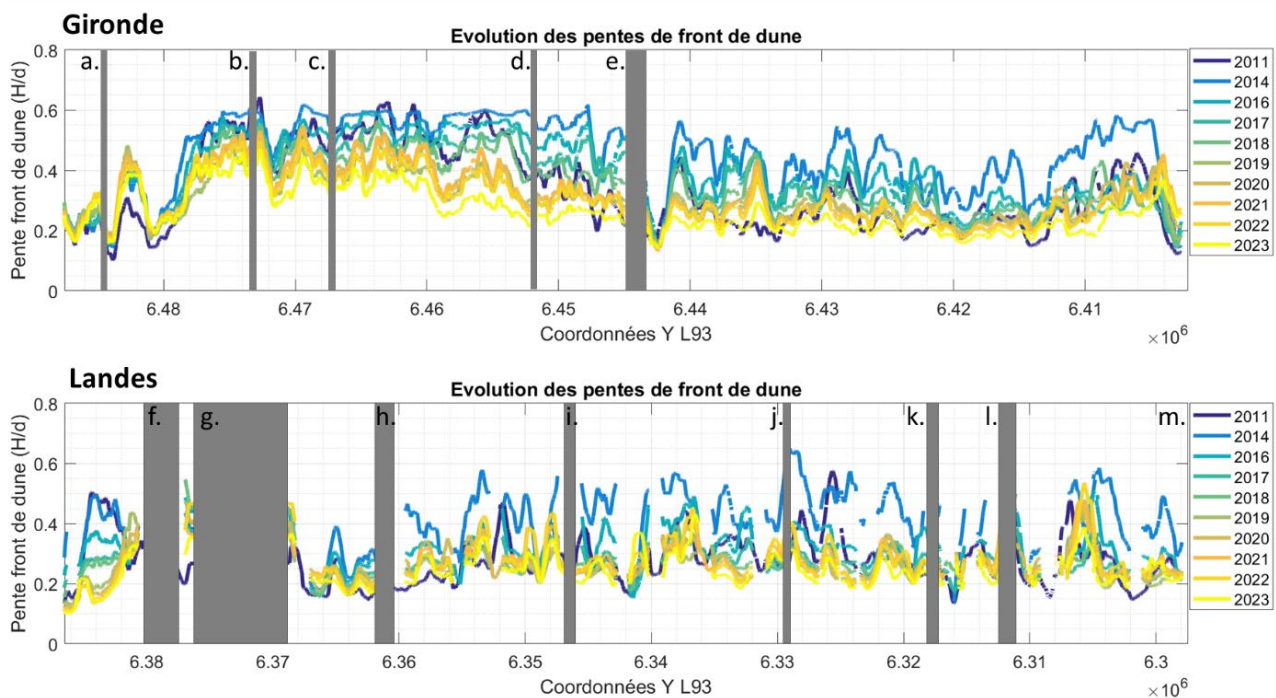


Illustration 10 - Evolution des pentes de dunes le long des côtes de Gironde et des Landes au cours de la période 2011-2023 (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)

Cette configuration de pente douce généralisée le long de la côte joue un rôle fondamental sur la dynamique sédimentaire. En effet, les pentes douces sont une des conditions nécessaires au transfert du sable sous l'effet des forçages éoliens et permettent des échanges depuis les hauts de plages et les hauts de dune voire les revers.

4.3.3. Crêtes de dunes

L'évolution de la hauteur de la crête est un indicateur souvent utilisé pour identifier une éventuelle dynamique d'accumulation sédimentaire en haut de dune. L'indicateur illustre également des évolutions morphologiques qui peuvent être notables par exemple lorsque les dunes sont de relativement faibles largeurs. L'illustration 11 présente l'évolution de cet indicateur.

Pour la côte girondine, l'élévation des crêtes est notable et généralisée avec un gain de hauteur de 0,8 m en moyenne (de 20,3 à 21,1 m) entre 2014 et 2023 ; cette élévation peut atteindre localement plus de 2 m dans la partie nord de la côte.

Pour la côte landaise, l'élévation est nettement moins importante (0,2 m en moyenne) et à part le secteur à l'extrême nord (+ 2 à 3 m), les hauteurs de crête de dune sont particulièrement stables (+ 0,2 m en moyenne) et témoignent ainsi des transferts limités sur les parties hautes des dunes.

De manière générale, cette élévation des crêtes illustre un plus grand dynamisme au sein du littoral girondin par rapport au littoral landais. Cette dynamique d'accumulation de sédiments en crête est à relier à des transferts sédimentaires accrus en Gironde, mais aussi à la présence de la végétation dunaire qui permet l'accumulation du sable sur les parties hautes du cordon.

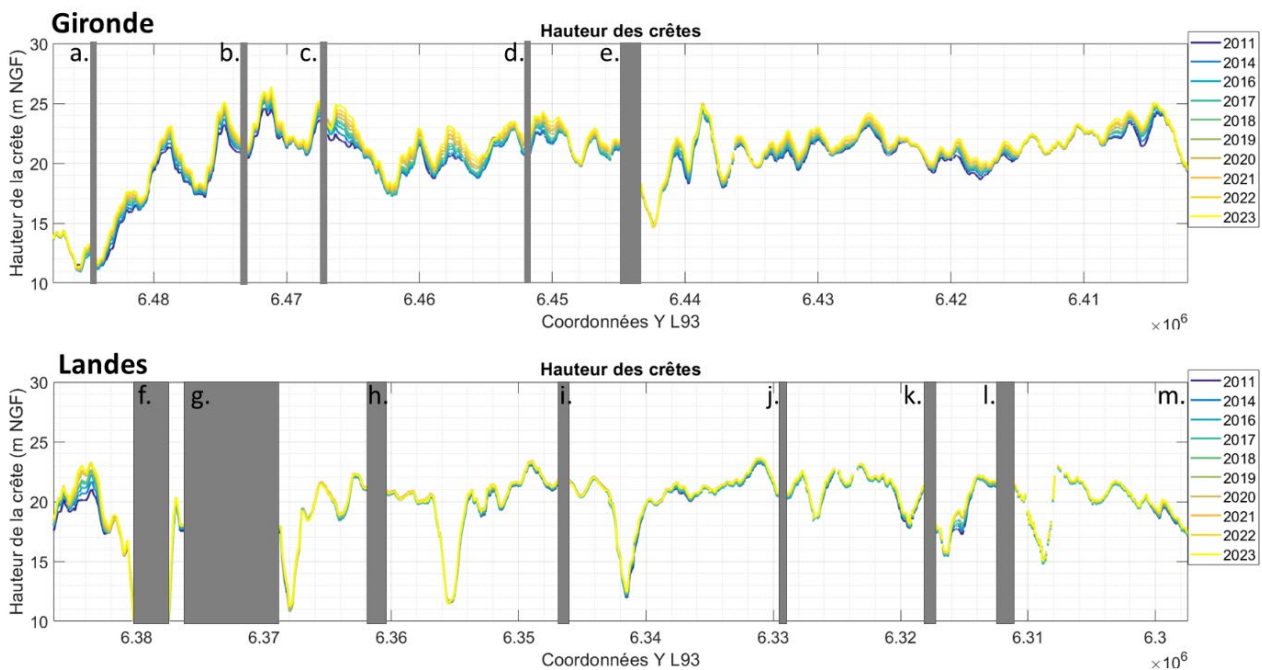


Illustration 11 - Evolution de la hauteur des crêtes le long des côtes de Gironde et des Landes, au cours de la période 2011-2023 (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor

4.4. EVOLUTION DES VOLUMES SEDIMENTAIRES

4.4.1. Volume de plage

La variabilité des volumes de sable, estimés entre la position du niveau marin moyen et la cote +6 m NGF de l'année n , constituant les plages, peut être très importante à l'ensemble des échelles spatiales et temporelles. En effet, à l'échelle d'une tempête, de la saison ou de plusieurs années, on observe communément des différences importantes sur les volumes de plage. En ex-Aquitaine, du fait du grand dynamisme des systèmes de barres-bâines, il est commun d'observer également une grande variabilité spatiale à des échelles de quelques centaines de mètre. L'illustration 12 montre ces grandes variabilités spatiales et temporelles autant le long de la plage que d'une année à l'autre. On peut observer toutefois des tendances fortes, certaines années, permettant d'identifier les années où les plages sont de manière générale plus chargées en sédiments au moment des acquisitions (2016, 2022) et les années où les plages présentent des volumes généralement inférieurs (2018, 2019, 2023).

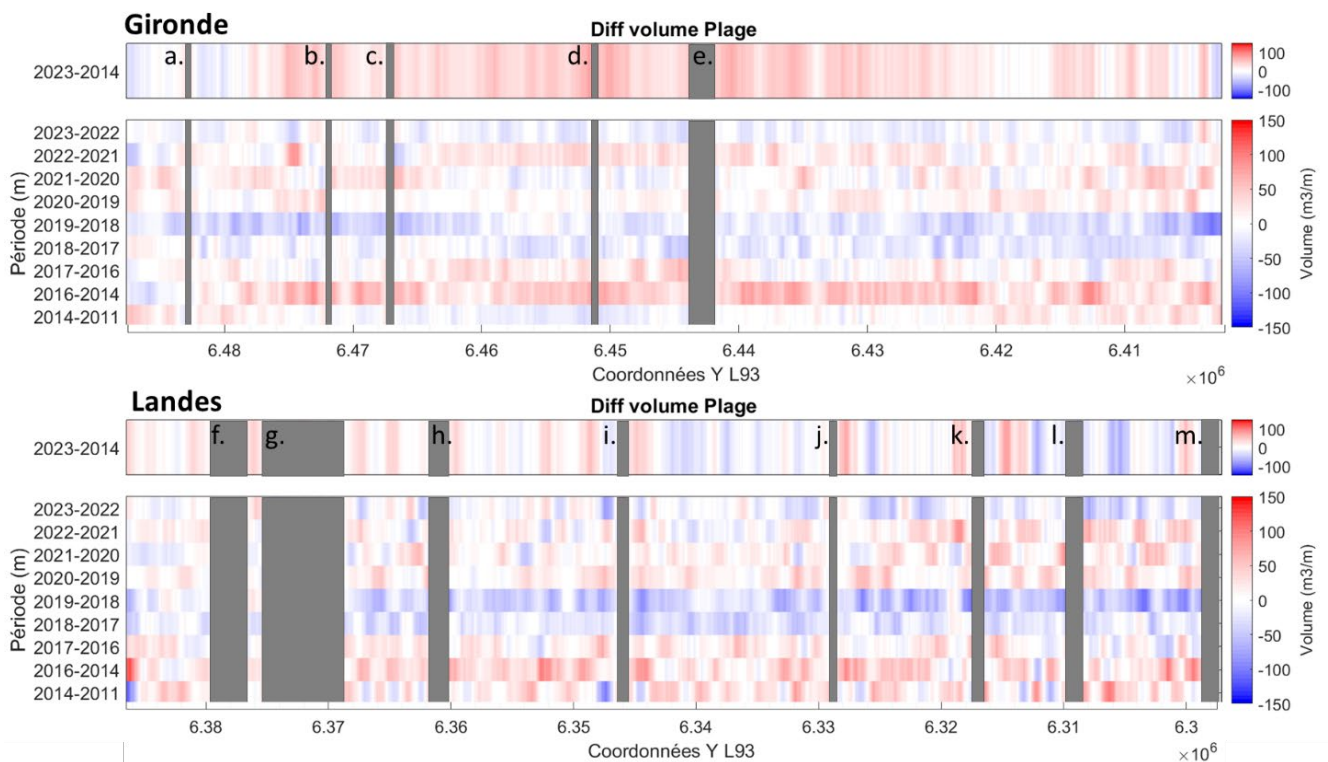


Illustration 12 - Différence de volume sédimentaire au niveau des plages (V_p), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)

Pour la côte girondine, on peut constater, entre 2014 et 2016, juste à la suite de l'hiver 2013-2014, une très forte accumulation au niveau des plages en moyenne ($40 \text{ m}^3/\text{m}$). Certains hivers présentent à l'inverse une signature globale d'érosion (2017-2018 ou 2018-2019, avec respectivement des bilans négatifs de $-16 \text{ m}^3/\text{m}$ et $-29 \text{ m}^3/\text{m}$). Au cours de la période 2014-2023, la tendance globale, mis à part pour l'extrême nord de la côte, est à une accretion significative. En moyenne, pour l'ensemble de la côte, l'accumulation en haut de plage est de $27,3 \text{ m}^3/\text{m}$.

Pour la côte landaise, la variabilité spatiale est encore plus prononcée et les plages présentent souvent une alternance de bilans positifs ou négatifs à l'échelle interannuelle. On observe globalement les mêmes tendances, selon les années, que pour la côte girondine. En contraste, le bilan à l'échelle de la période 2014-2023 (période post-érosion marine) est toutefois nettement moins uniformément positif : les plages alternent entre secteurs plus ou moins chargés en sédiments. Au global, le bilan pour la période est de $+2,1 \text{ m}^3/\text{m}$ en moyenne, avec une grande variabilité pouvant atteindre $+ \text{ ou } -70 \text{ m}^3/\text{m}$.

4.4.2. Volume des dunes

Contrairement aux plages qui subissent une grande variabilité temporelle, les dunes sont des éléments du système littoral plus stables dans le temps. Hors événements d'érosion marine susceptibles d'affecter massivement et durablement les dunes, ces formes d'accumulation ont donc plutôt tendance à évoluer lentement et stocker le sable issu de transfert éolien depuis la plage. Cette capacité de stockage dépend en grande partie de la disponibilité sédimentaire au sein des plages, mais également de l'intensité des forçages, de l'état morphologique de l'interface plage-dune (pente) ou encore du dynamisme de la végétation qui agit selon les situations comme un piège à sable ou comme un frein à sa mobilisation.

L'illustration 13 montre cette capacité de stockage progressif succédant à la très forte érosion du front des dunes et des plages, enregistrée lors de l'hiver 2013-2014. On observe en particulier sur la côte girondine une accumulation importante pendant la période 2014-2023, avec en moyenne +14,2 m³/m. On distingue cependant la partie nord, stable ou en légère accrétion, et une partie sud, en plus forte accumulation avec un gradient nord-sud fortement marqué. On note également que les périodes 2019-2020 et 2022-2023 montrent un gain de volume généralisé, graduellement plus marqué vers le sud du littoral girondin.

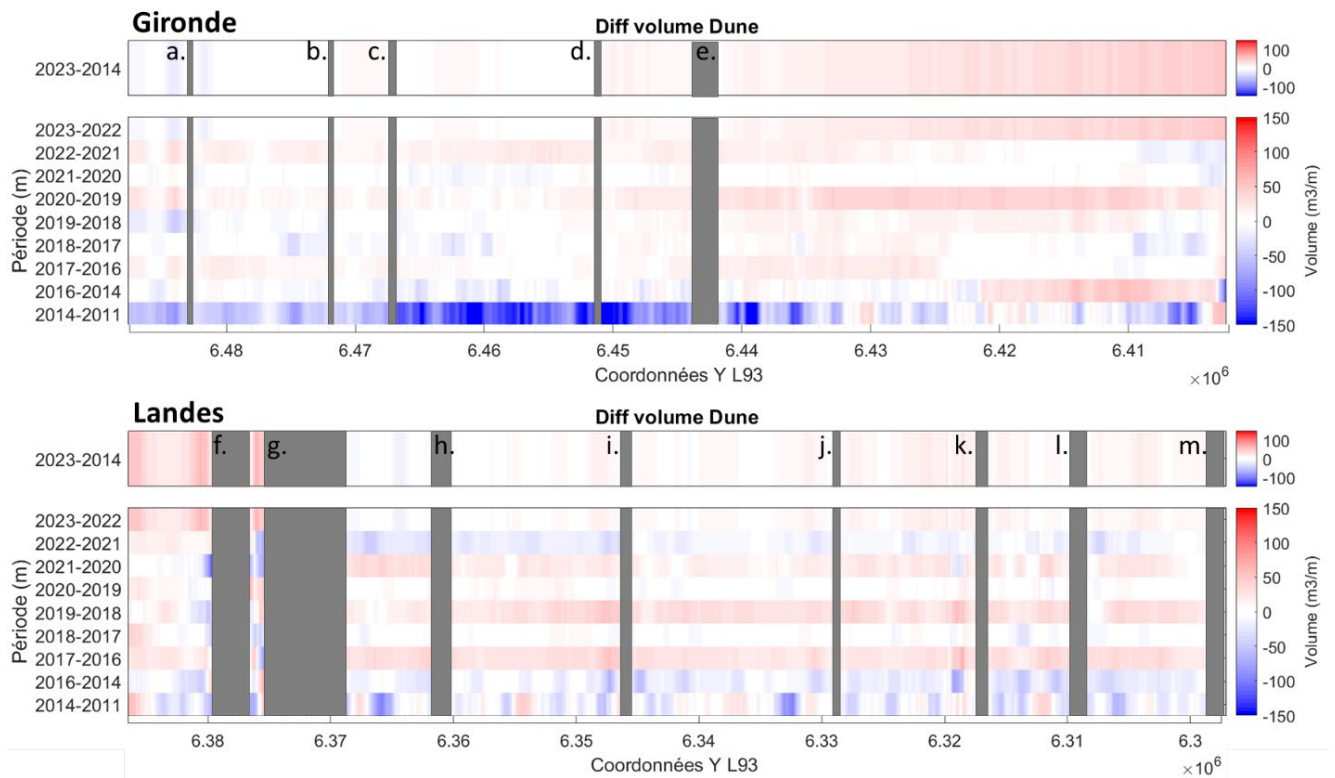


Illustration 13 - Différence de volume sédimentaire au niveau des dunes (V_d), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux Boucau, m. Hossegor)

La côte landaise présente un bilan légèrement positif (+7,9 m³/m en moyenne) mise à part à l'extrême nord où l'accumulation est massive de (20 à 50 m³/m). A partir du sud du marqueur g. (le CEL), on voit apparaître un léger gradient nord-sud, indiquant des accumulations au niveau des dunes, progressivement plus importantes vers le sud. A l'échelle interannuelle, on note sur la côte landaise que, contrairement à la côte girondine, les périodes 2014-2016 et l'hiver 2021-2022 ont plutôt été marqués par de nouvelles érosions dunaires.

En synthèse, l'évolution des volumes sédimentaires du cordon dunaire pour la côte girondine suit nettement 3 séquences évoquées précédemment (cf. § 4.2) avec :

- 1/ une perte de volume liée à l'érosion marine entre 2011-2014,
- 2/ une relative stabilité entre 2014-2018,
- 3/ une forte accumulation entre 2018-2023, avec un bénéfice maximal dans la partie sud de la Gironde.

Ces séquences sont moins nettes pour la côte landaise où d'une part, la perte de volume pendant la période 2011-2014 est nettement inférieure, d'autre part la période 2014-2018 est aussi bien marquée par de nouvelles érosions dunaires (2014-2016) que par des accumulations importantes (2016-2017) ; enfin, la période 2018-2023 présente, comme la côte girondine, de fortes accumulations mais aussi de nouvelles pertes de volumes (hiver 2021-2022). *In fine*, les évolutions du cordon dunaire landais sont plus variables à l'échelle interannuelle que celle de la côte girondine. On retrouve toutefois pour le bilan 2014-2023, une tendance globale à l'accumulation de sable au sein du cordon dunaire.

4.4.3. Bilan des volumes plages-dunes

L'illustration 14 montre, à l'échelle de l'ensemble du système plage-dune en Gironde, que le bilan sédimentaire est relativement équilibré entre 2011-2023 (+600 000 m³), ou en d'autres termes que l'érosion de l'hiver 2013-2014, de l'ordre de -7,5 millions de m³, a été compensée par un retour du sable en haut de plage et un transfert éolien au niveau des dunes de +8 millions m³. Sur la côte landaise, du fait d'érosions moins importantes durant la période 2011-2014 (-2,7 millions de m³) et bien que l'accrétion observée soit inférieure pendant la période 2014-2023 (+6 millions de m³), le bilan sédimentaire est largement excédentaire avec +3,4 millions de m³. Pour rappel, ce bilan sédimentaire ne prend pas en compte la partie nord de la Gironde (Nord Médoc), où le cordon dunaire est très largement érodé et où l'érosion marine est continue.

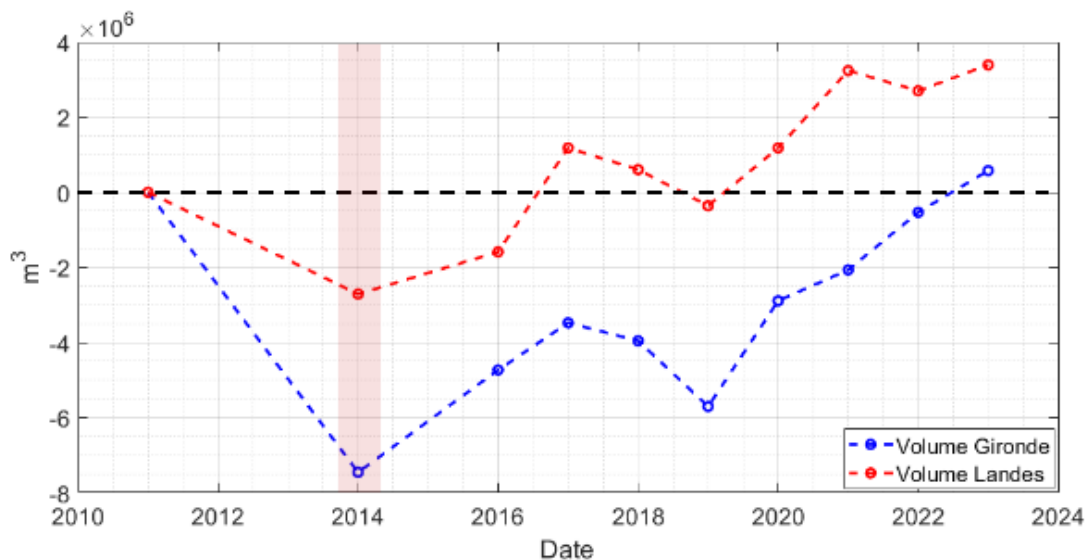


Illustration 14 - Evolution des bilans sédimentaires au niveau des systèmes plage-dune, au cours de la période 2011-2023, en référence à la situation de 2011

On peut ainsi considérer, en termes de volume sédimentaire et à l'échelle régionale, que la bande littorale a connu une forte résilience depuis 2014 et que 9 ans après les érosions massives des fronts dunaires lors de l'hiver 2013-2014, les stocks sédimentaires ont été reconstruits. Comme mise en perspective, l'hiver 2023-2024 a été l'un des plus énergétiques depuis 2013-2014 et les érosions dunaires rapportées ont été très importantes (cf. Robinet et Bernon, 2024). De futures études devront replacer les impacts de cet hiver dans la séquence d'évolution de la dernière décennie, aussi bien sur la côte girondine que landaise.

4.5. MOBILITE DU CORDON DUNAIRE

4.5.1. Indicateur de mobilité

Après avoir décrit l'évolution de plusieurs indicateurs morphologiques et des volumes sédimentaires au niveau des plages et des dunes, nous proposons ici d'évaluer le degré de mobilité du cordon dunaire. La mobilité relative, définie dans la partie "méthode", permet d'évaluer le pourcentage de mobilité de la dune relativement au volume sédimentaire qui la constitue et de comparer ces évolutions d'un profil à l'autre ou d'un secteur à l'autre.

On constate au regard de l'illustration 15, à l'instar des paramètres précédemment décrits, que les grandes tendances en Gironde et dans les Landes ont des évolutions et caractéristiques assez différentes.

En Gironde, l'indicateur de mobilité montre que, de manière quasi généralisée pour la partie nord de la côte, la mobilité relative est forte. Compte tenu du fait que la disponibilité sédimentaire dans ce secteur est faible voire nulle (Illustration 13), la mobilité se fait par remobilisation des sédiments en place. Ainsi, une grande partie des sédiments constitutifs du cordon dunaire ont été remobilisés (de 20 à plus de 30%). C'est notamment le cas pour le site de Carcans (profil A sur Illustration 16) dont les évolutions avaient été étudiées dans le rapport Nicolae Lerma et Rosebery (2023). La mobilité est également importante au sud direct du marqueur e. (Lacanau), plus de 20%, mais dans ce cas, dans un contexte d'apports sédimentaires notables (profil B sur Illustration 16). Enfin, on peut observer, pour le secteur sud de la Gironde, que bien que les apports sédimentaires aient été importants, la mobilité est globalement faible (profil C sur Illustration 16).

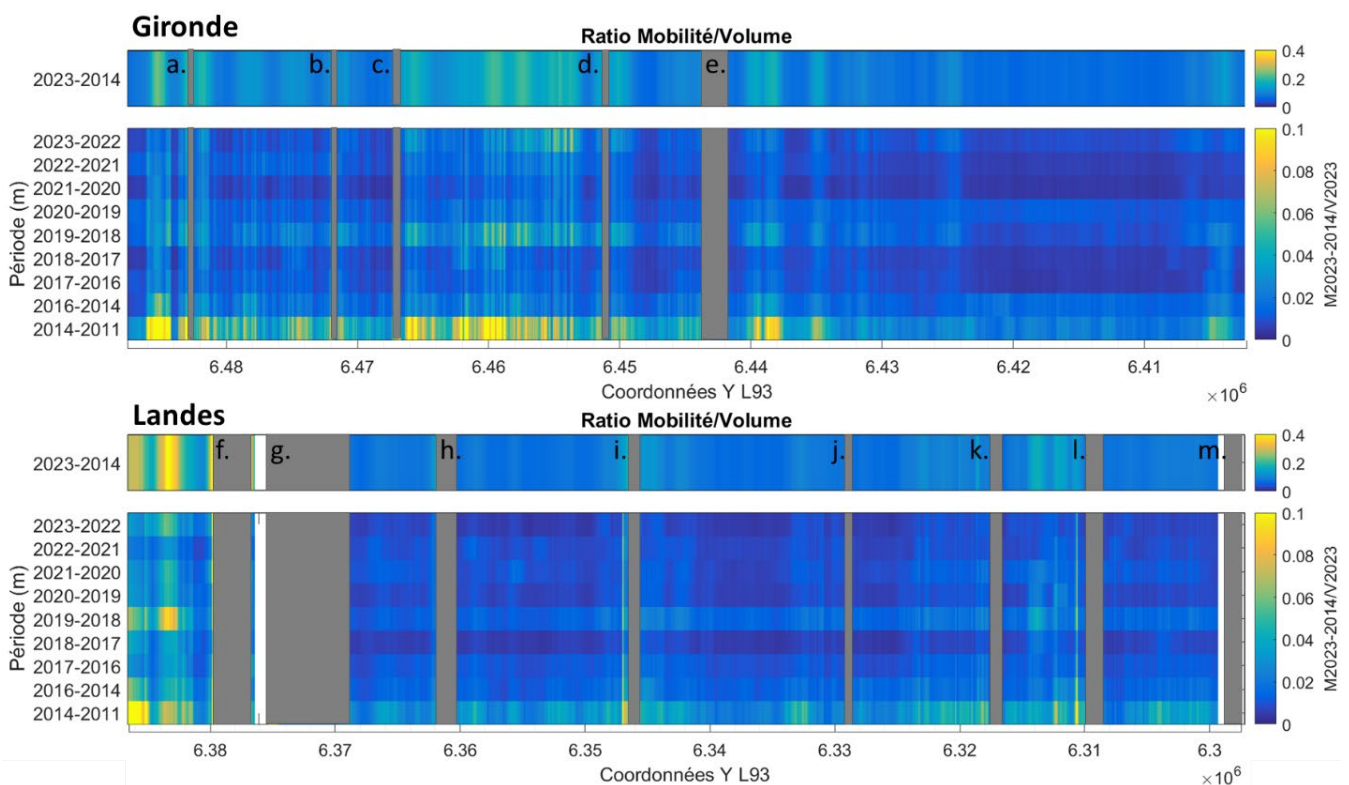


Illustration 15 - Mobilité relative (M/Vd 2023), années après années, et pour la période 2014-2023, pour la côte girondine (en haut) et la côte landaise (en bas) (Les zones grisées indiquent les zones urbaines ou l'absence de données pour a. Montalivet, b. Pin Sec, c. Hourtin, d. Carcans, e. Lacanau, f. Biscarrosse, g. CEL, h. Mimizan, i. Contis, j. Saint-Girons, k. courant d'Huchet, l. Vieux-Boucau, m. Hossegor)

Le long de la côte landaise, l'indicateur montre des mobilités significatives (plus de 10 %) beaucoup plus localisées. Dans la partie nord de la côte, au nord de Biscarrosse (nord du marqueur f.), la mobilité est considérable (profil D sur Illustration 16). Le secteur faisant partie des sites de remobilisation contrôlée, étudiés dans le rapport Nicolae Lerma et Rosebery (2023), a connu des changements morphologiques considérables au cours des 10 dernières années, associées pour les secteurs en plus grande mobilité à des apports sédimentaires notables. Pour l'ensemble de la partie centrale des Landes, la mobilité est relativement faible (profil E sur Illustration 16). Dans la partie sud, dans le secteur de Messanges (entre les marqueurs k. et l.), la mobilité relative est proche ou supérieure de 20%. Dans ce secteur, la remobilisation a été importante et relativement continue depuis 2013. Depuis 2022, les évolutions sont plus réduites (profil F sur Illustration 16), notamment du fait de travaux dunaires consacrés à réduire ou stopper cette mobilité (Nicolae Lerma et Rosebery, 2023).

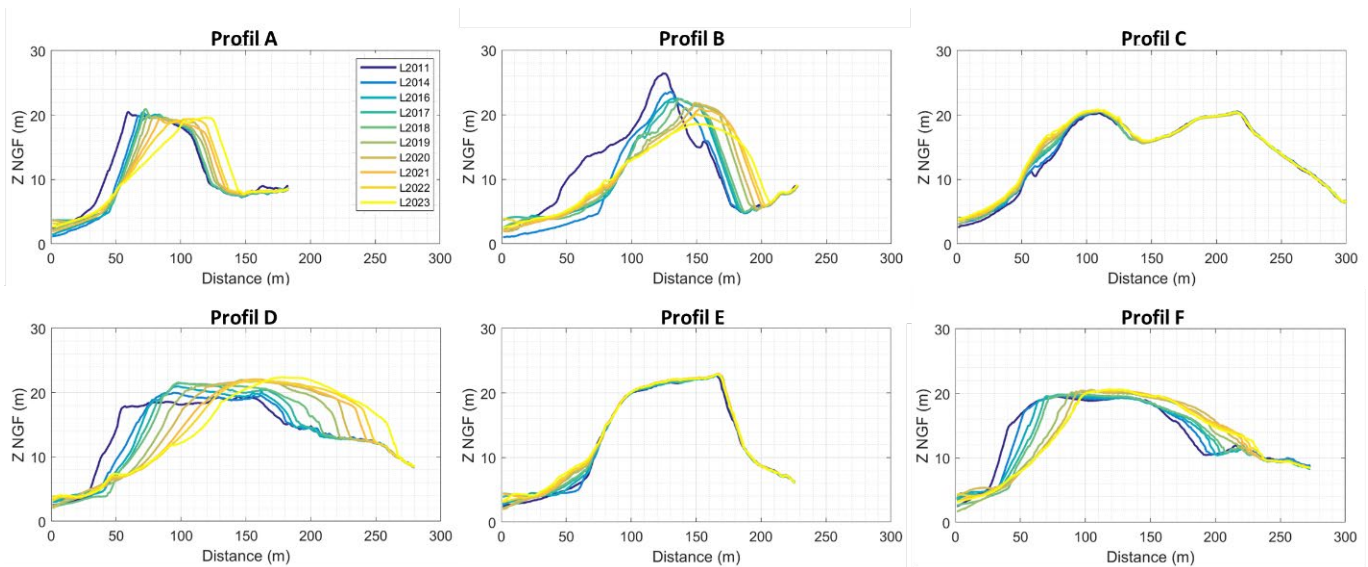


Illustration 16 - Exemple de profils illustrant divers niveaux de mobilité en Gironde (en haut) et dans les Landes (en bas) : Profil A : secteur de Carcans, Profil B : sud de Lacanau, Profil C : secteur du Truc Vert, Profil D : nord de Biscarrosse, Profil E : Centre des Landes, Profil F : secteur de Messanges

4.5.2. Mobilité et forçages

Afin d'expliquer les évolutions observées, les variations des volumes de plage et la mobilité dunaire ont été mises en relation avec les conditions de forçages (Illustration 17), respectivement l'énergie des vagues (P) et les flux éoliens potentiels (Q) cumulés lors de la période inter-acquisition de données LiDAR.

Pour la comparaison entre les évolutions des volumes de plage et l'énergie cumulée entre chaque date d'acquisition, on observe aucune relation statistique. Ce résultat n'est pas surprenant, mais met en évidence que le grand dynamisme au niveau des plages, qui alternent au cours d'une année de multiples phases d'érosion et d'accrétion, ne rend pas pertinent la relation entre forçages et évolutions morphologiques des plages à cette échelle spatio-temporelle.

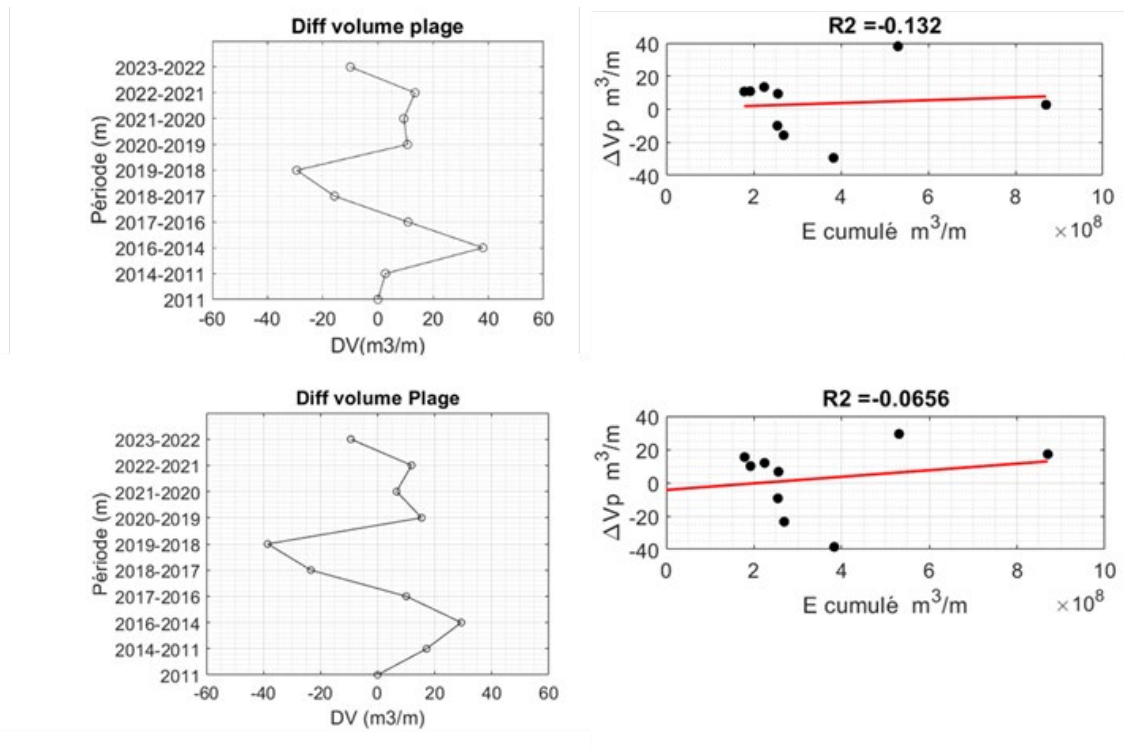


Illustration 17 - Evolution des volumes de plage, en référence à l'année 2011, et relation avec l'énergie cumulée des vagues pour la Gironde (en haut) pour les Landes (en bas)

En revanche, la mise en relation entre la mobilité dunaire (Mb) et le flux éolien potentiel (Q) présente une corrélation significative. L'illustration 18 a montre les évolutions de Mb par rapport à 2011 pour les côtes girondine et landaise. L'illustration 18 b illustre les flux cumulés, pendant la même période, et permet d'observer qualitativement une relation évidente. Les corrélations intégrant l'ensemble des dates sont très fortes : $R^2 = 0,92$ et $0,94$ respectivement pour la Gironde et les Landes (droites bleues sur illustration 18 d et e).

Toutefois, pour la période 2011-2014, ce sont en très grande majorité les érosions marines qui ont produit les évolutions morphologiques. Le flux éolien potentiel n'est donc pas un facteur explicatif de ces évolutions. La forte relation durant l'ensemble de la période est liée au fait que les variables de forçage Q et P sont fortement corrélées avec $R^2 = 0,94$ (illustration 18 c), les événements de fortes vagues étant en général associés à des périodes de forts vents.

Lorsque la relation entre Q et M (la mobilité dunaire) n'est envisagée que pour la période 2014-2023 (période dominée, voire exclusivement contrôlée par la dynamique éolienne), les corrélations sont plus réduites. Elles restent cependant significatives avec $R^2 = 0,59$ et $0,68$ pour les dunes de la côte girondine et de la côte landaise respectivement (droites rouges sur illustration 18 d et e).

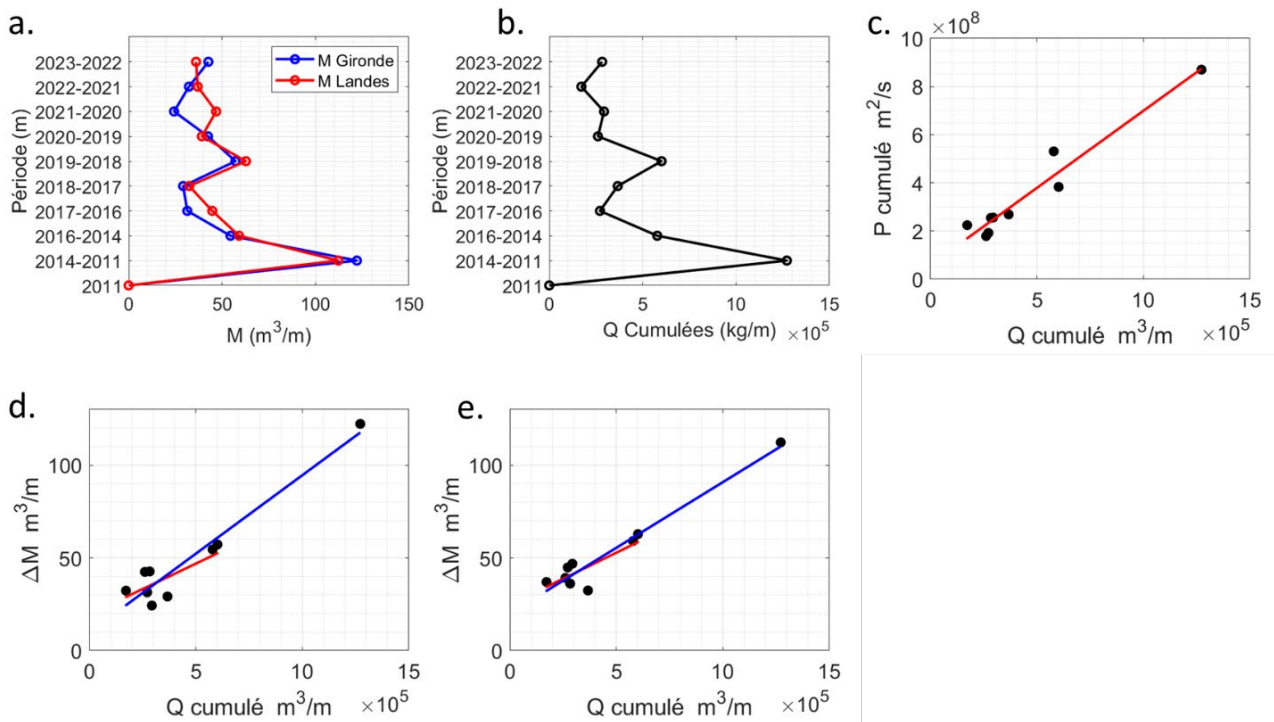


Illustration 18 - Relations entre mobilité du cordon dunaire et flux éoliens potentiels : a. évolutions de M_b par rapport à 2011, b. flux éoliens cumulés (Q), c. relation entre énergie de vague (P) et flux éoliens cumulés (Q), d. et e. relation entre M_b et Q respectivement pour la Gironde et les Landes

Plusieurs facteurs peuvent permettre d'appréhender la partie de la mobilité non expliquée directement par les forçages. On peut évoquer des paramètres de différentes natures dont l'influence peut contraindre plus ou moins le passage d'une dune fixe à une dune mobile, ou influencer sur le degré de mobilité. On pourra évoquer des contraintes géologiques (paléosols), la disponibilité des sédiments au niveau des plages, la dimension des dunes en place ou leur morphologie locale (falaise dunaire ou pente douce, siffle-vent, caoudeyre). Toutefois, le facteur de contrôle le plus important de la mobilité des dunes est la concentration et la dynamique de la végétation dunaire (e.g. Durán and Herrmann, 2006 ; Luna et al., 2011 ; McGuirk et al., 2022).

5. Discussion et conclusion

Les évolutions constatées en termes d'indicateurs morphologiques, de volumes sédimentaires et de mobilité relative le long des côtes de Gironde et des Landes présentent des caractéristiques assez différentes. De fait, les évolutions plus marquées du littoral girondin offrent un cadre d'analyse plus étendu que celui des Landes, plus stable.

Sur la côte landaise, il est compliqué de dégager des tendances pluriannuelles fortes, les phases d'érosion marine (relativement modérée), alternant spatialement et temporellement avec des phases d'accrétion (transferts plage-dune). La mobilité relative du cordon dunaire est également nettement moins importante que le long du cordon dunaire de Gironde. Seuls les secteurs au nord de Biscarrosse et entre le courant d'Huchet et le secteur de Vieux-Boucau ont connu des remises en mobilité significatives.

En contraste, les évolutions sur la côte girondine répondent à un séquençage en trois temps : (i) érosion marine, (ii) stabilité et accrétion au niveau des hauts de plage, (iii) importants transferts éoliens des plages aux dunes, associés à la mise en mobilité d'une part importante du cordon dunaire.

Ces séquences post-érosion marine de 2013-2014 ont pu se mettre en place grâce à l'absence de nouvelles érosions marines importantes, que nous avons pu constater par la stabilité de la position du trait de côte entre 2014 et 2023. Cette stabilité a permis également l'adoucissement des pentes de front dunaire, du fait de nouveaux apports en sable sur les hauts de plage, de l'émergence de végétation pionnière en pied de dune et d'une érosion sous l'effet du vent au niveau des crêtes de la face marine. Cette évolution progressive a eu lieu au cours de la période 2014-2018 et a eu pour effet de rétablir, puis faciliter les transferts entre les hauts de plage et la partie haute des dunes.

Durant la période 2018-2023, la mobilité et le stockage de sédiments lorsque les plages présentent de forte disponibilité sédimentaire (moitié sud de la Gironde) se sont accentués. L'hiver 2019-2020 a en particulier entraîné de très fortes évolutions au niveau de certains secteurs, avec l'initiation de la mobilité du fait de conditions de forçages éoliens exceptionnels. Dans cette séquence, le rôle de contrôle de la végétation sur la mobilité des dunes s'est progressivement réduit pour la moitié nord de la côte girondine et, localement, dans la partie sud (sud de Lacanau) ou à la pointe du Cap Ferret par exemple.

Dans la partie nord de la côte girondine ou localement au nord de Biscarrosse, le processus de remobilisation dunaire (encadré par l'ONF) est très avancé et la dune, qui était fixée par la végétation au cours de la période 2011-2014, est aujourd'hui fortement mobile et connaît une dynamique de dune transgressive (mobilité complète de la dune du fait de transferts continus de sable depuis la partie avant vers le revers de dune). Dans ces secteurs, les dunes adoptent progressivement une forme parabolique et se déplacent à des rythmes de plusieurs mètres par an. Des réflexions sur les moyens et les méthodes de gestion adaptées pour le contrôle de ces évolutions (refixation, plantation ...) sont en cours.

On a pu constater que, sur une partie importante du cordon dunaire girondin, les évolutions ont été importantes et la mobilité forte (supérieure à 20 voire 30% de la dune), conduisant à des évolutions de la morphologie globale du cordon dunaire. Si les conditions continuent à être favorables (i.e. forçage éolien important, disponibilité sédimentaire, absence de nouvelles érosions marines, faible dynamique de végétation...), le processus de migration dunaire sera amené à se poursuivre et potentiellement à s'étendre à des secteurs où la mobilité est encore partielle et où le processus de translation n'est pas encore complet.

L'illustration 19 présente, le long de la côte girondine, pour des conditions d'évolutions des stocks sableux et de mobilité variée et de dimension de dune (courte, moyenne et large), différentes évolutions morphologiques dans le profil. Pour trois de ces profils, on peut observer qualitativement le lien avec l'évolution de la végétation dunaire (Illustration 20).

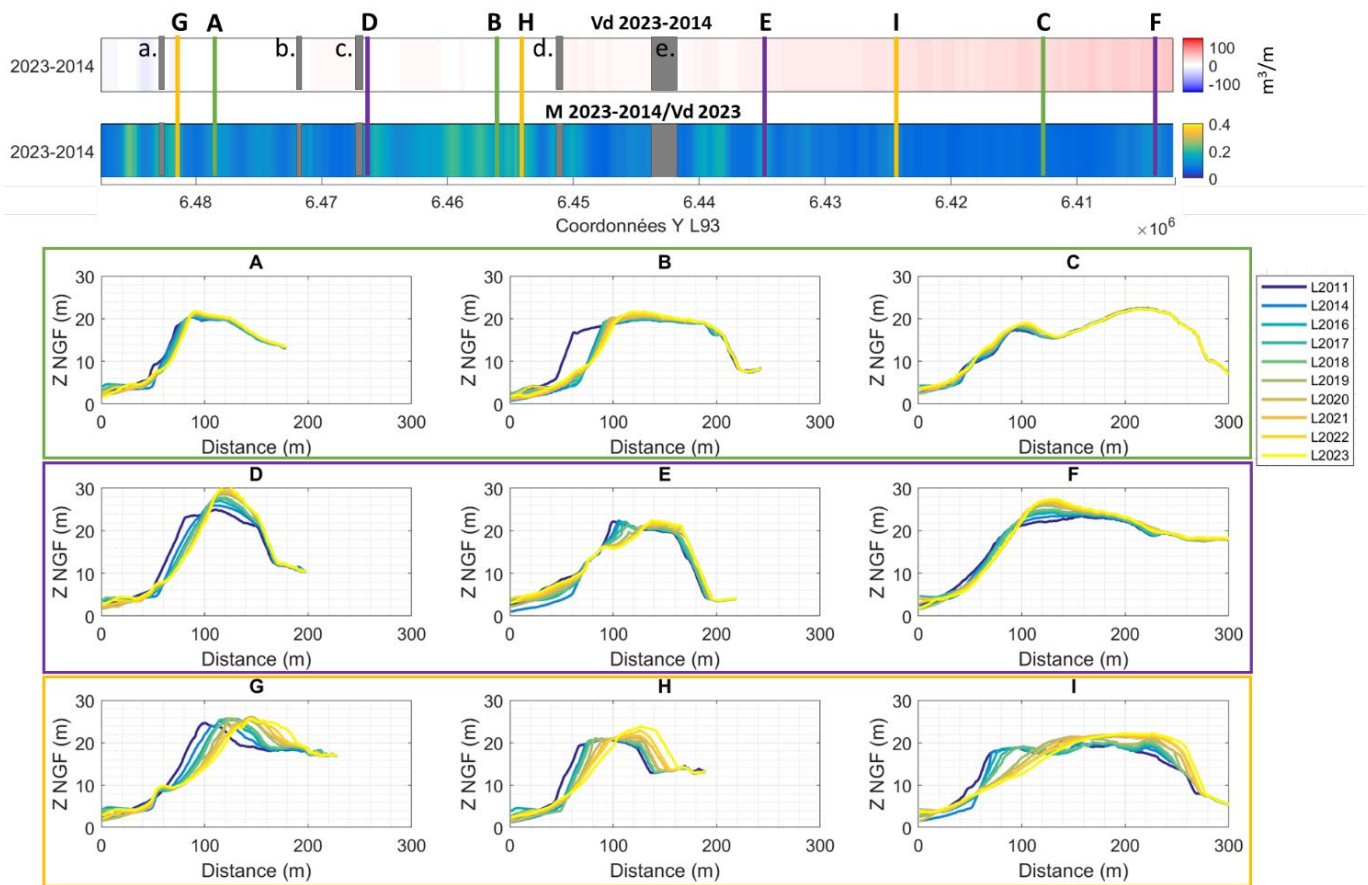


Illustration 19 - Exemple de 3 types d'évolutions morphologiques (vue en coupe) dans le sens du profil, le long de la côte girondine, pour des conditions d'évolutions des stocks sableux, de mobilité (partie haute du graphique) et de dimensions de dune (courte, moyenne et large) variées (Les profils et cadres de couleur illustrent des dunes de dimensions différentes : en vert, des dunes peu mobiles ; en violet, des dunes mobiles ; en jaune, des dunes transgressives)

La première ligne de profils (encadré vert) correspond à des localisations où les évolutions morphologiques sont relativement faibles. Pour ces profils, la végétation dunaire a permis le maintien des dunes dans la morphologie post-hiver 2013-2014 et les évolutions sont principalement liées à l'accumulation de sédiments, issus de transfert éolien depuis les plages (Illustration 20 a).

La deuxième ligne de profils (encadré violet) correspond à des profils où la mobilité a été notable, mais où la végétation, bien que partiellement affectée, joue sur la séquence un rôle de maintien et limite l'évolution de la dune. Ces dunes, qui peuvent présenter un indicateur de mobilité élevé, ne sont pas encore en situation de dune transgressive, mais pourraient évoluer vers cet état dans les prochaines années (Illustration 20 b).

La troisième ligne (encadré jaune) correspond à des profils de dunes transgressives où les sédiments se sont transférés depuis le haut de plage et la face marine vers le revers de dune. Sur ces dunes, la végétation ne joue plus de rôle de maintien et la dune est en libre évolution. Elle adopte en termes de forme un profil aérodynamique différent du profil post-2014. Hors reprise naturelle de la végétation ou actions de gestion de refixation, ces dunes devraient poursuivre leur migration vers l'intérieur des terres (Illustration 20 c).

Dans cette étude, nous nous sommes concentrés à décrire les évolutions géomorphologiques et, bien que déterminantes, nous n'avons que peu travaillé à décrire les interactions entre paramètres biotiques et abiotiques (interaction entre paramètres biologique et physique). Il est complexe de caractériser, à grande

échelle, le niveau de concentration de la végétation dunaire et les facteurs à l'origine de la diminution de leur couverture ou d'un excès de mortalité. De nombreux facteurs peuvent être invoqués pour expliquer des changements d'abondance ou de couverture de la végétation (piétinement, criblage, ensevelissement, sécheresse...), mais il est difficile de déterminer les facteurs susceptibles de générer des boucles de rétroaction négatives, responsables d'un changement radical, et *in fine* la perte de contrôle de la couverture végétale sur les évolutions (ou non-évolutions) morphologiques (Illustration 20).

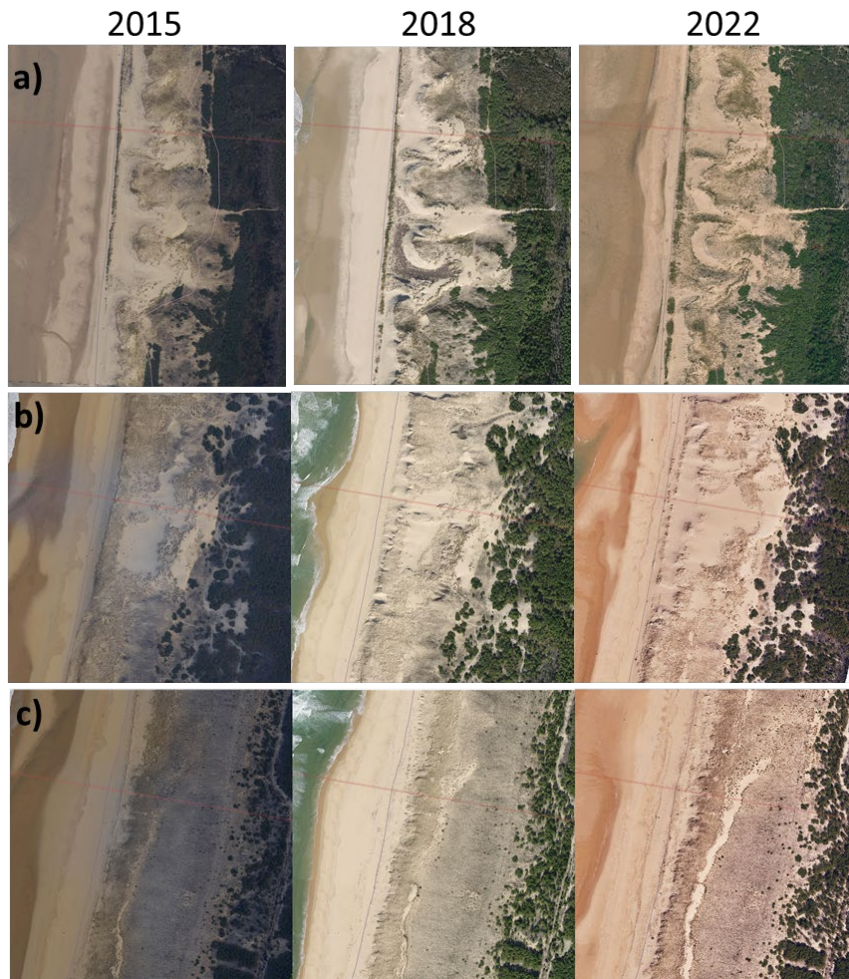


Illustration 20 - Exemples d'évolution de la couverture végétale pour les profils présentés en Illustration 19, avec a) profil G (végétation altérée en début de période), b) profil I (altération de la végétation lors de la période) et c) profil C (maintien de la végétation)

Comme perspective d'enrichissement de l'analyse menée, il serait nécessaire de disposer d'indicateurs de caractérisation de la végétation (couverture, concentration, espèce) et de leurs évolutions aux échelles spatiales et temporelles adaptées, afin de mieux comprendre le rôle de l'évolution de la végétation sur la mobilité passée et potentiellement future du cordon dunaire.

Par ailleurs, l'hiver 2023-2024 a entraîné des érosions dunaires de grande ampleur, sur une grande partie des littoraux girondins et des Landes (Robinet et Bernon, 2024). L'acquisition de données LiDAR post-hiver et les acquisitions récurrentes réalisées dans le cadre de l'OCNA permettront de réaliser de futures études pour analyser l'impact de ces érosions sur les dynamiques de mobilité dunaire, observées pendant la période 2014-2023. Elle permettra également de comparer l'impact de ces érosions sur des systèmes fixés par la végétation, comme dans une grande partie des Landes ou le sud de la Gironde.

6. Bibliographie

- Ayache et Billière (2023)** - Avis technique relatif à la qualité du lidar et de l'orthophotographie 2022, NT_BDX-2023-017, 125p.
- Ayache B, Nicolae Lerma A., Ulvoas B., (2018)** - Evolution géomorphologique de la côte sableuse en Gironde et dans les Landes, entre 2011 et 2017 à partir de l'exploitation du LiDAR, Rapport final. RP-67187-FR, 49p.
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011)** - The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological monographs*, 81(2), 169-193.
- Bossard, V., & Nicolae Lerma, A. (2020)** - Geomorphologic characteristics and evolution of managed dunes on the South West Coast of France. *Geomorphology*, 367, 107312.
- BRGM et ONF (2018)** - Atlas morphodynamique de la côte sableuse aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-67152-FR, 280p., 227ill., 6 ann.
- Castelle, B., Bujan, S., Ferreira, S., & Dodet, G. (2017)** - Foredune morphological changes and beach recovery from the extreme 2013/2014 winter at a high-energy sandy coast. *Marine Geology*, 385, 41-55
- Delgado-Fernandez, I., Davidson-Arnott, R. G., & Hesp, P. A. (2019)** - Is 're-mobilisation' nature restoration or nature destruction? A commentary. *Journal of Coastal Conservation*, 23, 1093-1103.
- Durán, O., & Herrmann, H. J. (2006)** - Vegetation against dune mobility. *Physical review letters*, 97(18), 188001.
- Gao, J., Kennedy, D. M., & Konlechner, T. M. (2020)** - Coastal dune mobility over the past century: A global review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 44(6), 814-836.
- Guerry, A. D., Ruckelshaus, M. H., Arkema, K. K., Bernhardt, J. R., Guannel, G., Kim, C. K., ... & Spencer, J. (2012)**. Modeling benefits from nature: using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 107-121.
- Hesp, P. (2002)** - Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3), 245-268.
- Luna, M. C. D. M., Parteli, E. J., Durán, O., & Herrmann, H. J. (2011)** - Model for the genesis of coastal dune fields with vegetation. *Geomorphology*, 129(3-4), 215-224.
- Masselink, G., Castelle, B., Scott, T., Dodet, G., Suanez, S., Jackson, D., & Floc'h, F. (2016)** - Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophysical Research Letters*, 43(5), 2135-2143.
- McGuirk, M. T., Kennedy, D. M., & Konlechner, T. (2022)** - The role of vegetation in incipient dune and foredune development and morphology: a review. *Journal of Coastal Research*, 38(2), 414-428.
- Nicolae Lerma A., Ayache B., Ulvoas B., Paris F., Bernon N., Bulteau T., Mallet C. (2019)** - Pluriannual beach-dune evolutions at regional scale: Erosion and recovery sequences analysis along the Aquitaine coast based on airborne LiDAR data. *Continental Shelf Research*, 103974
- Nicolae Lerma A. et Rosebery D. (2021)** - Caractérisation de la variabilité interannuelle des flux sédimentaires potentiels d'origine éolienne sur le littoral aquitain : analyse à partir des observations du sémaphore du Cap Ferret au cours de la période récente 2005-2020. Rapport final. BRGM/RP-71197-FR, 27 p., 11 fig., 3 tab.

Nicolae Lerma, A., Castelle, B., Marieu, V., Robinet, A., Bulteau, T., Bernon, N., & Mallet, C. (2022) - Decadal beach-dune profile monitoring along a 230-km high-energy sandy coast: Aquitaine, southwest France. *Applied Geography*, 139, 102645.

Nicolae Lerma, A., Castelle, B., Rosebery, D., Bouchet, C., Billy, J., Ayache, B., & Robin, N. (2023) - Foredune guided remobilization experiments along the southwest coast of France. In *Coastal Sediments 2023: The Proceedings of the Coastal Sediments 2023* (pp. 642-646).

Nicolae Lerma A. et Rosebery D. (2023) - Réponses géomorphologiques du cordon dunaire à l'érosion marine à échelle pluri-annuelle : analyse des sites de Carcans, Lacanau, La Teste/Biscarrosse et Messanges. Rapport final version 1 du 23/06/2023. BRGM/RP-72872-FR, 42 p., 25 Fig., 2 Tab.

Nordstrom, K. F., Jackson, N. L., Hartman, J. M., & Wong, M. (2007) - Aeolian sediment transport on a human-altered foredune. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(1), 102-115.

Robin N., Billy J., Castelle B., Hesp P., Nicolae Lerma A., Laporte-Fauret Q., Marieu V., Rosebery D., Bujan S., Destribats B., Michalet R., (2021) - 150 years of foredune initiation and evolution driven by human and natural processes. *Geomorphology* 374: 107516, doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107516.

Robin, N., Billy, J., Nicolae Lerma, A., Castelle, B., Hesp, P. A., Rosebery, D. & Miot Da Silva, G. (2023) - Natural remobilization and historical evolution of a modern coastal transgressive dunefield. *Earth Surface Processes and Landforms*. Volume48, Issue5, Pages 1064-1083

Robinet A., Bernon N. (2024) - Réseau tempêtes de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine - Bilan de l'hiver 2023-2024. Rapport final version 1 du 24/06/2024. BRGM/RP-73737-FR, 31 p., 11 fig., 3 tab., 8 ann.

Ruggiero, P., Cohn, N., Hoonhout, B., Goldstein, E., de Vries, S., Moore, L., ... & Vinent, O. D. (2019) - Simulating dune evolution on managed coastlines: Exploring management options with the Coastal Recovery from Storms Tool (CRest). *Shore & Beach*, 87(2), 36.

Ruggiero, P., Kaminsky, G. M., Gelfenbaum, G., & Cohn, N. (2016) - Morphodynamics of prograding beaches: A synthesis of seasonal-to century-scale observations of the Columbia River littoral cell. *Marine Geology*, 376, 51-68.

Sallenger Jr, A. H. (2000) - Storm impact scale for barrier islands. *Journal of coastal research*, 890-895.



**OBSERVATOIRE DE LA CÔTE
NOUVELLE-AQUITAINE**

Réseau d'experts au service du littoral



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

BRGM Nouvelle-Aquitaine

Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70

A propos de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine

Véritable réseau d'experts au service du littoral, l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine est chargé de suivre l'érosion et la submersion sur le littoral régional. Le BRGM et l'ONF sont les porteurs techniques du projet, financé par l'Union Européenne (via le fonds FEDER), l'État, la Région Nouvelle-Aquitaine, les départements de la Gironde, des Landes, des Pyrénées-Atlantiques, de la Charente-Maritime, le Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA), le BRGM et l'ONF.

Le rôle de l'Observatoire est de mettre au service de l'ensemble des acteurs du littoral un outil scientifique et technique d'observation, d'aide à la décision et de partage de la connaissance pour la gestion et la prévention des risques côtiers.

L'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine travaille en étroite collaboration avec le GIP Littoral et les Universités de Bordeaux (unité mixte de recherche EPOC), de Pau et des Pays de l'Adour (laboratoire SIAME) et de La Rochelle (unité mixte de recherche LIENSs), ainsi que le Centre de la mer de Biarritz (programme ERMMA), l'Unima, le Conservatoire du littoral et le Cerema.

L'enjeu est d'accompagner les stratégies de développement durable, de manière à prendre en compte l'évolution morphologique du littoral et les richesses de son patrimoine naturel tout en s'adaptant au changement climatique.

Les actions de l'Observatoire sont multiples : mesures, suivis, expertises, diffusion des données et information vers le grand public... www.observatoire-cote-aquitaine.fr