



OBSERVATOIRE DE LA CÔTE
NOUVELLE-AQUITAINE

Document public

Rapport final

Analyse des érosions marines lors de l'hiver 2023-2024 sur la base de données LiDAR aéroporté couvrant le littoral sableux de Nouvelle-Aquitaine

BRGM/RP-74033-FR
Version 1 du 18/11/2024

Nicolae Lerma A., Ayache B., Robinet A.



Ce rapport a été vérifié le 21/11/2024 et approuvé le 03/12/2024 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.

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 : Hiver 2023-2024, Erosion, Trait de côte, Entailles marines, LiDAR Aéroporté, Nouvelle-Aquitaine

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

Nicolae Lerma A., Ayache B., Robinet A. (2024) - Analyse des érosions marines lors de l'hiver 2023-2024 sur la base de données LiDAR aéroporté couvrant le littoral sableux de Nouvelle-Aquitaine. Rapport final version 1 du 18/11/2024. BRGM/RP-74033-FR, 37 p.

Synthèse

Du fait d'érosions marines généralisées sur le linéaire de la côte sableuse de Nouvelle-Aquitaine, lors de l'hiver 2023-2024, une acquisition exceptionnelle par LiDAR topographique aéroporté a été réalisée au printemps 2024. Son but était de fournir une évaluation quantitative des impacts de l'hiver au niveau de la bande côtière. Ainsi, en comparant ces nouvelles données avec celles acquises au cours d'une précédente campagne de mesures (levé annuel de l'OCNA en situation pré-hivernale), un diagnostic complet des évolutions morphologiques a pu être réalisé et permet une meilleure quantification des érosions marines et des dynamiques éoliennes ayant eu lieu.

Ce diagnostic quantitatif vient compléter deux précédents rapports réalisés :

- ① par l'ONF, concernant le recensement des entailles dunaires à partir d'observations de terrain, en fil rouge, durant tout l'hiver ;
- ② par le BRGM, dans le cadre du bilan hivernal du Réseau tempêtes et à l'issue de la campagne annuelle de mesures DGPS post-hiver, le long des transects de l'OCNA.

A partir de l'analyse de plusieurs descripteurs de l'érosion marine, cette étude montre :

- ① un bilan sédimentaire déficitaire de 14,3 millions de m³, résultant principalement d'un abaissement généralisé des plages et d'entailles d'érosion marine dans les dunes. L'analyse de la mobilité dunaire montre un déplacement de 4,4 millions de m³ de sable entre les fronts dunaires en érosion éolienne et le reste du cordon (plateau et revers) en accrétion. Les analyses suggèrent un bilan légèrement excédentaire au niveau du cordon dunaire, de +278 000 m³ provenant de transferts des plages vers les dunes.
- ② la création d'entailles d'érosion marine observables sur l'ensemble du littoral régional, avec toutefois des différences importantes d'extension et de profondeur. La détection automatique de ces morphologies a permis de caractériser 278 entailles au total, avec une répartition non homogène le long des côtes (59 entailles en Charente-Maritime, 139 en Gironde et 40 dans les Landes).
- ③ un recul de l'iso-contour 6 m NGF (associé à la localisation du trait de côte) en moyenne de -2,2 m pour la côte sauvage, de -3,5 m pour la côte girondine et de -2,6 m dans les Landes. Ces valeurs moyennes ne doivent pas cacher des valeurs de recul considérables de plus de 10 à 20 m localement, en particulier dans certains des secteurs adjacents aux embouchures de Maumusson, de l'estuaire de la Gironde ou des passes du Bassin d'Arcachon.

Au global, l'impact de l'hiver 2023-2024 a été très significatif, intervenant après une décennie de relative stabilité. Cependant, l'impact sur le trait de côte ne représente qu'un tiers en Gironde et un peu moins de la moitié dans les Landes, du recul moyen observée après l'hiver 2013-2014. L'hiver 2023-2024 a ainsi été nettement moins impactant que l'hiver 2013-2014, mais reste toutefois le plus important en termes d'impacts érosifs depuis 10 ans.

La mobilisation des opérateurs techniques de l'OCNA (ONF et BRGM) a permis, au travers des différents dispositifs en place (observations de terrain des entailles dunaires, bilan des conditions hivernales du Réseau tempêtes, acquisition de mesures LiDAR exceptionnelles), de montrer la complémentarité des outils de diagnostic déployés par l'OCNA à la fois pendant la période hivernale, puis directement en sortie d'hiver et enfin *a posteriori* de manière quantitative pour un suivi des impacts. Cette analyse montre la complémentarité de la stratégie d'acquisition de données, portée par l'OCNA, et l'intérêt de poursuivre ces acquisitions sur le long terme.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Rappel des conditions météo-marines de l'hiver 2023-2024	9
3. Méthodes de traitement des données LiDAR	11
3.1. CARACTERISTIQUES DES DONNEES.....	11
3.1.1. Principe du levé LiDAR aéroporté	11
3.1.2. Qualification des millésimes LiDAR.....	12
3.2. TRAITEMENTS GEOMATIQUES.....	13
3.2.1. Bilan sédimentaire littoral	13
3.2.2. Détection automatique des entailles d'érosion marine.....	15
3.2.3. Evolution de la position du trait de côte.....	16
4. Bilan sédimentaire de la bande littorale	19
5. Bilan des entailles d'érosion marine	21
6. Evolution de la position du trait de côte	25
7. Discussion	27
7.1. EROSION DE L'HIVER 2023-2024 AU REGARD DE LA DERNIERE DECENNIE	27
7.2. ENSEIGNEMENT ISSU DE L'EXPLOITATION DES DONNEES LIDAR PAR RAPPORT AUX LEVES DE TERRAIN	28
7.2.1. Lien avec les indicateurs d'érosion du Réseau tempêtes	28
7.2.2. Lien avec le recensement au cours de l'hiver des entailles d'érosion	30
8. Conclusions	33
9. Bibliographie	35

Liste des illustrations

Illustration 1 - Maximums journaliers de l'indice érosif au cours de l'hiver 2023-2024, pour les 63 zones du Réseau tempêtes ; les étoiles bleues, en haut de la figure, localisant dans le temps les évènements marquants de l'hiver (issu de Robinet et Bernon (2024)).....	9
Illustration 2 - Histogramme du nombre d'heures cumulées par classe d'indice érosif, calculé pour chaque hiver (du 1 ^{er} octobre de l'année N au 30 avril de l'année N+1) depuis l'hiver 2008-2009, pour la zone 32 (Lège-Cap Ferret) du Réseau tempêtes (issu de Robinet et Bernon 2024).....	10
Illustration 3 - Acquisition LiDAR aéroporté (par avion) (source : Fernander-Diaz et al., 2014).....	12
Illustration 4 - Couverture LiDAR de juin 2024 (côte sableuse de Nouvelle-Aquitaine).....	13

Illustration 5 - Découpage des bandes littorales utilisées pour le calcul des bilans sédimentaires : bande plage (BP), contact plage - dune (BC), cordon dunaire (BD) ; la mention TDC indiquant la position du trait de côte en 2023	14
Illustration 6 - Méthode de détection et de filtrage des entailles d'érosion dunaire.....	15
Illustration 7 - Nombre et surface d'entaille détectée par classe : la ligne pointillée délimite les classes retenues (à droite) et les classes écartées (à gauche)	16
Illustration 8 - Vision en profil et détection des descripteurs associés aux évolutions morphologiques : le profil bleu représente le profil LiDAR d'octobre 2023 et le rouge celui de juin 2024 ; la flèche violette indique le recul de la position « 6 m NGF » et les flèches vertes, les variations horizontale et verticale de la position du trait de côte de 2023.....	17
Illustration 9 - Carte des bilans sédimentaires par bandes, de la mer vers la terre : bande plage, bande contact plage-dune, bande cordon dunaire	20
Illustration 10 - Répartition et caractéristiques des entailles d'érosion marine détectées (à gauche) et classification de l'érosion (à droite), lors de l'hiver 2023-2024 en Nouvelle-Aquitaine	22
Illustration 11 - Distribution des entailles d'érosion marine et de leurs caractéristiques par cellule sédimentaire : a/ nombre d'entailles, b/ longueur moyenne des entailles, c/ recul moyen au sein des entailles et d/ relation entre longueur et recul moyen au sein des entailles.....	23
Illustration 12 - Variations de la position de l'iso-contour 6 m NGF, associé à la position du trait de côte, lors de l'hiver 2023-2024 en Nouvelle-Aquitaine (les valeurs sont présentées avec une moyenne glissante sur 1 km pour faciliter la visualisation)	26
Illustration 13 - Evolution de la position de l'iso-contour 6 m NGF le long (a.) de la côte girondine et (b.) de la côte landaise.....	27
Illustration 14 - Evolutions de la position des iso-contours 3 m NGF à 10 m NGF le long des côtes girondine (à gauche), landaise (à droite), avec souligné en rouge l'iso-contour 6 m NGF ; pour chaque panel, le graphique illustre la différence de position après l'hiver 2013-2014 et l'hiver 2023-2024 respectivement à gauche et à droite	28
Illustration 15 - Variations altimétrique (gauche) et planimétrique (droite) du profil de plage, au niveau du trait de côte pré-hiver, au cours de l'hiver 2023-2024 : les couleurs bleues indiquent des reculs ou abaissements du profil, tandis que les couleurs rouges indiquent des avancées ou des élévations du profil.....	29

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques et précision des campagnes LiDAR aéroportée de l'OCNA.....	12
Tableau 2 - Bilan sédimentaire par département.....	19
Tableau 3 - Caractéristiques des entailles marines par cellules sédimentaires	24
Tableau 4 - Caractéristiques de l'évolution de la position de l'iso-contour 6 m NGF par cellules sédimentaires	25
Tableau 5 - Valeurs maximales du recul/avancée et de l'abaissement/élévation du profil de plage au niveau du trait de côte pré-hiver, à l'échelle de la Gironde et des Landes, en fonction du type de données utilisées pour l'analyse	30
Tableau 6 - Caractéristiques des entailles dunaires par département.....	31

1. Introduction

L'hiver 2023-2024 a été marqué par une activité tempétueuse remarquable, décrite au sein du document-bilan de l'hiver du Réseau tempêtes de l'OCNA (Robinet et Bernon, 2024). Sous l'effet de tempêtes successives intervenant parfois lors de périodes de forts coefficients, le littoral régional a été exposé au phénomène d'érosion marine dans de nombreux secteurs.

Du fait d'un niveau d'impact important sur le linéaire de la côte sableuse, une acquisition exceptionnelle par LiDAR topographique aéroporté a été réalisée au printemps 2024, dans le but de fournir une évaluation quantitative des évolutions de la bande côtière au cours de l'hiver. Par comparaison avec une campagne précédente, en situation pré-hivernale, réalisée à l'automne 2023 (levé annuel de l'OCNA), ces données offrent la possibilité de réaliser un diagnostic complet des évolutions morphologiques à la fois associées aux érosions marines et aux dynamiques éoliennes de l'hiver 2023-2024.

Ce diagnostic quantitatif vient compléter de précédents travaux, réalisés par l'ONF, de recensement des entailles dunaires à partir de levés de terrain (Audère et al., 2024) et du BRGM à l'issue de la campagne annuelle de mesures DGPS post-hiver, le long des transects de l'OCNA (Robinet et Bernon, 2024).

En complément des évaluations précédentes, de nature semi-quantitative, à dire d'expert ou ponctuelles (localisées à des transects), les données traitées dans le présent rapport offrent l'opportunité de dresser un bilan sédimentaire global, de localiser et quantifier les caractéristiques des entailles d'érosion marine, de quantifier la mobilité éolienne et l'évolution de la position du trait de côte avec une déclinaison par cellules et sous-cellules sédimentaires.

Une première partie de ce rapport reprend des éléments de caractérisation de l'activité hivernale. On présentera ensuite les données traitées, ainsi que les méthodologies appliquées pour caractériser les évolutions de la bande littorale. Les résultats seront présentés en s'appuyant sur différents indicateurs (bilans sédimentaires, détection des entailles d'érosion marine, évolution de la position du trait de côte) et discutés au regard des évolutions observées au cours de la dernière décennie et des travaux précédents sur les impacts de l'hiver 2023-2024.

2. Rappel des conditions météo-marines de l'hiver 2023-2024

Les analyses de données réalisées dans le bilan du Réseau tempêtes de l'OCNA (Robinet et Bernon, 2024) ont montré que l'hiver 2023-2024 était le 3^e hiver le plus intense en matière de forçages météo-marins en Nouvelle-Aquitaine, depuis l'hiver 2008-2009. Cet hiver a été caractérisé par une succession d'événements de tempêtes d'intensités diverses, intervenant pour certaines lors de périodes de très forts coefficients. Ces combinaisons se sont avérées particulièrement défavorables et de nature à provoquer des érosions importantes des fronts dunaires.

L'hiver 2023-2024 a été marqué par l'occurrence d'un nombre important d'événements météo-marins (une dizaine). La liste des événements et leurs caractéristiques principales peuvent être consultées dans un rapport publié récemment par le BRGM (Robinet et Bernon, 2024). L'illustration 1 montre que, selon l'indicateur d'érosion du Réseau tempêtes de l'OCNA, une grande partie de la côte a été affectée potentiellement plusieurs fois au cours de l'hiver. Seules les caractéristiques générales des tempêtes de l'hiver sont reprises ici car les impacts en termes d'érosion (détaillés ci-après) ne peuvent pas être rattachés directement à une tempête en particulier.

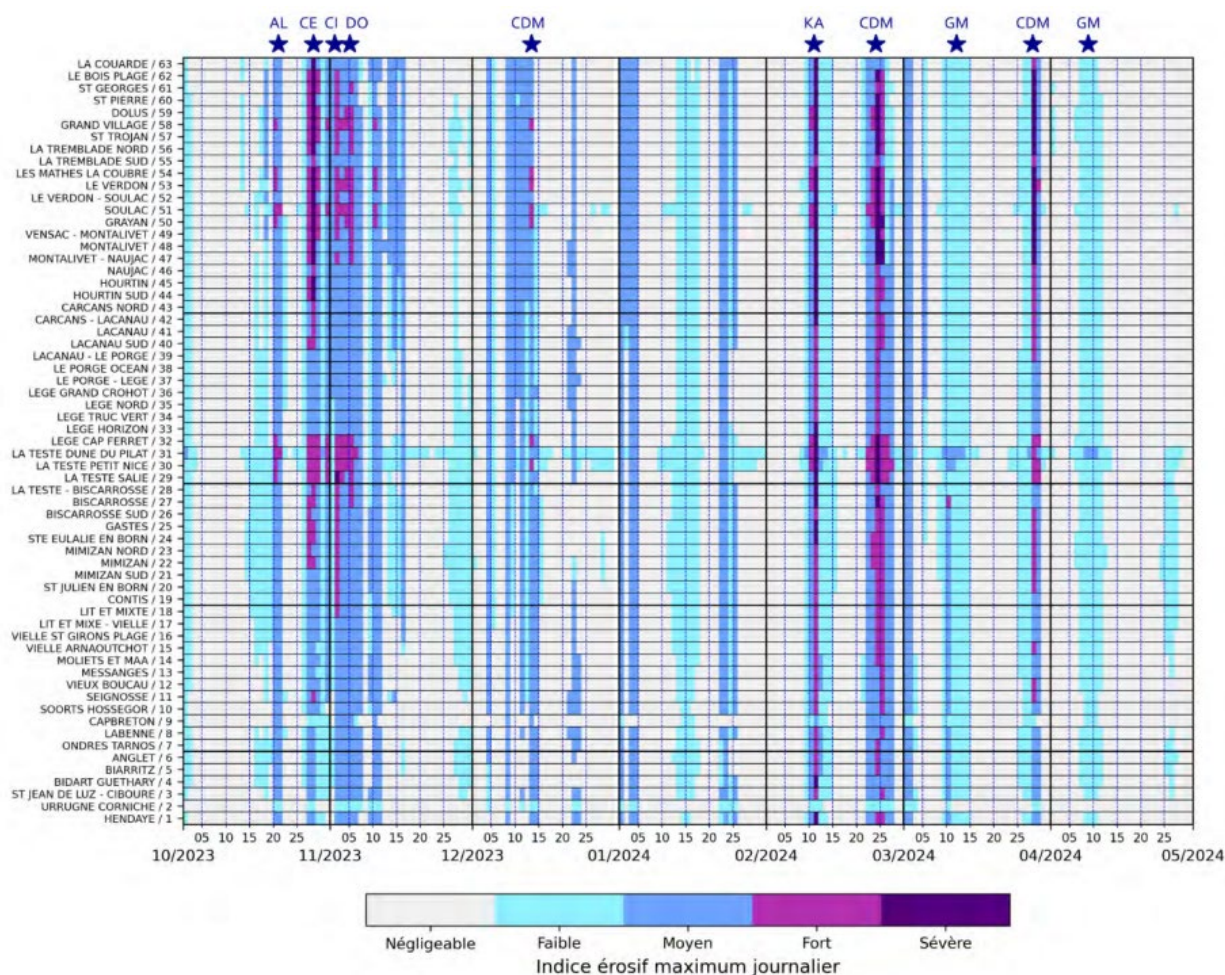


Illustration 1 - Maximums journaliers de l'indice érosif au cours de l'hiver 2023-2024, pour les 63 zones du Réseau tempêtes ; les étoiles bleues, en haut de la figure, localisant dans le temps les événements marquants de l'hiver (issu de Robinet et Bernon (2024))

Parmi les événements marquant de l'hiver, la tempête Karlotta (cf. Fiche tempête : <https://fichetempete.brgm.fr/pages/tempete.jsf?tid=20081253>), concomitante de coefficients de marée élevés (107), fait figure de tempête potentiellement la plus impactante de l'hiver 2023-2024 en termes d'érosion marine.

Plusieurs typologies d'évènements se sont produites au cours de l'hiver 2023-2024, dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

- ① une période de coefficients de marée faibles, concomitante de vagues parmi les plus énergétiques mesurées sur la côte aquitaine, de pressions atmosphériques très basses et des vents très forts (tempêtes Aline, Ciaran et Domingos) ;
- ② une période de coefficients de marée moyens à élevés, concomitante de vagues très énergétiques, de pressions atmosphériques basses et de vents forts (coups de mer du 13 décembre 2023, du 22-27 février 2024 et du 28-29 mars 2024) ;
- ③ une période de coefficients de marée élevés, concomitante de vagues énergétiques, de pressions atmosphériques basses et de vents moyens (grandes marées de février 2024 et de mars 2024) ;
- ④ une période de coefficients de marée élevés, concomitante de vagues très énergétiques, de pressions atmosphériques basses et de vents forts (tempêtes Céline et Karlotta).

Ainsi, le nombre d'heures cumulées, où l'indice du Réseau Tempêtes a été supérieur ou égal à la classe d'impact « moyen » (somme du nombre d'heures des classes d'impacts « moyen », « fort » et « sévère »), montre que l'hiver 2023-2024 s'inscrit dans les 3 hivers au potentiel érosif global les plus forts depuis 16 ans, derrière les hivers 2013-2014 et 2019-2020 (Illustration 2).

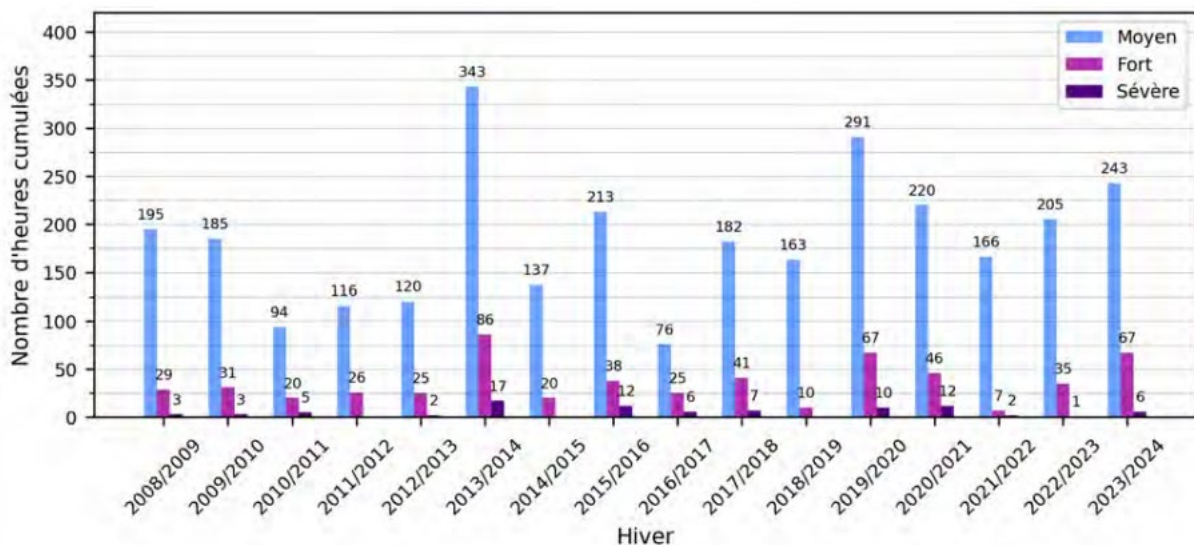


Illustration 2 - Histogramme du nombre d'heures cumulées par classe d'indice érosif, calculé pour chaque hiver (du 1^{er} octobre de l'année N au 30 avril de l'année N+1) depuis l'hiver 2008-2009, pour la zone 32 (Lège-Cap Ferret) du Réseau tempêtes (issu de Robinet et Bernon 2024)

L'activité éolienne a également été importante durant cet hiver puisque, sur la base des vents moyens au Cap Ferret, l'hiver 2023-2024 est positionné comme le 4^e hiver le plus intense en termes de vitesses de vent depuis 2008, derrière les hivers 2008-2009, 2016-2017 et 2019-2020 (Robinet et Bernon, 2024).

3. Méthodes de traitement des données LiDAR

3.1. CARACTERISTIQUES DES DONNEES

3.1.1. Principe du levé LiDAR aéroporté

La technologie LiDAR (*Light Detection and Ranging*) aéroportée permet actuellement de réaliser une mesure de la topographie d'un territoire à haute résolution (plusieurs mesures par mètre carré). Cette technologie s'est largement développée depuis les années 2000 et est aujourd'hui un outil indispensable pour réaliser des suivis morphologiques de haute précision pour des zones de plusieurs dizaines à centaines de kilomètres carrés.

Dans le cas de cette étude, le système LiDAR utilisé est de type aéroporté sur un avion (Illustration 3). Il se compose :

- d'un scanner laser,
- d'un système de positionnement par satellite (GPS) donnant la position X, Y, Z de l'appareil, à l'émission du signal laser et à la réception du signal-retour réfléchi par les objets,
- d'une centrale inertielle (INS) mesurant le roulis, le tangage, le lacet du système.

Le système mesure le temps nécessaire entre l'impulsion du faisceau laser et son retour à l'appareil, permettant de calculer une distance. Couplés aux données GPS et aux corrections INS, les systèmes génèrent des mesures en trois dimensions de la surface de la Terre et des informations sur le type d'objets rencontrés (sol nu, végétation, bâti ...) à partir des caractéristiques du signal de retour (Illustration 3). Les données sont ainsi classifiées et formatées selon la spécification de *l'American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (intensité du retour).

L'un des principaux intérêts de ce type d'acquisition est que le faisceau lumineux peut traverser au moins partiellement la canopée, lorsque la végétation n'est pas trop dense, permettant d'obtenir une information de la position du sol après filtrage des mesures.

Mesurant ainsi en continu, le système permet de produire des nuages de points denses, géoréférencés et classifiés le long de sa trajectoire de vol. Des modèles numériques de terrain (MNT) peuvent être ensuite réalisés à partir de ce nuage de points, typiquement de résolution spatiale métrique (X, Y).

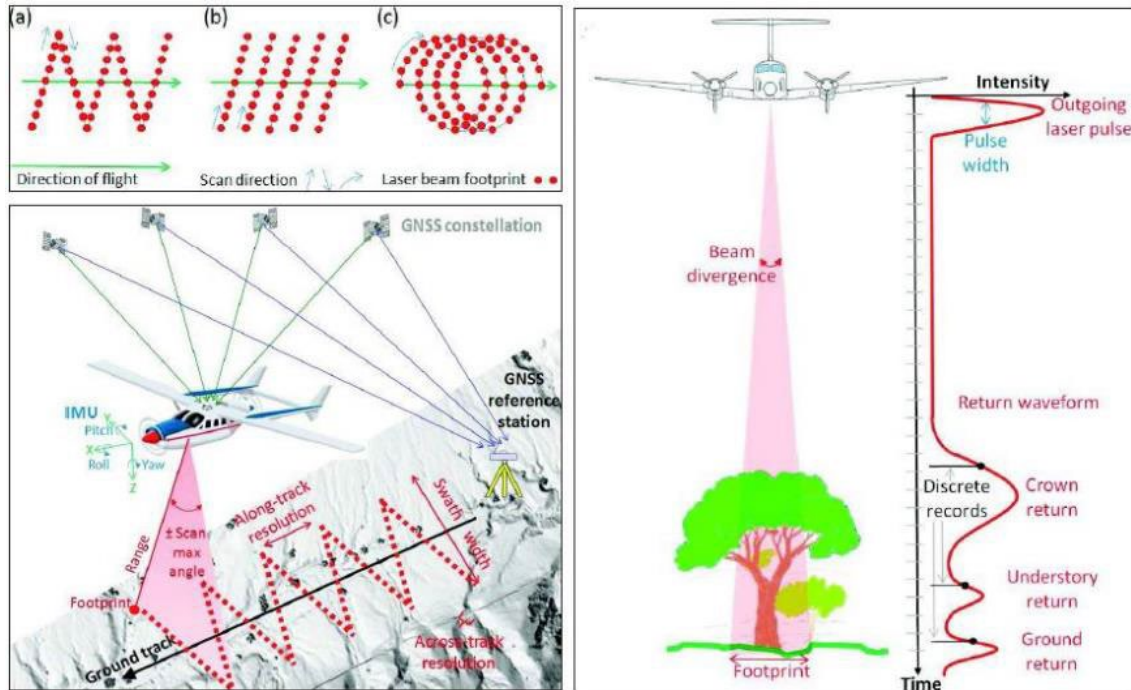


Illustration 3 - Acquisition LiDAR aéroporté (par avion) (source : Fernander-Diaz et al., 2014)

3.1.2. Qualification des millésimes LiDAR

Chaque millésime LiDAR acquis par l'OCNA fait l'objet d'une analyse "qualité" pour estimer la précision (coordonnées X, Y, Z) des MNT de résolution 1 m, constitués à partir des mesures. Cette analyse s'appuie sur plus de 1 000 points de contrôle, levés au DGPS centimétrique, sur des surfaces planes et dures, contrôlées tous les ans. L'analyse "qualité" du dernier millésime de juin 2024 est détaillée dans le rapport Ayache et Fer (2024). Le Tableau 1 synthétise la qualité des 11 millésimes LiDAR de l'OCNA ; celui de juin 2024 a une erreur moyenne altimétrique estimée à 8 cm, ce qui en fait l'un des millésimes les plus précis acquis au cours de la dernière décennie.

Campagnes	Acquisition	Précision Z (m)	Nombre de point minimal au m ²	Résolution du MNT (m)
LiDAR 2011	mai	0,20	8	1
LiDAR 2014	octobre	0,14	8	1
LiDAR 2016	octobre	0,16	8	1
LiDAR 2017	octobre	0,11	8	1
LiDAR 2018	octobre	0,10	12	1
LiDAR 2019	décembre	0,10	16	1
LiDAR 2020	octobre	0,08	16	1
LiDAR 2021	octobre	0,09	16	1
LiDAR 2022	octobre	0,10	16	1
LiDAR 2023	septembre	0,08	16	1
LiDAR 2024	juin	0,08	16	1

Tableau 1 - Caractéristiques et précision des campagnes LiDAR aéroportée de l'OCNA

Les spécifications du levé sont de produire, sur une fenêtre de quelques jours, une mesure continue à marée basse de fort coefficient, avec une emprise de 400 m autour du trait de côte, pour l'ensemble du linéaire côtier régional. On s'assure ainsi de disposer d'une couverture des plages, *a minima* du niveau moyen de la mer au trait de côte, et de l'ensemble du cordon dunaire. De 2014 à 2021, seul le périmètre de l'ex-Aquitaine était mesuré. Depuis 2022, l'ensemble du linéaire de côte sableuse de Nouvelle-Aquitaine, y compris les îles de Ré et d'Oléron est survolé (Illustration 4).

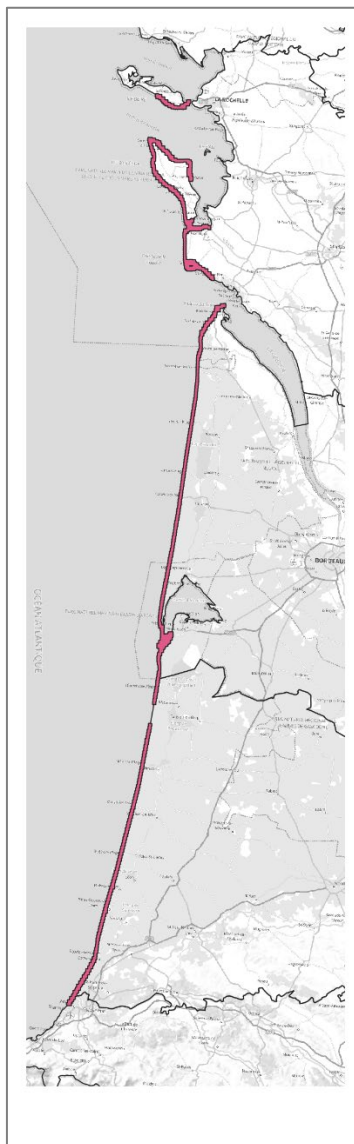


Illustration 4 - Couverture LiDAR de juin 2024 (côte sableuse de Nouvelle-Aquitaine)

3.2. TRAITEMENTS GEOMATIQUES

3.2.1. Bilan sédimentaire littoral

Les données LiDAR, du fait de leurs caractéristiques spécifiques (acquisition précise et continue), permettent l'évaluation des bilans sédimentaires pour de grandes emprises spatiales.

Les bilans sédimentaires ont été réalisés sous SIG à partir du différentiel des modèles numériques de terrain (MNT) de résolution 1 m, de juin 2024 et octobre 2023. L'analyse des erreurs de mesures associées aux

données LiDAR ayant montré une erreur relativement faible, mais surtout l'absence de biais significatif (Ayache et Fer, 2024), on considère que les erreurs associées aux estimations de volumes tendent à se compenser. Ainsi l'incertitude associée aux bilans sédimentaires, bien que non quantifiable directement, peut être considérée comme limitée et non significative au regard de l'ampleur des évolutions morphologiques.

Les bilans sédimentaires sont définis à partir du trait de côte 2023 (pied de dune, défini par photo-interprétation) selon 3 emprises :

- ① un polygone d'une largeur de 100 m, allant du trait de côte au bas de plage (BP),
- ② un polygone d'une largeur de 50 m, allant du trait de côte vers le cordon dunaire correspondant au contact plage - dune (BC),
- ③ un polygone d'une largeur de 400 m, sur le cordon dunaire allant du contact plage - dune vers les terres (BD) (100 m pour les îles de Ré et d'Oléron).

Ces trois emprises (Illustration 5) sont également découpées par sous-cellules sédimentaires et permettent ainsi de décomposer le bilan global par sous-cellules et entités morphologiques : de la plage (BP), du contact plage - dune (BC) et du cordon dunaire (BD). Cette décomposition et son analyse font l'objet de la partie 4 du rapport.

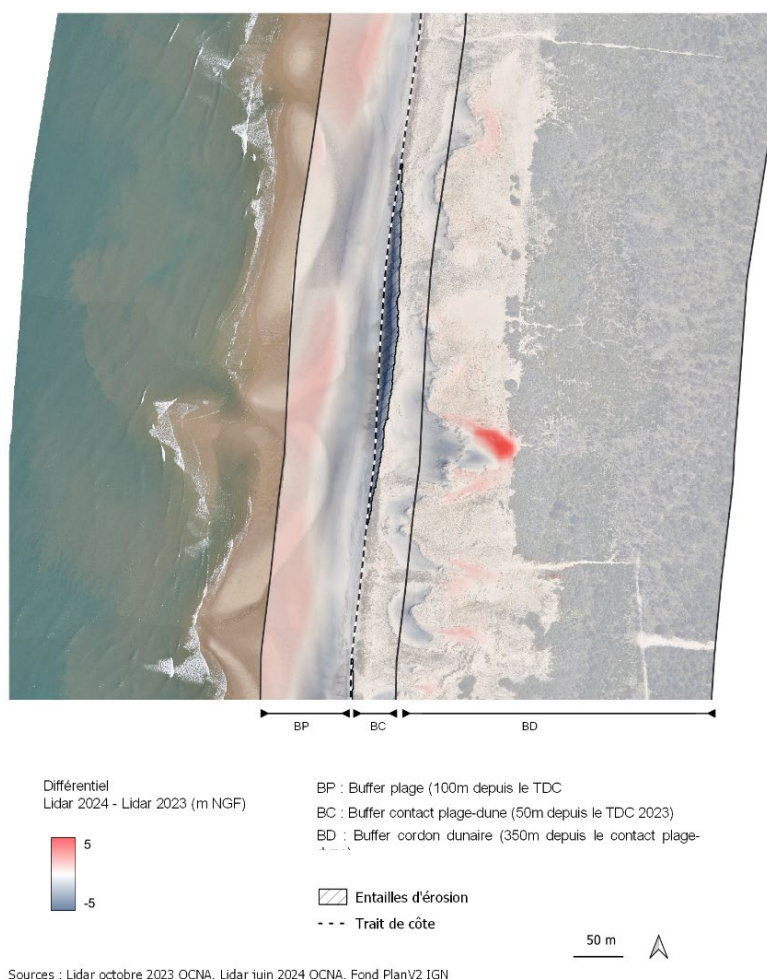


Illustration 5 - Découpage des bandes littorales utilisées pour le calcul des bilans sédimentaires : bande plage (BP), contact plage - dune (BC), cordon dunaire (BD) ; la mention TDC indiquant la position du trait de côte en 2023

3.2.2. Détection automatique des entailles d'érosion marine

Les entailles d'érosion marine correspondent à des érosions marquées le long du trait de côte affectant le cordon dunaire. Elles peuvent être détectées selon une approche géomatique à partir du différentiel entre 2 millésimes LiDAR (Ayache et al., 2018). Après des tests de sensibilité sur les valeurs-seuils à retenir, les différences d'altitude de plus de 1 m et de plus de 3 m sont isolées puis converties en entités (polygones) afin de pouvoir calculer leurs caractéristiques géométriques (surface, longueur, largeur moyenne) et volumétriques (volumes de sable) (cf. Illustration 6).

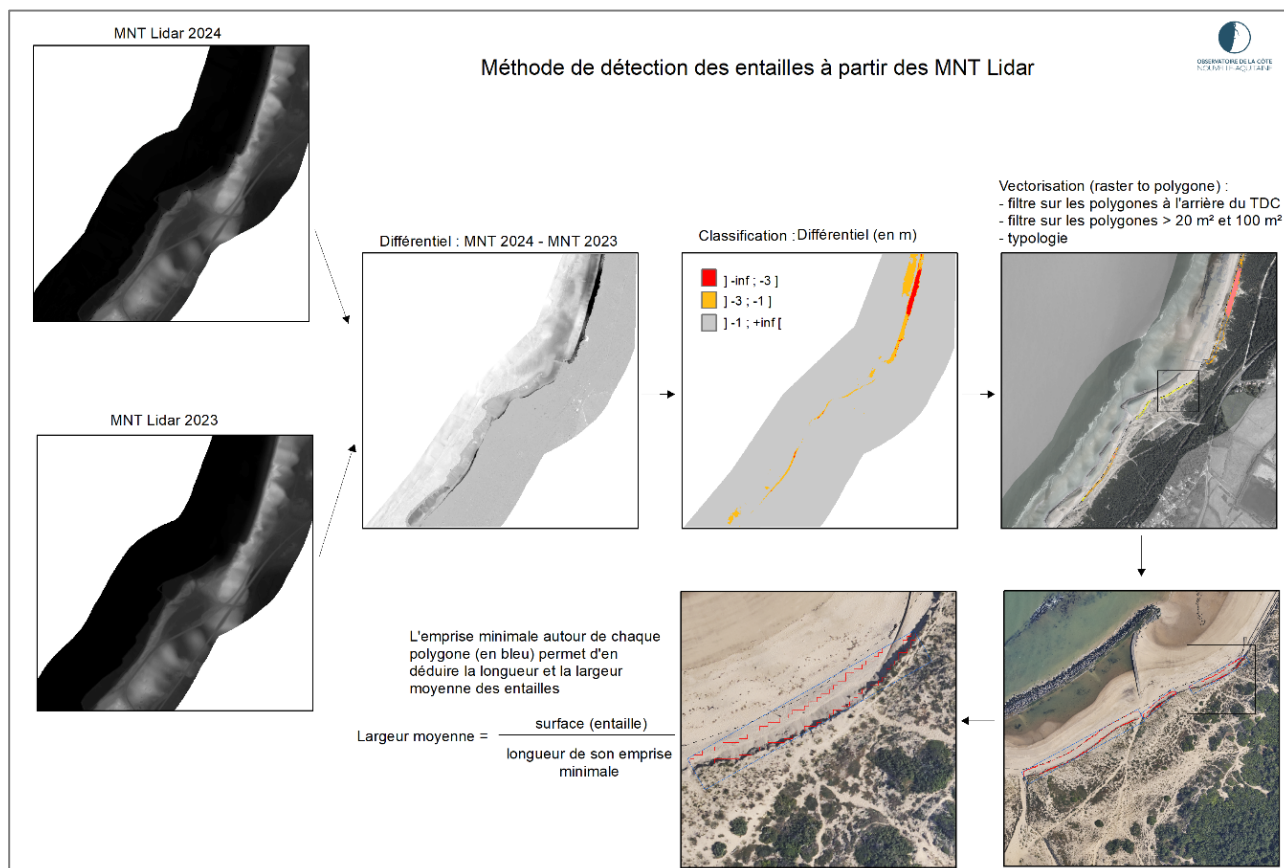


Illustration 6 - Méthode de détection et de filtrage des entailles d'érosion dunaire

Afin de caractériser l'impact de l'hiver 2023-2024, les entailles d'érosion marine ont été extraites à partir du différentiel 2024-2023 et classées en 3 classes d'intensité des impacts :

- modéré : lorsque le différentiel indique des valeurs de -1 m ;
- fort : lorsque au sein des polygones de -1 m, moins de la moitié de la surface présente des valeurs de -3 m ;
- sévère : lorsque au sein des polygones de -1 m, plus de la moitié de la surface présente des valeurs de -3 m.

Afin de ne retenir que des entités d'entaille érosive représentatives à l'échelle de l'étude (approche régionale) et réduire le « bruit » associé à la détection automatique, les entailles « sévères » de moins de 20 m² et les entailles fortes à modérées de moins de 100 m² ont été écartés des traitements et des résultats (Illustration 6, Illustration 7). Ces détections, certes nombreuses, représentent moins de 1% de la surface d'entaille totale et ont donc un impact marginal sur les résultats exposés.

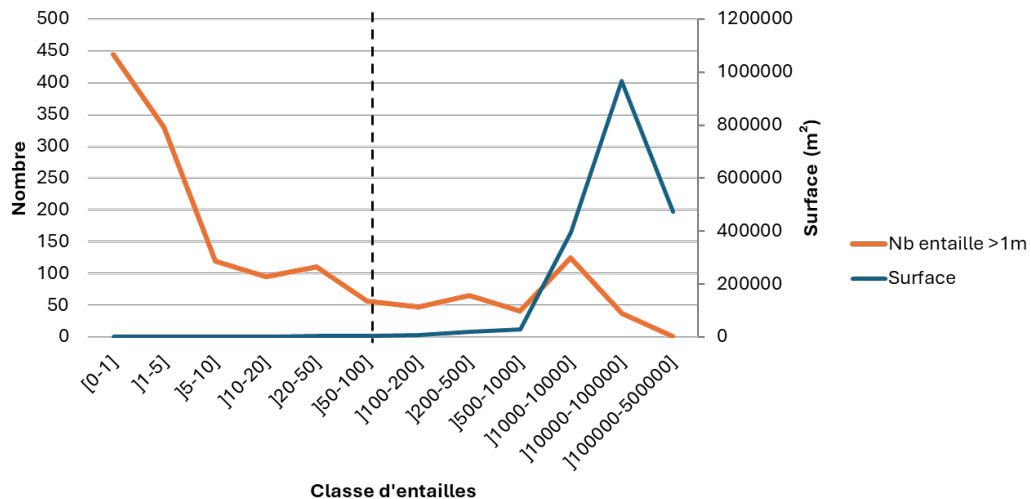


Illustration 7 - Nombre et surface d'entaille détectée par classe : la ligne pointillée délimite les classes retenues (à droite) et les classes écartées (à gauche)

3.2.3. Evolution de la position du trait de côte

Une troisième approche, complémentaire des deux premières, a été utilisée pour évaluer l'impact des conditions marines sur le trait de côte, le long du linéaire côtier de la Nouvelle-Aquitaine. Ici, l'approche retenue consiste à mesurer la différence de positionnement d'un iso-contour topographique (6 m NGF), correspondant approximativement à la hauteur du pied de dune, le long de la côte (cf. Illustration 8, flèche violette). L'analyse statistique des valeurs topographiques relatives aux positionnements du trait de côte, par photo-interprétation, pendant plusieurs années (Ayache et al., 2019), a montré que 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), la valeur de 6 m NGF permettait de décrire les évolutions interannuelles de cette position, à l'échelle régionale, et une quantification objective et intercomparable tout le long de la côte (Nicolae Lerma et al., 2022). L'illustration de l'intérêt de son utilisation, pour caractériser l'ampleur de l'érosion lors des hivers d'intensité différente, est également soulignée dans la partie « Discussion » de ce rapport.

Deux autres indicateurs, ayant servi lors de l'évaluation des impacts post-hiver, sur la base des profils OCNA (Robinet et Bernon, 2024), seront repris ici et commentés dans la partie « Discussion ». Ces deux indicateurs sont la différence à la position du trait de côte de 2023 (déterminé par photo-interprétation) de la hauteur et de la position du profil LiDAR 2024 (cf. Illustration 8, flèches vertes).

Ces descripteurs ont aussi pu être calculés de manière quasi continue le long de ce littoral via un jeu de transects perpendiculaires à la côte et espacés de 10 m les uns des autres.

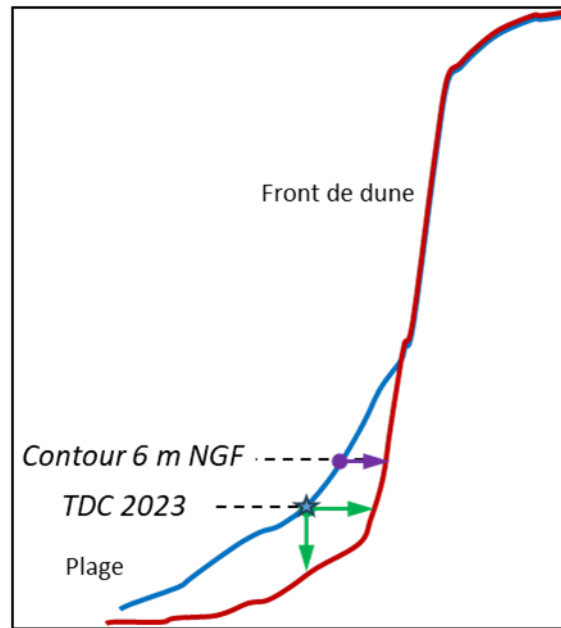


Illustration 8 - Vision en profil et détection des descripteurs associés aux évolutions morphologiques : le profil bleu représente le profil LiDAR d'octobre 2023 et le rouge celui de juin 2024 ; la flèche violette indique le recul de la position « 6 m NGF » et les flèches vertes, les variations horizontale et verticale de la position du trait de côte de 2023

4. Bilan sédimentaire de la bande littorale

Établir le bilan sédimentaire à l'échelle de la bande littorale permet de comprendre et d'évaluer les transferts au regard des évolutions de la morphologie des plages et des dunes. On caractérise ainsi l'érosion marine, mais également l'érosion des fronts dunaires associée à la dynamique éolienne. La méthode proposée permet d'estimer l'érosion marine se produisant sur la plage et le front de dune, l'érosion éolienne se produisant sur le front de dune, et d'évaluer la part des stocks sédimentaires érodés par le vent ayant gagné la partie centrale ou arrière du cordon dunaire. On réalise ainsi des bilans sédimentaires à l'échelle de l'ensemble du linéaire côtier.

On peut constater d'abord que sur l'ensemble de la côte (Tableau 2), les plus importantes évolutions des stocks sédimentaires sont localisées au niveau des plages et traduisent un abaissement généralisé. Au global, sur l'ensemble du littoral considéré, l'érosion des plages représente plus de 14,3 millions de m³. Cette quantité considérable comprend, à la fois les évolutions classiques entre la saison estivale et la saison hivernale (transfert de sable entre la plage et les barres pré-littorales) et l'érosion remarquable associée aux conditions très énergétiques de l'hiver.

Au niveau des dunes, le bilan réalisé, en comparant érosion éolienne du front dunaire et dépôt sur le reste du cordon, montre un bilan équilibré, légèrement excédentaire de + 278 000 m³. Ceci suggère que l'activité éolienne, au-delà d'une remobilisation des stocks au sein de la dune (à hauteur de 4,4 millions de m³) a également permis des transferts de sable entre la plage et la dune et au global, une légère accumulation. Celle-ci ne représente cependant que 2% des volumes érodés sur les plages.

Afin de comparer ces évolutions par cellule sédimentaire et par département, les volumes sédimentaires sont ramenés au linéaire de côte (Tableau 2). Ceci permet de présenter les évolutions en m³/m linéaire. Ainsi, on constate que les plages en Gironde et dans les Landes ont connu des pertes de volumes équivalentes respectivement de -60,5 m³/m et -54,9 m³/m ; en revanche l'érosion au niveau des plages est nettement plus faible en Charente-Maritime et dans les Pyrénées-Atlantiques, avec respectivement des bilans de -8,8 et -6,1 m³/m.

Cellule sédimentaire	Linéaire de côte (m)	Volume brute en m ³					Volume en m ³ /m				
		Plage	Front de dune	Arrière dune	Cordon dunaire	Bilan	Plage	Front de dune	Arrière dune	Cordon dunaire	Bilan
dept 17	112 405,6	-988 541	-947 177	1 025 963	78 786	-909 755	-8,8	-8,4	9,1	0,7	-8,1
dept 33	128 096,4	-7 749 970	-2 720 805	2 277 627	-443 178	-8 193 148	-60,5	-21,2	17,8	-3,5	-64,0
dept 40	100 356,6	-5 512 817	-713 702	1 332 382	618 680	-4 894 137	-54,9	-7,1	13,3	6,2	-48,8
dept 64	3 699,5	-22 407	8 172	15 337	23 508	1 102	-6,1	2,2	4,1	6,4	0,3
Total général	344 558,0	-14 273 734	-4 373 512	4 651 308	277 796	-13 995 938	-41,4	-12,7	13,5	0,8	-40,6

Tableau 2 - Bilan sédimentaire par département

On constate au niveau des dunes, que mis à part en Gironde où le bilan entre érosion du front dunaire et dépôt sur le cordon est légèrement négatif (-3,5 m³/m avec -5,1 et -12,8 m³/m pour la sous-cellule 33-3.1 et 33-3.2 respectivement, voir Annexe 1), pour les autres secteurs du littoral, l'érosion du front dunaire par le vent semble être compensée par des apports éoliens. A noter que ce bilan négatif pour la Gironde cache

une grande disparité le long de la côte : le sud de la Gironde (cellules 33-3.4 et 33-3.5) connaissant des accumulations importantes profitant même à la partie frontale des dunes. L'accumulation au niveau du cordon dunaire est par ailleurs particulièrement notable dans les Landes et les Pyrénées-Atlantiques où elle dépasse 6 m³/m.

Au final, les bilans sont largement déficitaires le long de la côte, mais principalement du fait de l'abaissement considérable des plages et localement de l'érosion marine des fronts dunaires (Illustration 9). Les évolutions sous l'effet du vent ont également pu être massives le long des littoraux de la Côte Sauvage et de la Gironde, mais avec globalement un bilan sédimentaire équilibré au niveau du cordon dunaire.

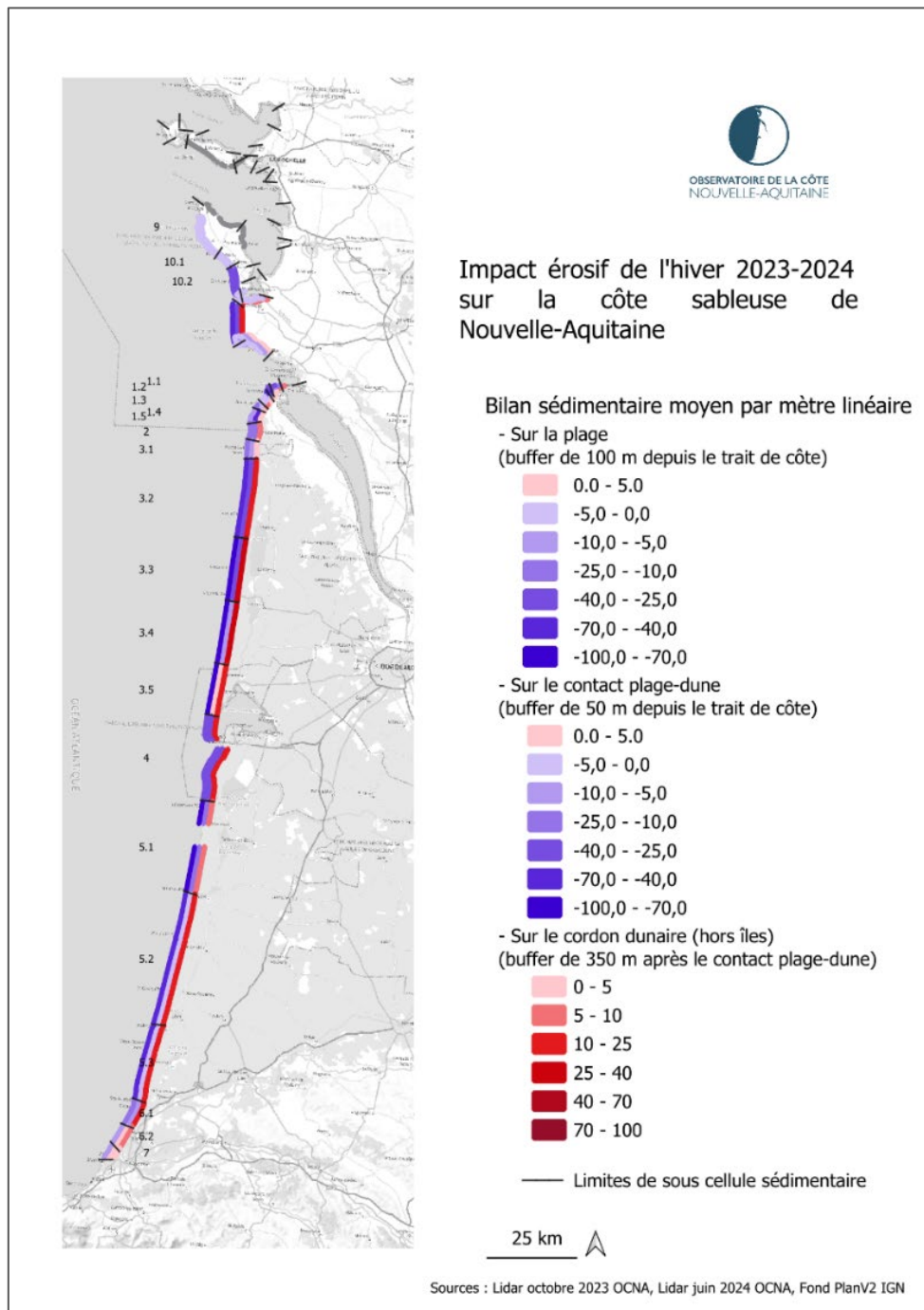


Illustration 9 - Carte des bilans sédimentaires par bandes, de la mer vers la terre : bande plage, bande contact plage-dune, bande cordon dunaire

5. Bilan des entailles d'érosion marine

Comme évoqué dans les précédents rapports de bilan sur l'érosion de l'hiver 2023-2024 (Audère et al., 2024 ; Robinet et Bernon, 2024), l'érosion le long du linéaire régional a été généralisée et a pris la forme d'entailles d'érosion en de nombreux endroits. Sur les côtes sableuses marquées par des systèmes de barres sableuses, l'érosion des dunes lors des tempêtes est le plus souvent caractérisée par des entailles de formes incurvées dites en « coup de cuillère ». Ces formes d'érosion bien connues sur la côte aquitaine peuvent prendre des dimensions de plusieurs centaines de mètres de long et plusieurs mètres à une dizaine de mètres de profondeur, comme ce fut le cas sur l'ensemble de la côte aquitaine lors de l'hiver 2013-2014 (Castelle et al., 2015 ; Nicolae Lerma et al., 2019). La détection automatique de ces morphologies a permis de caractériser 278 entailles au total, avec une répartition le long des côtes de 59 entailles en Charente-Maritime, 139 en Gironde et 40 dans les Landes. Aucune entaille n'a été observée dans les Pyrénées-Atlantiques.

L'illustration 10 montre à la fois la répartition spatiale des entailles d'érosion dunaire, la longueur de trait de côte affectée (longueur) et la profondeur moyenne des entailles (largeur). On peut constater du nord au sud de la côte :

- des entailles nombreuses et importantes en dimension, sur la façade océanique de l'île d'Oléron ;
- des entailles très importantes, positionnées principalement aux extrémités nord et sud de la Côte Sauvage (pointe Espagnole et pointe de la Coubre) ;
- des entailles dont les caractéristiques évoluent graduellement du nord vers le sud, sur la côte girondine, passant de très importantes et nombreuses à plus éparses et de dimensions limitées au sud ;
- des entailles discontinues et aux caractéristiques fortement variables dans les Landes.

En bilan, la carte de l'illustration 10 reprend la classification des types d'entailles de modéré à sévère.

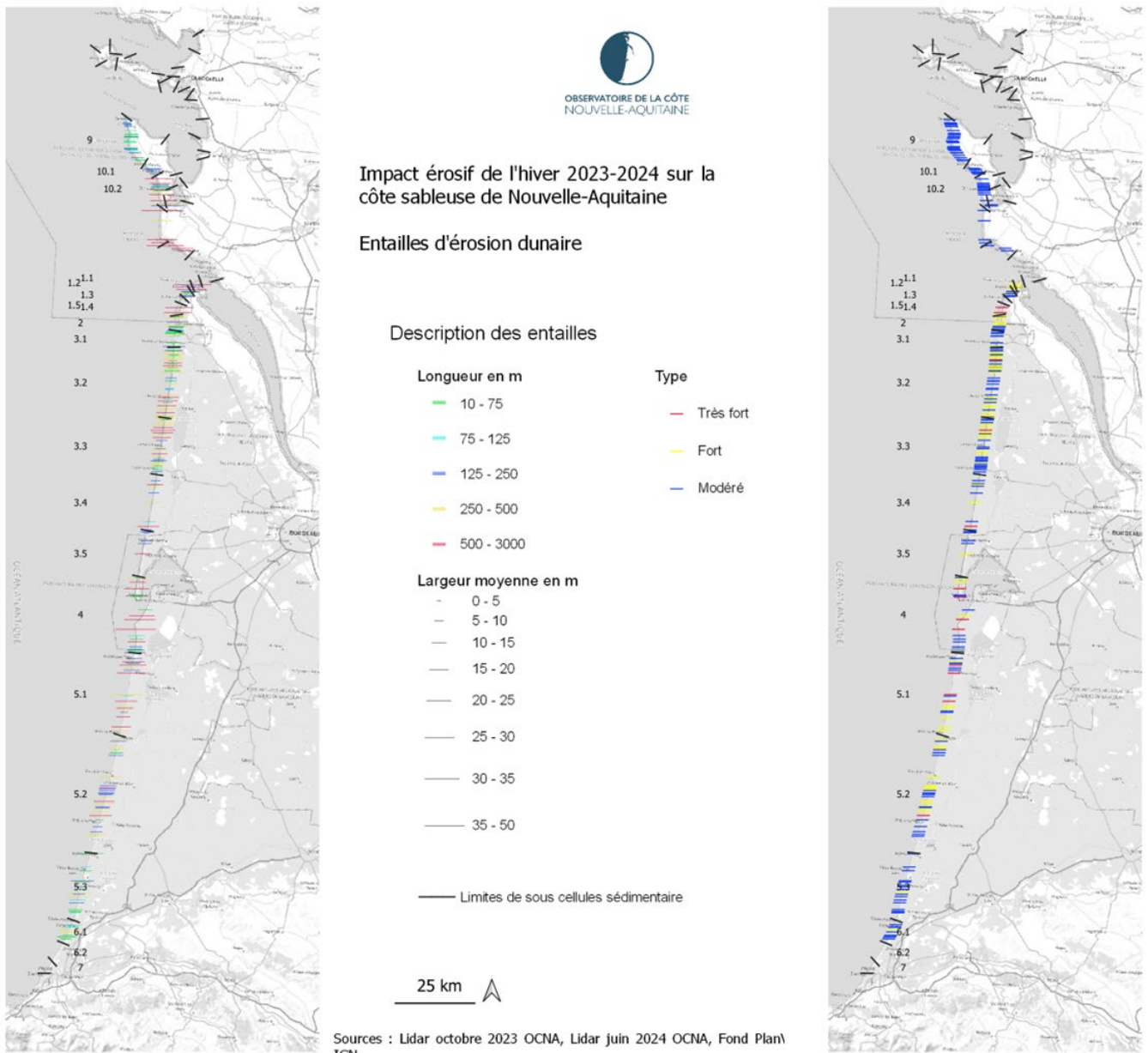


Illustration 10 - Répartition et caractéristiques des entailles d'érosion marine détectées (à gauche) et classification de l'érosion (à droite), lors de l'hiver 2023-2024 en Nouvelle-Aquitaine

Le Tableau 3 et l'illustration 11 ci-dessous donnent les principales dimensions des entailles détectées le long de la côte. Ainsi, on constate que la répartition spatiale du nombre d'entailles ne suit pas celle de la longueur des entailles ou du recul moyen au sein de ces entailles. En effet, on constate que le plus grand nombre d'entailles détectées est au niveau des sous-cellules 17-9, 33-3.2, 40-5.2 alors que les dimensions d'entailles sont maximales au niveau des cellules 17-5 et 33-4.

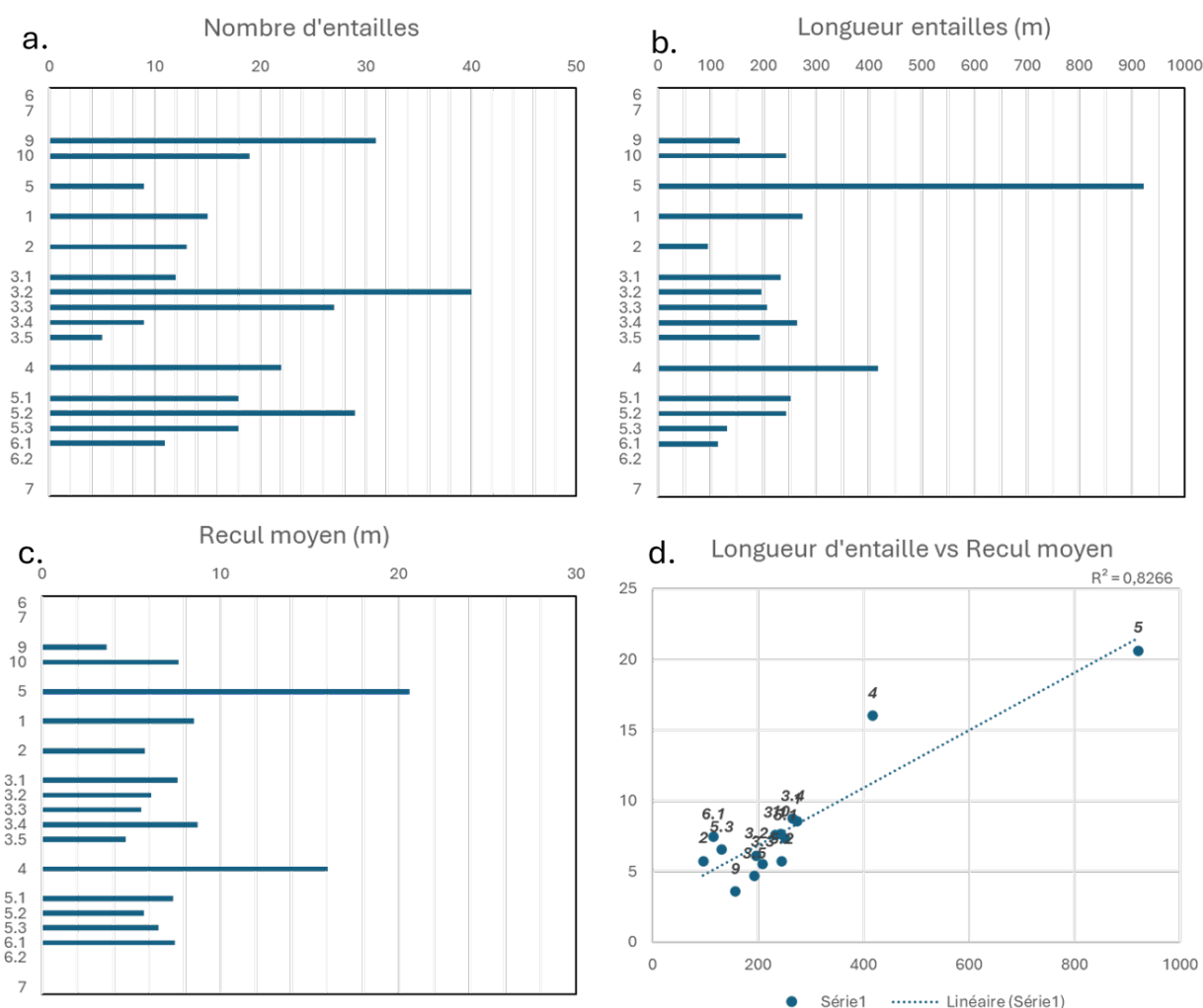


Illustration 11 - Distribution des entailles d'érosion marine et de leurs caractéristiques par cellule sédimentaire : a/ nombre d'entailles, b/ longueur moyenne des entailles, c/ recul moyen au sein des entailles et d/ relation entre longueur et recul moyen au sein des entailles

On note en revanche que, bien qu'il y ait une dispersion importante pour les plus petites entailles, la relation entre longueur des entailles et profondeur moyenne est nette et que ces deux variables évoluent de manière proportionnelle (Illustration 11d.).

Au global, l'ensemble de la côte a été affecté par l'érosion marine sous la forme d'entailles dont les caractéristiques peuvent être variables. Les plus étendues et profondes sont observées à proximité des embouchures (passe de Maumusson, estuaire de la Gironde, passes du Bassin d'Arcachon). Les secteurs les plus affectés en nombre sont le sud de l'île d'Oléron, le secteur entre Hourtin et Carcans, en Gironde, et le secteur entre Contis et Saint-Girons, dans les Landes.

	Cellule sédimentaire	linéaire de côte (m)	Nombre d'entailles	Longueur moyenne d'entailles (m)	Somme longueur d'entaille (m)	Linéaire entaillé (%)	Recul moyen (m)
Dept 17	6	2 943,6	-	-	-	-	-
	7	13 043,3	-	-	-	-	-
	9	13 449,7	31	156,2	4 841,8	36,0	3,6
	10	15 399,5	19	243,0	9 212,5	59,8	7,7
	5	31 345,5	9	922,1	6 455,0	20,6	20,6
	Dept 33	1	1 5816,0	15	274,8	10 993,9	69,5
2		5 329,5	13	95,8	2 970,1	55,7	5,8
3.1		5 509,2	12	232,7	1 274,4	23,1	7,6
3.2		23 598,5	40	197,1	13 603,1	57,6	6,1
3.3		18 959,7	27	208,3	10 208,9	53,8	5,5
3.4		18 795,0	9	265,0	2 970,4	15,8	8,7
3.5		15 441,2	5	193,4	1 353,6	8,8	4,7
4		24 647,3	22	417,4	20 034,5	81,3	16,0
Dept 40		5.1	21 218,8	18	252,0	11 339,6	53,4
	5.2	40 293,0	29	244,5	11 980,2	29,7	5,7
	5.3	23 174,4	18	131,0	2 883,0	12,4	6,5
	6.1	8 569,5	11	115,1	1 381,0	16,1	7,4
	6.2	7 100,9	-	-	-	-	-
Dept 64	7	3 699,5	-	-	-	-	-

Tableau 3 - Caractéristiques des entailles marines par cellules sédimentaires

6. Evolution de la position du trait de côte

La détection des entailles permet une description intéressante de l'intensité locale de l'érosion, mais ne permet pas de disposer d'une vision continue de l'impact "érosion" ; certaines portions littorales ayant subi des reculs plus légers et/ou non détectables sous forme d'entailles.

Afin de fournir une analyse continue de l'érosion/accrétion le long de la côte, l'approche par profils s'avère complémentaire à la détection des entailles et permet de caractériser l'évolution de la position d'un iso-contour, associé ici à la position du trait de côte ; la valeur de 6 m NGF est utilisée. Une rapide discussion sur l'intérêt de l'utilisation de cette valeur d'iso-contour est proposée dans la partie « Discussion ».

L'illustration 12 montre la variabilité des situations le long du littoral. On observe ainsi des situations contrastées avec une érosion maximale du trait de côte, supérieure à 20 m, au sud de l'île d'Oléron et aux extrémités de la Côte Sauvage, et des érosions comprises entre 10 et 20 m dans le nord Médoc, entre Hourtin et Carcans, à la pointe du Cap Ferret, autour de Biscarrosse et au nord de Saint-Girons et Hossegor, dans les Landes.

Si le linéaire de la côte girondine a été quasi totalement affecté par des reculs entre 2 et 5 m, la côte landaise a connu des évolutions nettement plus contrastées pour des secteurs ayant subi de l'accrétion, au niveau des hauts de plage/pied de dune, à des valeurs comprises entre 2 et 5 m et parfois plus de 5 m dans l'extrême sud des Landes.

Les détails des valeurs moyennes de recul et les valeurs maximales par sous-cellules sédimentaires sont présentées dans le Tableau 4. A noter pour les valeurs de recul maximum qu'elles peuvent représenter une érosion très locale, potentiellement peu représentative de l'évolution globale au sein de la cellule sédimentaire.

	Cellule sédimentaire	Recul TDC moyen	Recul TDC max		Cellule sédimentaire	Recul TDC moyen	Recul TDC max
Dept 17	6	0,3	-9,8	Dept 33	3.1	-0,9	-2,9
	7	-1,2	-8,5		3.2	-3,2	-6,0
	9	-0,9	-9,8		3.3	-5,1	-9,5
	10.1	-1,5	-10,0		3.4	-3,0	-10,0
	10.2	-5,2	-27,0		3.5	-3,1	-7,9
	5.1	-2,4	-29,3		4	-5,3	-13,9
	5.2	-3,6	-29,0		5.1	-3,3	-9,9
					5.2	-1,7	-11,8
Dept 33	1	-2,5	-10,0	Dept 40	5.3	-2,5	-19,9
	2	-2,3	-4,0		6.1	-4,7	-9,9
					6.2	-2,4	-13,2
					7	-2,0	-6,2
			Dept 64				

Tableau 4 - Caractéristiques de l'évolution de la position de l'iso-contour 6 m NGF par cellules sédimentaires

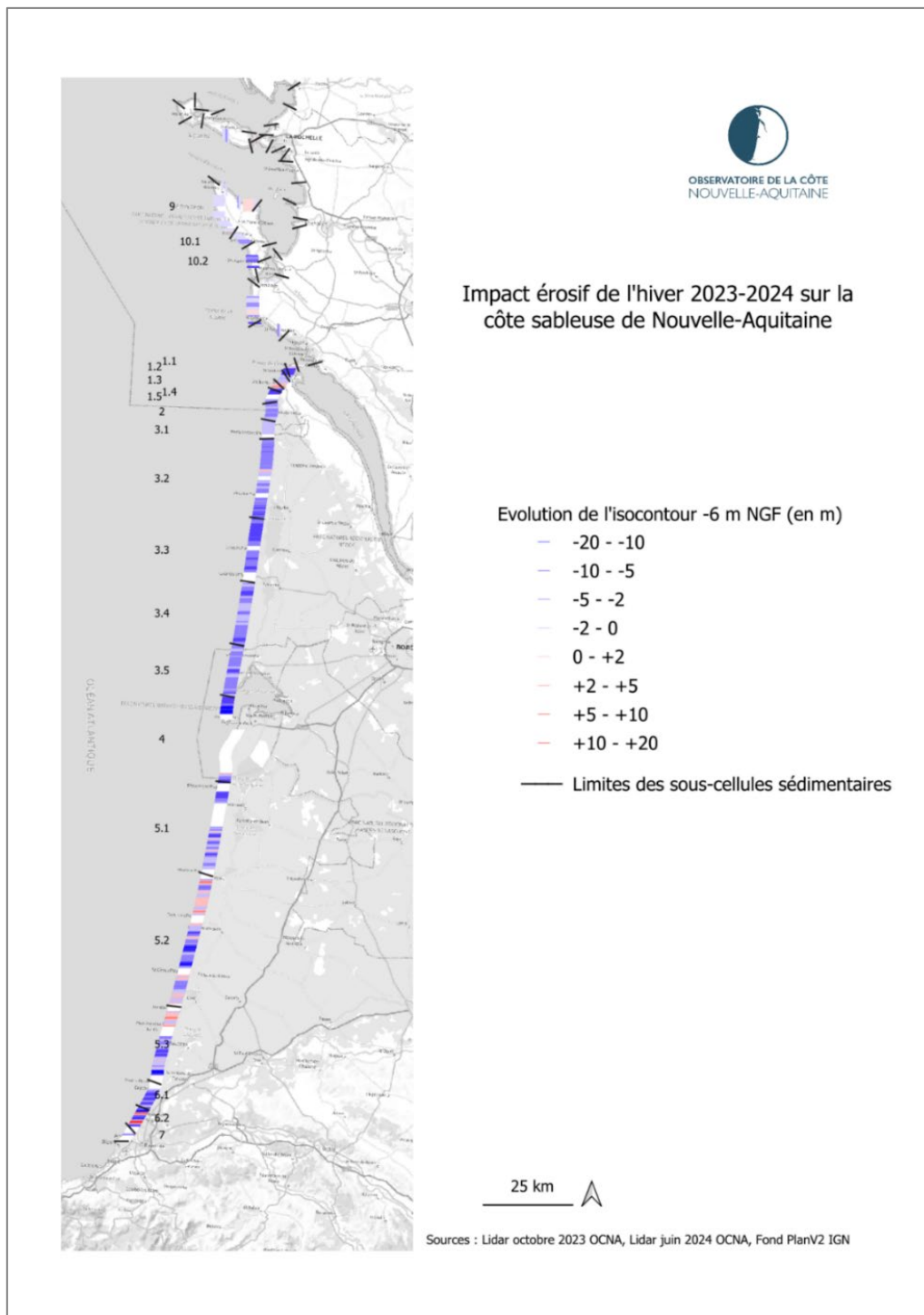


Illustration 12 - Variations de la position de l'iso-contour 6 m NGF, associé à la position du trait de côte, lors de l'hiver 2023-2024 en Nouvelle-Aquitaine (les valeurs sont présentées avec une moyenne glissante sur 1 km pour faciliter la visualisation)

7. Discussion

7.1. EROSION DE L'HIVER 2023-2024 AU REGARD DE LA DERNIERE DECENNIE

Les plages ont donc connu des érosions massives lors de l'hiver 2023-2024 avec, en de nombreuses localisations, des reculs du pied de dune. On propose ici de mettre en perspective ces impacts par rapport aux évolutions connues sur le littoral de Gironde et des Landes, au cours de la dernière décennie et en particulier au regard des impacts de l'hiver 2013-2014. Cette analyse n'a pas pu être réalisée sur le linéaire de Charente-Maritime pour lequel les suivis LiDAR, réalisés par l'OCNA, ne datent que de 2022. Afin de comparer les impacts de l'hiver 2023-2024 aux hivers précédents, les données LiDAR de l'OCNA pour la période 2011-2023 (10 campagnes) ont été analysées dans le but d'extraire la position de l'iso-contour 6 m NGF (Δ 6m).

L'illustration 13 permet de constater que l'hiver 2023-2024 a eu le plus gros impact sur la position du trait de côte depuis l'hiver 2013-2014, le long des deux départements de la Gironde et des Landes.

En proportion, ce recul (en profondeur) est de l'ordre de 34% et 45% de celui qui avait été observé après l'hiver 2013-2014 respectivement en Gironde et dans les Landes. On note également que, au cours de la période 2014-2023, la position moyenne du trait de côte a progressivement avancé de plusieurs mètres, du fait de la constitution progressive de nombreuses avant-dunes, le long de la côte pendant ces 10 ans. Ainsi, 49% du recul observé à l'issue de l'hiver 2013-2014 avait été compensé en Gironde et 92% dans les Landes. Après l'hiver 2023-2024, la position est toujours en avancée par rapport à celle de 2014, mais après cette nouvelle érosion, la récupération n'est plus que de 15% par rapport à la position de 2014 en Gironde et 54% dans les Landes.

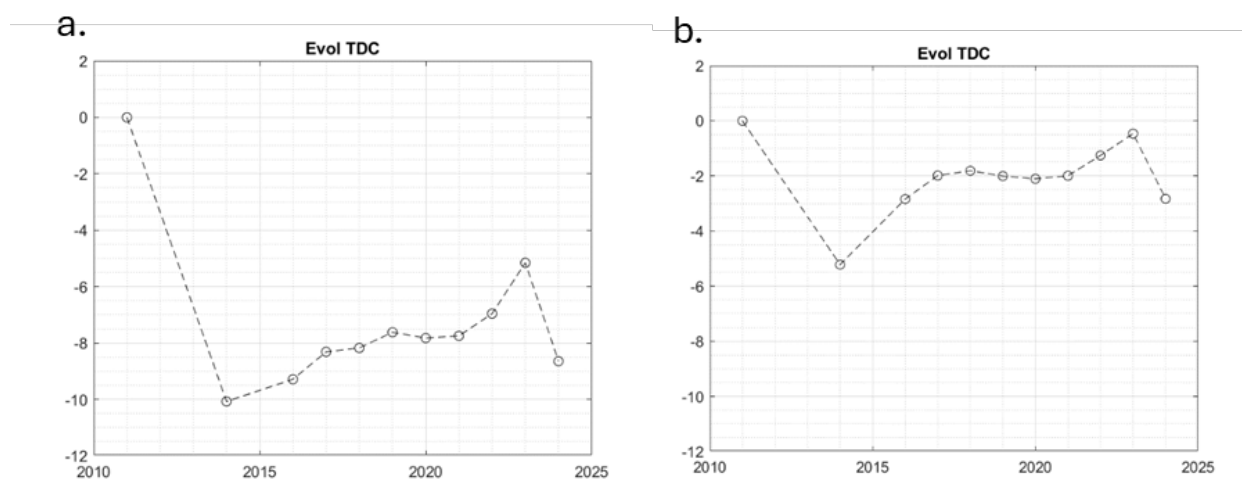


Illustration 13 - Evolution de la position de l'iso-contour 6 m NGF le long (a.) de la côte girondine et (b.) de la côte landaise

Afin de caractériser plus en détail l'impact de l'hiver le long de la côte, les évolutions d'iso-contours supplémentaires sont représentées en Illustration 14. On peut observer, pour le littoral de Gironde, que contrairement à l'érosion lors de l'hiver 2013-2014, qui avait massivement affecté l'ensemble des fronts dunaires incluant les plages (iso-contours inférieurs à 6 m NGF), les pieds de dune (6 m NGF) et les fronts dunaires (iso-contours supérieurs à 6 m NGF), le recul lors de l'hiver 2023-2024 a principalement affecté les plages et plus modérément les fronts dunaires. C'est également le cas pour le littoral des Landes, en des proportions inférieures. Cette illustration montre ainsi des impacts en 2013-2014 et 2023-2024 de typologie assez différente. L'hiver 2013-2014 a en moyenne affecté l'ensemble de l'interface plage-dune,

alors que l'hiver 2023-2024 a eu des impacts plutôt cantonnés aux hauts de plage et plus localement aux fronts de dune. Enfin, cette représentation suggère que l'utilisation de l'iso-contour 6 m NGF permet de représenter de manière pertinente les évolutions de l'interface plage-dune pour ces deux hivers et de prendre en compte la variabilité spatiale des atteintes au trait de côte, le long de la côte.

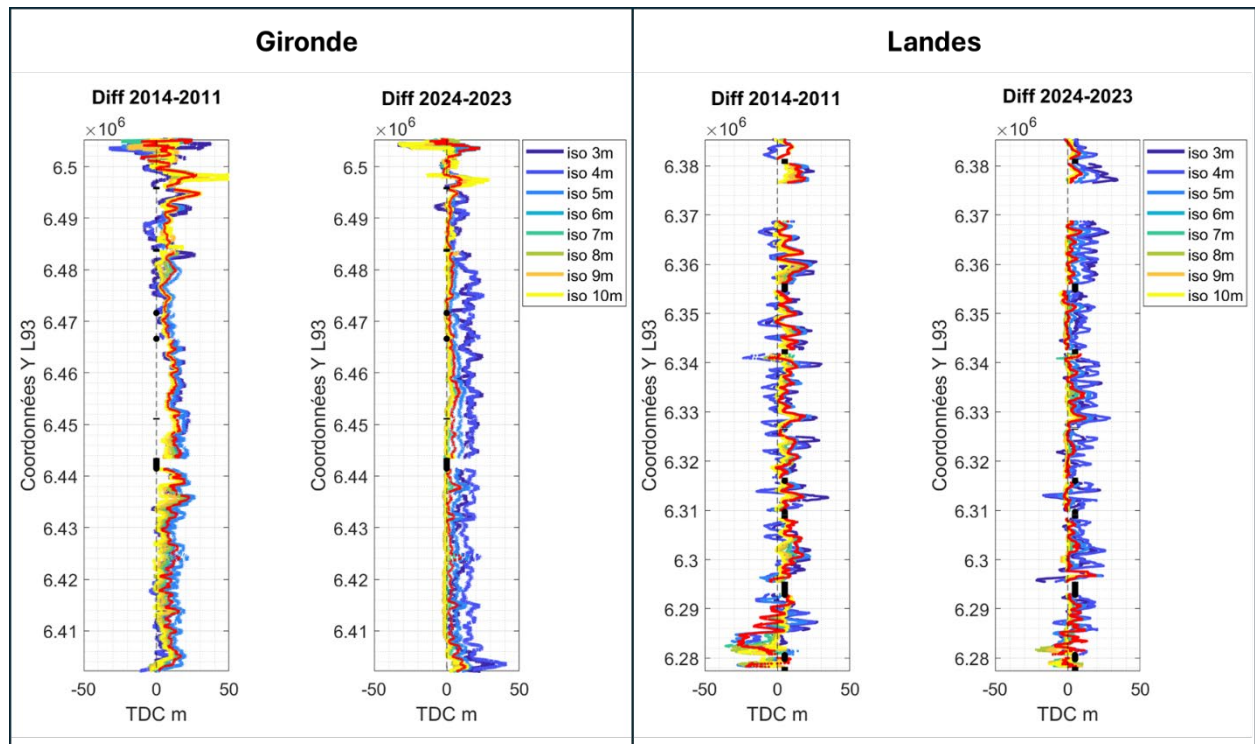


Illustration 14 - Evolutions de la position des iso-contours 3 m NGF à 10 m NGF le long des côtes girondine (à gauche), landaise (à droite), avec souligné en rouge l'iso-contour 6 m NGF ; pour chaque panel, le graphique illustre la différence de position après l'hiver 2013-2014 et l'hiver 2023-2024 respectivement à gauche et à droite

7.2. ENSEIGNEMENT ISSU DE L'EXPLOITATION DES DONNEES LIDAR PAR RAPPORT AUX LEVES DE TERRAIN

7.2.1. Lien avec les indicateurs d'érosion du Réseau tempêtes

La comparaison des profils DGPS de l'OCNA, levés au printemps 2024 sur la côte sableuse de la Gironde et des Landes, avec le LiDAR OCNA de l'automne 2023 avait permis de fournir des premières estimations des variations planimétriques (reculs/avancées) et altimétriques (abaissements/élevations), observées au cours de l'hiver 2023-2024 quant à la position du trait de côte (position pré-hiver d'octobre 2023). L'ensemble de cette analyse peut être retrouvé dans le rapport Robinet et Bernon (2024). Grâce à l'acquisition du levé LiDAR OCNA de juin 2024, le calcul de ces deux descripteurs (Illustration 8) a pu être étendu à la majeure partie des côtes sableuses de Charente-Maritime (secteur sud de l'île de Ré, de l'île d'Oléron, de la Tremblade à Saint-Palais-sur-Mer ; Illustration 15).

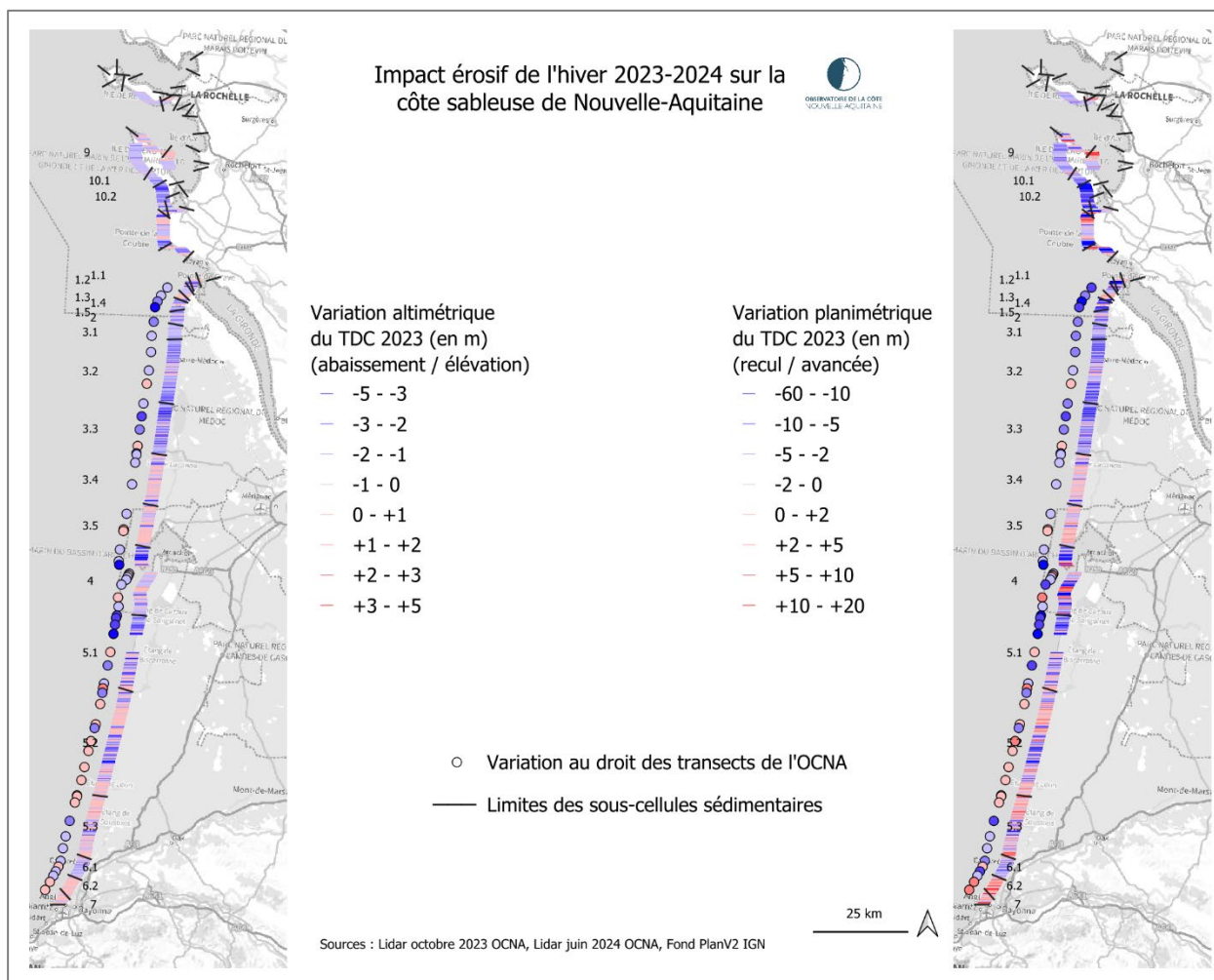


Illustration 15 - Variations altimétrique (gauche) et planimétrique (droite) du profil de plage, au niveau du trait de côte pré-hiver, au cours de l'hiver 2023-2024 : les couleurs bleues indiquent des reculs ou abaissements du profil, tandis que les couleurs rouges indiquent des avancées ou des élévations du profil

L'illustration 8 montre d'abord que l'analyse basée sur les profils DGPS OCNA permet de rendre compte d'une part importante de la variabilité spatiale des deux descripteurs d'évolution du trait de côte. En effet, les variations planimétriques et altimétriques du profil de plage au niveau de la position du trait de côte d'octobre 2023, calculées à partir des profils DGPS post-hiver, sont en général en bonne adéquation avec celles calculées à partir du LiDAR post-hiver (juin 2024). L'analyse basée sur les profils DGPS OCNA a notamment permis d'identifier, dès la fin du printemps 2024, la majeure partie des communes de Gironde et des Landes ayant été fortement impactées par l'érosion marine au cours de l'hiver 2023-2024 (e.g. Soulac-sur-Mer, Carcans, Lège-Cap Ferret, Biscarrosse). La comparaison visuelle avec les autres descripteurs présentés dans ce rapport montre également une très bonne concordance entre l'intensité des reculs et des abaissements du profil de plage, au niveau du trait de côte pré-hiver, et l'intensité des entailles d'érosion marine (Illustration 11) ou les reculs de la position de l'iso-contour 6 m (Illustration 12).

Ces nouvelles données mettent ainsi en évidence la capacité de l'analyse basée sur les profils DGPS (i.e. en fin de printemps) à fournir une évaluation quantitative de l'impact de la période hivernale. Il convient toutefois de rappeler que le protocole d'acquisition de la campagne DGPS printanière de l'OCNA n'a pas pour vocation de fournir une vision exhaustive des impacts événementiels durant l'hiver. Sa vocation première est de fournir un suivi de long terme, permettant de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des évolutions du profil "plage-dune", à l'échelle spatiale des cellules sédimentaires, et

temporelle, de pluriannuelle à pluri-décennale (Nicolae Lerma et al., 2022). En effet, le nombre et l'espacement des profils par rapport aux modalités de l'érosion le long de la côte sableuse (érosion discontinue sous forme d'entailles) peut être de nature à ne restituer que partiellement la variabilité des impacts à l'échelle de la Gironde et des Landes (Tableau 5). Il apparaît que les valeurs maximales de recul, d'avancée et d'élévation du profil de plage, au niveau du trait de côte pré-hiver, peuvent être sous-estimées. A titre d'exemple, l'analyse basée sur les profils DGPS post-hiver indique un recul maximal de l'ordre de 18,6 m, alors que l'analyse basée sur le LiDAR post-hiver montre un recul très ponctuel au niveau de la plage de La Salie Nord de 53,6 m. Localement, les évolutions calculées à partir des données DGPS post-hiver peuvent parfois ne pas refléter les évolutions observées dans les secteurs proches des transects OCNA. Cette limite à l'extrapolation spatiale s'illustre au niveau de la commune de Vielle-Saint-Girons dans le Centre Landes, où l'analyse des profils DGPS post-hiver montre une légère avancée du profil de plage au droit de deux transects OCNA, alors que de part et d'autre l'analyse basée sur le LiDAR post-hiver révèle l'existence de reculs à des valeurs supérieures à 5 m.

	Recul maximal (m)	Avancée maximale (m)	Abaissement maximal (m)	Élévation maximale (m)
Profils DGPS post-hiver	18,6	4,2	4,4	1,1
LiDAR post-hiver	53,6	15,0	3,9	2,3

Tableau 5 - Valeurs maximales du recul/avancée et de l'abaissement/élévation du profil de plage au niveau du trait de côte pré-hiver, à l'échelle de la Gironde et des Landes, en fonction du type de données utilisées pour l'analyse

Malgré certaines fragilités d'abord dues au protocole d'acquisition, non dédié initialement à la détection des reculs "post-événement" de tempête, l'exploitation de ces deux descripteurs dans le cadre du Réseau tempêtes est pertinente pour localiser, en fin d'hiver, des secteurs impactés par l'érosion marine et fournir des premiers éléments quantitatifs. Bien que le calcul de ces descripteurs à partir des profils DGPS OCNA ne permet pas d'obtenir une cartographie complète (e.g. pas de transect OCNA en Charente-Maritime) et continue (transects OCNA espacés les uns des autres de plusieurs kilomètres), il permet d'obtenir des valeurs précises de recul du trait de côte en de nombreux secteurs clés des côtes girondine et landaise. Les levés des entailles d'érosion marine, identifiées sur le terrain, en cours d'hiver, par les agents de l'ONF, sont alors complémentaires pour localiser les secteurs en érosion de manière plus exhaustive.

7.2.2. Lien avec le recensement au cours de l'hiver des entailles d'érosion

Le suivi des entailles d'érosion marine est réalisé par les équipes de l'ONF, chaque année au cours de l'hiver, le long de l'ensemble du linéaire sableux de l'ex-Aquitaine et de la Charente-Maritime. Lors de ce suivi, les entailles d'érosion marine sont définies comme des encoches dans le pied du versant externe du cordon dunaire, attribuées à des érosions marines survenant lors d'événements tempétueux ou lors de la conjonction de fortes houles et de forts coefficients de marée. Sur le terrain, la localisation de ces entailles est réalisée à partir d'un terminal de saisie avec un GPS et plusieurs renseignements à propos de chaque entaille sont notés tels que (Audère et al., 2024) :

- ① jour/mois/année de l'observation ;
- ① jour/mois/année de l'érosion marine relevée ;
- ① profondeur maximale de l'entaille d'érosion marine (estimation à dire d'expert du recul observé) ;
- ① hauteur maximale de la falaise créée par l'entaille d'érosion marine (estimation à dire d'expert de la hauteur de falaise) ;
- ① présence d'affleurement en pied de dune au droit de l'entaille d'érosion marine ;

- ① présence d'écoulement en pied de dune au droit de l'entaille d'érosion marine ;
- ① commentaires et précisions si nécessaire.

Les levés sont répétés après chaque évènement impactant. Un même secteur d'entaille peut ainsi cumuler la répétition de plusieurs reculs.

À des fins de comparaison du nombre d'entailles repérées sur le terrain par rapport au nombre d'entailles détectées automatiquement par SIG sur la base des données LiDAR, plusieurs indicateurs sont mis en perspective.

Selon les relevés de terrain, un total cumulé (indicateur linéaire d'entailles cumulées de l'ONF) de 181,46 kilomètres de linéaire côtier ont été impactés par l'érosion marine et décrits comme « entaillés ». Cela représente 51,85% du linéaire total. L'évaluation basée sur les données LiDAR a détecté 25,3% de linéaire entaillé (Tableau 6).

Cellule sédimentaire	Linéaire de côte (m)	Nombre d'entailles	Longueur moyenne d'entaille (m)	Somme longueur d'entaille (m)	Linéaire entaillé (%)	Recul moyen (m)
dept 17	112 405,6	59,0	356,5	21 032,2	18,7	8,4
dept 33	128 096,4	139,0	231,4	43 411,8	33,9	8,0
dept 40	100 356,6	80,0	215,5	22 741,0	22,7	6,6
dept 64	3 699,5	-	-	-	-	-
Total général	344 558,0	278,0	243,0	87 185,1	25,3	7,5

Tableau 6 - Caractéristiques des entailles dunaires par département

Selon les relevés de terrain, le linéaire moyen impacté (toutes entailles confondues) est de 519 m. La détection automatique indique une longueur moyenne de 243 m.

Pour ces deux indicateurs, l'évaluation de terrain donne des valeurs globalement deux fois plus importantes que la méthode de détection automatique. On retrouve cependant la grande caractéristique de répartition des longueurs moyennes d'entailles de dimensions maximales en Charente-Maritime, suivie par la Gironde puis les Landes. De plus, si on se réfère à la localisation des plus fortes concentrations d'entailles et à leurs dimensions, les mêmes secteurs sont mis en évidence par les levés de terrain et la détection automatique, comme ayant subi les plus forts impacts le long de la côte au cours de l'hiver (i.e. sud de l'île d'Oléron, pointe Espagnole, Nord Médoc, secteur de Hourtin à Carcans, pointe du Cap Ferret, secteur de Biscarrosse, secteur de Contis à Saint-Girons). Ainsi, bien que les méthodes de détection soient différentes et donnent des bilans quantifiés différents, la répartition spatiale apparaît très cohérente.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences importantes d'évaluation entre les deux méthodes :

- ① La détection automatique ne prend pas en compte le secteur de l'île de Ré, car la méthode s'applique mal aux cordons dunaires de petite dimension.
- ① Le seuil de détection de la détection automatique (variation d'altitude supérieure à 1 m) est relativement élevé, ce qui ne permet pas de détecter les plus petites falaises d'érosion qui pourrait être identifiées sur le terrain. Cependant ce différentiel est nécessaire pour éviter les fausses détections.
- ① Lors de la détection sur le terrain, lorsque des entailles successives sont proches, le linéaire inter-entaille peut être intégré dans le recensement.
- ① Les dates de levés peuvent jouer un rôle important, l'acquisition LiDAR a eu lieu début juin, après un printemps très clément en termes de conditions de houle. Ces conditions post-hiver ont induit, en

de nombreux endroits, des reconstructions rapides des stocks de sable en haut de plage. Cette évolution est susceptible de masquer des entailles de dimensions modérées qui avaient été relevées sur le terrain lors de l'hiver. La détection automatique permet ainsi la détection des entailles associées aux impacts persistants à long terme (saisons voire années).

Une dernière comparaison entre les évaluations peut être envisagée à propos de la profondeur d'entaille moyenne. Les profondeurs d'entailles moyennes présentent moins de cohérence que la largeur puisque contrairement aux levés de terrain qui évoquent des entailles plus profondes dans les Landes, c'est la partie du linéaire (hors département 64) où les entailles sont en moyenne les moins profondes selon les données LiDAR. Par ailleurs, à l'inverse de la longueur d'entaille, qui est toujours supérieure sur les levés de terrain, la profondeur d'entaille évaluée sur le terrain est toujours inférieure à l'analyse des données LiDAR.

Cette différence traduit la difficulté d'une évaluation qualitative de la profondeur de recul sur le terrain, d'autant plus lorsqu'un même secteur a subi plusieurs érosions successives. Comme spécifié dans le rapport Audère et al. (2024), la profondeur des entailles d'érosion marine est une estimation du recul du trait de côte, définie à dire d'expert. Cette estimation ne vaut en aucun cas un relevé du trait de côte (généralement réalisé avec une précision centimétrique via des relevés DGPS), mais apporte un premier niveau d'information essentiel sur des ordres de grandeur qu'il conviendra de préciser dans un second temps à l'endroit de sites ponctuels. Malgré ces limites, cette information de terrain reste importante, et constitue un diagnostic à chaud très précieux pour informer en continu durant l'hiver sur les conséquences des tempêtes ou pour d'éventuelle action de gestion de crise.

Pour conclure, il existe une bonne cohérence sur la longueur des entailles, bien que les critères de détection sur le terrain et à partir de la détection automatique conduisent globalement à des chiffres deux fois supérieurs sur le terrain. On peut ajouter, en consultant les cartes de localisation des entailles, qu'elles délimitent les mêmes secteurs, en l'occurrence ceux qui ont subi les plus forts impacts au cours de l'hiver (e.g. sud de l'île d'Oléron, pointe Espagnole, Nord Médoc, secteur de Hourtin à Carcans, pointe du Cap Ferret, secteur de Biscarrosse, secteur de Contis à Saint-Girons). Ainsi, les deux types d'informations sont complémentaires pour caractériser les impacts des tempêtes. Elles permettent :

- par les observations de terrain, un diagnostic post-événement d'une grande réactivité, au cours de l'hiver ;
- par le traitement de données LiDAR post-hiver, là où les impacts ont été les plus significatifs et où les marques d'érosion sont durables, l'établissement de bilans sédimentaires et de quantifications des reculs via différents indicateurs.

8. Conclusions

À partir de l'analyse des données LiDAR, acquises en juin 2024 (en situation post-hiver), et en comparant l'état morphologique de la bande côtière avec les données acquises en octobre 2023, une quantification des impacts morphologiques de l'hiver 2023-2024 a été réalisée. Il en ressort comme points principaux que :

- les bilans sédimentaires sont largement déficitaires le long de la côte, mais principalement du fait de l'abaissement considérable des plages et plus localement de l'érosion marine des fronts dunaires. Les évolutions sous l'effet du vent ont également pu être massives le long des littoraux de la Côte Sauvage et de la Gironde, mais avec globalement un bilan sédimentaire équilibré au niveau du cordon dunaire (transfert de sable de la face marine des dunes vers le sommet ou le revers de dune).
- l'ensemble du linéaire côtier a été affecté par l'érosion marine sous la forme d'entailles dont les caractéristiques peuvent être variables. Les plus étendues et profondes sont observées à proximité des embouchures (passe de Maumusson, estuaire de la Gironde, passes du Bassin d'Arcachon). Les secteurs les plus affectés en nombre sont le sud de l'île d'Oléron, le secteur entre Hourtin et Carcans, en Gironde, et le secteur entre Contis et Saint-Girons dans les Landes.
- si le linéaire de la côte girondine a été quasi totalement affecté par des reculs entre 2 et 5 m, la côte landaise a connu des évolutions nettement plus contrastées avec des secteurs ayant connu localement de l'accrétion au niveau des hauts de plage/pied de dune, à des valeurs comprises entre 2 et 5 m, si on se réfère à l'iso-contour 6 m NGF. En moyenne, le recul le long de la Côte Sauvage est de -2,2 m, de -3,5 m pour la côte girondine et de -2,6 m dans les Landes.

L'érosion du trait de côte lors de l'hiver 2023-2024 est largement inférieure à celle subie lors de l'hiver 2013-2014. Elle représente 34% des érosions subies en 2013-2014 en Gironde et 45% de celles subies dans les Landes. L'impact de l'hiver 2023-2024 a tout de même été très significatif, intervenant après une décennie de relative stabilité (mis à part pour des secteurs adjacents aux embouchures de Maumusson, de l'estuaire de la Gironde ou des passes du Bassin d'Arcachon). Les reculs observés sur les côtes directement exposées aux vagues sont ainsi les plus importants depuis 2013-2014.

La mobilisation des opérateurs techniques de l'OCNA (ONF et BRGM) a permis au travers des différents dispositifs en place (relevés de terrain des entailles dunaires, bilan des conditions hivernales du Réseau tempêtes, acquisition de mesures LiDAR exceptionnelles) de fournir une analyse de l'impact en termes d'érosion et d'évolution morphologique de l'état des plages et des dunes. Disposer de ces différentes données et analyses permet de montrer la complémentarité des outils de diagnostic mis en place par l'OCNA à la fois pendant l'hiver, directement en fin d'hiver puis *a posteriori* de manière quantitative et par rapport au suivi réalisé sur l'impact à long terme. Cette analyse montre la pertinence de la stratégie d'acquisition de données, portée par l'OCNA, et l'intérêt de poursuivre ces acquisitions. Les levés actuels en cours d'hiver par l'ONF (levé d'entailles d'érosion marine) et en post-hiver par le BRGM (profils DGPS) permettent d'obtenir une vision assez précise des zones impactées par l'érosion marine et de quantifier les reculs du profil de plage-dune, en quelques points clés de la côte girondine et landaise. Cependant, ils ne permettent pas de capturer toute la diversité des impacts. Cette étude démontre l'intérêt de dresser un bilan quantifié à l'échelle régionale de l'impact d'un hiver énergétique, tel que celui de 2023 et 2024, à partir de données LiDAR. Cette analyse permet de renseigner les acteurs de la gestion du littoral, à toutes les échelles, sur les impacts, de façon objective et exhaustive.

Enfin, l'acquisition de ce levé LiDAR en juin 2024 a permis à l'OCNA de renforcer son positionnement comme producteur de données-socles pour les thématiques littorales aux services des gestionnaires et scientifiques du littoral de Nouvelle-Aquitaine, grâce à un partenariat réactif et souple et à la mutualisation

de moyens à l'échelle régionale. Une telle donnée permet pour la première fois de quantifier précisément l'impact érosif d'un hiver, parmi les plus intenses en termes de forçages météo-marins, au cours de ces dernières années. Cette donnée, à disposition de tous, pourra notamment servir de base à l'amélioration des dispositifs de prévision de l'aléa "érosion" à l'échelle des tempêtes.

9. Bibliographie

Audère M., Boulet D., Destribats B. (2024) - Suivi des entailles d'érosion marine, synthèse annuelle - campagne 2024 (octobre 2023 - juin 2024), version finale du 31/05/2024.

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.

Ayache B., Fer M. (2024) - Avis technique relatif à la qualité du lidar et de l'orthophotographie printanier 2024, acquis dans le cadre de l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine. Rapport final. BRGM/RP-74032-FR.

Castelle, B., Marieu, V., Bujan, S., Splinter, K. D., Robinet, A., Sénéchal, N., & Ferreira, S. (2015) - Impact of the winter 2013–2014 series of severe Western Europe storms on a double-barred sandy coast: Beach and dune erosion and megacusp embayments. *Geomorphology*, 238, 135-148. Nicolae Lerma et al., 2019

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*, 189, 103974.

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.

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

Annexe 1- Bilans sédimentaires par sous-cellules sédimentaires

Cellule sédimentaire	Linéaire de côte (m)	Volume brute en m ³					Volume en m ³ /m				
		Plage	Front de dune	Arrière-dune	Cordon dunaire	Bilan	Plage	Front de dune	Arrière-dune	Cordon dunaire	Bilan
6.1	2943,6	3084,2	210,6	8638,1	8848,7	11932,8	1,0	0,1	2,9	3,0	4,1
7.4	13043,3	-6112,2	-10893,9	79695,6	68801,7	62689,5	-0,5	-0,8	6,1	5,3	4,8
9	13449,7	-13691,1	-24510,9	68592,9	44082,0	30390,9	-1,0	-1,8	5,1	3,3	2,3
10.1	5980,4	-12563,2	-30650,3	24208,3	-6442,1	-19005,3	-2,1	-5,1	4,0	-1,1	-3,2
10.2	9419,2	-308547,6	-345490,8	197979,4	-147511,4	-456059,0	-32,8	-36,7	21,0	-15,7	-48,4
5.1	12176,5	-572446,7	-474996,8	289691,0	-185305,8	-757752,4	-47,0	-39,0	23,8	-15,2	-62,2
5.2	19169,0	-80924,1	-118231,7	41957,1	-76274,6	-157198,8	-4,2	-6,2	2,2	-4,0	-8,2
1.1	3542,2	-98437,2	-76812,8	25968,0	-50844,8	-149282,0	-27,8	-21,7	7,3	-14,4	-42,1
1.2	1763,7	-117105,1	-77803,5	1592,4	-76211,2	-193316,3	-66,4	-44,1	0,9	-43,2	-109,6
1.3	3306,9	-1146,5	-16319,4	10318,6	-6000,7	-7147,2	-0,3	-4,9	3,1	-1,8	-2,2
1.4	2072,6	-45260,0	-8589,0	10700,9	2111,9	-43148,0	-21,8	-4,1	5,2	1,0	-20,8
1.5	5130,7	-44678,9	-265951,4	17146,8	-248804,6	-293483,5	-8,7	-51,8	3,3	-48,5	-57,2
2	5329,5	-129425,8	-70936,2	29098,8	-41837,4	-171263,2	-24,3	-13,3	5,5	-7,9	-32,1
3.1	5509,2	-116281,7	-35295,5	7327,9	-27967,7	-144249,3	-21,1	-6,4	1,3	-5,1	-26,2
3.2	23598,5	-1595533,2	-626390,1	324224,6	-302165,5	-1897698,7	-67,6	-26,5	13,7	-12,8	-80,4
3.3	18959,7	-1736939,8	-688188,7	722383,3	34194,6	-1702745,1	-91,6	-36,3	38,1	1,8	-89,8
3.4	18795,0	-1679306,1	-107768,5	478731,6	370963,2	-1308342,9	-89,3	-5,7	25,5	19,7	-69,6
3.5	15441,2	-1380604,7	58504,8	360088,4	418593,2	-962011,5	-89,4	3,8	23,3	27,1	-62,3
4	24647,3	-805251,5	-805254,5	290045,4	-515209,1	-1320460,7	-32,7	-32,7	11,8	-20,9	-53,6
5.1	21218,8	-1982303,5	-407459,2	163489,0	-243970,3	-2226273,7	-93,4	-19,2	7,7	-11,5	-104,9
5.2	40293,0	-2364195,8	-170409,2	681951,6	511542,4	-1852653,4	-58,7	-4,2	16,9	12,7	-46,0
5.3	23174,4	-930565,7	-84502,0	295233,0	210731,0	-719834,8	-40,2	-3,6	12,7	9,1	-31,1
6.1	8569,5	-180651,6	-70711,9	125875,0	55163,1	-125488,5	-21,1	-8,3	14,7	6,4	-14,6
6.2	7100,9	-55100,1	19380,6	65833,1	85213,7	30113,6	-7,8	2,7	9,3	12,0	4,2
7	3699,5	-22406,5	8171,5	15336,9	23508,5	1102,0	-6,1	2,2	4,1	6,4	0,3



**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