



VALORÈS

INSTITUT DE RECHERCHE / RESEARCH INSTITUTE

SUIVI DE LA RESTAURATION DES DUNES À LE GOULET : ANNÉE 10

Rapport final



Auteurs du rapport :

INSTITUT DE RECHERCHE SUR LES ZONES CÔTIÈRES INC.

Frédéric, Haché, Bcs.

Thibaut, Peterlini, PhD

Marion, Tétégan Simon, PhD

Financement :

Fonds en Fiducie pour l'Environnement du Nouveau-Brunswick



Client :

Ville de Shippagan



TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	6
INTRODUCTION.....	7
HISTORIQUE DES TRAVAUX.....	8
MÉTHODOLOGIE – SUIVIS TOPOGRAPHIQUES.....	10
RÉSULTATS.....	13
Accumulation et érosion depuis 2014.....	13
Changements pour l’année présente (2023-2024).....	16
Efficacité des structures de protection utilisées.....	17
1. Murs de rétention utilisant des sapins de Noël usagés.....	17
2. Recharges en sable de dragage non végétalisées.....	17
3. Recharge en sable végétalisée (dune artificielle).....	18
État des structures.....	19
Tempête du 10 janvier 2024.....	22
DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS.....	28
Options de protection – groupe 1 – Les recharges en sable.....	29
Options de protection – groupe 2 – Méthodes fondées sur la nature.....	30
Options de protection – groupe 3 – Méthodes conventionnelles.....	30
Facteurs d’erreurs dans les données:.....	31
CONCLUSION.....	32
REMERCIEMENTS.....	32
BIBLIOGRAPHIE.....	33
ANNEXE(S).....	34
ANNEXE 1 - Profils de plage 2014-2023 du transect P01.....	34
ANNEXE 2 - Profils de plage 2014-2023 du transect P02.....	35
ANNEXE 3 - Profils de plage 2014-2023 du transect P03.....	36
ANNEXE 4 - Profils de plage 2014-2023 du transect P04.....	37



ANNEXE 5 - Profils de plage 2014-2023 du transect P05	38
ANNEXE 6 - Profils de plage 2014-2023 du transect P06	39
ANNEXE 7 - Profils de plage 2014-2023 du transect P07	40
ANNEXE 8 - Profils de plage 2014-2023 du transect P08	41
ANNEXE 9 - Profils de plage 2014-2023 du transect P09	42
ANNEXE 10 - Profils de plage 2014-2023 du transect P10.....	43
ANNEXE 11 - Profils de plage 2014-2023 du transect P11.....	44
ANNEXE 12 - Profils de plage 2014-2023 du transect P12.....	45
ANNEXE 13 - Profils de plage 2014-2023 du transect P13.....	46
ANNEXE 14 - Profils de plage 2014-2023 du transect P14.....	47
ANNEXE 15 - Profils de plage 2014-2023 du transect P15.....	48
ANNEXE 16 - Profils de plage 2014-2023 du transect P16.....	49
ANNEXE 17 - Profils de plage 2014-2023 du transect P17.....	50
ANNEXE 18 – État des structures.....	51



LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte incluant la localisation des travaux de protection et de suivi effectués sur la côte à Le Goulet.....	9
Figure 2. Station totale digitale TS11 de Leica Geosystems.....	10
Figure 3. Exemple d'une borne utilisée comme point de référence permanent.....	11
Figure 4. Profils du transect 17 de 2014 à 2023.....	14
Figure 5. Structures à P02 vue vers l'est.....	19
Figure 6. Murs de rétention à l'installation.....	20
Figure 7. Accumulation de galets et de pierres devant l'ensablement à P17 en octobre 2023, vue vers l'est.....	21
Figure 8. Photo de l'érosion à P14 en octobre 2023, vue nord à partir de la plage.	22
Figure 9. Secteurs les plus touchés (encadrés en rouge) par la tempête du 10 janvier 2024.	23
Figure 10. En haut vue de P01 après la tempête, vue nord-est. En bas, vue de P01 avant la tempête, vue nord-est.	24
Figure 11. État de la dune devant les chalets de l'allée à Elie. Vue sud-ouest.....	25
Figure 12. Dunes basses à P11. Vue vers le sud-ouest.....	26
Figure 13. Transect P15 avec ses structures de rétentions visibles devant l'ensablement. Le 16 janvier 2024, vue vers l'est.	27
Figure 14. Traits de côtes identifiés à partir d'une image satellitaire de la passerelle de Le Goulet.	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Coordonnées des points de références temporaires (piquets de bois) identifiant le début des transects P01 à P17 (selon CGVD1928).	12
Tableau 2. Changement de position du trait de côte entre 2014 et 2023.....	13
Tableau 3. Évolution de la hauteur des dunes maximale des dunes entre 2014 et 2023.....	15
Tableau 4. Changement de position du trait de côte entre 2022 et 2023.....	16
Tableau 5 : État des structures en date du 23 octobre 2023	20



RÉSUMÉ

Traitant de la situation des dunes de Le Goulet, ce document regroupe à la fois des informations de rapports publiés lors d'années antérieures ainsi qu'à partir de données produites durant l'année courante. Il se veut à la fois un rapport du travail effectué par VALORÈS, un rapport de synthèse des travaux produits sur les dunes de Le Goulet et un rapport de recommandations pour la municipalité de Shippagan.

Le présent rapport contient :

- Un historique des travaux faits sur les dunes de Le Goulet;
- Une description du protocole de suivi de la dynamique sédimentaire de la plage de Le Goulet;
- Une base de données contenant des photos, des coordonnées et des élévations de 17 transects (profils) de plage;
- Des cartes illustrant l'emplacement des structures de rétention de sable, de la dune artificielle et des transects;
- Une évaluation de l'état des structures de rétention de sable et de l'ensablement artificiel;
- Une description générale de la dynamique sédimentaire de la plage;
- Une évaluation de l'impact des structures de rétention de sable et de l'ensablement artificiel sur la dynamique sédimentaire
- Des recommandations pour améliorer la protection des côtes de Le Goulet

INTRODUCTION

Le village de Le Goulet est confronté à des menaces constantes d'inondations côtières en raison de l'érosion des dunes qui protègent son territoire. L'administration du village, maintenant intégrée à la nouvelle municipalité de Shippagan, avait entrepris un projet de restauration de sept ans pour reconstruire la protection naturelle offerte par les dunes. Cet effort avait été lancé à la suite d'une tempête hivernale en décembre 2010 qui avait dévasté les dunes.

Depuis cette tempête, la communauté située à une altitude proche du niveau marin (Robichaud *et al.* 2011) a focalisé ses efforts sur la protection du village en restaurant les dunes et en s'adaptant aux changements climatiques via le projet Adaptation PA et par conséquent la création d'un Plan d'adaptation aux changements climatiques.

Le document actuel représente le premier rapport sur la situation des dunes depuis 2020, et il inclut une estimation de l'évolution du trait de côte depuis le début des relevés topographiques en 2014. Il évalue également l'efficacité des structures et de l'ensablement, offrant une vue d'ensemble de l'état et de l'évolution des dunes pour orienter les interventions futures. Le document actuel est une partie intégrante de l'étape 4 du Projet Adaptation PA, où la municipalité de Shippagan doit mettre en œuvre le plan d'adaptation de Le Goulet après le regroupement des deux régions sous une seule autorité municipale.



HISTORIQUE DES TRAVAUX

En 2013, des structures restauratrices fabriquées à partir de sapins, d'épinettes et de cages à homard récupérées ont été installées sur une distance de près de 900 m à deux endroits vulnérables, à l'est et à l'ouest du village (*Bulger, A. 2013*). Durant l'hiver 2013, un ensablement artificiel, réalisé avec des sédiments provenant de dépôts de dragage du quai de Shippagan, a aussi été créé par-dessus les structures sur une section d'environ 300 m (*Bulger, A. 2013*).

En 2014, le village a prolongé les structures de rétention existantes aux deux endroits sur une distance d'environ 600 m. Une recharge en sable d'environ 5000 m³ de sable provenant de sédiments dragués dans le quai a été placée sur environ 200 m de côte et 2,8 m de hauteur, afin de protéger le village du niveau d'eau d'une tempête de retour de 50 ans en 2055. (*Bulger, A. 2014*)

En 2015, les structures ont été prolongées sur près de 400 m et un effort de végétalisation a été entrepris sur l'ensablement de 2014 afin de favoriser la rétention de sable. Environ 2800 plants d'élyme des sables et 100 plants d'ammophile ont été transplantés sur le dessus et à l'avant de l'ensablement (*Bulger, A. 2015*).

En 2016, trois nouvelles sections de structures totalisant une distance de près de 200 m ont été construites. Ces nouvelles structures ont été construites en double, c'est-à-dire qu'elles sont composées de deux rangées adjacentes. Une section de ces structures a été construite afin de bloquer l'accès à la plage aux véhicules tout-terrain à partir du chemin Basile-Roussel. Une ancienne section de structure, qui avait été endommagée sur une distance de 250 m lors de l'hiver, a complètement été reconstruite et doublée selon la nouvelle technique de construction. Elle a aussi été prolongée de quelques dizaines de mètres afin de bloquer l'accès à la plage aux véhicules tout-terrain sur le Chemin de la Côte (est du village). À la mi-septembre 2016, près de 780 plants d'ammophile supplémentaires ont été plantés sur les côtés et le dessus de l'ensablement artificiel. À cette date, les travaux de restauration couvrent plus de la moitié (2 km) de la plage de Le Goulet. (*Aubé et al. 2017*)

En 2018, un ensablement de 17 500 m³ de sédiments issus de dragage a été fait à partir de l'enrochement de la rue du havre jusqu'à l'ensablement de 2014, totalisant 1050 m de longueur (*MSC Consultants. 2018*). Il a été détruit lors de la tempête Dorian à l'automne 2018 et refait en novembre 2019.

En parallèle à ces ouvrages, un travail de suivi en continu de 2014 à 2023 a été effectué par VALORÈS afin de suivre le développement de la dune et évaluer le succès des structures de protection installées. Ce travail suit le changement de 17 transects (P01 à P17), espacés d'environ 200 m de distances.



Les emplacements de tous ces travaux sont répertoriés sur la carte ci-dessous (**Figure 1**).

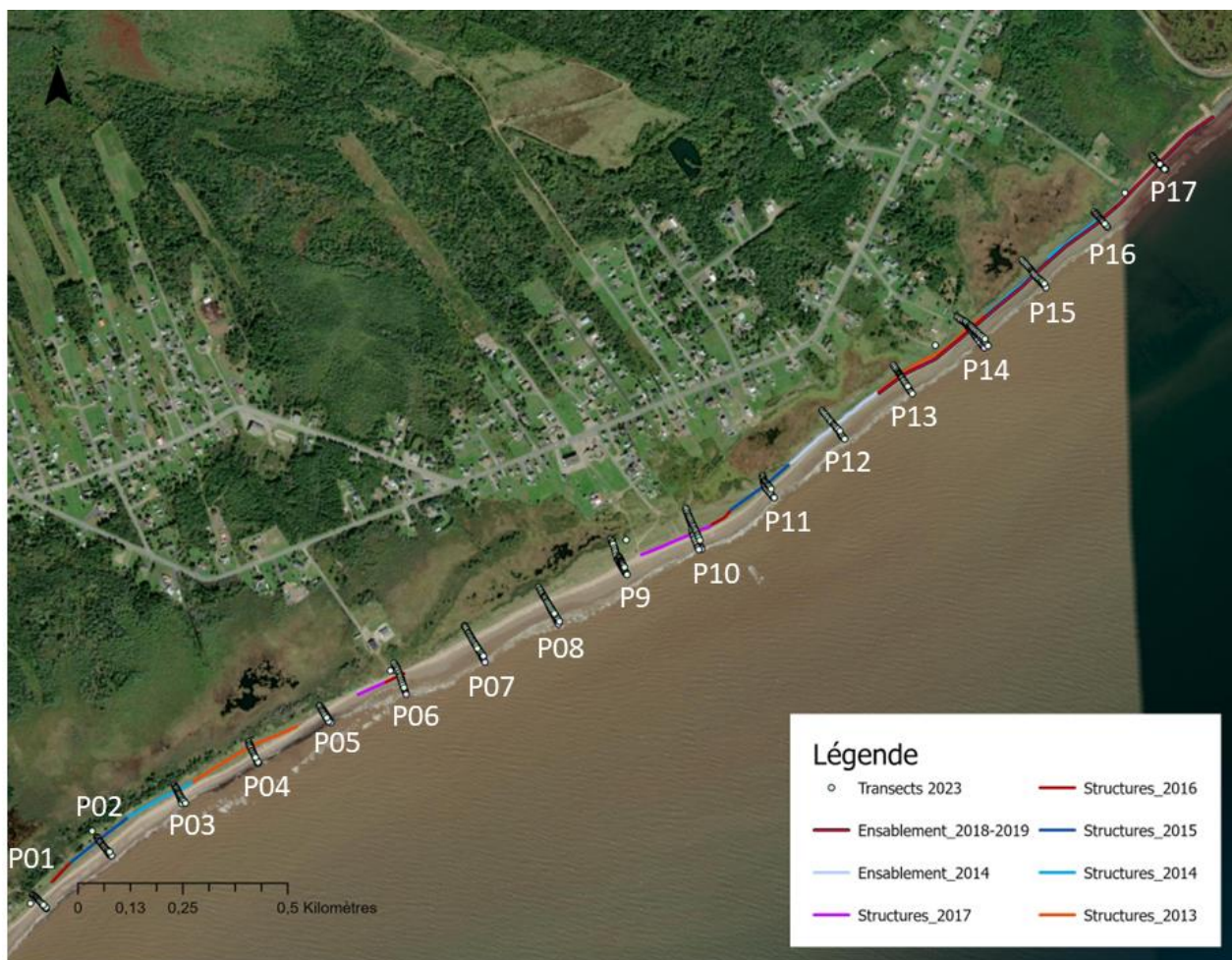


Figure 1. Carte incluant la localisation des travaux de protection et de suivi effectués sur la côte à Le Goulet.



MÉTHODOLOGIE – SUIVIS

TOPOGRAPHIQUES

Le suivi de la restauration a été effectué selon le protocole de suivi développé depuis 2014 et tel que décrit dans les rapports des années précédentes (*Hébert et Aubé 2015 ; 2016 ; Aubé et al. 2017 ; 2018, VALORES, 2020*). Les relevés ont été effectués une fois par mois, pendant 3 mois d'août à octobre 2023.

Le suivi consiste à prendre des relevés topographiques (mesures d'élévation) le long de sections transversales de la plage. Pour prendre les mesures d'élévation, nous nous sommes procuré un appareil d'arpentage spécialisé, c'est-à-dire une station totale digitale S11 de Leica Geosystems (LG, 2013) (**Figure 2**). Le système de référence altimétrique utilisé pour déterminer les élévations est le CGVD1928.



Figure 2. Station totale digitale TS11 de Leica Geosystems.

Deux points ayant des coordonnées connues sont nécessaires pour configurer la station totale avant de prendre des relevés topographiques. Ces points servent à configurer la position exacte de l'appareil. VALORÈS a en place cinq points de références permanents (bornes géoréférencées) à différents intervalles le long de la plage. Ces bornes d'arpentage ont été installées par paires aux cinq endroits différents (total de 10 bornes) : 1) au bout de l'allée Elie (Baie de Petit-Pokemouche), 2) au début des structures près du chemin Basile Roussel, 3) au bout de la passerelle derrière l'édifice municipal, 4) près de la rue du Rift, et 5) au bout du chemin de la Côte. Ces

emplacements ont été choisis pour permettre une couverture maximale du territoire et faciliter le transport du matériel. Il y a un espacement de 12 m entre les bornes d'une même paire, qui sont l'une derrière l'autre perpendiculairement à la côte. Les bornes (A) sont celles les plus loin du trait de côte et les bornes (B) sont celles les plus près du trait de côte. Les coordonnées exactes des bornes ont été relevées par Dominique Bérubé, géologue provincial (Ministère du développement de l'énergie et des ressources) avec un GPS de haute précision. Comme les bornes sont enfoncées près du sol et sont souvent ensevelies par la végétation et le sable, il y a des piquets de bois près de chaque borne pour en faciliter le repérage (**Figure 3**).

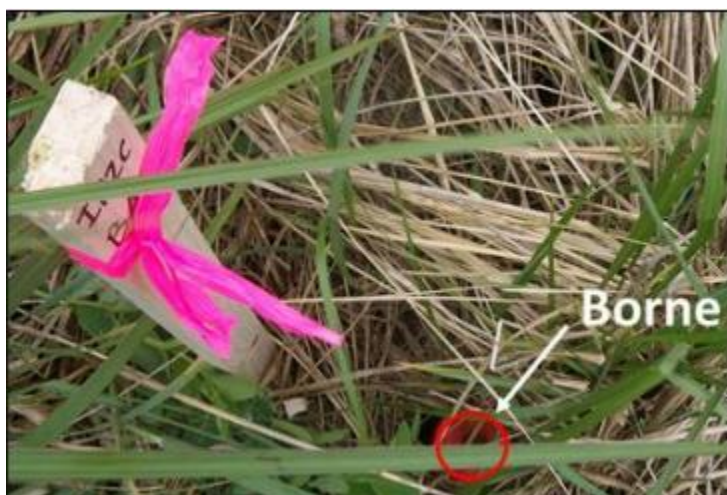


Figure 3. Exemple d'une borne utilisée comme point de référence permanent.

Pour chaque transect, une personne doit marcher l'entièreté De la distance définie du transect (suivant une ligne droite) avec une perche munie d'un prisme. La station totale enregistre la hauteur de ce prisme, déterminant ainsi la topographie du point de prise de donnée.

À chaque suivi mensuel, des photos ont été prises à trois endroits par profil, soit près: 1) du piquet de bois (MDEPQ), 2) du trait de côte initial (2014), et 3) de la mer (fin du profil).

Les coordonnées des points de départ de chaque transect peuvent être vus au **tableau 1**.



Tableau 1. Coordonnées des points de références temporaires (piquets de bois) identifiant le début des transects P01 à P17 (selon CGVD1928).

TRANSECTS	NORD (M)	EST (M)	ÉLÉVATION (2019)
P01	7634565,455	2633944,540	1,483
P02	7634712,393	2634088,746	1,749
P03	7634823,136	2634284,085	2,199
P04	7634924,824	2634459,572	2,162
P05	7635014,431	2634629,893	1,614
P06	7635109,906	2634811,291	1,836
P07	7635201,537	2634976,171	1,699
P08	7635295,299	2635151,085	1,865
P09	7635409,242	2635324,429	2,057
P10	7635483,631	2635502,382	2,115
P11	7635562,058	2635685,783	1,367
P12	7635716,735	2635827,225	1,574
P13	7635823,772	2635998,404	1,736
P14	7635938,965	2636149,974	2,343
P15	7636073,515	2636305,077	1,242
P16	7636130,987	2636405,902	1,420
P17	7636210,189	2636469,803	1,978



RÉSULTATS

Entre 2014 et 2023, de nombreux changements ont modifié les 17 transects identifiés le long de la plage de Le Goulet. Nous tenterons dans cette section d'illustrer au mieux possible la façon dont la dune a évolué lors de ces 10 années de suivis et de travaux. Des graphiques montrant des coupes transversales des dunes et de la plage sont disponibles aux annexes 1 à 17. Ces profils permettent de visualiser la topographique et son évolution au fil des années, tout en situant les structures de rétention et les ensablements.

Accumulation et érosion depuis 2014

L'évolution du trait de côte, c'est-à-dire la ligne marquant la fin de la végétation et le début de la plage, entre la première année de suivi (2014) et la dernière année (2023) peut être vue au **tableau 2**. Cette comparaison permet de se projeter dans le temps et d'avoir une vue à long terme de l'évolution du littoral.

Tableau 2. Changement de position du trait de côte entre 2014 et 2023.

Transect	Changement (m)	Travaux	Localisations associées
P01	3	-	Allée Ellie
P02	13.33	Murs de rétention (2015)	-
P03	7.8	Murs de rétention (2014)	-
P04	11.99	Murs de rétention (2013)	-
P05	-11.79	-	-
P06	-1.64	Murs (2016)	Rue Basile-Roussel
P07	-13.32	-	-
P08	10.03	-	-
P09	14.82	-	Plage de Le Goulet (ouest)
P10	22.13	Murs de rétention (2017)	Plage de Le Goulet (est)
P11	3.97	Murs de rétention (2015)	-
P12	-2.12	Murs de rétention (2015)	-
P13	6.33	Recharge en sable (2014)	-
P14	2.67	Recharge en sable (2019)	Rue du rift
P15	-2.74	Recharge en sable (2019)	
P16	-5.9	Recharge en sable (2019)	Rue de la côte
P17	-11.09	Recharge en sable (2019)	Rue du Havre

Depuis juin 2014, 10 transects semblent avoir vu leurs dunes gagner du terrain, l'avancée la plus marquante étant aux transects P9 et P10, qui correspondent à l'endroit où se trouve la plage municipale. Parmi les 7 transects qui ont enregistré un recul, les transects 5 et 7, correspondants



aux dunes situées respectivement à l'ouest et à l'est du chemin Basile-Roussel¹ ont enregistré les reculs les plus marqués, suivi de P17, situé près du chemin du quai de Le Goulet.

Il convient de noter que les transects munis d'ensablements auraient sûrement reculé de façon beaucoup plus marquée s'ils n'avaient pas été protégés et rechargés après leur endommagement. L'observation du profil dunaire à P17 permet de visualiser l'ampleur des travaux de recharge en sable comparativement au profil naturel de la dune (**Figure 4**). Le recul était très rapide avant l'installation d'ensablement.

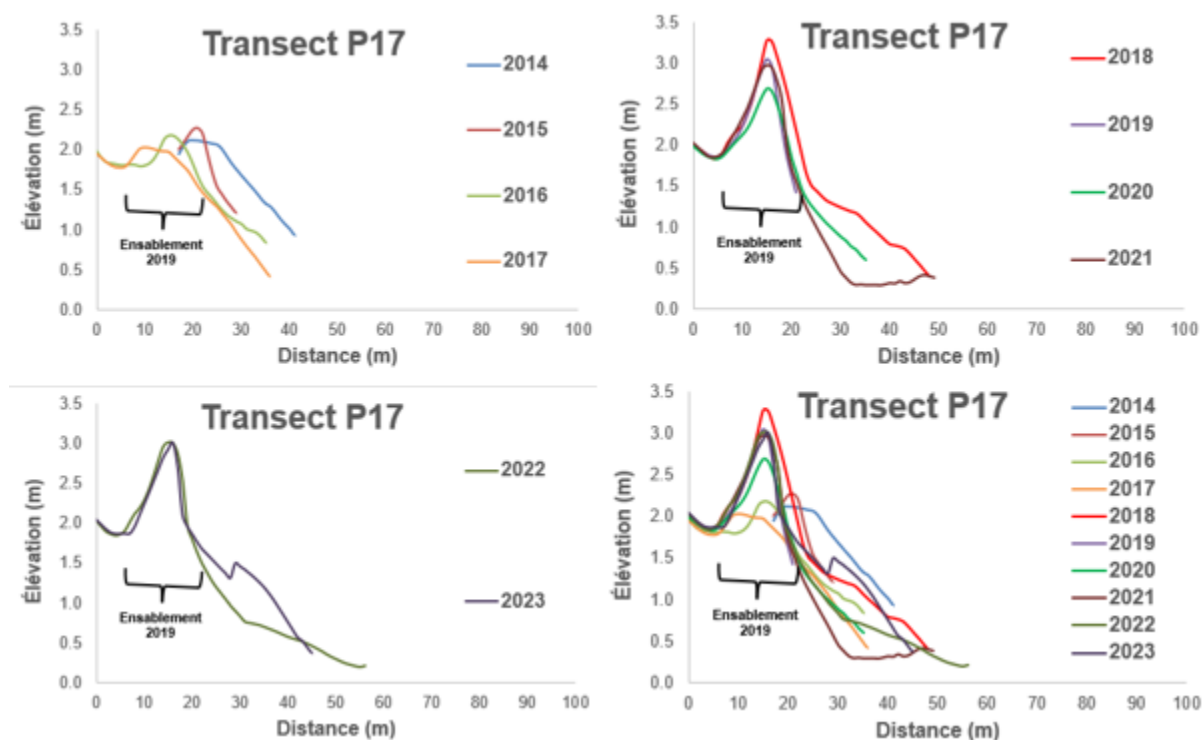


Figure 4. Profils du transect 17 de 2014 à 2023.

Autre observation intéressante, le transect P06, sujet de discussion fréquent dans les médias dû à la visibilité frappante d'une façade dunaire en érosion, a atteint son apogée en 2016 et l'a maintenu jusqu'en 2018, avant de s'éroder rapidement jusqu'aujourd'hui où il est maintenant à son minimum depuis 2014. On peut difficilement déterminer quels phénomènes ont causé ce changement de tendance.

En ce qui concerne le changement en hauteur des dunes, nous avons calculé dans le **tableau 3** la différence de hauteur du point le plus élevé entre le premier suivi et le dernier.

¹ C'est le transect P06 qui se trouve le plus près du chemin Basile-Rousselle.

Tableau 3. Évolution de la hauteur des dunes maximale des dunes entre 2014 et 2023.

Transect	Changement (m)
P01	-0.03
P02	0.32
P03	0.59
P04	0.57
P05	-0.24
P06	-0.37
P07	0.45
P08	0.84
P09	-0.17
P10	0.05
P11	-0.06
P12	0.03
P13	0.53
P14	0.8
P15	1.32
P16	0.67
P17	0.96

Seulement 5 transects ont enregistré une diminution en hauteur, les plus affectés étant P05 et P06, deux transects déjà caractérisés par des dunes basses.



Changements pour l'année présente (2023-2024)

À court terme, l'année 2023 a probablement été la plus destructrice depuis le début des suivis. Presque tous les transects ont reculé entre octobre 2022 et octobre 2023 (**Tableau 3**).

Tableau 4. Changement de position du trait de côte entre 2022 et 2023.

Transect	Changement en mètres
P01	-12.02
P02	-6.01
P03	-4.73
P04	-11.06
P05	-2.39
P06	-2.09
P07	0.5
P08	11.08
P09	-10.84
P10	-1.79
P11	-4.12
P12	-1.68
P13	-2.49
P14	-1.3
P15	-3.09
P16	-0.88
P17	-1.02

L'année a été très dure pour les dunes, avec de nombreuses marées extrêmes, incluant celles de novembre 2022 et mai 2023. Le reste de l'année 2023 a quand même vu un recul sans les tempêtes. Selon les données, le transect P09 a vu un recul d'environ 4 m entre août et octobre 2023, versus 6,8 m perdus entre octobre 2022 et août 2023. Il s'agit donc d'un recul plus rapide en 2023 malgré l'absence de tempêtes notables.

De plus, on peut voir que même avec ce grand recul de plus de 10 m à P09, le trait de côte se trouve quand même 14 m plus avant qu'il ne le fût en 2014.



Efficacité des structures de protection utilisées

On peut compter au nombre de quatre le nombre de “structures” de protection qui ont été testées sur le littoral de Le Goulet entre 2014 et 2023. En ordre des plus extensifs, elles furent le mur de sapins, combiné ou non à des casiers à homards, suivie de la recharge en sable, l’ensablement végétalisé (devant de ce fait une dune artificielle) et le mur de cages à homards, sans sapins.

1. Murs de rétention utilisant des sapins de Noël usagés

L’objectif de ces structures était de retenir le sable grâce aux millions d’épines de sapins placés sur le mur. Lorsque le vent souffle le sable, celui-ci est arrêté par les épines et se dépose parmi celles-ci, nourrissant la dune à un rythme plus rapide que nature. Les casiers à homards avaient plutôt comme objectif de servir de barrières contre le passage de VTT.

Les données des transects équipés de ces structures ne montrent pas de résultats concluants à une efficacité soutenue de cette structure de protection naturelle. Cependant, des résultats positifs initiaux semblent avoir été enregistrés pendant la première année suivant leur installation. Ces structures ne semblent pas avoir été renouvelées avec de nouveaux arbres l’année suivante, la priorité semblant avoir été de couvrir le plus de territoire possible. Les sapins ont perdu leurs épines et l’effet d’accumulation semble s’être estompé. On peut supposer, d’après les résultats initiaux, que le renouvellement du matériel vivant eut pu être bénéfique au bon fonctionnement de ces structures. En date de 2023, la plupart de ces ouvrages pouvaient encore être aperçus sur les dunes, sous la forme de sapins secs ne remplissant plus leur fonction d’origine. Il convient peut-être de mentionner que si ces techniques avaient été efficaces, elles ne devraient plus être visibles aujourd’hui, elles devraient être recouvertes de sable et de végétation.

2. Recharges en sable de dragage non végétalisées

Ces structures de sédiments sont efficaces pour agir en tant que barrière, surtout dans les zones où la perte de sédiment est la plus rapide. Elles permettent de gagner plusieurs mètres de digues immédiatement à leur installation, offrant par conséquent une protection immédiate aux infrastructures situées derrière. Solution éphémère, vouée à être rechargée après quelques années, elle a en théorie la double utilité de fournir des sédiments aux plages et dunes qui se situent le long de la dérive littorale.

Il est difficile d’estimer leur efficacité et leur longévité, mais selon nos observations, leur durée de vie semble être beaucoup moins longue que le précédent ouvrage qui a été végétalisé et qui a peu perdu de son volume original. Un autre élément important divisant les deux catégories d’ensablement utilisées à Le Goulet semble être la granulométrie des sédiments utilisés. Les



sédiments de dragage utilisés en 2018 et 2019 étaient d'une granulométrie beaucoup plus fine, presque argileuse et très compacte, même si la proportion de sable dans les sédiments composait 55% à 80% du mélange (*Englobe, 2017*), rendant difficile la colonisation végétale naturelle et mettant en danger la pérennité de l'ouvrage. Selon les données disponibles après 5 ans de suivis, la structure devrait être rechargée dès que possible.

3. Recharge en sable végétalisée (dune artificielle)

Cette structure semble être la plus résiliente et la plus efficace de toutes celles installées sur le littoral de Le Goulet. Dix années se sont écoulées depuis son installation et la structure semblait toujours retenir e près de l'entièreté (99%) de son volume original en octobre 2023, avec seulement un petit microtalus s'étant créé devant.



État des structures

En 2023, la majorité des structures étaient encore en place, mais n'occupaient aucune fonction actuelle ou étaient très endommagées. Plus précisément, on peut toujours apercevoir les murs de rétention faits de sapins et de cages, mais ceux-ci sont maintenant secs et dégarnis (**Figure 5**). Ce qui était autrefois des sapins verts et touffus (**Figure 6**) n'est plus que des billots de bois ancrés au sol par du cordage, toujours accompagnés de cages à homards qui ont en revanche parfois été déplacées, mais sont pour la majorité intactes. Le mur installé à P06 a totalement disparu, détruit par Dorian.



Figure 5. Structures à P02 vue vers l'est.



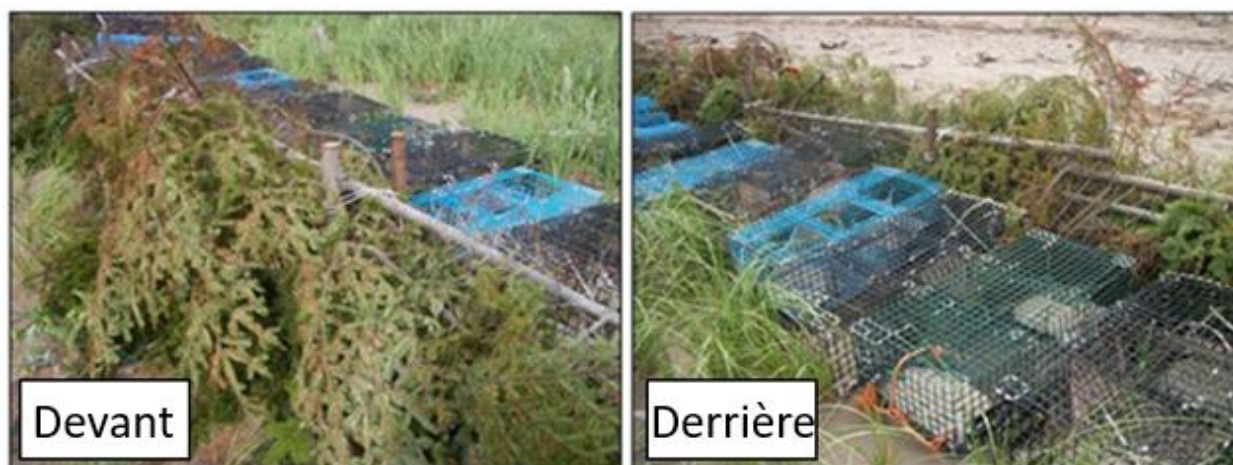


Figure 6. Murs de rétention à l'installation.

En ce qui concerne les recharges en sable, la recharge végétalisée de 2014 semble en presque parfait état, la végétation dunaire la recouvrant entièrement. La recharge de 2019 est maintenant recouverte d'une végétation non caractérisée aux racines peu profondes. Il ne s'agit pas de végétation naturellement trouvée sur les dunes de Le Goulet. Certaines sections ont été fortement érodées, alors qu'un unique transect retient encore son volume sédimentaire original (**Tableau 4**) dû à une accumulation de sédiment devant la recharge elle-même.

Tableau 5 : État des structures en date du 23 octobre 2023

Transect	Travaux	État des structures
P01	-	-
P02	Sapins (2015)	Cages ensevelies, sapins séchés, piquets et cordages visibles.
P03	Sapins (2014)	Cages ensevelies, sapins séchés, piquets et cordages visibles.
P04	Sapins (2013)	Cages ensevelies, sapins séchés, piquets et cordages visibles.
P05	-	-
P06	Sapins (2016)	Détruite
P07	-	-
P08	-	-
P09	-	-
P10	Sapins (2017)	Cages ensevelies, sapins séchés, piquets et cordages visibles.
P11	Sapins (2015)	Cages ensevelies, sapins séchés, piquets et cordages visibles.
P12	Recharge en sable végétalisé (2014)	99% du volume restant
P13	Recharge en sable (2019)	100% du volume restant
P14	Recharge en sable (2019)	35% du volume restant
P15	Recharge en sable (2019)	46% du volume restant
P16	Recharge en sable (2019)	66% du volume restant
P17	Recharge en sable (2019)	50% du volume restant.



Un autre type d'accumulation s'est fait le long de l'ensablement sur les transects P16 et P17. Il s'agit d'une accumulation de cailloux et de galets qui était assez substantielle par endroits en octobre, par exemple devant P17 (Figure 7). Ceux-ci peuvent servir à la protection de l'ensablement. La différence est marquante avec P14 (**Figure 8**), où il n'y a pas eu ce phénomène. On commence à entrevoir les restants du mur de rétention qui était à cet endroit avant la recharge en sable. Ceux-ci n'étaient pas visibles avant l'été 2023. Un répertoire de photos des différents transects à travers des années peut être consulté à l'**Annexe 18**.



Figure 7. Accumulation de galets et de pierres devant l'ensablement à P17 en octobre 2023, vue vers l'est.





Figure 8. Photo de l'érosion à P14 en octobre 2023, vue nord à partir de la plage.

Tempête du 10 janvier 2024

Le 10 janvier 2024, la côte de Le Goulet a été secouée par une forte tempête hivernale avec des marées extrêmes, poussées par un vent sud. L'absence de glace cette année a gravement nuit au littoral.

Les secteurs n'ont pas tous été affectés de façon égale. Les plus impactés, visibles sur la **figure 9**, ont perdu jusqu'à plusieurs mètres de dunes selon des observations faites sur le terrain le 16 janvier 2024. Cependant, il n'est pas possible de chiffrer ce recul de façon exacte pour le moment, bien que des prises de mesures aient été tentées quelques jours après la tempête. La présence de glace et de neige, ainsi que certains dommages faits aux points de repères installés (perte de bornes B01B et de nombreux piquets) ont rendu impossible la prise de mesures de façon fiable. À partir de photos, nous pouvons tout de même affirmer qu'un recul du trait de côte et une diminution substantielle du volume sédimentaire dunaire a eu lieu sur tout le littoral de Le Goulet.

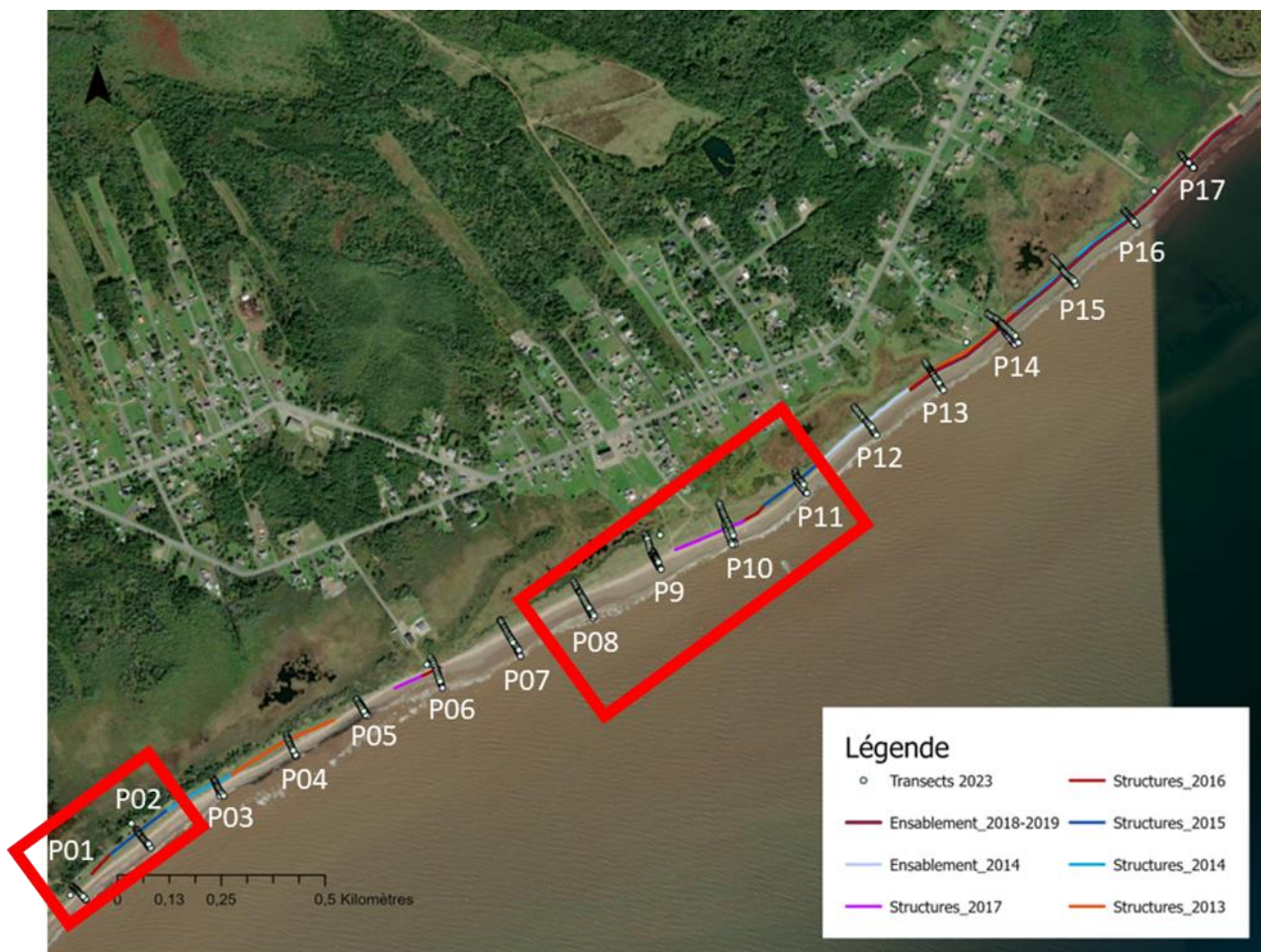


Figure 9. Secteurs les plus touchés (encadrés en rouge) par la tempête du 10 janvier 2024.

À partir de ces photos, nous pouvons avancer certaines observations. Le secteur 1 et le secteur 3 semblent être les plus touchés par le recul du trait de côte, selon les observations faites quelques jours après la tempête.

Observation numéro 1 : Le secteur 1 comprenant les transects 1 et 2, a été le plus affecté par la tempête, voyant une disparition complète de la dune sur certains transects, dont le transect P01 (**Figure 10**). Nous pensons pouvoir estimer une diminution de plus d'un mètre de hauteur de la dune à cet endroit et un recul de plusieurs mètres. La marée est allée jusqu'à déloger la borne géodésique, située au plus haut point de la dune. Les chalets situés le long de l'allée à Elie ne semblent plus être protégés par la dune (**Figure 11**).



Figure 10. En haut vue de P01 après la tempête, vue nord-est. En bas, vue de P01 avant la tempête, vue nord-est.





Figure 11. État de la dune devant les chalets de l'allée à Elie. Vue sud-ouest.

Observation numéro 2 : Le secteur 3, particulièrement, les transects P10 et P11, ont aussi été très affectés, mais pas de façon aussi extrême qu'au secteur 1. Les dunes semblent avoir reculé de plusieurs mètres, mais conservent leur fonction protectrice puisque leur hauteur maximale ne semble pas avoir été affectée. Les transects du secteur 3 sont clés dans la protection de la plus grande partie du territoire habité de Le Goulet. Le transect P11 semble être le pire du secteur, complètement aplati par la tempête selon nos observations (**Figure 12**).





Figure 12. Dunes basses à P11. Vue vers le sud-ouest.

Observation numéro 3 : Les secteurs 2 et 4, ont aussi essuyé quelques dégâts, mais ils sembleraient être de moindre envergure. Les ensablements ne semblent pas avoir tellement reculé, mais comme il y avait une quantité appréciable de glace au moment de nos observations, il est difficile d'évaluer la situation de façon plus certaine. Seuls quelques marqueurs visuels déjà visibles en automne, comme les structures de rétention à P15, permettent de déduire que les dégâts ne sont pas si importants (**Figure 13**).





Figure 13. Transect P15 avec ses structures de rétentions visibles devant l'ensablement. Le 16 janvier 2024, vue vers l'est.



DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

En se basant sur les informations ressorties dans la section résultats, nous pouvons déduire que la situation en date de janvier 2024, où certaines parties de la dune ont été malmenées, voir complètement anéanties, n'est pas totalement irréversible et certains endroits sont même loin d'être à leur pire état historique malgré un recul marqué en 2023-2024. Si l'on recule au printemps 2011, à la suite de la tempête de décembre 2010, la passerelle municipale finissait son chemin directement sur la plage, à 5 ou 6 mètres devant la végétation dunaire. En date du 16 janvier 2024, celle-ci se trouvait toujours à plusieurs mètres derrière la végétation dunaire (**Figure 14**).

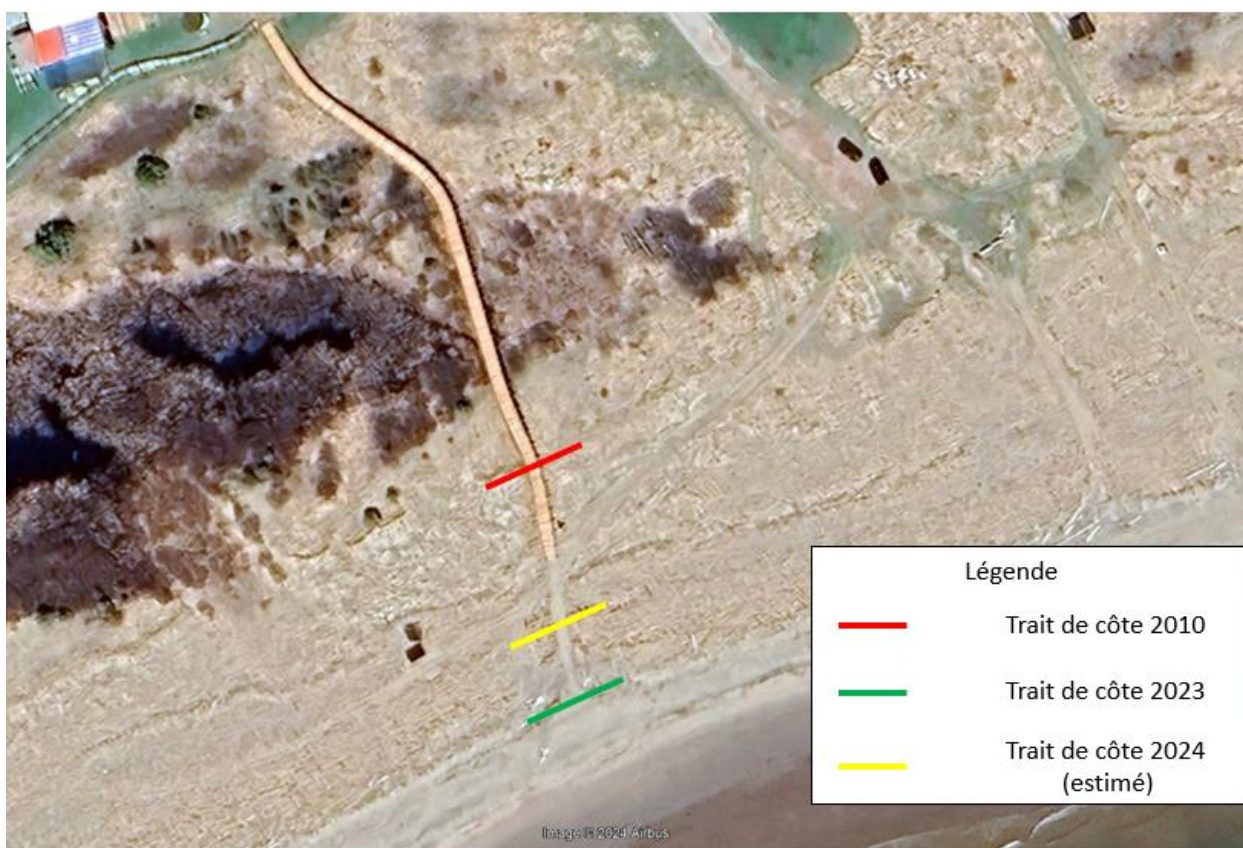


Figure 14. Traits de côtes identifiés à partir d'une image satellitaire de la passerelle de Le Goulet.

Lors du choix de structures de protection, il faut donc considérer la nature dynamique des dunes. Ce sont des écosystèmes littoraux changeants, qui sont autant soumis aux pressions hydrauliques marines, qui d'ailleurs augmentent de concert avec le niveau marin, que les autres types de littoraux pourtant plus fixes. L'avantage touristique et par conséquent économique que confère la présence de dunes et de plages sableuses sur le territoire doit être pris en compte lors du choix de structures afin de ne pas y nuire trop drastiquement et risquer de perdre ces actifs naturels.



Il faut aussi garder en tête que l'érosion est un phénomène naturel de longue date. Le rapport de O'Carroll et Bérubé (1997) faisait déjà état de dunes dévastées en 1997 suite à deux fortes tempêtes à la fin de l'année 1995 : un peu plus d'un mètre de hauteur en général et même moins d'un mètre par endroit. Cette comparaison nous permet de prendre conscience que la majorité du cordon dunaire de Le Goulet a gagné en hauteur sur la plupart des transects depuis 20 ans. Encore plus en arrière, les photos aériennes de 1944 montrent des dunes presque inexistantes et en érosion rapide. Il est estimé que le taux d'érosion général du littoral de Le Goulet entre 1944 et 1985 était de 1 mètre par an (*LES SERVICES GEOMACADIE. 1996*), soit un taux beaucoup plus élevé que celui observé lors de la présente étude. Les recharges en sable, en plus de celui distribué le long de la côte par la dérive littorale² lorsqu'il s'érode, sont probablement en partie responsables de ce ralentissement de l'érosion, puisqu'elles ajoutent un volume qui était totalement absent auparavant.

Ce qui est à retenir des analyses de données est que le littoral est un milieu dynamique et changeant. Depuis plusieurs années, les études antérieures aux nôtres et les plus récentes que nous (VALORES) avons réalisées depuis plus de 10 ans ont su démontrer des épisodes naturels d'érosion (perte de sable) et d'accrétion (accumulation de sable) à la fois liés aux effets des vents et de l'eau. Il demeure certain que des pratiques encadrées de bonne gestion du littoral via l'installation de structures de rétention aideront au ralentissement du phénomène érosif naturel.

Options de protection – groupe 1 – Les recharges en sable

Selon l'analyse coûts-avantages de *Aubé et al. 2016.*, qui comparait le statu quo, l'enrochement et la recharge en sable, la solution la moins coûteuse et la plus avantageuse pour protéger les dunes de Le Goulet serait la recharge en sable. Cette technique permet de réutiliser du matériel de dragage et de nourrir les dunes. Le rapport recommandait un rechargement de 25% du volume sédimentaire original à chaque 10 ans, sans s'appuyer sur des données réelles. Il nous est maintenant possible de réévaluer ces estimations grâce aux données produites lors du programme de suivi de la restauration des dunes de Le Goulet. Comme nous l'avons vu précédemment, il faudrait plus de 25% du volume original pour le ramener à l'état initial, car l'érosion a été forte. En 4 ans, l'ensablement de 2019 a perdu au moins de 40% de son volume original total, soit environ 7000 m³.

² La dérive littorale nette semble être direction sud-ouest.



Il semblerait que l'ensablement de 2014 ait été le plus fructueux des investissements de Le Goulet. Jusqu'à aujourd'hui, le transect P12 semble avoir eu seulement un recul minime comparativement aux autres transects. La clé de ce succès réside peut-être dans le fait que ce fut le seul des trois recharges en sable à avoir été végétalisé après son installation, en faisant véritablement une dune artificielle. Ceci étant dit, il faut garder en mémoire que P13 était déjà en phase d'accrétion (accumulation de sable) avant l'installation de l'ensablement artificiel.

Options de protection – groupe 2 – Méthodes fondées sur la nature

Des alternatives plus lentes, plus laborieuses, mais moins coûteuses continuent selon nous d'être intéressantes. Les murs de sapins ont un certain potentiel, ils ont un coût assez faible et peu de répercussions environnementales néfastes. Bien que les résultats de nos observations ne soient pas concluants, il pourrait être intéressant de retenir l'expérience. Cette fois, il faudrait s'assurer que les sapins soient renouvelés chaque année afin de pouvoir confirmer ou non l'utilité de cette technique pour Le Goulet. Le choix de méthodes axées sur la rétention de sédiments semble être appuyé par *O'Carroll et Bérubé (1997)*, qui suggéraient dans leur rapport d'installer des clôtures à neige. De nombreuses méthodes existent pour agir en tant que mur de rétention de sédiments, il y a donc une grande opportunité d'amélioration des méthodes et des connaissances à Le Goulet. Une étude coût-avantages couvrant ce type de méthodes pourrait être un atout considérable.

Options de protection – groupe 3 – Méthodes conventionnelles

Les structures les moins recommandées sont les structures conventionnelles. Coûteuses, celles-ci entraîneraient des conséquences dévastatrices pour la plage, mais freineraient le recul côtier de façon efficace. Les conséquences qu'elles engendreraient sur la dune seraient une disparition de l'habitat dunaire, critique pour le pluvier siffleur et surtout la disparition de la plage due à la compression côtière³. Dû à ce phénomène, il est estimé que près de 75% des zones de plages enrochées au Nouveau-Brunswick verront leur plage disparaître d'ici la fin du siècle (*Bérubé. 2021*).

Un exemple local de cet effet de disparition peut être constaté à Le Goulet le long de la côte du chemin du havre. Autrefois un cordon dunaire sableux, plus aucun sable ne peut y être vu en 2023.

³ La plage ne pouvant migrer vers l'intérieur du continent dû à un obstacle, elle se comprime et rétrécit jusqu'à disparaître.



La migration du trait de côte est un phénomène naturel et qui sera probablement accentué dans le futur au fur et à mesure que le niveau marin augmente. Lorsqu'un obstacle empêche cette migration, par exemple un enrochement, un phénomène de compression côtière se produit (Bérubé. 2021). La plage ne pouvant migrer, elle se comprime et rétrécit jusqu'à disparaître, laissant le pied de l'enrochement comme la nouvelle limite côtière.

Facteurs d'erreurs dans les données:

Plusieurs facteurs peuvent causer des erreurs lors du processus d'analyse topographique. :

1. Au fil du temps, de nombreuses bornes temporaires et permanentes ont dû être remplacées, soit à cause de l'érosion, de l'activité humaine, des glaces ou autres raisons inconnues qui font que nos piquets disparaissent. Le processus de remplacement peut engendrer quelques variations de précision.
2. L'erreur humaine. Bien qu'équipé d'un GPS, le marcheur ne sait pas toujours avec certitude s'il suit le transect selon une ligne parfaitement droite. Ses points de repère, les piquets, sont souvent disparus ou mélangés avec d'autres piquets ajoutés par d'autres personnes entre temps.



CONCLUSION

Au cours des dix dernières années, les transects le long de la plage de Le Goulet ont subi des changements significatifs, marqués par des tendances d'accrétion (accumulation de sédiments) et d'érosion (perte de sédiments) changeantes. Les données montrent que, malgré des travaux de protection, plusieurs transects ont connu un recul du trait de côte, ou une accumulation dont l'origine est difficilement attribuable aux structures mises en place.

Les murs de sapins, bien que prometteurs initialement, ont montré des résultats mitigés au fil des années, soulignant probablement la nécessité de renouveler le matériel végétal. Les recharges en sable, en particulier celles végétalisées, ont démontré une utilité remarquable au littoral de Le Goulet, sans être des solutions à long terme, à moins de prévoir des rechargements sédimentaires dans le futur.

Si les dunes se sont généralement bien portées de 2014 à 2022, l'année 2023 a été particulièrement difficile, avec des reculs importants sur la plupart des transects dus à des marées extrêmes. Les structures de protection ont été mises à l'épreuve, montrant des signes de dégradation, et la tempête de janvier 2024 a exacerbé la situation. Certains secteurs, notamment les transects P01, P10, et P11, ont subi des dégâts considérables avec des dunes complètement mises à plat dans certaines zones.

La préservation des dunes de Le Goulet demande une approche équilibrée combinant des solutions qui protègent l'environnement tout en maintenant la viabilité économique. L'analyse des options de protection souligne l'importance de considérer la nature dynamique des dunes et les méthodes basées sur la nature apparaissent comme des alternatives prometteuses. Les succès passés, comme l'ensablement de 2014, offrent des leçons précieuses pour guider les choix futurs, tout en tenant compte des changements climatiques et de l'évolution naturelle du littoral.

Les données topographiques du présent rapport ne tiennent pas compte des changements que la tempête du 10 janvier 2024 a pu apporter. Seulement un futur suivi topographique, effectué le plus rapidement possible et en l'absence de neige, pourra démontrer de façon exacte l'étendue des dégâts, guidant les futures interventions humaines en termes de protection du littoral.

REMERCIEMENTS

Merci au fonds en fiducie pour le financement de ce projet. Merci également à tous nos collaborateurs pour leur implication durant ces 10 années de suivi.



BIBLIOGRAPHIE

Aubé, M., Hébert, C. et Jean, S. 2017. *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet : année 3*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

Aubé, M., Hébert, C. et Jean, S. 2018. *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet: année 4*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

Bérubé, Dominique. 2021. *Hausse du niveau marin, rigidification du trait de côte et perte d'habitats riverains au Nouveau-Brunswick*. Ministère des Ressources naturelles et du Développement de l'Énergie. Direction des études géologiques, bureau de Bathurst. Présentation Powerpoint.

Bulger, Alvine. 2013. *Projet de restauration des dunes de Le Goulet : Projet # 130 158. Rapport final*. Village de Le Goulet.

Bulger, Alvine. 2014. *Projet de restauration des dunes de Le Goulet : Projet #140 084. Rapport final 2014*. Village de Le Goulet.

Bulger, Alvine. 2015. *Projet de restauration des dunes de Le Goulet : Projet #150 135. Rapport final 2015*. Village de Le Goulet.

Englobe, 2017. *Stockpiled Soil and Containment Cell Sampling Program Le Goulet DFO SCH, Le Goulet, NB Final Report*

Hébert, C. et Aubé, M. 2015. *Évaluation d'options d'adaptation aux changements climatiques : Restauration des dunes à Le Goulet*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

Hébert, C., et Aubé, M. 2016. *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet : année 2*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

MSC Consultants, 2018. Formulaire d'enregistrement étude d'impact environnemental – recharge en sable. Projet N°16-39.

LES SERVICES GEOMACADIE, 1996. *Étude d'érosion littorale, secteur de LeGoulet (N.-B.)*. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie, Division des ressources minières et de l'énergie, Nouveau-Brunswick.

Robichaud, A., Simard, I., Doiron, A. et Chelbi, M. 2011. Infrastructures à risque dans trois municipalités de la Péninsule acadienne.

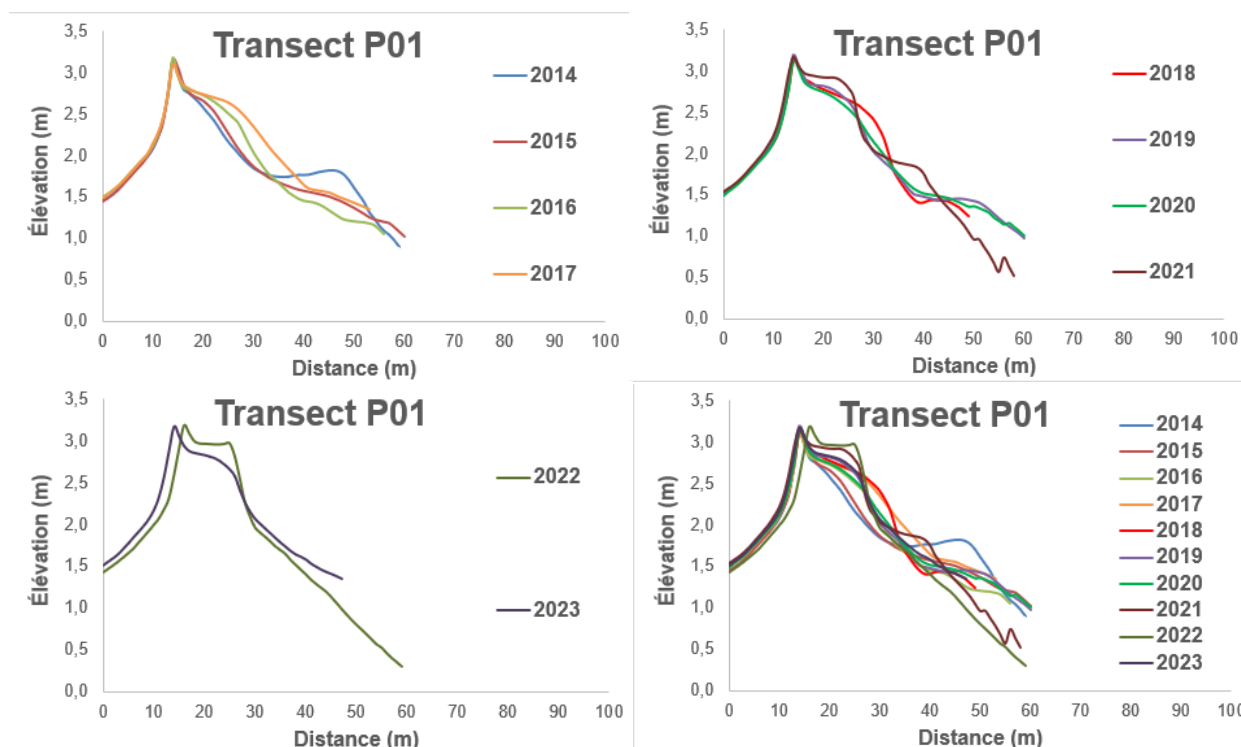
VALORES. 2020. *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet: année 6*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

VALORES. 2019. *Suivi de la restauration des dunes à Le Goulet: année 5*. Institut de Recherche en Zones Côtières.

ANNEXE(S)

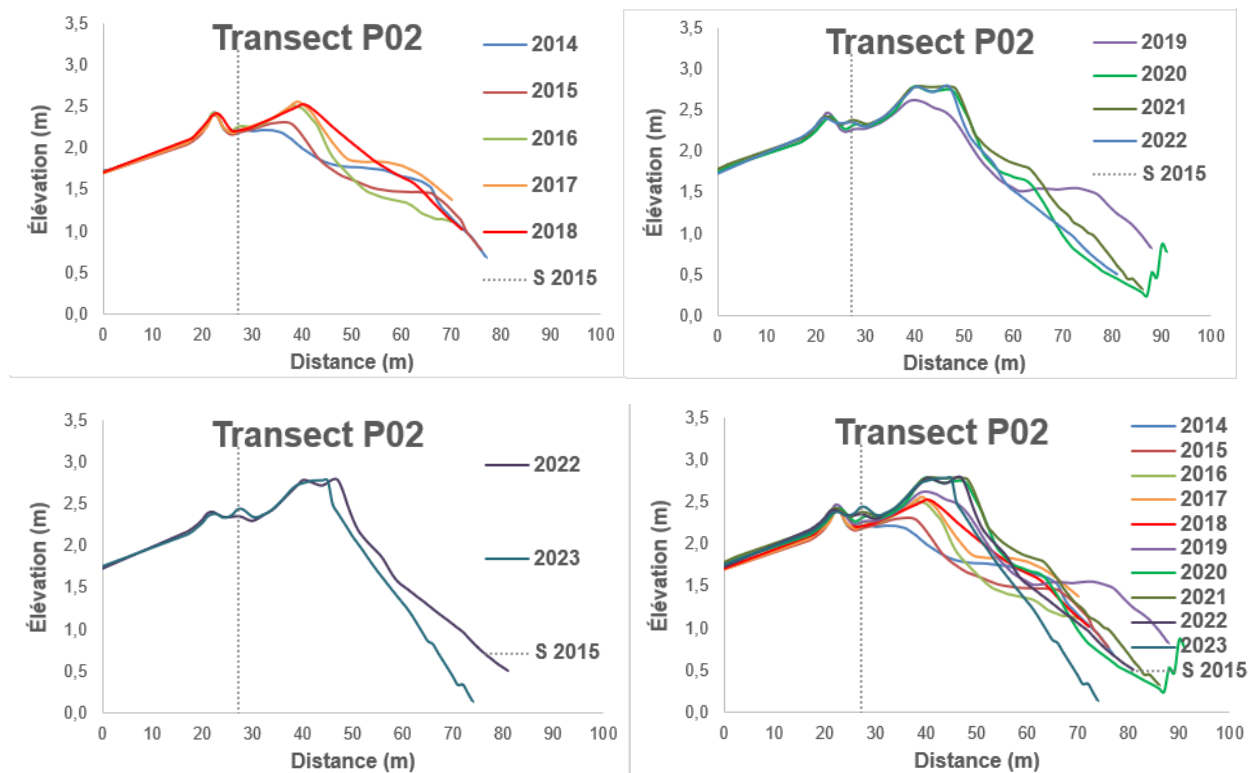
ANNEXE 1 - Profils de plage 2014-2023 du transect P01

Graphiques représentant la topographie sous la forme d'une coupe transversale de la dune et de la plage.



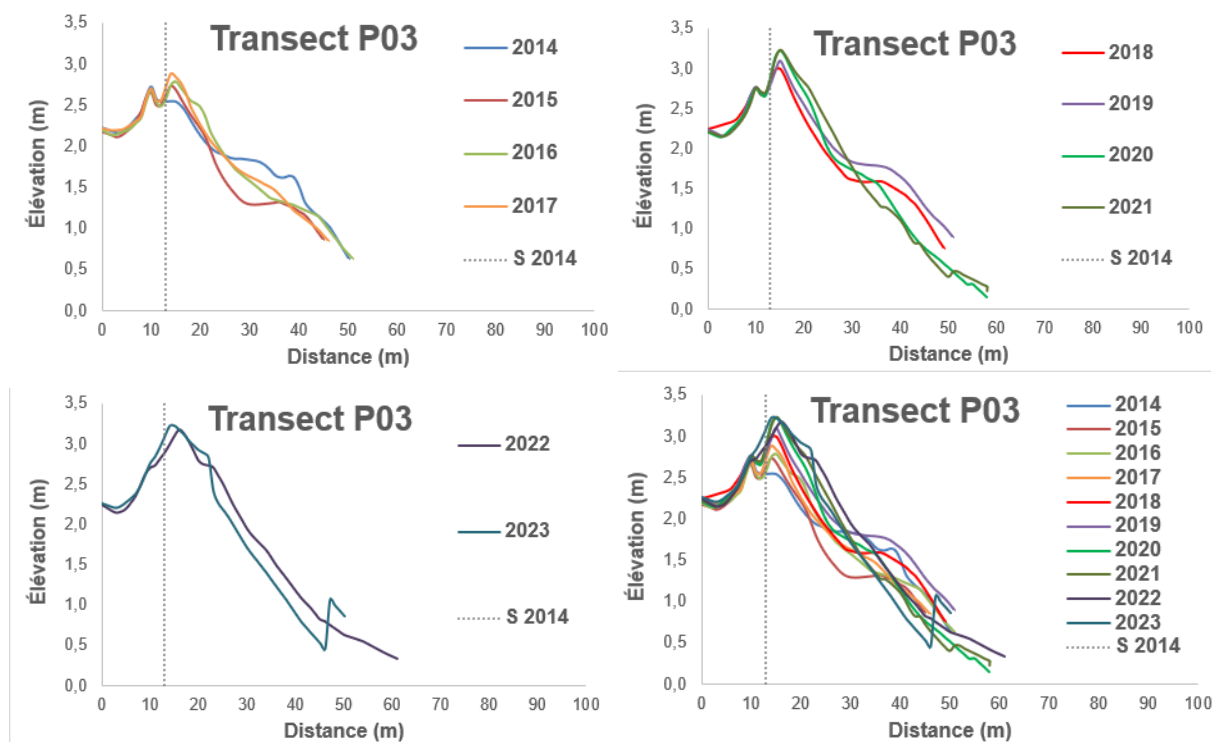
ANNEXE 2 - Profils de plage 2014-2023 du transect P02

Graphiques représentant la topographie sous la forme d'une coupe transversale de la dune et de la plage.

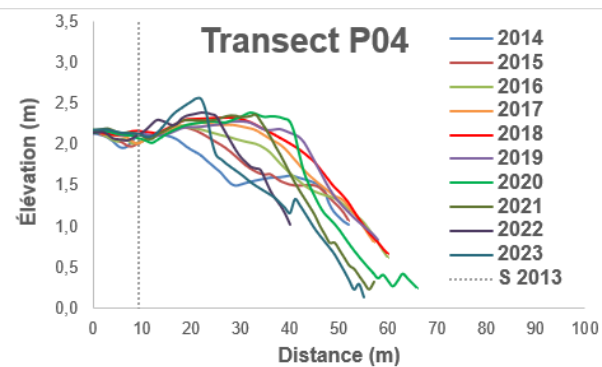
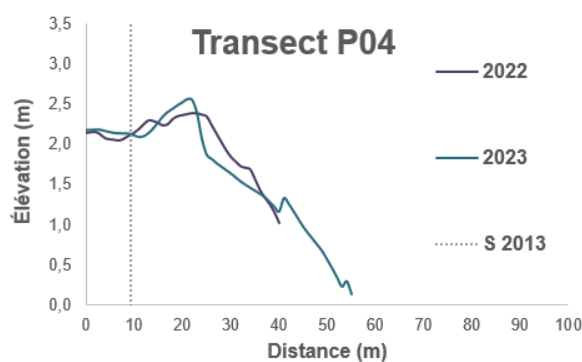
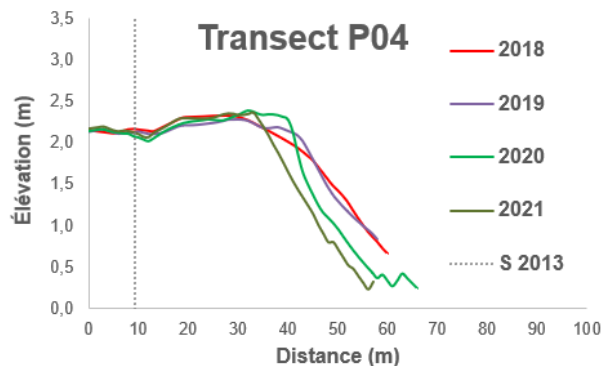
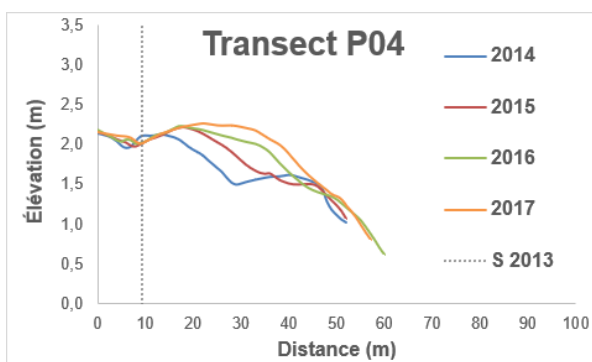


ANNEXE 3 - Profils de plage 2014-2023 du transect P03

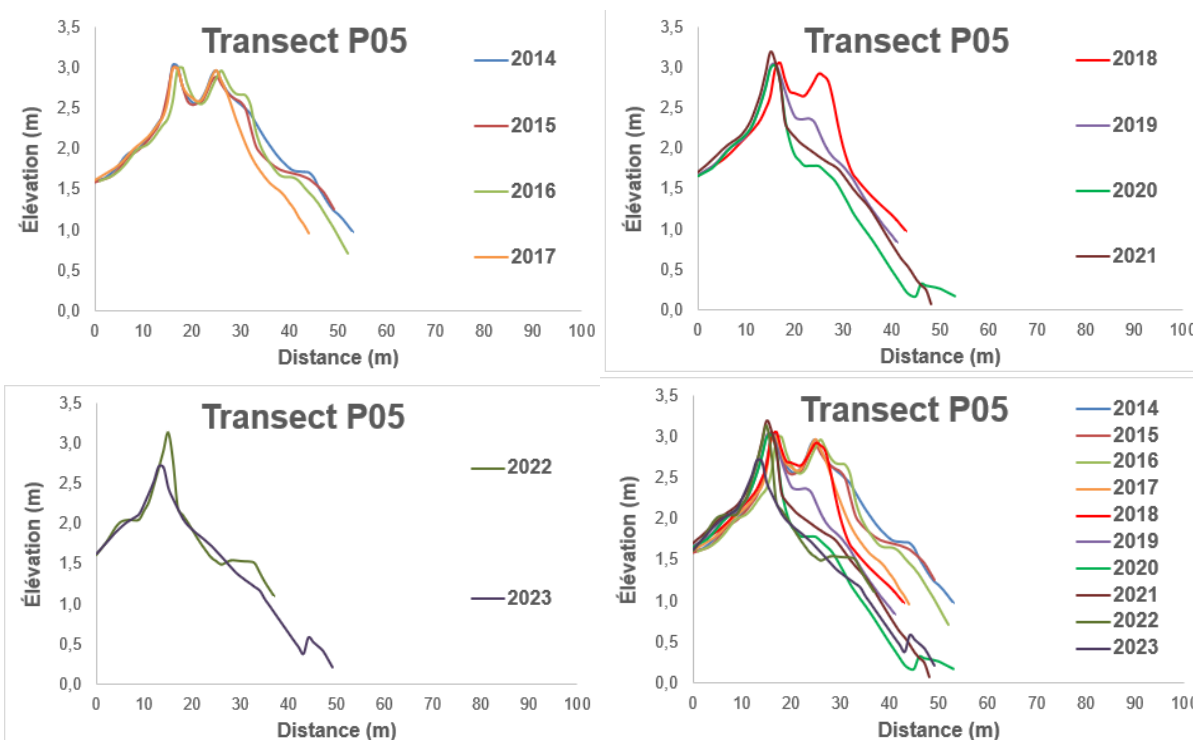
Graphiques représentant la topographie sous la forme d'une coupe transversale de la dune et de la plage.



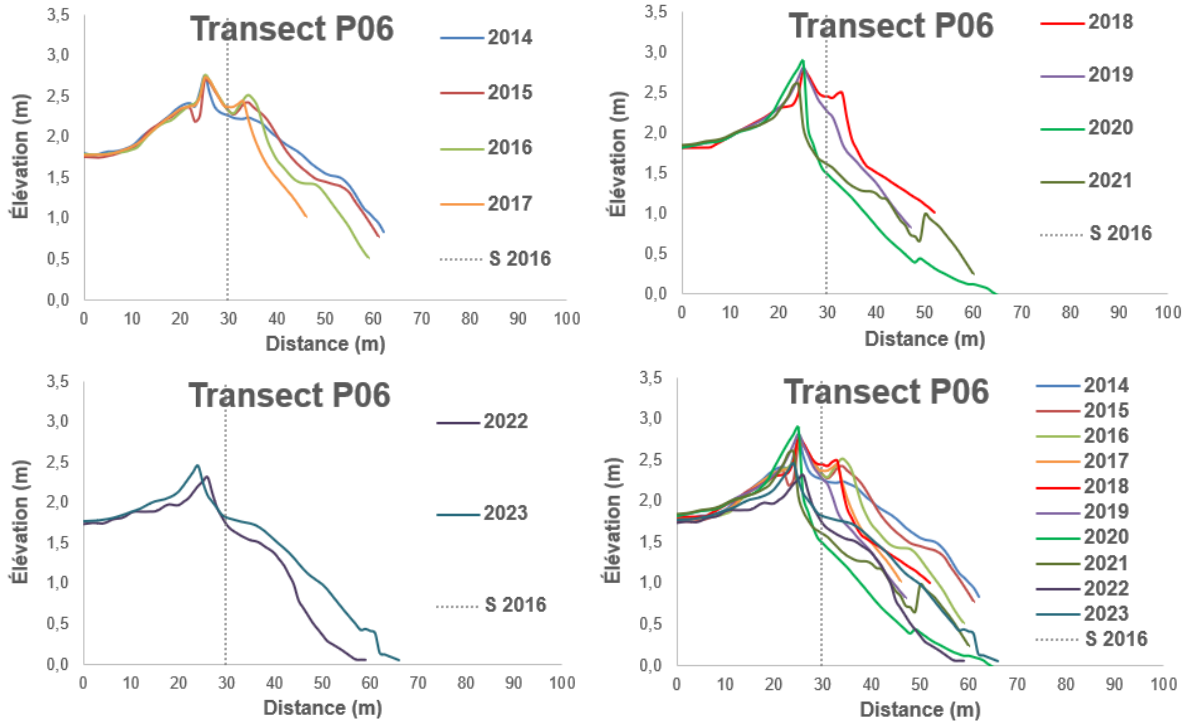
ANNEXE 4 - Profils de plage 2014-2023 du transect P04



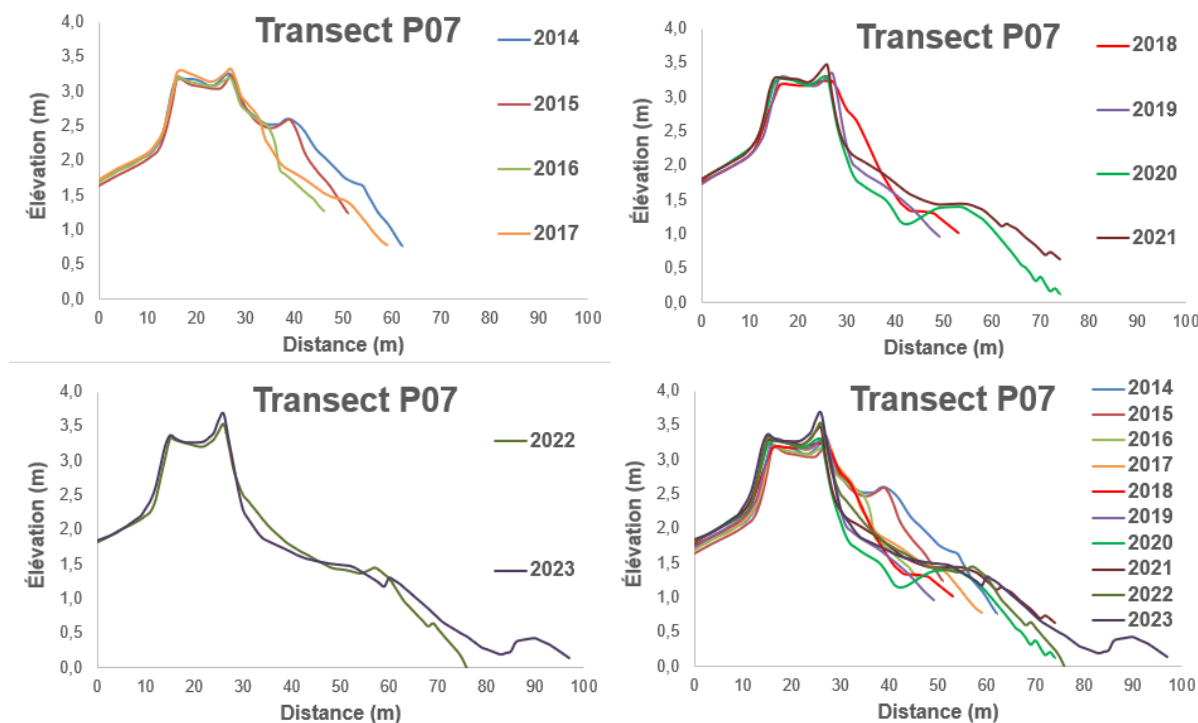
ANNEXE 5 - Profils de plage 2014-2023 du transect P05



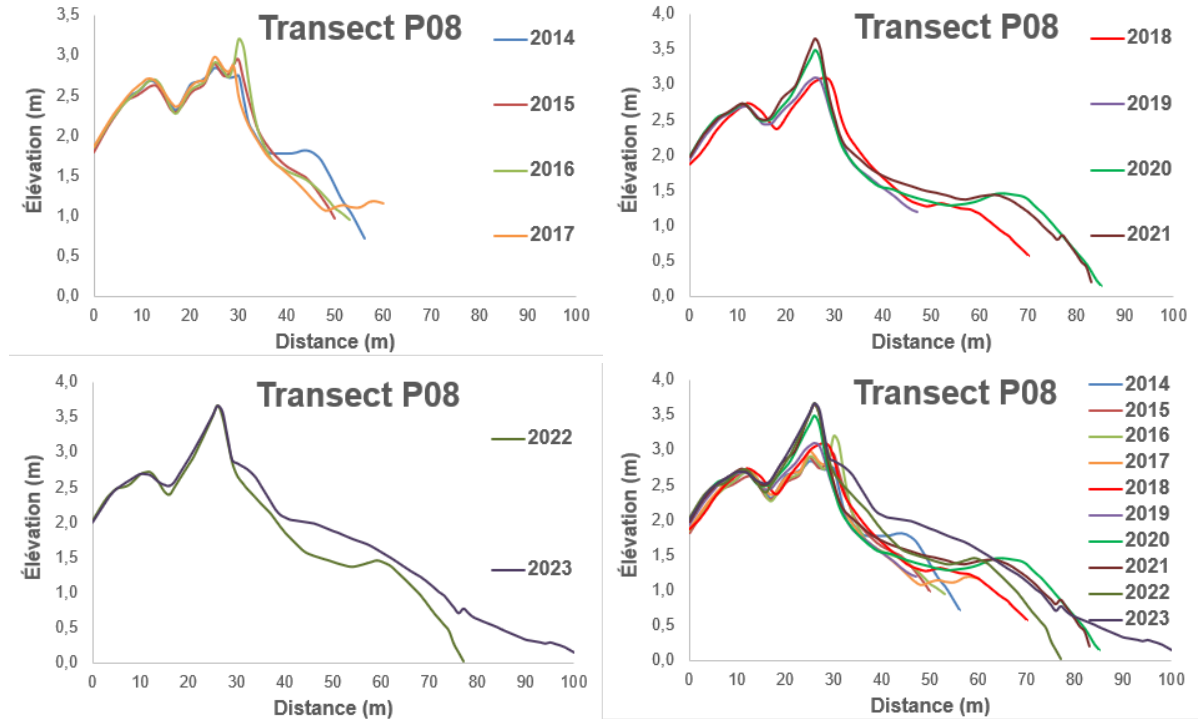
ANNEXE 6 - Profils de plage 2014-2023 du transect P06



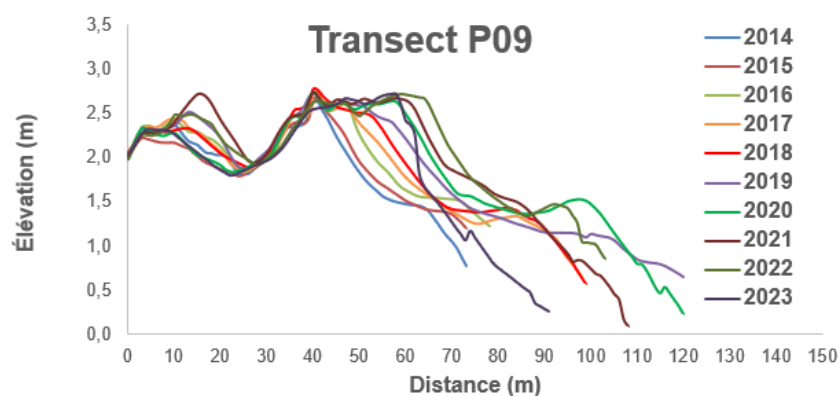
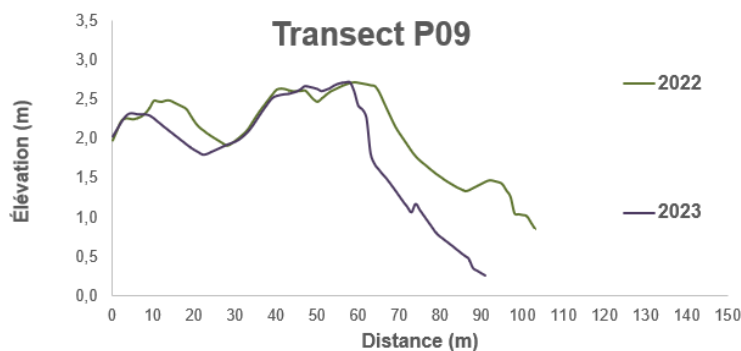
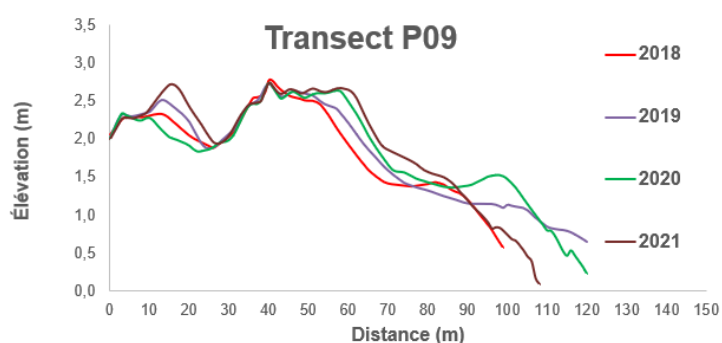
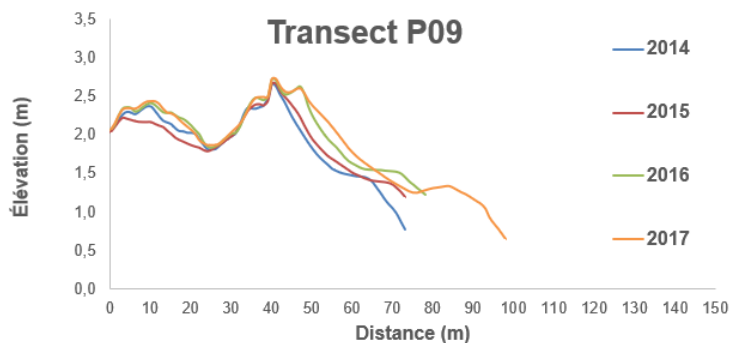
ANNEXE 7 - Profils de plage 2014-2023 du transect P07



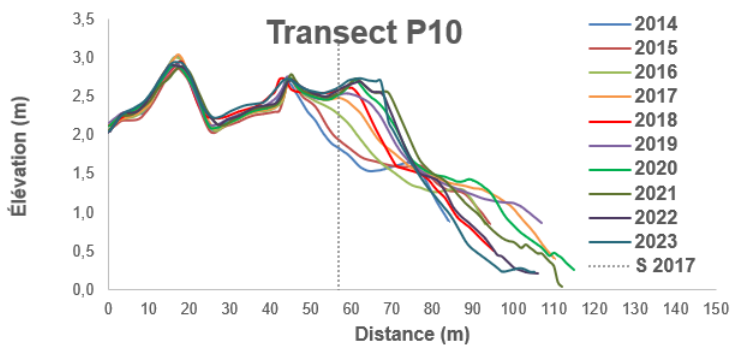
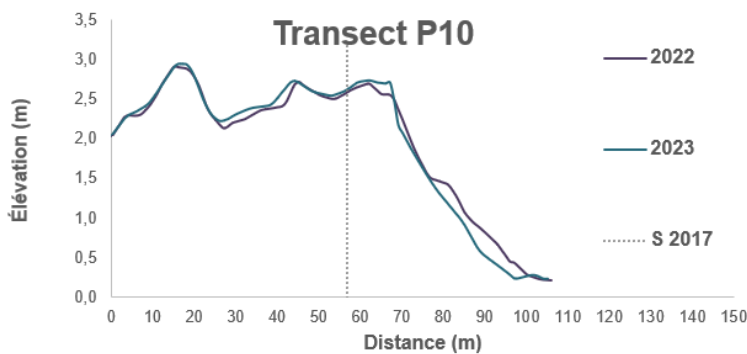
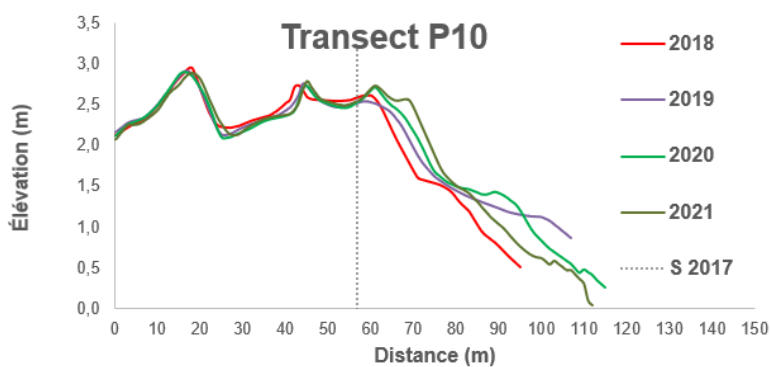
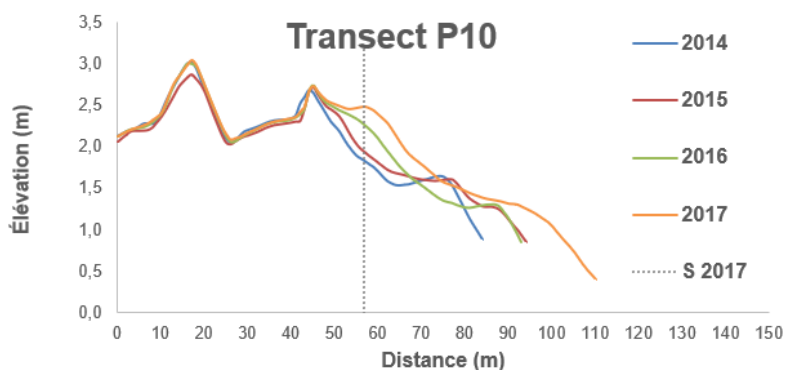
ANNEXE 8 - Profils de plage 2014-2023 du transect P08



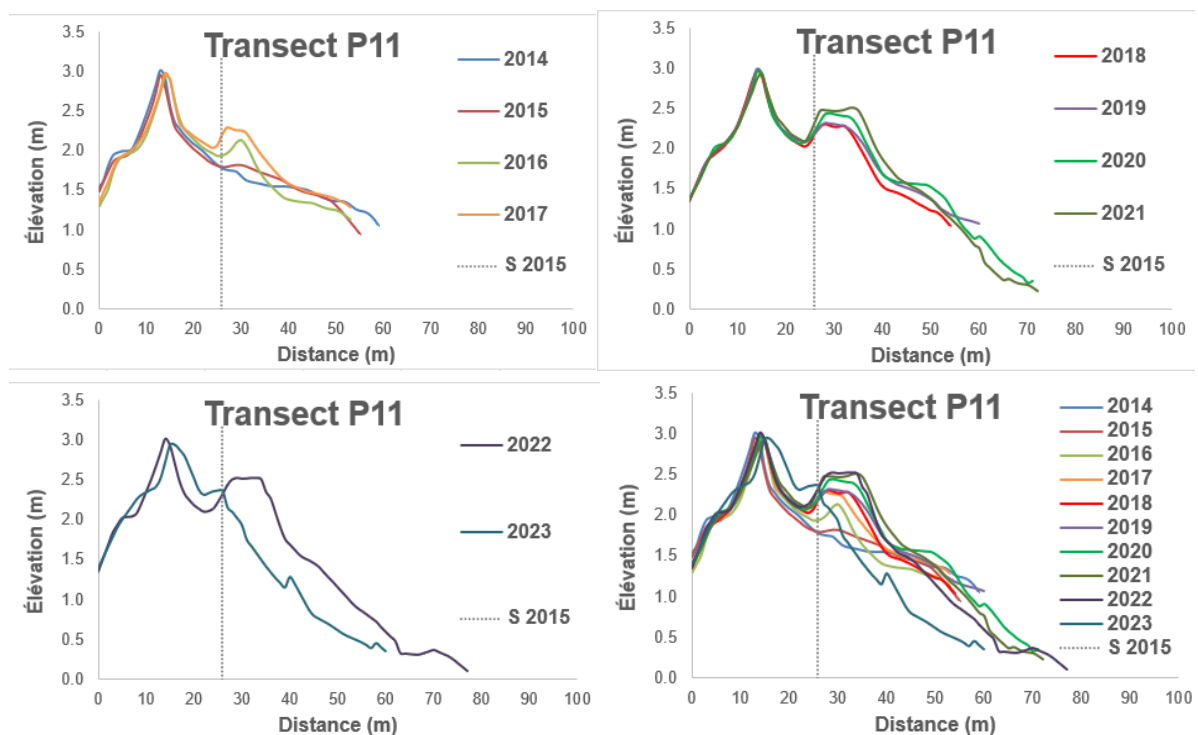
ANNEXE 9 - Profils de plage 2014-2023 du transect P09



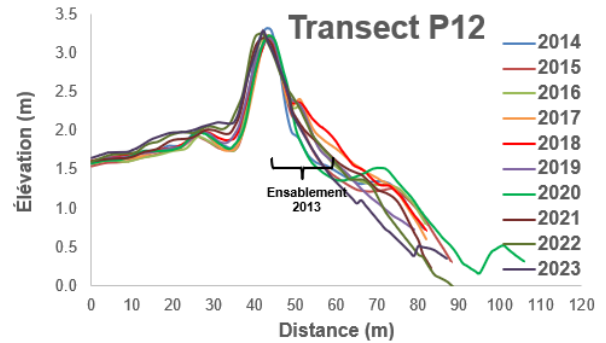
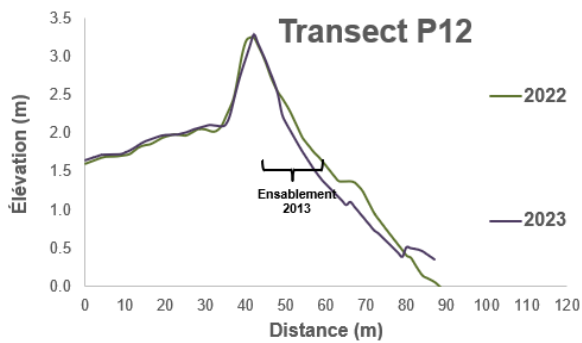
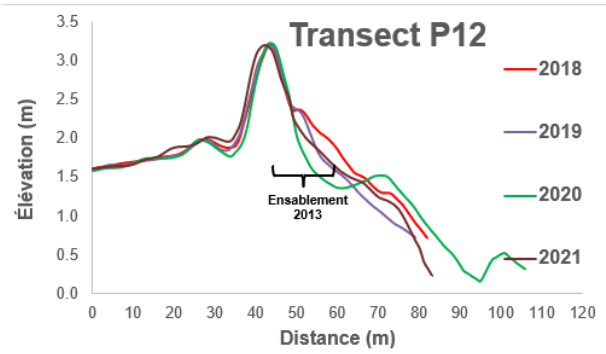
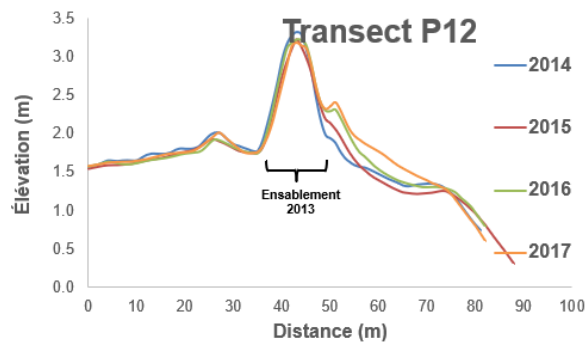
ANNEXE 10 - Profils de plage 2014-2023 du transect P10



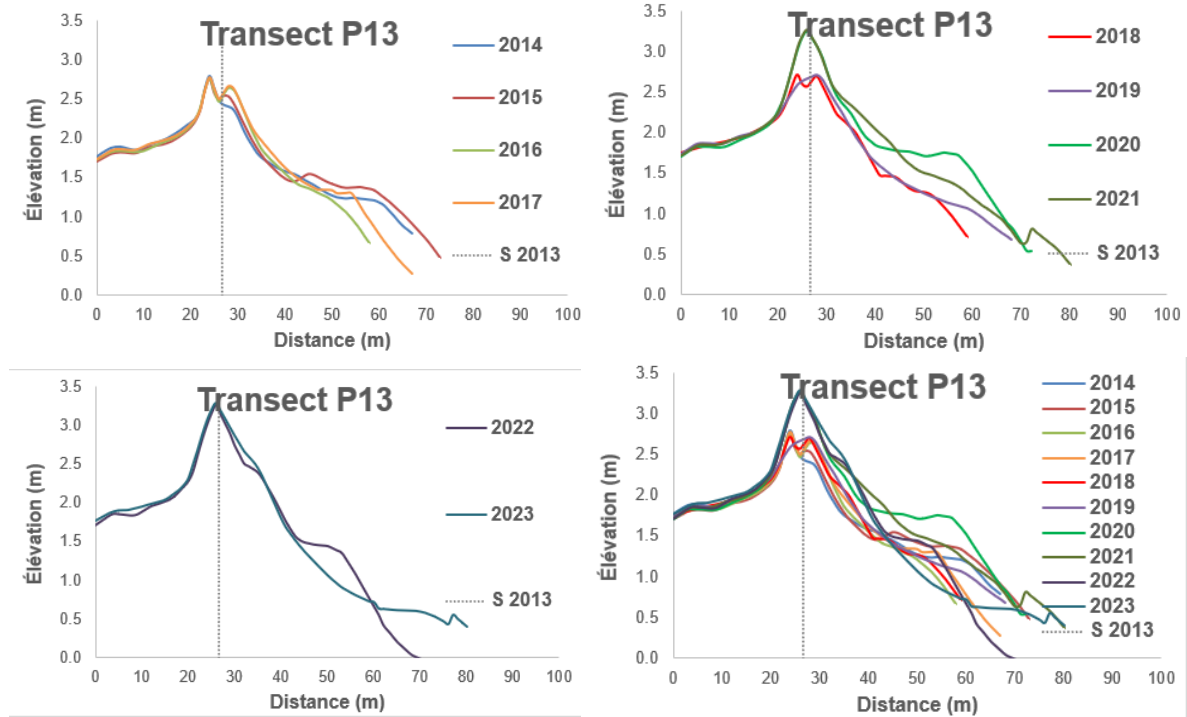
ANNEXE 11 - Profils de plage 2014-2023 du transect P11



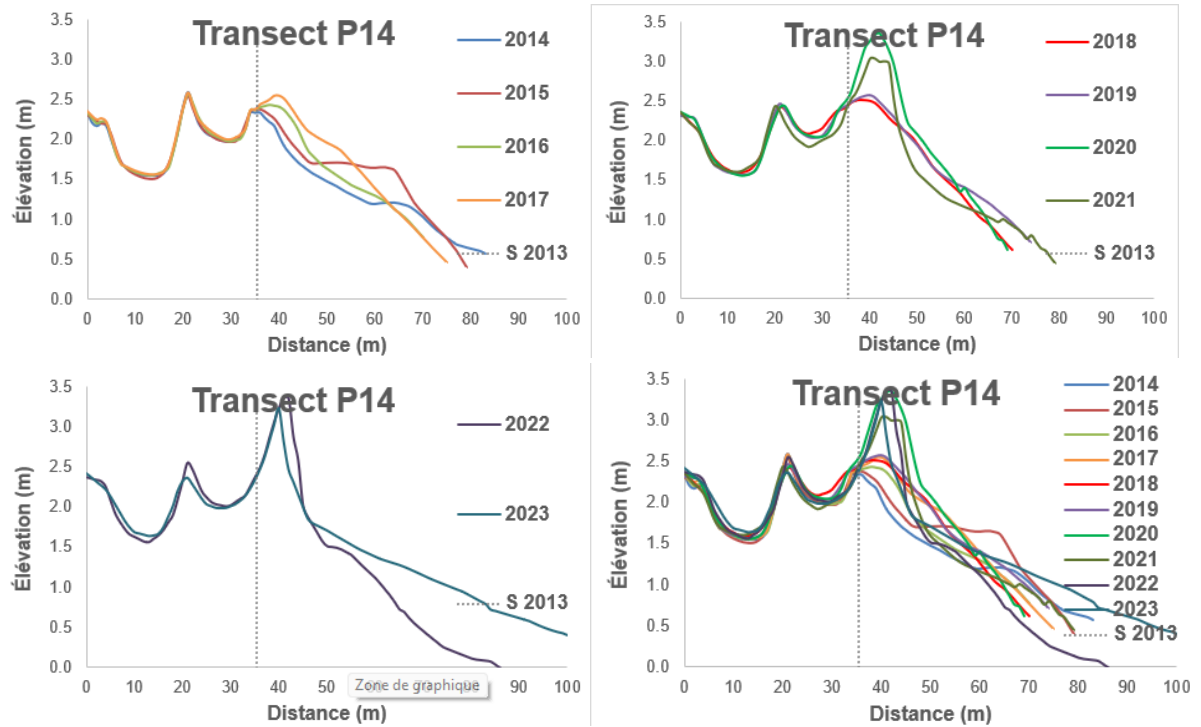
ANNEXE 12 - Profils de plage 2014-2023 du transect P12



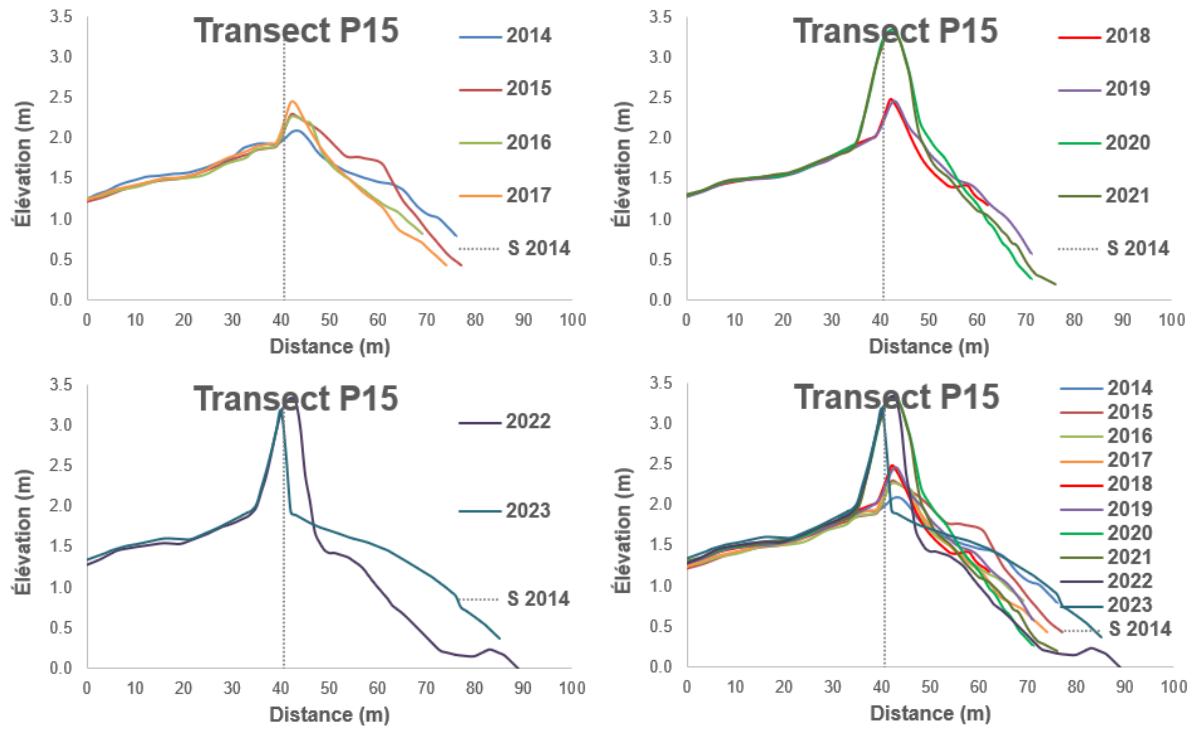
ANNEXE 13 - Profils de plage 2014-2023 du transect P13



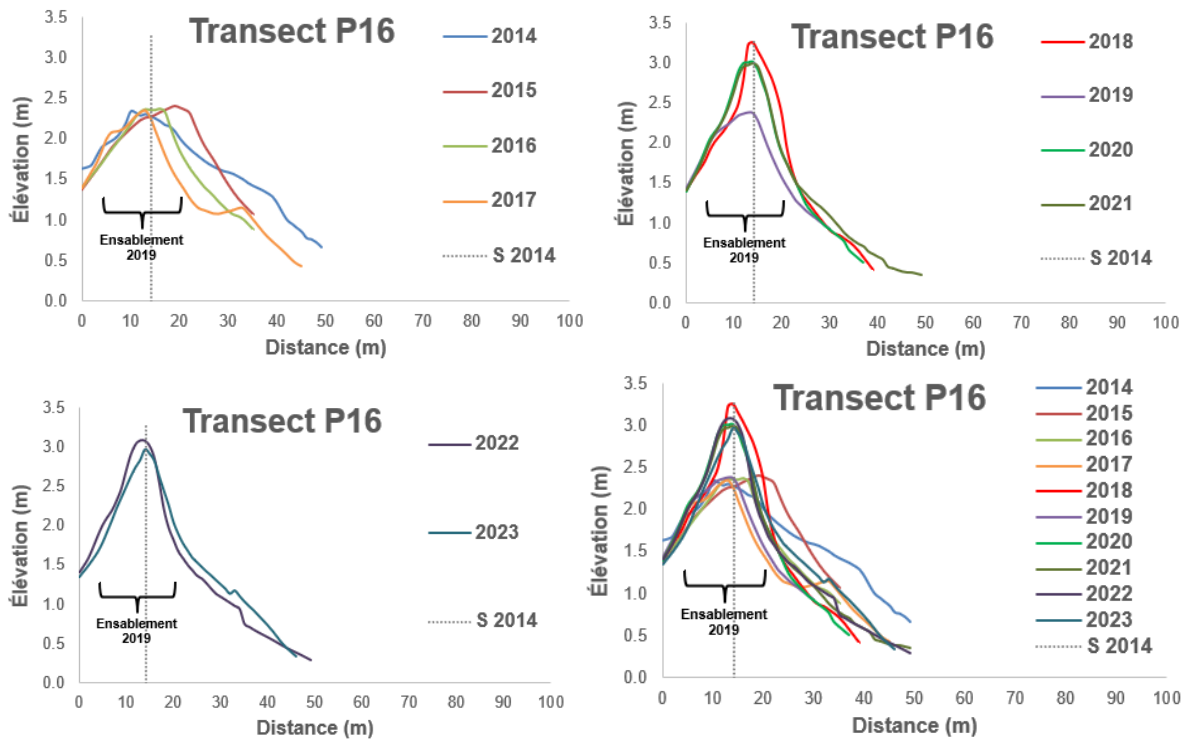
ANNEXE 14 - Profils de plage 2014-2023 du transect P14



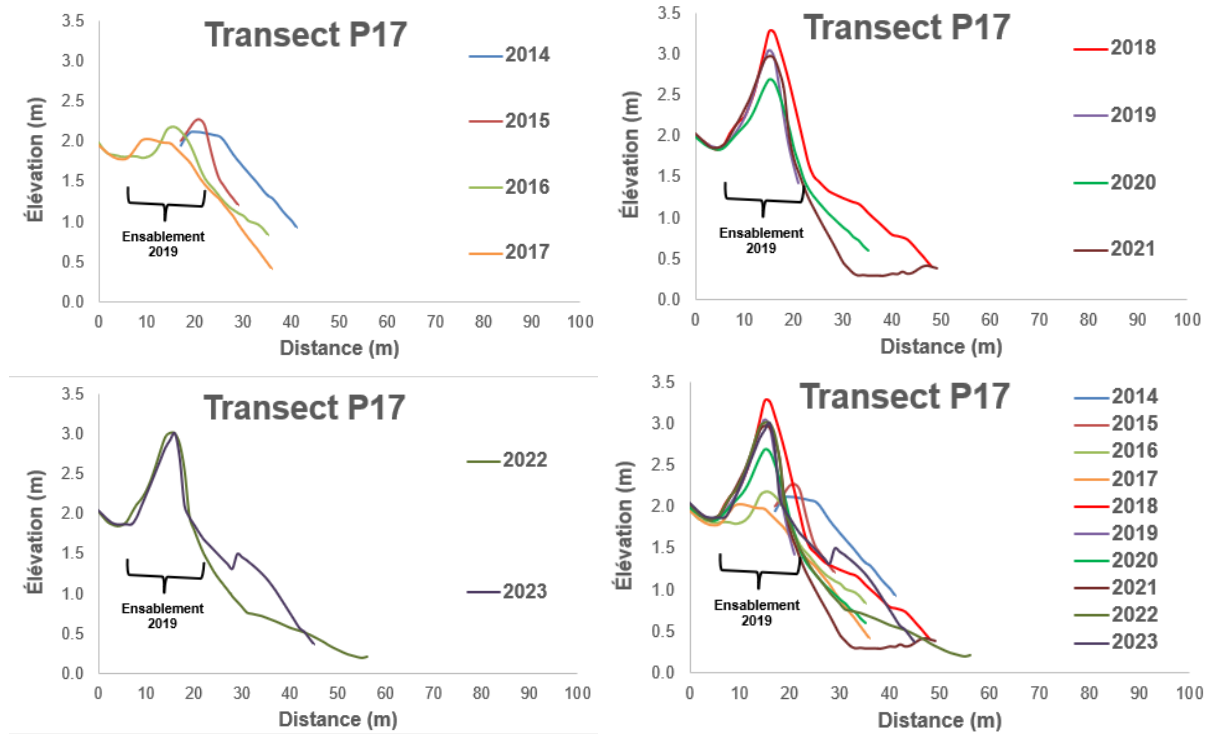
ANNEXE 15 - Profils de plage 2014-2023 du transect P15



ANNEXE 16 - Profils de plage 2014-2023 du transect P16



ANNEXE 17 - Profils de plage 2014-2023 du transect P17



ANNEXE 18 – État des structures

Photos des transects à la première année des structures et à la dernière 2023. Toutes les photos font face vers l'est et ont été prises durant l'été avant à gauche une photo d'année antérieure et à droite une photo de 2023.



P01 (2014 -2023)



P02 (2014-2023)





P03 (2014-2023)





P04 (2014-2023)





P05 (2014-2023)





P06 (2014-2023)





P07 (2014-2023)





P08 (2014-2023)





P09 (2014-2023)





P10 (2014-2023)





P11 (2014-2023)





P12 (2014-2023)





P13 (2014-2023)





P14 (2020-2023)





P15 (2020-2023)





P16 (2020-2023)





P17 (2020-2023)

