

[Tapez ici]



ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES PLAGES SABLEUSES DE L'ILE DE RE EN LIEN AVEC L'ALEA EROSION



Maître de stage : Didier RIHOUEY

Tuteur académique : Vincent RODGÉ

Rapport de stage

Océane ROUMEAS

Ingénierie des milieux aquatiques

Avril-Mai-Juin 2023

[Tapez ici]

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce stage et qui m'ont aidé dans la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon maître de stage, Didier Rihouey, Président de la société CASAGEC Ingénierie, qui m'a fait confiance et m'a accepté au sein de son entreprise. Il a su prendre le temps pour m'orienter et me partager son savoir sur des thématiques qui m'étaient jusqu'alors inconnues.

Je souhaite également remercier Théo Berland et Pierre Martin, qui m'ont guidée dans les campagnes de terrain et qui m'ont fait confiance.

Je tiens également à souligner l'investissement de Floriane Bogun qui m'a accueillie chaleureusement et a su se rendre disponible et extrêmement pédagogue en me confiant des tâches particulières.

Enfin, un grand merci à toute l'équipe pour sa bonne humeur et son dynamisme, avec laquelle j'ai eu la chance de passer 3 mois aussi agréables que professionnalisant.

TABLE DES MATIERES

1	Préambule.....	7
1.1	Présentation de l'environnement de travail	7
1.1.1	Présentation générale du bureau d'études	7
1.1.2	Présentation des équipes.....	8
1.1.3	Observatoires du littoral	9
1.2	Les missions lors du stage	10
2	Le littoral : un milieu en perpétuel évolution	11
2.1	L'évolution du trait de côte	12
2.1.1	L'accrétion du littoral.....	12
2.1.2	L'érosion côtière	12
2.2	Zoom sur les évolutions du littoral de l'Île de Ré	13
3	Cas d'étude du littoral de l'île de Ré : Les dispositifs expérimentaux.....	15
3.1	Les levés mis en œuvre	15
3.1.1	Levés topographiques	15
3.1.2	Levés photogrammétriques par drone	16
3.1.3	Levés scanner 3D	18
3.1.4	Levés bathymétriques.....	19
3.2	Traitement et exploitation des données acquises	21
3.2.1	Le nettoyage de la donnée brute	21
3.2.2	Le traitement de la donnée.....	21
3.2.3	L'exploitation et l'analyse de la donnée	21
3.2.4	La digitalisation de la donnée	22
4	Cas d'étude du littoral de l'Île de Ré : Résultats	23
4.1	Préambule	23
4.2	Evolutions observées.....	23
4.2.1	Evolutions du pied de dune (PDD) depuis 2013.....	23
4.2.2	Evolutions de l'estran depuis 2013	26
4.2.3	Zoom sur la conche des Baleines et le Bois-Plage.....	28
5	Conclusion.....	32
6	Retour sur l'expérience.....	33
	Bibliographie.....	34
	Lexique.....	35
	Annexes	36

La méthodologie du levé topographique.....	36
--	----

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Organisation du bureau d'études	8
Figure 2. Localisation des Observatoires du Littoral de Casagec.	9
Figure 3. Emboîtement des échelles d'évolution du littoral.....	11
Figure 4. Schématisation des zones en fonction des marées	12
Figure 5. Faciès d'érosion sur un cordon dunaire.....	13
Figure 6. Levés de terrain mis en œuvre sur l'Île de Ré.....	14
Figure 7. Emprise des levés topographiques à pied et en quad	15
Figure 8. GPS utilisé pour les levés topographiques.....	16
Figure 9. Principe du réseau NRTK Orphéon.....	16
Figure 10. Emprise des levés photogrammétriques en drone.....	17
Figure 11. Principe de la photogrammétrie	17
Figure 12. Nuage de points texturé en 3D.....	18
Figure 13. Levés topographiques au Dynascan.....	18
Figure 14. Principe de mesure de distance par un Lidar.....	19
Figure 15. Illustration d'un levé topographique par Lidar aéroporté.....	19
Figure 16. Emprise des levés bathymétriques	20
Figure 17. Navette hydrographique pour la bathymétrie.....	20
Figure 18. Évolutions des secteurs d'estran suivis depuis 2013.....	23
Figure 19. Évolutions du pied de dune sur la période 2013-2023 à l'échelle de l'Île de Ré.....	24
Figure 20. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage sur la base de l'indicateur PDD.....	25
Figure 21. Schéma illustrant les indicateurs NM et PHMA définis pour étudier les évolutions de l'estran.....	26
Figure 22. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage pour l'indicateur NM.....	27
Figure 23. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage pour l'indicateur PHMA.....	27
Figure 24. Secteurs d'intérêts étudiés : la Conche-des-Baleines et le Bois-Plage.....	28
Figure 25. Volume par PK gagné/perdu (m3)	29
Figure 26. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 à la conche des Baleines Est.....	29
Figure 27. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 à la Conche des Baleines Ouest.....	30
Figure 28. Volume par PK gagné/perdu (m3)	31
Figure 29. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 au Bois-Plage	31
Figure 30. Illustration d'un placement de cible.....	36
Figure 31. Illustration d'un levé photogrammétrique par drone.....	37

Figure 32. Levés topographiques à pied.	37
--	----

1 PREAMBULE

1.1 PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

1.1.1 Présentation générale du bureau d'études

CASAGEC INGENIERIE est une société indépendante de services et conseils **spécialisée dans** :

- Gestion du littoral
- Aménagement portuaire
- Risques inondations et submersion
- Eaux continentales
- Environnement

Mesures | Analyses | Expertises | Solutions constituent les fondements de l'offre de CASAGEC INGENIERIE qui s'appuie sur des **équipes pluridisciplinaires** et des **moyens d'étude performants et diversifiés** pour répondre aux enjeux techniques des projets de ses clients.

Issue d'un essaimage d'une start-up incubée sur le campus universitaire de la Côte Basque de 2004 à 2011, CASAGEC dispose après **20 années d'activités**, d'une expertise reconnue et recherchée par les collectivités locales et territoriales, l'État, les acteurs de la recherche et les grands groupes de travaux publics.

Avec un siège basé à Anglet (64), CASAGEC INGENIERIE est une entreprise de proximité, ancrée dans les territoires côtiers avec de nombreuses références sur la côte Atlantique, la Méditerranée et l'Océan Indien.

Fort d'une croissance annuelle de 7 à 10 % depuis 2012 et avec la création d'une filiale à la Réunion en 2017, d'un établissement à la Rochelle en 2018, d'un établissement en Bretagne en été 2019, **CASAGEC INGENIERIE se déploie aujourd'hui sur l'ensemble du territoire national et ultra-marin.**



L'étude de la dynamique des espaces littoraux, la connaissance des processus hydro-sédimentaires, et le développement d'outils de modélisation dédiés permettent aux ingénieurs de CASAGEC INGENIERIE d'accompagner de nombreuses collectivités pour le suivi, la gestion et l'aménagement de leur littoral.

Acteur actif de la R&D appliquée à la dynamique littorale et sédimentaire, au niveau national et international, CASAGEC INGENIERIE gère aujourd'hui plusieurs observatoires du littoral (Île de Ré, Soulac-sur-Mer, Capbreton, Anglet, Finistère-sud, Normandie...), et s'est vu confier la réalisation de nombreuses études et diagnostics hydro-sédimentaires sur le littoral français.

1.1.2 Présentation des équipes

Ce bureau d'études, spatialisé autour de 4 agences, regroupe à présent plus d'une dizaine de salariés.

Ci-dessous, l'organigramme des salariés est présenté, avec les missions de chacun :

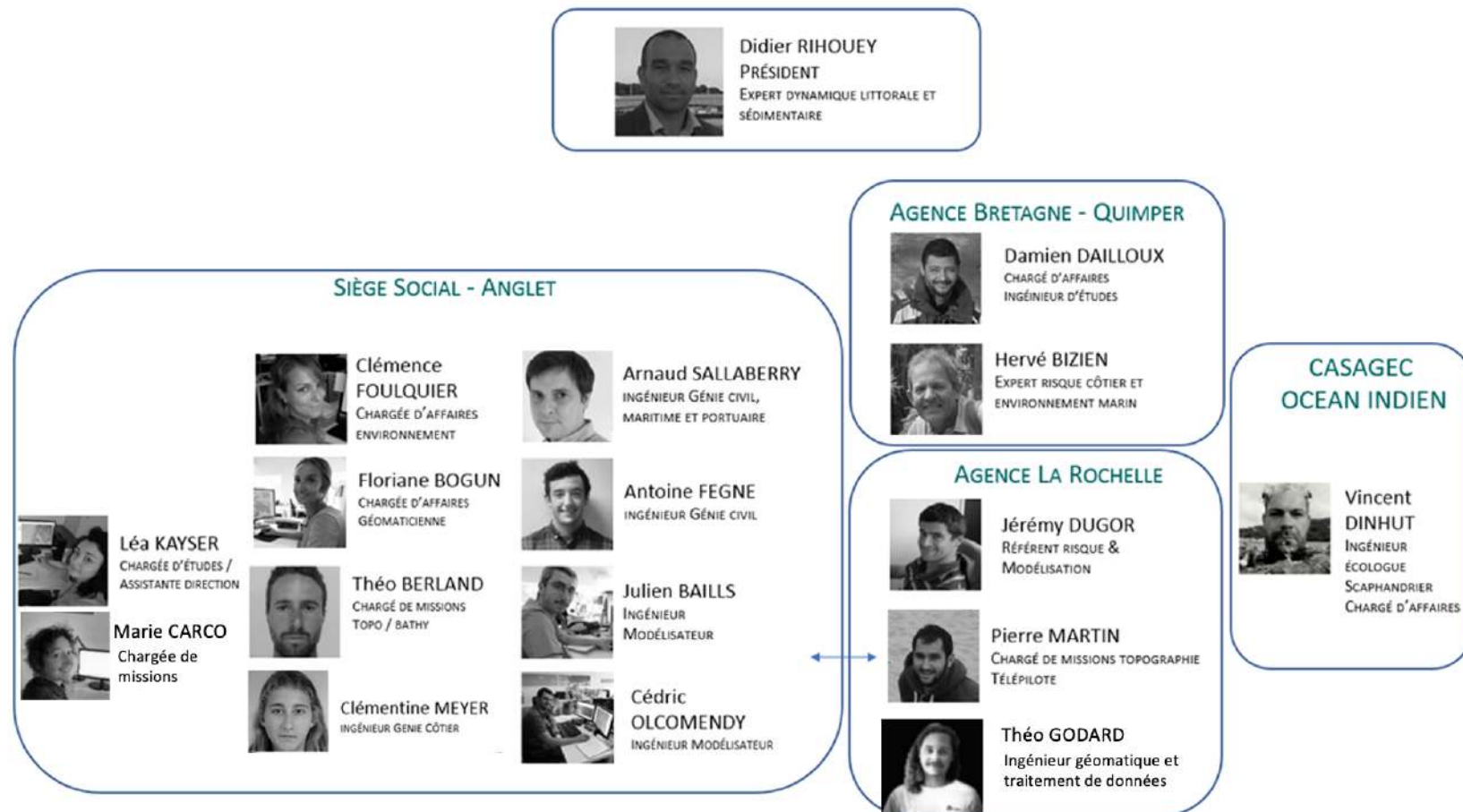


Figure 1. Organisation du bureau d'études

1.1.3 Observatoires du littoral

Le suivi des plages et plus globalement l'étude de la dynamique des espaces littoraux constituent les activités fondatrices de CASAGEC INGENIERIE.

Doté d'une équipe diversifiée et compétente, CASAGEC INGENIERIE possède de nombreux outils topobathymétriques performants qui permettent une analyse rapide et efficace des données récoltées. En effet, en se positionnant à la fois comme producteur et utilisateur de données, CASAGEC assure une qualité de levés et de rendus optimaux aux maîtres d'ouvrage et dispose donc de nombreuses références dans le domaine du littoral.

CASAGEC INGENIERIE dispose de plusieurs observatoires sur l'ensemble du littoral Métropolitain, lui permettant d'effectuer un suivi continu et de disposer d'informations nécessaires pour ces études.

La majeure partie de ces observatoires se situent sur la façade Atlantique et sont localisés sur la Figure 2.

■ Observatoires du littoral

- Ville de Vieux-Boucau (2023-2028), Ville d'Hossegor (2018 – 2022) et Ville de Capbreton (2007-2022),
- Communauté de communes de l'île d'Oléron (2022 – 2025),
- Ville d'Anglet (2001-2024),
- Communauté de Commune de l'Île de Ré (2013-2024),
- Communauté de Communes Médoc Atlantique (2013-2022),
- Ville de Lacanau (2016-2022),
- Communauté de Commune Pays Fouesnantais (2019-2023),
- Département de la Manche (2022-2025).



Figure 2. Localisation des Observatoires du Littoral de Casagec.

A travers ce stage, l'Observatoire de l'Île de Ré a été le sujet principal de l'étude.

1.2 LES MISSIONS LORS DU STAGE

Pour mener à bien ses études, différentes missions de terrain sont réalisées par CASAGEC INGENIERIE pour acquérir des données et suivre les évolutions du littoral.

Au regard de ma période de stage, je n'ai malheureusement pas pu participer aux missions de terrain de l'Île de Ré. Cependant j'ai été sollicitée pour participer au traitement et à l'interprétation des données récoltées sur le terrain lors des campagnes précédentes.

De plus, étant donné que CASAGEC INGENIERIE est responsable de la gestion d'autres observatoires et effectue des missions de terrain plus ponctuelles pour d'autres clients, j'ai également été sollicitée pour participer à des levés sur d'autres territoires, tels que :

- Mission de prélèvements de sédiments dans l'estuaire de l'Adour : prélèvements destinés à évaluer la qualité physico-chimique des matériaux dragués dans le port de Bayonne pour maintenir une profondeur de chenal optimale. Ces analyses permettent de vérifier la compatibilité des futurs déblais avec les opérations d'immersion,
- Mission de prélèvements de sédiments et d'invertébrés benthiques sur la plage de l'Amélie à Soulac-sur-Mer. L'objectif était de caractériser l'état initial de la plage et des petits fonds subtidiaux en termes de granulométrie, de qualité physico-chimique et de la nature des peuplements macrobenthiques du substrat, en amont d'une potentielle extraction de matériaux dans le cadre d'un projet de rechargement de plage,
- Missions de bathymétrie et topographie à Anglet (Pyrénées-Atlantiques), Vieux Boucaux (Landes), Normandie (Manche), Ile d'Oléron (Charente-Maritime), Bourdigou (Pyrénées-Orientales),
- Mission de courantométrie sur l'Adour afin d'évaluer si les courants sont modifiés à la suite des travaux de reconstruction du quai Gommès à Bayonne. Cette mission est réalisée avant et après les travaux. Ce projet est aussi contrôlé par des prélèvements d'eau réalisés avant, pendant et après les travaux.

A travers ce stage, j'ai donc pu découvrir différents aspects du métier, notamment :

- Les missions sur le terrain :
 - Les levés topographiques et bathymétriques,
 - Les prélèvements de sédiments,
- La phase d'analyse en laboratoire :
 - L'analyse granulométrique du sable des plages de Surtainville,
 - Le tri d'échantillon macro benthique,
- L'exploitation de la donnée au bureau : les données acquises sur le terrain sont nettoyées puis analysées à l'aide de logiciels de traitement divers (cf partie 3.2), afin de les exploiter.

Finalement, ce stage au sein du bureau d'études CASAGEC INGENIERIE a été pour moi une porte d'entrée vers la découverte du domaine littoral, milieu qui m'a toujours attirée. Avoir la chance d'être intégrée au sein des équipes de terrain et d'appréhender ensuite le traitement des données au bureau, m'a permis d'en apprendre beaucoup sur le domaine. Grâce à cela, j'ai découvert la polyvalence, la complexité de la fonction et l'adaptabilité dont il faut faire preuve.

2 LE LITTORAL : UN MILIEU EN PERPETUEL EVOLUTION

Les environnements côtiers sont des milieux dynamiques contrôlés par un large spectre spatio-temporel de forçages :

- La tectonique, responsable de la dynamique des bassins, contrôle l'évolution du littoral à l'échelle géologique,
- L'eustasie, évolution d'ensemble du niveau marin, contrôle l'évolution du littoral à l'échelle « pluriséculaire »,
- L'hydrodynamique, caractérisée par les processus côtiers (vagues, marées, courants) et fonction de la climatologie locale (vents dominants, fréquence des tempêtes), contrôle l'évolution du littoral à l'échelle du « temps historique ».

Les évolutions des environnements côtiers considérées à cette échelle du « temps historique » sont fonction des flux sédimentaires. Ces flux entraînent des réponses du milieu qui se manifestent également à différentes échelles de temps et d'espace :

- Phénomènes à micro-échelle et instantanés, tels que l'évolution des rides sédimentaires au passage d'une vague ou la construction de figures sédimentaires par les courants,
- Phénomènes à méso-échelle et moyen terme, tels que l'évolution des barres littorales qui répondent à des processus de type événementiel (tempête) ou périodiques (cycle tidal et cycle météorologique saisonnier),
- Phénomènes à macro-échelle, annuel à pluriannuel, tels que l'évolution du trait de côte incluant les variations environnementales long terme et l'action anthropique.

A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude des changements morphologiques considérés. En supposant que les échelles de temps et d'espace sont liées par des relations linéaires croissantes (De Vriend, 1991), on peut conceptualiser les systèmes côtiers et leurs évolutions comme un emboîtement (Figure 3) de compartiments spatio-temporels (Kroon, 1994).

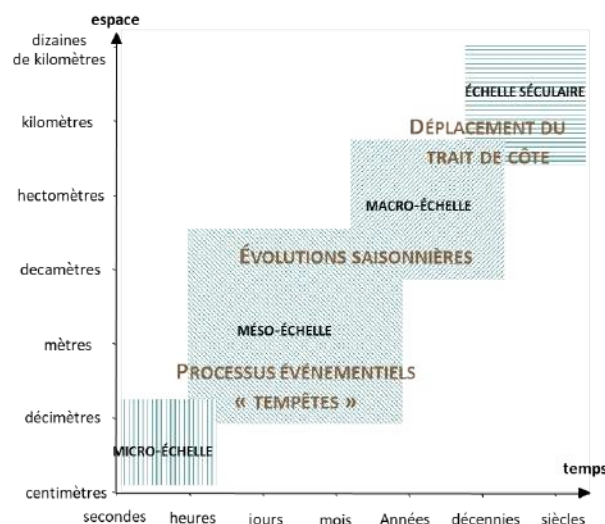


Figure 3. Emboîtement des échelles d'évolution du littoral

En considérant cet emboîtement d'échelles, une évolution à court terme, mais aussi à long terme du littoral est observable. Cette évolution, étudiée sur plusieurs siècles, est la source du déplacement du trait de côte.

2.1 L'ÉVOLUTION DU TRAIT DE CÔTE

Sous l'influence de la houle, des marées, du vent et des courants, les zones côtières sont soumises à des dynamiques diverses pouvant influencer la position du trait de côte.

Le trait de côte peut être défini de manière générale comme la frontière entre la terre et la mer. En fonction des études, il peut prendre la forme de limites de végétation, de crêtes de falaises, de pieds de dunes ou encore de fronts de mangroves.

La position du trait de côte peut fluctuer dans le temps et entraîner une érosion ou une accrétion en fonction de la zone étudiée. Ces zones sont représentées sur la figure 4.

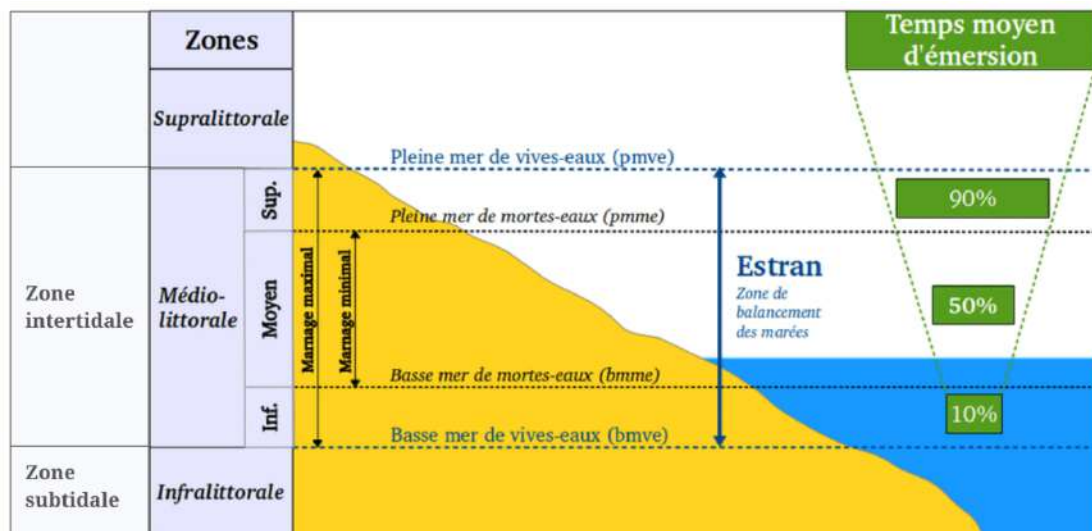


Figure 4. Schématisation des zones en fonction des marées

2.1.1 L'accrétion du littoral

L'accrétion est le processus par lequel une zone côtière gagne progressivement de la terre. Cela se produit lorsque le dépôt de sédiments sur la côte est supérieur à l'érosion qui se produit par l'action des vagues, des courants marins ou d'autres facteurs naturels.

L'accrétion du trait de côte peut se produire de différentes manières. Par exemple, lorsque des rivières transportent des sédiments jusqu'à l'océan, ces sédiments peuvent être déposés le long de la côte, créant ainsi des zones où le littoral avance. De même, les courants marins peuvent déplacer les sédiments d'une région à une autre, favorisant l'accumulation de matériaux côtiers.

2.1.2 L'érosion côtière

L'érosion côtière désigne quant à elle la perte de matériaux le long d'une portion du littoral due aux phénomènes hydro-sédimentaires marins, parfois combinés à d'autres facteurs environnementaux, et pouvant être accélérée par l'activité humaine. Cette érosion entraîne le déplacement du trait de côte vers l'intérieur des terres, c'est le recul du trait de côte.

Le recul du trait de côte n'est pas la seule conséquence de l'érosion côtière. En effet, celle-ci peut également se manifester par un abaissement de la zone intertidale du littoral ou de la plage, même en l'absence de recul du trait de côte, notamment lorsque sa position est fixée par une structure côtière. Ainsi, le recul du trait de côte est l'un des indicateurs de l'érosion côtière.

Par ailleurs, le changement climatique et la montée du niveau de la mer peuvent accélérer les phénomènes d'érosion et favoriser le recul du trait de côte en entraînant une submersion progressive des zones basses du littoral par la mer.

Finalement, en étudiant les positions du trait de côte au fil des années, il est possible d'appréhender le comportement du littoral et d'identifier les éventuels phénomènes d'accrétion ou de recul qui se sont produits. En connaissant les évolutions et sensibilités de leur littoral, les gestionnaires peuvent mettre en place des mesures de gestion adaptées, l'objectif étant de limiter l'érosion et de favoriser l'accrétion.



Figure 5. Faciès d'érosion sur un cordon dunaire

2.2 ZOOM SUR LES EVOLUTIONS DU LITTORAL DE L'ILE DE RE

Pour disposer de données factuelles sur les secteurs en érosion ou en accrétion, l'Observatoire du littoral de l'Île de Ré a été mis en place.

En effet, CASAGEC INGENIERIE mène depuis 2013 l'Observatoire du littoral de l'Île de Ré, en réponse aux attentes de la Communauté de Communes. Cette étude se concentre spécifiquement sur l'érosion des plages et des falaises, ainsi que sur la dynamique des cordons dunaires, qui posent des problèmes importants en termes de risque de submersion. Face aux défis liés au recul du trait de côte, à la submersion marine, au réchauffement climatique et aux coûts élevés des solutions douces de lutte contre l'érosion, CASAGEC intervient pour étudier les échéances à moyen et long terme et proposer des solutions.

Les enjeux liés au littoral de l'Île de Ré sont à la fois publics et environnementaux. En effet, la construction de routes, de pistes cyclables et de bâtiments à proximité des zones soumises à l'érosion constitue un risque de dommages, voire de destruction pour ces infrastructures si l'érosion persiste. De plus, le recul du trait de côte menace les habitats de certaines espèces protégées et contribue à leur disparition. Il est donc crucial de suivre de près l'évolution du littoral afin de mieux appréhender les évolutions à venir.

C'est dans ce cadre que l'Observatoire de l'Île de Ré permet d'acquérir des données régulières, afin d'améliorer les connaissances quant aux évolutions du littoral.

Différents types de suivis sont donc régulièrement mis en œuvre :

- À terre :
 - Levés topographiques des estrans sableux et des cordons dunaires depuis Trousse Chemise (Les Portes-en-Ré) au Nord jusqu'à la pointe de Sablanceaux (Rivedoux-Plage) au Sud,
 - Levés photogrammétriques au drone des zones de falaises à Sainte-Marie-de-Ré, à la Pointe-du-Grignon et ponctuellement sur la façade Est,
- En mer : levés bathymétriques du banc du Bûcheron et de la Pointe de Sablanceaux (figure 6).

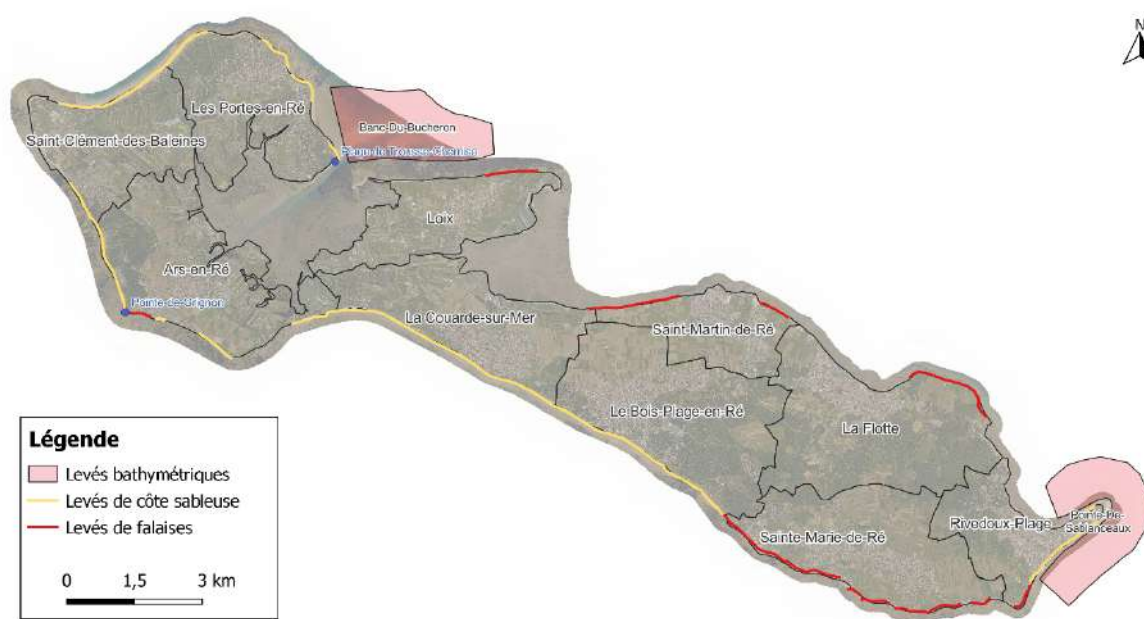


Figure 6. Levés de terrain mis en œuvre sur l'Île de Ré

3 CAS D'ÉTUDE DU LITTORAL DE L'ÎLE DE RÉ : LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Afin de disposer d'éléments lui permettant d'appréhender les évolutions du trait de côte, CASAGEC INGENIERIE initie des campagnes de terrain régulières sur le littoral de l'île de Ré. Les données sont ensuite comparées d'une année sur l'autre, afin de suivre les évolutions du littoral.

Ces campagnes de terrain sont menées dans le cadre de l'observatoire de l'île de Ré. Pour ce faire, 4 types de levés sont réalisés :

- Levés topographiques des plages,
- Levés photogrammétriques par drone des falaises,
- Levés scanner 3D (Lidar) de la face de dune,
- Levés bathymétriques.

3.1 LES LEVES MIS EN ŒUVRE

3.1.1 Levés topographiques

Les levés topographiques sont réalisés à pied et en quad. Ils ont respectivement lieu au printemps et en automne et s'étendent de la Pointe de Sablanceaux à Rivedoux Plage, ainsi que des Grenettes à la plage de Trousse-Chemise.

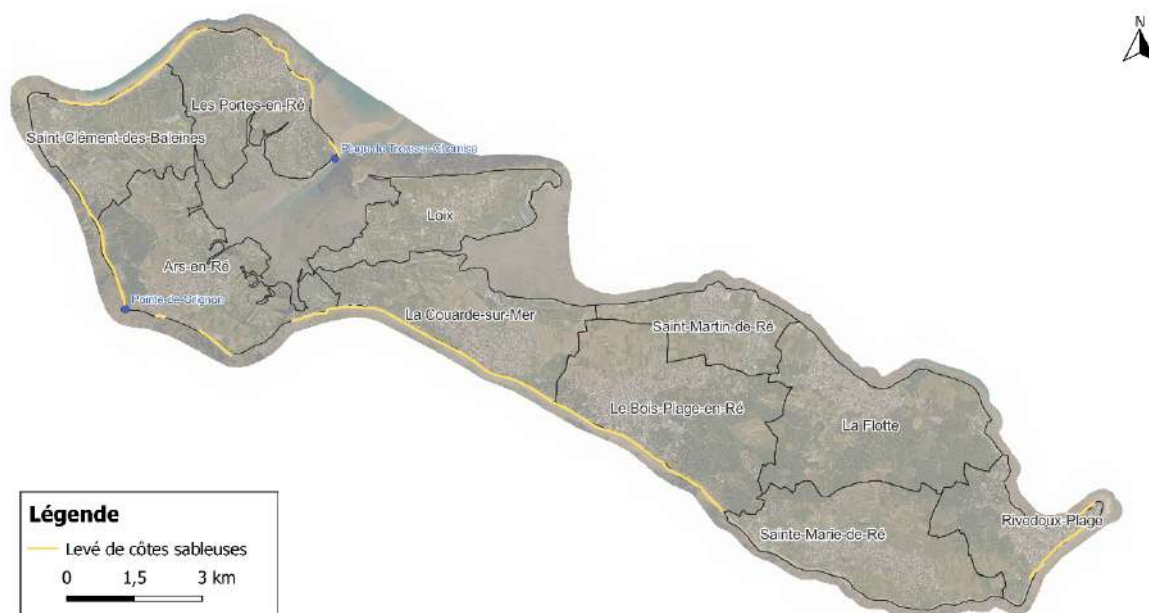


Figure 7. Emprise des levés topographiques à pied et en quad

Ces levés de la plage sont effectués selon des profils transverses espacés de 100 m, du pied de dune (rupture de pente) jusqu'en bas de l'estran. Afin d'acquérir le plus grand nombre de données, les levés sont réalisés à marée basse lors de coefficient de marée de vives-eaux. Pour ces mesures, un GPS-RTK centimétrique embarqué est utilisé.

Le GPS est un récepteur de signaux envoyés par des satellites pour lui permettre de calculer sa position (il faut 4 satellites pour calculer sa position).

En se basant sur son horloge interne, en connaissant précisément la trajectoire que suivent les satellites et à partir des données de leurs éphémérides, le récepteur GPS calcule la distance à laquelle se trouvent les satellites au même instant et détermine sa propre position.

Sans correction, ce calcul permet d'obtenir une précision de l'ordre de plus ou moins 3 m.



Figure 8. GPS utilisé pour les levés topographiques

Il est alors possible d'utiliser un système de correction permettant d'augmenter la précision du positionnement au niveau centimétrique : le réseau Orphéon. Orphéon utilise un dispositif permettant de transmettre en temps réel les données de corrections de plusieurs bases d'observations aux GPS mobiles : le système NRTK. Les données de ce réseau de stations de références sont rassemblées en temps réel sur un serveur centralisé. Les mobiles se connectent au serveur via internet mobile pour obtenir leurs informations de corrections. Le mobile va alors intégrer ces informations dans son calcul de positionnement pour gagner en précision (figure 9).

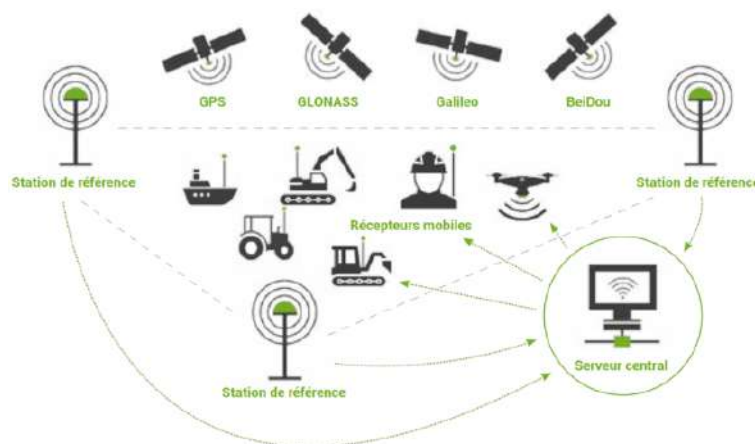


Figure 9. Principe du réseau NRTK Orphéon.

3.1.2 Levés photogrammétriques par drone

La photogrammétrie par drone est utilisée pour lever les zones de falaises, inaccessibles à pied ou en quad, lors des campagnes qui ont lieu au printemps. Elles sont réalisées sur les plages de Sainte-Marie, à la pointe de Grignon et le long de la plage de Saint-Martin et de La Flotte (figure 10).

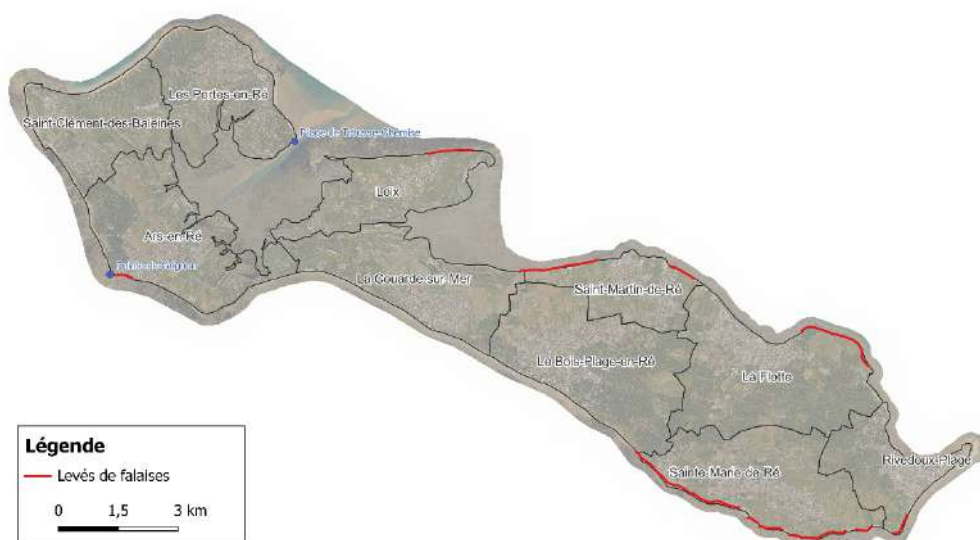


Figure 10. Emprise des levés photogrammétriques en drone

La photogrammétrie repose sur la détection de points identiques entre différents angles de vue d'une même scène photographiée au drone, afin de la recréer virtuellement, comme illustré sur la figure 11. Un modèle 3D est ainsi créé.

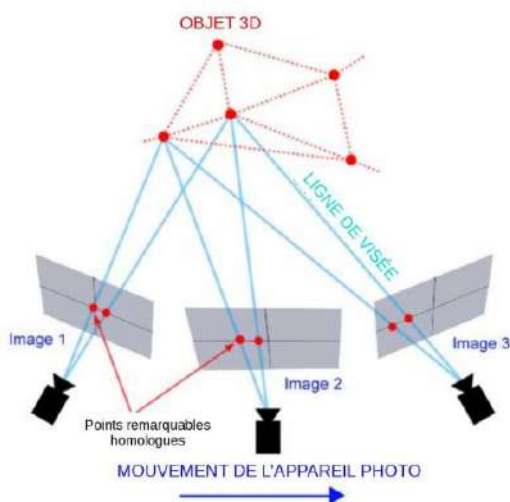


Figure 11. Principe de la photogrammétrie

Les clichés pris par le drone sont envoyés vers un logiciel de traitement (Agisoft PhotoScan) qui attribue chaque photo à son point GPS homologue. Lors de la mission de terrain, ces points sont identifiés à terre par des cibles dessinées à la bombe, auxquelles des coordonnées GPS sont associées grâce au GPS-RTK. Grâce à la position spatiale initiale de chaque appareil lors de la prise de vue, le logiciel peut créer un modèle 3D de l'objet sous forme d'un nuage de points. Ces points sont ensuite extrapolés pour donner le rendu final de l'objet (figure 12).



Figure 12. Nuage de points texturé en 3D.

3.1.3 Levés scanner 3D

Le Scanner 3D (ou Lidar) est l'appareil de mesure utilisé pour la topographie de la face de dune, dans plusieurs secteurs : la Pointe-de-Sablanceaux, des Grenettes au Martray, ainsi que de la Pointe-des-Baleines à la plage de Trousse-Chemise (figure 7).

Ce type de levé permet d'acquérir une information 3D complète et précise. Les campagnes de terrain sont réalisées avec un scanner Lidar terrestre (le Dynascan) placé sur un quad pour réaliser les mesures topographiques sur les cordons dunaires. Il permet un levé haute densité du secteur d'intérêt. De plus, il est équipé d'un système de positionnement GNSS, d'une centrale inertielle et d'un laser rotatif.



Figure 13. Levés topographiques au Dynascan

Le Lidar utilise en effet une technique de télémétrie utilisant le principe de détection et estimation de la distance par un laser. Cette technique de mesure à distance se base sur l'analyse des propriétés du faisceau de lumière émis puis reçu par le laser. Le Lidar mesure ensuite le temps de retour mis par le faisceau après avoir été réfléchi sur des objets, et connaissant la vitesse de la lumière, il calcule précisément la distance par rapport à chaque objet.

Grâce à cette technique, des millions de points de mesure précis sont relevés. A partir de ceux-là, une matrice de son environnement 3D peut être produite. Cette modélisation détaillée peut renseigner sur la position, la forme et le comportement des objets.

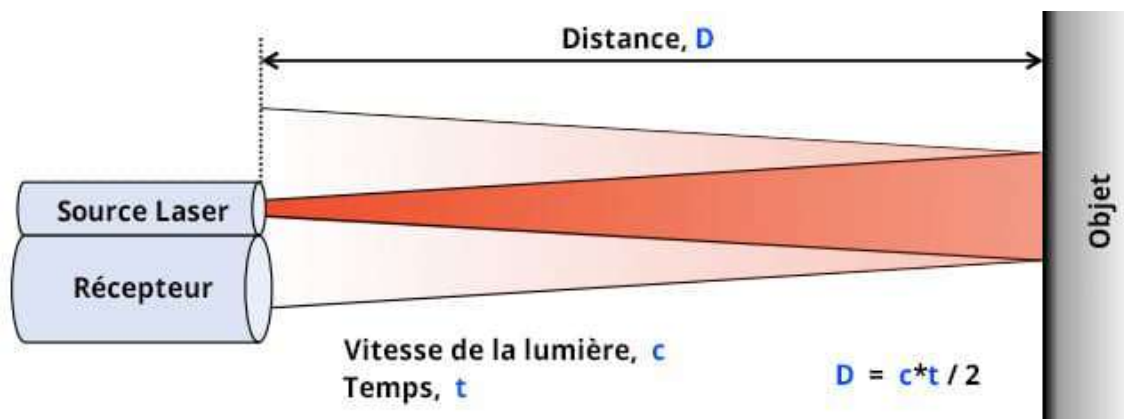


Figure 14. Principe de mesure de distance par un Lidar.

En plus des Lidar terrestres, des Lidar aéroportés (laser émis à partir d'un avion) peuvent également être mis en place. Le bureau d'étude de CASAGEC ne possédant pas le matériel nécessaire pour faire ce type de levés, il utilise les mesures de certains fournisseurs de données tels que l'OCNA (Observatoire de la Côte de Nouvelle-Aquitaine) qui lui transmet celles de la côte Aquitaine, ou Litto3D Charente-Maritime qui est le Lidar de référence sur l'Île de Ré.

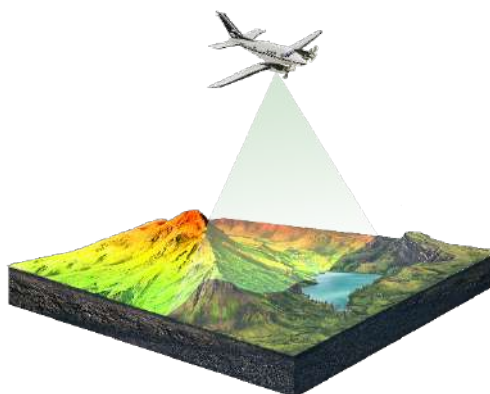


Figure 15. Illustration d'un levé topographique par Lidar aéroporté.

D'autres plateformes comme Datashom, répertorient des données Lidar en fonction de leur géolocalisation et de leur année. Ces données peuvent être utilisées comme référence pour une comparaison avec des données plus récentes, afin de matérialiser l'évolution d'une zone.

3.1.4 Levés bathymétriques

La bathymétrie est réalisée au printemps, au Sud de l'île au niveau de la pointe de Sablanceaux, et au niveau du Banc du Bucheron (figure 16). Elle permet de suivre les évolutions des bancs dans ces zones en mouvement continu.

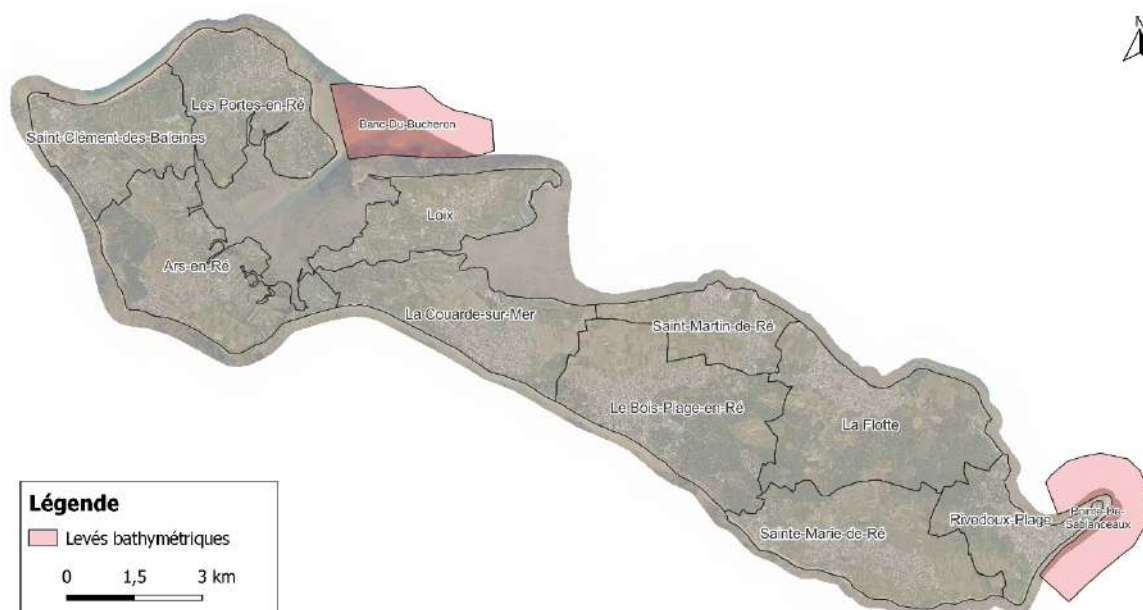


Figure 16. Emprise des levés bathymétriques

Les levés bathymétriques sont réalisés à partir d'un sondeur acoustique mono-faisceau et d'un GPS-RTK embarqués sur une navette hydrographique. Les levés sont effectués selon des profils transverses espacés de 100 m orientés perpendiculairement à la morphologie suivie (chenaux d'écoulement, bancs de sable, trait de côte). Afin d'acquérir le plus grand nombre de données, les levés sont réalisés à marée haute lors de coefficients de marée de vives-eaux.

Pour ce faire, la navette hydrographique est équipée d'un sondeur mono-faisceau monté sur une perche et d'un GPS-RTK. La station d'acquisition installée à bord récupère les informations en provenance des divers instruments de mesure et relève :

- La position (latitude, longitude et élévation de la mer) indiquée par le GPS différentiel,
- La profondeur sous le bateau donnée par le sondeur.

Le sondeur émet un signal acoustique qui va rebondir sur le fond et revenir au sondeur. L'objectif de la sonde consiste à déterminer le temps qu'il aura fallu à l'écho pour être réfléchi par le sol puis revenir au sondeur. Une mesure de profondeur du fond par rapport à la position du niveau de l'eau est ainsi obtenu. De plus, le sondeur étant relié à un système de localisation qui lui fournit sa position, permet d'obtenir la mesure instantanée de la profondeur.



Figure 17. Navette hydrographique pour la bathymétrie

3.2 TRAITEMENT ET EXPLOITATION DES DONNÉES ACQUISES

Une fois les données acquises sur le terrain, il faut les nettoyer, avant de pouvoir les traiter et en conclure des résultats.

3.2.1 Le nettoyage de la donnée brute

Dans certains cas (drone et scanner 3D), il faut nettoyer les données brutes avant de pouvoir les traiter. Pour cela, des logiciels de nettoyage tels que CloudCompare sont utilisés.

CloudCompare est un logiciel d'édition et de traitement de nuages de points en trois dimensions. Il est utilisé pour dé-densifier des nuages de points afin de diminuer le volume du fichier et de pouvoir traiter la donnée plus facilement. En effet, le fichier initial peut être très lourd et compliqué à utiliser avec d'autres logiciels. La dé-densification de points est faite de telle sorte que la précision reste optimale.

Grâce à ces outils, le logiciel permet d'effectuer des projections, des segmentations, du recalage, des calculs de distances et statistiques et bien d'autres fonctionnalités. Il peut également faire des comparaisons entre plusieurs nuages de points ou maillages.

CloudCompare est notamment utilisé pour enlever ou nettoyer les points parasites (bruit, aberrations) sur les nuages de points afin d'avoir un rendu plus propre et plus proche de la réalité.

Ensuite, il s'agira de traiter les données nettoyées à l'aide de logiciels de traitement.

3.2.2 Le traitement de la donnée

Pour traiter les données acquises à l'aide du drone, Metashape est utilisé. Il s'agit d'un logiciel de SIG (système d'information géographique), spécialisé dans la reconstruction de modèles 3D à partir de réelles photos et des positions auxquelles elles ont été prises.

Dans un premier temps, Metashape cherche des points communs sur les photos afin de les faire correspondre et trouve la position de la caméra pour chaque image. Il en résulte un nuage de points (représentant le résultat de l'alignement des photos) et un ensemble de positions de caméra.

Ensuite, sur la base des positions de la caméra et des images elles-mêmes, le logiciel crée un nuage de points plus dense qui va servir à construire un maillage polygonal 3D.

Ce dernier est la combinaison de la surface de l'objet avec le nuage de points dense.

Enfin, ce maillage est texturé et permet d'obtenir un modèle du relief en 3 dimensions.

3.2.3 L'exploitation et l'analyse de la donnée

Une fois les données nettoyées et traitées, il est possible de les analyser et de les exploiter. Pour cela 2 logiciels peuvent être utilisés :

- Surfer
- QGIS

3.2.3.1 SURFER

SURFER est un logiciel de cartographie qui permet cela. Il est initialement utilisé pour traiter la donnée topographique acquise sur le terrain à pied ou en quad. Il permet de réaliser des modèles numériques de terrain et, entre autres, de tracer des courbes de niveau et des surfaces en perspective.

Ce logiciel crée des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nuages de points x,y,z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que des visualisations en trois dimensions sont créées, permettant d'observer la topographie et le relief du terrain.

SURFER est également un outil qui permet d'interpoler des nuages de points, créant ainsi des couches à soustraire. Ce sont ensuite ces différences de couches qui sont utilisées pour voir l'évolution du relief.

3.2.3.2 QGIS

QGIS est un logiciel de SIG, utilisé dans la réalisation des cartographies de l'Île de Ré. Le logiciel sert à traiter les données acquises grâce au GPS (importation des nuages de points et extrapolation). Il permet ensuite de faire des DIFF (soustraire une zone à une autre pour voir l'évolution de celle-ci) et générer des cartes, des profils et des modélisations 3D. Il permet donc d'éditer, d'analyser, de gérer et d'exporter un patrimoine de données géographiques. QGIS a l'avantage d'avoir accès à un grand nombre d'extensions et permet d'avoir un large panel de fonds de carte pour pouvoir visualiser et traiter les données récoltées sur le terrain. Il est ensuite possible de créer des cartes précises et légendées servant de support et de vecteur d'informations.

L'autre atout principal de QGIS est de pouvoir générer des visualisations 3D avec drapage des analyses. C'est-à-dire qu'il reconstruit l'environnement dans l'espace et transcrit les données dans un repère (x,y,z) . Grâce à cela, des simulations d'ouvrages comme les digues ou les ponts sont facilement réalisables et permettent de voir si ces derniers s'inscrivent bien dans l'environnement.

QGIS est donc un logiciel indispensable pour traiter les données de suivi du littoral.

3.2.4 La digitalisation de la donnée

Afin de digitaliser la donnée, il est possible d'utiliser Matlab, un environnement de programmation orienté calcul numérique. Il est utilisé pour les calculs scientifiques une fois que la donnée a été exploitée à l'aide des logiciels d'analyse. Articulé autour du langage de script, il est doté d'un éditeur permettant d'exécuter des séquences de commandes encapsulées dans des fonctions.

Matlab est conçu pour l'analyse de données, la visualisation de graphiques, la génération de matrice, le développement d'algorithmes ou le développement d'applications. Interopérables avec Python, C/C++, Java et Fortran, il est optimisé pour le calcul en parallèle.

4 CAS D'ÉTUDE DU LITTORAL DE L'ÎLE DE RÉ : RESULTATS

4.1 PREAMBULE

L'Observatoire du littoral de l'Île de Ré, particulièrement orienté vers l'étude de l'érosion des plages et la dynamique des cordons dunaires de l'Île de Ré, a été créé afin d'apporter des éléments de réponses aux problématiques en lien avec les risques littoraux.

Dans le cadre de cet observatoire, différents types de suivis sont régulièrement réalisés (cf Partie 3), depuis 2013 pour les secteurs plus anciens et 2017 pour les plus récents (figure 18). Les sections suivantes visent à étudier certains résultats d'intérêt et à les exploiter.



Figure 18. Évolutions des secteurs d'estran suivis depuis 2013.

4.2 ÉVOLUTIONS OBSERVEES

L'Observatoire du littoral permet de suivre les évolutions côtières observées depuis 2013.

4.2.1 Évolutions du pied de dune (PDD) depuis 2013

Initialement, les évolutions passées du littoral étaient étudiées au travers de la position du pied de dune, (PPD) correspondant à la rupture de pente, plus ou moins marquée, entre le front dunaire (front de dune) et la plage. Sur la base des levés topographiques, la position du pied de dune était alors calculée à partir de la variation rapide de la valeur de la pente du profil sans changement de sens. Dans la plupart des cas, la rupture de pente entre le front dunaire et la plage était bien définie en particulier sur les faciès érosifs, facilitant le traitement. Cependant, sur les secteurs où la pente pouvait être plus irrégulière depuis la plage jusqu'à la crête de dune, l'indicateur pied de dune s'avérait alors plus difficilement identifiable et exploitable.

Afin de s'affranchir des incertitudes liées à cette méthode, la recherche de la rupture de pente sur les profils altimétriques a été remplacée par un nouvel indicateur moins subjectif, défini comme : « la distance entre le point d'intersection entre le profil de plage et le niveau altimétrique (fixe) de 4,51 m NGF (ou 8,013 m CM, niveau Xynthia pouvant être assimilable à la position du pied de dune) ».

Sur la base de cet indicateur, les évolutions du littoral de l'île ont pu être calculées et étudiées au travers la production de cartes et graphiques. La Figure 19 illustre notamment, à l'échelle de l'île de Ré, les secteurs globalement en accrétion (évolutions positives) de ceux en érosion (évolutions négatives) sur la période 2013-2023 d'après l'indicateur PDD révisé.



Figure 19. Évolutions du pied de dune sur la période 2013-2023 à l'échelle de l'île de Ré.

Au regard de cette figure, il ressort que :

- Les sites en accrétion sont principalement localisés au niveau :
 - Du littoral Est des Portes-en-Ré,
 - Du littoral Nord-Ouest du Bois-Plage,
 - De la pointe de Sablanceaux.
- Les sites en érosion sont quant à eux localisés quasiment sans interruption du Nord des Portes-en-Ré jusqu'au littoral Sud-Est de la Couarde-sur-Mer.

La Figure 20, en suivant, présente de façon plus détaillée, la nature des évolutions mesurées entre 2013 et 2023 pour la portion de littoral localisée entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage.

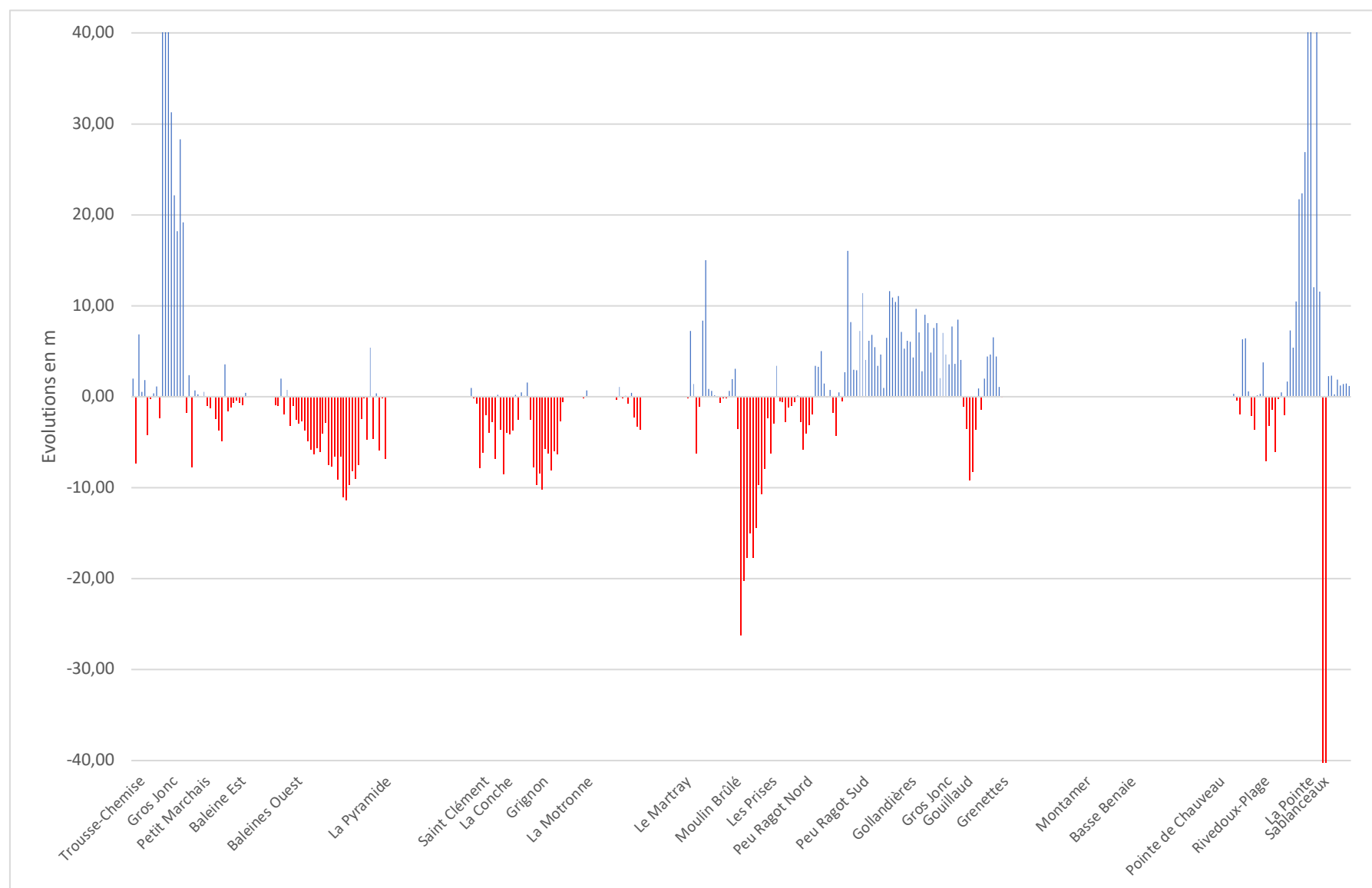


Figure 20. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage sur la base de l'indicateur PDD.

Cette donnée vient compléter et confirmer les observations précédemment faites à savoir :

- Les sites en accrétion sont principalement localisés au niveau :
 - Du littoral Est des Portes-en-Ré : accrétion de 30 m en moyenne mesurée sur le secteur de Gros Jonc,
 - Du littoral Nord-Ouest du Bois-Plage : entre le Peu Ragot Sud et Gros Jonc, accrétion de 6,5 m en moyenne,
 - De la pointe de Sablanceaux, avec une accrétion moyenne de l'ordre de 16 m.
- Les sites en érosion sont quant à eux localisés quasiment sans interruption du Nord des Portes-en-Ré jusqu'au littoral Sud-Est de la Couarde-sur-Mer, avec dans le détail, les évolutions suivantes :
 - Secteur des Baleines : -4,5 m,
 - Saint Clément – Grignon : -4 m,
 - Moulin Brûlé – Peu Ragot Nord : -7 m,
 - Gouillaud : -5 m.

4.2.2 Évolutions de l'estran depuis 2013

Afin d'appréhender la dynamique littorale dans son ensemble, deux nouveaux indicateurs basés sur la distance entre le point d'intersection entre le profil de plage et des niveaux d'altimétries fixes, ont en complément été définis. Il s'agit :

- Du Niveau Moyen (NM) correspondant au milieu de l'estran (NM = 3,90 m CM),
- Du niveau des Plus Hautes Mers Astronomiques (PHMA) correspondant au trait de côte (PHMA = 6,87 m CM).

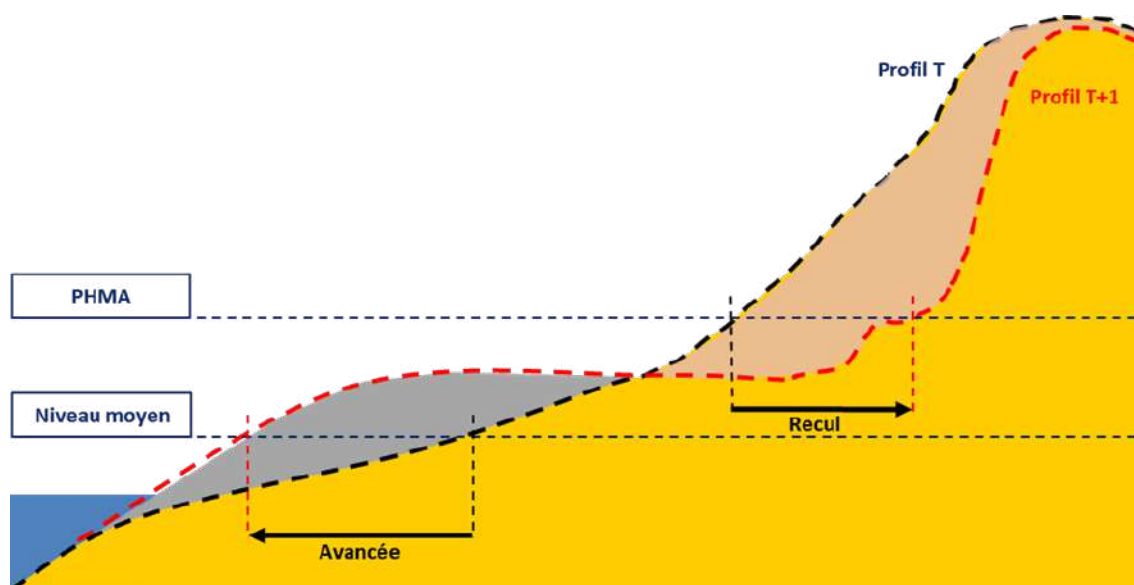


Figure 21. Schéma illustrant les indicateurs NM et PHMA définis pour étudier les évolutions de l'estran.

Les résultats issus des indicateurs de la plage de Trousse-Chemise jusqu'à la pointe de Sablanceaux sont présentés au travers des figures 22 et 23 en page suivante.

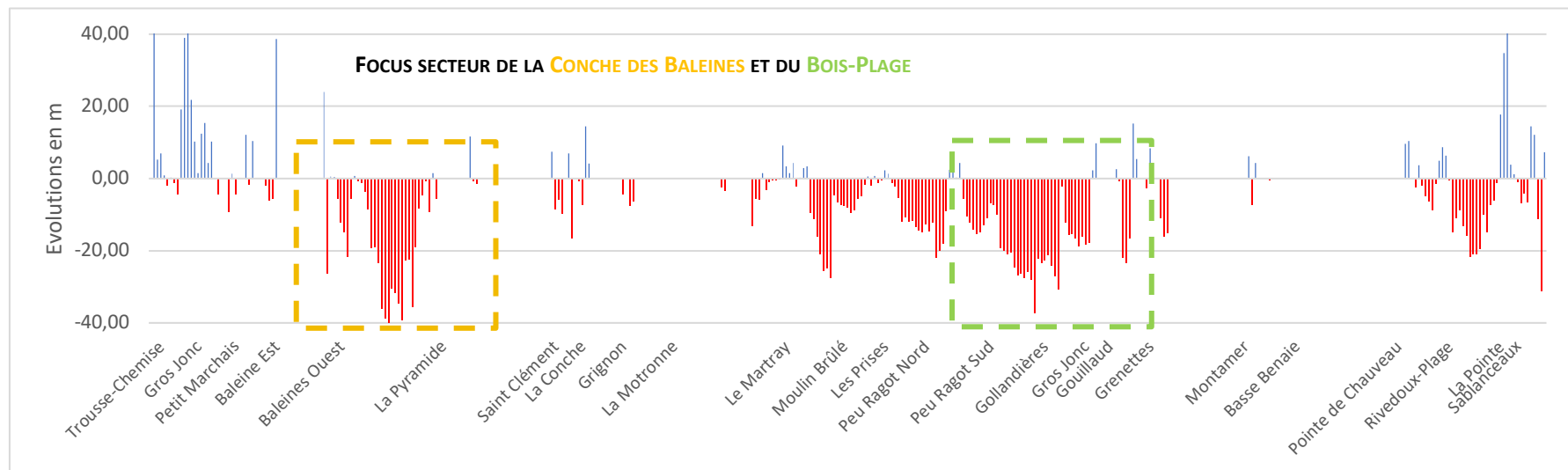


Figure 22. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage pour l'indicateur NM.

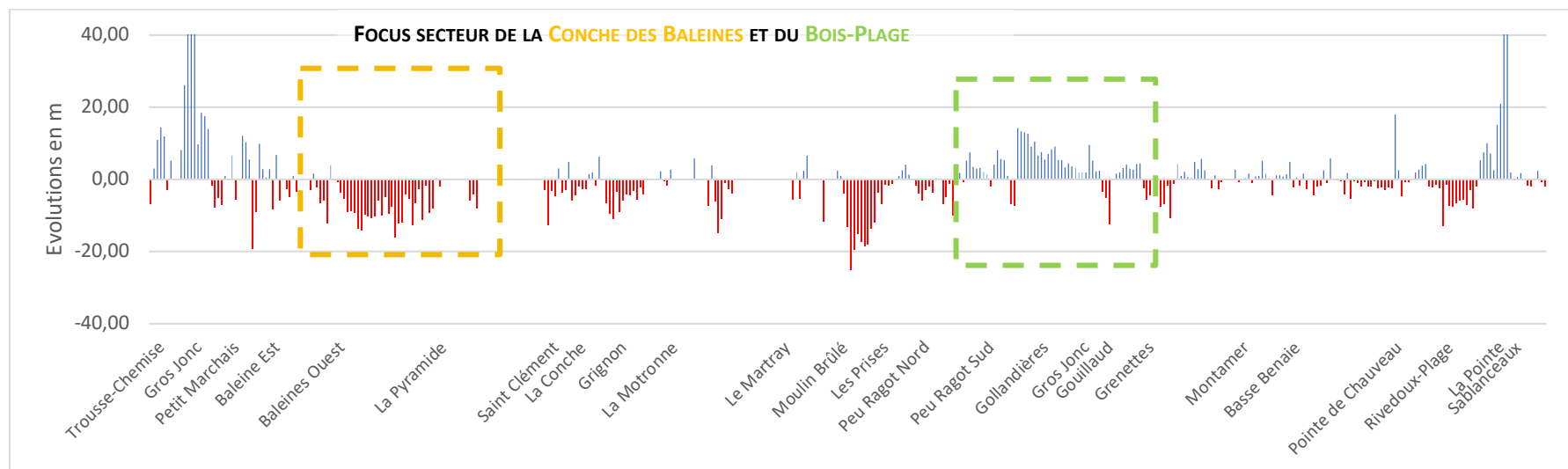


Figure 23. Reculs cumulés par PK entre 2013 et 2023 entre les Portes-en-Ré et Rivedoux-Plage pour l'indicateur PHMA.

Au regard de ces éléments d'informations, plusieurs tendances peuvent être observées :

- Secteurs où NM et PHMA sont en accrétion marquée sur la période : c'est le cas notamment au niveau des Portes-en-Ré, entre Trousse-Chemise et Petit Marchais. Dans ce cas de figure, la plage a alors tendance à s'engraisser,
- Secteurs où NM et PHMA sont en érosion marquée sur la période : c'est principalement le cas sur le secteur localisé entre les Baleines Ouest et Pyramide. Sur ce secteur, la plage est en érosion avérée, entraînant son rétrécissement progressif,
- Secteur où NM est en érosion et PHMA en accrétion sur la période : situation notamment observée sur le secteur compris entre Peu Ragot Sud et Gouillaud. Concrètement, cela se traduit par un haut de plage plutôt en accrétion et un bas de plage plutôt en érosion, ce qui a pour effet de provoquer le raidissement de la pente de la plage,

Alors que les évolutions du NM sont très larges et globalement comprises entre +/- 40 m, les évolutions de la PHMA sont quant à elle plus resserrées, globalement du même ordre de grandeur que les évolutions du PDD précédemment décrites.

In fine, l'ensemble de ces données a été pris en compte et modulé à dire d'expert afin de déterminer les taux d'évolution utilisés pour la réalisation des cartes de projection.

En se basant sur les évolutions des NM et PHMA, deux zones d'intérêt ont été dégagées afin de les étudier plus en détail : La conche des Baleines et Le-Bois-Plage.

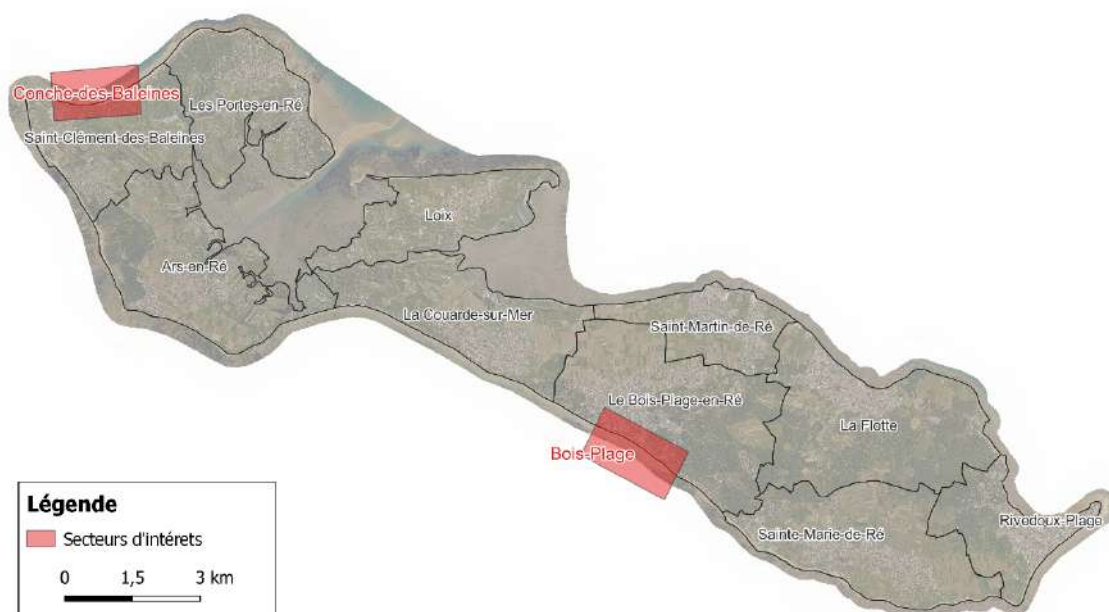


Figure 24. Secteurs d'intérêts étudiés : la Conche-des-Baleines et le Bois-Plage

4.2.3 Zoom sur la conche des Baleines et le Bois-Plage

Le linéaire de littoral de l'Île de Ré étant vaste, il a été décidé de le « découper » en PK (lignes kilométriques espacées de 100 m). Cette approche présente l'avantage d'optimiser le traitement géomatique des données mais également de faciliter la discussion et les échanges, les PK permettant de rapidement se repérer dans l'espace.

4.2.3.1 ZONE 1 : LA CONCHE DES BALEINES

En considérant les résultats précédents de manière plus précise, il est possible d'observer des zones où l'érosion est fortement marquée, comme La Conche des Baleines.

Afin de distinguer des zones d'évolutions différentes, le secteur de La Conche des Baleines est divisé en deux sous-secteurs :

- PK de 7 à 7.8 : sous-secteur est,
- PK de 7.9 à 8.5 : sous-secteur ouest

Conche des Baleines (PK 7 à 7.8)

Au regard de la tendance globale de l'évolution entre 2013 et 2023, le littoral tend à s'éroder dans le secteur de la Conche des Baleines. Les résultats issus de ces indicateurs sont présentés et encadrés au travers des figures 22 et 23. Ils traduisent une tendance à l'érosion notamment en milieu de baie.

Cela est également observable sur la figure 25, où les zones rouges correspondent à des différences négatives, c'est-à-dire une perte d'altitude. Ces secteurs s'apparentent à des zones subissant de l'érosion. A l'inverse, les zones bleues correspondent à des différences positives (gain d'altitude), ce sont des zones en accrétion.

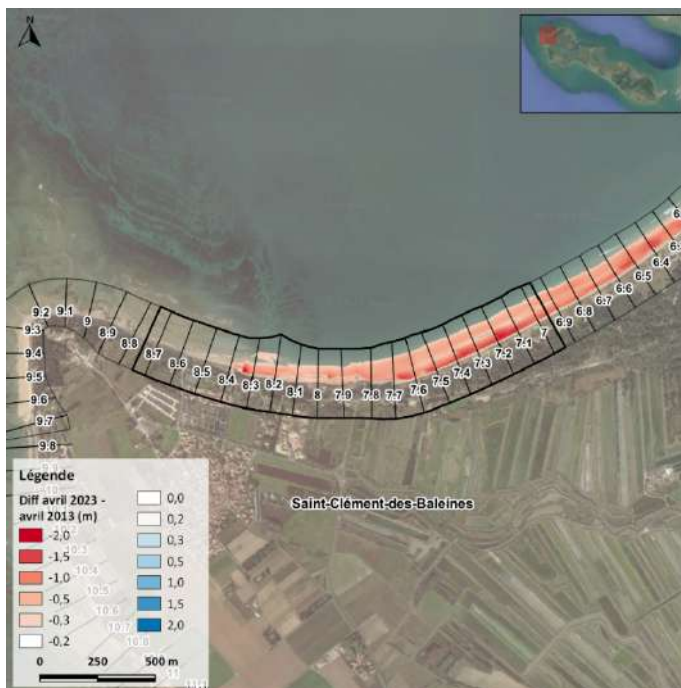


Figure 25. Volume par PK gagné/perdu (m3)

CASAGEC Ingénierie, moteur des relevés topo-bathymétriques depuis 2013, possède donc des données comparables dans le temps. La figure 26 permet d'étudier les évolutions à travers des graphes du secteur Est (PK 7 à 7.8) de la Conche par rapport aux premières NM et PHMA, datées de 2013 jusqu'à aujourd'hui.

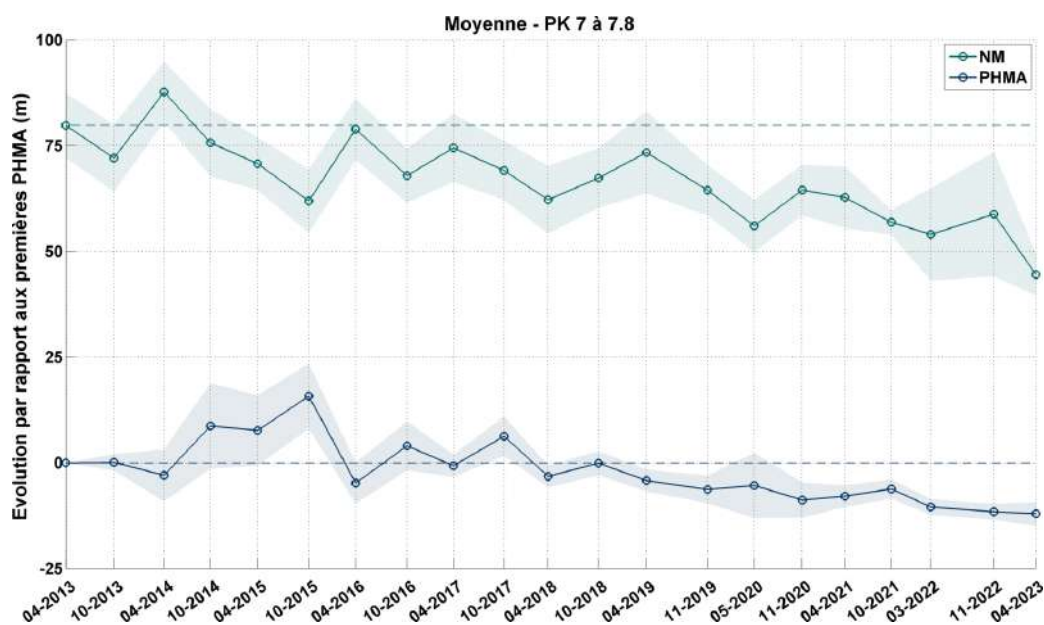


Figure 26. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 à la conche des Baleines Est

A travers la figure 26, plusieurs tendances sont observables pour les NM et PHMA :

- Secteurs où NM est en érosion marquée sur l'ensemble de la période (2013-2023), avec des variations importantes,
- Secteur où PHMA varie de manière moins marquée, mais témoigne également d'une tendance à l'érosion :
 - Sous-secteurs où PHMA est à peu près stable sur la période 2013-2018. Seule une forte variation est observée sur la période 2014-2015, où le PHMA connaît une tendance à l'accrétion.
 - Le sous-secteur connaît un pic d'érosion à l'hiver 2016
 - Le sous-secteur se stabilise et suit une érosion progressive entre 2018 et 2023,

Sur cette partie du littoral, la plage est en érosion avérée depuis 2013, entraînant son rétrécissement progressif, d'autant plus marqué en milieu de baie.

Conche des Baleines (PK 7.9 à 8.5)

La figure 27 permet d'étudier l'évolution du littoral à travers des graphes du secteur Ouest (PK 7.9 à 8.5) de la Conche par rapport aux premières PHMA, datées de 2013 jusqu'à aujourd'hui.

Sur ce secteur, le NM et PHMA sont globalement stables sur l'ensemble de la période (2013-2023). En effet, ce secteur est protégé par des épis, qui se chargent et retiennent les sédiments. Il en résulte une quasi-stabilité de la plage.

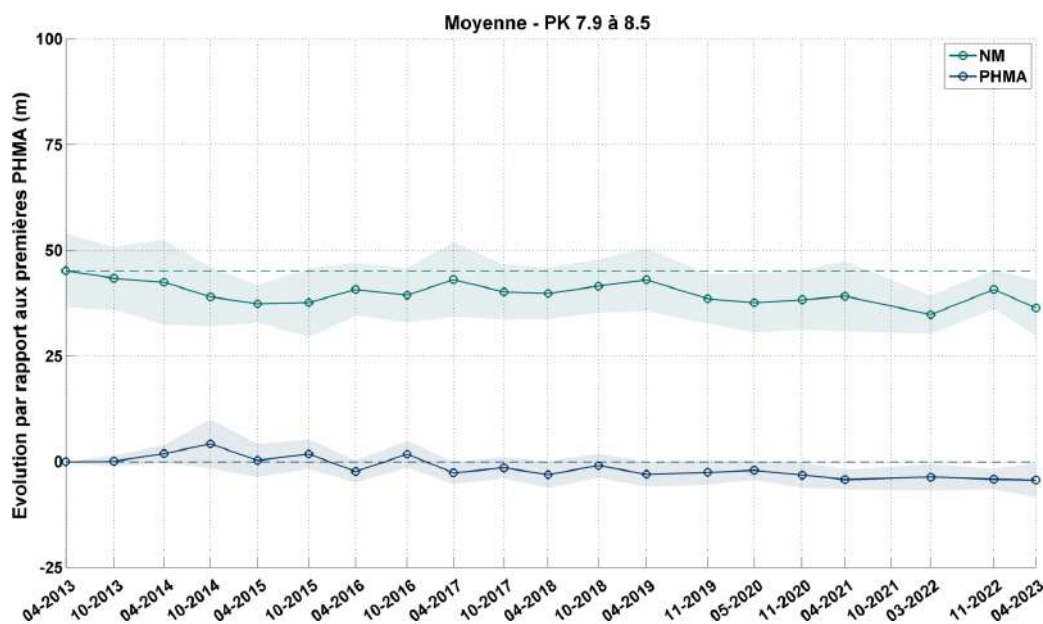


Figure 27. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 à la Conche des Baleines Ouest

4.2.3.2 ZONE 2 : LE BOIS-PLAGE

La tendance globale de l'évolution du littoral entre 2013 et 2023 du secteur du Bois-Plage, situé sur la façade Ouest de l'île est également étudiée. Les résultats issus de ces indicateurs sont présentés et encadrés au travers des figure 22 et 23.

La figure 29 permet d'étudier cette évolution à travers des graphes de l'évolution du secteur du Bois-Plage (PK 25.9 à 27.2) par rapport aux premières NM et PHMA, datées de 2013 jusqu'à aujourd'hui.

Dans le secteur du Bois-Plage, les indicateurs NM et PHMA se contredisent.



Figure 28. Volume par PK gagné/perdu (m3)

En effet, jusqu'en 2017, la tendance est relativement stable pour le NM et le PHMA. Cependant, de 2017 à 2023, deux tendances différentes sont observables (figure 29) :

- Secteur où NM est en érosion,
- Secteur où PHMA est en accrétion.

Concrètement, cela se traduit par un haut de plage plutôt en accrétion et un bas de plage en érosion, ce qui a pour effet de provoquer le raidissement de la pente de la plage.

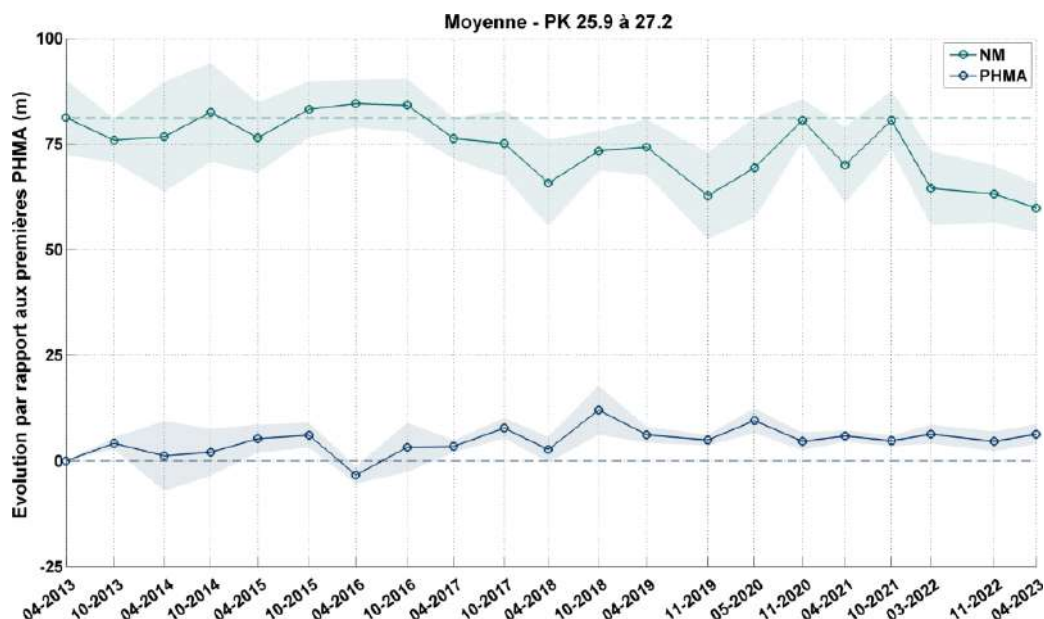


Figure 29. Évolution du NM et de la PHMA entre 2013 et 2023 au Bois-Plage

5 CONCLUSION

En conclusion, l'acquisition de données terrain joue un rôle essentiel dans la compréhension et la gestion des littoraux, en particulier en ce qui concerne les processus érosifs. Grâce à une collecte régulière de données, il est possible de mieux connaître les processus mis en jeu, d'appréhender la sensibilité des littoraux vis-à-vis de l'érosion, et d'obtenir une information plus précise sur l'évolution du littoral au fil des années, notamment en calculant les taux de recul annuels.

Les taux de recul annuels, obtenus grâce à la méthode des transects, permettent de quantifier les changements du littoral au fil du temps et d'identifier les reculs maximaux passés. Cette connaissance des évolutions passées du littoral permet de faire des projections sur les évolutions futures possibles, notamment pour répondre aux exigences de la loi « Climat et résilience » qui prévoit la réalisation de cartes locales d'exposition à l'érosion.

Ainsi, la cartographie d'évolution du trait de côte, basée sur les données acquises et intégrant les effets de divers éléments, permet de mieux appréhender les risques d'érosion côtière et de prendre des mesures adaptées pour protéger les zones exposées. Ces cartographies fournissent des outils essentiels aux collectivités pour planifier et gérer leur territoire de manière responsable et résiliente face aux changements du littoral.

Finalement, la collecte de données terrain et leur analyse sont des étapes cruciales pour une gestion durable et efficace des zones côtières, en prenant en compte les défis posés par le changement climatique et la protection de l'environnement côtier.

6 RETOUR SUR L'EXPERIENCE

Ce stage d'immersion en entreprise de trois mois m'a beaucoup apporté, notamment par la découverte d'un domaine qui ne m'était pas familier : l'étude du littoral. Ce stage a été très enrichissant en termes d'apports techniques mais aussi au niveau des relations sociales et professionnelles. En effet, j'ai apprécié travailler en équipe et avec différents corps de métier. Cela m'a permis d'élargir mon champ de compétences mais aussi d'affiner mes choix pour le futur.

Je tire un bilan très positif de ce stage, qui fut une expérience très enrichissante tant sur le plan professionnel que personnel. Sur le plan professionnel d'abord, j'ai pu appréhender toutes les facettes du métier d'ingénieur du littoral, notamment le terrain, le traitement de données et l'analyse des résultats.

Sur le plan personnel ensuite, j'ai pu comprendre que le travail en équipe est parfois compliqué, notamment lorsqu'il s'agit de travail à distance, accompagné d'échanges ponctuels. Cet aspect du métier pousse à l'adaptation et la flexibilité. Au cours de cette période, comme dans toute phase d'apprentissage, il m'est par ailleurs arrivé de commettre quelques erreurs, telles que des erreurs de mesures lors des levés de terrains en topographie et bathymétrie. J'ai pu rapidement les analyser et les corriger en effectuant la mesure de nouveau et en la corrigeant. Grâce aux acquis d'une méthodologie de travail forte que l'entreprise CASAGEC m'a transmise, combinée à la formation théorique que j'ai reçue, je suis aujourd'hui en mesure d'étudier les paramètres qui rentrent en jeu dans l'évolution du trait de côte.

J'ai également développé des compétences personnelles qui pourront m'être utiles dans la vie quotidienne, telles que piloter un bateau, ou manœuvrer un véhicule remorqué, ainsi la lecture de plage et des conditions relatives à celle-ci (marrée, vent, météo).

Aujourd'hui, après 3 mois passés auprès de l'équipe dans l'entreprise CASAGEC INGENIERIE, je sais que je souhaite plutôt intégrer une structure à taille humaine, plus familiale, afin de travailler sur des projets moins "cloisonnés" et véritablement transversaux, pour ainsi démultiplier mes champs de compétences.

Ce stage m'a permis de réaliser que c'est vers le domaine de l'ingénierie du littoral que je souhaite m'orienter, et m'a offert une première porte d'entrée vers ce milieu, que je vais être amenée à découvrir davantage au cours de ma mobilité étudiante en Australie où je suivrai des enseignements relatifs aux milieux marins et littoraux.

BIBLIOGRAPHIE

Escadrone. Drone DJI Phantom 4 RTK par DJI, [en ligne]. Disponible sur : <https://escadrone.com/phantom-4-rtk-dji/> (Consulté le 13/06/2023)

Jean Corbel. Erosion en terrain calcaire (vitesse d'érosion et morphologie), [en ligne]. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1959_num_68_366_16541 (Consulté le 13/06/2023)

Martin Daigneault. Thèse : Processus d'altération/érosion à l'interface océan/continent/atmosphère : aspects quantitatifs et semi-quantitatifs, [en ligne]. Disponible sur : https://www.emse.fr/~bouchardon/recherche/publications/theses/these-martin_daigneault.pdf (Consulté le 13/06/2023)

Numérisation 3D & construction. La photogrammétrie par drone, [en ligne]. Disponible sur : <https://numerisation3d.construction/photogrammetrie-drone/?v=11aedd0e4327> (Consulté le 13/06/2023)

Orpheon. Le principe de la correction GPS RTK, en [en ligne]. Disponible sur : <https://reseau-orpheon.fr/les-domaines-application-orpheon/agriculture-de-precision/le-principe-de-la-correction-gps-rtk/> (Consulté le 13/06/2023)

Repérage terrestre. Principe de fonctionnement du GPS, [en ligne]. Disponible sur : <http://reperagerterrestre.free.fr/principe.html> (Consulté le 13/06/2023)

SEMANTIQUE T.S. Bathymétrie au sondeur mono-faisceau, [en ligne]. Disponible sur : https://www.semantic-ts.fr/navire/bathymetrie_monofaisceau.htm (Consulté le 20/06/2023)

Yellowscan. Comment fonctionne le LIDAR, [en ligne]. Disponible sur : <https://www.yellowscan-lidar.com/fr/knowledge/how-lidar-works/> (Consulté le 20/06/2023)

LEXIQUE

Accrétion : Accumulation de sédiments pouvant être d'origine naturelle ou artificielle. L'accrétion naturelle de sédiments est réalisée par dépôts éoliens ou marins sur la plage. L'accrétion artificielle correspond à une accumulation issue de la mise en place d'ouvrages de protection ou le dépôt à l'aide d'engins.

Altimétrie : Technique de mesure des altitudes.

Ephéméride : Les éphémérides sont des tables astronomiques par lesquelles on détermine, pour chaque jour, la valeur d'une grandeur caractéristique d'un objet céleste comme la position des satellites par exemple.

Erosion : Ensemble de phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, modifient le relief par enlèvement de matière solide.

Estran : Partie du littoral périodiquement recouverte par la marée.

Littoral : Zone de contact entre l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Au sens strict, c'est la zone comprise entre les plus hautes et les plus basses mers. La largeur de ce domaine est variable ; il englobe l'arrière-côte dans la terre ferme, le rivage proprement dit et la zone de balancement des marées ou estran, ainsi que l'avant-côte submergée en permanence.

Marée : La marée est la variation de la hauteur du niveau des mers et des océans, causée par la combinaison des forces gravitationnelles dues à la Lune et au Soleil.

Sédimentation : La sédimentation est un processus dans lequel des particules de matière quelconque cessent progressivement de se déplacer et se réunissent en couches.

Submersion : La submersion est l'action de recouvrir complètement d'eau, ou d'un autre liquide.

Téléométrie : Mesure de distances par procédé optique.

Tempête Xynthia : La tempête Xynthia est une dépression météorologique majeure, qui s'est abattue sur une partie de l'océan Atlantique puis de l'Europe et qui a balayé une grande partie de la France entre le 27 et le 28 février 2010.

Topographie : Science qui permet la mesure puis la représentation sur un plan ou une carte des formes et détails visibles sur le terrain, qu'ils soient naturels ou artificiels.

Trait de côte : Représente le plus souvent la limite des plus hautes mers, mais la définition de cette locution peut varier selon l'usage : zéro hydrographique, zéro NGF, pied de dune, berme...

ANNEXES

LA METHODOLOGIE DU LEVE TOPOGRAPHIQUE

Pour pouvoir réaliser les levés topographiques par drone, il est nécessaire de posséder le diplôme de télépilote. Pour réaliser l'acquisition des données, des cibles sont positionnées. L'espace aérien étant réglementé (notamment pour protéger la biodiversité mais aussi pour des raisons de sécurité : zone sensibles, zone militaire ou nucléaire), il est nécessaire d'avoir des autorisations spécifiques pour faire voler un drone. Ces autorisations s'obtiennent via différents procédés administratifs.

Les étapes à suivre pour effectuer un levé topographique par drone, de la création du projet à la réalisation sur le terrain sont multiples :

- Préparer le projet drone
 - Choisir la zone à lever.
 - Entrer la hauteur de vol → celle-ci donne la résolution (ex : pour 50 m, 1 pixel=1,36 cm à l'écran). Plus la hauteur de vol est importante, moins la résolution est bonne, et vice versa. Dans ce cas, il y a une perte de précision.
 - Paramétrage automatique de la vitesse de vol.
 - Déterminer l'angle de la caméra : 90°. Pour avoir un angle de prise verticale par rapport au sol (vue plongeante).
 - Appliquer la distorsion de correction (corrige les déformations de l'objectif).
 - Paramétrer le recouvrement (overlapping) pour avoir un recouvrement total entre chaque photo superposée et ne pas avoir de trous dans le nuage de points (Horizontal : 70% Vertical : 80%).
 - Estimation automatique du temps de vol.
- Préparer le projet GPS
 - Choisir le bon système de coordonnées : Lambert 93 (EPSG : 2154).
 - Choisir la bonne cote : NGF.
- Levé sur le terrain : partie GPS
 - Fixer le GPS sur la canne topographique et mesurer sa hauteur.
 - Paramétrer le GPS : hauteur d'antenne, configuration de la méthode (Mesurer points rapides), choisir le réseau orphéon et le système RTK (positionnement centimétrique).
 - Pour les levés au drone : placer des cibles au sol (croix à la bombe de peinture) et mesurer leurs positions (bien répartir les cibles homogènement dans la zone à lever et faire attention qu'elles soient non coplanaires pour faciliter l'acquisition de l'altitude au traitement).

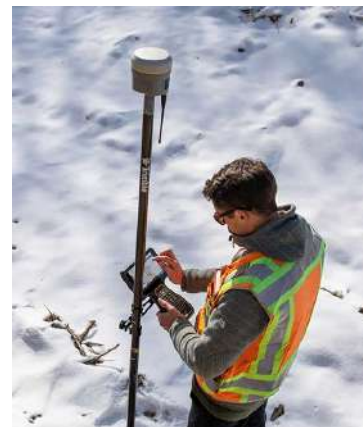


Figure 30. Illustration d'un placement de cible.

■ Levé sur le terrain : partie drone

- Démarrer le levé photogrammétrique : le drone applique les paramètres (hauteur et vitesse de vol, angle de la caméra, etc.) et suit le tracé en prenant des photos pour respecter le recouvrement.



Figure 31. Illustration d'un levé photogrammétrique par drone.

- Décharger les données des appareils de mesures, vérifier la cohérence des données (supprimer les points inutiles, associer les photos géolocalisées aux profils), rendre compte des aléas de la mission.

Pour la topographie à pied ou en quad, le processus est sensiblement le même. Les différences résident dans le positionnement du GPS qui peut être fixé à l'arrière du quad ou sur un sac à dos pour la topographie à pied. Dans ce cas, le programme sélectionné est « Topographie continue » et relève automatique un point (x,y,z) tous les mètres. Ces techniques sont utilisées pour lever des zones importantes, où le drone prendrait un temps important à couvrir l'ensemble de l'emprise. Il en résulte une précision moins importante puisque des profils sont tracés tous les 100 mètres en partant de la laisse de mer jusqu'au bout des zones « à enjeux » (zone d'érosion, dune, ouvrage).



Figure 32. Levés topographiques à pied.

RESUME

A l'interface entre la terre et la mer, le littoral est un environnement très convoité et pourtant fragile qu'il est important de connaître, et de gérer au mieux. Le littoral est soumis à des processus naturels ou anthropiques qui le conduisent à des évolutions rapides, notamment caractérisées par les notions d'aléas de submersion et d'érosion. Aujourd'hui, le recul du trait de côte est un phénomène significatif à l'échelle nationale. Son suivi est une priorité pour les communes littorales qui tentent de limiter le phénomène par la construction d'ouvrages de défense. Leur caractère protecteur implique une surveillance accrue et une maintenance régulière.

L'acquisition de données terrain revêt une importance cruciale dans la compréhension et la gestion des littoraux, en particulier en ce qui concerne les processus érosifs. La collecte régulière de données permet de mieux appréhender les processus en jeu, évaluer la sensibilité des littoraux à l'érosion, et obtenir des informations précises sur l'évolution du littoral au fil des années, notamment en calculant les taux de recul annuels.

En fin de compte, la collecte et l'analyse des données terrain sont des étapes cruciales pour une gestion durable et efficace des zones côtières, en tenant compte des défis posés par le changement climatique et la préservation de l'environnement côtier.

Mots clés : Littoral, ouvrage de défense, trait de côte, érosion, cellules sédimentaires.

SUMMARY

At the interface between land and sea, the coastline is a highly coveted yet fragile environment that is crucial to understand and manage effectively. The coastline is subject to natural and anthropogenic processes that lead to rapid changes, notably characterized by the concepts of submersion hazards and erosion. Today, coastal retreat is a significant phenomenon at a national scale. Its monitoring is a priority for coastal communities that strive to mitigate the phenomenon through the construction of defense structures. These protective features necessitate heightened surveillance and regular maintenance.

The acquisition of field data holds paramount importance in comprehending and managing coastlines, particularly concerning erosive processes. Regular data collection better enables the understanding of processes at play, the assessment of coastal susceptibility to erosion, and the precise acquisition of information about coastline evolution over the years, including the calculation of annual erosion rates.

In the end, the collection and analysis of field data are pivotal steps for sustainable and effective management of coastal areas, taking into account the challenges posed by climate change and the preservation of coastal environments.

Key words : Littoral, defense structure, shoreline, erosion, cliff.