



## Suivi collaboratif du trait de côte en 3D : quatre ans d'expérience Sentinelles de la Côte, à l'île d'Yeu

Elsa CARIOU<sup>1</sup>, Vincent LACOMBE<sup>2</sup>, Agnès BALTZER<sup>3</sup>

1. Université de Nantes, Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes Atlantique, UMS 3281, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes, France.

*elsa.cariou@univ-nantes.fr*

2. Société DIGISCAN3D, 11 rue de la Vigne, 85350 Ile d'Yeu, France.

*contact@digiscan3d.fr*

3. Université de Nantes, Laboratoire LETG, UMR 6554 CNRS, Campus du Tertre, BP 81227, 44312 Nantes Cedex 3, France.

*agnes.baltzer@univ-nantes.fr*

### Résumé :

Le dispositif Sentinelles de la Côte a été créé à l'île d'Yeu, en 2018, au sein du projet de recherche ODySéYeu ([www.odyseyeu.org](http://www.odyseyeu.org)). Ce dispositif de suivi collaboratif du trait de côte en 3D a été mis en place par l'équipe scientifique du projet, l'entreprise DIGISCAN3D et un groupement d'acteurs locaux engagés dans une démarche collaborative. Par photogrammétrie, il permet aux partenaires de réaliser des modèles 3D de grande précision de portions de côte choisies, de les comparer au fil du temps afin d'en analyser les dynamiques sédimentaires à l'œuvre, puis de partager les connaissances acquises avec la communauté insulaire. Depuis 2019, le suivi « Sentinelles de la Côte » de 9 sites répartis sur quelques kilomètres le long de la côte est de l'île a été instauré à une fréquence mensuelle, sur demande de la municipalité de l'île d'Yeu, partenaire du projet. Les quatre premières années de suivi montrent la diversité des cas de figures, malgré les faibles distances qui séparent les sites suivis. Elles traduisent la capacité de l'outil à suivre les mouvements de la côte dans de nombreux contextes, y compris lorsque le trait de côte a été fixé par un ouvrage. Sentinelles de la Côte permet alors de suivre simultanément la dynamique du sable et l'état de l'ouvrage. Le suivi 3D à haute fréquence révèle et permet en outre de quantifier le rôle majeur de certains phénomènes, comme par exemple la bio-érosion ou les précipitations, indétectables dans les suivis annuels (passages LIDAR) et qui demeuraient jusqu'alors insoupçonnés ou mal compris localement. Leur mise en évidence permet ainsi de mettre en place des mesures de gestion « sur-mesure », conçues de manière concertée et argumentées scientifiquement, illustrant l'intérêt des démarches de science citoyenne dans le domaine de la gestion côtière.

### Mots-clés :

Environnement littoral, Erosion côtière, Suivi participatif, Sciences citoyennes, 3D, Photogrammétrie.

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

### 1. Introduction

L'érosion côtière est souvent réduite par le public à la seule action de la mer. Il en résulte de très fortes pressions sur les élus des territoires confrontés au phénomène, pour protéger les zones en érosion, par tous les moyens et quoi qu'il en coûte. Cela va totalement à l'encontre des recommandations de l'Etat qui, au regard des finances à engager, préconise au contraire l'adaptation et le laisser faire (cf. *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte*). Cette divergence des points de vue place les élus locaux dans des positions très inconfortables. Ces derniers se retrouvent souvent démunis, que ce soit pour défendre la politique de l'Etat face à des citoyens paniqués et convaincus que la solution réside dans une digue ou un enrochement, ou que ce soit pour défendre un projet d'aménagement, jugé nécessaire localement, face aux services de l'Etat.

Face à cette situation, les sciences citoyennes peuvent apporter des solutions intéressantes (CARIOU *et al.*, 2020). La solution Sentinelles de la Côte a été conçue en 2018 à l'île d'Yeu, au sein du projet ODySéYeu. Il s'agit d'une application smartphone associée à un protocole de traitement des données, qui permet à tout un chacun de participer avec son smartphone au suivi de l'érosion côtière en 3D, en prenant simplement des séries de photographies de la côte. Conçue et testée avec les habitants de l'île d'Yeu, cette solution a été utilisée pour suivre en 3D neuf sites de la côte nord-est de l'île (figure 1) pendant cinq ans, avec une fréquence mensuelle, et avec une justesse de mesure inférieure à 5 cm par rapport à un relevé professionnel au laser (CARIOU *et al.*, 2021).



Figure 1. Position des sites suivis dans le cadre du dispositif collaboratif Sentinelles de la Côte et enjeux associés.

Cette haute fréquence d'acquisition, associée à une très haute résolution de la mesure, comparées à la fréquence (annuelle) et la résolution des suivis LIDAR (5 cm) déployés sur les côtes régionales, permettent de reconstruire très précisément le calendrier des événements ayant impacté les sites, et leurs conséquences, non seulement sur la falaise dunaire, mais aussi sur les hauts de plage. Un rapport contenant l'ensemble des 450 modèles effectués entre 2019 et 2024, la compilation des données météo-marines et les interprétations proposées sur chaque site est disponible sur [www.odyseyeu.org](http://www.odyseyeu.org).

Dans cet article sont présentés trois cas de figure qui illustrent à la fois la diversité des phénomènes impliqués dans l'érosion côtière des sites de l'île d'Yeu, et la complémentarité de ce type de suivi participatif aux campagnes aéroportées classiques.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Sentinelles de la côte et protocole SELPhCoAST

Sentinelles de la Côte est une application pour smartphones et tablettes, développée par la société IRéalité pour Nantes Université. Mise au point pour le projet ODySéYeu, elle guide les citoyens sur le terrain dans l'acquisition de séries de clichés utilisables pour réaliser des photogrammétries des sites. Dans le cadre d'ODySéYeu, les clichés ainsi acquis sont ensuite déposés sur un serveur, et traités par l'entreprise DIGISCAN3D, via le protocole SELPhCoAST, mis au point et éprouvé en partenariat avec l'équipe scientifique du projet et un groupe de citoyens volontaires (CARIOU *et al.*, 2021). A partir de ces clichés, pris par les Sentinelles de la Côte, un modèles 3D de chaque site est réalisé. Moins complet que ne le serait un modèle obtenu avec un scanner laser (TLS), leur justesse de mesure reste très proche d'un modèle laser. Les tests simultanés montrent systématiquement des différences de quelques millimètres avec les modèles laser et donc, par précaution, une tolérance maximum a été fixée à 5 cm, au-delà de laquelle le modèle est considéré comme « faux » et ne sera pas analysé.

### 2.2 Analyse des données 3D

Une fois la qualité des modèles produits par DIGISCAN3D validée, l'équipe scientifique du projet ODySéYeu analyse les données par comparaison relative de forme avec un modèle de « référence », établi en juin 2019 à l'aide d'un scanner laser de type FARO Focus. Les sites dont la dynamique est faible (modifications infra-métriques par rapport au modèle de référence), sont comparés au modèle de référence via une analyse multidirectionnelle, dite « au plus proche », selon laquelle le logiciel cherche la distance entre le modèle de référence et le modèle comparé, perpendiculairement à chaque facette du premier modèle. Ainsi, tout déplacement peut être repéré et quantifié, qu'il s'agisse d'une translation ou d'une rotation, et quelle que soit sa direction. Sur les sites où la dynamique est très forte et implique des mouvements pluri-métriques par rapport au modèle de référence, cette méthode « au plus proche » ne peut être appliquée. En effet, en cas de translation importante du profil terrestre, le point géométriquement « le plus proche » d'un point situé par exemple en milieu de falaise sur le modèle de référence, peut s'avérer être un point situé en haut de plage sur le nouveau modèle. Au premier ordre, comparer la distance entre ces deux points a donc peu de sens d'un point de vue morphologique. Afin de remédier à ce problème, les sites concernés sont subdivisés en sections (falaises dunaires, haute de plage) et le comportement de chaque section est analysé séparément, par comparaison unidirectionnelle (horizontale ou verticale) au modèle de référence. Le « haut de plage » est comparé au modèle de référence selon l'axe vertical, afin de mesurer l'évolution du niveau de la plage. Les sections de « falaise dunaire » sont, elles, comparées au modèle de référence selon un axe horizontal,

## *Thème 2 – Dynamique sédimentaire*

perpendiculaire au plan général de la falaise dunaire sur la section, afin de mesurer le recul ou l'avancée de cette dernière. Réagissant simultanément aux variations horizontales de la falaise dunaire et aux variations verticales du niveau de plage, le pied de dune est dans un premier temps volontairement écarté de l'analyse de ces comparaisons. Quelle que soit la dynamique du site, les distances à la référence sont affichées sur le modèle comparé par un code couleur qui permet de spatialiser les mouvements sédimentaires. Des mesures ponctuelles sont également réalisées sur des points répartis arbitrairement le long des modèles. Ces dernières permettent d'observer la chronologie des variations et d'estimer la variabilité sur les différents secteurs ou sections du site. Modèle après modèle, l'évolution morphologique des sites est ensuite comparée au registre des tempêtes majeures qui ont frappé l'île, aux marées de coefficient supérieurs à 100, à la pluviosité (Station du Sémaphore de Saint Sauveur via le site [www.infoclimat.fr](http://www.infoclimat.fr)) et au carnet de bord du site, dans lequel les Sentinelles notent leurs observations à chaque prise de clichés. Il est ainsi possible de déterminer mensuellement quels événements ont eu un impact sur la morphologie des sites d'étude.

### **3. Résultats : quelques exemples de dynamiques observées**

#### **3.1 Site de la Gournaise**

Le site de la Gournaise est un site classé, où la dune renferme de nombreux vestiges archéologiques (vestiges néolithiques, cadavres de noyés, fours à soude) et historiques (ancienne zone d'extraction de sable devenue décharge, enfouissement de pétrole en 1967 lors de l'accident du Torrey Canyon), qui témoignent des activités humaines passées sur le massif dunaire (CARIOU *et al.*, 2022). Globalement, le suivi, représenté sur la figure 2 par un modèle de janvier 2021, montre que la falaise dunaire de la pointe est en érosion chronique sur pratiquement toute sa surface. Cette érosion, estimée en moyenne de l'ordre de 20 cm/an sur 5 ans, ne se fait pas de façon régulière, elle se produit par à-coups, qui coïncident généralement aux périodes de tempêtes. Paradoxalement, ces dernières ne provoquent pas le recul du pied de dune, auquel elles apportent plutôt du sable. Elles impactent en revanche le haut de la falaise dunaire, qui s'érode progressivement sous l'action des intempéries et de la gravité. Ce phénomène naturel est localement amplifié par la fréquentation en haut de dune et le long de la pente. En effet, en dépit de la barrière installée en haut de dune, les clichés pris sur site attestent qu'un passage a été créé et est régulièrement emprunté, par des chiens et par des humains, qui dévalent la dune. Tournant vers la droite en descendant, le passage contraint les protagonistes à frôler le flanc de la dune, faisant mécaniquement tomber du sable et reculer plus vite la partie en surplomb du passage, et tassant le sable en aval du passage, où il s'accumule, retenu par une zone végétalisée. Le rôle positif de la végétation est également bien visible sur la figure 2, puisque même au cœur de l'hiver et en dépit de fortes tempêtes en décembre 2020 (Ernest, Bella + un fort coup de vent sans nom), les secteurs végétalisés du site sont tous en accrétion relative par rapport à 2019.

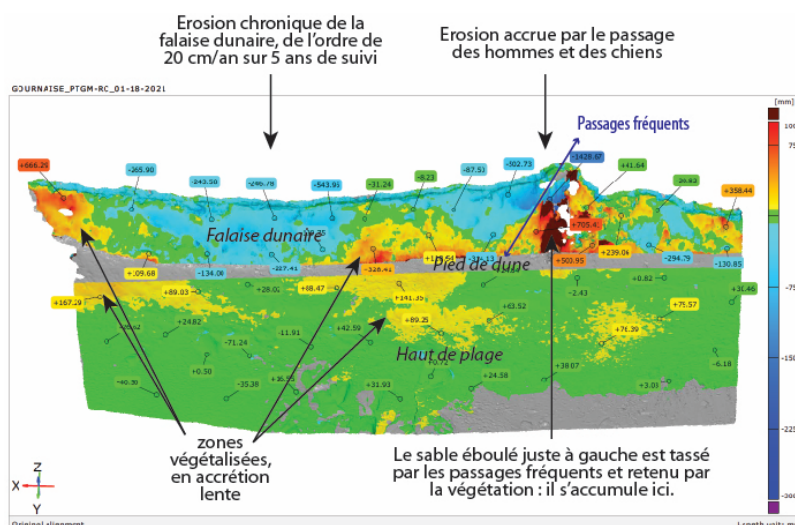


Figure 2. Comparaison de forme du modèle 3D du site de la Gournaise, généré par photogrammétrie sur la base de clichés acquis le 18 janvier 2021.

### 3.2 Site du Marais Salé

Le site du Marais Salé suivi par les Sentinelles de la Côte est une petite falaise dunaire située dans une crique à l'ouest de la Plage du Marais Salé. Le massif dunaire y repose sur un paléosol limoneux, visible uniquement localement, qui repose lui-même sur le socle rocheux. Contrairement au reste de la plage du Marais Salé, qui présente sur les photos aériennes anciennes une dynamique rapide et cyclique d'érosion/accrétion, ce secteur est constamment en recul depuis 1921 (date de la première photo aérienne du site), et ce dernier peut être qualifié de lent et régulier. Cette particularité avait attiré l'attention des décideurs qui avaient alors requis un suivi pour comprendre la dynamique du site, en arrière duquel se trouve un parking et la canalisation d'eau qui alimente l'île entière. Dès le début du suivi, le site montre une érosion par éboulements, le plus souvent décorrélée des événements de tempête, mais clairement corrélée aux plus fortes pluviosités. Le matériel effondré de la dune reste généralement plusieurs mois en pied de dune avant d'être remobilisé par la mer à l'occasion des plus forts coefficients de marée. A la fin de l'été 2020, l'apparition de petits tas de sable décimétriques en pied de dune avait attiré l'attention de l'équipe scientifique sans que la cause puisse être déterminée clairement. Le phénomène se reproduisant à la fin de l'été 2021 (figure 3), il a alors été demandé aux Sentinelles de la Côte de réaliser des observations plus poussées sur le site, permettant d'identifier l'origine des tas de sable. En effet, la falaise dunaire de cette petite crique peu fréquentée s'est révélée être un gîte d'abeilles solitaires du genre *Colletes*. En fin d'été, l'activité de ces abeilles, solitaires, mais paradoxalement extrêmement nombreuses sur site, crée de petits effondrements à chaque va et vient correspondant à chaque nouvelle galerie creusée. Il en résulte au fil du mois d'août et du mois de septembre l'accumulation de petits tas de sable sec en pied de falaise. Il s'agit donc d'un phénomène de bio-érosion. Ce dernier rend la falaise dunaire extrêmement poreuse, expliquant probablement les effondrements plus importants observés lorsque la pluviométrie augmente.



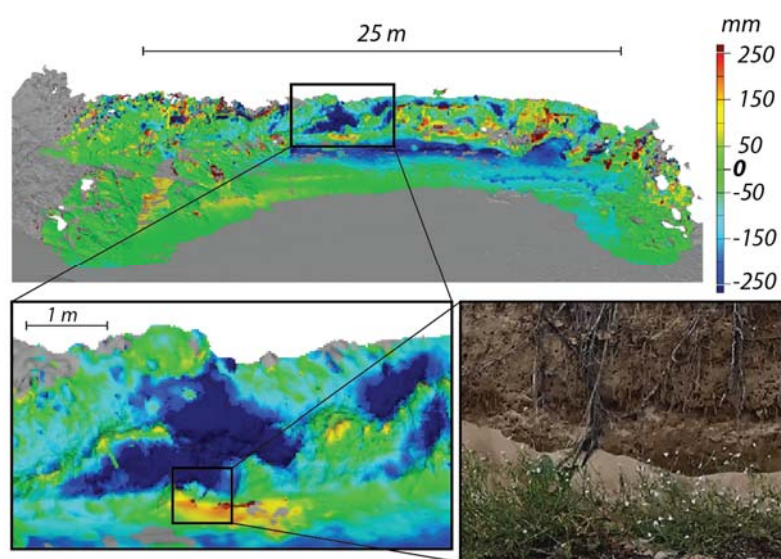


Figure 3. Bio-érosion par des abeilles sur le site du Marais Salé.

### 3.3 Sites du Puits Marie-Françoise et de la Petite Conche

Les sites du Puits Marie Françoise et de la Petite Conche situés respectivement de part et d'autre de la Pointe de la Petite Conche, pointe enrochée artificiellement par un particulier à la suite de la tempête Xynthia. Sur ces deux sites, la présence de l'enrochement provoque des perturbations importantes de la dynamique sédimentaire, traduites par un fort recul de la falaise dunaire de part et d'autre. L'analyse de l'évolution des niveaux de plage et des phases de recul des falaises dunaires montre néanmoins que l'action de la mer contre l'enrochement n'est pas seule responsable de l'érosion. En effet, la comparaison des mouvements verticaux de 30 points discrets répartis aléatoirement sur le haut de plage des deux sites (figure 4) montre que le site de la Petite Conche subit un abaissement brutal de son niveau de plage un peu avant le 13/10/20, ce qui coïncide avec la tempête Alex (01/10/20). A l'issue de cette chute, le niveau de plage remonte, jusqu'à atteindre des maximas autour de juin 2021. Il reste ensuite globalement plus élevé que le niveau de référence jusqu'à fin 2022, subissant une série de cycles de hausse et de baisses mineures. Certains maximas sont synchrones avec des périodes de forts coefficients (GM sur la figure 4), mais pas tous.

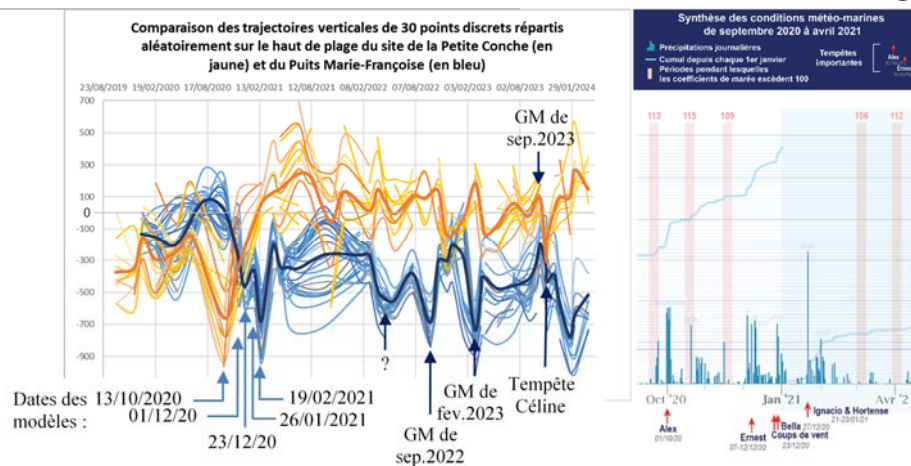


Figure 4. Evolution de la morphologie du haut de plage des sites de la Petite Conche (en jaune, le trait épais représente la moyenne) et du Puits Marie-Françoise (en bleu, le trait épais représente la moyenne), GM = grandes marées.

Sur le site du Puits Marie-Françoise, une chute métrique du niveau de plage survient également, mais avec un décalage de plus de trois mois. Semblant débuter elle aussi avec la tempête Alex, elle se poursuit en décembre 2020, et s’amplifie très fortement entre le 16/01/21 et le 19/02/21. Jusqu’à la date d’arrêt des mesures, le niveau de plage ne rattrape jamais le niveau de référence. L’analyse de conditions météo-marines de l’île d’Yeu autour de la période d’octobre 2020 à mars 2021 montre que si les forts coefficients d’octobre-novembre 2020 et la tempête Ernest peuvent expliquer les chutes successives jusqu’en janvier, rien ne semble justifier l’ultime baisse observée entre le 26/01 et le 19/02/21. Or, si elles n’ont pas été très violentes sur l’île d’Yeu, et sont passées au moment des mortes-eaux, les tempêtes Ignacio et Hortense ont été marquées par une pluviosité exceptionnelle, qui a provoqué de fortes inondations dans les marais en arrière de la Pointe de la Petite Conche. L’eau a ensuite mis plusieurs jours à s’évacuer totalement. Il est donc vraisemblable que cette chute du niveau de plage ait un lien étroit avec la pluviosité, qui, sursaturant les sols d’eau, pourrait avoir favorisé le départ du sable à la mer. Par ailleurs, on constate une relative anti-corrélation des courbes des deux sites, qui laisse penser que le stock de sable transite de part et d’autre de la pointe, provoquant un déficit d’un côté lorsqu’il crée un surplus de l’autre. Ainsi, les fluctuations du niveau de sable de part et d’autre de la pointe traduiraient avant tout la dérive littorale, qui semble en ce point de l’île fluctuer énormément. Une analyse plus détaillée des cycles observés au regard des conditions météo journalières permettra probablement de déterminer les forçages induits par le régime des vents.

#### 4. Discussion et conclusions

Le tableau synthétique des facteurs et événements intervenus dans la morphologie des sites à l’île d’Yeu (tableau 1) montre qu’à l’échelle de ces neuf sites, de nombreux types de phénomènes interviennent, et rien n’interdit de penser que, même avec un suivi à fréquence mensuelle, nous en ratons probablement encore. Chaque site répond à sa dynamique propre, et tous ne sont pas affectés par les mêmes événements. Ce tableau recense dans l’ordre

