

Evolution du trait de côte et de la structure des banquettes de Posidonies en fonction de l'hydrodynamisme local et de la technique de gestion : banquettes naturelles ou millefeuille

Quiterie CHAPERON¹, Alexis STEPANIAN², Olivier HERLORY³,
Gaëtan DUFOUR¹, Catherine VILLARET⁴, Romain LEGRAS¹,
Florian BREHIN¹

1. CREOCEAN, 230 avenue de Rome, 83500 La Seyne-sur-Mer, France.
pacacorse@creocean.fr.
2. BRGM, Risques Côtiers et Changement Climatique, 117 av. de Luminy, BP 168,
13276 Marseille, France.
3. IFREMER, PDG-ODE-LITTORAL-LERPAC, Centre Méditerranée, Zone Portuaire
de Brégaillon, 83507 La Seyne-sur-Mer, France.
4. MOBIDYC, 37 rue de Grenelle, 75007 Paris, France.

Résumé :

Les banquettes de posidonies naturelles (BN) constituent un moyen naturel de lutte contre l'érosion des plages. Elles peuvent cependant être génératrices de conflits d'usage, obligeant les collectivités à trouver des modes de gestion conciliant le maintien du trait de côte ; la préservation d'une espèce à haute valeur patrimoniale ; la conservation de la valeur touristique des plages.

Parmi les différentes pratiques, la technique du millefeuille (MF) (banquettes étalées sur la plage et camouflées sous une couche de sable), peut constituer un compromis pour la stabilisation du trait de côte et un bon rapport service rendu / coût de gestion, tout en limitant les nuisances pour les usagers. Cet article présente les premiers résultats scientifiques d'un suivi de l'évolution du trait de côte et des banquettes (BN et MF) par un système de caméras autonomes pour caractériser leur dynamique en fonction des conditions hydrodynamiques locales déterminées à l'aide de modélisations numériques. Les images des caméras ont été traitées afin d'obtenir des profils time stack pour essayer d'identifier des réponses morphologiques-types du système plage/banquette (BN et MF) au cours de l'année et pour étudier la réponse morphologique de la plage à des événements. L'impact de la technique de gestion (BN ou MF) sur le run-up des vagues a également été étudié à l'aide d'un modèle type canal à houle numérique. Les résultats montrent que, pour des forçages hydrodynamiques relativement faibles sur les zones et périodes d'étude, le trait de côte est stable pour les deux techniques de gestion étudiées, les banquettes naturelles et le millefeuille.

Mots-clés : Banquettes de posidonies, Millefeuille, GIZC, Erosion, Suivi vidéo, Modèle numérique, TOMAWAC, TELEMAC2S, Canal à houle numérique, Images time stack.

Thème 7 – Risques côtiers

1. Introduction

Posidonia oceanica est une plante à fleurs marine. Comme toutes les plantes à fleurs, la Posidonie perd ses feuilles de manière saisonnière. La chute des feuilles est observée plus massivement à la fin de l'été, à l'automne et en hiver (BOUDOURESQUE *et al.*, 2006 ; CANTASANO, 2011). Le devenir de ces feuilles dans le milieu peut alors varier, avec des échanges entre les différentes destinations. L'exportation vers les rivages adjacents se produit pour 25% à 50% des feuilles, lesquelles deviennent disponibles pour la formation des banquettes de Posidonies (MATEO *et al.*, 2003 ; CANTASANO, 2011).

Les banquettes permettent de protéger directement les plages de l'érosion causée par les vagues en amortissant leur impact (SIMEONE *et al.*, 2012; BELON, 2017; BALOUIN *et al.*, 2018). Une étude affirme même que les banquettes permettraient une accrétion de la plage deux jours après une tempête (TROGU *et al.*, 2020). Les banquettes de Posidonies permettent aussi de lutter contre la submersion marine de manière indirecte, non seulement en limitant l'érosion, mais aussi en fertilisant la végétation terrestre et dunaire ce qui permet de construire une barrière de plus contre l'érosion et contre la submersion marine (CARDONA & GARCIA, 2008; DEL VECCHIO *et al.*, 2013). Ces dernières sont cependant souvent considérées comme une source de nuisance, obligeant les collectivités à trouver des modes de gestion conciliant le statut de protection de la posidonie, le maintien du trait de côte, la préservation d'une espèce à haute valeur patrimoniale (qui est protégée) et la valeur touristique des plages (CREOCEAN, CSIL 2011).

Plusieurs techniques de gestion existent pour préserver notamment la valeur touristique de la plage. Parmi les modes de gestion aujourd'hui pratiqués, le remaniement des banquettes sous la forme d'un millefeuille (MF) alternant feuilles de posidonie et couches de sable semble offrir un bon compromis. Cependant, cette technique bien que constituant une solution fondée sur la nature pour lutter contre l'érosion relève d'une pratique empirique dont les bénéfices physiques, écologiques, économiques et sociétaux n'ont jamais été étudiés jusqu'ici.

Cette étude présente un des 4 grands axes du projet GEBAPO (GEstion des BANquettes de POsidonie) qui sont : la réglementation, l'érosion, le rôle écologique des banquettes et la valeur touristique de la plage.

En réalisant une expérimentation grandeur nature en suivant une BN et un MF pendant un an, l'objectif de cette étude est de faire émerger un mode de gestion durable des banquettes de posidonie. Cet article vise à présenter les résultats concernant le rôle structurel des BN ou du MF pour lutter contre l'érosion à travers l'analyse des liens entre l'état du milieu, observé via des caméras et l'évolution des pressions hydrodynamiques qui ont été modélisées numériquement.

2. Matériels et méthodes

2.1 Site atelier

Un des sites atelier du projet GEBAPO se situe sur la plage de la Madrague à Sainte-Maxime. Cette plage fait l'objet d'une gestion par millefeuille depuis 10 ans.



Figure 1. Plage de Sainte-Maxime avant (à gauche) et après (à droite) la mise en place du millefeuille.



Figure 2. Zones d'études au niveau de la plage de la Madrague (Sainte-Maxime).

Historiquement, d'après les données du CEREMA et du BRGM, cette plage est en accrétion avec une avancée du trait de côte entre 0,5 et 1,5 m/an. Cela pourrait être une conséquence de la gestion en millefeuille, mais rien ne permet pour l'instant de le justifier. En 2020, sur la partie Ouest de la plage, le millefeuille a été mis en place un peu plus tard qu'habituellement, dans la nuit du 6 au 7/06/2020, en raison de la crise

Thème 7 – Risques côtiers

sanitaire liée au COVID-19. Les banquettes ont été étalées et recouvertes d'une épaisseur de 30 à 50 cm de sable fin provenant de l'embouchure du Préconil (fleuve qui se déverse à l'Ouest du port de Sainte-Maxime), ce qui constitue un volume de sable d'environ 450m³). La partie Est de la plage a été laissée au naturel pour l'étude GEBAPO (figures 1 et 2).

2.2 Caractérisations hydrodynamiques de forçage par modélisation

Deux modèles couplés de la suite TELEMAC (TOMAWAC pour la modélisation de la propagation des vagues et TELEMAC2D pour la courantologie) ont été mis en œuvre à l'échelle du Golfe de Saint Tropez. Les modèles sont forcés par des séries temporelles des paramètres de vagues et de vent issus du modèle WaveWatchIII, mis en œuvre à l'échelle régionale avec une résolution spatiale de l'ordre du kilomètre à l'approche des côtes et un pas de temps d'une heure, et validé statistiquement par rapport à des mesures d'états de mer par satellite au large.

Une fois propagées à la côte, les valeurs d'états de mer et de courant sont exploitées pour une recherche de corrélation avec les évolutions constatées du trait de côte et des banquettes remaniées ou non. L'objectif de ces modèles est de décrire les phénomènes physiques afin d'analyser le fonctionnement du site et ainsi comprendre les mécanismes de formation et de déplacement des banquettes.

2.2.1 Maillage et bathymétrie

Les limites du modèle sont définies au large de la Pointe des Sardinaux et du Cap de Saint-Tropez et s'étendent sur 20 km d'Ouest en Est et sur 15 km du Nord au Sud. Ces limites se justifient notamment pour examiner la propagation des houles de secteur Sud/Sud-Est à Nord/Nord-Est. Le modèle consiste en plusieurs grilles emboîtées, avec un maillage uniforme de 20 m au large s'affinant à 2,5 m à la côte. La bathymétrie, assemblée à partir de plusieurs jeux de données disponibles (données du SHOM au large et altimétrie littorale LITTO3D) est interpolée sur la grille.

2.2.2 Cas simulés

L'objectif est de pouvoir caractériser les conditions hydrodynamiques à la côte au droit du site atelier. Lors des conditions anticycloniques, caractérisées par des houles très faibles, il est compliqué de reproduire des tendances nettes. Il a donc été décidé de focaliser sur des conditions hydrodynamiques assez sévères (événements de tempête).

2.3 Méthodologie de suivi par systèmes vidéo

Les principaux outils d'observation installés sur les plages sont des caméras de type time-lapse. L'imagerie vidéo est particulièrement adaptée au suivi du littoral et des banquettes de Posidonie puisque leur dynamique peut être extrêmement rapide. Des campagnes de levé topographique avec une fréquence journalière durant plusieurs mois

demanderaient beaucoup de moyens engagés, alors qu'une caméra installée fournit des données à très haute fréquence et nécessitant peu d'interventions. Les systèmes de caméras ©SolarCam rassemblent les principales qualités : faible coût, connectivité, facilité de mise en place et surtout contrôle total des paramètres d'acquisition à distance. Les photographies obtenues sont ortho-rectifiées suivant des techniques photogrammétriques et des points de calage par DGPS centimétrique, via le développement d'une interface (MATLAB). Un proxy de la position du trait de côte est calculé automatiquement à partir du ratio rouge/bleu des images. Cette approche nécessite cependant un suivi complémentaire par levé topographique (DGPS centimétrique) pour apporter une information volumétrique de l'évolution de la plage (figure 3). Ces levés sont organisés de manière opportuniste en fonction des variations des banquettes observées sur les vidéos et des conditions hydrodynamiques.

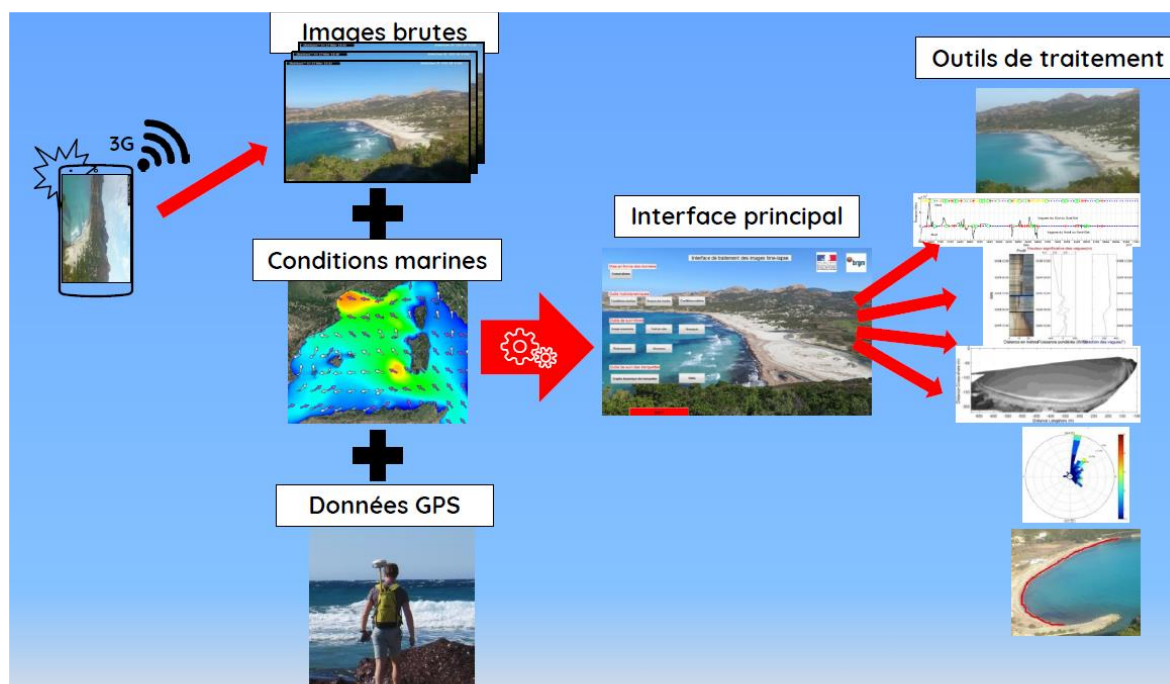


Figure 3. Méthodologie d'acquisition et de traitement des images (© BRGM).

2.4 Méthodologie pour l'étude de l'atténuation du run up des vagues

Les volumes et débits franchissants sont déterminés à l'aide de modélisations en canal à houle numérique, sur le logiciel IH2VOF développé par l'Institut Hydraulique de Cantabria. Ce logiciel résout les équations RANS (Reynolds-Averaged Navier Stokes) bidimensionnelles, qui se basent sur la décomposition du champ des vitesses et des pressions instantanées en une composante moyenne et une fluctuation turbulente. L'objectif est de simuler l'impact des banquettes sur la réduction de l'érosion due au transport cross shore (transversal) / atténuation du run up des vagues.

Thème 7 – Risques côtiers

3. Résultats

3.1 Conditions hydrodynamiques obtenues par modélisation

La période d'étude est marquée par des conditions relativement calmes avec une dizaine de coups de mer épisodiques très ponctuels et des hauteurs significatives au large qui n'atteignent 3 m au pic de tempête que très occasionnellement (3-4 événements). Ces événements sont logiquement concentrés sur la période hivernale entre décembre et mars, à l'exception de la tempête ALEX qui a impacté le littoral début octobre.

Les périodes de pic des vagues associées varient majoritairement entre 4 et 8 s, et atteignent ponctuellement 2m lors des événements de houle plus forte. Un pic de 12 s se produit en décembre en conditions plutôt calmes et sans explication particulière. Les directions de provenances des vagues sont dominées par des vents de secteur Est-Sud-Est, avec des passages plus ponctuels de secteur Ouest.

Les données de vagues sont issues de re-analyses de champs de vent au large (hindcast WWII). Leurs caractéristiques varient à proximité de la côte et sur la plage en fonction de la bathymétrie.

La période d'étude correspond à une période relativement peu agitée. Des trois événements de tempêtes étudiés (tableau 1), les forçages les plus importants pour les deux sites (plages de la Madrague et de la Batterie) ont été observés durant la tempête Alex survenue en octobre 2020. Cette tempête a généré une houle d'incidence Sud, avec des hauteurs similaires aux autres tempêtes d'incidence Est dans le golfe de Saint-Tropez, mais avec des périodes plus importantes. Les deux autres événements (tempêtes 2 et 3 en janvier et février 2021, respectivement) consistent en des houles d'incidence Est avec des périodes plus courtes.

Tableau 1. Liste des événements modélisés dans le cadre de l'approche événementielle.

| Index | Date | Caractéristiques de l'évènement | Remarques |
|-------|------------------------|---|--|
| 1 | 01-10 au 09-10 2020 | Tempête Alex $T_p = 10s$, D_p Sud | Grosse accumulation de BP, surcote, tempête Alex |
| 2 | 01-01 au 09-01 2021 | Tempête d'Est 1 $T_p < 8s$ | Accumulation, destruction, accumulation de sable puis forte accumulation |
| 3 | 21-02 au 01-03 2021 | Tempête d'Est 2 $H_s > 3m$ Est puis Sud | Destruction, recul du trait de côte, accumulation en hauteur |

Pour la plage de la Madrague, les hauteurs de houle à la côte varient entre 0,7m et 1m pour la partie Est gérée en banquette naturelle et entre 1,3m et 1,5m pour la partie Ouest gérée en millefeuille. On remarque des tendances similaires pour les trois événements, à savoir des hauteurs de houle et des courants plus élevés sur la partie gérée en

millefeuille (MF). Pour la plage de la Batterie, on observe moins de variabilité, avec des hauteurs de houle à la côte aux alentours de 1m pour l'ensemble des événements.

3.2 Evolution du trait de côte et du profil de plage d'après les relevés DGPS et les images caméra

D'après les 3 relevés DGPS réalisés, l'évolution résiduelle de la position du trait de côte sur la Madrague entre juillet 2020 et mars 2021 est caractérisée par de très faibles fluctuations d'ampleur métrique. Celles-ci sont particulièrement significatives sur la partie Est de la plage, à gauche de la position des caméras, où elles atteignent ± 2 m, en relation avec le développement d'une banquette de posidonies d'ampleur pluri décimétrique, voire métrique lors du dernier relevé de mars 2021 (figure 4).

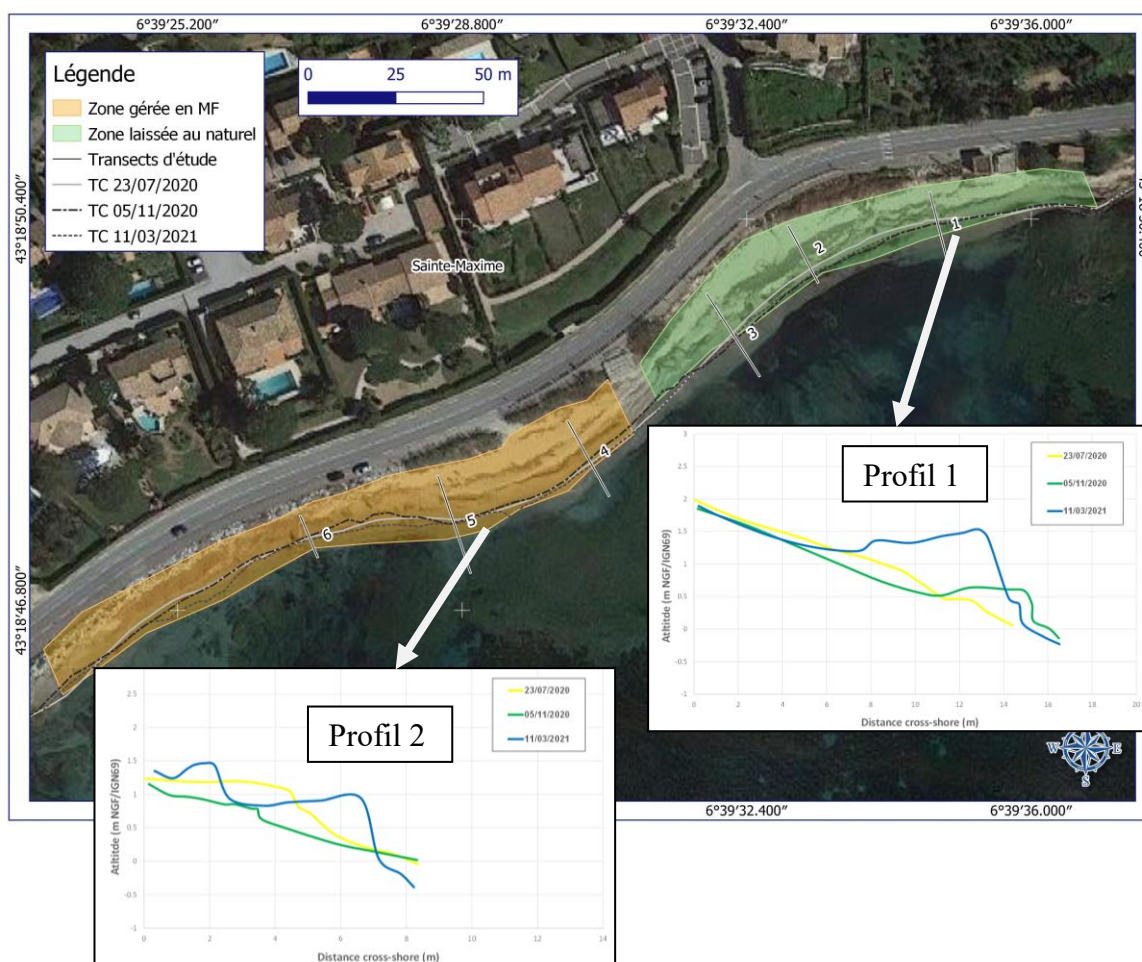


Figure 4. Evolution du trait de côte sur la plage de la Madrague (levés DGPS) et évolution du profil de plage n°1 (BN) et n°5 (MF) (levés topométriques) entre le 23/07/2020 et le 5/11/2020 et représentation des 6 profils utilisés pour les analyses d'image et pour les modélisations.

Thème 7 – Risques côtiers

À l'échelle de la plage cependant, ces évolutions résiduelles sont très limitées et résultent probablement de la relative faiblesse des conditions d'agitations qui ont été très majoritaires pour la période de juillet 2020 à juin 2021, malgré les quelques évènements tempétueux qui se sont produits. Elles traduisent aussi une bonne résilience de la plage, sur l'ensemble de son linéaire pour ces conditions hydrodynamiques, tant sur le secteur en mille-feuille que sur le secteur laissé au naturel.

La géométrie du littoral, avec la pointe rocheuse des Sardinaux à l'Est, la proximité des affleurements rocheux, et celle de l'herbier de posidonies ainsi que la position du site d'étude en fond de baie du Golfe de Saint-Tropez, sont autant de facteurs qui conditionnent la relative protection de cette plage aux évènements de secteur Sud et Ouest, et contribuent à la stabilité du trait de côte.

Les profils de plage sont reportés sur la figure 4. Le profil n°1, au niveau de la zone laissée naturelle, est caractérisé par une relative stabilité générale. Son évolution est principalement liée au développement et à la dynamique de la banquette de posidonies au niveau de la ligne de rivage (figure 4). Elle est particulièrement développée en mars 2021, avec une ampleur métrique, par rapport aux situations précédentes.

Au niveau de la zone de gestion par millefeuille, le profil n°5 (figure 4) montre en début de suivi, au cours de la saison estivale, un aplanissement relativement important de la topographie (-0,6 m au maximum), avec un lissage de la forme du profil, alors que la position de la ligne de rivage reste stable. Les causes de cet aplanissement durant la période estivale restent indéterminées, mais en l'absence de forte tempête, elles sont probablement liées à la fréquentation de la plage pendant la période estivale, avec un étalement latéral des banquettes et des sables associés, par le piétinement répété des usagers de la plage. L'impact des coups de mer durant l'automne, dont la tempête ALEX, est également une possibilité pour expliquer cette évolution. En fin de suivi, le profil montre une banquette de posidonies avec une morphologie à deux crêtes, qui est probablement le résultat de deux dépôts successifs et relativement massifs de feuilles mortes.

Ces données topographiques montrent enfin que la plage reste étroite, qu'il n'y a pas d'évolution morphologique majeure par apport sableux et que sa dynamique morphologique est principalement contrôlée par l'arrivée et le départ des banquettes de posidonies, et prenant en compte également les travaux de mise en place du millefeuille par les des services communaux sur la partie Ouest.

3.3 Dynamique de la plage et des banquettes

3.3.1 Evolution annuelle à partir des photographies obliques

Au niveau de la partie Est de la plage de la Madrague où les banquettes sont laissées au naturel sur la période juillet 2020 – juin 2021, les observations à partir des photographies obliques montrent la variabilité de la plage au cours du suivi :

- L'image du 3 octobre montre l'excursion des vagues peu après la tempête ALEX, avec des amplitudes de swash/backwash importantes, et un début de dépôt de banquette vive sur l'extrême Est de la plage, figure 5.
- Le 23 octobre, la plage est couverte par une banquette de posidonie massive.
- Durant le mois de novembre, la banquette est progressivement érodée, avec des morphologies en croissant (cuspidés).
- Entre novembre 2020 et mars 2021, elle garde cette morphologie globale avec des réajustements ponctuels lors des tempêtes et la formation de microfalaises d'érosion, qui sont parfois compensées par des apports rapides de feuilles, figure 5.
- Entre mars et mai, les images montrent que la banquette s'ensable progressivement, malgré une nouvelle érosion ponctuelle sur l'image du 27 avril.

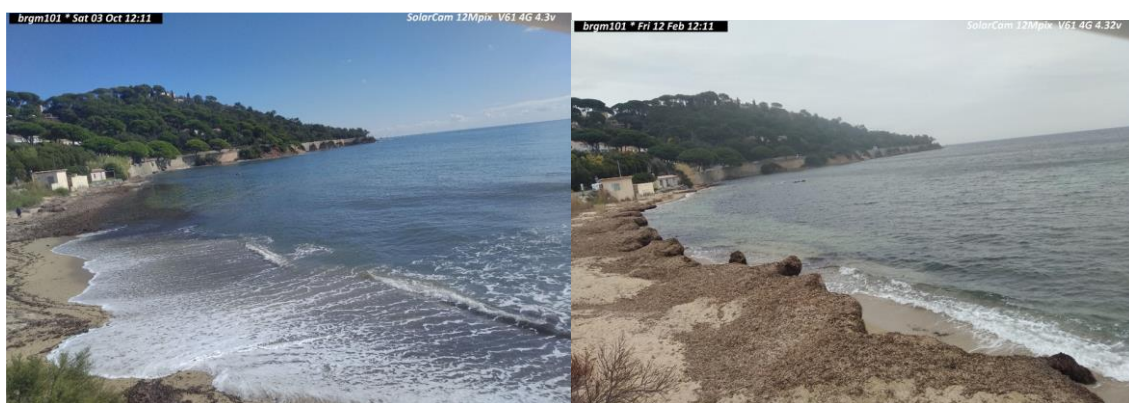


Figure 5. Exemple d'observations de la formation et de l'évolution des banquettes (BN) sur la partie Est de la plage de la Madrague (Sainte-Maxime) le 1^{er} octobre et le 12 février.

Sur la période juillet 2020 – juin 2021, au niveau de la partie Ouest gérée en millefeuille, la plage est relativement peu évolutive à l'exception de la dynamique de la banquette de posidonies, figure 6 :

- Suite à une situation post-estivale sans banquette, une banquette de faible amplitude se met en place au mois d'octobre ;
- Elle évolue tout au long de l'hiver en restant toujours présente. Son évolution est fonction des conditions hydrodynamiques, mais elle montre des modalités d'érosion en croissant (cuspidés).
- En janvier 2021, elle est bien développée, et tend à diminuer progressivement dans le temps jusqu'en mai où elle a complètement disparu.

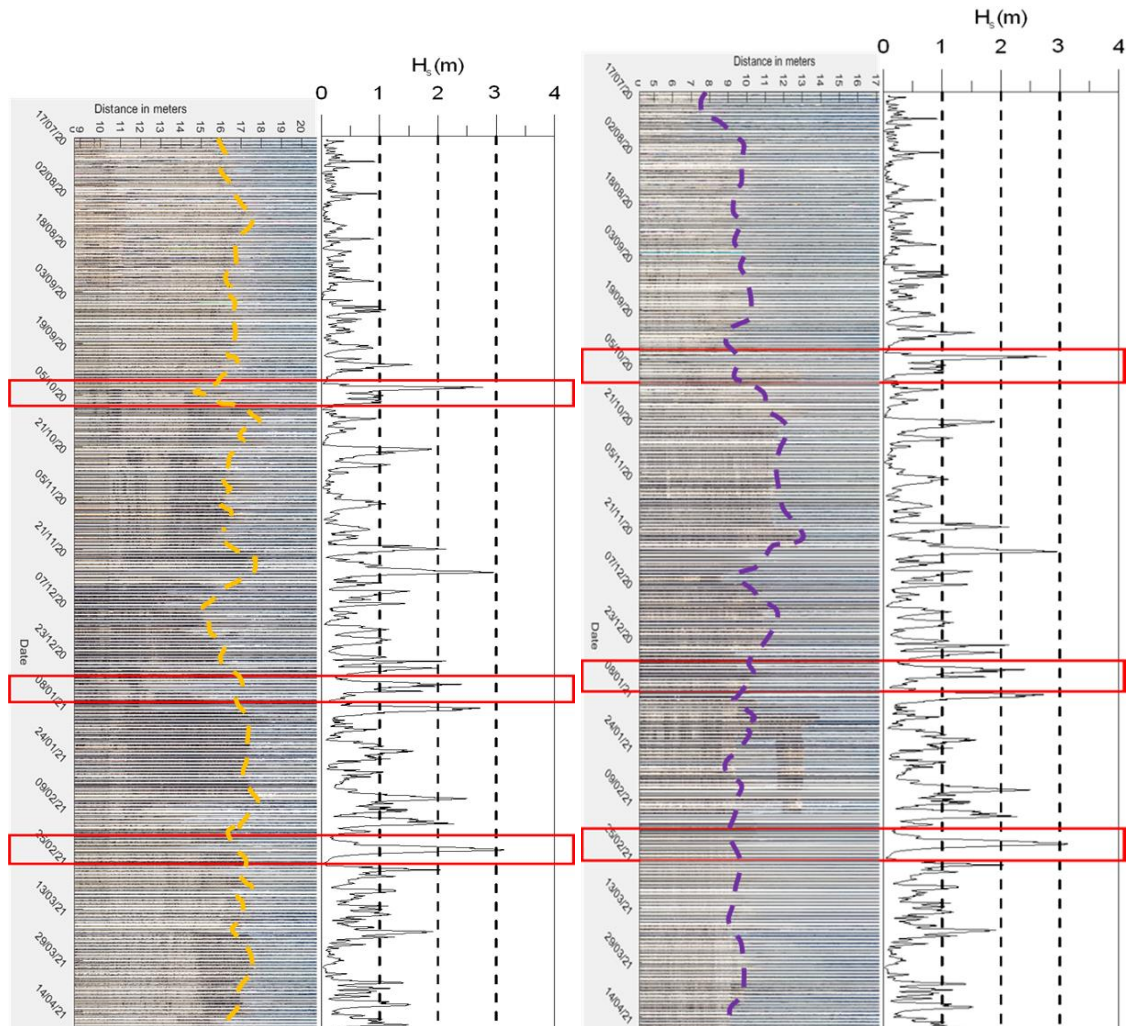


Figure 6. Évolution timestacks annuelle (2020-2021) du profil n°3 (BN) à gauche et du profil n°5 (MF) à droite sur la plage de la Madrague en lien avec les hauteurs de houle (H_s) tirées des modélisations sur les mêmes profils.

3.3.2 Evolution évènementielle sur un transect time stack

Pour étudier la plage de la Madrague, 6 transects timestacks ont été analysés (figure 4) que les évènements météorologiques ont mis en évidence, voir tableau 1. En raison de la distorsion des images trop importante lors de la phase d'ortho-rectification pour les zones lointaines de la caméra, le profil n°6, situé à proximité du profil topographique, n'a pas été utilisé pour les interprétations. L'évolution des profils n°3 et n°5 pendant la tempête Alex (octobre 2020) est représentée ci-dessous (figure 7). Comme souvent en zone littorale, les évolutions morphologiques à cette échelle de temps ne sont pas directement en corrélation avec les évolutions des conditions hydrodynamiques, les processus étant non-linéaires. En revanche, l'intérêt de ces représentations est l'illustration de la variabilité de la position instantanée de la ligne du rivage sur ces deux

secteurs, qui reste dans une gamme de valeurs ± 3 m, conforme aux observations résiduelles montrées par les relevés topographiques.

Les évolutions des banquettes au niveau des profils 3 (BN) et 5 (MF) sont représentées sur la figure 7 pendant la tempête Alex. Cette approche a été réalisée pour les 3 évènements identifiés (tableau 1).

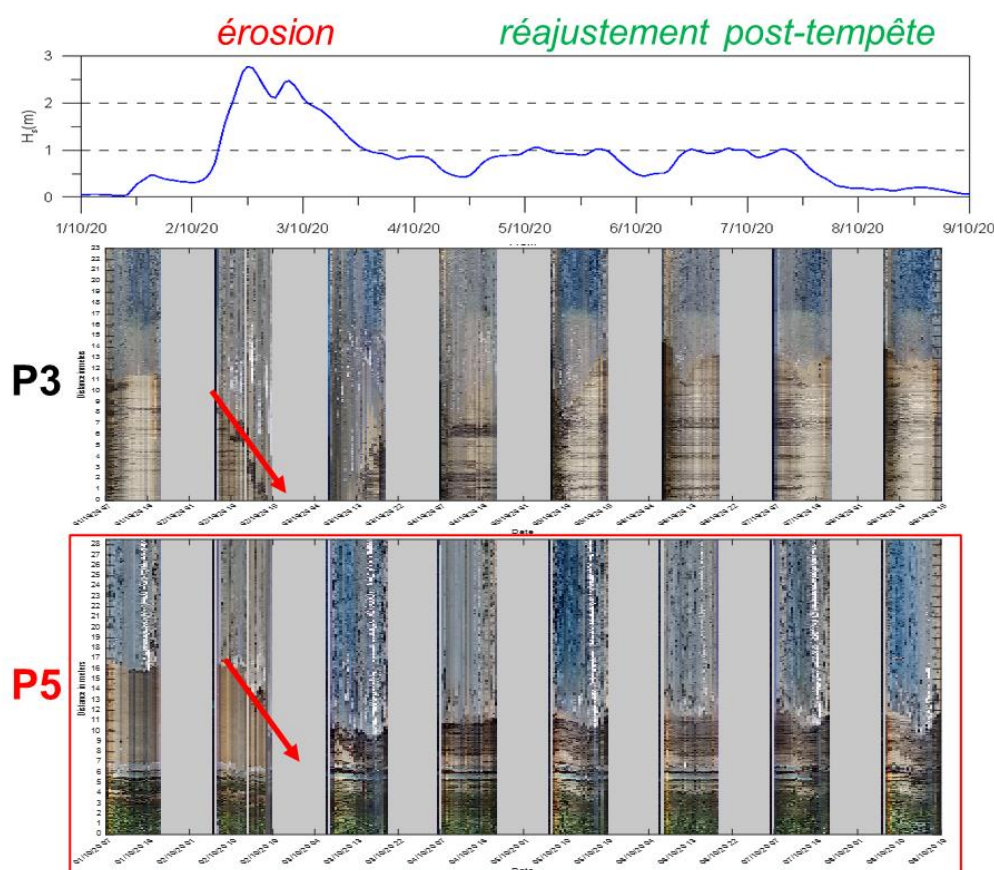


Figure 7. Evolution des profils n°3 (BN) et n°5 (MF) pendant la tempête ALEX.

Sur cet évènement particulier (la tempête ALEX), on note une différence de comportement assez nette entre la zone naturelle de la plage qui est moins exposée aux houles, plus propice à la concentration des panaches de feuilles de posidonies, et qui certes subit une érosion, mais retrouve une situation initiale du trait de côte quelques jours après, et une zone de mille-feuille qui est fortement érodée, et sur laquelle ne se développent pas de banquettes après la tempête (figure 7).

Lors de la tempête de janvier 2021, la zone naturelle est très stable, en raison de la présence d'une banquette de posidonies bien formée et suffisamment ample pour résister. La zone du millefeuille est plus évolutive, avec une érosion, relativement faible, en début de tempête et est compensée par le développement d'une banquette quelques jours après.

Thème 7 – Risques côtiers

Lors de la tempête de février, au niveau de la zone laissée au naturel, les réponses morphologiques à la tempête sont très stables : la banquette est bien formée, et résiste, malgré les fortes vagues. Au niveau de la zone gérée en millefeuille, l'évolution est caractérisée par une érosion au début de l'épisode, et un dépôt relativement important de posidonies (3 m) qui reste stable les jours suivants. On retrouve ce type d'évolution sur le profil 5, avec cependant la mise en place d'une banquette de posidonies plus ample.

4. Conclusions

A l'échelle de la Plage de la Madrague, l'évolution du trait de côte est relativement faible sur la période juillet 2020-2021. Les principales évolutions morphologiques résultent de la dynamique des banquettes de posidonies, qui peut atteindre localement une ampleur métrique. Cette stabilité relative est la conséquence de la géomorphologie littorale, avec la pointe des Sardinaux qui protège la plage des coups de vent d'Est, la présence de l'herbier et du plateau rocheux au large qui atténue les vagues incidentes, en particulier les vagues d'incidence Est qui réfractent autour de la pointe de Sardinaux. Cette plage est divisée en deux tronçons, un laissé à l'état naturel, l'autre géré avec la technique de millefeuille. Les évolutions morphologiques respectives mises en évidence montrent que la zone laissée au naturel apparaît beaucoup plus résiliente aux effets des coups de mer. La partie avec le millefeuille est plus réactive, mais le retour à une situation favorable est moins systématique sur ce secteur. Ceci traduit surtout la distinction d'exposition aux vagues de ces deux tronçons, qui a été démontrée par les simulations de propagation des vagues. La zone laissée à l'état naturel est dans un environnement plus propice au dépôt des banquettes, en concentrant probablement les remises en suspension des feuilles de posidonies. Ce stock constitué autorise par la suite sa redistribution sur l'ensemble de la plage, y compris la zone gérée en millefeuille. C'est probablement ce qui est observé lors des tempêtes de janvier et de février 2021, de secteur Est, où un panache de posidonies est observé sur la zone laissée à l'état naturel, qui est très stable, en raison d'une banquette bien formée, et un dépôt significatif post-tempête d'une banquette sur le secteur géré en millefeuille. Ce type de comportement n'est pas observé lors de la tempête ALEX (de secteur sud), où le recul est fort et durable (à l'échelle des quelques jours post-tempête) sur ce dernier tronçon. La zone à l'Est de la Madrague serait ainsi une « zone réservoir » de feuilles de posidonies.

Sur la Madrague, les mesures réalisées ne montrent pas quantitativement que la structure en millefeuille est plus résistante aux effets des tempêtes. En revanche, la situation de ce tronçon, beaucoup plus exposé, avec une plage plus étroite, où les dépôts de banquettes ne sont pas systématiques, nécessiterait de laisser les banquettes au naturel l'hiver pour diminuer la vulnérabilité de la plage aux coups de mer.

Enfin, les modélisations expérimentales réalisées en canal à houle numérique ont montré l'impact significatif des posidonies (sous forme d'un millefeuille ou d'une banquette naturelle) sur l'amortissement des houles, ce qui permet de réduire le run up

sur l'ouvrage à l'arrière et les risques d'affouillement et des pertes sédimentaires vers le large. Ces modélisations ont donc permis de mieux comprendre l'effet bénéfique des posidonies, qu'elles soient sous forme de millefeuille ou de banquette naturelle.

5. Références bibliographiques

- BALOUIN Y., BELON R., BOUVIER C., PALVADEAU E., STEPANIAN A., MUGICA J. (2018). *Suivi vidéo de la dynamique hydro-sédimentaire côtière : exemples d'applications sur le littoral méditerranéen*, Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil (JNGCGC 2018), La Rochelle, France, pp. 321–328. DOI:10.5150/jngcgc.2018.036
- BELON R. (2017). *Suivi de la dynamique des banquettes de posidonie et de leur impact sur l'évolution du trait de côte en Haute-Corse*. Rapport final. BRGM/RP- 67632 -FR, 53 p., 33 ill.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. (2006). *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*, RAMOGE pub. : 1-202.
- CANTASANO N. (2011). *Management plan for the beach-cast seagrass in Calabria*. In: Marine Research at CNR. Chapter DTA/06-2011. Department of Earth and Environment, National Research Council of Italy, pp. 1173–1182.
- CARDONA L., GARCÍA M. (2008). *Beach-cast seagrass material fertilizes the foredune vegetation of Mediterranean coastal dunes*. Acta Oecologica 34 (1), pp. 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2008.04.003>
- CREOCEAN, CSIL (2011). *Bilan de la gestion des banquettes de posidonie en Région Provence-Alpes-Côte-d'Azur*. 85p. https://csilfreefr.files.wordpress.com/.../bilan_gestion-des-banquettes-de-posidonie_paca-2011.pdf
- MATEO M., SANCHEZ-LIZASO J., ROMERO J. (2003). *Posidonia oceanica 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrients budget*. Estuarine, Coast Shelf Science, 56 (1), pp. 85–90. [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00123-3](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00123-3)
- SIMEONE S., DE FALCO G. (2012). *Morphology and composition of beach-cast Posidonia oceanica litter on beaches with different exposures*. Geomorphology, vol. 151–152, pp. 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.02.005>
- TROGU D., BUOSI C., RUJU A., PORTA M., IBBA A., DE MURO S. (2020). *What happens to a Mediterranean microtidal wave-dominated beach during significant Storm events? The morphological response of a natural Sardinian beach (Western Mediterranean)*, In: Malvárez, G. and Navas, F. (eds.), Global Coastal Issues of 2020. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 95, pp. 695-700. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208. <https://doi.org/10.2112/SI95-135.1>

Thème 7 – Risques côtiers

DEL VECCHIO S., MARBÀ N., ACOSTA A., VIGNOLO C., TRAVESET A. (2013). *Effects of posidonia oceanica beach-cast on germination, growth and nutrient uptake of coastal dune plants*. PLoS ONE 8(7): e70607, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070607>