



Interaction entre la dérive littorale et l'érosion par les courants de marée à l'extrémité sud du cap Ferret

Yves NÉDÉLEC ¹

1. Cerema Sud-Ouest, Mission Transition Écologique, Équipe de recherches RHITME (Risques Hydrauliques et Impacts Environnementaux à l'Interface Terre, Mer, Estuaires), 103 Rue Pierre Ramond, 33160 Saint-Médard-en-Jalles, France.

yves.nedelec@cerema.fr

Résumé :

La plage formant l'extrémité sud du cap Ferret, à l'entrée du bassin d'Arcachon en Gironde, subit depuis plusieurs années des effondrements fréquents et dangereux. Ces effondrements ne sont pas une déstabilisation mécanique de la plage mais un évidement régressif de celle-ci. Il se produisent car sa partie basse submergée est très érodée par le puissant courant de marée qui accompagne le jusant et permet à l'eau de quitter le bassin d'Arcachon.

Le phénomène d'évidement massif de la plage a été étudié dans son environnement propre, par l'acquisition périodique d'images sur le terrain. Ces images, obtenues depuis un ouvrage assurant l'interface entre la plage et le chenal, permettent à la fois l'observation des effondrements et l'évolution morphologique de la plage, jusqu'à son extrémité ouest. Faisant suite à la mise en évidence de l'interaction entre le régime des effondrements et la migration vers l'est de crochons parvenant à l'ouest de la plage depuis le rivage océanique, cette communication présente une étude des volumes de sable mis en jeu par ce mécanisme. Les apports par le crochon sont estimés à partir d'imagerie aérienne. Les pertes durant les effondrements sont quant à elles estimées à partir des images de terrain et de données bathymétriques permettant d'en évaluer l'incidence volumique.

L'ensemble permet contribue à l'amélioration de la connaissance de la dynamique particulière de ce site, qui relève de l'action conjointe de facteurs océaniques et estuariens et affecte notamment des sites similaires en milieu lagunaire ouvert.

Mots-clés :

Génie côtier, Sédiments, Environnement littoral, Instabilités gravitaires, Glissement Régressif, Embouchure Tidale, Dérive Littorale, Monitoring.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

1. Introduction

Le cap Ferret est une bande de sable d'origine naturelle, qui sépare l'entrée du bassin d'Arcachon de l'océan Atlantique (Figure 1). Le bassin d'Arcachon est une surface lagunaire d'environ 174 km² constituant l'estuaire du fleuve Eyre. Il se remplit et se vide à chaque marée par un passage orienté nord-sud, d'une largeur d'environ 4 km. Ce fonctionnement lagunaire sur une très grande superficie en fait un élément remarquable du paysage côtier français. Le cap Ferret s'étend quant à lui du nord vers le sud sur une longueur d'environ 10 km, pour sa partie la plus étroite.



Figure 1. Carte de situation du site d'étude.

La plage bordant l'extrémité sud du cap Ferret est le siège d'un mécanisme sédimentaire particulier : une partie de celle-ci disparaît régulièrement en raison de départs de sable rapides et massifs, qualifiés couramment d'effondrements. Le phénomène est plus exactement un glissement fluide régressif. Déclenché en profondeur là où le chenal érode les fonds, il affecte la partie subtidale de la plage, avant de remonter dans la partie émergée pour former une excavation dont l'emprise peut être spectaculaire (MASTBERGEN *et al.*, 2019). Les effondrements touchent plus précisément une portion de plage au contact de l'extrémité sud d'un linéaire d'ouvrages dont la fonction est de protéger les parcelles riveraines contre l'érosion par le chenal d'entrée et de sortie du bassin d'Arcachon (Figure 2).

En raison de ce phénomène imprévisible et peu connu, une observation continue du site s'est révélée importante pour la connaissance du fonctionnement général et du niveau de danger de la pointe, ainsi que pour éclairer la gestion sédimentaire à des fins de protection des dunes riveraines. Des prélèvements y sont en effet opérés en période de plage bien engraisée, avant les départs de sable, pour renforcer le haut de plage.

Nous présentons ici une démarche exploratoire de mise en relation des résultats de l'expérience de suivi du site réalisée pour répondre au besoin de connaissance locale évoqué (NÉDÉLEC *et al.*, 2022), avec des mouvements sédimentaires de plus grande ampleur.

La Figure 2 précise l'emplacement d'acquisition des images pour le suivi continu et désigne quelques éléments caractéristiques de l'environnement qui seront précisés dans la partie suivante. En complément des images terrain, des informations topographiques et géographiques ont pu en être fournies par un levé topographique de la plage, des données bathymétriques et des images satellitaires ont également été exploitées. Ces informations concourent à une estimation des volumes de sables en mouvement sur le site à l'échelle de la période d'observation à travers deux mécanismes : respectivement la migration d'un crochon depuis l'ouest de la plage, formé primitivement dans le prolongement de la dérive littorale sur la façade océanique et, le départ du sable durant les effondrements au contact de l'ouvrage en enrochements à l'est de la plage.

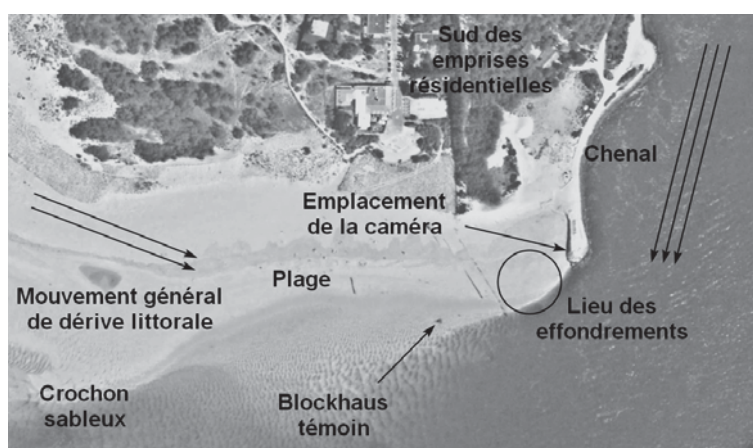


Figure 2. Schéma de la configuration générale des lieux observés.

2. Dispositif expérimental et données utilisées

2.1 Images terrain

L'acquisition d'images terrain visait trois objectifs :

- 1) utiliser un matériel robuste et peu onéreux ;
- 2) enregistrer et dater avec précision tous les événements de glissement régressif ;
- 3) collecter des images suffisamment proches dans le temps pour caractériser le déroulement d'un glissement régressif.

Le choix s'est porté sur une caméra TimeLapse Brinno 200TLC Pro, insérée dans un bloc rocheux, lui-même disposé dans l'ouvrage en enrochement, au plus près des départs de sable. Le pas de temps d'acquisition était de 10 minutes. L'ensemble a été en place sur site (voir Figure 2) entre le 30 juillet 2015 et le 7 avril 2017. En raison de pannes d'alimentations, la durée exploitable est de 576 jours.

Des images journalières ont été redressées et calibrées de manière à représenter continûment aux mêmes emplacements relatifs sur la vue deux éléments d'environnement : l'horizon et le sommet d'un blockhaus ensablé, visible durant

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

quasiment toute la période d'observation. La Figure 3 à gauche montre un exemple d'image redressée et calibrée. La description détaillée de l'acquisition et du traitement des images terrain a fait l'objet d'une publication spécifique (NÉDÉLEC *et al.*, 2022). Durant la période d'observation, afin de permettre la projection de chaque vue sur un repère géoréférencé, un levé topographique de cibles placées dans le champ de la caméra, a été effectué avec le concours du BRGM au titre de l'Observatoire de la Côte de Nouvelle-Aquitaine, qui procède annuellement à des levés topographiques de la bande côtière dans la région Nouvelle-Aquitaine. Une image acquise durant la période de présence des cibles a été déformée de manière à coïncider avec les points relevés. Cette déformation, qui permet cette coïncidence avec une exactitude satisfaisante dans la zone de départ de sable, a été réalisée au moyen de la méthode warpPerspective de la bibliothèque de traitement d'image OpenCV (voir Figure 3).

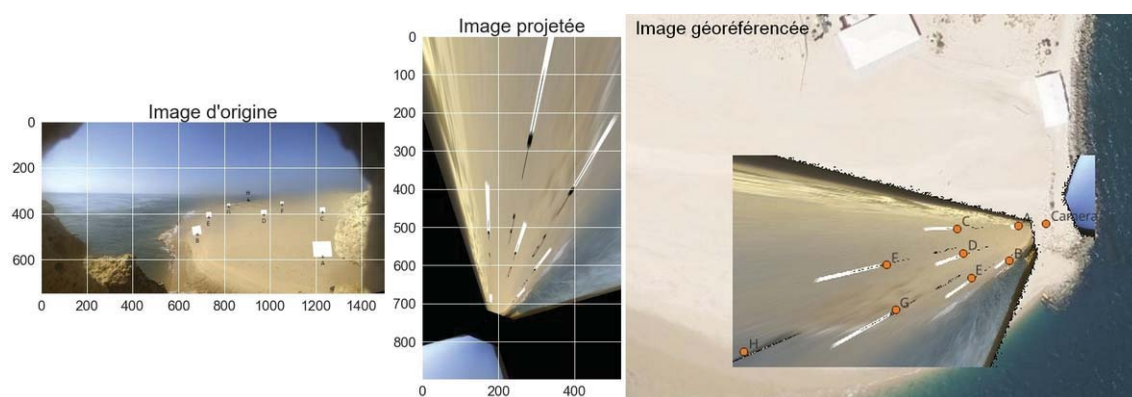


Figure 3. Image terrain originale des points levés, image projetée (Fond : orthophotographie IGN).

2.2 Données bathymétriques

Un objectif important est d'estimer le volume de sable déplacé durant un évènement de glissement régressif. Seuls des données bathymétriques peuvent donner accès à cette donnée, tout en gardant présent à l'esprit que la topographie de la plage, en dehors de la période de déroulement même du glissement, n'est pas représentative de la partie de plage réellement déplacée hors de celle-ci (MASTBERGEN *et al.*, 2019).

L'acquisition de données bathymétriques précises a été initiée par le propriétaire de l'ouvrage étudié ici, avant d'être assurée de manière périodique par le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon, dans le cadre de la Stratégie Locale de Gestion de la Bande Côtière de la commune de Lège-Cap-Ferret. Il n'y a toutefois pas eu de levé bathymétrique durant la période d'observation permettant la mesure d'une cicatrice d'effondrement. Un autre levé bathymétrique, réalisé en mars 2023 après un départ de sable, a été utilisé pour étayer l'hypothèse géométrique faite sur le volume de sable déplacé. Les Figures 4 et 5 montrent, en vue 3D et en projection, les formes et dimensions représentatives de l'environnement apportées par la bathymétrie (voir section 3).

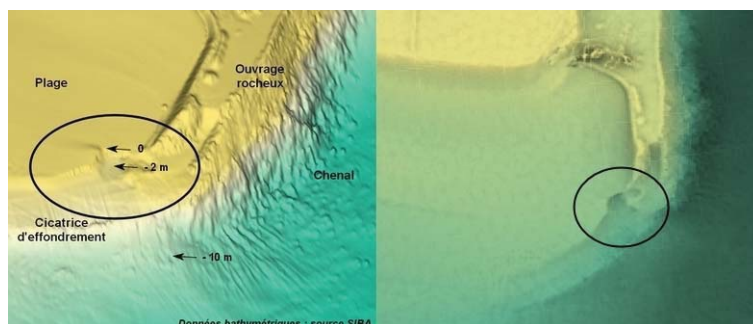


Figure 4. Données bathymétriques : détails sur le lieu des effondrements, cotes de points caractéristiques : plage, pied de zone effondrée, fond du chenal (Source SIBA).



Figure 5. Données bathymétriques : vue d'ensemble de la plage sud, cotes de points caractéristiques d'une ondulation mobile (Source SIBA).

2.3 Images satellites

Des images du programme Landsat 8 (USGS, NASA) sont disponibles sur la zone d'étude durant la période d'observation terrain. Ces images permettent notamment la localisation du crochon, la visualisation de son déplacement et la mesure de son emprise. 6 images ont été retenues. La Figure 6 sur la page suivante montre simultanément les images satellites retenues et les images terrain.

3. Estimation des volumes sédimentaires mis en mouvement

L'estimation des volumes sédimentaires mis en mouvement a porté sur deux mécanismes : (1) le cumul des volumes perdus par chaque évènement de glissement devant l'ouvrage et (2) le volume de sable apporté au pied de l'ouvrage par la migration du crochon.

3.1 Mouvements de sable induits par les glissements régressifs à l'est

Pour estimer le cumul des volumes perdus par glissement, les évènements ont été classés par intensité, en tentant une première quantification de cette intensité par la mesure d'un angle caractéristique de la déviation du rivage (NÉDÉLEC, 2022). Cette quantification a été doublée d'une répartition qualitative et visuelle en 6 classes, notamment parce qu'il existe une grande diversité de formes de cicatrices.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire



Figure 6. Images de terrain et vues satellites Landsat 8 de quelques dates montrant le déplacement du crochon entre son apparition et sa disparition sur les images terrain (Source <https://apps.sentinel-hub.com>).

Un volume représentatif de chaque classe a été évalué, en assimilant la partie de sable perdue à un demi-cylindre dont le diamètre est celui de la cicatrice et dont la hauteur est proportionnelle à l'intensité de l'évènement (représentée numériquement par sa classe : 1 pour les plus faibles volumes, 6 pour les plus forts volumes). La Figure 7 illustre cette méthode d'évaluation sous la forme d'un schéma.

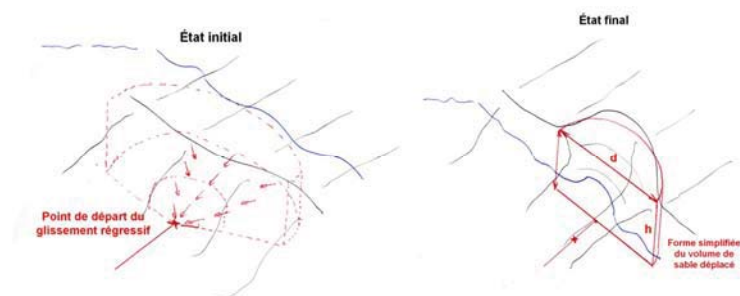


Figure 7. Schéma du volume demi-cylindrique estimé comme représentatif du volume de sable déplacé localement à l'issue d'un glissement régressif.

Cette approche simplifiée découle de la connaissance générale du mécanisme : les départs les plus volumineux correspondent à un front de régression très haut, donc à un point de départ situé très en profondeur par rapport à la plage (MASTBERGEN *et al.*, 2019). Les diamètres constatés sur quelques exemples ont amené à retenir la valeur de 7,5 fois la classe pour le diamètre de la cicatrice. La Figure 8 montre un exemple de diamètres mesurés, à partir de deux images de terrain projetées.

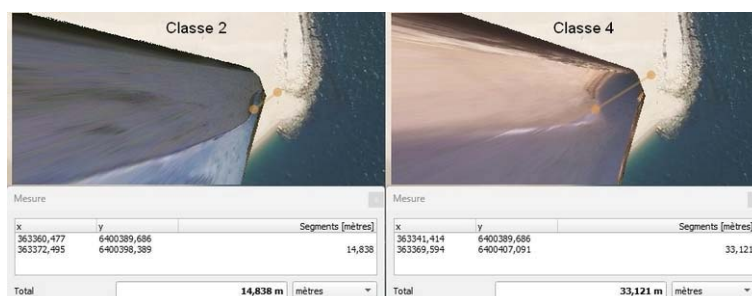


Figure 8. Mesure du diamètre de deux évènements de classes respectives 2 et 4.

La profondeur caractéristique de chaque classe a été retenue en s'appuyant sur un évènement de petite emprise observé durant le levé bathymétrique (hauteur de 2 m) et en retenant pour les évènements les plus intenses un départ au fond du chenal, soit une hauteur maximale de 12 m. La hauteur est dans ce cas supposée proportionnelle à la classe (hypothèse basse). Afin d'approcher la marge d'erreur de cette approche, un calcul a également été effectué en supposant que tous les évènements ont une hauteur de 12 m (hypothèse haute). Le Tableau 1 suivant récapitule les volumes issus de cette méthode.

Tableau 1. Géométrie et volume des départs de sable estimés par classe.

Classe	Hauteur h (m)	Diamètre d (m)	Volume, hypothèse basse (m^3)	Volume hypothèse haute (m^3)
1	2	7.5	44	265
2	4	15	353	1060
3	6	22.5	1193	2386
4	8	30	2827	4241
5	10	37.5	5522	6626
6	12	45	9542	9542

À partir de la chronologie des évènements, développée dans une publication dédiée (NÉDÉLEC *et al.*, 2022), un cumul des volumes disparus à chaque glissement a été opéré, de sorte que le transit total durant la période d'observation est donné par la Figure 9.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

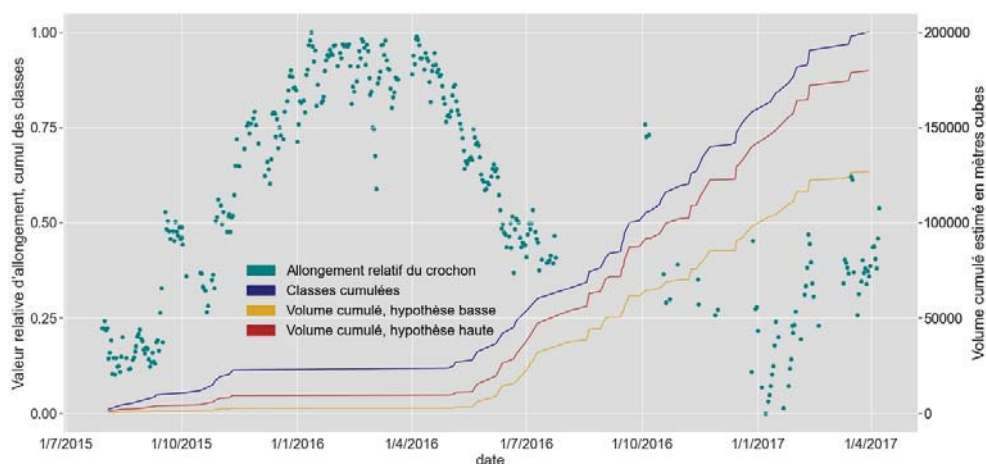


Figure 9. Graphique de l'estimation du volume sableux transporté hors de la plage par les glissements, superposé à l'allongement relatif du crochon sableux.

Les hypothèses basse et haute sur le volume d'un évènement conduisent respectivement à des volumes de sable déplacés au total de 127.000 m³ et 180.000 m³.

Une méthode plus rigoureuse et possible avec les données disponibles, serait de projeter individuellement chaque photographie d'évènement et de mesurer la cicatrice correspondante. Le temps réclamé par ce travail n'a pas pu être mobilisé à ce stade.

3.2 Mouvements de sable induits par la migration du crochon d'ouest en est

Les barres ou bancs de sable dont la morphologie évolue au fil du temps à l'entrée des espaces lagunaires, ne sont pas des masses de sable qui se déplacent matériellement en bloc, mais bien la matérialisation des conséquences d'un ensemble de processus mêlés, dont la modélisation est encore complexe à l'échelle des processus physiques (RIDDERINKHOF *et al.*, 2016). Nous avons toutefois estimé le volume de sable déplacé à partir de la seule géométrie du crochon. En l'absence de levé topographique précis durant la période de déplacement, ce volume a été estimé grossièrement à partir d'une emprise mesurée sur les vues satellitaires (en retenant un contour strictement émergé en hypothèse basse et un contour subaquatique approximatif en hypothèse haute, voir Figure 10) et une hauteur moyenne de 3,5 m, déduite du levé topographique de 2023 en relevant la hauteur caractéristique de plage en position supratidale et la profondeur caractéristique des fonds voisins peu mobiles. Cette méthode aboutit à un volume compris entre 160.000 et 210.000 m³.

La formation de ce crochon est principalement conditionnée par la dérive littorale nord-sud qui longe la façade océanique. Le volume ainsi évalué peut-être rapproché d'une estimation de flux annuel réalisée à l'échelle régionale (IDIER *et al.*, 2013). Le volume de 160.000 à 210.000 m³ estimé pour le crochon (formé puis déplacé en une durée d'environ 9-10 mois) est à comparer aux valeurs calculées dans la publication citée. Le flux résiduel nord-sud le long de la façade océanique est de l'ordre de 200.000 m³ par an

vers le sud, devenant 600.000 m³ par an à l'extrémité sud du cap Ferret (valeur théorique calculé à partir de l'incidence de la houle notamment, très différente en cet endroit).

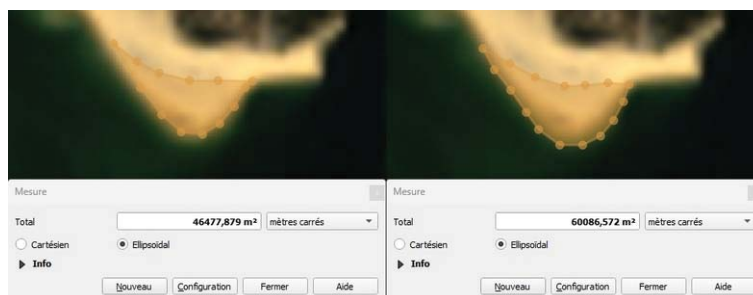


Figure 10. Mesures de la superficie du crochon mobile, partie supratidale à gauche (emprise minimum), partie incluant une surface submergée à droite (emprise maximale).

En l'état actuel de la démarche il est difficile d'interpréter la mise en correspondance de ces valeurs, on peut toutefois relever une similitude d'échelle entre le volume du crochon déplacé sur une durée de l'ordre d'une année et le flux arrivant du nord du cap. La forte différence de volume à la pointe elle-même ne peut cependant pas être traduite en l'existence d'une autre forme de transfert non explorée dans la démarche.

4. Conclusions

La démarche exposée ici a permis une première approche, dans des conditions de coûts limitées, du fonctionnement sédimentaire propre à la pointe du cap Ferret, en s'intéressant à des mécanismes aux caractéristiques physiques très différentes, la dérive littorale océanique d'une part, des instabilités propres aux environnements estuariens d'autre part. Les variables environnementales de forçage de ces mécanismes sont également très différentes. La rigueur nécessaire à la mesure, à la modélisation et à l'interprétation des mécanismes en jeu nécessiterait pour réduire sensiblement les incertitudes propres à la démarche exposée, des moyens de recherche d'une autre ampleur. En outre, les mécanismes associés à l'évolution morphologique de la partie submergée du cap et des passes ou chenaux voisins n'ont pas été intégrés à l'étude et un rapprochement de recherches spécifiques sur ceux-ci est souhaitable (NAHON *et al.*, 2022 ; BERNON *et al.*, 2019). Il importerait notamment d'identifier les processus et les variables de forçage expliquant la déformation et la migration du crochon, qui se déroulent d'une manière complexe (ROBINET *et al.*, 2022).

Le travail présenté permet toutefois de formuler des hypothèses qui pourraient être examinées dans le cadre d'un projet approprié :

- a) Le régime des instabilités de la face est de l'extrémité sud du cap Ferret est directement dépendant des mécanismes qui dictent les évolutions morphologiques de la façade ouest du cap, pour sa partie intertidale comme pour sa partie subtidale ;

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

- b) Le bilan des départs de sable à travers les glissements régressifs, semble du même ordre de grandeur que le bilan des apports de sable sous forme de motifs mobiles (crochons) qui migrent le long de la plage au sud du cap et constituent ainsi le support du mouvement de sable qui franchit le sud du cap vers l'est, mouvement qui constitue un enjeu fort vis-à-vis des ouvrages en place ;
- c) Le bilan des pertes de sable par les glissements régressif semble d'un volume sensiblement inférieur au bilan de la dérive littorale estimé sur la façade océanique, ce qui correspondrait à l'existence d'autres voies de transfert vers l'est ou vers le sud.

5. Références bibliographiques

- BERNON N., JUDE F., NICOLAE LERMA A., GAYER C. (2019). *État des connaissances de la dynamique hydro-sédimentaire à l'embouchure du Bassin d'Arcachon en lien avec les actions de lutte active souple à la Pointe du Cap Ferret*. Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine, 46 p.
- IDIER D., CASTELLE B., CHARLES E., MALLET C. (2013). *Longshore sediment flux hindcast: spatio-temporal variability along the SW Atlantic coast of France*. Journal of Coastal Research, n° Special Issue 65, pp. 1785-1790. <https://doi.org/10.2112/SI65-302.1>
- LAFON V., DUPUIS H., HOWA H., FROIDEFOND J. (2002). *Determining ridge and runnel longshore migration rate using Spot imagery*. Oceanologica Acta, Vol. 25, (3), pp. 149-158, [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(02\)01190-8](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(02)01190-8)
- MASTBERGEN D., BEINSEN K., NÉDÉLEC Y. (2019). *Watching the beach steadily disappearing: The evolution of understanding of retrogressive breach failures*. Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 7 (10), 368, <https://doi.org/10.3390/jmse7100368>
- NAHON A., IDIER D., BERTIN X., GUÉRIN T., MARIEU V., SÉNÉCHAL N., MUGICA J. (2022). *Modelling the contribution of wind waves to Cap Ferret's updrift erosion*. Coastal Engineering, Vol. 172, 104063, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.104063>
- NÉDÉLEC Y., FOUINE P., GAYER C., COLLIN F. (2022). *Time-lapse camera monitoring and study of recurrent breaching flow slides in Cap Ferret, France*. Coasts. 2022. Vol. 2 (2), pp. 70-92, <https://doi.org/10.3390/coasts2020005>
- RIDDERINKHOF W., DE SWART H.E., VAN DER VEGT M., HOEKSTRA P. (2016). *Modeling the growth and migration of sandy shoals on ebb-tidal deltas*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 121 (7), pp. 1351-1372. <https://doi.org/10.1002/2016JF003823>
- ROBINET A., BERNON N., NICOLAE-LERMA A. (2022). *Caractérisation et dynamiques des ondulations de plages migrant le long de la pointe du Cap Ferret observées sur la période 1984-2020 par imagerie satellite optique*. Note de l'Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine. Observatoire de la Côte Nouvelle-Aquitaine. 19 p.