



## **Modélisation d'évolution du trait de côte de Soulac-Sur-Mer : Approches numérique et déterministe en appui de la stratégie locale de gestion de l'érosion**

**Didier RIHOUEY<sup>1</sup>, Julien BAILLS<sup>1</sup>, Leo van RIJN<sup>2</sup>, Vincent MAZEIRAUD<sup>3</sup>**

1. CASAGEC INGENIERIE, 18 rue Maryse Bastié, Zone de Maignon, 64600 Anglet, France.  
*contact@casagec.fr*
2. leovanrijn-sediment.com, Domineeswal 6, 8356DS Blokzijl, The Netherlands.  
*info@leovanrijn-sediment.com*
3. Communauté de communes, Médoc Atlantique, 9 rue du Maréchal d'Ornano, 33780 Soulac-sur-Mer, France.  
*gemapi@cmedocatlantique.fr*

### **Résumé :**

La compréhension et la prédiction des évolutions du trait de côte constituent un enjeu majeur en termes de planification d'aménagement et de stratégie locale de gestion de la bande côtière. Les approches empiriques, couramment utilisées pour les projections à long-terme, se basent sur l'analyse diachronique des évolutions passées et sont limitées pour appréhender les évolutions engendrées par la construction d'ouvrages modifiant les transits sédimentaires. Les approches numériques, qui s'appuient sur la modélisation des processus physiques, permettent de caractériser les impacts des aménagements mais restent limitées pour quantifier les évolutions à long-terme.

Dans cet article, une approche complète est mise en œuvre pour reproduire les évolutions observées après l'allongement de l'épi Barriquand réalisé suite aux tempêtes de l'hiver 2013-2014 qui ont sévèrement touché le littoral de Soulac-Sur-Mer. Dans un premier temps, un modèle 2DH (couplage TELEMAC-TOMAWAC-SISYPHE) a été mis en œuvre pour quantifier le transit sédimentaire le long du littoral soulacais et déterminer le taux de by-pass de l'épi pour différentes caractéristiques topo-bathymétriques. Ces variables ont ensuite été utilisées dans un modèle 1D (LONGMOR) calibré pour reproduire les évolutions du trait de côte mesurées depuis l'allongement de l'épi.

In fine, la chaîne de modélisation est mise en œuvre pour prédire les évolutions du trait de côte sous hypothèse du maintien des actions actuelles (scénario de référence). Les résultats sont comparés aux projections déterministes réalisées dans le cadre de la stratégie locale de gestion du phénomène d'érosion marine portée par la Communauté de Communes Médoc Atlantique (CDCMA). L'ensemble de ces approches permet d'alimenter les réflexions sur des scénarios de lutte active (dure et souple), d'évaluer leur efficacité et d'appréhender leur impact.

## *Thème 7 – Risques côtiers*

**Mots-clés :** Modèle numérique, Evolution du trait de côte, Soulac-sur-Mer, Stratégie locale de gestion de l'érosion.

### **1. Introduction**

Le littoral sableux océanique de Soulac-sur-Mer est sujet à des phénomènes d'érosion marine parmi les plus intenses des côtes françaises avec des valeurs mesurées pouvant atteindre -7,5 m/an. Les projections à moyen terme, basées sur l'analyse diachronique des évolutions passées, mettent en évidence une atteinte très importante aux biens bâtis de première ligne à une échéance de moins de 10 ans. Pour faire face à ces problèmes d'érosion chronique, la stratégie locale de gestion du trait de côte portée par la CDCMA (Communauté de Communes Médoc Atlantique) prévoit notamment des rechargements massifs du littoral, dont les volumes de besoin ont été estimés à 500 000 m<sup>3</sup> /an pour stabiliser le recul du trait de côte des secteurs les plus sensibles (OLCOMENDY *et al.*, 2020). Compte tenu des incertitudes techniques, environnementales et financières liées à ces opérations de rechargements massifs, la CDCMA a souhaité réaliser une étude prospective visant à explorer des solutions techniques de lutte active dure contre l'érosion marine via la mise en œuvre d'une modélisation numérique d'évolution de trait de côte.

Couramment utilisés pour modéliser la propagation de la houle à la côte et les courants induits, les modèles 2DH échouent encore à simuler les évolutions du trait de côte sur le moyen terme (année/décennie) qui requière par ailleurs des temps de calcul très longs. Pour ces échelles, l'utilisation de modèles numériques de trait de côte à complexité réduite représente une alternative pour simuler des évolutions de manière relativement fiable et avec des temps de calcul raisonnables (ROBINET *et al.*, 2018).

Cet article présente une approche mixte basée sur la mise en œuvre conjointe d'un modèle 2DH et d'un modèle d'évolution de trait de côte. La chaîne de modélisation a été calibrée avec les données topographiques acquises annuellement par la CDCMA via l'analyse d'indicateurs d'évolution de trait de côte adaptés permettant de reproduire au mieux le bulbe sédimentaire induit par l'allongement de Barriquand en 2014. Dans un second temps, la chaîne de modélisation a été mise en œuvre pour tester l'efficacité et l'impact de différents scénarios d'aménagement.

### **2. Présentation du site d'étude**

#### **2.1 Description du site d'étude**

Soulac-sur-Mer se localise au centre d'une province sédimentaire et d'une entité géomorphologique, comprises entre la Pointe de Grave au Nord et la Pointe de la Négade au Sud (figure 1). Ce littoral constitue la ride Sud-Est de l'embouchure de la Gironde et s'intègre dans le système des passes de la Gironde.

Sur le littoral, la plage est large de 200 à 300 mètres et est bordée par des formations dunaires de dimensions très variables (hauteurs pouvant aller de +10 à +20 m NGF).

L'étude se focalise sur un linéaire de 4 km compris entre l'épi Nord de l'Amélie et la plage Sud des Arros située à l'aval dérive de l'épi Barriquand (figure 1).

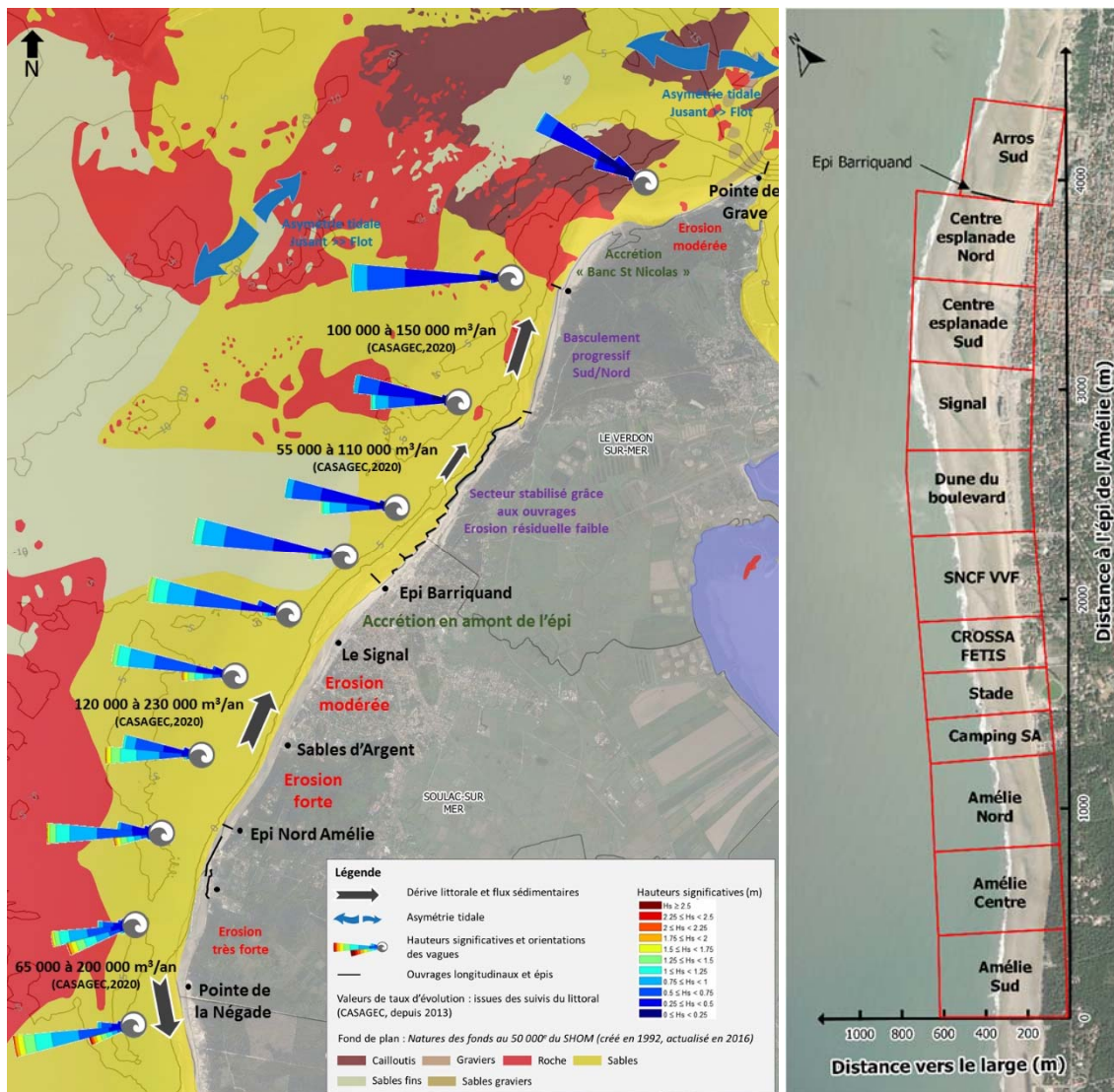


Figure 1. Schéma de fonctionnement sédimentaire du littoral de Soulac-sur-Mer.

Sur le site d'étude, la marée est de type semi-diurne avec un marnage maximal de 5,4 m et un niveau moyen de 3,28 m CM. Les courants alternatifs de marée sont prédominants dans la dynamique de l'embouchure mais leur effet est plus limité à la côte où le déferlement des houles génère une circulation Sud-Nord le long du littoral de Soulac. L'analyse statistique des données de houle BoBWA-H et HOMERE au niveau de la bouée Oléron permet d'appréhender la climatologie moyenne des états de mer au large du site (tableau 1, d'après BAILLS *et al.*, 2020). A l'approche de la côte, l'amortissement de la houle est marquée par un gradient Sud-Nord avec une exposition forte au niveau des secteurs Négade/Amélie et une atténuation marquée à partir du Signal.

## Thème 7 – Risques côtiers

Tableau 1. Classes de houle et probabilités d'occurrence.

<i>ID Classe</i>	<i>HS (m)</i>	<i>Tp (m)</i>	<i>Dirp (°)</i>	<i>Probabilité d'occurrence (%)</i>
<i>Sud-Ouest</i>	2,6	14	257	3,8
<i>Ouest 1</i>	2,4	13	270	22,8
<i>Ouest 2</i>	1,6	10	278	11,4
<i>Ouest 3</i>	2,5	13	282	10,7
<i>Nord-Ouest 1</i>	1,7	11	289	32,7
<i>Nord-Ouest 2</i>	1,3	10	298	11,9
<i>Nord-Ouest 3</i>	1,1	9	305	5,1

### 2.2 Evolution récentes du littoral entre 2013 et 2021

La CDCMA s'est engagée dans une démarche de suivi des évolutions du littoral. Dans ce cadre, des levés topographiques saisonniers de la zone d'étude ont été réalisés entre 2013 et 2021. Ces acquisitions ont lieu deux fois par an (situations post-hivernale et post-estivale) et comportent des levés topographiques le long de profils transverses espacés de 100 m qui s'étendent du pied de dune jusqu'au bas de l'estran, ainsi qu'un levé scanner 3D pour la topographie de la face de dune.

Deux indicateurs sont généralement utilisés pour quantifier les évolutions trait de côte :

- La position du pied de dune définie par la rupture de pente entre le front dunaire et la plage, dont l'analyse montre des reculs moyens compris entre 3,3 et 7,5 m/an. Cet indicateur, pertinent pour calculer les taux d'évolution des projections déterministes sur les secteurs en érosion, est moins adapté pour appréhender l'évolution des plages du front de mer en accrétion qui ne présentent pas de rupture de pente.

- Les volumes de sables (perdus ou gagnés) sur le front dunaire entre deux levés successifs, dont l'analyse montre clairement l'impact de la construction de l'épi Barriquand en 2014. En effet, si les tempêtes de l'hiver 2013-2014 ont engendré des pertes sur l'ensemble des secteurs, les bilans volumétriques deviennent globalement positifs entre l'Esplanade Nord et le Signal à partir de l'automne 2014. En sept ans, 380 000 m<sup>3</sup> de sable se sont accumulés sur le secteur soit un gain de 55 000 m<sup>3</sup> par an en moyenne depuis les travaux d'extension de l'épi Barriquand. A noter que 205 000 m<sup>3</sup> ont été extraits au droit de L'esplanade Nord pour recharger les plages Sud. Le secteur du Boulevard des Dunes constitue un point d'inflexion avec une perte importante de sable au cours de l'hiver 2013 – 2014 et un bilan volumétrique globalement nul depuis l'automne 2014. Sur les plages Sud (SNCF VVF, CROSSA FETIS et Stade), le bilan est globalement négatif (- 217 000 m<sup>3</sup>) sur la période en dépit des rechargements mis en œuvre depuis 2018. Sur le secteur des dunes de l'Amélie, 882 000 m<sup>3</sup> de sable ont été perdus entre mai 2013 et mai 2021, soit un déficit de 110 000 m<sup>3</sup> par an en moyenne.

L'analyse des résultats met en évidence l'existence d'un gradient érosif marqué du Sud vers le Nord. Dans le cadre de la présente étude, deux indicateurs supplémentaires de trait de côte ont été analysés : la position de l'isocote de la PHMA (Plus Haute Mer Astronomique) située à 5,90 m CM et la position de l'isocote du niveau moyen (NM) située à 3,29 m CM. L'indicateur NM (figure 2) est celui qui reproduit le mieux le bulbe sédimentaire induit par l'allongement de Barriquand en 2014. Entre septembre 2014 et octobre 2015, le NM prograde d'environ 70 m au droit de l'Esplanade Nord ( $3800 > x > 3500$ ) et de 50 à 20 m jusqu'au Boulevard des Dunes ( $3500 > x > 2300$ ). Entre 2015 et 2017, la progradation s'atténue (20 à 30 m /an). L'accrétion s'opère principalement au droit de l'Esplanade Sud ( $3500 > x > 3100$ ) en 2016 et au droit du Signal ( $3100 > x > 2600$ ) en 2017. De 2018 à 2019 des grosses phases d'accrétion sont observées au niveau du VVF, du Boulevard des Dunes et du Signal (environ 20m).

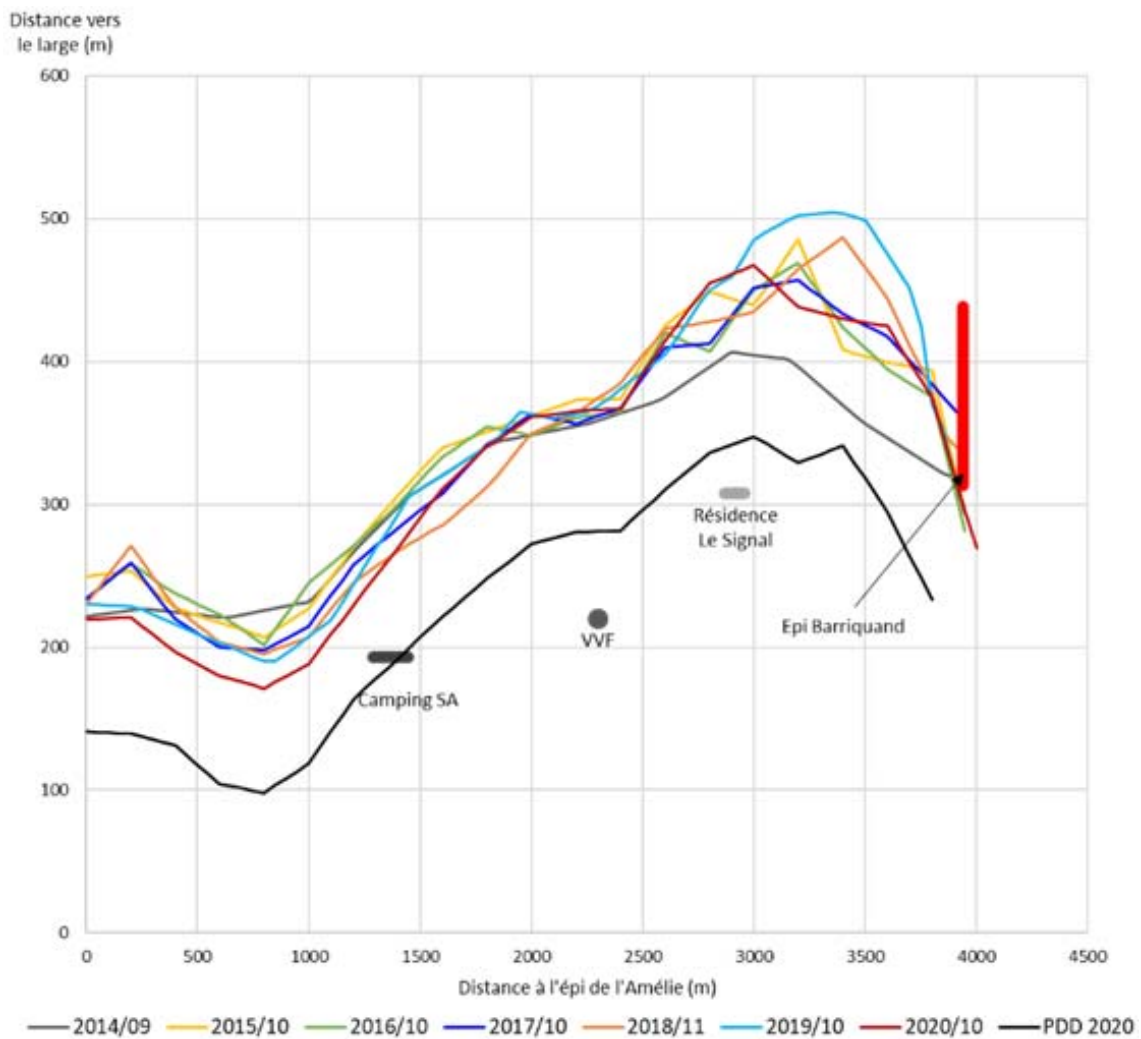


Figure 2. Evolution du trait de côte, matérialisé par l'isocote du niveau moyen (NM), suite à l'allongement de l'épi Barriquand en 2014.

### 3. Description de la chaîne de modélisation

#### 3.1 Modèle hydro-sédimentaire 2DH

Les modélisations numériques de la houle, des courants et des transits sédimentaires ont été réalisées avec la suite logicielle TELEMAC-TOMAWAC-SISYPHE. Elle permet de reproduire les conditions hydro-sédimentaires du secteur à l'étude sous l'effet combiné de la marée et de la houle. Les 7 classes de houle présentées au tableau 1 ont été modélisées sur l'ensemble de la zone d'étude pour une marée de vive-eau et une marée de morte-eau selon les trois configurations topo-bathymétriques suivantes, afin d'appréhender le fonctionnement de l'épi Barriquand :

- Topo-bathymétries de 2013 associées à l'épi Barriquand de 2013 ;
- Topo-bathymétries de 2013 associées à l'épi Barriquand allongé de 2014 ;
- Bathymétrie de 2019 et topographie de 2020 associées à l'épi Barriquand allongé.

La figure 3 illustre l'impact de l'allongement l'épi sur les circulations côtières engendrées par la houle à pleine mer.

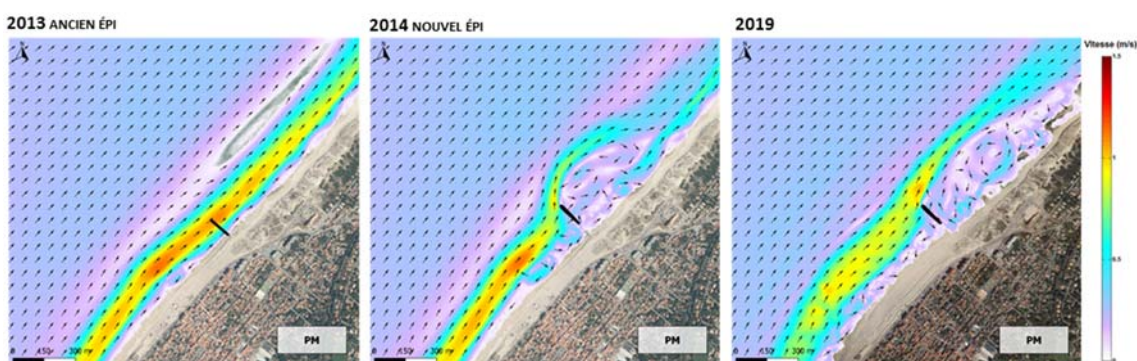


Figure 3. Circulations à pleine mer engendrées par une houle Ouest 1 au niveau de l'épi Barriquand pour 3 configurations topo-bathymétriques.

Pour chaque simulation, les flux sédimentaires ont été extraits au niveau de profils espacés tous les 100 m à chaque instant du cycle de marée. Ainsi, connaissant les probabilités d'occurrence des différentes classes de houle, le flux sédimentaire à l'année a pu être estimé (figure 4). Compris entre 250 000 et 350 000 m<sup>3</sup>/an, le flux ici calculé est légèrement inférieur aux estimations antérieures de 400 000 m<sup>3</sup>/an (LCHF, 1987 ; AUBIE & TASTET, 2000 ; IDIER *et al.*, 2013). L'allongement de l'épi Barriquand en 2014 a eu un effet immédiat sur le flux à l'aval avec une diminution du taux de by-pass de 20%. Dans la configuration de 2019, le transit sédimentaire est globalement plus faible et le taux de by-pass est à nouveau plus important, proche de celui de 2013.

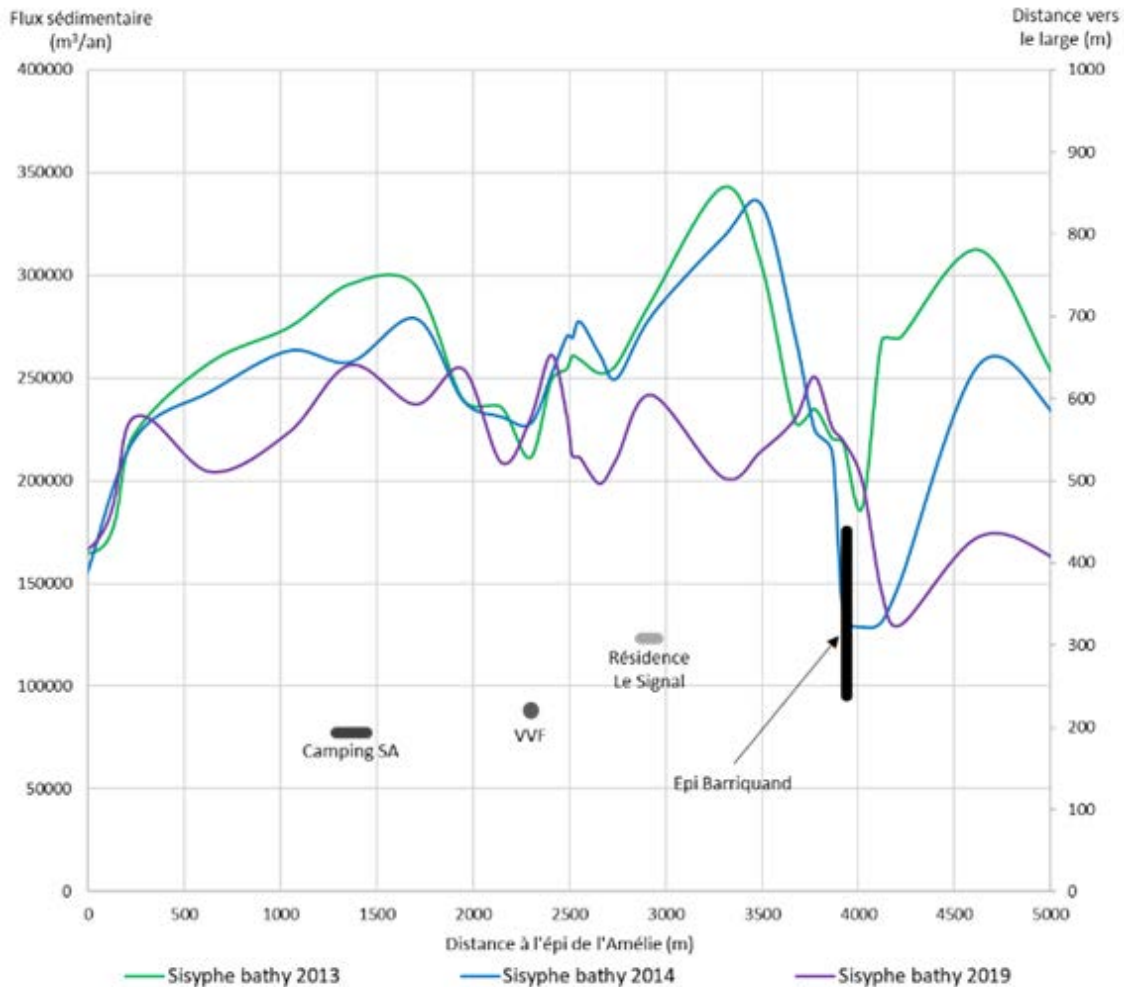


Figure 4. Transit sédimentaire calculé avec SISYPHE pour 3 configurations bathymétriques (2013 ancien Barriquand, 2014 extension Barriquand et 2019).

### 3.2 Modèle d'évolution du trait de côte 1D

Le modèle d'évolution du trait de côte 1D LONGMOR (VAN RIJN, 1998, 2002, 2005), basé sur l'équation du bilan sédimentaire en zone côtière (équation 1), s'appuie sur l'hypothèse que tout gradient en transport longshore résulte en un dépôt ou un arrachement de sédiments, conduisant à une translation de la position du trait de côte.

$$h \left( \frac{\Delta y}{\Delta t} \right) + \frac{\Delta Q}{\Delta x} - q = 0 \quad (1)$$

où  $Q$  est le transit sédimentaire ( $m^3/s$ ),  $x$  l'axe longshore (m),  $y$  l'axe cross-shore (m),  $t$  le temps (s) et  $q$  les sources d'extraction de sédiments. Le transit sédimentaire  $Q$  peut être calculé par les formules de KAMPHUIS (1991), du CERC (USACE, 1981) ou de VAN RIJN (2014).

Dans le cas de la présente étude, la formule de Van Rijn (équation 2) a été utilisée :

## Thème 7 – Risques côtiers

$$Q_{LS} = 0.00018 K K_{swell} (1 - \epsilon)^{-1} g^{0.5} \tan\beta^{0.4} d_{50}^{-0.6} H_{s_{br}}^{3.1} \sin(2 \alpha_{br}) \quad (2)$$

où  $\epsilon$  (-) la porosité considérée est égale à 0.4 ;  $d_{50}$  (m) le diamètre médian des sédiments (0,35 mm) ;  $H_{s_{br}}$  (m) la hauteur significative de la houle en zone de déferlement ;  $\alpha_{br}$  (°) l'angle de provenance de la houle en zone de déferlement ;  $\tan\beta$  (-) la pente du fond ;  $K_{swell}$  (-) paramètre de swell ;  $K$  (-) paramètre de calibration.

Le modèle 1D LONGMOR a été calibré pour reproduire au mieux : Les flux moyennés entre 2014 et 2021 issus du modèle SISYPHE (figure 4). Les données d'évolutions du trait de côte observées entre 2014 et 2021 à la suite de l'allongement de l'épi Barriquand (figure 2). Le modèle calibré (figure 5), qui intègre les taux de by-pass calculés et les volumes d'extraction / recharge réalisés chaque année, présente une erreur quadratique moyenne de 13 m entre les mesures du trait de côte et la simulation. Les secteurs en accrétion / érosion sont bien représentés et le point d'inflexion est identique aux observations.

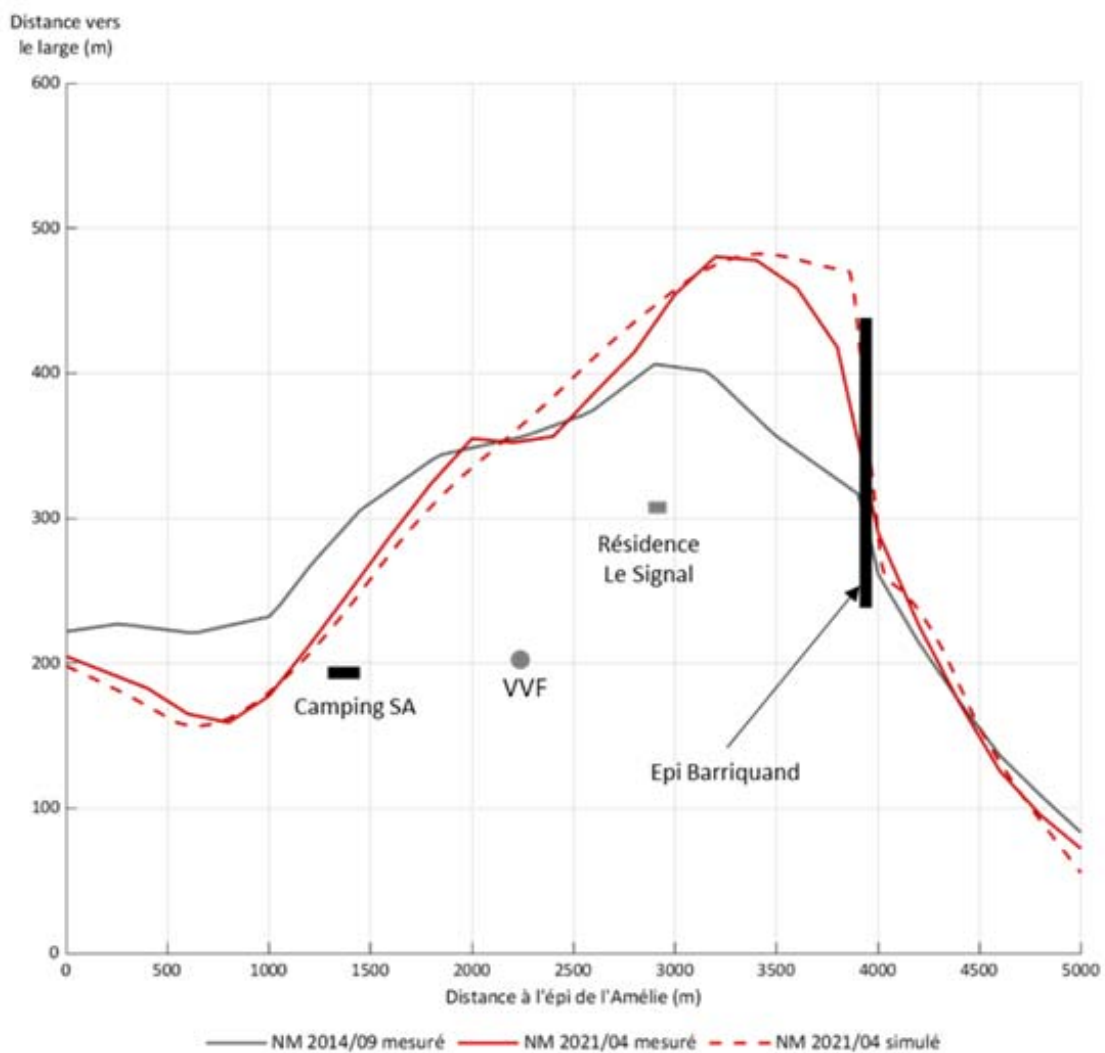


Figure 5. Niveau moyen mesuré et simulé avec le modèle 1D entre 2014 et 2021.



#### 4. Scénario de protection étudiés et projection du trait de côte

Différents scénarios et combinaisons de scénarios de lutte active dure contre l'érosion marine ont été modélisés à l'horizon 2030. Ils permettent d'envisager un maximum de solutions possibles de gestion qui peuvent être mises en œuvre si les rechargements massifs venaient à ne pas être réalisés ou en complément de ces rechargements afin de limiter, par exemple, les pertes en sables. Les résultats du modèle montrent que la majorité des scénarios (Allongement de l'épi Barriquand, construction de 2 nouveaux épis, construction d'une protection longitudinale de 1000m, Protection longitudinale + 1 épis) présente plus d'impacts hydro-sédimentaires que de bénéfices par rapport à la situation actuelle. Finalement, la mise en place d'un nouvel épi est le seul scénario dont le rapport impact / bénéfice apparaît positif. Toutefois, ce scénario ne permet pas de stabiliser l'ensemble du linéaire à l'étude et des rechargements massifs annuels à hauteur de 200 000 m<sup>3</sup> seraient nécessaires pour mitiger l'érosion.

#### 5. Conclusion et discussion

Le développement d'une approche mixte basée sur la mise en œuvre conjointe d'un modèle 2DH et d'un modèle d'évolution de trait de côte, calibré pour reproduire l'évolution du littoral de Soulac-sur-Mer depuis l'allongement de de l'épi Barriquand en 2014, a permis de tester l'efficacité et l'impact de différents scénarios d'aménagement. Ces résultats, qui s'appuient sur des modélisations de phénomènes complexes, doivent être traduits de façon opérationnelle en appui de la stratégie locale de gestion de l'érosion par une approche expérimentale basée sur des solutions réversibles et un suivi rapproché des évolutions morpho-sédimentaires.

#### 6. Références bibliographiques

- AUBIÉ S., TASTET J.-P. (2000). *Coastal erosion, processes and rates: An historical study of the Gironde coastline, Southwestern France*. Journal of Coastal Research. 2000. Vol. 16, n° 3, pp. 756-767. <https://www.jstor.org/stable/4300085>
- BAILLS J., RIHOUEY D., BOGUN F. (2020). *Estimation du transport longitudinal sur le littoral de l'Ile d'Oléron*, XVIème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre 2020, pp. 177-184, doi:10.5150/jngcgc.2020.020
- IDIER D., CASTELLE B., CHARLES E., MALLET C. (2013). *Longshore sediment flux hindcast: spatio-temporal variability along the SW Atlantic coast of France*. In : Journal of Coastal Research. 2013. n° Special Issue 65, pp. 1785-1790. <https://doi.org/10.2112/SI65-302.1>
- KAMPHUIS, J.W. 1991. *Alongshore sediment transport rate*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 117, pp. 624-640, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1991\)117:6\(624\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(1991)117:6(624))

## *Thème 7 – Risques côtiers*

- LCHF - BELLESSORT B., MIGNIOT C. (1987). *Catalogue sédimentologique des côtes françaises de la Baie du Mont-Saint-Michel à la frontière Espagnole*. Collection de la Direction des Etudes et recherches d'électricité de France, Ed. Eyrolles, 559 p.
- OLCOMENDY C., BOGUN F., RIHOUEYD., MAZEIRAUD V. (2020). *Définition des volumes de besoin des rechargements massifs du littoral de Soulac-sur-Mer via l'utilisation d'un modèle Xbeach calibré avec des données topographiques mensuelles*, XVIème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre 2020, pp. 789-796, doi:10.5150/jngcgc.2020.088
- ROBINET A., IDIER D., CASTELLE B., MARIEU V. (2018). *LX-Shore : Un nouveau modèle d'évolution du trait de côte pour les littoraux sableux dominés par l'action des vagues*, XVème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, La Rochelle 2018, pp 273-282, doi:10.5150/jngcgc.2018.031
- SHORE PROTECTION MANUAL. (1984). Dept. of the Army, Waterways Experiment Station – WES, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center - CERC, 4<sup>th</sup> edition, Vicksburg, Miss, Washington, DC USA.
- VAN RIJN L.C. (1998). *Principles of coastal morphology*. Aqua Publications, 730p., ISBN 9789080035638
- VAN RIJN L.C. (2002). *Longshore sand transport*. Proceedings of the Coastal Engineering Conference ICCE, pp. 2439–2451, doi : 10.1142/9789812791306\_0204
- VAN RIJN L.C. (2005). *Principles of sedimentation and erosion engineering in rivers, estuaries and coastal seas*. Aqua Publications, 632p. ISBN: 9789080035669
- VAN RIJN L.C. (2014). *A simple general expression for longshore transport of sand, gravel and shingle*. Coastal Engineering, 90, 23-39, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.04.008>