

## **Evolution morphodynamique d'une plage sableuse ouverte lors d'évènements énergétiques : tempêtes isolées vs. clusters**

**Mélanie BIAUSQUE<sup>1</sup>, Nadia SENECHAL<sup>1</sup>**

1. UMR CNRS 5805 EPOC - OASU - Université de Bordeaux

Allée Geoffroy Saint-Hilaire - CS 50023 - 33615 PESSAC CEDEX - FRANCE.

[melanie.biausque@u-bordeaux.fr](mailto:melanie.biausque@u-bordeaux.fr) ; [nadia.senechal@u-bordeaux.fr](mailto:nadia.senechal@u-bordeaux.fr)

### **Résumé :**

Des levés DGPS haute fréquence (jusqu'à plusieurs levés/semaine) de la plage de Biscarrosse (site labellisé par le SNO DYNALIT) ont été effectués depuis janvier 2016 donnant ainsi accès à l'impact de chaque tempête au sein d'un même cluster. Entre novembre 2015 et mai 2017, 15 tempêtes, dont 5 clusters et 4 tempêtes isolées, ont pu être identifiées. Les premiers résultats montrent que le recul du pied de dune, ainsi que le volume de plage érodée, sont nettement plus significatifs lorsqu'ils résultent d'un cluster. De plus, lors des clusters observés, on note une érosion de la zone supratidale et une accrétion de la zone intertidale ; lors d'un évènement isolé c'est l'inverse qui est observé. Les données haute fréquence mettent en évidence que le volume de plage érodée mesuré à la fin d'un cluster ne résulte pas uniquement de la somme des volumes érodés par chacune des tempêtes qui composent le cluster. L'impact de chaque tempête peut être érosif ou dans certains cas, reconstructif. Ainsi, le séquençage des tempêtes, c'est-à-dire l'ordre dans lequel les tempêtes se succèdent, semble important mais également l'évolution morphologique du système entre deux tempêtes consécutives d'un cluster. En effet, l'érosion initiée lors de la tempête peut se poursuivre après l'apex de celle-ci, en lien avec le temps de réponse de la plage aux évènements.

### **Mots-clés :**

Littoraux sableux, Morphodynamique des plages, Tempêtes isolées, Cluster de tempêtes, Transport sédimentaire.

### **1. Introduction**

Dans un contexte de pression socio-économique croissante sur le littoral et de changement climatique, les environnements littoraux représentent un enjeu majeur que ce soit d'un point de vue économique ou scientifique. La plupart des côtes ouvertes sableuses et dominées par la houle subissent une érosion naturelle, plus ou moins rapide, principalement liée à l'énergie et à l'orientation des vagues lors d'évènements de tempêtes. Les effets des évènements extrêmes isolés sur la dynamique des littoraux sableux sont étudiés depuis les années 90 via des observations de terrain (e.g. photos aériennes, levés terrain, ...) mais également plus récemment par l'apport de la modélisation (e.g. ROELVINK *et al.*, 2009). Dernièrement, à l'image de

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

DISSANAYAKE *et al.* (2015), des études ont porté sur le rôle des successions rapides de tempêtes (cluster de tempêtes) dans l'évolution des plages, assimilant le cluster comme un seul et unique événement érosif. KARUNARATHNA *et al.* (2014) ont ainsi pu démontrer qu'un cluster, composé de deux à trois tempêtes modérées, pouvait avoir un potentiel érosif nettement supérieur à une tempête isolée extrême. Dans les régions de moyennes latitudes marquées par une forte saisonnalité du régime des vagues, et donc des tempêtes, la probabilité d'observer un cluster formé de tempêtes moyennes est bien plus important que celle d'enregistrer un événement exceptionnel. Toutefois, les études comparant les effets des tempêtes isolées à ceux des clusters (e.g. FERREIRA, 2005) ne prennent généralement en compte que l'impact total du dit cluster, en s'appuyant sur la comparaison d'indicateurs morphologiques de la plage (e.g. trait de côte, volume...) avant et après le cluster. Or l'un des enjeux majeurs est de comprendre si l'évolution morphologique d'une plage sous l'effet d'une succession de tempêtes (cluster) résulte du cumul des effets de chaque tempête composant le cluster, en supposant que chacune des tempêtes a son propre effet sur la plage : érosif, reconstitutif ou nul. Ainsi, le volume de plage érodée à la fin d'un cluster peut-il être considéré, ou non, comme la somme des volumes érodés par chaque tempête le composant ? Par exemple, s'appuyant sur des levés journaliers sur une période hivernale de 6 semaines consécutives, COCO *et al.* (2014) n'ont pas observé d'effet cumulé.

Dans cette étude, des levés DGPS haute fréquence (au minimum deux levés par semaine) de la plage de Biscarrosse (côte Aquitaine) ont été effectués depuis janvier 2016, donnant notamment accès à l'impact des tempêtes isolées et des clusters observés durant deux saisons hivernales, mais également au rôle de chaque tempête au sein d'un même cluster.

## 2. Matériel et méthode

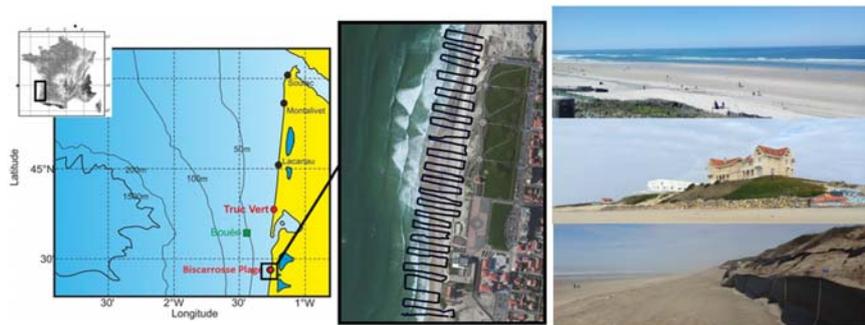
### 2.1 Site d'étude

La plage de Biscarrosse est un site d'observations labellisé SNO Dynalit situé dans la partie landaise de la côte Aquitaine (fig. 1). La morphologie en double barres du système biscarrossais, associé à une dune développée en fait un exemple typique des plages de la côte aquitaine (ALMAR *et al.*, 2009). Biscarrosse est une plage ouverte (orientée 280,5°N) méso à macro tidale dominée par la houle nord Atlantique, et composée de grains de sable moyens de 350  $\mu\text{m}$  (BA & SENECHAL, 2013). En moyenne, la hauteur significative des vagues ( $H_s$ ) avoisine les 1,4 m pour une période pic ( $T_p$ ) de 6,5 s (BUTEL *et al.*, 2002). Néanmoins, une forte saisonnalité du régime des vagues est observée avec des  $H_s$  pouvant dépasser 10 m durant l'hiver, mais n'atteindre que 0,5 m durant l'été. Selon une récente étude d'ANGNUURENG *et al.* (2017), les évolutions du trait de côte à Biscarrosse sont à 52% dominées par des variations à l'échelle saisonnière et à 28% par des événements à courtes échelles de

temps (comme les tempêtes). De plus, les changements morphologiques de la plage sont à la fois impactés par les échanges sédimentaires cross-shore et la dérive littorale *longshore*, orientée du nord vers le sud.

La plage de Biscarrosse est une plage intermédiaire présentant généralement des configurations en Transverse Bar and Rip (TBR) et Low Tide Terrace (LTT), selon la classification proposée en 1984 par WRIGHT et SHORT (1984) (PERON & SENECHAL, 2011). Même si la barre interne est majoritairement observée sous l'état TBR, associé à des longueurs d'onde de l'ordre de 400 m, tous les stades intermédiaires peuvent être rencontrés (ALMAR *et al.*, 2009). La barre externe, quant-à-elle, présente généralement une forme en croissants de longueur d'onde typique de 700 m. Mais, sous l'action et l'incidence des vagues cette barre peut subir des modifications la rendant asymétrique ou linéaire (ALMAR *et al.*, 2009).

Comparé aux sites Dynalit de la côte Basque, Biscarrosse peut être considéré comme un environnement peu anthropisé. Néanmoins, différentes stratégies de gestion ont été déployées le long du système plage/dune : l'arrière dune recouverte de gazon, une partie du pied de dune de la plage sud fixée par des enrochements, alors que la dune des plages nord et centrale est protégée par des ganivelles mises en place par l'ONF (fig.1).



*Figure 1. Localisation de la plage de Biscarrosse, Aquitaine, France.*

## 2.2 Données morphodynamiques

Entre novembre 2015 et octobre 2017, pas moins de 130 levés DGPS ont été enregistrés (croix rouges sur la courbe de Hs, fig. 2). Couvrant 700 m de linéaire côtier sur un profil allant des ganivelles (sur la dune) à la laisse de basse mer, 30 transects espacés d'environ 20m chacun sont réalisés à l'aide d'un système DGPS Trimble® (fig. 1). Cette méthodologie haute fréquence donne à la fois accès aux morphologies de la plage avant, pendant et après des événements énergétiques (tempêtes isolées ou clusters) mais également à l'évolution de la dune que ce soit en termes de position du pied de dune ou de volumes.

Grâce aux cartes topographiques interpolées, des isocontours caractéristiques des différents compartiments de la plage peuvent être identifiés, et les volumes compris

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

entre ces isocontours calculés. Ainsi, la dune est délimitée par les isocontours  $Z= 4,5$  et  $9$  m ; la plage supratidale entre  $4,5$  et  $2$  m et la plage intertidale entre  $2$  et  $0,85$  m (ANGNUURENG *et al.*, 2017).

### 2.3 Données hydrodynamiques

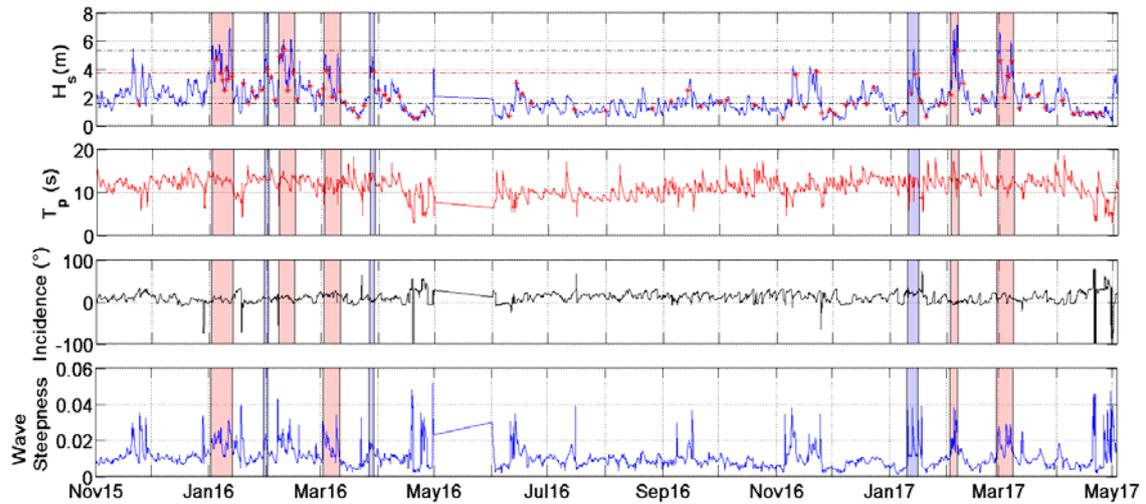
Les données de marée ont été extraites du modèle développé par le SHOM, qui présente un nœud précisément au niveau de Biscarrosse, alors que les données de houle sont fournies par Prévimer. S'appuyant sur le modèle WaveWatch3, les vagues sont modélisées au large de la pointe Cap Ferret par 50m de fond (fig.1, carré vert "bouée"). Selon la méthode proposée par DOLAN et DAVIS (1994), une tempête se définit par des seuils de durée et de hauteur significative des vagues. Ici, un évènement énergétique est qualifié de tempête si les  $H_s$  dépassent  $4$  m ( $H_{95\%}$ ) pendant au moins un cycle de marée complet, soit  $12$ h (SENECHAL *et al.*, 2015). De plus, lorsque deux tempêtes (ou plus) se succèdent avec une période d'accalmie entre celles-ci inférieure à  $5$  jours, l'ensemble est alors considéré comme un cluster de tempêtes.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1 Conditions hydrodynamiques

La figure 2 résume les conditions de houle durant la période d'étude. Les trois premiers graphiques (en partant du haut) représentent respectivement les hauteurs significatives, les périodes pic et l'incidence des vagues. Le dernier graphique représente la cambrure des vagues, calculée comme le rapport entre la hauteur des vagues et leur longueur d'onde. Une forte saisonnalité est visible avec des périodes hivernales plus énergétiques (valeurs moyennes de  $H_s$  plus importantes) allant de novembre à avril. Les patches de couleur rose soulignent les périodes de clusters alors que les patches de couleur bleue marquent les tempêtes isolées. Il est ainsi possible de compter cinq clusters, dont trois le premier hiver et deux pour le second, contre seulement trois tempêtes isolées : deux durant l'hiver 1 (2015/2016) et une pour l'hiver 2 (2016/2017).

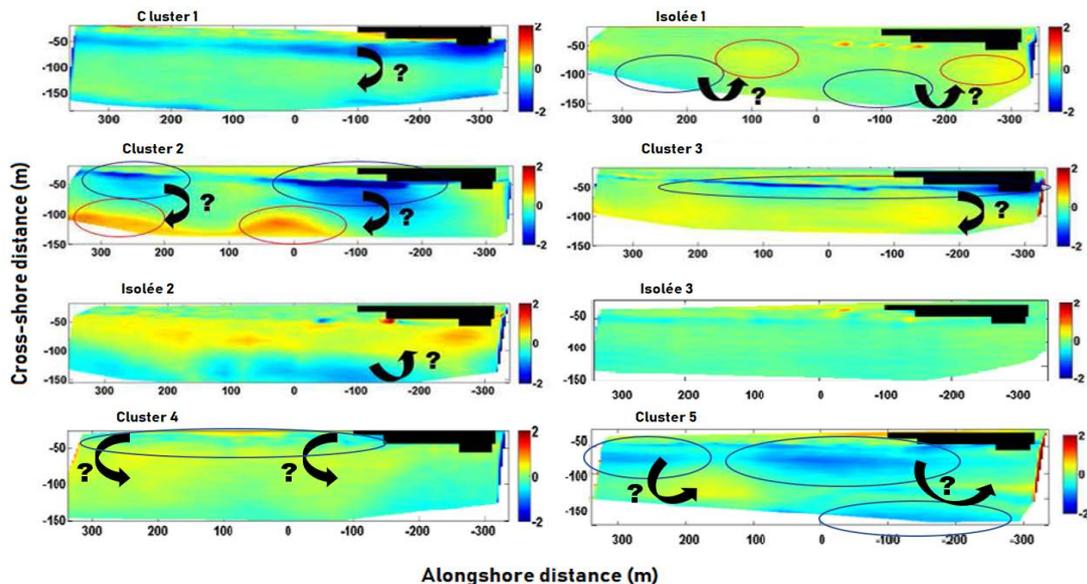
La cambrure des vagues est généralement plus forte pendant les périodes énergétiques.



*Figure 2. Conditions hydrodynamiques.*

### 3.2 Evolutions morphologiques

Les évolutions morphologiques résultant des différents évènements énergétiques observés sont compilées sous forme de cartes topographiques dans la figure 3. Lors de clusters, une érosion importante (couleurs froides entre 1 et 2 m) de la plage supratidale accompagnée d'un recul du pied de dune est visible. Au contraire, le bas de plage semble généralement stable voir en accrétion en dehors du cluster 5 qui se démarque des autres. Au contraire, durant les tempêtes isolées, le pied de dune n'est jamais atteint, et cette fois-ci, le bilan semble négatif pour le bas de plage, avec un abaissement de celui-ci, et positif ou nul pour le haut de plage et la partie supratidale.



*Figure 3. Evolutions morphologiques pour chaque évènement énergétique.*

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

### 3.3 Volumes

Les volumes présentés dans la figure 4 sont calculés pour chaque zone de la plage (dune en vert, plage inter et supratidale respectivement en rouge et bleu) et normalisés par rapport au tout premier levé de la période d'étude. Durant le premier hiver (graphique du haut, fig. 4), la dune n'est érodée que pendant les clusters (patchs roses). Il apparaît clairement que la courbe de volume de la plage intertidale et celle du volume de la plage supratidale sont en opposition de phase en première période hivernale. Au cours des clusters, le volume de plage intertidale augmente tandis que celui de la plage supratidale diminue ; durant les tempêtes isolées (patchs bleus, fig. 4) c'est l'inverse qui se produit. Le troisième cluster diffère légèrement puisque malgré une érosion de la dune et une élévation du profil de la plage intertidale, le volume de plage supratidale augmente également. Néanmoins, il est important de noter que chacune des tendances observées se poursuivent au-delà de la fin des événements.

Les tendances durant le deuxième hiver sont moins bien définies. Même si le dernier cluster semble suivre les mêmes règles que les clusters 1 et 2, c'est-à-dire une diminution des volumes de la plage supratidale et un enrichissement de la plage intertidale en sédiments, la tempête isolée 3 et le cluster 4 engendrent tous deux une érosion de ces deux compartiments.

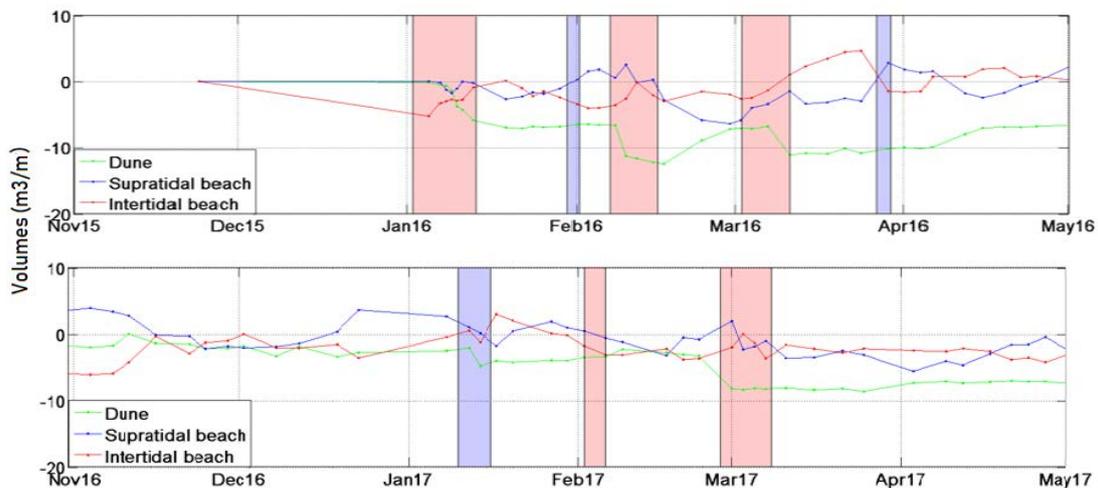


Figure 4. Volumes des différents compartiments : dune, plage inter et supratidale.

La figure 5 permet de rentrer davantage dans le détail de chaque événement énergétique. Le premier graphique de la figure 5 montre les changements de volume de plage (complète) calculés pour chaque tempête isolée (astérisque rouge), chaque tempête composant les clusters (astérisque noire), ainsi que pour chaque cluster (losange rouge). Il y a donc une modification de la morphologie de la plage mais pas du volume total. Chaque volume est obtenu en calculant la différence de volume entre les levés pré et

post tempête (ou cluster dans le cas échéant) entre les isocontours  $Z=1\text{m}$  et  $Z=9\text{m}$ . Dans 4 cas sur 5, les changements dus à un cluster reflètent une perte de sédiment ; dans 2 cas sur 3 les tempêtes isolées permettent un gain de sédiment. De plus, en sommant les effets résultant de chaque tempête composant un cluster, il ressort que dans seulement 3 cas sur 4, cette somme correspond au volume total du cluster. Les volumes présentés dans le deuxième graphique de la figure 5 sont calculés avec la même méthode que pour le graphique précédent, pour chaque tempête, mais cette fois pour les différents compartiments qui composent la plage. Il en ressort que chaque tempête formant un cluster a un impact sur la plage/dune spécifique, ce qui ne ressort pas en ne s'intéressant qu'au volume total de la plage. De plus, un changement nul dans le volume de plage ne signifie pas pour autant que la morphologie du système n'a pas évolué. Par exemple, lors de la deuxième tempête isolée, le bilan total est quasiment nul, mais cela n'est dû qu'à un volume de plage supratidale érodé équivalent à celui gagné par la plage intertidale.

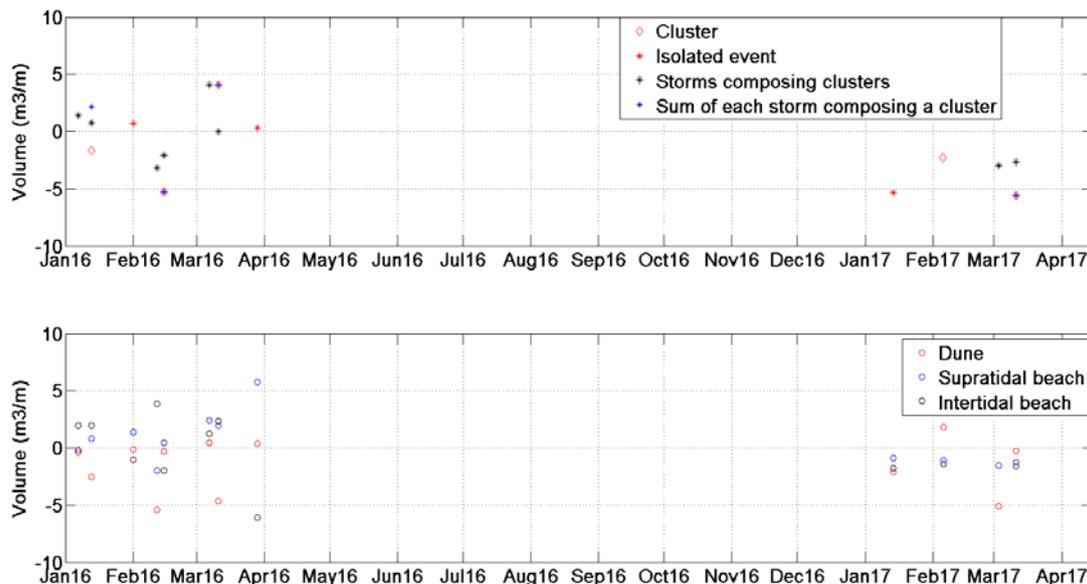


Figure 5. Changements volumiques lors des différents évènements.

### 3.4 Discussion

Enfin, les approches multi-proxys et l'étude des évolutions au sein d'un même cluster apportent à la fois des informations quant aux échanges sédimentaires entre les compartiments dune/plages inter et supratidale, mais également montrent que chaque tempête joue un rôle (érosif ou reconstructif). De plus, il existe déphasage entre la réponse de la plage et l'apex des événements. De ce fait, l'effet d'un cluster ne peut être considéré que comme la somme des effets de chaque tempête qui le compose.

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

Des études précédentes (e.g. MASSELINK *et al.*, 2006) ont mis en évidence l'importance de paramètres tels que la morphologie de la plage, l'énergie des vagues et la durée des événements énergétiques ou encore la marée dans l'étude des évolutions morphodynamiques des littoraux sableux. Tous les événements qui montrent une érosion de la dune (clusters 1,2,3 et 5 ainsi que la tempête 3) se sont déroulés pendant des forts coefficients de marée (>95, tableau 1). Lors des marées de vives-eaux, l'altitude du plan d'eau plus élevée associée à de fortes conditions de houle donne accès à la dune et à la plage supratidale. Après l'apex de tempête, la retombée des conditions énergétiques et la diminution du niveau du plan d'eau permet soit un dépôt de sédiment en bas de plage, soit un retour du sable précédemment érodé vers la plage intertidale. Lors de coefficients plus modérés, les tempêtes vont rendre le sédiment de la plage intertidale disponible pour engraisser le haut de plage, puis la plage supratidale, comme lors des périodes de "recovery" saisonnières. Du fait de la durée supérieure en temps de la période de cluster, la probabilité qu'une marée de vives-eaux soit corrélée à un cluster plutôt qu'à une tempête simple est plus élevée.

De plus, selon une étude de PHILLIPS *et al.* (2017) il existe une anti-corrélation entre le taux d'engraissement d'une plage sableuse et la cambrure des vagues. Ainsi, lors des tempêtes isolées 1 et 2, qui montre une accrétion de la plage, la cambrure des vagues n'excède pas 0,02. La forme des vagues semble donc jouer un rôle (secondaire) dans la réponse des plages aux événements énergétiques.

Tableau 1. Coefficients de marée.

<i>Evènements</i>	Cluster	Isolée	Cluster	Cluster	Isolée	Isolée	Cluster	Cluster
	1	1	2	3	2	3	4	5
Coefficients de marée	De 40 à 95	De 71 à 37	De 57 à 108 à 66	De 34 à 116	De 89 à 58	De 99 à 102	De 80 à 54	De 100 à 51

### 4. Conclusions

Des levés DGPS haute fréquence ont été effectués sur la plage de Biscarrosse (Aquitaine, France), site labellisé par le SNO DYNALIT, entre novembre 2015 et mai 2017. Les données hydrodynamiques ont permis de comptabiliser 15 tempêtes enregistrées au total durant deux hivers énergétiquement différents (10 événements pour le premier hiver contre seulement 5 durant le second). L'étude topomorphologique du système plage/dune de Biscarrosse a pu mettre en évidence l'existence d'une zonation dans la réponse du système en fonction du type d'évènement, à savoir un cluster ou une tempête isolée. Ainsi, les clusters ont tendance à provoquer une érosion de la zone supratidale de la plage, associée à un recul du pied de dune, au profit de la zone intertidale qui a tendance à s'engraisser. Le contraire est observable en période de tempêtes isolées, et serait lié à de plus faibles altitudes du plan d'eau (petits coefficients

de marée). De plus, la méthodologie "haute fréquence" utilisée dans cette étude donne à la fois accès aux tempêtes composant chaque cluster, mais aussi aux évènements intra-cluster. Il en ressort que l'évolution (érosion) résultant d'un cluster est à la fois liée aux effets de chacune de ses tempêtes mais également aux évolutions inter-tempêtes. Ainsi, pour comprendre l'évolution morphodynamique d'un système sableux il ne suffit pas de tenir compte de chaque évènement énergétique, mais aussi du séquençage de ceux-ci et des périodes énergétiquement plus calmes, entre les tempêtes. Par conséquent, la réponse du système à un évènement de type "cluster" ne peut être considérée comme la somme des érosions induites par chaque tempête qui constitue le cluster.

Dans cette étude, seuls les processus cross-shore ont été considérés. Or, il semblerait que les tendances clairement déterminées pour le premier hiver soient plus complexes pour le second. Une étude plus approfondie des possibles processus *longshore* pouvant expliquer les différences dans les réponses morphodynamiques aux deux hivers est actuellement en cours.

## 5. Références bibliographiques

- ALMAR R., CASTELLE B., RUESSINK B.G., SENECHAL N., BONNETON P., MARIEU V. (2009). *High-frequency video observation of two nearby double-barred beaches under high-energy wave forcing*. J.C.R. SI56, pp 1706–1710.
- ANGNUURENG D.B., ALMAR R., SENECHAL N., CASTELLE B., ADDO K.A., MARIEU V., RANASINGHE R. (2017). *Shoreline resilience to individual storms and storm clusters on a meso-macrotidal barred beach*. *Geomorphology*, Vol. 290, pp 265-276. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.007>
- BA A., SENECHAL N. (2013). *Extreme winter storm versus summer storm: morphological impact on a sandy beach*. J.C.R. SI, Vol. 65, pp 648–653. <https://doi.org/10.2112/si65.110.1>
- BUTEL R., DUPUIS H., BONNETON P. (2002). *Spatial variability of wave conditions on the French Aquitanian coast using in-situ data*. J.C.R. SI, Vol. 36, pp 96-108.
- COCO G., SENECHAL N., REJAS A., BRYAN K.R., CAPO S., PARISOT J.P., BROWN J.A., MACMAHAN J.H.M. (2014). *Beach response to a sequence of extreme storms*. *Geomorphology*, Vol. 204, pp 493–501. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.028>
- DISSANAYAKE P., BROWN J., WISSE P., KARUNARATHNA H. (2015). *Effects of storm clustering on beach/dune evolution*. *Marine Geology*, Vol. 370, pp 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.10.010>
- DOLAN R., DAVIS R.E. (1994). *Coastal storm hazards*. J.C.R., pp 103–114.
- FERREIRA Ó. (2005). *Storm Groups versus Extreme Single Storms: Predicted Erosion and Management Consequences*. J.C.R., pp 221–227.
- KARUNARATHNA H., PENDER D., RANASINGHE R., SHORT A.D., REEVE D.E. (2014). *The effects of storm clustering on beach profile variability*. *Marine Geology*, Vol. 348, pp 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.12.007>

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

- MASSELINK G., KROON A., DAVIDSON-ARNOTT R.G.D. (2006). *Morphodynamics of intertidal bars in wave-dominated coastal settings — A review*. *Geomorphology*, Vol. 73, pp 33–49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.007>
- PERON C., SENECHAL N. (2011). *Dynamic of a meso to macro-tidal double barred beach: inner bar response*. *J.C.R., SI*, Vol. 64, pp 120–124.
- PHILLIPS M.S., HARLEY M.D., TURNER I.L., SPLINTER K.D., COX R.J. (2017). *Shoreline recovery on wave-dominated sandy coastlines: the role of sandbar morphodynamics and nearshore wave parameters*. *Marine Geology*, Vol. 385, pp 146-159. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.01.005>
- ROELVINK D., RENIERS A., VAN DONGEREN A., DE VRIES J., VAN T., MCCALL R., LESCINSKI J. (2009). *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. *Coastal Engineering*, Vol. 56, pp 1133–1152. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.08.006>
- SENECHAL N., COCO G., CASTELLE B., MARIEU V. (2015). *Storm impact on the seasonal shoreline dynamics of a meso- to macrotidal open sandy beach (Biscarrosse, France)*. *Geomorphology*, Vol. 228, pp 448–461. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.025>
- WRIGHT L.D., SHORT A.D. (1984). *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis*. *Mar. Geol.*, Vol. 56, pp 93–118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)