



## Analyse de l'évolution morphodynamique de la plage du Truc Vert (Gironde) sur une période décennale

Jean-Paul PARISOT<sup>1</sup>, Sylvain CAPO<sup>1</sup>, Didier RIHOUEY<sup>2</sup>, Hélène HOWA<sup>3</sup>,  
Franck DESMAZES<sup>4</sup>, Leatitia FAUQUE<sup>1</sup>

1. Université Bordeaux 1, EPOC UMR 5805, Av. des facultés, 33405 Talence, France.  
*parisot@epoc.u-bordeaux1.fr ; s.capo@epoc.u-bordeaux1.fr*
2. CASAGEC, 1 allée du parc Montaury, 64600 Anglet, France.  
*didier.rihouey@univ-pau.fr*
3. UFR Sciences, UPRES EA 2644, 2 bd Lavoisier, 49045 Angers, France.  
*helene.howa@univ-angers.fr*
4. HOCER, 5 rue Eugène Bourdon. ZI de Kergaradec. 29490 Guipavas, France.  
*franck.desmazes@hocer.com*

### Résumé :

Depuis 1997, un suivi topographique régulier de la plage du Truc Vert est réalisé par le laboratoire EPOC de Bordeaux I. A marée basse, des profils *cross-shore* d'une longueur d'environ 250 m, allant du pied de la dune embryonnaire à la laisse de basse-mer ont d'abord été levés au théodolite entre 1997 et 2003, puis au GPS cinématique. Une campagne intensive (ECORS) en mars/avril 2008 a complété ce jeu de données. L'ensemble de ces profils a fait l'objet d'une mise en forme rigoureuse afin de constituer une série de données unique et homogène. La technique d'analyse factorielle (AFC), couramment utilisée pour caractériser l'évolution morphodynamique des plages sableuses, a été mise en œuvre pour analyser l'ensemble de la base de données. Une analyse fréquentielle a également été réalisée afin de déterminer la périodicité des variations morphologiques et hydrodynamiques et d'établir des corrélations entre les forçages (houle, marée). Une périodicité annuelle a principalement été dégagée. Des composantes périodiques trimestrielle et semestrielle apparaissent également ainsi qu'une période de l'ordre de 2/3 ans. Ces signatures spectrales sont également présentes dans le forçage lié à la houle et dans l'indice NAO. Un cycle de 10 ans semble se dégager des moyennes annuelles des forçages et des volumes de plage.

### Mots-clés :

Mesures topographiques – Plage sableuse – Analyse statistique – Analyse factorielle – Analyse fréquentielle – Forçages hydrodynamiques – Evolution morphodynamique – NAO

**Abstract:**

Since 1997, a regular topographic survey of Truc Vert beach has been carried out by the research laboratory EPOC of the University of Bordeaux I. At low tide, *cross-shore* profiles with a length of approximately 250 m going from the water line at low tide up to the aeolian foredune were surveyed firstly with a theodolite between 1997 and 2003 then with the kinematic GPS. During our study, the whole set of profiles was rigorously organized in order to constitute a single and homogeneous dataset. The dataset analysis allowed us to study the beach morphological evolution on a medium term scale. All the data were analyzed by a statistical method for investigating temporal beach level fluctuations, Empirical Orthogonal Function (EOF). The seasonal berm construction was confirmed. A frequential analysis was finally carried out in order to determine the periodicity of the morphological and hydrodynamic evolution and to establish correlations between them. An annual periodicity was mainly highlighted. The harmonics (quarterly and semi-annual) also appear as well as a 2-year period. These spectral timescales are also present in wave forcing and in the NAO index.

**1. Introduction**

Dans le cadre de l'ANR VULSACO, l'ensemble des mesures topographiques et bathymétriques réalisées depuis plus de 10 ans sur la plage du Truc Vert ont été rassemblées. Le suivi morphologique de cette plage a été initié par D. Michel et H. Howa en 1997 puis a été le lieu de nombreuses campagnes internationales comme les programmes PNOC 1 et 2 (1998 et 1999) qui ont permis d'acquérir des mesures à haute fréquence. Plusieurs autres études ont été réalisées au Truc Vert depuis 1998 : d'importantes campagnes de terrain (MICHEL & HOWA, 1999 ; SENECHAL *et al.*, 2004 ; MASSELINK *et al.*, 2008), et l'élaboration de modèles numériques (CASTELLE *et al.*, 2006). Dernièrement la mission ECORS qui a regroupé une large communauté scientifique a permis en particulier un suivi topographique quotidien de la plage en mars et avril 2008 (PARISOT *et al.*, 2009). Les levés topographiques ont été réalisés de 1997 à 2003 au théodolite puis de 2003 à 2008 au GPS cinématique avec un recouvrement des 2 méthodes en 2003. L'ensemble de ces levés a été compilé puis mis en forme afin d'obtenir une série de données homogène par la suite appliquée aux modèles permettant l'étude de l'évolution de la plage.

La plage du Truc Vert se situe sur la côte Atlantique, en Gironde. Elle est localisée à environ 10 km au Nord de l'embouchure du Bassin d'Arcachon soit environ 90 km au Sud de l'estuaire de la Gironde (figure 1). Elle n'est donc ni influencée par l'hydrodynamique de l'estuaire ni par celle du bassin d'Arcachon dont les passes sont orientées vers le Sud tout comme la dérive littorale. Cette plage sableuse a été choisie pour sa morphologie, car elle constitue un système plage-dune complet associé à un système barres-bâines mais aussi car elle se situe dans une zone difficilement accessible qui n'est pas sous l'influence directe de l'action anthropique.

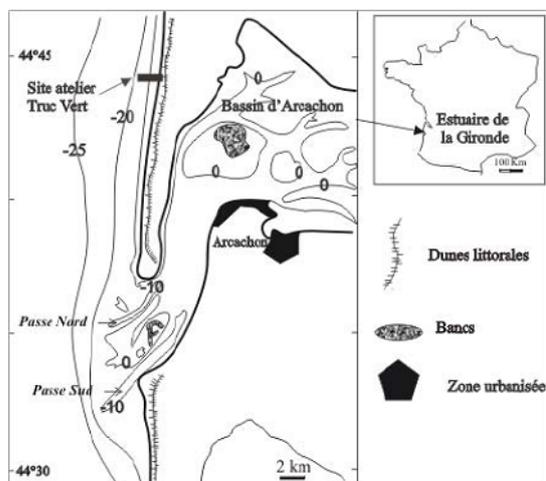


Figure 1. Situation géographique de la plage du Truc Vert.

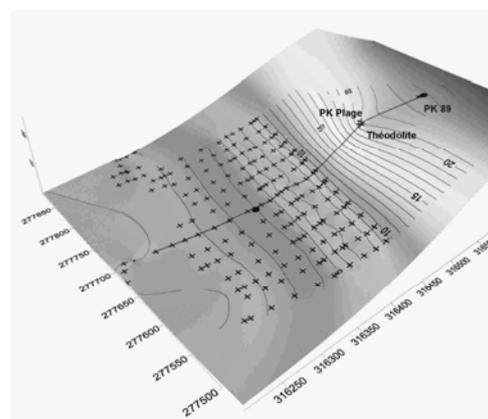


Figure 2. Schéma de situation du profil maître sur une coupe 3D réalisée au GPS. ligne continue représente le profil étudié dans ce travail.

Plusieurs agents sont responsables des circulations hydrodynamiques sur les côtes sableuses d'Aquitaine. Les conditions de vagues sont très énergétiques : les moyennes annuelles des hauteurs significatives ( $H_{sig}$ ) et des périodes moyennes ( $T_{mean}$ ) sont respectivement de 1,36 m et 6,5 s (BUTEL *et al.*, 2002). Une grande variabilité temporelle a été remarquée avec notamment une forte dépendance saisonnière. Les houles hivernales ont une période moyenne de 7,2 s et une hauteur significative de 1,58 m alors que les houles estivales ont une période moyenne de 5,8 s et une hauteur significative de 1,14 m. Au cours d'une tempête, la hauteur des vagues peut atteindre 10 m. Cependant, la présence d'un système de barres subtidales protège la plage intertidale des conditions de vagues extrêmes en dissipant l'énergie de la houle par déferlement. L'évolution du site est également rythmée par une marée semi-diurne dont les courants n'ont que peu d'influence comparés à l'action des courants liés au déferlement des vagues (CASTELLE, 2004). Le marnage oscille entre 2 m en mortes-eaux et 4,50 m en vives-eaux. Le site du Truc Vert est alimenté en sédiments par un courant orienté Nord-Sud du fait de la direction prédominante de la houle (Ouest/Nord-Ouest). Il s'agit de la dérive littorale qui est responsable d'un transit sédimentaire estimé à  $680000 \text{ m}^3/\text{an}$  (MICHEL & HOWA, 1999).

## 2. Données disponibles et principes d'acquisition

De 1997 à 2003, le même profil de plage intertidale 1D, appelé profil maître, a été levé au théodolite (figure 2). Les altitudes (NGF) étaient déterminées à l'aide d'un point de référence (PK 89) situé sur la dune à environ 90 m du théodolite (DESMAZES, 2005).

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

Les levés topographiques effectués au GPS cinématiques Trimble 5700 (figure 2) ont été réalisés à partir de 2003 et jusqu'en 2006 avec une fréquence bimensuelle ; à partir de février 2006 les levés deviennent mensuels. Les levés topographiques sont réalisés avec une précision centimétrique sur l'horizontale et la verticale. Les levés ont d'abord été réalisés à pied puis au Quad depuis janvier 2007, ce qui permet d'enregistrer des points en continu sur une plus grande emprise spatiale et ainsi obtenir une meilleure représentation de la configuration de la plage. A chaque marée basse de vives-eaux, 15 radiales (*cross-shore*) sont levées de la laisse de basse mer à la dune pré-littorale (figure 2). La distance *long-shore* séparant chaque radiale est d'environ 25 m ; et l'emprise totale atteint 350 m. La barre intertidale ne peut pas toujours être levée dans sa totalité du fait des coefficients de marées et des conditions de houle plus ou moins énergétiques. A partir de ces levés, les profils centraux correspondant aux profils maîtres réalisés auparavant au théodolite sont extraits. Les données de forçage marin sont issues des archives du modèle développé à la NOAA *WaveWatchIII* (TOLMAN, 2002) et nous renseignent sur la hauteur significative de la houle, la période pic et la direction principale toutes les trois heures.

### 3. Traitement des données

Chaque profil levé entre 1997 et 2003 au théodolite a fait l'objet d'un tri afin de couvrir une zone commune à tous les levés. De plus un échantillonnage de 15 jours minimum a été opéré afin de ne pas donner un poids statistique trop important aux levés journaliers issus de campagnes expérimentales ECORS et PNOG. Les profils levés à partir de 2003 ont été extraits des relevés 3D. La base de données globale contient 141 profils dont 73 ont été levés au théodolite et 68 au GPS cinématique. Les données ainsi traitées ont été analysées par la méthode EOF\_1D développée par RIHOUEY (2004). Le but de la méthode est de reconstruire les profils de plage par combinaison linéaire de produit de fonctions spatiales et de fonctions temporelles. Soit  $N_t$  le nombre de profils à analyser et  $N_y$  le nombre d'altitudes  $h$  situées à des positions *cross-shore*  $y$  régulièrement espacées (2 mètres dans notre cas). L'objectif de l'analyse factorielle 1-D est d'exprimer les données sous la forme :

$$h(y,t) = \sum_p C_p(t) e_p(y)$$

Où  $e_p$  sont les modes spatiaux et  $C_p$  les modes temporels correspondant. Généralement, on retiendra les 3 premiers modes ( $p = 1, 2, 3$ ) appelés modes principaux. L'analyse est appliquée à un tableau de données de dimension  $N_t \times N_y$ . Une base de fonctions propres où  $e_p$  sont les vecteurs propres d'une matrice des corrélations  $A$  est générée. Les coefficients de  $A$  sont donnés par :

$$a_{ij} = \frac{1}{N_t} \sum_{t=1}^{N_t} h(i,t)h(j,t)$$

$A$  est une matrice de dimension  $N_y \times N_y$ . La diagonalisation de cette matrice permet d'obtenir les  $N_y$  valeurs propres  $\lambda_p$  avec  $1 \leq p \leq N_y$  et les vecteurs propres calculés à partir de l'équation  $Ae_p = \lambda_p e_p$ . Les modes spatiaux  $e_p$  sont normalisés et multipliés par la racine carrée de la valeur propre correspondante  $\sqrt{\lambda_p}$  pour que le premier mode représente le profil moyen de la plage. Il est alors possible de calculer la contribution à la variance de chaque valeur propre (tableau 1). Enfin, les coefficients  $C_p$  ou modes propres temporels, sont donnés par :

$$C_p(t) = \sum_y h(y,t)e_p(y)$$

Les 3 premières valeurs propres montrent que les quatre modes associés expliquent 99.87% de l'inertie des données initiales (tableau 1). L'inertie expliquée par le premier mode est un "marqueur" de la stabilité des profils et l'inertie expliquée par les modes d'ordre supérieur est un "marqueur" de la variance prise en compte par chacun d'eux. Seul le premier mode qui représente l'évolution de la topographie moyenne au cours du temps sera analysé ici.

*Tableau 1. Inertie et variance expliquées par les modes issus de l'analyse factorielle 1-D.*

<i>Mode p</i>	<i>Valeurs propres (<math>\lambda_p</math>)</i>	<i>Inertie cumulée (%)</i>	<i>Variance (%)</i>	<i>Variance cumulée (%)</i>
1	0.9804	98.04	-	-
2	0.0103	99.07	52.69	52.7
3	0.0055	99.62	28.00	80.7

Afin de rendre compte des conditions énergétiques du forçage marin, un calcul du flux d'énergie a été effectué selon la formule suivante dérivée de (LARSON *et al.*, 2000) :

$$F = \rho T_p g^2 H_s^2 / 32\pi$$

avec respectivement  $T_p$  et  $H_s$  les périodes pic et les hauteurs significatives issues des archives du modèle WW3.

Le calcul du volume de plage a été effectué selon deux méthodes, 3D et profil moyen longshore 1DV, qui ont montré une bonne corrélation.

#### **4. Analyse de l'évolution du premier mode spatial**

Le mode temporel,  $C_1(t)$  associé au premier mode spatial, représente les variations de l'altitude moyenne du niveau de sable sur la plage (figure 3). Dans l'ensemble, le profil moyen oscille saisonnièrement avec des topographies de plage plus élevées en été et plus basse en hiver.

Du 22 mai 1998 au 14 février 2002 on constate un léger abaissement de l'altitude moyenne. Puis de février 2002 au 22 août 2005, l'augmentation de l'altitude moyenne traduit un engraissement général de la plage durant cette période. Entre le 22 août 2005

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

et le 6 novembre 2006 le profil de plage reste relativement stable. A partir de novembre 2006 on assiste de nouveau à un abaissement de l'altitude moyenne de la plage rendant compte d'une érosion progressive et relativement importante de ces 3 dernières années.

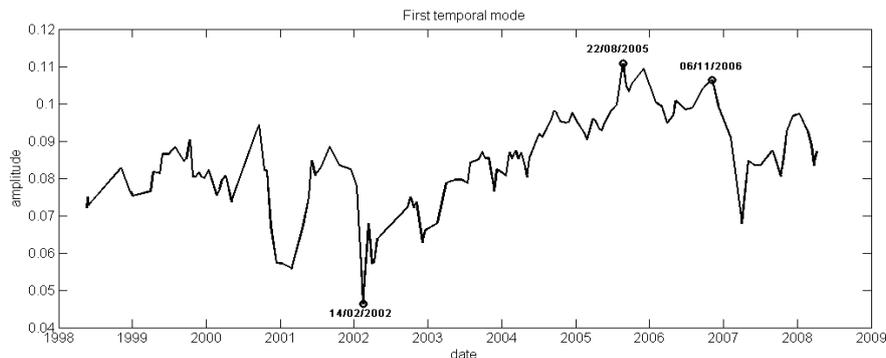


Figure 3. Evolution du premier mode spatial.

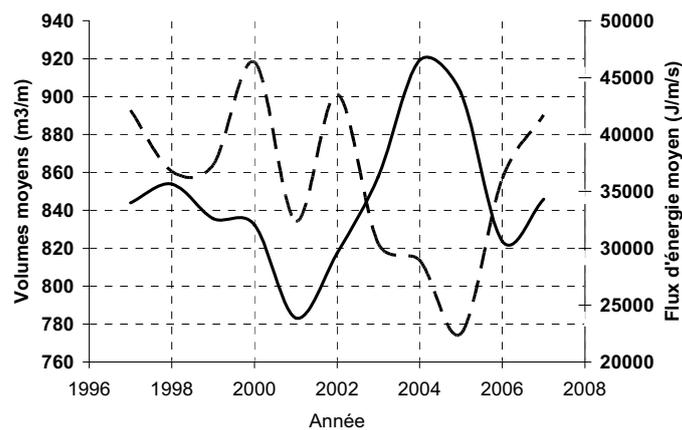


Figure 4. Comparaison entre le volume moyen annuel (continu) et le flux d'énergie moyen annuel (tirets) pour la période 1997-2007.

Si on compare l'évolution des volumes de plage et les flux d'énergies moyens annuels (figure 4), on remarque qu'une diminution de l'énergie entre 2002 et 2005 correspond à une augmentation du volume de la plage; cette tendance est moins évidente entre 1997 et 2002 et on observe une anomalie en 2001. Les variations du volume de la plage et du flux d'énergie de la houle, entre 1997 et 2008 montrent une tendance qui pourrait correspondre à un cycle de 10 ans.

De plus, les variations du flux d'énergie de la houle montrent une cyclicité de 2 à 3 ans (FAUQUE, 2009). La figure 5 présente les résultats de l'analyse en ondelettes pour le premier mode temporel caractérisant l'élévation du profil moyen de plage ou le volume de plage. La figure du haut correspond au mode 1 interpolé avec un pas de l'ordre de 1 jour. La représentation fréquentielle en ondelettes du mode 1 est représentée en bas. L'analyse du premier mode met en évidence une forte périodicité qui correspondrait à

une fréquence annuelle dont l'intensité est maximale vers 2001. On remarque également une forte périodicité à plus long terme entre 2 et 3 ans. On obtient les mêmes structures par analyse en ondelettes de l'énergie associée à la houle (figure 6).

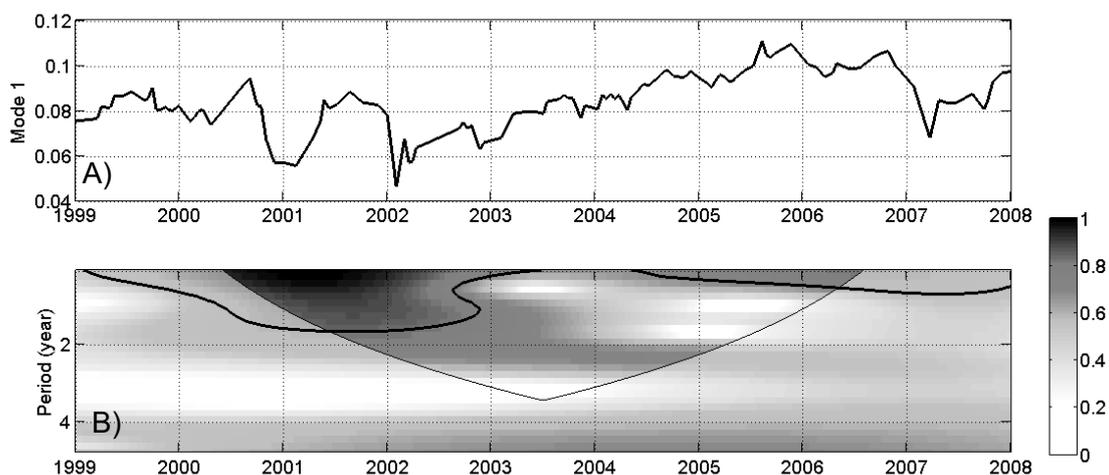


Figure 5. Evolution temporelle entre 1999 et 2008 A) du mode 1, B) analyse en ondelette des périodicités du mode 1.

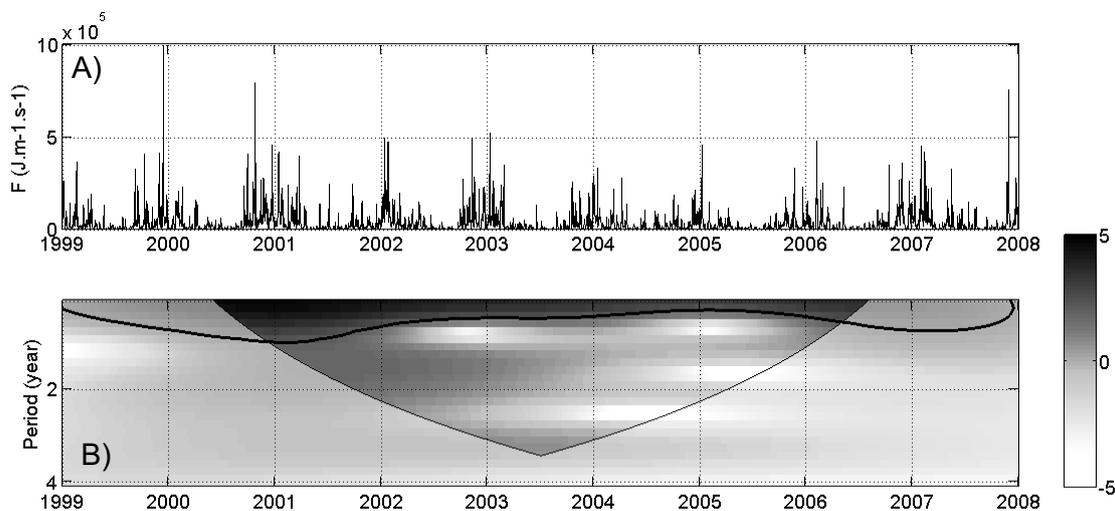


Figure 6. Evolution temporelle entre 1999 et 2008 A) du Flux énergétique de la houle, B) Analyse en ondelettes de l'énergie de la houle.

La périodicité de 2 ans apparaît également dans le signal de l'indice NAO mensuel normalisé (figure 7) où une oscillation avec une période de 2 à 3 ans s'est déclenchée avant 1998 pour s'atténuer puis disparaître à partir de 2003.

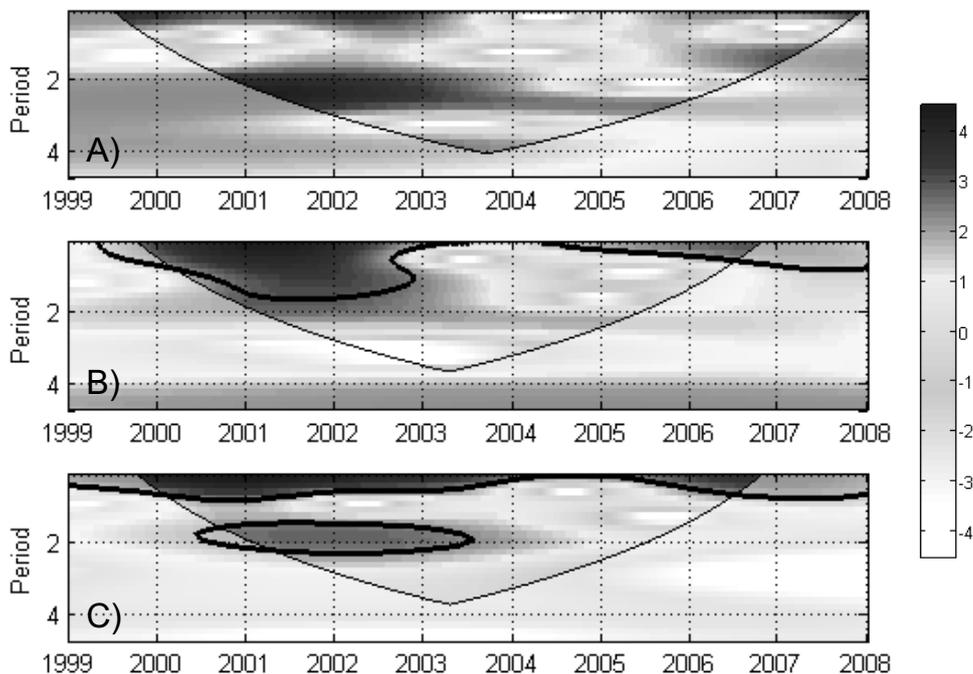


Figure 7. Comparaison de l'analyse en ondelettes : A) de l'indice NAO journalier ; B) du Mode 1 de l'analyse EOF ; C) de l'énergie incidente de la houle entre 1999 et 2008.

La figure 7 souligne une composante de période de 2 ans à la fois sur le signal de l'Indice NAO mais aussi sur les signaux du mode1 et de l'énergie de la houle. Cette périodicité semble s'être activée vers 1998 puis atteindre une intensité maximale entre 2001 et 2003 puis de s'atténuer et disparaître vers 2003. Une périodicité annuelle montre un signal fort sur l'ensemble des 3 signaux avec cependant une diminution de son intensité vers 2004 pour s'intensifier à nouveau vers 2005/2006. Ces résultats indiquent une action de combinaison de périodicités, allant de la saisonnière à la pluri-annuelle, sans pourtant en identifier de préférentielle sur l'ensemble des trois signaux ce qui est en accord avec les travaux de HURRELL et DESER (2009) sur l'indice NAO. Cependant la concordance de la périodicité de l'ordre de 2 ans entre le mode1, le flux énergétique lié à la houle et l'indice NAO semble indiquer une bonne corrélation entre ces derniers bien que le lien entre NAO et régime de houle ne soit pas évident dans le golfe de Gascogne ; les moyennes hivernales de l'indice NAO présentent en effet un coefficient de corrélation de 0.3 avec le Hs et de 0.5 avec les périodes pic (DODET *et al.*, 2010). Les données morphodynamiques de la Plage du Truc Vert confrontées aux données de l'indice NAO et du flux énergétique de la houle semblent pourtant montrer le contraire : une intensification de ces périodicités (de 1 an et d'environ 2 ans) sur les

trois signaux entre 2000 et 2003, puis leur ré-activation vers 2006/2007 occasionnent une érosion de la plage en relation avec une augmentation de l'énergie incidente à la côte en phase avec l'indice NAO alors que la diminution de l'intensité de ces périodicités saisonnières et pluri-annuelles coïncident avec une phase d'accrétion de la plage du Truc Vert entre 2002 et 2006.

## 5. Conclusion

L'évolution morphologique de la plage du Truc Vert au cours de ces 10 dernières années a pu être décrite à partir du premier mode issu de l'analyse factorielle. Une légère érosion de la plage a pu être constatée de 1998 à 2002, suivie d'une période d'accrétion très nette entre 2002 et 2005. La plage est restée relativement stable jusqu'en 2006. Depuis les 3 dernières années, la plage du Truc Vert est globalement en érosion. Ce phénomène érosif a déjà été mis en évidence par GOURIOU (2007) qui a réalisé une étude comparative de l'évolution morphologique des plages de Biscarosse et du Truc Vert entre 2003 et 2007. L'analyse factorielle a ensuite été complétée par une analyse fréquentielle permettant de déterminer la périodicité des forçages hydrodynamiques. Une périodicité annuelle est clairement mise en évidence. On constate également des composantes saisonnières (3 mois et 6 mois) et une autre à plus long terme (2/3 ans) qui serait associée aux grosses houles et qui s'apparente à une signature de la NAO. Enfin, ces données semblent amorcer une cyclicité de l'ordre de 10 ans qu'il s'agira de confirmer par la poursuite de mesures morphodynamiques de la plage du Truc Vert.

## 6. Références bibliographiques

- BUTEL R., DUPUIS H., BONNETON P. (2002). *Spatial variability of wave conditions on the French Atlantic Coast using In-Situ data*. Journal of Coastal Research, 36, pp 96-108.
- CASTELLE B. (2004). *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 344 p.
- CASTELLE B., BONNETON P., SENECHAL N., DUPUIS H., BUTEL R., MICHEL D. (2006). *Dynamics of wave-induced currents over a longshore non-uniform multiple-barred sandy beach on the Aquitanian Coast, France*. Continental Shelf Research, 26, pp 113-131. doi:10.1016/j.csr.2005.08.027
- DESMAZES F. (2005). *Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine. Exemple de la plage du Truc Vert*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 292 p.
- DODET G., BERTIN X., TABORDA R. (2010). *Wave climate variability in the North East Atlantic Ocean over the last six decades*. Ocean Modelling 31, pp 120-131. doi:10.1016/j.ocemod.2009.10.010

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire et transports des particules

- FAUQUE L. (2009). *Analyse de l'évolution morphodynamique de la plage du Truc Vert (Gironde) sur une période décennale*. Mémoire de stage de Master 2 ENVOLH, Université Bordeaux I, 29 p.
- GOURIOU T. (2007). *Evolution morphologique d'une plage sableuse-Comparaison entre un site préservé et un site anthropisé*. Mémoire de stage de Master 2 ENVOLH, Université Bordeaux I, 30 p.
- HURRELL J.W., DESER C. (2009). *North Atlantic climate variability: The role of the north Atlantic Oscillation*, Journal of Marine Systems, 78, pp 28-41. doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.026
- LARSON M., CAPOBIANCO M., HANSON H. (2000). *Relationship between beach profiles and waves at Duck, North Carolina, determined by canonical correlation analysis*. Marine Geology 163, pp 275-288. doi:10.1016/S0025-3227(99)00119-X
- MASSELINK G., AUSTIN, M., TINKER J., O'HARE T., RUSSELL P. (2008). *Cross-shore sediment transport and morphological response on a macrotidal beach with intertidal bar morphology, Truc Vert, France*. Marine Geology, 251, pp 141-155. doi:10.1016/j.margeo.2008.01.010
- MICHEL D., HOWA H. (1999). *Short term morphodynamic response of a ridge and runnel system on a mesotidal sandy beach*. Journal of Coastal Research 15 (2), pp 428-437
- PARISOT J.P., CAPO S., CASTELLE B., BUJAN S., MOREAU J., GERVAIS M., REJAS A., HANQUIEZ V., ALMAR R., MARIEU V., GAUNET J., GLUARD L., GEORGE I., NAHON A., DEHOUC A., CERTAIN R., BARTHE P., LE GALL F., BERNARDI P.J., LE ROY R., PEDREROS R., DELATTRE M., BRILLET J., SENECHAL N. (2009). *Treatment of topographic and bathymetric data acquired at the Truc-Vert Beach during the ECORS Field Experiment*. Journal of Coastal Research, SI56(2), pp 1786-1790.
- RIHOUEY D. (2004). *Analyse statistique de l'évolution morphodynamique des plages sableuses. Application aux sites d'étude du Programme National d'Environnement Côtier et aux plages d'Anglet*. Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 196 p.
- SENECHAL N., DUPUIS H., BONNETON P. (2004). *Preliminary hydrodynamic results of a field experiment on a barred beach, Truc Vert beach on October 2001*. Ocean Dynamics, 54, pp 408-414. doi:10.1007/s10236-003-0052-9
- TOLMAN H.L. (2002). *Alleviating the Garden sprinkler effect in wind wave models*. Ocean modelling 4, pp 269-289. doi:10.1016/S1463-5003(02)00004-5