

Estimation vidéo haute fréquence de la topographie inter-tidale d'une plage sableuse : application à la caractérisation des seuils d'engraissement et d'érosion

Rafael ALMAR¹, Nadia SENECHAL¹, Giovanni COCO²

¹ Université Bordeaux I, CNRS, UMR 5805-EPOC, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex, France
r.almar@epoc.u-bordeaux1.fr

² National Institute of Water and Atmospheric Research, P.O. Box 11-115, Gate 10 Silverdale Road, Hamilton, New Zealand
g.coco@niwa.co.nz

Résumé :

Nous présentons un nouvel outil vidéo d'estimation haute fréquence de la topographie inter-tidale. Cet outil est basé sur le suivi de la ligne d'eau pour différents niveaux d'eau. Le site d'étude choisit est Biscarrosse (Landes, France) où le système vidéo CamEra a été installé en Avril 2007. La méthode d'estimation de la topographie est validée à partir des données issues de la campagne de mesures de Biscarrosse 2007. La méthode haute fréquence est appliquée durant la période du 10 Aout au 10 Octobre 2007 caractérisée par le passage de 2 tempêtes suivies de conditions plus calmes. Les résultats mettent en évidence les seuils existants entre les conditions de forçage favorisant l'érosion, l'accrétion ou une plage inactive.

Abstract :

We present a tool to estimate inter-tidal topography using video images. This tool is based on tracking shorelines for different tidal levels. The Biscarrosse (Landes, France) CamEra video system is also introduced. A validation of the inter-tidal topography tool is done using Biscarrosse 2007 experiment data. A study is held for the outstanding period of 10th of August to 10th of October 2007 characterized by 2 storms followed by very calm forcing conditions. We show that storms induce obviously erosion but accretion needs an incoming energy level higher than a threshold.

Mots-clés :

Morphodynamique côtière – Imagerie vidéo – Analyse d'image – Echelle évènementielle – Ligne d'eau – Seuils d'accrétion

1 Introduction

L'évolution d'une plage peut se caractériser à différentes échelles temporelles : annuelle, saisonnière ou événementielle. De multiples études se sont attachées à caractériser l'évolution des plages sur des échelles saisonnières ou pluriannuelles (QUARTEL et al., 2008). C'est en effet cette échelle qui intéresse les acteurs de la gestion du littoral. Pourtant, les variations les plus importantes peuvent se produire ponctuellement à l'échelle d'un événement de tempête ou d'accrétion important. Il est donc nécessaire de prendre en compte cette composante haute fréquence afin de ne pas omettre les processus importants de la morphodynamique littorale.

Les outils d'observation « usuels » ne permettent d'observer la morphologie que de manière basse fréquence (satellite (échelle bi-mensuelle), relevé GPS mensuel) ou sporadiquement lors de campagnes de mesures. Les moments clés de la morphodynamique littorale peuvent donc être manqués. Avec un faible coût de fonctionnement, l'imagerie vidéo (HOLLAND et al., 1997) permet une couverture temporelle allant de l'horaire jusqu'au pluriannuel. En utilisant cet outil, des méthodes permettent d'estimer la topographie de la plage sub-tidale et inter-tidale. Nous présentons dans ce papier une méthode basée sur le suivi de la ligne d'eau pour différents niveaux de marée permettant de calculer la topographie de la plage inter-tidale (PLANT & HOLMAN, 1997). Une application de cette méthode au suivi du volume de plage est ensuite présentée.

2 Site d'étude et système vidéo

Un système vidéo CamEra (NIWA, NZ) (COCO et al., 2005) a été installé en avril 2007 sur la plage de Biscarrosse (Landes, France). Cette plage est de type double barre et soumise à un forçage hydrodynamique énergétique avec une marée méso-tidale et un régime de vague moyen de 1.5 m (BUTEL et al., 2002).

Le système vidéo se compose de 5 caméras haute résolution (3.5MPix) permettant de couvrir une distance parallèle à la côte de 2 km et perpendiculaire de près de 1 Km. La résolution temporelle est de 4 images par heure et 3 types d'images sont générés : une image instantanée pour vérifier la qualité des images, une image moyennée pour détecter la position des barres sableuses et de la ligne d'eau et des radiales de séries temporelles d'intensité de pixel.

3 Présentation de la méthode

La méthode inter-tidale permet d'estimer la topographie de la plage inter-tidale sur un cycle de marée. Le principe est de suivre la ligne d'eau pour différents niveaux de marée (AARNINKHOF, 2005 ; SMITH & BRYAN, 2007). La topographie est alors reconstruite par interpolation. La figure 1.a représente en

noir les lignes d’eaux détectées au cours d’un cycle de marée sur une journée superposées sur une image moyennée à marée basse. Les lignes noires représentent en fait les isobathes. Ces lignes d’eau sont ensuite rectifiées en coordonnées réelles (rectification : passage coordonnées pixels en coordonnées réelles). La figure 1.b montre un exemple de topographie reconstruite par cette méthode. Les lignes d’eau décrites précédemment apparaissent en noir avec la laisse de basse mer en trait blanc épais. La morphologie particulière en système complexe de barres intertidales transverses apparaît ici clairement. Pour un système à une fréquence de capture de 4 images par heure et un marnage méso-tidal (4-5m) la résolution de cette méthode est de 0.4 m en vertical et d’environ 8 m en horizontal (direction perpendiculaire à la côte).

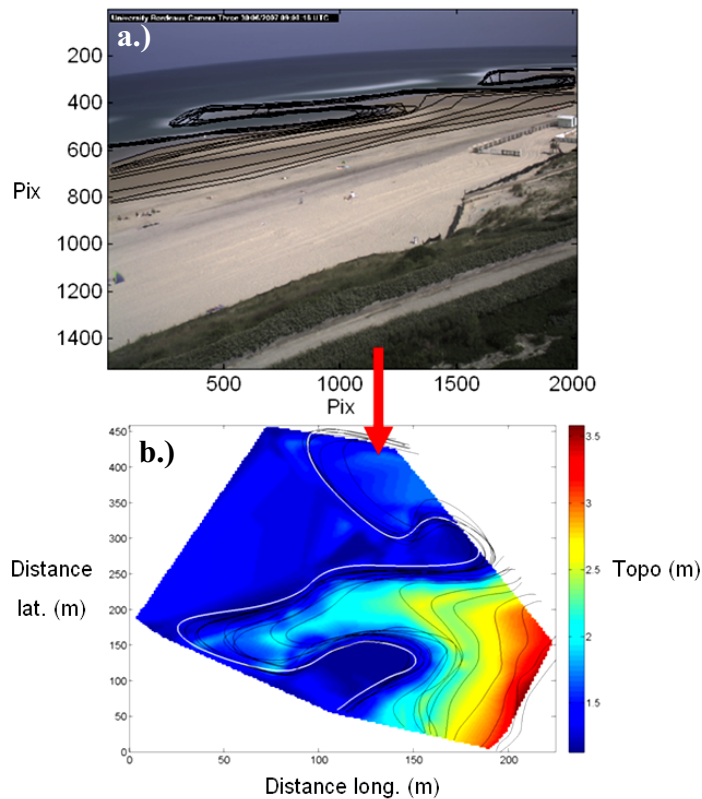


Figure 1. Estimation de la topographie par la méthode inter-tidale de suivi de la ligne d’eau. (a) En haut, lignes d’eau sur un cycle de marée superposées à une image moyennée. (b) En bas, topographie interpolée estimée avec en blanc la ligne de marée basse.

3.1 Module d’estimation du niveau d’eau

La hauteur d’eau qui nous intéresse ici est le niveau moyen à la ligne d’eau. Ce niveau est complexe car il dépend de plusieurs forçages. La composante

principale du niveau d'eau sur la ligne d'eau est la marée, viens ensuite la surcôte due au déferlement des vagues, puis l'effet du vent et du baromètre inverse (pression atmosphérique). Le niveau de marée est facilement accessible en utilisant des prévisions fournies par le SHOM. La surcôte au bord est évaluée avec une bonne précision par un modèle paramétrique simple (BOWEN, 1968). Le vent et la pression atmosphériques sont obtenus à partir de stations météorologiques proches du site. Afin de valider ce modèle simple d'estimation de la hauteur d'eau au bord, nous avons utilisé les données de la campagne de mesure qui s'est déroulée à Biscarrosse en Juin 2007. La prévision de marée SHOM est validée à partir d'un ADCP placé en zone subtidale (set-up nul). La comparaison (Figure 2.a) donne un déphasage de 16 minutes et une légère sous-estimation d'amplitude pour la marée prédite. Ces différences peuvent s'expliquer par la proximité avec l'embouchure du bassin d'Arcachon (25 Km) qui perturbe le signal de marée. Un ADV placé dans la zone de surf nous fournit une première approximation de la hauteur d'eau au bord. La figure 2.b montre une évolution temporelle des composantes principales de la hauteur d'eau. Il en résulte que l'association de ces composantes est très proche du niveau d'eau réel. L'erreur sur l'estimation globale est de l'ordre de 10 cm.

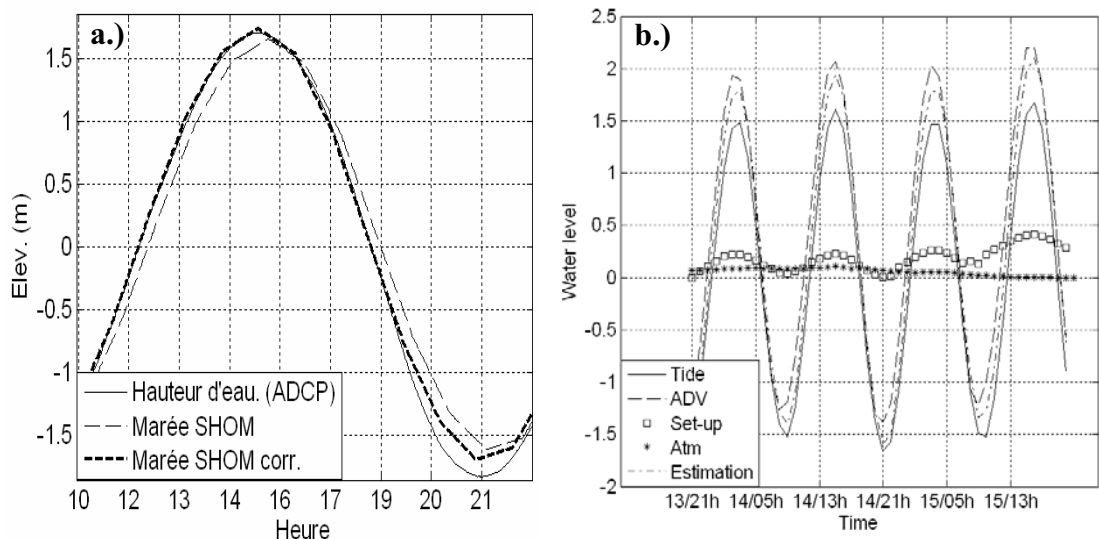


Figure 2. (a) Comparaison de la marée mesurée(ADCP) avec la marée SHOM brute (tirés fins) et corrigés (tirés épais) à Biscarrosse. (b) Contribution (en m) des différentes composantes au niveau d'eau moyen, avec la marée (trait continu), le set-up des vagues (carrés), l'effet de la pression atmosphérique (les étoiles) et l'estimation totale (tirés-pointillés) comparés au niveau d'eau moyen mesuré (ADV) dans la zone de surf (tirés)

Les importances relatives de l'effet du vent et de la pression atmosphériques étant faibles, nous choisissons de négliger ces deux composantes par la suite.

3.2 Module de détection de la ligne d'eau

La ligne d'eau possède des définitions variées : cela peut être le pied de dune, la ligne du zéro topographique, le maximum d'intensité lors du déferlement des vagues sur le rivage, l'extension maximum de la nappe phréatique ou encore la ligne de séparation entre le sable et l'eau. Les deux définitions les plus communes en imagerie vidéo car visuelles et adaptées aux applications voulues sont le maximum d'intensité de déferlement (IMAX) et la ligne eau/sable (RV). Certaines conditions de plage ou de luminosité favorisent l'une ou l'autre de ces méthodes : une plage réfléchive favorise RV alors qu'une plage dissipative favorise IMAX (AARNINKHOF, 2005). Pour des morphologies complexes de type doubles barres avec une barre interne transversale, la ligne d'eau ne peut plus seulement être caractérisée par le déferlement (méthode IMAX), en effet, il n'y a pas de déferlement sur la partie interne de la barre inter-tidale. Dans cette configuration, seule la méthode RV est utilisable pour caractériser l'ensemble de la ligne d'eau. Etant donné nos types de plage, nous utilisons la méthode RV par la suite.

La ligne de séparation eau/sable est calculée à partir des images vidéo comme le maximum dans le gradient du ratio (Rouge/Vert). En effet, dans l'eau l'intensité des pixels dans la bande rouge est faible alors que sur le sable, elle est très importante, et inversement pour le vert (ou bleu). Le choix de la bande verte par rapport à la bleue s'explique par le fait que l'eau sur nos côtes a une teinte plus

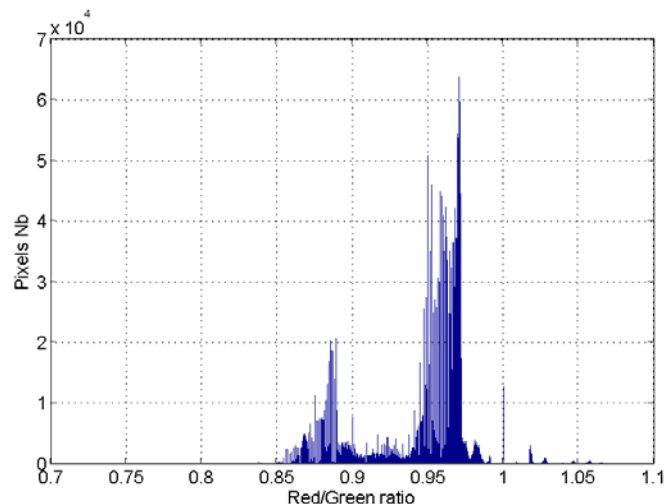


Figure 3. Histogramme représentant le nombre de pixels d'une image en fonction des valeurs du ratio (R/V). Le minimum local entre les deux maxima représente la ligne d'eau.

souvent proche du vert que du bleu (forte présence de chlorophylle). Dans la littérature, le maximum de gradient est souvent calculé sur des profils perpendiculaires le long de la côte. Cette méthode n'est valable que pour des côtes uniformes et n'est pas applicable aux morphologies plus complexes. Afin de localiser la ligne d'eau en 2D, un histogramme global représentant la valeur du ratio (R/G) est réalisé. La figure 3 montre que deux ensembles de pixels se

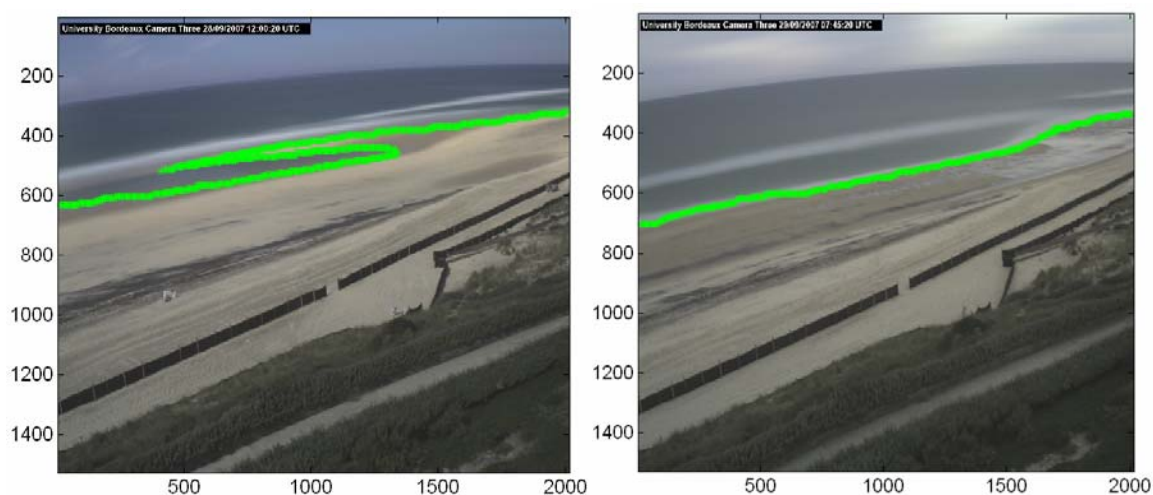


Figure 4. Exemples de détection de la ligne d'eau (en vert) à partir d'images moyennées pour deux situations différentes. A gauche, topographie complexe de marée basse. A droite topographie plus uniforme de marée haute avec présence de plaques de sable mouillé.

détachent, ceux de l'eau (ratio faible) et de la plage (ratio fort). Un minimum local est présent entre ces maxima, il représente la ligne d'eau. Le minimum s'explique par le faible nombre de pixels associés à cette zone transitoire. Afin de s'affranchir des effets de sable mouillé ou de poches d'eau qui sont inclus dans ce minimum, un léger décalage constant empirique est effectué vers des valeurs du ratio (R/G) plus faibles. Enfin, une valeur du ratio est obtenue et la ligne d'eau correspond alors aux pixels de l'image qui sont proches de cette valeur. La figure 4 montre que cette technique est robuste pour des cas de marée et de morphologie différents.

Une validation est faite à partir des données GPS de la campagne de Biscarrosse 2007 pour quantifier l'erreur de la méthode. La validation porte sur une section orthogonale à la plage suivie sur une durée de 5 jours (figure 5). L'estimation est proche de la topographie GPS les jours de faible houle ($hs < 1m$ les 13 et 17 juin) avec une erreur moyenne inférieure à 40 cm. En présence d'une morphologie linéaire (16 juin) l'estimation est également bonne. L'estimation vidéo se dégrade toutefois les jours de forte houle ($hs = 2.5$ le 15 juin) ou en présence de

topographie plus complexe (14 juin). Pour toutes les topographies journalières, l'estimation vidéo reste meilleure en haut qu'en bas de plage.

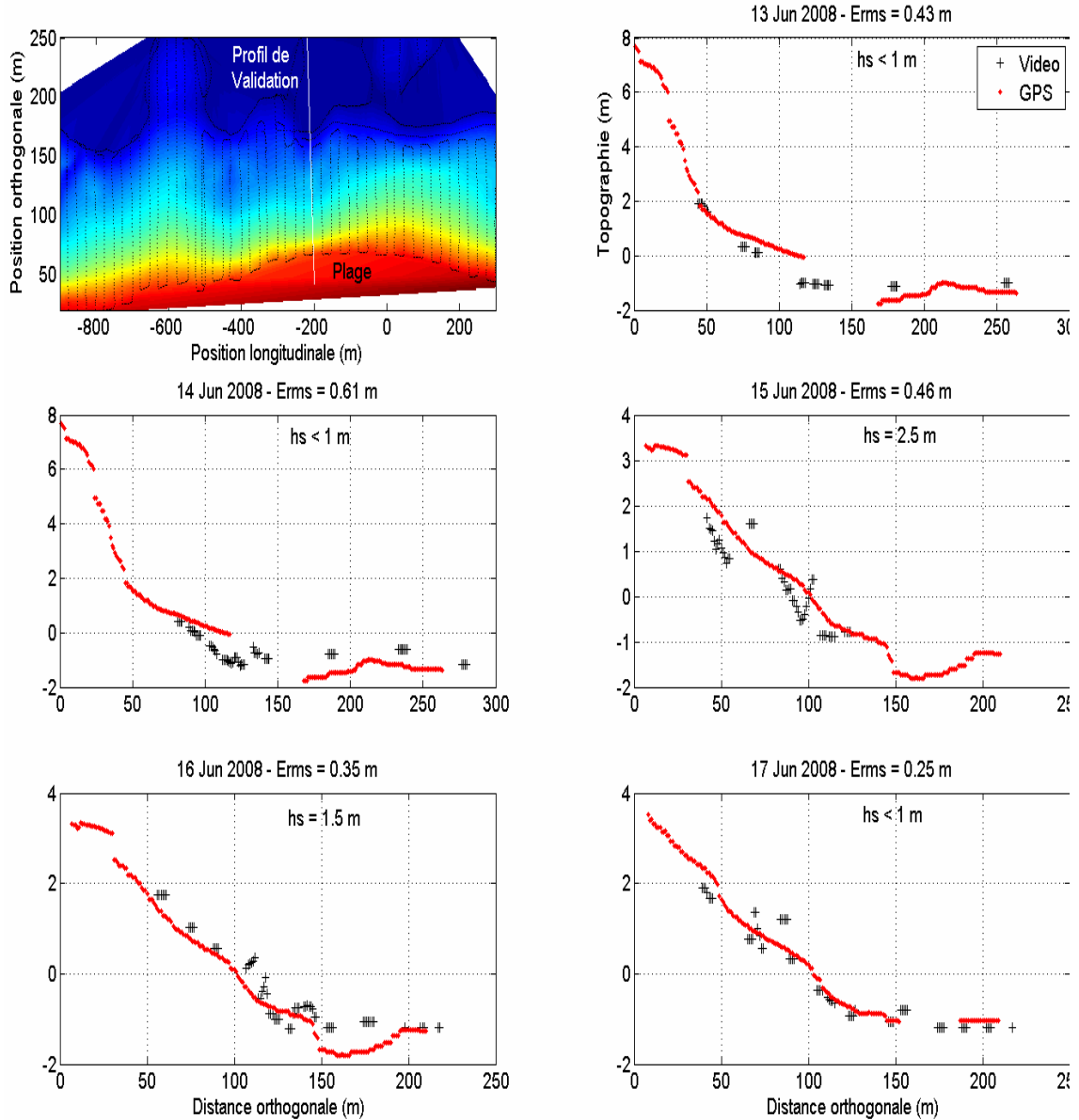


Figure 5. Validation de la méthode d'estimation vidéo de la topographie inter-tidale. La validation porte sur une section orthogonale (ligne blanche – figure en haut à gauche) à partir des points de mesure GPS. Les profils représentent les journées du 13, 14, 15, 16 et 17 Juin 2007 sur la plage de Biscarrosse (Landes, France). Les hauteurs de vague au large (hs) sont données à titre indicatif.

4 Application de la méthode

A partir d'une base de données de un an, une période particulière a été sélectionnée. Cette période s'étale du 10 août 2007 au 10 Octobre 2007. Elle est

remarquable par une alternance marquée de périodes de calme et de tempête. Durant cette période, deux événements de tempêtes espacés se sont produits : le premier du 16 au 20 août, la deuxième du 20 au 26 Août.

Durant cette période, nous avons suivi l'évolution de la hauteur significative et de la période (bouée SHOM) et l'avons comparée au volume de la plage inter-tidale supérieure. Le volume a été calculé par la méthode vidéo inter-tidale. Pour cette méthode, les lignes d'eau issues de plusieurs jours ont été utilisées afin de mieux estimer la topographie. A partir de la topographie estimée, le volume a été calculé sur une zone de 50 m de long correspondant au haut de plage. Pour l'étude, nous avons étudié la variation relative du volume sur cette zone par rapport au début de la période (figure 6).

Les deux événements de tempête provoquent une nette érosion du haut de plage inter-tidale, cependant la deuxième tempête a un effet plus important car elle est associée à un marnage de marée plus grand. En ce qui concerne les périodes de conditions de petites vagues, le comportement du volume est plus complexe. Durant la période post-tempête 1, le volume augmente rapidement en fin de tempête et n'évolue plus alors que le forçage est faible. La hauteur des vagues et la période très petites indiquent la présence de mer de vent. Pour la période post-tempête 2, le forçage est intermédiaire et le volume de la plage augmente tout au long de la période. La hauteur des vagues reste supérieure à un mètre et la période moyenne indique la présence de houle.

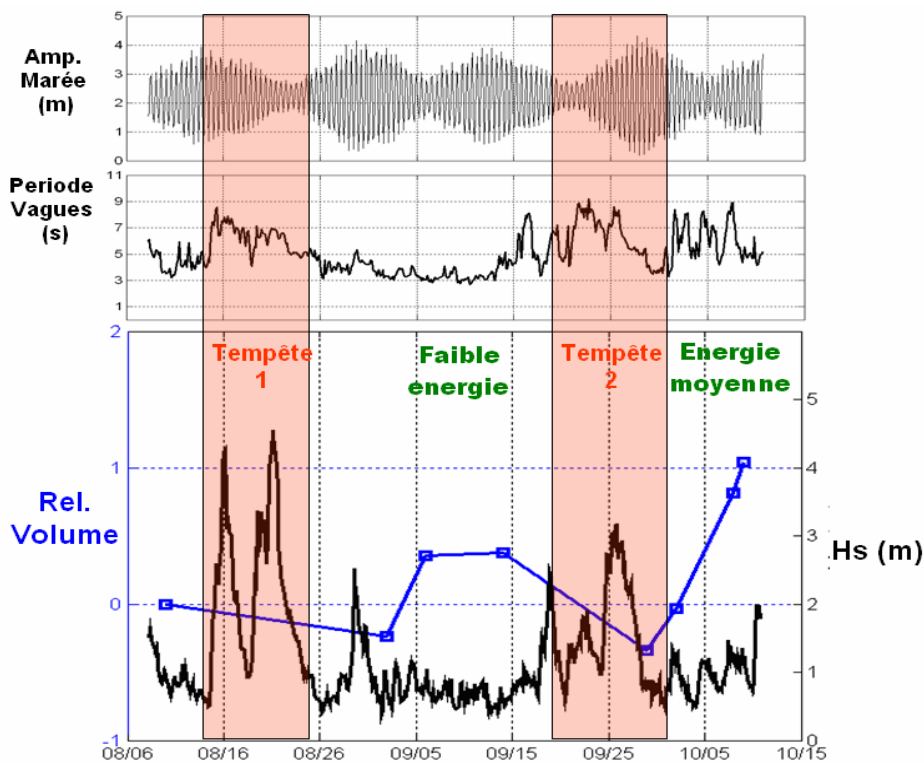


Figure 6. Evolution temporelle du 10 Août au 10 Octobre 2007 du volume relatif en fonction de la hauteur significative des vagues (en bas, courbe noire), de la période (au milieu) ainsi que de l'amplitude de la marée (en haut). Les périodes de tempêtes sont marquées par des bandes rouges.

5 Discussion

Cette étude haute fréquence est limitée à un faible nombre d'évènements. Un modèle conceptuel pourrait être formulé à partir d'une série temporelle plus importante. De plus des incertitudes sont liées aux erreurs sur la méthode en elle-même et également sur la distance longitudinale considérée pour le calcul du volume. Il serait intéressant d'ajouter une estimation du volume du bas de plage inter-tidale et de suivre les transferts avec le haut de plage. Enfin, une étude similaire à JACKSON (1999) pourrait être menée en reliant la variation de volume avec le critère de Dean qui caractérise le transport perpendiculaire à la côte en fonction des conditions de vague.

6 Conclusions

Nous présentons ici une méthode basée sur l'analyse d'images vidéo qui permet une estimation journalière de la topographie de la plage inter-tidale. La validation de cette méthode a été réalisée à partir des mesures GPS issues de la campagne de Biscarosse 2007. Notre étude montre que les formes morphologiques sont bien reproduites par la méthode. En présence de topographie à barre ou en présence de houle importante, la précision est de l'ordre de 50 cm et peut être localement supérieure. Lors de conditions favorables, c'est à dire en présence d'une topographie linéaire ou de petites vagues, la précision moyenne est de l'ordre de 30 cm. Enfin, l'erreur verticale moyenne est inférieure à 50 cm.

L'application de cette méthode à haute fréquence sur une période de près de 2 mois nous a permis d'obtenir des résultats significatifs concernant les conditions d'érosion et d'accrétion de plage. Pour les deux évènements de tempête, l'érosion est clairement reliée à un pic de hauteur significative de la houle incidente (érosion significative pour $H_s > 3$ m). La variation de volume durant les périodes de calme est beaucoup plus complexe. Dans les deux cas, l'accrétion est très importante dans les jours qui suivent la tempête alors que les conditions de vague sont intermédiaires (résultats similaires dans ALMAR et al., 2008). Enfin si l'énergie incidente diminue, l'accrétion s'arrête. Si par contre, l'énergie reste au dessus d'un seuil, l'accrétion continue. Nous montrons ici que des seuils existent entre une plage inactive, en accrétion ou en érosion pour une énergie incidente croissante. Sur notre période une « mer de vent » ($H_s < 1$ m & $T < 5$ s) entraîne un transport vers la côte très faible. Une petite houle intermédiaire (1 m $< H_s < 1.5$ m & $T > 5$ s) provoque par contre de l'accrétion alors qu'une houle énergétique ($H_s > 3$ m & $T > 5$ s) induit de l'érosion.

7 **Références bibliographiques**

- 1 AARNINKHOF, S.G.J., TURNER, I.L., DRONKERS, T.D.T., CALJOUW, M., NIPIUS, L. *A* (2003). *Video-based technique for mapping intertidal beach bathymetry*, Coastal Engineering, 49 (4), pp.
- 2 ALMAR R., COCO G., BRYAN K., HUNTLEY D.A., SHORT A.D., and SENECHAL N., (2008). *Video observations of beach cusp morphodynamics*, Marine Geology (in press)
- 3 BOWEN AJ, INMAN DL, SIMMONS VP (1968). *Wave set-down and setup*. J Geophys Res 73:2569–2577
- 4 BUTEL, R., Dupuis, H., et BONNETON, P. (2002). *Spatial variability of wave conditions on the French Atlantic coast using in-situ data*, J. Coast. Res. **36** (special issue), pp. 96–108.
- 5 COCO, G., BRYAN, K.R., GREEN, M.O., RUESSINK, B.G., TURNER, I.L., and VAN ENCKEVORT, I.M.J., (2005). *Video observations of shoreline and sandbar coupled dynamics*, Proceedings of Coasts and Ports 2005, Adelaide, 471-476.
- 6 HOLLAND, K.T., HOLMAN, R.A.; LIPPMANN, T.C., STANLEY, J., PLANT, N.(1997). *Practical use of video imagery in nearshore oceanographic fieldstudies*. Oceanic Engineering, IEEE: Volume 22, Issue 1, Page(s):81 – 92
- 7 JACKSON, NL., (1999). *Evaluation of Criteria for Predicting Erosion and Accretion on an Estuarine Sand Beach*, Delaware Bay, New Jersey. Estuaries: Vol. 22, No. 2 pp. 215–223
- 8 PLANT, N.G., HOLMAN, R.A., (1997). *Intertidal beach profile estimation using video images*, Mar. Geol., 140, 1-24.
- 9 QUARTEL, S., A. KROON and B.G. RUESSINK, in press. *Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach*. Marine Geology.
- 10 SMITH, R., BRYAN, K. (2007). *Monitoring Beach Face Volume with a Combination of Intermittent Profiling and Video Imagery*. Journal of Coastal Research: Vol. 23, No. 4 pp. 892–898

8 **Remerciements**

La thèse de Rafael Almar est financée par la DGA et Giovanni Coco est financé par la Fondation Néo-zélandaise pour la Recherche, la Science et la Technologie. L'installation du système vidéo de Biscarrosse a bénéficié du soutien du Conseil Régional d'Aquitaine et la campagne de Biscarrosse 2007 a été financée conjointement par le SHOM et le BRGM.