

Nouvelle technique de mesure locale de l'évolution du fond en zone de surf

Gaël Arnaud¹, Mathieu Mory¹, Stéphane Abadie¹, Mathieu Cassen².

¹ LaSAGeC², Université de Pau et des Pays de l'Adour, Allée du parc Montaury, 64600 Anglet.

² IMARTEC, Imartec, 282 Chemin de Matoucas, 40600 Biscarrosse

E-mail : gael.arnaud@univ-pau.fr, Tel : 33 (0)5 59 57 44 35

Résumé :

Les levés bathymétriques à haute fréquence en zone de surf sont délicats et dangereux à cause du déferlement des vagues. C'est pourtant dans ces zones énergétiques intenses que les évolutions morphologiques sont particulièrement utiles à connaître. Une technique de mesure locale de l'évolution du niveau du fond utilisable dans la zone de déferlement a été développée. Il s'agit d'une méthode basée sur des mesures de résistivité et nous présentons ici les résultats préliminaires d'une campagne de mesure in situ de 30 jours. Les champs d'application auxiliaires de cette méthode sont multiples. Nous présentons comment ils peuvent être étendu au suivi du niveau de la surface libre dans la zone de déferlement et dans certaines conditions, donner des informations sur les variations de résistivité dans le sol sous l'action des vagues.

Abstract:

The high frequency bathymetric surveys in the surf zone are difficult and hazardous because of the breaking waves. It is however in these intense energy zones that the morphological evolutions are typically useful to know. A local measurement technique of the bed level evolution that can be used in the surf zone has been developed. This is a resistivity measurement based method and we have here the preliminary results of a 30 days in situ measurement.

The extended fields of application of this method are multiple. We present how they can be extend to water level measurement and under specific conditions, to give information on the variations of ground resistivity under wave action.

Mots-clés :

Zone de déferlement – résistivité – instrument autonome – vitesse d'érosion – variations de la surface libre – profondeur de remaniement

1. Introduction

Les moyens classiques mis en œuvre pour suivre l'évolution des plages sont le plus souvent des relevés bathymétriques effectués à l'aide d'embarcations pour les petits fonds et des relevés topographiques de la zone intertidale à marée basse. Des méthodes complémentaires permettent de mesurer la profondeur de remaniement du sédiment sur un cycle de marée (Greenwood and Hale, 1980). Ces relevés ont l'avantage de procurer une bonne couverture spatiale mais ne donnent en revanche aucun renseignement sur l'évolution temporelle entre deux mesures. De nombreuses méthodes ont été développées pour suivre temporellement l'évolution des fonds sableux. Thomas et Ridd (2004) présentent un large aperçu de ces méthodes, applicables ou non en zone de déferlement. Parmi ces méthodes, les appareils acoustiques comme l'Altus (Jestin *et al.*, 1998), développé par IFREMER, donnent d'excellents résultats (Gallagher *et al.*, 1996 ; Gallagher *et al.*, 2005). Leurs limites semblent être les pertes du signal occasionnées par des bulles d'air ou des écoulements de couches sédimentaires denses sur le fond, notamment lors d'événements hautement énergétiques ou lorsque le niveau d'eau est très faible, comme dans la zone de swash. Ce type d'appareil reste aussi très onéreux.

Cet article décrit un appareil qui permet de déterminer localement l'évolution temporelle de la position d'un fond sableux, en utilisant des mesures de résistivité le long d'un axe vertical. Les premiers résultats sur la mise en oeuvre de cet appareil lors de la campagne ECORS sur la plage du Truc-Vert (Mars-Avril 2008) sont présentés. L'évolution du fond sableux a été mesurée en zone intertidale, avec une fréquence d'acquisition de 10Hz, durant plusieurs cycles de marée pour des marnages allant jusqu'à 5m et des conditions de houle pouvant atteindre 4m.

2. Matériel et méthode

2.1. Principe

La méthode de détection des interfaces est basée sur des mesures de résistivité effectuées à différents niveaux le long d'un axe vertical. Le fort contraste de résistivité entre les milieux considérés, à savoir l'eau de mer, le sédiment saturé et l'air, permet de caractériser chaque milieu.

L'appareil est constitué d'une perche, de 2,5 à 3m de long, plantée dans le sable, le long de laquelle des électrodes sont implantées avec un espacement régulier (Figure 1). Par la mesure du courant entre chaque électrode et la masse constituée par le corps de la perche, on détermine la résistivité du milieu au niveau de chaque électrode. Le niveau de résistivité mesuré permet de distinguer le milieu (sol, eau de mer ou air) dans lequel chaque capteur se situe. Connaissant la position des

capteurs on déduit alors la position des interfaces sol/eau, eau/air ou sol/air. Les électrodes mesurent 5mm de diamètre. Plus la taille des électrodes est petite, plus la résistivité mesurée est représentative d'un volume petit autour de l'électrode. Les électrodes sont séparées du corps de perche par de petits isolants de 8mm de long. Pour éviter au maximum les phénomènes d'électrolyse et de polarisation des électrodes, qui aurait pour effet de modifier la surface des électrodes et de ce fait la résistance mesurée, les électrodes fonctionnent en courant alternatif avec une fréquence de 21kHz

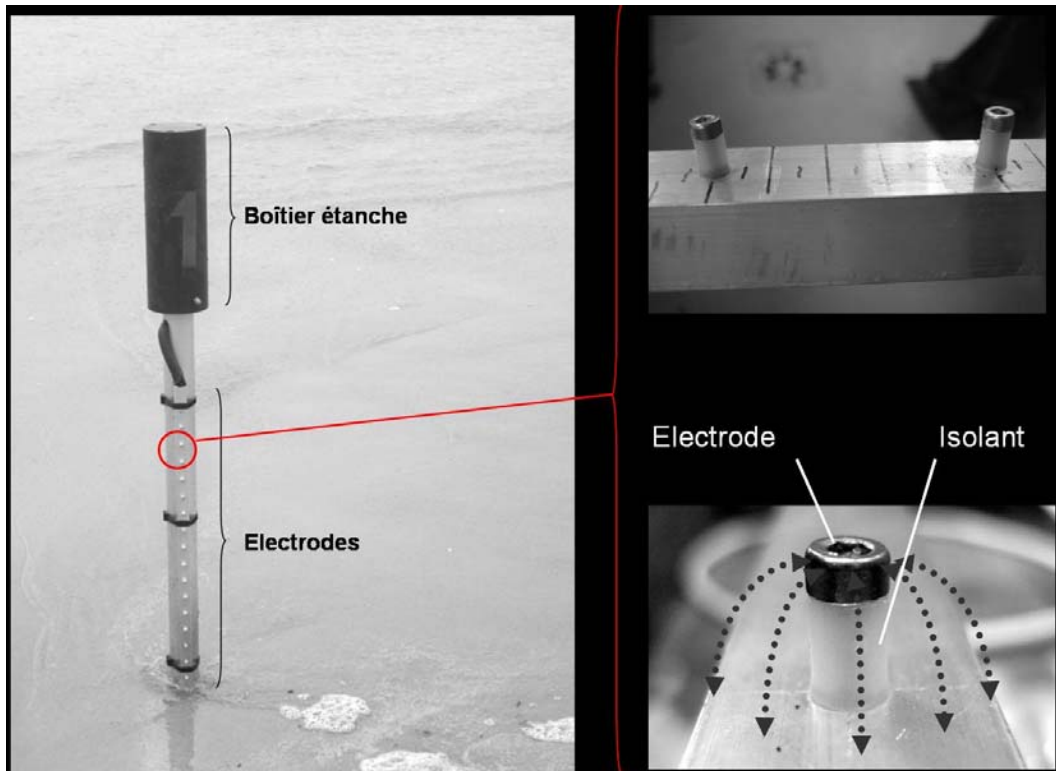


Figure 1 : Déploiement d'une perche en zone intertidale à marée basse. Le tube de soutien sur lequel est monté l'ensemble du dispositif est enfoncé de plus de 2 m dans le sable. A droite le détail des électrodes. Les flèches en pointillés indiquent les lignes de courant entre l'électrode et profilé qui fait office de masse.

L'électronique de l'appareil est contenue dans un boîtier étanche fixé en haut de la perche, qui pilote l'appareil et réalise l'acquisition des données. La fréquence d'acquisition est de 10Hz. L'appareil fonctionne de façon autonome. Le boîtier étanche contient les batteries et le système de stockage des données. Les données sont stockées sur une carte mémoire de type MMC.

2.2. Précision de la détection de l'interface sol/eau

Pour la configuration d'une électrode sphérique faisant passer du courant qui est recueilli par une masse à l'infini, Gibson et Schwarz (1963) ont montré que la résistivité du milieu très proche de l'électrode détermine la résistance mesurée par l'électrode.

Plusieurs essais en laboratoire ont permis de vérifier que l'interface sol/eau n'a d'influence sur la mesure de résistance que lorsqu'elle est très près du capteur. Une perche avec un unique capteur a été placée dans un tube rempli d'eau. Du sable a été ajouté dans ce tube par étapes successives, faisant monter progressivement le niveau de l'interface sol/eau. La résistance est mesurée à chaque ajout de sable. La variation de la résistance mesurée avec la position de l'interface sol/eau par rapport à l'électrode est représentée sur la Figure 2. On constate que l'interface a une influence sur la mesure lorsqu'elle se trouve à moins de 1cm du capteur. Ceci confirme les dimensions théoriques du volume de mesure.

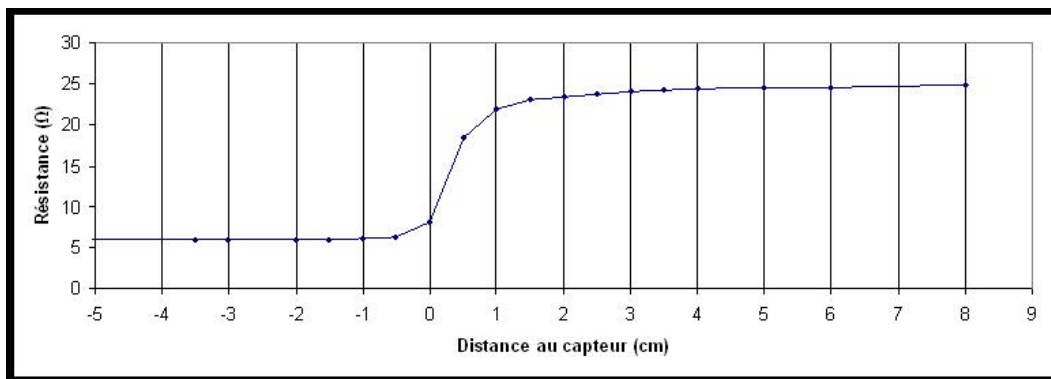


Figure 2 : Résistance mesurée par un capteur en fonction de sa distance à l'interface eau/sable. Le capteur est placé à la référence 0.

Une deuxième série d'essais a montré qu'avec plusieurs capteurs actifs, les résistances mesurées ne sont pas significativement modifiées.

Des simulations numériques, ont par ailleurs permis de confirmer les dimensions du volume de mesure et de déterminer un espacement optimal de 3cm entre les capteurs. En cas de fort courant, un affouillement peut se produire au pied de la perche. La profondeur de l'affouillement est directement liée au diamètre du tube et peut atteindre 3 à 4cm. L'espacement de 3cm entre les capteurs, qui détermine ainsi la résolution verticale de la mesure, est du même ordre de grandeur que la dimension de l'affouillement. Pour l'instant, l'espacement de 3cm entre les capteurs est donc optimum.

3. Campagne de mesure ECORS

On présente ici les premiers résultats obtenus au cours de l'expérience ECORS, qui s'est déroulée en Mars-Avril 2008 sur la plage du Truc Vert (Gironde). Cette campagne internationale, coordonnée par l'UMR EPOC de l'université Bordeaux1 et soutenue financièrement par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, avait pour objectif de caractériser sur le terrain la dynamique d'une plage à différentes échelles temporelles, dans des environnements énergétiques et meso-macro tidaux. Ces résultats serviront au développement de modèles numériques de houle et de morphodynamique côtière. Un réseau de perches résistives a été déployé dans la zone intertidale dans le but de fournir des séries temporelles de l'évolution du niveau de sédiment en des points bien précis. L'intérêt de ces séries temporelles est d'apporter des informations sur l'évolution du niveau du fond au cours d'un cycle de marée en mesurant les vitesses d'érosion et de déposition en fonction de la phase de marée. Les profondeurs de remaniement sont également mesurées. Une perche de 4m a aussi été déployée pour mesurer la surface libre par différence de résistivité entre l'eau et l'air.

4. Résultats et discussion

4.1. Variation de l'interface eau/sédiment

La résistivité de l'eau de mer est d'environ $0.2\Omega.m$ et elle augmente significativement d'un facteur 3 à 5 dans le sol saturé d'eau. La méthode de déduction de la position de l'interface eau sédiment consiste à lire, pour chaque pas de temps, les valeurs de résistivité mesurées en remontant du capteur le plus profond vers le haut. Le premier capteur qui enregistre une résistivité d'environ $0.2\Omega.m$ est logiquement le premier capteur à être dans l'eau. Cependant, dans un environnement agité, nous avons remarqué que le capteur juste en dessous de l'interface enregistre parfois de brusques chutes de résistivité résultant probablement des mouvements de la perche sous la contrainte des vagues. Ces mouvements permettent à une certaine quantité d'eau de s'infiltrer le long de la perche provoquant de brusques et courtes chutes de résistivité faussant ainsi la méthode de déduction de la position du lit. Une manière de palier à ces artéfacts est l'utilisation de moyennes mobiles. Les résistivités mesurées sont ainsi moyennées dans le temps de manière à considérer que si un capteur n'enregistre pas une résistivité moyenne de $0.2\Omega.m$ pendant plus de 5 secondes, nous considérons qu'il est encore dans le sédiment. Le phénomène inverse peut se produire pour le capteur juste au dessus de l'interface, qui peut se retrouver dans une couche limite très turbide. La résistivité du milieu est alors plus forte que celle de l'eau, mais les sauts très courts dans le temps sont éliminés en appliquant la

même méthode. Ces procédures de détermination plus fine de la position de l'interface air/eau sont en cours d'analyse.

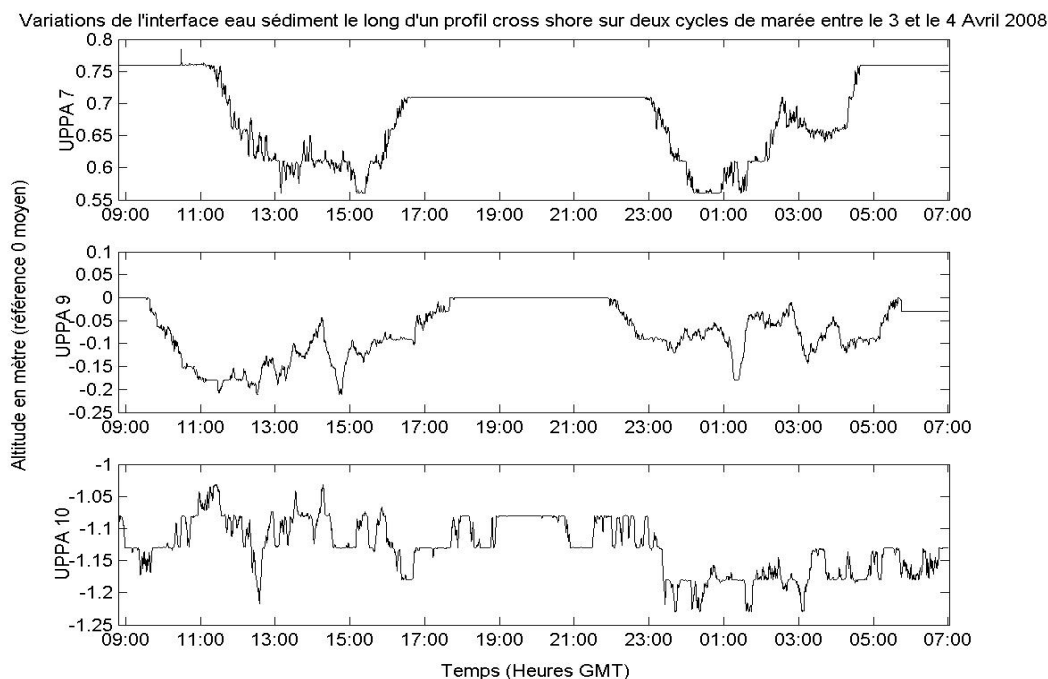


Figure 3 : Enregistrements simultanés de la variation du niveau de sédiment en trois points d'un profil cross-shore sur deux cycles de marée. Les altitudes ont été relevées au GPS et sont référencées au niveau IGN 69.

La Figure 3 présente la variation de la position de l'interface eau/sédiment mesurée en trois points au cours de deux cycles de marée. L'enregistrement débute le 03 Avril à 8:50 GMT, pendant la marée montante, et s'achève le 04 Avril 7:00 GMT, à marée descendante. Les trois perches (UPPA7, UPPA9 et UPPA10) sont placées à trois positions d'un profil cross-shore. L'altitude de référence est le 0 moyen, c'est-à-dire le niveau moyen de la mer. Les niveaux initiaux sont de -1.08 m pour la perche la plus au large (UPPA10), 0m pour la perche centrale (UPPA9) et +0.76m pour la perche la plus proche du rivage (UPPA7). L'espace entre les perches est de 39.2m entre les perches 10 et 9 et de 23m entre les perches 9 et 7. La résolution est de 5cm pour les perches 10 et 7 et de 3cm pour la perche 9. On constate globalement pour les perches 7 et 9 une érosion rapide d'une vingtaine de centimètres pendant la marée montante puis une accretion sensiblement du même ordre de grandeur en fin de marée descendante. Dans la nuit du 3 au 4 Avril, la perche 7 enregistre une légère érosion qui est

comblée le lendemain. On remarque aussi que les périodes d'érosion ne sont pas en phase d'une position à l'autre. On voit nettement que lorsque le lit subit une érosion à la position de la perche 9 entre 10:00 et 11:00 GMT, la perche 10 (plus au large) enregistre une accrétion. Le même comportement est observé entre 12:00 et 13:00 GMT le même jour entre la perche 9 qui enregistre cette fois une accrétion et la perche 7 qui enregistre une érosion. Les perches 9 et 10 enregistrent des successions d'érosion et d'accrétion d'une quinzaine de centimètres d'amplitude. Indépendamment de la position, les profondeurs de remaniement enregistrées sont de l'ordre de 15 à 20cm. L'amplitude des phénomènes observés est compatible avec la résolution verticale des perches utilisées. Les variations de la durée d'action entre les différentes perches sont dues au positionnement des perches le long du profil. Les perches les plus au large passent plus de temps dans l'eau que les perches plus près de la côte. Les vitesses d'érosion et de déposition calculées peuvent atteindre 15cm.h^{-1} . Les vitesses d'accrétion sont du même ordre avec toutefois plus de successions d'alternance érosion/accrétion pendant la phase de dépôt.

4.2. Mesure de résistivité dans le sol par une perche totalement enfouie

Comme nous l'avons vu dans la partie 4.1, les mouvements de la perche sous l'action des vagues semblent avoir une influence sur la mesure. Pour mesurer les variations de résistivité dans le sol en s'affranchissant de l'influence des mouvements de la perche, une perche a été totalement enfouie verticalement à 20cm sous la surface (distance prise du haut du boîtier à la surface du sol). La Figure 4 présente 40 secondes d'enregistrement des 8 capteurs supérieurs de cette perche.

Bien que la Figure 4 ne permette pas directement de l'énoncer, les enregistrements mesurés avec la perche totalement enfouie ne montrent pas les chutes brutales de résistivité mesurées parfois avec une perche partiellement enfouie. Cette observation valide notre hypothèse sur la perturbation des mesures causées par les oscillations d'une perche partiellement enfouie.

On constate par ailleurs sur la Figure 4 que les variations mesurées par les 4 capteurs les plus profonds sont plus importantes que celles mesurées par les 4 capteurs supérieurs. L'explication reste à trouver, mais quelques constatations sont intéressantes. Si les amplitudes des variations mesurées varient d'un capteur à l'autre, elles restent significatives, pouvant atteindre un ordre de grandeur de $0.02\Omega.m$. On observe également une bonne corrélation des signaux mesurés par différents capteurs, qui permettent de penser que ces signaux ne sont pas des

simples bruits de mesure. Enfin la fréquence des signaux (de l'ordre de 0.1Hz) est de l'ordre de grandeur de la fréquence de la houle.

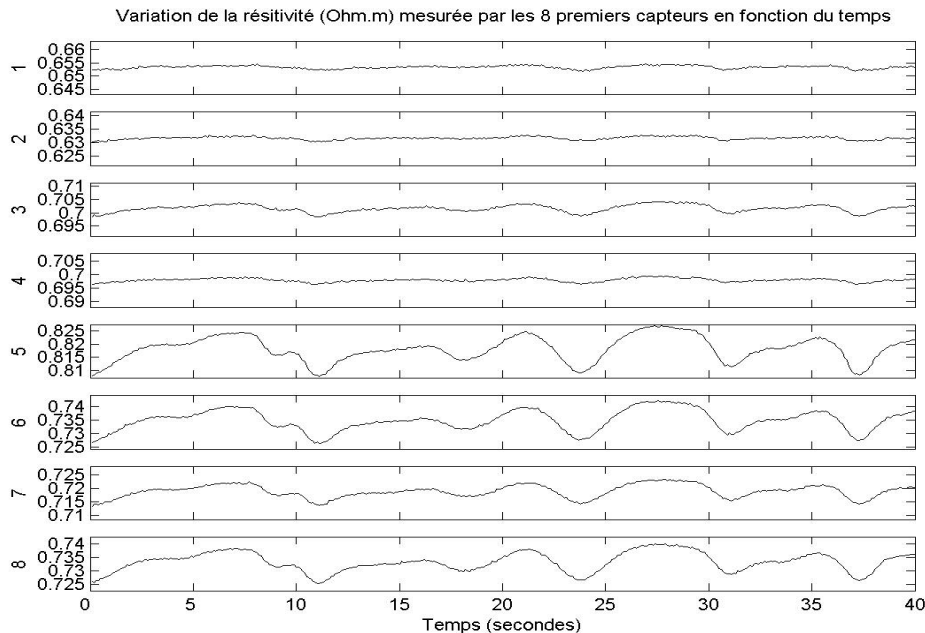


Figure 4 : Enregistrements des 8 capteurs supérieurs d'une perche totalement enfouie dans le sable. L'espacement entre les capteurs est de 3cm. La même échelle des valeurs de résistivité est conservée pour chaque capteur.

On n'observe pas de décroissance des signaux avec la profondeur, ni de déphasage. Une interprétation doit être trouvée pour l'observation de signaux résistifs plus importants en profondeur que dans la couche superficielle du sol (d'une épaisseur de 10cm).

4.3. Mesure de la position de l'interface air/eau par une perche résistive

Une perche de plus grande taille (4,5m) a également été déployée pour mesurer l'évolution temporelle de la surface libre (Figure 5).

Comme toutes les autres perches, celle-ci possède 32 capteurs. Pour couvrir une plus grande hauteur de mesure, les capteurs ont été espacés de 10cm. La fréquence d'acquisition est toujours de 10Hz. La résistivité de l'air étant hors de la gamme de mesure, la méthode de déduction de la position l'interface s'appuie sur le fait qu'un capteur est considéré dans l'eau dès lors que le courant passe. La position de l'interface est donc déduite pour chaque pas de temps en descendant depuis le capteur le plus haut jusqu'au premier capteur qui enregistre un courant. L'interface est alors juste au dessus de ce capteur. L'enregistrement présente un

signal asymétrique dont la période est environ 9s. L'amplitude est comprise entre 60 et 130cm. En dépit d'une faible résolution due à l'espacement entre les capteurs résistifs, le signal ressemble beaucoup au signal que l'on obtient avec un capteur de pression. La méthode utilisée pour suivre l'évolution de la surface libre semble donner des résultats pertinents. Elle doit être comparée avec l'enregistrement d'un capteur de pression placé au pied de la perche.

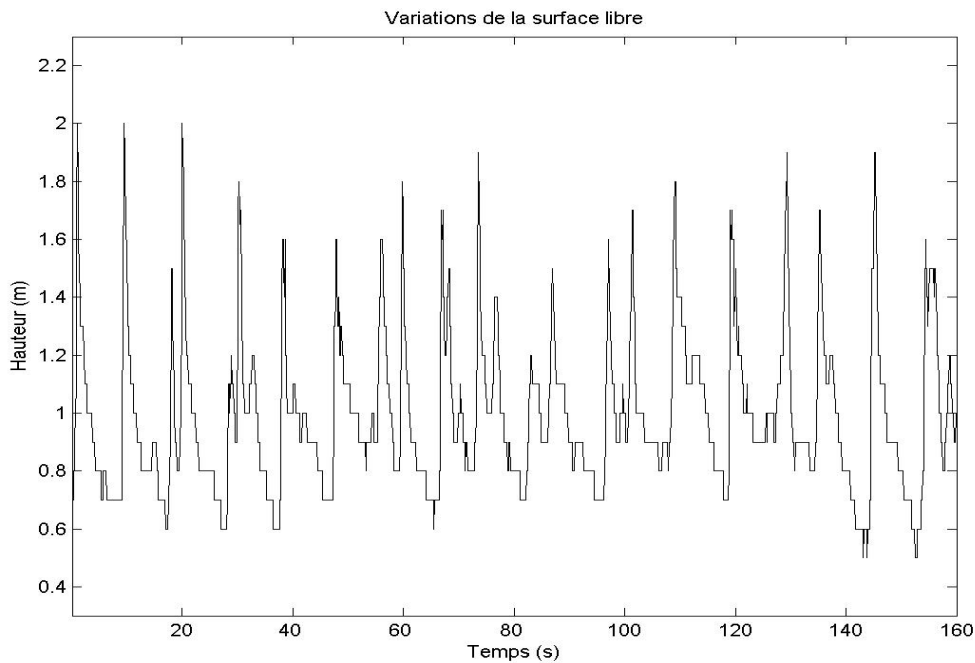


Figure 5 : Série temporelle de la position de la surface libre pendant 160s le 07 Avril 2008. La référence de la hauteur est prise au niveau du sol, au pied de la perche.

4.4. Stabilité des appareils

La question s'est posée de savoir si les perches bougeaient dans le temps, et particulièrement si leur altitude subissait des variations. Des relevés GPS des positions des perches ont été effectués presque quotidiennement. En analysant les valeurs altimétriques de ces relevés, nous avons remarqué que les altitudes enregistrées subissaient des variations de l'ordre de 3 à 4cm d'un jour à l'autre. En reportant les écarts à la moyenne des valeurs altimétrique de plusieurs appareils, on s'aperçoit toutefois que le comportement de ces écarts est sensiblement le même d'un jour à l'autre. Ceci laisse penser que la précision d'un GPS centimétrique n'est pas suffisante pour quantifier ce genre de phénomènes.

5. Conclusion

Nous ne sommes en mesure aujourd'hui de ne présenter que des analyses préliminaires des mesures effectuées très récemment lors de la campagne ECORS. Puisqu'il s'agissait d'une première mise en oeuvre en site réel, les conclusions sont déjà intéressantes. Le suivi temporel, en continu et à la fréquence de 10Hz, des variations du fond en plusieurs points du site au cours de plusieurs marées a pu être mesuré. Les conditions très énergétiques qui ont été vécues en plusieurs moments de la campagne ont par ailleurs permis de démontrer un bon niveau de robustesse des appareils.

L'analyse haute fréquence des signaux ne fait que débiter, et nous n'avons pas abordé ce point dans l'article faute de disposer pour l'instant d'éléments suffisants. Une quantité de données importante a été acquise, qui doit permettre d'étudier les variations de fond à l'échelle temporelle des vagues.

6. Références bibliographiques

- 1 Gallagher E.L., Boyd W., Elgar S., Guza R.T., Woodward B., 1996. Performance of a sonar altimeter in the nearshore. *Marine Geology* Vol. 133, pp 241-248.
- 2 Gallagher E.L., Elgar S., Guza R.T., Thornton E.B., 2005. Estimating nearshore bedform amplitudes with altimeters. *Marine Geology* Vol. 216, pp 51-57.
- 3 Gibson C.H., Schwarz W.H., 1963. Detection of conductivity fluctuations in a turbulent flow field. *Journal of fluid Mechanics*. Vol. 16, pp 357-364.
- 4 Greenwood B., Hale P.B., 1980. Depth of activity, sediment flux, and morphological change in a barred nearshore environment. *Geological survey of Canada*, paper 80-10, pp 89-109.
- 5 Jestin H., Bassoulet P., Le Hir P., Lapos P., Yavanc J., Degres Y., 1998. Development of ALTUS, a high frequency acoustic submersible recording altimeter to accurately monitor bed elevation and quantify deposition or erosion of sediments. *OCEAN apos conference proceedings*. Vol. 1, pp 189-194.
- 6 Thomas S. and Ridd P.V., 2004. Review of methods to measure short time scale sediment accumulation. *Marine Geology*, 207, pp 95-114.

Remerciements :

Nous tenons à remercier la Région Aquitaine et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine pour leur soutien financier ainsi que Damien Dailloux, Cristina Diaz, Clément Gandon, Philippe Maron et Denis Morichon pour leur participation à la campagne ECORS. Merci aussi aux équipes de l'UMR EPOC de Bordeaux1 et du LEGI de IUJF Grenoble pour leur aide sur le terrain.