

Structure spatio-fréquentielle de l'énergie infragravitaire en zone de « surf »

Nadia Sénéchal⁽¹⁾, Abel Balanche⁽²⁾, Philippe Bonneton⁽³⁾, Vincent Rey⁽⁴⁾

¹*Maître de Conférences, UMR EPOC 5805, Université de Bordeaux I, avenue des Facultés, F-33405 Talence, cedex. + 33(0)5 40 00 31 39. n.senechal@epoc.u-bordeaux1.fr*

²*Doctorant, UBO-IUEM 'Domaines Océaniques', Place Nicolas Copernic, F-29280 Plouzané.*

³*Chargé de recherche, UMR 5805-EPOC, Université de Bordeaux I, avenue des Facultés, F-33405 Talence, cedex*

⁴*Maître de Conférences, Université du Sud Toulon-Var, LSEET-LEPI, B.P.56, F-83162 La Valette du Var cedex.*

Résumé

En zone de levée, l'énergie contenue dans la bande infragravitaire (fréquences typiquement inférieures à 0.05 Hz), est généralement négligeable par rapport à celle contenue dans les vagues (< 1%). Cette tendance s'inverse fortement en zone de surf où l'énergie infragravitaire peut devenir plus importante que celle contenue dans les vagues. Dans ce papier, nous montrerons, à partir de données in situ, que les processus physiques qui contrôlent l'énergie infragravitaire en zone de surf sont très différents de ceux des vagues et de ce fait que la structure spatio temporelle de cette bande se différencie de celle observée habituellement dans les vagues.

Abstract

Infragavity energy (typically frequencies less than 0.05Hz) is generally negligible in the shoaling zone compared to swell energy (<1%). Nevertheless, this trend drastically changes in the surf zone where infragavity energy can become more important than swell energy. In this paper, based on in situ data, we will focus on the differences, which can be observed between swell energy and infragavity energy. We will show that the physical processes, which rule these two energy bands, are deeply different. This induces deep differences between the spatial and temporal variability of energy contained in each frequency band.

Mots clés : ondes infragravitaires, cohérence spatiale, spectre

1.Introduction

La zone de « surf » correspond à la zone où l'énergie des vagues est dissipée, parfois très rapidement (sur quelques dizaines de mètres). De nombreuses études ont été menées afin de calculer cette dissipation qui permet dans un deuxième temps d'estimer les variations du niveau moyen du plan d'eau (« set-up » et « set-down ») et la circulation en zone de « surf ». Ces facteurs sont en effet dominants dans le calcul des flux sédimentaires et de la morphodynamique des plages. Ainsi ces dernières décennies, ce point a fait l'objet de nombreuses études expérimentales (in situ ou en laboratoire) mais également de développement de modèles paramétriques, analytiques et numériques.

Les ondes basses fréquences correspondent aux mouvements oscillatoires dont les fréquences sont inférieures à celles des vagues d'où le nom d'ondes « infragravitaires » également couramment utilisé dans la littérature. Généralement on les définit comme les ondes dont les périodes sont supérieures à 20 s ($f < 0.05$ Hz). Si en zone de levée et en zone de « surf » externe l'énergie de ces ondes est très faible comparée à celle contenue dans les vagues (généralement $< 1\%$), elle devient en revanche très importante en zone de « surf » interne jusqu'à dominer le spectre d'énergie (3). Ces dernières années elles ont fait l'objet de nombreuses études, afin notamment d'évaluer leur rôle dans le transport sédimentaire (7) mais également dans la mise en place des corps sableux littoraux observés sur de nombreuses plages sableuses (4). Néanmoins, il n'existe encore que très peu de jeux de données acquis en milieu naturel qui permettent d'étudier leur structure spatio fréquentielle dans la zone de « surf ». Il n'existe pas à ce jour de données en laboratoire complètes compte tenu du caractère 3D de ces ondes qui peuvent se propager parallèlement aux côtes dans certains cas.

Dans cette étude, nous proposons, à partir de données acquises en milieu naturel d'étudier la structure spatio fréquentielle de ces ondes infragravitaires. Nous nous attacherons plus particulièrement à mettre en évidence que les mécanismes physiques qui contrôlent l'évolution de ces ondes infragravitaires dans cette zone sont différents de ceux qui contrôlent l'évolution des vagues. On peut notamment citer le processus de dissipation d'énergie des vagues qui engendre une décroissance de la hauteur des vagues lorsque celles-ci se propagent vers la ligne de rivage.

Nous nous intéresserons également à la cohérence spatiale à la fois dans la direction « cross-shore » et dans la direction « longshore » en nous appuyant sur les données de trois lignes de capteurs de pression déployées le long d'un système de barre intertidale.

2. Résultats et discussions

2.1. Données in situ

Cette étude s'appuie sur les données hydrodynamiques d'une campagne de mesures qui s'est déroulée sur le site atelier du Truc Vert (Côte Girondine) dans le cadre du Programme National Environnements Côtiers en Octobre 2001. Lors de cette campagne, trois lignes de capteurs de pression piézorésistifs synchronisés avaient été déployées en zone intertidale le long d'un système barre-baïne en présence d'une houle longue régulière énergétique ($1.0 \text{ m} < H_s < 3.0 \text{ m}$ et $T \approx 11-14 \text{ s}$). Deux courantomètres électromagnétiques type S4 (interOcean system) ainsi qu'un courantomètre acoustique type ADV (Nortek) ont été déployés dans la zone intertidale (description complète dans 5). Dans ce papier, nous présenterons les résultats des deux lignes « sud » déployées au niveau de la barre-baïne, la ligne « nord » étant déployée entre deux systèmes sur une partie de plage assimilable à une plage « linéaire ».

La figure 1 représente les conditions au large, mesurées dans environ 55 m de fond par une bouée houle TRIAXYS.

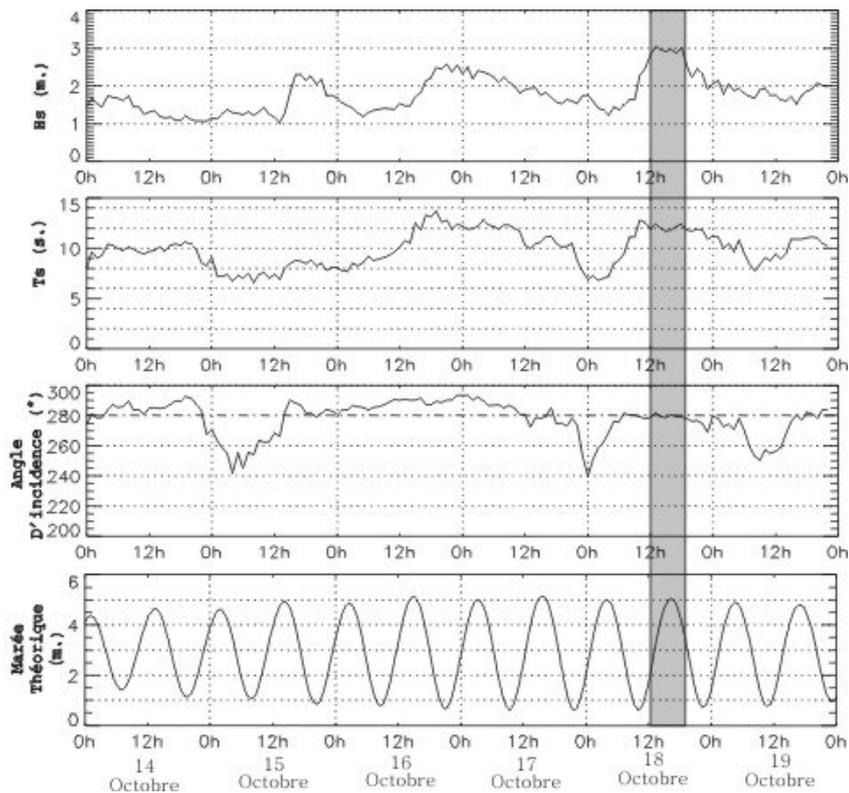


Figure 1. Conditions de houle mesurées dans 55 m de fond par une bouée

Dans cette étude, nous présenterons les résultats pour la journée du 18 Octobre 2001. En effet, le 18 octobre, les conditions de houle étaient quasi-stationnaires à marée haute lorsque les mesures ont été effectuées (figure 1, rectangle grisé) : la

houle était longue (période significative 12s), énergétique (hauteur significative 3m) et arrivait normalement à la côte.

Dans la suite nous allons présenter les résultats obtenus avec trois méthodes :

- Une méthode globale qui consiste à étudier l'évolution de l'ensemble de l'énergie infragravitaire en calculant une hauteur spectrale associée à l'ensemble de la bande infragravitaire.
- Une analyse des pics énergétiques de la bande infragravitaire.
- Une analyse des cohérences spatiales associées à chacun des pics.

Pour chacune des méthodes, nous ferons le parallèle avec les vagues afin de mettre en évidence les différences de comportement entre ces deux domaines fréquentiels.

2.2. Approche globale de l'énergie infragravitaire

La figure 2 représente le spectre de densité d'énergie calculé à partir du signal d'élévation sur 30 minutes, tel qu'il a été mesuré au niveau (a) de la Triaxys par 55 m de fond au moment de l'étale de marée haute et (b) par capteur de pression piézorésistif situé en zone de « surf » interne par 2.9 m de fond. La limite entre vagues et ondes infragravitaires a été fixée à 0.05 Hz.

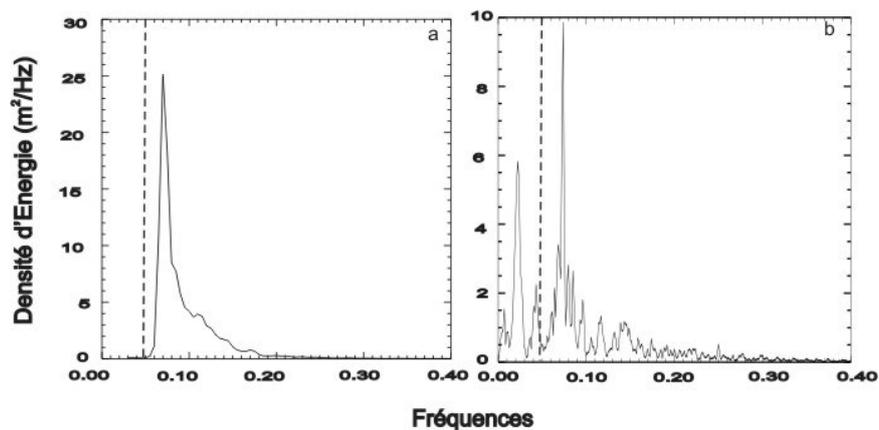


Figure 2. Spectre de densité d'énergie par (a) 55 m de fond en zone de levée et (b) en zone de surf interne. Le trait en pointillé indique la limite infragravitaire / vague.

Sur cette figure, il apparaît clairement que la composante infragravitaire est négligeable, en terme énergétique par rapport celle des vagues lorsque l'on se situe en zone de levée (a) alors qu'elle devient importante dans la zone de « surf » interne (b).

L'approche globale consiste à évaluer l'énergie contenue dans chacune des bandes fréquentielles en introduisant une hauteur significative associée à chacune d'elles. Cette hauteur significative est calculée en intégrant le spectre de densité d'énergie sur chacune des bandes (bande infragravitaire : 0.005-0.05 Hz et bande de houle incidente : 0.05-0.3 Hz), on obtient ainsi deux hauteurs. La figure 3

représente l'évolution des hauteurs significatives en fonction de la profondeur et le long des profils « cross-shore » (les données des différents capteurs se différencient par l'utilisation des symboles).

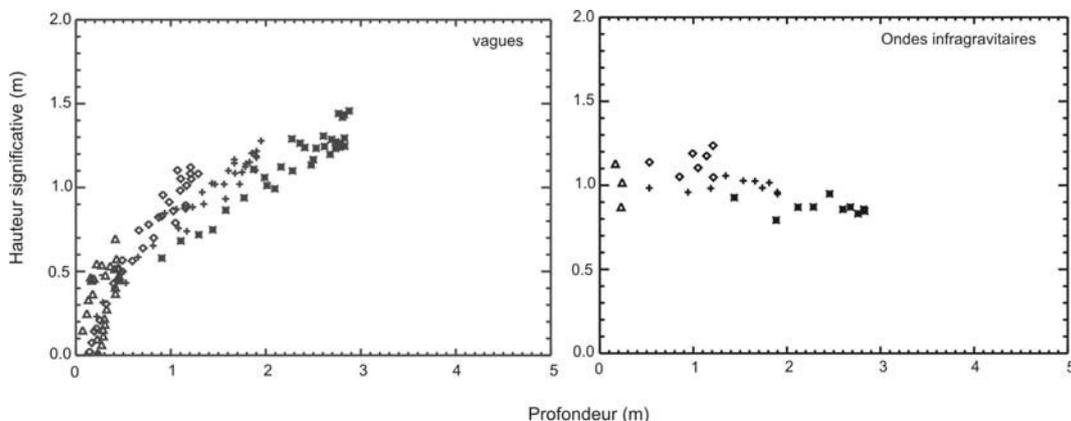


Figure 3. Evolution de la hauteur significative (a) des vagues et (b) des ondes infragravitaires en zone de surf interne.

Cette figure met clairement en évidence d'une part (a) le processus de dissipation d'énergie des vagues lié au déferlement de celles-ci, qui engendre une décroissance de la hauteur des vagues lorsque celles-ci se propagent vers la ligne de rivage et (b) qu'au contraire, la hauteur des ondes infragravitaires n'est nullement contrôlée par la profondeur d'eau locale en zone de surf interne ; elle est à peu près constante le long du profil et indépendante du niveau d'eau. Ceci induit que lorsque l'on se rapproche de la ligne de rivage (profondeur < 1 m), l'énergie contenue dans la bande infragravitaire devient plus importante que celle des vagues. Ce résultat est en accord avec des précédentes expériences de terrain ⁽³⁾. Les variations du niveau moyen du plan d'eau avec la marée engendrent également une variation spatiale du point de déferlement et de la ligne d'eau. Cette figure montre ainsi que l'énergie contenue dans la bande infragravitaire est indépendante de la position du capteur sur le profil de plage mais également de sa distance par rapport à la ligne d'eau et au point de déferlement.

2.3. Analyse de la structure fréquentielle au niveau de la barre

Dans cette partie, nous allons détailler davantage la structure fréquentielle de la bande infragravitaire. La figure 4 représente l'évolution du spectre pendant 4 heures et le long des axes « longshore » (a et b) et « cross-shore » (c et d). Chaque spectre a été calculé sur une fenêtre de 30 minutes et moyenné afin d'obtenir un nombre de degrés de liberté équivalent à 10. Les contours correspondent aux isovaleurs de densité d'énergie. Les figures 4a et 4b ont été obtenues à partir des données de capteurs situés en laisse de basse mer et alignés parallèlement à la côte. Les figures 4c et 4d ont été obtenues à partir des capteurs alignés le long de profils cross-shore situés en face des précédents capteurs.

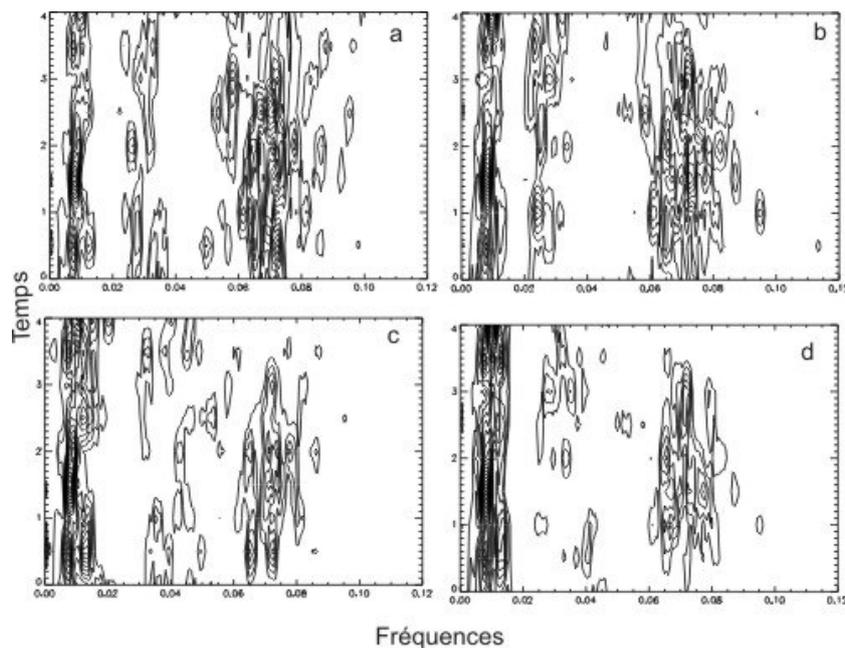


Figure 4. Evolution dans le temps et dans l'espace du spectre de densité d'énergie. Chaque contour correspond à une isoaleur de densité d'énergie.

Cette figure met clairement en évidence le trou spectral entre la bande infragravitaire et la bande associée aux vagues avec une fréquence de coupure qui se situe autour de 0.05 Hz. On note également la structure bimodale du spectre de densité d'énergie dans la bande infragravitaire. On observe un pic très marqué aux alentours de 0.01 Hz (soient 100s) et une deuxième zone énergétique entre 0.02 et 0.04 Hz.

Cette structure bimodale (avec les mêmes fréquences) avait déjà été observée sur un jeu de données acquis en présence d'une houle longue (12 à 14s) et peu énergétique (hauteur significative inférieure à 1m) sur le même site en présence d'un double système barre-bâine (5). L'analyse des spectres de corrélation entre vitesse « cross-shore » et élévation avaient révélés une très bonne cohérence entre ces deux valeurs et une phase proche de $-\pi/2$, caractéristique d'une onde stationnaire « cross-shore » pour le pic centré autour de 0.01 Hz. Ce résultat est en accord avec les récents travaux de Hendersen (2) qui montre que lorsque les conditions énergétiques sont faibles, les ondes infragravitaires observées correspondent généralement à des ondes « cross-shore » stationnaires. Dans l'étude présente, le pic centré sur 0.01 Hz est aussi bien marqué dans le temps que dans l'espace. Son intensité est maximale peu avant la marée haute qui intervient environ 2 heures après le début des enregistrements, toutefois sa valeur énergétique reste élevée pendant tout l'enregistrement et souvent du même ordre de grandeur que celle du pic de houle. L'hypothèse d'une onde de bord piégée par la barre intertidale n'est pas à exclure. D'autant plus que Hendersen (2) a également montré que lorsque les conditions énergétiques augmentent, les ondes infragravitaires s'orientent davantage vers des ondes de bord. Toutefois, les résultats de Bryan et al. (1) semblent indiquer que plus on s'éloigne du sommet de

la barre et qu'on se rapproche du chenal, plus la structure de ces ondes de bord devient complexe, et Hendersen (2) note que les sorties de modèle indiquent que la dissipation semble découpler les ondes de bord au niveau de la ligne d'eau de celles piégées par les barres. Or nos capteurs se situaient sur le haut de plage, donc relativement loin du sommet de la barre et la structure observée reste relativement simple. Pour vérifier cette hypothèse il serait nécessaire d'analyser les spectres des vitesses « longshore ». Malheureusement ces données n'ont pas pu être acquises au cours de la campagne. Des études sont actuellement en cours qui portent sur l'analyse des données de vitesse obtenues par un courantomètre de type S4 situé entre les lignes Sud et la ligne Nord dans le chenal de baine et celles d'un ADV situé en laisse de basse mer de la ligne Nord. Des comparaisons avec les données de la ligne Nord, déployée sur une partie de plage « linéaire », permettront également de mieux répondre à cette question.

Le second « pic » (entre 0.02 et 0.04 Hz) est quant à lui beaucoup moins bien marqué et sa structure varie dans l'espace et dans le temps. Des analyses bispectrales permettront d'estimer la part relative d'énergie liée due aux interactions entre triplets de fréquences.

2.4. Analyse de la cohérence spatiale pour le pic centré autour de 0.01Hz

La figure 5 représente les cohérences (spectre de corrélation normalisé entre 0 et 1) « cross-shore » des signaux entre les différents capteurs espacés les uns des autres d'environ 20 m en cross-shore pour le pic centré autour de 0.01Hz et pour le pic de la houle incidente. On évalue la cohérence du signal par rapport au signal du capteur situé en laisse de basse mer et en remontant vers le haut de la plage. Chaque symbole représente la moyenne des cohérences calculées sur une bande spectrale centrée sur les deux pics et la barre verticale représente l'écart type. Pour la bande infragravitaire, nous avons choisi la bande 0.008-0.013 Hz et pour la houle nous avons fixé la bande à 0.06-0.08 Hz. Les figures 5a, c, e correspondent à la bande infragravitaire et les figures 5b, d, f correspondent à la bande de la houle.

On remarque très distinctement que concernant la bande infragravitaire, la cohérence des signaux est très bonne tout le long de l'axe « cross-shore » même avec le dernier capteur (figure 5e). L'onde infragravitaire est donc très peu modifiée d'un capteur à l'autre. Cette cohérence est également observable entre les deux lignes, c'est-à-dire suivant l'axe « longshore » (non représenté ici). Concernant la houle, on observe que la cohérence entre les signaux des capteurs diminue lorsque ceux-ci sont de plus en plus espacés. Ceci s'explique par le caractère instationnaire des vagues lié à des phénomènes tels que l'appariement de fronts d'ondes, la génération d'harmoniques qui peuvent survenir sur des distances très courtes. Ceci se retrouve également dans la cohérence « longshore ».

Ces résultats montrent que contrairement aux vagues, les ondes infragravitaires semblent contrôlées à une échelle plus grande que celle de la plage locale.

3.Conclusions

Dans ce papier, nous avons pu mettre en évidence les disparités entre les ondes infragravitaires et la houle en zone de surf interne. Alors que les vagues sont principalement contrôlées par la profondeur d'eau et se modifient rapidement le long des profils « cross-shore » et « longshore », les ondes infragravitaires semblent plutôt forcées par des facteurs plus grandes échelles. L'examen des spectres a permis de mettre en évidence la structure bimodale dans la bande infragravitaire qui avait déjà été observée dans une précédente campagne. L'hypothèse d'une onde de bord n'est pas exclue même si généralement les structures observées dans ce genre de contexte sont généralement plus complexes. L'examen des autres lignes de capteurs et le couplage avec les données des courantomètres permettront de mieux approfondir ce point.

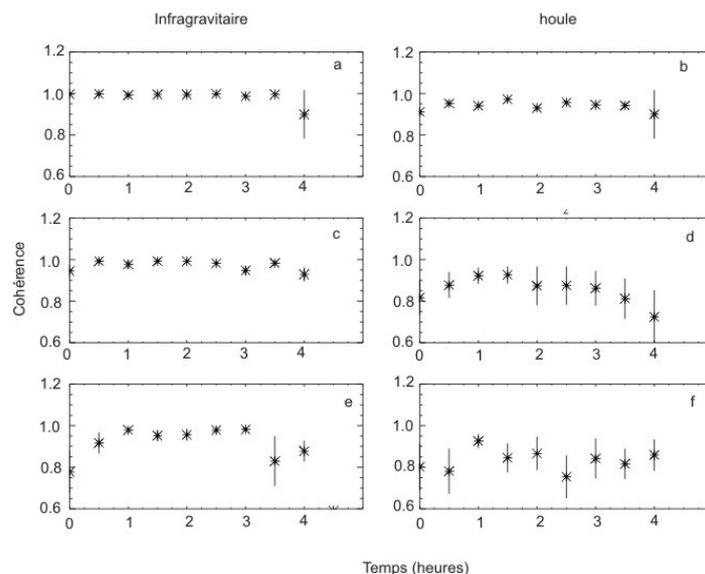


Figure 5. Cohérence « cross-shore » des signaux au cours de l'enregistrement pour la bande infragravitaire (a, c, e) et pour la houle (b, d, f).

Bibliographie

- 1 Bryan K.R., Howd P.A. and Bowen A.J. (1998). Field observations of bar-trapped edge waves. *J. of Geophys. Res.*, **103**, 1285-1305.
- 2 Hendersen S.M. (2002). Surf beat forcing and dissipation. PhD thesis, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 140p.
- 3 Holman R. and Bowen A.J. (1984). Longshore structure of infragravity wave motions. *J. of Geophys. Res.*, **89**, 6446-6452.
- 4 O'hara T.J. and Huntley D.A. (1994). Bar formation due to wave groups and associated long waves. *Marine Geology*, **116**, 313-325.
- 5 Sénéchal, N., Bonneton, P., Dupuis, H. (2002). Infragravity wave frequency structure on a double-barred beach. *J. Coastal Res.*, **SI36**, 654-661.
- 6 Sénéchal, N., Bonneton, P., Dupuis, H. et al., (2002). Présentation de la campagne de mesures hydro-sédimentaires du PNEC : Truc Vert 2001. *Actes des VIIème Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil -Anglet-France-mai 2002* (présentation orale).
- 7 Smith G.G. and Mocke G.P. (2002). Interaction between breaking/broken waves and infragravity-scale phenomena to control sediment suspension transport in the surf zone. *Marine Geology*, **187**, 329-345.