



**Norois**

Environnement, aménagement, société

201 | 2006/4

**Dynamiques fluviale et littorale, activité viticole**

---

## Observations et conditions d'apparition des croissants de plage sur le littoral de la mer d'Iroise

*Observation and conditions of beach cusps formation along the Iroise sea  
shoreline*

**Aurélie Dehouck**

---



### Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/1732>

DOI : 10.4000/norois.1732

ISBN : 978-2-7535-1549-9

ISSN : 1760-8546

### Éditeur

Presses universitaires de Rennes

### Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2006

Pagination : 7-16

ISBN : 978-2-7535-0407-3

ISSN : 0029-182X

### Référence électronique

Aurélie Dehouck, « Observations et conditions d'apparition des croissants de plage sur le littoral de la mer d'Iroise », *Norois* [En ligne], 201 | 2006/4, mis en ligne le 01 décembre 2008, consulté le 01 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/norois/1732> ; DOI : 10.4000/norois.1732

---

## OBSERVATIONS ET CONDITIONS D'APPARITION DES CROISSANTS DE PLAGE SUR LE LITTORAL DE LA MER D'IROISE

---

AURÉLIE DEHOUCK

GÉOMER – LETG UMR 6554 CNRS

(Université de Bretagne Occidentale),

Institut Universitaire Européen de la Mer – Technopôle Brest-Iroise,

place Nicolas-Copernic – 29 285 Plouzané

[aurelie.dehouck@univ-brest.fr](mailto:aurelie.dehouck@univ-brest.fr)

### RÉSUMÉ

*Lors d'une campagne de mesures intensives de l'évolution morphologique de la plage de Trégana et des forçages hydrodynamiques, les conditions de formation d'un système rythmique de croissants de plage ont été observées. On a constaté une séquence d'évolution s'apparentant à un cycle de vie des croissants de plage avec la destruction du système initial lors d'un coup de vent, l'initialisation et le développement d'un nouveau système à l'étales de pleine mer postérieurement au pic d'énergie des vagues. L'analyse des conditions d'agitation suggère la présence d'une onde sub-harmonique ponctuellement stationnaire lors des étales de pleine mer contribuant au développement des croissants tant en taille qu'en rythmicité.*

**MOTS CLÉ :** *Croissants de plage – Figures rythmiques – Mer d'Iroise – Morphodynamique.*

### ABSTRACT

#### ***Observation and conditions of beach cusps formation along the Iroise sea shoreline***

*Rhythmic beach cusps formation was observed on Trégana beach during intensive field surveys of beach morphological change and hydrodynamic forcings. A life cycle of beach cusps occurred with the destruction of the former system during a sea breeze and the development of a new system at high tide following the peak in wave energy of this wind event. Analysis of wave data suggests the existence of a sub-harmonic standing edge wave at high tide which likely contributed to the development of beach cusps height and rhythmicity.*

**KEYWORDS :** *Beach Cusps – Iroise Sea – Morphodynamics – Rhythmic Features.*

Les croissants de plage sont des formes rythmiques d'accumulation sédimentaire observées sur de nombreuses plages à travers le monde et notamment en mer d'Iroise (côte ouest du Finistère, France). Dès les premiers temps de leur observation (Johnson, 1910; Evans, 1938; Kuenen, 1948; Guilcher, 1949), les conditions de leur formation ont fait l'objet d'une littérature dense

parmi laquelle deux théories sont fréquemment discutées (Holland et Holman, 1996; Coco *et al.*, 1999; Masselink *et al.*, 2004; Coco *et al.*, 2003). La première théorie (Guza et Inman, 1975; Inman et Guza, 1982) implique un forçage direct par les vagues, précisément une onde de bord stationnaire, sub-harmonique ou synchrone, modulant l'excursion horizontale de la zone de *swash*. À l'inverse, la seconde théorie rend compte de processus d'auto-organisation entre la topographie et les courants de *swash* au moyen de rétroactions (Werner et Fink, 1993).

Toutefois, de nombreux auteurs s'accordent dorénavant sur la possible conjonction des deux mécanismes (Inman et Guza, 1982; Coco *et al.*, 2000), l'onde de bord stationnaire initialisant une topographie irrégulière du haut de plage, la circulation tri-dimensionnelle du *swash* favorisant des rétroactions positives conduisant au développement et au maintien des croissants de plage (Masselink et Pattiaratchi, 1998).

À partir des observations issues de la campagne de mesures intensives sur la plage de Trégana, les principaux objectifs de cet article sont de décrire la morphodynamique de croissants de plage et de déterminer les processus hydrodynamiques contrôlant leur formation. Les deux premières parties décrivent les caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques du site et les méthodes d'acquisition et d'analyse des données de terrain. Dans les deux parties suivantes, sont présentés l'évolution morphodynamique de la plage, les conditions d'agitation lors de l'initialisation d'un nouveau système de croissants et les éléments en faveur de l'une et l'autre des deux théories, formation par une onde de bord sub-harmonique et/ou par des processus d'auto-organisation. Les résultats sont alors discutés et les perspectives méthodologiques sont évoquées.

## Présentation du site d'étude

La mer d'Iroise est un environnement macrotidal (7 m de marnage en vives-eaux), fort agité soumis aux longues houles formées par les dépressions de l'Atlantique Nord. La hauteur significative ( $H_s$ ) des vagues extrêmes est de 7 m au large de l'île de Ouessant (quantile 99 % issu de la base de données CANDHIS<sup>1</sup>). Les plages sont caractérisées par des conditions d'agitation plus modérées ( $H_{\max} = 1,5$  à 2 m mesuré sur le bas d'estran; Dehouck *et al.*, 2005), du fait de la position semi-abritée induite par le découpage de la côte finistérienne et de la dissipation de l'énergie des vagues sur un plateau continental large (isobathe -100 m à 30 km de la côte) (fig. 1).

La série de profils de plage issue du suivi morphologique à moyen terme indique que la variabilité événementielle et saisonnière de la plage de Trégana est associée à la dynamique transversale et longitudinale de ses croissants de plage (Dehouck et Rihouey, soumis). Au début de la campagne de mesures (20 mai 2005), un unique système de croissants s'étendait sur tout le haut de plage depuis les niveaux de pleine mer de vives-eaux jusqu'aux mortes-eaux (fig. 2). L'observation d'une séquence d'évolution morphologique complète des systèmes de croissants de plage (destruction, initialisation, développement) a été réalisée suite à la forte agitation provoquée par un coup de vent de secteur sud ( $H_s \approx 1,6$  m) (fig. 3b).

## Méthodes d'acquisition et d'analyse

L'objectif de cette expérimentation, réalisée au printemps 2005 (fin mai), était d'acquérir des données à haute fréquence d'évolution de la morphologie des estrans, conjointement à des données hydrodynamiques de manière à qualifier la morphodynamique des plages à court terme. Pour cela, la topographie de l'estran a été levée au DGPS (précision centimétrique) tous les jours lors des basses mers diurnes (fig. 2). Les données de courants et de vagues ont été acquises à 2 Hz par un courantomètre électromagnétique équipé d'un capteur de pression (S4DW). Localisée initialement en bas d'estran sur les niveaux de basse mer de mortes-eaux (+ 2,6 m C.M.), la potence a migré

---

1. Acronyme de la base de données historiques d'états de mer mesurés in situ par des houlographes, gérée par le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales).

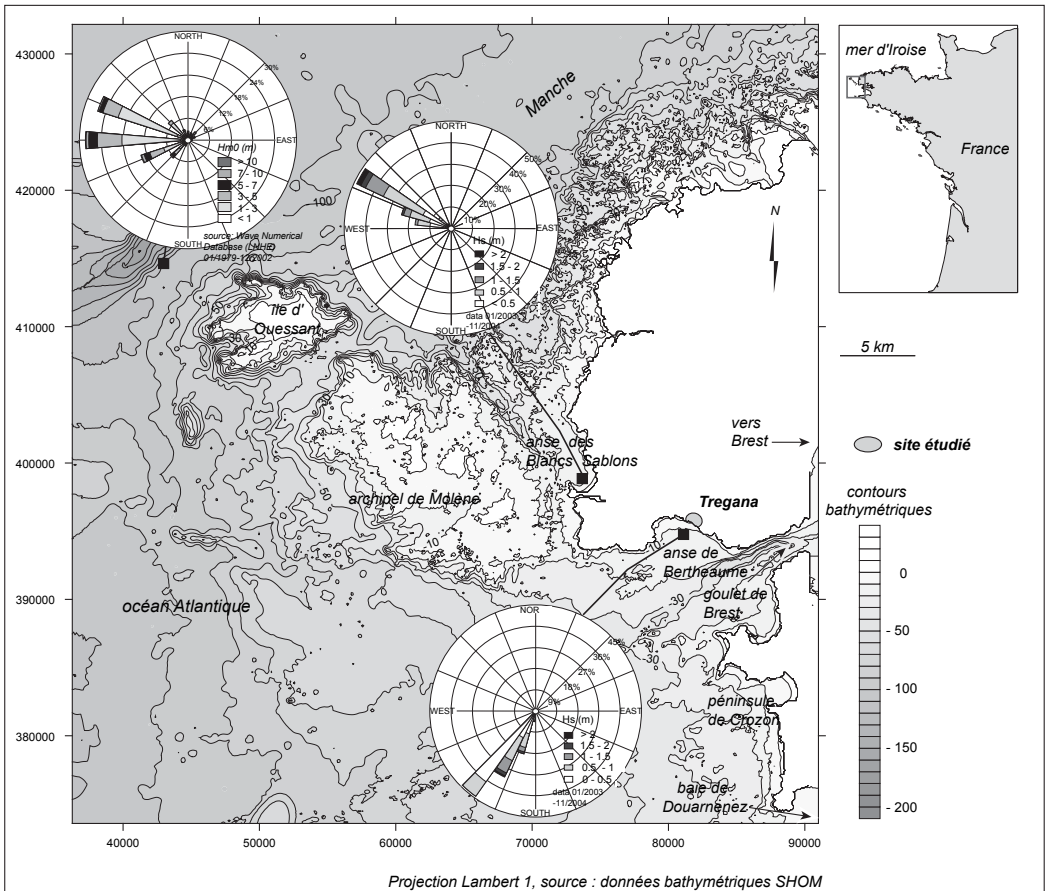


Figure 1 : Localisation de la plage de Trégana en mer d'Iroise  
*Location of Trégana beach in the Iroise Sea*

vers le haut de plage (+5,3 m C.M.) lors du paroxysme d'énergie dans la nuit du 24 au 25 mai (fig. 2). L'enfouissement de la potence au cours de l'expérience a par ailleurs provoqué un changement de la hauteur du capteur au-dessus du fond, de +55 cm le 20 mai à +18 cm le 27 mai.

Les données d'élévation de la surface libre (fig. 3a) sont analysées dans le domaine spectral par une transformée de Fourier après avoir supprimé le signal de marée sur chaque acquisition de 10 minutes. Il en résulte une série de spectres de densité d'énergie, représentation de la distribution de l'énergie des vagues dans l'espace fréquentiel. La hauteur significative des vagues  $H_s$  (fig. 3b) est calculée à partir du spectre d'énergie des vagues en prenant une fréquence de coupure haute de 1 Hz (fréquence de Nyquist).

Différentes paramétrisations fondées sur des paramètres morphologiques et hydrodynamiques sont utilisées pour décrire la morphodynamique des croissants de plage. La théorie de formation des croissants de plage par une onde de bord stationnaire a été exposée par R. T. Guza et D. L. Inman (1975) lesquels ont respectivement associé l'alternance de zones d'érosion (baie des croissants) et de dépôt (corne) à ses nœuds et ses ventres. La longueur d'onde du système de croissants prédite ( $L_c$ ) selon cette théorie est :

pour une onde sub-harmonique, 
$$L_c = \frac{L_{e(sh)}}{2} = \frac{g}{\pi} T_i^2 \tan\beta \quad (1)$$

ou pour une onde synchrone, 
$$L_c = L_{e(sy)} = \frac{g}{2\pi} T_i^2 \tan\beta \quad (2)$$

où  $L_c$  est la longueur d'onde de l'onde de bord,  $T_i$  la période des vagues incidentes,  $\tan\beta$  la pente de la plage.

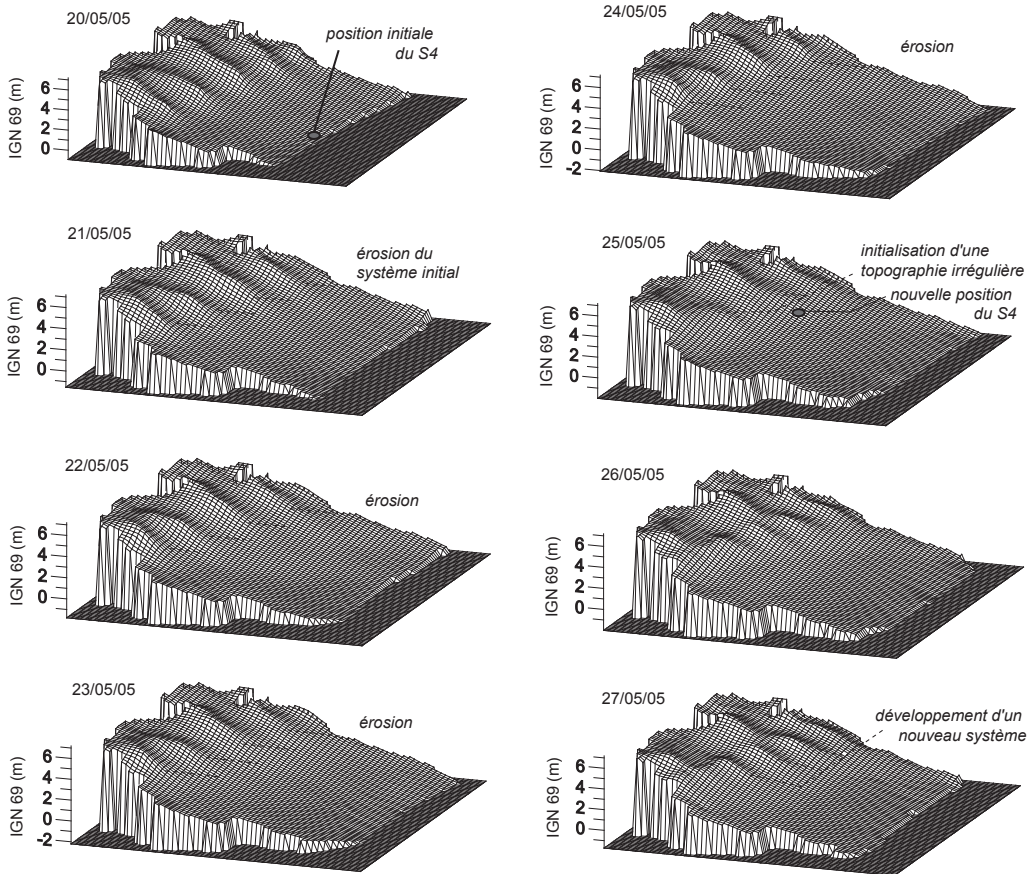


Figure 2 : Modèles numériques de terrain illustrant l'évolution morphologique de l'estran de Trégana du 20 au 27 mai 2005

*Digital elevation models showing Trégana beach morphological change between May 20th and 27th 2005*

Pour ensuite déterminer le caractère progressif ou stationnaire de l'onde infragravitaire, les spectres sont utilisés afin d'étudier les relations de phase et la cohérence entre les signaux d'élévation de la surface libre et la vitesse du courant, sur une bande fréquentielle donnée. Si les deux signaux sont significativement corrélés et en phase, l'onde est progressive ; s'ils sont en opposition de phase, l'onde est stationnaire (Oltman-Shay et Guza, 1987).

La seconde théorie, développée plus récemment, repose sur l'auto-organisation de la topographie en fonction des courants dans la zone de *swash*. Les études de B. T. Werner et T. M. Fink (1993) et de G. Coco *et al.*, (2000) ont montré, à partir de modèles numériques, le développement d'une topographie de croissants de plage dont la rythmicité est forcée par la longueur d'excursion du *swash* :

$$L_c = f S \quad (3)$$

où  $f$  est une constante empirique d'une valeur de 1,7 et  $S$  la longueur d'excursion du *swash*. Celle-ci est calculée selon l'expression de G. Coco *et al.*, (1999) :  $S = H_b / \tan \beta_{swash}$  où  $H_b$  est la hauteur des vagues au déferlement et en considérant par ailleurs que  $H_b$  et  $H_s$  sont égaux.

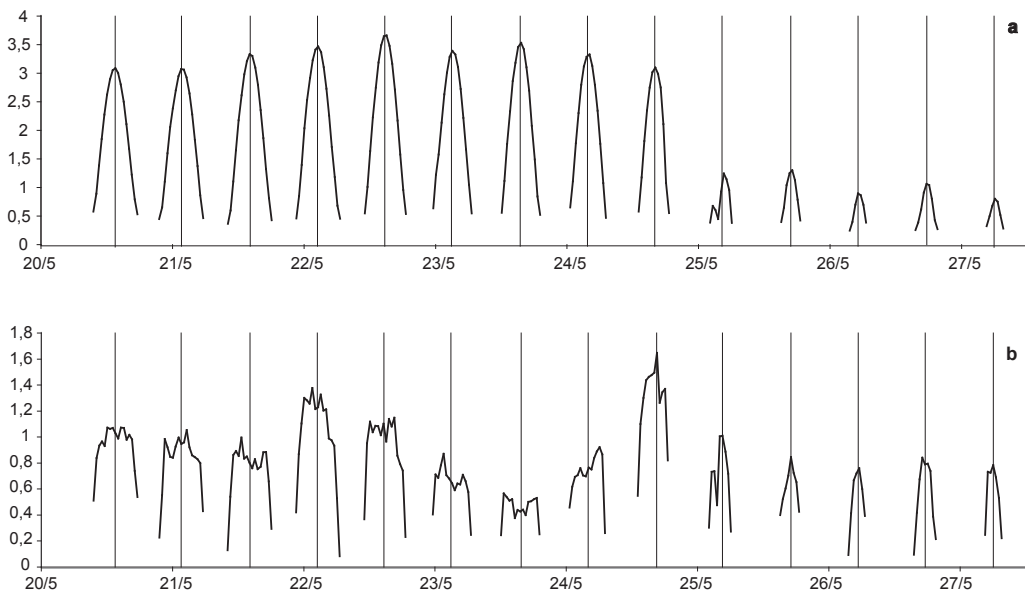


Figure 3 : (a) Hauteur d'eau au-dessus du capteur et (b) hauteur significative des vagues à Trégana du 20 au 27 mai 2005

(a) *water height above sensor*, (b) *significant wave height at Trégana beach between May 20<sup>th</sup> and 27<sup>th</sup> 2005*

L'amplitude des croissants est paramétrée selon l'indice  $\varepsilon$  développé par G. Masselink et C. Pattiaratchi (1998) et à partir duquel un modèle conceptuel de la morphodynamique de la zone de *swash* a été établi.

$$\varepsilon = \frac{\tan \beta_{\text{corne}} - \tan \beta_{\text{baie}}}{\tan \beta_{\text{corne}} + \tan \beta_{\text{baie}}} = \frac{\Delta \tan \beta}{2 \tan \beta} \quad (4)$$

Lorsque  $\varepsilon(S/L_c)^2$  est compris entre 0,015 et 0,15 la circulation tri-dimensionnelle est bien développée dans la zone de *swash*, courants divergents sur les cornes, convergents dans les baies. L'observation d'une circulation tri-dimensionnelle du *swash* par le biais de cet indice empirique reflète l'intensité des rétroactions entre topographie et hydrodynamisme et donc la capacité des formes à s'auto-organiser sous l'action du *swash*.



## Évolution du contexte morphodynamique

L'évolution morphologique de la plage de Trégana au cours de l'expérimentation se décompose en deux grandes phases liées aux courants induits par les vagues et modulés par la marée. Lors des cinq premiers jours (du 20 au 24 mai), le système de croissants régresse progressivement (fig. 2 et 4a) alors que les conditions énergétiques deviennent fortes, soutenues et que les marnages augmentent (fig. 3). Le système de croissants, initialement très ample et rythmique ( $L_c = 27$  à  $31$  m) s'efface peu à peu aplanissant le haut de plage. La destruction partielle des cornes des croissants est soulignée par une érosion généralisée du haut de plage, de 25 à 50 cm, entre +3 m et +5 m NGF (fig. 4a). Le pic d'énergie dans l'après-midi du 24 mai ( $H_s \approx 1,6$  m) est fatal à la rythmicité du système, l'un des croissants étant totalement lessivé par le déferlement des vagues. Le bilan sédimentaire de cette première phase est, bien que significativement déficitaire ( $-280 \pm 100 \text{ m}^3$ ), relativement faible dans la mesure où les zones d'érosion (haut de plage) et de dépôt (mi-plage) sont assez proches l'une de l'autre.

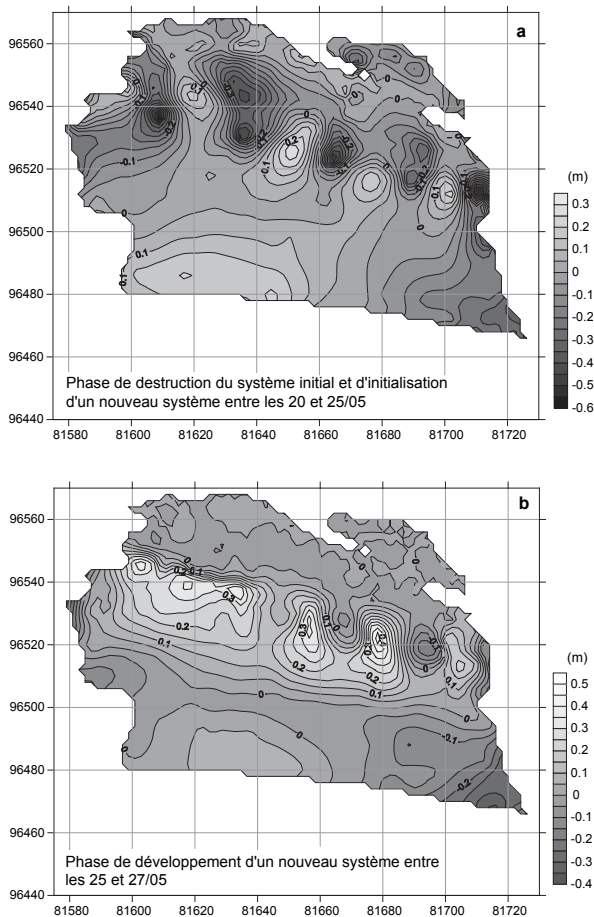


Figure 4 : Changement de l'élévation de la plage (en mètre) lors des deux grandes phases (a) de destruction du système initial de croissants et (b) de développement d'un nouveau système

*Elevation change in meter (a) during initial beach cusps destruction phase and (b) new system development phase*

La seconde phase est amorcée dès la pleine mer du 25 mai au matin consécutive au pic d'énergie des vagues ( $H_s \approx 1$  m). On y observe des amorces de nouvelles cornes de croissants (fig. 2) matérialisées par des zones d'accumulation sédimentaire (20 à 35 cm; fig. 4b) qui s'intercalent au niveau des baies et des cornes du système de croissants rémanent. Le développement d'une topographie irrégulière sur la ligne de rivage le 25 mai (entre +3 et +3,5 m NGF) constitue l'initialisation d'un nouveau système de croissants de plage. Lors des pleines mers successives (du 25 au 27 mai), alors que l'énergie des vagues reste modérée ( $H_s \approx 0,8$  m) et que les marnages diminuent, ces formes s'amplifient (+20 à 40 cm; fig. 4b), gagnent en rythmicité ( $L_c = 22$  à  $25$  m) tandis que les baies se creusent (-5 à -15 cm). L'alternance régulière de zones de dépôt et d'érosion au cours du développement du nouveau système appuie aussi bien l'hypothèse de l'onde de bord stationnaire que celle de l'auto-organisation des courants de *swash* en fonction de la morphologie naissante sur le haut de plage. Cependant, l'amplitude des nouveaux croissants ( $\epsilon$  de 0,12 à 0,17;  $\epsilon(S/L_c)^2$  de 0,01-0,014), paramétrée selon l'indice de G. Masselink et C. Pattiaratchi (1998), suggère une circulation tri-dimensionnelle du *swash* depuis les cornes vers les baies,

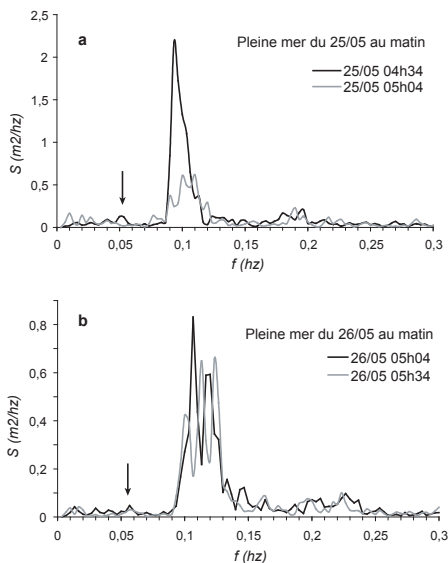
maintenue par rétroaction positive, et pouvant favoriser le développement du système. Le bilan positif de la seconde phase ( $+360 \pm 100 \text{ m}^3$ ) indique un apport sédimentaire depuis le bas d'estran et la plage subtidale. Il démontre ainsi la participation indirecte d'autres processus, un courant dirigé vers l'estran lors des périodes de calme (en raison de l'asymétrie des vagues), induisant ainsi la remontée progressive des sédiments vers le haut de plage à la faveur du cycle de marée. Enfin, l'effet de l'incidence des vagues sur l'orientation des cornes des nouveaux croissants est également constaté, celles-ci étant légèrement obliques lors de l'initialisation (MNT du 25 mai), puis s'orientant perpendiculairement au rivage avec des houles normales (MNT du 27 mai).

## Conditions d'agitation et test des théories de formation

L'instant de l'initialisation de la nouvelle ligne de croissants et de son développement ont été précisément identifiés par les observations visuelles et les levés topographiques quotidiens. En étudiant les signaux d'élévation de la surface libre et de vitesse du courant, il est alors possible de tester la théorie de formation des croissants de plage par une onde de bord sub-harmonique stationnaire. La figure 5 présente les spectres d'énergie des vagues lors de l'initialisation (fig. 5a) et le développement des croissants de plage (fig. 5b). Aux étales de pleine mer, les spectres sont énergétiques et étroits centrés autour de 0,1 Hz (25 mai 4 h 34) et 0,1-0,12 Hz (26 mai 5 h 04). Ces conditions d'agitation ( $H_s \approx 0,8 \text{ m}$ ;  $T_s = 8$  à 11 secondes) se maintiennent du 25 au 27 mai. Lors de ces deux pleines mers, on observe un pic d'énergie spectrale autour de 0,05-0,06 Hz qui pourrait correspondre à l'onde sub-harmonique de l'onde primaire.

Figure 5 : Spectres d'énergie des vagues à Trégana aux pleines mers (a) du 25 mai au matin (initialisation), (b) du 26 mai au matin (développement) (Les flèches indiquent les pics d'énergie sub-harmonique)

*Density energy spectra at Trégana beach at high tides (a) May 25<sup>th</sup> am (initialization), (b) May 26<sup>th</sup> am (development) (Arrows indicate subharmonic energy peaks)*



En transposant ces paramètres de vagues dans les équations (1) à (3), les longueurs d'onde théoriques du système de croissants sont calculées pour chacune des deux hypothèses de formation (tableau 2). La valeur des paramètres hydrodynamiques utilisés est reportée dans le tableau 1, la période incidente des vagues étant la période du pic spectral, la hauteur des vagues au déferlement ( $H_b$ ) assimilée à la hauteur significative, la pente de la zone de *swash* calculée comme la pente moyenne au niveau du système de croissants.

	$T_p$ (s)	$H_b$ (m)	$\tan\beta_{swash}$	S (m)
25 mai 2005 4 h 34	10,7	1,0	0,107	9,3
26 mai 2005 5 h 04	9,4-8,3*	0,72	0,101	7,15

Tableau 1 : Paramètres hydrodynamiques et morphologiques lors de l'initialisation et le développement du système de croissants (\* double pic spectral)

*Hydrodynamic and morphological parameters during initialization and development of beach cusps system (asterisk indicates double spectral peak)*



	$L_c$ (obs.)	$L_c$ (sub-harm.)	$L_c$ (synchrone)	$L_c$ (auto-org)
25 mai 2005 4 h 34	$23,5 \pm 0,7$	38,2	19,1	15,8
26 mai 2005 5 h 04	$23,5 \pm 0,7$	27,8-21,7	13,9-10,8	12,1

Tableau 2 : Longueurs d'onde observée et prédites des croissants selon les deux théories

*Observed and predicted beach cusp wavelength according to edge wave and self-organization theories*

On constate que chacun des tests est très sensible au choix des paramètres (Coco *et al.*, 1999) particulièrement à la période pic. La longueur d'onde observée du nouveau système de croissants ( $L_c = 23,5$  m) est proche de celle prédite par la théorie de l'onde de bord sub-harmonique et pour les conditions d'énergie de la pleine mer du 26 mai au matin. Les autres tests ne sont pas concluants.

La nature des pics d'énergie identifiés au cours de ces deux pleines mers est étudiée, puisque l'une de ces ondes sub-harmoniques pourrait avoir favorisé le développement et contrôlé la longueur d'onde du nouveau système. Au cours des cinq pleines mers postérieures à l'initialisation des formes d'accumulation (fig. 6), seules celles du 25 mai au soir et du 27 mai au matin indiquent l'existence d'une onde stationnaire à l'étales de pleine mer (phase =  $\pm 90^\circ$ ). Lors des deux situations analysées précédemment, le caractère hautement ponctuel de la stationnarité de l'onde ne permet pas de conclure sur sa nature.

## Discussion

La campagne de mesures à Trégana a permis d'observer les conditions de formation d'un nouveau système rythmique de croissants de plage postérieurement au pic de tempête. On a constaté la grande réactivité du haut de plage aux changements des conditions d'agitation avec l'apparition quasi-immédiate d'embryons de cornes de croissants en aval du système initial, lors de la pleine mer suivant le pic d'énergie. Cette réactivité se traduit également par des ajustements directionnels de l'axe des cornes des croissants en fonction de l'obliquité des vagues incidentes. Ceci suggère également la possible translation longitudinale du système sous l'effet de vagues obliques comme G. Masselink et C. Pattiaratchi (1998) ont pu l'observer, ce qui est illustré à Trégana par la forte variabilité des profils de plage (Dehouck et Rihouey, soumis).

Lors du développement des croissants de plage, le maintien d'une agitation constante, la détection de pics d'énergie sub-harmonique et du caractère stationnaire de ces ondes à certaines étales de pleines mers sont autant d'éléments confortant l'hypothèse de formation par une onde de bord sub-harmonique stationnaire. Cependant, à l'instant de l'initialisation des croissants de plage, aucune évidence de l'implication de cette onde n'a pu être démontrée. En outre, la paramétrisation de la morphodynamique (tri-dimensionnelle) de la zone de *swash* suggère l'importance des processus d'auto-organisation dans le développement des croissants en amplitude, avec des rétroactions positives entre l'embryon de morphologie et les courants de *swash*. Bien qu'il soit difficile d'identifier clairement le(s) processus responsable(s) de l'initialisation des croissants de plage, on a mis en évidence les rétroactions positives entre la circulation tri-dimensionnelle du *swash* et les embryons de croissants auxquelles se superpose une onde de bord sub-harmonique stationnaire à certaines étales de pleine mer. Comme suggéré par D. L. Inman et R. T. Guza (1982) et G. Coco *et al.*, (2000), les deux types de processus ne sont pas antagonistes et peuvent donc co-exister simultanément, favorisant le développement ultra-rapide des croissants.

Les limites majeures de cette expérimentation sont constituées par des contraintes matérielles qui induisent d'elles-mêmes des contraintes méthodologiques. En effet, l'objectif initial de la campagne de mesures étant de caractériser le contexte morphodynamique de la plage à l'échelle tidale et événementielle, la localisation du capteur en zone de déferlement et de levée des vagues n'est pas adaptée pour décrire les processus hydrodynamiques dans la zone de *swash*. Comme le

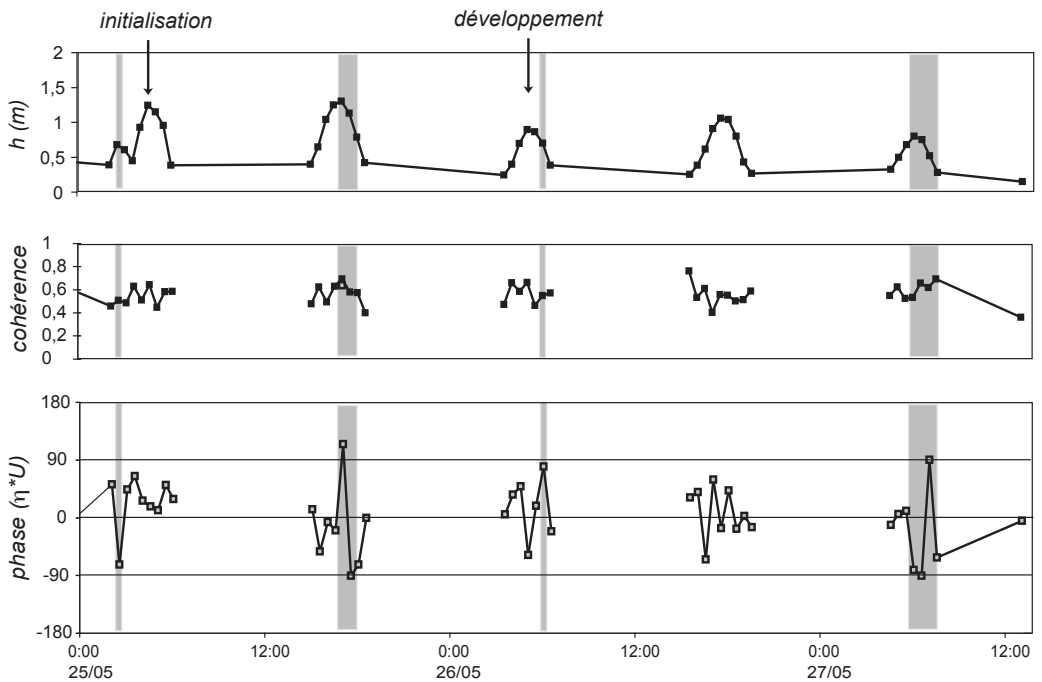


Figure 6 : Phase et cohérence entre les signaux d'élévation de la surface libre ( $\eta$ ) et de vitesse transversale ( $U$ ) dans la bande 0,05-0,06 Hz lors de la formation du système de croissants de plage. L'observation d'une onde sub-harmonique stationnaire est indiquée en gris

*Phase and coherence relationships between sea surface elevation ( $\eta$ ) and cross-shore flow ( $U$ ) in 0.05-0.06 Hz band during beach cusps formation. Grey bands are for the observation of a standing sub-harmonic wave*

rappellent G. Masselink *et al.*, (2004), l'observation d'une onde de bord stationnaire dans la zone de surf ne prouve pas nécessairement son existence dans la zone de swash.

Dans le futur, de nouvelles campagnes de mesures sur la plage de Trégana seront planifiées dans le respect des résultats acquis au cours de cette première expérience et des contraintes mises en évidence. En effet, pour éclairer les conditions d'initialisation des croissants de plage, il est indispensable de disposer de lignes de capteurs installées transversalement et longitudinalement dans la zone de *swash* de manière à étudier la structure des ondes sub-harmoniques (Oltman-Shay et Guza, 1987; Holland et Holman, 1999) et à qualifier l'énergie qui leur est associée (Holland et Holman, 1996; Masselink *et al.*, 2004), mais aussi afin d'être en mesure d'étudier les processus d'auto-organisation en analysant les délais pouvant exister entre le signal de *swash* au niveau des cornes et des baies (Coco *et al.*, 2003) qui résultent d'une circulation tri-dimensionnelle divergente du *swash* (Masselink et Pattiaratchi, 1998).

## Conclusion

Au cours d'une campagne de mesures intensives sur la plage de Trégana, l'évolution morphodynamique d'un système rythmique de croissants de plage a été constatée. Deux phases se distinguent, la première caractérisée par la destruction partielle du système initial lors de fortes distinctions d'énergie, la seconde par l'initialisation de nouveaux croissants dès la pleine mer consécutive au coup de vent et à leur développement par faible agitation. L'étude des spectres d'énergie des vagues

a mis en évidence la présence d'une onde sub-harmonique stationnaire lors de certaines pleines mers postérieurement à l'initialisation des croissants. La morphologie finale du système suggère que des processus d'auto-organisation sont également actifs, les courants de *swash* contribuant à l'amplification des croissants et vice-versa. Ainsi, si les deux processus (onde de bord stationnaire et auto-organisation) semblent co-exister et participer au développement des croissants de plage, les modalités de leur initialisation ne sont, à ce stade, toujours pas établies avec certitude.

## Bibliographie

- COCO (G.), O'HARE (T. J.), HUNTLEY (D. A.), 1999. – « Beach cusps : a comparison of data and theories for their formation », *Journal of Coastal Research*, vol. 15, n° 3, p. 741-749.
- , 2000. – « Investigation of a self-organisation model for beach cusps formation and development », *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, n° C9, p. 21991-22002.
- COCO (G.), BURNET (T. K.), WERNER (B. T.), 2003. – « Test of self-organization in beach cusp formation », *Journal of Geophysical Research*, vol. 108, n° C3, 3101, 11 p.
- DEHOUCK (A.), DUPUIS (H.), AMIS (G.), LE BERRE (A.), 2005. – « An hydrodynamic field experiment in the Iroise sea, Porsmilin and Blancs Sablons study beaches », *Proceedings of the Coastal Dynamics 2005*, Barcelona (Spain), Sanchez-Arcilla A. (ed), American Society of Civil Engineers, 16 p.
- DEHOUCK (A.), RIHOUEY (D.), (soumis). – « Mid-term morphodynamics of the Iroise sea sandy beaches using linear statistical methods », *Continental Shelf Research*.
- EVANS (O. F.), 1938. – « The classification and origin of beach cusps », *Journal of Geology*, vol. 46, p. 615-627.
- GUILCHER (A.), 1949. – « Observations sur les croissants de plage », *Bulletin Société Géologique de France*, vol. 5, n° 19, p. 15-29.
- GUZA (R. T.), INMAN (D. L.), 1975. – « Edge waves and beach cusps », *Journal of Geophysical Research*, vol. 80, p. 2997-3012.
- HOLLAND (K. T.), HOLMAN (R. A.), 1996. – « Field observations of beach cusps and swash motions », *Marine Geology*, vol. 134, n° 1-2, p. 77-93.
- HOLLAND (K. T.), HOLMAN (R. A.), 1999. – « Wavenumber-frequency structure of infragravity swash motions », *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, n° C6, p. 13479-13488.
- INMAN (D. L.), GUZA (R. T.), 1982. – « The origin of swash cusps on beaches », *Marine Geology*, vol. 49, p. 133-148.
- JOHNSON (D. W.), 1910. – « Beach cusps », *Geological Society of America Bulletin*, vol. 21, p. 599-624.
- KUENEN (P. H.), 1948. – « The formation of beach cusps », *Journal of Geology*, vol. 56, p. 34-40.
- MASSELINK (G.), PATTIARATCHI (C. B.), 1998. – « Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns », *Marine Geology*, vol. 146, n° 1-4, p. 93-113.
- MASSELINK (G.), RUSSELL (P.), COCO (G.), HUNTLEY (D.), 2004. – « Test of edge wave forcing during formation of rhythmic beach morphology », *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, CO6003, 10 p.
- OLTMAN-SHAY (J.), GUZA (R. T.), 1987. – « Infragravity edge wave observations on two California beaches », *Journal of Physical Oceanography*, vol. 17, p. 644-663.
- WERNER (B. T.), FINK (T. M.), 1993. – « Beach cusps as self-organized patterns », *Science*, vol. 260, p. 968-971.

*Cet article a été reçu le 15 décembre 2005 et définitivement accepté le 13 octobre 2006.*