



Comparaison de deux modèles cross-shore d'érosion des plages (Site de Rousty, Delta du Rhône, France)

David Morellato^(a,b), François Sabatier^(a,c), Frédéric Pons ^(d) et Pierre Gaufres ^(b)

(a) CEREGE α Centre Européen de Recherche et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement α Europôle de L'Arbois α BP 80 α 13545 Aix-en-Provence cedex 04,

France morellato@cerge.fr, sabatier@cerge.fr

(b) CETMEF α Bd du Président Kennedy -B.P. 543, 13092 AIX-EN-PROVENCE Cedex 02,

France Pierre.Gaufres@equipement.gouv.fr, David.Morellato@equipement.gouv.fr

(c) Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Hydraulic Engineering Section, Stevinweg 1, 2628 CN Delft, The Netherlands.

(d) CETE Méditerranée, B.P. 37000, 13791 Aix-en-Provence Cedex3,

France Frederic.Pons@equipement.gouv.fr

Résumé

Nous avons comparé deux modèles numériques 2DV d'érosion des plages (SBEACH et LITPROF) sur une plage microtidale à barre du delta du Rhône. Les résultats montrent que le recul du rivage et l'allure morphologique de la berme sont relativement mieux simulés par SBEACH que par LITPROF. Par contre, aucun des deux modèles n'est capable de reproduire l'évolution sous-marine. Nous concluons sur l'intérêt de ces modèles pour simuler l'impact d'une tempête sur le recul du rivage et de la berme mais aussi sur l'impossibilité de les utiliser pour des périodes de temps supérieures à un événement de tempête.

Abstract

We compare two numerical models to simulate beach profile changes during storms on a microtidal barred beach on the Rhône delta: SBEACH and LITPACK. We conclude that SBEACH give better results to simulate berm retreat. Both model are not accurate to simulate bars movements.

Mots-clés : érosion, LITPROF, SBEACH, tempêtes, barres d'avant côte, berme, microtidal

1.Introduction

L'utilisation de modèles numériques est aujourd'hui une pratique courante en ingénierie côtière lorsqu'il s'agit de prévoir des processus d'érosion et/ou d'établir des scénarii de recalibrage et de rechargements artificiels des plages. Les modèles 2DV (bidimensionnel vertical) présentent l'avantage d'être d'une utilisation aisée pour représenter de manière acceptable les processus des plages sableuses ouvertes à la houle. Les comparaisons de différents modèles 2DV sur les côtes Atlantiques américaines (Zheng et Dean, 1997) et des Pays-Bas (Van Rijn et al., 2003) montrent que si de nombreux modèles existent, il est encore aujourd'hui difficile de savoir, a priori, quel type de modèle est adapté pour telle ou telle plage. Ces modèles se divisent en deux catégories : des modèles semi-empiriques et des modèles de processus, dont la validité des résultats reste encore à améliorer. Notre objectif est donc de comparer les simulations de 2 modèles 2DV (SBEACH et LITPACK) de conception différente sur des mesures de profils de plage dans le delta du Rhône.

2.Méthodes

2.1.Acquisition des données morphologiques et des forçages climatiques

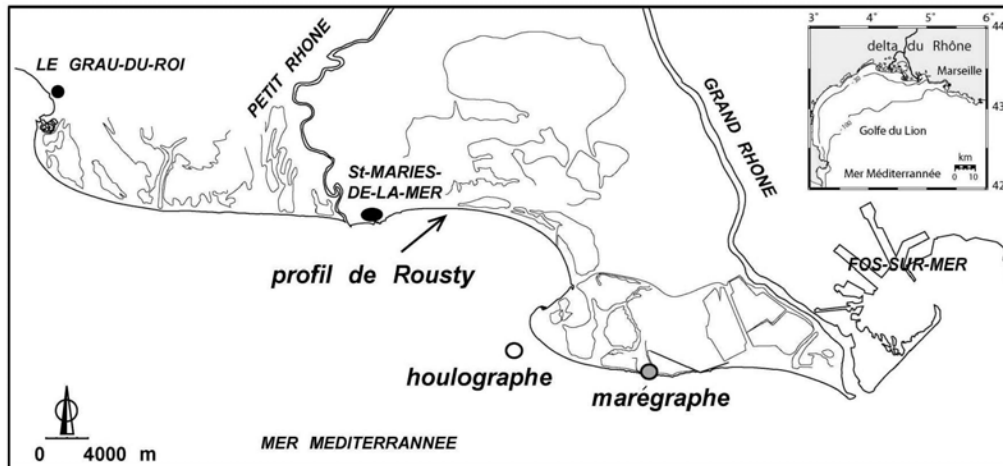


Figure 1: localisation géographique

Le profil de plage retenu (profil de Rousty, figure 1) est localisé dans une zone affectée d'un recul de 0 à ≈ 5 m.an. Cette plage à double barres a été choisie car elle montre peu de variations longitudinales, ce qui est idéal pour utiliser un modèle 2DV. Les relevés topo-bathymétriques de la plage ont été réalisés au moyen d'un tachéomètre électronique Leica (TC705) et d'un échosondeur couplé à un DGPS équipé sur une embarcation légère. Ils s'étendent sur un axe perpendiculaire au rivage depuis la dune jusqu'à la profondeur de fermeture (≈ 6 m environ). Nous testons 3 profils de plages significatifs d'érosion durant une tempête (26 et 28 février et 17 mars 2001). Les houles incidentes prises en compte dans les modèles proviennent d'une bouée-houlographe DATAWELL de Port Gardian (figure 1, base de données CANDHIS, <http://www.cetmef.equipement.gouv.fr>). Les niveaux de la mer sont fournis par un courantomètre à pression S4ADW, à ≈ 3 mètres de profondeur et à 0,3m au-dessus du fond pour la période du 26 février au 3 mars 2001 et par un enregistrement automatique sur papier situé au grau de la Dent (Figure n° 1) pour la période du 4 au 17 mars 2001. Les modèles montrant peu de sensibilité au vent, ce forçage n'est pas pris en compte.

2.2.Les modèles utilisés et l'estimation de leur erreur

Deux modèles numériques 2DV ont été utilisés : SBEACH, du CERC (Coastal Engineering Research Center)^{5,6} et LITPROF, module cross-shore du modèle LITPACK du DHI (Danish Hydraulic Institute). Ces deux modèles appartiennent à des types différents : SBEACH est semi-empirique et LITPACK intègre plus de processus. Ils sont tous les deux constitués de trois modules qui tournent de manière itérative au pas de temps choisi par l'utilisateur :

- Transformation des vagues à la côte. SBEACH utilise la théorie linéaire de la houle alors que LITPROF permet de choisir entre différentes théories dont la houle d'Isobe et Horikawa et les houles de Stokes de l'ordre 1 à 5.

- Calcul du taux de transport. La différence essentielle entre les deux modèles repose sur ce module. SBEACH calcule ce taux, en utilisant la différence entre le profil initial et le profil d'équilibre de forme exponentielle, atteint si les forçages sont les mêmes.

LITPROF calcule ce taux en résolvant l'équation de diffusion verticale des sédiments en régime turbulent reliant la concentration des sédiments et le vecteur de diffusion. Le module LITSTP, utilisant cette équation, doit être lancé avant toute simulation sur LITPROF ; il lui fournit une matrice pour calculer ce taux de transport. Ce module permet d'intégrer le transit littoral mais celui-ci a été considéré comme nul dans nos simulations.

-Calcul du nouveau profil de plage à l'aide de l'équation de conservation de la masse.

Pour comparer les profils simulés avec les profils mesurés, nous avons testé les profils selon deux méthodes : -une observation visuelle, ou qualitative, en essayant de faire correspondre au mieux la forme du profil obtenu avec le profil final. -une quantification mathématique de l'erreur entre les profils mesurés et simulés, en essayant de minimiser le rapport $R(X) = \sum (z_i - z_i$

$$R(x) = \sum_{i=0}^x (z_i^{mesuré} - z_i^{calculé})$$

où z_i représente la cote et X l'abscisse du profil (nombre entier). Les résultats sont considérés comme bons, lorsque la valeur de $R(X)$ est faible. La fonction R s'exprime en $m \times$ et représente donc au point X la différence entre les deux profils de l'origine jusqu'à X .

3. Résultats

3.1. Description des tempêtes et de leur impact morphologique

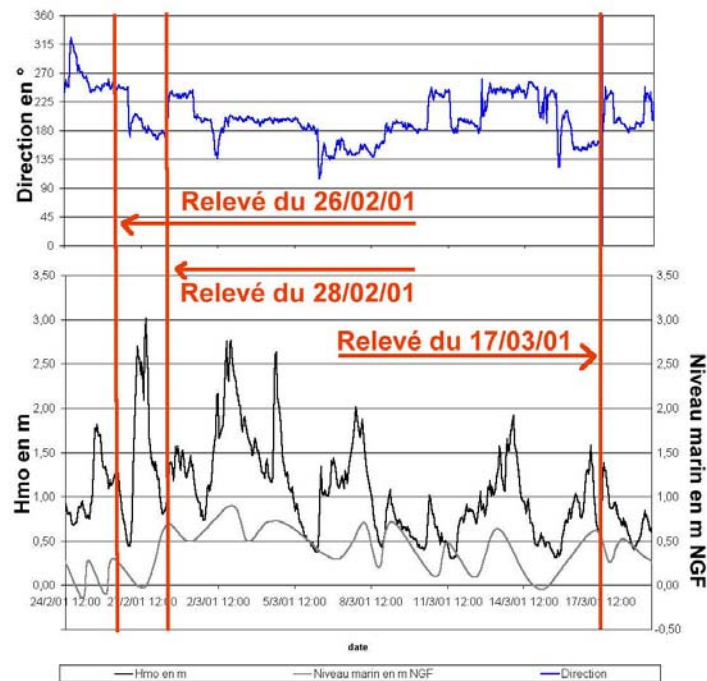


Figure 2: les conditions météo-marines

La période entre le 26 et le 28 février est marquée par une tempête de 12 heures pendant lesquelles Hmo atteint 3 mètres et le niveau de la mer +0,50 m NGF. La période entre le 28 février et le 17 mars est marquée par 6 tempêtes avec des hauteurs de houle dépassant 1,5m (2 ont une hauteur de 2,5m) entrecoupées d'accalmies. Le niveau maximal de la mer atteint + 0,90 m NGF. Nos relevés présentent l'intérêt d'encadrer parfaitement une tempête et une série de tempêtes afin d'évaluer les modèles dans deux situations érosives différentes.

Entre le 26/02/01 et le 28/02/01 (Figure 3), la bêche et la berme côté terre sont légèrement modifiées et la position du trait de côte reste pratiquement inchangée (recul de 19 centimètres). Par contre la pente de la berme du côté mer s'adoucit (pente de 5,5% à 2,5%) et une partie de ce matériel comble la fosse interne. Les deux barres qui s'aplanissent très légèrement s'approfondissent de 0,15m, reculent de 5 m pour la première et de 7m pour la seconde. Le mouvement global des sédiments est donc un mouvement vers le large. Cependant, le profil du 28/02/01 est enrichi de 24 m³ (sur un mètre linéaire de plage) par rapport à celui du 26/02/01. Entre le 28 février et le 17 mars 2001, la bêche est comblée suite au recul de la berme qui s'accompagne d'un retrait du rivage de 18 m. La pente du coté mer de la berme se raidit (3% à 8%). Bien que les deux barres avancent (9 m pour la première et 11 mètres pour la seconde), elles montrent des comportements différents. La première s'approfondit de 0,1m et son allure demeure inchangée tandis que la seconde s'élève de 3 cm et se cambre. Toutefois la distance entre les barres et le rivage augmente de 9 m et 7 m respectivement pour la barre interne et externe. Le profil du 17/03/01 est érodé de 35 m³ (sur un mètre linéaire de plage) par rapport à celui du 28/02/01.

3.2.Simulations des profils

Les deux modèles ont subi des tests de sensibilité et de calage (Morellato, 2003) pour être finalement utilisés avec les valeurs des paramètres présentés dans le tableau 1.

Tableau 1: Paramètres retenus pour SBEACH et LITPROF

SBEACH		LITPROF	
D50	0,16 mm	D50	0,16 mm
K	2,5.10 ⁻⁷ m ⁴ N ⁻¹	Porosité	0,4
ε	0,002 m×.s ⁻¹	Densité	2,65
κ	0,5	Vitesse de chute	0,022m.s ⁻¹
Température de l'eau	11°C	Modèle de vague	Isobe et Horikawa
Angle maximal d'avalanche	30°	γ1	0,88
Profondeur du swash	50cm	γ2	0,6

Lors de la 1^{ère} simulation (figure 3), la courbe d'erreur R(X) varie dans une fourchette de 0 à 9 (figure 5). R(x) est légèrement meilleur pour SBEACH, jusqu'au niveau de la berme tandis que LITPACK est plus performant dans la partie sous-marine. L'allure du profil simulé par SBEACH est cependant plus cohérente avec les mesures. Lors de la 2nd simulation (figure 4), la courbe d'erreur R(X) est sans conteste meilleure pour SBEACH que pour LITPROF mais cette dernière

varie de 0 à 50, soit un facteur 5 par rapport à la simulation précédente (figure 5). Au niveau de la berme et de la fosse interne, les valeurs de $R(X)$ de SBEACH sont toutefois similaires lors des deux simulations. LITPACK simule une pente trop abrupte. L'évolution sous-marine et plus particulièrement celle des barres est très mal reproduite. Seul LITPACK est capable de « créer » des barres mais de manière très différente des mesures.

Tableau 2: Résultat des simulations

	Dune et avant plage	Berme	Barre interne	Barre externe
Simulation entre le 26 et le 28 février 2001				
Observations	Légère projection de sable sur l'avant-plage	Erodée	Recul	Recul
SBEACH	Evolution non reproduite	Erodée de façon linéaire	Erodée mais pas déplacée	Evolution non reproduite
LITPROF	Evolution non reproduite	Erodée	Evolution non reproduite	Evolution non reproduite
Simulation entre le 28 février et le 17 mars 2001				
Observations	Projection de sable sur l'avant-plage	Erodée	Avancée et approfondissement	Avancée et élévation
SBEACH	Evolution non reproduite	Erodée de façon linéaire	Supprimée	Erodée mais pas déplacée
LITPROF	Evolution non reproduite	Pas suffisamment érodée	Création d'un système à barres multiples, différent de la réalité.	

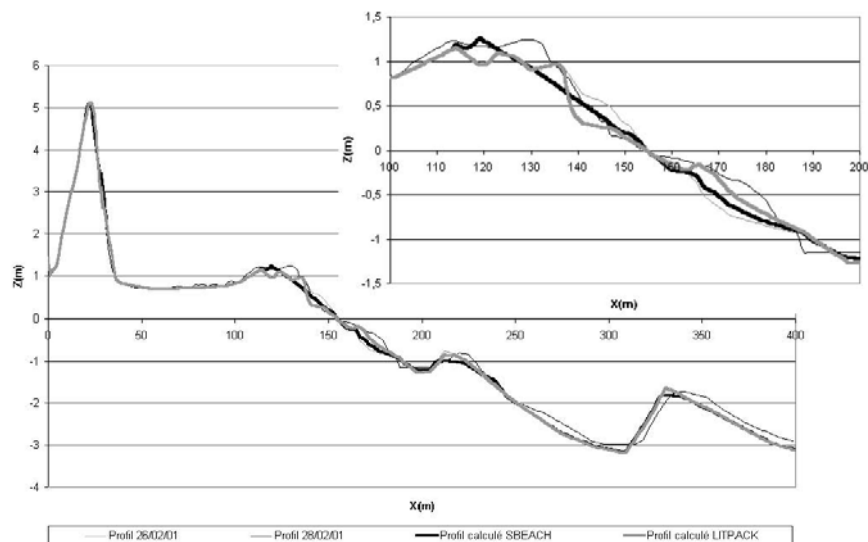


Figure 3: Comparaison des 2 modèles lors de la première simulation (26/02/01 au 28/02/01)

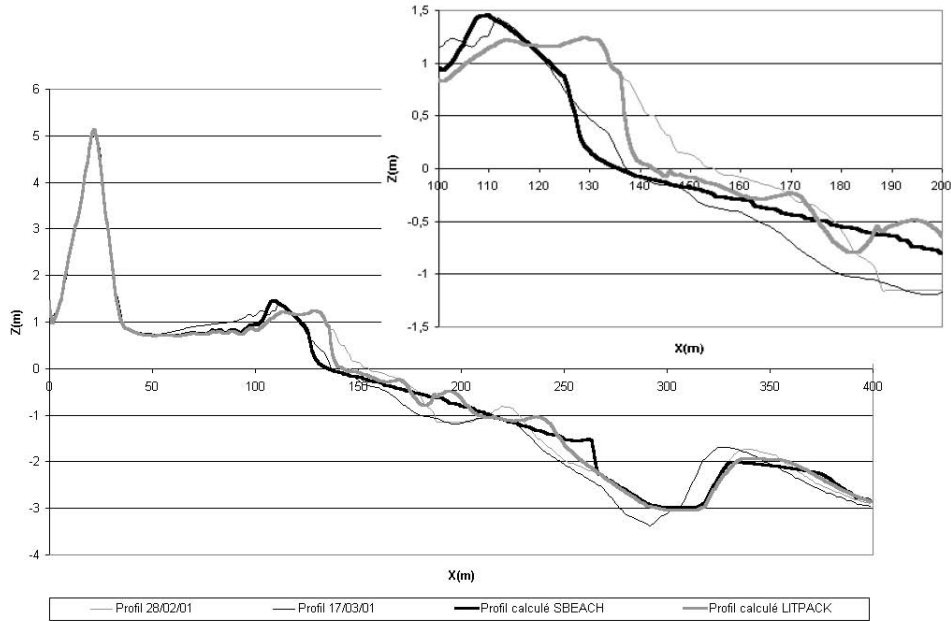


Figure 4: Comparaison des 2 modèles lors de la seconde simulation (28/02/01 au 17/03/01)

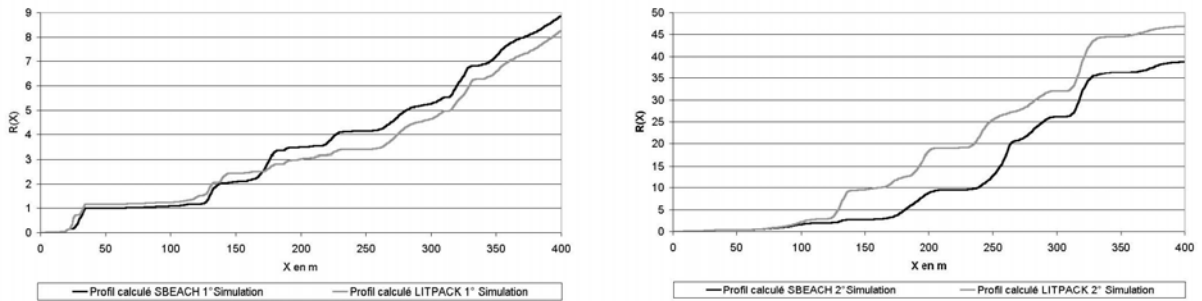


Figure 5: Evaluation de l'erreur des deux modèles

4. Discussions

SBEACH et LITPROF ne rendent pas compte de l'évolution du profil de plage entre la dune et le bourrelet car ces modèles ne considèrent pas le transport éolien, ni les processus de débordement de tempête et d'overwash. SBEACH est capable d'éroder la berme et d'élever sa crête mais il est incapable de distribuer les sédiments en arrière de la berme. Ces lacunes, et la difficulté du modèle à simuler des phases d'accrétion (Sabatier et al.) ne permettent pas d'envisager des simulations supérieures à des événements de tempêtes. Les mauvais résultats de SBEACH en ce qui concerne la partie sous-marine étaient attendus car ce modèle n'est pas censé reproduire la morphodynamique sous-marine. Nos résultats divergent sur ce point de ceux de Zheng et Dean qui reproduisent l'évolution sous-marine d'une plage à Ocean City (Océan Atlantique) démontrant les différentes interprétations de la validité du modèle selon les sites d'études.

La morphodynamique des plages à Ocean City est différente de celles du site de Rousty : les déplacements de barres sont plus réduits qu'en Camargue et la berme recule moins vite. De plus, SBEACH a été conçu et validé pour des houles plus longues que celles de Méditerranée ce qui induit probablement des biais lorsque ce modèle est utilisé dans des conditions différentes. Nos simulations montrent cependant de bons résultats au niveau de la berme. Par contre, les simulations mal reproduites de LITPROF sur les barres d'avant-côte sont surprenantes car ce modèle prétend simuler les fonds en ajoutant plus de complexité. Les différences entre les mesures et les calculs peuvent aussi provenir des relevés de terrain. Une plage n'est jamais complètement rectiligne et de petites modifications morphologiques pourraient avoir des répercussions importantes sur le modèle.

Pour pallier ce problème, la comparaison des modèles de Van Rijn et al. se base sur 10 profils moyennés (espacés de 100m) pour lisser la variabilité longitudinale. Cette approche n'est malheureusement pas possible dans notre cas car un seul suivi de profil est disponible, elle souligne cependant les difficultés et la nécessité d'obtenir des mesures de terrain nombreuses et fiables. Les biais entre les mesures de terrain et les simulations numériques proviennent aussi du fait que les modèles redistribuent les sédiments selon le principe de la conservation de la masse. Or le terrain indique que la réponse morphologique aux tempêtes peut être un gain ou une perte sédimentaire. Par définition, les deux modèles sont donc incapables de prendre en compte ce phénomène probablement dû au transport longitudinal et à des échanges sédimentaires avec les zones plus profondes. Nous sommes ici aux limites des modèles 2DV, car le site étudié présente des caractéristiques optimales pour ce type de modèle (plage rectiligne, houle perpendiculaire à la côte, courte durée de simulation). Enfin, un biais des modèles provient aussi probablement du fait que la granulométrie est supposée constante et égale au D50, alors que cet indice varie entre 0,25 et 0,16 mm sur le profil de Rousty. Choisir arbitrairement une granulométrie, n'a aucune signification physique car en réalité, les grains de taille différente se déplacent à des vitesses différentes, contrairement à ce que supposent nos deux modèles.

5. Conclusion

Sur le site de Rousty, la zone qui est convenablement reproduite pendant des événements de tempêtes par les deux modèles s'étend du bourrelet à la première fosse. SBEACH, modèle semi-empirique, donc moins sophistiqué, donne paradoxalement de meilleurs résultats que LITPROF, modèle qui décrit plus finement les processus. SBEACH peut donc être utilisé dans le domaine de prévention des risques. En effet, il est possible de l'utiliser pour prévoir l'impact d'une tempête de projet sur le recul du rivage et de la berme et donc d'optimiser les projets de recalibrage de plage et de rechargement artificiel. Nos conclusions reposent cependant sur deux cas d'érosion, les recherches en cours visent à confirmer ces résultats à partir de plusieurs exemples le long des plages du Golfe du Lion.

6. Remerciements

Nous remercions DHI France pour le prêt du logiciel LITPACK pendant la période de travail et le CETMEF de Brest pour les données de houles. M. Chaibi,

A. Lambert, E. Mignot, et O. Samat sont remerciés pour leurs participations aux mesures de terrain. Ce travail fait partie des programmes RESYST et LITEAU financé par le MATE.

7.Bibliographie

1.Zheng J. et Dean R.G., Numerical models and intercomparisons of beach profile evolution. Coastal Engineering 30, 1997, P. 169-201.

2.Van Rijn L.C., Walstra D.J.R., Grasmeijer B., Sutherland J., Pan S., Sierra J.P. The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based Profile models. Coastal Engineering 47, 2003, P. 295-327.

3.Sabatier F. Fonctionnement et dynamiques morphosédimentaires du littoral du delta du Rhône. Thèse, Université Aix-Marseille III, 2001, 272p.

4.Morellato D., Modèles numériques de transport solide littoral dans le profil -Application de Sbeach et Litpack aux profils du programme Liteau en Camargue, Travail de Fin d'Etude, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 2003, 141p.

5.Larson M., Kraus N .C. SBEACH : Numerical model for simulating storm-induced beach change, Report 1, empirical foundation and model development. CERC & WES, Technical Report CERC-89-9, 1989, 267p.

6.Larson M., Kraus N. C.,Byrnes M. R. SBEACH : Numerical model for simulating storm-induced beach change, Report 2, Numerical formulation and model tests. CERC & WES, Technical Report CERC-89-9, 1990, 121p.

7.DHI . LITPACK : An integrated Modeling System for LIToral Processes And Coastline Kinetics, Short Introduction and Tutorial. DHI Software, 2001, 95p

8.Sabatier F., Lambert A., Chaibi M., Samat O., Provansal M. Morphodynamique du profil de plage en milieu microtidal : du relevé de terrain au modèle mathématique et numérique. Geomorphology : from expert opinion to modelling, 2002, P.356-360.