



Adaptation de la formule de transport de sable SANTOSS pour la simulation de la migration transverse des barres d'avant-côte

Julien CHAUCHAT ¹, Hassan SHAFIEI ¹, Patrick MARCHESIELLO ²,
Cyrille BONAMY ¹

1. Université de Grenoble Alpes, LEGI, UMR 5519 CNRS, Domaine Universitaire, CS 40700, 38058 Grenoble, France.
julien.chauchat@univ-grenoble-alpes.fr
2. IRD/LEGOS, avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse, France.
patrick.marchesiello@ird.fr

Résumé :

La capacité à modéliser la migration des barres d'avant-côte dans la zone littorale est d'une importance critique pour la prévision de la morphologie côtière. Nous présentons une paramétrisation du transport de la charge de fond liée aux vagues, SANTOSS (VAN DER A *et al.*, 2013), pour les modèles 3D à vagues moyennées, CROCO (MARCHESIELLO *et al.*, 2015). Le modèle hydrodynamique (vagues moyennées et courant) est calibré sur les données de la campagne LIP11d (ROELVINK & RENIERS, 1995) pour la hauteur des vagues et les profils de vitesse d'écoulement. L'objectif du présent travail est d'évaluer la capacité du modèle à prédire la migration vers la plage ou vers le large de la barre d'avant-côte en fonction des conditions de vagues au large, conditions de tempête et de post-tempête, en utilisant le même ensemble de paramètres pour le modèle. Nous montrons que l'implémentation et l'adaptation de la formule SANTOSS dans CROCO permet d'atteindre cet objectif pour la migration normale à la côte de la barre de déferlement, à condition que l'hydrodynamique, soit reproduite avec précision et qu'une séparation entre les formulations de charriage liée aux vagues et de transport en suspension liée au courant soit imposée. L'application de ce modèle à une configuration réaliste, la plage du Truc Vert lors de la campagne ECORS'2008 (SENECHAL *et al.*, 2011), a également été simulée. Celles-ci permettent d'évaluer le modèle dans un contexte 3D avec une bathymétrie et des forçages réalistes. Les résultats sont encourageants en reproduisant qualitativement le redressement de la barre subtidale suite à une série de tempêtes majeures. Cependant, un effort de recherche est encore souhaitable pour améliorer les paramétrisations vers une meilleure imbrication des processus 3D liés aux vagues et aux courants.

Mots-clés :

Morphodynamique des plages sableuses, Processus sédimentaires, Simulation numérique.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

1. Introduction

Le travail présenté dans cet article s’inscrit dans le cadre du projet stratégique MEPELS (Modèle d’Evolution des Plages et Environnements Littoraux Sableux) piloté par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Dans cette contribution nous évaluons la capacité du modèle CROCO (WARNER *et al.*, 2008 ; MARCHESIELLO *et al.*, 2015) à reproduire la dynamique de migration des barres d’avants-côtes dans la phase d’érosion, correspondant à des vagues énergétiques caractéristiques des périodes de tempêtes, et d’accrétion, correspondant à des vagues de faibles énergies caractéristiques des périodes de calme entre les tempêtes. Pour cela nous avons implémenté la formule SANTOSS pour le transport de sables par les vagues et les courants (VAN DER A *et al.*, 2013). Ce travail fait l’objet d’un article en cours de publication (SHAFIEI *et al.*, 2022) et une version synthétique est présentée ci-après.

Le manuscrit est organisé de la manière suivante, dans la section 2 l’adaptation numérique de la configuration LIP11D (ROELVINK & RENIERS, 1995) est présentée et dans la section 3, les résultats hydrodynamiques et morphodynamiques sont présentés.

2. Configuration numérique des expériences LIP11D

Dans cette section, les conditions initiales et aux limites ainsi que les paramètres numériques des simulations sont présentés. Les cas LIP1b (érosion) et LIP1c (accrétion) des expériences LIP11D (ROELVINK & RENIERS, 1995) sont utilisés pour évaluer et valider le modèle. Les expériences LIP1b et LIP1c sont menées séquentiellement, ce qui signifie que la bathymétrie finale de LIP1b est la bathymétrie initiale de LIP1c. Le domaine numérique a une longueur de 201 mètres et une profondeur d'eau de 4,1 mètres. Le diamètre médian du sable est $d_{50} = 0.22$ mm, la densité du sable $\rho_s = 2650$ kg/m³, la densité de l'eau $\rho_f = 1000$ kg/m³, et la vitesse de chute $W_s = 25$ mm/s (calculée à l'aide de la formule de Soulsby). Les conditions aux limites des vagues, y compris la hauteur H_s , la période T_p , le nombre de Dean ($\Omega = H_s/W_s T_p$) et la durée d’application de chaque condition sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1. Conditions aux limites des vagues (H_s et T_p), nombre de Dean et durée des expériences LIP1b et LIP1c.

| Paramètres | LIP1b | LIP1c |
|-------------------|--------------|--------------|
| H_s [m] | 1,4 | 0,6 |
| T_p [s] | 5 | 8 |
| Ω [-] | 11.2 | 3 |
| Durée [heure] | 18 | 13 |

Le domaine numérique est discrétisé en utilisant une grille uniforme avec une résolution horizontale de 1,5 m, un choix optimal selon une analyse de sensibilité (non montré). Les

gradients *longshore* sont négligés, donc il n'y a qu'une seule cellule de grille dans cette direction. Les coordonnées sigma sont utilisées sur la verticale avec 20 couches sur la verticale ; par conséquent, les hauteurs des cellules dans la région profonde et autour de la barre sont d'environ 21 cm et 5 cm respectivement.

3. Résultats

Dans un premier temps, le modèle hydrodynamique est calibré, le modèle sédimentaire est inactif et des bathymétries intermédiaires (c'est-à-dire la bathymétrie après 8h pour les cas LIP1b et 7h pour LIP1c) sont utilisées. Les meilleures valeurs de paramètres sont choisies comme celles qui fournissent la meilleure comparaison modèle-données à la fois en utilisant la valeur RMS normalisée et qualitativement à travers les graphiques présentés dans la figure 1. Dans cette figure, le panneau supérieur compare les profils verticaux de vitesse, le panneau central montre le profil transversal de H_{rms} et du *set-up* des vagues et le panneau inférieur montre la vitesse près du fond (à 10 cm au-dessus du lit). Cette figure est obtenue en utilisant $\gamma_b = 0.4$, $B_b = 0.6$ et $\alpha_r = 1.5$ où $\gamma_b = H_{rms}/h$ représente le paramètre de déferlement (H_{rms} = Hauteur des vagues et h = profondeur), B_b est un paramètre empirique du modèle de dissipation d'énergie des vagues due au déferlement et α_r est un paramètre du modèle de rouleaux. La rugosité du fond du côté au large et près de la plage (par rapport à la barre à est fixée à $z_0 = 0,002$ et $0,01$ m respectivement. Sur le côté au large de la barre dans LIP1b ($60 < x < 100$), les vagues incidentes sont déjà sous l'influence du fond et commencent à déferler. Par conséquent, la hauteur des vagues diminue au fur et à mesure que les vagues se propagent vers le rivage et la vitesse près du fond (utilisée comme un indicateur du courant de retour) est significative. D'autre part, dans la région au large pour le cas LIP1c, les vagues incidentes ne sont pas assez grandes pour commencer à déferler. Par conséquent, la hauteur des vagues, la surcote due aux vagues et le courant de retour ne sont pas affectés dans cette région. Au-dessus de la barre, un fort courant de retour est généré dans les deux cas (plus fort dans LIP1b). Ceci est dû au fort déferlement sur la barre qui transfère la quantité de mouvement et provoque également une baisse de la hauteur et de la surcote des vagues. Puisque LIP1b a plus de quantité de mouvement incidente, une plus grande partie de celle-ci est transférée sur la barre que dans le cas LIP1c, conduisant à un plus grand gradient de pression cross-shore et à un courant de retour plus fort. Le modèle prédit bien la hauteur et la configuration des vagues dans les deux cas. Le courant de fond est également assez bien prédit, mais les résultats sont plus sensibles aux paramètres de déferlement des vagues, comme nous allons le montrer. Du côté terre de la barre, dans les deux cas, les changements hydrodynamiques sont généralement moins importants. Le courant de retour et la hauteur des vagues ont tendance à diminuer alors que surcote augmente, bien que la présence d'une terrasse peu profonde, commençant à environ $x=160$ m, génère un point de rupture secondaire. Le modèle suit la tendance observée, mais il semble sous-estimer le courant de retour, particulièrement dans le cas LIP1b. Dans le cas

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

LIP1c, le modèle montre un maximum de courant de retour secondaire associé au point de rupture secondaire, qui est absent dans l'expérience. Cela peut refléter un manque de synopticit  dans les mesures, les courants ayant été mesurés à des moments différents correspondant à des bathymétries différentes, ou un problème de modélisation dans la région peu profonde (par exemple, une surestimation de la formation des vagues).

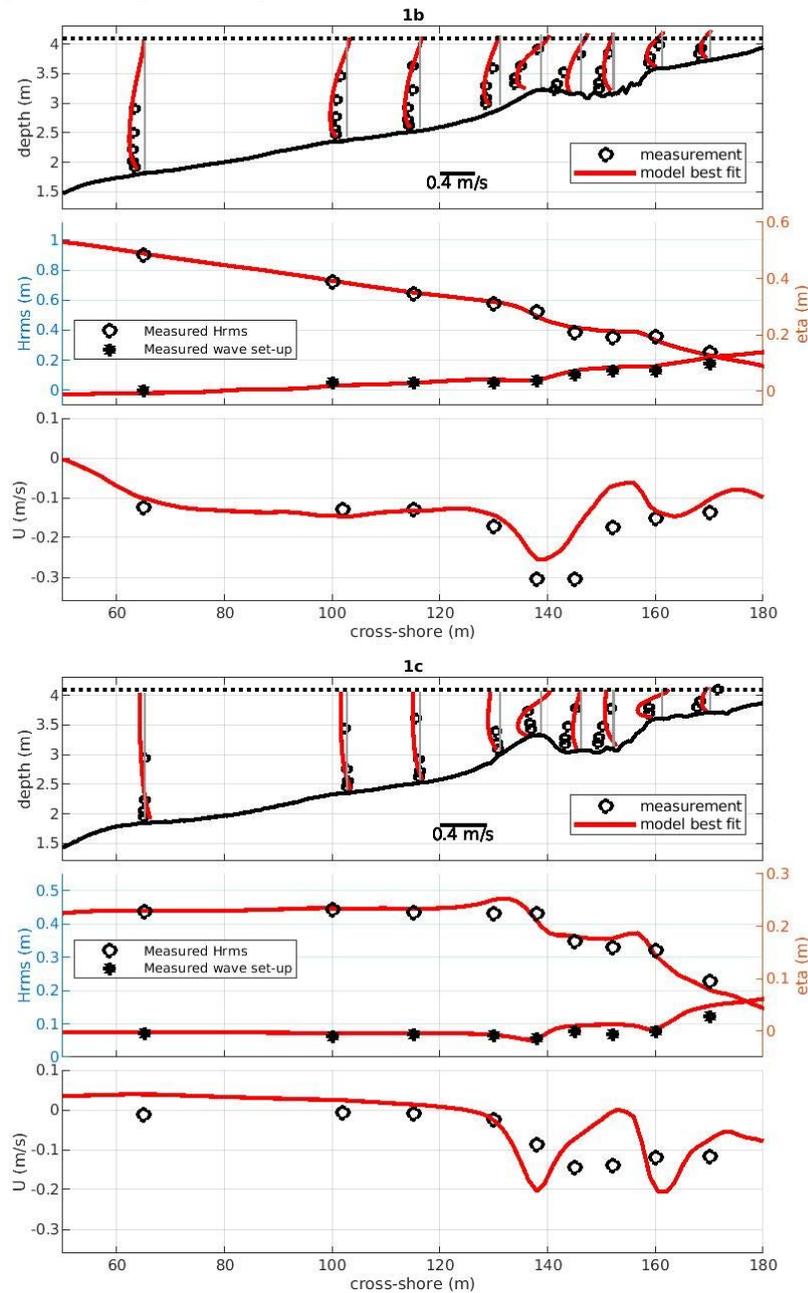


Figure 1. Comparaison modèle-données des profils de vitesse cross-shore, de la hauteur des vagues H_{rms} , du set-up des vagues et du courant de retour (undertow) en utilisant les paramètres optimum pour LIP1b et LIP1c.

Comme on peut l'observer, le courant de retour est sous-estimé dans le cas LIP1b et surestimé dans le cas LIP1c. Bien que les résultats de chaque cas puissent être améliorés en calibrant les paramètres de déferlement des vagues indépendamment, c'est le meilleur résultat que nous avons pu obtenir après de nombreux tests utilisant les mêmes paramètres pour les deux cas. Il faut rappeler que le manque de synopticit  dans les mesures est une autre source d'erreur (due au mouvement de la barre pendant la mesure). Dans les expériences LIP, chaque profil de vitesse est mesuré à différentes heures de la houle alors que nous avons déterminé la bathymétrie en utilisant le profil du lit mesuré au milieu de l'expérience. Par exemple, l'activation du modèle de transport de sédiments, renforce la vitesse près du fond à -0.29 m/s après 5 heures du temps initial (la même heure de vague à laquelle la mesure est effectuée). Cela modifiera le meilleur choix des paramètres de déferlement des vagues. Bien que certaines études présentent les résultats de la simulation selon l'heure de la vague correspondante de chaque profil vertical (par exemple, MARCHESIELLO *et al.*, 2022)), nous présentons nos résultats obtenus au milieu de la période de simulation car ils sont suffisamment satisfaisants.

Une fois le modèle vagues-courant calibré, nous avons effectués une étude de sensibilité aux paramètres empiriques du modèle de transport de sédiments. Nous avons obtenu les valeurs suivantes pour le taux d'érosion E_0 et le facteur de charriage $fbld$: $E_0=0,02$ kg/m²/s et $fbld=0,8$. Le facteur de charriage est un paramètre empirique par lequel on multiplie le flux de sable prédit par la formule SANTOSS. Les résultats correspondants sont présentés dans la figure 2. Notez que le panneau inférieur illustre les profils de concentration verticale. La migration des barres au large et à terre (LIP1b et LIP1c respectivement) est généralement bien prédite par le modèle. Dans le cas LIP1b, le côté au large de la barre suit le même profil de fond que dans l'expérience, mais le modèle surestime l'accumulation de sable du côté à terre. Ce dépôt excessif de sable se traduit par une surestimation de la concentration de sable près du fond. Cette surestimation apparaît également dans le cas LIP1c à la fois sur la barre et sur la terrasse. Une des raisons pour cette erreur peut être le manque de synopticit  dans les données. Par exemple, dans LIP1b, la concentration près du fond (5 cm au-dessus du lit)   $x = 138$ m diminue de 6,9 g/l (figure 2(a))   3,6 g/l lorsqu'on la considère à 5 h de l'état initial (la même heure de vague à laquelle la concentration est mesurée). Cependant, dans des conditions de faible énergie, une autre raison pourrait être la surestimation du courant de retour (résultant de la surestimation de la hauteur des vagues), en particulier dans les eaux peu profondes de la terrasse, qui augmente la contrainte de cisaillement du lit et le flux d'érosion E_s .

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

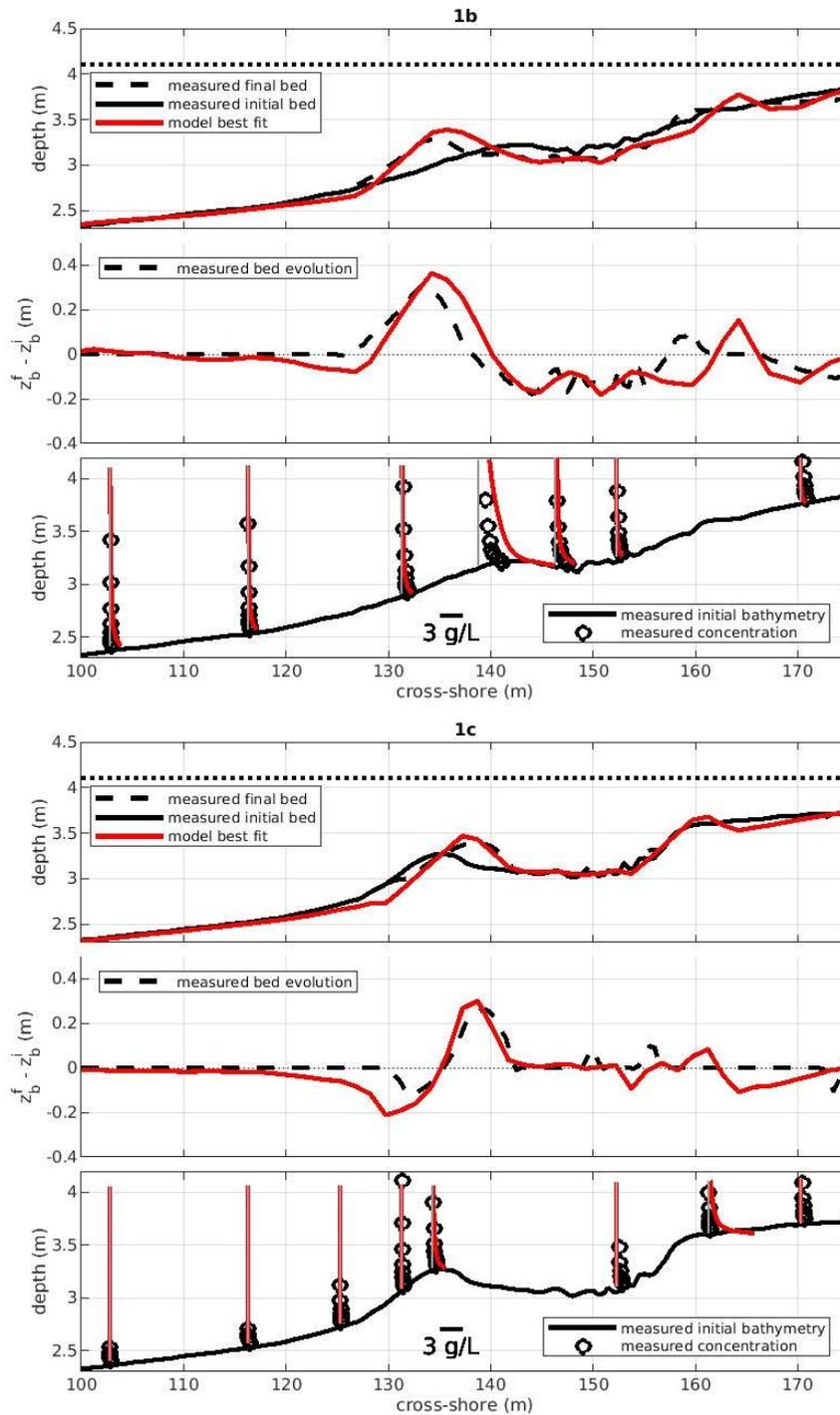


Figure 2. Simulations morphodynamiques pour LIP1b (a) et LIP1c (b), le panneau supérieur montre le niveau du lit pour le modèle et les données dans les états initial et final ; le panneau du milieu montre la différence entre les niveaux initial et final du lit. Différence entre les niveaux de lit initial et final, enfin le panneau inférieur présente les profils de concentration de sable à différentes positions cross-shore.

4. Conclusions

En résumé, l'objectif de ce travail a été d'évaluer la capacité d'un modèle 3D à vagues moyennées à prédire la migration vers la terre ou vers le large de la barre de déferlement dans des conditions de tempête et de post-tempête en utilisant le même jeu de paramètres. Nous montrons que l'implémentation de SANTOSS dans CROCO permet d'atteindre cet objectif, à condition que l'hydrodynamique soit, reproduite avec précision et que les formulations de charriage liée aux vagues et de flux d'érosion liée au courant soient supposées indépendantes (cet objectif est atteint en adaptant la formulation de SANTOSS). Comme perspective majeure de ce travail, le modèle sera appliqué à l'évolution morphologique d'une plage réelle pour valider le bon comportement observé pour la migration cross-shore des barres sableuses. Des simulations ont été réalisées sur la plage du truc vert (campagne ECORS 2008 SENECHAL *et al.*, 2011). Les résultats préliminaires sont très encourageants et ils seront présentés lors de la conférence.

5. Références bibliographiques

- MARCHESIELLO P., BENSILHA R., ALMAR R., UCHIYAMA Y., MCWILLIAMS J.C., SHCHEPETKIN A.F. (2015). *On tridimensional rip current modeling*, Ocean Modelling, 96 (1), pp. 36-48, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.07.003>
- MARCHESIELLO P., CHAUCHAT J., SHAFIEI H., ALMAR R., BENSILHA R., DUMAS F. (2022). *3D wave-resolving simulation of sandbar migration*. Ocean Modelling, *en cours de révision et d'acceptation*, hal-03345439, version 1.
- ROELVINK J., RENIERS A. (1995). *Lip 11d delta flume experiments: a dataset for profile model validation*. Technical report, Report H2130, Delft Hydraulics, The Netherlands
- SENECHAL N., ABADIE S., GALLAGHER E., MACMAHAN J., MASSELINK G., MICHALLET H., RENIERS A., RUESSINK G., RUSSELL P., SOUS D., TURNER I., ARDHUIN F., BONNETON P., BUJAN S., CAPO S., CERTAIN R., PEDREROS R., GARLAN T. (2011). *The ECORS-Truc Vert'08 nearshore field experiment: Presentation of a three-dimensional morphologic system in a macro-tidal environment during consecutive extreme storm conditions*. Ocean Dynamics, 61, pp. 2073–2098. DOI 10.1007/s10236-011-0472-x
- SHAFIEI H., CHAUCHAT J., BONAMY C., MARCHESIELLO P. (2022). *Adaptation of the SANTOSS transport formula for 3D nearshore models: application to cross-shore sandbar migration*, Ocean Modeling, *en cours de révision et d'acceptation*.
- VAN DER A D.A., RIBBERINK J.S., VAN DER WERF J.J., O'DONOGHUE T., BUIJSROGGE R.H., KRANENBURG W.M. (2013). *Practical sand transport formula for non-breaking waves and currents*. Coastal Engineering, 76:26–42. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.01.007>

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

WARNER J., SHERWOOD C., ARANGO H., SIGNELL R. (2005). *Performance of four turbulence closure methods implemented using a generic length scale method*. *Ocean Modelling* 8, 81-113. DOI: 10.1016/J.OCEMOD.2003.12.003