

Etude de la dynamique du runup par modélisation lors d'un épisode de tempête

Emilie WOUSSEN ¹, Nadia SENECHAL ¹, Alexandre NICOLAE LERMA ²,
Hannah POWER ³, Paula GOMES DA SILVA ⁴, Vincent MARIEU ¹

1. Université de Bordeaux, UF Sciences de la Terre et Environnement, UMR CNRS 5805 EPOC, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, CS 50023, 33615 Pessac, France.
emilie.woussen@u-bordeaux.fr
2. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Pessac, France.
3. University of Newcastle, Australia.
4. University of Cantabria. IHCantabria. Spain.

Résumé :

L'objet de ce travail est d'étudier par approche numérique, l'impact du raidissement d'une barre sableuse externe au cours d'un épisode de tempête sur les statistiques du runup R2%. En effet, généralement considéré comme dépendant de paramètres environnementaux simplifiés (e.g pente de la plage etc.), le runup semble dépendre de paramètres plus complexes (e.g configuration de la barre pré-littorale).

Dans les environnements présentant des profils de plage à barre, un raidissement et un déplacement vers le large des barres sableuses peuvent être observés lors des événements très énergétiques comme les tempêtes et l'impact de ce changement morphologique sur le runup n'a jusqu'à présent pas été documenté.

Le modèle numérique SWASH à résolution de phase a été utilisé pour étudier cet impact. Pour cela on s'est appuyé sur des données de terrain acquises au cours d'une tempête ayant eu lieu les 9 et 12 Mars 2008 au large de la plage du Truc Vert (projet ECORS, Gironde, France). Au cours de cet événement, la barre externe de la plage, présentant initialement des formes de croissants, s'est linéarisée et a reculé de 100 m. Plusieurs simulations ont été effectuées à partir de différentes conditions de houle observées lors de cet épisode (montante – apex – descendante) et de différentes configurations bathymétriques simulant le raidissement de la barre externe et son déplacement vers le large.

Le rôle majeur du changement de la morphologie sur les valeurs statistiques du runup (e.g R2%) n'a pas pu être démontré pour les conditions de houle et de marée modélisées. A l'avenir, une modélisation de conditions de houle et de configurations bathymétriques différentes serait susceptible de confirmer ces résultats.

Mots-clés :

Runup, Variations bathymétriques, Modèle SWASH, Plage dissipative, Conditions de tempête.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

1. Introduction

Le runup est défini comme la position, variable dans le temps, atteinte par la ligne d'eau au niveau de l'estran. Celui-ci est généralement décomposé en deux parties : le setup (η), correspondant à une surélévation du niveau moyen de l'eau à la ligne d'eau et le swash (S), la position instantanée de la ligne d'eau. Le swash peut également être divisé en deux bandes fréquentielles : incidente et infragravitaire (HUGHES & BALDOCK, 2020). La bande incidente, dite des ondes courtes (INC), est caractérisée par des fréquences supérieures à 0.05/0.04 Hz soit des périodes inférieures à 20 ou 25 s. La bande infragravitaire, celle des ondes longues (IG), est caractérisée par des fréquences comprises entre 0.004 et 0.04 Hz, et des périodes comprises entre 20 et 250 s. De nombreuses études ont étudié les paramètres impactant les phénomènes de runup et de swash. Parmi ces derniers, il y a notamment les conditions de houle, la pente de plage et le type de plage. En effet, les ondes infragravitaires sont dominantes dans le swash sur les plages à pente douce, dite dissipatives. Les ondes courtes, quant à elles sont dominantes sur les plages intermédiaires et réfléchives (pente forte). Dans cette étude nous explorons à travers différentes simulations numériques, l'impact de différents facteurs environnementaux tels que les conditions de houle, de marées et la forme et position des barres pré-littorale sur le R2%. L'analyse porte également sur le rapport (INC/IG) soit la proportion en ondes infragravitaires pendant un événement de tempête en tenant compte d'un raidissement progressif de la barre externe.

2. Matériels et méthodes

Cette étude s'appuie sur une tempête ayant eu lieu du 9 au 12 mars 2008 à la plage du Truc Vert. (TVB) Cette plage est caractérisée par une barre interne généralement de type Transverse Bar and Rip selon la classification de Wright and Short (1984) et une barre externe avec une morphologie 3D complexe, en forme de croissant d'une gamme étroite de longueurs d'onde d'environ 700 m (ALMAR *et al.*, 2009).

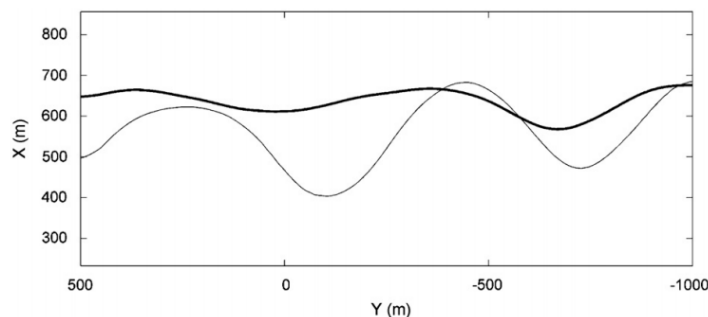


Figure 1. Position numérisée par vidéo de la crête de la barre du TVB le 8 mars (ligne fine) et le 13 mars (ligne épaisse), respectivement, avant et après la tempête (ALMAR *et al.*, 2010).

Durant la tempête, cette barre subtidale a vu sa configuration changer en passant d'une configuration en forme de croissant à une configuration linéaire (ALMAR *et al.*, 2010) (voir figure 1).

2.1 Bathymétries générées

Afin d'évaluer l'impact de la bathymétrie sur les processus de run-up, trois bathymétries avec des configurations de barre externe différentes (avant - pendant - après la tempête) ont été créées sous MATLAB, à partir des données collectées lors d'un relevé effectué par le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine) avant l'évènement énergétique.

Bathymétrie idéalisée d'avant tempête

Des zones ont été sélectionnées sur la bathymétrie afin de prélever des morphologies caractéristiques de barres externe et interne naturelles (rectangles blancs sur la figure 2). Ces morphologies ont été superposées à un profil de plage pour générer une plage barrée de type low tide terrace, avec des longueurs d'onde respectivement de 630 m et 380 m pour les barres externes et internes, proches des longueurs d'onde observées par CASTELLE *et al.*, (2007), de respectivement 700 m et 400 m. Cette morphologie idéalisée de la barre interne est utilisée pour toutes les bathymétries générées dans cette étude.

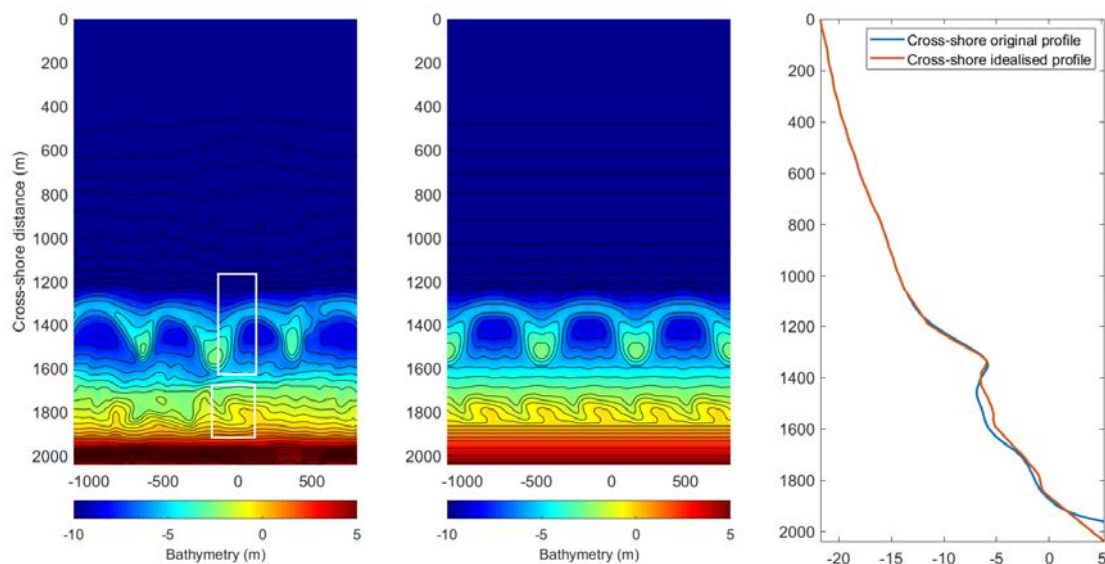


Figure 2. Bathymétrie originale (à gauche), bathymétrie idéalisée (au milieu) et comparaison du profil transversal moyen (à droite).

Bathymétries intermédiaire (pendant tempête) et linéaire (après tempête)

Comme indiqué précédemment, lors de la tempête, la barre externe a connu une évolution morphologique et un déplacement, passant d'une configuration en croissant

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

(réflective) à une configuration linéaire (dissipative, ALMAR *et al.*, 2010). Cette linéarisation de la barre externe a été effectuée, comme pour la bathymétrie idéalisée, à l'aide d'une fenêtre (rectangle blanc supérieur sur la figure 3c). Le recul de la barre externe a par la suite été effectué à l'aide d'une bathymétrie sans barre afin d'obtenir la bathymétrie avec une barre externe linéarisée et reculée (figure 3d). Enfin, une dernière bathymétrie a été générée pour laquelle l'amplitude des croissants (distance entre l'extrémité des cornes et des baies) a été réduite (figure 3e).

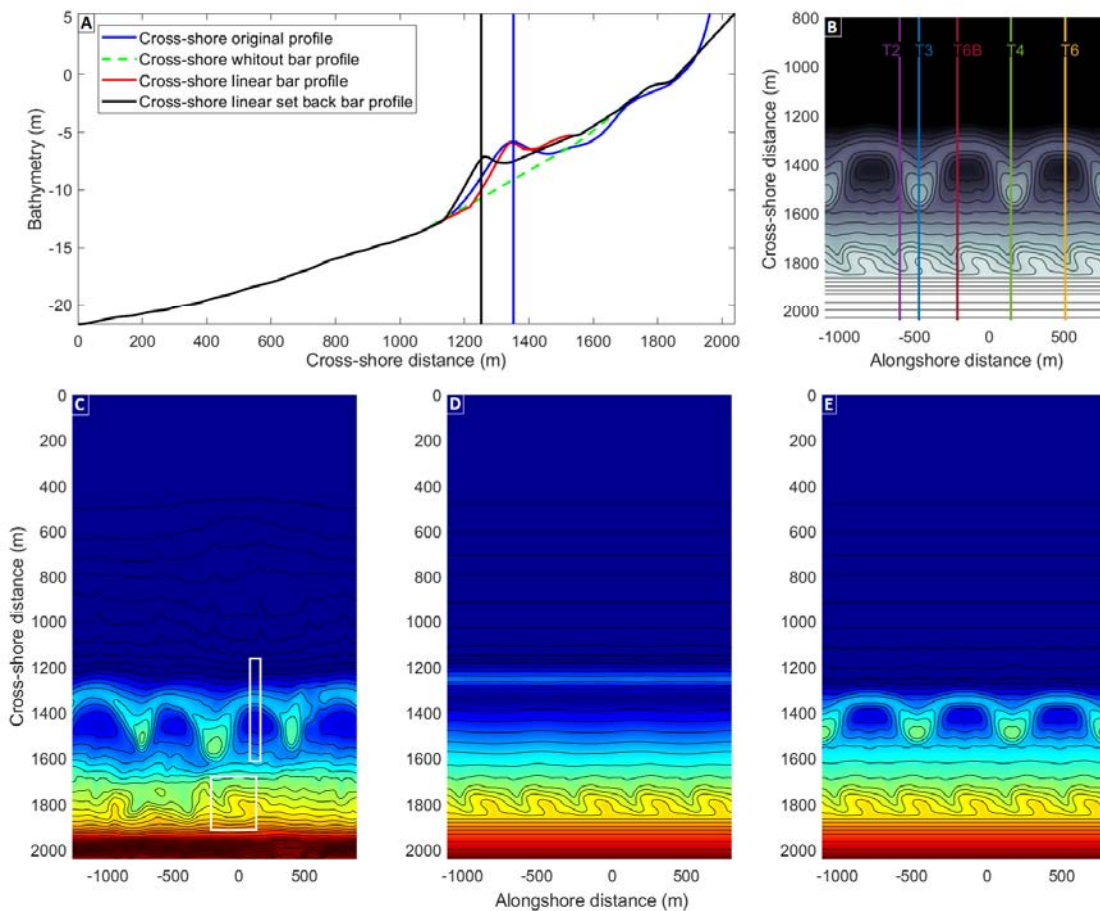


Figure 3. Comparaison des profils transversaux moyens (a), positions de transects exemples appartenant aux différents groupes (b) et les bathymétries originale (c), à barre linéaire reculée (d), intermédiaire (e).

2.2 Le modèle SWASH

Cette étude est basée sur une paramétrisation du modèle SWASH telle que proposée dans NICOLAE LERMA *et al.* (2017). Cette paramétrisation a été développée à partir des observations réalisées sur ce site lors de la tempête simulée. Une seule configuration du modèle a été retenue pour cette étude : un modèle 2D à 2 couches pour un maillage fixe de résolution 2 m. La série temporelle d'élévation de surface a été générée à partir

des paramètres de hauteur significative, de période et de direction des vagues au large sur des cycles de 15 minutes respectant une distribution de type JONSWAP aléatoires. Les simulations sont réalisées sur 27 minutes simulées afin de permettre de générer un cycle complet après initialisation et stabilisation de la simulation.

A partir de 3 conditions de houle identifiées lors de la tempête de 2008 (montante – apex – descendante). Les différentes paramétrisations modélisées dans cette étude sont récapitulées dans le tableau 1 et ont été réalisées pour 2 niveaux d'eau (L1 niveau moyen et L2 marée haute de mortes eaux).

Tableau 1. Différentes situations de simulation.

<i>Conditions</i>		<i>Montante</i>		<i>Apex</i>		<i>Descendante</i>	
		<i>H1 (m)</i>	<i>Tp1 (s)</i>	<i>H2 (m)</i>	<i>Tp2 (s)</i>	<i>H3 (m)</i>	<i>Tp3 (s)</i>
		5.0	14.0	7.0	18.1	4.9	16.2
<i>Bathymétries</i>	<i>Idéalisée</i>	<i>RUN2</i>		<i>RUN1</i>		<i>RUN3</i>	
	<i>Intermédiaire</i>			<i>RUN4</i>			
	<i>Linéaire</i>					<i>RUN5</i>	

Afin de mettre en évidence les variations de runup le long de la plage, plusieurs transects ont été choisis correspondant à un alignement transversal à la plage de configurations de barres internes et externes différentes. Pour la barre externe, tous les transects du groupe *horns* ont été positionnés là où la barre externe forme une corne (exemple en vert sur la figure 3b). Pour le groupe *bays*, là où la barre forme une baie (en jaune) et pour le groupe *inter*, pour des états intermédiaires entre baie et corne (en violet). En ce qui concerne la barre interne, les transects du groupe *bar* passent sur la barre interne (en bleu) et les transects du groupe *rip* sur les chenaux des courants d'arrachement (en rouge).

2.3 Analyses des données

Pour tous les transects, des analyses spectrales et statistiques ont été effectuées. Concernant l'analyse spectrale, les spectres de densités spectrales (PSD) des séries temporelles des différents transects ont été estimées à l'aide de la méthode Welch. Le signal de runup a ainsi été découpé en 3 fenêtres de 15 minutes qui se chevauchent à moins de 66%. Les pourcentages de la proportion infragravitaire (Ruig) sur le runup total (RuhT) ont été moyennés sur 3 fenêtres (Ruig/RuhT). Concernant l'analyse statistique, le R2% de chaque transect a été estimé à partir des séries chronologiques.

3. Résultats et discussion

3.1 Effet de la houle

La figure 4 montre le R2% moyen atteint pour les 5 groupes définis précédemment, pour différentes conditions de houle et de bathymétries, à niveau d'eau moyen (L1) et à marée haute (L2). Pour les deux situations tidales, les runs 1 et 4 (bleu et violet respectivement) qui ont des conditions de houles similaires, ont des valeurs de R2% équivalentes (autour de 2.5 m), suggérant que le niveau de la marée ainsi que la diminution des amplitudes des cornes n'ont qu'un impact limité sur le runup. Les runs avec des conditions de houle moins énergétiques (2.3 et 5) affichent des R2% plus faibles que les runs 1 et 4. Le run 2 qui a une hauteur de vague similaire aux runs 3 et 5 mais une période inférieure à eux, a quant à lui une moyenne de R2% inférieure, avec une valeur autour de 1.7 m contre 2.2 m pour les autres. Ces 5 runs montrent que l'amplitude des vagues (pour les runs 1 et 4 comparés aux runs 2, 3 et 5) et la fréquence des vagues (pour le run 2 comparé aux runs 3 et 5) sont des facteurs qui contrôlent les processus de runup en accord avec les résultats de GUZA *et al.*, 1985.

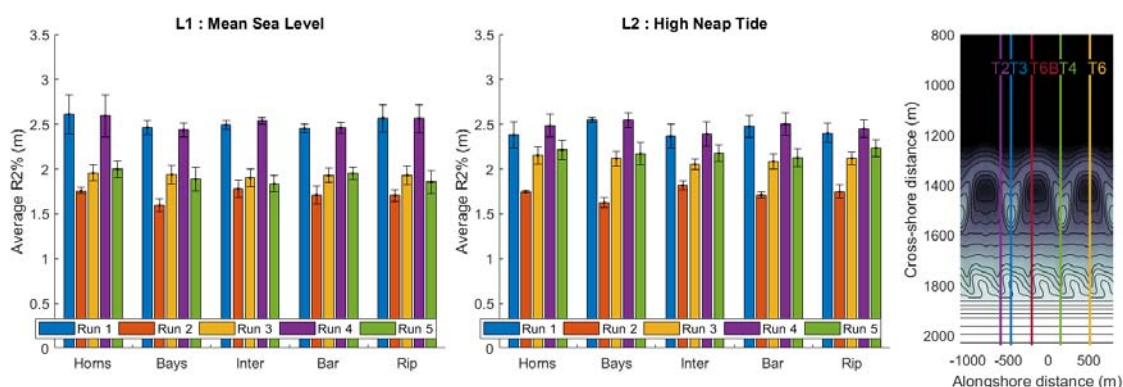


Figure 4. R2% moyen des 5 groupes (horns, bays, inter, bar et rip) pour les 5 runs, pour la situation L1 (à gauche) et la situation L2 (au milieu) et les positions de transects exemples appartenant aux différents groupes (à droite). Violet : Exemple du groupe Inter ; bleu : bar ; rouge : rip ; vert : horns ; jaune : bays.

3.2 Effet sur les ondes infragravitaires

Les pourcentages de la proportion infragravitaire sur le runup total ont été moyennés sur 3 fenêtres (Ruig/RuhT). Ces moyennes ont été représentées pour les 5 groupes et les 5 runs, pour les 2 situations tidales sur la figure 5.

Pour la situation L1/niveau moyen (à gauche sur la figure 5), les runs 1 et 4 ont des proportions en ondes IG plus élevées (environ 68%) par rapport aux cas moins énergétiques (runs 2, 3 et 5) qui ont des hauteurs de vagues de 5 m et des périodes de 14 et 16 s. La plus petite proportion d'IG, avec une moyenne d'environ 58%, est observée pour le run 2. Pour la situation L2/marée haute de mortes eaux, les proportions d'ondes

IG pour les runs 3 et 5 ont augmenté et les runs 1, 3, 4 et 5 ont des proportions égales autour de 68%. Le run 2 présente toujours les proportions les plus faibles. Les proportions en ondes IG dans le signal total de runup (visibles sur la figure 5) sont en accord avec la dominance de ce type d'ondes pour les plages dissipatives (e.g. HUGUES *et al.*, 2014, SENECHAL *et al.*, 2018).

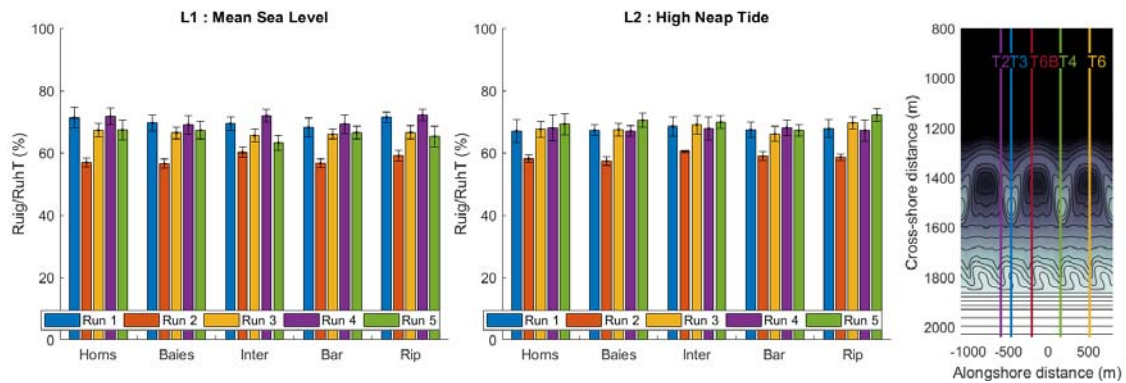


Figure 5. Proportions d'ondes IG (moyenne des fenêtres de Ruig/RuHT) en % pour tous les groupes et tous les runs pour L1 (gauche) et L2 (milieu) et les positions de transects exemples appartenant aux différents groupes (à droite).

Ceci est confirmé par la figure 6 qui montre les proportions d'IG représentées en fonction des R2% moyens. En effet, le R2% augmente avec la proportion d'ondes IG dans le runup total et montre ainsi que le R2% est principalement déterminé par l'énergie infragravitaire.

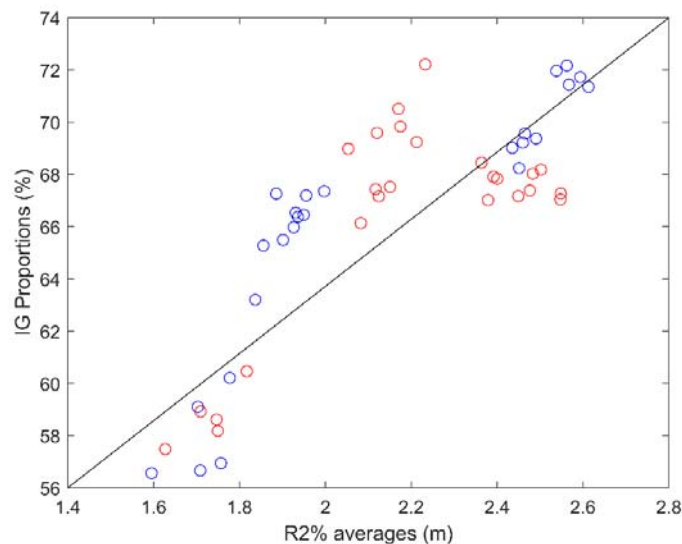


Figure 6. Les proportions d'ondes IG en fonction des R2% moyens, pour tous les runs, tous les groupes et pour les deux situations tidales. Les cercles bleus représentent la situation L1 et les cercles rouges représentent la situation L2.

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

3.3 Effet de la marée

Les runs 1 et 4, qui présentent des conditions très énergétiques et les moyennes de R2% les plus élevées (figure 4), montrent les plus grandes proportions d'IG, en particulier pour la situation 1, niveau moyen (Figure 5). La marée ne semble pas avoir un impact significatif pour ces conditions très énergétiques, probablement parce que la zone de surf s'étend loin au large pour ces deux cas. Cependant, dans des conditions de houle moins énergétiques de $H_s = 5$ m et $T_p = 14$ s, entre les deux situations de marée, les runs 3 et 5 ont des moyennes de R2% (de 1.9 m à 2.2 m) (figure 4) et des proportions IG qui augmentent légèrement (d'environ 65% à 69%) (figure 5). Ces observations sont en contraste avec celles de GUEDES *et al.* (2015) qui ont observé sur les plages barrées soumises à la marée, des statistiques de runup pouvant augmenter d'un facteur 2 pendant la marée basse en raison des vagues déferlantes ou non sur la crête de la barre. Il serait donc intéressant d'évaluer les proportions d'IG et les variations des moyennes de R2% sur un autre niveau de marée.

3.4 Effet de la bathymétrie

Pour montrer l'influence des morphologies de la barre externe et de la barre interne, 5 groupes ont été générés sur les 11 transects originaux. Les différences de R2% moyens sur la figure 4 entre les runs avec les mêmes conditions de houle n'étaient pas significatives. Pour les runs 1 et 4, cela pourrait être lié à la façon dont les bathymétries ont été générées (voir 2.1). Peut-être que la variation d'amplitude des croissants (distance entre l'extrémité des cornes et des baies) entre les runs 1 (bathymétrie idéalisée) et 4 (bathymétrie intermédiaire) était trop faible pour avoir un impact sur les R2% moyens. Il serait donc intéressant de reculer de 50 m la barre externe avec des cornes raccourcies comme sur l'observation vidéo. Pour les runs 3 et 5, les bathymétries étaient très différentes (bathymétrie idéalisée vs linéaire). Cependant, aucune variation significative de R2% n'est observée. Cela pourrait être dû au fait que les conditions de houle ne sont pas assez énergétiques pour être sensibles aux changements de la morphologie de la barre extérieure. En effet, SENECHAL *et al.* (2011) ont montré que l'élévation du runup vertical laissait apparaître une saturation pour des hauteurs de vague au large, supérieure à 6 m. Le dernier point important à noter pour cette étude est la variabilité inter-groupe. Une des limites de l'analyse porte sur les différences entre les différents membres d'un même groupe. En effet, la variabilité inter-groupe peut s'expliquer par le fait que tous les transects d'un même groupe ne sont pas tous exactement les mêmes que ce soit au niveau de la barre externe ou de la barre interne (présence de barres et de chenaux).

4. Conclusions

Cette étude a permis d'étudier l'influence de différents paramètres, comme les conditions de houle, les ondes IG, la marée et les variations de bathymétrie sur les processus de runup en utilisant le modèle SWASH. Malgré le fait que le runup soit dominé par la composante IG, cette étude a révélé de plus faibles proportions en IG que les études précédentes sur les observations in situ. Enfin, dans les conditions d'expérience réalisées, un contrôle sur le runup associé à la position ou la forme de la barre externe, n'a pas pu être mis en évidence. Il ressort que les paramètres classiques tels que les conditions de houle au large (hauteur et période) ou le niveau d'eau permettent de mieux comprendre la variabilité du runup même sur une plage avec un système à double barre comme reproduit ici. Toutefois il conviendrait d'approfondir cette étude numérique, certaines études suggérant à partir d'observations que le paramètre morphologique pourrait avoir une influence significative.

5. Références bibliographiques

- ALMAR R., CASTELLE B., RUESSINK G., SENECHAL N., BONNETON P., MARIEU V. (2009). *High-frequency video observation of two nearby double-barred beaches under high-energy wave forcing*. 1706-10.
- ALMAR R., CASTELLE B., RUESSINK G., SENECHAL N., BONNETON P., MARIEU V. (2010). *Two- and Three-Dimensional Double-Sandbar System Behaviour under Intense Wave Forcing and a Meso-Macro Tidal Range*. *Continental Shelf Research* 30, no 7: 781-92. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.02.001>
- CASTELLE B., BONNETON P., DUPUIS H., SENECHAL N. *Double Bar Beach Dynamics on the High-Energy Meso-Macrotidal French Aquitanian Coast: A Review*. *Marine Geology* 245, no 1-4 (2007): 141-59. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.001>
- GUEDES, R. M. C., BRYAN K. R., COCO G., et HOLMAN R. A. (2011). *The Effects of Tides on Swash Statistics on an Intermediate Beach*. *Journal of Geophysical Research* 116, no C4: C04008. <https://doi.org/10.1029/2010JC006660>
- GUZA R. T., THORTON E. B., HOLMAN R. A. (1985). *Swash on Steep and Shallow Beaches*. *Coastal Engineering* 1984, 708-23. <https://doi.org/10.1061/9780872624382.049>
- HUGHES M G., AAGAARD T, BALDOCK T E., POWER H E. (2014). *Spectral Signatures for Swash on Reflective, Intermediate and Dissipative Beaches*. *Marine Geology* 355: 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.05.015>
- HUGHES M G., BALDOCK T. E. (2020). *The Swash Zone*. In *Sandy Beach Morphodynamics*, 155-86. Elsevier: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00008-4>.
- NICOLAE LERMA A., PEDREROS R., ROBINET A., SENECHAL N. (2017). *Simulating Wave Setup and Runup during Storm Conditions on a Complex Barred Beach*. *Coastal Engineering* 123 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.01.011>

Thème 1 – Hydrodynamique marine et côtière

SENECHAL N., COCO G., PLANT N., BRYAN K R., BROWN J., MACMAHAN J.H.M. (2018). *Field Observations of Alongshore Runup Variability Under Dissipative Conditions in the Presence of a Shoreline Sandwave*. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 123, no 9: 6800-6817. <https://doi.org/10.1029/2018JC014109>