

Couplage vagues-morphodynamique du littoral par principe de minimisation

Présentée par Ronan Dupont
le 30 septembre 2024

Sous la direction de Frédéric BOUCHETTE
et Bijan MOHAMMADI

Devant le jury composé de

M. YATES
E. I. TURKI
P. MARCHESIELLO
C. CHOQUET
M. ERSOY
F. BOUCHETTE
B. MOHAMMADI

Chargée de Recherches, HDR
Maîtresse de conférences, HDR
Directeur de recherche, HDR
Professeure
Maître de conférences, HDR
Professeur
Professeur

École des Ponts, LHSV
Univ de Normandie
IRD, LEGOS
Univ de La Rochelle
Université de Toulon
Univ de Montpellier
Univ de Montpellier

Rapporteuse
Rapporteur
Examinateur
Examinaterice
Examinateur
Directeur de thèse
Directeur de thèse



Motivations

- Comprendre et anticiper les phénomènes du littoral comme l'érosion.
- Contribuer à l'avancée de la modélisation numérique côtière.
- Développer un outil pour l'ingénierie côtière, facilitant la conception de structures côtières.
- Explorer une nouvelle manière de penser la dynamique du littoral.



Figure 1: Illustration à Gouville-sur-Mer en février 2020. © Radio France - Lucie Thuillet

Sommaire

- 1 Comment construire un modèle de dynamique des plages sableuses par minimisation ?
- 2 Vers un modèle morphodynamique

- 1 Comment construire un modèle de dynamique des plages sableuses par minimisation ?
- 2 Vers un modèle morphodynamique

Quelle quantité doit évoluer ?

Fond marin ψ



Figure 2: Plage de l'Espiguette

Quelle quantité minimiser ?

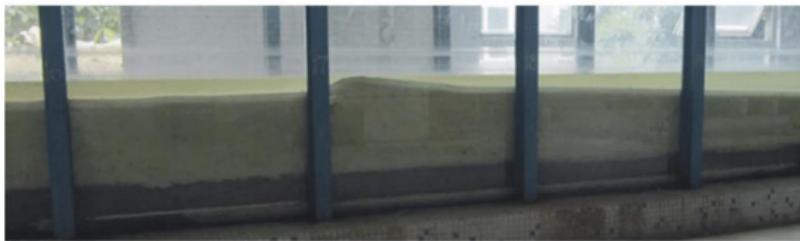


Figure 3: Under impact of waves - Li Yan et al. (2019)

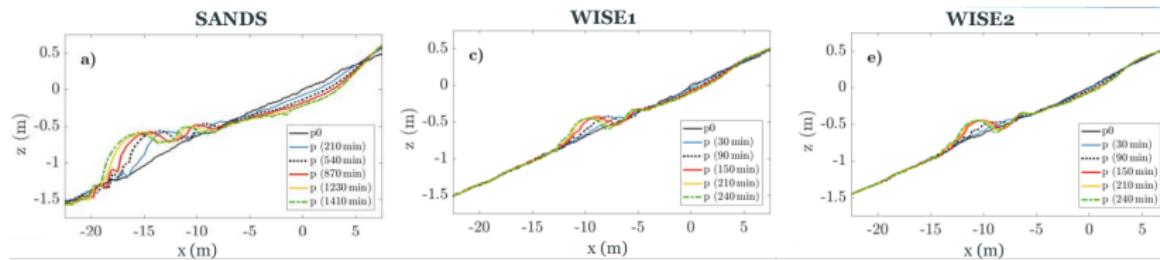


Figure 4: Evolution of beach profiles under erosive (left panels) wave conditions in SANDS, WISE 1 and WISE 2 at selected time steps. - Sonja Eichentopf et al. (2018)

Quelle quantité minimiser ?

Comparison of Wave Energy E_H between the beginning and the end of the experience

$$l_i \approx 0.9 l_f$$

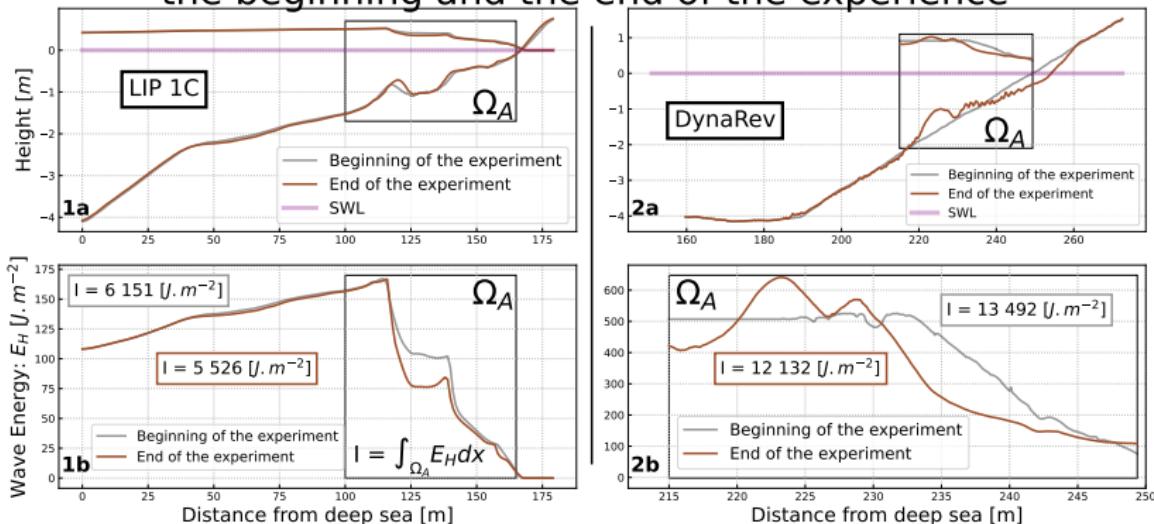


Figure 5: 1) Expérience LIP 1C avec H généré par XBeach. 2) Expérience DynaRev avec H mesuré par LIDAR. a) Fond et Hauteur d'eau moyennée au début de l'expérience (gris), Fond et Hauteur d'eau moyennée à la fin de l'expérience (marron). b) Énergies des vagues associées aux hauteurs d'eaux. L'énergie est calculée sur Ω_A .

Quel fond minimise l'énergie des vagues ?



Quel est le fond ψ minimisant l'énergie des vagues ? $\min_{\psi} \mathcal{J}$?

Un "fond possible"...

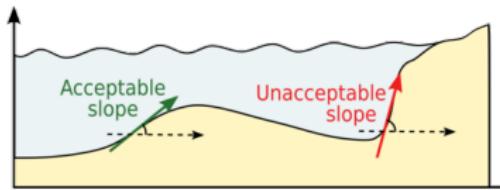


Image provenant d'un photomontage.

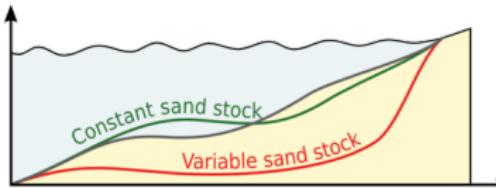
Cette solution satisfait $\min_{\psi} \mathcal{J}$.

Ajout de contraintes

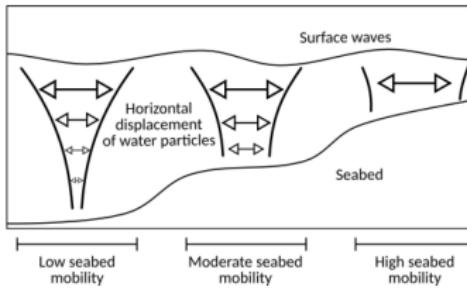
- Pente maximale:



- Conservation sableuse:



- Excitation sableuse:



- 1 Comment construire un modèle de dynamique des plages sableuses par minimisation ?
- 2 Vers un modèle morphodynamique

Présentation du modèle
Validité du modèle

- 1 Comment construire un modèle de dynamique des plages sableuses par minimisation ?
- 2 Vers un modèle morphodynamique

Présentation du modèle
Validité du modèle

Workflow et quelques notations

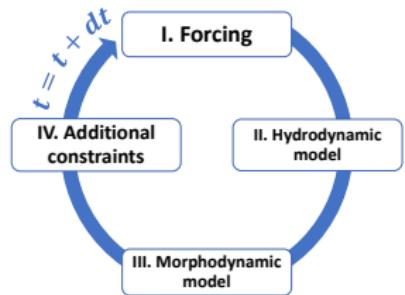


Figure 6: Premier workflow.

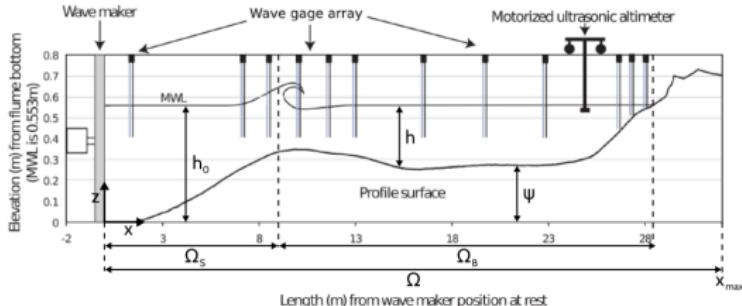


Figure 7: Notations usuelles sur l'expérience Copter.

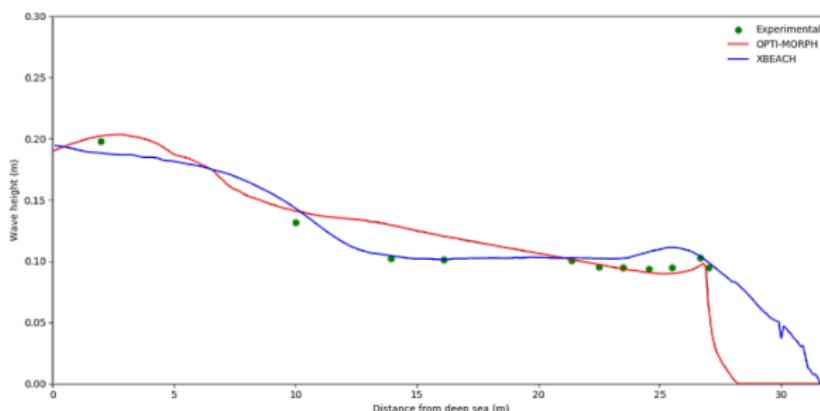
- Paramètres numériques: Δx , Δt , T_f .
- Paramètres géométriques: ψ_0 , Ω , h_0 , β .
- Modèle hydrodynamique: $H_0(t)$, $T_0(t)$, γ .
- Modèle morphodynamique: Υ .

Modèle de vagues

Complexified Shoaling model:

Cook (2021)

$$H(x, t) = \begin{cases} [(1 - \alpha(x))H_0(t) + \alpha(x)H_0^w(x, t)] K_S(x, t) & \text{if } x \in \Omega_S \text{ and } x < d_w \\ H_0^w(x, t)K_S(x, t) & \text{if } x \in \Omega_S \text{ and } x \geq d_w \\ \gamma h(x, t) & \text{if } x \in \Omega_B \end{cases}$$



Paramètres:

- $H_s = 135 \text{ mm}$
- $T_0 = 2.5 \text{ s}$

Figure 8: Comparaison de la hauteur moyenne des vagues lors d'une simulation de tempête sur l'expérience Copter. Cook (2021).

Modèle morphodynamique

Équation gouvernante:

$$\begin{cases} \psi_t = \Upsilon \Lambda d \\ \psi(t=0) = \psi_0 \end{cases}$$

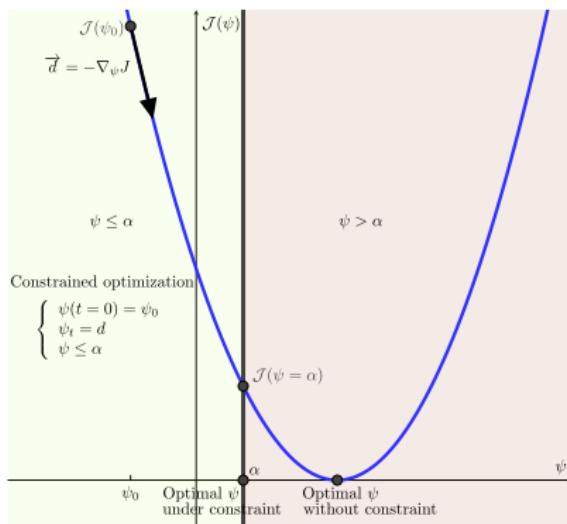


Figure 9: Descente du gradient sous contrainte α .

- ψ_t : l'évolution en temps du fond sableux (m.s^{-1}),
- Υ : la mobilité sédimentaire (m.s.kg^{-1}),
- Λ : l'excitation du fond sableux par les vagues,
- d : la direction de descente indiquant la manière dont le fond sableux varie. Sans contrainte, $d = -\nabla_{\psi}\mathcal{J}$,
- $\mathcal{J}(\psi, t) = \frac{1}{16} \int_{t-T_{coupl}}^t \int_{\Omega_S} E_H(x, \tau) dx d\tau$.

Ajout de contraintes

- Excitation sableuse. D'après (Soulsby, 1987):

$$\begin{aligned}\varphi : \quad \Omega \times [0, h_0] &\longrightarrow \mathbb{R}^+ \\ (x, z) &\longmapsto \frac{\cosh(k(x)(h(x) - (h_0 - z)))}{\cosh(k(x)h(x))},\end{aligned}$$

et en $z = \psi$:

$$\Lambda(x) = \varphi(x, \psi(x)) = \frac{1}{\cosh(k(x)h(x))}.$$

- Pente maximale:

$$\left| \frac{\partial \psi}{\partial x} \right| \leq M_{\text{slope}}.$$

- Conservation sableuse:

$$\int_{\Omega} \psi(t, x) dx = \int_{\Omega} \psi_0(x) dx \quad \forall t \in [0, T_f].$$

Projection de la contrainte de conservation sableuse

On définit:

$$C_{\text{sand}}(t) = \int_{\Omega} (\psi - \psi_0)^2 d\Omega$$

et on veut $\forall t \in [0, T_f]$, $C_{\text{sand}}(t) = 0$.

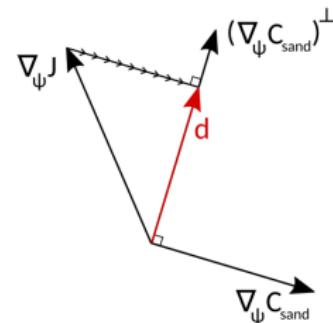


Figure 10: Projection 1D de Gram-Schmidt.

avec donc:

$$d = \nabla_\psi \mathcal{J} - \left\langle \nabla_\psi \mathcal{J}, \frac{\nabla_\psi C_{\text{sand}}}{\|\nabla_\psi C_{\text{sand}}\|} \right\rangle \frac{\nabla_\psi C_{\text{sand}}}{\|\nabla_\psi C_{\text{sand}}\|},$$

et

$$\nabla_\psi C_{\text{sand}}(t) = 2\psi \int_{\Omega} (\psi - \psi_0) dx.$$

- 1 Comment construire un modèle de dynamique des plages sableuses par minimisation ?
- 2 Vers un modèle morphodynamique
 - Présentation du modèle
 - Validité du modèle

Sensibilité sur le pas de temps, pas spatial et la longueur du domaine

On définit l'erreur:

$$\varepsilon_{L^2} = \|\psi_{\text{ref}} - \psi\|_{L^2}.$$

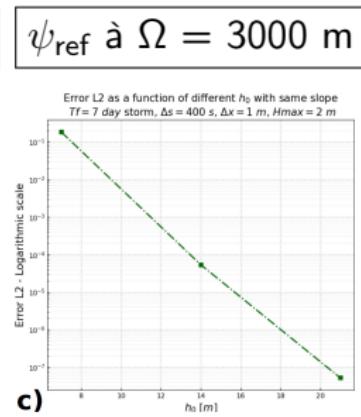
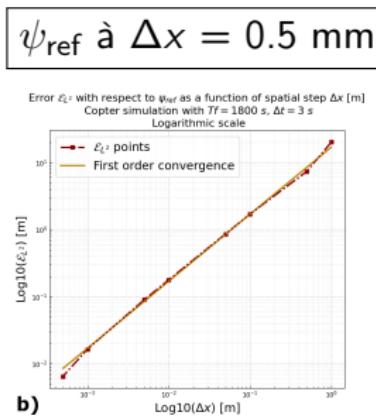
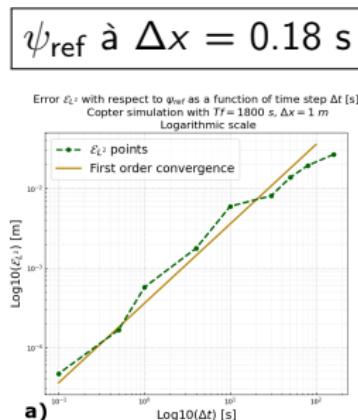


Figure 11: Convergence temporelle avec Δt dans $[0.18, 90]$ s.

Figure 12: Convergence spatiale avec Δx dans $[0.001, 2]$ m.

Figure 13: Convergence sur la taille de domaine avec Ω dans $[600, 3000]$ m avec un fond linéaire et une pente de $1/100$.