

GdR EMR: Journée Hydrolien

28 mars 2017 Caen (France)

Modélisation numérique du transport sédimentaire dans le Raz Blanchard

Feddy ADONG, Anne-Claire BENNIS, Dominique MOUAZE

Laboratoire M2C, Université de Caen, CNRS, UMR 6143

Introduction

Les énergies marines renouvelables (EMR)

- Loi de transition énergétique votée en août 2015
- A l'horizon 2030 porté la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique à 32%

La Normandie: Territoire des EMR

1. Trois des six parcs-éoliens offshore (Courseulles-sur-Mer, Fécamp et Dieppe-Le-Treport).
2. Le premier potentiel hydrolien exploitable commercialement avec le courant de marée du Raz Blanchard.



Figure 1. Les EMR en Normandie

OBJECTIFS

Figure2. Courants barotropes (Previmer)

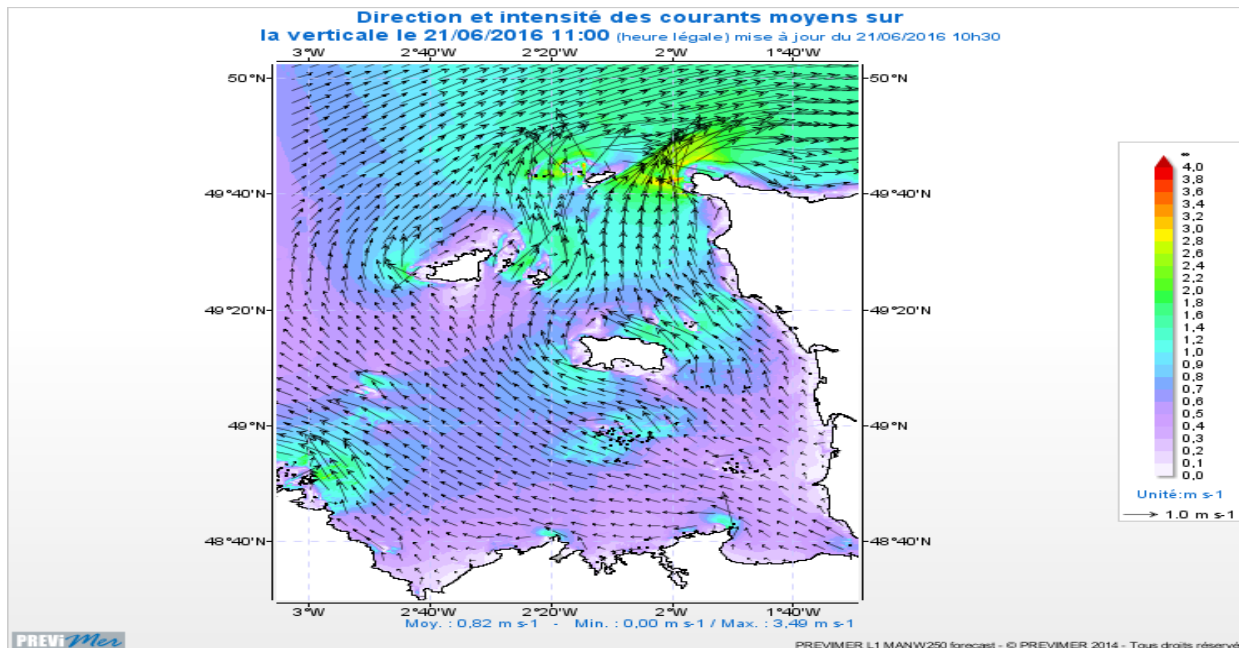
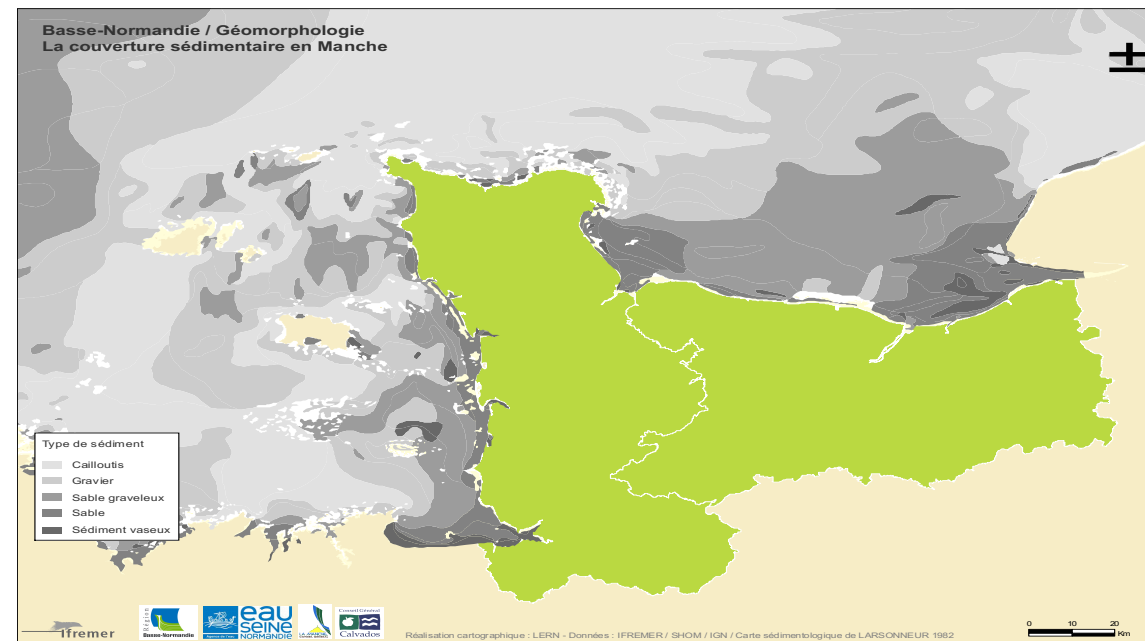


Figure3. Couverture sédimentaire (LARSONNEUR, 1982)



- Minimiser les opérations de maintenance
- Préserver les machines récupératrices d'énergie

Comprendre et estimer l'impact des sédiments sur les structures immergées

1. Méthode continue: Résolution d'une équation de transport

- Déplacement des flux sédimentaires
- Modélise les phénomènes d'érosion ou d'abrasion
- Ne permet pas la retranscription des différents contacts

2. Méthode discrète: Résolution de la seconde loi de Newton

- Étude du déplacement à l'échelle de la particule
- Prise en compte des forces de contact.

MARS3D

IFREMER



YADE

3SR (Grenoble)

- **Modélisation granulaire**
 - Détail des modifications
 - Validation
- **Méthode de forçage**
 - Description
 - Validation sur un cas test idéalisé
- **Application au nord cotentin**
 - Description du domaine et présentation de la bathymétrie
 - Présentation des courants
 - Déplacement des sédiments près du fond
- **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

➤ Suivi Lagrangien:

$$\frac{d^2\vec{x}}{dt^2} = \vec{F}_c + \vec{F}_g + \vec{F}_{f \rightarrow p}$$

- \vec{F}_c : Force de contact
- \vec{F}_g : Force de gravité
- $\vec{F}_{f \rightarrow p}$: Force fluide sur la particule

➤ Module hydroForceEngine (Maurin et al, 2016)

$$\vec{F}_{f \rightarrow p} = \vec{F}_d + \vec{F}_l + \vec{F}_b$$

- \vec{F}_d : Force de trainée,
- \vec{F}_l : Force de portance
- \vec{F}_b : Force de flottabilité

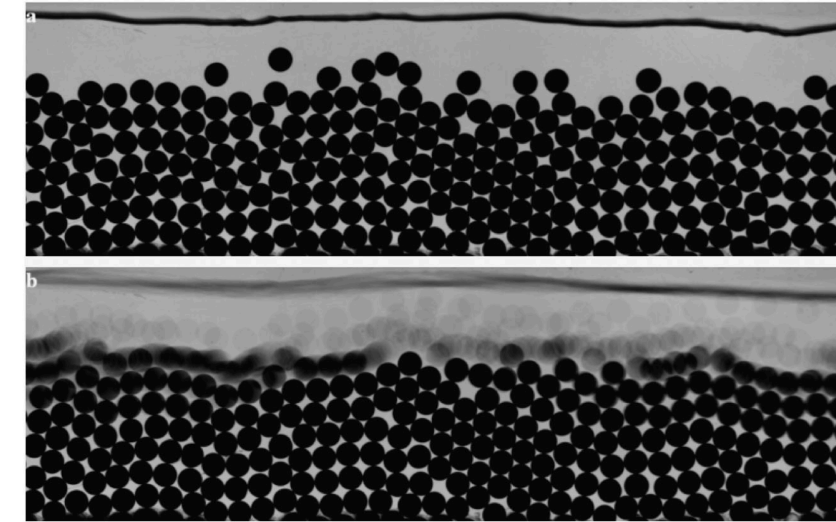
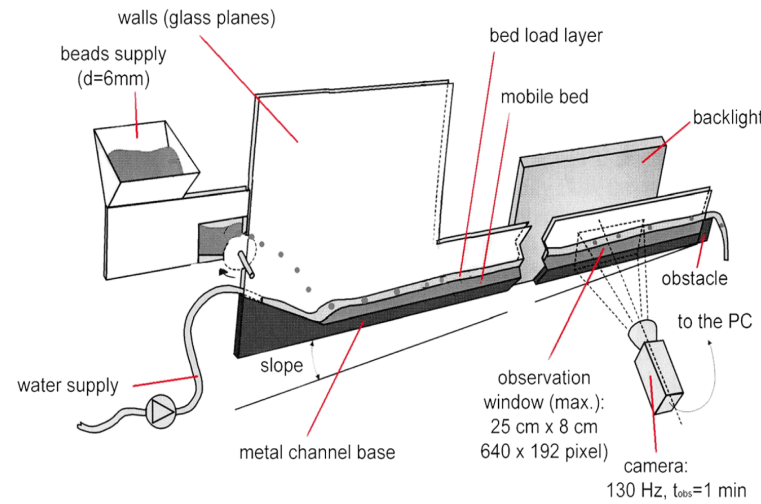


Figure4. Expérience (a) et résultats de (Frey, 2013)

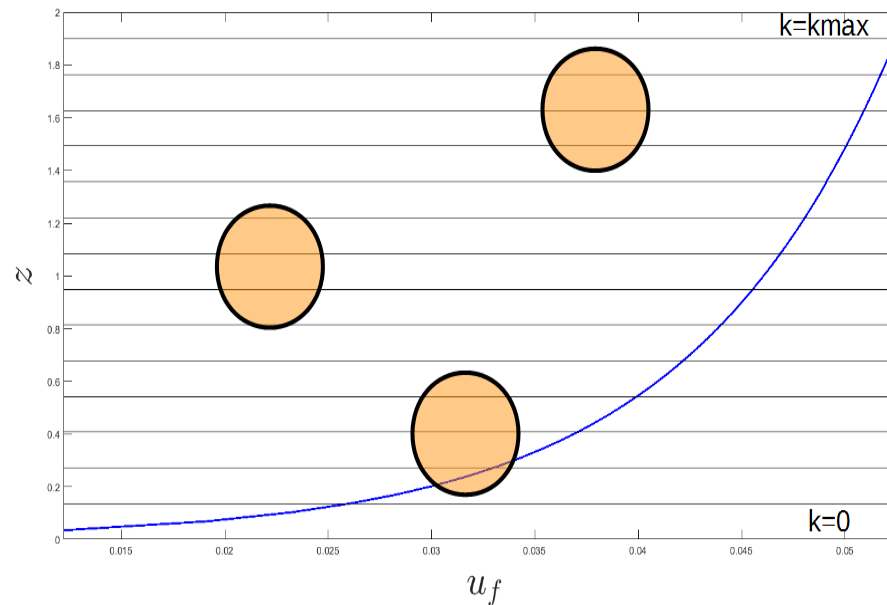


Figure5. Mise en évidence du calcul dans YADE

➤ Limitation du module

1. Ecoulement unidirectionnel.
2. Fond plat.
3. Maillage uniforme.
4. Compensation statistique.

Extension du module

1. Ecoulement 3D

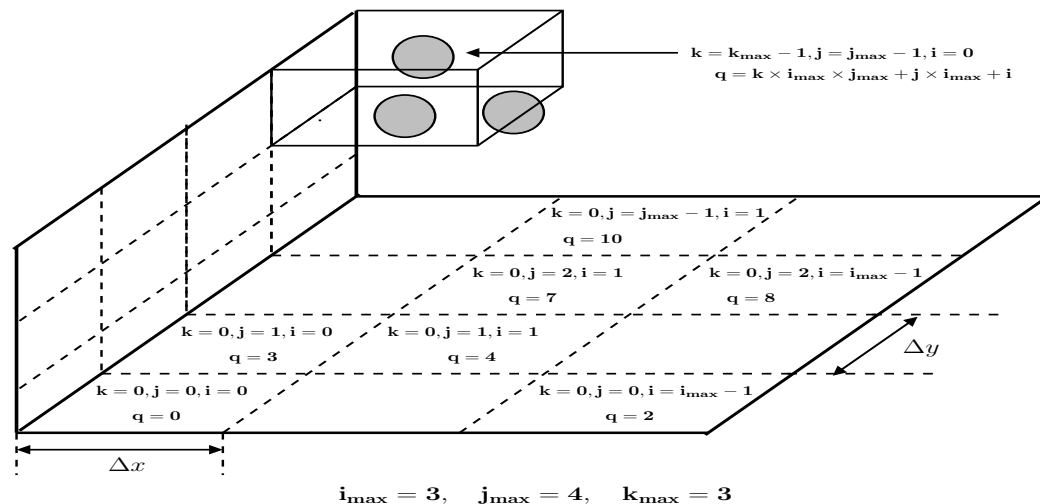


Figure6. Généralisation 3D

Cellule fluide $\leftrightarrow (i, j, k)$

$$q = i_{\max} * j_{\max} * k + j * i_{\max} + i$$

3. Nouvelle expression de la force de trainée (Di Felice, 1994)

But: Prendre en compte les variations du nombre de Reynolds de la particule ainsi que les écoulements à forte et faible concentration de sédiments.

2. Variations bathymétriques et maillage non uniforme

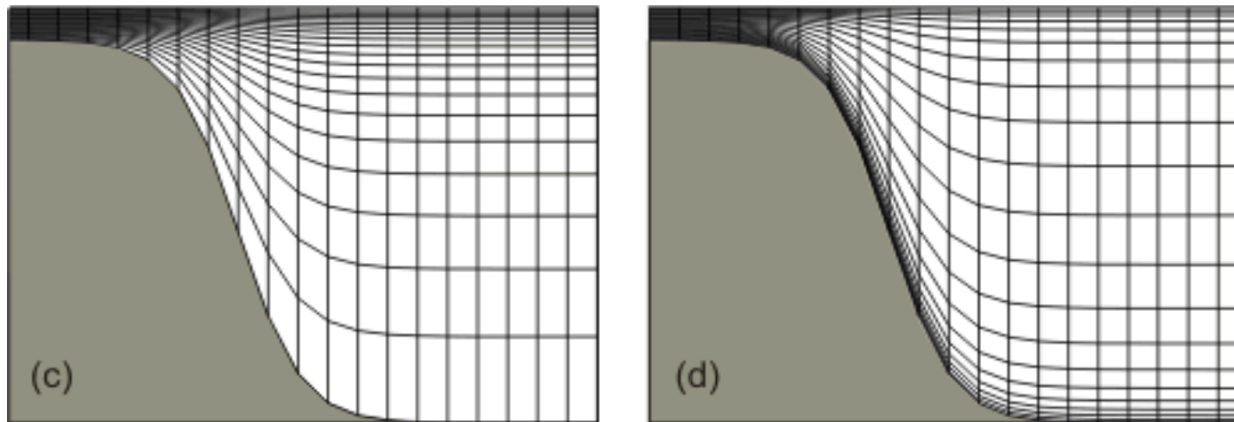
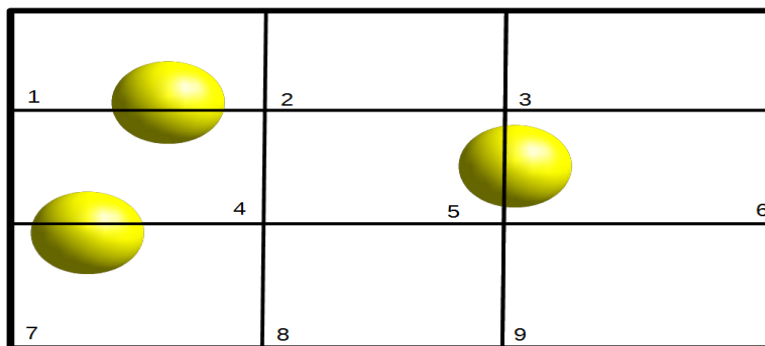


Figure7. Mise en évidence des coordonnées sigma

$$\sigma_w = \frac{z(k) - \eta(n, j, i)}{\text{depth}(j, i) - \eta(n, j, i)}$$

4. Concentration des particules



**Particule
entièrement
comprise dans la
cellule fluide**

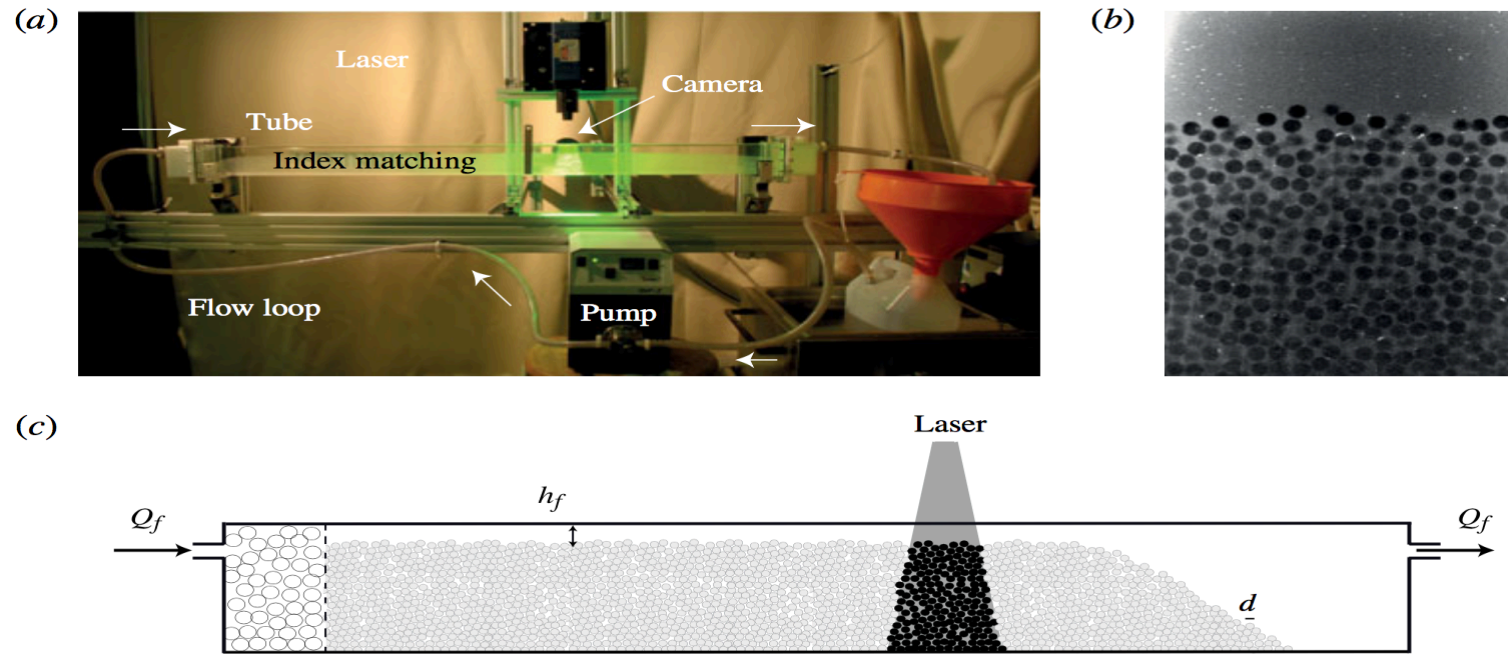


Figure 8. Présentation de l'expérience de (Aussilous et al, 2008): (a) dispositif expérimental, (b) type d'image obtenu en considérant une section du canal et (c) illustration des conditions initiales de l'expérience

Cas	d_p (mm)	ρ_p (Kg·m ⁻³)	ρ_f (Kg·m ⁻³)	μ_f (cP)
A	1.1	2230	1060	320
B	2.04	1190	1070	270

Tableau 1. Paramètres des différents cas

Caractéristiques du canal:

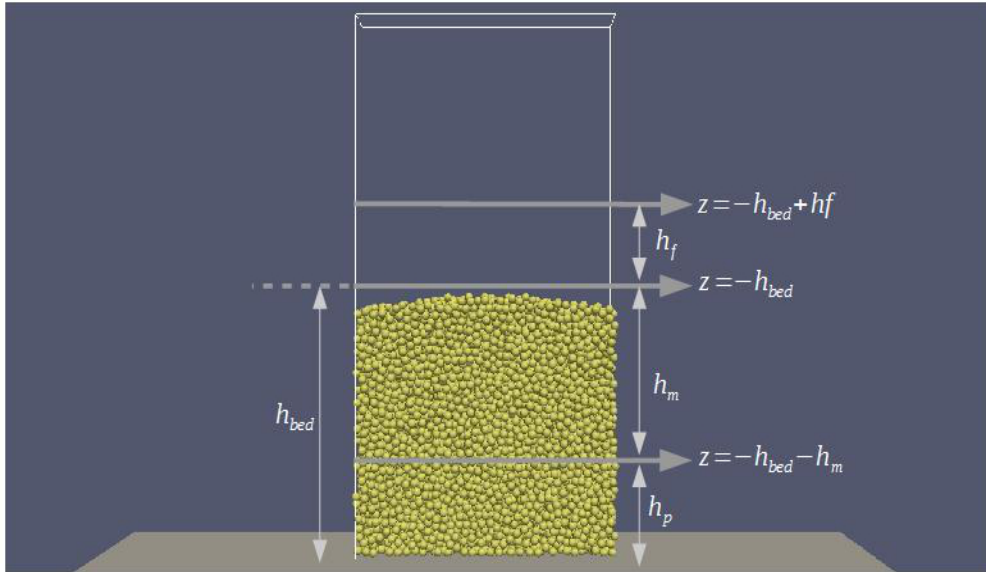
- Tube de verre horizontal
 - Hauteur du tube: 6.5cm
 - Largeur du tube: 3.5cm
 - Longueur du tube: 100 cm

Condition initiale

- Canal partiellement rempli de particules.
- Écoulement généré par imposition du débit à l'entrée.

Modélisation de l'expérience

Figure9. Disposition des particules avant l'action de l'écoulement (vue de face)



- Conditions aux limites: Périodicité suivant le sens de l'écoulement.
- Longueur: 16.5 mm (i.e. 15 dp), largeur: 3.5cm, hauteur 6.5cm.
- Discrétisation
 1. $\Delta x = 16.5 \text{ mm}$,
 2. $\Delta y = \text{largeur}/4$
 3. $\Delta z = 1.1 dp$

➤ Expression analytique de la vitesse fluide

$$u_f(z) = \begin{cases} \frac{1}{2\mu_f} \frac{\partial p}{\partial x} (z - x_e + h_f)(z - x_e) - \frac{u_s}{h_f} (z - x_e), & \text{si } -h_{\text{bed}} \leq z \leq -h_{\text{bed}} + h_f \\ \frac{1}{2\mu_f} \left[\frac{\partial p}{\partial x} + \mu\phi\Delta\rho \right] (z - x_e + h_f + h_m)^2, & \text{si } -h_{\text{bed}} - h_m \leq z \leq -h_{\text{bed}} \\ 0 & \text{si } z \leq -h_{\text{bed}} - h_m \end{cases}$$

- $x_e = -h_{\text{bed}} + h_f$: Limite supérieure du domaine,
- $\partial p / \partial x$: Gradient de pression, calculé à partir de Q_f ,
- ϕ : Fraction solide, supposée constante ~ 0.55 (i.e. $\mu/\mu_f \sim 2.4$),
- $\Delta\rho = \rho_p - \rho_f$: Différence des masses volumiques particule et fluide,.
- u_s : Vitesse en $z = -h_{\text{bed}}$, calculé à partir de h_f et h_m .

Tableau2. Paramètres physiques (run10 et 12)

Cas	run	$Q_f \text{ (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$	$h_f \text{ (cm)}$	$h_m \text{ (cm)}$
A	10	9.7×10^{-6}	1.02	1.51
B	12	2.7×10^{-6}	1.01	2.02

Résultats: comparaison des vitesses des particules

10/25

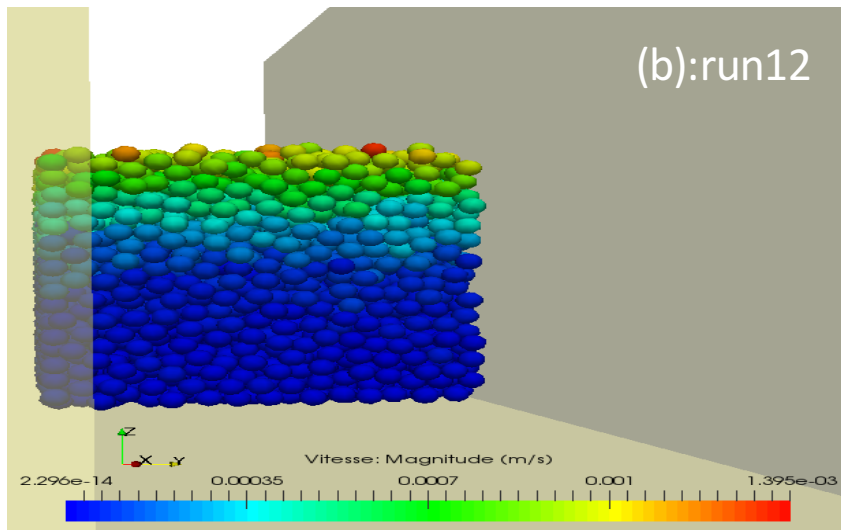
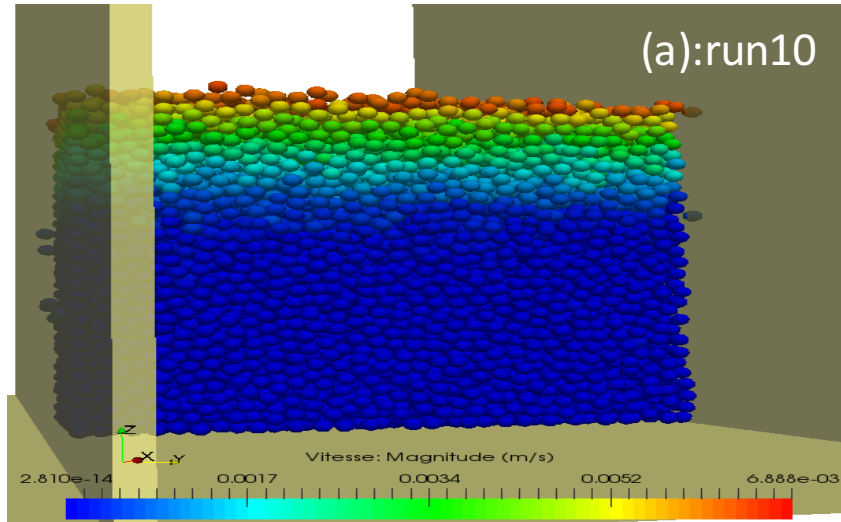


Figure10. Position et vitesse des particules pour le run10 (a) et le run12 (b)

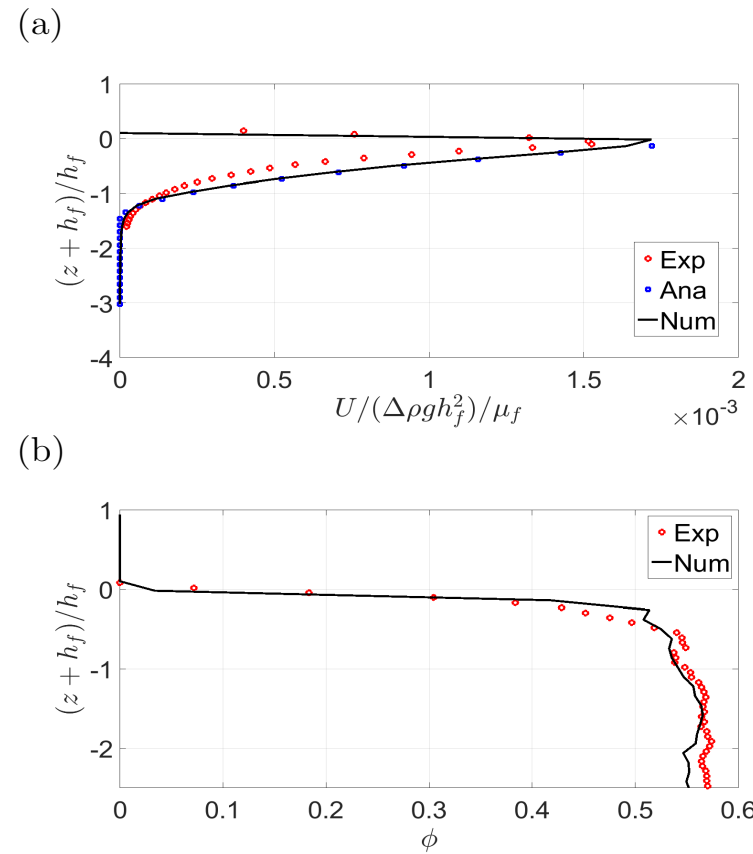


Figure11. **Run10:** Comparaison des profils verticaux expérimentaux (label Exp) et numériques (label Num) de la vitesse des particules (a) et de la fraction solide (b)

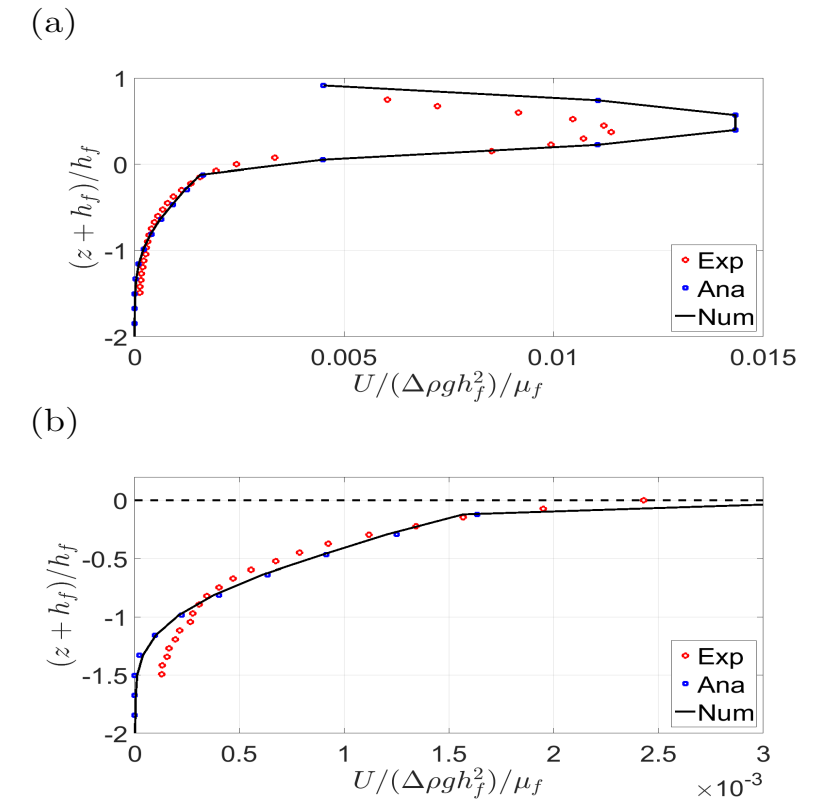


Figure12. **Run12:** Comparaison des profils verticaux expérimentaux (label Exp) et numérique (label Num) de la vitesse des deux phases: (a) variations sur l'intégralité de l'axe vertical, (b) zoom sur la zone de transition fluide-sédiment

- **Modélisation granulaire**
 - Détail des modifications
 - Validation
- **Méthode de forçage**
 - Description
 - Validation sur un cas test idéalisé
- **Application au nord cotentin**
 - Description du domaine et présentation de la bathymétrie
 - Présentation des courants
 - Déplacement des sédiments près du fond
- **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

DESCRIPTION du forçage

➤ MARS3D

1. Equations primitives
 2. Hypothèse hydrostatique et de Boussinesq
 3. AGRIF: Utilisation de grilles de calcul emboîtées qui permet d'affiner la solution numérique dans certaines zones définies par l'utilisateur
- η et h_0 : Calculer σ_w afin de déterminer la cellule fluide associée à une particule.
 - u, v, w : Actualiser la force trainée \vec{F}_d .
 - Actualiser η et (u, v, w) à chaque pas de temps de forçage: Fixé à deux minutes.

➤ Instant t=0s: MARS3D transmet à YADE

1. Bathymétrie h_0
2. Vecteur vitesse (u, v, w)
3. Elévation de la surface libre η

➤ Actualisation des données

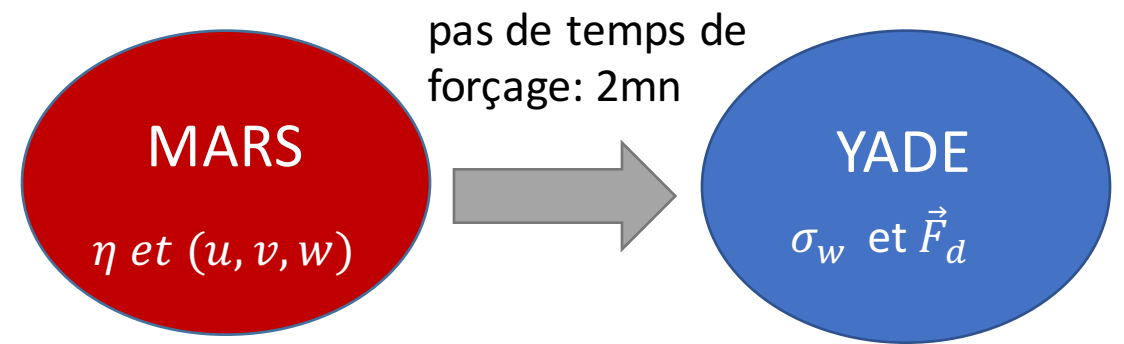


Figure13. Illustration du forçage de YADE par MARS3D

Cas test idéalisé: Ecoulement en présence de deux bosses^{13/25}

➤ Domaine fluide

- Longueur: 750m, $\Delta x = 10m$
- Largeur: 60m, $\Delta y = 10m$
- Profondeur maxi: 30m, 30 niveaux sigma avec raffinement près du fond et à la surface.

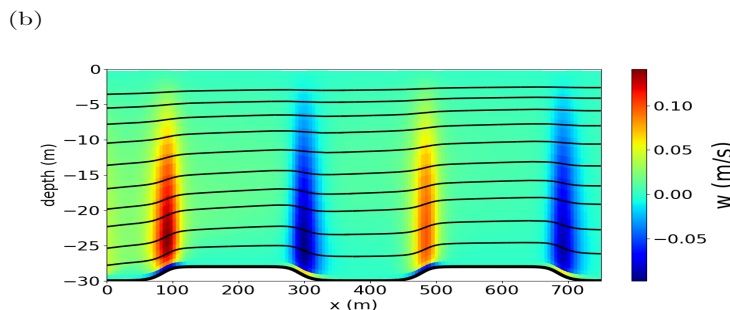
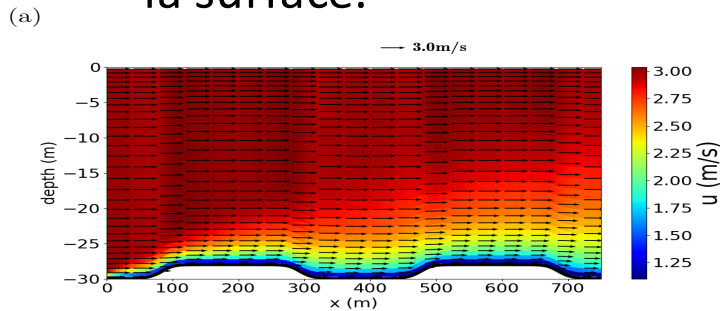


Figure 14. Direction et intensité des courants à l'état stationnaire

➤ Conditions aux limites

- Entrée: vitesse uniforme
 $U_{inlet} = 2m/s$ et $3m/s$.
- Sortie et frontières latérales: Gradient nul

➤ $\Delta t_f = 0.1s$

$$\Delta t_p = 0.5d_p / \sqrt{E/\rho_p}$$

d_p : diamètre des particules

E: module de Young

ρ_p : densité des particules

- Etat stationnaire après 10 minutes (Figure 12).

➤ Propriétés solides

- Deux packs de 5000 particules sphériques en calcaire de rayon compris entre 3mm et 5mm.

X: Direction Sud-Nord.

Y: Direction Ouest-Est.

Z: Direction Fond-Surface.

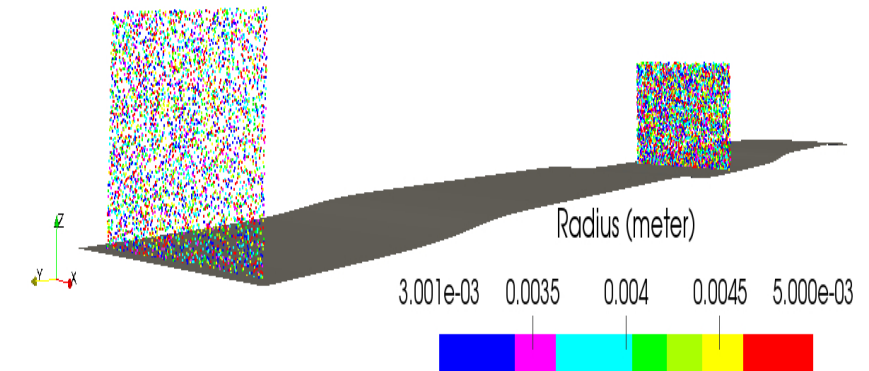


Figure 15. Position initiale et rayon des particules

Cas test idéalisé: Résultats

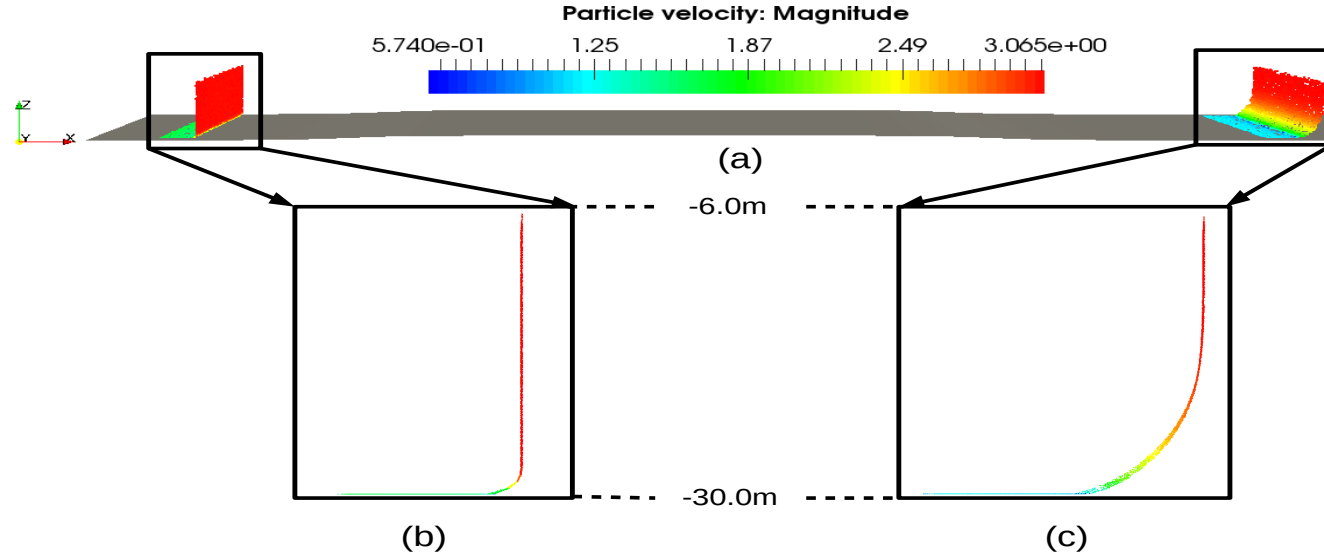


Figure 16. Profil logarithmique de la structure sédimentaire après 10s et pour une vitesse d'entrée de 3m/s

Le déplacement des sédiments près du fond est gouverné par un équilibre entre:

1. Les courants de marée
2. La bathymétrie
3. Les contacts

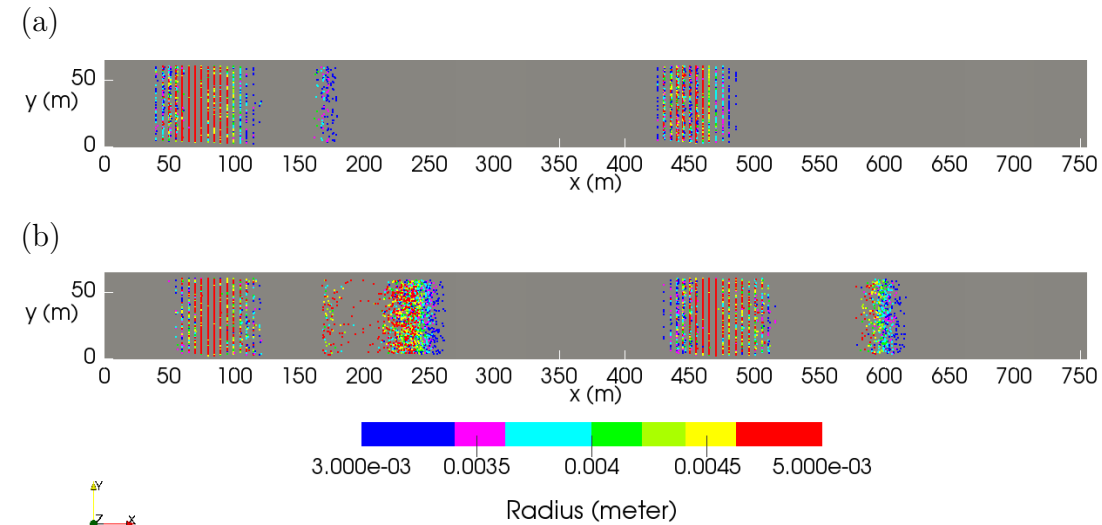


Figure 17. Disposition des sédiments après 125s pour $U_{inlet} = 2\text{m/s}$ (a) et 3m/s (b)

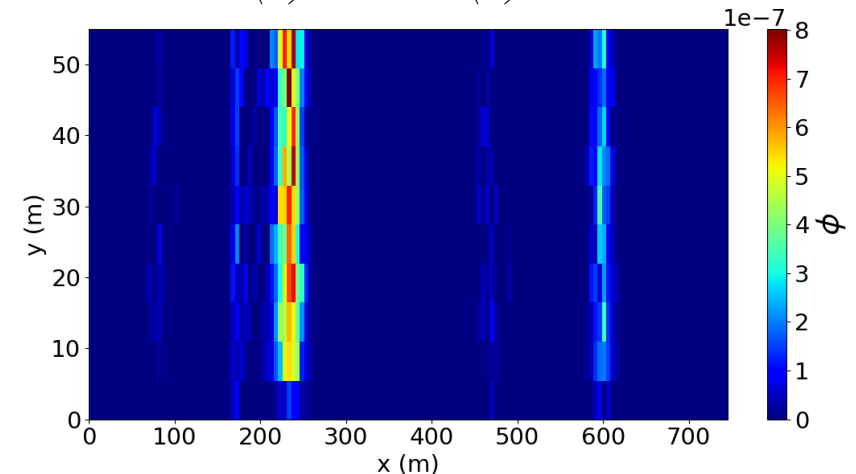


Figure 18. Concentration des sédiments après 125s pour $U_{inlet} = 3\text{m/s}$

- **Modélisation granulaire**
 - Détail des modifications
 - Validation
- **Méthode de forçage**
 - Description
 - Validation sur un cas test idéalisé
- **Application au nord cotentin**
 - Description du domaine et présentation de la bathymétrie
 - Présentation des courants
 - Déplacement des sédiments près du fond
- **CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

Application au Raz Blanchard

Utilisation de la méthode multigrille de MARS (AGRIF)

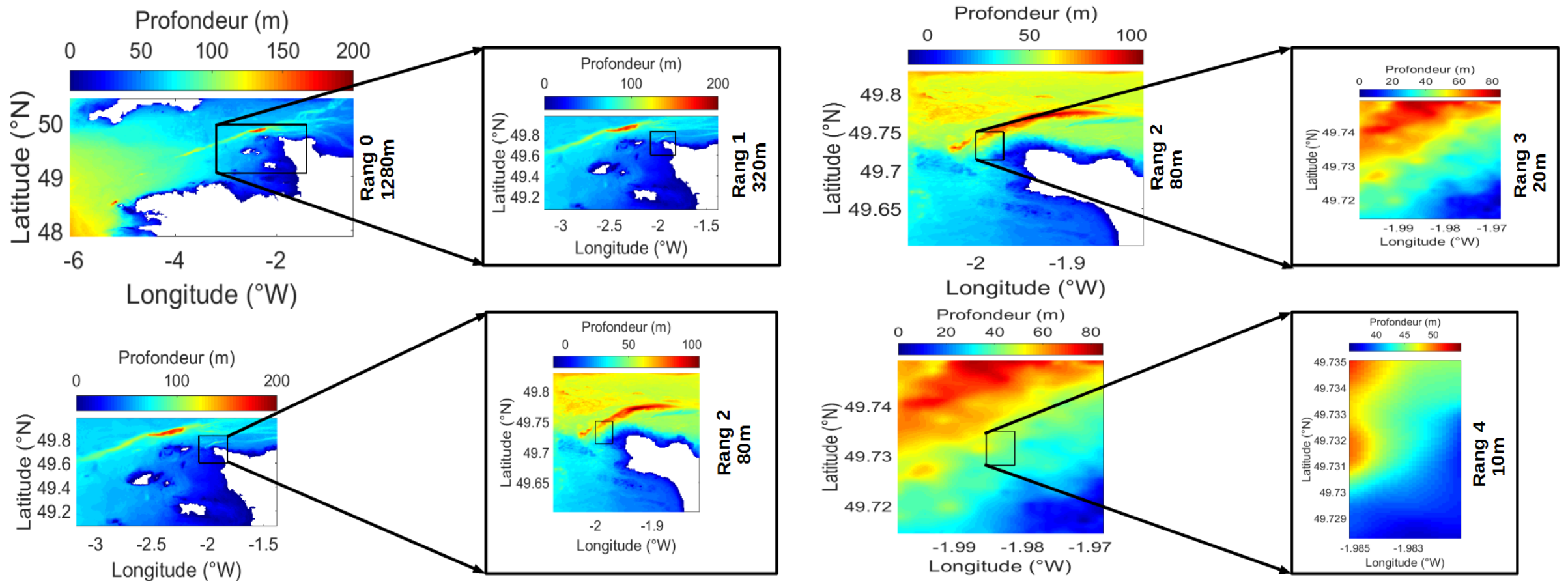


Figure 19. Variations bathymétriques des rangs 0, 1, 2, 3 et 4

Elevation de la surface libre

Début: 18/06/2016 à 08h00; Fin: 19/06/2016 à 08h00; Coefficient de marée: 64

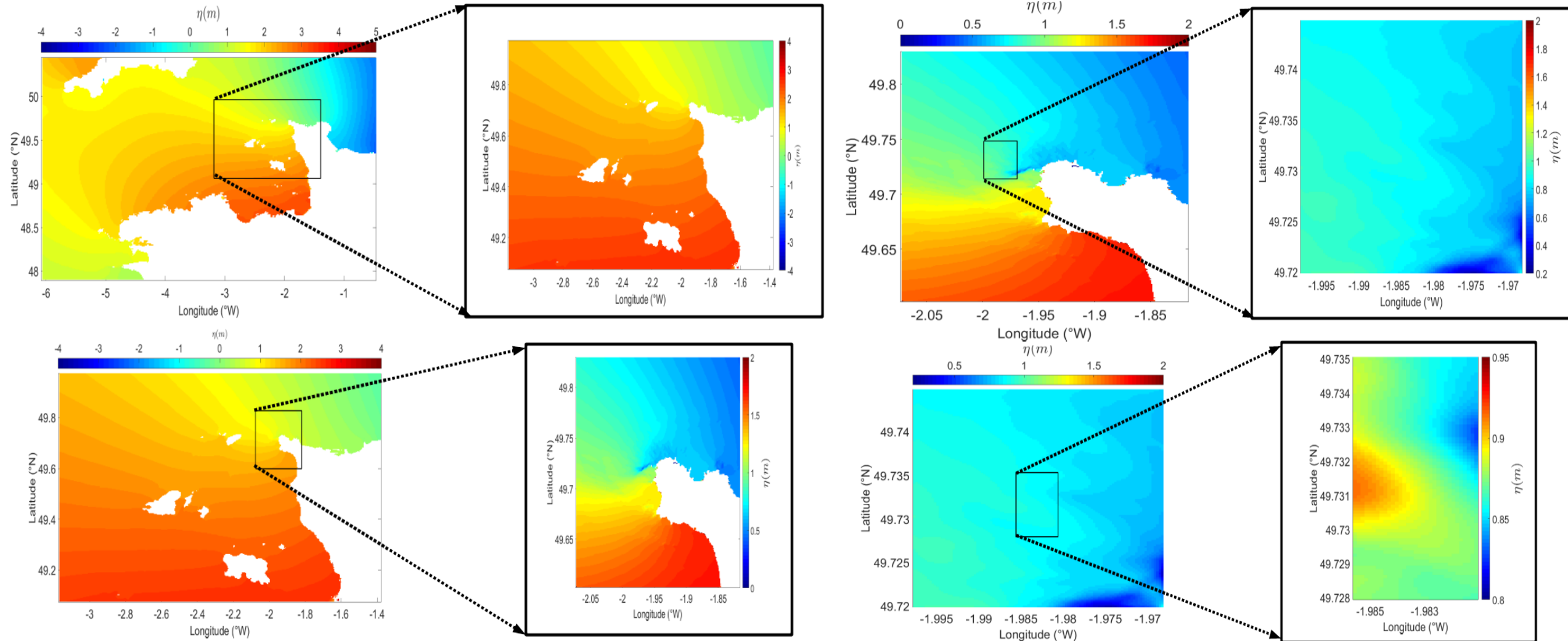


Figure20. Elévation de la surface libre à la date du 19/06/2016 à 04h30

Courants barotropes

Début: 18/06/2016 à 08h00; Fin: 19/06/2016 à 08h00; Coefficient de marée: 64

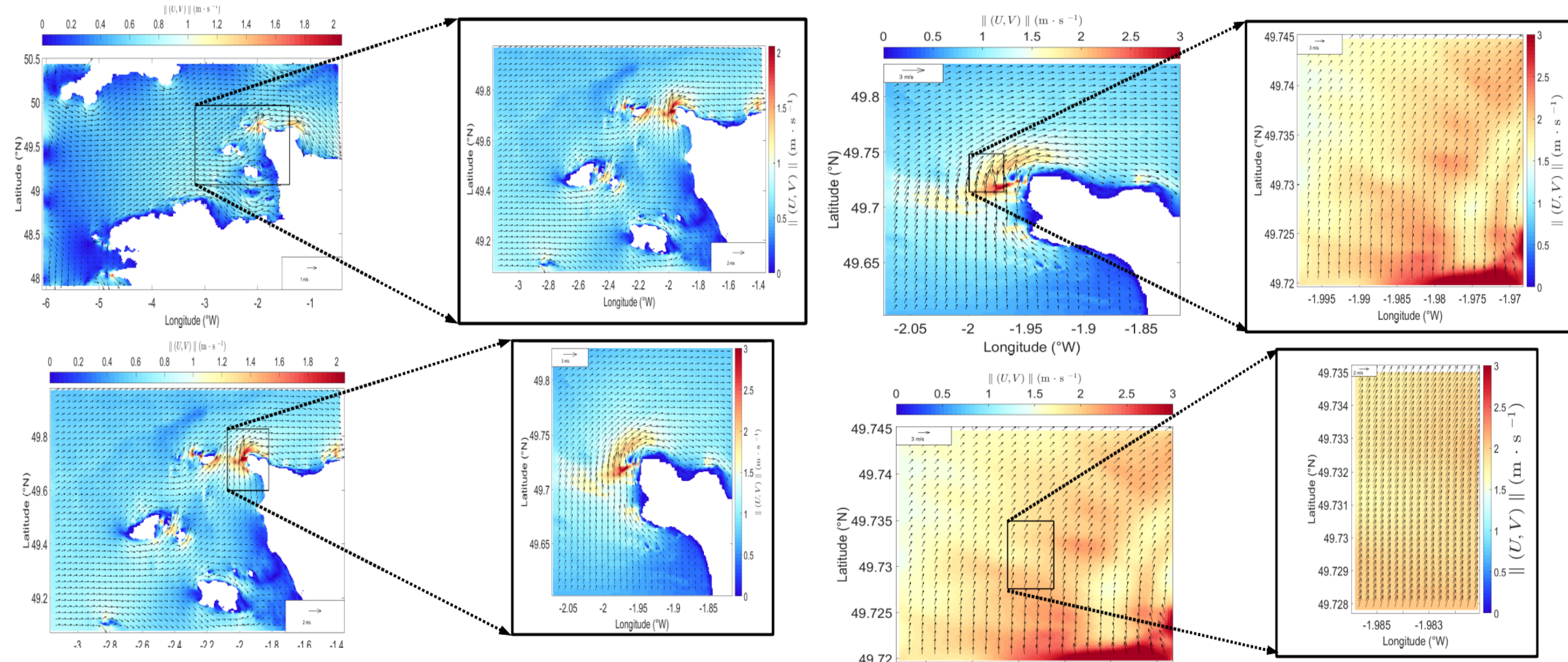


Figure 21. Direction et intensité des courants barotropes à la date du 19/06/2016 à 04h30

Courants 3D

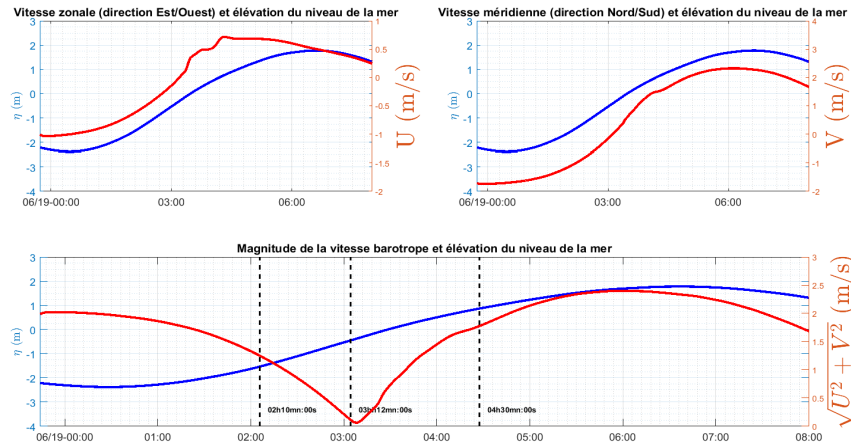


Figure 22. Evolution temporelle de la vitesse barotrope et de l'élévation de la surface libre

➤ Niveaux sigma :

$$\sigma_w(k) = -1 + \frac{1 - Q^{k-1}}{1 - Q^{kmax}}, \quad Q = \frac{1}{r^{kmax}}, \quad 1 \leq k \leq kmax + 1$$

$r = 10$: Rapport entre l'épaisseur du premier et du dernier niveau.

$kmax = 30$: Nombre de niveaux verticaux.

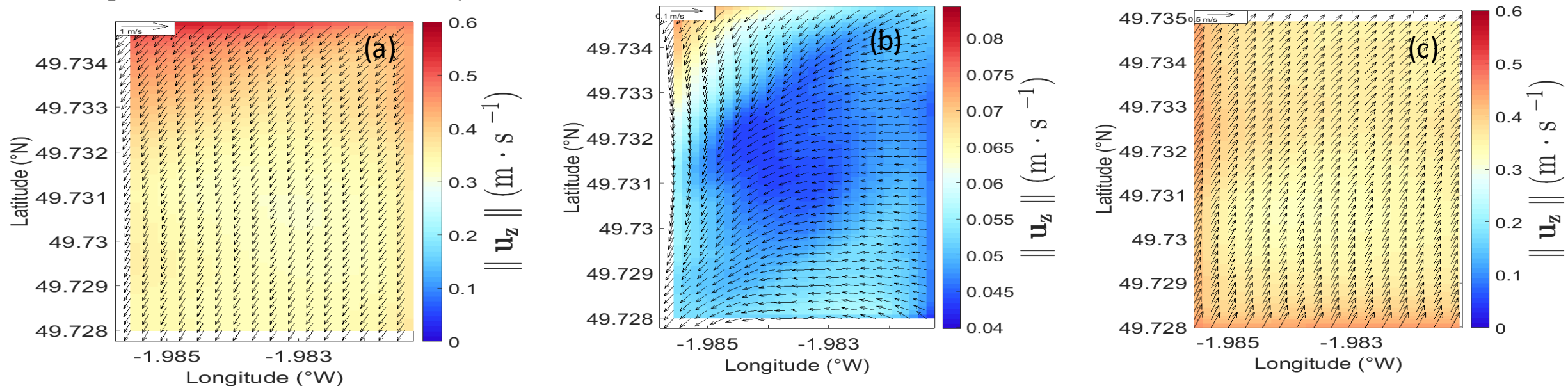
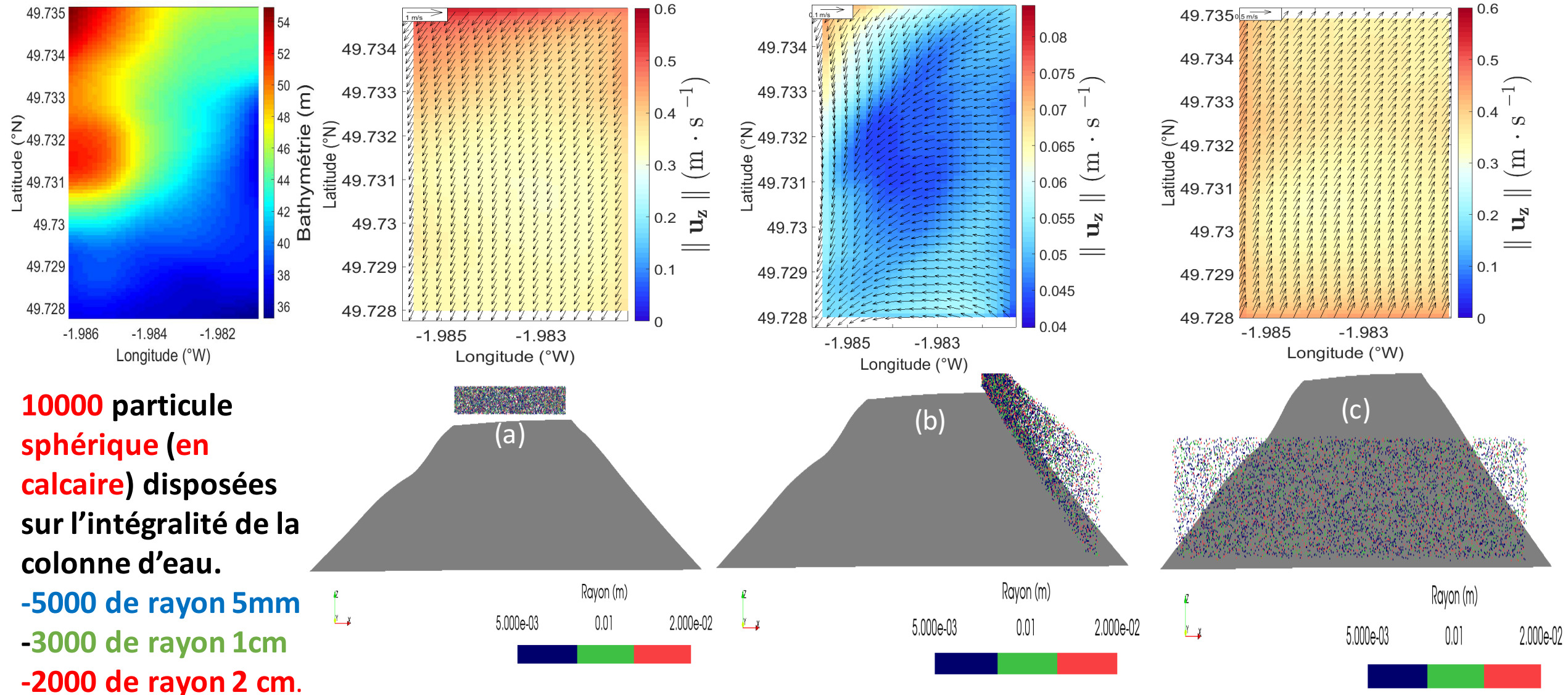


Figure 23. Circulation près du fond (i.e. dans le premier niveau sigma). (a): date1, (b) date2, (c) date3

Initialisation de la simulation



Structure des sédiments en suspension

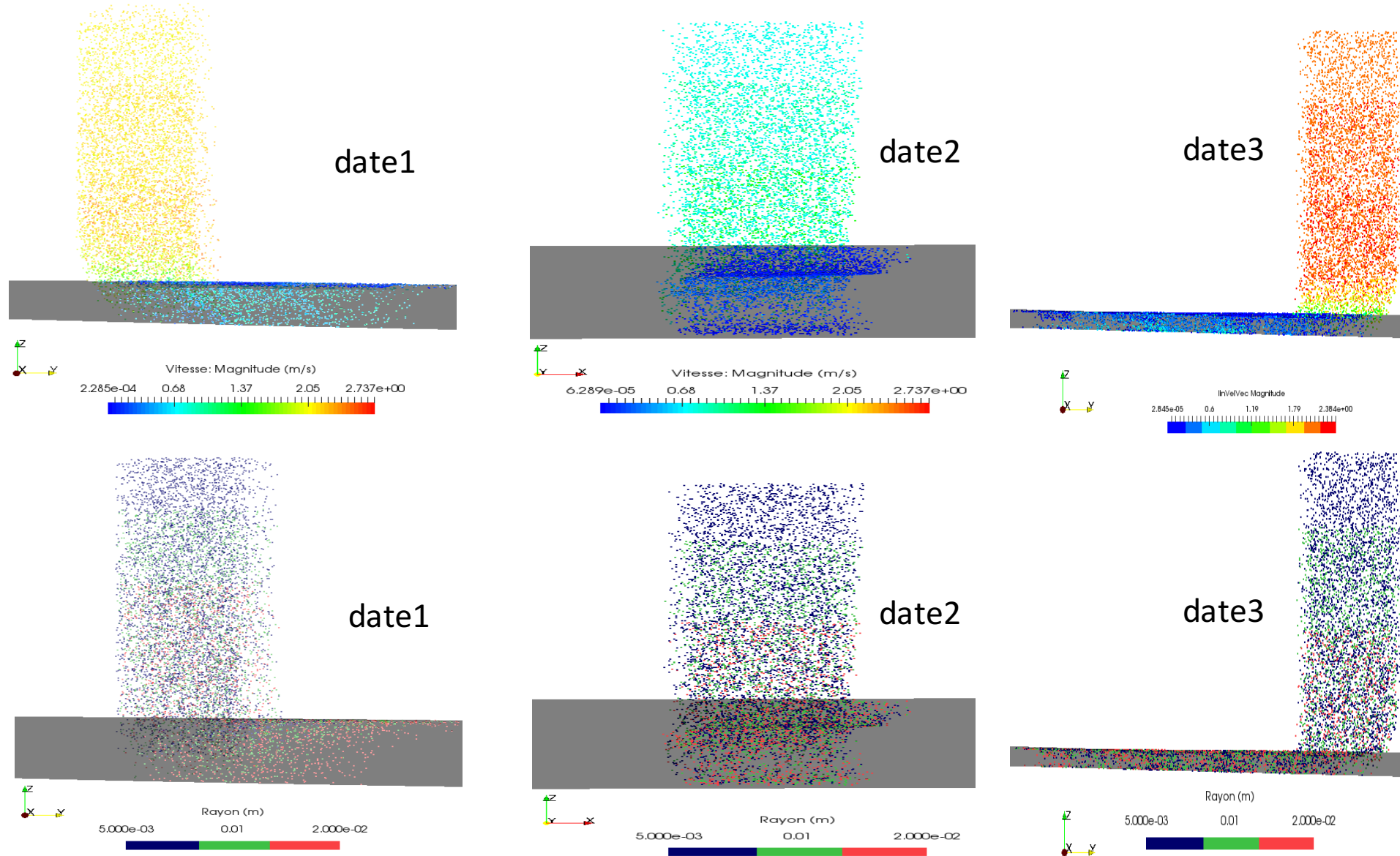
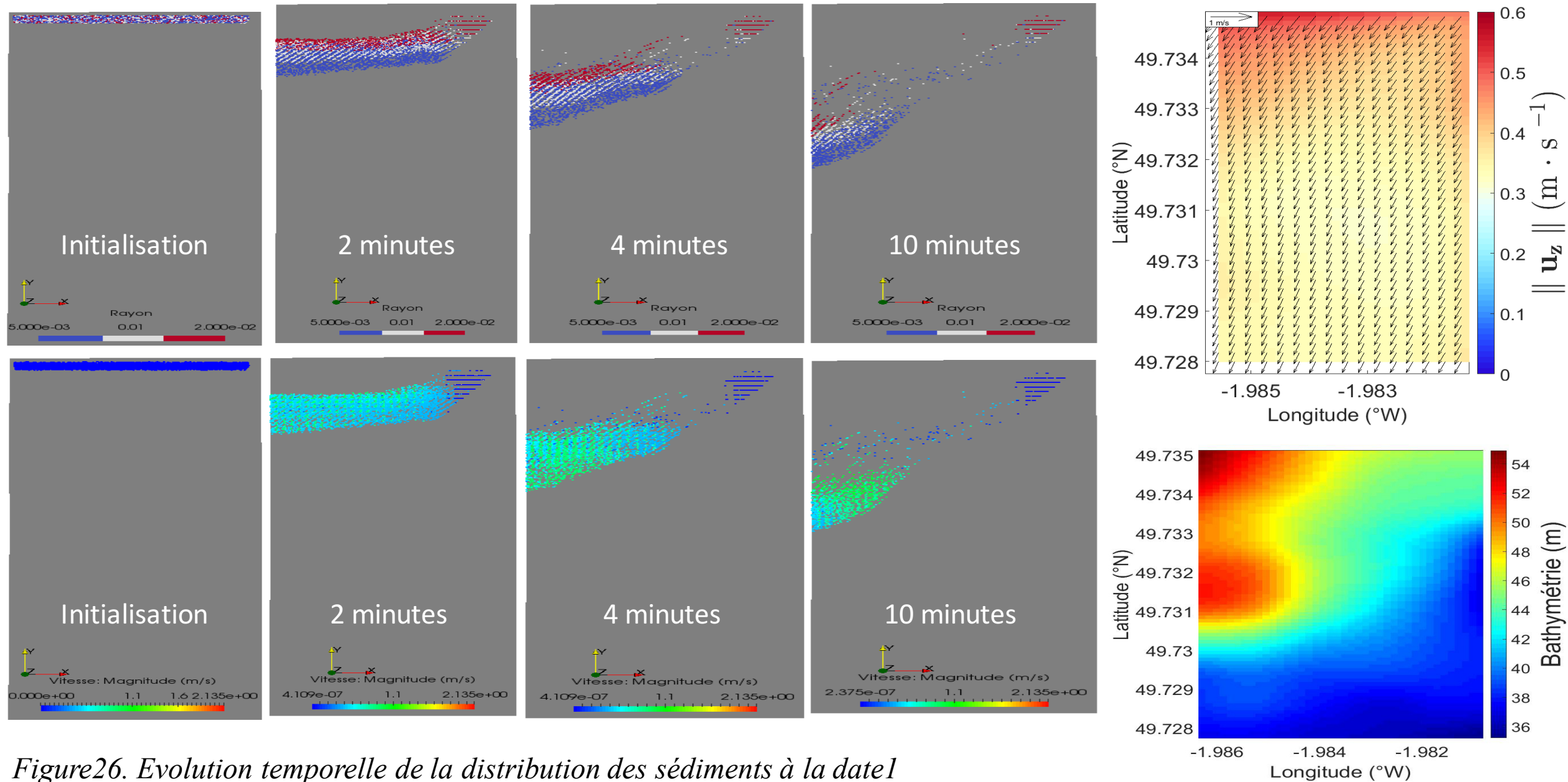


Figure25. Distribution des sédiments en suspension après 20 secondes de simulation

Structure des sédiments près du fond à la date1

22/25



Structure des sédiments près du fond à la date2

23/25

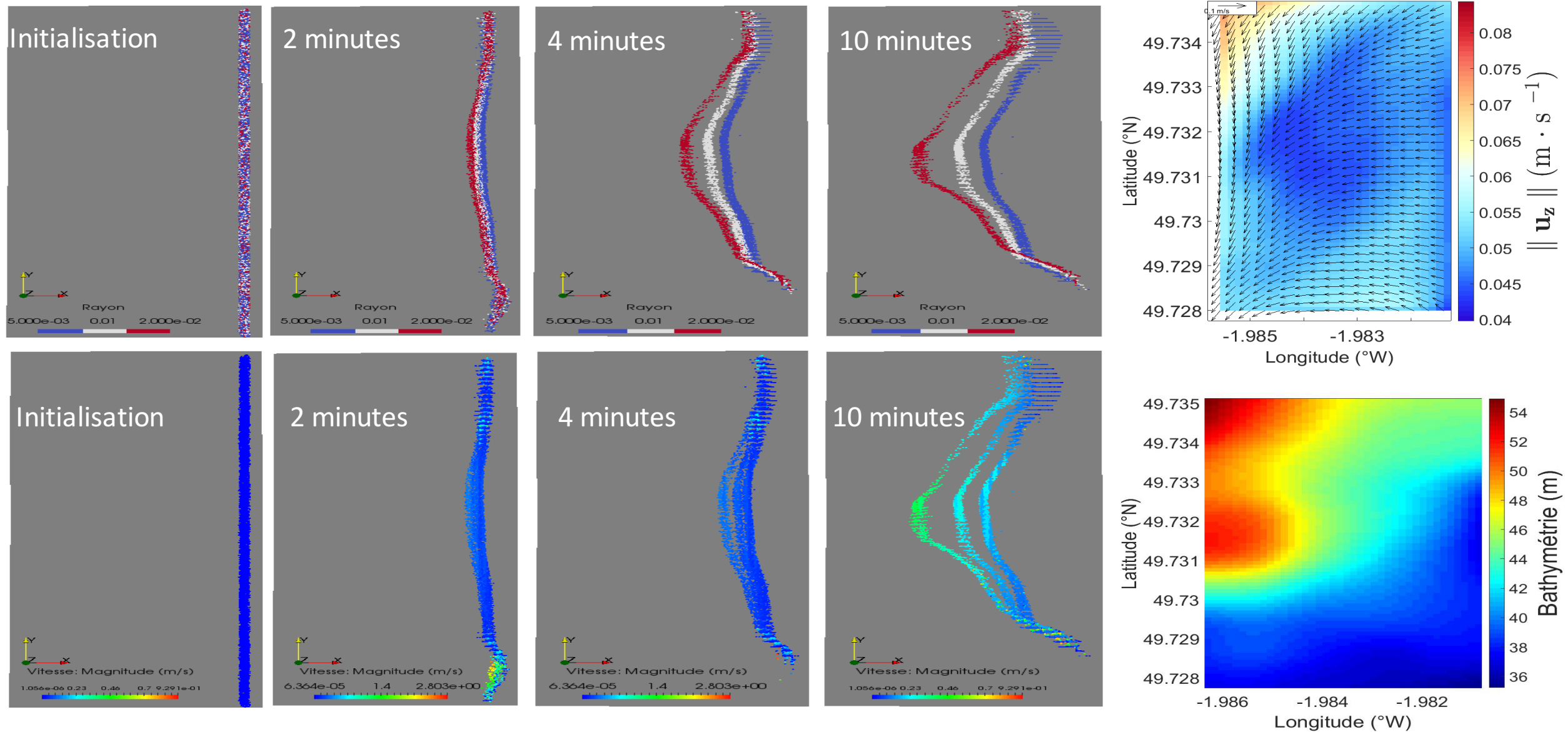


Figure27. Evolution temporelle de la distribution des sédiments à la date2

Structure des sédiments près du fond à la date3

24/25

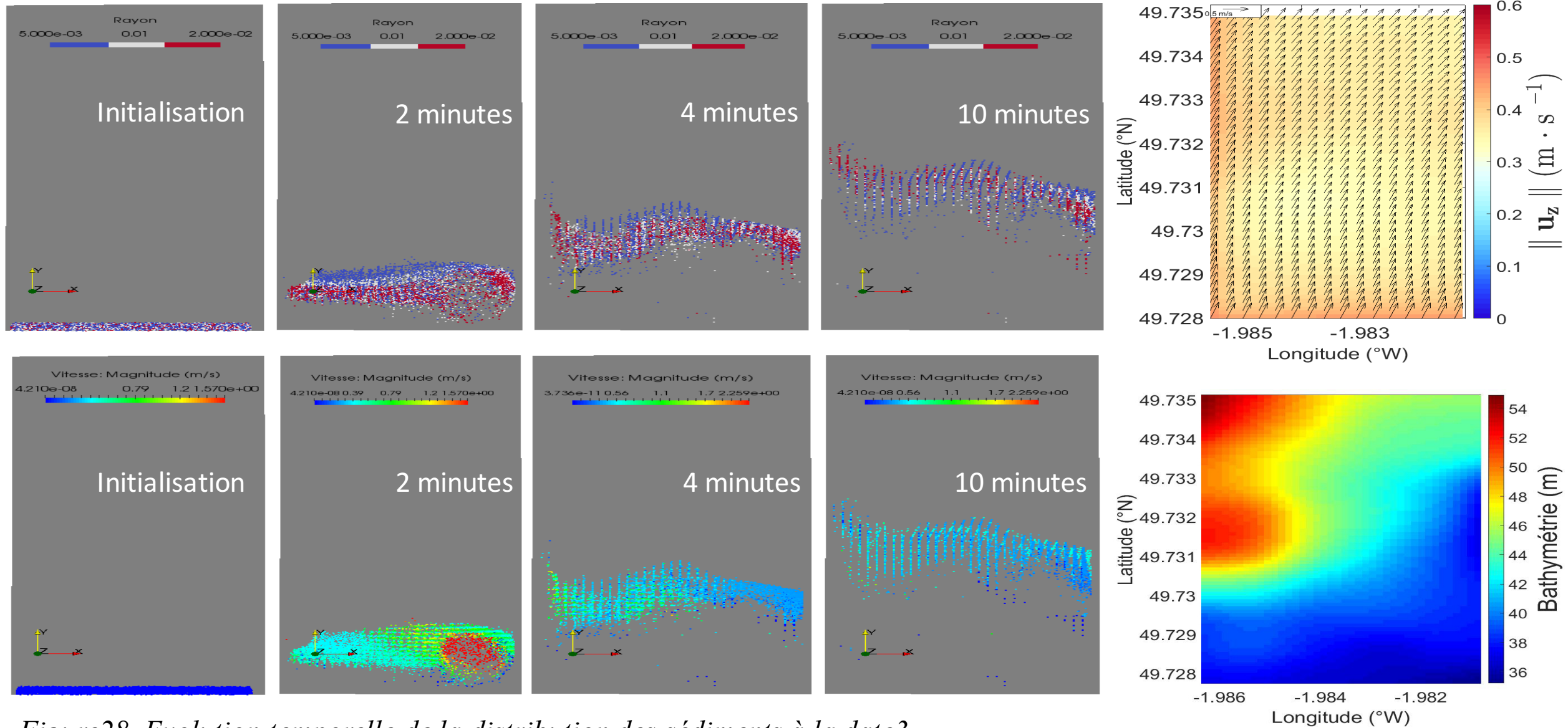


Figure28. Evolution temporelle de la distribution des sédiments à la date3

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

• CONCLUSIONS

- Modification du module HydroForceEngine et validation
- Description du forçage et validation
- Déplacement de sédiments sphériques dans le Raz Blanchard

• PERSPECTIVES

- Forces de lubrification dans YADE
- Prise en compte de l'état de mer
- Sédiment non sphériques avec un agrégat de sphères
- Effet des sédiments sur la marée

JE VOUS REMERCIE POUR VOTRE ATTENTION

QUESTION ?