

Mise en suspension de la crème de vase en écoulement cisailé

Alice Harang et Olivier Thual



le 23 novembre 2010



GdR Transport Solide Naturel 2010

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Modélisation de la crème de vase
- 3 Résultats
- 4 Conclusion et perspectives

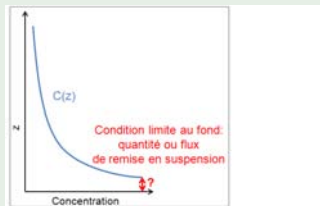
Positionnement de l'étude

Méthodologie choisie

- Etude de phénomène à échelle locale
- Modélisation de la crème de vase comme un fluide homogène équivalent
- Simulations numériques / étude de stabilité linéaire



- Modèles 1D de répartition verticale des sédiments
e.g. MoSeTT
par Hassan Smaoui et al.
(2006)
- Modèles réalistes d'estuaires
e.g. Telemac-3D
par Catherine Le Normant
(1995)



Equations du modèle

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{u} &= 0 \\ \frac{d\mathbf{u}}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{g} + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot [\mu (\nabla \underline{u} + {}^t \nabla \underline{u})] \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \mathbf{u}) &= 0 \\ \rho &= \rho_0 C + \rho_1 (1 - C) \\ \mu &= \mu_0 C + \mu_1 (1 - C)\end{aligned}$$

où \mathbf{g} le vecteur gravité, μ la viscosité molaire et C le taux de présence.

Hypothèse : Diffusivité molaire de la concentration nulle

Eau

$$\rho_0 = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$$

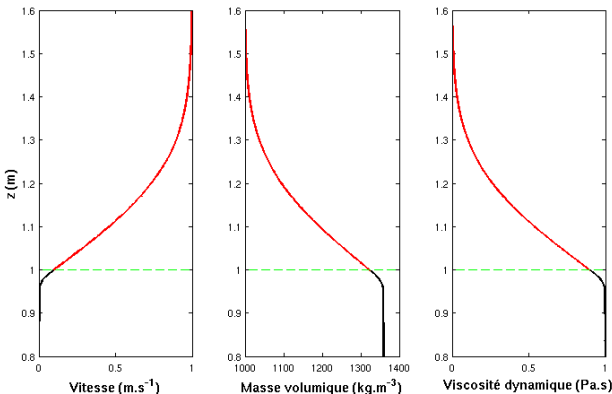
$$\mu_0 = 0.001 \text{ Pa.s}$$

Crème de vase

$$\rho_1 = 1360 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\mu_1 = 1 \text{ Pa.s}$$

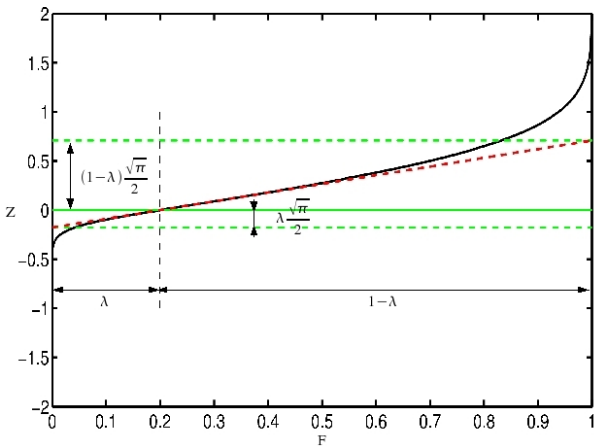
Configuration de base : initialisation des profils



$$u(z) = U_1 F\left(\lambda, \frac{z-h}{\delta_u}\right) ; \rho(z) = (\rho_1 - \rho_0) F\left(\lambda, \frac{z-h}{\delta_\rho}\right) + \rho_0 ; \mu(z) = (\mu_1 - \mu_0) F\left(\lambda, \frac{z-h}{\delta_\mu}\right) + \mu_0$$

δ : épaisseur associée aux profils, $\delta_u = \delta_\rho = \delta_\mu = \delta = 0.3\text{ m}$

$\lambda = 0.1$: paramètre d'asymétrie



$$F(\lambda, Z) = \begin{cases} \lambda \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{Z}{\lambda} \right) \right] & \text{si } Z \leq 0, \\ 1 - (1 - \lambda) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{Z}{1-\lambda} \right) \right] & \text{si } Z \geq 0, \end{cases}$$

avec λ : paramètre contrôlant l'asymétrie (ici $\lambda = 0.2$)

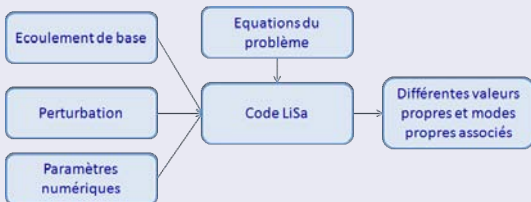
Paramètres de contrôle

$$Re = \frac{U_0 \delta}{\mu_0 / \rho_0} \quad Ri = \frac{g(\rho_0 - \rho_1) \delta \sqrt{\pi}}{\rho_h 2 U_0^2} \quad W = \log_{10} \left(\frac{\mu_1}{\mu_0} \right)$$

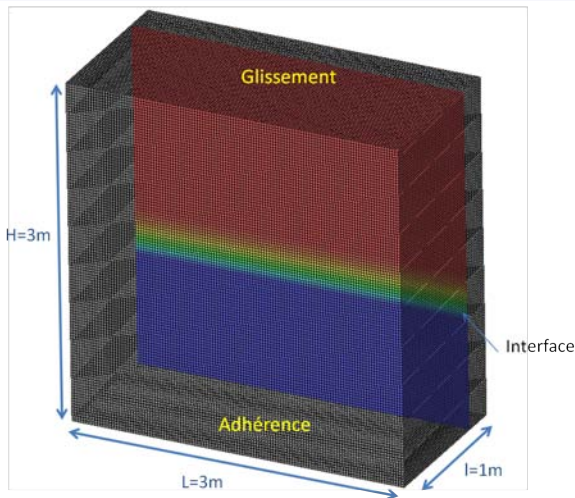
Code JADIM (développé à l'IMFT)

- Résout les équations de Navier-Stokes incompressibles
- Précision d'ordre 2 en espace et en temps
- Utilisé en DNS (Direct Numerical Simulation)

Code de stabilité linéaire LiSa (développé à l'IMFT)

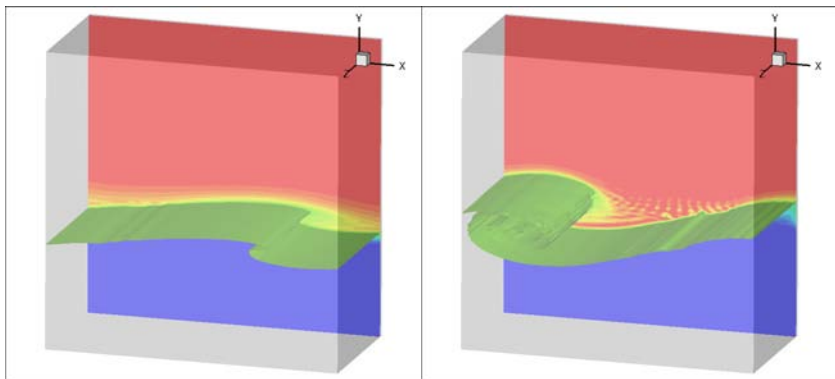


Paramètres de la simulation

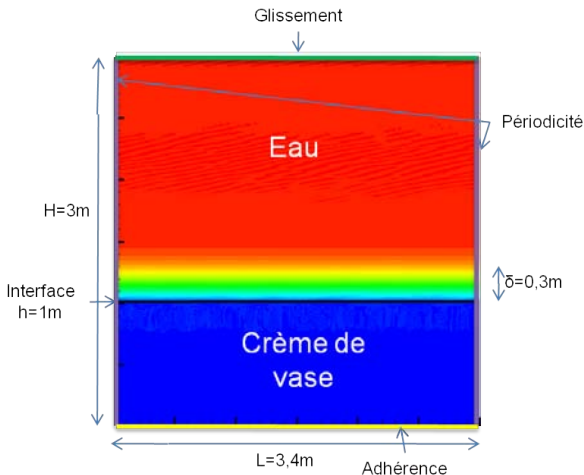


Domaine de dimension de $3m \times 3m \times 1m$ de 850000 mailles.

Evolution temporelle de la masse volumique pour $Ri = 0.1$ et $W = 3$



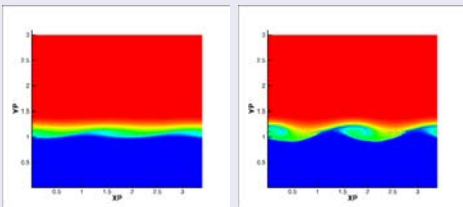
Paramètres de la simulation



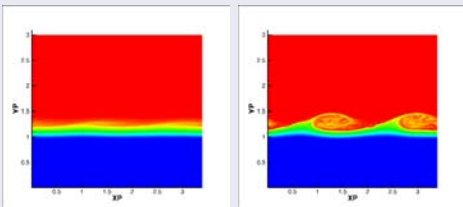
Résolution de 300×340 (soit mailles carrées d'1 cm de coté)

Développement typique d'une instabilité

$W = 0, Ri = 0.15$



$W = 3, Ri = 0.15$



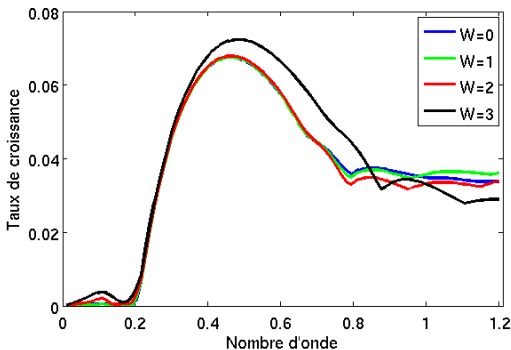
Développement
d'instabilités
pour $Ri < Ric \sim 0.25$
pour tous les W étudiés

Position de l'instabilité

$W \nearrow \Rightarrow$ remonté de
l'instabilité dans l'interface

\Rightarrow Diminution de la quantité
de sédiments mis en
suspension

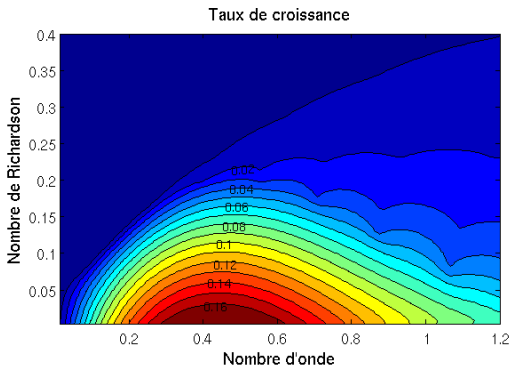
Etude de stabilité linéaire avec LiSa



Taux de croissance en fonction du nombre d'onde k pour $Ri=0.15$

- Comportement similaire pour les différents W
- Taux de croissance plus important pour $W=3$

Etude de stabilité linéaire avec LiSa



Taux de croissance en fonction du nombre d'onde k

- Diminution du taux de croissance, lorsque Ri augmente.
- Persistance d'instabilités de grand nombre d'onde.

Conclusion

- Importance du gradient de viscosité pour la paramétrisation du déclenchement de mélange par instabilités de cisaillement

Perspectives

- Etudes des cas où l'épaisseur des profils de cisaillement et de masse volumique/viscosité sont différents

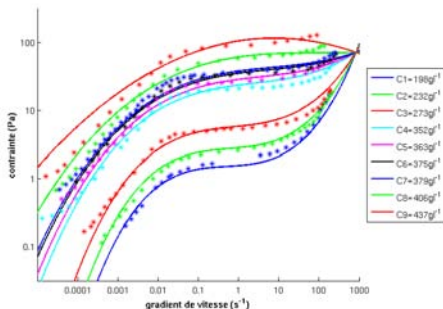
Conclusion

- Importance du gradient de viscosité pour la paramétrisation du déclenchement de mélange par instabilités de cisaillement

Perspectives

- Etudes des cas où l'épaisseur des profils de cisaillement et de masse volumique/viscosité sont différents
- Implémentation d'une rhéologie plus complexe de la crème de vase

Construction d'une rhéologie de la vase d'après les mesures de Damien Pham Van Bang et *al.* 2007



$$\log(\sigma) = \sum_{n=0}^3 (a_n \rho + b_n) \log(\dot{\gamma})^n$$

$$\begin{aligned} a_3 &= -1.9506e - 04 & b_3 &= 0.0857 ; \\ a_2 &= -3.9531e - 04 & b_2 &= 0.1195 ; \\ a_1 &= 1.8943e - 04 & b_1 &= 0.0106 ; \\ a_0 &= 0.0077 ; & b_0 &= -1.3237 \end{aligned}$$

Figure: Interpolation des rhéogrammes par une même fonction

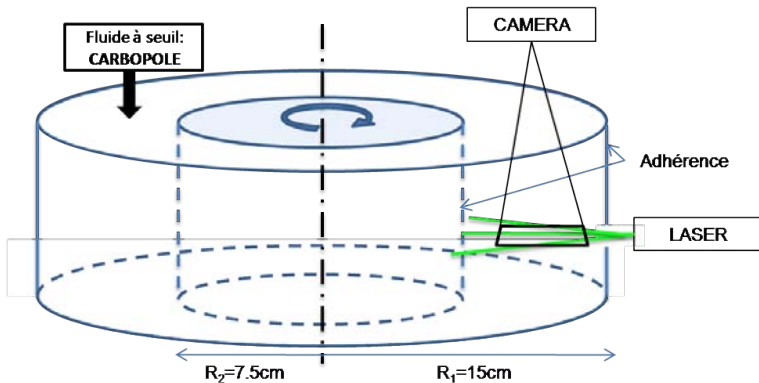
Conclusion

- Importance du gradient de viscosité pour la paramétrisation du déclenchement de mélange par instabilités de cisaillement

Perspectives

- Etudes des cas où l'épaisseur des profils de cisaillement et de masse volumique/viscosité sont différents
- Implémentation d'une rhéologie plus complexe de la crème de vase
- Etude expérimentale de la réaction d'un fluide à seuil à un cisaillement

Expérience sur un fluide à seuil



Objectif de l'expérience de l'expérience

- Etude de la réponse d'un fluide à seuil à un cisaillement
- Etude de la réponse à un forçage oscillant

Avez-vous des questions ?

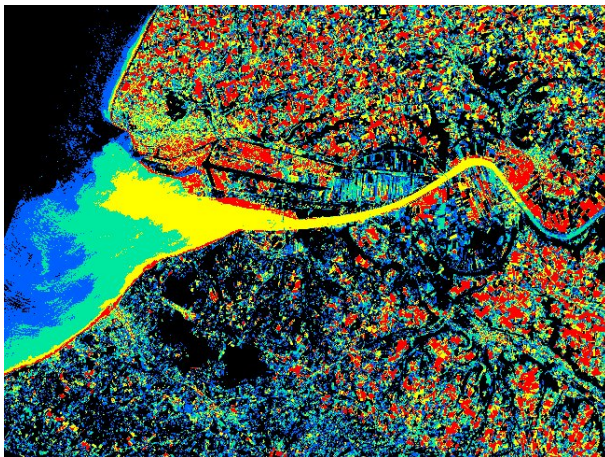


Figure: Observation satellite du bouchon vaseux de l'estuaire de la Seine (forêt, eaux profonde, vegetation active ; très forte turbidité, sols nus ; Urbain, sols nus, sable)