

## **Master II Physique Marine / 3<sup>ème</sup> année ENSTA Bretagne**

### **Parcours Côtier – cours de Dynamique sédimentaire**

*Le rapport sur les TDs est à réaliser seul ou à deux, et à remettre avant le 1er février 2022.*

*- le travail est à réaliser en utilisant le code 1DV (unidimensionnel vertical) Python développé en TD.*

*- le projet sera remis sous forme d'un rapport présentant la démarche suivie, les résultats illustrés de figures et commentés, et les réponses aux questions posées dans les énoncés de différents TDs.*

*- les questions en gras sont celles qui devront être privilégiées, sans pour autant négliger les autres.*

*- l'objectif est d'aller plus loin que les TDs, et de prendre de la hauteur par rapport aux questions en montrant que le cours a été assimilé. Par exemple, utiliser différents paramètres, expliquer les choix, intercomparer et analyser les résultats sans rester figé sur l'énoncé des TDs sera apprécié.*

*-possibilité de prendre contact avec [romaric.verney@ifremer.fr](mailto:romaric.verney@ifremer.fr) , [francois.dufois@ifremer.fr](mailto:francois.dufois@ifremer.fr) ou [heloise.muller@ifremer.fr](mailto:heloise.muller@ifremer.fr) en cas d'incompréhension(s) : d'éventuels éléments de réponse seront transmis par email à l'ensemble des étudiants.*

*- **Notre conseil** : n'attendez pas la dernière minute – rédigez même brièvement un rapport intermédiaire avant le TP suivant – nous pourrons même faire un retour rapide, sans impact sur la note finale si vous nous le transmettez !*

## TP I - Quantité de mouvement

1 - Écrire l'équation de quantité de mouvement discrétisée en  $z$  et  $t$ .

Procéder par étapes : expliciter d'abord  $k_z$  et  $k_z \frac{\partial U}{\partial z}$

2- Implémenter l'équation dans le script python. Utiliser comme conditions aux limites un profile log au fond et un gradient nul en surface.

3- Tester le modèle avec les paramètres suivants :

$z_0=0.001$  ou  $0.0001\text{m}$

Gradient de pression :  $0.0005 / 0.0001 \text{ m.s}^{-2}$

Grille verticale de 5 cm de résolution sur une hauteur d'eau totale de 2m.

4- Résoudre de  $t=0$  à  $t=5000\text{s}$  l'évolution du profil vertical de vitesse pour les différentes valeurs de  $z_0$  et de gradient de pression. Interpréter les résultats.

**Tester différents pas de temps : que peut-on dire ?**

5-Calculer les contraintes de cisaillement. Observer les valeurs de contraintes pour différents  $z_0$ . **Interpréter les résultats.**

6- Faire évoluer la contrainte selon une marée sinusoïdale (composantes semi-diurnes solaire et lunaire) sur une période vive-eau/mortes-eaux.

**Interpréter l'évolution de la contrainte de fond, des profils de viscosité turbulente et de vitesse.**

## TP II - Dynamique sédimentaire : l'équation d'advection-dispersion

1 - Écrire l'équation d'advection/dispersion discrétisée en  $z$  et  $t$ . Procéder par étapes : expliciter d'abord les flux de chute et diffusif. Prendre un schéma explicite en temps, et, selon la verticale, centré pour la diffusion et décentré amont pour la chute.

2- Intégrer l'équation d'advection/dispersion dans le modèle 1DV.

Dans un premier temps, les échanges à l'interface eau/sédiment  $E$  et  $D$  sont supposés se compenser (*i.e.* leur somme est nulle), et donc ne sont pas à intégrer.

Application : 50 couches, 5cm en  $dz$ . Forçage (gradient de pression) à 0.00005. Simulation sur 5000 s.  $W_s=1$  mm/s.  $z_0=0.1$  mm

-Se donner une distribution initiale de sédiments en suspension uniforme sur la verticale, égale à  $0.1 \text{ kg.m}^{-3}$

-Tester  $W_s=10$  cm/s. Qu'obtient-on ? **Réfléchir au nouveau critère de stabilité** et l'implémenter.

-Tester différents  $z_0$ . Commenter

3- Profils de concentration à l'équilibre

-Faire des tests avec différentes vitesses de chute et  $u^*$  (attention à faire tourner jusqu'à convergence des résultats pour chacun des cas):

$W_s$ (mm/s)	1	3	9
slope	$(0.4, 3.6, 33) \cdot 10^{-5}$	$(0.4, 3.6, 33) \cdot 10^{-5}$	$(0.4, 3.6, 33) \cdot 10^{-5}$

**Comparer les profils de concentrations obtenus à l'équilibre et commenter.**

-Pour une hauteur d'eau donnée, **comparer l'adéquation avec les profils analytiques à l'équilibre pour différentes discrétisations verticales.** Commenter.

### ***Pour aller plus loin pour le rapport***

4- Faire évoluer la contrainte selon une marée sinusoïdale sur une journée. Observer l'évolution de la contrainte de fond, des profils de viscosité turbulente, de concentration et de vitesse. Prendre 20

couches, 10cm en dz, forçage (gradient de pression) à 0.00005, Cinit=100 mg/l, Ws=1 mm/s. Commenter.

### TP III - Dynamique sédimentaire : l'équation d'advection-dispersion avec érosion et dépôt

1- Implémenter les conditions aux limites au fond pour les flux (érosion et dépôt). Ajouter le calcul pour la hauteur de sédiment au fond.

2- Tester avec la configuration suivante sur 10000s :

$N_z=19$ ,  $dz=10\text{cm}$

Forçage (gradient de pression) à 0.00005,  $C_{sed}=500\text{g/l}$ ,  $C_{init}=0$

$W_s=1\text{ cm/s}$ ,  $c_{init}=0$ ,  $E_0=0.005\text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $\rho_{ce}=0.5\text{ N.m}^{-2}$ ,  $h_{sed}=1\text{ m}$ ,  $z_0=1\text{ mm}$ ,  $\rho_{cd}=1000\text{N/m}^2$

Commenter.

Changer  $\rho_{cd}=0.2\text{N/m}^2$ . Qu'observe t-on?

Changer  $h_{sed}=1\text{mm}$ . Commenter.

Changer  $h_{sed}=1\text{m}$ ,  $\rho_{cd}=1000\text{N/m}^2$ ,  $W_s=1\text{mm/s}$  et  $E_0=0.0001\text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Que dire concernant le temps de mise à l'équilibre?

3- Il s'agit maintenant de reconstituer des profils de concentration de matière en suspension et d'évaluer les flux de transport sous l'effet d'un courant de marée pour différents types de sédiment. Dans toute cette section l'objectif sera d'analyser et de comparer les résultats pour 2 types de sédiments fins (silts et sables) avec des diamètres moyens respectifs de  $40\text{ }\mu\text{m}$  et  $200\text{ }\mu\text{m}$ , et caractérisés par une masse volumique de  $2600\text{ kg.m}^{-3}$ .

On prendra pour les paramètres :

$N_z=10$ ,  $dz=20\text{ cm}$ ,  $z_0 = 0.001\text{ m}$ .

Conditions initiales : courant nul, concentration nulle dans l'eau, épaisseur de sédiment de  $1\text{ m}$ .

Sédiment sableux :  $200\mu\text{m}$ ,  $\tau_d$  infiniment grand (**vous devrez expliquer ce choix !**),  $E_0 = 0.0002\text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ,  $n=1.5$  (puissance à l'excès de cisaillement). Concentration du sédiment  $=1500\text{ kg.m}^{-3}$ . Il est suggéré de calculer la vitesse de chute selon la formulation de Soulsby, et de déduire  $\tau_e$  du critère de remaniement de Shields.

Sédiment vaseux : on néglige ici la consolidation et on donne  $\tau_d=1\text{ Pa}$  (**vous devrez justifier le besoin de moduler les flux de dépôt pour les sédiments vaseux**),  $\tau_e = 0.5\text{ Pa}$ ,  $E_0 = 0.00002\text{ kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  et  $n=1$ ). Concentration du sédiment  $=500\text{ kg.m}^{-3}$ . La floculation sera prise en compte à travers la formulation de la vitesse de chute  $W_s = aC^b$ ,  $a = 0.0035$  et  $b = 0.8$ , pour  $W_s$  en  $\text{m.s}^{-1}$  et  $C$ , concentration en MES en  $\text{kg.m}^{-3}$ .

→Tester chacun des sédiments sur 4 cycles de marée consécutifs.

### ***Pour aller plus loin pour le rapport***

3.1. Dans un premier temps, on simulera uniquement 4 cycles de marée consécutifs. Calculer le flux horizontal de matière en suspension, sous forme de profil vertical, puis intégré selon la verticale. Tracer l'évolution temporelle du flux intégré, et commenter la différence entre les cycles de marée. Conclure en termes de durée de simulation requise (spin up).

3.2. Calculer les flux sédimentaires horizontaux pour différentes résolutions verticales (10, 20 puis 30 couches, en conservant la même hauteur d'eau totale). Commenter pour le sable et la vase l'impact de la discrétisation horizontale sur les profils de concentration et les profils des flux. Existe-t-il une autre manière de simuler les flux horizontaux pour les sables ? Quelle méthode peut-on proposer pour rendre la solution indépendante de la résolution pour la modélisation du transport de sables ?

3.3. Analyser l'évolution au cours du temps du profil de concentration, et de son (dé)phasage par rapport au forçage, et discuter la notion d'équilibre.

Pour savoir si le profil est proche d'un équilibre lorsque le courant varie peu, examiner le profil de concentration au moment du courant maximum (flot ou jusant), et le comparer à celui qu'on obtient pour un courant constant de même valeur. Pour ce faire il sera nécessaire d'imposer  $\tau_d$  infiniment grand même pour la vase (**pourquoi ?**).

3.4. Après avoir calculé et commenté l'évolution temporelle des coefficients de diffusion turbulente et de la contrainte de cisaillement sur le fond, calculer et commenter le profil de concentration en MES et ses variations (en fonction du courant notamment), à l'échelle d'un cycle de marée (courant max, étale...) et du cycle vive-eau / morte-eau. Discuter aussi la variation temporelle de la vitesse de chute pour la vase. Commenter les différences entre les résultats obtenus pour les différents types de sédiment. Vérifier la conservativité du modèle, et l'illustrer par un bilan de masse.