

Amélioration de la modélisation mathématique et numérique des écoulements sédimentaires gravitaires sous-marins, application au Canyon de Cassidaigne

Encadrement : Ricardo Silva Jacinto (UR Géosciences Marines, IFREMER, Brest), Olivier Delestre (Maître de Conférences, Université Nice Sophia Antipolis)

Collaboration : François James (Institut Denis Poisson, Université d'Orléans), Laurence Girolami (Maître de Conférences, Université de Tours), Bernard Dennielou, (UR Géosciences Marines, IFREMER, Brest)

Sujet :

Ce stage vise l'amélioration d'un modèle numérique capable de simuler sur des bathymétries (topographie sous-marines) 3D complexes (e.g. canyons sous-marins) la génération, la propagation et la transformation d'écoulements sous-marins gravitaires (pente forte) de suspensions sédimentaires. Ces écoulements gravitaires, connus comme des avalanches sous-marines, sont de nature catastrophique (soudains, rares, imprévisibles et très énergétiques). Capables de générer des tsunamis, ou de produire de graves ruptures de câbles sous-marins, ils dévalent la pente continentale, sculptent les fonds marins, les canyons et chenaux qu'ils empruntent et constituent le plus important pourvoyeur de sédiments vers l'océan profond (et de manière associée de nutriments, oxygène, déchets, micro-plastiques, carbone organique...) dont résultent les plus importantes accumulations sédimentaires de la planète, et qui sont exploitées, entre autres, pour déconvoluer des signatures paléoenvironnementales et palé-océanographiques.

Une application du modèle est envisagée dans le canyon de Cassidaigne, situé à l'est du Golfe du Lion à seulement 6 km au large de Cassis, qui est le siège des upwellings les plus intenses du Golfe du Lion durant lesquels les eaux profondes remontent le canyon jusqu'au plateau continental, pouvant, par la remise en suspension des sédiments, produire des courants de turbidité. Le canyon présente la particularité d'avoir été l'exutoire des rejets solides appelés « boue rouges » produits par l'industrie de l'Aluminium depuis 1967 jusqu'en 2015. Le canyon de Cassidaigne offre ainsi une conjonction unique entre des phénomènes hydro-sédimentaires importants et un stock sédimentaire artificiel « idéalement tracé » durant presque 50 ans, dont on connaît la localisation, la nature et la quantité, au delà de tout système naturel envisageable et pouvant servir de marqueur dans un laboratoire « en nature ».

Le développement mathématique et numérique consistera tout d'abord à implémenter une méthode aux volumes finis dite 'well balanced' (Audusse et al., 2004) permettant la résolution d'un système d'équations aux dérivées partielles correspondant à un modèle de type écoulement en eaux peu profondes (système de Saint-Venant) enrichi avec termes source et basé sur la méthode Nixes-TC (*Payo-Payo et al., 2017*). La propagation du front de l'avalanche sous marine s'apparentant à un front sec-mouillé, le système y perd son caractère hyperbolique, il est alors nécessaire de considérer une méthode numérique adaptée permettant la préservation de la positivité de la hauteur (Audusse et al., 2004). De plus ces écoulements se déroulant sur des fortes pentes, il est bien connu que nombre de méthodes sont défaillantes dans ces conditions d'écoulement (Delestre et al., 2012), il faudra donc considérer des méthodes récentes qui surmontent ces difficultés numériques (Buttinger-Kreuzhuber, 2019) tout en conservant le caractère équilibré de la méthode numérique lui permettant la capture des états d'équilibres (entre le terme de pression et de pente). La description de certains processus physiques nécessitera l'adaptation des méthodes numériques et le développement d'un code modulaire évolutif est indispensable afin d'assurer la pérennité du projet. Le code devra ensuite être appliqué au canyon de Cassidaigne, à l'échelle réelle, nécessitant une résolution fine et une architecture parallèle afin d'obtenir des temps de calcul raisonnables lors des simulations.

Objectif/travail à réaliser:

Le développement mathématique et numérique consistera tout d'abord à implémenter une méthode aux volumes finis dite 'well balanced' (Audusse et al., 2004) permettant la résolution d'un système d'équations aux dérivées partielles correspondant à un modèle de type écoulement en eaux peu profondes (système de Saint-Venant) enrichi avec termes source et basé sur la méthode Nixes-TC (*Payo-Payo et al., 2017*). Ce développement sera effectué sur un code de calcul open-source déjà existant. Différentes difficultés numériques apparaissent avec les phénomènes qui sont modélisés. En effet, la propagation du front de l'avalanche sous marine s'apparentant à un front sec-mouillé, le système y perd son caractère hyperbolique, il est alors nécessaire de considérer une méthode numérique adaptée permettant la préservation de la positivité de la hauteur (Audusse et al., 2004). De plus ces écoulements se déroulant sur des fortes pentes, il est bien connu que nombre de méthodes sont défaillantes dans ces conditions d'écoulement (Delestre et al., 2012), il faudra donc considérer des

méthodes récentes qui surmontent ces difficultés numériques (Buttinger-Kreuzhuber, 2019) tout en conservant le caractère équilibré de la méthode numérique lui permettant la capture des états d'équilibres (entre le terme de pression et de pente). La description de certains processus physiques nécessitera l'adaptation des méthodes numériques. La documentation des nouveaux développements sera indispensable afin d'assurer la pérennité du projet. Le code devra ensuite être appliqué au canyon de Cassidaigne, à l'échelle réelle, nécessitant une résolution fine et une architecture parallèle (déjà présente dans le code initial) afin d'obtenir des temps de calcul raisonnables lors des simulations.

Compétences :

Méthode volumes finis, Lois de conservation type système de Saint-Venant ou modèle de Ripa, Calcul HPC, Librairie MPI, Langage Fortran, Développement de code, Programmation en maillage non régulier. Motivation pour des simulations et modélisations de cas réels.

Données disponibles :

Version actuelle et opérationnelle du Modèle Nixes-TC. MNT au pas de 2 m dans la tête et le fond du canyon ; mesures de colonne d'eau (ADCP, pièges à sédiment, turbidimètres).

Bourse IFREMER (Niveau Master), Centre de Bretagne, Brest, France. *Durée*: maximum 6 mois. 650 €/mois.