

**Méthodes numériques d'ordre élevé pour les écoulements  
diphasiques : modèle one-fluid et level set.  
Applications aux vagues et gouttes dans le code de calcul  
massivement parallèle Notus.**

**Mathieu COQUERELLE**, I2M / Bordeaux INP - Bordeaux

**Félix HENRI**, I2M / Université de Bordeaux - Bordeaux

**Florian DESMONS**, I2M / Université de Bordeaux - Bordeaux

**Pierre LUBIN**, I2M / Bordeaux INP - Bordeaux

Les codes de calcul sur maillages structurés bénéficient de l'avantage majeur de permettre (et nécessiter) l'utilisation de schémas numériques d'ordres élevés. Pour les écoulements diphasiques, notamment pour les vagues, la présence d'une interface franche où les sauts de masse volumique, viscosité et pression (dû à la tension superficielle) sont souvent très grands requiert un soin particulier et des méthodes idoines. L'approche eulérienne basée sur le modèle *one-fluid* (OF) est simple à mettre en place et donne des résultats tout à fait satisfaisants... jusqu'à un certain niveau de discrétisation, aujourd'hui rapidement atteint par les maillages très fins nécessaires pour des applications pointues. Nous verrons qu'en revisitant l'intégration des équations de Navier-Stokes, les approches récentes [1] basées sur le transport cohérent de la masse et de la quantité de mouvement sont indispensables pour réduire les erreurs numériques de transferts d'une phase à l'autre, cause d'instabilités, voire de divergence des calculs.

Autre ingrédient fondamental, le modèle de représentation de l'interface est crucial pour capter la richesse de la dynamique de la surface libre. Parmi les familles de méthodes existantes, les Level Set (LS) sont couramment employées, notamment pour les écoulements impliquant des phénomènes capillaires non négligeables. Elles souffrent toutefois d'un problème récurrent : le besoin de réinitialiser *régulièrement* le champ LS pour garantir sa qualité sur les longs temps. La paramétrisation des stratégies basées sur les équations d'Hamilton-Jacobi (HJ) reste encore très sensible à la paramétrisation, aux conditions de bord, et garantit difficilement la stabilité. Nous proposons [2] une approche originale, géométrique, basée sur le principe des *closest-points*, qui, a l'avantage de pouvoir être appliquée à chaque pas de temps, tout en offrant la même précision que les méthodes HJ+WENO5. Nous en profiterons pour présenter, en aparté, une discussion sur la nécessité d'user des schémas d'ordre élevé pour calculer la courbure de l'interface pour les forces de tension superficielle, critère rarement atteint par les méthodes de type VOF ou MOF.

Nous présenterons l'application de ces travaux à des simulations de vagues et de gouttes de pluie, permettant de reproduire des phénomènes très fins, du déferlement à la capture de poches et bulles d'air sous la surface, participant aux échanges océan-atmosphère. Ces résultats ont été obtenus grâce au code volumes-finis massivement parallèle Notus CFD (<https://www.notus-cfd.org>), développé à l'I2M, plate-forme commune de développement de méthodes et d'expérimentation numérique.

- [1] F. Desmons, M. Coquerelle. *A generalized high-order momentum preserving (HOMP) method in the one-fluid model for incompressible two phase flows with high density ratio*. Journal of Computational Physics, **437**, 110322, 2021. doi :<https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110322>.
- [2] F. Henri, M. Coquerelle, P. Lubin. *Geometrical level set reinitialization using closest point method and kink detection for thin filaments, topology changes and two-phase flows*. Journal of Computational Physics, **448**, 110704, 2022. doi :<https://doi.org/10.1016/j.jcp.2021.110704>.