

Sujet de stage : Comment simuler une dispersion de pollution urbaine avec un code numérique 2D ?



Objectif : L'objectif de ce stage de recherche de M2R est d'évaluer la capacité des codes de calcul opérationnels d'inondations urbaines à simuler une dispersion de polluant dans un réseau de rues inondé.

Résumé : Le stage (niveau M2R) porte sur la modélisation numérique bi-dimensionnelle (2D) du mélange de polluant lors d'une inondation en ville. Les simulations seront comparées à des mesures de concentrations effectuées sur le modèle physique MURI ([Modèle Urbain pour l'étude du Risque d'Inondation](#), photo ci-dessus) lors de la thèse de Clément Fagour (2021-2024). Le travail consiste à tester différents types de modélisations de la diffusion turbulente de polluant (tenseur de diffusivité dans l'équation d'advection-diffusion 2D) et à identifier celle qui permet de reproduire le plus fidèlement la cartographie dans le plan des mesures de concentrations. On testera, par exemple, un coefficient de diffusivité constant et isotrope, et un tenseur s'appuyant sur les nombres de Schmidt turbulents longitudinal et transversal.

Contexte : Les codes de calcul résolvant les équations de Barré de Saint Venant 2D (type Rubar20, Telemac 2D, Wolf-2D, etc...) ont montré depuis longtemps une grande capacité à calculer les écoulements peu profonds (présentant des composantes de vitesses selon la verticale bien plus faibles que dans le plan horizontal) de type écoulement en rivière, débordement en plaine d'inondation, inondation urbaine, etc... Ces codes de calcul 2D utilisent des modèles de turbulence de différente complexité allant d'une viscosité turbulente constante à un modèle de Elder ou encore un modèle k-epsilon 2D (Bruwier, Archambeau et al. 2017). Ainsi, dans le domaine des inondations urbaines, les modèles 2D ont montré leur grande capacité de prédiction des caractéristiques des écoulements dans les rues (Dewals, Kitsikoudis et al. 2023). Différents codes de calcul (dont Wolf-2D) sont actuellement utilisés pour calculer les écoulements d'inondation urbaine récemment mesurés à INRAE sur la nouvelle maquette urbaine MURI (Mejía-Morales, Mignot et al. 2021, Mejía-Morales, Mignot et al. 2023).

A l'opposé, une des grandes limites actuelles des modèles 2D réside dans le calcul de la dispersion de scalaire passif, qui peut représenter une dispersion de polluant, de sédiments fins en suspension, de nutriments, de gaz dissous, de température, etc... Une fois l'hydrodynamique calculée, l'équation d'advection-diffusion turbulente doit être résolue afin d'estimer la distribution 2D-horizontale de concentration, notée C , sur le domaine : $C(x,y)$. Tout comme pour l'équation de St Venant qui requiert un modèle pour l'estimation du coefficient de viscosité turbulente, l'équation d'advection-diffusion 2D a besoin d'un modèle de fermeture. Cela passe généralement par un tenseur dit de « diffusivité turbulente » qui modélise les effets de diffusion turbulente, dispersion verticale et courants secondaires sur le transport du scalaire via un modèle Fickien (reliant le flux turbulent au gradient moyen de concentration). Une synthèse bibliographique récente effectuée par les équipes concernées ici (INRAE, LMFA, Univ. de Liège) a montré que différentes approches peuvent être employées pour

quantifier ce tenseur de diffusivité turbulente. L'approche la plus simple consiste à calibrer un unique coefficient de diffusivité constant (en espace et en temps) et isotrope (Pathirana, Tsegaye et al. 2011) alors que l'approche la plus complexe utilise un tenseur (2x2) faisant intervenir les nombres de Schmidt turbulent longitudinal et transverse (Fang, Huang et al. 2022).

De plus, notre revue de littérature récente a permis de mettre en évidence un manque criant de base de données expérimentales de dispersion de scalaire en écoulement bidimensionnel peu profond, permettant une inter-comparaison de ces approches et leur validation. Du fait de ce manque de données de concentration permettant de tester et valider les modèles de fermeture de l'équation d'advection-diffusion 2D (notamment en configuration d'inondation urbaine), la thèse expérimentale de Clément Fagour, encadrée par S. Proust (INRAE), E. Mignot (LMFA) et B. Dewals (Univ. Liège), a débuté à l'automne 2021. Ce travail de doctorat vise à mesurer la dispersion d'un polluant rejeté dans une rue inondée par un débordement d'égout sur le même dispositif expérimental (MURI) et dans les mêmes configurations que mesuré par Mejía-Morales, Mignot et al. (2021).

Travail à réaliser : Suite à l'obtention de ces mesures, nous désirons rapidement tester les différentes approches de modélisation de l'équation d'advection-diffusion 2D et notamment du tenseur de diffusivité (comme décrit ci-dessus) afin de mettre en évidence la stratégie de modélisation optimale de simulation de pollutions urbaines par des modèles 2D. Le code de calcul envisagé est Wolf2D, développé par l'Université de Liège (Pierre Archambeau), qui a l'avantage d'être déjà utilisé et validé pour la partie hydrodynamique (Dewals, Kitsikoudis et al. 2023). L'accent sera mis sur la simulation de pollutions transitoires (d'intensité et de durée variables), étudiées expérimentalement par C. Fagour en 2023-2024.

Organisation : L'étudiant sera accueilli à l'Université de Liège (Belgique), au plus près des développeurs du code numérique WOLF 2D. Il sera encadré par Benjamin Dewals et Pierre Archambeau (Université de Liège), Sébastien Proust (INRAE) et Emmanuel Mignot (LMFA).

Profil du candidat : Ingénieur en fin d'étude ou Master 2, avec une formation en hydraulique et/ou en mécanique des fluides et des compétences en simulation numérique d'écoulements fluides.

Encadrement : Université de Liège : Benjamin Dewals (b.dewals@uliege.be) et Pierre Archambeau (pierre.Archambeau@uliege.be); LMFA-INSA : Emmanuel Mignot (emmanuel.mignot@insa-lyon.fr); INRAE : Sébastien Proust (sebastien.proust@inrae.fr). **Collaboration :** Clément Fagour (Doctorant à INRAE de 2021 à 2024) (clement.fagour@inrae.fr)

Financement : EUR H2O'Lyons. **Convention de stage :** signée avec l'INSA Lyon

Bruwier, M., P. Archambeau, S. Ercicum, M. Pirotton and B. Dewals (2017). "Shallow-water models with anisotropic porosity and merging for flood modelling on Cartesian grids." *Journal of Hydrology* **554**: 693-709.

Dewals, B., V. Kitsikoudis, M. Angel Mejía-Morales, P. Archambeau, E. Mignot, S. Proust, S. Ercicum, M. Pirotton and A. Paquier (2023). "Can the 2D shallow water equations model flow intrusion into buildings during urban floods?" *J. Hydrol.* **619**(129231).

Fang, L., J. Huang, J. Cai and V. Nitivattananon (2022). "Hybrid approach for flood susceptibility assessment in a flood-prone mountainous catchment in China." *Journal of Hydrology* **612**: 128091.

Mejía-Morales, M. A., E. Mignot, A. Paquier and S. Proust (2023). "Laboratory investigation into the effect of the storage capacity of a city block on unsteady urban flood flows." *Water Resour. Res.*

Mejía-Morales, M. A., E. Mignot, A. Paquier, D. Sigaud and S. Proust (2021). "Impact of the porosity of an urban block on the flood risk assessment: A laboratory experiment." *Journal of Hydrology* **602**: 126715.

Pathirana, A., S. Tsegaye, B. Gersonius and K. Vairavamoorthy (2011). "A simple 2-D inundation model for incorporating flood damage in urban drainage planning." *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **15**(8): 2747-2761.