



## Stage de Master 2 en Mécanique des Fluides numérique:

### Comment simuler une dispersion de pollution urbaine avec un code numérique 2D ?

Printemps 2023

---

INRAE : Sebastien Proust (sebastien.proust@inrae.fr)

LMFA : Emmanuel Mignot (emmanuel.mignot@insa-lyon.fr)

Univ. Liège : Pierre Archambeau + Benjamin Dewals (b.dewals@uliege.be)

---

**Objectifs** : 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.

**Contexte** : Les codes de calcul résolvant les équations de Barré de Saint Venant 2D (type Rubar20, Telemac 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 et al. 2017). Ainsi, dans le domaine des inondations urbaines, les modèles 2D ont depuis longtemps montré leur grande capacité de prédiction des caractéristiques des écoulements dans les rues. 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 (voir Mejia-Morales et al., 2021)

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 (comme présenté ci-dessus), 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 (voir par exemple Pathirana et al., 2011) alors que l'approche la plus complexe utilise un tenseur (2x2) faisant intervenir les nombres de Schmidt turbulent longitudinal et transverse (voir par exemple, Fang 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. En effet, la très grande majorité

des auteurs qui résolvent l'équation d'advection-diffusion 2D ne calibrent/valident pas leur tenseur de diffusivité à partir de données expérimentales et sélectionnent donc des coefficients de diffusivité soit sans justification (voir, par exemple, Behzadi et al 2018), soit basé sur les coefficients de dispersion longitudinal et transverse mesurés en écoulement 1D de rivière (approche de Fischer (1966) ou Rutherford (1994), récemment synthétisé par Huai et al., 2018). Nous n'avons trouvé, comme données de validation des tenseurs de diffusivité, que les données expérimentales parcellaires de Falconer (1986) et Morales-Hernandez et al. (2019).

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 Mejia-Morales et al. (2021). La figure 1 ci-dessous présente les premières visualisations de dispersion de scalaire dans le réseau de rues inondé (mis en évidence par du colorant bleu).

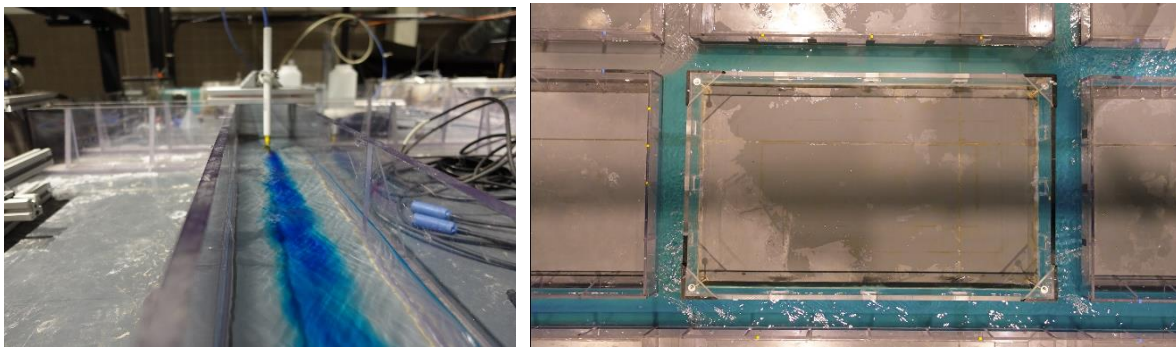


Figure 1 : premières visualisations de dispersion d'une pollution dans un réseau de rues inondées, par Clément Fagour sur Muri (INRAE)

**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 (papier en cours finalisation).

Pour mener à bien les simulations numériques, nous sommes à la recherche d'un étudiant de M2 en modélisation numérique d'écoulement fluide. L'objectif sera d'identifier la ou les approches les plus efficaces pour reproduire fidèlement une pollution urbaine résultant d'un débordement d'égout dans une rue inondée. Ensuite (hors cadre du stage de master), cette (ou ces) approche pourra être appliquée à des cas plus réalistes, telle que les inondations récurrentes à Oullins (banlieue de Lyon).

**Organisation :** L'étudiant sera accueilli à INRAE, au plus près du dispositif expérimental (Muri) et du doctorant qui mène les campagnes expérimentales, encadré par S Proust (INRAE) et E Mignot (LMFA) en proche collaboration P Archambeau et B Dewals de l'Université de Liège (Belgique). Des voyages réguliers de Lyon vers Liège sont aussi prévus.

## Références

- Bruwier, M., Epicum, S., Archambeau, P., Pirotton, M., & Dewals, B. (2017). Computing flooding of crossroads with obstacles using a 2D numerical model. *Journal of Hydraulic Research*, 55(5), 737-741.
- Falconer, R.A. "A Two-Dimensional Mathematical Model Study of the Nitrate Levels In an Inland Natural Basin", Proceedings Of the International Conference on Water Quality Modelling In the Inland Natural Environment, Bournemouth, BHRA Fluid Engineering Centre, Paper JI, June, p.325-344, 1986.
- Fang, S., Ji, Y., & Zhang, M. (2022). Numerical Modeling the Flood and Pollutant Transport Processes in Residential Areas with Different Land Use Types. *Advances in Meteorology*, 2022.
- Fischer, H. (1966). Longitudinal dispersion in laboratory and natural streams (thèse de doct.). California Institute of Technology
- Huai, W., Shi, H., Yang, Z. & Zeng, Y. (2018). Estimating the transverse mixing coefficient in laboratory flumes and natural rivers. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(8), 1-17.
- Mejía-Morales, M. A., Mignot, E., Paquier, A., Sigaud, D., & Proust, S. (2021). Impact of the porosity of an urban block on the flood risk assessment: A laboratory experiment. *Journal of Hydrology*, 602, 126715.
- Morales-Hernandez M., J. Murillo, and P. Garcia-Navarro, "Diffusion-dispersion numerical discretization for solute transport in 2D transient shallow flows," *Environmental Fluid Mechanics*, vol. 19, pp. 1217–1234, 2019.
- Pathirana, A., Maheng Dikman, M., & Brdjanovic, D. (2011, September). A Two-dimensional pollutant transport model for sewer overflow impact simulation. In Proceedings: *12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre/Brazil (pp. 10-15).
- Rutherford, J. (1994). River mixing. Wiley.