

Modélisation effective d'écoulements complexes dans les réseaux maillés : cas des inondations urbaines

- École doctorale: MSII (Strasbourg)
- Directeur: Abdellah Ghenaïm (Professor, HDR, INSA-ICUBE)
- Encadrants: Pascal Finaud-Guyot (Associate Professor, ENGEES-ICUBE), Pierre-André Garambois (Associate Professor, INSA-ICUBE)
- Laboratoire: ICUBE (UMR 7357) - CNRS, ENGEES, INSA, Uds

Les inondations représentent le premier risque naturel sur chaque continent et ont causé en Europe environ 100 milliards d'euros de dommage entre 1986 et 2006 (Moel et al., 2009). Dans le contexte du changement climatique et de ses effets potentiels sur les régimes et extrêmes hydrologiques, une urbanisation sans précédent dans les plaines inondables a accru la vulnérabilité sociétale. Ainsi, l'amélioration des méthodes de prévision des inondations assorties d'incertitudes, notamment en zone urbaine, est une priorité pour l'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire, de protection des biens et des personnes et pour le secteur des assurances. Actuellement, les cartes d'inondations sont fréquemment produites à partir de modèles « shallow water 2D » décrivant un profil de vitesse moyen sur la verticale. Les capacités prédictives d'un modèle dépendent généralement de sa complexité, de son domaine de validité et de la quantité et qualité des données disponibles.

Parmi les paradigmes de modélisation existants (3D, 2D, 1D), soit la paramétrisation ne permet pas une représentation réaliste de l'hydrodynamique des inondations, soit le coût de calcul et la quantité de données nécessaire pour les contraindre sont inabordables pour les modèles les plus complexes. Ainsi, cette thèse cherche à proposer des modèles physiques parcimonieux et fiables, tout en conservant des coûts de calcul réalistes, pour prédire les écoulements assortis de leurs incertitudes sur des plaines d'inondations complexes – incluant des écoulements maillés et / ou des zones urbanisées.

Il apparaît dans la littérature que les interactions entre des écoulements fortement énergétiques et les obstacles contrôlent l'hydrodynamique 3D comme cela est mis en évidence à l'échelle d'un carrefour (Bazin et al., 2017; Mignot, 2005). Ces phénomènes hydrodynamiques locaux (généralement 3D et turbulents) influencent la répartition des écoulements et l'évolution des hauteurs de submersion dans un réseau maillé depuis l'échelle locale du carrefour jusqu'à l'échelle globale du quartier (Finaud-Guyot et al., 2018). Ainsi, pour une représentation réaliste de ces phénomènes, la résolution d'un modèle 3D complet basé sur les équations de Navier-Stokes peut être nécessaire. En conséquence, la paramétrisation des phénomènes de dissipation d'énergie dans un modèle simplifié (par exemple un modèle « shallow water 2D ») peut dépendre de l'échelle de modélisation considérée pour la représentation de pertes de charge localisées et/ou du frottement pariétal sur des micro ou macro rugosités dans des géométries complexes (Cassan et al., 2014; Guinot, 2012). Les travaux récents sur les modèles à porosité (Bruwier, 2017; Chen,

2018; Özgen et al., 2016) ont suggéré l'utilisation d'une telle paramétrisation pour prendre en compte la microtopographie, pour modéliser de manière effective une hydrodynamique complexe à échelle sous-maille et ont posé la question de la variabilité temporelle de ces paramètres.

Par ailleurs, la prise en compte des échanges entre les écoulements dans la rue et dans les réseaux souterrains est essentielle pour la calibration et la modélisation de configurations réelles (avec des modèles 1D/1D (Mark et al., 2004) ou 1D/2D (Leandro et al., 2009)). Récemment, des travaux (Bazin, 2013; Saleh et al., 2017) se sont intéressés aux couplages entre écoulements dans les rues et dans les réseaux souterrains dans le cas de deux inondations réelles. En parallèle, la question de ces échanges est également abordée à l'échelle locale d'un avaloir (Djordjević et al., 2013) via une étude expérimentale et numérique. La question de la compréhension et de la modélisation de la répartition entre écoulements de surface et souterrains reste un sujet ouvert tant aux échelles locales que globales. Cela permettrait de pouvoir estimer l'importance de modéliser ou non cette physique pour reproduire une inondation réelle.

En outre, des travaux ont été menés récemment au sein du laboratoire sur la modélisation des inondations (Chen, 2018). Ils ont montré l'intérêt de paramétriser un modèle « shallow water » avec à la fois une porosité et un coefficient de frottement pour correctement reproduire en régime permanent la distribution des niveaux d'eau apparaissant à l'aval des carrefours. La généralisation de ces travaux à des phénomènes transitoires permettrait d'appliquer le modèle à des crues réelles.

Au cours des dernières années, le code de calcul *Flood1D2D* a été développé et validé au sein de l'équipe MecaFlu. Un travail sur la mise au point d'algorithmes de maillage adaptatifs (en cours de simulation) a été initié pour permettre une adéquation pertinente entre la finesse locale du maillage et la complexité des phénomènes hydrodynamiques. En complément, une démarche de parallélisation du code de calcul est mise en place pour accroître l'opérationnalité du code de calcul.

Cette thèse sera structurée autour des axes suivants :

- Une synthèse bibliographique
- La poursuite des développements informatiques de parallélisation du code de calcul. Cette étape est impérative afin d'envisager des études de sensibilité nécessitant un coût de calcul élevé voire pour réaliser des simulations directes sur des zones d'études conséquentes.
- L'écriture de bilans comportementaux à l'échelle du carrefour sur des données expérimentales.
- L'étude de nouvelles paramétrisations des phénomènes hydrodynamiques sous-maille incluant des termes d'échange entre bâti, réseaux enterrés et rues. L'écriture des modèles mathématiques associés et leur implémentation dans le code *Flood1D2D*.

- Les nouveaux modèles seront confrontés à des jeux de données expérimentaux (pilote inondation Icube) et réels (Hoboken, New-York – collaboration en cours) ainsi qu'à des simulations très détaillées afin d'accéder à des données non mesurables.

Bibliographie

- Bazin, P.-H. (2013). Écoulements lors d'inondations en milieu urbain : influence de la topographie détaillée et des échanges avec le réseau d'assainissement. Université Lyon 1.
- Bazin, P.-H., Mignot, E., and Paquier, A. (2017). Computing flooding of crossroads with obstacles using a 2D numerical model. *J. Hydraul. Res.* 55, 72–84.
- Bruwier, M. (2017). Advanced porosity-based models to assess the influence of urban layouts on inundation flows and impact of urban evolution of flood damage. University of Liege.
- Cassan, L., Tran, D.T., Courret, D., Laurens, P., and Dartus, D. (2014). Hydraulic Resistance of Emergent Macroroughness at Large Froude Numbers: Design of Nature-Like Fishpasses. *J. Hydraul. Eng.* 140, 04014043.
- Chen, S. (2018). Effective Shallow Water Models for Complex Flood Flow Patterns in Urban Areas. Université de Strasbourg.
- Djordjević, S., Saul, A.J., Tabor, G.R., Blanksby, J., Galambos, I., Sabtu, N., and Sailor, G. (2013). Experimental and numerical investigation of interactions between above and below ground drainage systems. *Water Sci. Technol. J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* 67, 535–542.
- Finaud-Guyot, P., Garambois, P.-A., Araud, Q., Lawniczak, F., François, P., Vazquez, J., and Mosé, R. (2018). Experimental insight for flood flow repartition in urban areas. *Urban Water J. Accepted*.
- Guinot, V. (2012). Multiple porosity shallow water models for macroscopic modelling of urban floods. *Adv. Water Resour.* 37, 40–72.
- Leandro, J., Chen, A.S., Djordjević, S., and Savić, D.A. (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation. *J. Hydraul. Eng.* 135, 495–504.
- Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S.B., and Djordjević, S. (2004). Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *J. Hydrol.* 299, 284–299.
- Mignot, E. (2005). Etude expérimentale et numérique de l'inondation d'une zone urbanisée: cas des écoulements dans les carrefours en croix. Ecole Centrale de Lyon.
- Moel, H., Alphen, J., and Aerts, J.C.J.H. (2009). Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9, 289–301.
- Özgen, I., Zhao, J., Liang, D., and Hinkelmann, R. (2016). Urban flood modeling using shallow water equations with depth-dependent anisotropic porosity. *J. Hydrol.* 541, 1165–1184.
- Saleh, F., Ramaswamy, V., Wang, Y., Georgas, N., Blumberg, A., and Pullen, J. (2017). A multi-scale ensemble-based framework for forecasting compound coastal-riverine flooding: The Hackensack-Passaic watershed and Newark Bay. *Adv. Water Resour.* 110, 371–386.