

Thèse : Mélange des eaux à l'aval d'une confluence – Amélioration de la modélisation des flux de contaminant dans les cours d'eau et les réseaux d'assainissement

Financement : ARC Environnement

Etablissement : INSA de Lyon

Ecole Doctorale : MEGA, Lyon

Résumé du projet:

Ce projet de thèse vise principalement à établir une loi permettant de prédire le taux de mélange des deux écoulements à l'aval de leur confluence, en fonction des principaux paramètres du problème, que sont les débits ou quantités de mouvement des affluents amont, leur différence de densité liée à la température et à la charge en suspension notamment, l'angle de jonction, les rapports largeur-profondeur. Pour cela, une étude paramétrique exhaustive se basera sur des expérimentations hydrauliques au laboratoire, sur des simulations hydrodynamiques 3D et sur des mesures de terrain (la confluence Rhône-Saône à Lyon en particulier). La finalité opérationnelle de ces travaux de recherche est de mieux paramétrer le mélange des eaux et substances associées dans les modélisations de flux polluants dissous et particulaires dans les cours d'eau et les réseaux d'assainissement.

Encadrement

Direction

- Nicolas RIVIERE, Professeur à l'INSA de Lyon, LMFA (Lab. de Mécanique des Fluides et d'Acoustique) – UMR 5509, e-mail : nicolas.riviere@insa-lyon.fr
- Jérôme LE COZ, IRSTEA, Laboratoire : UR Hydrologie-Hydraulique (HHLY), e-mail : jerome.lecoz@irstea.fr

Co-encadrants

- Gislain Lipeme Kouyi, INSA de Lyon, Lab. DEEP (Déchets Eaux Environnement Pollutions)
- Emmanuel Mignot, INSA de Lyon, LMFA (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique)

Contexte

Le sujet porte sur le mélange au sein des confluences d'écoulement à surface libre, qui concernent plusieurs échelles dans la gestion des milieux aquatiques et des risques environnementaux liés à l'eau.

La plus grande échelle (~10m-1000m) concerne les cours d'eau. Les confluences y sont le lieu de rencontre et de mélange d'eaux de différentes températures et/ou concentrations en scalaire (polluants, minéraux dissous, 'acidité', sels, gaz, turbidité, sédiments en suspension, etc.). La littérature fait état d'une distance nécessaire L_m , à l'aval de la confluence, pour mélanger efficacement les eaux des deux affluents. Cette distance varie de quelques fois à plus de cent fois la largeur de l'écoulement, sans que les processus responsables de telles variations soient clairement établis. En cas de pollution, cela correspond soit à une dilution rapide ou au contraire à une des berges aval qui reste exposée sur plusieurs kilomètres à une concentration forte en polluant (Launay *et al.*, 2015). En termes de sédiments, un mélange lent s'accompagnera de dépôts asymétriques à l'aval de la confluence, et à des taux de pollution différents dans les archives sédimentaires selon les apports amont (Launay, 2014).

Une échelle intermédiaire (~10m) concerne les inondations urbaines, avec des confluences formées par les carrefours (Rivière *et al.*, 2011). Ces confluences gouvernent, en plus de la répartition des flux inondant à travers la ville, celle des polluants : eau contaminée débordant du réseau (égouts) ou provenant de camions ou d'usines pris dans l'inondation.

Enfin, l'échelle la plus petite (~1m) est celle du réseau d'assainissement (Mignot *et al.* 2012, Momplot *et al.*, 2013) qui comporte de très nombreuses confluences où se mélangent des eaux de différentes qualités (en termes de matières en suspension, contaminants bactériens, chimiques ou médicamenteux, etc.). Dans ces réseaux, les dispositifs de mesure pour le suivi de la qualité des eaux

sont souvent situés à proximité des confluences, pour des raisons pratiques, comme par exemple l'existence d'un regard d'accès. Une homogénéisation rapide à l'aval des confluences conditionne la pertinence de mesures ponctuelles (censées être représentatives de la section de l'écoulement) utilisées pour ces suivis (en accord avec les récentes normes EN 752-2 & -7 et NF P 15-900-2). En plus des différences d'échelles, ces trois types de confluences présentent des rapports d'aspect largeur sur profondeur (b/h) très différents : $b/h \approx 10-100$ pour les confluences de rivières, $b/h \approx 5-100$ pour les rues inondées et $b/h \approx 1$ pour les réseaux d'assainissement. Or, ce rapport d'aspect est reconnu comme étant un facteur déterminant pour les processus de dispersion latérale et longitudinale au sein de l'écoulement.

L'intensité du mélange sur une section donnée est en général définie par un coefficient de diffusion turbulente transversale, lui-même relié à la distance de mélange L_m . La littérature utilise pour le calculer une formulation directement adaptée des écoulements en canal droit unique, sans tenir compte des spécificités des confluences (angle, rapport des débits entrants, rapport largeur/profondeur), faisant intervenir une constante qui peut varier de deux ordres de grandeur. De plus, la littérature ne s'accorde pas sur une définition unique pour considérer que l'écoulement est pleinement mélangé, ce qui conduit à des valeurs de distance de mélange et de coefficient de diffusion très variables. Des opérations de traçage fluorescent du Rhône à Miribel-Jonage réalisées par le Grand-Lyon et Irstea en 2000-2001 et en 2011 ont montré que les distances de mélange ainsi que la dispersion longitudinale dans des cours d'eau de taille moyenne étaient également mal prédites par la formulation existante (Launay *et al.*, 2015). Un enjeu fort est de pouvoir paramétrer le taux de mélange à l'aval de confluences dans les modèles unidimensionnels tels que le modèle développé par l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) ou encore le modèle opérationnel ROSALY qui assure l'alerte pollution en temps-réel des captages d'eau potable du Grand-Lyon.

Objectifs

Le sujet de thèse vise à obtenir une formulation macroscopique adaptée aux confluences, permettant de prévoir l'intensité du mélange et la longueur d'homogénéisation associée. Il répond à des objectifs opérationnels clairs : (i) prévoir la longueur d'homogénéisation à l'aval de confluences (type Rhône-Saône, Rhône-Ain, Vieux-Rhône-canal, *etc.*) dans les simulations opérationnelles (en général 1D pour ces échelles), notamment pour de nouvelles conditions hydrologiques et sédimentaires rendues possibles par le changement climatique, (ii) prévision de l'étendue de dispersion d'une pollution lors d'inondations urbaines et donc des quartiers touchés, avec le même type d'outils et (iii) améliorer la métrologie associée au suivi de la qualité de l'eau dans les réseaux et à la surveillance des rejets urbains vers le milieu naturel (indispensable pour surveiller les zones de loisir : baignade, activités nautiques, *etc.*) en respect des normes. La difficulté principale est que ce mélange est influencé par de nombreux paramètres, à travers des processus hydrodynamiques encore mal connus. Certains, comme l'intensité de la turbulence, sont estimés simplement par le produit profondeur-vitesse de frottement. D'autres, propres aux confluences, ont fait l'objet d'études intensives, comme une différence d'altitude du fond des deux affluents ou une différence de densité entre leurs eaux. D'autres enfin n'ont pas fait l'objet d'études spécifiques comme le rapport largeur/profondeur (b/h) ou le rapport des quantités de mouvement des deux affluents. Nos objectifs sont donc une étude paramétrique du coefficient de diffusion en confluence. La formulation obtenue sera intégrée dans le modèle 1-D AdisTS en vue de son évaluation à l'aide de mesures de terrain puis de son application au Rhône.

Méthodologie

La méthodologie mettra à profit les compétences et moyens complémentaires des laboratoires d'accueil :

1/ Analyse dimensionnelle et synthèse bibliographique permettront de recenser et d'analyser (critiquer si besoin) les valeurs et formules existantes des longueurs d'homogénéisation et coefficients de diffusion associés.

2/ Cela permettra une sélection des cas tests nécessaires (configurations géométriques = rapport profondeur/largeur, angle, *etc.* et hydrodynamiques = rapport de débits ou quantité de mouvement) à étudier lors de la thèse

3/ L'étude en laboratoire, nécessitera la prise en main des techniques de mesure, puis portera sur un nombre limité de conditions hydrodynamiques (débits, masses volumiques des affluents) et géométriques (angles, profondeurs).

4/ Les simulations numériques (code 3D commercial StarCCM+), après leur évaluation à partir des cas étudiés expérimentalement, permettront de généraliser l'étude, avec des gammes plus étendues des paramètres adimensionnels, afin d'obtenir une formule paramétrique de la longueur de mélange efficace.

5/ Les données de terrain permettront le test et l'application des résultats pour des confluences du Rhône : exploration terrain des écoulements et du mélange à la confluence Rhône/Saône, intégration de la formule paramétrique dans le modèle 1-D du Rhône et simulation d'événements avec des mesures hydro-sédimentaires (crues 2008, 2011, 2014, chasse et crue 2012).

Compétences & Moyens mis en œuvre

Le sujet s'appuie sur les compétences et moyens de trois laboratoires lyonnais, fortement impliqués dans les structures fédératives régionales (ZABR, OSR, OTHU, Ecoflu). Le LMFA a acquis une solide expérience de l'hydrodynamique à surface libre et possède une installation parfaitement adaptée, disponible pour l'étude: une confluence de canaux à surface libre, instrumentée en débits, profondeurs, vitesses et concentrations. Le laboratoire DEEP, spécialiste des eaux urbaines et notamment de la métrologie et de la modélisation des écoulements en réseaux urbains, dispose de l'expérience et des moyens de calculs adaptés aux simulations numériques des écoulements considérés. DEEP et LMFA sont tous deux partenaires de l'ANR Mentor sur l'amélioration de la métrologie des débits d'eau et des polluants particuliers en réseau et soumettent à ce jour une publication commune (expériences et simulations) pour le cas particulier des pollutions en confluence en réseaux d'assainissement. L'unité de recherche Hydrologie-Hydraulique d'Irstea (UR HHLY), spécialiste reconnu de la mesure et modélisation des écoulements fluviaux et du transport sédimentaire, dispose du matériel nécessaire aux mesures de terrain (profileur hydro-acoustique ADCP embarqué pour mesures hydrodynamiques et sédimentaire ; GPS différentiel pour le positionnement ; dispositifs de prélèvement d'eau et de sédiments en suspension; capteurs autonomes de pression (profondeur), température et turbidité (OBS) ; 2 fluorimètres de terrain pour éventuel traçage). De plus, l'UR HHLY développe le code de simulation Adis-TS appliqué notamment au Rhône à travers les modèles ROSALY et OSR du Léman à la mer.

Références

- Launay, M., Le Coz, J., Camenen, B., Walter, C., Angot, H., Dramais, G., Faure, J.-B., and M. Coquery (2015). *Calibrating pollutant dispersion in 1-D hydraulic models of river networks*, Journal of Hydro-environment Research 9(1), 120-132.
- Launay, M. (2014). *Flux de matières en suspension, de mercure et de PCB particulières dans le Rhône, du Léman à la Méditerranée*, Thèse de doctorat (soutenue par l'ARC Environnement de la Région Rhône-Alpes et l'OSR).
- Mignot E., Bonakdari H., Knothe P., Lipeme Kouyi G., Bessette A., Rivière N. and Bertrand-Krajewski J.-L. (2012). *Experiments and 3D simulations of flow structures in junctions and their influence on location of flowmeters*, Water Sc.& Tech. 66(6), 1325–1332.
- Mignot, E., Vinkovic, I., Doppler, D. and N. Riviere (2014). *Mixing layer in open-channel junction flows*, Environmental Fluid Mechanics, 14, 1027-1041.
- Momplot A., Lipeme Kouyi G., Bertrand-Krajewski J.-L., Mignot E., Riviere N. (2013). *Modélisation tridimensionnelle des écoulements multiphasiques en régime instationnaire au droit d'ouvrages spéciaux présents en réseau d'assainissement : performances des modèles et analyse de sensibilité*, La Houille Blanche, 4, 16-24.
- Rivière, N., Travin, G. and Perkins, R.J. (2011). *Subcritical open channel flows in four branch intersections*, Water Resources Research, 47, W10517