

Vers une meilleure connaissance et gestion du risque d'inondation dans les zones urbaines : le projet RIVES

Towards a better knowledge and management of flood risks in urban area : the RIVES project

Kamal El kadi Abderrezzak¹, André Paquier¹, Nicolas Rivière², Etienne Leblois¹, Vincent Guinot³

¹ Cemagref, Unité Hydrologie-Hydraulique, 3 bis quai Chauveau CP220, 69336 Lyon France (elkadi@lyon.cemagref.fr, paquier@lyon.cemagref.fr, leblois@lyon.cemagref.fr)

² LMFA, INSA, Bât. Jacquard, 20 av. Einstein, 69621, Villeurbanne, France (nicolas.riviere@insa-lyon.fr)

³ HSM UMR 5569, MSE, Université Montpellier 2, 34095 Montpellier Cedex 5, France (guinot@msem.univ-montp2.fr)

RESUME

Le projet RIVES s'intéresse à l'amélioration de la modélisation numérique des inondations urbaines. Il doit répondre à la question suivante : quelle est la complexité requise par un code de calcul d'écoulement en ville pour obtenir une estimation fiable du risque d'inondation. Les principales actions du projet sont (1) la génération des scénarios de pluie, (2) l'étude expérimentale des écoulements dans les carrefours et de l'impact des embâcles sur la réponse hydraulique, (3) la comparaison de différents modèles hydrauliques 2D pour la simulation des inondations urbaines (4) le couplage d'un modèle 2D d'écoulement en surface et d'un modèle 1D d'écoulement en réseau d'assainissement, et (5) l'évaluation des incertitudes de simulations numériques. Cet article présente les objectifs, approches et quelques résultats du projet.

ABSTRACT

The RIVES project is devoted to understanding the need for better hydraulic numerical modeling for flood events in urban areas. The project should answer the question: what is the suitable complexity of the numerical model required to fit decision making and planning for flooding events. The main components of the project are (1) the determination of rainfall scenarios, (2) the experimental study of flow in channel junction and the investigation of the effect of embankments on flow characteristics, (3) the comparison of various 2-D numerical models for simulating free surface flow in urban areas, (4) the coupling of hydraulic surface flow modelling with sewer flow routing, and (5) the assessment of uncertainty in numerical modeling. This paper presents the objectives, methods and some results of this research project.

MOTS CLES

Expérimentation ; inondations urbaines ; modélisation numérique ; modèle 2D ; RIVES.

1 INTRODUCTION

Une modélisation fiable d'une inondation urbaine nécessite une connaissance fine des écoulements qui peuvent se présenter au niveau de la parcelle, dans les rues, les carrefours et le réseau d'assainissement, et aux lieux d'échange entre le réseau et la surface. Néanmoins, les outils numériques actuellement disponibles pour la simulation des inondations urbaines ne sont pas assez performants. En effet, des simplifications excessives dans les équations décrivant l'écoulement ont été adoptées (distribution hydrostatique des pressions, calcul de débit au niveau des intersections, échanges avec le réseau d'assainissement négligés...); la résolution numérique des équations hydrodynamiques peut être sujette à des problèmes de stabilité numérique en cas de fonds secs par exemple, et le degré de description de la géométrie des éléments qui structurent le domaine d'étude manque en général de précision (Lhomme, 2006). Ceci peut induire de fortes incertitudes sur les résultats des modèles numériques, et par conséquent sur la cartographie des zones inondables.

Dans ce contexte, le projet RIVES (Risque d'Inondation en Ville et Evaluation de Scénarios) se propose durant la période 2005-2008 d'apporter une contribution à l'amélioration de la modélisation numérique des inondations en milieu urbain. Cet article présente les actions principales du projet et quelques résultats préliminaires.

2 PARTENAIRES DU PROJET

Les partenaires du projet sont : CEMAGREF de Lyon (Unité de recherche Hydrologie Hydraulique), Hydrosociences Montpellier (HSM), Laboratoire de Mécanique des Fluides et Acoustique (LMFA), Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), Université Technologique de Compiègne (UTC), Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées (LRPC) de Bordeaux et de Clermont-Ferrand, Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE)-Méditerranée, INSAVALOR et SOGREAH.

3 ACTIONS DU PROJET

3.1 Détermination de scénarios de pluie

L'analyse des précipitations permet de définir un ensemble de scénarios de pluie représentatifs du risque d'inondation local. Ces scénarios permettent d'établir des jeux de conditions aux limites (hydrogrammes de crue, pluies) qui peuvent servir d'entrées aux modèles numériques d'écoulement.

Au sein d'un bassin versant structuré (*i.e.* composé de sous-bassins emboîtés) (figure 1), la concomitance des crues le long du réseau détermine de façon forte les débits de pointe à gérer en aval. Par ailleurs, il n'est pas indifférent que la pluie survienne en tout point simultanément ou sur chaque sous-bassin indépendamment, car la concomitance des crues est au premier chef celle des pluies génératrices. D'où la stratégie de schématisation de l'aléa pluviométrique développée au sein du projet RIVES et présentée ci-dessous.

Simulation des pluies et sélection des champs horaires

La distribution ponctuelle et la variabilité spatiale des pluies sont simulées sur la base de mesures pluviométriques. Ces mesures sont introduites dans un générateur stochastique qui s'appuie sur la méthode des bandes tournantes afin de produire des champs de pluie horaire représentatifs du climat local. Pour chaque champ horaire, l'apport sur chacun des sous-bassin est calculé (tableau 1). Ensuite, pour chaque sous-bassin un nombre réduit k des champs horaires impliquant les apports les plus forts est sélectionné (tableau 2).

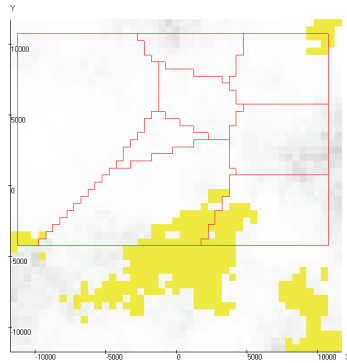


Figure 1. Simulation des pluies – la maille de simulation est de 500 m ; les traits fins délimitent huit secteurs de collecte

No	SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7	SBV 8
1	0	0.001	0	1.208	0.095	2.043	0.11	0.556
2	0	0.048	0.129	1.204	0.559	1.369	0.504	1.02
3	0.13	0.243	0.509	0.768	0.623	0.686	0.463	0.34
4	0.318	0.611	1.407	0.151	1.338	0.95	0.231	0.254
5	0.317	0.704	0.716	0.172	0.391	0.15	0.393	0.163
6	0.336	0.499	0.676	0.183	0.212	0.114	0.495	0.215
7	0.164	0.41	0.358	0.432	0.165	0.154	0.513	0.214
8	0.174	0.47	0.077	0.443	0.041	0.139	0.499	0.177
9	0.799	0.187	0.023	0.354	0.034	0.061	1.327	0.61
...								
10686	1.369	1.353	0.286	0.437	0.409	0.213	5.835	0.548
10687	1.116	1.501	0.223	0.39	0.201	0.16	2.8	0.59
10688	0.976	0.777	0.256	0.447	0.169	0.168	1.535	0.63
10689	0.553	0.455	0.233	0.301	0.149	0.128	0.991	0.51
10690	0.347	0.398	0.299	0.351	0.144	0.211	0.402	0.605
10691	0.275	0.33	0.516	0.519	0.23	0.348	0.323	0.453
10692	0.263	0.463	0.424	0.296	0.426	0.361	0.348	0.337
10693	0.92	0.955	0.348	0.265	0.956	0.99	0.951	0.371
10694	1.176	1.777	0.36	0.294	1.014	1.377	1.821	0.46
10695	1.759	1.185	0.433	0.644	0.895	1.069	2.34	0.649

Tableau 1. Pluies horaires simulées pour chaque sous-bassin (SBV). 10695 heures correspondent au nombre d'heures pluvieuses dans 20 années

point SBV1	No	SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7	SBV 8
#1	10631	30.288	20.949	7.326	2.434	8.874	7.399	5.763	8.945
#2	10632	23.435	19.529	6.146	5.075	5.786	3.959	7.736	11.669
#3	6377	19.597	11.146	7.114	6.32	6.127	3.566	8.664	14.032
#4	10633	18.385	11.157	2.252	3.369	2.223	1.058	5.165	10.519
#5	2392	16.256	4.591	0.417	1.931	1.345	0.736	8.093	8.053
...									
point SBV2		SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7	SBV 8
#1	10631	30.288	20.949	7.326	2.434	8.874	7.399	5.763	8.945
#2	10632	23.435	19.529	6.146	5.075	5.786	3.959	7.736	11.669
#3	4935	11.056	16.725	3.969	2.453	2.54	1.031	3.612	3.446
#4	10050	5.052	14.315	6.765	2.892	7.564	2.449	2.065	3.19
#5	8117	7.817	12.958	1.965	0.976	0.895	0.373	7.989	2.952
...									
point SBV3		SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7	SBV 8
#1	8955	1.004	2.188	14.29	0.091	4.941	0.526	1.214	1.278
#2	7745	2.143	3.797	14.211	1.053	7.631	2.997	0.665	3.078
#3	6233	3.686	3.443	12.63	1.166	4.366	2.4	1.779	3.139
#4	8956	0.65	1.32	11.937	0.164	1.086	2.168	1.763	0.73
#5	1565	7.553	6.381	11.346	3.927	5.432	1.022	3.009	6.958
...									
point SBV8		SBV 1	SBV 2	SBV 3	SBV 4	SBV 5	SBV 6	SBV 7	SBV 8
#1	6376	10.575	5.717	6.38	7.549	9.979	9.593	6.54	27.383
#2	6377	19.507	11.146	7.114	6.32	6.127	3.566	8.664	14.032
#3	6383	9.513	2.803	0.689	8.732	3.223	5.312	6.284	13.28
#4	2381	5.205	1.918	0.275	4.914	5.371	5.157	1.544	12.94
#5	6362	7.916	4.054	0.894	5.893	3.103	10.626	4.583	12.194

Tableau 2. Sélection des pluies, les k=5 pluies les plus fortes pour chaque sous-bassin

Discussion

Il convient d'inclure dans la sélection des pluies celles qui produisent les plus forts cumuls sur les réunions de sous-bassins, de façon à ce que l'échantillon soit représentatif de l'aléa quel que soit le niveau d'agrégation considéré et non pas seulement dans les sous-bassins élémentaires. Par ailleurs, l'introduction de la dynamique temporelle des pluies complique le schéma, sans en changer fondamentalement la nature. Ces deux aspects ont été écartés ici.

En pratique, sachant que l'effort de calcul doit rester modéré le choix de k doit être ajusté de sorte que la réunion comprenne le nombre d'événements n que l'on peut raisonnablement traiter. En règle générale, n diminue avec la corrélation du champ pluvieux, mais augmente fortement avec le nombre de sous-bassins distingués.

Par construction, la sélection obtenue paraît représenter correctement l'aléa pluviométrique pour une période de retour de l'ordre de la durée simulée pour les pluies, et assure surtout une bonne représentation du phénomène de concomitance, en prescrivant des pluies réalistes pour l'ensemble des sous-bassins.

3.2 Expérimentations dans un carrefour à surface libre

Les carrefours jouent un rôle important dans la répartition des écoulements au sein d'une ville. La connaissance des écoulements dans ces zones est alors nécessaire non seulement pour expliquer d'éventuelles défaillances des outils numériques de simulation, mais aussi pour travailler sur le choix des conditions aux limites ou de fermetures adaptées en cas de mise en place de modèles numériques simplifiés.

ATELIER 1

Le LMFA tente d'appréhender expérimentalement les écoulements qui apparaissent dans les carrefours en croix (figure 2). L'installation expérimentale est composée de quatre canaux identiques (30 cm de large et 2 m de long), en verre, et de pentes réglables entre -5% et +5% (Rivière *et al.*, 2005). Une pompe puise l'eau dans le réservoir du laboratoire et fournit les deux tuyaux d'alimentation. Ces tuyaux sont alors reliés au réservoir des deux canaux amont. Une vanne ainsi qu'un débitmètre électromagnétique de précision de ± 0.02 l/s sont situés sur chacun des tuyaux afin de pouvoir régler les deux débits d'entrée (Q_{ex} et Q_{ey}) de manière indépendante.

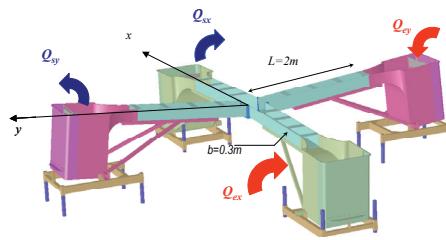


Figure 2. Installation expérimentale

Les résultats expérimentaux dans le cas où deux écoulements torrentiels se rencontrent au sein de la jonction sont portés sur la figure 3 (Rivière *et al.*, 2005). Des résultats préliminaires obtenus en fluvial (0%-0%) sont également présentés. Pour des valeurs fixes de Fr_{ex} , Fr_{ey} et h_{ex}/b (Fr_{ex} , Fr_{ey} sont les nombres de Froude et h_{ex} la profondeur d'eau à l'amont de l'intersection), la dépendance entre les débits latéraux d'entrée et de sortie est linéaire, mais avec une pente qui varie en fonction de Q_{ey}/Q_{ex} , à l'inverse des résultats obtenus en fluvial (Rivière *et al.*, 2005). Ces pentes dépendent de la nature et de la position des ressauts hydrauliques qui se forment dans le carrefour. Ainsi, trois grands types d'écoulement furent identifiés pour des écoulements torrentiels (Mignot *et al.*, 2005). Le Type I correspond à un ressaut hydraulique droit dans chacun des deux canaux amont. Le Type II correspond à un ressaut droit dans un seul des canaux amont et un autre ressaut oblique dans la jonction. Le Type III correspond à deux ressauts hydrauliques obliques au sein de la jonction. Pour chacun de ces types d'écoulement, des modèles analytiques de la répartition des débits dans les rues aval des carrefours ont été présentés (Mignot *et al.*, 2005) et peuvent donc être implémentés dans les codes de calcul numériques.

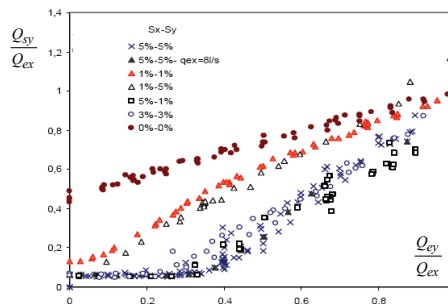


Figure 3. Résultats expérimentaux de répartition de débit (Rivière *et al.*, 2005). S_p est la pente des canaux d'axe p (p=x ou y)

Récemment, une base de données conséquente a été recueillie par le LMFA pour des écoulements partout fluviaux dans l'intersection et une campagne de mesures est en cours pour des écoulements transcritiques dans un carrefour à trois branches.

3.3 Influence des embâcles sur la réponse hydraulique

Les embâcles peuvent former des barrages dans les rues ou les intersections et ainsi modifier considérablement la répartition de débit. D'autre part, avec ou sans formation d'un barrage, le passage des embâcles peut modifier fortement la profondeur d'eau dans l'intersection et les rues avoisinantes. Ceci rend caduque la valeur de la laisse de crue relevée qui devient plus influencée par les embâcles emportés par l'écoulement que par les caractéristiques de l'écoulement elles-mêmes.

Une série d'expériences a été effectuée par le LMFA avec des embâcles constitués de véhicules à l'échelle de 1/44^{ème}. L'installation expérimentale est identique à celle présentée précédemment. Douze voitures de 14 cm de long ont été utilisées à sec dans le canal amont (x) selon trois types de stationnement : ligne, épi, bataille. Leur poids a été modifié afin de respecter la similitude de Froude. Au temps $t = 0$ s, la pompe d'alimentation est mise en route. L'eau pénètre dans l'installation par l'entrée amont (x), créant ainsi une onde de crue. Dix expériences par configuration ont été réalisées. La figure 4 illustre la formation d'un barrage après le passage d'une onde de crue pour des véhicules placés initialement en ligne. La figure 5 représente la hauteur d'eau mesurée contre la paroi à une distance de 5 cm en amont de l'intersection. Sur les dix tests effectués, la formation d'un barrage dans le carrefour ne s'est produite qu'une seule fois. Dans ce cas la hauteur d'eau a augmenté de 68%. Un autre résultat inattendu est l'augmentation systématique de la hauteur d'eau en cas de non-formation de barrage. Cette augmentation, de 75 à 97%, est due au passage de véhicules dans l'intersection. Elle reflète donc l'erreur commise en assimilant la hauteur moyenne atteinte par l'inondation à celle mesurée sur la paroi.

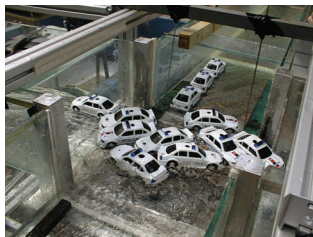


Figure 4. Exemple de formation d'un barrage

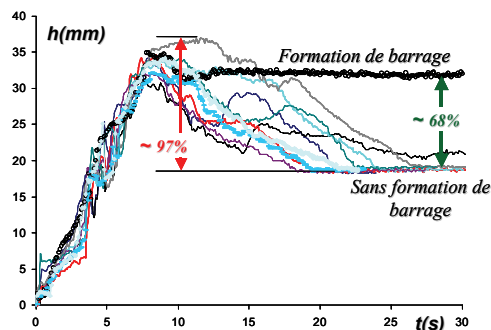


Figure 5. Evolution de la hauteur d'eau (véhicules initialement en ligne)

3.4 Comparaison de modèles hydrauliques 2D pour la simulation des écoulements de surface

Une comparaison entre quatre modèles numériques 2D est prévue. L'objectif de cette comparaison est double : d'une part il s'agit d'identifier les limites d'une modélisation 2D, et d'autre part de définir des critères permettant de choisir les modèles les plus adaptés pour simuler un événement en fonction de son intensité, du type et origine de l'inondation, de la densité urbaine du lieu d'étude et du degré de précision recherché. Les codes de calcul concernés sont :

ATELIER 1

- Rubar20 (Paquier *et al.*, 2003): les équations hydrodynamiques sont résolues par une méthode aux volumes finis en s'appuyant sur un schéma numérique explicite de Van Leer. Le maillage est très fin, non structuré et constitué de quadrilatères et de triangulaires.
- SW2D (Lhomme *et al.*, 2006): ce modèle macroscopique simule les écoulements dans des zones urbaines de grande étendue. La taille de maille typique est le pâté de maisons ou de quartier. Les temps de calcul et la quantité de données nécessaires pour utiliser ce modèle sont donc réduits par rapport à une modélisation qui s'appuie sur un maillage fin. Les équations hydrodynamiques ont été modifiées par l'introduction d'une porosité et de termes sources spécifiques. La porosité rend compte de l'obstruction des sections disponibles à l'écoulement et de la réduction de la surface de stockage en plan due à la présence de constructions, d'immeubles, *etc.* Les termes sources ont été modifiés pour rendre compte des pertes de charge dues aux multiples changements de régime, aux réflexions d'onde, *etc.* Les équations hydrodynamiques sont résolues par une méthode aux volumes finis avec un schéma de type Gudonov.
- Telemac 2D (LHF, 1997) : résout les équations de Saint-Venant à l'aide de la méthode des éléments finis ou des volumes finis sur un maillage triangulaire.
- Reflux2D (CETE- Méditerranée, 2002) : résout les équations de Saint-Venant par la méthode des éléments finis sur maillage triangulaire.

Une comparaison entre une modélisation macroscopique et une modélisation utilisant un maillage fin a été réalisée par (Lhomme *et al.*, 2006). La figure 6 représente les résultats obtenus pour la simulation de la propagation d'une onde de crue dans un modèle réduit de ville conçu par l'UTC. Un bon accord entre les simulations CR, PC et les mesures expérimentales a été obtenu. Les simulations PC permettent d'obtenir une réduction d'un facteur 2 du temps de calcul par rapport à la simulation CR.

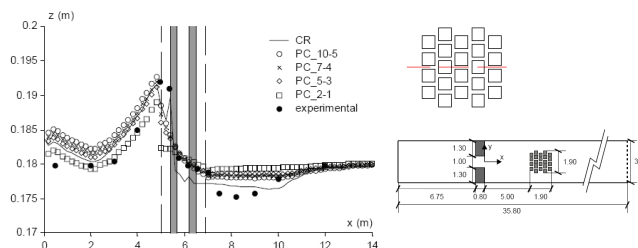


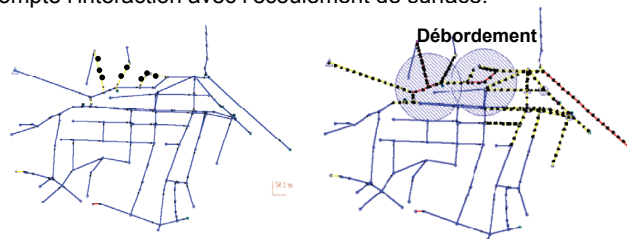
Figure 6. Profils en long de la surface libre. CR correspond à une simulation avec maillage fin. PC utilise le concept de porosité avec un maillage grossier ; plusieurs valeurs des coefficients de perte de charge singulière sont testés (Lhomme *et al.*, 2006).

3.5 Couplage de modèle 2D d'écoulement en ville et d'un modèle 1-D d'écoulement en réseau d'assainissement

Les modèles numériques d'écoulement de surface actuellement utilisés ne prennent pas en compte l'interaction entre l'écoulement de surface et l'écoulement dans le réseau d'assainissement, ce qui peut avoir un impact non négligeable sur l'analyse et la compréhension de la dynamique des crues. Ainsi, le but de cette action est de réaliser un couplage dynamique de modèles hydrauliques 2D d'écoulement de surface (Rubar20, Telemac ou Reflux2D) et du modèle 1D d'écoulement en réseau

d'assainissement Canoe (Insavaloir et Sogreah, 1997): les résultats de Canoe sont introduits comme conditions aux limites dans les modèles 2D et inversement. Les échanges entre le réseau de surface et le réseau souterrain se produisent en des endroits spécifiques que l'on peut diviser en trois catégories : les avaloirs, les regards et les exutoires de sortie du réseau d'assainissement donnant sur la rivière. Les débits qui y transitent peuvent être soit sortants vers la surface, soit entrants vers le réseau d'assainissement. Les échanges entre les deux types de modèles sont réalisés grâce à l'interface externe OpenMI (www.openmi.org). Cette interface constitue une plateforme informatique facilitant l'échange d'information entre deux codes de calcul sans avoir besoin de les fondre en un seul.

Un premier couplage entre Rubar20 et Canoe a été réalisé pour simuler la crue de décembre 2003 à Oullins (Renouf *et al.*, 2005). Les échanges ont été effectués uniquement dans le sens Rubar20-Canoe : les chroniques de hauteurs d'eau au niveau des déversoirs (qui constituent les exutoires du réseau d'assainissement) et les hydrogrammes de débit au niveau des avaloirs, fournis par Rubar20, ont été intégrés à Canoe. La figure 7 donne une vue en plan des débordements et des mises en charge du réseau (ligne en pointillées) avec et sans couplage. On peut constater que la zone mise en charge est plus étendue et qu'il y a eu un fort débordement en prenant en compte l'interaction avec l'écoulement de surface.



a) Sans interaction avec le réseau de surface b) Avec interaction avec le réseau de surface

Figure 7. Vue en plan des débordements et des mises en charge du réseau (ligne en pointillées)

3.6 Développement de modèles de propagation de sensibilité et d'incertitude

L'objectif de cette action est de développer des équations aux perturbations pour caractériser la propagation de la sensibilité dans les modèles de surface. La sensibilité d'une variable hydraulique à un paramètre exprime le degré d'influence que ce paramètre exerce sur la variable. Modéliser la propagation de la sensibilité sur un bassin versant donné permet entre autres de déterminer les régions de ce bassin où la sensibilité est la plus forte, qui sont également les endroits où il est prioritaire de mesurer les paramètres hydrauliques et les forçages (pluie, taux d'infiltration, *etc.*). Ceci permet d'optimiser la conception des réseaux de mesure, ainsi que les procédures de calage des modèles. Un premier travail a été réalisé par HSM. Les conclusions suivantes ont été dégagées :

- les équations de propagation de la sensibilité sont hyperboliques. Ceci est vrai pour l'équation de l'onde cinématique et pour les équations «shallow water». Ainsi, il est possible d'implanter leur résolution dans des logiciels existants sans en changer la structure informatique ;
- la sensibilité se propage à la même vitesse que les ondes de surface. Les équations sont donc linéaires par rapport à la sensibilité ;
- pour l'équation de l'onde cinématique, la sensibilité est une quantité invariante le long des caractéristiques. Lorsqu'un choc apparaît, un terme source

ponctuel de forme Dirac apparaît au niveau du choc dans l'équation de conservation de la sensibilité ;

- dans le cas de l'onde cinématique, les zones qui génèrent des sensibilités élevées sont les zones de plus forte pente. Pour un modèle de ruissellement basé sur l'onde cinématique, il est donc prioritaire de mesurer les forçages dans les zones où les pentes sont les plus fortes.

4 CONCLUSIONS

Les objectifs principaux et des résultats préliminaires du projet RIVES ont été exposés. Le projet se propose d'apporter une contribution au recensement et à l'amélioration de diverses approches de simulation numérique d'inondations urbaines. Les actions du projet se focalisent particulièrement sur les points suivants :

1. l'élaboration des scénarios de pluie permettant de caractériser le risque d'inondation en milieu urbain ;
2. la compréhension des écoulements dans les carrefours et l'influence des embâcles sur la réponse hydraulique. Pour ce faire, une série d'expériences a été effectuée par le LMFA ;
3. l'amélioration du caractère scientifique et opérationnel des modèles numériques d'écoulement avec en particulier le développement de modèles couplés (écoulement en réseau d'assainissement / écoulement à la surface de la ville) et de modèles plus ou moins simplifiés utilisant de grandes mailles de calcul. La comparaison des différentes approches numériques se fera à partir de cas issus des expérimentations (écoulements aux carrefours, embâcles) et d'événements réels (quartier de la Grenouillère de Bordeaux, centre ville d'Oullins, quartier Richelieu de Nîmes, Vieux Port de Marseille, quartiers des Salines et des Cannes à Ajaccio) ;
4. l'étude de la propagation de la sensibilité des résultats de simulation aux valeurs des paramètres.

A terme, l'intégration des résultats de ce projet pour l'amélioration de la gestion urbaine est attendue que ce soit pour la prévision, la planification de mesures ou pour l'aménagement proprement dit de l'espace urbain.

BIBLIOGRAPHIE

- CETE- Méditerranée (2002). *REFLUX2D - Module hydrodynamique - Interprétation physique de la formalisation théorique*. CETE Méditerranée, Aix-en-Provence.
- Insavaloir et Sogreah (1997). *Canoe, logiciel d'Hydrologie Urbaine, conception et évaluation de réseaux d'assainissement, simulation des pluies, des écoulements et de la qualité des eaux*.
- Lhomme, J., Soares-Frazão, S., Guinot, V. and Zech, Z. (2006). Large-scale urban floods modelling and two-dimensional shallow water models with porosity. Proc. 7th International Conference on Hydroinformatics, Nice.
- Lhomme, J. (2006). *Modélisation des inondations en milieu urbain : approches unidimensionnelle, bidimensionnelle et macroscopique (thèse)*. Université Montpellier 2.
- Mignot, E., Rivière, N., Perkins, R.J., Paquier, A. (2005). Flow patterns in a four branches junction with supercritical flow. Submitted to *J. Hydro. Eng.*
- Paquier, A., Tanguy, J.M., Haider, S. et Zhang, B. (2003). Estimation des niveaux d'inondation pour une crue éclair en milieu urbain : comparaison de deux modèles hydrodynamiques sur la crue de Nîmes d'octobre 1998. *Revue des Sciences de l'Eau*, 16(1), 79-102.
- Renouf, E., Paquier, A. and Mignot, E. (2005). Assessment of the exchanges between sewage network and surface water during flooding of the town of Oullins. Proc. 10th International Conference on the Urban Drainage, Copenhagen.
- Rivière, N., Chocat, B., Mignot, E., Paquier, A., Perkins, R. et Travin, G. (2005). Croisement de canaux à surface libre. Colloque ANR ECCO, Centre Météo-France, Toulouse.