

## Gestion en temps réel et prévisionnelle des débits en milieu urbain

### Real-time management and flows predictions for urban water networks

Rossi Luca<sup>1</sup>, Frederic Jordan<sup>1</sup>, Murielle Thomet<sup>1</sup>, Philippe Heller<sup>1,2</sup>

1 : e-dric.ch, ch. Du Rionzi 54, 1052 Le Mont-sur-Lausanne – Suisse (e-dric.ch)

2: Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR)

Bd de Pérolles 80, 1705 Fribourg - Suisse

## RÉSUMÉ

La gestion des eaux urbaines se base sur des outils de modélisations performants, mais ces outils restent aux mains des spécialistes de l'assainissement et ne sont que rarement utilisés au jour le jour par les exploitants et les autorités. Or les développements IT, que ce soit au niveau de la capacité de calcul et d'Internet, ouvrent la voie vers de nouvelles solutions plus conviviales, favorisant par son interactivité une utilisation quotidienne des outils de simulation. Un modèle hydrodynamique et de qualité des eaux a ainsi été développé en Suisse et est utilisé pour modéliser en temps réel et prévisionnel les débits et la qualité des eaux en milieu urbain. Il se base sur l'outil Routing System (RS) et son module RS URBAN, couplé aux données météorologiques de MétéoSuisse (données actuelles et modèles prévisionnels COSMO2, COSMO7, basés sur le modèle européen ECMWF). L'ensemble des calculs est effectué sur un serveur centralisé et l'utilisateur final consulte les résultats via une interface GeoWeb. En plus des résultats de simulation, l'interface développée reçoit les informations des capteurs en place en temps réel (connexions GSM/GPRS ou Ethernet). Le système a été mis en place et tourne actuellement sur 5 sites en Suisse depuis plus de trois ans pour certains (agglomérations entre 35'000 et 700'000 équivalents-habitants). En plus du système lui-même, le retour d'expériences obtenues et les appréciations des utilisateurs sont discutés dans cet article.

## ABSTRACT

Urban water management systems are based on powerful modeling tools, but these tools remain in the hands of sanitation specialists and are rarely used daily by operators and local authorities. Yet IT developments, whether at the level of computing capacity and Internet, pave the way to new, more user-friendly solutions, by promoting interactivity in the daily use of simulation tools. A hydrodynamic model, integrating water quality modelling, has been developed in Switzerland and is used to model and forecast in real time flows and water quality of urban sanitation systems. It is based on the Routing System (RS) tool and its RS URBAN extension, coupled with weather data from MeteoSwiss (current data and forecasting models COSMO2, COSMO7, based on the European model ECMWF). The set of calculations is performed on a centralized server and the end user consults the results via a Web interface. In addition to the simulation results, the interface receives information from sensors in place in real time (GSM / GPRS or Ethernet connections). The system was implemented and currently runs on five locations in Switzerland for more than three years (settlements between 35,000 and 700,000 population equivalent). In addition to the description of the system itself, the return of experiences gained and users assessments are discussed in this article.

## MOTS CLÉS

Gestion en temps réel, interface Web, modélisation, optimisation, prévision des débits

## 1 INTRODUCTION

La gestion des eaux urbaines en Suisse est déléguée aux communes (OEaux, 2015). Ces dernières disposent ainsi d'un *Plan Général d'Evacuation des Eaux* (PGEE) qui sert de base à une planification à long terme de leurs infrastructures (VSA, 1990). Dans le cadre des PGEE, le recours à la modélisation des écoulements a souvent permis de dimensionner les réseaux ou de vérifier les capacités hydrauliques de ces derniers. Bien que très complètes, les informations contenues dans les PGEE ne permettent cependant pas de mettre en place, sur la base des outils utilisés, une gestion en temps réel et prévisionnelle des réseaux analysés. Or cette dernière approche apporte des outils particulièrement intéressants aux gestionnaires de réseaux (Schütze et al, 2004, Hénonin et al. 2012, Garcia et al. 2015).

Basée sur des données météorologiques prévisionnelles, la modélisation hydrologique permet en effet de calculer une prévision de débit à l'exutoire de chaque bassin versant, urbain ou naturel. Couplée à un modèle hydraulique du réseau urbain ainsi qu'un à modèle de génération des eaux usées, ce modèle combiné prévoit les débits dans l'ensemble du réseau urbain (pas de temps horaire jusqu'à 10 jours en avance) tout en traçant l'origine de chaque débit (principe du pollueur-payeur) et sa teneur en différents polluants (DBO<sub>5</sub>, DCO, ammonium pour les principaux). Le modèle permet ainsi aisément l'analyse quantitative et qualitative des débits.

Outre les analyses d'état (bilans pollutifs, scénarios d'extension, croissance de population, mise en séparatif...), les outils de prévision sont également utilisés pour la gestion des bassins de rétention, la minimisation des rejets au niveau des déversoirs d'orage, la gestion en temps réel des eaux contaminées (p.ex. dans le cadre de la gestion des micropolluants issus des hôpitaux), la gestion des capteurs de mesures dans le cadre du monitoring ou encore l'optimisation du fonctionnement des stations d'épuration (STEP) par temps de pluie.

Cet article donne un bref aperçu d'un modèle de prévision des débits en milieu urbain illustré par l'exemple d'un réseau d'épuration (34'000 habitants raccordés répartis dans 14 communes politiques) permettant de voir dans quelle direction s'oriente la gestion future des eaux usées urbaines. Les retours d'expériences des utilisateurs permettent d'analyser les avantages et inconvénients d'un tel système.

## 2 DESCRIPTION DU SYSTEME

La modélisation prévisionnelle se base globalement sur quatre éléments : des données météorologiques prévisionnelles, un modèle hydrologique validé sur un bassin versant urbain donné, un outil de calcul et une plateforme de visualisation.

Pour les données météorologiques, il existe en Suisse différents fournisseurs de prévisions, dont MétéoSuisse ([www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch)). Sur la base de modèles météorologiques globaux (ECMWF, 2015), ce fournisseur calcule une prévision adaptée au contexte helvétique, basée sur les modèles COSMO 2 et COSMO 7, (COSMO 2015 ; Jaun and Ahrens 2009). Il est ainsi possible de prévoir les précipitations et la température jusqu'à une dizaine de jours en avance. Pour le calcul, les prévisions météorologiques reçues sont régulièrement mises à jour (toutes les 12 heures pour le modèle COSMO, toutes les heures pour les données temps-réel), ce qui nécessite de recalculer l'ensemble des informations à cette même fréquence. Les informations météorologiques sont introduites dans un modèle hydrologique utilisé pour représenter les écoulements en provenance des bassins versants urbains et naturels (Figure 1), en tenant compte des eaux claires (EC) ou des eaux usées (EU) produites par le bassin versant et la population. Ces modèles, extensions urbaines des concepts GSM-SOCONT (Schaefli et al, 2005) et SWMM (Storm Water Management Model, Metcalf and Eddy, 1971), transforment les données météorologiques en débits. Le type de modèle utilisé présente des similarités avec ceux mis en place dans la plupart des PGEE, mais il est adapté pour permettre de l'utiliser en mode prévisionnel. En particulier, il met l'accent sur la modélisation détaillée des eaux claires parasites (ECP). Finalement, il est important de disposer d'un outil de visualisation performant. L'utilisateur final doit disposer d'une interface simple et conviviale qui lui permette de travailler également sur site avec les données prédites. L'ensemble des informations est géré dans un Cloud et l'utilisateur final accède à ses informations par le biais d'une interface web, développée spécifiquement pour cette application en PHP-JavaScript. La visualisation des résultats sur Internet permet ainsi, à l'aide d'un simple smartphone, de disposer partout et en tout temps des informations sur un site donné.

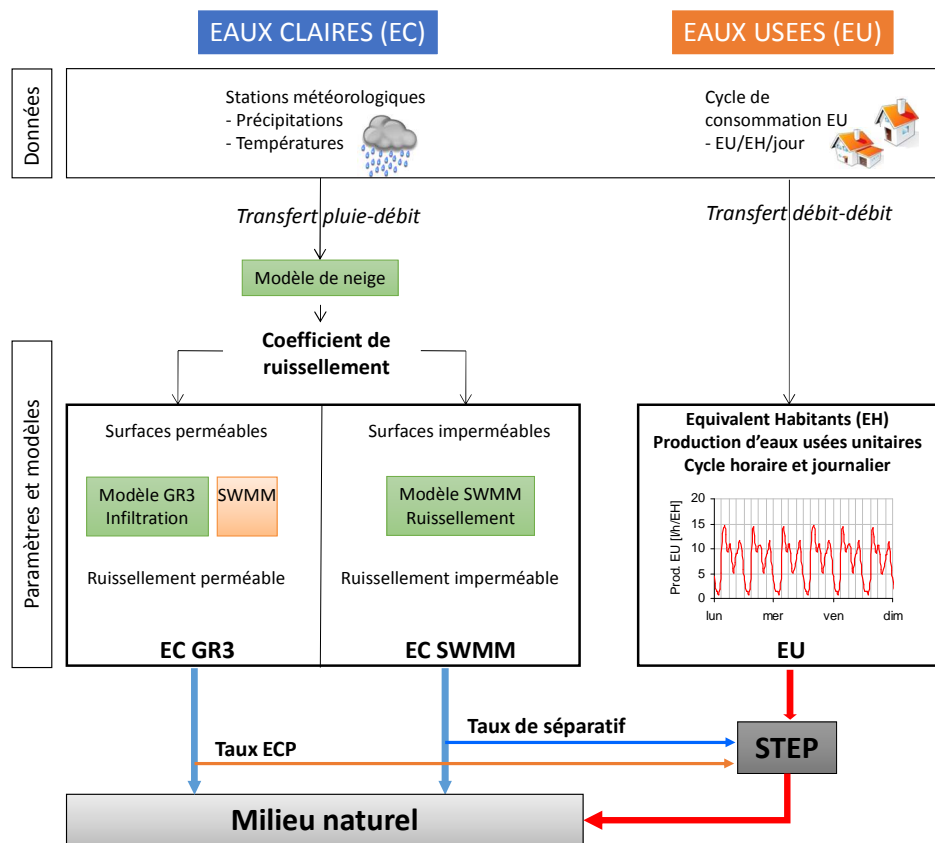


Figure 1. Description globale des composants du bassin versant urbain, incluant les données d'entrée (météorologie et données liées aux eaux usées), les principaux paramètres du modèle (imperméabilité, taux de séparatif, infiltration des eaux) et les deux exutoires du modèle (réseau d'eau usée et d'eau pluviale, milieu naturel)

### 3 EXEMPLES D'APPLICATION

Le système développé a été mis en place et est en phase de développement pour différentes villes et associations d'épuration des eaux. Le Tableau 1 liste certains de ces développements, avec le nombre d'équivalents-habitants impliqués et les spécificités locales du réseau.

Tableau 1 : exemple de développements de la méthodologie de gestion des eaux en temps réel et prévisionnel, avec les contraintes spécifiques des réseaux modélisés

Site	Nbre eq.-habitant	Type de réseau	Spécificités de modélisation / gestion
Genève	700'000	unitaire et séparatif	Outils de gestion pour le réseau primaire (ossature principale), à cheval sur la Suisse et la France. Nombreuses stations de relevage, concept d'autosurveillance demandé
La Chaux-de-Fonds	40'000	unitaire	Milieu karstique, neige (altitude du bassin versant: 1000m), inondations récurrentes, impacts des déversoirs dans un milieu sensible (Doubs)
Lausanne	430'000	unitaire et séparatif	Plusieurs communes (10), bassin versant en pente (alt. min: 373 m, alt. max: 890 m, forte croissance démographique, milieu naturel sensible (Lac Léman)
Région Morges	35'000	unitaire et séparatif	14 communes impliquées, 17 postes de relevage des eaux, problèmes d'ECP, problèmes de déversoirs d'orage, bassin versant relativement étendu
Vevey-Montreux	140'000	unitaire et séparatif	Associations de plusieurs communes, projet de transfert des eaux vers une nouvelle station d'épuration traitant les micropolluants

Un exemple d'application de la méthodologie est illustré pour le cas de la région de Morges (Association intercommunale pour l'épuration des eaux usées de la région morgienne, ERM). Les eaux épurées de la région morgienne (14 communes raccordées) sont en effet collectées et traitées dans une station d'épuration centralisée (34'000 habitants raccordés). Etant donné l'étendue du territoire ainsi que les multiples postes de relevage (17) et de déversement (13), il est essentiel pour l'association de disposer d'un outil de visualisation et de contrôle de son réseau. Il est également important pour la gestion de la STEP de prévoir les débits futurs. Finalement, une gestion des capteurs de mesures des débits (systèmes de mesures IJINUS) est souhaitée, afin de limiter les interventions sur sites et contrôler différentes branches du réseau de manière optimale (déplacement des capteurs dès les informations du capteur ont permis d'optimiser le modèle).

La Figure 2 illustre l'interface utilisateur d'un système de prévision des débits, ainsi que différentes informations pour un événement de pluie important à venir (exemple du 27 juin 2014). Les prévisions montrent que certains déversoirs d'orage seront actifs. D'autre part, la capacité hydraulique de certains tronçons sera dépassée, ce qui peut engendrer un risque d'inondation sur une partie du réseau. De plus, une alerte 3 sur les débits entrants en STEP (échelle définie d'entente avec l'exploitant de la STEP) sera atteinte pour cet événement. L'exploitant pourra ainsi prendre préventivement les mesures adéquates pour protéger la STEP, continuer d'optimiser son fonctionnement et ainsi minimiser les rejets polluifs dans le milieu naturel.

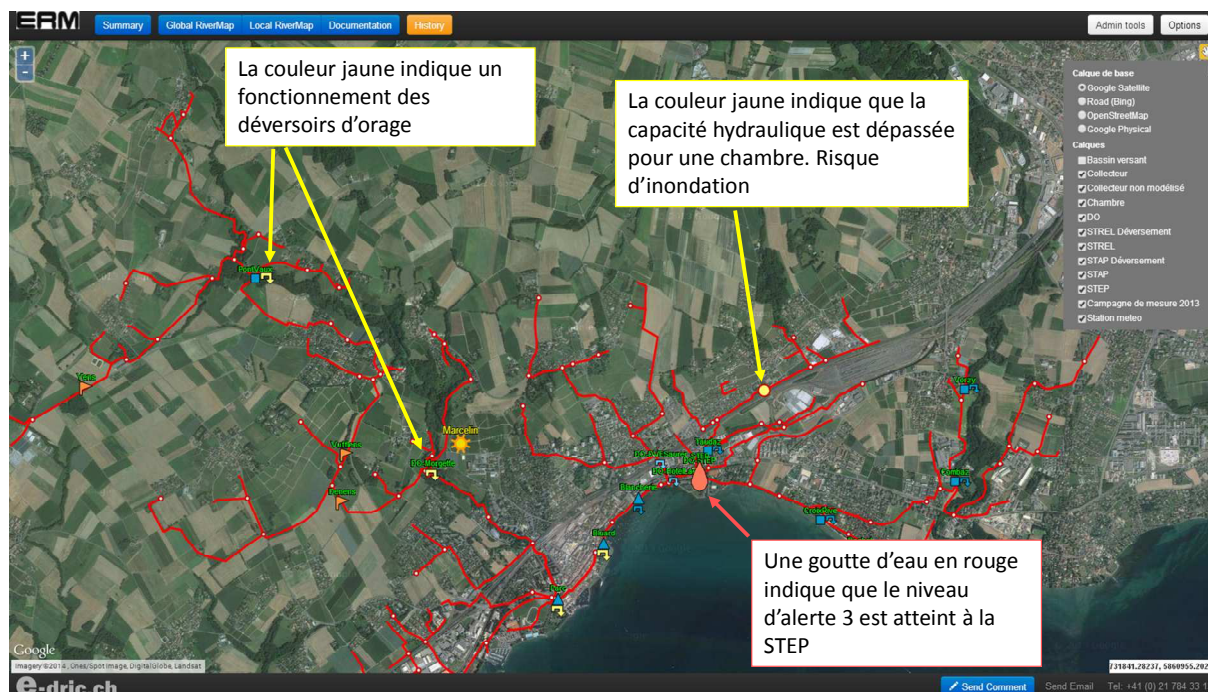


Figure 2 : Interface géographique on-line qui présente la situation du réseau de l'ERM (Morges) le 27 juin 2014, en prévision de précipitations importantes. L'interface présente trois points critiques : la mise en fonction de 2 déversoirs d'orage, la capacité hydraulique maximale atteinte au niveau d'un regard et un niveau d'alerte 3 en entrée de station d'épuration pour les débits (seuils d'alerte fixés par l'exploitant).

De nombreux exemples de gestion des eaux en milieu urbain comprennent un outil de gestion en temps réel permettant d'actionner des vannes ou des systèmes de régulation pour dériver ou retenir un volume d'eau tout en minimisant les impacts sur les milieux naturels. Toutefois, peu de systèmes offrent la possibilité d'anticiper ces débits valablement sur une période de plusieurs jours. De plus, des projets sont en cours afin d'anticiper non seulement les débits en réseau d'assainissement, mais également le fonctionnement des stations d'épurations et les impacts potentiels sur les cours d'eau (Rossi et al, 2009). Il est d'ores et déjà possible de couvrir l'ensemble du cycle de l'eau en milieu urbain afin de minimiser les impacts sur les milieux récepteurs. Ces développements vont dans le sens d'une approche de type *immission* dans les cours d'eau, à savoir une approche orientée vers la capacité d'un cours d'eau à accepter un certain degré de contamination, sans conséquences pour la flore et la faune présente dans le milieu. Une telle approche est notamment préconisée pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie en Suisse (Rossi et al. 2009 ; VSA 2007).

## 4 SYNTHÈSE

La gestion prévisionnelle des débits fait partie désormais des outils ordinaires de gestion des ouvrages hydro-électriques (Jordan et al. 2010 ; Brauchli et al. 2012). L'utilisation de ces mêmes outils dans le domaine urbain ouvre des perspectives particulièrement intéressantes pour les municipalités. A l'échelle helvétique, ces outils de prévisions des débits en milieu urbain apportent des avantages notamment au niveau de :

- Crue : anticipation des dangers et des risques d'inondation ;
- Station d'épuration : anticipation de la gestion, amélioration de la qualité des rejets, réduction des coûts en électricité ;
- Monitoring : redondance entre les données issues du modèle et celles des mesures permettant d'identifier plus rapidement des problèmes au niveau des capteurs ou du modèle (réduction du nombre d'interventions sur site) ;
- Autosurveillance : contrôle en continu des ouvrages de surverses et alerte en cas de risque de déversement. Les statistiques de déversement sont en outre directement consultables en temps réel ;
- Gestion en temps réel : lorsque des ouvrages de rétention ou des ouvrages de régulations sont disponibles, leur gestion peut être anticipée.

Les retours d'expériences sur cette approche sont brièvement donnés ci-dessous. Il s'agit de points non exhaustifs établis sur la base des contacts avec les utilisateurs. Ces points forts et points faibles ne sont pas donnés dans un ordre de priorité.

Plusieurs fonctionnalités sont particulièrement intéressantes du point de vue de l'utilisateur. L'outil développé permet notamment une meilleure gestion des flux de plusieurs communes, permettant l'identification des apports respectifs de chacune d'elles. Une taxation adaptée, basée sur le principe *pollueur-payeur* est ainsi favorisée. D'autres développements, tels que le suivi des capteurs en place en temps réel (alarme en cas de défaillance), la prévision de fonctionnement pour la STEP, les prévisions des risques d'inondation (sous-capacité du réseau...) ou l'information sur le fonctionnement des DO (mise en fonction, volumes et charges déversées, origine de la pollution...) sont également appréciées.

Le modèle est relativement global en termes de détails hydrologiques et hydrauliques. Il n'effectue pas une modélisation détaillée de chaque tronçon et chaque regard: en fonction des caractéristiques hydrauliques, l'utilisation de modèles hydraulique "classiques" reste nécessaire pour des questions spécifiques. En cas de changement dans la structure du modèle on-line, le prestataire doit être informé régulièrement des mises à jour. Les modèles hydrologiques utilisés sont performants et régulièrement utilisés dans le domaine de la production hydro-électrique. Ils sont par contre peu connus dans la profession et suscitent de ce fait une certaine méfiance de la part des spécialistes. Finalement, l'application pratique de la méthode est développée sous forme de service (abonnement annuel), ce qui conduit à une perte d'autonomie de la part des communes dans la gestion de leur réseau, comme c'est le cas dans tous les processus d'externalisation des services des municipalités.

A ce jour et bien qu'encore perfectible, les utilisateurs sont déjà satisfaits des prestations de l'outil. Mais cette satisfaction passe par une réactualisation des données et un re-paramétrage régulier des modèles. Aucun système automatique ne peut remplacer l'expérience de l'opérateur spécialisé. Des contacts réguliers entre l'utilisateur et l'opérateur sont ainsi essentiels pour assurer une utilisation optimale du système.

De nombreux projets de recherches sont en cours dans ces domaines, notamment en Suisse. Actuellement, les municipalités peuvent d'ores et déjà bénéficier de ces avancées technologiques, permettant de les aider dans les tâches complexes de la gestion des eaux en milieu urbain.

## BIBLIOGRAPHIE

- Brauchli T., Joerin C., Bourqui J.-M., Knechtel P., Jordan F. (2012). *Decision support system for the Saane River basin. Flood management based on flow forecast*. Proc., 12th Congress INTERPRAEVENT 2012, Grenoble.
- COSMO (2015). *Consortium for Small-scale Modeling (COSMO)*. <http://www.cosmo-model.org/>. Last access: 25.11.2015.
- ECMWF (2015). *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*. <http://www.ecmwf.int/>, last access:



25.11.2015.

- Hénonin, J., Russo, B., Mark, O., Gourbesville, P. (2012). *Real-time urban flood forecasting and modelling - a state of the art*. Journal of Hydroinformatics 15:3, IWA Publishing.
- Jaun S., Ahrens B. (2009). *Evaluation of a probabilistic hydrometeorological forecast system*. Hydrology and Earth System Sciences 13:7. 1031-1043, doi:10.5194/hess-13-1031-2009
- Jordan F., Boillat J.-L. and Schleiss A. J. (2010). *Prévision et gestion des crues du Rhône supérieur par l'exploitation optimale des retenues alpines*. La Houille Blanche 5, 91-102.
- Metcalf and Eddy (1971). *Storm Water Management Model, US EPA, Washington, D.C. Vol. I - Final Report, 11024DOC 7/71. Vol. II - Verification and Testing, 11024DOC 8/71. Vol. III - User's Manual, 11024DOC 9/71. Vol. IV - Program Listing, 11024DOC 10/71*. Water Resources Engineers, and University of Florida, USA.
- OEaux. (2015). *Ordonnance suisse du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux), état le 1er octobre 2015*. RS 814.20, confédération helvétique, Berne.
- Rossi L, Chèvre N, Fankhauser R, Krejci V. (2009) *Probabilistic environmental risk assessment of urban wet-weather discharges: an approach developed for Switzerland*. Urban Water Journal 6:5, 355–367. doi:10.1080/15730620902934801
- Schaefli, B., Hingray, B., Niggli, M., and Musy, A. (2005). *A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments*, Hydrol. Earth Syst. Sci., 9, 95-109, doi:10.5194/hess-9-95-2005.
- Schütze, M., Campisano, A., Colas, H., Schilling, W., & Vanrolleghem, P. A. (2004). *Real time control of urban wastewater systems - where do we stand today?* Journal of hydrology, 299(3), 335-348.
- VSA (1990). *Plan général d'évacuation des eaux (PGEE) – Directive*. Association suisse des professionnels de la protection des eaux, Glattbrugg, Suisse
- VSA (2007). *Rejets pluviaux urbains dans les eaux de surface (STORM) – Directive pour la planification conceptuelle de mesures de protection*. Association suisse des professionnels de la protection des eaux, Glattbrugg, Suisse
- García L., Barreiro-Gomez J., Escobar E., Téllez D., Quijano N., Ocampo-Martinez C. (2015). *Modeling and real-time control of urban drainage systems: A review*. Advances in Water Resources 85:120-132, <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.08.007>.