

## Le projet AVuPUR: stratégie expérimentale et de modélisation, et premiers résultats

The AVuPUR project (Assessing the Vulnerability of Peri-Urbans Rivers) : experimental set up, modelling strategy, and first results

Braud I.<sup>1</sup>, Chancibault K.<sup>2</sup>, Debionne S.<sup>3</sup>, Lipeme Kouyi G.<sup>4</sup>, Sarrazin B.<sup>5</sup>, Jacqueminet C.<sup>6</sup>, Andrieu H.<sup>2</sup>, Béal D.<sup>6</sup>, Bocher E.<sup>2</sup>, Boutaghane H.<sup>4</sup>, Branger F.<sup>1</sup>, Breil P.<sup>1</sup>, Chocat B.<sup>4</sup>, Comby J.<sup>6</sup>, Dehotin J.<sup>1</sup>, Dramais G.<sup>1</sup>, Furusho C.<sup>2</sup>, Gagnage M.<sup>6</sup>, Gonzalez-Sosa E.<sup>1</sup>, Grosprêtre L.<sup>6</sup>, Honegger A.<sup>6</sup>, Jankowsky S.<sup>1</sup>, Joliveau T.<sup>6</sup>, Kermadi S.<sup>6</sup>, Lagouy M.<sup>1</sup>, Leblois E.<sup>1</sup>, Martin J.Y.<sup>2</sup>, Mazagol P.O.<sup>6</sup>, Michell K.<sup>6</sup>, Molines N.<sup>6</sup>, Mosini M.L.<sup>2</sup>, Puech C.<sup>1</sup>, Renard F.<sup>6</sup>, Rodriguez F.<sup>2</sup>, Schmitt L.<sup>6</sup>, Thollet F.<sup>1</sup>, Viallet P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Cemagref, UR HHLY, Lyon, France ([isabelle.braud@cemagref.fr](mailto:isabelle.braud@cemagref.fr))

<sup>2</sup> IRSTV, Rue Massenet, BP 81931, 44319 Nantes Cedex 3, France ([katia.chancibault@lcpce.fr](mailto:katia.chancibault@lcpce.fr))

<sup>3</sup> HYDROWIDE, 1025 Rue de la Piscine, Domaine Universitaire, 38420 St-Martin D'Hères, France ([debionne@hydrowide.com](mailto:debionne@hydrowide.com))

<sup>4</sup> Université de Lyon, INSA-Lyon, LGCIE, F-69621, Villeurbanne, France ([gislain.lipeme-kouyi@insa-lyon.fr](mailto:gislain.lipeme-kouyi@insa-lyon.fr))

<sup>5</sup> ISARA, Agrapole, 23 Rue Jean Baldassani, 69364 Lyon, France ([benoit.sarrazin@isara.fr](mailto:benoit.sarrazin@isara.fr))

<sup>6</sup> Université de Lyon, UMR CNRS EVS, 18 Rue Chevreul, 69363 Lyon Cedex 7, France ([Christine.Jacqueminet@univ-st-etienne.fr](mailto:Christine.Jacqueminet@univ-st-etienne.fr))

### RÉSUMÉ

Le projet AVuPUR a pour but d'améliorer la compréhension et la modélisation des flux d'eau dans les bassins versants périurbains. Il s'agit notamment de fournir des outils pour quantifier l'impact d'objets anthropiques tels que zones urbaines, routes, fossés sur les régimes hydrologiques des cours d'eau de ces bassins. Cet article présente la stratégie expérimentale et de collecte de données mise en œuvre dans le projet et les pistes proposées pour l'amélioration des outils de modélisation existants et le développement d'outils novateurs. Ces outils seront utilisés pour simuler et quantifier l'impact des modifications d'occupation des sols et/ou du climat sur les régimes hydrologiques des bassins étudiés.

### ABSTRACT

The aim of the AVuPUR project is to enhance our understanding and modelling capacity of water fluxes within suburban watersheds. In particular, the objective is to deliver tools allowing to quantify the impact of anthropogenic elements such as urban areas, roads, ditches on the hydrological regime of suburban rivers. This paper presents the observation and data collection strategy set up by the project, and the directions for improving existing modelling tools or proposing innovative ones. Finally, we present how these tools will be used to simulate and quantify the impact of land use and climate changes on the hydrological regimes of the studied catchments.

### MOTS CLÉS

Bassins périurbains, observation, modélisation hydrologique, scenarii, occupation des sols

## 1 INTRODUCTION

A cause de l'urbanisation et des pollutions associées, les rivières périurbaines sont soumises à des pressions de plus en plus importantes. Afin d'aboutir à des outils de modélisation intégrée, des progrès sont encore nécessaires pour pouvoir modéliser, sur le long terme, le cycle hydrologique dans ces zones, en prenant en compte l'hétérogénéité des surfaces (mélange de zones rurales et urbaines), et les chemins de l'eau naturels et artificiels. Cette question est au centre du projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers). Ses objectifs sont 1) de proposer une meilleure description des bassins périurbains et des chemins de l'eau associés, à l'aide de reconnaissances de terrain, de couches SIG et d'images de télédétection à haute résolution ; 2) de développer des outils détaillés de simulation du cycle hydrologique dans les bassins périurbains et améliorer notre connaissance des processus impliqués ; 3) d'améliorer les modèles hydrologiques existant grâce à une meilleure prise en compte des zones rurales et urbanisées afin de dériver des outils utiles aux gestionnaires (Directive cadre sur l'eau et sur les inondations) ; 4) de réaliser des simulations longues du cycle hydrologiques s'appuyant sur des scénarii passés et futurs d'occupation des sols, et de quantifier l'impact sur le régime hydrologique. Ces simulations seront traduites en terme de vulnérabilité des rivières aux inondations, et d'impact sur la géomorphologie : érosion des berges et impact associé sur les fonctions écologiques des cours d'eau. L'applicabilité et la transposabilité des méthodes est abordée grâce à deux bassins soumis à une urbanisation rapide dans les années récentes, avec un aval densément urbanisé. Les contextes géologiques et climatiques sont en revanche très différents. Le bassin de l'Yzeron (150 km<sup>2</sup>) est situé dans l'ouest Lyonnais (Figure 1a) et présente de fortes pentes à l'amont ainsi qu'un climat plutôt Méditerranéen. Le bassin de la Chézine (34 km<sup>2</sup>) (Figure 1b) est situé en banlieue de Nantes. C'est un bassin avec très peu de relief et un climat océanique.

Ce projet (2008-2010) regroupe des équipes pluri-disciplinaires de climatologues, d'hydrologues ruraux et urbains, d'hydro-informaticiens, de géographes physique et humaine. On présente dans la suite les quatre thèmes principaux du projet et les principaux résultats d'ores et déjà obtenus.

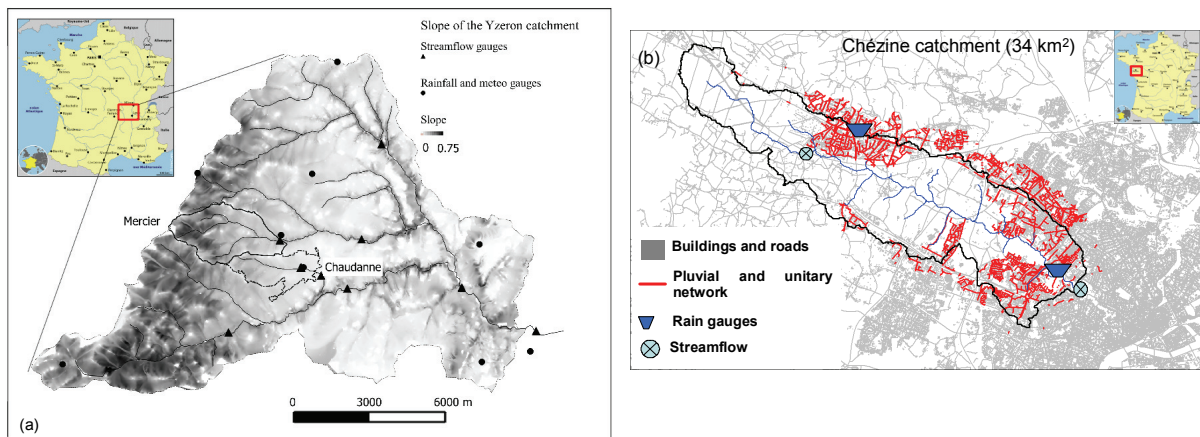


Figure 1: (a) Localisation du bassin de l'Yzeron et instrumentation. Le bassin rose est le Mercier (7 km<sup>2</sup>) sous forêt et cultures et le jaune est la Chaudanne (3.6 km<sup>2</sup>) cultivée à l'amont et urbanisée à l'aval. (b) Localisation et instrumentation du bassin de la Chézine. La couleur rouge montre les zones urbanisées avec deux zones principales: l'une près de l'exutoire, l'autre dans la partie centrale au Nord.

## 2 STRATEGIE D' OBSERVATION ET COLLECTE DES DONNEES

Dans les deux bassins, des couches SIG décrivant la topographie, la géologie, les sols et l'occupation des sols ont été acquises, de même que les bases de données urbaines décrivant les réseaux d'eau pluviales ou usées, et le cadastre. L'information nécessaire est éclatée entre divers acteurs et opérateurs avec des formats le plus souvent différents. Un système de coordonnées commun a donc été choisi et toutes les couches projetées dans ce système pour devenir interopérables. Par ailleurs, un travail spécifique de cartographie fine de l'occupation des sols s'est avéré nécessaire. En effet, des informations détaillées sur l'hétérogénéité des surfaces et leur perméabilité sont requises pour la modélisation hydrologique. Les données facilement accessibles comme le Corine Land Cover ou la BPTopo de l'IGN ne les fournissent pas. Pour répondre aux besoins de l'hydrologie, une cartographie de l'occupation des sols, s'appuyant sur des photos aériennes et de l'imagerie satellite très haute

résolution (THR) a été construite. Deux directions sont investiguées : la classification automatique de l'occupation des sols sur de grande surface à l'aide d'images THR, et la cartographie diachronique à partir d'images aériennes depuis 1945 (Béal et al., 2009). Comme on le montre plus bas, ces informations sont utilisées pour déterminer un réseau de drainage cohérent et délimiter les unités de modélisation.

Des données hydro-météorologiques sont aussi acquises sur les deux bassins et de nouveaux appareils installés si nécessaire. La Figure 1 montre la localisation des pluviographes, de la station météo et des stations de mesure du débit sur les deux bassins. Pour les débits, une stratégie de bassins emboîtés est mise en œuvre, afin d'obtenir les données nécessaires à l'évaluation des performances des modèles aux différentes échelles d'intérêt. De plus, plusieurs sous-bassins ont été sélectionnés pour échantillonner différentes occupations des sols. Sur la Chézine (Figure 1b), la station amont, installée en 2008, draine un bassin rural, alors que la station exutoire, mise en place en 2001, est située en zone densément urbanisée. Sur le bassin de l'Yzeron, deux sous-bassins sont plus particulièrement étudiés : le Mercier est recouvert en majorité de forêts et de cultures. La Chaudanne est cultivée à l'amont et urbanisée à l'aval (Figure 1a). Pour ces deux sous-bassins, des données sont acquises depuis 1997, avec trois stations de débit sur la Chaudanne, correspondant à des zones rurales ou urbaines. Ces données ont été analysées et les incertitudes sur les débits quantifiées. Sur ces cours d'eau intermittents, les résultats montrent une précision largement insuffisante sur les basses eaux pour pouvoir quantifier de manière fiable des bilans hydrologiques (Michel, 2009). Des améliorations des dispositifs sont prévus pour palier à ces problèmes, car la quantification des basses eaux est importante pour les questions de qualité des cours d'eau.

Les données ont aussi été analysées à l'échelle de l'événement et les coefficients de ruissellement correspondant calculés. Sur les deux bassins, on met en évidence des comportements différents entre l'été et l'hiver. En été, les sols sont généralement secs et la réponse hydrologique est essentiellement reliée aux zones urbanisées, surtout si les épisodes sont courts et intenses. En hiver, les sols sont plus humides et la contribution des zones rurales est plus importante. Sur le bassin de la Chézine, des hydrogrammes avec deux pics sont parfois observés en été (Figure 2a). Ils peuvent être reliés à l'impact des deux zones urbaines (Figure 1b et 5) avec une réponse hydrologique rapide mais des temps de transfert différents selon la position dans le bassin. En hiver, la contribution des zones rurales lisse la réponse et les deux pics ne sont plus visibles. Le temps de transfert est aussi accru (Figure 2b). Par ailleurs, le coefficient de ruissellement moyen (2001-2007) est plus faible en période sèche (0.06) qu'en hiver (0.16). Pour la Chaudanne et le Mercier, on trouve, sur la période 2005-2008, des valeurs de coefficient de ruissellement similaires pour les zones rurales (0.03 en moyenne une fois retiré le débit de base). Il est en revanche significativement plus élevé pour la station drainant une zone urbaine (station de la Léchère, avec une valeur moyenne de 0.05).

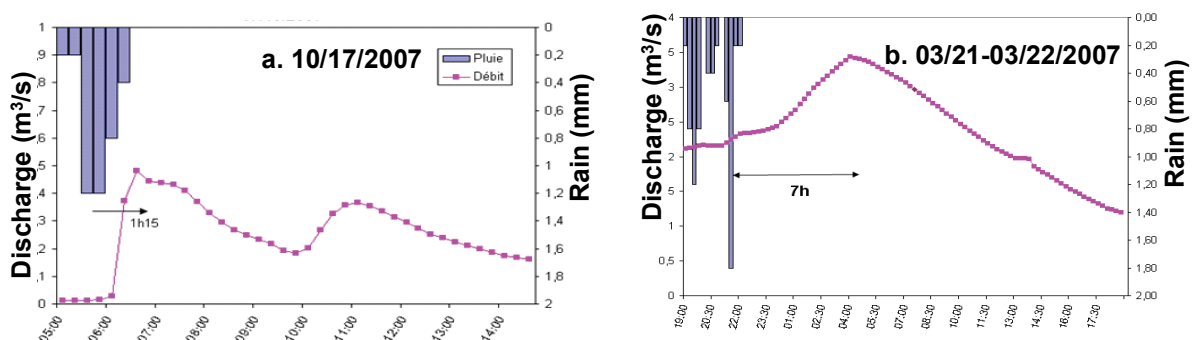


Figure 2: Exemple de deux épisodes sur le bassin de la Chézine. (a) Conditions initiales sèches, deux pics, temps de transfert court de 1h15. (b) Conditions initiales humides, un seul pic, temps de transfert de 7h.

En plus de ces données hydro-météorologiques traditionnelles, un effort spécial porte sur la documentation des propriétés hydrodynamiques des sols. Une campagne de terrain a été réalisée sur le Mercier à l'aide d'essais d'infiltration sous charge ou sous succion. Une campagne du même type est en cours sur la Chézine. Les résultats sur le Mercier montrent une forte capacité d'infiltration du sol à saturation (essais sous charge) et des valeurs plus élevées sur les forêts et les prairies que sur les sols cultivés, à cause de la macroporosité. Cette hypothèse est confirmée par les essais sous succion qui montrent une très forte diminution de la conductivité hydraulique lorsqu'on passe d'un sol saturé à un sol presque saturé (Gonzalez-Sosa et al., 2010). Des transects ont aussi été réalisés par méthodes géophysiques (résistivité électrique) pour documenter la structure verticale des sols. Sur le

bassin du Mercier, dans les talwegs, les sols sont très profonds (plus de 15m), avec une couche arable peu épaisse et une couche épaisse de roches altérées (Goutaland, 2009). Sur le bassin de la Chézine, trois techniques géophysiques ont été comparées, avec un bon accord entre les trois. Des carottes de sol seraient nécessaires pour affiner l'interprétation des résultats. Toutes de ces informations seront utilisées pour spécifier les paramètres de sol des modèles présentés section 3.

Sur le bassin de l'Yzeron, des études géomorphologiques sont aussi menées afin de mieux connaître les processus contrôlant le transport de sédiments et l'incision des berges. Il s'agit de déterminer les débits critiques de mise en mouvement des particules du lit et d'en déduire des indicateurs de stabilité des chenaux (courbes débit-durée-fréquence, seuils de dépassement du débit critique). D'autres indices hydrologiques seront aussi évalués en fonction du contexte environnemental tel que la pente ou la taille des grains. Une première approche a permis de tester plusieurs formules théorique pour des petits chenaux périurbains (e.g. Bathurst et al., 1987; Schoklitsch, 1962) s'appuyant sur des mesures *in situ* de la pente du lit, sa géométrie, la taille des grains et la rugosité du lit. Une deuxième approche, expérimentale, a pour but de mesurer *in situ* les particules mises en mouvement par différentes crues. Elle utilise des cailloux peints pour les particules grossières (Liebault et al., 1999) et un échantillonnage automatique pour les sédiments fins (Hicks, 1994). Un turbidimètre a aussi été installé. On en déduit une estimation du débit critique de mise en mouvement. Les deux méthodes sont mises en œuvre sur la Chaudanne et le Mercier, là où des données hydrologiques sont disponibles et les contextes contrastés. Par ailleurs, la datation des dépôts alluviaux (par OSL et  $^{14}\text{C}$ ) dans les berges du lit et une étude de l'occupation des sols sur les 200 dernières années conduisent au modèle suivant. Les parcelles labourées ont diminué dans le passé récent et ont été remplacées par des forêts ou des prairies. Il y a donc diminution de l'érosion. Les cours d'eau ne peuvent plus satisfaire leur capacité de transport, ce qui provoque de l'incision. Ces résultats illustrent le lien entre occupation des sols, pratiques humaines et dynamique des cours d'eau.

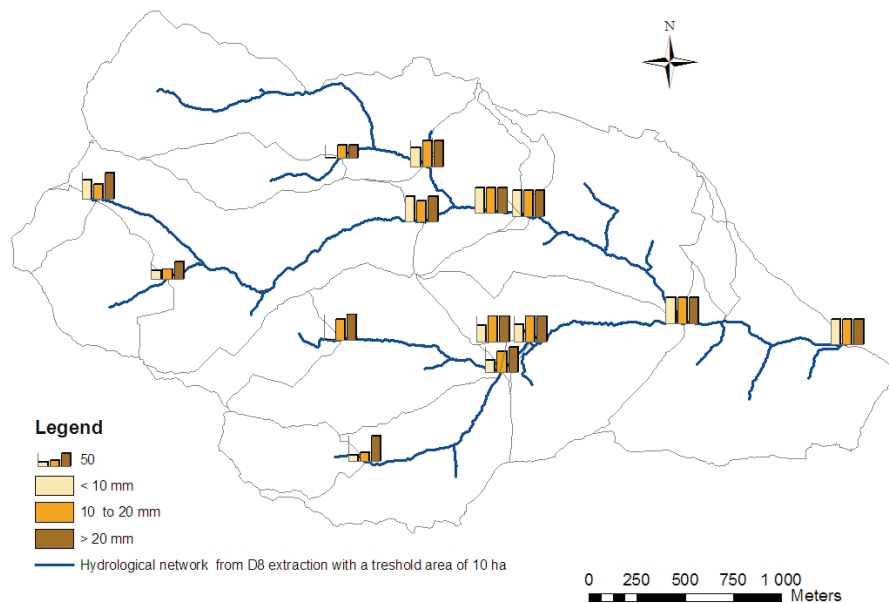


Figure 3: Pour les 15 limnigraphes du Mercier, les barres montrent la fréquence d'activation du réseau (i.e. quand il y a de l'eau dans le cours d'eau) pour 28 épisodes pluvieux divisés en trois classes selon le cumul de pluie

Enfin, sur le bassin du Mercier, l'intérêt des données lidar (conduisant à la définition d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à 2m de résolution) a été évalué. Les résultats montrent que le lidar fournit une information pertinente pour améliorer la connaissance des chemins de l'eau. Sur le bassin du Mercier, considéré comme « naturel », on met en évidence un fort impact des routes et des chemins sur ces derniers : à l'aide d'un algorithme D8 et une surface seuil de 1ha, plus de 25% du réseau extrait est composé de fossés, routes et chemins. Pour mieux comprendre les relations entre la réponse hydrologique et les paramètres physiographiques, un réseau de limnigraphes (15 en 2009) a été mis en place sur des cours d'eau permanents et intermittents (Figure 3). Les temps de montée et de descente sur les limnigraphes ont été analysés et montrent différents types de réponse, en fonction de la position dans le bassin versant et l'occupation des sols. La Figure 3 montre la fréquence d'activation du réseau pour trois classes de pluie. Le réseau est activé pour tous les épisodes sur les parties est et centrale du bassin (couvertes de cultures et de prairies). Il est peu activé sur la partie ouest, couverte de forêts, surtout pour les épisodes faibles. L'utilisation d'hydrogrammes unitaires

géomorphologiques (Gupta et al., 1980) est en cours d'évaluation pour voir si une description fine des distances à l'exutoire, décrites à l'aide du lidar, et des hypothèses simples sur les vitesses de transfert en versant et dans le réseau peuvent expliquer les dynamiques observées par le réseau de limnigraphes. Ces données qui fournissent des informations pertinentes sur les processus hydrologiques actifs, compléteront les données classiques pour évaluer le réalisme des hydrogrammes simulés par les modèles décrits dans la section 3.

### 3 VERS DES MODELISATIONS DETAILLEES DES BASSINS PERIURBAINS

Afin de comprendre, décrire et modéliser de manière détaillée le cycle hydrologique dans les bassins périurbains, une première étape est la description du réseau de drainage, en prenant en compte les cours d'eau naturels, les fossés et les réseaux d'assainissement (séparatif ou unitaire). Plusieurs stratégies sont testées et évaluées. La première s'appuie sur l'usage traditionnel du MNT pour déterminer les directions de drainage à partir de la topographie seule. La seconde approche appelée « objet » s'appuie sur la topographie, la carte d'occupation des sols et des structures anthropiques pour délimiter des objets 2D (parcelles agricoles, parcelles cadastrales urbaines) ou des objets linéaires (réseau hydrographique, routes, fossés, réseaux d'assainissement) afin de déterminer les directions de drainage (Rodriguez et al., 2003). La dernière méthode (TANATO, Bocher, 2005) utilise une triangulation de Delaunay de la surface topographique (TINs). Les directions de drainage sont ensuite modifiées pour prendre en compte des contraintes sur les écoulements telles que les fossés, les haies, etc.. Les développements récents, réalisés durant le projet AVuPUR, ont permis de prendre en compte les zones urbaines dans les algorithmes (Bocher et Martin, 2009).

Les trois approches ont été comparées sur le bassin de la Chézine, où le réseau d'eau pluviale est séparatif. La Figure 4 montre les réseaux de drainage correspondant et souligne l'impact des structures anthropiques sur les frontières du bassin, ainsi que sur le réseau de drainage lui-même. Avec l'approche « objet », la surface du bassin est réduite comparé à l'approche basée sur le MNT seul. L'approche TINs conduit à une surface de bassin plus proche de l'approche MNT seul. Cependant, le réseau de drainage déduit du MNT seul ne permet pas de représenter l'impact des routes et des fossés sur les chemins de l'eau. Cette influence est bien vue par les approches « objet » et TIN, même si le résultat final est différent. La Figure 5 compare la distribution des distances à l'exutoire dérivée des trois approches. Les trois courbes présentent deux maxima qui peuvent être associés aux deux zones urbaines mises en évidence Figure 1b. Le second maximum est obtenu pour des distances plus grandes avec l'approche TIN qu'avec les deux autres approches. Ces distributions de distance peuvent être utilisées pour construire des hydrogrammes unitaires et/ou des hydrogrammes géomorphologiques (Gupta et al., 1980) pour le transfert du ruissellement. Il sera intéressant d'évaluer l'impact des différentes distributions de distance sur cette réponse.

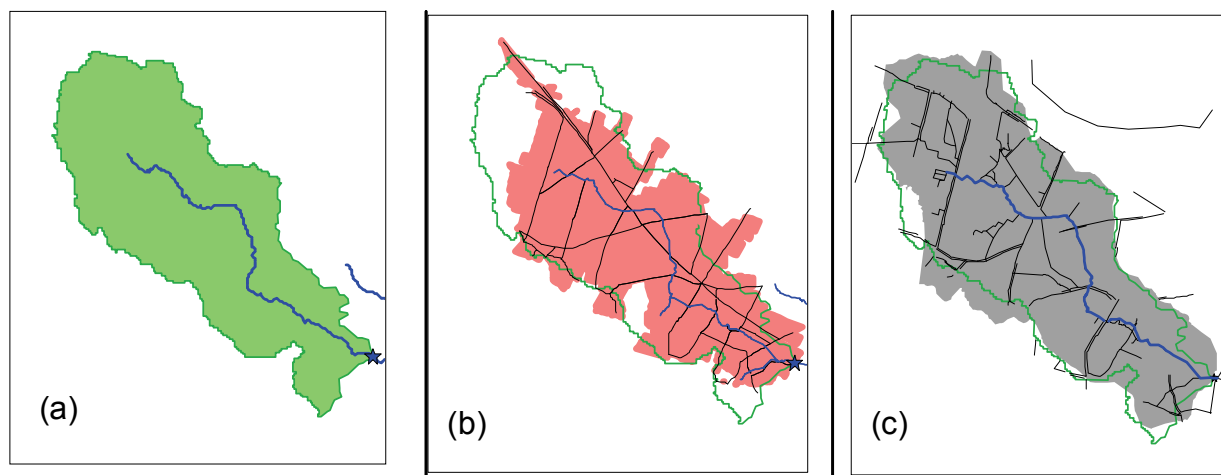


Figure 4: Réseau de drainage du bassin de la Chézine extrait (a) à l'aide de traitements MNT standard; (b) une approche objet, (c) une approche TIN contrainte. L'exutoire est représenté par une étoile, et la rivière principale en bleu. La frontière MNT du bassin est représentée par la ligne verte sur chaque figure.

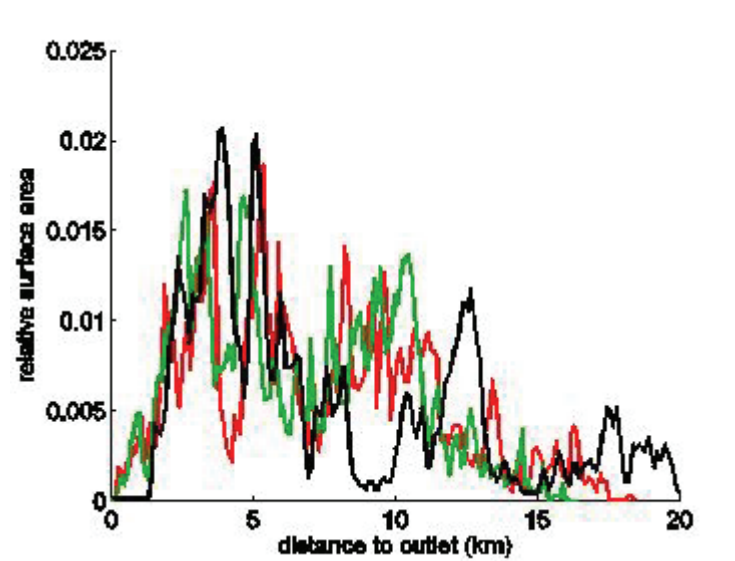


Figure 5: Comparaison de la distribution des distances à l'exutoire pour les trois estimations de réseau de drainage sur le bassin de la Chézine (approche MNT en vert, approche objet en rouge et approche TIN en noir)

Sur le bassin de l'Yzeron, la situation est plus complexe car la plupart des réseaux sont unitaires, et reliés en temps normal à la station d'épuration. Une partie du bassin n'est donc pas connectée au réseau naturel, sauf quand les réseaux d'assainissement débordent et que l'eau en excès est dirigée vers les cours d'eau naturels au niveau de déversoirs d'orage. Les zones proches de la rivière sont drainées par des réseaux séparatifs, et l'eau pluviale va directement à la rivière. Il faut donc déterminer tous les points de connexion à la rivière, ainsi que les sous-bassins qui les alimentent. Le réseau hydrographique naturel a été étendu pour prendre en compte les fossés et leur impact sur les chemins de l'eau, comme les données lidar l'ont montré. Les sous-bassins associés à ce réseau « naturel » ont été calculés par analyse MNT classique. Le résultat final sur la Chaudanne (Figure 6) a été obtenu après des reconnaissances de terrain et des entretiens avec les gestionnaires pour déterminer les directions d'écoulement là où les procédures automatiques étaient défailtantes.

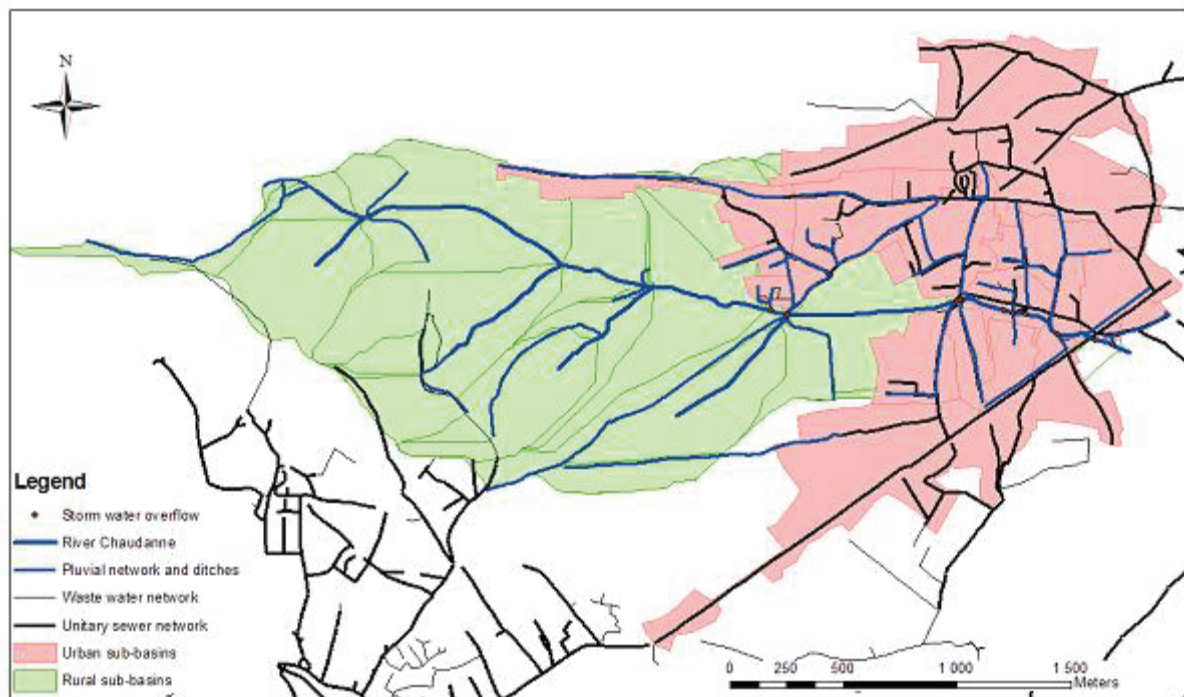


Figure 6: Délimitation des sous-bassins de la Chaudanne en prenant en compte le réseau hydrographique naturel, les fossés et les sous-bassins urbains connectés aux déversoirs d'orage.

La prochaine étape du travail sera la construction du modèle lui-même. Le modèle PUMMA (Peri-

Urban Model for landscape Management) (Figure 7a, Jankowsky et al., 2010), est construit dans la plate-forme de modélisation LIQUID® (Viallet et al., 2006), avec une discrétisation spatiale en hydro-paysages suivant des principes présentés par Dehotin et Braud (2008). Pour les petits bassins de la Chaudanne et du Mercier, les hydro-paysages correspondent à des parcelles naturelles, des haies, des lacs, des routes et chemins et aux parcelles cadastrales pour les zones urbaines (Figure 7b). Pour cela, une cartographie détaillée de l'occupation des sols a été réalisée par digitalisation manuelle de la BPOrtho2008 de l'IGN en incluant l'information du cadastre (UMR EVS, 2009). Cette carte distingue les cultures, les forêts de feuillus et de conifères, les prairies et les parcelles cadastrales (avec un calcul pour chacune du pourcentage de bâtiments, de zones imperméables et de zones naturelles). Les flux hydrologiques seront décrits, pour chacune de ces composantes, à l'aide de méthodes appropriées. Pour les zones naturelles, l'équation de Richards décrit les flux verticaux dans le sol et l'évapotranspiration (module FRER1D, Varado et al., 2006), avec un jeu de paramètres adapté à chaque type de végétation. Le modèle UBRS (Urban Runoff Branching Structure) (Rodriguez et al., 2008) est utilisé pour les parcelles cadastrales. Les écoulements dans les réseaux naturels et artificiels sont décrits par l'approximation de l'onde cinématique des équations de St-Venant (module RIVER1D). Les deux réseaux sont reliés par les déversoirs d'orage, pour lesquels des seuils d'activation doivent être définis. Dans le sol, les flux latéraux sont pris en compte dans la zone saturée, de même que les interactions entre les réseaux artificiels et le sol dans URBS (Figure 7a).

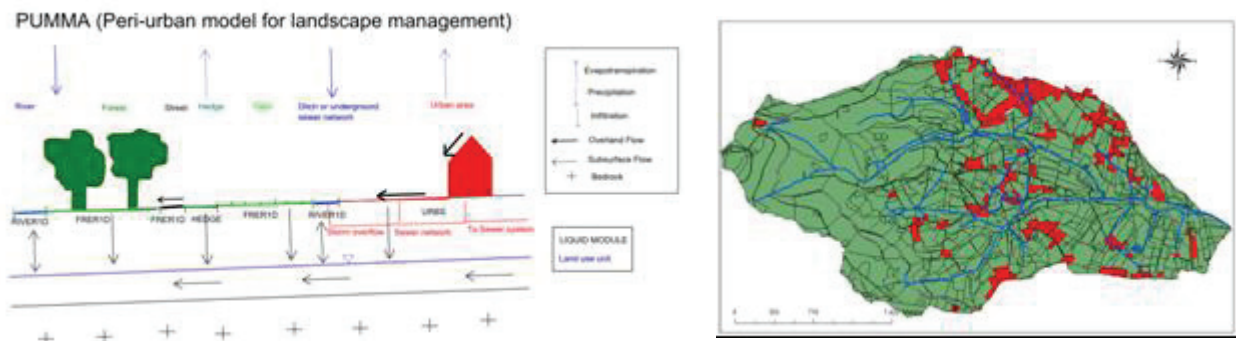


Figure 7: (a) Schéma du modèle PUMMA et des flux entre les différents objets. (b) Discrétisation spatiale du bassin du Mercier pour la modélisation. En rouge : les parcelles urbaines où on applique le module UBRS. En vert : les parcelles naturelles où on applique le module FRER1D et en bleu : le réseau naturel + fossés où on applique le module RIVER1D.

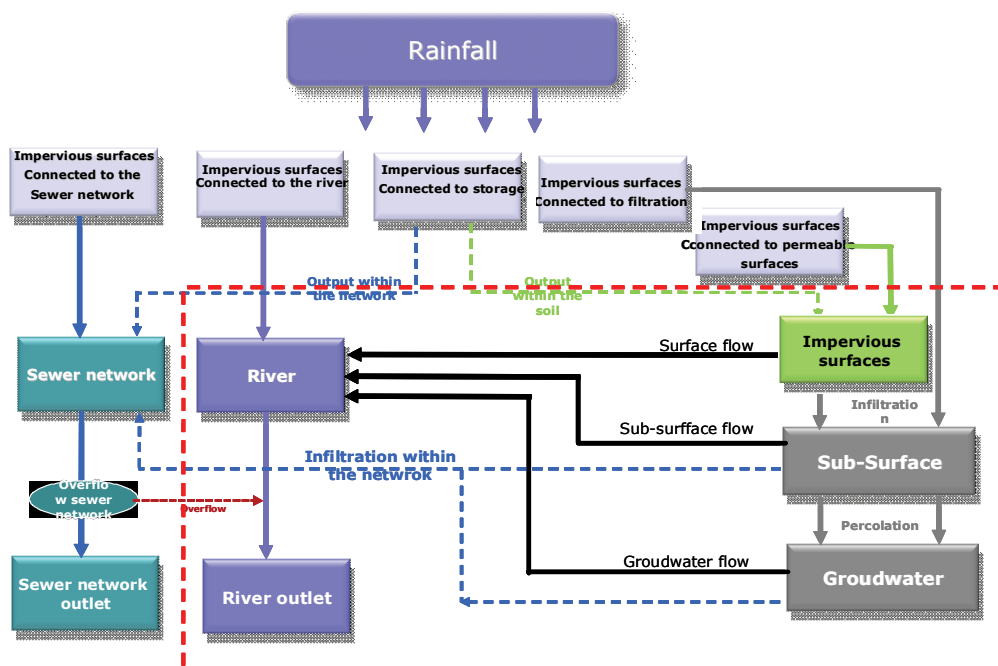


Figure 8: Conceptualisation d'un sous-bassin élémentaire dans le modèle CANOE.

## 4 APPROCHES SIMPLIFIÉES À L'ÉCHELLE DU BASSIN

L'approche de modélisation présentée précédemment permettra de mieux comprendre les processus principaux impliqués dans les écoulements et de dériver de nouvelles approches ou améliorer les approches existantes à l'échelle du bassin versant. On modélise alors les processus hydrologiques à l'échelle du sous-bassin versant en prenant en compte à la fois les zones rurales et urbanisées. La Figure 8 illustre, à droite, une représentation améliorée des zones rurales, s'appuyant sur des modules « réservoir » échangeant des flux, et prenant en compte les écoulements de surface, subsurface et souterrain (Boutaghane et al., 2008). Ce module est inclus dans le logiciel CANOE (INSAVALOR et SOGREAH, 1997) qui réalise le routage dans le réseau d'assainissement. On distingue aussi les zones urbaines selon leur connexion au réseau hydrographique (Boîtes bleu ciel de la Figure 8). Des études précédentes avaient montré des insuffisances dans la simulation des débits de l'Yzeron attribuées à une représentation trop grossière des zones rurales (Radojevic, 2002). Cette nouvelle version de CANOE devrait permettre d'améliorer ces résultats.

Une autre approche est aussi testée et s'appuie sur le modèle couplé ISBA-Topmodel (Bouilloud et al., 2010). ISBA simule les transferts verticaux entre le sol et l'atmosphère y compris les bilans d'eau et d'énergie. Topmodel simule les transferts de subsurface. Leur couplage permet la redistribution latérale de l'eau selon la topographie. Une simulation sur la Chézine montre qu'en supposant un fonctionnement purement rural, on obtient une simulation médiocre de la réponse du bassin. La prise en compte d'hypothèses simples sur le comportement des zones urbanisées permet des améliorations (Figure 9). Mais de simulations complémentaires sont requises avant de conclure.

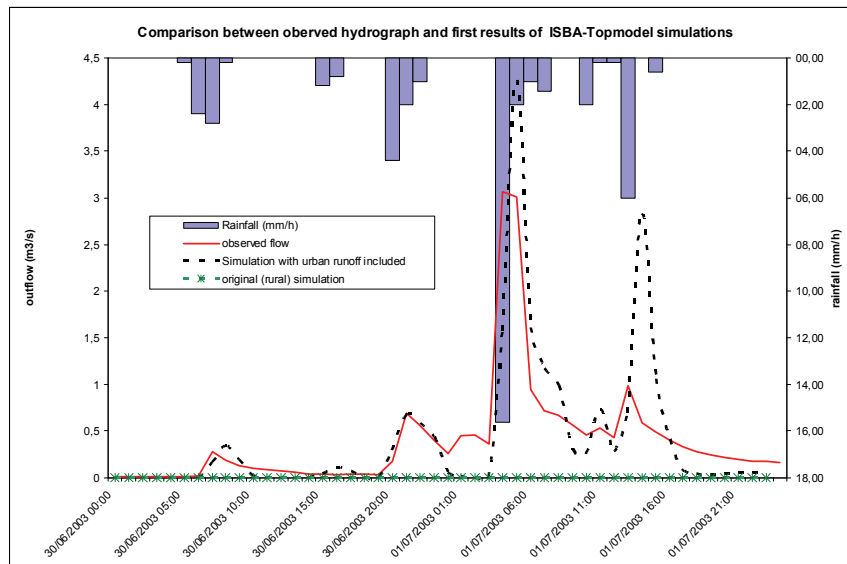


Figure 9: Hydrogramme observé (rouge) et simulé avec ISBA-Topmodel en ne considérant que les zones rurales (vert) et en intégrant les zones urbaines (noir) pour l'épisode du 30/06-01/07/2003 sur la Chézine

## 5 SCENARI ET INDICATEURS DE VULNERABILITE

Pour aborder la vulnérabilité, des simulations longues, s'appuyant sur les modèles présentés dans la section précédente, seront réalisées. On fera des analyses de sensibilité à l'évolution de l'occupation des sols et du climat. Les résultats seront traduits sous forme d'indicateurs quantifiant le vulnérabilité des rivières. Il s'agit de courbes débit-durée-fréquence, qui caractérisent le régime hydrologique des rivières, et sa modification possible sous changement d'occupation des sols ou du climat. L'impact géomorphologique sera aussi cartographié, en terme de cours d'eau sensibles à l'incision ou à l'agradation. On a donc besoin des évolutions passées et futures du forçage climatique à des échelles pertinentes pour l'hydrologie périurbaine.

Pour les champs de pluie, ces échelles correspondent à une résolution spatiale et temporelle fine (500m à 1km, 6mn à 1h). Pour les atteindre, on a d'abord montré la pertinence de l'information fournie, à résolution 1 km<sup>2</sup> et 5min, depuis 2001 par le radar de St-Nizier, situé dans les Monts du Beaujolais. La visibilité du radar sur le bassin de l'Yzeron est bonne et l'accord avec le réseau de pluviographes du Grand Lyon est satisfaisant (Renard et al., 2009). Pour les années antérieures, un simulateur de pluie, s'appuyant sur la géostatistique est développé (Lepioulfe, 2009). Les paramètres du modèle sont déduits de l'analyse statistique des pluviographes du Grand Lyon et du Cemagref et



les simulations sont conditionnées pour reproduire les séries observées en ces points.

On travaille aussi sur la cartographie diachronique de l'occupation des sols passée depuis 1945 et la proposition de scénarii pour le futur. Pour le passé, des photos aériennes et des images de télédétection sont analysées selon les caractéristiques de l'image (Béal et al., 2009). La Figure 10 montre la synthèse des changements d'occupation des sols entre 1945, 1990 et 2008 sur le sud-ouest du bassin de l'Yzeron. La Figure 10 montre une augmentation importante des surfaces artificialisées (multipliées par 3 entre 1945 et 2008), une augmentation de la zone sous forêt qui est compensée par une faible diminution de la zone en prairie et une diminution importante des cultures en rang (essentiellement la vigne). Les zones cultivées ont aussi vu leur surface divisée par 2 entre 1945 et 2008. Ces résultats montrent une dynamique très rapide de l'occupation des sols sur le bassin. Les résultats de la modélisation permettront de quantifier l'impact correspondant sur les régimes hydrologiques. Pour établir les scénarii futurs, un groupe d'experts est mis en place et des modèles décrivant la dynamique de l'occupation des sols seront utilisés.

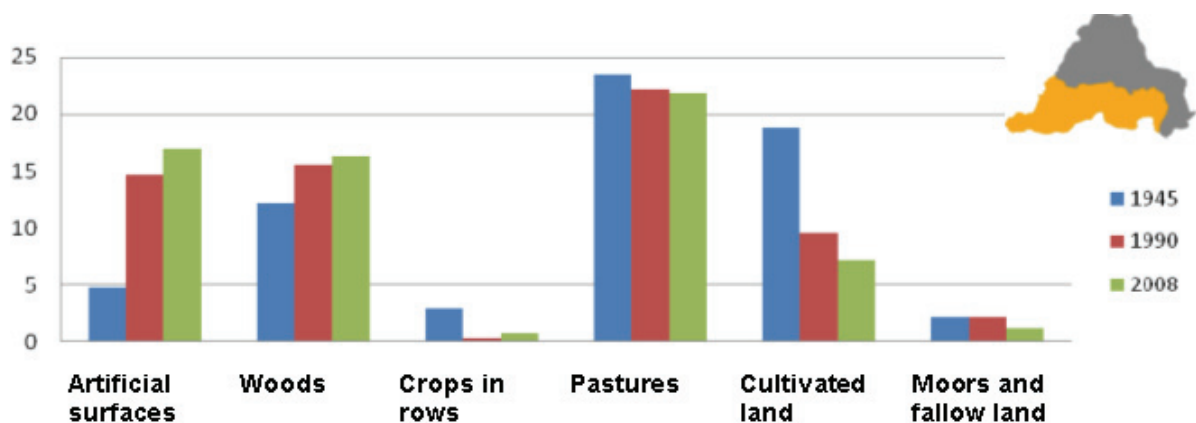


Figure 10: Evolution de l'occupation des sols (km<sup>2</sup>) dans la partie sud-ouest du bassin de l'Yzeron (65 km<sup>2</sup>) entre 1945, 1990 et 2008

## 6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La première phase du projet AVuPUR a été consacrée à la collecte et à l'analyse des données. De nombreuses données sont maintenant disponibles, notamment dans les banques de données urbaines. Un important effort a été nécessaire pour harmoniser les formats des données issues de sources variées et leurs systèmes de projection. Les premiers résultats présentés dans cet article montrent que la combinaison de toutes ces sources d'information est utile pour dériver un schéma d'écoulement cohérent du réseau de drainage dans des bassins versants complexes où de nombreuses structures anthropiques viennent modifier les chemins de l'eau. Les outils de modélisation hydrologique en construction nous permettront d'approfondir le fonctionnement des bassins périurbains. Les deux échelles considérées dans le projet sont complémentaires : les études à petite échelle nous aident à comprendre les processus élémentaires actifs et fournissent des clés pour prendre en compte les processus les plus importants dans des modélisations simplifiées, applicables sur des échelles plus grandes. Nous pouvons aussi souligner la synergie entre les stratégies d'observation et de modélisation. Les observations sont nécessaires pour comprendre les processus et en proposer des conceptualisations dans les modèles, et pour évaluer la performance de ces modèles. Cette étape sera abordée dans les prochaines années du projet. Les modèles nous permettront aussi de réaliser des études de sensibilité pour des conditions non échantillonnées par le réseau d'observations. En particulier, les scénarii d'occupation des sols passée et future, ainsi que les champs de pluie simulée seront utilisés dans des simulations de long terme du régime hydrologique. Ce projet est un premier pas vers l'amélioration de la description des flux dans les bassins périurbains. L'étape suivante s'intéressera à la qualité des eaux, dans le contexte de la directive cadre sur l'eau.

## REMERCIEMENTS

Le projet AVuPUR est financé par le programme Vulnérabilité Milieux Climat de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-07-VULN-01). Le CCVL, l'IGN, le Grand Lyon, Météo-France, Nantes-Métropole, le SAGYRC, le SIAVHY, Sol-Info Rhône-Alpes ont fourni les données utilisées dans le projet. Les images SPOT ont été acquises grâce à un projet ISIS.

## REFERENCES

- Bathurst J.C., Graf W.H. and Cao H.H. (1987) *Bed load discharge equations for steep mountain rivers*. In: *Sediment Transport in Gravel-bed Rivers*, C.R. Thorne, J.C. Bathurst J.C. and R.D. Hey (Eds), John Wiley and Sons, Chichester, 453-477.
- Béal, D., Gagnage, M., Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, C., Jankowsky, S., Branger, F. and Braud, I. (2009) *Cartographie de l'occupation du sol pour la modélisation hydrologique spatialisée du cycle de l'eau en zone péri-urbaine*, Actes du XXVII<sup>e</sup> congrès INFORSID, Atelier SIDE2009 « Systèmes d'Informations et de Décision pour l'Environnement », Toulouse, France, May 26 2009, 23-32.
- Bocher, E. (2005) *Impact des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager: essai de modélisation spatiale. Application au bassin versant de Jaudy-Guindy-Bizien (22)*, Université de Rennes 2- Haute Bretagne, Rennes, France, 312 pp.
- Bocher, E. and Martin, J.Y. (2009) *Tanato2: TIN-bases approach to evaluate impact of natural and anthropogenic artefacts*, International Opensource Geospatial Research Symposium OGRS 2009, Nantes, France, 8-10 July 2009, Abstracts Proceedings, 56-59.
- Bouilloud, L., Chancibault, K., Vincendon, B., Ducrocq, V., Habets, F., Saulnier, G.M., Anquetin, S., Martin, E. and Noilhan, J. (2010) *Coupling the ISBA land surface model and the TOPMODEL hydrological model for Mediterranean flash-flood forecasting: description, calibration and validation*, Journal of Hydrometeorology, in press.
- Boutaghane, H., Chocat, B., Lipeme Kouyi, G., Ouerdachi, L. and Kherici, N. (2008) *Modélisation en continu des écoulements d'un bassin versant périurbain -Cas du bassin versant de l'Yzeron (Ouest Lyonnais)*, Actes des JDHU2008, 3<sup>èmes</sup> Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, 14-15 Octobre 2008, Nancy, France, 5-12.
- Dehotin, J. and Braud, I. (2008) *Which spatial discretization for distributed hydrological models? Proposition of a methodology and illustration for medium to large scale catchments*, Hydrology and Earth System Sciences, 12, 769-796.
- Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., Dehotin, J., Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Lagouy, M., Branger, F., Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michell, K. (2010) *Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment*, Hydrological Processes, in press.
- Goutaland, D. (2009) Programme ANR AVuPUR. *Prospection géophysique par panneau électrique de trois parcelles d'un sous-bassin de l'Yzeron*. Rapport du CETE de Lyon, Juin 2009, 31 pp.
- Gupta, V.K., Waymire, E. and Wang, C.T. (1980) *A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology*. Water Resources Research 16 (5), 855-862.
- Hicks D.M., 1994. *Land use effects on magnitude-frequency characteristics of storm sediment yields: some New-Zealand examples*. International Association of Hydrological Sciences Publication, 224, 395-402.
- INSAVALOR and 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*, Manuel de l'utilisateur.
- Jankowsky, S., Branger, F., Braud, I., Debionne, S., Viallet, P., Rodriguez, F. (2010) *Development of a suburban catchment model within the LIQUID<sup>®</sup> framework*, Proceedings of the International congress on Environmental Modelling and Software, iEMSs 2010, 5-8 July 2010, Ontario, Ottawa, Canada, 9 pp.
- Lepioufle, J.M. (2009). *Modélisation spatio-temporelle d'un champ de pluie ; application aux pluies journalières du bassin versant de la Loire*. Thèse de l'INGP.
- Liebault F., Clément P., Piégay H. and Landon N. (1999) *Assessment of bedload delivery from tributaries: the Drôme river case, France*. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 31(1), 108-117.
- Michel, C. (2009) *Exploitation des données de deux sous-bassins versants de l'Yzeron : la Chaudanne et le Mercier. Analyse des données 1997-2008*. Master 1 Sciences de l'eau dans l'environnement continental, Université Montpellier 2, Août 2009, 53 pp.
- Radojevic, B. (2002) *Méthode d'évaluation de l'influence urbaine sur le régime des crues d'un bassin versant de 130 km<sup>2</sup>*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Renard, F., Faure, D. and Comby, J. (2009) *Evaluation of the hydrologic measure quality of the Saint Nizier weather radar data on the local urban area of Greater Lyon*, EGU General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, Vol 11, EGU2009-5017.
- Rodriguez F., Andrieu H. and Creutin J.D. (2003), *Surface runoff in urban catchments: morphological identification of unit hydrographs from urban databanks*. Journal of Hydrology, 283 (1-4), 146-168.
- Rodriguez, F., Andrieu, H. and Morena, F. (2008) *A distributed hydrological model for urbanized areas - Model development and application to case studies*. Journal of Hydrology, 351(3-4): 268-287.
- Schoklitsch A. (1962) *Handbuch des Wasserbaues*. Springer, Vienne.

- Varado, N., Braud, I. And Ross, P.J. (2006) *Development and assessment of an efficient numerical solution of the Richards' equation including root extraction by plants*, Journal of Hydrology, 323 (1-4), 258-275.
- Viallet, P., Debionne, S. Braud, I., Dehotin, J., Haverkamp, R., Saâdi, Z., Anquetin, S., Branger, F. and Varado, N. (2006) *Towards multi-scale integrated hydrological models using the LIQUID framework*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics 2006, Ph. Gourbesville, J. Cunge, V. Guinot and S.Y. Liong (Eds), Research Publishing, 4-8 September, Nice, France, Vol I, 542-549