



HAL
open science

ANR-07-VULN-01 AVuPUR (Assessing the Vulnerability of PeriUrban Rivers) project. Final report

Isabelle Braud

► To cite this version:

Isabelle Braud. ANR-07-VULN-01 AVuPUR (Assessing the Vulnerability of PeriUrban Rivers) project. Final report. [Rapport de recherche] irstea. 2011, pp.52. hal-02596618

HAL Id: hal-02596618

<https://hal.inrae.fr/hal-02596618v1>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Projet ANR-07-VULN-01

**AVuPUR (Assessing the Vulnerability
of Peri-Urban Rivers)**

Programme Vulnérabilité Milieu Climat 2007

A IDENTIFICATION.....	3
B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC.....	3
B.1 Instructions pour les résumés consolidés publics.....	3
B.2 Résumé consolidé public en français.....	5
B.3 Résumé consolidé public en anglais.....	9
C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE.....	13
C.1 Résumé du mémoire.....	13
C.2 Enjeux et problématique, état de l'art.....	13
C.3 Approche scientifique et technique.....	14
C.4 Résultats obtenus.....	16
C.5 Exploitation des résultats.....	25
C.6 Discussion	26
C.7 Conclusions	28
C.8 Remerciements.....	28
C.9 Références.....	29
D LISTE DES LIVRABLES.....	32
E IMPACT DU PROJET.....	35
E.1 Indicateurs d'impact.....	35
E.2 Liste des publications et communications.....	36
E.3 Liste des éléments de valorisation.....	46
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	48
F ANNEXE 1 : LISTE DES MÉMOIRES D'ÉTUDIANTS ET DES RAPPORTS INTERNES	50
G ANNEXE 2 : CONCLUSIONS DE LA RÉUNION D'ÉCHANGE AVEC LES	53
OPÉRATIONNELS DU 10 JUIN 2011.....	53
G.1 Synthèse des discussions.....	53
G.2 Actions envisagées.....	54
H ANNEXE 3 : RAPPORT SCIENTIFIQUE DÉTAILLÉ DU PROJET AVuPUR.....	54

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	AVuPUR
Titre du projet	Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers
Coordinateur du projet (société/organisme)	Isabelle BRAUD (Cemagref)
Période du projet (date de début – date de fin)	01/01/2008-31/08/2011
Site web du projet, le cas échéant	http://avupur.hydrowide.com/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mme Isabelle BRAUD
Téléphone	04 72 20 87 78
Adresse électronique	Isabelle.braud@cemagref.fr
Date de rédaction	Version finale 26/10/2011

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	Cemagref (I. Braud) IRSTV (K. Chancibault) Hydrowide (S. Debionne) INSAVALOR (G. Lipeme Kouyi) ISARA (B. Sarrazin) UMR EVS (C. Jacqueminet)
---	--

B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RÉSUMÉS CONSOLIDÉS PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet (environ 80 caractères espaces compris)

Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.

Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 1 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 2 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet (environ 600 caractères espaces compris)

Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ. Préciser aussi toute autre retombée : partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet (environ 500 caractères espaces compris)

Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration

Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Informations factuelles

Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »

Quelles conséquences de l'urbanisation sur l'hydrologie et la géomorphologie des rivières périurbaines ?

L'eau dans les bassins versants périurbains : des cheminements complexes dans un milieu fortement modifié par l'homme

A l'horizon 2030, les projections démographiques en France et dans le monde prévoient une augmentation de la population en zone urbaine, et plus particulièrement dans les zones périurbaines périphériques aux grandes agglomérations. Ceci conduit à une modification de l'usage des sols et en particulier à une augmentation des surfaces imperméabilisées, qui s'accompagne d'une complexification des espaces via la construction de réseaux de routes, de fossés ou de réseaux d'eau potable ou d'assainissement. Ces évolutions ont un impact sur le cycle de l'eau et les écosystèmes aquatiques via une augmentation et une accélération des ruissellements rapides, une diminution de la recharge des nappes, une modification des chemins naturels de l'eau de pluie par les réseaux artificiels et un changement des apports sédimentaires aux cours d'eau. Ceci peut conduire à des problèmes d'inondations, de pollution et d'érosion du lit des rivières périurbaines. Or le contexte réglementaire impose d'une part de maintenir/rétablir une bonne qualité écologique dans les rivières à l'horizon 2015 (Directive Cadre sur l'Eau) et de limiter le risque d'inondation (Directive européenne sur les Inondations). De nombreux Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) sont aussi en cours de révision. Pour atteindre ces objectifs, il devient nécessaire de repenser la gestion des eaux pluviales, notamment en milieu périurbain.

Dans ce cadre, le projet AVuPUR avait pour objectif de produire des connaissances et des outils de simulations sur l'hydrologie des bassins versants périurbains. Ces bassins constituent des milieux particulièrement complexes, du fait de la juxtaposition de zones rurales naturelles ou agricoles, de zones urbaines artificialisées et de la multiplicité des réseaux. Ils avaient, de fait, été peu étudiés auparavant. Outre des connaissances fondamentales sur ces bassins, le projet a permis de dégager des éléments d'aide à la décision pour les gestionnaires de ces bassins.

Mieux comprendre l'hydrologie des bassins périurbains : intérêt d'une approche interdisciplinaire combinant analyse de données et modélisation

Le projet s'est appuyé sur deux bassins versants pilote, faisant partie d'observatoires de long terme : le bassin versant de l'Yzeron (150 km²), en périphérie de Lyon, appartenant à l'OTHU¹, et le bassin de la Chézine (34 km²) dans la banlieue de Nantes, qui fait partie de l'ONEVU².

Nous avons d'abord cherché à décrire et comprendre les systèmes étudiés. Pour cela, nous avons i) collecté et analysé les données géographiques (couches de Systèmes d'Informations Géographiques, SIG) et hydrologiques existantes ; ii) mis en place des expérimentations dédiées pour mieux comprendre la réponse hydrologique des zones rurales ; iii) développé et comparé différentes méthodes

¹ Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine <http://www.graie.org/othu/>

² Observatoire Nantais des Environnements Urbains + http://irstv.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=32%3Aasap&catid=5%3Asecteur-atelier-pluridisciplinaire&Itemid=29&lang=fr

de cartographie de l'occupation des sols avec une attention particulière à la quantification de l'imperméabilisation et des divers couverts végétaux.

En parallèle, nous avons développé et évalué des outils de simulation du cycle hydrologique dans ces bassins. A fine échelle, des modèles originaux décrivant les différents objets du paysage ont été proposés afin de mieux comprendre le fonctionnement du système et hiérarchiser les objets/processus importants. Pour les bassins plus grands, nous avons cherché à adapter des modèles existants à la complexité des bassins périurbains. Les modèles ont été évalués à l'aide d'indicateurs caractérisant le régime hydrologique en milieu artificialisé, dérivés de l'analyse des données. Ces indicateurs permettent aussi de quantifier la vulnérabilité des bassins à l'urbanisation.

Enfin, un atelier de prospective territoriale a permis de construire une vision, partagée par les acteurs, des évolutions possibles de l'occupation des sols sur le bassin de l'Yzeron à échéance 2030. Les scénarios ainsi développés ont été introduits dans les modèles hydrologiques pour quantifier quel pourrait être l'impact sur l'hydrologie et le risque d'incision.

Résultats principaux du projet

- Bases de données hydro-météorologiques et SIG décrivant les deux bassins (topographie, occupation des sols, réseaux d'assainissement et pluvial, sols, etc..) sur 25 ans (Yzeron) et 10 ans (Chézine).
- Evaluation de l'intérêt de nouveaux dispositifs de mesure pour comprendre les chemins de l'eau et les fonctionnements hydrologiques.: MNT lidar, réseaux denses de limnimètres, prospection géophysique, campagnes d'essais d'infiltration ciblées, quantification des débits critiques de mise en mouvement des sédiments
- Proposition d'indicateurs décrivant les différentes composantes du cycle hydrologique dans les bassins périurbains, marqueurs de l'impact de l'urbanisation
- Mise au point de méthodes de cartographie de l'occupation des sols adaptées au milieu périurbain et exploitation des différentes couches SIG (topographie, occupation des sols, réseaux) pour décrire les bassins versants périurbains et les chemins de l'eau dans ces bassins
- Développement d'outils de modélisation continus permettant de comprendre le fonctionnement des bassins versants périurbains de quelques km², s'appuyant sur une modélisation détaillée des différents objets du paysage (modèle PUMMA).
- Adaptation de modèles numériques existants pour la simulation en continu de l'hydrologie de bassins périurbains de taille moyenne (10-100 km²) : modèle urbain CANOE et modèles ruraux ISBA-Topmodel et J2000. Adaptation d'un modèle statistique débit- durée – fréquence (QdF) aux bassins périurbains.
- Mise en place d'ateliers de prospective territoriale impliquant les acteurs pour identifier les évolutions possibles de l'occupation des sols sur le bassin de l'Yzeron en 2030.
- Exploitation de ces scénarii et des cartographies rétrospectives de l'occupation des sols pour évaluer les évolutions possibles sur les régimes hydrologiques et en déduire le risque d'incision en 2030.

Productions scientifiques et techniques, logiciels

- 7 thèses en cours ou soutenues dans le cadre du projet + contribution à 1 HDR
- 41 présentations orale ou poster dans des conférences internationales et 39 au niveau national. Co-organisation d'une session EGU2010 "Hydrology of artificialised catchments"
- Une dizaine d'articles déjà publiés dans des revues internationales, 14 soumis ou en préparation dont 6 soumis à un numéro spécial du Journal of Hydrology "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling" dont deux membres du projet sont éditeurs invités
- Une conférence de restitution à destination des acteurs du monde de l'eau « Impacts de l'urbanisation sur les rivières péri-urbaines - Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques » - 1ère Conférence thématique de l'OTHU, Jeudi 9 juin 2011 - INSA de Lyon, Villeurbanne (69)
- Une réunion de restitution des résultats de l'Atelier de Prospective territoriale auprès des élus et de leurs partenaires institutionnels, 28 Juin 2011, Grézieu la Varenne (69)
- Production de 5 fiches techniques de l'OTHU décrivant des résultats/méthodes du projet à destination des acteurs du monde de l'eau
- Différents logiciels ont été produits durant le projet : logiciel TANATO2 de triangulation sous contrainte (licence GPL3) intégré dans le SIG libre OrbisGIS ; les codes du simulateur de pluie par bandes tournantes ont été déposés à l'APP ; deux plates-formes de modélisation hydrologiques ont été développés et/ou améliorées : LIQUID® (Hydrowide) et CANOE/Hydrobox (INSAVALOR).

Fiche d'identité du projet

Le projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers, <http://avupur.hydrowide.com/>) est un projet financé par le programme Vulnérabilité Milieu Climat de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Il a été coordonné par Isabelle Braud (isabelle.braud@cemagref.fr) du Cemagref de Lyon. Ce projet pluridisciplinaire associait des laboratoires de recherche publics (Cemagref, UMR Environnement Ville et Société, Institut de recherche des Sciences et Techniques de la Ville), une école d'ingénieurs (ISARA) et des entreprises privées (Hydrowide, INSAVALOR). Il regroupait des hydrologues spécialistes des milieux urbains et ruraux, des spécialistes de géographie physique et humaine, de géomorphologie et des informaticiens pour la conception des modèles. Le projet a débuté en janvier 2008 et s'est déroulé sur 42 mois pour se finir en août 2011. Il a bénéficié d'un soutien de 659k€ de la part de l'ANR pour un coût total d'environ 2 800k€.

Illustration

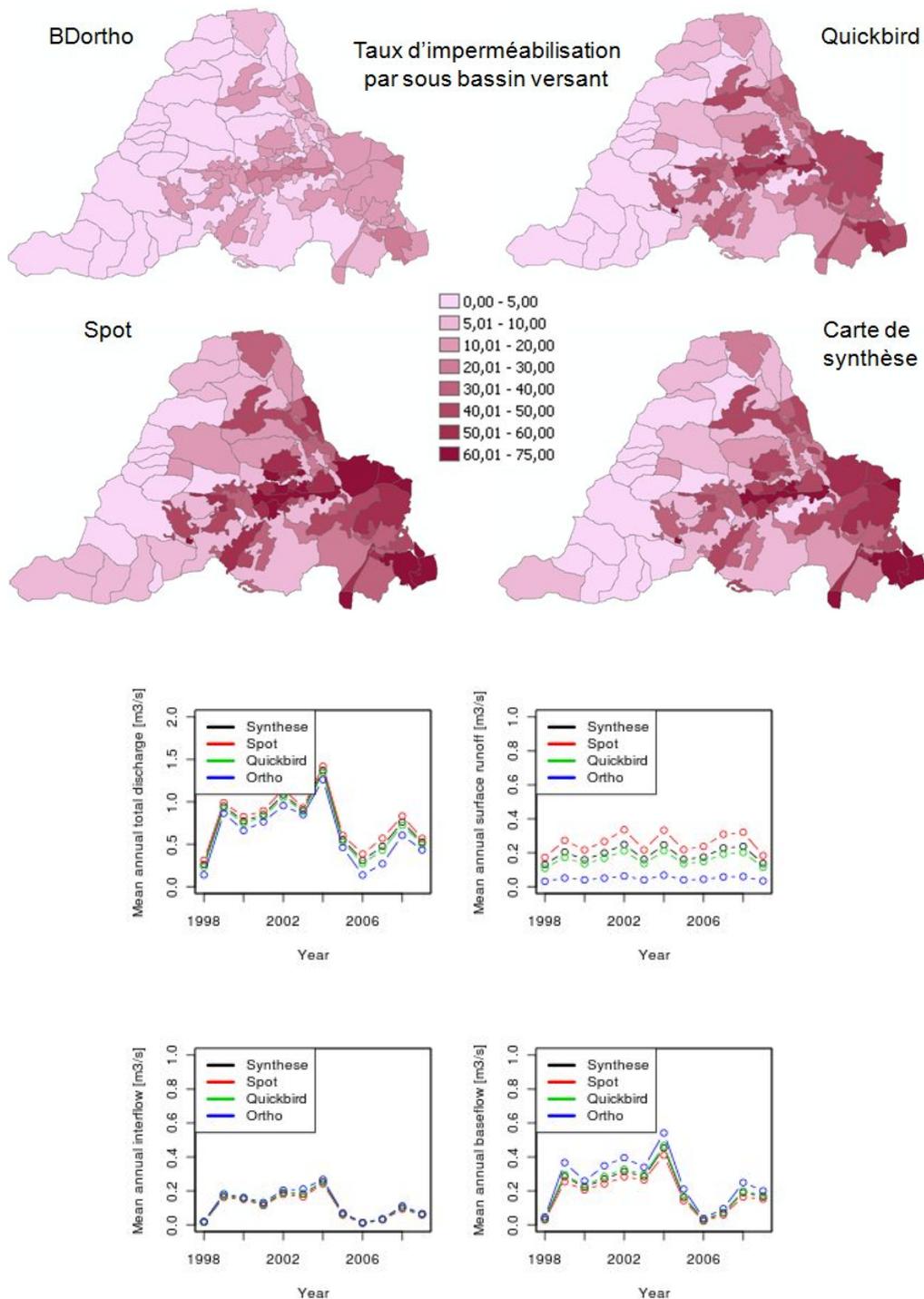


Figure : La figure du haut montre, pour l'année 2008, la cartographie du taux d'imperméabilisation à partir des trois cartes d'occupation du sol (extraites de la BDortho[®]IGN (0.50 m), d'une image Quickbird (2.44 m) et d'une image Spot (2.50 m)) et de la carte de synthèse (2.50 m) sur différents sous-bassins de l'Yzeron (150 km²) en périphérie Lyonnaise. La figure du bas montre l'impact du choix de la description de l'urbanisation sur les débits simulés par le modèle hydrologique J2000 développé à l'Université de Jena en Allemagne et évalué dans le projet AVuPUR. Le modèle a été renseigné avec les valeurs de paramètres a priori en modifiant juste les paramètres liés à l'occupation des sols. On y voit que le débit total est modifié entre les différentes images et surtout, que la répartition des composantes de ce débit entre ruissellement rapide, ruissellement de sub-surface et écoulement de nappe est modifiée. Ceci aura un impact sur la qualité de l'eau qui rejoindra les cours d'eau.

What is the impact of urbanization on the hydrology and geomorphology of periurban rivers ?

The water in periurban catchments: complex pathways in an environment highly impacted by human activity

In 2030, demographic projections in France and worldwide predict a population increase in urban areas, and more particularly in periurban areas, close to large cities. This leads to a land use change and in particular to an increase of impervious surfaces, combined with an artificialisation of the landscapes through the construction of networks, such as roads, drinkable or sewer networks. These modifications have an impact on the water cycle and on aquatic ecosystems through the increase and acceleration of runoff, a decrease of groundwater recharge, a modification of natural water pathways and a change in the sediment recharge to the river. This can lead to flooding, pollution and erosion of river beds of periurban rivers. However, legislation texts such as the Water Framework Directive, or the European directive on flooding requires a good ecological status by 2015 and a mapping of areas prone to flood risks. To reach those objectives, it is necessary to consider differently the management of rainwater, in particular in periurban catchments.

Within this framework, the AVuPUR project objective was to produce knowledge and simulation tools about the hydrology of periurban catchments. Those catchments are particularly difficult to handle as they are a juxtaposition of natural or cultivated areas, and urban areas, with numerous different networks. For all these reasons, they had been poorly studied before the start of the project. The results of the project provide new pieces of knowledge about those catchments and some elements may be useful for decision-makers in terms of their management.

Understanding the hydrology of periurban catchments: interest of a pluri-disciplinary approach combining data collection and analysis, and modelling

Two pilot sites, belonging to long term research observatories, were considered within the AVuPUR project: the Yzeron catchment (150 km²), in the vicinity of Lyon, France, belonging to OTHU³, and the Chézine catchment (34 km²), in the suburbs of Nantes, belonging to ONEVU⁴.

The first step was the description and understanding of the functioning of the catchments under study. For this purpose, we i) collected and analysed existing geographical (Geographical Information System, GIS) layers and hydrological data; ii) deployed in situ experiments to better understand the hydrological response, in particular in rural areas; iii) developed and compared various land use mapping, focusing on the determination of the impervious fraction and the distinction of various vegetation covers.

In parallel, we developed and assessed various numerical models, simulating the hydrology of those catchments. At small scale, we proposed a new model, describing each object in the landscape. The aim is a better understanding of

³ Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine <http://www.graie.org/othu/>

⁴ Observatoire Nantais des Environnements Urbains + [http://irstv.fr/index.php?](http://irstv.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=32%3Aasap&catid=5%3Asecteur-atelier-pluridisciplinaire&Itemid=29&lang=fr)

[option=com_content&view=article&id=32%3Aasap&catid=5%3Asecteur-atelier-pluridisciplinaire&Itemid=29&lang=fr](http://irstv.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=32%3Aasap&catid=5%3Asecteur-atelier-pluridisciplinaire&Itemid=29&lang=fr)

their functioning and a hierarchy of the dominant objects/processes. For larger catchments, we tried to adapt existing models in order to take into account periurban catchments specificity. Model performance was assessed using indicators allowing the characterization of the impact of land use artificialization on the water cycle, derived from data analysis. Those indicators are also relevant to quantify the vulnerability of the hydrology of those catchments to urbanization.

Prospective meetings gathering the various actors on the Yzeron catchment were organised. They allowed the derivation of possible land use change scenarios in 2030. Those scenarios were introduced in hydrological models to quantify the impact on the hydrological regime and the riverbed erosion risk.

Main results of the project

- Hydrometeorological and GIS data bases describing the two studied catchments (topography, land use, sewer and rainwater networks, soils, etc.) over a 25 (Yzeron) and 10 (Chézine) year period.
- Assessment of the relevance of new measurements set up in order to better understand water pathways and hydrological functioning: lidar DTM, dense liminimeter networks, geophysical survey, in situ infiltration campaigns, quantification of critical discharge for sediment transport
- A list of indicators describing the impact of land use artificialisation on the hydrological cycle components within periurban catchments
- Assessment of various landuse mapping methods adapted to periurban catchments and use of the various GIS layers (topography, land use, networks) to describe water pathways within periurban catchments
- Development of continuous modelling tools, allowing a better understanding of the functioning of periurban catchments of a few km², based on a detailed description of the landscape (PUMMA model)
- Adaptation of existing numerical models to continuously simulate the hydrology of medium size periurban catchments (10-100 km²): urban CANOE model, rural ISBA-Topmodel and J2000 models. Adpatation of a statistical model (discharge duration frequency, QdF) to periurban catchments.
- Set up of prospective meeting gathering active actors in the Yzeron catchment in order to identify possible land use change scenarios in the catchment by 2030.
- Exploitation of the scenarios and of the retrospective land use mapping to assess possible modifications of the hydrological regime and riverbed incision risk.

Scientific and technical productions, softwares

- 7 PhD thesis in progress or defended during the project + contribution to 1 HDR
- 41 oral or poster présentations in international conferences, 39 national conferences. Co-organisation of a EGU2010 session "Hydrology of artificialised catchments"
- About 10 papers published in international journals, 14 papers submitted or in preparation, including 6 papers submitted to a special issue of Journal of Hydrology "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling", where two members of the project are guests editors
- A final conference directed towards water management stakeholders « Impacts de l'urbanisation sur les rivières péri-urbaines - Compréhension et modélisation

des phénomènes hydro-géomorphologiques » – 1ère Conférence thématique de l'OTHU, Jeudi 9 juin 2011 - INSA de Lyon, Villeurbanne (69)

- A conference to present the results of the prospective meetings to mayors and their associated partners, Jun 28 2011, Grézieu la Varenne (69)
- Production of 5 technical sheets presenting results and methods obtained within the project to professionals in water management
- Production of several softwares: TANATO2 software of constrained triangulation, delivered under the GPL3 licence and integrated into the free OrbisGIS GIS; a rainfall simulator based on the turning band method, protected at the APP; development and/or improvement of two hydrological modelling platforms: LIQUID® (Hydrowide) and CANOE/Hydrobox (INSAVALOR)

Project identity card

The AVuPUR project (Assessing the Vulnerability of PeriUrban Rivers, <http://avupur.hydrowide.com/>) was funded by the Vulnerability, Environment and Climate program of the French National Research Agency (ANR). He was coordinated by Isabelle Braud (isabelle.braud@cemagref.fr) from Cemagref, Lyon. This pluri-disciplinary project gathered public French laboratories (Cemagref, UMR Environnement Ville et Société, Institut de recherche des Sciences et Techniques de la Ville), an engineer school (ISARA) and private companies (Hydrowide, INSAVALOR). He gathered hydrologists, specialists of urban and rural environments, specialists in physical and human geography, geomorphology and computing engineers for the models conception. The project started in January 2008 and lasted 42 months. He ended in August 2011. The ANR contribution was 659 k€ for a total cost of about 2 800k€.

Illustration

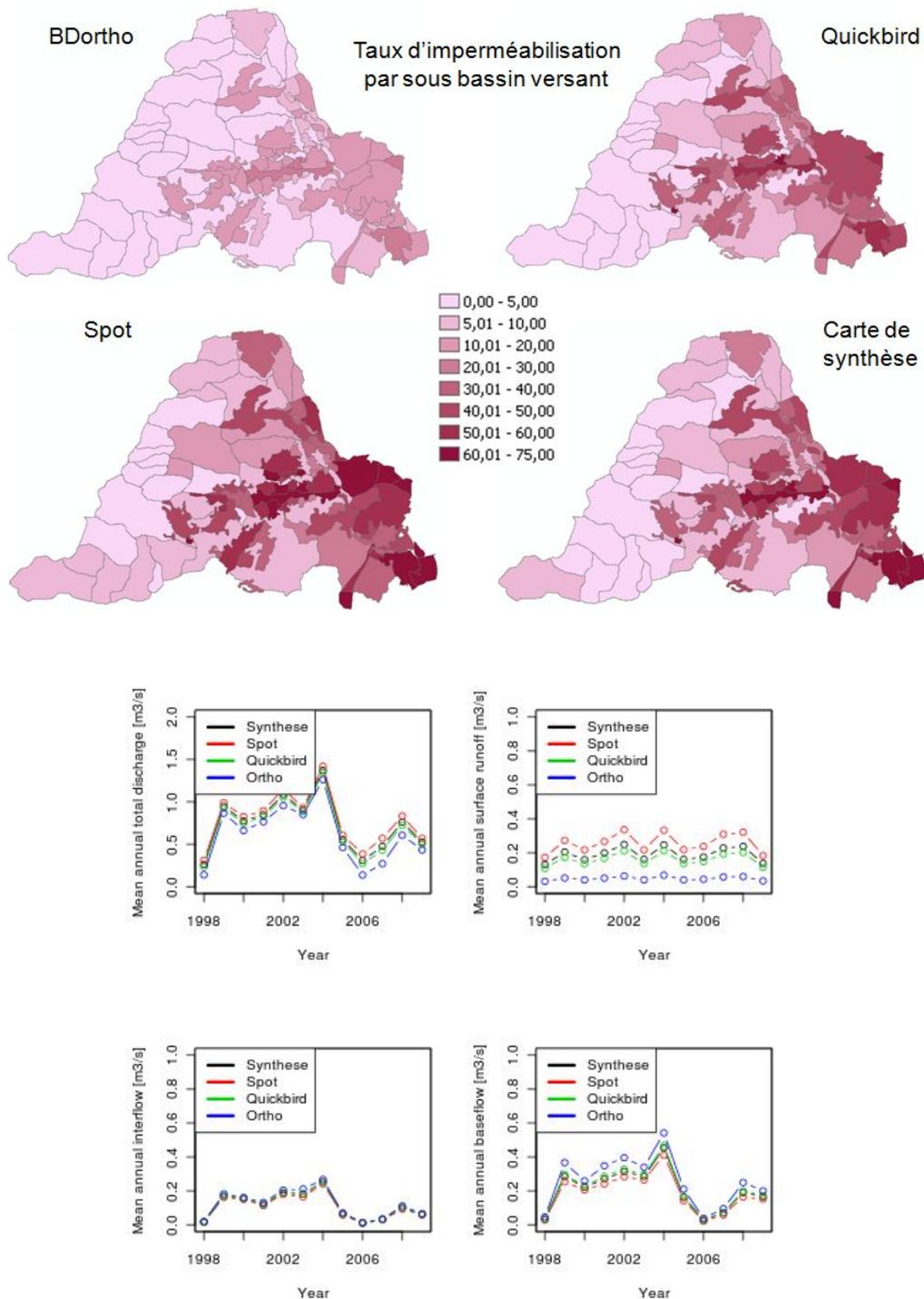


Figure : The top graph shows the impervious fraction mapping on the various Yzeron subcatchments, in the vicinity of Lyon, France. The mapping is based on three land use maps for 2008, build respectively with the BDOrtho[®] IGN (0.5 m), a Quickbird image (2.44 m) and a Spot image (2.5 m), and a synthesis map (2.5 m). The bottom graph shows the impact of the choice of the impervious map on the simulated discharge. The model used is the J2000 model, developed at the Jena University, Germany, assessed within the AVuPUR project. The model was run using a priori information for the parameters, and only the parameters related to land use were modified according to the map. The graph shows that the total discharge is modified between the various maps. More important, the partition between the various runoff components (quick flow, subsurface and base flow) is modified. This will impact the quality of the water which will reach the river.

C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

Le projet AVuPUR avait pour objectif de produire des connaissances et des outils de simulations sur l'hydrologie des bassins versants périurbains. Ces bassins constituent des milieux particulièrement intéressants, du fait de la juxtaposition de zones rurales naturelles ou agricoles, de zones urbaines artificialisées et de la multiplicité des réseaux. Ils avaient, de fait, été peu étudiés auparavant. Outre des connaissances fondamentales sur ces bassins, le projet a permis de dégager des éléments d'aide à la décision pour les gestionnaires de ces bassins.

Le projet s'est appuyé sur deux bassins versants pilote, faisant partie d'observatoires de long terme : le bassin versant de l'Yzeron (150 km²), en périphérie de Lyon, appartenant à l'OTHU, et le bassin de la Chézine (34 km²) dans la banlieue de Nantes, qui fait partie de l'ONEVU.

Nous avons d'abord cherché à décrire et comprendre les systèmes étudiés. Pour cela, nous avons i) collecté et analysé les données géographiques (couches de Systèmes d'Informations Géographiques, SIG) et hydrologiques existantes ; ii) mis en place des expérimentations dédiées pour mieux comprendre la réponse hydrologique des zones rurales ; iii) développé et comparé différentes méthodes de cartographie de l'occupation des sols avec une attention particulière à la quantification de l'imperméabilisation et des divers couverts végétaux.

En parallèle, nous avons développé et évalué des outils de simulation du cycle hydrologique dans ces bassins. A fine échelle, des modèles originaux décrivant les différents objets du paysage ont été proposés afin de mieux comprendre le fonctionnement du système et hiérarchiser les objets/processus importants. Pour les bassins plus grands, nous avons cherché à adapter des modèles existants à la complexité des bassins périurbains. Les modèles ont été évalués à l'aide d'indicateurs caractérisant le régime hydrologique en milieu artificialisé, dérivés de l'analyse des données. Ces indicateurs permettent aussi de quantifier la vulnérabilité des bassins à l'urbanisation.

Enfin, nous avons étudié les perspectives d'évolution du bassin de l'Yzeron à l'échéance 2030. Un atelier de prospective territoriale a permis de construire une vision, partagée par les acteurs, des évolutions possibles sur ce bassin. Les scénarii ainsi développés ont été introduits dans les modèles hydrologiques pour quantifier quel pourrait être l'impact sur l'hydrologie et le risque d'incision.

C.2 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE, ÉTAT DE L'ART

Les projections démographiques prévoient que les zones urbaines concentreront 60% de la population mondiale en 2030 et la France n'échappe pas à cette tendance. Les changements les plus rapides et les plus importants se produisent dans les zones périurbaines aux grandes agglomérations. Les bassins versants associées voient le régime hydrologique et géomorphologique de leurs cours d'eau affecté par les perturbations associées à l'artificialisation des milieux. Les problèmes les plus souvent rencontrés sont une augmentation et une accélération des écoulements liés à l'imperméabilisation des bassins, conduisant

à des problèmes d'inondations. L'artificialisation des milieux conduit aussi à une diminution de l'infiltration et de la recharge des nappes, avec une baisse possible des écoulements de base dans les rivières, pouvant impacter les écosystèmes. L'urbanisation s'accompagne enfin d'une modification importante des chemins de l'eau liée à la création de réseaux pour acheminer l'eau potable ou évacuer les eaux pluviales ou usées. En particulier, pour les réseaux unitaires, des déversoirs d'orage sont souvent construits pour limiter les risques de débordement sur voirie ou de refoulement dans les habitations. Ils conduisent à des déversements d'eau polluée dans les cours d'eau, préjudiciables pour la qualité des cours d'eau et leur stabilité morphologique (incision, ensablement en aval des incisions), ainsi que pour les écosystèmes associés.

En parallèle, des outils réglementaires, visant, d'une part, à maintenir une qualité écologique dans les rivières (Directive Cadre sur l'Eau) et, d'autre part, à limiter le risque d'inondation (Directive européenne sur les Inondations) ont émergé. Pour atteindre les objectifs fixés par ces lois, il devient alors nécessaire de repenser la gestion des eaux pluviales. Pour aider les gestionnaires dans cette tâche, des outils et méthodes permettant de quantifier l'impact de l'artificialisation des milieux sur le régime hydrologique et géomorphologique des rivières et étudier différentes alternatives de gestion apportent des informations intéressantes pour le processus de décision.

Les bassins versants périurbains sont particulièrement concernés. Ils constituent un milieu difficile à caractériser du fait de leur complexité : juxtaposition et imbrication de zones plus ou moins urbanisées et de zones rurales plus ou moins naturelles ; forte anthropisation du milieu liée aux zones urbaines elles-mêmes mais aussi aux réseaux associés : réseau routier, réseaux d'eau potable, d'eaux usées, d'eaux pluviales. Tout ceci modifie les chemins naturels de l'eau qui ne sont plus uniquement pilotés par la topographie. En termes d'hydrologie, les temps de réponse associés aux zones urbaines ou rurales sont très différents, avec des variations spatio-temporelles marquées, qui rendent complexe l'appréhension de la réponse à l'échelle de l'ensemble du bassin versant. Du fait de cette complexité, au démarrage du projet, ces bassins n'avaient été que peu étudiés, bien que les connaissances respectives sur les bassins urbains d'une part, et ruraux d'autre part, aient été assez développées.

C'était donc l'enjeu du projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers) de contribuer à la meilleure caractérisation et connaissance de ces bassins versants. Le projet visait aussi à proposer des outils de simulation pour quantifier l'impact de l'artificialisation des bassins versants sur leur hydrologie et la modification des chemins de l'eau associée. Il s'agissait à la fois de comprendre les processus et de les hiérarchiser, mais aussi d'essayer de dériver des outils qui puissent être utiles aux opérationnels. Le projet s'est appuyé sur deux sites pilotes instrumentés dans le cadre d'observatoires : le bassin versant de l'Yzeron (148 km²) en périphérie lyonnaise (OTHU) et le bassin de la Chézine (34 km²) en banlieue nantaise (ONEVU). Un autre site expérimental nantais (Rezé, 0.18 km²) dédié au suivi du ruissellement urbain a aussi été inclus dans les travaux.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Nous avons tout d'abord cherché à **décrire et comprendre les systèmes étudiés**. Pour cela, nous avons collecté l'ensemble des données disponibles sur

les bassins versants: données climatiques, pluviométriques et hydrologiques d'une part, et données cartographiques et/ou SIG décrivant la topographie, les sols, l'occupation des sols, les réseaux (routes, chemins, eaux usées, eaux pluviales), etc, d'autre part. Cette phase a été longue et laborieuse du fait de la multiplicité des interlocuteurs. Les résultats du projet montrent cependant que l'ensemble de ces informations sont nécessaires à l'appréhension complète du fonctionnement des bassins versants. Ils montrent aussi l'intérêt de disposer de chroniques longues d'observations hydrologiques.

Les informations existantes ont été complétées par l'acquisition de nouvelles données pour mieux documenter la réponse hydrologique à différentes échelles (mesure des débits pour des bassins emboîtés), caractériser l'impact des réseaux de fossés, en général non cartographiés ; et comprendre la réponse hydrologique des zones rurales : caractérisation de la capacité d'infiltration, description des profondeurs de sol par mesures géophysiques, étude de la réponse hydrologique à l'aide d'analyse de topographie haute résolution (Lidar) et d'un réseau dense de limnigraphes, caractérisation des débits seuil de mise en mouvement des sédiments pour quantifier les tendances évolutives à l'incision.

Un effort important du projet a aussi porté sur le développement et l'évaluation de méthodes pour la description et la cartographie de l'occupation des sols présente et passée à l'aide de photos aériennes ou d'images satellitales. L'effort méthodologique a en particulier porté sur la documentation de l'imperméabilisation et de l'artificialisation des milieux et la discrimination des différents types de végétation.

En parallèle, nous avons travaillé sur **le développement d'outils de modélisation en continu à deux échelles spatiales distinctes**. A l'échelle de bassins de quelques km², nous avons développé une modélisation en continu originale, permettant de comprendre le fonctionnement des bassins versants périurbains et s'appuyant sur une modélisation détaillée des différents objets du paysage : parcelles agricoles, urbaines, réseaux hydrographique, de fossés, d'assainissement, bassins de rétention, déversoirs d'orage, etc, (modèle PUMMA, Jankowfsky, 2011). L'exploitation de cet outil permet de tester des hypothèses de fonctionnement de ces objets et de hiérarchiser leur importance sur la réponse finale.

A l'échelle de bassins plus grands, nous avons travaillé sur l'adaptation de modèles existants pour la simulation en continu de l'hydrologie et qui puissent répondre aux enjeux de gestion des bassins versants périurbains de l'ordre de la centaine de km² : adaptation du modèle urbain CANOE (Dorval, 2011) et des modèles ruraux ISBA-Topmodel (Furusho et al., 2011b) et J2000 (Krause et al., 2006 ; Labbas, 2011). Un outil de modélisation statistique des quantiles de débit a aussi été adapté aux bassins périurbains.

Pour faire le lien entre ces deux volets, des indicateurs caractérisant le fonctionnement hydrologique et géomorphologique du système ont été proposés. Ils s'appuient essentiellement sur l'analyse des données de débits que l'on a cherché à synthétiser pour en extraire des grandeurs caractérisant l'évolution temporelle du régime moyen, des basses eaux, des crues, mais aussi des seuils de débit déclenchant le processus de transport sédimentaire grossier pouvant initier des incisions. Ces indicateurs permettent d'une part d'évaluer la pertinence des modèles développés. D'autre part, ils nous fournissent des grandeurs pour caractériser l'impact de modifications futures ou passées de

l'occupation des sols sur l'hydrologie et de ce fait quantifier la vulnérabilité de ces bassins aux changements d'occupation des sols.

Enfin, un atelier de prospective territoriale a permis de construire une vision, partagée par les acteurs, des évolutions possibles de l'occupation des sols sur le bassin de l'Yzeron à échéance 2030. Les scénarii ainsi développés ont été introduits dans les modèles hydrologiques pour quantifier quel pourrait être l'impact sur l'hydrologie et le risque d'incision.

C.4 RÉSULTATS OBTENUS

Nous présentons ici une synthèse des résultats majeurs du projet. Un rapport scientifique complet présente le détail des résultats obtenus dans les différents axes du projet (annexe 3). Les livrables correspondants sont données section D.

1. Caractérisation des bassins versants périurbains et dérivation d'indicateurs hydrologiques de vulnérabilité à l'urbanisation

1.1. Collecte, mise en forme et analyse critique des données

Un premier travail a consisté à collecter l'ensemble des données hydro-météorologiques (climat, pluviométrie, débitimétrie) sur les deux bassins d'étude, ce qui permet de couvrir une période de 50 ans (1970-2010) dont 25 années plus densément instrumentées (1997-2010) sur l'Yzeron ; et de 10 ans (2001-2010) sur la Chézine.

Le dispositif initial de stations débitimétriques a été renforcé selon une stratégie d'emboîtement de sous-bassins, ce qui permet d'aborder la question des changements d'échelle. Un effort d'amélioration des mesures, notamment en basses eaux et de quantification des incertitudes a aussi été mené, avec en particulier le développement d'un outil, fondé sur l'analyse Bayésienne, appelé Baratin (Branger et al., 2011). Une analyse critique systématique des données de pluie et de débit a été effectuée afin d'éliminer les données aberrantes et combler les lacunes si nécessaire.

Un ensemble de couches d'informations géographiques (SIG) décrivant la topographie, la pédologie, la géologie, l'occupation des sols, les réseaux d'assainissement et pluvial a aussi été collecté. Cette phase a été longue et laborieuse du fait de la multiplicité des interlocuteurs (signature d'une douzaine de conventions avec des organismes différents- voir remerciements en C.9). Un gros travail de mise en cohérence de ces données géographiques (systèmes de projection, format des données) a ensuite été nécessaire pour rendre ces informations inter-opérables.

Le travail de mise en forme et d'analyse critique des données a mobilisé beaucoup de moyens humains, mais était une étape nécessaire pour disposer d'une base de données complète et fiable sur les deux bassins d'étude.

1.2. Evaluation de l'intérêt de nouveaux dispositifs de mesure pour comprendre les chemins de l'eau et les fonctionnements hydrologiques et géomorphologiques.

Au début du projet, les connaissances sur le comportement des zones rurales étaient lacunaires dans les bassins versants étudiés. Nous avons donc évalué la pertinence de différents dispositifs de mesure pour améliorer ces connaissances. Nous avons aussi cherché à quantifier le débit critique de mise en mouvement des sédiments pour mieux comprendre les processus géomorphologiques pouvant conduire à l'incision du lit des cours d'eau sur l'Yzeron.

- 1) Des campagnes d'infiltration ciblant des combinaisons pédologie/occupation des sols type ont été menées sur le bassin de la Chézine et un sous-bassin de l'Yzeron de 7 km², le Mercier, représentatif de la zone rurale de l'Yzeron. Nous avons combiné des mesures granulométriques, de masse volumique sèche du sol et des essais d'infiltration sous charge (méthode *Beerkan*) et sous succion (mini-infiltromètres à disques) pour évaluer les capacités d'infiltration du sol. L'analyse des résultats avec la méthode proposée par Lassabatère et al. (2006) montre que, sur le bassin du Mercier où la texture du sol était assez homogène, l'occupation des sols (forêt de feuillus, ou de conifères, prairies, cultures) a un impact prédominant sur les caractéristiques hydrodynamiques du sol (Gonzalez et al., 2010). Sur la Chézine, c'est un effet de la pédologie et dans une moindre mesure de l'occupation des sols qui a été mis en évidence (Lassabatère et al., 2010). *Ceci est important pour la modélisation hydrologique ou, traditionnellement, seule la texture est prise en compte pour la spécification des propriétés hydrodynamiques des sols.*
- 2) Nous avons aussi évalué le potentiel des méthodes géophysiques pour caractériser les profondeurs de sol et l'hétérogénéité du sous-sol sur les deux bassins. Sur la Chézine, différentes techniques ont été comparées qui montrent que la résistivité électrique est la méthode la mieux adaptée au cas d'étude (Palma-Lopez et al., 2011). C'est cette méthode qui a aussi été utilisée sur le Mercier où on montre que les sols sont peu profonds (quelques mètres), mais que les fonds de vallées peuvent être remplis de roches altérées sur des épaisseurs de 10 à 20m (Goutaland, 2009). *Pour la modélisation de ces zones, ceci montre qu'il existe des capacités de stockage de l'eau, mais localisées et fortement hétérogènes.*
- 3) Le troisième dispositif mis en œuvre sur le sous-bassin du Mercier comprend l'acquisition d'un modèle numérique de terrain (MNT) Lidar à résolution métrique, complété par un réseau dense de limnimètres (18 à la fin) déployé durant 3 ans. Ces dispositifs sont au cœur de la thèse de Sarrazin (2012). Leur exploitation montre que la microtopographie extraite du Lidar permet d'identifier des extensions préférentielles du réseau de drainage d'une part à partir des linéaires artificiels, avec un apport minimal de données externes, et d'autre part à partir des talwegs naturels en distinguant la présence ou l'absence d'un chenal d'écoulement, signe d'un ruissellement concentré (Sarrazin et al., 2011). Le dispositif de 18 capteurs limnimétriques permet de mesurer l'évolution de la densité de drainage, de caractériser différentes formes de réponse hydrologique ainsi que différentes dynamiques de crue dans la topologie du réseau hydrographique. Les résultats des approches géomatique et hydrologique sur les extensions préférentielles du réseau de drainage sont globalement convergents. Ils permettent notamment de mieux comprendre les interrelations entre occupation du sol et processus

hydrologiques au sein du bassin versant du Mercier et de dériver une compréhension au moins qualitative de son fonctionnement. *Ils valident l'intérêt du capteur LiDAR et d'un dispositif distribué souple et adaptable pour décrire et observer le réseau de drainage en limitant le recours au terrain.*

- 4) Enfin, des mesures ont été menées sur deux tronçons du bassin de l'Yzeron (Chaudanne et Presles) pour quantifier le débit critique de mise en mouvement des sédiments (thèse L. Grosprêtre, 2011). Les formules théoriques disponibles dans la littérature ont été évaluées et confrontées à des mesures de terrain sur sédiments grossiers (mesure du déplacement de galets peints), et dans une moindre mesure sur sédiments fins (suivi de la turbidité, des concentrations en MES et de la granulométrie des MES). Ceci a permis d'identifier les formules les plus adéquates pour l'estimation du débit critique sur un large échantillon de sous-bassins (46) représentatif de la diversité physiographique du bassin de l'Yzeron. L'analyse combinée des séries hydrologiques pour lesquelles l'impact des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) a été filtré, avec ces valeurs seuils de débits critiques (Q_c), permet de montrer que la fréquence de dépassement de ces seuils est le paramètre hydrologique montrant la plus forte sensibilité aux RUTPs. *L'augmentation de la fréquence de dépassement des Q_c apparaît donc comme un facteur de contrôle important de la formation des incisions.*

1.3. Caractérisation des systèmes étudiés : réseaux de drainage, frontière des bassins versants, occupation des sols actuelle

Pour comprendre l'hydrologie et les chemins de l'eau dans un bassin versant, il est nécessaire de décrire de manière aussi précise que possible le réseau de drainage ainsi que les frontières du bassin versant. L'évolution rapide et la forte hétérogénéité des bassins versants périurbains ainsi que les nombreux réseaux qui viennent modifier les chemins naturels de l'eau selon la topographie rendent ces tâches particulièrement délicates. Dans les zones urbaines, le paysage est organisé selon un réseau structurant artificiel, qui est constitué de la voirie en surface et du réseau d'assainissement en souterrain alors que dans les zones rurales, l'organisation du paysage reste dépendante de la topographie, même si les réseaux de routes ou de fossés peuvent venir la perturber.

Afin de suivre en temps réel le milieu, mais aussi pour la mise en œuvre de modèles de simulation numériques (voir section 2.1.), il faut être capable de décrire l'espace péri-urbain de façon adéquate, à partir des informations descriptives disponibles (topographie, occupation des sols, voirie, réseaux d'eaux pluviales, d'assainissement..) et, si nécessaire, reconnaissances de terrain.

Dans le projet AVuPUR, plusieurs méthodes de description de l'espace ont été évaluées et comparées (Rodriguez et al., 2011) i) une méthode « MNT » s'appuyant uniquement sur la topographie et exploitant les algorithmes classiques de l'hydrologie des milieux naturels ; ii) une méthode dite « objet » (Rodriguez et al., 2003) s'appuyant sur les informations du cadastre et des réseaux et particulièrement adaptée aux zones urbaines ; iii) une méthode mixte combinant les deux précédentes et des reconnaissances terrain (Jankowsky et al., 2011) ; iv) une méthode s'appuyant sur une discrétisation de l'espace en triangles irréguliers (TINs) à partir de la topographie et dont on contraint les directions d'écoulement en fonction des objets/obstacles rencontrés : buses, fossés, etc. Ceci a conduit au développement du module TANATO2 intégré au SIG OrbisGIS développé à l'IRSTV et disponible sous licence GPL3 (Bocher et al., 2011).

On a pu montrer que la méthode mixte est plus précise que des méthodes n'exploitant aucune information de terrain et permet de délimiter les frontières des bassins dans un temps raisonnable (Jankowfsky et al., 2011) et que la méthode « MNT » n'est pas adaptée au milieu péri-urbain. La méthode TANATO est très précise mais l'utilisation d'un grand nombre de données de sources différentes nécessite un travail important pour assurer la cohérence topologique entre ces données. La méthode mixte complétée par des traitements SIG spécifiques a servi de base à la définition du maillage du modèle détaillé de bassins périurbains, PUMMA, décrit en section 2.1.

La mise en œuvre du modèle PUMMA, dont la discrétisation s'appuie sur les objets du paysage (parcelles agricoles, urbaines, haies, réseaux, etc..) a nécessité la production de cartes d'occupation des sols détaillées sur les deux sous-bassins étudiés : le Mercier (7 km²), dominé par des forêts et des cultures et la Chaudanne (4.1 km²) à dominante urbaine à l'aval et agricole à l'amont. Ces cartes ont été produites par digitalisation manuelle de photos aériennes, méthode lourde à mettre en œuvre, qui n'est donc pas transposable aisément. Les cartes ont aussi servi de référence pour la mise au point et l'évaluation de cartographies automatiques exploitant des photos aériennes (BDOrtho® IGN, résolution 50cm, information dans le visible) ou des images satellitales très haute résolution avec d'une part une image Quickbird (2.44m, visible et le proche infra-rouge), d'autre part une image SPOT (2.5m, visible et proche infra-rouge) (Jacqueminet et al., 2011a, b). Les résultats montrent que chaque type d'image et de traitement apporte des informations complémentaires qui ont été combinées dans une carte de synthèse. On a cherché en particulier à distinguer, pour les besoins de l'hydrologie, les surfaces perméables et imperméables d'une part, les différents types de végétation d'autre part, puisque selon la végétation l'évolution annuelle des composantes interception de l'eau par la végétation et évapotranspiration seront différentes. L'exploitation des différentes sources d'information conduit à des cartographies différentes pour ces propriétés. Ces cartes ont été exploitées dans les modèles de bassins versants présentés plus loin (voir aussi Figure en B2 et section 2).

1.4. Indicateurs du fonctionnement hydrologique des bassins versants périurbains

Des indicateurs caractérisant le fonctionnement hydrologique et géomorphologique des bassins étudiés ont été proposés. Ils s'appuient essentiellement sur l'analyse des données de débits que l'on a cherché à synthétiser pour en extraire des grandeurs caractérisant l'évolution temporelle du régime moyen, des basses eaux, des crues, la décomposition des hydrogrammes en écoulement rapide, de sub-surface ou retardé (débit de base). Les épisodes pluvieux ont aussi fait l'objet d'une analyse systématique afin de distinguer différents types de fonctionnements et caractériser les coefficients d'écoulement (Furusho et al., 2011a). Des tests statistiques sur une série suffisamment longue (Yzeron à Craponne, 48 km²) ont permis de dégager quelques tendances : une augmentation significative depuis 1970 des crues sub-seuil, une diminution du débit de base et une augmentation des écoulements rapides et de sub-surface. Nous n'avons pas détecté d'évolution significative sur les pluies sur cette même période, pour les pluies mesurées sur 24 heures. Les temps de réaction des bassins versants urbanisés sont de l'ordre de quelques minutes à quelques heures. Il est donc probable que les évolutions constatées

sur les crues fréquentes puissent être reliées à l'urbanisation (Radojevic et al. 2010b), même s'il faudra vérifier l'existence de tendance sur les pluies à pas de temps fin lorsque des séries suffisamment longues seront disponibles. On peut aussi noter une augmentation significative des cumuls de pluie sur 5, 10, 15 jours sur la période 1981-2009 (Radojevic et al. 2010a ; Kermadi et al., 2011), ce qui peut expliquer l'augmentation de la fréquence des grandes crues par un effet de saturation des sols. Les cumuls annuels ayant peu évolués cela traduit un moindre étalement des périodes pluvieuses.

Afin de mettre en évidence l'impact de l'urbanisation de manière plus nette, des techniques de filtrage spécifiques ont aussi été proposées pour permettre de distinguer les contributions des zones urbaines et rurales dans les séries hydrométriques et ainsi isoler l'impact des perturbations rapides liées en particulier aux déversoirs d'orage lorsqu'ils sont suffisamment près des stations de mesure (Braud et al., 2011). L'analyse par la méthode débit-durée-fréquence (QdF) des crues sur ces séries « renaturalisées » met en évidence une augmentation des crues fréquentes liée à l'artificialisation, ainsi qu'une augmentation des dépassements des débits critiques de transport sédimentaire. Les crues les plus rares, souvent liées à une contribution importante des zones rurales, sont peu impactées.

Les méthodes de filtrage ont aussi été proposées pour décomposer le signal mesuré dans les réseaux d'assainissement unitaire en eaux usées, eaux parasites d'infiltration et ruissellement urbain (Breil et al., 2010 ; Braud et al., 2011). Les résultats montrent que l'eau infiltrée dans le réseau peut représenter jusqu'à 30% du débit total, et donc qu'une part importante de l'eau du système naturel se retrouve détournée des cours d'eau ou du sol.

Les indicateurs proposés permettent de caractériser l'impact de modifications futures ou passées de l'occupation des sols sur l'hydrologie et donc la vulnérabilité des bassins périurbains aux changements d'occupation des sols. Ils sont aussi utilisés pour évaluer la pertinence des modèles développés dans le projet.

2. Développement et évaluation d'outils de modélisation adaptés aux bassins versants périurbains

2.1. Modélisation détaillée de bassins de quelques km²

Afin de mieux comprendre et hiérarchiser les processus et les objets importants sur le cycle hydrologique, nous avons développé un modèle détaillé, adapté à des bassins périurbains de quelques km², appelé PUMMA (Jankowsky, 2011). Le modèle s'appuie sur un maillage irrégulier en objets hydrologiquement homogènes. Ce maillage est déterminé en croisant les différentes informations géographiques disponibles : cartes géologique, pédologique, sous-bassins, occupation du sol (issus des méthodes présentées en 1.3), avec une priorité donnée à l'occupation du sol. Cela permet d'obtenir des objets hydrologiques associés au parcellaire (parcelles urbaines et parcelles rurales). Les processus hydrologiques en jeu sont formalisés au niveau de chacun de ces objets sous forme de modules. Ces modules sont assemblés entre eux grâce à l'utilisation de la plate-forme de modélisation hydrologique LIQUID[®], développée par la société Hydrowide, qui est un outil informatique permettant la construction de modèles hydrologiques adaptatifs.

La connexion des objets entre eux est un élément clef du modèle PUMMA car elle détermine le routage des écoulements d'un objet à l'autre, depuis l'amont du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Pour les écoulements de surface, les parcelles urbaines sont connectées à l'élément de réseau le plus proche selon le concept développé dans URBS, qui représente les parcelles urbaines (Rodriguez et al., 2008); alors que sur les parcelles rurales, le ruissellement est routé de voisin en voisin en suivant la topographie. Pour les écoulements souterrains (nappe), les parcelles urbaines sont connectées à la fois au réseau pour prendre en compte le drainage partiel de la nappe par un réseau non étanche, et aux parcelles voisines pour représenter l'écoulement naturel de la nappe suivant le gradient hydraulique. Sur les parcelles rurales, seul cet écoulement naturel est considéré. Le modèle a été testé sur le sous-bassin de la Chaudanne.

Cette modélisation hydrologique détaillée permet de quantifier plus précisément les flux d'eau pour la gestion des eaux pluviales et le dimensionnement d'ouvrages. Elle permet aussi de formuler et tester des scénarios d'aménagements passés et futurs, y compris impliquant des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales. Elle est également un support pour l'ajout d'autres processus liés à la qualité de l'eau (nutriments, substances prioritaires...).

2.2. Adaptation de modèles existants pour la simulation de l'hydrologie de bassins périurbains

La modélisation hydrologique des bassins versants périurbains nécessite de prendre en compte les caractéristiques des deux milieux urbain et rural. En effet, aucune occupation du sol n'est prépondérante par rapport à l'autre et donc leurs effets aussi. Pour reproduire le comportement hydrologique d'un bassin versant périurbain, un modèle hydrologique doit donc représenter la variabilité des occupations du sol avec des couverts naturels divers et des surfaces imperméabilisées. Il doit aussi prendre en compte le réseau hydrographique mixte constitué des cours d'eau naturels et du réseau d'assainissement. Enfin, le sol doit être représenté, aussi bien en milieu naturel qu'en milieu urbain (Berthier et al., 2004). Ainsi, dans le cadre de ce projet, nous avons proposé l'adaptation, aux bassins périurbains, de modèles numériques existants, soit en ajoutant la prise en compte des surfaces urbaines à un modèle hydrologique des rivières « naturelles », soit en ajoutant la prise en compte du sol et de la végétation pour un modèle hydrologique initialement dédié au milieu urbain. Pour la détermination des quantiles de crue, une modélisation statistique, la méthode débit - durée - fréquence (QdF) a aussi été adaptée aux bassins versants périurbains.

Le modèle probabiliste des quantiles de crues rurales QdF adapté aux bassins rapides (Galéa et Ramez, 1995), validé par ailleurs de longue date pour le milieu rural (Galéa et Prudhomme, 1997), a été testé sur des données de débit urbains. Il a été validé sur des quantiles de ruissellement urbain (site de Rezé) ainsi que les quantiles des débits mesurés sur deux déversoirs d'orage (Grézieu et Ecully). Le modèle nécessite une description du réseau de collecte des eaux urbaines ainsi que des valeurs des seuils de débit des déversoirs d'orage.

Dans le contexte périurbain, la somme des quantiles de crue rurale et urbaine ainsi générés par le modèle QdF a été validée sur 19 sites de mesure du débit de plein bord (Navratil et al. 2011). Le modèle QdF permet ainsi d'évaluer rapidement les ordres de grandeurs des effets de l'urbanisation sur les quantiles

des crues rurales fréquentes (1 à 5 ans) et moins fréquentes (5 à 10 ans). Il a été utilisé pour évaluer l'évolution possible de l'incision dans le bassin de l'Yzeron en 2030 (section 3.3).

Le modèle urbain CANOE (Sogreah et Insavalor, 2005) a été amélioré pour réaliser des simulations en continu, prendre en compte les zones rurales avec 3 réservoirs représentant respectivement les écoulements de surface, de sub-surface et souterrains. Par ailleurs, le modèle initial ne permettait pas de garder trace de l'origine des écoulements. Les modules de production ont donc été refondus dans un nouvel outil appelé Hydrobox (Dorval, 2011), les modules de transfert initiaux de CANOE restant toujours utilisés. Ce modèle a été utilisé sur le bassin de l'Yzeron, notamment pour évaluer l'impact des changements d'occupation des sols sur le risque d'incision en 2030 (section 3.3).

Deux modèles, initialement développés pour le milieu rural ont aussi été évalués. Il s'agit des modèles J2000 (Krause et al., 2006 ; Labbas, 2011) et ISBA-Topmodel (Bouilloud et al., 2009 ; Furusho et al., 2011b). Le premier s'appuie sur un découpage en sous-bassins pour lesquels on a affecté l'occupation des sols dominante, déterminée par l'imagerie satellitale (voir 1.3.) et les paramètres ont été spécifiés à partir de la littérature ou des informations existantes. A ce stade, ce modèle présente l'inconvénient de ne simuler qu'un seul réseau. La simulation du bassin de l'Yzeron sur une période de dix ans montre des résultats encourageants : la dynamique du bassin est bien reproduite à l'échelle de la chronique annuelle : le critère de Nash pour toute la période de simulation est moyen, mais certaines années sont simulées avec une bonne qualité (chronique 2002-2003, Nash=0.72). Le modèle offre aussi la possibilité de connaître le débit de manière distribuée sur tout le bassin. Il permet aussi de calculer la contribution des sous-bassins au débit pour les différentes fractions du débit (écoulements rapides ou lents) (Labbas, 2011).

Le modèle ISBA-Topmodel s'appuie sur une discrétisation en mailles carrées et prend en compte les interactions surface-atmosphère pour le calcul de l'évapotranspiration (module ISBA). Topmodel gère quant à lui les écoulements sur surfaces saturées et de sub-surface sur un maillage plus fin correspondant au MNT. Pour prendre en compte les zones urbaines, un réservoir de stockage maximal a été implémenté sur les mailles urbaines du MNT, afin de reproduire les pertes initiales et le ruissellement en surface lorsque la capacité du réservoir est dépassée. En zones urbaines, des interactions entre le sol et les conduites ont aussi été paramétrées selon Morena (2004). L'application du modèle sur le bassin de la Chézine réussit à reproduire la dynamique du bassin, à l'échelle de la chronique annuelle : le critère de Nash associé au biais pour toute la période d'évaluation indique une simulation satisfaisante selon Moriasi et al. (2007) (Nash=0.52, biais=17.5%), mais montre une forte variabilité d'une année à l'autre (Nash entre 0.49 et 0.72 et biais entre -7 et 63%). Il apparaît que le modèle a tendance à surestimer le débit en période humide et à le sous-estimer en période sèche (Furusho, 2011 ; Furusho et al., 2011b). Le modèle a aussi été utilisé sur le bassin versant de l'Yzeron, sans aucun calage, à partir des valeurs des paramètres utilisés sur la Chézine ou de la littérature. Dans cette configuration très simple, il montre encore des résultats satisfaisants sur une simulation de 6 ans (Nash=0.50, biais=13.3%).

Les résultats obtenus sont encourageants mais des intercomparaisons entre modèles et bassins devraient encore être menées pour évaluer la robustesse des différentes approches. Hydrobox et CANOE ont vocation à être utilisés par les gestionnaires. En revanche, J2000 et ISBA-TOPMODEL nécessitent encore des améliorations pour être utilisés facilement en opérationnel. Cependant, leur application sur des bassins versants périurbains permet de mieux comprendre les processus à prendre en compte. Ces modèles peuvent aider au développement ou à l'amélioration d'outils pour les opérationnels.

3. Caractérisation de l'évolution passée et future des territoires et vulnérabilité hydrologique à l'urbanisation

3.1. Reconstruction climatique et pluviométrique adaptée aux bassins périurbains

Afin de réaliser des simulations hydrologiques sur de longues périodes (une vingtaine d'années), il est nécessaire de disposer, sur une longue durée, des entrées climatiques et pluviométriques à un pas de temps adapté aux questions traitées. Sur les bassins périurbains, la rapidité des écoulements sur les surfaces imperméables, l'hétérogénéité des surfaces et la variabilité spatio-temporelle des pluies nécessitent a minima une information sur des mailles kilométriques et si possible à 5-6 minutes.

Pour les données d'entrée climatiques, nous avons utilisé la base de données SAFRAN de Météo-France sur la période 1970-2010 (Quintana-Ségui et al., 2008) avec laquelle une série d'ETP horaire a été calculée (Vannier et Braud, 2010).

Pour la pluviométrie, la qualité des données du radar météorologique de St-Nizier, couvrant le bassin de l'Yzeron avec une résolution de 1 km² et 5 minutes depuis 2001, a été quantifiée, montrant que les données sont de bonne qualité (Renard, 2010). Une correction quantile/quantile à l'aide des données pluviométriques a aussi été proposée (Chocat et al., 2010).

Pour les années antérieures, la pluviométrie du bassin n'est décrite que par quelques pluviomètres. Une méthode originale s'appuyant sur un simulateur de pluie à base géostatistique développé au Cemagref (Renard et al., 2011) a été proposée pour reconstituer des réalisations plausibles des champs pluvieux respectant les observations disponibles. Le simulateur reposant sur une hypothèse d'homogénéité des pluies, une première étape a consisté à proposer une méthode de classification des jours pluvieux et à ajuster les descripteurs statistiques pour chaque classe de pluie. On identifie en particulier quelques classes qui regroupent les épisodes les plus intenses. Pour le conditionnement des champs par les observations, une méthode d'échantillonnage de Gibbs ou de Métropolis-Hastings a été implémentée. On a ensuite pu simuler 13 reconstitutions des champs de pluie horaires entre 1985 et 2009 sur l'Yzeron. Les résultats montrent une diminution de la variance inter réalisations lorsque le réseau de pluviographes s'enrichit. Sur l'épisode majeur observé sur le bassin (crue de Décembre 2003), l'incertitude sur la pluie moyenne du bassin est de l'ordre de 20%. Ces données sont maintenant disponibles pour une exploitation hydrologique et on pourra ainsi quantifier les incertitudes sur les débits, liées à la méconnaissance des pluies.

3.2. Appréhender le futur de l'occupation des sols à partir de la reconstruction de l'occupation des sols passée et d'ateliers de prospective territoriale

Sur le bassin de l'Yzeron où plus d'informations étaient disponibles, nous avons cherché à quantifier l'évolution passée de l'occupation des sols et proposer des scénarios pour le futur (2030), s'appuyant sur l'analyse des tendances passées. Deux méthodes de cartographie multi-temporelle ont été conduites à partir de deux types d'images : i) des photographies aériennes IGN de 1970, 1990 et 2008 et ii) des images Spot de 1990, 1999 et 2008. A partir des photographies aériennes, la cartographie rétroactive (de la date la plus récente à la date la plus ancienne) a été réalisée par photo-interprétation manuelle. La typologie extraite comporte une information sur l'occupation du sol mais également sur ses usages. Les différents types de surfaces artificialisées sont distingués (habitat pavillonnaire, zone d'activités...). Les images anciennes en N/B, de qualité moyenne, ne peuvent être interprétées que manuellement, les méthodes automatisées sont inefficaces sur de telles images. Cette digitalisation est coûteuse en temps de travail et ne peut être menée sur de grandes superficies. L'usage des images satellites et de méthodes automatisées a constitué une alternative intéressante. Cependant, la principale difficulté d'une étude multi-date réside dans le changement de résolution des capteurs au cours du temps. Dans ce travail, le choix a été fait de rééchantillonner toutes les images à une même résolution médiane. Lors d'une analyse quantifiée des superficies, il importe d'être attentif à la nature et à la résolution de l'information produite. La nomenclature des cartes construites par digitalisation manuelle n'est pas identique à celle des cartes élaborées par les méthodes automatisées. Les objets : bâti, voirie, extraits automatiquement sont différents des entités « habitat, zone d'activité », reconnus par photo-interprétation. On obtient ainsi une augmentation de 33 à 37% entre 1990 et 2008 des surfaces artificialisées avec les photos aériennes, alors que les surfaces « bâti, voirie », extraites des images satellites augmentent de 15 à 23% respectivement (Kermadi et al., 2011).

Les cartes de 1990 et 2008, ainsi qu'un logiciel de modélisation permettant de modéliser les évolutions (Land Change Modeller, Univ. Worcester, USA) ont été utilisés pour identifier les facteurs de changement (pente, distance à la zone urbaine, distance à la ville centre, etc..). Des ateliers de prospective territoriale impliquant les acteurs du territoire (élus, agences d'urbanisme, forestiers, agriculteurs, pêcheurs, etc..) ont été organisés pour identifier les évolutions possibles de l'occupation des sols sur le bassin de l'Yzeron en 2030. Ceci a conduit à définir trois scénarii principaux (poursuite des tendances actuelles, densification urbaine, déprise agricole) déclinés en sous-scénarios secondaires prenant en compte par exemple des contraintes réglementaires (zones protégées, plan locaux d'urbanisme, etc..) qui ont ensuite été convertis en cartes d'occupation des sols en 2030 à l'aide de l'outil de modélisation (Joliveau et al., 2011).

L'expérience a montré que de tels ateliers permettaient à des personnes travaillant sur un même territoire mais n'ayant que peu l'occasion de se rencontrer de discuter entre elles et partager leurs visions de ce territoire. Les résultats ont été présentés aux élus lors d'une réunion publique. La démarche mise en place a suscité beaucoup d'intérêt, moins pour les cartes produites que pour la réflexion qu'elles suscitent.

3.3. Exploitation des scénarii pour évaluer les évolutions possibles des régimes hydrologiques et le risque d'incision en 2030.

Cette dernière phase du projet constitue une synthèse d'une partie des actions présentées précédemment. Elle permet d'exploiter les différentes cartographies de l'occupation du sol actuelle et future dans les modèles hydrologiques, de réaliser des simulations de longue durée (plus de vingt ans) avec les deux cartographies⁵. Les séries de débits générées sont ensuite analysées pour calculer les indicateurs proposés en 1.4 pour les deux dates. Il est ainsi possible de quantifier les évolutions correspondantes.

Pour des questions de temps, la démarche n'a pas pu être mise en œuvre de façon complète et seuls le modèle physique CANOE et le modèle statistique QdF ont été utilisés à ce jour pour simuler les débits sur l'Yzeron en 2030. Les résultats obtenus par les deux méthodes ont été vérifiés et améliorés. Ils ont été traités pour estimer l'évolution des différents indicateurs hydrologiques en 2030, et en particulier la fréquence de dépassement des débits critiques de mise en mouvement des sédiments. Ces indicateurs permettent de réaliser la cartographie du risque d'incision d'ici 2030 de 46 sous-bassins représentatifs du bassin de l'Yzeron. Notons qu'il est également prévu de valider l'approche méthodologique en comparant les résultats des modélisations fondées sur l'évolution de l'occupation du sol entre 1970 et 2008 avec la cartographie des incisions actuelles. Ces résultats feront l'objet d'une publication dans une revue internationale.

C.5 EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Les résultats du projet ont donné lieu à 14 chapitres d'ouvrages ou articles dans des revues à comité de lecture, 41 présentations dans des conférences internationales (dont la co-organisation d'une session de l'EGU 2010 sur l'hydrologie des bassins artificialisés), 39 présentations dans des conférences nationales.

Sept thèses se sont déroulées pour tout ou partie en lien avec le projet et 5 soutenances sont prévues d'ici la fin de l'année 2011. Le projet a contribué à la formation de 31 étudiants de niveau master 1, 2 ou ingénieur.

La valorisation académique des résultats n'est pas terminée puisque 14 articles sont soumis ou en préparation dont 6 soumis à un numéro spécial du Journal of Hydrology « Hydrology of periurban catchments : processes and modelling » dont deux personnes du projet (I. Braud et H. Andrieu) sont éditeurs invités. D'autres publications sont également prévues par ailleurs.

Une conférence, co-organisée avec le GRAIE⁶ le 9 Juin 2011, a permis de présenter les résultats majeurs du projet à destination des acteurs du monde de l'eau, avec productions d'actes et de 5 fiches techniques⁷, décrivant des méthodologies produites par le projet. Les résultats de l'atelier de prospective territoriale ont été présentés aux élus et leurs partenaires le 28/06/2011.

Une réunion avec des opérationnels a aussi été organisée le 10/06/2011, suite à la conférence, afin de discuter de la manière dont les résultats du projet et de la recherche sur les bassins versants périurbains pourraient être utilisées par les

⁵ Les modèles ne sont pas encore capables de prendre en compte une évolution de l'occupation des sols en cours de simulation.

⁶ Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau, <http://www.graie.org/graie/index.htm>

⁷ Voir détails à http://avupur.hydrowide.com/spip.php?page=sommaire&id_article=7

gestionnaires. Des pistes pour les recherches futures ont aussi été proposées. Les conclusions de ces discussions sont présentées en Annexe 2.

Le projet a aussi conduit à la production de plusieurs outils logiciels dont les règles de diffusion sont variables :

- logiciel TANATO2 diffusé selon une licence GPL3, en conformité avec la plateforme SIG OrbisGIS dans laquelle il s'intègre
- simulateur de pluie par bandes tournantes dont les codes ont été déposés à l'APP mais dont l'utilisation est possible pour la recherche
- plates-formes Hydrobox et LIQUID[®], co-produite avec des sociétés privées, dont l'accès est pour le moment soumis à convention/licence pour LIQUID[®] et disponible pour la recherche pour Hydrobox
- suite de scripts de pré-traitements SIG pour la modélisation hydrologique développés sous Grass et Python et disponibles pour la communauté (licence GPL)

Au niveau de la structuration des recherches en France, le projet a contribué au rapprochement des trois observatoires urbains et périurbains français (OTHU, ONEVU, OPUR) et à la reconnaissance d'une thématique bassin versant dans ces observatoires. Une fédération de recherche a été validée par l'AERES en 2011 et les trois observatoires ont aussi labellisés SOERE en 2010. Pour la composante lyonnaise, les travaux du projet ont aussi contribué au programme finalisé entre l'OTHU, le Grand Lyon et l'Agence de l'Eau RM&C 2010-2014.

L'instrumentation du bassin de l'Yzeron et les données collectées dans le projet ont été valorisée dans un projet de R&D, financé par la région Rhône-Alpes et portant sur la cartographie du ruissellement intense (projet IRIP, Dehotin et Breil, 2011 ; Dehotin et al., 2011).

Enfin, 3 des partenaires du projet se sont associés à un projet soumis en septembre 2011 à l'appel d'offre INSU/EC2CO, afin d'approfondir des questions soulevées dans le cadre du projet AVuPUR.

C.6 DISCUSSION

Globalement, on peut considérer que la plupart des objectifs affichés dans le projet initial ont pu être atteints. Tous les livrables sauf un ont pu être fournis et le projet a produit bien d'autres résultats intéressants, tant en terme de logiciels, de cartes que de méthodologies.

Une des clés de la réussite du projet a été la phase de collecte et de production des données nécessaires au projet. Pour les données existantes, cette phase a été longue et laborieuse du fait de la multiplicité des interlocuteurs, des formats de données et de restrictions parfois apportées sur leur utilisation ou leur diffusion. Les résultats du projet montrent que l'ensemble de ces informations étaient néanmoins nécessaires à l'appréhension complète du fonctionnement des bassins versants. Un accès plus aisé à l'ensemble des informations disponibles serait donc souhaitable pour faciliter l'étude des bassins versants périurbains. Le projet a aussi permis la production de nouvelles informations cartographiques, notamment sur l'occupation des sols à différentes dates et selon différentes méthodes.

Le projet AVuPUR a permis de tester différentes techniques, pour certaines innovantes, pour comprendre les processus hydrologiques des zones rurales. Les travaux ont confirmé l'intérêt d'un concept qui émerge en hydrologie : le concept de connectivité hydrologique qui permet de décrire de manière dynamique la façon dont les zones de production de ruissellement se connectent au réseau hydrographique. Les techniques mises en œuvre : utilisation de MNT Lidar très haute résolution, réseaux dense de limnimètres, campagnes de caractérisation des sols sont prometteuses et nous recommandons leur généralisation dans d'autres études hydrologiques. Concernant la détermination des débits critiques de mise en mouvement des sédiments, nous recommandons de tester dans un premier temps plusieurs formules car les résultats peuvent montrer de fortes divergences, puis d'identifier les plus pertinentes sur un bassin donné grâce à des suivis de terrain relativement aisés à mettre en œuvre.

La partie cartographie de l'occupation des sols, notamment manuelle a été très coûteuse en temps et ne peut donc pas être généralisée à de nombreux bassins. Les méthodes automatiques testées ont permis de montrer que seule l'exploitation combinée de différentes sources d'informations, traitées avec des méthodes adéquates était capable de produire une cartographie de qualité, répondant aux objectifs et contraintes de la modélisation hydrologique. Les travaux ont aussi montré qu'il importe de bien définir les objectifs et les besoins en termes de cartographie pour que le résultat corresponde aux attentes. Ceci n'a pu être atteint dans le projet que grâce à un dialogue permanent et de nombreux aller-retour entre hydrologues et géographes, avec un bénéfice certain pour les deux communautés qui ont ainsi progressé dans une connaissance mutuelle.

Les travaux réalisés sur l'exploitation des données du radar météorologique ont montré l'intérêt de ces données pour la gestion opérationnelle des eaux pluviales par les collectivités. Des développements de services autour de ces activités sont à attendre dans les années à venir.

Les travaux réalisés autour de la simulation continue et à pas de temps fin de la pluie sont aussi porteurs. Des pistes de recherche sont d'ores et déjà ouvertes pour contribuer à la construction d'un simulateur de temps avec des équipes norvégiennes. Ceci présente un intérêt aussi pour la désagrégation des scénarios de changement climatique aux échelles de l'hydrologie.

Le projet a permis des avancées significatives sur la description des bassins périurbains et la description des réseaux de drainage associés. Des résultats d'ores et déjà transposables aux opérationnels en ont émergé (fiche technique OTHU n°22 sur la délimitation des bassins périurbains), ou des outils diffusables à la communauté hydrologique (logiciel TANATO2, pré-traitements SIG). Les résultats obtenus sont aussi importants pour les modélisations hydrologiques futures. En particulier, le potentiel d'un outil détaillé comme le modèle PUMMA, développé dans la plate-forme LIQUID®, est indéniable et devrait être approfondi dans les années qui viennent. Un tel outil, même s'il est difficile à mettre en œuvre, permet ensuite de tester assez aisément l'impact de différents choix de gestion des eaux pluviales, ce qui intéresse les opérationnels, à l'heure où de nouvelles méthodes de gestion sont promues (techniques dites alternatives).

A l'échelle des bassins plus grands, les modélisations évaluées restent, au dire des opérationnels, encore trop complexes pour les usages qu'ils voudraient en

faire. De nouveaux travaux seraient nécessaires pour aller au bout de l'intercomparaison des approches, qui n'a pas pu être complètement finalisée dans le temps imparti au projet, tester leur robustesse et la manière dont elles peuvent être transposées à des bassins versants moins instrumentés que ceux étudiés dans AVuPUR (voir annexe 2). Enfin, les opérationnels seraient demandeurs d'outils plus simples à mettre en œuvre. L'adaptation de la méthode statistique d'estimation des quantiles de crue (QdF) aux bassins périurbains, peut en partie répondre à ces objectifs. Ces éléments ouvrent des perspectives de développements et de valorisation économique des résultats.

Les ateliers de prospective territoriale, qui ont permis à des personnes travaillant sur un même territoire de se rencontrer et de partager leur vision de ce territoire, ont été appréciés. La démarche a suscité beaucoup d'intérêt, moins pour les cartes produites que pour la réflexion qu'elles suscitent et l'équipe concernée a reçu plusieurs sollicitations pour organiser de nouveaux ateliers sur d'autres bassins.

Enfin, sur la durée du projet, il n'aura pas été possible d'exploiter complètement l'ensemble des données, cartes produites. Une thèse intitulée « Approche multi-échelles pour étudier les impacts de l'évolution de l'occupation des sols et de la gestion des eaux pluviales sur l'hydrologie d'un bassin versant périurbain. Application au bassin de l'Yzeron. » a débuté à l'automne 2011 au Cemagref et permettra d'exploiter les cartes d'occupation des sols passées et futures, tout en intégrant différents scénarios pour la gestion des eaux pluviales. Un projet permettant de poursuivre cette exploitation des données, et d'aborder la question de la prise en compte de nouveaux modes de gestion des eaux pluviales dans les modèles a aussi été déposé à l'appel d'offre INSU/EC2CO par trois des partenaires du projet.

C.7 CONCLUSIONS

En conclusion, le projet AVuPUR était un projet ambitieux et novateur. Il abordait un sujet, l'hydrologie des bassins périurbains, relativement peu étudié auparavant. Les résultats obtenus par le projet sont conséquents et dépassent largement ce que nous avons espéré au départ. Une des clés de ce succès est certainement à chercher dans un travail réellement interdisciplinaire où les différentes équipes ont vraiment travaillé ensemble pour avancer vers un objectif commun. Les nombreuses discussions ont été enrichissantes pour tous et on contribué à améliorer le dialogue entre disciplines autour de l'occupation des sols et des besoins de l'hydrologie, les méthodes d'analyse des données, la modélisation.

Le projet confirme aussi l'intérêt des plates-formes de modélisation hydrologiques adaptatives pour aborder la simulation de bassins complexes où les réseaux linéaires jouent un rôle prépondérant. Ces travaux ouvrent des perspectives de progrès importants pour l'hydrologie.

C.8 REMERCIEMENTS

Nous remercions le programme Vulnérabilité Milieux Climat de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-07-VULN-01) qui a financé le projet AVuPUR. Nous tenons aussi à remercier tous les organismes qui nous ont fourni les données sans lesquelles le projet n'aurait pas pu se dérouler : le CCVL (Communauté de Communes des Vallons du Lyonnais), l'IGN, le Grand Lyon, Météo-France, Nantes

Métropole, le SAGYRC (Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron et du Ratier), le SIAVHY (Syndicat Intercommunal Assainissement Haute Vallée Yzeron), Sol-Info Rhône-Alpes ont fourni une partie des données utilisées dans le projet. Les images SPOT ont été acquises grâce à un projet ISIS du CNES.

Le projet a aussi bénéficié des soutiens du GRAIE (Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau), du Grand Lyon, de l'Agence de l'Eau, de la Région Rhône-Alpes, du CERTU pour l'organisation de la conférence de restitution (1ère conférence OTHU) du 9 Juin 2011.

Les bassins étudiés font partie des observatoires OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine) et ONEVU (Observatoire Nantais de l'Environnement Urbain).

C.9 RÉFÉRENCES

- Berthier, E., Andrieu, H., Creutin, J.D., 2004. The role of soil in the generation of urban runoff: development and evaluation of a 2D model. *Journal of Hydrology, Urban Hydrology*, 299(3-4), 252-266.
- Bouilloud, L., K Chancibault, B Vincendon, V Ducrocq, F Habets, GM Saulnier, S Anquetin, E Martin et J Noilhan, 2009 : An advanced coupling between the ISBA land surface model and the TOPMODEL hydrological model for Mediterranean flash-flood forecasting: Description, calibration and validation. *Journal of Hydrometeorology*, 11(2), 315-333.
- Branger, F., Renard, B., Le Coz, J., Bonnifait, L., 2011. Assessment of uncertainty of stage-discharge relations through hydraulic and bayesian approach. ICFM5: 5th International Conference on Flood Management, 27-29 September 2011, Tokyo, Japan.
- Braud, I. Breil, P., Thollet, F., Lagouy, M., 2011. Impact of urbanization on the hydrological regime of periurban rivers. What can we learn from data analysis?, submitted to the *Journal of Hydrology* special issue on "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"
- Breil, P., Radojevic, B., Chocat, B., 2010. Urban development and extreme flow regimes changes, *Proceedings of the 6th Friend Conference "Global change: facing risks and threats to water resources"*, 25-29 October 2010, Fez, Morocco, IAHS Public., 340, 314-319
- Bocher et al, 2011 : <http://geosysin.iict.ch/irstv-trac/wiki/research/avupur/tanato> , consulté le 27/07/2011.
- Chocat, B., Dorval F. A., Renard, F., 2010 - Calibration des données radar à partir de mesures au sol en hydrologie urbaine : approche statistique. Actes du forum des utilisateurs de radars météorologiques, Météo-France, centre international de conférence, Toulouse, pp. 7-9
- Dehotin, J., Breil, P., 2011. Rapport technique du projet IRIP: Cartographie de l'aléa inondation par ruissellement, Cemagref-Publications, rapport technique Juillet 2011 Lyon, 76pp.
- Dehotin J., de Lavenne A., Breil P., Braud I., Lagouy M., 2011. Runoff detection on a french small catchment: DEVERSE observation system, in preparation
- Dorval, F., 2011. Mise au point de techniques de traitement de données en continu pour l'identification des composantes de débit à l'exutoire des bassins versants urbains : Etude de cas des bassins versants Django Reinhardt et Ecully. Thèse de l'Université de Lyon (INSA).
- Furusho, C., 2011. Modélisation hydrologique des bassins périurbains, Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture (SPIGA), Ecole Centrale de Nantes, 26 Septembre 2011, 266pp.
- Furusho, C., Andrieu, H., Chancibault, K., 2011a. Analysis of the hydrological functioning of an Urbanizing River Basin, *Hydrological Processes*, in revision
- Furusho, C., Chancibault, K., Andrieu, H., 2011b. Adjustment of the coupled hydrological model ISBA-TOPMODEL to long term hydrological cycles of peri-urban rivers : evaluation and sensitivity study, submitted to the *Journal of Hydrology* special issue on "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"

- Galéa, G., Prudhomme, C., 1997. Notions de base et concepts utiles pour la compréhension de la modélisation synthétique des régimes de crue des bassins versants au sens des modèles QdF. *Revue des Sciences de l'Eau*, 1, 83-101.
- Galea, G. and Ramez, P., 1995. Runoff and erosion control in hillslope vineyards: a handbook for landscape managers. *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau : guide à l'usage des aménageurs*. Coll. Etudes du Cemagref, série Gestion des milieux aquatiques n°10. 126 p. ISN 2-85362-416-1
- Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., Dehotin, J., Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Lagouy, M., Branger, F., Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, K., 2010. Impact of land use on the hydraulic properties of the topsoil in a small French catchment. *Hydrological Processes*, 24(17), 2382-2399.
- 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.
- Grosprêtre L., 2011. Dynamique hydro-morphologique, modélisation et gestion de petits systèmes fluviaux périurbains, Thèse de l'Université de Lyon, soutenance prévue le 12 Décembre 2011.
- Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, K., Chocat, B., 2011a. Méthodes de cartographie de l'occupation du sol et de son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques de bassins versants périurbains, Fiche technique OTHU n°24, 4 p.
- Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., Béal D., Branger F., Jankowsky S., Braud I., 2011b. Land cover mapping using aerial and VHR satellite images for distributed hydrological modelling of periurban catchments: application to the Yzeron catchment (Lyon, France), submitted to the *Journal of Hydrology* special issue on "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"
- Jankowfsky, S., 2011. Modélisation hydrologique spatialisée de petits bassins versants péri-urbains. Application aux sous-bassins de la Chaudanne et du Mercier (Yzeron), Ecole Doctorale Terre Univers Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France. Soutenance prévue en Décembre 2011
- Jankowfsky, S., Branger, F., Braud, I., Gironas, J., Rodriguez, F., 2011. Integration of sewer system maps and field observations in topographically based sub-basin delineation in suburban areas, submitted to *Hydrological Processes*.
- Joliveau, T., Dodane, C., Honegger, A., 2011. Méthodes de prospective territoriale pour simuler les évolutions de l'occupation future du sol, appliquées à un bassin versant périurbain. Fiche technique OTHU, n°25. 6 p.
- Kermadi, S., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F., 2011. Evolution de la pluviométrie dans le bassin péri-urbain de l'Yzeron (Ouest Lyonnais) depuis les années 1970 et caractérisation de l'imperméabilisation, XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 6-11 Septembre 2011, Rovereto (Italie), 6pp.
- Krause, P., Båse, F., Bende-Michl, U., Fink, M., Flügel, W., et Pfennig, B., 2006. Multiscale investigations in a mesoscale catchment - hydrological modelling in the Gera catchment. *Adv. Geosci.*, 9:53-61.
- Labbas, M., 2011. Impacts de la caractérisation de l'occupation des sols par différentes sources sur la simulation des processus hydrologiques. Application au bassin versant de l'Yzeron. Mémoire de fin d'études Master ENGREF « Gestion de l'eau », 51 pp.
- Lassabatère, L., Angulo-Jaramillo, R., Soria-Ugalde, J.M., Cuenca, R., Braud, I., Haverkamp, R., 2006. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2), 521-532.
- Lassabatère L., Garcia C, Letellier L, Chancibault K., 2010 : Caractérisation hydrodynamique du bassin versant péri-urbain de la Chézine, décembre 2010, 27pp.
- Morena, F., 2004 : Modélisation hydrologique distribuée en milieu urbanisé. Représentation des processus de production et développement du modèle URBS. Ecole Doctorale Terre Univers Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France, 256 pp.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

- Navratil O., Breil P., Schmitt L., Grosprêtre L., Albert M.B.(2011). Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff(yzeron river basin, france). *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, submitted.
- Palma-Lopes, S., Chancibault, K., Letellier, L., Garcia, C., Lassabatère, L., Rouaud, J.M., Dérobert, X., Bénot, R., Montigné, S., Mahé, J.F., 2011. Utilisation de méthodes géophysiques pour la description des sols dans le bassin de la Chézine : étude de faisabilité. Rapport de synthèse pour le projet AVuPUR (ANR), 40 pp.
- Quintana-Segui, P., Le Moigne, P., Durand, Y., Martin, E., Habets, F., Baillon, M., Canellas, C., Franchisteguy, L., Morel, S., 2008. Analysis of near-surface atmospheric variables: validation of the SAFRAN analysis over France. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 92-107.
- Radojevic, B., Breil, P., Chocat, B., 2010a. Flood risk mitigation using dry reservoirs in a global change perspective. *Proceedings of the 6th Friend Conference "Global change: facing risks and threats to water resources"*, 25-29 October 2010, Fez, Morocco, IAHS Public., 340, 119-125.
- Radojevic, B., Breil, P., Chocat, B., 2010b. Assessing impact of global change on flood regimes. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2(2), 167-179.
- Renard, F., 2010 ; Le risque pluvial en milieu urbain. De la caractérisation de l'aléa à l'évaluation de la vulnérabilité : le cas du Grand Lyon. Thèse de l'Université Jean Moulin, Lyon 3.
- Renard, B., Kavetski, D., Leblois, E., Thyer, M., Kuczera, G., 2011. Towards a reliable decomposition of predictive uncertainty in hydrological modelling : characterizing rainfall errors using conditional simulation, *Water Resources Research*, doi:10.1029/2011WR010643, in press.
- Rodriguez, F., Andrieu, H., 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., 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.
- Rodriguez, F., Bocher E., Chancibault, K., 2011. Terrain representations of peri-urban catchments channels, *Journal of Hydrology special issue on "Hydrology of periurban catchments: processes and modelling"*, submitted.
- Sarrazin, B., 2012. Approches spatiales pour décrire le réseau de drainage et suivre sa dynamique de fonctionnement en milieu rural dans une perspective d'aide à la modélisation hydrologique, Ecole doctorale Terre, Univers, Environnement. l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Soutenance prévue en Janvier 2012.
- Sarrazin, B., Braud, I., Puech, C., 2011. A functional typology of headwater channels extracted from high resolution lidar DEM, *Hydrological Processes*, in revision.
- Sogreah, Insavalor, 2005. Manuel d'utilisation de CANOE, Tech. Report.
- Vannier, O., Braud, I., 2010. Calcul d'une évapotranspiration potentielle (ETP) spatialisée pour la modélisation hydrologique à partir des données de la réanalyse SAFRAN de Météo-France. Note de travail du plateau SOMME, Cemagref, Avril 2010, 22pp.

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison (mois)	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
9	D1.1	Base de données et couches SIG rassemblant les données collectées durant le projet et leur documentation	Couches SIG + fichiers de données + rapports	Tous	Données collectées rassemblées et mises à disposition des partenaires
12, 24, 36	D1.2	Courbes de tarage pour les stations de débits et incertitudes associées	Rapports + logiciel Baratin de calcul d'incertitudes + fiches techniques OTHU ⁸ n°23 et 26	Cemagref,IRSTV	Publications des annuaires annuels (Cemagref) + rapports de stage (IRSTV) sur les données hydrologiques
42	D1.3	Evaluation d'une nouvelle méthode de caractérisation des réseaux hydrographiques éphémères	Mémoire thèse B. Sarrazin	ISARA, Cemagref	Mémoire thèse B. Sarrazin rédigé, soutenance prévue début 2012
42	D1.4	Evaluation de l'intérêt de données Lidar pour caractériser les chemins de l'eau	Mémoire thèse B. Sarrazin + publication	ISARA, Cemagref	Un article en révision (Sarrazin et al., 2011) + 1 chapitre du mémoire de thèse de B. Sarrazin
18	D2.1	Description des chemins de l'eau dans les bassins d'étude	Couches SIG, cartes, rapports, publications, fiche technique OTHU n°22	Cemagref,IRSTV	1 article soumis en mars 2011 à <i>Hydrological Processes</i> (Jankowsky et al., 2011) + 1 soumis en septembre 2011 (Rodriguez et al., 2011) ⁹
18	D2.2	Cartographie détaillée de l'occupation des sols des sous-bassins du Mercier et de la Chaudanne	Cartes, nomenclature, publications, fiche technique OTHU n°24	UMR EVS	1 article soumis en septembre 2011 (Jacqueminet et al., 2011)
30	D2.3	Prise en compte des éléments urbains dans la discrétisation TIN TANATO (Bocher, 2005)	Logiciel diffusé sous licence GPL ¹⁰	IRSTV	Plugin SIG OrbisGIS
24	D2.4	Modules de parcelles urbaines intégrées à la plate-forme LIQUID [®]	Logiciel, tests associés, documentation	Hydrowide, Cemagref,IRSTV	Module URBS de l'IRSTV dans LIQUID [®] + présentation dans le mémoire de thèse de S. Jankowsky à soutenir en décembre 2011
Supprimé	D2.5	Méthodes et schémas numériques des flux de surface et subsurface s'appuyant sur une discrétisation TIN	Publication	Hydrowide	Développement abandonné car le recrutement prévu sur ce thème n'a pas pu se faire
9	D3.1	Découpage des bassins versants en unités hydrologiques homogènes Landscape classification maps (map + report)	Cartes du bassin de l'Yzeron découpé en unités hydrologiques rurales et	Cemagref,UMR EVS	Rapports de recherche + exploitation dans un article en préparation (Branger et al., 2011)

⁸ Les fiches techniques OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine) présentent des résultats de recherche « opérationnels » à des acteurs du monde de l'eau. Voir <http://www.graie.org/othu/> ou http://avupur.hydrowide.com/spip.php?page=sommaire&id_article=7

⁹ Les articles soumis en septembre 2011 sont des contributions du projet AVuPUR au numéro spécial de Journal of Hydrology « Hydrology of periurban catchment : processes and modelling » dont I. Braud (Cemagref), H. Andrieu (IRSTV) et Tim Fletcher (Université Melbourne) sont éditeurs associés.

¹⁰ <http://geosysin.iict.ch/irstv-trac/wiki/research/avupur/tanato>

Date de livraison (mois)	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
			urbaines, rapports, publications		
36	D3.2	Indices d'hétérogénéité dans les sous-bassins versants	Cartes + notice méthodologique, publications	UMR EVS	1 article soumis en septembre 2011 (Jacqueminet et al., 2011) + proceedings conférence AIC (Kermadi et al., 2011)
24	D3.3	Comparaison de différentes méthodes de traitement d'images	Rapports, publications, fiche technique OTHU n°24	UMR EVS	Proceedings de conférences + éléments dans 1 article soumis en septembre 2011 (Jacqueminet et al., 2011)
36	D3.4	Améliorations du logiciel CANOE pour les bassins périurbains	Logiciel : plateforme de modélisation appelée HYDROBOX, publications	INSAVALOR	INSAVALOR a finalement restructuré le modèle CANOE dans Hydrobox (Dorval, 2011), mise à disposition des partenaires
42	D3.5	Améliorations du modèle ISBA-Topmodel pour prendre en compte les zones urbanisées	Logiciel (Inclusion de pixels urbains et du drainage en zone urbaine), publications	IRSTV	Thèse de C. Furusho soutenue le 26/09/2011 + 1 article soumis en septembre 2011 (Furusho et al., 2011)
42	D4.1	Une méthode de désagrégation du climat et de la pluie pour les bassins périurbains	Logiciel TBM enrichi d'un module de conditionnement par les observations, publications	Cemagref	Amélioration du simulateur de pluie TBM (codes déposés à l'APP en Juillet 2010) + documentation dans Renard et al. 2011
36	D4.2	Une climatologie des pluies conditionnées aux observations existantes à échelle de 1 km ² et 1 hr sur le bassin de l'Yzeron plus l'incertitude associée	Environ 10 Giga de données: 64 réalisations de champs de pluie horaire sur un maillage kilométrique de 1985 à 2009 conditionnés par les observations, publications, rapports	Cemagref	documentation dans 2 articles en préparation (Leblois et Creutin, 2011 ; Lepioufle et al., 2011) + 1 article accepté (Renard et al., in press)
24	D4.3	Evaluation de l'intérêt des données radar pour la spécification de la pluie en zone périurbaines	Publications, rapports	UMR EVS INSAVALOR	Renard et Comby (2010), Renard et al. (2011) + thèse F. Renard (2010) + conférence Chocat et al. (2010)
36	D4.4	Cartes de l'occupation des sols passée de l'Yzeron	Cartes, rapports, publications, fiche technique OTHU n°24	UMR EVS	Cartes de l'occupation des sols de l'Yzeron par deux méthodes (analyse de photos aériennes ou images satellite) + fiche technique OTHU n°24 (Jacqueminet et al., 2011)

Date de livraison (mois)	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
36	D4.5	Cartes d'occupation des sols du BV Yzeron en 2030 selon différents scénarios	Atelier prospective territoriale, cartes, poster, publications, fiche technique OTHU n°25, 1 réunion de restitution auprès des élus	UMR EVS	Un poster diffusé largement Dodane et al, 2010 ¹¹ + une publication soumise Dodane et al, 2011 (revue Espace géographique)
42	D4.6	Synthèse des simulations hydrologiques sous forme d'indicateurs de vulnérabilité	Rapports, publications	Cemagref, IRSTV, INSAVALOR	Seuls deux modèles (CANOE, QdF) ont pu être utilisés. Mais la méthodologie et les indicateurs pertinents ont été décrits (2 articles soumis en septembre 2011 (Braud et al., 2011 ; Navratil et al., 2011))
42	D4.7	Carte du risque d'incision dans le bassin de l'Yzeron en 2030	Carte, documentation, publication	UMR EVS	En cours de finalisation
12, 24, 36	D5.1	Rapports intermédiaires		Cemagref	Fournis tous les 6 mois selon les termes du contrat
30	D5.2	Accord de consortium		Cemagref	Signature en Juillet 2010
44	D5.3	Rapport final	Rapports	Cemagref	Fourniture en Octobre 2011
41	D5.4	Conférence de restitution	Conférence avec proceedings	Cemagref, GRAIE	9 Juin 2011, Lyon. Non prévu au départ

En terme de management du projet, comme annoncé lors du dépôt du projet, des réunions de deux jours d'avancement du projet ont eu lieu tous les six mois, hébergées successivement par les différents partenaires. Chaque réunion d'avancement comprenait aussi une réunion du comité de pilotage, composé des responsables des 6 partenaires. Ces différentes réunions ont fait l'objet de compte-rendus détaillés, mis à disposition des participants sur le site web interne du projet.

- 1) Réunion de lancement les 15-16 Novembre 2007 au Cemagref de Lyon
- 2) 1^{ère} réunion d'avancement les 10-11 Juillet 2008 au Cemagref de Lyon
- 3) 2^{ème} réunion d'avancement les 11-12 Décembre 2008 à l'ISARA de Lyon
- 4) 3^{ème} réunion d'avancement les 2-3 Juillet 2009 au LCPC de Nantes
- 5) 4^{ème} réunion d'avancement les 16-17 Décembre 2009 à l'ENS-LSH Lyon
- 6) 5^{ème} réunion d'avancement les 1-2 Juillet 2010 à l'INSA de Lyon
- 7) 6^{ème} réunion d'avancement les 9-10 Décembre 2010 au Cemagref de Lyon
- 8) Pour clôturer le projet, une conférence à destination des professionnels de l'eau a été organisée conjointement avec le GRAIE le 9 Juin 2011, ce qui a permis de présenter les résultats majeurs du projet, avec éditions des actes et rédaction de 5 fiches techniques OTHU. (téléchargeables sur le site web du projet http://avupur.hydrowide.com/spip.php?page=sommaire&id_article=7)

¹¹ Dodane et al., 2010. Quelle occupation du sol dans le bassin versant de l'Yzeron en 2030 ? Premiers résultats d'un atelier alliant de prospective territoriale et simulation spatiale. Poster visant à faire connaître les travaux de recherche via ce poster affiché dans un bureau ou un couloir d'un service et que les visiteurs peuvent lire. Le public concerné était formé des participants à l'Atelier de prospective territoriale (acteurs du territoire, gestionnaires et experts thématiques). Toutefois, le poster a été diffusé plus largement dans les services des collectivités territoriales de l'ouest lyonnais.

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	4 + 3 soumis	6 + 7 soumis
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	4	
	Communications (conférence)	21	20
France	Revue à comité de lecture	1 soumis	2
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage		
	Communications (conférence)	14	25
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		1
	Conférences vulgarisation	2	
	Autres		5 fiches techniques OTHU

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	0
Brevet internationaux en cours d'obtention	0
Brevets nationaux obtenus	0
Brevet nationaux en cours d'obtention	0
Licences d'exploitation (obtention / cession)	Version 2 de TANATO distribuée sous Licence GPL3 Dépôt des codes du simulateur de pluie TBM à l'APP
Créations d'entreprises ou essaimage	0
Nouveaux projets collaboratifs	Voir liste détaillée en E.3
Colloques scientifiques	1 Conférence de restitution, Lyon 9 Juin 2011
Autres (préciser)	Voir liste détaillée en E.3

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Les articles/ouvrages/communications multi-partenaires sont précédés d'une *.

Les conférences invitées sont précédées d'un #

Articles dans des revues internationales à comité de lecture :

Articles publiés ou acceptés

- ***Branger, F., Braud, I., Debionne, S., Viallet, P., Dehotin, J.**, Hénine, H., Nédélec, Y., Anquetin, S., 2009. Towards multi-scale integrated hydrological models using the LIQUID framework. Overview of the concepts and first application examples, *Environmental Modeling & Software*, 25, 1672-1681.
- Dorval F. A., Chocat B.**, Emmanuel E., **Lipeme Kouyi G.**, 2010. Sewer system flow components identification using signal processing. *Water Science and Technology*, 62(1), 106-114.
- ***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*, 24(17), 2382-2399, DOI: 10.1002/hyp.7640.
- Preusser F., **Schmitt L., Delile D., Grospretre L.**, 2011. Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of the sedimentation history of the Yzeron basin (Chaudanne sub-catchment), Rhône Valley, France. *Quaternaire*, 22(1), 73-83
- *Radojevic B., **Breil P., Chocat B.**, 2010. Flood risk mitigation using dry reservoirs in a global change perspective. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2(2), 167-179, DOI : [10.1108/17568691011040416](https://doi.org/10.1108/17568691011040416).
- Renard, F.**, Chapon, P.-M., **Comby J.**, 2011. Assessing the accuracy of weather radar to track intense rain cells in the Greater Lyon area, France. *Atmospheric Research*, doi:10.1029/2011WR010643, in press.
- Renard, F. and J. Comby**, 2010: Overview of the Greater Lyon radar weather from 90's to 2008. *Advances in Geosciences*, 25, 79-83.
- Renard, B., Kavetski, D., **Leblois, E.**, Thyer, M., Kuczera, G., 2011. Towards a reliable decomposition of predictive uncertainty in hydrological modelling : characterizing rainfall errors using conditional simulation, *Water Resources Research*, doi:10.1029/2011WR010643, in press.
- 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.
- ***Schmitt L.**, Lafont M., Trémolières M., Vivier A., Jezequel C., **Breil P.**, Valin K., Valette L., Perrin J.-F., Namour P., 2011. Using hydro-geomorphological typologies in functional ecology: first results in contrasted hydrosystems. *Physics and Chemistry of the Earth.*, 36, 539-548, DOI: 10.1016/j.pce.2009.11.011.

Articles soumis ou en révision dont soumis au numéro special de Journal of Hydrology 'Hydrology of periurban catchments: processes and modelling'

- Braud, I. Breil, P., Thollet, F., Lagouy, M.**, 2011. Impact of urbanization on the hydrological regime of periurban rivers. What can we learn from data analysis?, *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, soumis.
- Dodane C., Joliveau T., Honegger A.**, 2011. Anticiper les évolutions de l'occupation du sol. Analyse critique d'une expérience de géoprospective dans un bassin versant périurbain (Yzeron, métropole lyonnaise). *L'Espace géographique*, soumis.
- Furusho, C., Andrieu, H., Chancibault, K.**, 2011. Analysis of the hydrological functioning of an Urbanizing River Basin, *Hydrological Processes*, in revision
- Furusho, C., Chancibault, K., Andrieu, H.**, 2011. Adjustment of the coupled hydrological model ISBA-TOPMODEL to long term hydrological cycles of peri-urban

rivers : evaluation and sensitivity study, *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, soumis.

***Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., Béal D., Branger F., Jankowsky S., Braud I.**, 2011. Land cover mapping using aerial and VHR satellite images for distributed hydrological modelling of periurban catchments: application to the Yzeron catchment (Lyon, France), *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, soumis.

***Jankowsky, S., Branger, F., Braud, I.**, Gironas, J., **Rodriguez, F.**, 2011. Integration of sewer system maps and field observations in topographically based sub-basin delineation in suburban areas, submitted to *Hydrological Processes*.

Navratil O., **Breil P., Schmitt L., Grosprêtre L.**, Albert M.B., 2011. Hydrogeomorphic adjustments of stream channels disturbed by urban runoff (Yzeron river basin, France). *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, soumis.

Rodriguez, F., Bocher E., Chancibault, K., 2011. Terrain representations of peri-urban catchments channels, *Journal of Hydrology*, special issue on periurban catchments, soumis.

***Sarrazin, B., Braud, I., Puech, C.**, 2011. A functional typology of headwater channels extracted from high resolution lidar DEM, *Hydrological Processes*, in revision

Articles en préparation

***Branger, F., Kermadi, S., Jacqueminet, C., Michel, K., Labbas, M.**, Krause, P., **Braud, I.**, 2011. Assessment of the influence of land use on the hydrology of a suburban catchment using a simplified distributed modelling approach, in preparation for submission to *Journal of Hydrology*

Leblois, E., Creutin, J.D., 2011. Space-time simulation of intermittent rainfall with prescribed advection field : adaptation of the turning band method, in preparation for submission to *Water Resources Research*.

Lepioufle, J.M., Leblois, E., Creutin, J.D., 2011. Variography of rainfall accumulation in presence of advection, in preparation for submission to *Journal of Hydrology*

Rodriguez, F., Andrieu, H., 2011. Introduction of innovative stormwater techniques within a distributed hydrological model and influence on the urban catchment behaviour, *Journal of Hydrology*, in preparation.

Ouvrages ou chapitres d'ouvrages internationaux publiés ou acceptés:

***Branger, F., Jankowsky, S., Vannier, O., Viallet, P., Debionne, S., Braud, I.**, 2011. Use of open-source GIS and data base software for the pre-processing of distributed hydrological models, Geospatial free and open source software in the 21st century, Bocher, E., Neteler, M. (Eds), *Lecture notes in Geoinformation and Cartography*, 12 pp. (parution prévue en Novembre 2011 du fait du retard de l'éditeur)

***Breil, P.**, Radojevic, B., **Chocat, B.**, 2010. Urban development and extreme flow regimes changes, Proceedings of the 6th Friend Conference "Global change: facing risks and threats to water resources", 25-29 October 2010, Fez, Morocco, IAHS Public., 340, 314-319

*Radojevic, B., **Breil, P., Chocat, B.**, 2010. Flood risk mitigation using dry reservoirs in a global change perspective. Proceedings of the 6th Friend Conference "Global change: facing risks and threats to water resources", 25-29 October 2010, Fez, Morocco, IAHS Public., 340, 119-125.

***Schmitt L., Grosprêtre L., Breil P.**, Lafont M., Vivier A., Perrin J.F., Namour P., Jezequel C., Valette L., Valin K., Cordier R., Cottet M., 2008. Préconisations de gestion physique de petits hydrosystèmes périurbains : l'exemple du bassin de l'Yzeron (France). In. VERNIERS G. et PETIT F. (eds), Actes du Colloque « La gestion physique des cours d'eau : bilan d'une décennie d'ingénierie écologique », Namur, 10-12 oct. 2007, Groupe Interuniversitaire de Recherches en Ecologie Appliquée, Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie Fluviale, Direction des Cours d'Eau Non

Conférences internationales :

- Bocher, E., Martin, J.Y.**, 2009. TANATO: an approach to evaluate the impact of natural and anthropogenic artefacts with a TIN-Based model, International Opensource Geospatial Research Symposium OGRS 2009, Nantes, France, 8-10 July 2009, Abstracts Proceedings, presentation available at <http://www.ogrs2009.org/doku.php?id=research> .
- ***Branger, F., Braud, I., Viallet, P. and Debionne, S.**, 2008. An "object-based" modelling approach to assess the influence of landscape management practices on the hydrology of a small agricultural catchment, EGU General Assembly, 13-18 April 2008, Vienna, Austria, , *Geophysical Research Abstracts*, vol. 10, EGU2008-A-09558, poster.
- ***Branger, F., Braud, I., Viallet, P. and Debionne, S.**, 2008. Modelling the influence of landscape management practices on the hydrology of a small agricultural catchment, 8th International Conference on Hydro-Sciences and Engineering (ICHE-2008), 8-12 September 2008, Nagoya, Japon, 10 pp.
- ***Branger, F., Braud, I., Debionne, S., Dehotin, J., Jankowsky, S., Viallet, P.**, 2009. Use of open-source GIS and data base software for the pre-processing of distributed hydrological models built in the LIQUID hydrological modelling framework, International Opensource Geospatial Research Symposium OGRS 2009, Nantes, France, 8-10 July 2009, Abstracts Proceedings, 97-99, presentation available at <http://www.ogrs2009.org/doku.php?id=research>.
- ***Branger, F., Debionne, S., Viallet, P., Braud, I., Jankowsky, S., Vannier, O., Anquetin, S.**, 2010. Advances in integrated hydrological modelling using the LIQUID[®] framework, Proceedings of the International congress on Environmental Modelling and Software, iEMSS 2010, 5-8 July 2010, Ontario, Ottawa, Canada, 8 pp. <http://www.iemss.org/iemss2010/index.php?n=Main.Proceedings>
- Branger, F., Renard, B., Le Coz, J., Bonnifait, L.**, 2011. Assessment of uncertainty of stage-discharge relations through hydraulic and bayesian approach. ICFM5: 5th International Conference on Flood Management, 27-29 September 2011, Tokyo, Japan.
- #**Braud, I.**, 2010. Cuantificación del impacto de la urbanización sobre los regimen hidrológicos de los ríos periurbanos: estrategia de experimentación y modelación del proyecto AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers), Universidad Autonoma de Queretaro, Mexique, Août 2010. Conférence invitée.
- ***Braud, I., Chancibault, K., Debionne, S., Lipeme Kouyi, G., Sarrazin, B., Jacqueminet, C., Andrieu, H., Béal, D., Bocher, E., Boutaghane, H., Branger, F., Breil, P., Chocat, B., Comby, J., Dehotin, J., Dramais, G., Furusho, C., Gonzalez-Sosa, E., Grospretre, L., Honegger, A., Joliveau, T., Kermadi, S., Lagouy, M., Leblois, E., Leduc, T., Mazagol, P.O., Michel, K., Molines, N., Puech, C., Renard, F., Rodriguez, F., Schmitt, L., Thollet, F., Viallet, P.**, 2009. The AVUPUR project (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers), EGU General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, Vol 11, EGU2009-3353-1, oral.
- ***Braud I., Chancibault K., Debionne S., Lipeme Kouyi G., Sarrazin B, Jacqueminet C., Andrieu H., Béal D., Bocher E., Boutaghane H., Branger F., Breil P., Chocat B., Comby J., Dehotin J., Dramais G., Furusho C., Gagnage M., Gonzalez-Sosa E., Grosprêtre L., Honegger A., Jankowsky S., Joliveau T., Kermadi S., Lagouy M., Leblois E., Martin J.Y., Mazagol P.O., Michel K., Molines N., Mosini M.L., Puech C., Renard F., Rodriguez F., Schmitt L., Thollet F., Viallet P.**, 2009. The AVuPUR project (Assessing the Vulnerability of Peri-Urbans Rivers) : experimental set up, modelling strategy and first results, Proceedings of the 7th Novatech 2010 Conference, June 28-July 1 2010, Lyon, France, 10pp.
- Braud, I., Gonzalez-Sosa, E., Leblois, E., Mastachi-Loza, C., Aubert, M., Jankowsky, S., Baghdadi, N.**, 2009. Caractérisation de la variabilité spatiale de l'humidité de surface des sols nus sur un petit bassin péri-urbain, 34^{ème} Journées Scientifiques du

- GFHN : Teneur en eau et transferts en milieux poreux: mesures et statistiques à l'échelle stationnelle, 25-26 Novembre 2009, Aix-en Provence, France. Oral
- ***Breil, P.**, Radojevic, B., **Chocat, B.**, 2010. Urban development and extreme flow regimes changes, 6th Friend Conference, 25-29 October 2010, Fez, Morocco. Oral.
- ***Breil, P., Braud, I., Branger, F., Schmitt, L., Grosprêtre, L.**, Namour, P., **Joliveau, T.**, Fletcher, T., Guérin, S., 2011. Empreinte pluviale de la péri-urbanisation dans l'ouest lyonnais, Urban rain water management. Prospects for 2030. International Workshop, 21-23/09/2011, Paris, France.
- Chancibault K. , F. Rodriguez, M-L. Mosini, C. Furusho, E. Bocher, M. Palaccio, S. Palma-Lopes, L. Letellier, R. Benot, and H. Andrieu**, 2009. An experimental peri-urban basin in North-western France, EGU General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, Vol 11, EGU2009-7219, poster.
- Comby, J., Renard, F.**, 2009. Overview of the evolution of the hydrologic measure quality of the Lyon weather radar (France) from the 90's to 2008, 8th International Workshop on precipitation in urban areas, St.-Moritz, Suisse. 10-13 Décembre 2009.
- Dorval, F. A., Chocat, B.**, Emmanuel E., **Lipeme Kouyi, G.**, 2009. Signal processing to identify flow components in sewer system. Actes Colloque International : Urban Drainage Modelling (UDM) 7-11 septembre 2009, Tokyo, Japon.
- Dorval, F. A., Chocat B., Lipeme Kouyi G.**, Emmanuel, E., 2011 : Use of multi-outlet approach to simulate flow components on urban catchment. 16th International Conference on Urban Drainage, 11-16 September 2011, Porto Alegre, Brésil.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu**, 2009 : Database analysis and multi-system coupling for peri-urban river basin modeling, Urban Drainage Modeling, 7-11 Sept . 2009, Tokyo, Japan, poster.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu** 2010a : Analysis of the hydrological functioning of an Urbanizing River, Young Environmental Scientists, 31 mai- 4 Juin 2010, Paris, France. Oral.
- Furusho, C., Chancibault, K., Andrieu, H.**, 2010b. Hydrological modelling of peri-urban river basins, EGU General Assembly, 2-7 May 2010, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 12, EGU2010-319, oral.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu**, 2010c: Runoff generation on a urbanizing river basin, Proceedings of the 7th Novatech 2010 Conference, June 28-July 1 2010, Lyon, France, 10pp.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu**, 2011: Hydrological modelling of suburban catchments: adapting the system ISBA-Topmodel to simulate continuous long term hydrological cycle of mixed basins. International Conference on Urban Drainage, 12-16 septembre, 2011, Porto Alegre, Brésil, oral.
- Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., Dehotin, J., Branger, F., Lagouy, M.**, 2009. Characterization and cartography of topsoil hydraulic properties in a French mountainous peri-urban catchment, EGU General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, Vol 11, EGU2009-2220-2, poster.
- ***Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, C., Jankowfsky, S., Braud, I., Branger, F., Béal, D., Gagnage, M.**, 2009. Three very high resolution optical images for land use mapping of a suburban catchment: input to distributed hydrological. EGU General Assembly, 2-7 May 2010, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 12, EGU2010-6926, poster.
- ***Jankowfsky, S., Branger, F., Braud, I., Debionne, S., Viallet, P., Rodriguez, F.**, 2010. Development of a suburban catchment model within the LIQUID[®] framework, Proceedings of the International congress on Environmental Modelling and Software, iEMSS 2010, 5-8 July 2010, Ontario, Ottawa, Canada, 9 pp. <http://www.iemss.org/iemss2010/index.php?n=Main.Proceedings>
- ***Jankowfsky, S., Branger, F., Braud, I., Rodriguez, F.**, 2010. Integration of sewer system maps in topographically based sub-basin delineation in suburban areas. EGU General Assembly, 2-7 May 2010, Vienna, Austria, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 12, EGU2010-4553, poster.
- ***Jankowfsky, S., Branger, F., Braud, I., Rodriguez, F., Debionne, S., Viallet, P.**, 2010. Influence of urban expansion on the hydrology of small catchments:

- development of the suburban PUMMA model by coupling of urban and rural hydrological models, 12th International Conference on Urban Drainage, 11-15 September 2011, Porto Alegre, Brasil, 8 pp.
- Kermadi S., Renard F., Jacqueminet C., Michel K.**, 2010. Inondations et occupation du sol dans un bassin-versant périurbain : l'Yzeron (Ouest lyonnais), XXIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, 1-4 septembre 2010. Poster.
- Kermadi S., Renard F., Jacqueminet C., Michel K.**, 2010. Inondations et occupation du sol dans un bassin-versant périurbain : l'Yzeron (Ouest lyonnais), Actes du XIIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, 1-4 septembre 2010, 313-318, ISBN 978-2-907696-16-6. Voir aussi <http://www.climato.be/aic/colloques.html>
- ***Kermadi, S., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F.**, 2011. Evolution de la pluviométrie dans le bassin péri-urbain de l'Yzeron (Ouest Lyonnais) depuis les années 1970 et caractérisation de l'imperméabilisation, XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 6-11 Septembre 2011, Rovereto (Italie), Poster.
- ***Kermadi, S., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F.**, 2011. Evolution de la pluviométrie dans le bassin péri-urbain de l'Yzeron (Ouest Lyonnais) depuis les années 1970 et caractérisation de l'imperméabilisation, Actes du XXIVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 6-11 Septembre 2011, Rovereto (Italie), 6pp.
- ***Lassabatère, L.**, Yilmaz, D., Angulo-Jaramillo, R., Soria Ugalde, J., **Braud, I.**, Simunek, J., 2009. Numerical evaluation of inverse modelling methods for 1D and 3D water infiltration experiments, 19th World Congress of Soil Science, Soil solutions for a changing world, 1-6 August 2010, Brisbane, Australia, 4 pp. available at <http://www.19wcso.org.au/congress-program.php> and presentation of a poster
- Leduc T, Bocher E, Gonzalez Cortes F**, 2008. Efficient Constrained Delaunay Triangulation implementation in Java for spatial hydrology analysis, academic paper, FOSS4G 2008, CAPE TOWN.
- Leduc T, Bocher, E. Gonzalez-Cortes, F.**, Moreau, G., 2009, "GDMS-R: A mixed SQL to manage raster and vector data," in *Proc. GIS 2009*, Ostrava, République Tchèque, 2.
- *Radojevic. B, **Breil P., Chocat B.**, 2008. Can we detect the impact of climate change on flood regimes? The First International Conference on Water Resources and Climate Change in the MENA Region Muscat The Sultanate of Oman. 2 - 4 November 2008, 12pp.
- *Radojevic. B, **Breil P., Chocat B.**, 2008. Flood regimes of mid-sized and mixed land-use catchments: can we assess the urban contribution? 4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability. Toronto, Ontario, Canada, May 6-8, 2008, 18pp.
- *Radojevic B., **Breil P., Chocat B.**, 2009. Flood risk mitigation using dry reservoirs in a global change perspective. Paper from 8th IAHS Scientific Assembly & 37th IAH Congress 6-11 September 2009 Hyderabad, Andhra Pradesh, India. 11pp.
- *Radojevic, B., **Breil, P., Chocat, B.**, 2010. Flood risk mitigation using dry reservoirs in a global change perspective. 6th Friend Conference, 25-29 October 2010, Fez, Morocco, oral.
- Renard, F.**, D. Faure, and **J. Comby**, 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, poster.
- Renard, B., **Leblois, E.**, Kuczera, G., Kavetski, D., Thyer, M., 2009. Characterizing errors in areal rainfall estimates: application to uncertainty quantification and decomposition in hydrologic modelling, 32nd Hydrology and Water Resources Symposium, Newcastle, AUS, 30/11/2009
- ***Sarrazin, B., Braud, I., Lagouy, M.**, Bailly, J.S., **Puech, C.**, Ayroles, H., 2009. A distributed water level network in ephemeral river reaches to identify the hydrological responses of anthropogenic catchments, EGU General Assembly, 19-24 April 2009, Vienna, Austria, Geophysical Research Abstracts, Vol 11, EGU2009-6103, poster.

***Sarrazin, B., Braud, I., Lagouy, M., Puech, C.,** 2010. Distributed water level sensors for hydrological network monitoring. EGU Leonardo Topical Conference Series of the hydrological cycle 2010, Looking at catchment in colours, Luxembourg, 10-12 November 2010, Oral presentation.

Articles dans des revues françaises à comité de lecture :

Articles ou chapitres d'ouvrages parus ou acceptés:

Braud, I., Gonzalez-Sosa, E., Leblois, E., Mastachi-Loza, C., Aubert, M., **Jankowfsky, S.,** Baghdadi, N., 2009. Variabilité spatiale de la teneur en eau de surface des sols nus par mesure in situ et imagerie radar, 34^{ème} Journées Scientifiques du GFHN : Teneur en eau et transferts en milieux poreux: mesures et statistiques à l'échelle stationnelle, 25-26 Novembre 2009, Aix-en Provence, France, Bulletin du GFHN, 6 pp.

Renard, F. et Comby, 2007. Caractérisation de l'aléa pluviométrique en milieu urbain à partir d'interpolations spatiales : le cas du Grand Lyon, *Climatologie*, 4, 131-144

Articles soumis ou en révision

***Kermadi, S., Renard, F., Braud, I., Jacqueminet, C., Michel, K., Branger, F.,** 2010. Occupation du sol et pluviométrie dans un bassin versant péri-urbain soumis aux inondations : Yzeron (Ouest Lyonnais), 14 pp, *Climatologie*, in revision.

Conférences et séminaires nationaux :

***Béal, D., Gagnage, M., Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, C., Jankowfsky, S., Branger, F., Braud, I.,** 2009. Cartographie de l'occupation du sol pour la modélisation hydrologique spatialisée du cycle de l'eau en zone péri-urbaine, Proceedings 2^{ème} atelier SIDE2009 Systèmes d'Informations et de Décision pour l'Environnement, Biramonte S., Miralles, A., Pinet, F. (Eds), Toulouse, France, May 26 2009, 23-32. Proceedings available at <http://eric.univ-lyon2.fr/~sbimonte/side2009.html>

Béal D., Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K. 2008. Approche multi-résolution et multi-temporelle des propriétés de perméabilité des surfaces d'un bassin-versant péri-urbain : l'Yzeron (ouest lyonnais). Séminaire « Télé-détection » de la plate-forme ISIG du 12 décembre 2008, Université Jean Monnet, Saint-Etienne.

Bertrand-Krajewsky, J.L. et **Braud, I.,** 2008. Apports des bassins versants. Présentation de la synthèse des travaux réalisés dans l'OTHU sur ce thème sur la période 2006-2008 au Conseil scientifique OTHU, 5 déc. 2008.

Boutaghane, H., Chocat, B., Lipeme Kouyi, G., Ouerdachi, L., 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^{èmes} Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, 14-15 Octobre 2008, Nancy, France, 5-12.

#Braud, I., 2008. Présentation du projet AVuPUR. Séminaire de restitution du projet ANR Hy2ville, 28/11/2008, INSA Lyon, Présentation orale. Conférence invitée.

Braud, I., 2008. Quantification de l'impact de l'urbanisation et des éléments anthropiques sur les flux 'eau et le régime hydrologique des bassins versants péri-urbains. Modélisation hydrologique des bassins versants périurbains: méthodologie du projet AVuPUR, 3^{ème} Séminaire Scientifique de l'OTHU, 04/12/2008, INSA Lyon. Communication orale. Disponible <http://www.graie.org/othu/> rubrique Actualités

#Braud, I., 2010. Modélisation multi-échelle du cycle de l'eau. Séminaire « Modélisation et environnement » du Cluster Environnement, 7 Octobre 2010, Lyon, France. Conférence invitée.

#Braud, I., 2010. Le projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers), Séminaire « Eaux, Transferts, Territoires », 14-15 Octobre 2010, Paris. Oral. Conférence invitée.

***Braud, I., Branger, F., Debionne, S., Viallet, P., Dehotin, J.,** Hénine, H., Nédélec, Y., Anquetin, S., 2010. Vers une modélisation hydrologique intégrée s'appuyant sur la plate-forme LIQUID. Concepts et premiers exemples d'applications. Séminaire

- « Modélisation des hydrosystèmes », 22-23 Avril 2010, MINES ParisTECH, Paris. Conférence invitée.
- ***Braud, I., Chancibault, K., Debionne, S., Lipeme Kouyi, G., Sarrazin, B., Jacqueminet, C., Andrieu, H., Béal, D., Bocher, E., Boutaghane, H., Branger, F., Breil, P., Chocat, B., Comby, J., Dehotin, J., Dramais, G., Furusho, C., Gonzalez-Sosa, E., Grospretre, L., Honegger, A., Joliveau, T., Kermadi, S., Lagouy, M., Leblois, E., Leduc, T., Michell, K., Puech, C., Renard, F., Rodriguez, F., Schmitt, L., Thollet, F., Viallet, P., 2008.** AVUPUR: Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers, Séminaire d'avancement du programme "Vulnérabilité : Milieux et Climat » Edition 2006. Poster
- ***Braud I., Chancibault K., Debionne S., Lipeme Kouyi G., Sarrazin B, Jacqueminet C., Andrieu H., Béal D., Bocher E., Boutaghane H., Branger F., Breil P., Chocat B., Comby J., Dehotin J., Dramais G., Furusho C., Gagnage M., Gonzalez-Sosa E., Grosprêtre L., Honegger A., Jankowfsky S., Joliveau T., Kermadi S., Lagouy M., Leblois E., Martin J.Y., Mazagol P.O., Michell K., Molines N., Mosini M.L., Puech C., Renard F., Rodriguez F., Schmitt L., Thollet F., Viallet P., 2009.** Le projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urbans Rivers). Séminaire d'avancement du programme "Vulnérabilité, Milieux, Climat, Sociétés », Orléans, 2-3 Décembre 2009. Oral.
- ***Braud, I., Kermadi, S., Jacqueminet, C., Michel, K., Béal, D., Gagnage, M., 2011.** Evolution du régime hydrologique d'un bassin versant péri-urbain: l'Yzeron (ouest lyonnais). Complémentarité de l'analyse spatio-temporelle des données, de la modélisation et de la cartographie de l'occupation des sols. Journées de Climatologie de la commission « Climat et société » du CNFGG, Thème Climat et Eau, 17-18/03/2011, Lyon, France. Présentation orale.
- #***Breil, P., Poulard, C., Braud, I., Lafont, M., Chocat, B., Radojevic, B., 2009.** Quel rôle possible du développement périurbain face aux inondations urbaines, Colloque 2009 CNFSH, Inondations urbaines : quelles synergies pour les recherches hydrologiques?, 11-12 Juin 2009, Marne La Vallée, France, disponible à www.hydrologie.org, Conférence invitée
- ***Breil P. et Schmitt L., 2008.** Impact sur les rivières. Présentation de la synthèse des travaux réalisés dans l'OTHU sur ce thème sur la période 2006-2008 au Conseil scientifique OTHU, 5 déc. 2008.
- ***Chancibault K., Braud I., Debionne S., Lipeme Kouyi G., Sarrazin B, Jacqueminet C., Andrieu H., Béal D., Bocher E., Boutaghane H., Branger F., Breil P., Chocat B., Comby J., Dehotin J., Dodane, C., Furusho C., Gagnage M., Grosprêtre L., Honegger A., Jankowfsky S., Joliveau T., Kermadi S., Lagouy M., Leblois E., Martin J.Y., Mazagol P.O., Michel K., Molines N., Mosini M.L., Puech C., Renard F., Rodriguez F., Schmitt L., Viallet P., 2008** :Le projet AVuPUR, Assessing the Vulnerability of PeriUrban Rivers, Plenières eau et environnement du LCPC, Lille, 28 mai 2008.
- ***Chancibault K., Braud I., Debionne S., Lipeme Kouyi G., Sarrazin B, Jacqueminet C., Andrieu H., Béal D., Bocher E., Boutaghane H., Branger F., Breil P., Chocat B., Comby J., Dehotin J., Dodane, C., Furusho C., Gagnage M., Grosprêtre L., Honegger A., Jankowfsky S., Joliveau T., Kermadi S., Lagouy M., Leblois E., Martin J.Y., Mazagol P.O., Michel K., Molines N., Mosini M.L., Puech C., Renard F., Rodriguez F., Schmitt L., Viallet P., 2010.** Le projet AVuPUR: analyse et modélisation de la vulnérabilité hydrologique des bassins péri-urbains, Actes du Colloque "Collaborations entre collectivités et laboratoires de recherche", Nantes, 22-23 Novembre 2010, 10pp.
- Chocat B., Lipeme Kouyi G., Boutaghane H., 2009.** Influence du fonctionnement hydraulique du système de drainage dans la réponse hydrologique des bassins versants urbains. Colloque 2009 CNFSH, Inondations urbaines : quelles synergies pour les recherches hydrologiques?, Marne La Vallée, France.
- ***Chocat, B., Dorval F. A., Renard, F., 2010** - Calibration des données radar à partir de mesures au sol en hydrologie urbaine : approche statistique. Actes du forum des

- utilisateurs de radars météorologiques, Météo-France, centre international de conférence, Toulouse, pp. 7-9
- *Comby, J., Chocat, B., Renard, F., 2009.** Caractériser la pluie et sa dynamique sur une agglomération, 4^{ème} Journée Technique OTHU « Rejets urbains : 10 ans d'observation et de recherche au service de l'action », 20 Octobre 2009, Lyon, France.
- *Cournoyer B., Schmitt L., Breil P., Perrodin Y., Angerville R., 2009.** Projet STIMM. Etude d'un dispositif de stimulation du métabolisme microbien en cours d'eau. Colloque PIR Ingénierie Ecologique, 31/03 – 01/04/2009, Paris.
- Delile H., Schmitt L., Jacob N., Grosprêtre L., 2011.** Dynamiques des paysages et flux hydro-sédimentaires ; le cas du bassin versant de l'Yzeron. Rencontre inter ZA autour du paysage, Seconde journée d'étude ZABR-ZAL, 3 nov. 2011, ENS Lyon.
- Dorval F. A., Chocat B., Emmanuel E., Lipeme Kouyi G., 2008.** Contribution des techniques de traitement de données à l'identification de l'origine des flux de temps sec dans les réseaux séparatifs pluviaux: Etude de cas du bassin versant Django Rheinhart (Chassieu-France). Congrès National : Journée Doctorale en Hydrologie Urbaine (JDHU) 14-15 octobre 2008, Nancy, France.
- Dorval F. A., Chocat B., Emmanuel E., Lipeme Kouyi G., 2010.** Une nouvelle approche de représentation des processus hydrologiques sur des bassins versants : le modèle multi-exutoire, 4^{ème} journées doctorales en Hydrologie Urbaine, Champ sur Marne, France, 16-17 Novembre 2010.
- Furusho, C., Chancibault, K., Andrieu, H., 2008.** Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine, Plenières eau et environnement du LCPC, Lille, 28 mai 2008.
- Furusho, C., Chancibault, K., Andrieu, H., 2008.** Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine, Actes des JDHU2008, 3^{èmes} Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, 14-15 Octobre 2008, Nancy, France, 13-20.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu 2009a:** Modélisation Hydrologique de Bassins Versants Péri-urbains, Plenières eau et environnement du LCPC, Bordeaux, 25-27 Novembre 2009.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu 2009b:** Modélisation Hydrologique des Bassins Versants Péri-urbains, Séminaire Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville, Nantes, 9 Février 2009.
- Furusho, C., K. Chancibault, H. Andrieu 2010a:** Etude du fonctionnement d'un bassin versant périurbain : la Chézine. Journées Franco-Brésiliennes en Hydrologie Urbaine, Paris, mars 2010.
- Grosprêtre, L. et Schmitt, L., 2008.** Application au bassin versant de l'Yzeron : état des lieux et propositions de gestion. 3^{ème} Séminaire Scientifique de l'OTHU, 04/12/2008, INSA Lyon. Communication orale. Disponible <http://www.graie.org/othu/> rubrique Actualités
- Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., Béal D., Gagnage M., 2011.** Extraction d'informations sur l'occupation du sol à l'aide d'images aériennes et spatiales pour la modélisation hydrologique d'un bassin-versant péri-urbain (Lyon). 5^{èmes} journées sur l'Information
- *Kermadi S., Renard F., Jacqueminet C., Michel K., Braud, I., Branger, F., 2010.** Inondations et occupation du sol dans un bassin-versant périurbain : l'Yzeron (Ouest lyonnais), Journées de Climatologie, Poitiers, 11-12 Mars 2010, Oral.
- Leblois, E., 2011.** Analyse de la variabilité pluviométrique ordinaire, selon un schéma permettant une simulation spatio-temporelle à finalité hydrologique. Exemple de la pluviométrie de la région lyonnaise. Journées de Climatologie de la commission « Climat et société » du CNFGG, Thème Climat et Eau, 17-18/03/2011, Lyon, France. Présentation orale.
- Renard, F., 2009.** La prise en compte des effets liés au relief dans la mesure du radar météorologique local de l'agglomération lyonnaise, Journées de Climatologie – Besançon, 12-13 mars 2009 - Climat et société : Climat et relief. 17pp. Disponible à <http://thema.univ-fcomte.fr/Journees-de-climatologie-Besancon>

- Schmitt, L. et Grosprêtre, L., 2008.** La modélisation des types hydro-géomorphologiques en rivière : données de base et principe. Séminaire OTHU " Modélisation ", ENTPE Vaulx-en-Velin, 24.01.08.
- Schmitt, L. et Grosprêtre, L., 2008.** Urbanization-induced incision and downstream aggradation, proposed levee setback and renaturalization. River Restoration: Fluvial-Geomorphic and Ecological Processes, 5-day shortcourse held in Beaumont du Ventoux, Provence, France 23-27 June 2008 (1/2 journée d'intervention).
- Schmitt L.,** Moulin B., 2009. Hydrosystèmes périurbains et géomorphologie fluviale : l'exemple du bassin versant de l'Yzeron. Séminaire de lancement du projet ANR INVASION, 08 janv. 2009.
- Schmitt L., Delile H.,** Preusser F., Jacob N., **Privolt G., Grosprêtre L.,** Argant C., Jacqueminet C., Michel K., Kermadi S., 2009. Méthodologie d'étude de la chronologie du colluvionnement des fonds de vallée élémentaires de l'Ouest lyonnais (bassin de l'Yzeron). Colloque AFEQ (Association Française pour l'Etude du Quaternaire) « Les formations superficielles en domaine continental : apport des nouvelles méthodes de datation. Le point sur les méthodes de datation. Applications aux stratigraphies locales et régionales », 4 Juin 2009, Montpellier.
- *Schmitt, L., Grosprêtre, L., Breil, P.,** Lafont, M., **Braud, I.,** 2009. Schéma méthodologique pour la gestion des petits cours d'eau péri-urbains, 4^{ème} Journée Technique OTHU « Rejets urbains : 10 ans d'observation et de recherche au service de l'action », 20 Octobre 2009, Lyon, France.
- Schmitt L., Grosprêtre L.,** Lafont M., Jezequel C., 2010. Urbanization-induced incision and downstream aggradation, proposed levee setback and renaturalization. Forecaster Project: End-user meeting. Stream physical restoration: Syntheses and methods for basin management. Lyon, 2010 June 2 - 4, Institut des Sciences de l'Homme, Excursion de terrain de 2h

Actions de diffusion

Articles de vulgarisation :

Contribution à un article « Quand les satellites décryptent le cycle de l'eau » du magazine Environnement et Technique, 01/09/2011, 32-34

Conférences de vulgarisation :

1^{ère} conférence OTHU : Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines. Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques, 9 Juin 2011, INSA de Lyon. Conférence à destination des acteurs techniques de la gestion de l'eau. 8 présentations de synthèse et publications des actes (disponibles sur http://avupur.hydrowide.com/spip.php?page=sommaire&id_article=7).

I. Braud : Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des rivières péri-urbaines ?

E. Leblois : Pourquoi caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations pour l'étude des rivières péri-urbaines ?

C. Jacqueminet : Comment cartographier l'occupation du sol et son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques ?

C. Dodane : Quel est l'apport d'un atelier de prospective territoriale pour anticiper les changements d'occupation du sol ?

L. Schmitt : Quelles sont les caractéristiques hydro-géomorphologiques associées aux rivières péri-urbaines et comment quantifier le risque d'incision ?

F. Branger : Pourquoi et comment décrire l'espace et les chemins de l'eau dans les milieux péri-urbains ?

K. Chancibault : Comment peut-on représenter le milieu péri-urbain dans les modèles hydrologiques ?

P. Breil, G. Lipeme Kouyi : Quel impact de l'urbanisation simulé par les modèles hydrologiques ? Illustration avec CANOE

Conférence : « Quelle occupation du sol en 2030 dans les communes du bassin versant de l'Yzeron ? » Présentation de résultats de recherche. Débats chercheurs-acteurs. Mardi 28 Juin 2011, Grézieu la Varenne.

Cette réunion avait pour objectif de faire connaître aux élus, aux collectivités territoriales et à leur partenaires institutionnels les méthodes et outils d'analyse développés dans le cadre de l'Atelier de Prospective Territoriale et leur utilisation possible comme outil d'aide à la réflexion territoriale.

Autres :

Poster à destination des acteurs opérationnels

Dodane C., Joliveau T., Honegger A. Molines N., 2010. Quelle occupation du sol dans le bassin versant de l'Yzeron en 2030 ? Premiers résultats d'un atelier alliant prospective territoriale et simulation spatiale. Lyon : Université de Lyon, CNRS – UMR 5600 Environnement Ville Société. Poster.

Edition de 5 nouvelles fiches techniques OTHU. Ces fiches sont des documents de synthèse destinés aux gestionnaires de système d'assainissement et aux gestionnaires de milieux naturels. Les fiches publiées sont les suivantes et sont disponibles sur http://avupur.hydrowide.com/spip.php?page=sommaire&id_article=7 .

Fiche technique n°22 : Délimitation d'un bassin versant périurbain et identification de son réseau de drainage (Braud, I., Jankowsky, S., Branger, F., 2011)

Fiche technique n°23 : Méthodologies d'analyse de tendances sur de longues séries hydrométéorologiques (Braud, I., 2011)

Fiche technique n°24 : Méthodes de cartographie de l'occupation du sol et de son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques de bassins versants périurbains» (Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, K., Chocat, B., 2011)

Fiche technique n°25 : Méthodes de prospective territoriale pour simuler les évolutions de l'occupation future du sol appliquées à un bassin versant périurbains (Joliveau, T., Dodane, C., Honegger, A., 2011)

Fiche technique n°26 : Estimation des incertitudes sur les courbes de tarage (Branger, F., Le Coz, J., Renard, B., en cours de finalisation)

Rapport d'étude à destinations d'opérationnels

Grosprêtre L., Schmitt L., 2010. Etude hydro-géomorphologique de l'Yzeron et définition d'indicateurs de suivi Partie 1 : Diagnostic hydro-géomorphologique des affluents et sous-affluents de l'Yzeron et des branches principales du réseau hydrographique et mesures de réhabilitation CNRS/UMR 5600. Réalisé pour le compte du Grand Lyon et du S.A.G.Y.R.C., 107 p. + annexes

Production de cartes

Jacqueminet, C., Michel, K., Kermadi, S., 2010a. Carte des usages du sol dans le bassin versant de l'Yzeron en 1990. Université de Lyon, UMR 5600 EVS. Cartographie réalisée par digitalisation manuelle d'une mosaïque de photographies aériennes ©IGN en noir et blanc de 1990.

Jacqueminet, C., Michel, K., Kermadi, S., 2010b. Carte des usages du sol dans le bassin versant de l'Yzeron en 2008. Université de Lyon, UMR 5600 EVS. Cartographie réalisée par digitalisation manuelle de la BD ORTHO@IGN de 2008.

Joliveau, T., Dodane C., Honegger, A., Jacqueminet, C., Michel, K., Kermadi, S., 2010. Cartes de simulation des usages du sol dans le bassin versant de l'Yzeron en 2030. Université de Lyon, UMR 5600 EVS.

Thèses et HDR :

Dorval, Farah, 2011. Mise au point de techniques de traitement de données en continu pour l'identification des composantes de débit à l'exutoire des bassins versants

- urbains : Etude de cas des bassins versants Django Reinhardt et Ecully. Thèse de l'Université de Lyon (INSA). (contribution partielle au projet).
- Furusho, Carina**, 2011. Modélisation hydrologique des bassins périurbains, Ecole Doctorale Sciences pour l'Ingénieur, Géosciences, Architecture (SPIGA), Ecole Centrale de Nantes, 26 Septembre 2011, 266 pp.
- Jankowfsky, Sonja**, 2011. Modélisation hydrologique spatialisée de petits bassins versants péri-urbains. Application aux sous-bassins de la Chaudanne et du Mercier (Yzeron), Ecole Doctorale Terre Univers Environnement, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France. Soutenance prévue le 15 Décembre 2011
- Grosprêtre Loïc**, 2011. Dynamique hydro-morphologique, modélisation et gestion de petits systèmes fluviaux périurbains. Recherche méthodologique appliquée au bassin de l'Yzeron, Thèse de l'Université de Lyon, soutenance prévue le 12 Décembre 2011.
- Lepioufle, Jean-Marie**, 2009. Modélisation spatio-temporelle d'un champ de pluie. Application aux pluies journalières du bassin versant de la Loire, Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble, France, 162 pp. (Financement extérieur à AVuPUR mais contribution partielle au projet).
- Renard, Florent**, 2010 ; Le risque pluvial en milieu urbain. De la caractérisation de l'aléa à l'évaluation de la vulnérabilité : le cas du Grand Lyon. Thèse de l'Université Jean Moulin, Lyon 3, soutenue le 13/12/2010 (thèse financée par le Grand Lyon, avec une contribution partielle au projet AVuPUR)
- Sarrazin, Benoit**, 2012. Approches spatiales pour décrire le réseau de drainage et suivre sa dynamique de fonctionnement en milieu rural dans une perspective d'aide à la modélisation hydrologique, Ecole doctorale Terre, Univers, Environnement. l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Soutenance prévue en Janvier 2012.
- Schmitt, Laurent**, 2010. Dynamique fluviale et gestion environnementale durable des hydrosystèmes. Application à une grande plaine alluviale (Rhin-III, Alsace) et à un hydrosystème périurbain (Yzeron, Ouest lyonnais). Habilitation à Diriger des Recherches, Université Lyon 2, UMR 5600 CNRS, 3 volumes (contribution partielle au projet AVuPUR).

Mémoires d'étudiants et rapports internes

31 mémoires d'étudiants niveaux, M1, M2, ingénieurs (voir détails en annexe 1)
23 rapports internes ou rapports de projets (voir détails en annexe 1)

E.3 LISTE DES ÉLÉMENTS DE VALORISATION

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.

- i) Logiciel TANATO, plugin du SIG OrbisGIS sous licence GPL3 (IRSTV)
- ii) Dépôt des codes du simulateur de pluie TBM à l'APP (Cemagref)
- iii) Scripts de pré-traitements pour la modélisation hydrologique en Grass, Python, R, disponibles sous licence open-source (Cemagref)
- iv) Une série de cartes d'occupation des sols sur le bassin de l'Yzeron (UMR EVS)

- logiciels et tout autre prototype

- i) Logiciel TANATO (IRSTV) (cf ci-dessus)
- ii) Simulateur de pluie TBM : développement du module conditionnement par des observations dans le cadre d'AVuPUR et rédaction de la documentation (Cemagref)
- iii) logiciel HYDROBOX (INSAVALOR)
- iv) Développement de nouveaux modules dans la plate-forme LIQUID® : parcelle urbaine (URBS), déversoir d'orage (TDSO), ruissellement de surface (OLAF),

bassins de rétention et lacs (SITBA) et du modèle de bassin périurbain (PUMMA) (Hydrowide, Cemagref,IRSTV)

v) Scripts de pré-traitements pour la modélisation hydrologique et la détermination de maillages hydrologiques (Grass, Python, R) disponibles pour la communauté (Cemagref)

vi) Logiciel Baratin de quantification des incertitudes sur les courbes de tarage (Cemagref)

- actions de normalisation

Néant

- les conséquences du projet (lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...)

i) Valorisation des données collectées par le projet AVuPUR dans une étude financée par la région Rhône-Alpes sur la cartographie du risque de ruissellement intense (projet IRIP, Cemagref)

ii) Obtention d'une FCPR (Formation Complémentaire par la Recherche) pour une étudiante de l'ENGREF qui débutera en Octobre 2011 et qui continuera l'exploitation des résultats d'AVuPUR

iii) Dépôt d'un projet EC2CO INSU par trois des partenaires du projet en septembre 2011 « Appréhender les évolutions futures des bassins versants périurbains: observation et modélisation hydrologique multi-échelle ». Coordination Katia Chancibault, IFSTTAR

- le développement d'un nouveau partenariat,

i) Inclusion des thématiques et sites étudiées dans AVuPUR dans le nouveau programme finalisé de l'OTHU, reconnu comme Fédération de Recherche par l'AERES en 2010

ii) Inclusion des thématiques et sites étudiées dans AVuPUR dans le SOERE URBIS regroupant les trois observatoires urbains et périurbains Français (OTHU, OPUR, ONEVU)

- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté

i) Plate-forme Hydrobox accessible pour la recherche

ii) Amélioration de la plate-forme LIQUID® accessible moyennant convention

- autres (ouverture internationale,..)

i) Sollicitation pour participer à un projet de simulateur de climat par des équipes norvégiennes (reconnaissance de l'intérêt du simulateur de pluie TBM) (Cemagref)

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

Voir détails en section D

F ANNEXE 1 : LISTE DES MÉMOIRES D'ÉTUDIANTS ET DES RAPPORTS INTERNES

Mémoires de stage d'étudiants :

- Bamba Y., 2010. Caractérisation et suivi des formes du bâti pavillonnaire par télédétection : étude appliquée au bassin versant de l'Yzeron (Ouest Lyon). Mémoire de Master 1 « Territoires, Patrimoine, Environnement », Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 65 p.
- Barra, Adrien, 2009. Détermination des conditions critiques de mise en mouvement des particules constituant le lit de deux ruisseaux de tête de bassin. (Chaudanne et Presles : Ouest Lyonnais). Mémoire de Master I de Géographie, Université Lumière Lyon 2, 128 pp.
- Baux, Yannick, 2009 : Modélisation couplée entre un schéma de surface ISBA et un modèle hydrologique (TOPMODEL), sur le bassin versant péri-urbain de la Chézine. Rapport de Licence professionnelle « Protection de l'Environnement : Gestion des Eaux Urbaines et Rurales », ENGEES, Strasbourg, France, 48 pp.
- Bérard, Nicolas, 2009. Rôle et avenir de l'agriculture en territoire péri-urbain, l'exemple de la vallée de l'Yzeron , Mémoire de Licence, Université Lyon 3, Ingénierie de l'Espace Rural, sous la direction d'Anne Honegger, sept. 2009, 43 p. + annexes.
- Boncompain Jérôme, 2009. Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Yzeron (région lyonnaise) d'après des images aériennes et spatiales de 1945, 1990 et 2008. Mémoire de Master 1 « Territoires, Patrimoine, Environnement » Université Jean Monnet, Saint-Etienne.
- Brossard, Florent, 2011. Automatisation du prétraitement des données spatiales pour la modélisation hydrologique en zone périurbaine, Mémoire de stage 2^{ème} année, EPMI, Cergy, 46pp.
- Chapuis, Gautier, 2010. Analyses de données hydrologiques pluie-débit sur le bassin versant de l'Yzeron, Stage de 2^{ème} année ingénieur, ENSEEIHT, INP Toulouse, 49 pp.
- Coulais, Clément, 2011. Modélisation du bassin versant de Grézieu la Varenne. Etude du comportement du bassin d'orage, Mémoire de TFE ENTPE, Juin 2011, 65pp.
- Delile, Hugo, 2009. Mise en place des formations superficielles dans les fonds de vallée élémentaires du bassin versant de l'Yzeron, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France, 208 pp.
- Diribarne, Julien, 2008. Dimensionnement d'une station de mesure débitmétrique sur le bassin versant de l'Yzeron. Site du Ratier, Mémoire de projet de fin d'études, ENTPE, Vaulx en Velin, France, 68pp.
- Furusho, Carina, 2008 : Etude du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant péri-urbain : la Chézine., Rapport de Master II Sciences et Techniques des Environnements Urbains, ECN, Nantes, France, 70pp.
- Garcia, C., 2010 : Caractérisation hydrodynamique du bassin versant périurbain de la Chézine. Rapport d'étude scientifique et technique de 2^{ème} année, Ecole d'Ingénieurs par l'apprentissage du CESI de Saint Nazaire, 51pp.
- Gautron, Caroline, 2009 : Etude du réseau hydrographique d'un bassin versant à partir d'une base de données géographique. Application au bassin versant périurbain de la Chézine. Rapport de Master I Sciences de la Terre, de l'Univers et de l'Environnement, Université de Nantes, Nantes, 29pp.
- Giangola-Murzyn A, 2010 : Etude de sensibilité du couplage ISBA-TOPMODEL : sensibilité aux paramètres de sol sur le bassin versant de la Chézine. Rapport de Master II Geo-Environnement, Université de Nantes, 42pp.
- Guilbaud, A-S., 2007: Description et analyse des chemins de l'eau en surface par l'enrichissement des banques de données urbaines et géographiques. Application au bassin versant péri-urbain de la Chézine, Rapport de stage Master I Sciences de la Terre de l'Univers et de l'Environnement, 25pp.
- Guyot-Tephany, Josselin, 2009. Comparaison d'outils de traitement topographiques en milieu péri-urbain : application au bassin versant de la Chézine (agglomération Nantaise). Rapport de stage Master EA GESMARE- 1^{ère} année, Université de Metz, 36 pp.

- Jandot, Alex, 2010. Développement et évaluation d'une modélisation hydrologique simplifiée sur le bassin versant de l'Yzeron dans le cadre du projet AVuPUR. Stage de fin d'études Génie des Procédés, option Génie de l'Environnement, ENSIACET, INP Toulouse, 53 pp.
- Jestin Leduc Hanna, 2010. Méthodologie pour une production d'indicateurs géographiques dans le but d'évaluer l'impact des aménagements urbains sur le cheminement des écoulements de l'eau de surface, Master Sciences et Techniques de l'Environnement Urbain, Université de Nantes.
- Labbas, Mériem, 2011. Impacts de la caractérisation de l'occupation des sols par différentes sources sur la simulation des processus hydrologiques. Application au bassin versant de l'Yzeron. Mémoire de fin d'études Master ENGREF « Gestion de l'eau », 51 pp.
- Leroux, Céline, 2008. Etude d'un bassin de stockage sur la Chézine. Rapport de stage 2^{ème} année ENSHMG Grenoble, 60pp.
- Michel, Charlotte, 2009. Caractérisation de l'hydrologie d'un bassin versant périurbain : l'Yzeron. Analyse de deux sous-bassins : la Chaudanne et le Mercier, Master 1 Sciences de l'eau dans l'environnement continental, Université Montpellier 2, Mai 2009, 40 pp.
- Michel, Charlotte, 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.
- Oehler, Cédric, 2009. Study of spatial dynamics of flows in the hydrographical network. Mémoire de Master recherche, ISARA-Lyon, 78 pp.
- Paillé, Yvan, 2010. Conceptualisation et modélisation d'une base de données en vue de son implémentation dans un modèle hydrologique distribué. Mémoire de Master 2 Cartographie et Gestion des Espaces à Fortes Contraintes, Université de Nantes, 50 pp.
- Palaccio, Magdalena, 2008 : Modélisation hydrologique distribuée des espaces périurbains basée sur l'analyse des données géographiques vectorielles : application au bassin versant de la Chézine. Rapport de Master II Sciences et Techniques des Environnements Urbains, ECN, Nantes, France, 61 pp.
- Polatidis Bruno, 2011. Suivi de l'occupation du sol de 1945 à 2008 dans un bassin versant périurbain (Yzeron, Lyon) soumis aux inondations d'après des photographies aériennes de l'IGN. Mémoire de Master 1 « Territoires, Patrimoine, Environnement », Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 89 p.
- Potier de La Varde, Guillaume, 2011. Modélisation comparée du ruissellement des petits bassins versants urbains en vue d'estimer les rejets de temps de pluie en milieu naturel, Mémoire de fin d'étude ENSGTI, Pau, 54 pp.
- Principato, Guillaume, 2010. Calibration d'un hydrogramme géomorphologique sur le bassin du Mercier pour l'étude du fonctionnement du réseau hydrographique. Mémoire de fin d'étude, ENTPE, Vaulx en Velin.
- Privolt, Grégoire, 2009. Contribution à l'analyse de la mise en place des colluvions sur le bassin versant de l'Yzeron. Etude diachronique fine de l'occupation du sol depuis deux siècles, sur quatre sous-bassins de l'Yzeron : La Chaudanne, le Bouillon, le Verdy et le Prés-Mouchettes. Mémoire de Master I Interface-Nature-Société, Université Lumière Lyon 2, 121 pp + annexes de cartes.
- Rosignol, H., 2011. Agriculture sectorielle ou territoriale dans l'ouest lyonnais ? L'exemple du bassin versant de l'Yzeron. Mémoire de MASTER 2 Systèmes Territoriaux, Développement Durable, Aide à la Décision. Lyon : Ecole normale supérieure de Lyon, 133 p.
- Sanzana, Pedro, 2010. Final Study Project for GRASS COURSE at the University of Granada, Spain, February 2010, 23 pp.
- Sanzana, Pedro, 2011. Automatic preprocessing for a distributed hydrological model using the HRU (Hydrological Response Units) concept with GRASSGIS. Mémoire de Master, Université de Chile, Santiago de Chile, 61 pp.
- Toulan, A., 2011. État des lieux et perspectives de l'agriculture dans le bassin versant de l'Yzeron. Les enjeux de l'irrigation des terres agricoles. Mémoire de MASTER 1 Géographie, Lyon : Université Lyon 2, 160 p.

Rapports de projet ou rapports internes

- Braud, I., 2008. Analyse des données pluie-débit sur les sous-bassins du Mercier et de la Chaudanne. Période 1997-2007. Données de base, critique des données pluie, programmes Fortran et utilisation de R pour cette analyse, résultats. Contribution au WP1 du projet AVUPUR, Rapport du projet ANR AVuPUR, Cemagref, UR HHLY, Novembre 2009, 88pp.
- Braud, I., 2009. Analyse géostatistique des mesures de la teneur en eau collectées sur le sous-bassin du Mercier (bassin versant de l'Yzeron) lors de la campagne des 12-13 Mars 2009. Contribution to WP1 Hydrological and GIS data collection du projet AVUPUR, Rapport du projet ANR AVuPUR, Cemagref, UR HHLY, Novembre 2009, 70pp.
- Breil, P., et al., 2009. Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme. Groupe de travail régional sur la prise en compte des eaux pluviales à l'échelle des bassins versants, GRAIE (Groupe de Recherche Rhône Alpes sur les Infrastructures et l'Eau), 81 p.
- Breil P., Perrin J.F., Boulos J., Asté J.P., Badji N., Schmitt L., Grosprêtre L., 2008. Gestion des rivières périurbaines. Développement de l'outil SIC. Action n°4 du Programme 2007 au titre de l'accord-cadre Agence de l'Eau - ZABR, Cemagref Lyon, Université Lyon 2, GIPEA, Juillet 2008, 47 pp.
- Dehotin, J., 2009a. Projet AVuPUR – Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers- Contribution au WP 1: Hydrological and GIS data collection. Description des données collectées sur le bassin de l'Yzeron, Rapport Cemagref, UR HHLY, Février, 2009, 17 pp
- Dehotin, J., 2009b. Projet AVuPUR – Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers- Contribution au WP3 'Simplified representation at the catchments scale'. Découpage spatial et caractérisation des unités de modélisation de l'Yzeron. Rapport Cemagref, UR HHLY, Février, 2009, 12 pp
- Dodane, C., Joliveau, T., Honegger, A., Molines, N., 2010. Atelier Yzeron : Simuler les changements d'occupation des sols à horizon 2030, Rapport de synthèse du WP4-Task C « Scenarios d'occupation des sols futurs » du projet AVuPUR, 17 pp.
- Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., 2009a. Measure and spatialization of topsoil hydraulic properties in the Mercier catchment. Contribution to WP1 Hydrological and GIS data collection du projet AVUPUR, Rapport du projet ANR AVuPUR, Cemagref, UR HHLY, Mai 2009, 93pp.
- Gonzalez-Sosa, E., Braud, I., 2009b. Mesures de la teneur en eau pour l'utilisation de l'imagerie satellitaire (radar) pour l'étude du Bassin de l'Yzeron.. Campagne du 12-13 Mars 2009. Contribution to WP1 Hydrological and GIS data collection du projet AVUPUR, Rapport du projet ANR AVuPUR, Cemagref, UR HHLY, Mai 2009, 12pp.
- 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.
- Grosprêtre L. et Schmitt L., 2008. Etude hydro-géomorphologique de l'Yzeron et définition d'indicateurs de suivi Partie 1 : Diagnostic hydro-géomorphologique des affluents et sous-affluents de l'Yzeron et des branches principales du réseau hydrographique et mesures de réhabilitation CNRS/UMR 5600. Réalisé pour le compte du Grand Lyon et du S.A.G.Y.R.C. Juin 2008, 107 p. + ann.
- Grosprêtre L., Schmitt L., 2010. Etude hydro-géomorphologique de l'Yzeron et définition d'indicateurs de suivi Partie 1 : Diagnostic hydro-géomorphologique des affluents et sous-affluents de l'Yzeron et des branches principales du réseau hydrographique et mesures de réhabilitation CNRS/UMR 5600. Réalisé pour le compte du Grand Lyon et du S.A.G.Y.R.C., 107 p. + annexes.
- Honegger A., 2009. Principales sources et ressources sur la prospective territoriale, Déc. 2009, 5 p.
- Lagouy, M., 2010. Recueil de données du bassin versant de l'Yzeron. Année 2009, Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique, 24 pp.
- Lassabatère L., Garcia C, Letellier L, Chancibault K., 2010 : Caractérisation hydrodynamique du bassin versant péri-urbain de la Chézine, décembre 2010, 27pp.
- Leblois, E., 2009. Technical presentation of the precipitation simulation system at Cemagref Lyon, Cemagref, UR HHLY, 31 pp.
- Leblois, E., 2010. Evaluation des pluies sollicitant le bassin versant de l'Yzeron : simulation spatio-temporelle des pluies des décennies récentes conditionnée par les

- observations pluviographiques - contribution au projet WP4 « Sensitivity tests and scenarii » ANR AVUPUR - Rapport d'étape, 30 juin 2010.
- Mosini, M.-L., Letellier, L., Leroux, C., Furusho, C., Rouaud, J.-M., Rodriguez, F., Chancibault, K., 2011 : Projet AVuPUR : validation et analyse des données hydrologiques du bassin versant peri-urbain de la Chézine. Rapport de synthèse du WP1 du projet AVuPUR, 23 pp.
- OTHU, 2008. Rapport d'activité scientifique OTHU 2006-2008, nov. 2008, 129 p, <http://www.graie.org/othu/> (comprend une partie des résultats d'AVuPUR)
- Palma-Lopes, S., K. Chancibault, L. Letellier, C. Garcia, L. Lassabatère, JM. Rouaud, X. Dérobert, R. Bénot, S. Montigné, JF. Mahé, 2011: Utilisation de méthodes géophysiques pour la description des sols dans le bassin de la Chézine : étude de faisabilité. Rapport de synthèse pour le projet AVuPUR (ANR). 40pp.
- Thollet, F., 2007. Recueil de données du bassin versant de l'Yzeron. Année 2007, Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique, 40 pp.
- Thollet, F. et Branger, F., 2008. Recueil de données du bassin versant de l'Yzeron. Année 2008, Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique, 24 pp.
- Vannier, O., Braud, I., 2010. Calcul d'une évapotranspiration potentielle (ETP) spatialisée pour la modélisation hydrologique à partir des données de la réanalyse SAFRAN de Météo-France. Note de travail du plateau SOMME, Cemagref, Avril 2010, 22pp.

G ANNEXE 2 : CONCLUSIONS DE LA RÉUNION D'ÉCHANGE AVEC LES OPÉRATIONNELS DU 10 JUIN 2011

G.1 SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS

Les discussions ont fait émerger des besoins des opérationnels vis-à-vis de la recherche sur les sujets suivants :

- Appropriation des résultats de la recherche
 - L'action du GRAIE en terme de diffusion de l'information scientifique vis-à-vis des opérationnels est plébiscitée. Une demande complémentaire d'information et de formation afin de permettre une montée en compétence des opérationnels/élus/bureaux d'étude émerge aussi (rédaction des cahiers des charges, réalisation des études avec des outils intégrant les nouvelles connaissances), de même que le développement /la formalisation d'outils plus simples
 - Transposabilité des résultats obtenus sur un bassin à d'autres bassins (robustesse des approches proposées, demandes de simplifications)
- Demande de méthodologies/outils
 - Développement d'outils de priorisation
 - Besoin de méthodologie pour établir des priorités d'actions sur des territoires, notamment sur le volet qualité des eaux et gestion des petits cours d'eau périurbains – analyses multicritères
 - Exploitation de la cartographie de l'occupation des sols : en fonction des objectifs et des contraintes locales (document de planification eau et urbanisme) quelle carte utiliser ?
 - Atelier de prospective territoriale : développer des outils permettant de les exploiter pour que les politiques puissent se projeter dans le futur.
 - Besoin d'outils de mesure et suivi :Métrologie et suivi des milieux (données à acquérir)
- Connaissances à développer
 - Gestion des eaux pluviales (temps de pluie) :
 - impact à l'échelle d'un bassin versant de solutions de gestion réparties
 - origine des flux
 - Analyses multicritères de la gestion intégrée des rivières
 - Etiages – gestion qualitative

- Impact des modifications des régimes hydrologiques sur la géomorphologie et la qualité des milieux
- Amélioration des systèmes d'alertes aux crues
- Métrologie

G.2 ACTIONS ENVISAGÉES

Action	Intitulé	Qui pourrait s'en charger ?	A quelle question peut-elle répondre ?	Niveau d'engagement
Actions de diffusion des connaissances				
1	Définir le dispositif de valorisation souhaitable : diffusion d'information et formation (en complément des actions du GRAIE)	Le comité de gestion de l'OTHU (qui rassemble le GRAIE, les scientifiques et les partenaires opérationnels).	Améliorer la diffusion des connaissances et le niveau de compétence des personnes rédigeant les cahiers des charges	Suggérée
2	Réécriture de la fiche technique « délimitation des BV périurbains » pour un public d'élus	HHLY/GRAIE/Certu	Mieux sensibiliser les élus à la question des chemins de l'eau	Suggérée
6	Etudier l'opportunité et la faisabilité de la mise à jour du guide sur la « Gestion intégrée des rivières » du Graie	GRAIE avec le comité de gestion de l'OTHU	Méthodologie pour étudier les cours d'eau périurbains	Suggérée
Développement d'outils				
3	Retravailler l'analyse des données pour identifier quelques indicateurs pertinents pour l'alerte et établir la typologie des crues	HHLY/IFSTTAR	Amélioration de l'alerte crue/typologie des crues	Projetée
4	Améliorer la mesure des débits en étiage.	HHLY	Connaissance sur les étiages	Projetée + une thèse à HHLY sur la régionalisation des étiages
Perspectives de recherche				
5	Identifier de nouvelles personnes (biologie, géomorphologie) pour poursuivre les travaux de recherche et d'observation sur ce thème	OTHU	Volet qualité des cours d'eau urbains	Projetée
7	Appliquer les différents modèles d'AVuPUR sur les mêmes bassins (J2000, CANOE, Isba-Topmodel) et comparer les résultats	HHLY /IFSTTAR/ LGCIE	Transposabilité des outils	Projetée
8	Thèse M. Labbas (2011-2014) « Approche multi-échelles pour étudier les impacts de l'évolution de l'occupation des sols et de la gestion des eaux pluviales sur l'hydrologie d'un bassin versant périurbain. Application au bassin de l'Yzeron. »	HHLY	Impact d'une multiplicité d'aménagements/techniques alternatives à l'échelle d'un bassin versant (Schéma directeur de gestion des eaux pluviales)	Engagée

H ANNEXE 3 : RAPPORT SCIENTIFIQUE DÉTAILLÉ DU PROJET AVuPUR

Document téléchargeable sur le site web du projet <http://avupur.hydrowide.com/> rubrique Publications.