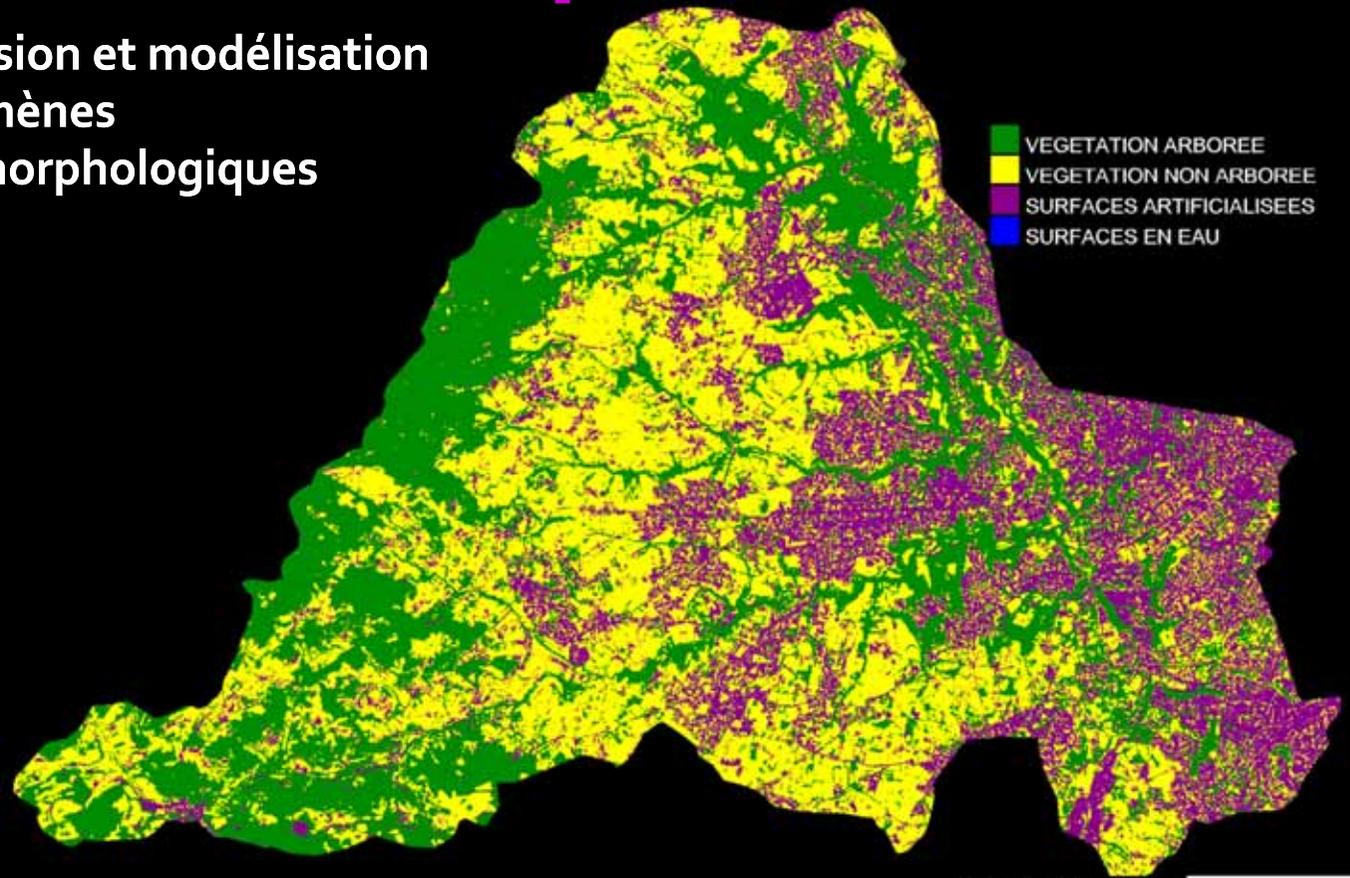


Jeudi 9 juin 2011 - INSA de Lyon - Villeurbanne (69)

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines

Compréhension et modélisation
des phénomènes
hydro-géomorphologiques



graie

GRUPE DE RECHERCHE RHÔNE-ALPES
SUR LES INFRASTRUCTURES ET L'EAU

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

ANR



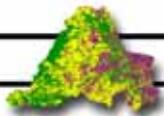
Certu

GRAND LYON

Rhône-Alpes

OBSERVATOIRE
DE TERRAIN
EN HYDROLOGIE
URBAINE





SOMMAIRE

Programme	2
Avant propos	4
Supports d'interventions	
Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des rivières périurbaines ? <i>I. BRAUD, Cemagref</i> <i>Avec la contribution de tous les participants à AVuPUR</i>	7
Pourquoi (et comment) caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations pour l'étude des rivières péri-urbaines ? <i>E. LEBLOIS et AL JEANPIERRE Cemagref</i> <i>F.RENARD et J. COMBY, EVS</i> <i>B.CHOCAT, INSA</i>	13
Comment cartographier l'occupation des sols et son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques ? <i>C. JACQUEMINET, S. KERMADI et K. MICHEL,</i> <i>UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne</i>	25
Les apports d'un atelier de prospective territoriale pour anticiper les changements d'occupation du sol <i>C. DODANE, T. JOLIVEAU et A. HONEGGER,</i> <i>UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne</i>	33
Quelles sont les caractéristiques hydro-géomorphologiques associées aux rivières péri-urbaines et comment quantifier le risque d'incision ? <i>L. SCHMITT, UMR CNRS 5600, Université Lumière Lyon 2</i> <i>L. GROSPRETRE, P. BREIL, A. BARRA, B. CHOCAT et H.DELILE</i>	39
Pourquoi et comment décrire l'espace et les chemins de l'eau dans les milieux péri-urbains ? <i>F. BRANGER, Cemagref</i> <i>F. RODRIGUEZ, S. JANKOWFSKY, E. BOCHER, K. CHANCIBAULT</i>	40

Comment représenter le fonctionnement du milieu périurbain dans les modèles hydrologiques ? <i>K. CHANCIBAULT, IFSTTAR Nantes</i> <i>F. BRANGER, I. BRAUD, Cemagref</i> <i>C. FURUSHO, H. ANDRIEU et F. RODRIGUEZ, Ifsttar</i> <i>B. CHOCAT, INSA</i>	40
Quel impact de l'urbanisation simulé par les modèles hydrologiques ? Illustration avec CANOE, <i>P. BREIL, Cemagref – G. LIPEME KOUYI, Insa de Lyon</i>	40

AU VERSO :

Les fiches techniques de l'OTHU



PROGRAMME

ACCUEIL	09 H 00
Ouverture Yves CONFESSON, Directeur Régional du Cemagref Sylvie BARRAUD, Directrice de l'OTHU	09h30
Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des rivières périurbaines ? Isabelle BRAUD, Cemagref	09h45
Pourquoi (et comment) caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations pour l'étude des rivières péri-urbaines ? Etienne LEBLOIS, Cemagref	10h15
PAUSE	10 H 45
Comment cartographier l'occupation des sols et son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques ? Christine JACQUEMINET, UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne	11h15
Quel est l'apport d'un atelier de prospective territoriale pour anticiper les changements d'occupation du sol ? Clément DODANE, UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne	11h45
DE JEUNER	12 H 15
Quelles sont les caractéristiques hydro-géomorphologiques associées aux rivières péri-urbaines et comment quantifier le risque d'incision ? Laurent SCHMITT, UMR CNRS 5600, Université Lumière Lyon 2	14h15
Pourquoi et comment décrire l'espace et les chemins de l'eau dans les milieux péri-urbains ? Flora BRANGER, Cemagref	14h45
PAUSE	15 H 15
Comment représenter le fonctionnement du milieu périurbain dans les modèles hydrologiques ? Katia CHANCIBAUT, IFSTTAR Nantes	15h45
Quel impact de l'urbanisation simulé par les modèles hydrologiques ? Illustration avec CANOE, Pascal BREIL, Cemagref – Gislain LIPEME KOUYI, Insa de Lyon	16h15
Synthèse Isabelle BRAUD, Cemagref – Elodie BRELOT, Graie	16h45
FIN DE JOURNEE	17 H 00



LE PROJET AVUPUR : ASSESSING THE VULNERABILITY OF PERI-URBAN RIVERS

Objectifs :

Le projet AVuPUR (<http://avupur.hydrowide.com>) s'est intéressé aux bassins versants périurbains, qui subissent une évolution rapide depuis les années 1970. Le projet a cherché à proposer des outils pour quantifier l'impact de l'anthropisation sur l'hydrologie de ces bassins versants et la modification des chemins de l'eau associée. Il s'est focalisé sur les flux d'eau uniquement, préalable indispensable pour aborder les questions de qualité des eaux.

Coordination :

I. Braud (Cemagref UR HHLY)

Partenaires:

Cemagref Lyon, Institut de Recherche des Sciences et Techniques de la Ville (IRSTV, Nantes), Hydrowide (Grenoble), LGCIE/INSA Lyon, ISARA Lyon, UMR 5600 Environnement Ville Sociétés Lyon (EVS). En lien avec le Syndicat d'Aménagement et de Gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC), le Grand Lyon et Nantes-Métropole.

Financement:

Agence Nationale de la Recherche. Appel d'offre Vulnérabilité Milieux Climat & Sociétés (01/2008-08/2011)

Méthodes :

Le projet s'appuie 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).

Les activités ont combiné de l'observation et de la modélisation. Pour l'observation, trois volets ont été développés : une phase de collecte des données existantes auprès des différents gestionnaires (topographie, réseaux naturels et d'assainissement, cadastre, données météorologiques, données sur le sol, etc..) ; un renforcement du réseau de mesures existantes notamment en terme de mesures de débits (stratégie de bassins emboîtés) et l'acquisitions de nouvelles données pour documenter certains processus (infiltration dans les sols, fonctionnement hydrologique des zones naturelles, estimation des débits critiques de mise en mouvement des sédiments). Un gros effort a aussi porté sur la cartographie à différentes échelles de l'occupation des sols et l'estimation de l'imperméabilisation du milieu. Une cartographie diachronique depuis 1945 a aussi été produite, ainsi qu'une projection en 2030 à partir d'un atelier de prospective territoriale.

Les données hydrologiques ont été analysées pour proposer des indicateurs pertinents permettant de décrire à la fois le milieu, les caractéristiques pluviométriques et le régime hydrologique (régime moyen, régime de crues, basses eaux, échelle annuelle et événementielle) et les évolutions géomorphologiques

La modélisation a été abordée à deux échelles : à une échelle fine (quelques km²) pour la compréhension et la hiérarchisation des processus et à l'échelle de l'ensemble du bassin pour dériver des outils utiles à la gestion. Autant que faire se peut, les paramètres des modèles ont été estimés à l'aide des données collectées, afin de minimiser le besoin en calibration et favoriser la transposabilité des outils à d'autres bassins versants. Les résultats des modèles ont été confrontés aux observations et différentes hypothèses de fonctionnement sont comparées. Les modèles ont aussi été utilisés pour évaluer, à l'aide des cartes obtenues en 2030, l'évolution attendue du régime hydrologique et le risque d'incision des cours d'eau.



Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des rivières périurbaines ?

I. BRAUD, Cemagref

Avec la contribution de tous les participants à AVuPUR

Pourquoi et comment étudier l'hydrologie des rivières périurbaines ?

Isabelle Braud, Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique

Contexte (Diapos 2 à 8, Diapo 22)

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 associés voient le régime hydro-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. Ils conduisent à des déversements d'eau polluée dans les cours d'eau, préjudiciables pour leur qualité et leur stabilité morphologique (incision, ensablement), 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 Cadre 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 hydro-géomorphologique des milieux et d'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 particulièrement difficile à caractériser du fait de sa complexité : juxtaposition/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.

Objectifs et méthodologie d'AVuPUR (Diapos 9 à 14)

Dans ce contexte, le projet AVuPUR (Assessing the Vulnerability of Peri-Urban Rivers), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) de 2008 à 2011 vise à proposer des outils pour quantifier l'impact de l'artificialisation des bassins versants sur leur hydrologie et la modification des chemins de l'eau associée.

Le projet combine des travaux d'observation et de description des milieux, d'analyse des données hydrométéorologiques associées, et le développement d'outils de modélisation, à la fois pour comprendre les processus et les hiérarchiser, mais aussi pour essayer de dériver des outils qui puissent être utiles aux opérationnels. Le projet s'appuie 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 premier volet du projet a consisté 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.. Cette phase a été longue et laborieuse du fait de la multiplicité des interlocuteurs et des formats de données, ainsi que des restrictions parfois apportées sur leur utilisation ou leur diffusion. Les résultats du projet montrent que l'ensemble de ces informations sont 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.

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 (Diapo 25), 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 (Diapos 26 à 28), caractérisation des débits seuil de mise en mouvement des sédiments pour quantifier l'incision .

Un volet important du projet a aussi porté sur 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 porté sur la documentation de l'imperméabilisation et de l'artificialisation des milieux (Exposé C. Jacqueminet).

Un second volet du projet concerne le développement d'outils de modélisation à deux échelles spatiales distinctes. A l'échelle de bassins de quelques km², nous avons développé une modélisation en continu, 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 hydrographiques, de fossés, d'assainissement, bassins de rétention, déversoirs d'orage, etc...(modèle PUMMA). L'exploitation de cet outil permet de tester des hypothèses de fonctionnement de ces objets et de hiérarchiser leur importance sur la réponse finale (Exposé F. Branger).

A l'échelle de bassins plus grands, nous avons aussi 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 et des modèles ruraux ISBA-Topmodel et J2000 (Exposé K. Chancibault).

Pour faire le lien entre ces deux volets, des indicateurs caractérisant le fonctionnement hydro-géomorphologique du système ont été développés. 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 de la charge de fond. Les épisodes de crue ont aussi été analysés de manière systématique. Mais il a été nécessaire d'affiner les techniques « classiques » d'analyse des séries hydrologiques. Des techniques de filtrage spécifiques ont aussi été testées pour permettre de distinguer les contributions des zones urbaines et rurales dans les séries hydrométriques. 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.

Enfin, un dernier volet a consisté à envisager 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 (Exposé T. Joliveau). 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.

Quels indicateurs pour mesurer l'impact de l'urbanisation sur l'hydrologie ?

Nous détaillons ici quelques indicateurs qui se révèlent pertinents pour comprendre et caractériser le régime hydrologique des bassins versants périurbains.

- Une première série d'indicateurs permet de décrire le milieu (Diapos 15 à 17)
 - Deux premières grandeurs qui peuvent paraître triviales, mais se révèlent difficiles à déterminer pour un bassin périurbain, sont la frontière du bassin et sa superficie. Différentes méthodes combinant l'analyse de couches SIG (topographie, réseaux) mais aussi reconnaissance de terrain ont été proposées.
 - La délimitation des surfaces imperméabilisées/artificialisées est aussi un élément clé pour caractériser le milieu et le modéliser. Des méthodes s'appuyant sur l'analyse d'images de télédétection ou de photos aériennes ont été proposées, en essayant de fournir des résultats pertinents à l'échelle des unités de modélisation hydrologiques. L'imperméabilisation conditionne la propension du milieu à ruisseler, mais elle doit être complétée par une information qui se révèle très importante pour comprendre le fonctionnement hydrologique : la connexion entre les différents éléments du bassin et le cours d'eau. L'analyse des plans des réseaux et des reconnaissances de terrain sont nécessaires pour affiner cette connaissance. Nous avons aussi pu montrer que cette notion de connectivité est aussi pertinente pour la compréhension des processus hydrologiques actifs en zone rurale.
- Une deuxième grandeur qu'il est nécessaire de caractériser est la pluviométrie (Diapo 15 + exposé de E. Leblois) et sa variabilité spatio-temporelle. Compte tenu de l'hétérogénéité du milieu et des temps de réponse, une description fine est nécessaire (échelle kilométrique et pas de temps de l'ordre de 5 minutes). Nous avons exploré pour cela l'apport du radar hydrométéorologique et celui d'un simulateur spatio-temporel de pluie, conditionné aux observations existantes, lorsque le radar n'est pas disponible. La mise en œuvre de cet outil a conduit à une analyse détaillée du régime pluviométrique à l'aide du réseau de pluviographes du Grand Lyon.
- De l'analyse des séries hydrométriques, nous avons retenu les grandeurs suivantes pour caractériser le régime hydrologique et étudier son évolution (Diapos 18 à 20, diapo 24 + exposés de L. Schmitt et P. Breil/G. Lipeme)
 - Régime mensuel et coefficient de ruissellement
 - Courbes des débits classés.
 - Décomposition des hydrogrammes en débit de base, débits intermédiaires et débits de ruissellement.

- Rapport des écoulements de base aux écoulements totaux ou Base Flow Index (BFI)
 - Analyse débit durée fréquence (QdF)
 - Lorsqu'un déversoir d'orage est proche d'une station hydrométrique, les techniques de filtrage permettent de séparer la composante urbaine de la composante rurale et d'analyser le rôle de la zone urbaine sur le régime de crues
- Pour quantifier le risque d'incision, ces indicateurs ne se sont pas révélés suffisants. Nous avons montré que l'utilisation de fréquences de dépassement de certains seuils était plus pertinente et permet de caractériser la vulnérabilité des cours d'eau à l'incision.

Quelques résultats significatifs du projet AVuPUR

- Collecte de bases de données hydro-météorologiques (climat, pluviométrie, débitimétrie) et d'un ensemble de couches d'informations géographiques (SIG) décrivant le système sur l'ensemble des 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 : MNT lidar, réseaux denses de limnimètres, prospection géophysique, campagnes d'essais d'infiltration ciblées pour comprendre les chemins de l'eau et les fonctionnements hydrologiques.
- Proposition d'outils d'analyse des données pour dériver des indicateurs décrivant les différentes composantes du cycle hydrologique dans ces bassins, identifier des marqueurs de l'impact de l'urbanisation sur ce cycle hydrologique (synthèses statistiques, analyses d'épisodes, méthodes de filtrage des composantes urbaines rapides, fréquence de dépassement de seuils – notamment pour quantifier l'impact sur la géomorphologie des cours d'eau et le risque d'incision-).
- Mise au point de méthodes exploitant les différentes couches SIG (topographie, occupation des sols, réseaux) pour décrire la complexité de ces bassins versants et les chemins de l'eau : délimitation des bassins versants et de leurs sous-bassins, extraction des réseaux de drainage, description des chemins de l'eau (approches objet, triangulation contrainte), détermination de l'artificialisation et de l'imperméabilisation par analyse d'images (photos aériennes, images satellitaires).

- 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 : parcelles agricoles, urbaines, réseaux hydrographiques, de fossés, d'assainissement, bassins de rétention, déversoirs d'orage, etc...(modèle PUMMA). L'exploitation de cet outil permet de tester des hypothèses de fonctionnement de ces objets et de hiérarchiser leur importance sur la réponse finale.
- Adaptation de modèles existants pour la simulation en continu pour pouvoir répondre aux enjeux de gestion des bassins versants périurbains de l'ordre de la centaine de km² : adaptation du modèle urbain CANOE et des modèles ruraux ISBA-Topmodel et J2000.
- 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 scénarios pour évaluer les évolutions possibles des régimes hydrologiques et le risque d'incision en 2030.

Pour en savoir plus

Site web du projet : <http://avupur.hydrowide.com>

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., Dodane, C., 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., 2010. 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.



Pourquoi s'intéresser à l'hydrologie des bassins périurbains?

- **Contexte démographique :**
 - Augmentation de la population et concentration dans et autour des grandes villes
 - Pour l'agglomération lyonnaise: péri-urbanisation importante depuis les années 1970; 1.9 Millions d'habitants prévus en 2030 (Plan Local de l'Habitat, 2008), avec forte croissance des zones péri-urbaines
 - Pour Nantes-Métropole: + 85000 habitants sur les 20 dernières années, +100000 attendus d'ici 20 ans
- **Contexte institutionnel :**
 - Directive cadre sur l'eau (DCE): impose l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau pour 2015
 - Directive cadre sur les inondations: cartographier les zones à risque pour 2013
 - Révision des SAGE, SDAGE



Quels impacts attendus de l'urbanisation?

- **Modifications du régime hydrologique des cours d'eau attendues :**
 - Accélération et augmentation des écoulements liés à l'artificialisation du milieu
 - Diminution de l'infiltration et baisse potentielle du niveau des nappes et donc du débit de base dans les cours d'eau (impact sur les écosystèmes, notamment sur les petits cours d'eau)
 - Des eaux pluviales parfois directement rejetées dans le milieu récepteur (déversoirs d'orage) d'où risques pour les écosystèmes ou la santé (cf ANR INVASION en cours)
 - Des évolutions du lit des cours d'eau plus marquées à l'aval des déversoirs d'orage: incision des lits, dépôts à l'aval: risques pour les ouvrages, colmatage des habitats aquatiques en aval



Quels impacts attendus de l'urbanisation?



Inondations Oullins
(Photo, Le Progrès)



Incision du chenal
(Photo, L. Schmitt)



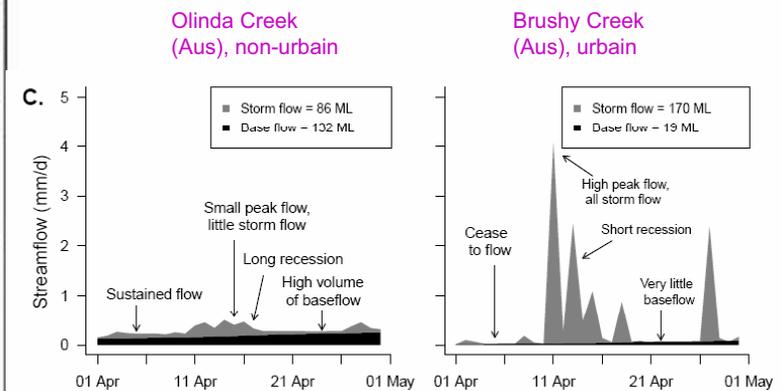
Inondations Parc de Procé,
Nantes (Photo, K. Chancibault)



Pollution
(Photo, Cemagref)



Quels impacts attendus de l'urbanisation?

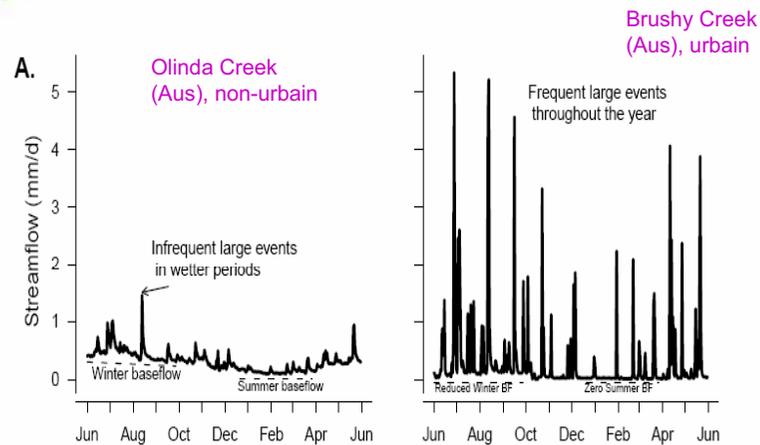


Diminution du débit de base

D'après Matthew Burns, Australie



Quels impacts attendus de l'urbanisation?



Augmentation des pics de crue

D'après Matthew Burns, Australie



Quel est le système à étudier?

- **Complexité du système**
 - Juxtaposition/imbrication de zones plus ou moins urbanisées et de zones rurales naturelles
 - Forte anthropisation du milieu: réseaux routiers, chemins, réseaux d'assainissement d'où **modifications importantes des chemins naturels de l'eau**

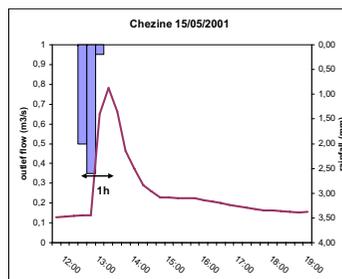


BDOrtho® IGN

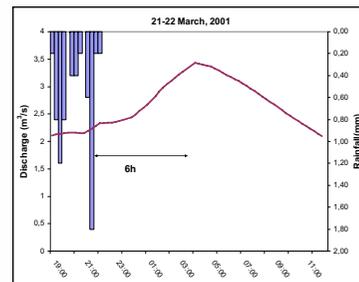


Quels impacts attendus de l'urbanisation?

Temps de réponse très contrastés en fonction de l'occupation des sols: très courts en zone urbaine, plus lents en zone rurale. D'où besoin d'une résolution spatiale et temporelle de la pluie très fine (1 km², 6min).



Episode en période sèche:
contribution urbaine uniquement:
réponse rapide



Episode en période humide:
contribution rurale importante:
réponse lente

Thèse C. Furusho



AVuPUR

Le projet AVuPUR



- **Constat :**
 - Un nombre important de travaux sur les bassins urbains et sur les bassins ruraux mais **peu de travaux sur les bassins périurbains**
 - Des besoins **d'outils de compréhension et d'aide à la décision** pour répondre aux enjeux (DCE, directive sur les inondations) et proposer des stratégies d'aménagement et de gestion de ces bassins
- **Questions scientifiques :**
 - Quel est l'impact de l'urbanisation sur les phénomènes hydro-géomorphologiques dans les bassins périurbains ?
 - Comment peut-on observer, décrire et modéliser le fonctionnement hydrologique de ces bassins ?

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

AVuPUR

Le projet AVuPUR



- **Objectifs spécifiques d'AVuPUR :**
 - Mettre en place une **stratégie d'observation** permettant de décrire et comprendre le cycle hydrologique et **les chemins de l'eau** dans les bassins périurbains
 - Proposer des **indicateurs** pertinents pour quantifier l'impact de l'urbanisation sur les processus hydro-géomorphologiques
 - Proposer des **outils de modélisation hydrologique continus** de ces bassins à des fins de **compréhension des processus**, de **diagnostic** sur le passé et de **simulation pour le futur**
 - Projet focalisé sur l'**hydro-géomorphologie**, préalable pour aborder les questions de qualité dans le milieu
- **Etude de deux bassins périurbains dans des contextes hydro-climatiques contrastés**
 - Le bassin de l'**Yzeron** (150 km²) en périphérie lyonnaise : climat à influences continentale et méditerranéenne, topographie marquée
 - Le bassin de la **Chézine** (34 km²) en banlieue nantaise : climat océanique, faible topographie

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

AVuPUR

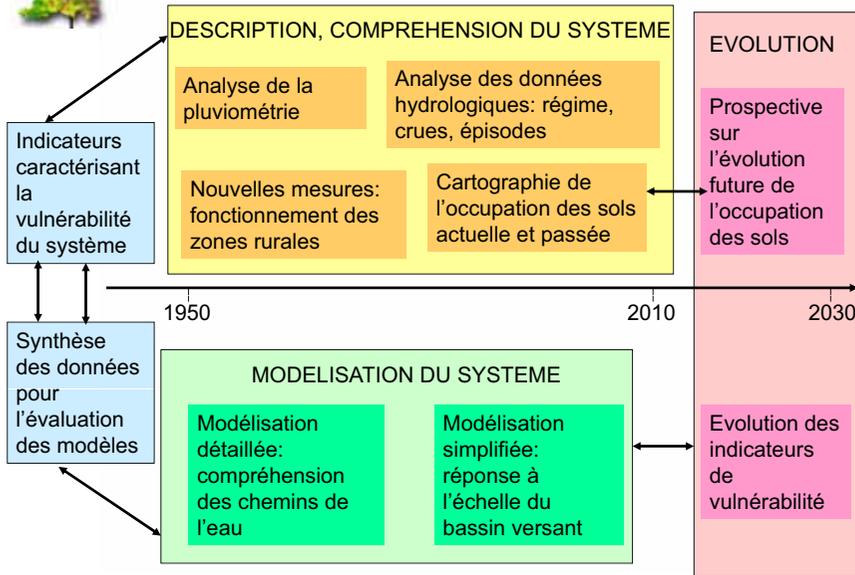
Le projet AVuPUR



- Financé par l'ANR 2008-2011
- Associant des **laboratoires** de recherche et des **PME** ou associations
- Construction du programme de recherche en lien avec les **gestionnaires** (Grand Lyon, SAGYRC (contrat de rivière), Nantes-Métropole)
- **Pluri-disciplinaire**: hydrologie rurale et urbaine, géographie physique et humaine, géomorphologie, ingénierie informatique



Méthodologie



Le bassin versant de l'Yzeron

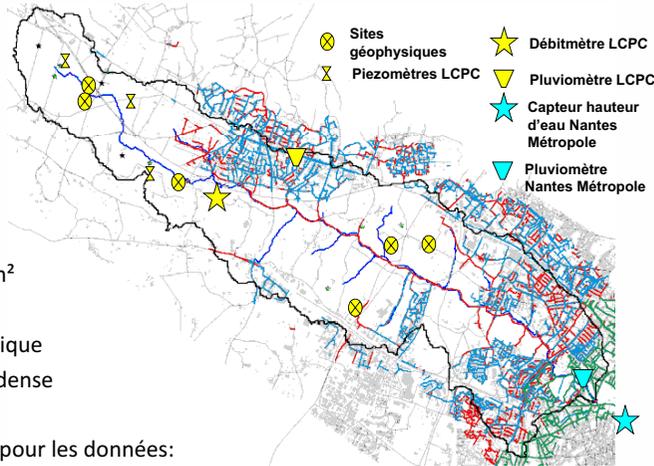


Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Surface: 150 km²; Climat méditerranéen; Relief prononcé; Urbanisation amont → aval
Conventions pour les données: Grand Lyon, CCVL, SIAHVY, SAGYRC, RPG, Météo-France, Sol Info Rhône Alpes



Le bassin versant de la Chézine



Surface: 29km²

Pente douce

Climat océanique

Aval: urbain dense

Amont: rural

Conventions pour les données:

Nantes Métropole, Saint Etienne de Montluc



Quels indicateurs d'impact?

• Indicateurs décrivant le milieu

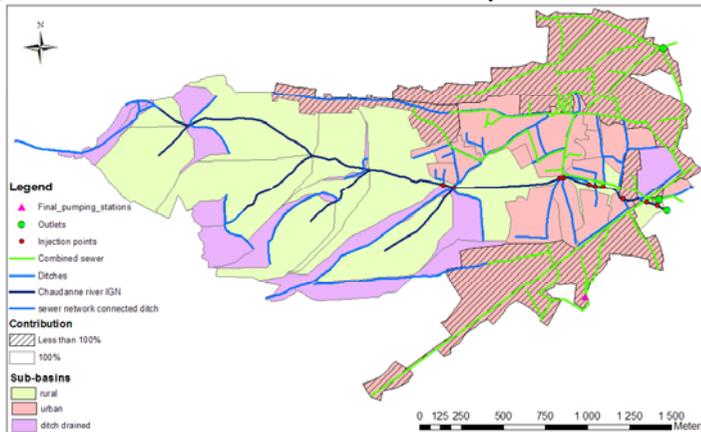
- Délimitation des bassins versants périurbains par analyse de la topographie, des réseaux de routes, fossés, des réseaux d'eaux pluviales et unitaires
- Caractérisation de l'occupation des sols à partir de photos aériennes ou images satellites et ateliers prospectifs pour le futur
- Utilisation pour déterminer les taux d'imperméabilisation ou artificialisation

• Caractérisation de la pluviométrie

- Régime pluviométrique
- Analyse de tendances sur la série de Bron (1920-2010): pas d'évolution significative de la pluie sur la période 1970-2010
- Caractérisation géo-statistique des pluies à l'aide du réseau de pluviographes de Grézieu



Délimitation d'un bassin périurbain

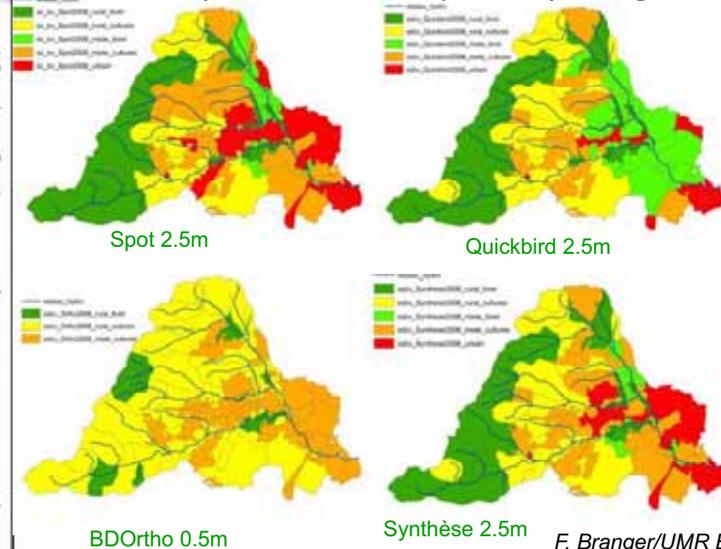


Les zones hachurées sont connectées au déversoir d'orage: elles ne contribuent au débit dans la rivière que lorsque les déversoirs débordent. De plus seule une partie de l'eau est déversée: la surface du bassin versant évolue au cours du temps

Thèse S. Jankowsky



Caractérisation de l'occupation des sols et de l'imperméabilisation pour l'hydrologie



F. Branger/UMR EVS

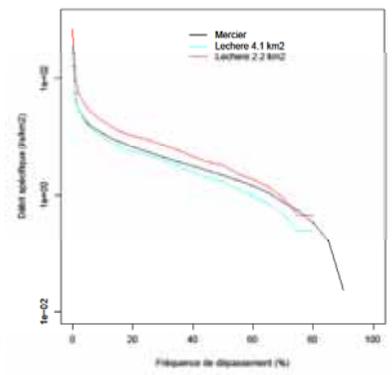
Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Outils d'analyse des débits

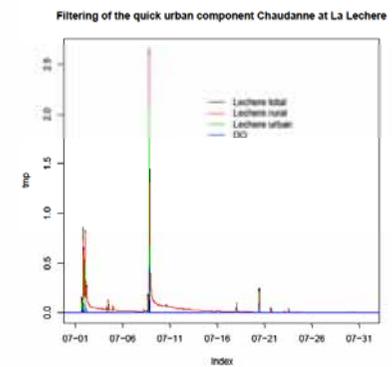
- **Indicateurs hydrologiques pertinents**
 - Régime hydrologique (débits moyens mensuels)
 - **Distribution des valeurs de débits classés**
 - **Décomposition d'hydrogrammes (débit de base, débit intermédiaire, débit de ruissellement rapide)**
 - Analyse du Base Flow Index (BFI)
 - Analyse des crues:
 - débit maximum annuel
 - débits sub-seuils et analyse des chroniques en débit-durée-fréquence (QdF)
 - Développement de **méthodes de filtrage** des séries pour séparer les composantes "urbaines" et "rurales"
 - Nombre et durée de dépassements de seuils de débits critiques (géomorphologie)
- **Mais attention à la précision des données, surtout en basses eaux**

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines

Quelques exemples



Impact du choix de la surface sur la courbe des débits spécifiques classés

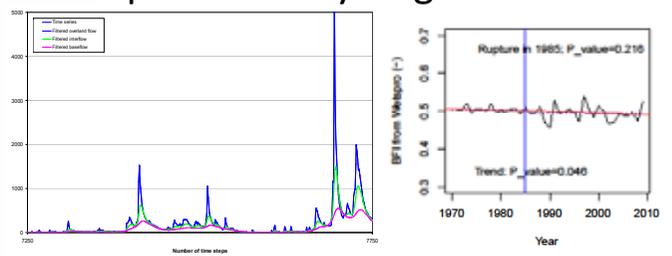


Filtrage des composantes rurales (rouges) et urbaines (vertes) à la Lechère. En bleu les données du DO

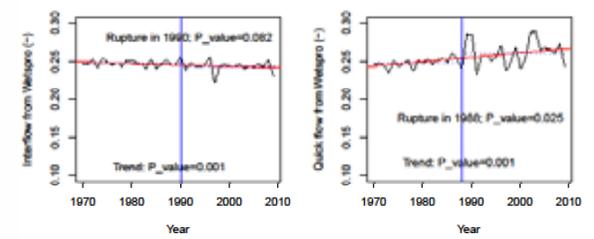
Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Décomposition d'hydrogrammes

WETSPRO, Willems, 2009, Env. Mod. Soft.

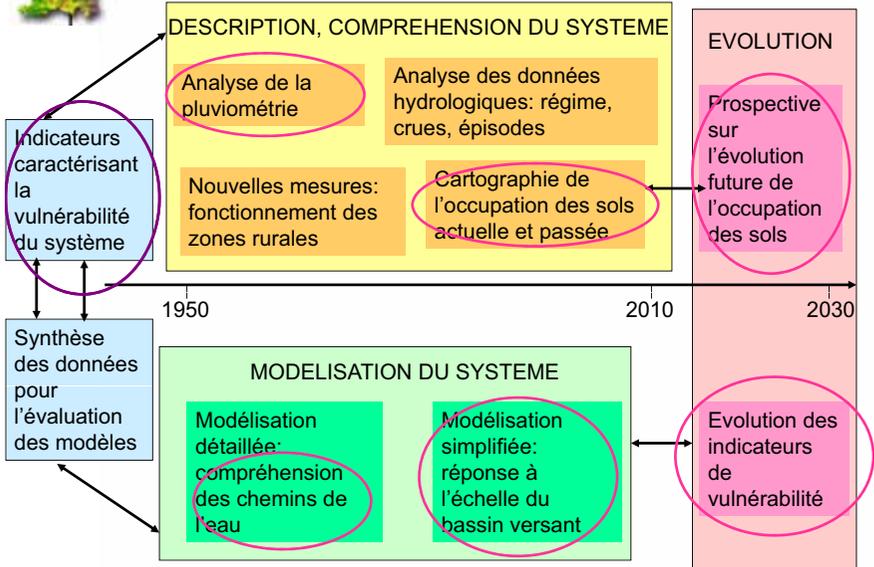


50% écoulement de base, 24% écoulement intermédiaire (flux de sub-surface)
Tendance à la baisse.
26% écoulement rapide
Tendance à la hausse



Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines

Prochaines présentations





Exemples de questions qui se posent aux gestionnaires

- Comment puis-je étudier le ruissellement et les rejets de temps de pluie sur mon bassin?
- Quelle est la frontière du bassin versant qui m'intéresse?
- Comment instrumenter mon bassin pour connaître son fonctionnement? Quelles données acquérir? Avec quelle précision?
- Comment modifier le mode de gestion des eaux pluviales pour limiter les rejets dans le milieu?
- Quel pourrait être l'impact du développement d'un nouveau quartier sur le risque de crue?
- Quelles ressources en eau sont mobilisables sur mon bassin versant (études volumes prélevables, etc..)
-



AVUPUR

ANR

Cemagref

iraty

HYDROWIDE

INSA

isaralyon

EVS

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION
DES QUESTIONS ??**

Remerciements:

- Financement du projet : ANR VMS&S
- Fourniture de données : OTHU, SAGYRC, Grand Lyon, Dreal Rhône-Alpes, IGN, Météo-France, SIAVHY, CCVL, Nantes-Métropole, Projet ISI
- Soutien pour la conférence : Grand Lyon, Agence de l'Eau RM&C, Région Rhône-Alpes, DREAL, Conseil Général du Rhône, CERTU

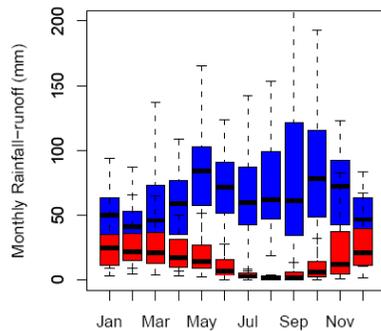
RhôneAlpes
GRANDLYON
communauté urbaine

grai



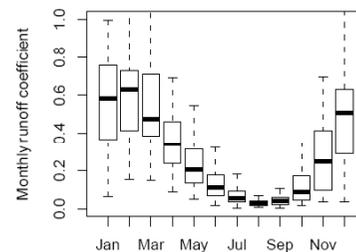
Autres indicateurs Régime hydrologique

Craponne



En rouge (bas) l'écoulement mensuel
En bleu (haut) la pluviométrie mensuelle

Craponne



Coefficient d'écoulement mensuel



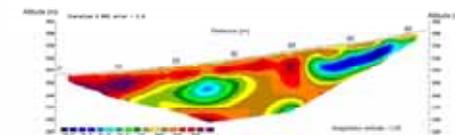
Caractérisation de l'infiltrabilité des sols et des profondeurs de sol



Essais d'infiltration sur surfaces naturelles

L'occupation des sols a un impact fort sur l'infiltrabilité: plus forte en forêt, prairie que sur les cultures

Gonzalez-Sosa et al., 2010



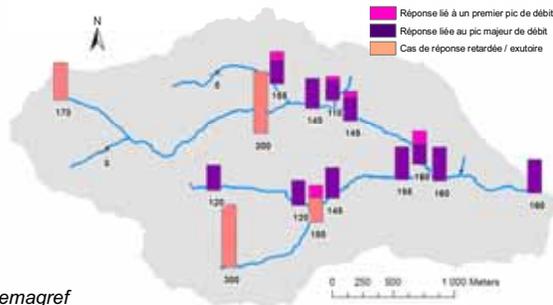
Prospection géophysiques (résistivité électrique) pour l'estimation des profondeurs de sol

Compréhension de la réponse hydrologique: importance de la connectivité



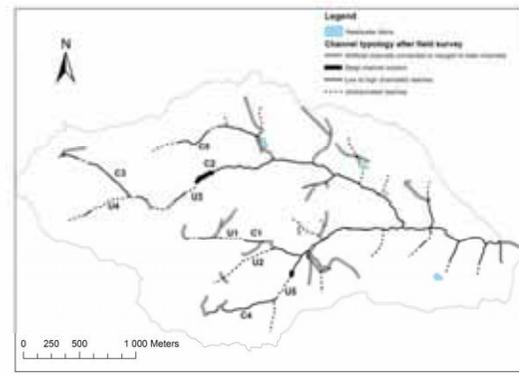
Un réseau de 15 limnimètres sur le bassin du Mercier (7 km²) à pas de temps 2min durant 3 ans

Réponse retardée et moins fréquente sur les zones de forêt: capacité de stockage plus importante: connectivité hydrologique faible



Thèse B. Sarrazin, ISARA/Cemagref

Compréhension de la réponse hydrologique: importance de la connectivité



Thèse B. Sarrazin, ISARA/Cemagref

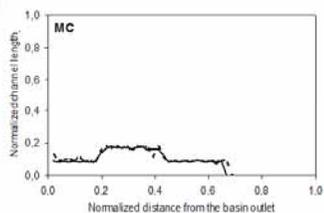
MNT Lidar 1m + reconnaissance de terrain

Noir: chenaux principaux permanents et bien marqués

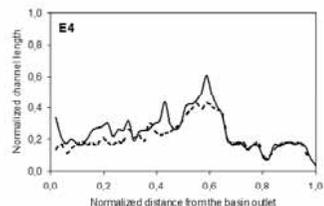
Pointillés: chenaux diffus non permanents

Double trait: chenaux artificiels (fossés) connectés au réseau naturel

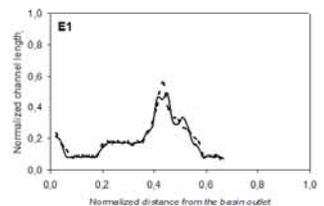
Fonction de transfert géomorphologique



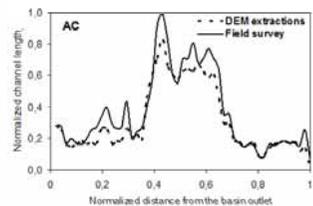
Chenaux principaux



Tous les chenaux naturels



Chenaux principaux + artificiels



Tous les chenaux

Thèse B. Sarrazin, ISARA/Cemagref



Pourquoi (et comment) caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations pour l'étude des rivières péri-urbaines ?

E. LEBLOIS et AL JEANPIERRE, Cemagref

F.RENARD et J. COMBY, EVS

B.CHOCAT, INSA

Pourquoi et comment caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations pour l'étude des rivières péri-urbaines ?

E. Leblois, A.-L. Jeanpierre (Cemagref) ; F. Renard, J. Comby (EVS) ; B. Chocat (INSA)

Les précipitations sont le facteur primaire de la formation des écoulements. Leur extrême variabilité dans le temps et dans l'espace n'est effacée ni lors du partage qui s'effectue au sol entre infiltration, écoulement et évaporation, ni lors de la collecte de l'écoulement et sa concentration en débit par les diverses structures naturelles ou artificielles au sol.

Dès lors, dans un contexte d'un projet scientifique à forte composante hydrologique où l'on veut suivre ou prédire le devenir d'un bassin versant évoluant dans sa structure et dans son occupation du sol, il est impératif de contrôler l'incertitude majeure que peut représenter une connaissance imparfaite des pluies et d'en préserver l'étude principale (chargée de détecter, suivre, prédire l'effet propre de ces transformations au sol).

Deux lignes de travaux sur la variabilité des pluies ont donc contribué au projet AVUPUR, et seront succinctement présentées.

Un premier axe, regroupant des contributions de l'INSA et de l'UMR5600, a consisté à valoriser les estimations de pluie par mesure radar. Ces mesures sont relativement récentes, et à la fois assez imprécises et spatialement exhaustives. Elles offrent à cet égard un regard très complémentaire aux pluviomètres, réputés fournir des données de référence, avec une antériorité plus longue, mais une couverture spatiale très fragmentaire. Les travaux effectués confirment que

- 1) la plus value essentielle de la mesure radar est dans le repérage de l'existence et la localisation des intensités fortes.
- 2) alors que le raccord entre la mesure quantitative radar et la pluviométrie observée par les pluviomètres est usuellement fait par l'adoption d'une correction des intensités en valeur moyenne (revenant à une règle de trois), une correction en distribution, également appelée quantile-quantile, est beaucoup plus efficace. Associée à une réflexion sur la représentativité spatiale des mesures, elle est appelée à permettre une bonne exploitation quantitative aux échelles urbaines et péri-urbaines

Ces travaux seront documentés par quelques illustrations.

Un deuxième axe plus directement porté par le Cemagref a consisté à reconstruire les pluies de la période 1985-2008 à l'aide de techniques de simulations

conditionnelles d'inspiration géostatistique. Les techniques classiques de cette discipline ont été nettement améliorées afin de tenir compte des particularités statistiques du signal pluviométriques.

On s'appuie sur un modèle conceptuel explicite qui est le suivant :

- 1) Homogénéité spatio-temporelle du processus, au moins temporaire. On entend par là qu'au dessus d'un domaine d'étude préalablement fixé (suffisamment modeste pour que les hypothèses qui suivent puissent être considérées comme réalistes), à tout instant ne se présente qu'un type de pluie.
- 2) Intermittence. Au sein d'un même type de pluie se présentent des zones pluvieuses et non pluvieuses, qui se combinent pour former un composite. Sauf exception on admettra qu'il y a indépendance, aux pas de temps et d'espace de la simulation élémentaire, des champs d'indicatrice et de pluie non-nulle.
- 3) Distributions non gaussiennes. Il est d'évidence empirique que les pluies non-nulles (on entend par là que les zéros ont été préalablement écartés) présentent une distribution asymétrique à droite (présence occasionnelle de valeurs très fortes) et ont le plus souvent un coefficient de variation relativement élevé (parfois supérieur à l'unité). Ces éléments orientent vers des distributions non gaussiennes.

Le simulateur est basé sur la technique géostatistique des bandes tournantes, technique qui en essence génère des champs Gaussiens de structure spatiale connue (imposée). Le champ de précipitation est élaboré comme composite d'un champ de précipitation non-nulle et d'un champ d'indicatrice de pluie. Le champ de précipitation non nulle est dérivé d'un premier champ Gaussien simulé. On applique une distribution calée sur l'ensemble des valeurs de précipitations non-nulles observées (il s'agit bien de l'ensemble des pluies non-nulles et pas seulement des valeurs extrêmes). Ces valeurs présentant souvent une forte asymétrie, on aura recours à une distribution compatible, la gaussienne inverse (IG). Le champ d'indicatrice est obtenu par seuillage dans un deuxième champ Gaussien, simulé indépendamment (seuillage).

Pour la simulation conditionnelle, toute valeur de précipitation non-nulle observée doit être transformée en son équivalent Gaussien pour que soit conditionné le champ Gaussien sous-jacent. Il faut réaliser une opération équivalente pour l'indicatrice de précipitation, mais le seuillage n'admet pas de fonction réciproque : nous recourons donc préalablement à un échantillonneur de Gibbs, ou à l'algorithme de Metropolis-Hastings, pour fournir des valeurs Gaussiennes compatibles avec les valeurs d'indicatrice observées.

Les études de pluies se baseront sur des pluies regroupées en ensembles homogènes. En partant d'observations de long terme effectuées sur un réseau pluviométrique il convient de segmenter la chronologie en un calendrier d'occurrences de types de pluies distincts.

Du point de vue de la critique méthodologique on notera que la caractérisation numérique des objets (choix des descripteurs en sémantique, support spatial et temporel) et de la métrique utilisée sont fondamentales pour la pertinence des classifications obtenues. Cette interaction entre le choix des descripteurs de classification et la thématique d'étude est la raison fondamentale du caractère très peu opérant des classifications préexistantes à traiter de questions nouvelles.

Nous avons retenu la classification non supervisée de Kohonen, qui a la particularité de ventiler les individus dans un espace de classes ordonné sur un espace graphique prédéfini (self organizing map, SOM), en privilégiant la continuité entre classes voisines. Cet aspect en fait une technique originale dont l'usage se développe en climatologie-météorologie.

D'un point de vue opérationnel, on a ainsi obtenu un grand nombre de reconstructions des pluies passées sur la région du Grand Lyon et de l'Yzeron, à maille kilométrique, horaire, sur 1985-2008. Ces reconstitutions respectent les valeurs observées aux pluviomètres, et présentent une variabilité qui est sinon celle du modèle postulé pour chaque instant.

Les ordres de grandeur de l'incertitude pluviométrique sont ainsi disponibles ; par illustration, la quantité totale de pluie tombée lors de la crue de décembre 2003 ne serait connue qu'à 20% près.

La variabilité existant entre les différentes reconstructions des pluies montre une tendance à la baisse. Ce net resserrement des estimations avec le temps est fiable à la densité de postes pluviométriques sur le bassin versant de l'Yzeron, significativement renforcée dans les années récentes. Ceci amène un bénéfice scientifiquement objectivable sur les grandeurs mêmes qui intéressent l'hydrologue.

Pour ce qui est de retrouver les débits, et pour la période récente, ces reconstructions sont nettement meilleures que la simple interpolation des pluviomètres, ce qui a été une très agréable constatation.

Pour les périodes anciennes, les pluies conditionnées n'apparaissent pas seulement très différentes les unes des autres, leur disparité semble exagérée. Ceci suggère que certains éléments négligés (existence d'un gradient d'altitude par exemple) devraient être introduits. Les critères de délimitation des classes de pluie doivent inclure des indicateurs de la structure spatiale des pluies, malgré la difficulté de son estimation au jour le jour au vu des seules valeurs pluviométriques.

Pourquoi spatialiser les pluies en hydrologie ?

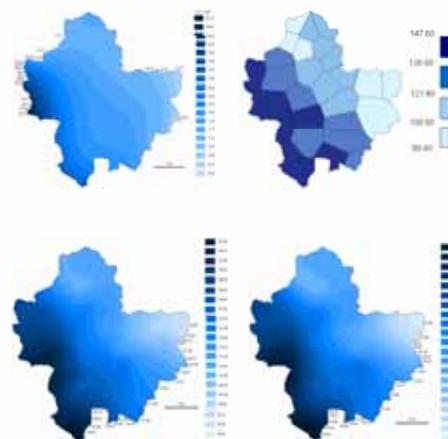


Dans le cas d'un réseau au sol, la pluie est connue sur un nombre limité de postes pluviométriques.

Les bassins ont une étendue spatiale, ils collectent la pluie.

Il est donc nécessaire de spatialiser l'information pour connaître les lames d'eau sur les sous bassins versants

Comment spatialiser les pluies ?

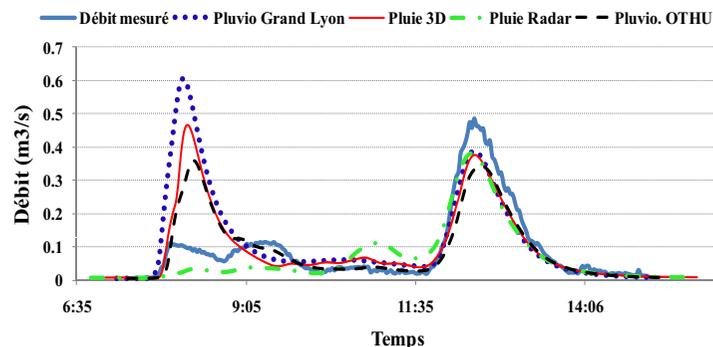


La spatialisation peut se faire avec des méthodes d'interpolation diverses, plus ou moins sophistiquées, sans toujours de justification théorique réelle.

Ici des exemples ne différant que par la méthode

Exemple de l'épisode du 1er et 2 décembre 2003

Impact hydrologique de ce problème



De fait, la mauvaise connaissance de la pluie spatialisée constitue une cause majeure d'incertitude dans les modèles hydrologiques.

Problématique de recherche, notamment dans le cadre d'AVUPUR, à l'échelle du bassin périurbain

Les objectifs de la recherche

- Développer différentes méthodes de spatialisation
- Comparer leur efficacité en termes hydrologiques

Concrètement : les pluies reconstituées permettent-elles simuler correctement des événements hydrologiques choisis ?

Les difficultés

- Caractère intermittent du phénomène pluvieux.
- Diversité des échelles d'espace.
- Diversité des échelles de temps pertinentes.

Première piste : utilisation du radar météorologique

- Le radar fournit une image spatiale (grille de 1km*1km)
- La grandeur mesurée est la réflectivité moyenne d'un volume d'atmosphère à un instant précis
- Il faut donc établir une relation entre cette réflectivité et l'intensité des pluies qui nous importe. De larges travaux de modélisation de la mesure existent dans la communauté.
- Pour nous : évaluation pratique de la qualité de mesure

Évaluation de la qualité de mesure du radar météorologique

- Sites : Satolas (jusqu'à 2001) puis Saint-Nizier d'Azergues
- Réseau **Aramis** de **Météo-France**
- **Bande C** – portée 280 km

Site de Satolas : Localisation à **trop faible altitude** → *mesure erronée données inexploitable*

Site de Saint-Nizier d'Azergues : 2001 - 2006

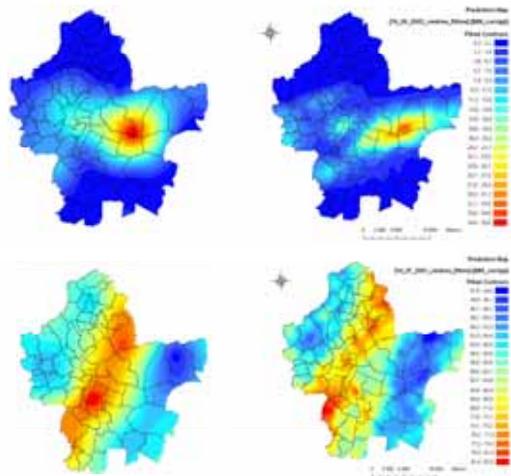
Évaluation de la mesure par **simulation** et **données réelles**

Mesure correcte mais des **échos de sols** sur la partie aval du BV de l'Yzeron, à **filtrer**

Site de Saint-Nizier d'Azergues : 2006 - 2011

Correction des échos de sols par Météo-France : **mesure précise**

Utilisation du radar météorologique



Par rapport aux
seuls pluviomètres

(en haut)

amélioration
significative
de la connaissance
du champ pluvieux

Interpolation pluviomètres Grand Lyon Données radar corrigées par les pluviomètres

Couplage des données radar avec les données au sol

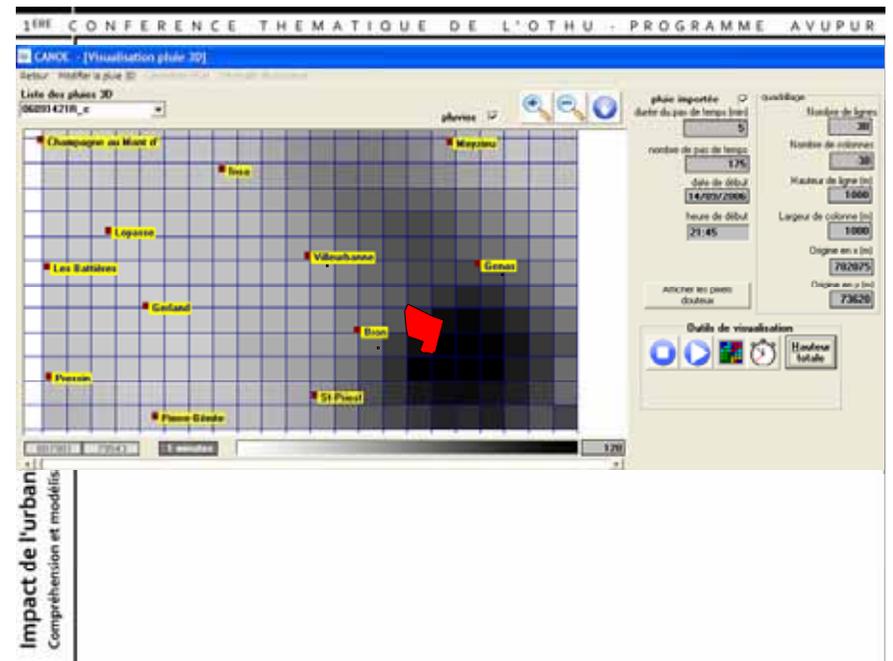
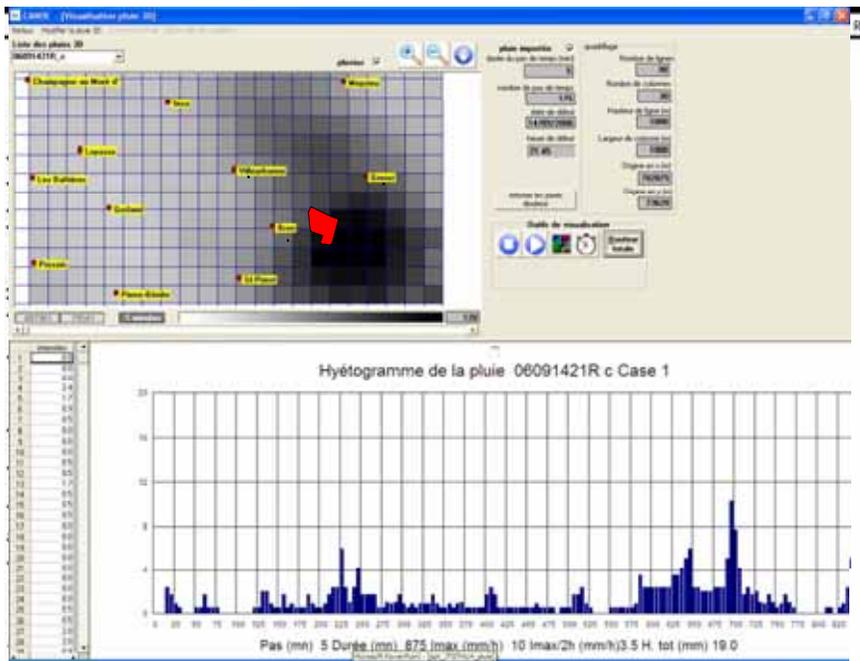
Travail effectué

Développement d'une nouvelle relation intensité = f(réflectivité).

On met en relation la réflectivité radar et les mesures d'intensité de pluie au sol qui correspondent à la même fréquence de dépassement empirique (correction dite « quantile-quantile » ou « d'ajustement des distributions »)

* plus précise que le rattrapage usuel, en règle de trois sur les quantités globales.

* amélioration significative des débits simulés.



1ère CONFERENCE THÉMATIQUE DE L'OTHU - PROGRAMME AVUPUR

2^{ème} piste : Reconstruction des pluies par simulation conditionnée

Les données radar ne sont pas toujours disponibles (en particulier impossible de remonter loin dans le passé).

On souhaite développer une méthode de reconstruction des pluies anciennes utilisant uniquement l'information des pluviomètres.

La variabilité des pluies est telle que la reconstruction précise de la pluie ayant existé paraît définitivement inaccessible.

On considère la pluie comme un phénomène aléatoire connu en certains points.

Dès lors, de multiples reconstructions seront légitimes.

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

1ère CONFERENCE THÉMATIQUE DE L'OTHU - PROGRAMME AVUPUR

Reconstruction des pluies par simulation conditionnée

Simulation conditionnée

- Respecte la variabilité attribuée aux pluies réelles
- Respecte les valeurs observées disponibles

Un corpus technique existe

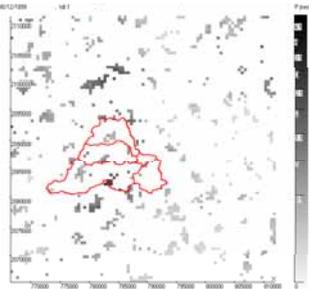
- Géostatistique

5 caractéristiques de la pluie à prendre en compte

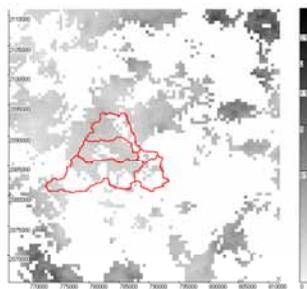
- se déploie dans l'espace et dans le temps.
- se cumule au sol au cours du temps.
- sa distribution est asymétrique.
- est intermittente.
- est parfois associée à une advection perceptible (vent).

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Pluie fine, éparse



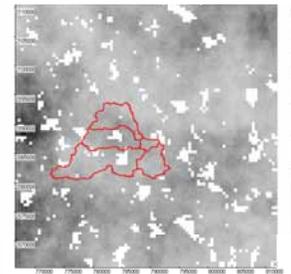
Pluie fine, peu couvrante



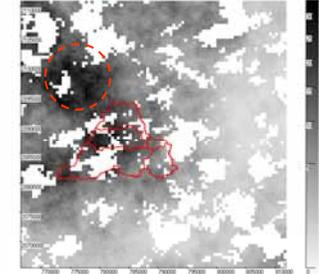
Diversité des types de pluies locaux construits d'après les données pluviométriques

- La théorie utilisée suppose des pluies statistiquement homogènes.
- La séquence historique est segmentée en petites tranches de temps (3H), regroupées en différents types de pluie.
- Les types diffèrent par leur propriétés statistiques.

Pluie forte, très couvrante



Pluie forte, avec phénomènes locaux



Diversité des types de pluies locaux construits d'après les données pluviométriques

Importance du choix des descripteurs et de la technique de classification

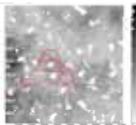
Pluie fine, éparse



Pluie fine, peu couvrante



Pluie forte, très couvrante



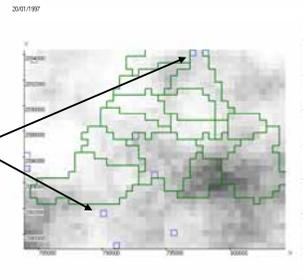
Pluie forte, avec phénomènes locaux



Diversité des types de pluies locaux construits d'après les données pluviométriques



Données ponctuelles

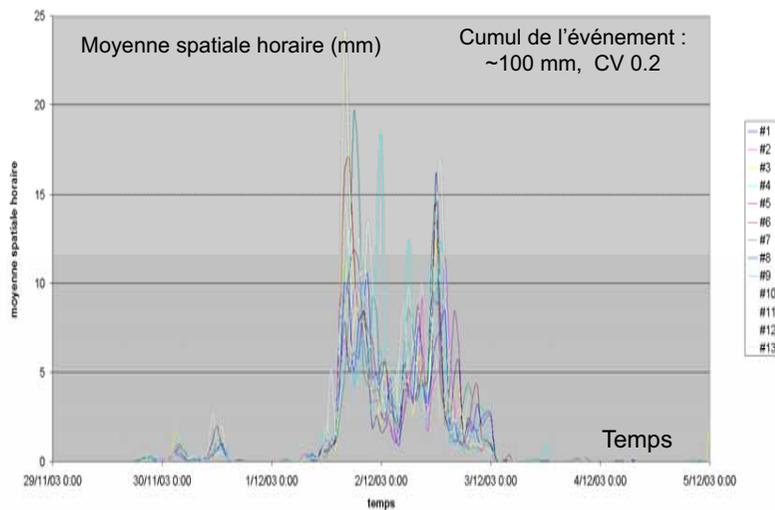


Le type de pluie étant fixé,
les données ponctuelles permettent de conditionner les simulations qui toutes respectent ces valeurs observées.

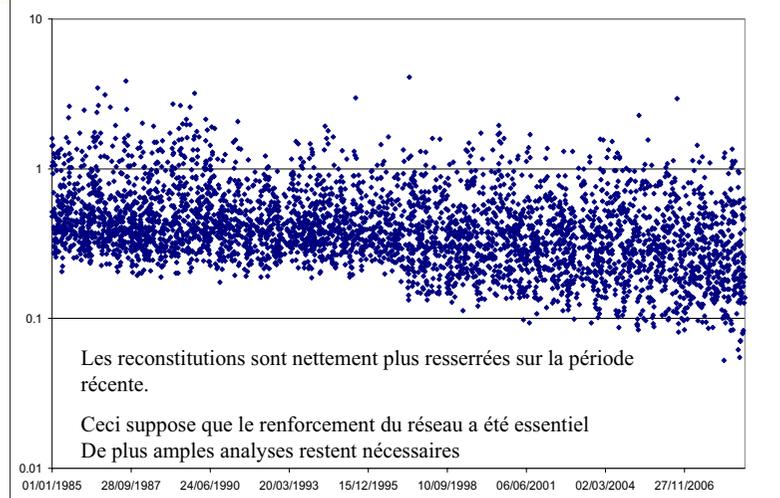
Le champ résultant reste tributaire du modèle stochastique descriptif adopté pour les pluies de cette date.



Résultat : reconstruction de la pluie de bassin de l'Yzeron, au pas de temps horaire, pour l'événement du 1/12/2003



Pluie de bassin : CV inter-réalisation pour les jours pluvieux
Yzeron-Avupur, PB approchée (selon les SBV JAMS, améliorable)



Résultats et Perspectives

Pour les fusions radar & pluviomètres

- une méthode améliorée de correction des lames d'eau radar, la correction quantile quantile.
- une estimation quantitative beaucoup plus finement spatialisée que ce que permettent les seuls pluviomètres.



Résultats et Perspectives

Pour les simulations conditionnelles

- 64 reconstitutions (horaires, kilométriques, 1985-2008) couvrant le Grand Lyon et l'Yzeron ; 1 Go par reconstitution.
- Les reconstitutions sont significativement plus resserrées sur la période récente. Le renforcement du réseau a été essentiel, mais de plus amples analyses restent nécessaires.

Premier examen hydrologique

- Quelques pluies reconstituées appliquées à des modèles de L'Yzeron
 - JAMS, modèle distribué, simplifié, déterministe sans calage (F. Branger)
 - GR4, modèle conceptuel global, calé (AL Jeanpierre).
- Comparés aux simulations de référence, les résultats sont contrastés.
 - ⇒ années 2003-2004 : amélioration très nette du critère de Nash.
 - ⇒ années 1995-2004 : dégradation très nette du critère de Nash.
- ⇒ Conclusions provisoire :
 - ⇒ reconstitutions biaisées et/ou trop dispersées pour les périodes anciennes.
 - ⇒ technique exigeante en matière de données locales



Comment cartographier l'occupation des sols et son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques ?

C. JACQUEMINET, S. KERMADI et K. MICHEL
UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne

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

Jacqueminet C., Kermadi S. , Michel K. , Béal D., Gagnage M., Université de Lyon, UMR CNRS 5600 EVS

Cette étude sur la cartographie de l'occupation du sol répond à deux objectifs :

- Fournir une information appropriée sur l'occupation du sol pour la modélisation du fonctionnement hydrologique d'un bassin versant à une échelle fine (type de couvert végétal, surfaces agricoles, composition et organisation des surfaces artificialisées) ;
- Restituer l'évolution de l'occupation du sol pour alimenter la réflexion sur les changements et les processus qui affectent un bassin versant et influent sur son régime hydrologique.

Le développement méthodologique consiste à analyser les potentialités de capteurs à très haute résolution pour traduire l'hétérogénéité des surfaces à l'échelle la plus fine possible. Plusieurs méthodes de cartographie, manuelles et automatisées, ont été élaborées.

Cette étude développée dans le cadre du programme AVuPUR, a pour terrain d'application le bassin-versant de l'Yzeron, localisé dans la périphérie ouest de Lyon.

La cartographie de l'occupation du sol actuelle

De nombreuses bases de données du type Corine Land Cover (CLC) renseignent sur l'occupation du sol. Leur emploi s'est avéré limité pour deux raisons :

- 1/ leur échelle, trop grossière, par exemple dans le cas de CLC ;
- 2/ une nomenclature basée sur l'usage des surfaces (ex : bâti urbain discontinu) ne permettant pas d'appréhender l'hétérogénéité des surfaces à une échelle fine (jusqu'à la parcelle foncière).

Trois capteurs sont étudiés :

- des images aériennes - BDortho® IGN - (0.50 m de résolution, information dans le visible) du 5/05/2008 ;
- une image satellite Quickbird (2.44 m, visible et proche infrarouge) du 31/08/2008 ;

- une image satellite Spot (2.50 m, visible et proche infrarouge) du 22/08/2008.

Pour chaque image, une méthode de traitement d'images automatisée est mise au point. Ces méthodes sont développées à partir de logiciels et d'algorithmes différents.

L'information extraite renseigne sur les caractéristiques biophysiques des surfaces (tableau 1). La comparaison des trois images, enregistrées à trois dates différentes du calendrier agricole, permet également de reconnaître les parcelles agricoles en végétation permanente des parcelles soumises à une alternance sol nu / couvert végétal.

Le bilan du traitement des trois images montre :

- La nécessité de disposer d'une information dans le proche infrarouge pour renseigner sur les caractéristiques du couvert végétal et mesurer des indices (ETP, LAI) discriminants ;
- Le rôle de la résolution spatiale, notamment pour les surfaces artificialisées, où la très haute résolution de la BDortho® IGN (0.50 m) apporte une restitution du bâti et de la voirie très précise, alors que ces objets apparaissent agrégés sur les cartes issues des images satellites (2.44 et 2.50 m). Ces variations de restitution affectent les mesures de superficie réalisées ensuite.
- L'apport de l'algorithme de segmentation orienté objet pour extraire plus précisément les contours des objets (bâti, parcellaire agricole...).

Occupation du sol et variables hydrologiques

L'information sur l'occupation du sol alimente la modélisation hydrologique sous plusieurs formes :

- Chaque type d'occupation du sol est interprété en termes de perméabilité et, pour la végétation, d'ETP également ;

- Chaque unité hydrologique de référence, par exemple, le sous bassin versant, est décrite par : son occupation du sol dominante (forêt, rurale ou urbaine), le pourcentage de surfaces imperméabilisées...

La cartographie de l'évolution de l'occupation du sol

Deux méthodes de cartographie multi-temporelle sont conduites à partir de deux types d'images : 1/ des photographies aériennes IGN de 1970, 1990 et 2008 et 2/ 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) est 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...) (tableau 1). 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 constitue 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. (tableau 1 et diaporama).

Conclusion

Cette étude atteste de l'intérêt des images à très haute résolution pour fournir une information appropriée à l'analyse de paramètres hydrologiques. Les méthodes automatisées sont aisément reproductibles mais apportent une information essentiellement biophysique sur les surfaces. L'emploi de la photo-interprétation manuelle présente l'avantage de renseigner sur les usages et en général, de produire une information spécifique aux besoins de l'utilisateur.

Tableau 1 : Nomenclatures des cartes d'occupation du sol réalisées :

2008		Images Spot 1990 - 2008	Photos aériennes 1970 - 2008
BDortho [®] IGN	Quickbird, Spot		
Traitements d'image automatisés			Photo- interprétation manuelle
Forêt	Conifères	Conifères	Forêt, bois
Herbacées	Feuillus	Feuillus	Vergers, vignes
Sols nus	Herbacées I*	Herbacées I*	Prairies et cultures
Eau	Herbacées II*	Herbacées II*	Jardins, maraîchage
Piscines	Sols nus	Sols nus	Eau
Bâti	Eau	Eau	Habitat individuel
Routes, parkings	Bâti	Bâti	Habitat collectif
	Routes, parkings	Routes, parkings	Centre ou pôle
			Grandes propriétés
			Zones d'activités
			Equipements divers
			Exploitations agricoles
			Voirie

* Ces deux classes d'herbacées sont distinguées selon l'intensité de l'activité chlorophyllienne du couvert végétal

Publications des auteurs

Beal D., Gagnage M., Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., Jankowsky S., Branger F., Braud I., 2009. Cartographie de l'occupation du sol pour la modélisation hydrologique spatialisée du cycle de l'eau en zone périurbaine. Actes

du XXVII^e congrès INFORSID, Atelier SIDE2009 « Systèmes d'Information et de Décision pour l'Environnement », Toulouse, France, 26 mai 2009, 23-32

Jacqueminet, C., Kermadi, S., Michel, C., Jankowsky, S., Braud, I., Branger, F., Béal, D., Gagnage, M., 2010. 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

Kermadi S., Florent R., Jacqueminet C., Michel K., 2010, Inondations et occupation du sol dans un bassin versant périurbain : l'Yzeron (ouest lyonnais), *Actes du colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, n°23, Rennes, pp. 313-318

Fiche technique OTHU n°, Méthodes de cartographie de l'occupation du sol et de son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques de bassins versants périurbains (2011) (en préparation)

Jacqueminet C. , Kermadi S. , Michel K. , Béal D. , Gagnage M. , 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). *In Journal of Hydrology*, special issue dedicated to the "Hydrology of peri-urban rivers: processes and modelling".(en préparation)

Les besoins du suivi hydrologique

- Evaluer l'impact de l'occupation du sol et de ses changements sur le fonctionnement hydrologique du bassin / modélisation **à une échelle fine** (parcelle cadastrale) 
- Renseigner sur les propriétés hydrologiques des surfaces :
 - Leur hétérogénéité et les chemins de l'eau
 - Leurs capacités d'infiltration / imperméabilisation
 - La nature des couverts végétaux (sempervirents, décidus, permanents ou non) pour l'évaluation d'indices (ETP, LAI)
- Renseigner sur les usages / évolution et prospective

Cartographie de l'occupation du sol

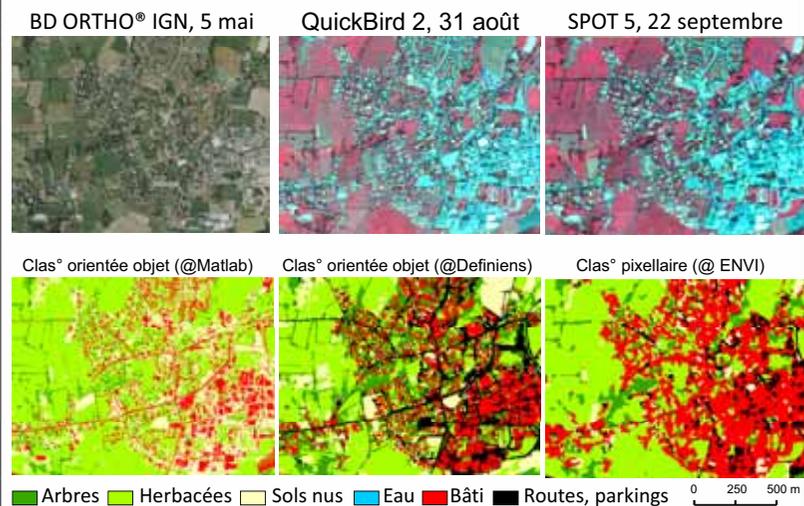
- Objectifs méthodologiques :
 - Quelles images de base : résolution, information spectrale ?
 - Quels méthodes de cartographie : automatisée(s) ou manuelle ? leur reproductibilité ?
 - **Occupation actuelle** : analyse des potentialités de capteurs optiques à très haute résolution
 - **Occupation multi-temporelle** : photographies aériennes ou images satellites ?
- Application : le BV de l'Yzeron (Lyon ouest)

Cartographie de l'occupation du sol actuelle (2008)

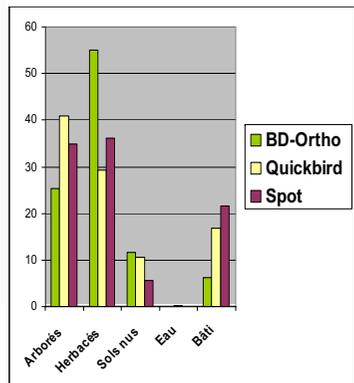
- Comparaison de trois images :

Images	BDortho® IGN	QuickBird 2	SPOT 5
Résolution	0.50 m	2.44 m	2.50 m
Information spectrale	Visible	Visible + Proche-infrarouge	Visible + Proche-infrarouge
Date d'acquisition	5 mai	31 août	22 septembre
Traitement numérique	Segmentation orientée objet (@Matlab)	Segmentation orientée objet (@Definiens)	Classification pixellaire (@ ENVI)
Nombre de types d'occupation du sol extraits	6 ex : Forêt	8 Conifères Feuillus	8 Conifères Feuillus

Occupation du sol actuelle (2008)



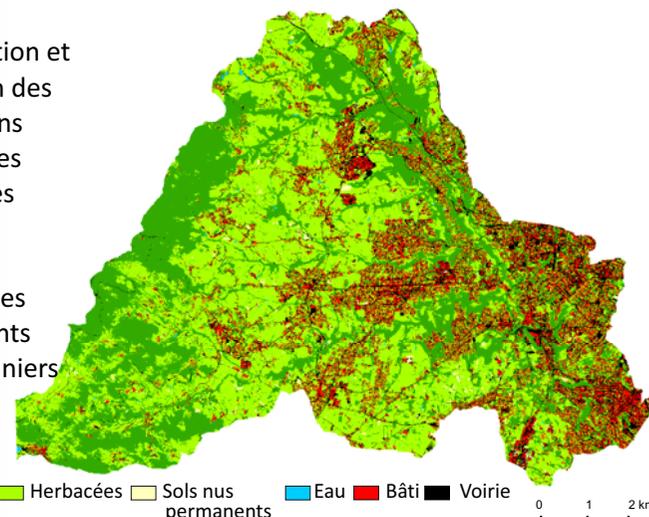
Occupation actuelle : bilan



- La résolution :
 - 0.50 m : objets bâtis délimités finement
 - 2.50 m : objets bâtis agrégés
- La date de l'image :
 - Herbacées +/- couvrantes / pratiques agricoles
- Méthodes
 - Segmentation orientée objet adéquate pour l'extraction fine des objets bâtis

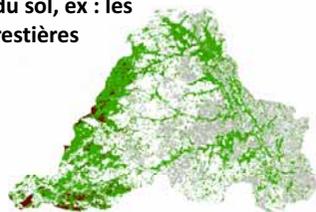
Occupation actuelle : synthèse

- Compilation et vérification des informations extraites des trois images
- Mise en évidence des changements intersaisonniers

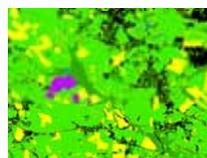


Les informations extraites

➤ Distribution spatiale des types d'occupation du sol, ex : les superficies forestières

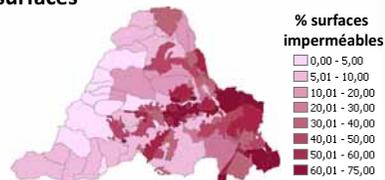


➤ Cultures annuelles et pérennes



➤ Taux d'imperméabilisation des surfaces

Occupation du sol	Propriété hydrologique
Arbres	Perméable
Herbacées	
Sols nus	
Eau	Imperméable
Bâti	
Voirie	



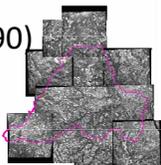
Cartographie multi-temporelle de l'occupation du sol

- Méthode 1 : photographies aériennes de 1970 à 2008
Pas de temps de 20 ans
- Méthode 2 : images satellites Spot de 1990 à 2008
Pas de temps de 10 ans

Photographies aériennes	2008 : couleurs naturelles	1970 à 1990 : N/B
Images satellites Spot	2008, résolution : 2.50 m	1990 à 1999, R : 10 et 20 m

Cartographie multi-temporelle sur photographies aériennes

- Géoréférencement et mosaïcage (1970, 1990)
- Cartographie rétrospective
- Photo-interprétation manuelle
- Typologie basée sur l'occupation et les usages du sol

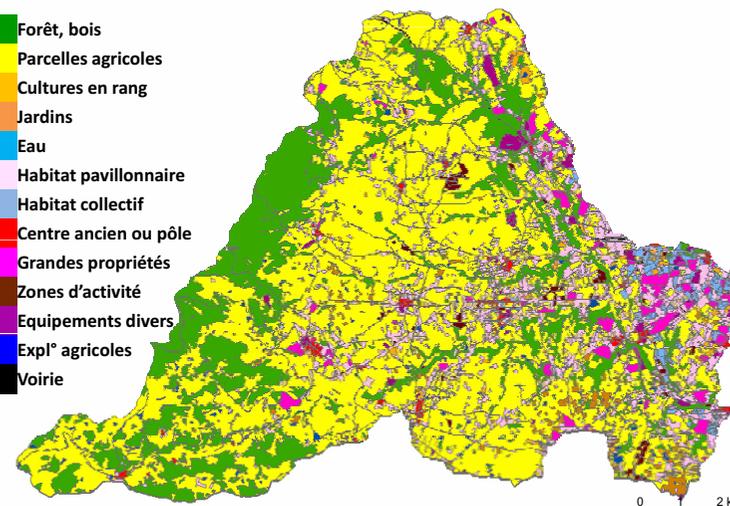


Ex : usages des surfaces artificialisées

Habitat individuel
Habitat collectif
Centre ancien
Zone d'activité
Equipement divers
Voirie

Occupation/usages du sol en 1970

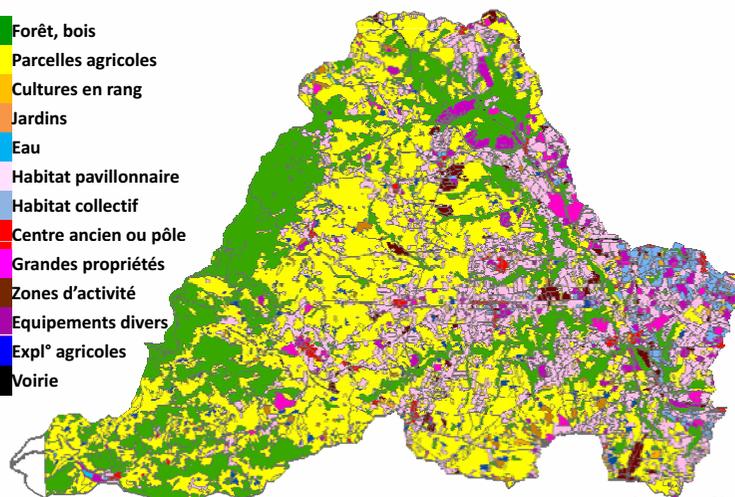
- Forêt, bois
- Parcelles agricoles
- Cultures en rang
- Jardins
- Eau
- Habitat pavillonnaire
- Habitat collectif
- Centre ancien ou pôle
- Grandes propriétés
- Zones d'activité
- Equipements divers
- Expl^o agricoles
- Voirie



0 2 km

Occupation/usages du sol en 1990

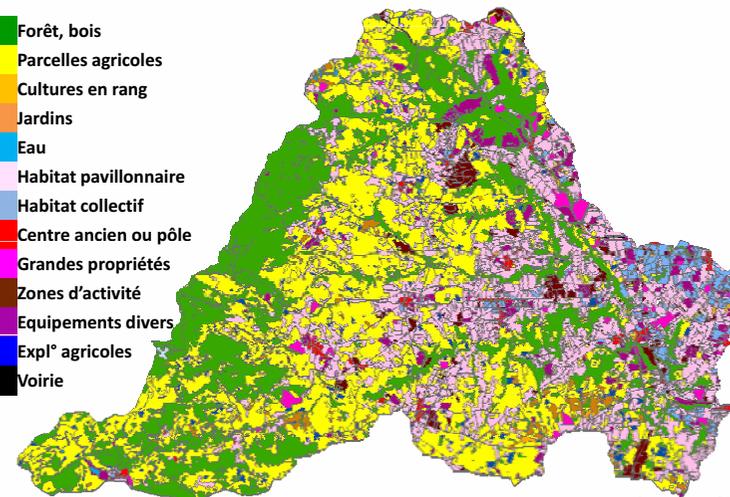
- Forêt, bois
- Parcelles agricoles
- Cultures en rang
- Jardins
- Eau
- Habitat pavillonnaire
- Habitat collectif
- Centre ancien ou pôle
- Grandes propriétés
- Zones d'activité
- Equipements divers
- Expl^o agricoles
- Voirie



0 2 km

Occupation/usages du sol en 2008

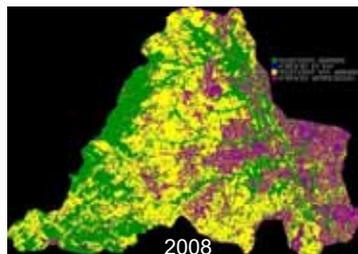
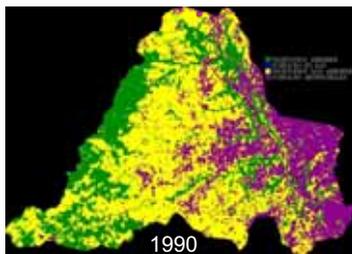
- Forêt, bois
- Parcelles agricoles
- Cultures en rang
- Jardins
- Eau
- Habitat pavillonnaire
- Habitat collectif
- Centre ancien ou pôle
- Grandes propriétés
- Zones d'activité
- Equipements divers
- Expl^o agricoles
- Voirie



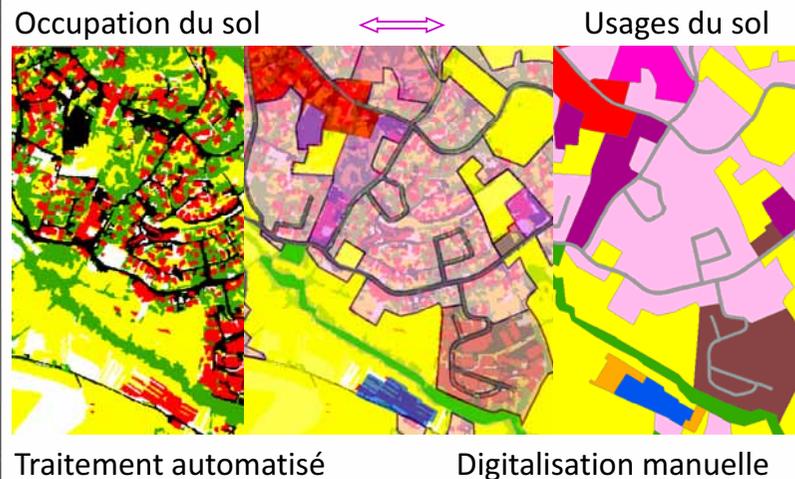
0 2 km

Cartographie multi-temporelle sur images satellites Spot

- Traitement numérique semi-automatisé
- Rééchantillonnage des images à 10 m
- Typologie basée sur les propriétés biophysiques des surfaces



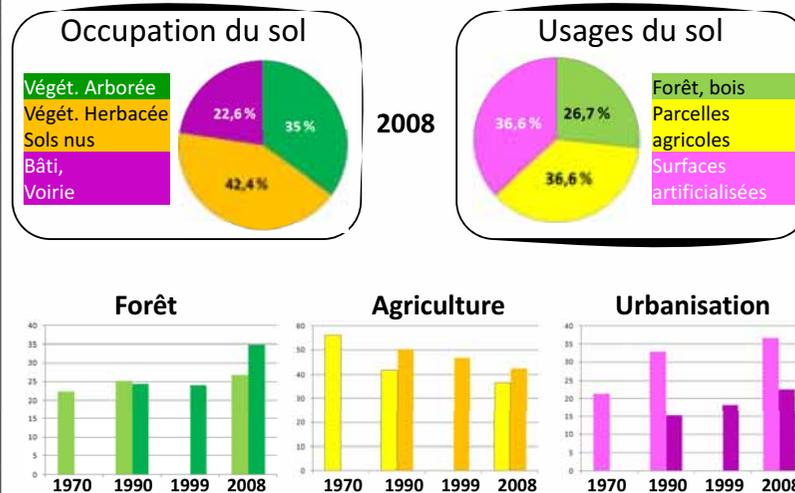
Conclusion : cartes réalisées



Conclusion : apports des méthodes

- La cartographie des **propriétés biophysiques** à partir de l'imagerie aérienne et satellite est automatisée et reproductible sur des secteurs étendus
 - **des objets** dont on évalue les propriétés hydrologiques : capacité d'infiltration, évapotranspiration...
- La cartographie des **usages** nécessite une analyse visuelle sur des images à très haute résolution = méthode manuelle
 - **des entités spatiales** qui informent sur les pratiques des usagers du bassin-versant : délimitation, intensité...

Quantification des changements

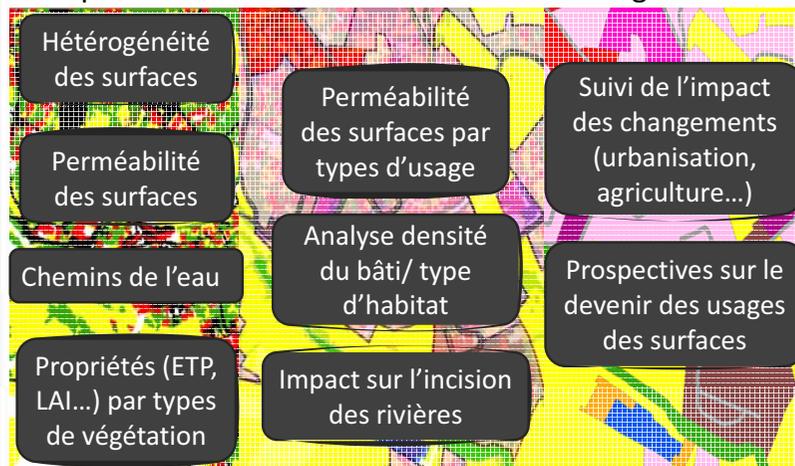


Conclusion : les applications

Occupation du sol



Usages du sol



Quantification des changements

Photographies aériennes				Images satellites Spot			
Usages du sol (%)	1970	1990	2008	Occupations du sol	1990	1999	2008
Forêt, bois	22.4	25.2	26.7	Végétation arborée	24.3	23.9	35
Parcelles agricoles	56.2	41.8	36.6	Végétation herbacée, sols nus	50.4	46.7	42.4
Surfaces en eau	0.02	0.14	0.16	Surfaces en eau	0.01	0.01	0.01
Surf. artificialisées	21.4	32.8	36.6	Bâti, voirie	15.2	18.2	22.6



Les apports d'un atelier de prospective territoriale pour anticiper les changements d'occupation du sol

C. DODANE, T. JOLIVEAU et A. HONEGGER
UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne

Les apports d'un Atelier de prospective territoriale pour anticiper les changements d'occupation du sol

Dodane C. Joliveau T., Honegger A., UMR CNRS 5600, Université de Saint Etienne

Étudier et modéliser l'impact de l'urbanisation et de l'anthropisation passée et future des bassins versants périurbains sur les flux d'eau nécessite de pouvoir apprécier les évolutions de l'occupation du sol à long terme au moyen de simulations spatiales. La simulation des évolutions de l'occupation du sol future est elle-même dépendante de la compréhension et de la prise en compte des facteurs à l'origine des changements de l'occupation du sol dans un bassin versant.

Dans le cadre du projet de recherche ANR AVuPUR, un Atelier a été mis en place. Cet Atelier relève d'une démarche prospective, qui consiste à combiner prospective territoriale et simulation spatiale.

La mise en œuvre de cette démarche constitue le principal développement méthodologique de ces travaux. À l'issue du projet de recherche, ce dispositif pourra être approfondi au service des collectivités territoriales et de leurs partenaires institutionnels.

Objectifs

Le premier objectif est de produire une analyse partagée des problèmes actuels, des tendances et des facteurs de changement de l'occupation du sol.

Le deuxième consiste à anticiper les évolutions de l'occupation du sol par le moyen de scénarios à long terme.

Enfin, le troisième objectif repose sur l'intégration des différents scénarios élaborés avec les acteurs du territoire dans les simulations des évolutions de l'occupation du sol future.

Les résultats obtenus sont des cartes des usages du sol en 2030. Elles peuvent être utilisées pour intégrer l'évolution de l'imperméabilisation des

sols urbanisés à long terme dans la modélisation des flux d'eau dans un bassin versant périurbain.

La démarche

L'Atelier de prospective territoriale

L'Atelier de prospective territoriale a réuni une quinzaine d'acteurs du territoire et d'experts thématiques dans les domaines de l'eau, de l'agriculture, de la forêt, de l'environnement, de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire. Il s'est déroulé en mai et juin 2010, durant trois matinées, dans une commune du bassin versant de l'Yzeron.

Le principe de la première séance repose sur l'organisation d'un débat entre les experts participants sur le devenir du bassin versant, à partir de supports cartographiques variés qui présentent les dynamiques passées de l'occupation du sol dans le bassin versant entre 1990 et 2008.

Ce travail de diagnostic collaboratif très fouillé produit un document qualitatif de type prospectif rassemblant les différents points de vue du collectif. Il permet d'organiser les données nécessaires à la représentation de différentes thématiques, ainsi que de réfléchir sur les facteurs ayant déterminé les changements de l'occupation du sol dans le passé et de construire des schémas explicatifs pour le futur.

La deuxième séance est dédiée principalement à l'écriture de scénarios prospectifs d'évolution de l'occupation du sol à partir de l'analyse partagée des problèmes actuels, des tendances et des facteurs de changement de l'occupation du sol.

La troisième séance est consacrée à la présentation et à la discussion des simulations spatiales informatisées produites entre temps en laboratoire, car elles demandent une importante expertise technique.

Modélisation et simulation

L'outil utilisé est le Logiciel Land Change Modeler (LCM) développé par le Clark Lab de l'Université de Worcester aux États-Unis (logiciel propriétaire).

Les données utilisées proviennent d'une cartographie de l'occupation du sol en 1990 et 2008, réalisée à partir de la digitalisation manuelle de photographies aériennes de l'IGN (Jacqueminet C., Michel K., Kermadi S., 2010).

Les évolutions de l'occupation du sol passée entre 1990 et 2008 ont été modélisées à partir de facteurs géographiques. La première difficulté est de pouvoir construire des modèles des transitions passées statistiquement valides. La seconde difficulté est de construire des simulations tenant compte des éléments issus de la réflexion prospective. Pour cela, il est possible de jouer sur les paramètres disponibles dans l'outil cartographique. Premièrement, la matrice de transition permet de fixer le rythme de chacune des transitions d'occupation du sol (par exemple pour simuler une densification). Deuxièmement, le paramétrage des zonages et des effets offre la possibilité de freiner ou d'accélérer une ou plusieurs transitions dans certaines zones ou à une certaine distance d'un lieu. Il est possible d'intégrer dans la simulation les zonages des Plans d'Occupation des Sols et des Plans Locaux d'Urbanisme, notamment en prenant en compte les futures zones à urbaniser ou bien en respectant les zonages agricoles et naturels qui limitent ou interdisent les nouvelles constructions. Les effets sont liés à des projets ou à des situations et dépendent plus ou moins directement de réalités sociétales : l'affirmation d'une polarité accrue dans un centre urbain donné, l'instauration d'une gare ou d'un échangeur routier, etc.

C'est par l'intermédiaire de variantes sur un scénario tendanciel que les discussions de l'Atelier de prospective territoriale sont traduites en simulations spatiales à l'horizon 2030.

Enfin, les résultats des simulations spatiales sont soumis aux acteurs du territoire afin de collecter leurs avis. L'objectif est d'obtenir une validation d'ensemble des travaux par les participants de l'Atelier, en respectant les quatre critères de validation de la prospective territoriale : pertinence, cohérence, vraisemblance, transparence (Godet, 1991).

Il ne faut pas sous-estimer le temps nécessaire pour conduire une telle démarche prospective, d'autant plus dans un cadre expérimental qui avait pour objectif de concevoir la méthodologie de la démarche (atelier de prospective territoriale, modélisation et simulation). Sans comptabiliser ce temps de conception, et sous réserve de la disponibilité de données sur deux dates d'occupation du sol, il semble raisonnable de penser que la démarche prospective peut se dérouler sur 4 à 6 mois.

Les apports

Un Atelier de prospective territoriale a pour objectif principal d'enrichir la connaissance générale du système territorial sur lequel il porte. C'est un outil collectif permettant de « faire jouer » et d'« activer » la réflexion en s'appuyant sur trois types de méthodes : la constitution d'un jeu de données multi-temporelles sur l'occupation du sol, la mobilisation de techniques de simulations spatiales et l'élaboration d'une démarche prospective.

Il produit des résultats à trois niveaux :

- Une amélioration de l'information (données) et un approfondissement des dispositifs d'observation du territoire,
- Une meilleure connaissance des processus spatiaux passés et en cours, afin d'anticiper les processus futurs (relations dynamiques),
- Une prise de recul sur les outils de la planification territoriale en éprouvant leur efficacité.

Références

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.

Godet M., 1991. *De l'anticipation à l'action : manuel de prospective et de stratégie*. Paris : Dunod, 390 p.

Jacqueminet C., Michel K., Kermadi S., 2010. 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., 2010. 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.

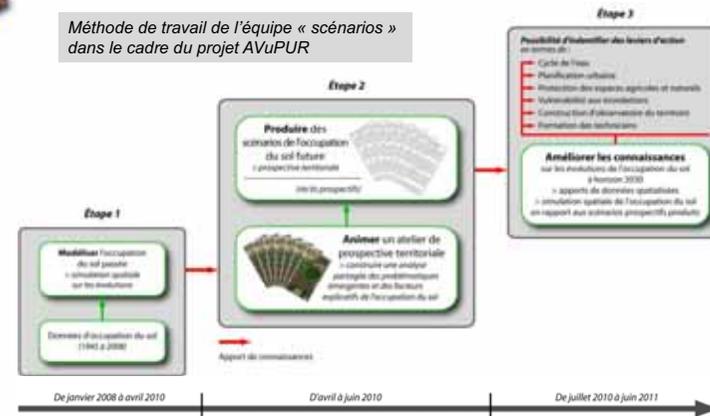
L'objectif de l'équipe

- Anticiper les évolutions de l'occupation du sol par le moyen de scénarios à long terme.

Notre démarche a donc été de combiner prospective territoriale et simulation spatiale dans le cadre d'un Atelier de prospective territoriale.

Anticiper les changements d'occupation du sol

Méthode de travail de l'équipe « scénarios » dans le cadre du projet AVuPUR

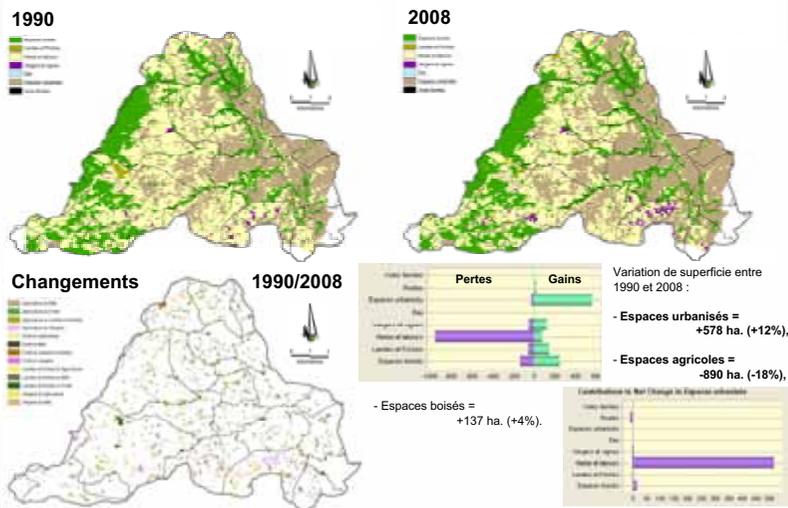


Étape 1 : cartographier et modéliser les évolutions de l'occupation du sol passée (1990 - 2008).

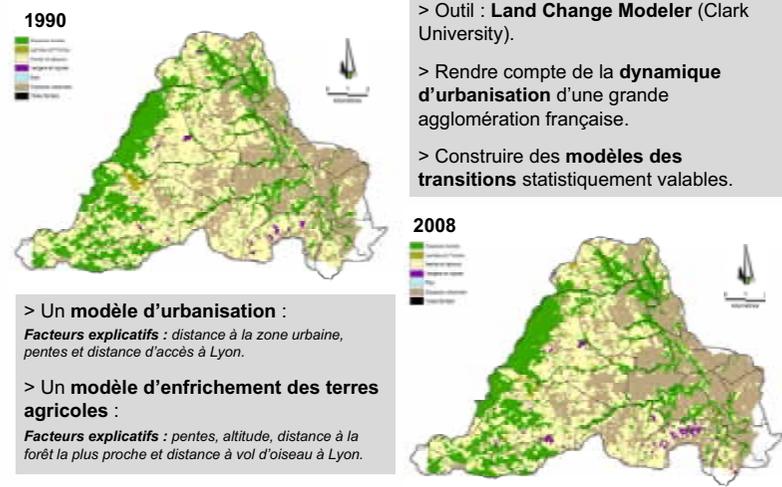
Étape 2 : aboutir à une analyse partagée des problèmes actuels, des tendances et des facteurs de changement de l'occupation du sol et élaborer des scénarios à long terme en Atelier de prospective territoriale pour anticiper les évolutions de l'occupation du sol future.

Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030 en intégrant les différents scénarios produits avec des experts thématiques et de l'aménagement du territoire.

Étape 1 : modéliser les évolutions de l'occupation du sol passée (1990 - 2008)



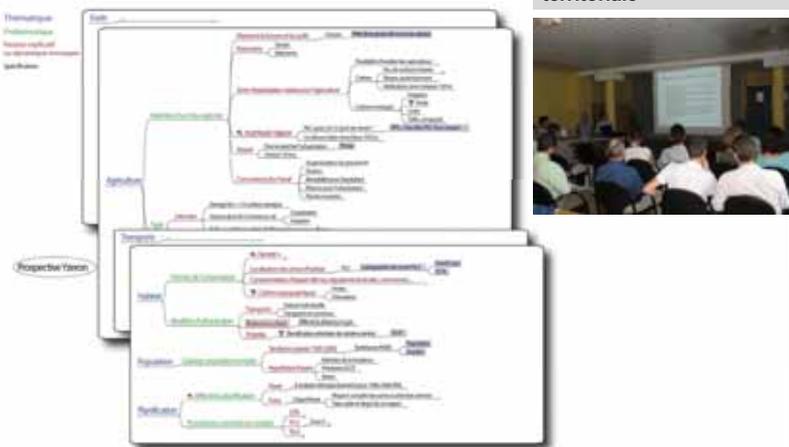
Étape 1 : modéliser les évolutions de l'occupation du sol passée (1990 - 2008)



Étape 2 : élaborer des scénarios de l'occupation du sol future en Atelier de prospective territoriale

Un système des composantes explicatives des évolutions de l'occupation du sol

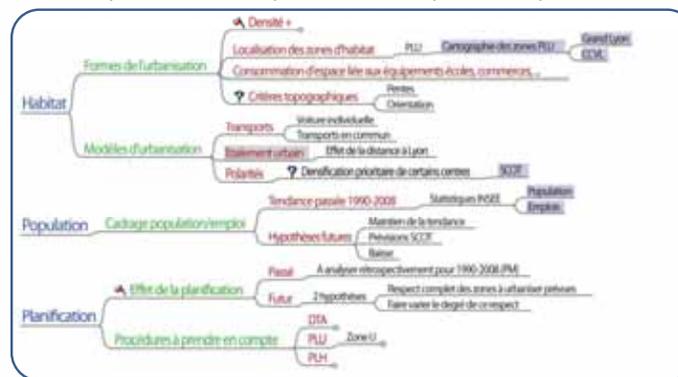
Un atelier de prospective territoriale



Étape 2 : élaborer des scénarios de l'occupation du sol future en Atelier de prospective territoriale

Un système des composantes explicatives des évolutions de l'occupation du sol

Thématique – Problématique – facteurs explicatifs - Spécifications



Étape 2 : élaborer des scénarios de l'occupation du sol future en Atelier de prospective territoriale

Des scénarios consultables sur : <http://e-geo.fr/Yzeron/Accueil.html>

	Rythme des changements dans l'occupation du sol (2008 - 2030) par rapport au passé (1990 - 2008)	Application des règlements	Application d'un effet polarité, déprise agricole	Scénarios 2030
51	Inchangé	Pas de contrainte réglementaire	Sans effet (110008 - 110002)	S1Aa : densification minimale (tendance), sans contraintes réglementaires de la planification et sans effet.
			Effet déprise agricole (110008 - 110002)	S1Ac : densification minimale (tendance), sans contraintes réglementaires, mais avec effet de déprise agricole.
		Contraintes réglementaires	Sans effet (110008 - 110002)	S1Ba : densification minimale (tendance), avec contraintes réglementaires de la planification, mais sans effet.
			Effet polarité (110008 - 110002)	S1Bb : densification minimale (tendance), avec contraintes réglementaires de la planification et effet de polarité SCOT.
52	Ralentissement étalé urbain	Contraintes réglementaires	Sans effet (110008 - 110002)	S2Ba : densification accrue avec contraintes réglementaires de la planification, mais sans effet de polarité.
53	Accélération déprise agricole	Pas de contrainte réglementaire	Sans effet (110008 - 110002)	S3Aa : accélération de la déprise agricole (enfouissement), sans contrainte réglementaire et sans effet.

Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Paramétrage de la simulation :

1. Jouer sur la **matrice de transition** qui permet de fixer le rythme de chacune des transitions d'occupation du sol.

	Espaces boisés	Landes et Fiches	Herbe et labours	Vergers et vignes	Eau	Espaces urbanisés
Espaces boisés	0.9553	0.0225	0.0090	0.0007	0.0001	0.0123
Landes et Fiches	0.3513	0.4753	0.1442	0.0001	0.0000	0.0292
Herbe et labours	0.0429	0.0178	0.7975	0.0259	0.0004	0.1155
Vergers et vignes	0.0177	0.0079	0.4661	0.4390	0.0000	0.0693
Eau	0.0142	0.0000	0.0148	0.0000	0.9678	0.0032
Espaces urbanisés	0.0045	0.0002	0.0011	0.0000	0.0000	0.9942

0.3513 Mutation très probable
 0.1155 Mutation peu probable

Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Paramétrage de la simulation :

2. Jouer sur les **zonages de la planification** ou des effets qui permettent de **contraindre** ou **d'inciter** une ou plusieurs transitions dans certaines zones.



> Documents de planification :

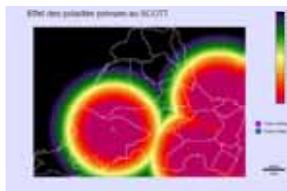
- POS et PLU : zones à urbaniser, Zones naturelles et agricoles, Périmètres de protection des espaces agricoles et naturels périurbains



Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Paramétrage de la simulation :

2. Jouer sur les **zonages de la planification** ou des effets qui permettent de **contraindre** ou **d'inciter** une ou plusieurs transitions dans certaines zones.



> Documents de planification :

- SCOT agglomération lyonnaise / de l'ouest lyonnais : effet polarité.



> Projets d'infrastructures :

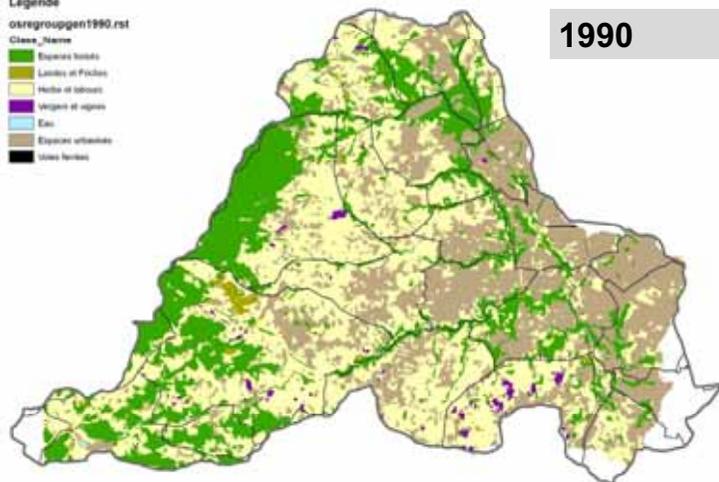
- TOP, COL.

Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Légende
osregroupgen1990.rst

Classe_Nom	Description
Esprance boisée	Esprance boisée
Laindes et Pichon	Laindes et Pichon
Herbe et labour	Herbe et labour
Verger et vignes	Verger et vignes
Eau	Eau
Esprance urbanisée	Esprance urbanisée
Voies ferrées	Voies ferrées

1990

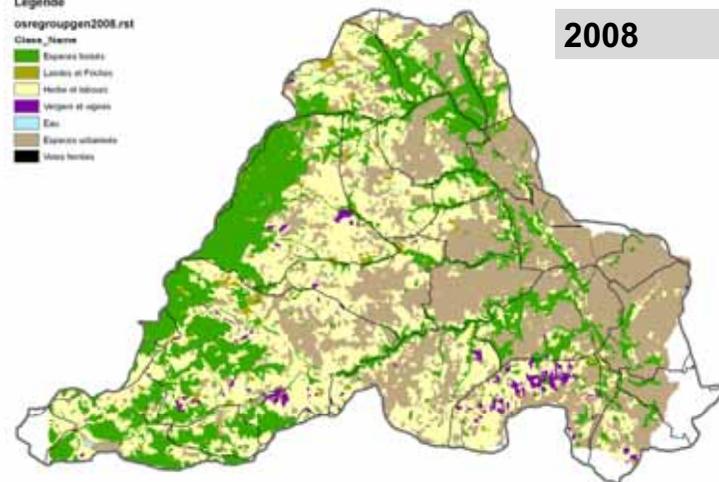


Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Légende
osregroupgen2008.rst

Classe_Nom	Description
Esprance boisée	Esprance boisée
Laindes et Pichon	Laindes et Pichon
Herbe et labour	Herbe et labour
Verger et vignes	Verger et vignes
Eau	Eau
Esprance urbanisée	Esprance urbanisée
Voies ferrées	Voies ferrées

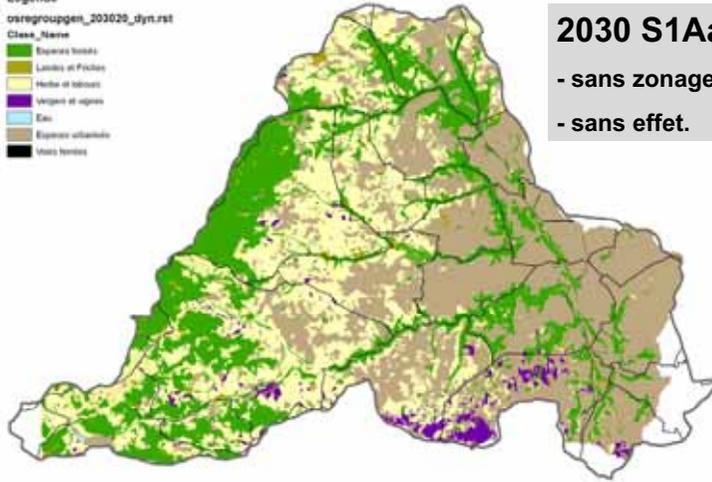
2008



Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Légende
osregroupgen_203020_dyn.rst
Class_Nome

- Espaces boisés
- Landes et Prêches
- Herbes et talons
- Vergers et agers
- Eau
- Espaces urbanisés
- Vides herbes

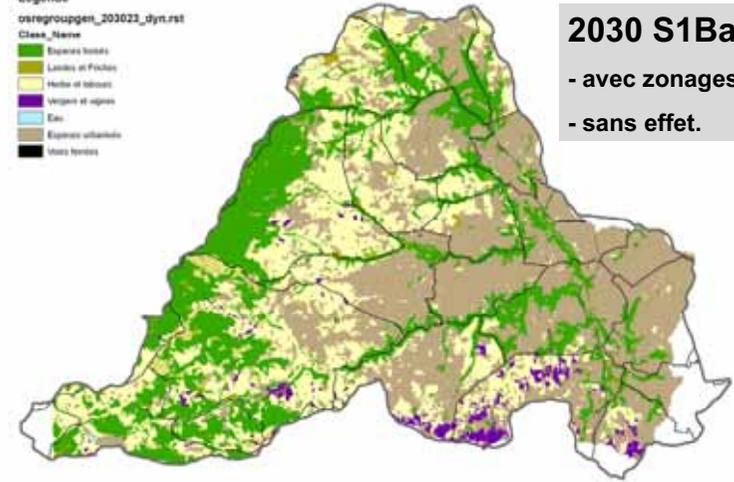


2030 S1Aa
- sans zonage,
- sans effet.

Étape 3 : simuler les évolutions de l'occupation du sol à horizon 2030

Légende
osregroupgen_203022_dyn.rst
Class_Nome

- Espaces boisés
- Landes et Prêches
- Herbes et talons
- Vergers et agers
- Eau
- Espaces urbanisés
- Vides herbes

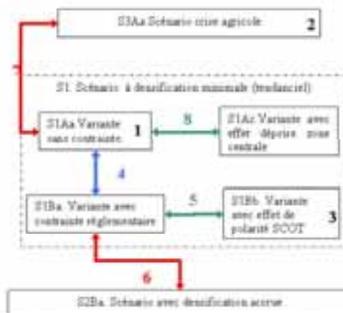


2030 S1Ba
- avec zonages,
- sans effet.

Les apports de l'Atelier de prospective

Des scénarios intégrés dans les simulations spatiales

Conversions possibles
 -> Vitesse de changement
 -> Contraintes
 -> Effet



Évolution passée 1990-2008 :
0. [1990_2008](#)

Visualisation des résultats des scénarios sans contraintes réglementaires :

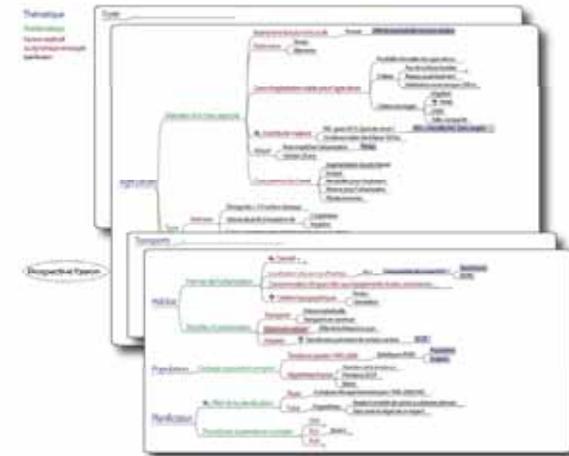
1. [2008_2030S1Aa](#) : S. Densification minimale
2. [2008_2030S3Aa](#) : S. Déprise agricole
3. [2008_2030S1Ba](#) : S. Densification minimale & contrainte réglementaire

- Comparaison des scénarios entre eux :
4. [2030S1Aa_2030S1Ba](#) : Impact des contraintes réglementaires dans le cadre d'une densification minimale
 5. [2030S1Ba_2030S1Bb](#) : Impact de l'effet de renforcement des polarités des SCOT dans le cadre d'une densification minimale
 6. [2030S1Ba_2030S2Ba](#) : Impact d'une densification par réduction de l'étalement de 10 % en prenant en compte les contraintes réglementaires
 7. [2030S1Aa_2030S3Aa](#) : Impact du changement de transition agricole dans un contexte de densification minimale sans contrainte ni effet
 8. [2030S1Aa_2030S1Ac](#) : Impact d'un effet de déprise agricole dans la zone centrale dans le cadre d'une densification minimale sans contraintes réglementaires

Les apports de l'Atelier de prospective

Analyse des changements de l'occupation du sol

> Comment enrichir la connaissance du système territorial ?



Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Les apports de l'Atelier de prospective

Cartographie de l'occupation du sol

> Analyse des processus passés et réflexions sur les processus futurs

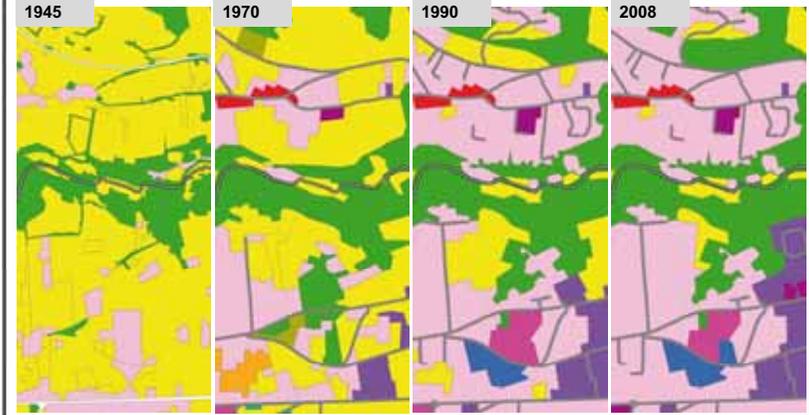


Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Les apports de l'Atelier de prospective

Cartographie de l'occupation du sol

> Analyse des processus passés et réflexions sur les processus futurs

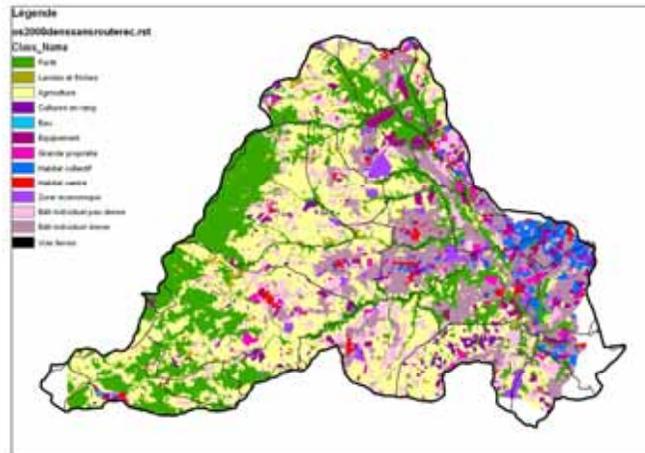


Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

Les apports de l'Atelier de prospective

Cartographie de l'occupation du sol (usages)

> Comment simuler la densification ?



Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

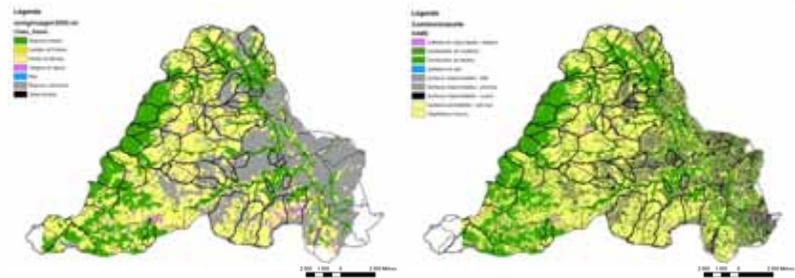
Les apports de l'Atelier de prospective

Cartographie des usages et de l'occupation du sol

> Comment quantifier l'impact de l'artificialisation de BV sur les flux d'eau ?

Les usages du sol en 2008

L'occupation du sol en 2008 (propriétés physiques des sols)

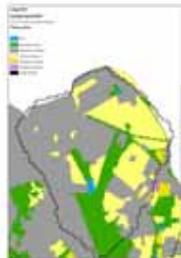


Les apports de l'Atelier de prospective

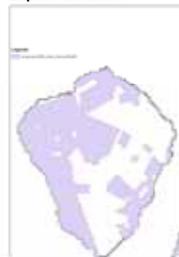
Cartographie des usages et de l'occupation du sol

> Comment estimer l'imperméabilisation des sols en 2030 ?

Les usages du sol en 2008



Espace urbanisé



L'occupation du sol en 2008

(propriétés physiques des sols)



Propriétés physiques des sols dans l'espace urbanisé



Taux d'imperméabilisation = environ 38% (ssbv de la Beffe)

Les apports de l'Atelier de prospective

Synthèse :

- **Enrichir la connaissance générale du système territorial** avec un outil collectif permettant de « faire jouer » et d'activer la réflexion en s'appuyant sur 3 types de méthodes:
 - Jeu de données multi-temporelles,
 - mobilisant des techniques de simulations spatiales,
 - Techniques de géoprospective.
- **3 résultats espérés :**
 - Une amélioration de l'information (données) et un approfondissement des dispositifs d'observation du territoire,
 - Une meilleure connaissance des processus spatiaux passés et en cours, afin d'anticiper les processus futurs (relations dynamiques),
 - Une prise de recul sur les outils de la planification territoriale et leur efficacité.



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

L.SCHMITT, UMR CNRS 5600, Université Lumière Lyon 2

L. GROSPRETRE, P. BREIL, A. BARRA, B. CHOCAT et H.DELILE

Quelles sont les caractéristiques hydro-géomorphologiques des rivières périurbaines et comment quantifier le risque d'incision ?

Grosprêtre L., Schmitt L., Breil P., Barra A., Chocat B., Delile H.

Avec la collaboration de :

Sarrazin B., Jacqueminet C., Michel K., Joliveau T., Dodane C., Honegger A., Branger F., Jacob. N., Privolt G., Kermadi S.

Dans le bassin de l'Yzeron, les RUTP sont fréquemment à l'origine d'incisions des chenaux des ruisseaux élémentaires, ou dans certains cas d'accentuations d'incisions antérieures aux aménagements liés aux RUTP. Le principal objectif de ce travail est d'estimer le risque d'incision futur d'ici 2030.

L'approche repose sur :

- (i) la détermination des débits critiques de mise en mouvement de la charge de fond (Q_c),
- (ii) l'évaluation des impacts hydrologiques de l'urbanisation sur les Q_c et
- (iii) l'estimation du risque d'incision futur (2030).

Les deux premières étapes ont été mises en œuvre essentiellement sur le sous-bassin de la Chaudanne, où des données hydrologiques sont disponibles grâce au dispositif de l'OTHU. Sur ce ruisseau fortement incisé, l'évolution hydrologique s'est traduite par une augmentation de la durée, de l'intensité et surtout de la fréquence des crues morphogènes (dépassement des débits critiques de mise en mouvement).

La dernière étape, mise en œuvre sur 45 sous-bassins, repose sur des modélisations hydrologiques appliquées à l'occupation du sol de 2008 et à celle de 2030.

Enfin, l'étude de l'évolution morpho-sédimentaire des fonds de vallée de têtes de bassins depuis la fin du Moyen-Âge permet une meilleure compréhension des processus d'incision et une interprétation plus pertinente des résultats obtenus.

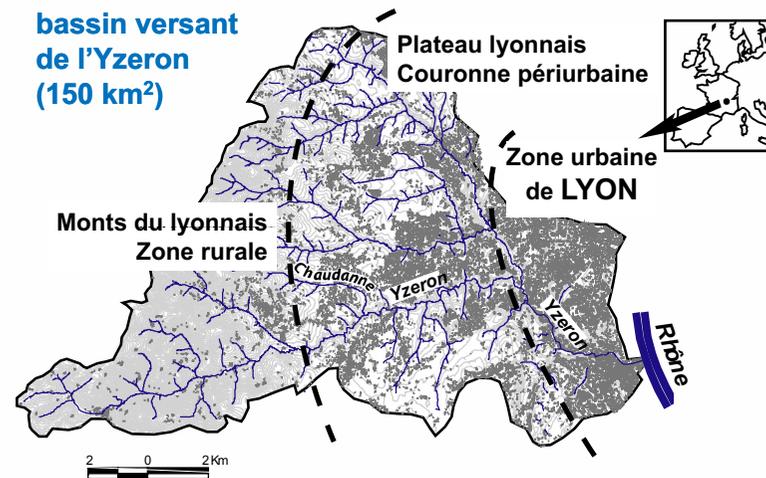
Plan

1. Zone d'étude et problèmes de gestion
2. Objectifs
3. Estimation du risque d'incision futur (2030)
 - 3.1. Détermination des débits critiques de mise en mouvement de la charge de fond (Qc)
 - 3.2. Evaluation des impacts hydrologiques de l'urbanisation sur les Qc
 - 3.3. Estimation du risque d'incision futur (2030)
4. Mise en perspective historique (pluri-séculaire)
5. Conclusion et recommandations opérationnelles
6. Perspectives

1

1. Zone d'étude

bassin versant de l'Yzeron (150 km²)

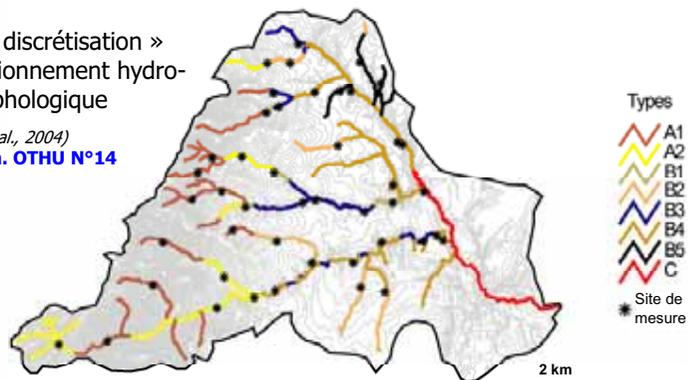


2

Typologie hydro-géomorphologique

= une « discrétisation » du fonctionnement hydro-géomorphologique

(Schmitt et al., 2004)
Fiche tech. OTHU N°14



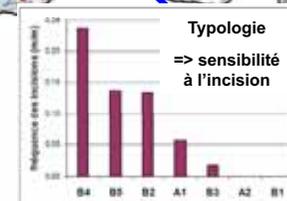
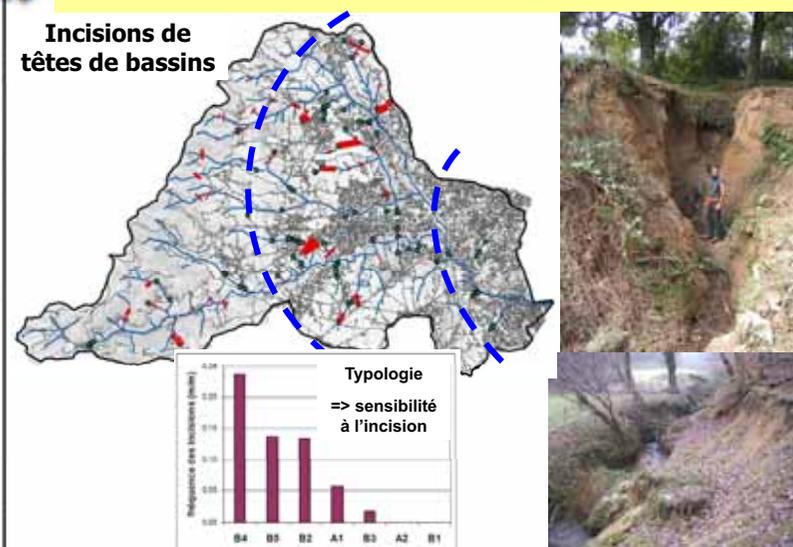
Dénomination des types de cours d'eau

Dénomination des types de cours d'eau	Code
Torrents des Monts du lyonnais	A1
Cours d'eau à énergie modérée des replats des Monts du lyonnais	A2
Cours d'eau à haute énergie de l'extrémité amont des secteurs à fond de vallée encaissé	B1
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée peu encaissé du plateau lyonnais	B2
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée encaissé et étroit du plateau lyonnais	B3
Cours d'eau à énergie modérée et à fond de vallée encaissé et large du plateau lyonnais	B4
Cours d'eau sur arène granitique de la région de Charbonnières	B5
Cours d'eau des paléo-vallées du Rhône et de la Saône	C

1

1. Problèmes de gestion

Incisions de têtes de bassins



1

Ensablement en aval



2. Objectifs

- ☞ **Estimer le risque d'incision futur (2030)**
 - Déterminer les Q_c
 - Etudier l'influence de l'évolution du régime hydrologique vis-à-vis des Q_c (et donc des incisions)
 - Fréquence
 - Intensité des crues
 - Durées de dépassement
 - Établir un(des) indicateur(s) hydrologique(s) de (in)stabilité morphologique des cours d'eau
 - Prédire les probabilités d'incision à l'horizon 2030 (45 sites) à partir de :
 - Modélisations hydrologiques...
 - ... fondées sur l'évolution de l'occupation du sol entre 2008 et 2030
- ☞ Replacer les évolutions morphologiques récentes dans **un contexte temporel long** pour une meilleure compréhension des tendances évolutives

3. Estimation du risque d'incision futur (2030)

3.1. Détermination des débits critiques de mise en mouvement de la charge de fond (Q_c)

☞ Application sur deux tronçons de cours d'eau

- Le ruisseau de la Chaudanne



- Le ruisseau des Presles



Méthodes

Approche théorique

- Calage des formules prédictives de mise en mouvement des particules (Schoklitsch 1950, Bagnold 1980, Bathurst *et al.* 1987, Ferguson 1994, 2005, Petit *et al.* 2005, Parker *et al.* 2010, etc.)

Approche expérimentale de terrain

- Particules grossières
 - Particules peintes
=> détermination de l'axe b (diamètre) maximum des particules et du nombre de particules mises en mouvement après une crue

Méthodes

Approche théorique : exemples d'équations

Schoklitsch 1950

$$q_c = 1,89 \cdot 10^{-5} \cdot d_{40}^{1,5} \cdot S^{-1,17}$$

Bathurst *et al.* 1987

$$q_c = 1,49 \cdot 10^{-5} \cdot d_{50}^{1,5} \cdot S^{-1,12}$$

Ferguson 1994

$$q_{c50} = 3,01 \cdot 10^{-6} \cdot d_{50}^{1,5} \cdot S^{-1,37}$$

Bathurst 2007

$$q_{c2} = 5,08 \cdot 10^{-6} \cdot d_{50}^{1,5} \cdot S^{-1,20}$$

$$q_{c2} = 1,32 \cdot 10^{-6} \cdot d_{84}^{1,5} \cdot S^{-1,23}$$

Bagnold 1980 ^e

$$\omega_{c50} = 0,121 \cdot d_{50}^{1,5}$$

Ferguson 2005 ^d

$$\omega_{c50} = 0,125 \cdot d_{50}^{1,5} \cdot S^{-0,17}$$

Petit *et al.* 2005 ^e

$$\omega_{c50} = 0,130 \cdot d_{50}^{1,438}$$

Petit *et al.* 2005 ^f

$$\omega_{c50} = 1,374 \cdot d_{50}^{0,963}$$

Etc.

Méthodes

Approche expérimentale

- Particules grossières
 - Particules peintes
=> détermination de l'axe b (diamètre) maximum des particules et du nombre de particules mises en mouvement après une crue



- Particules fines (car lits souvent sableux)
 - Prélèvements de matières en suspension en crues
 - Chaudanne : mesures de turbidité
=> seuil pour la mise en mouvement massive (suspension) des sables

Méthodes

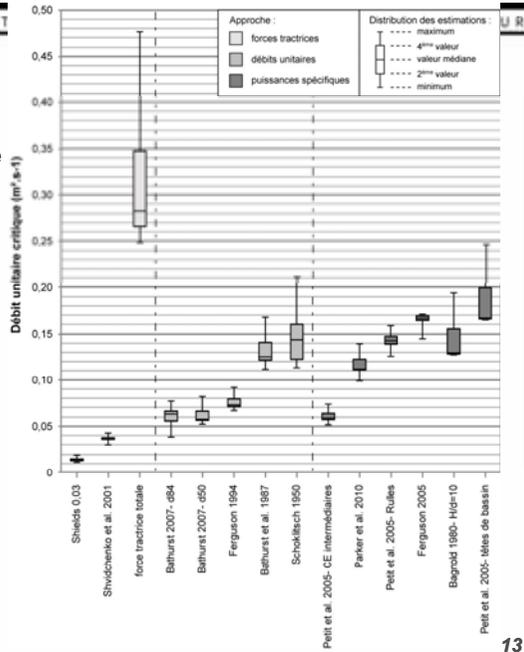


Dispositif de suivi des particules fines sur le ruisseau de la Chaudanne (Barra, 2009)



Résultats

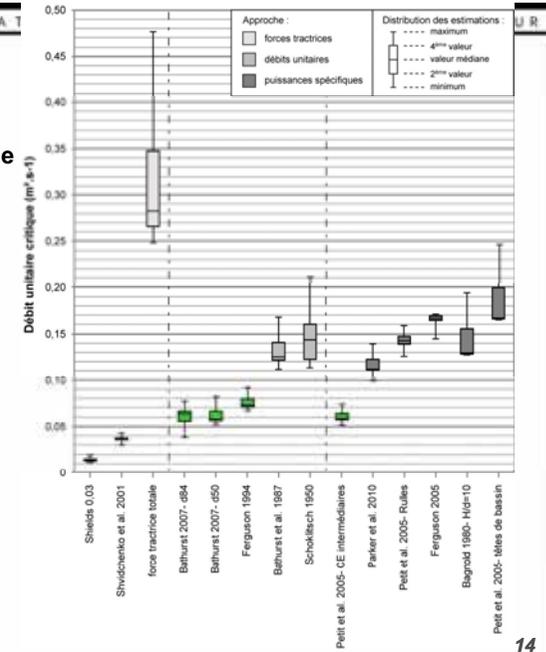
Approche théorique



Résultats

Approche théorique

Prediction négligeant les formes de résistance du lit

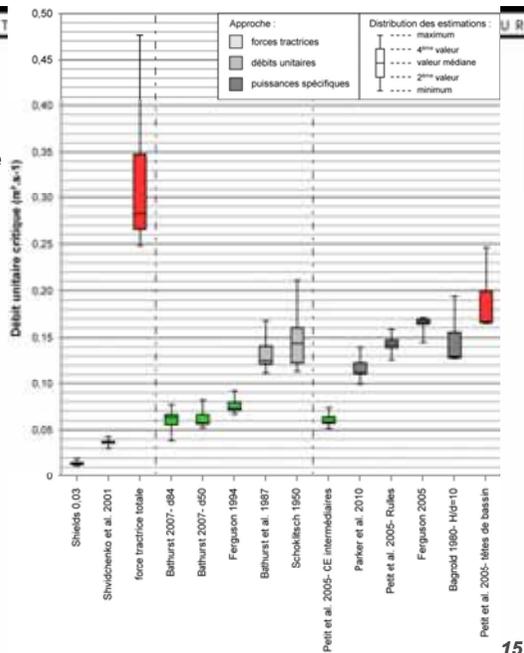


Résultats

Approche théorique

Surestimation des formes de résistance du lit

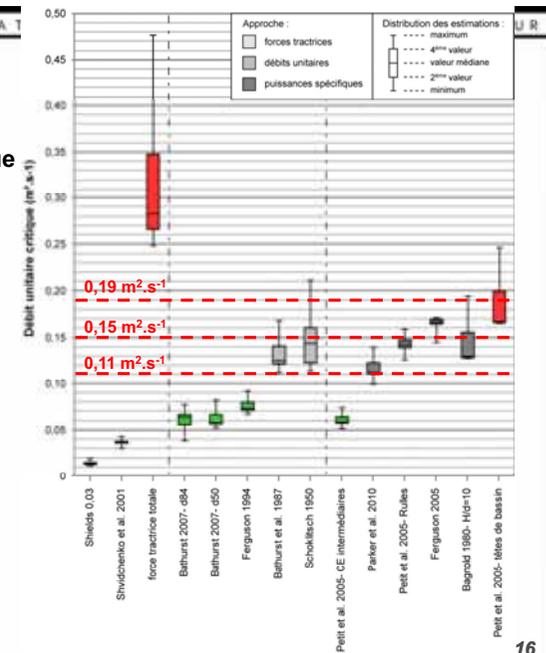
Prediction négligeant les formes de résistance du lit



Résultats

Approche théorique

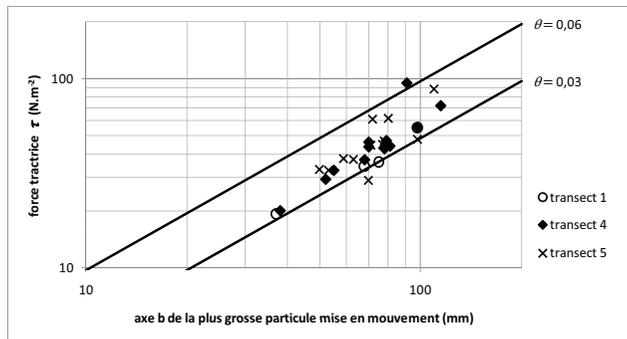
0,19 m².s⁻¹
0,15 m².s⁻¹
0,11 m².s⁻¹



Résultats

Approche expérimentale

- Relation de compétence : influence de la taille relative des particules



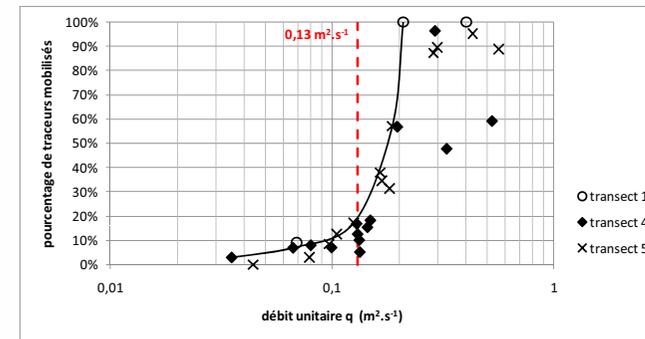
- ⇒ problème de reconstitution de l'imbrication naturelle des particules
- ⇒ sous-estimation des conditions critiques de mise en mouvement

17

Résultats

Approche expérimentale

- Efficacité morphogène des crues : évolution du nombre de particules mises en mouvement



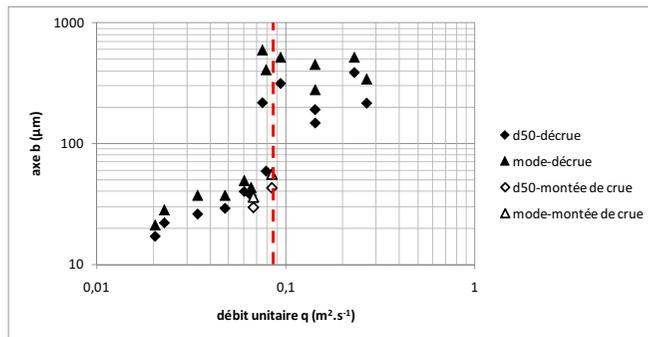
18

Résultats

Approche expérimentale

- Mise en suspension des particules sableuses

NB: la dispersion des points au-delà de 100µm est liée à l'absence de mélangeur-répartiteur en amont du granulomètre laser



- ⇒ mise en suspension des sables pour un débit unitaire $\geq 0,085 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- ⇒ Pb montée de crue extrêmement rapide

19

19

Bilan des résultats Qc

Chaudanne

- Suivi des particules grossières
 - mise en mouvement d'une portion significative des traceurs pour un débit unitaire $\approx 0,13 \text{ m}^2/\text{s}$
 - rappel: sous-estimation des conditions critiques de mise en mouvement !
- Suivi des particules fines
 - mise en suspension (montée de crue) massive des sables pour un débit unitaire $\geq 0,085 \text{ m}^2/\text{s}$
- Relations prédictives
 - débit unitaire critique compris entre 0,11 et 0,19 m^2/s

Presles

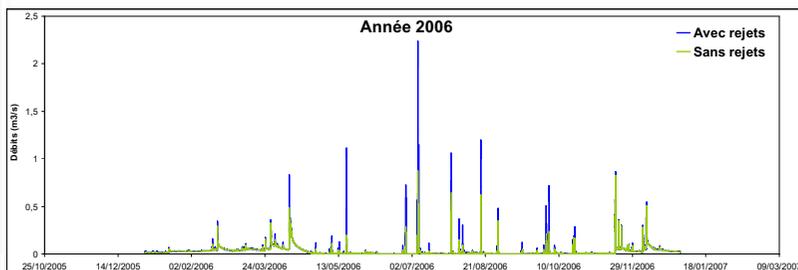
- Pas de mobilisation des sédiments grossiers pendant la période de suivi
- débits critiques théoriques jamais atteints
 - ➔ témoigne qualitativement de la différence de fréquence du transport sédimentaire grossier entre un ruisseau rural et périurbain
 - ➔ impossible de valider les équations

20

3.2. Impacts hydrologiques de l'urbanisation sur les Qc

Influence de l'urbanisation sur les débits critiques

- Filtrage de la chronique 2005-2010 à pas de temps variable (cf. P. Breil)

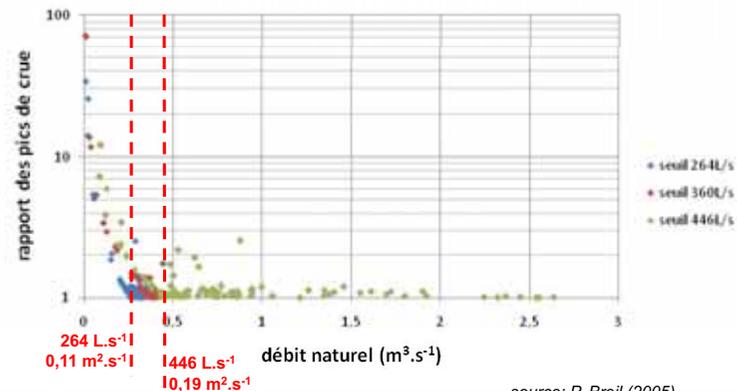


Source : P. Breil (2005)

Résultats

Influence de l'urbanisation sur les débits critiques

- Evolution des débits de pointe avant/après urbanisation (filtrage)



source: P. Breil (2005)

Résultats

Influence de l'urbanisation sur les débits critiques

- Evolution par rapport aux écoulements ruraux

Débit unitaire (m ² .s ⁻¹)	Débit (L.s ⁻¹)	Δ durée annuelle	Δ durée moyenne par dépas st	Δ fréquence	Δ Qp moyen
0,11	264	+ 14%	- 13%	+ 31%	+ 16%
0,15	360	+ 15%	- 14%	+ 34%	+ 17%
0,19	446	+ 12%	- 16%	+ 34%	+ 17%

Indicateurs hydrologiques

- Rapport $\text{Fréq}_{\text{urb}}/\text{Fréq}_{\text{rur}}$ (Fréquence des dépassements Qc avec urb^a)/(Fréquence des dépassements sans urb^a)
- Rapport $\text{Durée}_{\text{urb}}/\text{Durée}_{\text{rur}}$ (Durée de dépassement Qc avec urb^a)/(Durée de dépassement Qc sans urb^a)
- Rapport $\text{Pic}_{\text{urb}}/\text{Pic}_{\text{rur}}$ (Pic de crue > Qc avec urb^a)/(Pic de crue > Qc sans urb^a)

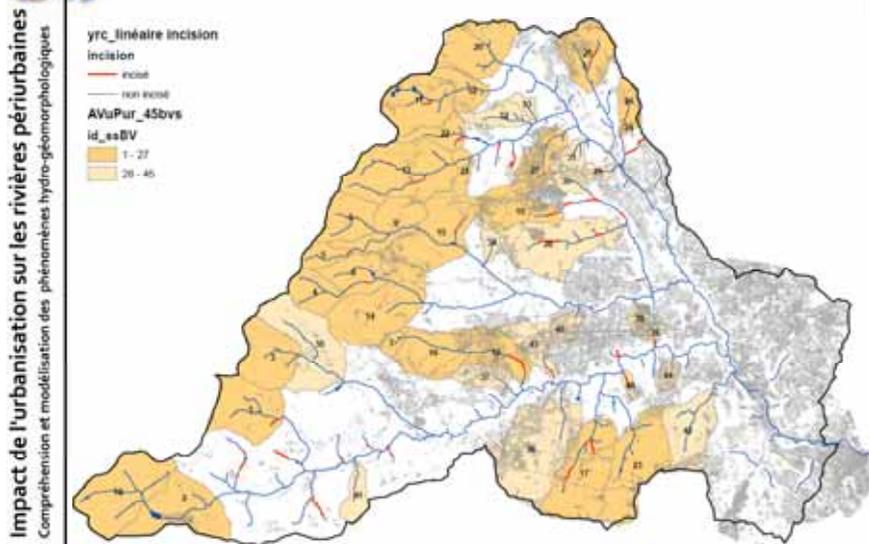
3.3. Estimation du risque d'incision futur (2030)

En cours...

Principes :

- Estimation des Qc sur 45 sous-bassins
 - Équations de Schoklitsch (1950), Bathurst et al. (1987), Ferguson (2005), Parker et al. (2010)
 - Données de terrain nécessaires : pente, largeur à pleins bords, granulométrie
- Modélisation des débits sur ces 45 sous-bassins :
 - Occupation du sol 2008
 - Occupation du sol 2030
- Calcul des indicateurs hydrologiques ($\text{Fréq}_{\text{urb}}/\text{Fréq}_{\text{rur}}$...) et identification des sous-bassins présentant le plus grand risque d'incision
- Cartographie du risque d'incision d'ici 2030
- Évaluation du risque d'incision avec des techniques de gestion alternative des eaux pluviales

Localisation des 45 sous-bassins



4. Mise en perspective historique

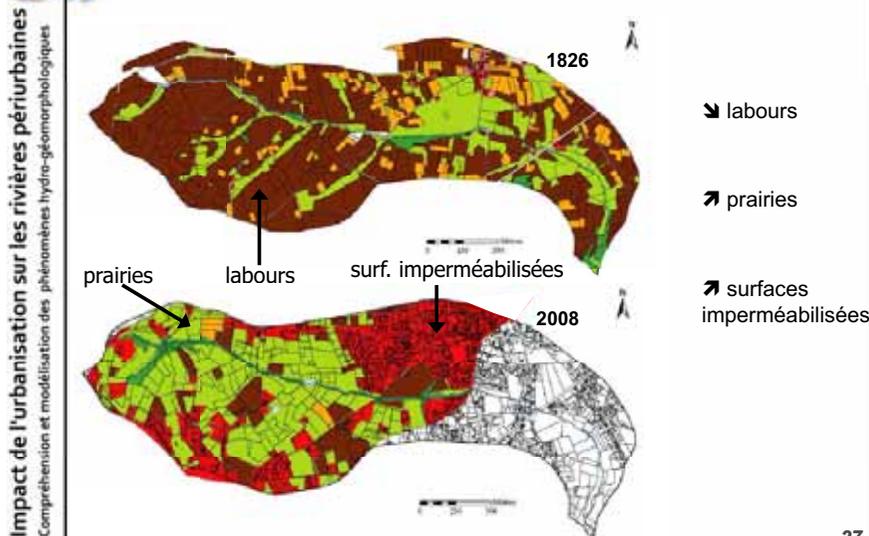
(pluri-séculaire)

Caractérisation et datation des formations superficielles affectées par les incisions

(Delle, 2009 ; Schmitt, 2010 ; Preusser *et al.*, 2011)



Evolution de l'occupation du sol (Privolt, 2009, Jacob N.)



5. Conclusions et recommandations opérationnelles

Conclusions :

- Les données et les innovations méthodologiques produites dans le cadre d'AVuPUR vont permettre d'évaluer le risque d'incision futur, ce qui constitue une avancée scientifique majeure
- Les incisions ne sont pas seulement liées aux changements de flux hydriques, mais aussi à la baisse de la fourniture sédimentaire des bassins. Comme celle-ci est très marquée depuis un siècle, des incisions peuvent se produire en l'absence de rejets
 - C'est déjà le cas
 - Mais ces incisions ont généralement une ampleur limitée

Recommandations opérationnelles :

- Traiter les RUTP à la source (infiltration à la parcelle, revêtement poreux... [Fiche Technique OTHU 16](#))
- Traiter les RUTP à l'amont des rivières : bassins de rétention, bassins d'infiltration...
- Les Qc sont liés aux types géomorphologiques → en première approche rejeter les eaux pluviales dans les types les moins sensibles à l'incision
- Pour réduire l'ensablement (aval), lutter contre les incisions (amont).



6. Perspectives

- ☞ **Cartographie du risque d'incision sera produite dans quelques semaines**
- ☞ **Validation :**
 - appliquer la méthode sur les mêmes sous-bassins en prenant en compte l'évolution de l'occupation du sol entre 1970 et 2008 et les mêmes indicateurs hydrologiques
- ☞ **Transposition à d'autres bassins périurbains**





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

F. BRANGER, Cemagref

F. RODRIGUEZ, S. JANKOWFSKY, E. BOCHER, K. CHANCIBAULT

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

Flora Branger, Cemagref, UR Hydrologie-Hydraulique

F. Rodriguez, S. Jankowsky, E. Bocher, K. Chancibault

Les milieux péri-urbains sont des milieux complexes et hétérogènes. En surface, des zones bâties et /ou imperméabilisées, les réseaux routiers, plutôt caractéristiques des occupations du sol urbaines, s'interpénètrent avec le parcellaire agricole, les haies, les fossés... liés au paysage rural. L'urbanisation modifie également profondément le sous-sol par l'implantation de réseaux d'assainissement par exemple. Ces hétérogénéités ont une influence forte sur l'hydrologie : selon leur nature, elles peuvent soit faire office d'obstacles aux écoulements (haies derrière lesquelles le ruissellement va s'accumuler, bassins d'infiltration...), soit au contraire les concentrer et les accélérer (fossés, réseau souterrain unitaire ou séparatif). Ces hétérogénéités sont par ailleurs organisées selon des morphologies contrastées : 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. Par contre, dans les zones rurales l'organisation du paysage suit une organisation dépendante de la topographie selon le réseau hydrographique naturel. Enfin, les évolutions sont très rapides puisque liées au rythme de l'urbanisation.

Dans des objectifs à la fois de suivi en temps réel de l'évolution du milieu, mais aussi de la formalisation de ces évolutions dans des modèles de simulation numériques à même de préciser l'impact hydrologique de l'urbanisation, il est donc souhaitable d'être capable de décrire l'espace péri-urbain de façon adéquate, à partir des informations descriptives disponibles.

Le projet AVuPUR a donné lieu au développement et à la mise en œuvre de plusieurs méthodes de description de l'espace, ainsi qu'à la construction d'un modèle hydrologique détaillé appliqué sur de petits sous bassins versants péri-urbains (modèle PUMMA, travail de thèse de S. Jankowsky). **Méthodologies de description de l'espace**

Ces méthodes s'appuient toutes sur des données SIG : modèle numérique de terrain (MNT), données d'occupation des sols (vecteur ou raster telles que photographies aériennes ou images satellite), plans des réseaux (assainissement, voirie, réseau hydrographique naturel) et cadastre. Une difficulté importante est liée au fait que les informations disponibles ne sont pas de même nature dans les

zones urbaines et rurales (notamment les réseaux de drainage artificiels, tels que les fossés, ne sont en général pas renseignés dans les zones rurales), ou de résolutions très différentes faisant qu'on ne peut pas nécessairement les utiliser partout de la même manière (cadastre par exemple).

Méthode MNT

Cette méthode est la méthode de référence de l'hydrologie rurale. A partir de la topographie uniquement, elle permet de déterminer un réseau de drainage et le bassin versant ayant pour exutoire un point donné. Une variante de cette méthode consiste à utiliser en plus du MNT une carte du réseau hydrographique disponible issue d'une autre source de données (BD Carthage par exemple) et de forcer le MNT avec ce réseau de drainage.

Cette méthode présente l'avantage de nécessiter peu de données d'entrée, et d'être facile et rapide à mettre en œuvre. Quasiment tous les logiciels SIG présents sur le marché ou issus de la communauté du logiciel libre présentent cette fonctionnalité. En revanche, cette méthode ne prenant en compte que la topographie, elle est peu adaptée aux zones urbaines dans lesquelles les écoulements sont influencés par le réseau artificiel.

Méthode objet

La méthode objet (Rodriguez et al., 2003) s'appuie sur l'utilisation des données détaillées des banques de données urbaines (cadastre, plan des réseaux) et du MNT. Elle considère des objets élémentaires constitués des parcelles cadastrales. La méthode consiste à connecter chacune de ces parcelles à l'élément de réseau (voirie, fossé, réseau d'assainissement) le plus proche ou le plus bas topographiquement (principe de proximité et de gravité). On peut ainsi reconstituer le chemin d'écoulement depuis chaque parcelle jusqu'à l'exutoire du bassin versant.

Cette méthode est plus complexe que la précédente et requiert plus de données, mais elle peut néanmoins être automatisée dans un logiciel SIG pour une mise en œuvre relativement facile. Par contre, autant elle convient bien à la morphologie

urbaine pour laquelle elle a été développée, autant elle est moins adaptée aux zones rurales, pour lesquelles les réseaux viaires ou d'assainissement sont moins développés, et les parcelles cadastrales de dimensions parfois trop importantes.

Méthode MNT-objet

Cette approche mixte (Jankowfsky et al., 2011) combine la méthode MNT avec forçage du réseau de drainage en zone rurale, et la méthode objet en zone urbaine. Les données nécessaires sont le MNT, les cartes des réseaux, ainsi qu'une description de l'occupation des sols qui peut être le cadastre, une carte vectorielle ou une photographie aérienne.

La particularité de cette méthode est liée au fait qu'elle comporte une étape de reconnaissance de terrain pour la détermination d'un réseau de drainage mixte urbain/ rural. En effet, les informations cartographiques seules sont en général insuffisantes pour décrire de façon définitive ce réseau. Le travail de terrain permet notamment d'identifier les fossés (en zone rurale ou zone d'assainissement séparatif sans réseau pluvial bien localisé), les points de connexion entre le réseau artificiel et la rivière, et de préciser les sens d'écoulement, surtout en bordure des routes et dans les zones situées en-dehors du bassin versant purement topographique.

Il s'agit donc d'une méthode, mixte, véritablement adaptée au milieu péri-urbain et enrichie par l'expérience du terrain. Par contre, elle ne peut être entièrement automatisée et est donc d'une mise en œuvre plus longue.

Méthode TANATO

Il s'agit là aussi d'une méthode mixte, qui s'appuie sur le concept de mailles irrégulières contraintes (Triangulated Irregular Network) (Bocher et al., 2011). Elle s'appuie sur des données topographiques (courbes de niveau ou points cotés), à partir desquels une triangulation est établie. Cette triangulation peut être contrainte par des obstacles en surface issus de données vectorielles (fossés, routes, parcellaire...) et par les points d'entrée dans le réseau d'assainissement souterrain.

Là encore, cette méthode est bien adaptée aux milieux mixtes péri-urbains. Elle permet également une analyse des écoulements en surface plus fine que dans les autres méthodes : on peut ainsi retracer le chemin d'une goutte d'eau depuis n'importe quel point jusqu'à l'exutoire, déterminer l'aire contributive de tout point du domaine et identifier par exemples des zones d'accumulation d'eau. La succession d'étapes d'application de TANATO est automatisée dans le logiciel SIG libre OrbisGIS. Cependant il reste à l'heure actuelle de mise en œuvre délicate.

Intégration dans une modélisation hydrologique détaillée : principes du modèle PUMMA

De façon à représenter au mieux les hétérogénéités du milieu péri-urbain, la modélisation PUMMA (Jankowfsky et al., 2010) s'appuie sur un maillage irrégulier en objets hydrologiquement homogènes. Ce maillage est déterminé en croisant les différentes informations géographiques disponibles : cartes géologiques, pédologiques, sous-bassins (issus des méthodes précédentes), occupation du sol, 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 d'une plate-forme de modélisation hydrologique, 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 ; 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.

Pour quelles applications?

Les méthodes de description de l'espace décrites dans le présent document (MNT, objet, MNT-objet, TANATO) peuvent avoir plusieurs applications pratiques. Parce qu'elles permettent d'identifier, en zone péri-urbaine, le réseau de drainage naturel et artificiel et les zones contributives drainées par ce réseau, elles peuvent être utilisées pour :

- Définir des schémas directeurs de gestion des eaux pluviales ;
- Identifier des sources potentielles de pollution en temps de pluie et temps sec (par analyse des zones contribuant en eaux usées / eaux claires) ;
- Dimensionner des ouvrages d'évacuation et de rétention des eaux pluviales.

Toutes ces méthodes sont publiées et/ou implémentées dans des logiciels disponibles librement. Le choix particulier d'une méthode doit être déterminé par les objectifs spécifiques de l'étude, les données disponibles ainsi que le temps imparti pour réaliser le travail.

La 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...).

Références

Bocher et al, 2011 : <http://geosysin.iict.ch/irstv-trac/wiki/research/avupur/tanato>

Jankowsky, S.; Branger, F.; Braud, I.; Viallet, P.; Debionne, S. & Rodriguez, F., 2010. Development of a suburban catchment model within the LIQUID framework, in Swayne, D.; Yang, W.; Voinov, A.; Rizzoli, A. & T., F. (Eds.) Proceedings of the iEMSS Firth Biennial Meeting: International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSS 2010),

<http://www.iemss.org/iemss2010/index.php?n=Main.Proceedings>

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, soumis à Hydrological Processes.

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.

Contenu de l'exposé

Pourquoi?

Enjeux de la description de l'espace pour l'hydrologie en milieu péri-urbain

Comment?

Plusieurs méthodologies pour décrire l'espace à partir des données disponibles

Intégration dans une modélisation hydrologique détaillée

Pour quelles applications?

Intérêt et limites des approches développées

Des milieux complexes et hétérogènes

Des hétérogénéités multiples

Zones bâties, imperméabilisées, routes, fossés

Réseaux d'assainissement

Une morphologie structurante

Morphologie urbaine: réseau structurant artificiel en surface et en souterrain (voirie, réseau assainissement)

Morphologie rurale: organisation selon le réseau hydrographique naturel dépendant de la topographie

Une influence forte sur les écoulements

Obstacles et déviation des écoulements naturels

Concentration et accélération

Une évolution rapide



Des milieux complexes et hétérogènes



Photos Cemagref, 2007

Intérêt d'une description adéquate

Pour décrire et comprendre de façon précise les écoulements en milieu péri-urbain, on a donc besoin au préalable de décrire l'espace de façon adéquate

Suivi en temps réel de l'évolution du milieu

Formalisation dans des modèles de simulation numérique

Informations descriptives disponibles: données SIG

Modèle numérique de terrain (topographie)

Occupation des sols

Plans des réseaux (assainissement, voirie) et cadastre

Mais:

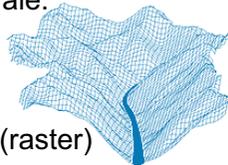
Pas les mêmes informations en milieu urbain et rural

Résolutions et échelles différentes

Méthode topographique

Méthode de référence de l'hydrologie rurale:

- Détermination du réseau de drainage
- Délimitation du bassin versant



Données : modèle numérique de terrain (raster)

Variante: forçage par un réseau hydrographique issu d'une autre source de données

Avantages/ Inconvénients

- simple et rapide, peu de données d'entrée
- pas nécessairement adapté aux zones urbaines

Méthode s'appuyant sur le cadastre

Utilisation des données détaillées des banques de données urbaines (Rodriguez et al., 2003) et du MNT

Objet élémentaire: la parcelle cadastrale



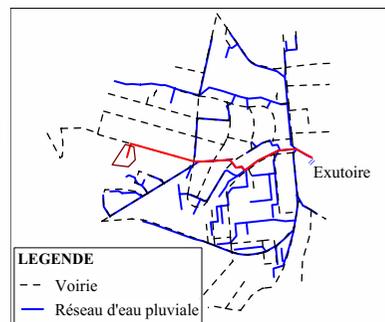
Méthode s'appuyant sur le cadastre

Utilisation des données détaillées des banques de données urbaines (Rodriguez et al., 2003) et du MNT

Objet élémentaire: la parcelle cadastrale

Connexion de chaque parcelle à l'élément de réseau le plus proche ou le plus bas (proximité et gravité)

- Voirie et fossés
- Réseau d'assainissement



Méthode s'appuyant sur le cadastre

Utilisation des données détaillées des banques de données urbaines (Rodriguez et al., 2003) et du MNT

Objet élémentaire: la parcelle cadastrale

Connexion de chaque parcelle à l'élément de réseau le plus proche ou le plus bas (proximité et gravité)

- Voirie et fossés
- Réseau d'assainissement

Avantages/ Inconvénients

- Méthode plus complexe mais automatisée
- Convient bien à la morphologie urbaine, moins aux zones rurales

Méthode mixte topographie / cadastre

Approche mixte (Jankowsky et al., 2011):

Méthode MNT avec forçage du réseau de drainage en zone rurale

Méthode objet en zone urbaine

Données : MNT, cartes des réseaux hydrographique et d'assainissement, description de l'occupation des sols

Travail de terrain sur le réseau de drainage

Identifier les fossés et les points de connexion (réseau pluvial)

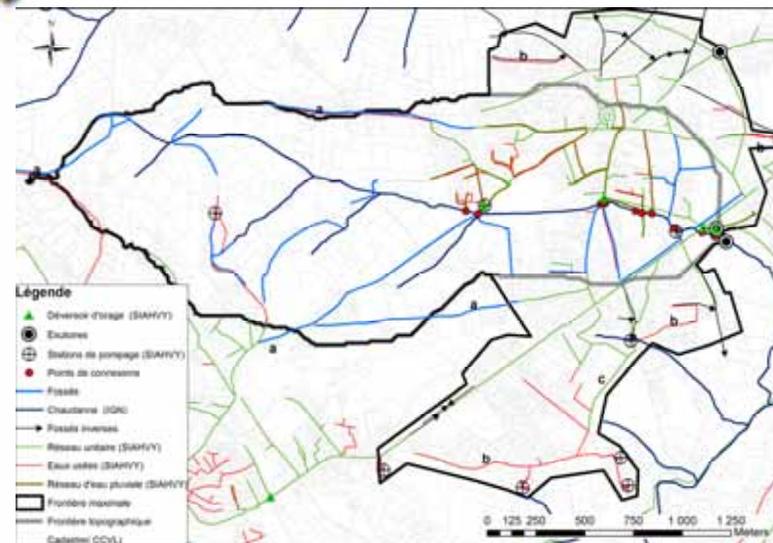
Préciser les sens d'écoulement (routes, zones hors bassin topographique)

Avantages/ Inconvénients

Méthode mixte véritablement adaptée au milieu péri-urbain

Implique un travail de terrain et des étapes manuelles

Méthode mixte topographie / cadastre



Méthode mixte topographie / cadastre



Méthode mixte topographie contrainte

Mailles irrégulières contraintes (Triangulated Irregular Network) (logiciel TANATO; Bocher et al., 2011):

Base = courbes de niveau ou points topographiques

Contraintes par les obstacles en surface (fossés, routes...) et les points d'entrée dans le réseau souterrain

Données : MNT, données vectorielles (réseaux et parcellaire)

Avantages/ Inconvénients

Méthode mixte bien adaptée au milieu péri-urbain

Permet une analyse fine des écoulements de surface (aire contributive en tout point, zones d'accumulation)

Succession d'étapes automatisées mais de mise en œuvre délicate

Méthode mixte topographie contrainte



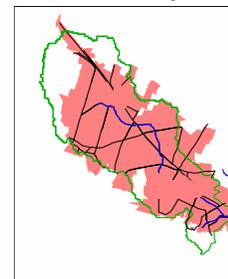
Applications

Bassin versant de la Chézine amont (~4.5 km², Nantes)

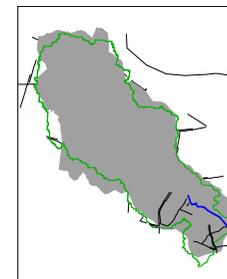
Méthode MNT



Méthode objet



Méthode TANATO

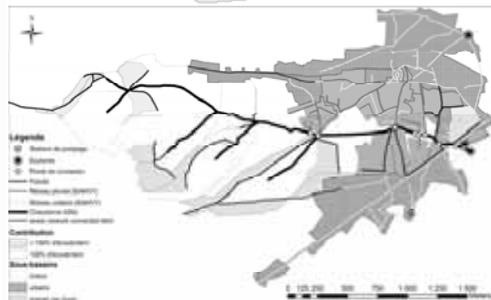


Applications

Bassin versant de la Chaudanne (~3 km², Lyon)



Méthode MNT
(avec forçage réseau hydrographique)

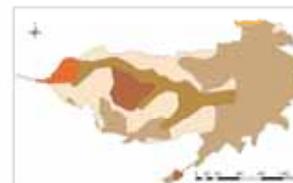


Méthode MNT-objet

Principes du modèle PUMMA

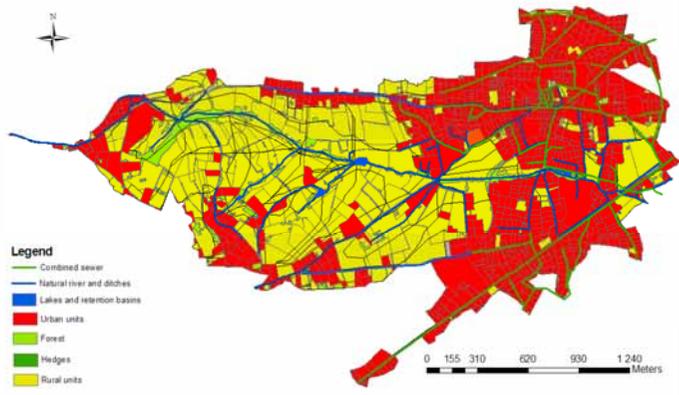
Maillage irrégulier en objets hydrologiquement homogènes

Priorité donnée à l'occupation du sol



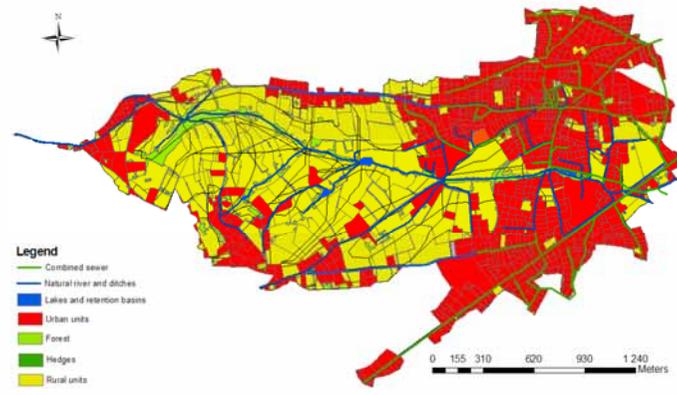
Principes du modèle PUMMA

Maillage irrégulier en objets hydrologiquement homogènes



Principes du modèle PUMMA

Formalisation des processus hydrologiques au niveau de ces objets



Principes du modèle PUMMA

Connexions entre objets

En surface

Parcelles urbaines: connexion au brin de réseau le plus proche

Parcelles rurales: routage du ruissellement de surface de parcelle à parcelle suivant la topographie

En souterrain

Parcelles urbaines: drainage partiel de la nappe par le réseau; écoulement de la nappe suivant le gradient hydraulique moyen entre parcelles voisines

Parcelles rurales: écoulement de la nappe suivant le gradient hydraulique moyen entre parcelles voisines

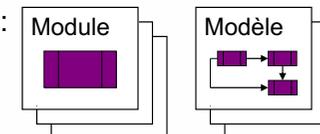
Connexions entre les brins du réseau et les parcelles voisines (surface / souterrain)

Les plate-formes de modélisation

Outils informatiques permettant la construction de modèles hydrologiques à la carte:

Selection de modules appropriés

Couplage des modules entre eux



Des outils adaptés pour l'hydrologie péri-urbaine

Prise en compte naturelle des maillages irréguliers et des discontinuités hydrologiques

Ajout facile de nouveaux modules

PUMMA: plate-forme LIQUID

Logiciel HydroBox (INSA)



Intérêt des méthodes développées

Applications pratiques des méthodes de description de l'espace (topographie, cadastre, méthodes mixtes)

Identification du réseau de drainage et des zones contributives

Schéma directeur de gestion des eaux pluviales

Identification de sources potentielles de pollution en temps de pluie / temps sec (contributions d'eaux usées / d'eaux claires)

Dimensionnement d'ouvrages

Toutes les méthodes sont publiées et/ou implémentées dans des logiciels disponibles librement

Choix de la méthode en fonction des objectifs spécifiques, des données et du temps disponibles



Intérêt des méthodes développées

Apports de la modélisation hydrologique détaillée

Aller plus loin dans la compréhension du fonctionnement de bassins versants complexes

Quantification plus précise pour la gestion des eaux pluviales et le dimensionnement d'ouvrages

Test d'hypothèses de fonctionnement

Tests de scénarios sur aménagements passés et futurs y compris techniques alternatives de gestion des eaux pluviales

Ajout d'autres processus (polluants...)



Les limites actuelles

Disponibilité / Format / Qualité des données hétérogènes

Données urbaines VS données rurales (cartographie des fossés, occupation des sols)

Données du réseau d'assainissement selon l'organisme gestionnaire et la nature du réseau (unitaire / séparatif)

Traitements SIG automatiques

Nécessaires

Pas toujours efficaces ni pertinents (qualité des données): besoin d'interventions manuelles

Modélisation hydrologique spatialisée détaillée

PUMMA d'une mise en œuvre délicate

Réservé pour l'instant à un usage recherche



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

Merci de votre attention

Références et liens:

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, soumis à *Hydrological Processes*.

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.

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



Comment représenter le fonctionnement du milieu périurbain dans les modèles hydrologiques ?

K. CHANCIBAULT, IFSTTAR Nantes

F. BRANGER, I. BRAUD, Cemagref

C. FURUSHO, H. ANDRIEU et F. RODRIGUEZ, Ifsttar

B. CHOCAT, INSA

Comment représenter le fonctionnement du milieu péri-urbain dans les modèles hydrologiques de grande échelle

K. Chancibault, C-Y Furusho, H. Andrieu, F. Rodriguez (Ifsttar)

F. Branger, I. Braud (Cemagref)

B. Chocat (INSA)

Les rivières dites péri-urbaines traversent des territoires dont l'occupation du sol peut être typiquement rurale ou urbaine. Hydrologiquement, ces surfaces réagissent différemment. De plus, en milieu urbain, les eaux de ruissellement sont récoltées et transférées via le réseau d'assainissement. Ainsi, en modélisation hydrologique deux communautés distinctes se sont naturellement formées. La modélisation hydrologique des bassins versants péri-urbains nécessite de prendre en compte les caractéristiques des deux milieux. Ainsi, pour reproduire le comportement hydrologique d'un bassin versant péri-urbain, un modèle hydrologique doit tout d'abord 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 aussi bien représenté en milieu naturel qu'en milieu urbain. Le développement d'un modèle hydrologique adapté au milieu péri-urbain peut se faire de différentes façons. Il est possible de développer un tout nouveau modèle ou bien d'adapter un modèle existant en ajoutant la prise en compte des surfaces urbaines à un modèle hydrologique des rivières « naturelles » ou en ajoutant la prise en compte du sol et de la végétation pour un modèle hydrologique initialement dédié au milieu urbain.

ADAPTATION D'UN MODELE HYDROLOGIQUE DEDIE AUX BASSINS URBAINS :

Le modèle CANOE a été appliqué au bassin versant de l'Yzeron en représentant le réseau hydrographique complet : réseau naturel et réseau d'assainissement ainsi que leurs interconnexions (plus de 60 déversoirs d'orage). Les sous bassins versants (environ 150 dans le modèle) ont pour exutoire soit un ruisseau soit un réseau souterrain (certains sous bassins versants peuvent se superposer). Le modèle permet la simulation en continue de l'ensemble du système hydrologique en tenant compte de l'hydraulique des écoulements. Les temps de calcul sont assez longs (environ 48 heures pour simuler 20 ans de pluies) sur un PC ordinaire.

Mais CANOE ne permet pas de décomposer le débit à l'exutoire en contributions rurale/urbaine ou lente/rapide. En effet, l'information sur l'origine de l'eau qui transite en un point donné du réseau est perdue. De plus, le découpage en sous bassins versants est compliqué du fait qu'il y a 2 exutoires possibles (le réseau et la rivière). Dans le cadre d'AVUPUR, une plate-forme de modélisation hydrologique originale a donc été développée (Hydrobox). Elle permet de représenter des sous-bassins versants avec différents exutoires et de représenter et visualiser l'état et le fonctionnement de tous les compartiments de l'hydrosystème. Ainsi, les surfaces imperméables peuvent être directement connectées au réseau d'assainissement (SICRA), ou directement connectées à la rivière (SICRIV). Quant aux surfaces perméables (SP) elles sont connectées à la rivière et au sous sol (SSSP) puis à la nappe (NSP).

ADAPTATION DE MODELES DEDIES AUX BASSINS VERSANTS NATURELS :

Le modèle rural J2000 (Krause, 2002) utilise une discrétisation spatiale utilisant un maillage irrégulier. La représentation de l'ensemble des processus hydrologiques est simplifiée (modèle conceptuel à réservoirs) mais explicite. Le modèle étant initialement rural, il ne considère qu'un seul réseau de drainage : le réseau hydrographique naturel (la rivière).

Afin de représenter l'urbanisation dans J2000, le maillage irrégulier a été utilisé en discrétisant manuellement l'espace en sous-bassins (HRU) en fonction de l'occupation du sol dominante (rurale ou urbaine), à partir de la carte du réseau d'assainissement et des photos aériennes (BD Ortho IGN). Chaque HRU urbaine est connectée au réseau hydrographique naturel soit par un exutoire du réseau pluvial (cas séparatif), soit par un déversoir d'orage (cas unitaire). On obtient ainsi un maillage mixte urbain / rural. De plus, les coefficients d'imperméabilisation des sols et les caractéristiques de la végétation ont été obtenus via une classification des cartes d'occupation des sols en 5 classes. Pour chaque classe, un jeu de paramètres dans le modèle a été spécifié (coefficient d'imperméabilisation, utilisé dans la partition

infiltration / ruissellement, et végétation, qui joue sur l'interception et l'évapotranspiration). Ce modèle présente l'avantage d'avoir des paramètres correspondants à des grandeurs physiques et aux données disponibles : cela permet de travailler sans calage, et donc d'avoir une approche utilisable sur des bassins non jaugés. En revanche, le modèle travaille sur de grandes mailles (sous-bassins) et avec un pas de temps journalier, ce qui en fait une approche adaptée pour de grands bassins et pour faire des simulations longues durées centrées sur les bilans hydrologiques. Cependant, le pas de temps est trop grand pour faire de l'événementiel (crues rapides).

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 statistique de Nash (qui vaut un lorsque les simulations et les observations sont confondues) pour toute la période de simulation est moyen (0.46), 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).

Parallèlement, un autre modèle rural (ISBA-TOPMODEL) initialement développé pour les bassins du sud-est, soumis aux crues-éclair, a été adapté au milieu péri-urbain en modifiant les codes informatiques. A l'origine, ce modèle représente le sol suivant trois couches sur une grille à mailles carrées (résolution : 100m à 10km) et fonctionne avec un pas de temps à déterminer en fonction des processus étudiés (5min). Les écoulements latéraux en surface et de subsurface sont résolus à l'échelle d'une grille issue des données topographiques (10m), selon le concept des surfaces contributives. Le routage est aussi réalisé à cette échelle. Le pas de temps à cette échelle est variable et s'adapte selon le temps de réponse du bassin versant étudié.

Le traitement des surfaces imperméables, définies suivant leur distance au réseau d'assainissement à partir des couches SIG de la banque de données urbaines, a été fait à l'aide d'un réservoir urbain (pertes initiales) et de la prise en compte des réseaux d'assainissement et du réseau naturel. De plus, les infiltrations d'eau parasite ont aussi été implémentées dans le code original. Ces modifications ont conduit à de nouveaux paramètres à caler en fonction des informations disponibles sur le bassin étudié.

Le modèle a été évalué sur le bassin de la Chézine, sur une période de dix ans (données fournies par Nantes Métropole). Le calage a été effectué sur les trois premières années (2002-2005), Les cinq années suivantes (2005-2010) ont permis d'évaluer les capacités du modèle à reproduire le débit observé. Le modèle montre une aptitude à reproduire la dynamique du bassin, à l'échelle de la chronique

annuelle : pour toute la période d'évaluation Nash=0.52, mais est variable d'une année à l'autre (compris entre 0.49 et 0.72). Il apparaît que le modèle a tendance à surestimer le débit en période humide et à le sous-estimer en période sèche. Le modèle permet aussi de connaître la contribution des différentes surfaces au débit (urbain/rural) et la part des écoulements lents ou rapides.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans le cadre du projet AVuPUR, différentes approches ont été étudiées pour modéliser la réponse hydrologique des bassins versants péri-urbains de plusieurs dizaines de km². Une première approche a consisté à utiliser un modèle hydrologique dédié à l'origine pour les bassins versants typiquement urbains (CANOE). Puis une plateforme (hydrobox) a été développée permettant de construire et de coupler facilement des modèles hydrologiques.

Deux approches sont parties de modèles hydrologiques « naturels ». La première approche avec J2000 s'est attachée à utiliser les données d'entrée disponibles pour prendre en compte l'impact des surfaces urbaines sur la réponse du bassin de l'Yzeron. La deuxième approche (ISAB-TOPMODEL) a choisi de modifier les codes sources pour prendre en compte les surfaces urbaines. CANOE, Hydrobox et J2000 ont été évalués sur le bassin de l'Yzeron, sur des chroniques plus ou moins longues (10 ans et 11 jours). Les premiers résultats sont encourageants. ISBA-TOPMODEL a été évalué sur le bassin de la Chézine sur une chronique de 10 ans et donne aussi des résultats encourageants.

Hydrobox a vocation à être utilisé par les gestionnaires. De même pour CANOE. En revanche, J2000 et ISBA-TOPMODEL nécessitent encore des améliorations pour être utilisés facilement en opérationnel. Cependant, leur application sur des bassins versants péri-urbains 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.



CONTEXTE

- Modélisation hydrologique :
 - Milieu naturel : processus de génération du ruissellement prépondérants
 - chronique inter-annuelle ou événementielle
 - Processus : infiltration, évapotranspiration, ruissellement en surface.
 - Transfert peu d'impact
 - Taille bassins : 10 à 10000 km²
 - Milieu urbain : transfert prépondérant
 - dimensionnement réseau d'assainissement
 - Pluie de projet, événementielle
 - Processus : ruissellement. Transfert important
 - Taille bassins : 10 ha à 1000 ha
- Milieu péri-urbain : aucune surface (naturelle/urbaine) prépondérante



CONTEXTE

- Ingrédients nécessaires à la modélisation hydrologique en milieu péri-urbain
 - o Variabilité des surfaces (couvert végétal, surfaces imperméables)
 - o Réseau hydrographique : rivière + réseaux d'assainissement
 - o caractéristiques des sols <== données
- Développement d'un modèle hydrologique adapté aux bassins versants péri-urbains
 - o Développement d'un nouveau modèle
 - o Adaptation d'un modèle hydrologique urbain aux surfaces naturelles
 - o Adaptation d'un modèle hydrologique « rural » aux surfaces urbaines



PLAN DE LA PRESENTATION

- Adaptation d'un modèle urbain au milieu péri-urbain
 - Introduction des processus des surfaces naturelles
- Adaptation d'un modèle rural au milieu péri-urbain
 - Prise en compte des surfaces urbaines via les données d'entrée (description de l'espace)
 - Introduction des processus hydrologiques caractéristiques en milieu urbain
- Conclusions/Perspectives



ADAPTATION D'UN MODELE URBAIN

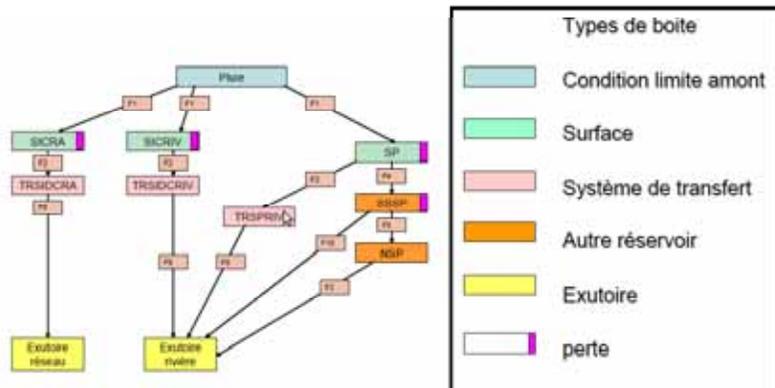
- CANOE : modèle complet intégrant le réseau de rivières et le réseau d'assainissement





ADAPTATION D'UN MODELE URBAIN

- Plateforme hydrobox: développements

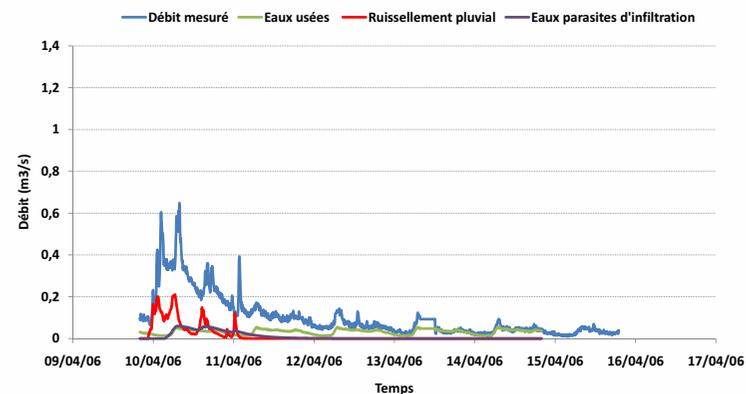


Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques



ADAPTATION D'UN MODELE URBAIN

- HYDROBOX : exemple de résultats



Dorval, 2011

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques



ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

- J2000: découpage du bassin et modification des paramètres physiques

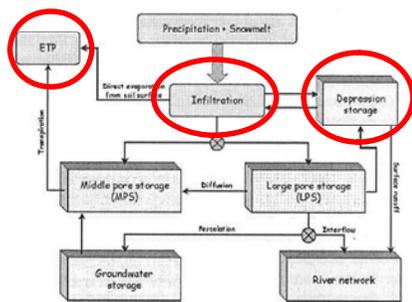


Fig. 1. The concept of the soil-water module of the J2000, showing the storages and processes. Krause, 2002

- Modèle conceptuel à 5 réservoirs
- Interception, évapotranspiration, ruissellement, infiltration, percolation, routage, transit dans la nappe
- Pas de temps journalier
- Pas de calage
- Réseau hydrographique naturel

- ➔ Application BVPU
- Occupation du sol
- Taux d'infiltration

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques



ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

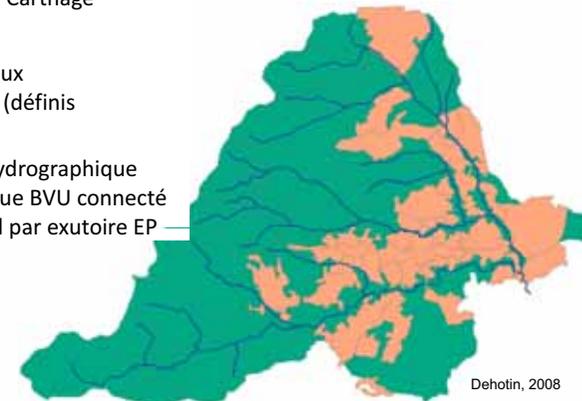
- Découpage du bassin de l'Yzeron

Bassins ruraux / bassins urbains

Bassins ruraux : BD Carthage

Bassins urbains :

- drainés par réseaux d'assainissement (définis manuellement)
- Un seul réseau hydrographique (naturel) => chaque BVU connecté au réseau naturel par exutoire EP ou DO

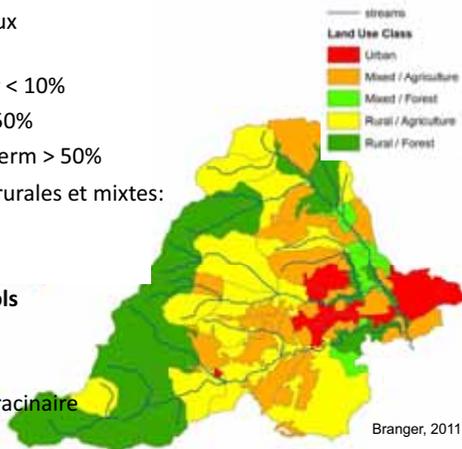


Dehotin, 2008

Impact de l'urbanisation sur les rivières périurbaines
Compréhension et modélisation des phénomènes hydro-géomorphologiques

ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

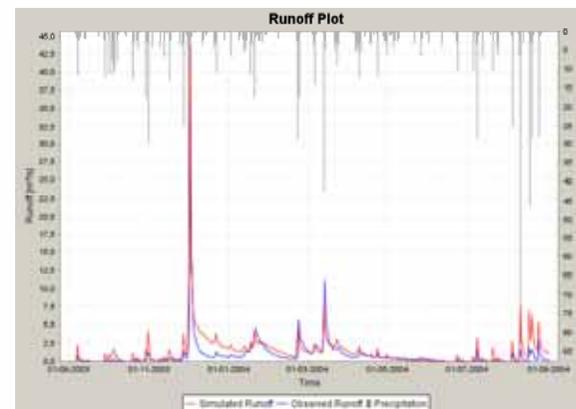
- Découpage du bassin de l'Yzeron et modification des paramètres physiques
- Classification en fonction du taux d'imperméabilisation
 - Dominante rurale: $os_imper < 10\%$
 - Mixte: $10\% < os_imper < 50\%$
 - Dominante urbaine: $os_imper > 50\%$
- Reclassification pour les zones rurales et mixtes:
 - Dominante cultures
 - Dominante forêt
- ➔ 5 classes d'occupation des sols
- ➔ Partage infiltration/ruissellement ≠ /classe
- ➔ Indice foliaire et profondeur racinaire / végétation dominante



Branger, 2011

ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

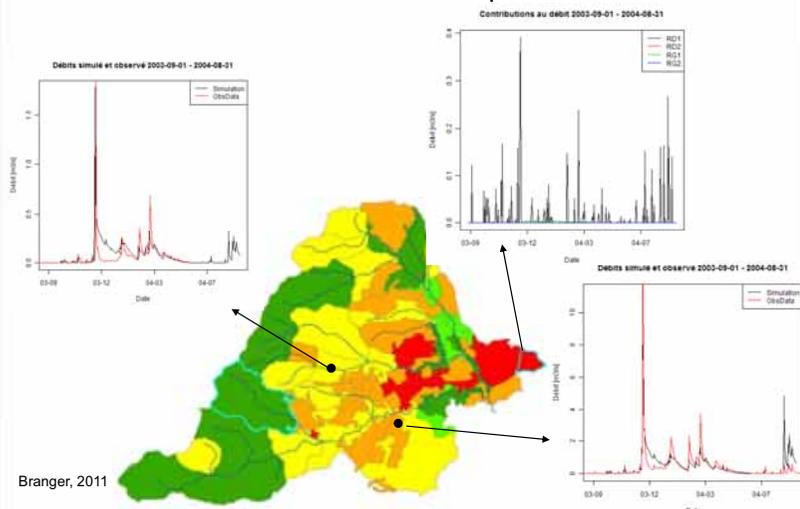
- J2000 : résultats sur l'Yzeron (Taffignon, 120km²)
- Simulation période de 10 ans : sept 1997 à sept 2007 (Nash=0.47)
- Année 2002-2003 (Nash=0.72)



Branger, 2011

ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

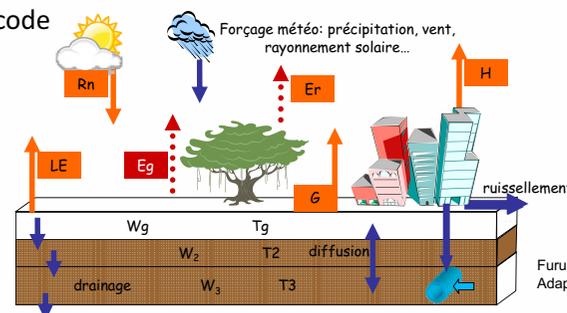
- J2000 : résultats sur l'Yzeron
- Débits distribués et contribution de chaque sous-bassin au débit



Branger, 2011

ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

- ISBA-TOPMODEL : introduction des processus urbains dans le code



Furusho, 2011
Adapté de Voirin, 2003

- Paramètres du modèle :
 - Deux paramètres de sol (liés à K_s)
 - Paramètres pour le routage : vitesses ou coefficients (surfaces)
 - Paramètre échanges sol/réseaux
 - Proportion de surfaces urbaines reliées au réseau

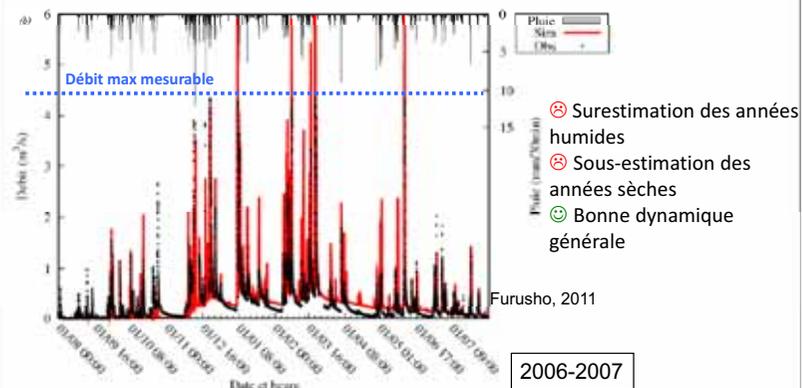


ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

- ISBA-TOPMODEL : résultats sur la Chézine

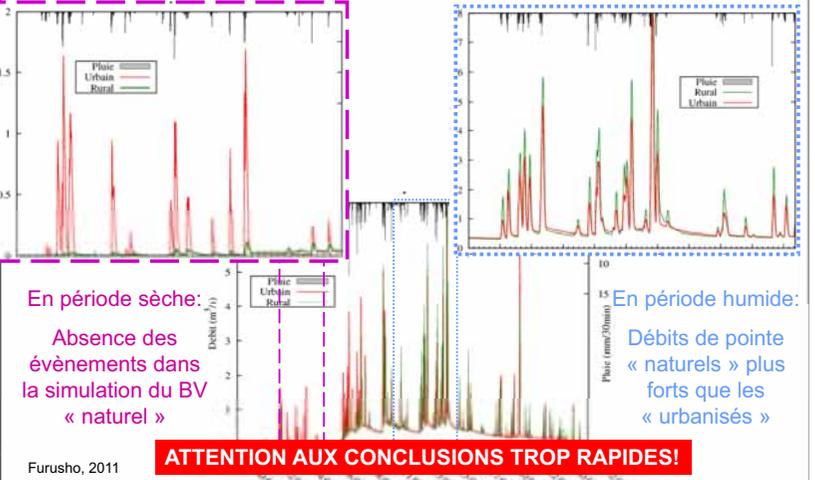
Calage 2002-2005 (Nash=0.72),

Evaluation 2005-2010 (Nash=0.52)



ADAPTATION D'UN MODELE RURAL

- ISBA-TOPMODEL : résultats / applications



CONCLUSIONS / PERSPECTIVES

- Milieu péri-urbain nécessite des modèles hydrologiques dédiés, capables de prendre en compte l'hétérogénéité des surfaces
- Développements ou adaptation de modèles hydrologiques existants (milieu naturel ou milieu urbain)
- Ces différents modèles sont une aide pour la compréhension du fonctionnement des BVPU
 - Rôle des surfaces naturelles
 - Impact des surfaces imperméabilisées
 - Échanges sol-réseau
- Modèles transposables? ISBA-TOPMODEL sur l'Yzeron
- Transfert vers l'opérationnel
 - CANOE :
 - Déjà utilisé par les opérationnels
 - J2000 et ISBA-TOPMODEL: utilisation directe par les gestionnaires difficile
 - J2000: pas de calage nécessaire mais travail sur les données d'entrée important
 - ISBA-TOPMODEL : données d'entrées fournies par bases de données (CLC, FAO, BDU) mais calage nécessaire
 - Peuvent servir à adapter des outils plus simples pour les BVPU



Quel impact de l'urbanisation simulé par les modèles hydrologiques ? Illustration avec CANOE,

P. BREIL, Cemagref

G. LIPEME KOUYI, Insa de Lyon

