

# Évaluation de l'impact de l'urbanisation sur la réponse hydrologique de 172 bassins versants américains

Bahar SALAVATI<sup>1</sup>, Ludovic OUDIN<sup>1</sup>, Carina FURUSHO<sup>2</sup>, Pierre RIBSTEIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, EPHE, UMR 7619 Metis, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France. Bahar.salavati@upmc.fr

<sup>2</sup> Irstea, 1 rue Pierre-Gilles de Gennes CS 10030, 92761 Antony Cedex- France

**RÉSUMÉ.** – L'anthropisation a de multiples impacts sur les réponses hydrologiques des bassins versants. Ces impacts sont difficiles à quantifier à l'échelle spatiale du bassin versant et les résultats de la littérature sur ce sujet sont assez disparates. L'objectif de cette étude est de faire le lien entre la proportion des surfaces urbaines actuelles (considérées comme moins perméables) et l'évolution des réponses hydrologiques des bassins versants. Ceci pose un important problème lié à la relation entre la variabilité du climat et celle de la réponse hydrologique des bassins. Pour ce faire, le modèle hydrologique GR4J a été utilisé. Cette étude est basée sur l'analyse de 104 bassins versants urbains et 68 bassins non-urbains aux États-Unis. Le débit et la pluie journalière des bassins étudiés ont été collectés pour des périodes de 30 à 70 ans selon les bassins. Dans cette méthode, seul le jeu de paramètres du modèle change d'une période de 5 ans à l'autre et la totalité de la chronique de débit est reconstituée à chaque fois, ce qui permet de s'affranchir de la variabilité du climat entre les périodes de 5 ans. Les premiers résultats montrent que les caractéristiques hydrologiques analysées ne présentent pas de tendance significative pour une majorité de bassins versants urbains et que la proportion de bassins avec tendance significative est relativement similaire pour les bassins urbains et non-urbains. Ces résultats doivent être analysés également en fonction de l'évolution historique de l'occupation de sol.

Mots-clés : Urbanisation, GR4J, modélisation hydrologique, occupation du sol, climat, non-stationnarité des paramètres

## Urbanization impact assessment on catchments hydrological response over 172 watersheds in USA

**ABSTRACT.** – Urbanization and people concentration are suspected to have multiple impacts on the catchments hydrological response. Hydrologically-relevant metric of land-use change and climate variability identification still remain an open scientific question. Besides, at the catchment-scale, urbanization impacts on flow are not easy to quantify and previous studies results appear quite disparate when assessing these impacts. The objective of this study is to investigate potential changes in catchments hydrological responses for the current urban surfaces (considered as less permeable). To this aim, the GR4J model, a conceptual daily 4-parameter hydrological model, was used to simulate discharge. In this study, 104 urban catchments and 68 non-urban catchments in the United States were selected. Streamflow and rainfall data were collected with periods of 30 to 70 years. Ensemble of model parameter sets were calibrated for a sequence of 5 years sub-periods and a simulation is performed with each set of parameters using the entire record period. Results showed that a majority of catchments did not present a significant trend over the record period for the hydrological properties analysed on the studied period for urban and non-urban catchments.

Key-words: Urbanization, GR4J, hydrological model, land-use, climate, non-stationary parameters

## I. INTRODUCTION

### I.1. Contexte

Les ressources en eau étant essentielles pour la vie humaine, la population ne cesse de croître près des rivières. L'anthropisation des vallées et des versants est susceptible de modifier le régime d'écoulement ainsi que la qualité de l'eau [Roesner et Bledsoe, 2003 ; Kauffman *et al.*, 2009]. Les impacts souvent cités de l'urbanisation sur la réponse hydrologique des bassins sont : la diminution du temps de réaction des bassins, la diminution de la recharge des nappes en raison de l'expansion des surfaces imperméables et des pompages des eaux souterraines, et enfin l'augmentation des débits de pointe lors de crues en raison de l'imperméabilisation des versants [Shaw, 1994 ; Booth *et al.*, 2002 ;

Warburton *et al.*, 2012 ; Braud *et al.*, 2013]. Cependant, ces impacts restent difficiles à généraliser et les résultats de la littérature sont assez disparates lorsque l'on s'intéresse à l'échelle spatiale du bassin versant de quelques dizaines à quelques centaines de km<sup>2</sup>. Ces résultats disparates mettent en évidence la variabilité des configurations de l'usage de l'eau dans la ville, mais peuvent provenir soit de la qualification et de la quantification incertaine de l'urbanisation, soit des différences méthodologiques employées par les auteurs pour évaluer ces impacts.

### I.2. Problématique et questions scientifiques associées

Cette étude vise à quantifier le rôle de l'urbanisation sur la réponse du bassin versant en étudiant un large échantillon

de bassins versants, ceci dans le but de déterminer si des conclusions générales peuvent être énoncées sur les questions suivantes :

1. Dans quelle mesure le comportement des bassins versants est affecté par l'urbanisation ?
2. Comment qualifier l'urbanisation du point de vue de l'impact hydrologique ?
3. Comment différencier l'effet de l'urbanisation de celui de la variabilité climatique ?

Le principal objectif de cette étude est de relier la proportion des surfaces urbaines à l'évolution des réponses hydrologiques de bassins versants. Ceci pose un important problème lié au lien ténu entre la variabilité du climat et celle de la réponse hydrologique des bassins. Pour pallier cette difficulté, un modèle hydrologique est utilisé, permettant de synthétiser le comportement dynamique du bassin versant d'une manière relativement insensible à la variabilité climatique.

### I.3. Revue bibliographique

Il ne semble pas y avoir de consensus sur l'impact de l'urbanisation sur les différents éléments de la réponse hydrologique à l'échelle des bassins versants. Par exemple plusieurs études ont montré que l'urbanisation diminue la recharge des nappes [Rose et Peters, 2001 ; Meyer et Wilson, 2002 ; Kauffman *et al.*, 2009 ; Rozell, 2010], d'autres ont montré une augmentation des débits de base des rivières de bassins urbanisés [Meyer et Wilson, 2002 ; Konrad et Booth, 2005]. Ces résultats disparates obtenus dans la littérature peuvent l'être soit parce que l'impact de l'urbanisation est très variable selon le cas d'étude, soit aussi en raison des différentes façons de quantifier l'urbanisation.

Il existe deux moyens de quantifier l'urbanisation [Pomeroy, 2007] : idéalement, le taux de surface imperméabilisée est utilisée [Schueler, 1994 ; Bosch *et al.*, 2003] ou à défaut, la densité de population peut constituer une donnée alternative plus accessible pour étudier l'effet de l'urbanisation sur la réponse hydrologique des bassins versants [e.g. DeWalle *et al.*, 2000].

## II. METHODOLOGIE

### II.1. Données

Pour étudier l'effet de l'urbanisation sur la réponse hydrologique, 172 bassins versants des États-Unis ont été sélectionnés (Figure 1). Cet échantillon de bassins versants comprend des bassins versants urbains et non urbains, dans le cadre d'une approche comparative.

Les données de débit ont été collectées auprès de l'USGS pour des périodes de 30 à 70 années. Les données journalières de 3450 stations pluviométriques des États-Unis ont été collectées auprès de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) afin de calculer des pluies spatiales de bassins. Les bassins avec un temps de réaction inférieur à un jour ont été enlevés afin de pouvoir estimer des débits de pointe à partir des débits journaliers.

Les cartes d'occupation de sol utilisées sont tirées de la National Land Cover Database (NLCD) pour l'année 2006. Cette base de données a été utilisée pour déterminer si un bassin est urbanisé ou non. Pour cela, nous avons défini un seuil sur le taux de surfaces urbaines par bassin. La valeur de ce seuil a été choisie à 10 %, ce choix étant justifié par les valeurs souvent retenues dans la littérature, typiquement entre 5 et 30 % [Schueler, 1994 ; Brun et Band, 2000 ; Department of Natural Resources, 2005 ; Yang *et al.*, 2010]. En conséquence, 104 bassins urbanisés et 68 bassins non-urbanisés ont été sélectionnés.

### II.2. Méthodologie générale et modèle hydrologique

Nous avons suivi deux méthodes pour analyser le comportement d'un bassin versant en réponse à des conditions non stationnaires d'occupation de sol.

La première méthode est tout à fait classique : elle consiste à utiliser les chroniques de débit observé et de déterminer l'évolution des caractéristiques hydrologiques en découpant la chronique totale en différentes sous-périodes. Ensuite, le test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall modifié



Figure 1 : Localisation des 172 bassins versants étudiés aux États-Unis.

par [Hamed et Ramachandra Rao] [1998] a été appliqué afin de détecter la présence de tendance dans les chroniques des caractéristiques de la réponse hydrologique des bassins. Ce test permet de tenir compte des autocorrélations dans les chroniques analysées. Cette approche présente des limites bien connues telles que : (i) le rôle joué par la variabilité climatique [Lorup *et al.*, 1998] vu que le régime des pluies a significativement évolué en Amérique du Nord [Karl et Knight, 1998], (ii) la difficulté de prendre en compte une évolution progressive (et non brusque) de l'occupation du sol [voir e.g. Ashagrie *et al.*, 2006 ; Andréassian, 2012] et (iii) des exigences fortes sur la longueur des chroniques analysées avant et après le changement d'occupation de sol.

La deuxième méthode utilisée tend à pallier ces limitations en utilisant un modèle hydrologique. La méthodologie proposée par Schreider *et al.* [2002] et reprise par Andréassian *et al.* [2003] est utilisée dans cette étude. Dans cette méthode (illustrée sur la Figure 2), des jeux de paramètres du modèle hydrologique sont calés pour différentes sous-périodes et pour chaque jeu de paramètres, une simulation est effectuée sur la période entière de la chronique. Ainsi, chaque ensemble de paramètres et la simulation associée à ses paramètres donne un instantané du comportement du bassin pour chaque sous-période. Il est alors possible de calculer et estimer des caractéristiques hydrologiques des bassins versants à partir de cette chronique simulée (Figure 2). Enfin, de la même façon que pour les chroniques observées, le test de tendance non paramétrique de Mann-Kendall modifié est appliqué afin de détecter la présence de tendance dans les chroniques des caractéristiques de la réponse hydrologique simulée sur chaque bassin. De nombreux modèles existent pour représenter la transformation pluie-débit sur un bassin versant. Le choix du modèle dépend des besoins et

du contexte d'étude [Laurent et Ruelland, 2010]. A priori, la modélisation à base physique est assez légitime pour évaluer des simulations dans un contexte de non stationnarité de l'occupation du sol car ces modèles tiennent compte explicitement de cette information. Toutefois, le calage de ce type de modèle est difficile compte tenu du nombre important de paramètres à caler. Des modèles conceptuels simples sont donc souvent préconisés pour ce type d'analyse [Wagener, 2007]. Le modèle utilisé dans cette étude est le modèle GR4J, un modèle hydrologique journalier avec 4 paramètres et nécessitant en entrée les évapotranspirations potentielles et les pluies journalières. Les 4 paramètres du modèle sont : X1 = capacité du réservoir de production, X2 = coefficient d'échange souterrain, X3 = capacité de réservoir de routage et X4 = temps de base de l'hydrogramme unitaire (Figure 3). Le modèle et les principales équations sont présentés dans la Figure 3, une description complète du modèle est fournie par Perrin *et al.* [2003].

Trois caractéristiques hydrologiques sont analysées dans cette étude :

- L'indice d'écoulement de base (IEB) représentant la proportion du débit total attribué à l'écoulement souterrain. L'estimation du débit de base repose sur une séparation de l'hydrogramme à l'aide d'un filtre numérique [Arnold *et al.*, 1995].
- Le coefficient d'écoulement (CE) représentant la proportion de la pluie rejoignant l'exutoire
- Le débit correspondant à une crue biennale (Q2) calculé en ajustant une loi de Gumbel sur la distribution des débits maxima annuels.

Ces trois caractéristiques sont calculées à partir des chroniques de pluie et de débit (simulés ou observées).

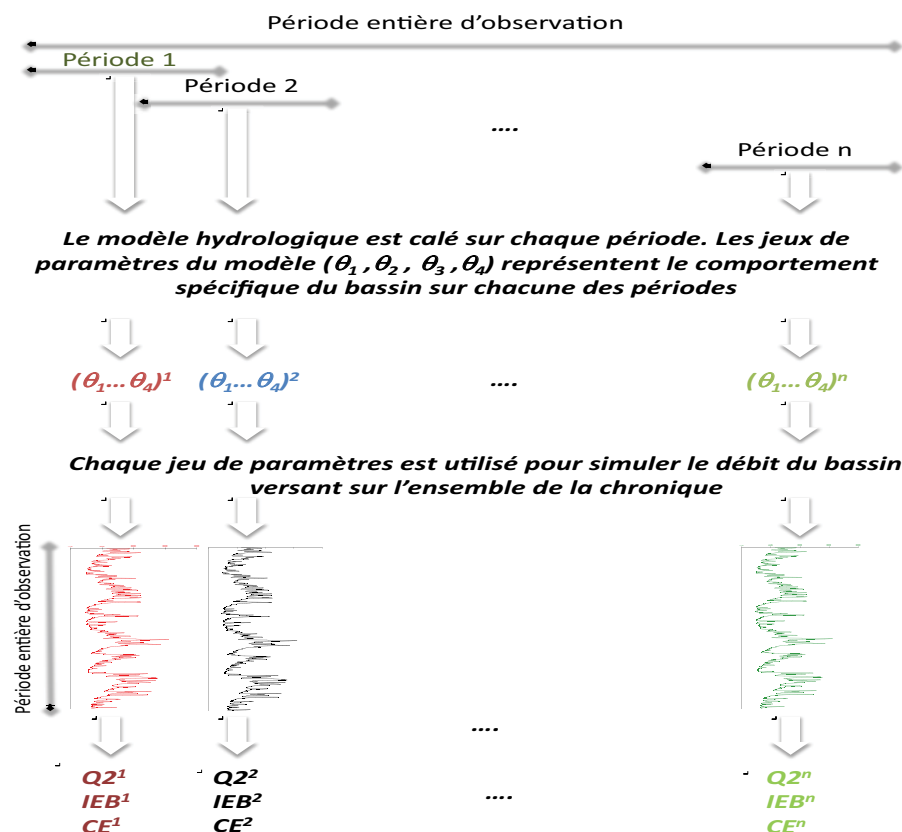


Figure 2 : Méthodologie de modélisation suivie permettant de s'affranchir de la variabilité du climat [Andréassian *et al.*, 2003].

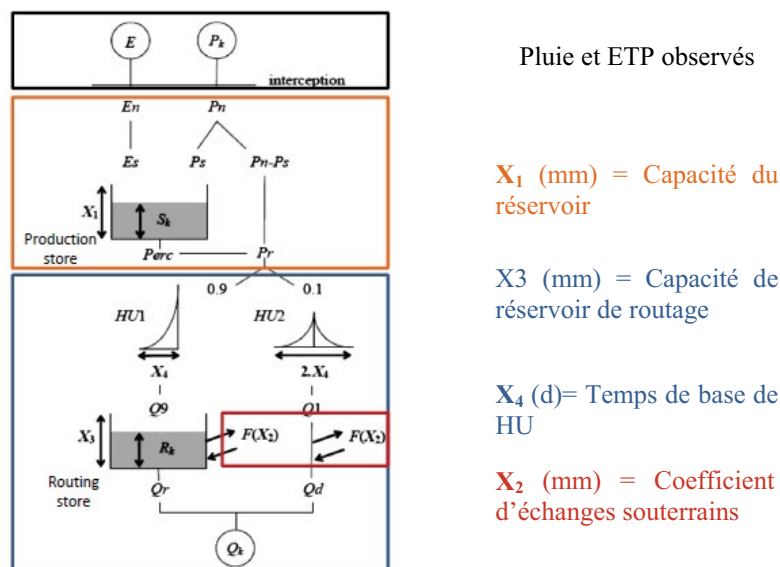


Figure 3 : Schéma et équations principales du modèle hydrologique GR4J.

### III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III.1. Analyse des tendances sur les chroniques observées

Pour cette partie, la méthodologie reposant sur les observations est appliquée sur les 172 bassins versants urbanisés et non-urbanisés. Pour chaque bassin versant, les caractéristiques hydrologiques (Q2, CE et IEB) ont été calculées pour des périodes glissantes de 5 ans à partir des chroniques de débits et de précipitations, couvrant en général la période 1940-2010. Le test de tendance est ensuite effectué sur les chroniques annuelles pour lesquelles l'année représente l'année centrale de chacune des sous-périodes. Par exemple, la première sous période couvrant les années 1940-1945 conduit au calcul des caractéristiques hydrologiques de l'année 1942 et la deuxième sous période couvrant les années 1941-1946 conduit au calcul des caractéristiques hydrologiques de l'année 1943.

La Figure 4 montre les pourcentages de bassins urbanisés et non urbanisés affectés par des tendances significatives. Pour toutes les caractéristiques hydrologiques, le nombre de bassins avec les tendances non-significatives est relativement important (plus de 50 %). Pour les tendances significatives, Q2 et CE annuels ont des valeurs plutôt à la hausse alors que les tendances pour l'indice d'écoulement de base (IEB) sont plus équilibrées. Ces résultats peuvent être dus soit au nombre de bassins urbains qui est plus grand que

celui des bassins non-urbains, soit aux effets climatiques qui influencent les tendances des caractéristiques hydrologiques.

La Figure 5 indique les résultats en distinguant les bassins non urbains et urbains.

On remarque que les bassins versants urbains présentent des tendances un peu plus significatives que les bassins versants non-urbains. Par ailleurs, pour les bassins versants qui présentent des tendances significatives, les résultats sont relativement en accord avec le sens commun : le coefficient d'écoulement augmente plus pour les bassins versants urbains que pour les bassins versants non urbains et c'est l'inverse pour l'indice d'écoulement de base.

#### III.2. Analyse des tendances sur les chroniques reconstituées (simulées)

Les mêmes tests de tendance sont appliqués ici pour les débits reconstitués suivant la méthode décrite à la Figure 3. Rappelons qu'avec cette méthode, seul le jeu de paramètres du modèle change d'une période à l'autre et que la totalité de la chronique de débit est reconstituée à chaque fois, ce qui permet de s'affranchir de la variabilité du climat entre les périodes de 5 ans. Les Figure 6 et 7 synthétisent les résultats obtenus par le test de tendances sur les trois caractéristiques hydrologiques pour les bassins urbains et non urbains.

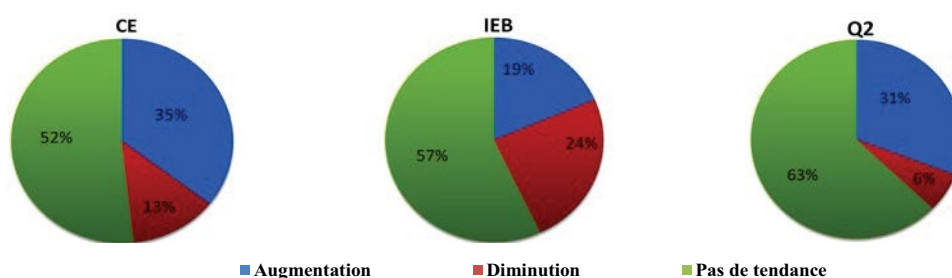
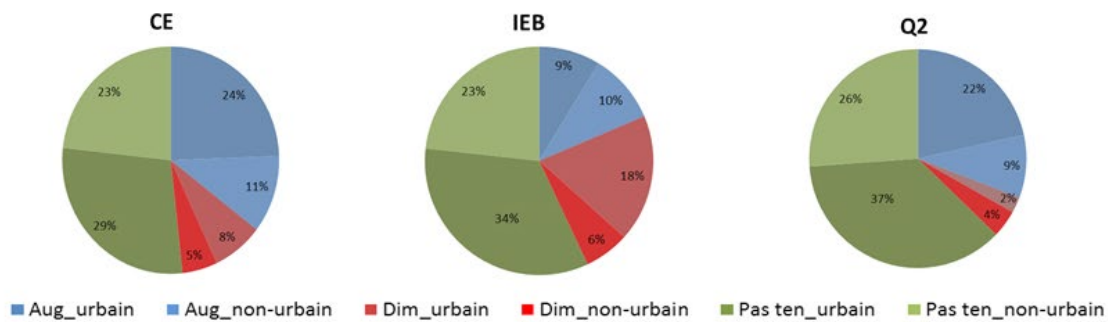
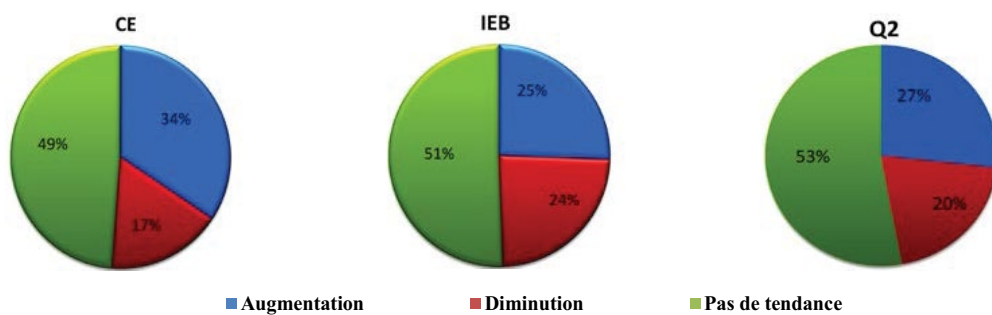


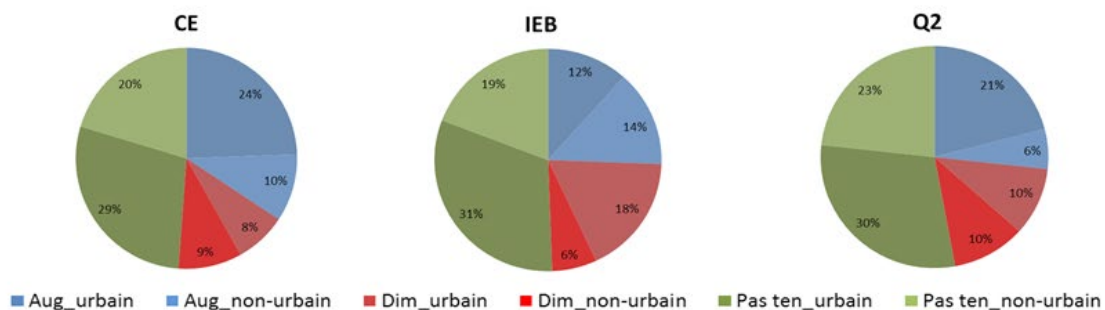
Figure 4 : Les tendances des caractéristiques hydrologiques sur les 172 bassins versants. Le coefficient d'écoulement (CE), l'indice d'écoulement de base (IEB) et le débit biennal (Q2).



**Figure 5 :** Les tendances des caractéristiques hydrologiques sur les 68 bassins versants non-urbains et 104 bassins urbains (Aug = Augmentation, Dim = Diminution, Pas\_ten = Pas de tendance, couleur claire = non-urbain et foncée = urbaine).



**Figure 6 :** Les tendances des caractéristiques hydrologiques simulées sur les 172 bassins versants.



**Figure 7 :** Les tendances des caractéristiques hydrologiques simulées sur les 68 bassins versants non-urbains et 104 bassins urbains (Aug = Augmentation, Dim = Diminution, Pas\_ten = Pas de tendance, couleur claire = non-urbain et foncée = urbaine).

Nos remarquons que les résultats sont assez proches de ceux obtenus sur les chroniques observées de débit : l'ensemble des caractéristiques hydrologiques indiquent des tendances non-significatives pour un grand nombre de bassins (plus de 50 %). Pour les tendances significatives, Q2 et CE ont des tendances plus équilibrées entre augmentation et diminution. Ces différences avec les résultats obtenus des chroniques observées peuvent provenir (i) de l'incertitude inhérente au modèle hydrologique utilisé pour simuler les caractéristiques hydrologiques ou (ii) d'une élimination satisfaisante de l'effet climatique pour les résultats de la simulation.

La même méthode a été appliquée sur les bassins non-urbains et urbains séparément. Pour une évaluation

générale, des tableaux de contingence sont présentés pour comparer les résultats de tendance obtenus avec les chroniques observées et simulées. En général, il y a une bonne concordance des tendances des caractéristiques hydrologiques observées et simulées. Les résultats montrent que pour une majorité de bassins, les deux méthodes donnent des tendances similaires. Cependant, pour le débit biennal et dans une moindre mesure pour le coefficient d'écoulement, l'utilisation des observations indiquent des tendances plus marquées à la hausse par rapport aux simulations. Ceci est cohérent avec les études récentes indiquant une augmentation des extrêmes pluviométriques aux Etats-Unis, qui a priori impactent plus les chroniques observées que simulées.

Tableau 1 : Tableau de contingence des tendances entre l'approche utilisant la modélisation hydrologique ('Sim', en colonnes) et l'approche utilisant uniquement les observations ('obs', en lignes) pour les trois caractéristiques hydrologiques analysées.

| Obs \ Sim | Coefficient d'écoulement |    |    | Indice d'écoulement de base |    |    | Débit biennal |    |    |
|-----------|--------------------------|----|----|-----------------------------|----|----|---------------|----|----|
|           | -                        | 0  | +  | -                           | 0  | +  | -             | 0  | +  |
| -         | 16                       | 6  | 0  | 29                          | 7  | 6  | 4             | 6  | 1  |
| 0         | 12                       | 70 | 7  | 8                           | 75 | 15 | 26            | 66 | 16 |
| +         | 1                        | 8  | 52 | 4                           | 5  | 23 | 5             | 19 | 29 |

#### IV. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette étude était de mettre en place et de tester une méthodologie pour évaluer l'impact de l'urbanisation sur le comportement hydrologique des bassins versants. Pour répondre à notre objectif, un large échantillon de 172 bassins situés aux Etats-Unis a été recueilli, permettant l'étude des tendances sur le long terme de différents aspects de la réponse hydrologique des bassins versants. Cet échantillon de bassins urbains et non-urbains permet de tirer quelques conclusions générales sur les relations entre urbanisation et évolution des caractéristiques hydrologiques de bassins versant. De plus, une méthodologie originale a été mise en place pour diminuer l'impact des variations climatiques qui se superposent aux effets du changement d'occupation du sol. Les principaux résultats de cette étude montrent :

- qu'une moitié de bassins versants urbains ne présente pas de tendances significatives sur les caractéristiques hydrologiques analysées ;
- que pour l'autre moitié, l'urbanisation a pour effet d'augmenter le débit biennal et le coefficient d'écoulement et de diminuer l'indice d'écoulement de base ;
- qu'une méthode utilisant la modélisation semble être assez efficace pour s'affranchir de la variabilité du climat au cours de la période considérée. Ceci reste cependant à vérifier en tenant compte des incertitudes de la modélisation hydrologique utilisée.

Ces résultats ont besoin d'être analysés plus finement en tenant compte l'évolution historique de l'occupation de sol. Nous envisageons d'utiliser la densité de logements comme données auxiliaires permettant de reconstituer l'évolution de l'urbanisation sur le long terme. En particulier, les cartes de densité de logements reconstituées par [Theobald] [2005] permettent de reconstituer une information sur les surfaces urbaines de 1950 à 2010 tous les 10 ans. Une étude des cartes d'occupation de sol NLCD de 1992, 2001 et 2006 et des cartes de densité de maison récentes a montré qu'il était possible de reconstituer la fraction urbaine de chaque bassin à partir des densités de maisons pour les années 1940 à 1980 avec un pas de temps de 10 ans. Par ailleurs, nous travaillons également à la prise en compte de la répartition spatiale des zones urbaines au sein du bassin et de son réseau hydrographique [Salavati *et al.*, 2015].

#### V. REMERCIEMENTS

Merci aux relecteurs de ce texte pour leurs corrections et leurs judicieuses remarques. Les données de précipitations et de températures journalières sont extraites de la base de données de Global Historical Climatology Network - Daily (GHCN-Daily), Version 3. 20 disponible sur NOAA, National Oceanic

and Atmospheric Administration (<http://doi.org/10.7289/V5D21VHZ>). National Land Cover Database (NLCD) ont obtenu sur le website de Multi-Resolution Land Characteristics (MRLC) (existe sur <http://www.mrlc.gov/about.php>).

#### VI. REFERENCES

- ANDRÉASSIAN V. (2012) — Visualising the hydrological signature of an unsteady land cover – an application to deforested and afforested catchments in Australia, the USA and France. *IAHS publication*. **353** : 125-134
- ANDRÉASSIAN V., PARENT E. ET MICHEL C. (2003) — A distribution-free test to detect gradual changes in watershed behavior. *Water Resources Research*. **39(9)** : 1252
- ARNOLD J. G., ALLEN P. M., MUTTIAH R. ET BERNHARDT G. (1995) — Automated Base-Flow Separation and Recession Analysis Techniques. *Ground Water*. **33(6)** : 1010-1018
- ASHAGRIE A. G., DE LAAT P. J. M., DE WIT M. J. M., TU M. ET UHLENBROOK S. (2006) — Detecting the influence of land use changes on discharges and floods in the Meuse River Basin - the predictive power of a ninety-year rainfall-runoff relation? *Hydrology and Earth System Sciences*. **10(5)** : 691-701
- BOOTH D. B., HARTLEY D. ET JACKSON R. (2002) — Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of storm-water impacts 1. *Journal of the American Water Resources Association*. **38(3)** : 835-845
- BOSCH D. J., LOHANI V. K., DYMOND R. L., KIBLER D. F. ET STEPHENSON K. (2003) — Hydrological and fiscal impacts of residential development: Virginia case study. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*. **129(2)** : 107-114
- BRAUD I., FLETCHER T. D. ET ANDRIEU H. (2013) — Hydrology of peri-urban catchments: Processes and modelling. *Journal of Hydrology*. **485** : 1-4
- BRUN S. E. ET BAND L. E. (2000) — Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. *Computers, Environment and Urban Systems*. **24(1)** : 5-22
- DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES (2005) — Rules for Environmental Planning Criteria. *Rules of Georgia Department of Natural Resources Environmental Protection Division, Georgia Planning*. 28-30
- DEWALLE D. R., SWISTOCK B. R., JOHNSON T. E. ET MCGUIRE K. J. (2000) — Potential effects of climate change and urbanization on mean annual streamflow in the United States. *Water Resources Research*. **36(9)** : 2655-2664
- HAMED K. H. ET RAMACHANDRA RAO A. (1998) — A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. **204(1-4)** : 182-196
- KARL T. R. ET KNIGHT R. W. (1998) — Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **79(2)** : 231-241

- KAUFFMAN G., BELDEN A., VONCK K. ET HOMSEY A. (2009) — Link between Impervious Cover and Base Flow in the White Clay Creek Wild and Scenic Watershed in Delaware. *Journal of Hydrologic Engineering*. **14**(4) : 324-334
- KONRAD C. P. ET BOOTH D. B. (2005) — Hydrologic changes in urban streams and their ecological significance. *Effects of Urbanization on Stream Ecosystems*. **47** : 157-177
- LAURENT F. ET RUELLAND D. (2010) — Modélisation à base physique de la variabilité hydroclimatique à l'échelle d'un grand bassin versant tropical. *IAHS publication*. **340** : 474-484
- LØRUP J. K., REFGAARD J. C. ET MAZVIMAVI D. (1998) — Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modelling: case studies from Zimbabwe. *Journal of Hydrology*. **205** : 147-163
- MEYER S. C. ET WILSON S. D. (2002) — Impact of urbanization on base flow and recharge rates, northeastern Illinois: Summary of year 1 activities. *Proceedings of the Annual IGC Conference, Illinois Groundwater Consortium*
- PERRIN C., MICHEL C. ET ANDREASSIAN V. (2003) — Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*. **279** : 275-289
- POMEROY C. A. (2007) — Evaluating the impacts of urbanization and stormwater management practices on stream response. *Department of Civil and Environmental Engineering, Fort Collins, Colorado, Colorado State University. PhD*. 214
- ROESNER L. A. ET BLEDSOE B. P. (2003) — Physical Effects of Wet Weather Flows on Aquatic Habitats: Present Knowledge and Research Needs. *Water Environment Research Foundation and IWA Publishing*.
- ROSE S. ET PETERS N. E. (2001) — Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach. *Hydrological Processes*. **15**(8) : 1441-1457
- ROZELL D. P. E. (2010) — Urbanization and Trends in Long Island Stream Base Flow. *Seventeenth Annual Conference on Geology of Long Island and Metropolitan, New York*
- SALAVATI B., OUDIN L., FURUSHO C. ET RIBSTEIN P. (2015) — Analysing the impact of urban areas patterns on the mean annual flow of 43 urbanized catchments. *Proc. IAHS*, **92**(1-4)
- SCHREIDER S. Y., JAKEMAN A. J., LETCHER R. A., NATHAN R. J., NEAL B. P. ET BEAVIS S. G. (2002) — Detecting changes in streamflow response to changes in non-climatic catchment conditions: farm dam development in the Murray-Darling basin, Australia. *Journal of Hydrology*. **262** : 84-98
- SCHUELER T. (1994) — The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*. **3** : 1-12
- SHAW M. E. (1994) — *Hydrology in practice*. London, Chapman & Hall
- THEOBALD D. M. (2005) — Landscape patterns of exurban growth in the USA from 1980 to 2020. *Ecology and Society*. **10**(1)
- WAGENER T. (2007) — Can we model the hydrological impacts of environmental change? *Hydrological Processes*. **21**(23) : 3233-3236
- WARBURTON M. L., SCHULZE R. E. ET JEWITT G. P. W. (2012) — Hydrological impacts of land use change in three diverse South African catchments. *Journal of Hydrology*. **414-415** : 118-135
- YANG G. X., BOWLING L. C., CHERKAUER K. A., PIJANOWSKI B. C. ET NIYOGI D. (2010) — Hydroclimatic Response of Watersheds to Urban Intensity: An Observational and Modeling-Based Analysis for the White River Basin, Indiana. *Journal of Hydrometeorology*. **11**(1) : 122-138