

# APPORTS DE LA MODÉLISATION DISTRIBUÉE HORAIRE DANS LA COMPRÉHENSION DU CYCLE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT PÉRIURBAIN : YZERON – OUEST LYONNAIS, FRANCE

KERMADI S.<sup>1</sup>, LABBAS M.<sup>2</sup>, BRANGER F.<sup>2</sup>, BRAUD I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, UMR CNRS 5600 EVS, 18, rue Chevreul, F-69364 Lyon, France, [Saida.kermadi@univ-lyon2.fr]

<sup>2</sup>Irstea Lyon, UR HHLy, 5 rue de la Doua CS70077 69626 VILLEURBANNE Cedex, [flora.branger@irstea.fr]

**Résumé** - Des travaux précédents, réalisés avec un modèle hydrologique distribué initialement conçu pour les bassins ruraux, le modèle J2000 appliqué au pas de temps journalier, ont permis de mettre en évidence l'impact de l'augmentation des surfaces imperméables sur la composition des écoulements du bassin versant de l'Yzeron. Ce pas de temps étant peu efficace pour représenter la dynamique rapide des sous bassins urbains, un nouveau modèle, J2000P, spécifiquement dédiée aux bassins périurbains, a été développé. Il prend en compte la variabilité spatiale du coefficient d'infiltration, modifiée par l'imperméabilisation des surfaces, les réseaux d'assainissement et d'eaux pluviales ainsi que les déversoirs d'orage. L'application du modèle sur le bassin de l'Yzeron sur une période de 10 ans montre que le modèle est capable de reproduire le cycle hydrologique sur le bassin, avec de meilleures performances en conditions humides et en hiver et une tendance à sous-estimer les bas débits. Le modèle permet aussi de visualiser la variabilité spatiale des composantes du bilan hydrologique et en particulier les contrastes entre zones urbanisées, cultivées et sous forêt.

**Mots clés** : périurbain, débit, modélisation hydrologique, imperméabilisation.

**Abstract - Improving our understanding of the hydrological cycle in a periurban catchment using a hourly distributed hydrological model: Yzeron catchment, west of Lyon, France**". Previous research, conducted using a distributed hydrological model initially dedicated to rural catchments, the J2000 daily model, highlighted the impact of impervious surfaces increase on the discharge components in the Yzeron catchment. However, because the daily time step was too coarse to capture the quick runoff dynamics in urban areas, a new model called J2000P, dedicated to periurban catchments, was developed. It takes into account the spatial variability of the infiltration coefficient, induced by different degrees of imperviousness as well as sewers networks and sewer overflow devices, which allow water to overflow in the natural river when sewer networks are saturated. Application of the J2000P model over a ten-year period in the Yzeron catchment shows that the model is able to reproduce the catchment hydrological cycle, with better performance in humid conditions and in winter and a tendency to underestimate low flows. The model also allows mapping the spatial variability of the hydrological cycle components and in particular contrasted behaviors between urban, forested and agricultural areas.

**Keywords**: suburban, flow, hydrological modeling, imperviousness.

## Introduction

L'impact de l'évolution de l'occupation du sol sur le cycle hydrologique n'est plus à prouver. De nombreux travaux ont évalué les effets de l'accroissement urbain sur les modifications des écoulements. Cette quantification, capitale pour les gestionnaires de l'aménagement du territoire, est examinée non seulement pour des événements extrêmes et ponctuels, mais également en continu sur de longues séries hydrologiques et à l'échelle du bassin versant. Des modélisations à différentes échelles incluant des données naturelles et anthropiques sont proposées pour comprendre le fonctionnement des hydro-systèmes périurbains, soumis à de fortes pressions anthropiques.

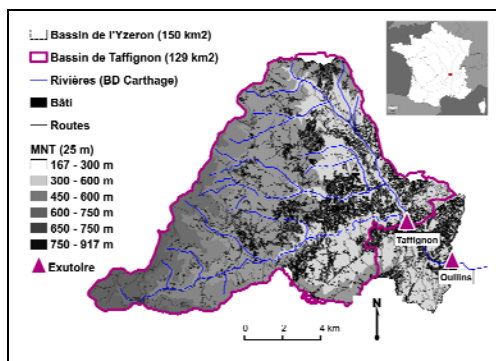
De nombreux travaux, en particulier dans le cadre du projet ANR AVuPUR (Braud *et al.*, 2011), ont contribué à une meilleure compréhension de l'impact de l'anthropisation sur l'hydrologie du bassin périurbain de l'Yzeron, situé en périphérie lyonnaise. Le modèle J2000, intégrant des éléments physiques de l'écoulement (sol, sous sol) des éléments anthropiques (évolution de l'occupation du sol) et des données climatiques journalières (précipitations, ETR), a confirmé l'intérêt d'une modélisation hydrologique distribuée dans l'estimation de l'impact de l'accroissement urbain sur le bilan hydrologique de l'Yzeron (Branger *et al.*, 2013). Cependant des limites ont été identifiées, en particulier un pas de temps trop grossier pour représenter la dynamique des zones urbaines et la non prise en compte des réseaux d'assainissement, justifiant le développement d'une version du modèle J2000P (P pour Périurbain) adaptée aux spécificités et à la grande hétérogénéité spatiale d'un bassin périurbain comme celui de l'Yzeron. Le modèle J2000P fonctionne au pas de temps horaire et

il est ici utilisé pour étudier l'impact de l'urbanisation sur l'ensemble du régime hydrologique d'un bassin de taille moyenne, à l'aide de simulation sur une période de 10 ans (Labbas, 2015).

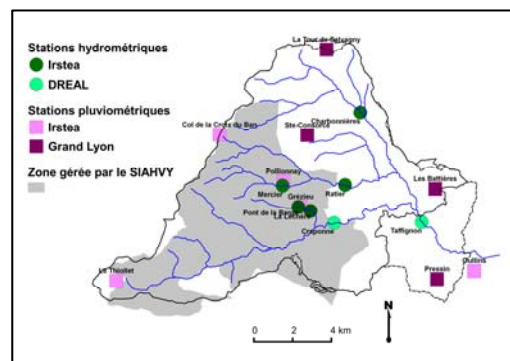
Dans cette étude, après une brève présentation du bassin versant et des principes du modèle J2000P, nous présentons les résultats de la modélisation des régimes hydrologiques. L'évaluation du modèle a été conduite en comparant les régimes simulés et observés à l'exutoire, mais aussi dans des sous-bassins intermédiaires. Les composantes du débit (surface, sub-surface, débit de base) sont aussi examinées, ainsi que la dynamique du modèle.

## 1. Zone d'étude

Le bassin versant de l'Yzeron (148 km<sup>2</sup>) se situe à l'ouest de la ville de Lyon et s'étend de la vallée du Rhône jusqu'aux Monts Lyonnais où il culmine à 912 m (Figure 1). L'exutoire du bassin se situe à la hauteur de la ville d'Oullins, à 162 m, où la rivière Yzeron se jette dans le fleuve Rhône. Le bassin subit, depuis les années 1970, une augmentation de son urbanisation de l'amont vers l'aval (Kermadi *et al.*, 2013). On trouve aussi des zones de forêts à l'ouest, sur les fortes pentes et des zones agricoles dans la partie intermédiaire du bassin, moins pentue. C'est un bassin de recherche de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) dont l'instrumentation est décrite en détails dans Braud *et al.* (2013) et présentée en Figure. 2.



**Figure 1.** Présentation du bassin de l'Yzeron : topographie, réseau hydrographique et zones urbanisées (bâti et voirie). La station exutoire de Taffignon draine un sous-bassin de 129 km<sup>2</sup>.



**Figure 2.** Localisation des stations pluviométriques (carrés) et hydrométriques (points). Le réseau d'assainissement est géré par le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de la Haute Vallée de l'Yzeron (zone grise) ou par le Grand Lyon (le reste du bassin).

## 2. Régime hydro-climatique

La pluie moyenne annuelle du bassin est de 830 mm (Météo-France, 2012). Le régime pluviométrique est caractérisé par une forte variabilité interannuelle, avec des totaux allant de 500 mm pour les années les plus sèches à 1.000 mm pour les années les plus humides (Fig. 3). Le régime annuel présente deux maxima correspondant aux saisons intermédiaires (plus de 70 mm) et un minimum inscrit en hiver (30 mm en janvier et février). Les pluies journalières peuvent dépasser 50 mm.

La moyenne de l'évapotranspiration de référence (ET\_ref) du bassin de Taffignon est de 660 mm an<sup>-1</sup>. Si l'ET\_ref ne dépasse pas les 25 mm en hiver, elle est au-dessus de 95 mm en été et le maximum caractérise le mois de juillet : 117 mm.

Quant au régime hydrologique du bassin, ses variations intra-annuelles (Fig. 3) sont influencées par l'évapotranspiration et le taux de saturation du sol ainsi que par le régime pluviométrique. Si les totaux pluviométriques de l'hiver sont moins importants que ceux des

saisons intermédiaires, c'est en cette période que le débit atteint son maximum. La reconstitution du stock d'eau dans le sol en automne et la faible évapotranspiration réelle en hiver contribuent aux écoulements importants de cette période (Gnouma, 2006). Le débit moyen mensuel de l'Yzeron mesuré à la station de Craponne est de  $0.33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  et ses valeurs extrêmes sont de  $0.06 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en août et de  $0.54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en février. Ce maxima mensuel peut, également, s'enregistrer en une journée, voir en quelques heures, tel que pour le 2 décembre 2003 ( $53,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) entraînant ainsi une des crues les plus importantes dans le bassin de l'Yzeron (Kermadi *et al.*, 2003).

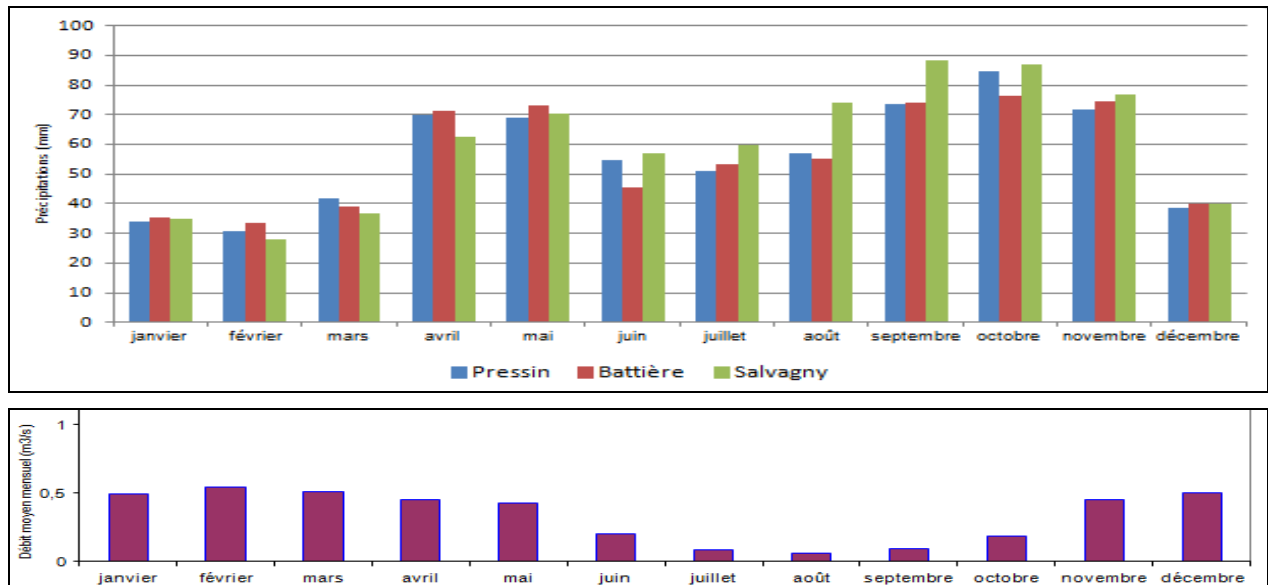


Figure 3. Précipitations moyennes mensuelles dans le bassin versant de l'Yzeron (1985-2010) et écoulement moyen mensuel à Craponne (1970-2010).

### 3. Le modèle hydrologique J2000P et sa mise en œuvre sur le bassin de l'Yzeron

Le modèle J2000P, adopté pour l'Yzeron, s'appuie sur un maillage en Unités hydrologiques supposés homogènes en terme d'occupation du sol, sol et sous sol (**Hydrological Response Units ou HRUs**). Les processus hydrologiques du modèle J2000 sont décrits dans Krause *et al.* (2006) et Branger *et al.* (2013) et ne sont pas repris ici. Pour une meilleure prise en compte de l'hétérogénéité spatiale des bassins périurbains et de la dynamique rapide des zones urbaines, les modifications suivantes ont été incluses dans J2000P (Labbas, 2015, voir aussi le schéma de fonctionnement du modèle sur la Figure 4) :

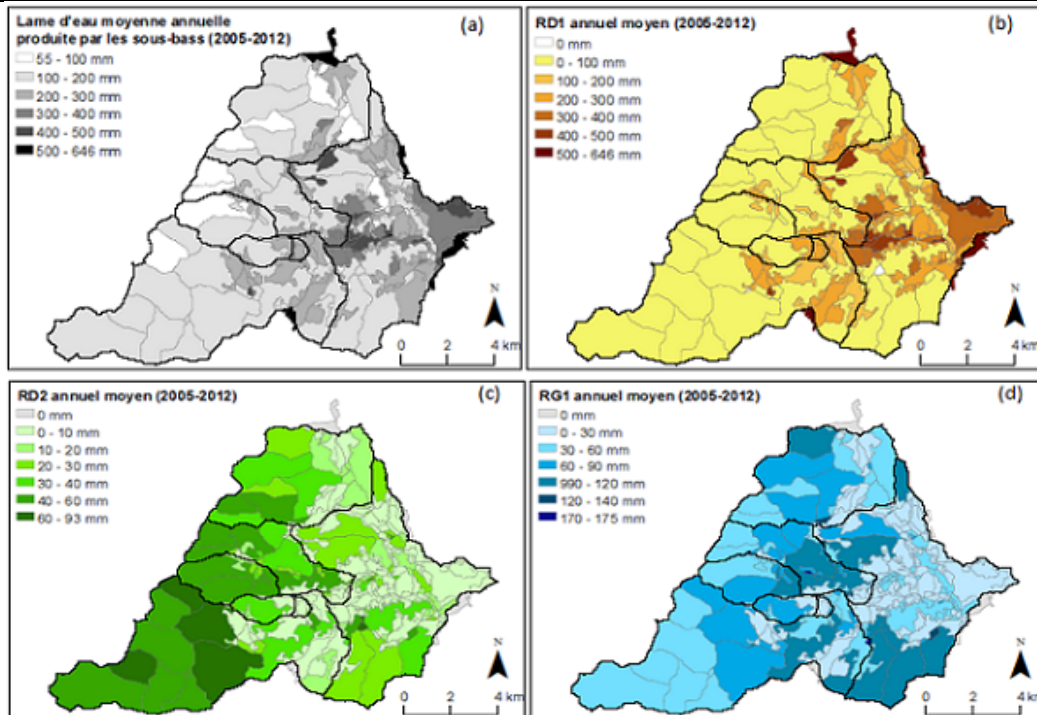
- Le modèle fonctionne au pas de temps horaire, mieux adapté à la rapidité des réponses hydrologiques en milieu périurbain ;
- Le coefficient d'infiltration,  $\beta_{inf}$ , (qui permet la partition entre la part de l'eau disponible qui peut s'infiltrer dans le sol ou qui va ruisseler directement) est spatialisé pour une meilleure prise en compte de l'hétérogénéité spatiale du processus d'infiltration ;
- Deux types de réseaux sont pris en compte: le réseau d'assainissement (réseau unitaire) et le réseau hydrographique naturel complété par le réseau d'eau pluvial séparatif. Par ailleurs, l'eau qui ruisselle peut soit être envoyée au réseau d'assainissement, soit à la rivière. Le coefficient,  $\tau_{connect}$ , permet de gérer cette partition ;
- Un module de déversoir d'orage (DO) a été développé, permettant de simuler les déversements du réseau jusqu'à la rivière lorsque le réseau d'assainissement est saturé.



Les débits horaires simulés par le modèle ont été comparés aux observations sur l'ensemble des stations disponibles sur la période 2005-2012 (Labbas, 2015). Afin de pouvoir les comparer avec J2000, la Table 1 fournit une comparaison aux pas de temps journaliers et mensuels. Le modèle J2000P a des valeurs de critères de Nash –Sutcliffe (*NSE*) supérieure à celle de J2000, montrant qu'il simule mieux les hauts débits (voir aussi simulation de  $Q_{max}$ ). J2000P a cependant tendance à sous-estimer les volumes écoulés (*PBIAIS* <0), ce que confirment les valeurs du débit moyen. Différentes hypothèses de fonctionnement ont été testées pour essayer de comprendre les déficiences du modèle J2000P. Outre l'importance de la précision du forçage pluviométrique, cette étude montre l'importance d'une bonne représentation des propriétés du sol et du sous-sol (constantes de récession des débits, taille des réservoirs sol). Les résultats du modèle et en particulier le volume déversé dans la rivière via les DOs sont aussi sensibles à la valeur du taux de connexion au réseau  $\tau_{connect}$  et à la hauteur seuil du DO. La collecte d'informations plus précises serait nécessaire pour améliorer la connaissance de ces paramètres liés à la nature des aménagements urbains.

**Table 1.** Critères de Nash –Sutcliffe (*NSE*) et *PBIAIS* calculés entre données modélisées et observées par J2000 et J2000P au pas de temps journalier/mensuel, débit moyen et maximum simulé et observé. Plus le *NSE* est proche de 1, meilleure est la simulation. Un *NSE* <0 : le modèle est moins bien qu'un modèle qui serait égal à la moyenne des observations. Si *PBIAIS* est <0 (>0), le modèle sous-estime (sur-estime) les débits.

	<i>NSE</i> (-)		<i>PBIAIS</i> (%)		$Q_{mean}$ ( $m^3 s^{-1}$ )			$Q_{max}$ ( $m^3 s^{-1}$ )		
	J2000	J2000P	J2000	J2000P	J2000	J2000P	Observé	J2000	J2000P	Observé
Taffignon	0,48/0,82	0,80/0,85	13,9	-9,23	0,681	0,554	0,611	21,322	36,40	45,99
Craponne	0,33/0,46	0,78/0,70	-48,8	-39,6	0,158	0,183	0,304	2,735	13,28	16,39
Charbonnières	0,50	0,28	-38,2	-69,3	-	-	-	-	-	-
Ratier	0,51	-0,69	5,5	15,5	-	-	-	-	-	-
Mercier	0,25/0,62	0,65/0,70	-15,8	-27,8	0,034	0,029	0,045	0,482	2,123	4,100
La Léchère	0,35/0,59	0,72/0,70	38,1	-30,54	0,027	0,013	0,019	1,343	0,940	1,560



**Figure 7.** Bilan hydrique spatialisé sur la période 2005-12 : (a) lame d'eau écoulée moyenne annuelle, (b) ruissellement de surface moyen annuel, (c) écoulement de sub-surface moyen annuel, (d) débit de base moyen annuel.

Le modèle J2000P fournit aussi une vision spatialisée de la répartition des composantes du bilan hydrologique et de celles du débit. Bien qu'aucune mesure ne soit disponible pour valider ces cartes, les résultats obtenus sont raisonnables et conformes à la connaissance du bassin. La Figure 7 illustre ainsi la lame d'eau moyenne interannuelle simulée sur les

différentes mailles et sa décomposition en ruissellement rapide (RD1), de sub-surface (RD2) et débit de base (RG1). Comme on s'y attend, la lame d'eau est supérieure sur les zones urbanisées (sous bassins mixtes de la Fig. 5), de même que le ruissellement rapide RD1. Le débit de sub-surface domine sur les zones forestières et pentues à l'ouest, alors que le débit de base est plus important sur les zones agricoles intermédiaires. On note aussi la faible part de débit de base et de sub-surface sur les zones urbanisées. La connaissance de cette décomposition des écoulements est intéressante pour la gestion du bassin car la composante ruissellement de surface est celle qui peut drainer de la pollution (lessivages des routes et toitures) dans la rivière.

## Conclusion

Les résultats obtenus avec le modèle J2000P montrent l'intérêt de représenter explicitement les spécificités des bassins périurbains, par rapport au modèle J2000 initial, ainsi que le passage du modèle à un pas de temps horaire. Les périodes de hautes eaux sont mieux représentées, même si J2000P a tendance à sous-estimer les bas débits. Le nouveau modèle peut être utile aux gestionnaires car sa structure permet d'intégrer des évolutions de l'usage du sol et des modes de gestion des eaux pluviales (Labbas, 2015).

## Remerciements

Les données proviennent du projet AVuPUR (contrat ANR-07-VULN-01), de l'OTHU, du Grand Lyon et du SIAHVY. Ce travail fait partie du projet EC2CO BVPU/ROSENHY.

## Bibliographie

- Branger F., Kermadi S., Jacqueminet C., Michel K., Labbas M., Krause P., Kralisch S., Braud I., 2013 : Assessment of the influence of land use data on the hydrology of a periurban catchment using a distributed modelling approach. *Journal of Hydrology*, **505**, 312-325.
- Braud I., Breil P., Thollet F., Lagouy M., Branger F., Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., 2013 : Evidence of the impact of urbanization on the hydrological regime of a medium-sized periurban catchment in France. *Journal of Hydrology*, **485**, 5-23.
- Gnouma R., 2006 : Aide à la calibration d'un modèle hydrologique distribué au moyen d'une analyse des processus hydrologiques: application au bassin versant de l'Yzeron, *Thèse de Doctorat*, INSA, Lyon, 412 p.
- Jacqueminet C., Kermadi S., Michel K., Béal D., Branger F., Jankowsky S., Braud I., 2013 : Land cover mapping using aerial and VHR satellite images for distributed hydrological modelling of periurban catchments: application to the Yzeron catchment (Lyon, France). *Journal of Hydrology*, **485**, 68-83.
- Kermadi S., Braud I., Jacqueminet C., Branger F., Renard F., Michel K., 2013 : Quels liens entre climatologie, occupation des sols et inondations dans le bassin versant de l'Yzeron (ouest Lyonnais) ? Apport de l'analyse conjointe de données hydroclimatiques et d'images satellitaires très haute résolution. *Climatologie*, **9**, 83-107.
- Krause P., Base F., Bende U., Fink M., Flugel W., Pfennig B., 2006 : Multiscale investigations in a mesoscale catchment - hydrological modelling in the Gera catchment. *Adv. Geosci.*, **9**, 53-61.
- Labbas M., 2015 : Modélisation hydrologique de bassins versants périurbains et influence de l'occupation du sol et de la gestion des eaux pluviales. Application au bassin de l'Yzeron (130 km<sup>2</sup>). *Thèse de Doctorat*, Université de Grenoble, 379 p.
- Vidal J.P., Martin E., Franchisteguy L., Baillon M., Soubeyroux J., 2010 : A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the SAFRAN system. *Int. J. Climatol.*, **30**, 1627-1644.