



**HAL**  
open science

## Comparaison de modélisation hydrologique distribuée et de modèle de mélange biogéochimique pour connaître les contributions aux écoulements dans un bassin versant péri-urbain

Olivier Grandjouan, Flora Branger, Matthieu Masson, B. Cournoyer, Nicolas Robinet, Pauline Dusseux, Angélique Dominguez Lage, Marina Coquery

### ► To cite this version:

Olivier Grandjouan, Flora Branger, Matthieu Masson, B. Cournoyer, Nicolas Robinet, et al.. Comparaison de modélisation hydrologique distribuée et de modèle de mélange biogéochimique pour connaître les contributions aux écoulements dans un bassin versant péri-urbain. 10ème Journées Doctorales en Hydrologie Urbaine, Oct 2024, Bouguenais, France. hal-04868902

**HAL Id: hal-04868902**

<https://hal.inrae.fr/hal-04868902v1>

Submitted on 6 Jan 2025

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# 1 Comparaison de modélisation hydrologique distribuée et de 2 modèle de mélange biogéochimique pour connaître les 3 contributions aux écoulements dans un bassin versant péri-urbain

4 GRANDJOUAN Olivier<sup>(1)\*</sup>, BRANGER Flora<sup>(1)</sup>, MASSON Matthieu<sup>(1)</sup>, COURNOYER Benoît<sup>(2)</sup>,  
5 ROBINET Nicolas<sup>(3)</sup>, DUSSEUX Pauline<sup>(4)</sup>, DOMINGUEZ LAGE Angélique<sup>(2)</sup>,  
6 COQUERY Marina<sup>(1)</sup>

7 <sup>(1)</sup> INRAE, UR Riverly, Centre de Lyon-Villeurbanne, F-69625, Villeurbanne, France

8 <sup>(2)</sup> Univ Lyon, UMR Ecologie Microbienne (LEM), Université Claude Bernard Lyon 1, VetAgro Sup, France

9 <sup>(3)</sup> UMR CNRS 5194 Pacte, Université Grenoble Alpes, Cermosem, Mirabel, France

10 <sup>(4)</sup> Institut d'Urbanisation et de Géographie Alpine, Université Grenoble-Alpes, CNRS, PACTE, Grenoble, France

11 \*ograndjouan@gmail.com

12 Les modèles hydrologiques distribués sont des outils prometteurs pour représenter les contributions à l'exutoire  
13 d'un bassin versant péri-urbain, mais sont associés à des difficultés dans la validation des résultats. Les modèles  
14 de mélange biogéochimiques permettent également de décomposer le débit selon des contributions verticales (e.g.  
15 souterrain, surface) comme spatiales (e.g. liées aux différentes occupations du sol). L'objectif de cette étude est de  
16 confronter ces deux modèles pour évaluer les résultats simulés par un modèle hydrologique distribué. Cette  
17 approche couplée est appliquée au modèle hydrologique distribué J2000P, mis en œuvre sur le bassin versant du  
18 Ratier, sous-bassin versant de l'Yzeron dans l'ouest Lyonnais et site d'étude de « L'Observatoire de Terrain en  
19 Hydrologie Urbaine » (OTHU) et de l'infrastructure de recherche nationale « Observatoire de la zone Critique :  
20 Applications et Recherche » (OZCAR). Les débits aux exutoires du Ratier et de son sous-bassin du Mercier ont  
21 été décomposés selon les deux approches et selon sept « sources » associées à des occupations du sol (forêt, prairie,  
22 agriculture), un aquifère, un réseau d'assainissement et deux types de ruissellement de surface. Ces décompositions  
23 ont été effectuées pour des eaux de « mélange » échantillonnées aux exutoires du Ratier et du Mercier dans des  
24 conditions hydrologiques et météorologiques contrastées dont 6 événements hydrologiques et 26 prélèvements par  
25 temps sec. La confrontation des deux modèles a révélé des différences significatives entre les contributions  
26 simulées par le modèle hydrologique et celles estimées à partir du modèle de mélange. Des pistes d'amélioration  
27 du modèle J2000P sont apportées sur la base des résultats obtenus. Cette étude a clairement démontré l'intérêt  
28 d'utiliser des données biogéochimiques pour évaluer des résultats d'un modèle hydrologique distribué.

29 **Mots-clés** : décomposition du débit ; modèle de mélange ; sources ; occupation du sol ; modélisation distribuée ;  
30 cours d'eau

## 31 *A biogeochemical approach for the evaluation of a distributed* 32 *hydrological model in a mixed land-use catchment*

33 Distributed hydrological models are promising tools for the representation of flow contributions at the outlet of a  
34 peri-urban catchments, but there are difficulties for the validation of the results. Biogeochemical mixing models  
35 are other tools that can decompose the discharge according to vertical (e.g. groundwater, surface runoff) or spatial  
36 contributions (e.g. linked to land-uses). The confrontation of both approaches appears to be effective for validating  
37 the results of a distributed hydrological model. This method is applied to the Ratier catchment, a sub-catchment  
38 of the Yzeron and a study site for the "Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine" (OTHU) and the national  
39 research infrastructure "Observatoire de la Zone Critique: Applications et Recherche" (OZCAR), in order to  
40 evaluate the results of the J2000P distributed hydrological model. The stream discharge measured at the outlet of  
41 the Ratier catchment and of the Mercier sub-catchment was decomposed with both models, according to seven  
42 "sources" associated to different land uses (forest, grassland, agriculture), an aquifer, a sewage system and two  
43 different surface runoff. These decompositions were applied to "mixed" water sampled at the Ratier and Mercier  
44 outlets under contrasted hydrological and meteorological conditions: 6 hydrological events and 26 surface water  
45 samples collected during dry periods. The confrontation of both approaches revealed clear differences between the  
46 contributions simulated by the hydrological model and those estimated from the mixing model. Based on those  
47 results, we proposed practical solutions for improving the J2000P model. This study clearly demonstrated the  
48 interest of using biogeochemical data to evaluate and improve a distributed hydrological model.

49 **Keywords**: discharge decomposition; mixing model; sources; land-use; distributed modelisation; stream

## 50 I INTRODUCTION

51 Les chemins de l'eau peuvent être largement modifiés en milieu péri-urbain. La diversité des paysages  
 52 (naturel, agricole, urbain) et la présence de nombreux éléments anthropiques (réseau d'assainissement,  
 53 surfaces imperméables...) ont un impact important sur les processus hydrologiques [Jacobson, 2011].  
 54 La modélisation des écoulements au sein de ces bassins peut alors s'avérer complexe à mettre en place.  
 55 Les modèles hydrologiques distribués apparaissent comme des outils prometteurs pour représenter les  
 56 différents chemins de l'eau et composantes hydrologiques (e.g. surface, subsurface, souterrain) dans un  
 57 tel contexte [Fuamba *et al.*, 2019]. Ils ont cependant une structure complexe et font appel à de nombreux  
 58 paramètres, qui rendent leur calibration et validation délicates [Beven, 2006]. Au final, un débit total  
 59 correctement modélisé à l'exutoire ne suffit pas à établir que le modèle donne "les bonnes réponses pour  
 60 les bonnes raisons" [Kirchner, 2006].

61 Différentes sources peuvent apporter une contribution hydrologique au débit total dans un cours d'eau.  
 62 Ces sources peuvent être caractérisées par leurs compartiments hydrologiques (souterrain, subsurface,  
 63 surface) ou leurs occupations ou usages de sols particuliers (forêt, urbain, agricole...). Elles peuvent  
 64 apporter une contribution diffuse (pâturage, culture...) ou ponctuelle (e.g. surverses de réseau  
 65 d'assainissement). Il est aujourd'hui admis que la composition physico-chimique des eaux (i.e. son  
 66 empreinte biogéochimique) peut apporter des informations pertinentes sur la décomposition de  
 67 l'écoulement total [Birkel & Soulsby, 2015]. L'utilisation de ces données à travers des modèles de  
 68 mélange est une méthode couramment utilisée pour estimer les contributions de différentes sources  
 69 [Ladouche *et al.*, 2001].

70 Aujourd'hui, cette approche par empreinte biogéochimique a rarement été mise en regard avec les  
 71 modèles hydrologiques distribués, alors qu'elle présente un réel potentiel dans l'évaluation de ces  
 72 modèles. L'objectif de cette étude est de développer une méthode d'évaluation d'un modèle  
 73 hydrologique distribué à partir de données biogéochimiques issues de prélèvements d'eaux de surface.  
 74 Cette méthode s'articule selon les étapes suivantes :

- 75 1. Implémenter un module de décomposition spatiale des débits dans un modèle hydrologique  
 76 distribué, permettant de garder en mémoire l'origine de l'eau et de connaître les contributions  
 77 spécifiques des sources identifiées au volume total ;
- 78 2. Identifier les sources et estimer leur contribution en appliquant un modèle de mélange pour des  
 79 échantillons de mélange des eaux (e.g. exutoire de petits bassins versants) ;
- 80 3. Évaluer les résultats du modèle hydrologique distribué par comparaison des contributions  
 81 simulées avec les contributions calculées à partir des modèles de mélange biogéochimiques.

82 La méthodologie est appliquée au bassin versant du Ratier, sous-bassin de l'Yzeron qui est un site de  
 83 l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU), et au modèle hydrologique distribué J2000P  
 84 [Labbas, 2015], développé à INRAE Riverly.

## 85 II MATERIELS ET METHODES

86 Le bassin versant du Ratier est situé dans l'ouest Lyonnais et s'étend sur une superficie d'environ  
 87 19,8 km<sup>2</sup>. La géologie du bassin est quasi-uniforme avec des gneiss sur l'ensemble de la surface à  
 88 l'exception d'un dépôt de colluvion à proximité de l'exutoire, marqué par la présence d'un aquifère  
 89 local. L'occupation de sol est hétérogène et représentative d'un milieu péri-urbain (forestier, agricole,  
 90 urbain). Le bassin versant du Mercier et un sous-bassin, imbriqué dans celui du Ratier, d'environ 8 km<sup>2</sup>  
 91 à dominante plus forestière et agricole.

92 La méthodologie a consisté à construire un modèle de mélange biogéochimique en définissant des  
 93 sources qui correspondent à des sous-bassins versants élémentaires (0,5 km<sup>2</sup> en moyenne), homogènes  
 94 dans l'hypothèse que l'eau issue de chacune de ces sources a des caractéristiques biogéochimiques  
 95 spécifiques. Au total 7 sources ont été identifiées et prélevées dont trois correspondant à des sous-bassins  
 96 à dominance respectivement de forêt, de prairie et d'activités agricoles (culture et pâturage bovin), une  
 97 drainant l'aquifère des colluvions, une correspondant aux eaux d'un réseau d'assainissement unitaire,  
 98 une issue d'un point de rejet de ruissellement urbain et une correspondant à du ruissellement de surface  
 99 avec une composition biogéochimique proche de celle des eaux de pluie. Chaque source a été prélevée  
 100 entre 4 et 5 fois, afin d'étudier la variabilité temporelle de la composition de ces sources dans des

101 conditions hydro-météorologiques différentes. En parallèle, des points de mélange ont été définis au  
 102 droit des stations du Mercier et du Ratier. L'eau a été collectée dans les cours d'eau par 26 prélèvements  
 103 manuels effectués par temps sec ainsi que des prélèvements automatiques lors de 6 événements  
 104 hydrologiques contrastés. Les composés majeurs, métaux dissous, caractéristiques de la matière  
 105 organique dissoute et paramètres microbiens ont été analysés pour l'ensemble des échantillons de source  
 106 et de mélange. A partir des résultats analytiques obtenus, un modèle de mélange a été appliqué selon  
 107 une approche Bayésienne afin de décomposer le débit total et d'estimer la contribution des sources  
 108 identifiées.

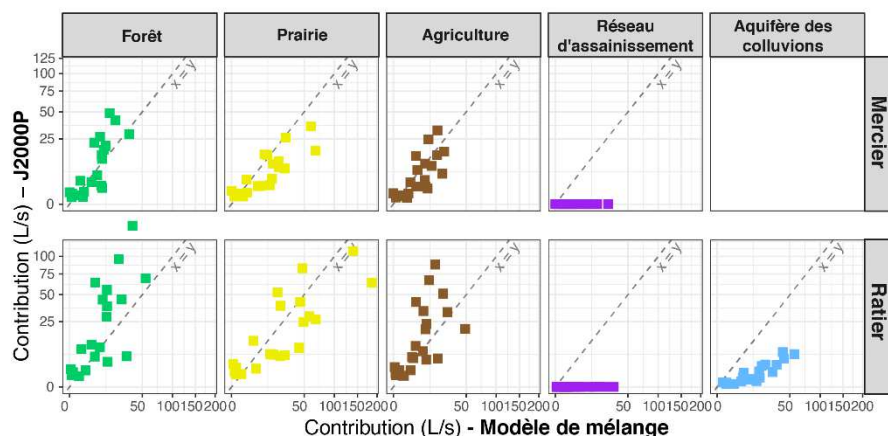
109 Le modèle hydrologique distribué J2000P a été préalablement calé sur la simulation des débits aux  
 110 exutoires du Mercier et du Ratier avec des performances satisfaisantes. En parallèle un module de  
 111 décomposition spatiale de l'écoulement a été développé dans J2000P, permettant de tracer l'origine  
 112 spatiale de l'eau en tout point du réseau hydrographique et à chaque pas de temps. Les écoulements  
 113 simulés par J2000P ont été associés aux sources identifiées précédemment afin de décomposer le débit  
 114 simulé selon ces sources.

115 Les résultats simulés par J2000P ont été comparés aux résultats obtenus par le modèle de mélange pour  
 116 les périodes correspondant aux 26 prélèvements par temps sec ainsi que pour les 6 événements  
 117 hydrologiques prélevés. Les résultats sont distingués selon les périodes hautes eaux ou de basses eaux  
 118 pour les périodes de temps sec, et selon les trois types d'événements hydrologiques prélevés.

### 119 III RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 120 III.1 Décomposition du débit par temps sec

121 La Figure 1 présente la comparaison des contributions hydrologiques au débit total aux exutoires du  
 122 Mercier et du Ratier obtenues avec le modèle de mélange biogéochimique et le modèle hydrologique  
 123 distribué pour les 26 prélèvements par temps sec. Les contributions des deux types de ruissellement de  
 124 surface ont été fixées à zéro. Ces comparaisons montrent des contributions globalement en accord pour  
 125 les forêts, les prairies et l'agriculture, avec des résultats légèrement plus cohérents pour le Mercier que  
 126 pour le Ratier. La contribution du réseau d'assainissement est nulle dans le modèle J2000P, aucun  
 127 débordement du réseau via le déversoir d'orage n'étant simulé par temps sec. Pourtant, les contributions  
 128 estimées par le modèle de mélange montrent un impact non-négligeable des eaux usées pour les deux  
 129 stations. Cette différence peut être imputée à des fuites du réseau d'assainissement, qui ne sont pas prises  
 130 en compte dans le modèle hydrologique. Le modèle J2000P tend également à sous-estimer la  
 131 contribution de l'aquifère des colluvions, indiquant une mauvaise paramétrisation de ce réservoir d'eau  
 132 souterraine dans le modèle hydrologique.

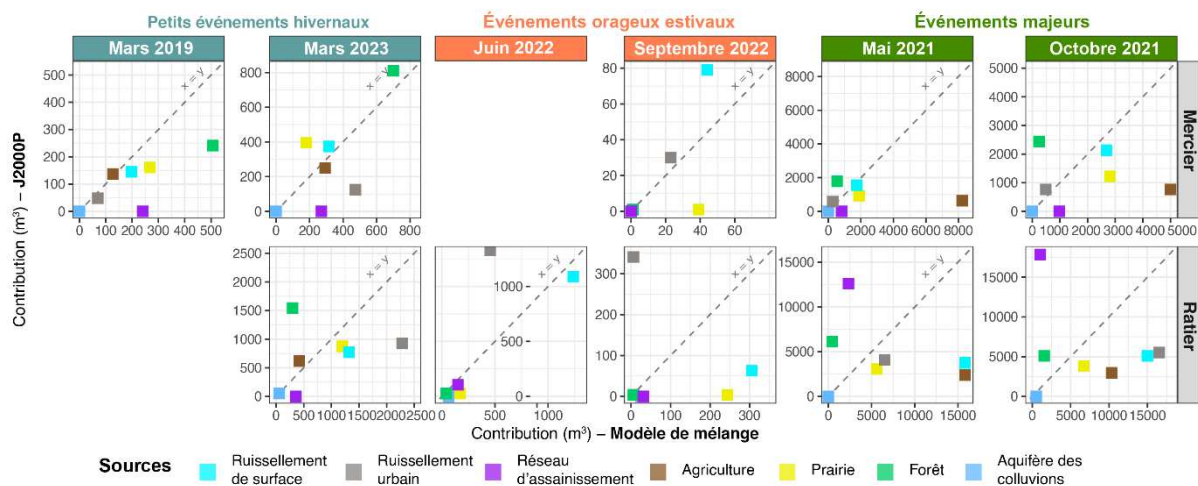


133

134 **Figure 1.** Comparaison des contributions estimées par le modèle de mélange biogéochimique (en abscisse) et  
 135 simulées par le modèle hydrologique J2000P (en ordonnée) pour les 26 prélèvements de mélange par temps sec,  
 136 aux exutoires du Mercier et du Ratier.

### 137 III.2 Décomposition du débit pour les événements hydrologiques

138 La Figure 2 montre la comparaison des contributions hydrologiques du débit total aux exutoires du  
 139 Mercier et du Ratier estimées par les deux approches pour les eaux prélevées lors des 6 événements  
 140 hydrologiques. Cette comparaison montre des contributions globalement cohérentes pour les petits  
 141 événements hivernaux, à l'exception de la contribution du réseau d'assainissement qui reste sous-  
 142 estimée par le modèle J2000P. Les contributions majoritaires pour les événements orageux estivaux sont  
 143 les ruissellements de surface et urbain pour les deux approches. Les contributions estimées par le modèle  
 144 de mélange montrent que les sols secs favorisent le ruissellement, en particulier sur les prairies.  
 145 Cependant, cette contribution importante des prairies n'est pas simulée par J2000P. Enfin la  
 146 comparaison pour les événements majeurs montre des contributions très différentes entre les deux  
 147 approches, avec une surestimation importante de la contribution du réseau d'assainissement par J2000P.  
 148 Ce contraste peut s'expliquer par une différence dans la nature des volumes tracés par les deux modèles.  
 149 La totalité des volumes simulés en sortie du déversoir d'orage sont tracés en tant que « Réseau  
 150 d'assainissement » par J2000P tandis que le modèle de mélange ne trace que la fraction correspondant  
 151 aux eaux usées ; les eaux de débordement correspondent en réalité à un mélange d'eaux usées, d'eau de  
 152 ruissellement urbain et d'eau pluviale.



153

154 **Figure 2.** Comparaison des contributions estimées par le modèle de mélange biogéochimique (en abscisse) et  
 155 simulées par le modèle hydrologique J2000P (en ordonnée) pour les 6 événements hydrologiques prélevés, aux  
 156 exutoires du Mercier et du Ratier.

### 157 IV CONCLUSIONS

158 La comparaison des résultats simulés par le modèle hydrologique distribué J2000P avec les résultats du  
 159 modèle de mélange biogéochimique a permis de mettre en évidence les principales faiblesses de J2000  
 160 parmi lesquelles la sous-estimation de la contribution des eaux usées et la sous-estimation de la  
 161 contribution de l'aquifère des colluvions. Sur la base de ces résultats, nous avons proposé des  
 162 recommandations pour l'amélioration de J2000P, comme la prise en compte d'une contribution  
 163 significative du réseau d'assainissement hors événement, ainsi que l'augmentation de la contribution  
 164 globale de l'aquifère des colluvions par l'augmentation du temps de vidange ou la modification de la  
 165 capacité de stockage du réservoir. Ce travail montre l'intérêt de s'intéresser aux contributions spatiales  
 166 pour l'évaluation complète d'un modèle hydrologique distribué ; et que ce dernier ne donne  
 167 effectivement pas forcément « les bonnes réponses pour les bonnes raisons » [Kirchner, 2006].  
 168 L'utilisation des données biogéochimiques a montré un réel intérêt pour évaluer les résultats de  
 169 décomposition spatiale du débit à l'exutoire de petits bassins versants selon les caractéristiques  
 170 géologiques et d'occupation du sol du bassin.

171 Les recommandations proposées à partir de cette méthode pour l'amélioration du modèle hydrologique  
 172 J2000P pourront par la suite être appliquées dans le but d'obtenir une meilleure représentation des  
 173 contributions spatiales simulées par ce modèle. Cette évaluation pourrait être approfondie en prenant en  
 174 compte les notions de temps de transfert des eaux à travers le bassin au sein des deux approches de  
 175 modélisation, notamment par la décomposition temporelle du débit (e.g. vieilles eaux vs nouvelles eaux)



176 à l'aide de traceurs isotopiques dans le modèle de mélange. Plus largement, l'utilisation conjointe des  
 177 modèles hydrologiques distribués et des modèles de mélange offre la possibilité de prévoir l'évolution  
 178 des contributions des sources de contaminants dans le temps. Une telle approche peut être un réel outil  
 179 d'aide à la décision pour une meilleure gestion de la qualité et de la quantité des ressources en eau sur  
 180 les bassins péri-urbains. Ces aspects apparaissent d'autant plus nécessaires dans un contexte de  
 181 changement global.

182

## 183 V REMERCIEMENTS

184 Nos remerciements vont au Laboratoire de Chimie des Milieux Aquatiques (INRAE – Riverly) pour les  
 185 analyses physico-chimiques, à Mickaël Lagouy pour les prélèvements sur le terrain, à tous les  
 186 participants du projet ANR CHYPSTER (ANR-21-CE34-0013) et AERMC-ZABR IDESOC, ainsi qu'à  
 187 l'école universitaire H2O'Lyon pour le co-financement de la thèse dans le cadre de laquelle ce travail a  
 188 été effectué.

## 189 VI REFERENCES

- Beven K. (2006). A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology*, 320, 18-36. doi : 10.1016/j.jhydrol.2005.07.007
- Birkel C. & Soulsby C. (2015). Advancing tracer-aided rainfall–runoff modelling: a review of progress, problems and unrealised potential. *Hydrological Processes*, 29, 5227– 5240. doi: 10.1002/hyp.10594.
- Fuamba M., Branger F.; Braud I.; Batchabani E.; Sanzana P.; Sarrazin B. & Jankowfsky S. (2009). Value of distributed water level and soil moisture data in the evaluation of a distributed hydrological model: Application to the PUMMA model in the Mercier catchment (6.6km<sup>2</sup>) in France. *Journal of Hydrology*, 569, 753-770. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.12.035
- Jacobson C. R. (2011). Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of Environmental Management*, 92, 1438-1448. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.01.018
- Kirchner J. W. (2006). Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Resources Research*, 42, W03S04. doi:10.1029/2005WR004362.
- 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 (130km<sup>2</sup>). PhD thesis, Sciences de la Terre. Université Grenoble Alpes, France, 388 p. NNT : 2015GREAU006.
- Ladouche B., Probst A., Viville D., Idir S., Baqué D., Loubet M., Probst J.-L. & Bariac T. (2001). Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach catchment, France). *Journal of Hydrology*, 242, 255-274. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00391-7.

190