

## Optimisation des teneurs en contaminants émergents de l'eau distribuée en fonction de l'origine des eaux au sein d'un même champ captant

### *Optimisation of contaminant levels in distributed water depending on the origin of the water within the same catchment area*

Jean-Baptiste Julien<sup>1</sup>, Le Gal La Salle Corinne<sup>1</sup>, Verdoux Patrick<sup>1</sup>, Khaska Somar<sup>1</sup>, Antoine Bonnière<sup>1</sup>, Camille Nègre<sup>2</sup>, Carole Bonny<sup>3</sup>, Julien Fuentes<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Nîmes université, [corinne.legallasalle@unimes.fr](mailto:corinne.legallasalle@unimes.fr), <sup>2</sup>Nîmes métropole, [camille.negre@nimes-metropole.fr](mailto:camille.negre@nimes-metropole.fr), <sup>3</sup>Eau de Nîmes Métropole, [carole.bonny@eaudenimesmetropole.com](mailto:carole.bonny@eaudenimesmetropole.com)

#### RÉSUMÉ

Les nappes alluviales représentent une ressource importante en eau potable. Leur situation géographique les expose souvent à une double alimentation, eau de surface d'un côté et eau souterraine de l'autre, qui peut être mise à profit pour optimiser la qualité de l'eau distribuée. Il est néanmoins nécessaire au préalable de bien définir la qualité des masses d'eau et leur contribution. Une approche par traçage géochimique et traitement statistique permet de définir le fonctionnement hydrodynamique du système. Le suivi géochimique des eaux de forage et de leurs sources d'alimentation permet de caractériser les différentes masses d'eau et de déterminer les pôles de mélange. Sur la base de ces observations, le modèle de mélange conservatif GLUE-EMMA permet de quantifier les mélanges. Cette étude menée sur une soixante de contaminants organiques (phytosanitaires, pharmaceutiques et perfluorés) sur le champ captant de Comps dans le Gard en bordure du Rhône permet de déconvoluer les capacités d'épuration naturelles des berges et de réponse face à l'émergence de contaminations pérennes ou accidentelles de l'une ou l'autre des masses d'eau alimentant la ressource.

#### ABSTRACT

Alluvial groundwater constitutes an important resource for drinking water. Their geographical location often exposes them to a dual supply, surface water on the one hand and groundwater on the other, which can be used to optimise the quality of the water distributed. First it is necessary to define the quality of the water bodies and their contribution. An approach based on geochemical tracing and statistical processing can be used to define the hydrodynamic functioning of the system. Geochemical monitoring of the borehole water and its feed sources is used to characterise the different water bodies and determine the mixing endmembers. Based on these observations, the GLUE-EMMA conservative mixing model is used to quantify the mixing. This study, carried out on sixty organic contaminants (phytosanitary, pharmaceutical and perfluorinated) in the Comps catchment area in the Gard department on the banks of the Rhône, makes it possible to deconvolute the natural purification capacities of the banks and sediments of the alluvial aquifer from the attenuation by dilution according to the adopted pumping scheme for the wellfield. On this basis, it is possible to build predictive models of the supplied water quality, depending on the wellfield operating scheme, providing an primary response to the emergence of perennial or accidental contamination of feeding water bodies.

#### MOTS CLÉS

Contaminants emergent, traçage géochimique, GLUE EMMA, PFAS, attenuation

Contaminants of emerging concerns, geochemical tracing, GLUE EMMA, PFAS, attenuation

---

## 1 INTRODUCTION

En France, près de 40 % des eaux souterraines sont puisées dans les nappes alluviales, elles-mêmes en connexion hydraulique avec les eaux de surface (Margat, 2006). Sur la nappe alluviale du Rhône, plus de 300 ouvrages sont exploités pour un prélèvement annuel d'environ 200 millions de m<sup>3</sup> qui permettent l'alimentation en eau potable de l'ordre de trois millions d'habitants. L'équivalent est prélevé pour les besoins industriels, agricoles et divers sur le territoire (Olivier, 2009 ; Agence de l'eau, 2010). Pour ces champs captants, la ressource est exploitée au sein d'un continuum eaux de surface-eaux souterraines. Ce continuum oblige à considérer l'unicité de la ressource en termes de qualité. Cette problématique concerne particulièrement les gestionnaires de la ressource en eau potable qui ont pour obligation de maîtriser les risques provenant du bassin versant en amont des champs captants afin de garantir la continuité et la qualité de leurs services. La filtration sur berge et dans l'aquifère est utilisée comme processus naturel d'atténuation des contaminants pouvant être présents dans les eaux de surface (Hiscock, 2002). Les nappes alluviales du fait de leur situation, positionnées entre d'un côté un cours d'eau et de l'autre un territoire, peuvent être exposées à une double alimentation, celle des eaux de surface et celle d'une ou de plusieurs entités, nappes d'eau locales ou régionales. Cette double alimentation peut être mise à profit pour optimiser la qualité de l'eau de distribution d'un champ captant. Celui de Comps est un cas d'école en la matière avec son alimentation partagée entre les eaux de surface du Rhône et du Gardon sur sa bordure est et les eaux souterraines d'un massif calcaire crétacé en bordure ouest. Constitué de 15 mètres de matériaux alluviaux holocènes déposés par les vallées du Rhône et du Gardon, et recouvert de 5 mètres de limons d'inondation imperméables, cet aquifère de l'ordre de 30 ha est exploité par une dizaine de forages positionnés en partie en bordure est, à approximativement 70 m de la berge du Rhône, et en partie en bordure ouest, à proximité du massif karstique et environ 160 mètres des berges du Rhône.

Lors de cette étude, nous proposons une méthode permettant d'évaluer les capacités d'atténuation des contaminants du champ captant ainsi que la possibilité d'optimiser leur atténuation. Cette approche implique de pouvoir déconvoluer l'origine des eaux dans chacun des forages considérés. Cette déconvolution est faite à partir d'un traitement statistique des signatures géochimiques des différentes masses d'eau en présence.

## 2 MATERIELS ET METHODES

Les origines des eaux alimentant chacun des forages sur la période 2022 à 2023 ont été déterminées par :

- le déploiement d'un suivi bimensuel des différentes masses d'eaux : les eaux de six forages du champ captant de Comps (deux implantés en bordure est du champ captant, deux implantés en bordure ouest, deux implantés en position intermédiaire) ainsi que sur les deux sources d'alimentation de la nappe alluviale, les eaux de surface Rhône + Gardon et les eaux souterraines du massif calcaire :
- l'analyse de traceurs géochimiques, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, δ<sup>2</sup>H et δ<sup>18</sup>O, pour caractériser les différentes masses d'eaux et définir les pôles de mélanges ;
- l'utilisation de modèle de mélange conservatif, GLUE-EMMA, pour définir les modèles de mélanges (Rhône+Gardon/Massif Calcaire) concordant avec la signature des eaux prélevées pour chacun des forages, pour un seuil de tolérance de +/- 5%. (Delsman 2013). L'évaluation de l'exposition de la ressource aux contaminants organiques et leur devenir, a été menée en parallèle de l'étude du fonctionnement hydrogéologique de la nappe. Pour cela, un ensemble de 50 composés phytosanitaires, pharmaceutiques, d'hygiène et de soin ainsi que des composés perfluorés ont été suivis sur HPLC-MS/MS. Ces composés ont été sélectionnés à partir de l'analyse des données de qualités des eaux du Rhône établies par l'Agence de l'eau, à proximité du champ captant, entre 2018 et 2022 (Naïde : [naïades.eaufrance.fr](http://naïades.eaufrance.fr)).

## 3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Sur la base des résultats des modèles de mélange GLUE-EMMA, un processus de mélange conservatif entre eaux souterraines du massif calcaire et eaux de surface du Rhône+Gardon, permet d'expliquer la qualité des eaux souterraines dans 95% des cas (Fig. 1). Pour les forages en bordure du Rhône, à l'est du champ captant, la contribution des eaux de surface (Rhône+Gardon) est prépondérante (90%) alors que la contribution des eaux du massif Calcaire reste faible (10%). A l'inverse, les forages situés à l'Ouest sont majoritairement alimentés par le massif calcaire mais avec un mélange plus contrasté (60 à 90 % des eaux issues du massif calcaire et 40 à 10 % pour celles du Rhône+Gardon). Les forages en position centrale présentent quant à eux, un mélange d'environ 50-50% entre eaux du Rhône et eaux du massif calcaire. Ainsi, rétrospectivement sur la période 2022 à 2023, compte tenu des débits de production des différents forages, la configuration d'exploitation du champ captant

a conduit à distribuer majoritairement des eaux issues du Rhône+Gardon à près de 80 % pour une contribution secondaire des eaux issues du massif calcaire de l'ordre de 20 %. La connaissance du fonctionnement hydrogéologique du champ captant permet ainsi d'envisager des configurations d'exploitation différentes ayant pour conséquence de modifier la composition de l'eau de distribution et donc de pouvoir agir sur sa qualité.

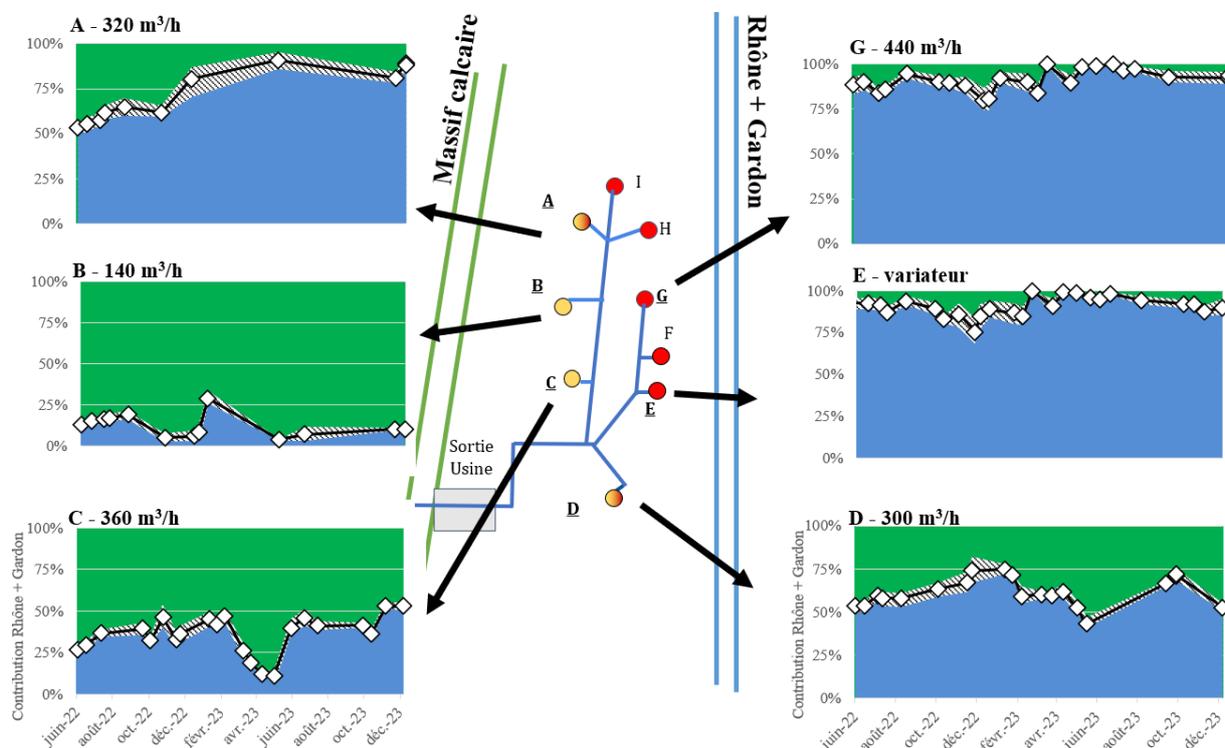


Figure 1 : Contribution relative des eaux de Surface Rhône Gardon (bleu) / Massif calcaire (vert) dans chacun des forages suivis de juin 2022 à décembre 2023, forages Est (Rouge), forages Ouest (jaune), forages Centre (dégradé jaune/rouge)

Le suivi des contaminants perfluorés a mis en évidence une exposition continue de la ressource en eau pour au moins 8 composés perfluorés avec le massif calcaire comme principale voie d'exposition ( $\Sigma$  Perfluorés  $\sim$  0.05 à 0.15  $\mu\text{g/L}$ ). Les eaux de surface du Rhône présentent quant à elles une charge deux à trois fois plus faibles en perfluorés. Le PFHxA (C6) représente ici le composé le plus présent. En ce qui concerne les contaminants phytosanitaires, pharmaceutiques d'hygiène et de soin, l'ensemble des résultats met en évidence une exposition continue de la ressource en eau pour au moins 20 composés pharmaceutiques et phytosanitaires par les eaux de surface du Rhône comme principale voie d'exposition. Pour les eaux karstiques, la contamination observée est à la fois plus faible et ciblée sur des contaminants d'origine principalement agricole marqués par la présence de pesticides. Dans le Rhône, metformine, caféine et acétaminophène, sont les plus quantifiés avec des concentrations médianes proches de 0.200  $\mu\text{g/L}$ , 0.060  $\mu\text{g/L}$  et 0.025  $\mu\text{g/L}$  respectivement. Pour les autres composés, l'exposition est bien moindre avec des concentrations significativement plus faibles de 0.005 à 0.010  $\mu\text{g/L}$ .

Le suivi des contaminants au droit des forages a permis de caractériser leur devenir et d'évaluer la capacité auto épuratrice des berges tout en prenant en compte les parts de mélange identifiées précédemment (Fig. 2). En effet, l'ensemble des composés les plus persistants sont, sans surprise, les perfluorés, les composés phytosanitaires ainsi que deux composés pharmaceutiques, la carbamazépine et le sulfaméthoxazole. Pour ces composés, les concentrations mesurées restent proche de celles des eaux d'alimentations de la nappe alluviale (Rhône+Gardon) ou nappe du massif calcaire. Les autres composés pharmaceutiques d'hygiène et de soins, en provenance du Rhône, présentent des abattements assez importants compris entre 75 et 90 %.

La dilution des contaminants en provenance du Rhône par les eaux du massif calcaire peut représenter un abattement complémentaire significatif par rapport à l'atténuation par filtration par les berges. La carbamazépine, le sulfaméthoxazole et la terbuthylazine, transférés par les eaux du Rhône, bénéficient tout particulièrement de ce processus à la différence des composés phytosanitaires et perfluorés qui eux augmentent puisque leurs concentrations sont plus importantes dans les eaux du massif calcaire que dans les eaux de surface du Rhône.

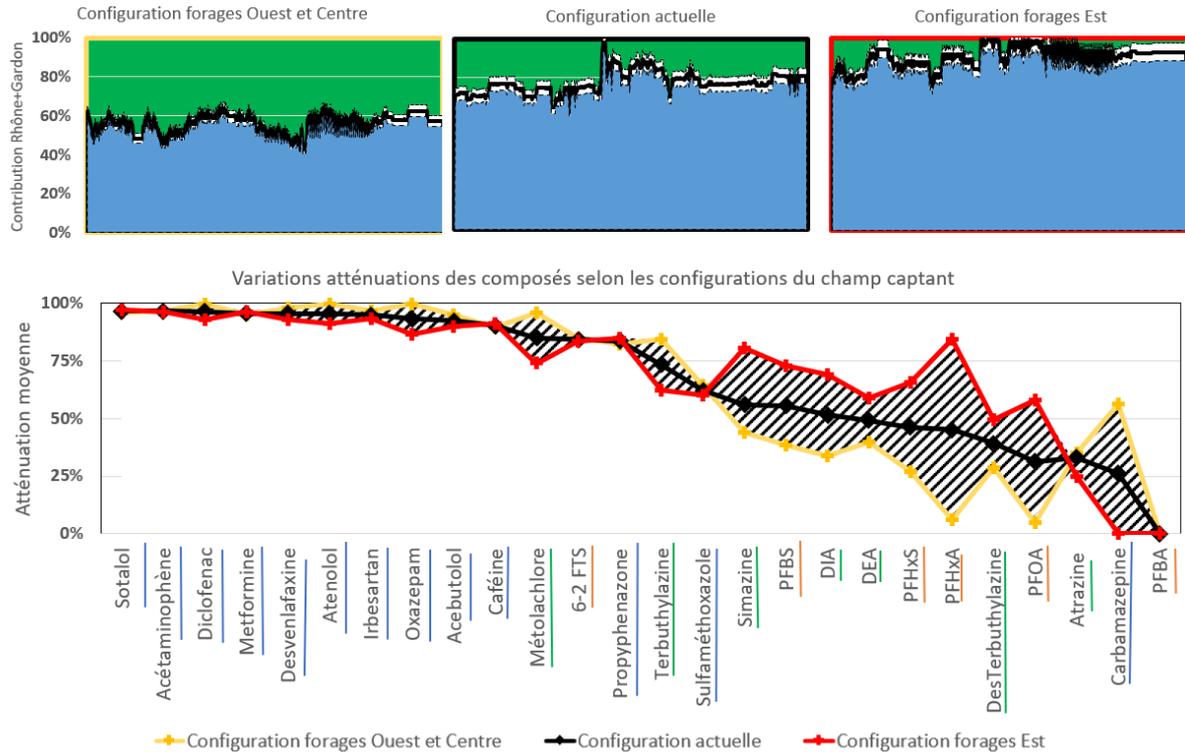


Figure 2 : Atténuations moyennes en sortie d'usine pour les composés pharmaceutiques (bleu), phytosanitaires (vert), industriels (orange) pour la configuration actuelle du champ captant (noir) et des configurations alternatives (rouge, les forages Est sont les plus exploités et jaune, les forages Ouest).

## 4 CONCLUSION

Les champs captant implantés dans les nappes alluviales, en bordure des cours d'eau, sont susceptibles d'être alimentés par plusieurs masses d'eau, eaux de surface d'un côté et eaux souterraines de l'autre, chaque masse d'eau étant susceptible d'arriver avec son cortège propre de contaminants. Une compréhension fine de la contribution de chacune des masses d'eau représente un outil puissant permettant d'accroître la qualité de l'eau distribuée par le champ captant. La réponse par une approche basée sur le traçage géochimique couplée à une approche statistique permet de mettre en œuvre cette optimisation de la qualité de la ressource.

## Remerciement

Ce travail a été soutenu par le dispositif France Relance, l'agglomération nîmes métropole et la société des Eaux de la métropole nimoise

## BIBLIOGRAPHIE (obligatoire uniquement pour les communications à caractère scientifique)

- Delsman, Joost & Oude Essink, Gualbert & Beven, Keith & Stuyfzand, Pieter. (2013). Uncertainty estimation of end member mixing using generalized likelihood uncertainty estimation (GLUE), applied in a lowland catchment. *Water Resources Research*. 49. 4792– 4806. 10.1002/wrcr.20341.
- Hiscock, Kevin & Grischek, Thomas. (2001). Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *Journal of Hydrology*. 266. 139-144. 10.1016/S0022-1694(02)00158-0.
- Margat, J. (2006) Exploitation des eaux souterraines. In: *Aquifères et eaux souterraines en France*. Sous la direction de J.C. Roux. Association Internationale des Hydrogéologues et BRGM, Brgm Edition, Orléans, France, pp.840-847
- NAÏADE : [naïades.eaufrance.fr](http://naïades.eaufrance.fr)
- Olivier, Jean-Michel, Carrel, Georges, Lamouroux, Nicolas, Dole-Olivier, Marie-Jose, Malard, Florian, Bravard, Jean-Paul, Amoros, Claude, 2009. The Rhône River basin. In book: *Rivers of Europe*; Publisher: Academic Press, Elsevier (pp.247-295) DOI:10.1016/B978-0-12-369449-2.00007-2