

Caractérisation hydro-géochimique d'une plaine alluviale en période de crue : cas de la Bassée

Hydro-geochemical characterization of an alluvial plain during a flood: case study of "la Bassée"

Nicolas Flipo^{1*}, Fulvia Baratelli^{1*}, Edith Parlanti², Sophie Guillon¹, Gilles Varrault³, Anne Jost⁴, Mahaut Sourzac², Agnès Rivière¹, Jean-Marie Mouchel⁴

¹Centre de Géosciences, Mines ParisTech, PSL, Fontainebleau (correspondants : nicolas.flipo@mines-paristech.fr, fulvia.baratelli@mines-paristech.fr). ²Université de Bordeaux, UMR EPOC 5805 CNRS, Talence. ³LEESU, Université Paris-Est, UMR MA 102, Créteil. ⁴Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, CNRS, EPHE, UMR 7619 Metis, Paris

RÉSUMÉ

Le territoire de la plaine alluviale de la Bassée (320 km²), localisé en amont de la confluence entre la Seine et l'Yonne (France), est l'objet de grands projets d'aménagement. La plaine alluviale s'inscrit dans l'aquifère régional de la craie du Crétacé Supérieur. Une première campagne de mesure des paramètres biogéochimiques a été organisée en mars 2017 afin de cerner la connectivité hydraulique et le fonctionnement biogéochimique des trois compartiments du système (rivière, aquifère alluvial, aquifère régional). La campagne s'est déroulée sur trois jours, quelques heures seulement avant le passage du pic de crue, ce qui rend l'analyse des données particulièrement compliquée du fait de cet état très transitoire. Néanmoins, les données thermiques indiquent très clairement une infiltration de la rivière vers sa plaine alluviale lors de la montée de crue. L'analyse de $\delta^{18}\text{O}$, pH, O₂, NO₃, carbone organique dissous (COD), ainsi que des indices sur la qualité de la matière organique montre que la rivière est peu réactive lors de la crue alors que la plaine alluviale et l'aquifère régional seraient le siège d'une activité hétérotrophe significative de dénitrification. À cette vision fonctionnelle, se surimposent des indications de mise en connexion de l'aquifère régional avec des eaux de surface très bien oxygénées et fortement chargées en nitrates à l'amont et à l'aval du site étudié. Cette mise en connexion est flagrante lors de cette période transitoire. Il conviendra d'approfondir notre compréhension de la dynamique hydro-biogéochimique du site en menant de nouvelles campagnes en conditions plus stables de moyennes et basses eaux.

ABSTRACT

We present here a hydro-biogeochemical characterization of an alluvial plain during a flood. The alluvial plain is "la Bassée" plain (320 km²) located south east of Paris, France. On this site regional planning is on-going with a challenge of reconciling various usages. The alluvial plain lays on the Chalk regional aquifer. In order to determine the connectivity and the functioning of each of the three components of the system (river, alluvial aquifer, regional aquifer), a 3 day-sampling campaign took place in March 2017, just before a flood peak, so that the interpretation of the collected data is particularly difficult. Nevertheless, temperature data clearly state that the river infiltrated in the alluvial aquifer during the flood rise. The combined analysis of $\delta^{18}\text{O}$, pH, O₂, NO₃, dissolved organic carbon, as well as organic matter quality indexes, shows a very low reactivity of the river itself, whereas the alluvial aquifer and the underlying regional aquifer exhibit a significant heterotrophic activity, sometimes associated with denitrification in the deeper aquifer. Besides evidence of this activity, the data also allow the determination of the connectivity between the three compartments of the system. The complex spatially distributed functioning will be characterized temporally under more stable hydrological conditions in the future.

MOTS CLES

Alluvial plain, river, connectivity, hydro-biogeochemical functioning, multi-tracer

1 FONCTIONNEMENT DES PLAINES ALLUVIALES

Si le fonctionnement des interfaces nappe-rivière est de mieux en mieux compris à l'échelle très locale des petites rivières accessibles à pied, il n'est pas de même des grands systèmes alluviaux (Flipo et al., 2014). Cela est lié à la dimension de ces systèmes qui les rend difficiles à échantillonner mais aussi à la nécessité de mobiliser de très nombreux champs disciplinaires pour pouvoir caractériser leur fonctionnement. Néanmoins la demande est forte de la part des gestionnaires de l'environnement pour construire le corpus de connaissances caractérisant le fonctionnement hydro-écologique de ces systèmes qui subissent une très forte pression anthropique, et qui font l'objet de projets d'aménagements.

1.1 Conceptualisation des systèmes alluviaux

La conceptualisation multi-échelle des échanges nappe-rivière à l'échelle des grands systèmes alluviaux indique que pour étudier le fonctionnement des plaines alluviales, ces dernières doivent être pensées comme un triptyque rivière-aquifère alluvial-aquifère régional (Flipo et al., 2014). Labarthe et Flipo (2016) ont montré par modélisation qu'une mega-spirale hydrologique se met en place entre ces trois compartiments. La plaine alluviale dans son ensemble correspond à un drain du système aquifère régional et non pas la rivière elle-même. Quelles que soient les conditions hydro-climatiques, une alimentation de l'aquifère régional par les franges de la plaine alluviale se met en place alors qu'au droit du réseau hydrographique dans la plaine, un retour des eaux régionales vers l'aquifère alluvial apparaît. Afin de mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes, le programme de recherche PIREN Seine s'est ainsi intéressé à la caractérisation du fonctionnement biogéochimique de la plaine alluviale de la Bassée (Baratelli et al., 2017).

1.2 Localisation de la plaine de la Bassée et système d'observation

La plaine alluviale de la Bassée (Figure 1) est un secteur de la plaine alluviale de la Seine en amont de Paris, située entre les confluences Seine-Aube et Seine-Yonne. Elle s'étend sur une longueur de 60 km et une largeur de 8 km environ, pour une surface de 320 km². La carte géologique de cette région montre que le substrat de la plaine alluviale est constitué par la craie du Crétacé supérieur.

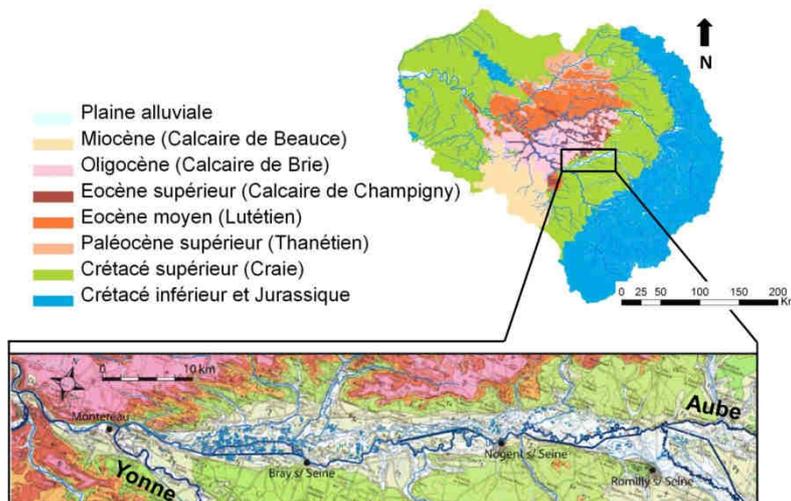


Figure 1. Localisation de la plaine alluviale de la Bassée et carte géologique (Labarthe et Flipo, 2016).

Treize stations MOLONARI (MONitoring LOCAL des échanges NAppe-Rivière) ont été installées en 2015 dans la plaine alluviale de la Bassée (Mouhri et al., 2014). Parmi ces stations, cinq se trouvent le long de la Seine, une sur l'Aube et une sur l'Yonne. Chaque station mesure la pression et la température dans la rivière, dans sa nappe alluviale d'accompagnement et dans l'aquifère de la craie sous-jacente au pas de temps 15 min.

1.3 Campagne d'échantillonnage multi-traceurs

Lors de la campagne de mars 2017, des échantillons d'eau ont été prélevés dans chaque point de mesure et dans chaque compartiment (craie, alluvions et rivière) afin de mesurer différents paramètres biogéochimiques. En total, 12 échantillons ont été prélevés dans les alluvions, 7 dans la craie, 9 dans des rivières. Pour chaque échantillon, les paramètres suivants ont été mesurés :

conductivité, O_2 , NO_3 , PO_4 , pH, $\delta^{18}O$, carbone organique dissous (COD), concentrations des ions majeurs, alcalinité, indices de qualité de la matière organique.

La campagne s'est déroulée sur trois jours, entre les 15 et 17 mars 2017, seulement quelques heures avant le passage du pic de crue de $163 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette condition hydrologique rend l'analyse des données particulièrement compliquée du fait de cet état très transitoire.

2 RESULTATS

Le dépouillement des résultats de la campagne montre que la stratégie d'échantillonnage adoptée s'avère efficace et permet de montrer une grande hétérogénéité spatiale de la connectivité du triptyque rivière-aquifère alluvial-aquifère régional et aussi de la réactivité biogéochimique de chacun des trois compartiments.

2.1 Bilan de la connectivité hydrologique

L'analyse des données de température, $\delta^{18}O$, oxygène dissous et de conductivité permet d'établir un cadre de connectivité hydrologique entre les compartiments rivière, alluvions et craie d'amont en aval de la Bassée (Figure 2). En amont de la Bassée (station S1), de fortes infiltrations des eaux de surface dans la craie, possiblement dues à la présence de conduits karstiques, sont indiquées par l'analyse de la température (les alluvions sont plus froides que la rivière), du rapport isotopique $\delta^{18}O$ (valeurs proches entre les trois compartiments), de l'oxygène (forte concentration dans la craie) et de la conductivité (faible dans la craie). Entre S1 et S3, les différents paramètres n'indiquent pas de connectivité significative entre eaux de surface et eaux souterraines. Dans S5, en aval de la confluence avec l'Aube, la Seine est caractérisée par de fortes infiltrations de la rivière dans les alluvions, indiquées par les valeurs similaires de $\delta^{18}O$, d'oxygène dissous et de conductivité. Entre S5 et S6, les données de $\delta^{18}O$ montrent des apports directs des eaux de surface dans la craie, de façon similaire à S1. L'infiltration de la rivière dans les alluvions serait montrée par les concentrations en oxygène dissous. Entre S6 et S8, les valeurs similaires de $\delta^{18}O$ dans craie et alluvions indiqueraient des apports de la craie dans les alluvions. En revanche les apports de surface ne semblent pas significatifs.

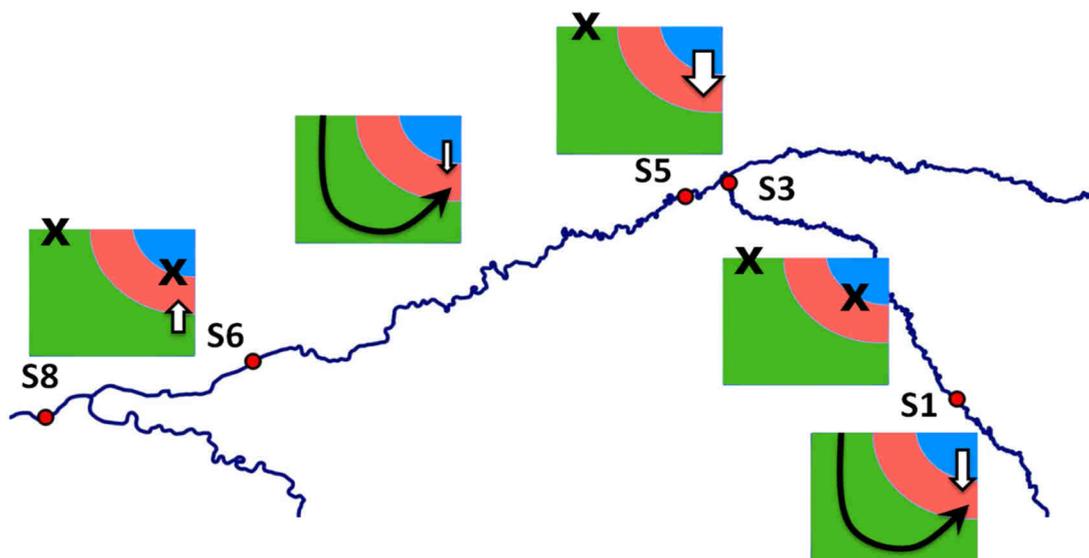


Figure 2. Synthèse du cadre de connectivité hydrologique dans la Bassée. Bleu : rivière ; rose : aquifère alluvial ; vert : aquifère régional du Crétacé Supérieur.

2.2 Bilan de la réactivité biogéochimique du système

L'analyse des différents paramètres biogéochimiques montre des apports de carbone organique dissous de la surface vers les alluvions en amont de la Bassée (S1). Entre S3 et S5, de forts apports de matière organique de la Seine aux alluvions sont aussi indiqués par les valeurs de COD. Cette matière organique serait plutôt humique, comme indiqué par les valeurs de l'indice d'humification HIX.

En aval de S5, les eaux souterraines semblent caractérisées par une activité hétérotrophe importante de dénitrification. Des apports de matière organique moins humique de la craie vers les alluvions sembleraient aussi avoir lieu.

3 CONCLUSIONS

Les données hydro-biogéochimiques collectées pendant la campagne de mars 2017, ainsi que les mesures de suivi du système en continu, permettent d'établir un premier cadre de fonctionnement de la plaine alluviale de la Bassée en période de crue. En particulier, les données thermiques montrent clairement des infiltrations de la rivière vers les alluvions pendant la montée de crue, ce qui confirme les résultats de modélisation de Labarthe et Flipo (2016).

La Seine semble peu réactive lors de la crue, avec notamment une matière organique assez réfractaire. En revanche, la plaine alluviale et la craie seraient le siège d'une activité hétérotrophe significative de dénitrification, favorisant l'abattement des nitrates. Cela est rendu possible par la présence de carbone organique dissous, y compris dans l'aquifère régional de la craie où cette matière organique est plutôt labile. A l'amont et à l'aval du site étudié, les paramètres géochimiques indiqueraient une connexion entre l'aquifère régional de la craie et des eaux de surface très oxygénées et chargées en nitrates.

La caractérisation de la matière organique indique des caractéristiques contrastées entre les compartiments : sources terrigènes majoritaires pour les eaux de rivière, forte activité biologique et faibles apports terrestres dans la craie, mélange des sources dans les alluvions.

La campagne de mesure a eu lieu seulement quelques heures avant le pic de crue. Il s'agit donc d'un état hydrologique très transitoire qui rend l'interprétation des données particulièrement complexe et incertaine. Par conséquent, il sera nécessaire d'acquérir plus de données dans différentes conditions hydrologiques, notamment en période de basses et moyennes eaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Baratelli, F., Parlanti, E., Varrault, G., Sourzac, M., Mouchel, J-M., Saad, M., Jost, A., Guillon, S., Rivière, A., Flipo, N. (2017). Caractérisation hydro-géochimique de la plaine de la Bassée en période de crue. PIREN Seine.
- Flipo, N., A. Mouhri, B. Labarthe, S. Biancamaria, A. Rivière, and P. Weill (2014). Continental hydrosystem modelling : the concept of nested stream-aquifer interfaces. *Hydrology and Earth System Sciences* 18, 3121–3149.
- Labarthe, B., Flipo, N. (2016). Dynamique des échanges hydriques entre un réseau hydrographique, une plaine alluviale, et leur aquifère régional. PIREN Seine.
- Mouhri, A., Abasq, L., Berrhouma, A., Cuisinier, E., Gueho, Y., Jost, A., Labarthe, B., Rivière, A., Flipo, N. (2014). Mise en place du dispositif de mesure des échanges eaux de surface - eaux souterraines dans la plaine alluviale de la Bassée. PIREN Seine.