

## Caractérisation des phases colloïdales et particulaires dans les eaux de ruissellement urbaines : distribution des contaminants et implications pour l'infiltration

Characterization of colloidal and particulate phases in urban stormwater runoff: contaminant distribution and implications for infiltration

*Sarah POTREAU<sup>1</sup>, Denise BLANC<sup>1</sup>, Laure WIEST<sup>2</sup>, Barbara GIROUD<sup>2</sup>, Damien TEDOLDI<sup>1</sup>, Vincent CHATAIN<sup>1</sup>, Laëtitia BACOT<sup>3</sup>, Mathieu GAUTIER<sup>1,\*</sup>*

<sup>1</sup> INSA Lyon, DEEP, UR7429 - mathieu.gautier@insa-lyon.fr

<sup>2</sup> Institut des Sciences Analytiques, Univ Lyon 1, CNRS

<sup>3</sup> GRAIE

### RÉSUMÉ

La désimperméabilisation des villes soulève des questions sur le devenir des contaminants des eaux de ruissellement. Les phases particulaires et dissoutes sont relativement bien documentées, mais les phases colloïdales restent peu étudiées en milieu urbain. Le projet ROCOCO (rôle des colloïdes et des particules dans la dynamique des contaminants des eaux de ruissellement en milieu urbanisé) vise à caractériser la distribution des contaminants au sein de différentes fractions. Une méthodologie d'ultrafiltration centrifuge a permis de séparer quatre fractions (> 0,45 µm, 0,45 µm-30 kDa, 30-3 kDa, <3 kDa) sur des échantillons prélevés sur deux sites de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU). Les résultats montrent que les contaminants métalliques sont majoritairement associés à la phase particulaire, et révèlent une distribution variable de certains métaux (Al, Cr, Cu, Fe, Zn et Ti) entre les phases réellement dissoutes et colloïdales au sein de la fraction <0,45 µm. Les pesticides et pharmaceutiques recherchés ont majoritairement été trouvés en phase dissoute. Ces données pourront apporter des informations pour la conception des ouvrages d'infiltration et contribuer à l'évaluation des risques de migration des contaminants vers les nappes phréatiques.

### ABSTRACT

Urban desealing raises questions about the fate of contaminants in stormwater runoff. Particulate and dissolved phases are relatively well documented, but colloidal phases remain poorly studied in urban environments. The ROCOCO project (role of colloids and particles in the dynamics of contaminants in urban stormwater runoff) aims to characterize the distribution of contaminants within different fractions. A centrifugal ultrafiltration methodology allowed the separation of four fractions (>0.45 µm, 0.45 µm-30 kDa, 30-3 kDa, <3 kDa) from samples collected at two Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) sites. Results showed that contaminants are predominantly associated with the particulate phase, and revealed variable distribution of metals (Al, Cr, Cu, Fe, Zn and Ti) between dissolved and colloidal phases of the <0.45 µm fraction. Pesticides and pharmaceuticals were mainly found in the dissolved phase. These data can provide information for the design of infiltration systems and contribute to the assessment of contaminant migration risks to groundwater.

### MOTS CLÉS

eaux de ruissellement, eaux urbaines, particules, dissout, colloïdes, infiltration, métaux traces, ultrafiltration, géochimie

runoff water, urban water, particles, dissolved substances, colloids, infiltration, trace metals, ultrafiltration, geochemistry

---

## Contexte et enjeux

La désimperméabilisation des villes s'impose comme une stratégie prioritaire pour la gestion des eaux pluviales dans certains contextes (Fletcher et al., 2013). L'infiltration offre de multiples bénéfices : réduction des volumes d'eau à évacuer (Bonneau et al., 2017), interception de certains polluants et recharge des nappes phréatiques (Hatt et al., 2008). Cependant, cette pratique soulève des interrogations concernant le devenir des contaminants transportés par les eaux de ruissellement et leur impact potentiel sur la qualité des eaux souterraines.

Les eaux de ruissellement urbaines constituent le vecteur d'une pollution complexe, transportant des éléments traces métalliques, des hydrocarbures, des pesticides sous différentes formes (Aryal et al., 2010). Les matières en suspension agissent comme vecteurs pour les polluants adsorbés tels que le plomb, le zinc ou les HAP (Brinkmann, 1985). Si les phases particulaires et dissoutes sont relativement bien caractérisées, les phases colloïdales demeurent encore largement méconnues en milieu urbain.

Les colloïdes (particules dont la taille est comprise entre 1 nm et 1 µm) occupent pourtant une position clé dans le transport des contaminants (Lead and Wilkinson, 2006). Traditionnellement considérés dans la phase dissoute lors des analyses avec des seuils de coupure de 0,45 µm (Gustafsson and Gschwend, 1997), ils présentent une réactivité distincte des polluants dissous. En milieu urbain, les études sur leur rôle dans les transferts de contaminants restent très limitées (Morrison and Benoit, 2005 ; Durin et al., 2007 ; Du et al., 2022 ; Dia et al., 2025).

La matière organique joue également un rôle crucial par son pouvoir complexant, particulièrement vis-à-vis des métaux traces (Clozel et al., 2006 ; Quenea et al., 2009). Sa répartition entre les états solide et liquide contrôle le devenir de nombreux contaminants traces (Pédrot et al., 2009 ; Banc et al., 2023). C'est dans ce contexte que s'inscrit le projet ROCOCO (Rôle des colloïdes et des particules dans la dynamique des contaminants des eaux de ruissellement en milieu urbanisé), porté par l'INSA-DEEP en partenariat avec l'ISA et le GRAIE-OTHU, qui vise à mieux caractériser ces phases colloïdales.

## 1 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Ce travail vise principalement à préciser la distribution des contaminants entre les fractions dissoutes, colloïdales et particulaires d'eaux de ruissellement urbaines. D'une manière plus marginale, l'ensemble du continuum urbain sera pris en compte à travers la caractérisation des eaux météoriques mais aussi de prélèvements après les ouvrages d'infiltration des eaux pluviales. Une attention particulière sera notamment portée sur la quantité de matière organique associée, mais aussi la variabilité entre différents épisodes pluvieux au cours de l'année.

## 2 METHODES

Le travail s'appuie sur deux sites de l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (OTHU) : les bassins de rétention et d'infiltration de Django Reinhardt à Chassieu, et l'Eco-campus de la Doua à Villeurbanne. Le site de Django Reinhardt draine un bassin versant de 185 hectares à dominante industrielle et forme un dispositif centralisé de gestion des eaux pluviales, constitué d'un bassin de rétention suivi d'un bassin d'infiltration. L'Eco-campus de la Doua, quant à lui, est équipé de plusieurs techniques alternatives de gestion à la source, parkings poreux, noues végétalisées et tranchées d'infiltration, chacun drainant environ 200 m<sup>2</sup>.

Une dizaine de campagnes de prélèvement ciblant les eaux de ruissellement ont été réalisées entre janvier et novembre 2025 pour couvrir les différentes saisons. Sur un sous-ensemble de ces campagnes, des prélèvements complémentaires ont été effectués sur des eaux météoriques (avant ruissellement), des eaux en sortie d'ouvrages (parking poreux, noue, tranchée sur l'Eco-campus) et des eaux de nappe phréatique (Django Reinhardt).

Une méthodologie d'ultrafiltration centrifuge adaptée de Pokrovsky et al. (2016) et Banc et al. (2021) a permis de séparer quatre fractions : une phase particulaire (> 0,45 µm), deux fractions colloïdales dites gros colloïdes (0,45 µm – 30 kDa) et petits colloïdes (3 kDa - 30 kDa) et une phase dite réellement dissoute (<3 kDa). Sur la fraction brute des échantillons, les paramètres pH, potentiel d'oxydo-réduction et conductivité sont mesurés, et des analyses élémentaires sont réalisées après digestion totale pour quantifier les éléments majeurs, les éléments traces métalliques et le carbone organique total.

Pour chaque fraction, les concentrations en éléments traces et majeurs sont analysées par ICP-OES/MS, la teneur en carbone organique total est mesurée par COT-mètre, et la matière organique est caractérisée par

spectroscopie UV-visible. En complément sur 4 campagnes, 28 micropolluants organiques (pesticides et pharmaceutiques) ont été recherchés sur les différentes fractions, en injection directe, par LC-MS/MS. Sur les phases particulaires, des analyses élémentaires ont été réalisées et la matière organique est caractérisée par analyses thermogravimétriques, spectroscopie infrarouge FTIR et pyrolyse GC-MS.

### 3 RESULTATS

#### 3.1 Caractérisation des eaux brutes de ruissellement

Les analyses sur les eaux brutes de ruissellement montrent que les concentrations mesurées dans la fraction brute se situent dans des ordres de grandeur allant de quelques dizaines de  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  pour le cuivre et le zinc ( $\approx 0,01\text{--}0,25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) à plusieurs  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  pour le fer ( $\approx 0,16\text{--}4,85\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Les fractions  $< 0,45\ \mu\text{m}$  présentent, quant à elles, des concentrations plus faibles, généralement comprises entre  $0,001$  et  $0,03\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Comme déjà mis en évidence par le passé, ces résultats ont permis de mettre en évidence que les contaminants inorganiques sont majoritairement associés à la phase particulaire, avec des proportions généralement comprises entre 65 % et 96 % selon les éléments (Al, Cr, Cu, Fe, Ti, Zn). L'ensemble de la fraction  $< 0,45\ \mu\text{m}$ , bien que minoritaire, représente néanmoins une contribution non négligeable, variant entre 4 % et 35 % selon les métaux. Or dans les ouvrages, c'est principalement les contaminants associés à ces fractions  $< 0,45\ \mu\text{m}$  qui pourront être amenés à s'infiltrer. Les particules sont plus généralement retenues en surface des ouvrages.

Concernant les micropolluants organiques, 7 pesticides et 7 pharmaceutiques sur les 28 molécules recherchées ont été quantifiés à des concentrations de l'ordre de 1 à 200 ng/L. Les concentrations moyennes les plus élevées ont été retrouvées pour le paracétamol (190 ng/L), le citalopram (14 ng/L) et l'acétamipride (8 ng/L).

#### 3.2 Distribution dans les fractions dissoutes et colloïdales ( $< 0,45\ \mu\text{m}$ )

Le fractionnement de la fraction  $< 0,45\ \mu\text{m}$  a ensuite été réalisé pour regarder la distribution des métaux entre les phases totalement dissoutes ( $< 3\ \text{kDa}$ ), les petits colloïdes (3-30 kDa) et les grands colloïdes (30 kDa- $0,45\ \mu\text{m}$ ). Les résultats pour les éléments fer, cuivre et zinc sont présentés sur la Figure 1 pour l'eau de ruissellement des 2 sites d'étude. Le fer se présente fortement associé aux colloïdes de grandes tailles (concentrations autour de 1-8,3  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour ASP, 2-18  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour BR), suggérant sa présence sous forme d'oxy-hydroxydes colloïdaux. Le zinc est davantage observé dans la phase dissoute comme le suggère les différences limitées en termes de concentration observées dans les différentes coupures ( $< 3\ \text{kDa}$  : 2,7-20,7  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour ASP, 39,3-134,7  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour BR). Le cuivre quant à lui se répartit entre les différents colloïdes (concentrations en colloïdes de grandes tailles de 1,1-3,9  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour ASP et 3,3-9,6  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour BR) et les phases dissoutes (concentrations observées 0,5-2,5  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour ASP et 2,2-12,8  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour BR).

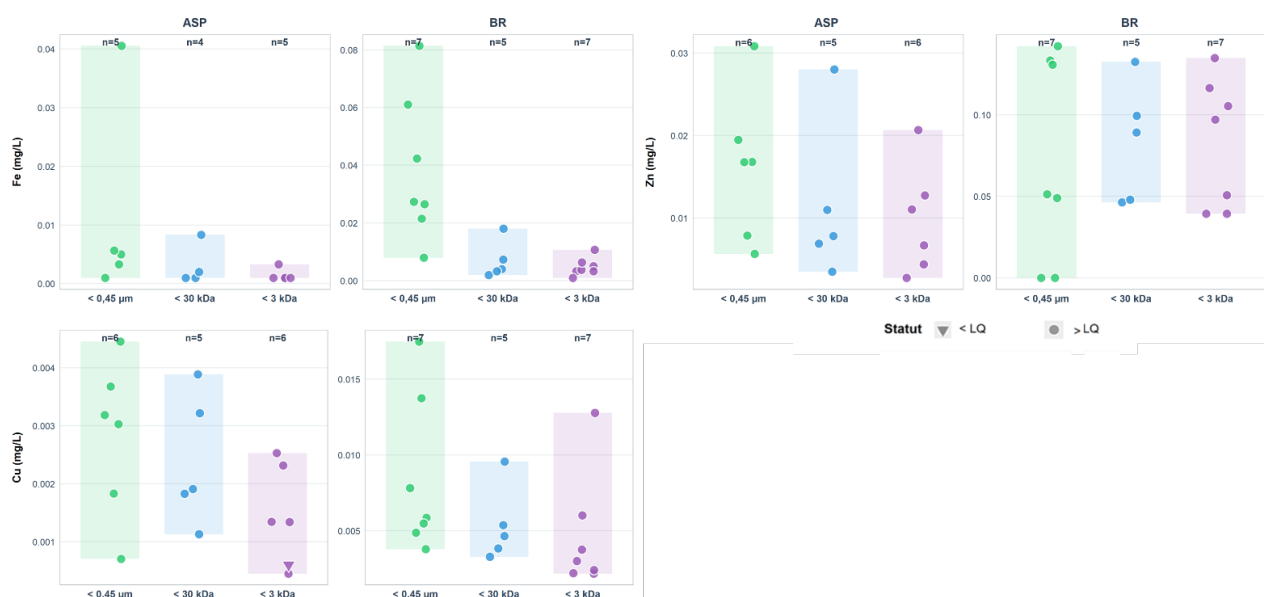


Figure 1 : Répartition des éléments Fe, Cu, Zn dans les fractions colloïdales et réellement dissoutes sur l'eau de ruissellement en aval du parking asphalté (ASP) et en amont du bassin de rétention (BR)

---

La matière organique a été observée dans l'ensemble des fractions et fera l'objet de discussions, notamment pour étudier son rôle éventuel dans les associations avec des éléments.

L'analyse des pesticides et pharmaceutiques dans les différentes fractions <0,45 µm a été réalisée. Les résultats ont montré des concentrations relativement similaires entre les différentes fractions, suggérant une présence majoritaire dans la phase dissoute.

## 4 CONCLUSION

Ce travail documente la distribution des contaminants entre les phases dissoutes, colloïdales et particulaires des eaux de ruissellement urbaines à travers une méthodologie de fractionnement adaptée aux matrices urbaines complexes. Les données produites renseignent sur la nature des apports qui arrivent sur les ouvrages d'infiltration.

D'un point de vue opérationnel, ces résultats permettent de mieux appréhender ce qui peut être retenu par le sol des ouvrages et ce qui peut potentiellement s'infiltrer. La phase particulaire, majoritaire, sera efficacement retenue à la surface des ouvrages par filtration et contribuera notamment à la formation des sédiments dans les ouvrages centralisés. Les phases colloïdales et dissoutes présentent des comportements contrastés qui feront l'objet d'approfondissements.

La caractérisation de la distribution des contaminants au sein de ces différentes fractions granulométriques constitue ainsi une information utile pour évaluer les risques de migration vers les nappes phréatiques selon les contextes locaux et pour adapter la conception des ouvrages (choix des substrats, épaisseurs) aux objectifs de protection visés.

## BIBLIOGRAPHIE

- Aryal, R., Vigneswaran, S., Kandasamy, J. and Naidu, R. (2010). *Urban stormwater quality and treatment*. Korean J. Chem. Eng., 27, 1343-1359.
- Banc, C., Gautier, M., Blanc, D., Lupsea-Toader, M., Marsac, R. and Gourdon, R. (2021). *Influence of pH on the release of colloidal and dissolved organic matter from vertical flow constructed wetland surface sludge deposits*. Chem. Eng. J., 418, 129353.
- Banc, C., Gautier, M., Hed-Custodio, R., Gourdon, R., Blanc, D., Michel, P. and Marsac, R. (2023). *pH control on organic and organo-mineral colloids carrying major and trace elements in leachates of wetland sludge deposits*. Chem. Eng. J., 471, 144244.
- Bonneau, J., Fletcher, T.D., Costelloe, J.F. and Burns, M.J. (2017). *Stormwater infiltration and the 'urban karst'—A review*. J. Hydrol., 552, 141-150.
- Brinkmann, W.L.F. (1985). *Urban stormwater pollutants: sources and loadings*. GeoJournal, 11, 277-283.
- Clozel, B., Ruban, V., Durand, C. and Conil, P. (2006). *Origin and mobility of heavy metals in contaminated sediments from retention and infiltration ponds*. Appl. Geochem., 21, 1781-1798.
- Dia, M., Peyneau, P.-E., Courtier-Murias, D. and Bechet, B. (2025). *Detection and quantification of nanoparticles in runoff from a highly trafficked urban motorway*. Environ. Sci.: Nano, 12(3).
- Fletcher, T.D., Andrieu, H. and Hamel, P. (2013). *Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art*. Adv. Water Resour., 51, 261-279.
- Gustafsson, C. and Gschwend, P.M. (1997). *Aquatic colloids: Concepts, definitions, and current challenges*. Limnol. Oceanogr., 42(3), 519-528.
- Hatt, B.E., Fletcher, T.D. and Deletic, A. (2008). *Hydraulic and pollutant removal performance of fine media stormwater filtration systems*. Environ. Sci. Technol., 42(7), 2535-2541.
- Lead, J.R. and Wilkinson, K.J. (2006). *Aquatic colloids and nanoparticles: current knowledge and future trends*. Environ. Chem., 3(3), 159-171.
- Pédrot, M., Dia, A. and Davranche, M. (2009). *Double pH control on humic substance-borne trace elements distribution in soil waters as inferred from ultrafiltration*. J. Colloid Interface Sci., 339, 390-403.
- Pokrovsky, O.S., Manasypov, R.M., Loiko, S.V. and Shirokova, L.S. (2016). *Organic and organo-mineral colloids in discontinuous permafrost zone*. Geochim. Cosmochim. Acta, 188, 1-20.
- Quenea, K., Lamy, I., Winterton, P., Bermond, A. and Dumat, C. (2009). *Interactions between metals and soil organic matter in various particle size fractions of soil contaminated with waste water*. Geoderma, 149, 217-223.