

CARACTÉRISATION DU FONCTIONNEMENT D'UN OUVRAGE DE GESTION À LA SOURCE DU RUISSELLEMENT DE VOIRIE – APPORT DES APPROCHES PAR MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET PAR CARTOGRAPHIE DE LA CONTAMINATION DU SOL

Kelsey FLANAGAN¹, Damien TEDOLDI¹, Philippe BRANCHU², Marie-Christine GROMAIRE¹

¹ Laboratoire Eau, Environnement, Systèmes Urbains (LEESU) – ENPC

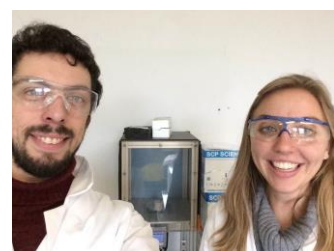
² CEREMA Trappes

kelsey.flanagan@enpc.fr, damien.tedoldi@enpc.fr

Case à cocher pour le premier auteur :

1^{ère} année de thèse 2^{ème} année de thèse

3^{ème} année de thèse 4^{ème} année de thèse ou plus



MOTS CLÉS

Contamination ; distribution spatiale ; gestion à la source ; infiltration ; ruissellement ; SWMM

RÉSUMÉ

Contexte et objectifs

En milieu urbain et périurbain, la mise en œuvre d'une gestion décentralisée des eaux pluviales implique généralement le recours à des systèmes d'infiltration totale ou partielle (Fletcher et al., 2014) – du moins lorsque le contexte hydrogéologique le permet – dont le fonctionnement n'est pas toujours correctement appréhendé. Par ailleurs, il devient aujourd'hui assez courant de proposer des solutions techniques visant une maîtrise « à la source » des flux de polluants, tels que des dispositifs incluant un filtre planté (LeFevre et al., 2014). La compréhension du fonctionnement hydrologique de ces ouvrages pour les événements pluvieux courants, responsables de la majorité du flux polluant à l'échelle annuelle, apparaît comme un prérequis indispensable à une conception optimisée pour l'abattement des flux de contaminants, ainsi qu'à une identification claire des besoins de maintenance.

À cet effet, on propose ici deux approches pour évaluer le fonctionnement hydrologique d'un ouvrage réel, à la géométrie simple, conçu pour la gestion à la source de la pollution du ruissellement de voirie. Premièrement, on considère le recours à un modèle hydrologique conceptuel, représentant l'ouvrage de façon très simplifiée avec un nombre limité de paramètres physiques. Par ailleurs, en se basant sur l'hypothèse que la distribution de certains métaux dans le sol de surface est directement reliée aux flux d'infiltration, une cartographie détaillée des niveaux de contamination en cuivre, plomb et zinc est réalisée et interprétée en termes de fonctionnement hydrologique de l'ouvrage.

Matériels et méthodes

Présentation du site d'étude. Le dispositif étudié se situe en bordure de la Route Départementale 212 à Compans (77), et a été mis en place en 2012. Il est constitué d'une bande enherbée, suivie d'un filtre planté linéaire en forme de fossé, et récupère les eaux de ruissellement de deux voies de circulation (Figure 1). L'ouvrage comprend deux biefs, longs de 48 m, aux caractéristiques différentes. Le bief 1 est équipé de nappes drainantes sous l'accotement et le fossé, avec un sol sablo-limoneux sur l'accotement. Le bief 2 n'est pas drainé, et la texture du sol est de type limono-argileux. Les estimations de la conductivité hydraulique (K_s) varient entre 10-28 mm/h pour le bief 1, et entre 1-21 mm/h sur le bief 2. La pluviométrie annuelle moyenne est de 647 mm (donnée du Conseil Départemental du 77). Le site a été conçu de façon à ce que l'eau arrive sur la bande enherbée par ruissellement direct, qu'elle y transite avant d'atteindre le fond du fossé où elle est censée s'infiltrer, dans un milieu favorisant divers processus de dépollution. Toutefois, de nombreuses observations de terrain suggèrent que la majeure partie du ruissellement s'infiltré dans la bande enherbée et n'atteint pas le filtre planté.

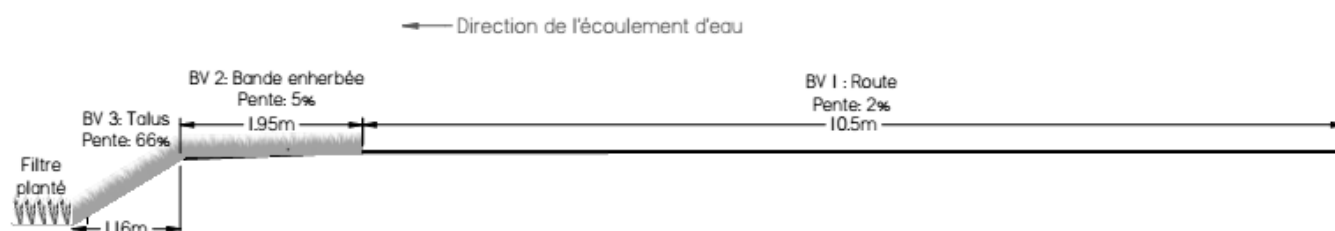


Figure 1. Géométrie du système étudié avec les sous-bassins versants représentés par le modèle

Modélisation hydrologique du site. Le système est modélisé à l'aide du logiciel *Storm Water Management Model* (SWMM 5.1), développé par l'*United States Environmental Protection Agency* (Rossman, 2015), comme une série de sous-bassins versants représentant respectivement la route, la bande enherbée, et le talus de l'ouvrage. On considère que le filtre planté, non représenté par le modèle, est la sortie du talus. Pour chaque bassin versant, ce modèle représente, de façon simplifiée, le ruissellement superficiel, l'infiltration, et l'évapotranspiration, à partir de conditions aux limites atmosphériques et d'un nombre limité de paramètres physiques.

Échantillonnage du sol. Afin de caractériser l'étendue latérale de la contamination sur la bande enherbée, un tronçon de 18 m a été échantillonné sur chacun des deux biefs. Un échantillon de sol superficiel (1-2 cm) a été prélevé tous les 1,5 m, à des distances de 0, 30, 70, 120 et 180 cm de la route. Les échantillons collectés à 0 cm correspondent à du sédiment routier accumulé en bordure de chaussée. Plusieurs prélèvements supplémentaires ont été réalisés sur un bief témoin, non influencé par l'infiltration du ruissellement de voirie.

Analyses en laboratoire. Les échantillons ont été rapportés au laboratoire, séchés à l'étuve (40°C) pendant 7 jours, avant d'être broyés manuellement et tamisés à 2 mm avec une maille en nylon. Les teneurs en cuivre, plomb et zinc, métaux associés à la pollution chronique d'origine routière, ont été déterminées par spectrométrie de fluorescence X (*Thermo Scientific*, Analyseur Niton™ XL3t). Pour chaque échantillon, quatre mesures ont été réalisées afin de vérifier la répétabilité des valeurs obtenues (coefficient de variation < 15%), dont on n'a conservé que la moyenne par échantillon dans ce qui suit.

Premiers résultats et discussions

Résultats des simulations hydrologiques. En considérant la moyenne des mesures de conductivité hydraulique, il a été trouvé que seulement 10% du ruissellement total en 4 ans atteindrait le filtre planté pour le premier bief, alors que 15% l'atteindrait pour le second. Le reste du flux s'infiltrerait dans la bande enherbée (84 et 77% respectivement) ou le talus (6 et 8%). Ce résultat interroge sur le bon fonctionnement du drain, mais tend à confirmer l'hypothèse que le filtre planté joue un rôle assez mineur pour la gestion de la pollution. Toutefois, en faisant varier K_s entre ses estimations extrêmes, on obtient des proportions atteignant le filtre planté de 9-20% pour le premier bief et 11-55% pour le second, ce qui souligne l'incertitude inhérente à ce type d'approche.

Variabilité spatiale de la contamination. Les tendances observées sont similaires pour les trois métaux étudiés. Leur distribution dans le sol superficiel de la bande enherbée (Figure 2) atteste d'une accumulation significative de contaminants en bordure de chaussée (située à l'ordonnée $y = 0$), suivie d'une décroissance caractéristique des teneurs à mesure que l'on s'éloigne de la route. À l'autre extrémité de l'accotement, celles-ci sont comparables aux teneurs mesurées sur le bief témoin, qui montrent par ailleurs que la contamination des biefs 1 et 2 ne peut être attribuée aux seules projections d'eau depuis la route. Ces résultats suggèrent que la quasi-totalité du flux de ces métaux est retenue sur la bande enherbée, par infiltration locale de l'eau et sédimentation des polluants particulaires. La variabilité latérale des teneurs est attribuée aux hétérogénéités de l'écoulement sur l'accotement.

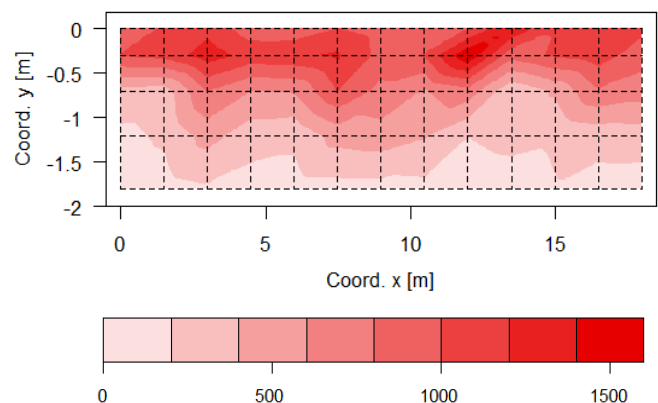


Figure 2. Répartition spatiale des teneurs en zinc [mg/kg] dans le sol superficiel du premier bief

Conclusions

Conformément aux hypothèses initiales, les deux méthodes mises en œuvre suggèrent que le filtre planté ne reçoit qu'une faible part du flux polluant, dont la majorité est interceptée par la bande enherbée. Les deux approches fournissent des indications complémentaires sur le fonctionnement hydrologique de l'ouvrage, avec certaines limites. En l'absence de données fiables de validation, le modèle SWMM présente des incertitudes importantes dues à la variabilité des mesures d'infiltration et la difficulté de choisir une valeur représentative du système dans son ensemble. La cartographie des métaux, qui montre que la plupart de la pollution s'accumule à proximité de la route, renseigne indirectement sur la répartition des flux d'infiltration et de sédimentation sur la bande enherbée.

BIBLIOGRAPHIE

- Fletcher, T.D., Shuster, W., Hunt, W.F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P.S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., Viklander, M. (2014). *SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. *Urban Water J.* 12, 525–542.
- LeFevre, G., Paus, K.H., Natarajan, P., Gulliver, J.S., Novak, P.J., Hozalski, R.M. (2014). *Review of Dissolved Pollutants in Urban Storm Water and Their Removal and Fate in Bioretention Cells*. *J. Environ. Eng.* 141.
- Rossman, L. (2015). *Storm Water Management Model Reference Manual: Hydrology*. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, Etats-Unis.