



HAL
open science

Un analyseur portable à fluorescence X pour quantifier la pollution métallique des eaux de ruissellement

Eloise Lenormand, Coralie Kutsner, Isabelle Combroux, Adrien Wanko

► **To cite this version:**

Eloise Lenormand, Coralie Kutsner, Isabelle Combroux, Adrien Wanko. Un analyseur portable à fluorescence X pour quantifier la pollution métallique des eaux de ruissellement. 27, 2022. hal-03968869

HAL Id: hal-03968869

<https://hal.science/hal-03968869>

Submitted on 1 Feb 2023

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.

Un analyseur portable à fluorescence X pour quantifier la pollution métallique des eaux de ruissellement

La zone humide plantée de roseau pour filtrer les eaux pluviales qui ruissellent

Les eaux pluviales se chargent de polluants lorsqu'elles ruissellent sur les routes, aussi est-il nécessaire de gérer et traiter efficacement des eaux de ruissellement. En ville, les eaux pluviales sont prises en charge par les réseaux « tout-tuyau » qui évacuent l'eau vers les stations d'épuration via les canalisations. L'urbanisation croissante cause une imperméabilisation des sols qui :

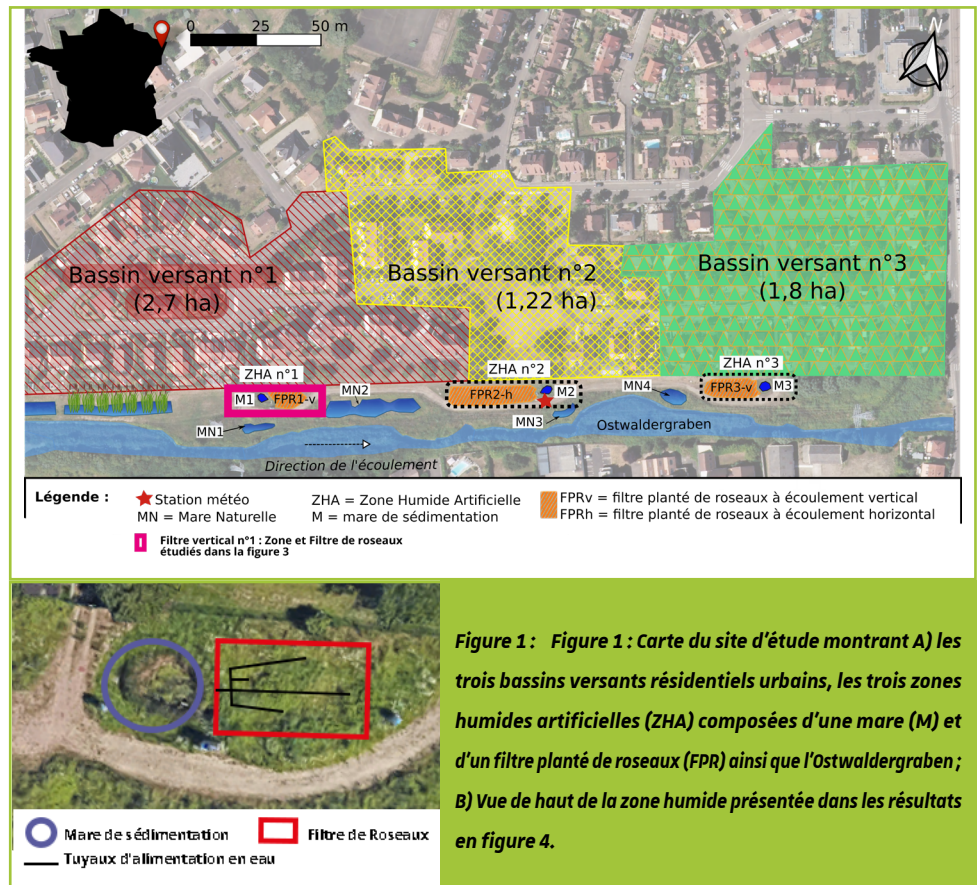
i) accroît les flux de ruissellement d'eaux pluviales vers les stations d'épuration,

ii) sature les réseaux et,

iii) augmente les risques d'inondation et de pollution des milieux.

Dans ce contexte, les Solutions Fondées sur la Nature pour gérer les eaux pluviales sont de plus en plus utilisées en milieu urbain par les collectivités publiques. Elles ont des objectifs multiples :

- limiter les risques d'inondation,
- réduire la pollution des milieux récepteurs,
- réapprovisionner les nappes souterraines,
- atténuer les rejets aux réseaux de collecte,
- augmenter la biodiversité,
- lutter contre les îlots de chaleur urbaine...



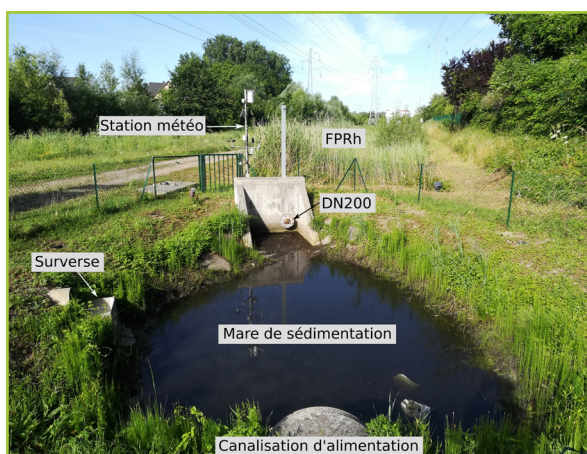


Figure 2 : Focus sur la ZHA n°2 avec 1-La canalisation d'arrivée des eaux pluviales strictes. 2- La mare de sédimentation. 3- Le trop-plein. 4-La canalisation vers le filtre planté de roseaux. 5- Le filtre planté de roseaux.

Ces solutions s'appuient sur des techniques dites alternatives au « tout-tuyau », peuvent prendre une multitude de formes différentes : noues végétalisées, fossés d'infiltration, filtres plantés, bassins d'infiltration ; revêtements poreux ou chaussées à structure réservoir.

Les chercheurs de la zone atelier environnementale urbaine, en partenariat étroit avec les services Eau et Assainissement de la collectivité locale étudient les zones humides artificielles comme technique alternative pour la gestion des eaux pluviales. Des techniques alternatives ont été construits par l'Eurométropole de Strasbourg en 2011 pour remédier à la pollution en hydrocarbures et en éléments-traces métalliques issue de bassins versants résidentiels dont les eaux pluviales de ruissèlement sont rejetées dans l'Ostwaldergraben, un cours d'eau phréatique de 7 km, sous affluent du Rhin et prenant sa source à Ostwald. Après 11 ans de fonctionnement, l'impact du vieillissement de la zone humide sur ses fonctionnalités reste à préciser car les retours d'expérience sur de telles solutions fondées sur la nature manquent, notamment concernant l'accumulation des éléments-traces métalliques dans le substrat des filtres

plantés de roseaux âgés d'une dizaine d'années et recevant uniquement des rejets urbains par temps de pluie.

Afin d'évaluer cette éventuelle accumulation, nous avons mené un diagnostic de la pollution métallique stockée au sein des filtres plantés de roseaux à l'aide d'un analyseur portable à fluorescence X (pXRF). L'objectif est le développement d'une méthodologie de mesures in-situ et ex-situ, utilisable en routine afin de réaliser des campagnes régulières de suivi de l'évolution de ces systèmes au cours du temps, montrant ainsi l'intérêt du pXRF pour des campagnes de diagnostic ou de prédiagnostic.

Un site très urbain : l'Ostwaldergraben

Le site d'étude est situé au sud de Strasbourg (région Grand Est). Il est composé de trois bassins versants urbains résidentiels (figure 1A). Sur chaque bassin versant, les eaux pluviales strictes sont drainées par un réseau séparatif (Ø 800mm) dont les exutoires (figure 1B) débouchent sur une technique alternative déclinée en 3 dispositifs expérimentaux différents qui associent toutes une mare de sédimentation et un filtre planté de roseaux assurant la triple fonction d'écrêtage

Paramètres		Filière n°1	Filière n°2	Filière n°3
Bassin Versant	Type	Urbain résidentiel	Urbain résidentiel	Urbain résidentiel
	Surface totale (m²)	27 000	12 200	18 000
	Surface active (m²)	9 000	3 800	5 200
	Coefficient d'imperméabilisation	0,33	0,31	0,29
Mare	Surface (m²)	31	22	18
	Temps de séjour minimal (min)	6	10	6
Filtre	Type	Vertical	Horizontal Pente	Vertical
	Dimensions L x l (m x m)	15 x 6	42 x 7	25 x 4
	Surface (m²)	90	294	100
	Couches	En profondeur : 20 cm : sable (d10 = 0,16 mm) 25 cm : gravier 2/4 25 cm : gravier 10/20 Drain DN200	En largeur : 50 cm : galet 60/200 6 m : gravier 4/10 10 cm : gravier 10/20 40 cm : galet 60/100 Drain DN160	En profondeur : 30 cm : sable (d10 = 0,13 mm) 25 cm : gravier 2/4 25 cm : gravier 10/20 Drain DN160

Tableau 1 : Caractéristiques des 3 zones humides artificielles.



Figure 3 : Utilisation de l'analyseur pXRF in-situ (à gauche, lors d'une campagne de terrain) et ex-situ (à droite lors de la calibration de l'appareil)

des pics de débits d'eaux pluviales ruisselées, de rétention de volume et de traitement de ces eaux.

Bien qu'elles fonctionnent sur le même principe, les trois zones humides artificielles ne sont pas exactement identiques (tableau 1). La principale différence entre les systèmes est la distribution de l'eau dans les filtres. Les zones 1 et 3 recueillant l'eau des bassins versant n°1 (rouge) et n°3 (vert) possèdent chacune un filtre à écoulement vertical composé de sable de fine granulométrie. La zone 2 recueillant les eaux du bassin versant n°2 (jaune) possède un filtre à écoulement horizontal dont le substrat est plus grossier (gravier).

Dans le cas des filtres verticaux (n°1 et n°3), une rampe de répartition à quatre branches de longueurs différentes achemine l'eau en surface ; l'eau percole ensuite gravitairement (verticalement) à travers les filtres. Dans le cas du filtre 2, l'écoulement est horizontal. Pour ce faire, un tuyau (Ø 200mm) percé tous les 0,5 cm s'étend sur toute la longueur du filtre. Le dimensionnement des mares et des filtres diffère aussi en fonction de l'activité des bassins versants, mais également selon le type de filtre (vertical ou horizontal) et du substrat utilisé (gravier ou sable).

L'analyseur portable à fluorescence X (pXRF)

La spectrométrie par fluorescence X est une technique d'analyse chimique basée sur la propriété des atomes à émettre des rayons X secondaires, avec des énergies caractéristiques selon l'élément donné, quand ils sont excités par une source de rayons X. Quand un

faisceau incident de rayon X arrive sur un atome, il arrache un électron d'une couche électronique interne. L'atome se trouve alors dans un état excité. Pour retourner à un état plus stable, un électron d'une couche électronique supérieure va descendre pour remplir le vide créé dans la couche interne. Cette transition électronique émet un photon dont l'énergie appartient au domaine des rayons X. Cette technique est largement utilisée pour la détection et la quantification de métaux dans l'industrie et dans la recherche (Lemière, 2018).

L'utilisation d'un spectromètre à fluorescence X portable présente de nombreux avantages puisque ce spectromètre permet une analyse qui est non-destructive, non-intrusive et rapide. L'étape de préparation des échantillons est réduite car l'analyse se fait directement sur le terrain et le personnel réalisant les mesures a besoin de formations assez courtes. Tous ces éléments rendent les analyses par spectrométrie à fluorescence X portable bien moins coûteuses que celles faites traditionnellement en laboratoire puisqu'elles ne nécessitent pas de stocker et préparer les échantillons ni d'avoir recours à des réactifs et des solvants. Le coût et le temps étant diminués, cette méthode maximise le nombre d'analyses et donc augmente la surface du site qui peut être étudiée. Enfin, les mesures en temps réel, qualitatives ou parfois quantitatives, permettent de prendre des décisions rapides si nécessaire, par exemple dans le cas d'accidents de pollution.

L'appareil utilisé dans notre étude est un analyseur Vanta série C d'Olympus (Figure 3) équipé d'un détecteur de type semi-conducteur à base de silicium, d'un tube à rayons X de 8 à 40 kV et d'une anode en rhodium.

Résultats : voir les métaux en surface et en profondeur

Une interpolation spatiale par krigeage a été réalisée avec les données issues de campagnes d'analyses en laboratoire (ex-situ) et sur le terrain (in-situ) afin de proposer une spatialisation fine de la pollution métallique. Les lieux préférentiels d'accumulation de la pollution métallique ont ainsi été mis en exergue au sein des filtres plantés

de roseaux étudiés. La figure 4 illustre la distribution en plan (à gauche) et en profondeur (à droite) de la pollution métallique (chrome, nickel, cuivre, zinc et plomb) dans le filtre à sable à écoulement vertical n°1.

La spectrométrie à fluorescence X portable est une méthode d'analyse des métaux, non destructive et facile à mettre en œuvre. Elle a un avenir prometteur pour des études environnementales de diagnostic et/ou de pré-diagnostic de la pollution métallique. Cependant les mesures à l'aide d'un pXRF peuvent être influencées soit par des facteurs liés aux milieux analysés (pourcentage d'humidité, épaisseur de sol, présence de matière organique,...) soit par des facteurs liés à l'appareil utilisé (temps d'échantillonnage, stabilité de l'opérateur, mode de fonctionnement de l'appareil, traitement des données recueillies,...).

La sensibilité et la précision de la méthode dépendent à la fois de la matrice sol, du métal considéré et de l'appareil. L'hétérogénéité des échantillons est la principale limitation de cette technique. En effet l'analyse des éléments grossiers est peu précise. En

revanche, pour des éléments fins, les résultats issus du pXRF sont assez précis et reproductibles comparés aux méthodes classiques d'analyses en Laboratoire. Le développement méthodologique pour l'usage du pXRF pour l'analyse des pollutions métalliques dans les matrices végétales est en cours d'élaboration.

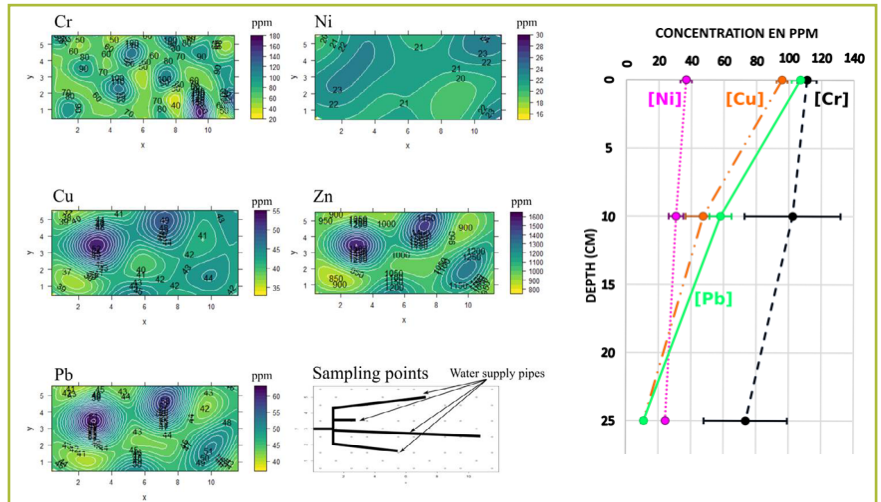


Figure 4: Cartographie de la pollution métallique au sein du filtre à sable à écoulement vertical n°1. À gauche, la spatialisation de plusieurs métaux en surface du filtre à écoulement vertical et illustration des points d'échantillonnage (vue de dessus). À droite, une illustration de la migration en profondeur des micropolluants dans le filtre à sable à écoulement vertical – Analyses in-situ (Lenormand et al. 2022)



Conception graphique : Zone Atelier Environnementale Urbaine, ZAEU, Maison Interuniversitaire des Sciences de l'Homme – Alsace (MISHA) 5, allée du Général Rouvillois, CS 50008 Céline Merlaud - Oxo Mini Agence

En savoir plus

Walaszek, M. (2018). *Dynamique des flux de micropolluants et mécanismes de dépollution des rejets pluviaux urbains stricts à travers une technique alternative Approche multi-échelles par des méthodes expérimentale et numérique.* Thèse de Doctorat. Université de Strasbourg

Lemière, B., 2018. *A review of pXRF (field portable X-ray fluorescence) applications for applied geochemistry.* J. Geochem. Explor. 188, 350–363.

Lenormand E., Kustner C., Combroux I., Bois P., Wanko A. (2022). *Diagnosing trace metals contamination in ageing stormwater constructed.* Science of the Total Environment 844 (2022) 157097

Auteurs et contacts

Éloïse Lenormand, ENGEES, ICUBE / LIVE CNRS UMR 7357 / Université de Strasbourg, eloise.lenormand1@engees.unistra.fr

Coralie Kustner, ICUBE CNRS UMR 7357 / Université de Strasbourg, coralie.kustner@etu.unistra.fr

Isabelle Combroux, LIVE UMR CNRS 7362 / Université de Strasbourg, combroux@unistra.fr

Adrien Wanko ICUBE UMR CNRS 7357 / Université de Strasbourg, wanko@unistra.fr