



**HAL**  
open science

## DEVENIR DE SUBSTANCES EMERGENTES DEPUIS UNE ANCIENNE DECHARGE

Cécile Le Guern, Alexandra Lepinay, Béatrice Bechet

► **To cite this version:**

Cécile Le Guern, Alexandra Lepinay, Béatrice Bechet. DEVENIR DE SUBSTANCES EMERGENTES DEPUIS UNE ANCIENNE DECHARGE. 5e Rencontres Nationales de la Recherche sur les sites et sols pollués, ADEME, Feb 2025, PARIS, France. hal-04850511

**HAL Id: hal-04850511**

**<https://hal.science/hal-04850511v1>**

Submitted on 20 Dec 2024

**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.

# DEVENIR DE SUBSTANCES EMERGENTES DEPUIS UNE ANCIENNE DECHARGE

## Transfert de substances émergentes par les eaux souterraines depuis une ancienne décharge municipale (Nantes, France)

Cécile LE GUERN<sup>\*1,4</sup>, Alexandra LEPINAY<sup>2</sup>, Béatrice BECHET<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> : BRGM, Direction Régionale des Pays de la Loire, France

<sup>2</sup> : OSUNA, France

<sup>3</sup> : Univ Eiffel, campus de Nantes, France

<sup>4</sup> : IRSTV, CNRS, France

\*contact : c.leguern@brgm.fr, beatrice.bechet@univ-eiffel.fr

### Résumé

Les sites contaminés par des pollutions ponctuelles comme les décharges impactent fréquemment la qualité des eaux souterraines. Du fait de la diversité des déchets déposés, les décharges sont sources d'une grande variété de contaminants, incluant des substances émergentes. L'ancienne décharge municipale de la Prairie de Mauves, située à Nantes sur des alluvions de l'estuaire de la Loire, permet de l'illustrer. Ce site atelier fait partie du réseau SAFIR et du SNO Observil.

Un enregistrement quotidien des niveaux piézométriques, de la conductivité électrique et de la température de l'eau souterraine en différents points est en place depuis 2014. 9 substances émergentes ont été recherchées parmi plus de 80 paramètres de qualité entre 2013 et 2019 dans les lixiviats ainsi que dans les eaux souterraines en amont et en aval hydraulique du site.

Six (6) substances émergentes ont été quantifiées dans les lixiviats, incluant des perturbateurs endocriniens (comme du Bisphenol A jusqu'à 23 µg/l et du tolyltriazole jusqu'à 0.87 µg/l). La plupart des substances détectées dans les lixiviats ont été trouvées dans les eaux souterraines en aval immédiat du site, beaucoup moins quelques centaines de mètres plus loin. Le Bisphenol A est trouvé en aval éloigné.

Les anciennes décharges sont susceptibles de générer des pollutions diffuses des eaux continentales (souterraines et superficielles), estuariennes et marines. Des impacts sur la faune (aquatique) sont également possibles. Une meilleure caractérisation des molécules générées par ces sites apparaît ainsi nécessaire, de même qu'une meilleure compréhension de leur devenir.

### Introduction

Si les installations de stockage de déchets modernes sont soumises à des contrôles stricts de leurs effluents, de nombreuses décharges anciennes ne disposent d'aucun système d'étanchéité et de collecte de leurs rejets liquides et/ou gazeux. Le nombre de décharges brutes fermées est estimé entre 9000 et 12000 sur le territoire national (OPEST, 2002). Les déchets entreposés, de par leur diversité et leur origine (activités domestiques, industrielles, de service, hospitalières, BTP, entretien espaces verts...) sont la source d'une grande variété de substances. Plusieurs études ont démontré la présence de substances émergentes (SE) dans les lixiviats de décharges (Eggen et al, 2010 ; Qi et al, 2018 ; Masoner et al., 2014) et dans les eaux souterraines environnantes (Barnes et al, 2004). Lapworth et al. (2012) indiquent que les décharges peuvent être des sources de substances émergentes dans les eaux souterraines pendant des dizaines d'années, en comparaison des eaux de surface. Le site de la Prairie de Mauves, à Nantes permet d'illustrer l'impact d'une ancienne décharge urbaine une trentaine d'années après sa fermeture.

### Matériel et méthodes

Le site atelier de l'ancienne décharge de la prairie de Mauves à Nantes fait partie du réseau SAFIR et du Service National d'Observation des Environnements Urbains Observil. Englobé dans le tissu urbain, le site est réhabilité progressivement. La partie Est a été exploitée entre 1969 et 1987. Couvrant 28 ha, elle se présente sous forme d'un plateau ceinturé par des talus (ANTEA, 2005). Elle est caractérisée par une succession verticale et latérale de matériaux de nature différente. Environ huit à dix mètres de matériaux anthropiques (gravats, déchets ménagers et potentiellement industriels, déchets verts, déchets hospitaliers...) reposent ainsi sur des limons fins à passées sablo-graveleuses, reposant elles-mêmes sur un socle rocheux fracturé constitué de micascistes (Lotram, 2012). Lors des événements pluvieux, les eaux s'infiltrent et percolent au travers des remblais de surface et du massif de déchets,

engendrant une nappe dite de « remblais » (ANTEA, 2005). Ces eaux s'écoulent et rejoignent la nappe alluviale sous-jacente (Figure 1), drainée par la Loire et qui s'écoule du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

Le réseau de surveillance des eaux souterraines comporte près d'une vingtaine de points d'eau répartis en amont hydraulique de la décharge, au cœur de la décharge, et en aval hydraulique immédiat et plus éloigné du site. Un enregistrement quotidien des niveaux piézométriques, de la conductivité électrique et de la température de l'eau souterraines en différents points est en place depuis 2014. Ce réseau permet aussi la vérification des sens d'écoulement lors des différentes campagnes de prélèvements. Les ouvrages utilisés pour les prélèvements semestriels sont situés dans l'axe d'écoulement des eaux souterraines selon un transect amont aval (Figure 1).

Le programme de suivi inclut deux campagnes de prélèvement par an en hautes eaux et basses eaux. Les lixiviats de la décharge ainsi que les eaux souterraines en amont et en aval hydraulique du site font l'objet d'analyses chimiques. 30 substances pharmaceutiques et 9 substances émergentes ont été recherchées parmi plus de 80 paramètres de qualité entre 2013 et 2019. Les données sont capitalisées dans la base de données Brigadoon (ONEVU, SNO Observil).

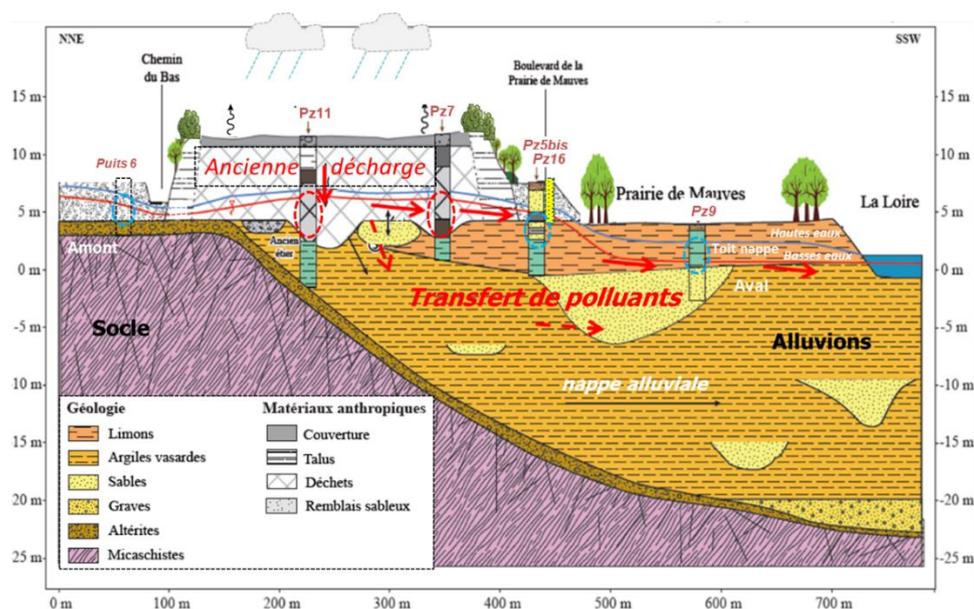


Figure 1 : Schéma conceptuel du site de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves localisant les points d'eau utilisés pour les prélèvements semestriels et la nature des eaux prélevées (lixiviats entourés en rouge, nappe en bleu). (modifié d'après Lotram, 2012)

## Résultats et discussion

### Lixiviats

Six (6) des neuf (9) substances émergentes recherchées ont été quantifiées au moins une fois dans les lixiviats de la décharge (en Pz 7 et Pz11, cf. Figure 1). Elles incluent des perturbateurs endocriniens dont le bisphénol A (jusque 180 µg/L), le triclosan (jusque 0.104 µg/L), le benzotriazole (jusque 1,67 µg/L), et le tolyltriazole (jusqu'à 0.87 µg/l). Les déchets stockés représentent ainsi une source de pollution aux substances émergentes susceptibles de migrer vers les eaux souterraines sous-jacentes. Ces molécules ont été trouvées dans d'autres lixiviats de décharges (Le Guern et al, 2016) (Tableau 1)

Concentration maximale (µg/L)	Lixiviat Prairie de Mauves	Autres lixiviats	Eaux souterraines
Benzotriazole	1,670		
Bisphénol A	180	25000 (seepage water)(b) 0,84 (c) 1,3 (d) 25,2 (e) 6380 (h) 0,1603 (i)	11,99
Tolyltriazole	0,870		0,66
Triclosan	0,104	0,21 (c)	NV

Tableau 1 : Substances émergentes quantifiées dans les lixiviats de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves ; comparaison avec les substances retrouvées dans les eaux souterraines lors des campagnes exceptionnelles [Lopez et Laurent, 2013], et dans d'autres lixiviats de décharge au niveau international], c) [Barnes et al. 2004], (d) [Buszka et al. 2009], (h) [Masoner et al. 2014], (i) [Peng et al. 2014] (NV : pas de teneur indiquée)(Le Guern et al, 2016)

La recherche d'autres molécules révélerait la présence d'autres substances. Les plastifiants, les tissus d'ameublement, les matelas, les meubles, les produits électroniques, les produits blancs, etc sont en effet susceptibles de libérer des produits de dégradation de détergents non ioniques, des désinfectants, des phtalates, des retardateurs de flamme, des antioxydants, des stéroïdes et des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAs). Dans ce cadre, les méthodes d'analyses à spectre large comme le 'non target screening' s'avèrent utiles. Li et al. (2022) ont ainsi déjà détecté des PFAs dans les lixiviats de 3 décharges en Chine, mais aussi dans les eaux souterraines environnantes. Du fait de la nature des déchets dans le massif, la présence de microplastiques dans les eaux souterraines a également été mise en évidence (Ledieu et al., 2023). Ce type de particules peut aussi être source de molécules spécifiques.

## Transfert vers les eaux souterraines

La plupart de ces substances détectées dans les lixiviats sont retrouvées dans les eaux souterraines en aval immédiat du site, à des teneurs généralement supérieures à 0,1 µg/l (Tableau 2). Les teneurs dépassent 10 µg/l pour le bisphénol A. Le tolyltriazole ou le benzotriazole sont détectés seulement en aval immédiat (jusque 0,55 et 2,90 µg/L respectivement). Le nombre de substances détectées apparaît en revanche restreint en aval éloigné (bisphénol A, 0,1 à 1 µg/l), semblant indiquer une forte atténuation naturelle lors du transfert dans la nappe. Cette atténuation naturelle est observée également pour d'autres contaminants (HAP, métaux, ...).

Famille	Substance	Amont	Lixiviat	Aval immédiat	Aval éloigné
Perturbateur endocrinien	Bisphenol A	456	180000	19519	1130
	Tolyltriazole	<LQ	870	550	<LQ
	Benzotriazole	16	1670	2900	<LQ
	Triclosan	<LQ	104	63	<LQ
Autre	4-n-nonylphenol	<LQ	2137	184	<LQ
	Cafeine	<LQ	26	38	49

Tableau 2 : Teneurs maximales de substances émergentes dans les lixiviats et les eaux souterraines en amont et en aval de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves à Nantes (ng/L)

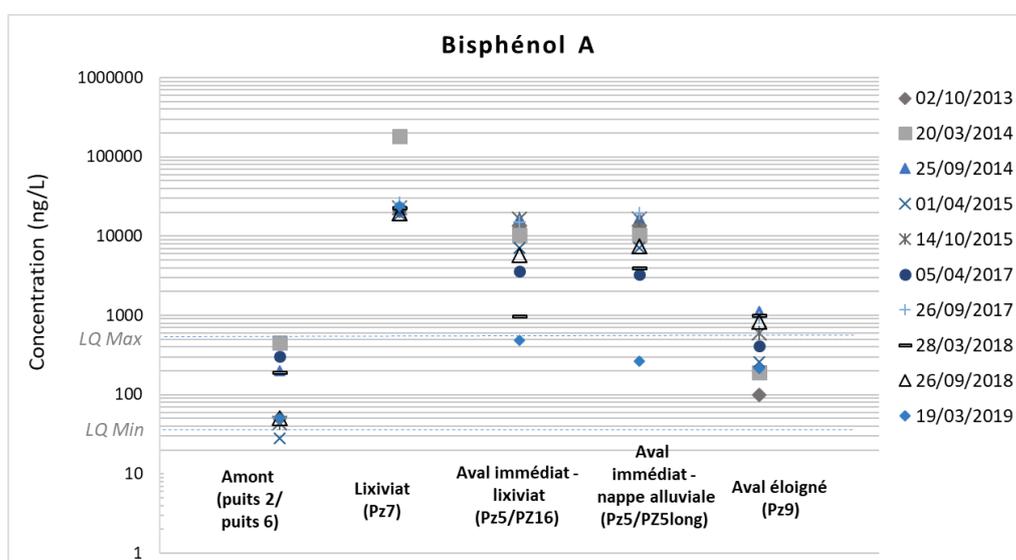


Figure 2 : Evolution des teneurs en bisphénol A dans les lixiviats et les eaux souterraines en amont et en aval de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves à Nantes

La différence de comportement des substances pourrait être liée à leur différence de capacité de sorption et de biodégradation. On suppose que l'effet de dilution est le même pour toutes les substances. La capacité de sorption du bisphénol A sur la matière organique par liaison hydrophobe est supérieure à celle du benzotriazole et du tolyltriazole du fait de son log Kow compris entre 2,2 et 3,4, supérieur à celui des 2 autres molécules (1,23 et 1,89 respectivement) (Hart et al., 2004). La polarité du benzotriazole et du tolyltriazole pourrait permettre leur sorption sur les phases solides du sol (ex. argiles, oxydes de fer, matière organiques) grâce à des interactions dipolaires (Hart et al., 2004). Le 4-tolyltriazole est rapporté comme persistant (Weiss et al., 2006; Reemtsma et al., 2010). Le BPA se biodégrade facilement en aérobiose (Choi and Lee, 2017). En anaérobiose, notamment dans les eaux souterraines, sa biodégradation semble en revanche très faible (<10 %) voire quasi nulle (Kang et al., 2006). Les propriétés du bisphénol A, du tolyltriazole et du benzotriazole conduiraient plutôt à une plus forte mobilité du tolyltriazole et du benzotriazole par rapport au bisphénol A. Leur non détection en aval hydraulique éloigné de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves, contrairement au

bisphénol A, pourrait s'expliquer par un effet de dilution dans la nappe alluviale conduisant à des teneurs inférieures à la limite de détection. Il est ainsi probable que ces molécules ou leurs métabolites migrent en dehors du site, et puissent atteindre la Loire. La décharge est une source très probable de très nombreuses autres substances susceptibles de migrer en dehors du site, vers les eaux souterraines, jusqu'aux dans les eaux de surfaces et la Loire, en lien avec la variété de déchets entreposés.

## Conclusions et perspectives

L'exemple de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves confirme le risque associé aux anciens stockages de déchets comme sources de substances émergentes dans les eaux souterraines, avec la possibilité de migrer vers les eaux de surface. On peut se poser la question de la part des anciennes décharges dans la dissémination de ces substances dans les eaux, ainsi que le détail des substances émergentes générées et leur devenir dans le sous-sol. Les différents mécanismes régissant le comportement des substances émergentes sont encore peu connus et cela nécessite des études complémentaires. Par ailleurs, les études sur le long terme (plusieurs années de suivi) du transfert de substances émergentes apparaissent cruciales pour mieux comprendre les phénomènes, mais aussi suivre les évolutions liées au changement climatique. Elles sont cependant peu nombreuses en contexte de décharge.

## Références

- ANTEA (2005). Etude préalable à la réhabilitation de l'ancienne décharge de la Prairie de Mauves. Rapport ANTEA A37426/B.
- Barnes, K. K., Christenson, S. C., Kolpin, D. W., Focazio, M. J., Furlong, E. T., Zougg, S. D., ... Barber, L. B. (2004). Pharmaceuticals and Other Organic Waste Water Contaminants Within a Leachate Plume Downgradient of a Municipal Landfill. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 24(2), 119–126.
- Choi, Y.J., and Lee, L.S. (2017). Aerobic soil biodegradation of bisphenol (BPA) alternatives bisphenol S and bisphenol AF compared to BPA. *Environmental science & technology* 51(23), 13698-13704.
- Eggen T. , Moeder M, Arukwe A. (2010). Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment*, 408 :5147-5157
- Hart D.S., Davis L.C., Erickson L.E., Callender T.M. (2004). Sorption and partitioning parameters of benzotriazole compounds. *Microchemical Journal* 77(1), 9-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2003.08.005>.
- Kang J.H., Katayama Y., and Kondo F. (2006). Biodegradation or metabolism of bisphenol A: From microorganisms to mammals. *Toxicology* 217(2), 81-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tox.2005.10.001>.
- Lapworth D. J., Baran N., Stuart M. E., Ward R. S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution*, 163, 287–303.
- Ledieu, L., Phuong, N.-N., Flahaut, B., Radigois, P., Papin, J., Le Guern, C., Béchet, B., & Gasperi, J. 2023. May a Former Municipal Landfill Contaminate Groundwater in Microplastics? First Investigations from the "Prairie de Mauves Site" (Nantes, France). *Microplastics*, 2(1), 93-106.
- Le Guern C., Béchet B., Minet L., Lépinay A., Conil P. (2016). Transfert de substances émergentes dans les eaux souterraines depuis une ancienne décharge (Nantes, France), Symposium SHF : « Les polluants émergents : de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines ? », 19-20 mai, Orléans
- Liu T., L-XHu, Y Han, L-L Dong, Y-Q Wang, J-H Zhao, Y-S Liu, J-L Zhao, G-G Ying.(2022) Non-target and target screening of per- and polyfluoroalkyl substances in landfill leachate and impact on groundwater in Guangzhou, China. *Sci. Total Environ*, Volume 844. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157021>
- Masoner J.R., Kolpin D.W., Furlong E.T., Cozzarelli I.M., Gray J.L., Schwab E.A. (2014). Contaminants of emerging concern in fresh leachate from landfills in the conterminous United States. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 16: 2335-2354.
- OPECST (2002). Le guide de l'Ademe sur l'incidence des décharges sur la qualité de l'eau, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.
- Qi C. , Huang J. , Wang B. Deng S. , Wang Y. , Yu G. (2018). Contaminants of emerging concern in landfill leachate in China: A review, *Emerging Contaminants*, Volume 4(1) 1-10, ISSN 2405-6650. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2018.06.001>
- Reemtsma T., Miehle U., Duennbier U., Jekel M. (2010). Polar pollutants in municipal wastewater and the water cycle: Occurrence and removal of benzotriazoles. *Water Research* 44(2), 596-604. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.016>
- Lotram, Y. (2012). Méthodologie d'étude multi-échelle du transport de polluants dans les sols urbains - Application à une ancienne décharge de déchets municipaux sur Nantes. Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes.
- Weiss S., Jakobs J., Reemtsma T. (2006). Discharge of Three Benzotriazole Corrosion Inhibitors with Municipal Wastewater and Improvements by Membrane Bioreactor Treatment and Ozonation. *Environmental Science & Technology* 40(23), 7193-7199. doi: 10.1021/es061434i

## Remerciements

Les auteurs remercient la Région des Pays de la Loire pour le cofinancement des projets RS2E et POLLUSOLS dans le cadre de l'OSUNA, ainsi que l'Etat et la Région pour le soutien financier au SNO ObserVil, et l'IRSTV (FR2488) pour son appui administratif et financier.