



HAL
open science

Impact d'un bassin d'infiltration d'eaux pluviales sur sa zone non saturée : relation entre la rétention des métaux et l'hétérogénéité de la formation fluvioglaciaire

A. Ganaye, T. Winiarski, D. Goutaland

► To cite this version:

A. Ganaye, T. Winiarski, D. Goutaland. Impact d'un bassin d'infiltration d'eaux pluviales sur sa zone non saturée : relation entre la rétention des métaux et l'hétérogénéité de la formation fluvioglaciaire. Novatech 2007 - 6ème Conférence sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie / Sixth International Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Jun 2007, Lyon, France. hal-03248858

HAL Id: hal-03248858

<https://hal.science/hal-03248858v1>

Submitted on 3 Jun 2021

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.

Impact d'un bassin d'infiltration d'eaux pluviales sur sa zone non saturée : relation entre la rétention des métaux et l'hétérogénéité de la formation fluvioglaciaire.

Impact of infiltration basin on the vadose zone : relation between heavy metals retention and heterogeneity of glaciofluvial deposits.

A. Ganaye*, **, T. Winiarski*, D. Goutaland*

* Laboratoire des Sciences de l'Environnement (L.S.E.) – ENTPE
Rue Maurice Audin / 69518 Vaulx-en-Velin / France

** Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (L.R.P.C.)
151 Rue de Paris / 02100 Saint-Quentin / France

Email : Arnaud.Ganaye@equipement.gouv.fr, winiarski@entpe.fr,
goutaland@entpe.fr

RESUME

L'impact à long terme des ouvrages d'infiltration d'eaux pluviales sur les sols et les ressources en eaux souterraines n'est pas connu. L'évaluation de cet impact requiert une meilleure connaissance des mécanismes de transfert des polluants dans la zone non saturée des ouvrages d'infiltration. Cette étude vise à étudier le rôle des hétérogénéités lithologiques d'un dépôt fluvioglaciaire sous-jacent à un bassin d'infiltration sur le transfert des Eléments Traces Métalliques (ETM). Une excavation réalisée dans le bassin a mis à jour la formation fluvioglaciaire. Une étude sédimentologique a été réalisée, afin de dresser une typologie de quatre lithofaciès distincts. Chaque lithofaciès a été échantillonné. Les granulométries *grossière* (tamisage mécanique) et *fine* (granulométrie laser), ainsi que les concentrations en plomb, cuivre et zinc de chaque échantillon ont été mesurées. Les résultats montrent une corrélation entre les ETM et la fraction silteuse des lithofaciès. Cette fraction silteuse pourrait provenir des sédiments de surface ayant migré à travers le dépôt.

ABSTRACT

The long-term impact of stormwater infiltration basins on underground media is not clearly known. The evaluation of this impact requires a better knowledge of the contaminant transfer mechanisms in the vadose zone underlying infiltration basins. The aim of this study is to evaluate the role of the lithological heterogeneities of a glaciofluvial deposit underlying an infiltration basin on the transfer of heavy metals. A trench wall was exposed by excavating the glaciofluvial formation with a power shovel. A sedimentological study was carried out to define a typology of four lithofacies. Each lithofacies was sampled. Coarse (mechanical sieving) and fine (laser diffraction) grain size analysis, as well as the concentrations of lead, copper and zinc were measured for each sample. The results show a correlation between heavy metals concentrations and the silt fraction of the lithofacies. This silt fraction may come from the surface sediments after migration through the deposit.

MOTS CLES

Bassin d'infiltration, dépôt fluvioglaciaire, granulométrie fine, lithofaciès, métaux lourds.

1 INTRODUCTION

En milieu urbain, le recours de plus en plus fréquent à des techniques d'assainissement alternatives comme les bassins d'infiltration d'eaux pluviales pose la question de l'impact à long terme de ces ouvrages sur les sols et les ressources en eau souterraine. En France, une rapide vision de la distribution des dépôts de surface, tels que les alluvions fluviatiles ou fluvioglaciaires, permet de souligner le fait que la majeure partie des villes se trouve sur ce type de formation géologique. La forte capacité infiltrante de ces formations justifie le choix des ouvrages d'infiltration. Cependant, la qualité des eaux pluviales infiltrées peut être source de contamination de la nappe (Collin, 2003 ; Pitt *et al.*, 1999 ; Plassard, 1999), et par la suite, avoir un impact sur la santé humaine (Appleyard *et al.*, 2006 ; Ammann, 2003). La rétention des polluants dans les premières couches d'un bassin d'infiltration est alors déterminante quant à la préservation de la qualité des sols et des eaux souterraines.

L'étude présentée a été réalisée dans le cadre des travaux menés par l'Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine (O.T.H.U.). L'originalité du travail effectué tient dans le fait que le sol étudié (dépôt fluvioglaciaire sous-jacent à un bassin d'infiltration) est considéré comme *hétérogène* à l'échelle décimétrique (échelle des hétérogénéités lithologiques). L'objectif de cet article est d'étudier le rôle des hétérogénéités lithologiques d'un dépôt fluvioglaciaire sur le transfert des ETM transportés par les eaux pluviales infiltrées à travers ce dépôt.

2 METHODES

2.1 Présentation du site étudié

Le bassin de rétention-infiltration étudié, appelé Django-Reinhardt (DjR), constitue l'exutoire d'un bassin versant d'environ 185 ha, correspondant à une zone industrielle du sud de la ville de Chassieu, dans l'Est Lyonnais (France). Ce bassin d'infiltration d'une surface de 1 ha est situé sur des alluvions fluvioglaciaires. Le niveau statique de la nappe est à 13 m de profondeur sous le fond du bassin. Pour des raisons pratiques, deux zones (A et B) ont été distinguées au sein du bassin (figure 1). Les résultats présentés proviennent de l'étude réalisée sur la zone A.

2.2 Description sédimentologique et échantillonnage

Une excavation à la pelle mécanique a été réalisée dans la zone A du bassin DjR. Une paroi verticale de 13,5 m de long et de 2,5 m de profondeur en moyenne a été dégagée, permettant une description sédimentologique et un échantillonnage.

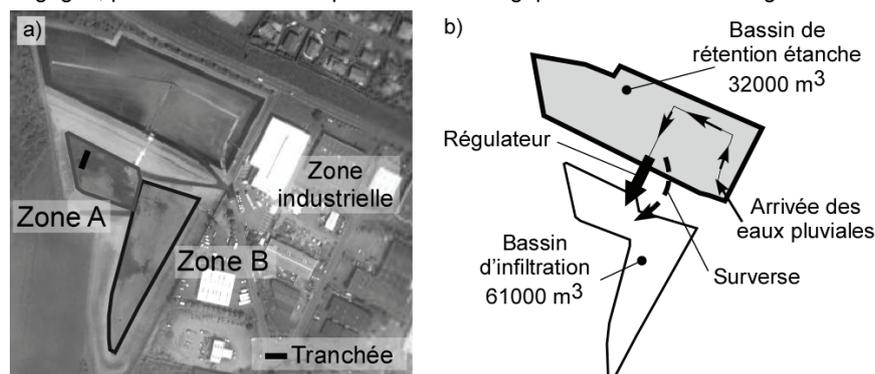


Figure 1 : a/ vue aérienne du bassin DjR et délimitation des zones A et B ;
b/ représentation schématique des flux d'eaux pluviales

La paroi étudiée a été divisée en 9 sections de 1,5 m de large et de 2,5 m de profondeur (figure 2). Le choix de la largeur des sections a permis d'éviter une sur-représentation d'un même lithofaciès (extension latérale métrique des lithofaciès). Le travail présenté se fonde sur l'étude des sections S2, S3, S6, S7 et S8.

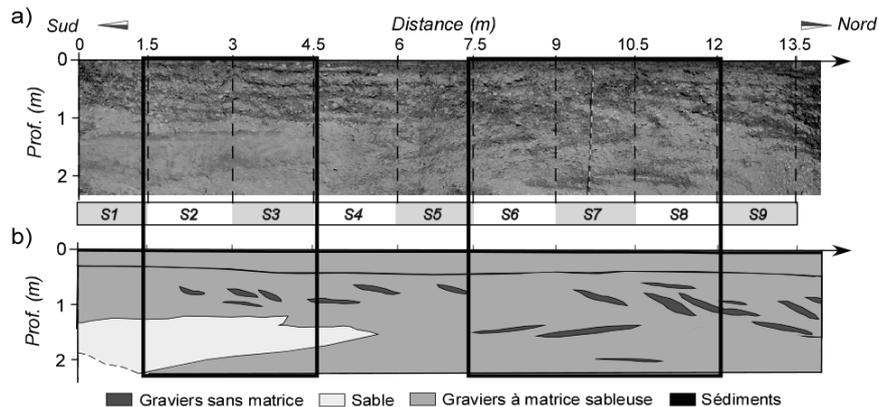


Figure 2 : a/ photomontage de la tranchée découpée en 9 sections ;

b/ représentation schématique des unités lithologiques, les sections étudiées dans cet article sont encadrées

Les lithofaciès sont décrits suivant le code de Miall (1978). Ils sont présentés par une suite de lettres (i_1 i_2 i_3 i_4) précisant la granulométrie des éléments majoritaires (i_1 : G pour graviers, S pour sables), le support des éléments (i_2 : c pour clast-supported i.e. grains jointifs, m pour matrix-supported i.e. grains non-jointifs au sein d'une matrice, - pour des lithofaciès sans matrice), leur structure sédimentaire (i_3 : m pour massif, x pour stratifié), et éventuellement des informations complémentaires (i_4 : o pour structure « ouverte » sans matrice, b pour granulométrie bimodale).

Chaque lithofaciès a été échantillonné à l'aide d'une pelle couloir et d'une truelle. L'échantillonnage s'est donc effectué de façon stratifiée dans chaque section. Le code utilisé pour désigner chaque échantillon est le suivant : Sx.y avec x représentant le numéro de la section ($1 \leq x \leq 9$) et y représentant le numéro de l'échantillon au sein de la section x en partant du haut de la tranchée.

2.3 Granulométrie des particules fines (< 2mm)

Les analyses ont été effectuées par granulométrie laser sur la fraction des lithofaciès inférieure à 1mm. L'appareil utilisé est un instrument de marque Malvern (Mastersizer, 2000). Sa gamme de mesure s'étend de 20nm à 2mm ; le choix du tamisat à 1mm a été fait pour éviter la détérioration de l'appareil. L'eau a été utilisée comme dispersant (indice de réfraction : 1,33 à 20°C). Pour la couche de sédiments, les ultrasons ont permis la dispersion d'éventuels floccs.

2.4 Mesures des concentrations totales en métaux (Pb, Cu, Zn)

La minéralisation des échantillons a été effectuée par attaque acide à « l'eau régale » (75% HCL + 25% HNO₃) sur chacun des échantillons tamisés à 2mm. Après filtration (filtres plissés Whatmann, grade 541), les concentrations en Pb, Cu et Zn ont été mesurées par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) avec four (Pb, Cu) et avec flamme (Zn) (NF T 90-112, 1998). Les seuils de détection en SAA sont de 1ppb pour le Pb et le Cu, et de 0,1ppm pour le Zn. Toutes les minéralisations et analyses ont été faites en triplicats.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Description sédimentologique

D'une manière générale, cette étude met en évidence une hétérogénéité sédimentaire texturale (échelle du lithofaciès) et structurale (échelle de l'élément de dépôt ou élément architectural). Cette description a été effectuée sur les 5 sections étudiées. Afin d'illustrer les différents lithofaciès rencontrés, nous présenterons ici seulement les résultats de la section S3.

L'hétérogénéité texturale se traduit par la présence de 4 lithofaciès distincts (figure 3). Ces lithofaciès, décrits suivant le code de Miall (1978), sont :

- des sables moyens, pauvrement à bien classés, de grains moyens $325 \pm 43\mu\text{m}$, présentant des laminations correspondant aux phases de dépôt (codage S-x) ;
- des graviers sans matrice sableuse, assez bien à bien classés, de taille centimétrique pour les éléments les plus grossiers, sous la forme de fines lentilles inclinées (codage Gcx,o) ;
- des mélanges sablo-graveleux présentant une granulométrie étalée (sables fins à graviers grossiers), généralement présents dans les 30 premiers centimètres sous la surface du bassin (codage Gcm) ;
- des mélanges sablo-graveleux à granulométrie bimodale, présentant un mode grossier - graviers moyens à grossiers - et un mode sableux - matrice de sables fins et moyens (codage Gcm,b).

L'hétérogénéité structurale correspond à différents environnements de dépôt. L'interprétation de ces environnements permet de comprendre l'organisation générale des lithofaciès (Goutaland *et al.*, 2005).

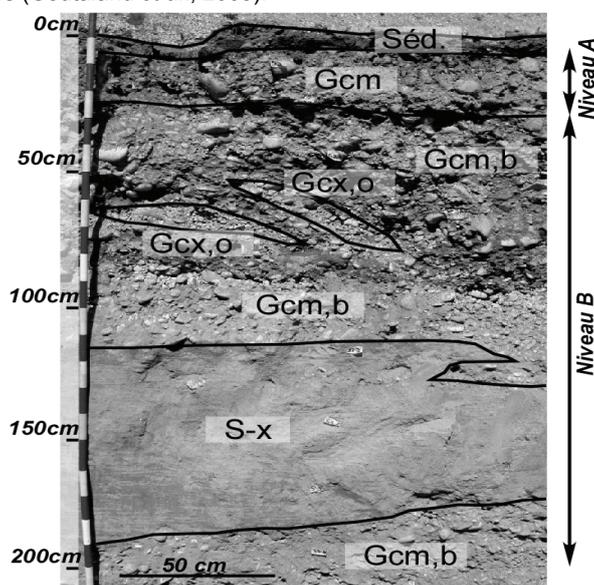


Figure 3 : répartition des lithofaciès fluvioglaciaires la section S3 (1,5m x 2,1m). Le dépôt en place est surmonté par une couche de sédiments (Séd.) en surface du bassin d'infiltration. Les 4 lithofaciès présents sur la section sont décrits suivant le code de Miall (1978) : S-x, sables bien classés ; Gcx,o, graviers sans matrice sableuse ; Gcm, mélange sablo-graveleux à granulométrie étalée ; Gcm,b, mélange sablo-graveleux à granulométrie bimodale.

Deux niveaux de dépôt ont été mis en évidence (figure 3) :

- un niveau inférieur (niveau A) correspondant à une mise en place dans un environnement de chenaux proglaciaires en tresse, conduisant à des structures de type paléochenaux (remplissage d'anciens chenaux proglaciaires, lithofaciès S-x, Gcx,o, Gcm et Gcm,b), et de progradations de graviers (lithofaciès Gcx,o et Gcm,b) ;
- un niveau supérieur (niveau B) correspondant à un dépôt sous haute énergie de courant, à l'origine de la mise en place d'un mélange sablo-graveleux très hétérométrique (lithofaciès Gcm).

3.2 Analyse de la granulométrie fine des lithofaciès

L'analyse a été effectuée sur les 5 sections étudiées. Nous ne présenterons ici que les résultats représentatifs obtenus pour les échantillons de la section S3 (figure 4).

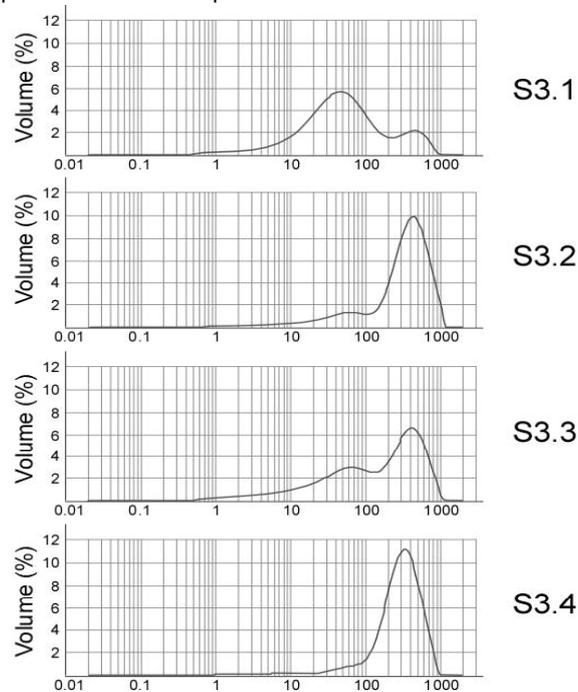


Figure 4 : courbes de fréquence granulométrique associées aux tamisats à 1mm des échantillons des couches S3.1 (sédiments), S3.2, S3.3 (Gcm) et S3.4 (Gcm,b)

La courbe granulométrique correspondant à la couche de sédiment de surface (S3.1) a une nette allure bimodale. La fraction volumique du mode le plus fin (40µm) est la plus importante (# 5,5%). Ce mode correspond aux sédiments. Le mode secondaire (450µm, 2,1%) traduit la présence d'éléments sableux dans la couche de surface. La couche inférieure S3.2 (lithofaciès Gcm) a une allure bimodale peu marquée et inversée par rapport à la couche de sédiments ; le mode principal (# 10%) correspond à des particules de 450µm, le mode secondaire se situe à 55-60µm. La couche S3.3 (lithofaciès Gcm, horizon noir) a une allure bimodale ; les deux modes correspondant à ceux décrits pour la couche S3.2. Le pourcentage volumique du mode principal (400µm) est cependant plus faible (# 6,5%), alors que celui du mode secondaire (60µm) est plus significatif (# 3%). Les courbes des échantillons S3.4 à

S3.10 sont similaires et unimodales, le pic est observé entre 300 et 400 μ m et les pourcentages volumiques dépassent 10%. Notons que la position du grain moyen dépend du lithofaciès. Le mode principal est déplacé vers les 300 μ m pour les échantillons S3.7 à S3.9, correspondant au lithofaciès S-x.

3.3 Mesure de la concentration en métaux

- Cas particulier de la couche de sédiments de surface

Les teneurs en ETM sont fortes dans la couche de sédiments de surface. Les valeurs mesurées montrent que ces sédiments peuvent être considérés comme des sols pollués (tableau 1).

ETM	Couche Sx.1					AFNOR 44 – 041 1985	BRGM 2000	
	S2.1	S3.1	S6.1	S7.1	S8.1	SOLS	VCI sol	VDSS
Pb	101	130	147	108	121	100	400	200
Zn	2 146	3 113	3 628	2 612	3 240	300	9 000	4 500
Cu	160	199	227	166	176	100	190	95

Tableau 1 : concentrations en Pb, Zn et Cu dans les échantillons de surface comparées à différentes valeurs seuils et exprimées en mg/kg de Matières Sèches

- Étude des lithofaciès fluvioglaciers

Les résultats présentés portent sur les mesures réalisées sur les échantillons de la section S3. Les concentrations mesurées sur un échantillon ont été affectées à l'ensemble du lithofaciès correspondant. La figure 5 montre la non-linéarité des teneurs en Pb, Cu et Zn en fonction de la profondeur. Les profils de concentration des trois métaux étudiés ont une allure similaire. Les concentrations les plus fortes sont observées sur les 30 premiers centimètres, correspondant aux échantillons S3.2 et S3.3 (lithofaciès Gcm).

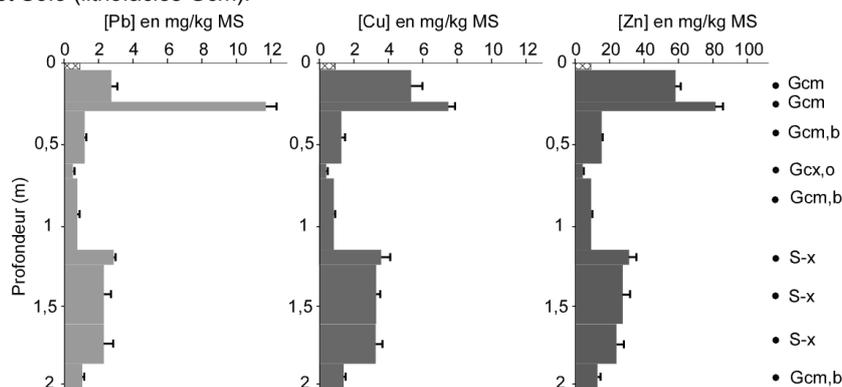


Figure 5 : évolution en fonction de la profondeur des teneurs en Pb, Cu et Zn des échantillons de la section S3. Les concentrations de la couche de sédiments (5 premiers centimètres) n'ont pas été représentées. Chaque niveau de concentration correspond à un lithofaciès.

Les concentrations de la couche S3.3 sont supérieures à celles de S3.2, notamment pour le Pb (2,3mg/kg pour S3.2 et 11,9mg/kg pour S3.3). Le lithofaciès S-x (échantillons S3.7, S3.8, S3.9), situé entre 115 et 190cm, présente des concentrations en ETM plus élevées que les lithofaciès supérieurs et inférieurs (entre 2 et 3mg/kg pour le Pb, entre 3 et 4 mg/kg pour le Cu, entre 20 et 35mg/kg pour le Zn). Les teneurs diminuent de façon significative au niveau du lithofaciès Gcx,o (échantillon S3.5).

3.4 Discussion

Les courbes granulométriques des échantillons de surface (de type Sx.1) présentent la même forme bimodale ; un mode fin (40 à 65µm) correspondant aux silts grossiers et un mode grossier (250 à 450µm) correspondant à des sables moyens. Cette bimodalité se retrouve au niveau des lithofaciès de type Sx.2 et Sx.3, et dans une moindre mesure sur le haut de la couche sableuse. La quasi-absence de particules silteuses dans les autres lithofaciès (Gcm,b et Gcx,o), ainsi que l'absence de sables fins, justifient le fait que ces silts ne soient pas inhérents à la formation en place. On peut donc supposer que les silts proviennent de la surface et qu'ils migrent dans les premiers centimètres de sol. Cette migration est en partie due à l'hétérogénéité de la formation fluvioglaciaire ; certains lithofaciès ont des ouvertures de pores plus grandes, permettant l'infiltration des particules silteuses. D'après Winiarski *et al.* (2004), la présence d'écoulements préférentiels peut également être à l'origine d'une migration des particules fines en profondeur, pouvant expliquer la bimodalité observées au niveau de la couche sableuse.

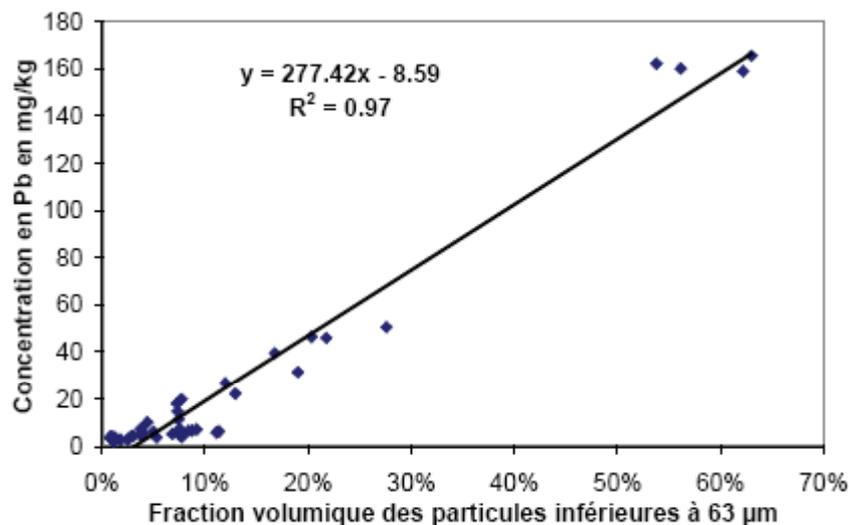


Figure 6 : corrélation entre la concentration en plomb des échantillons des sections S2, S3, S6, S7 et S8 en fonction de la fraction volumique des particules inférieures à 63µm

Il existe une corrélation entre les particules inférieures à 63µm et les métaux. La figure 6 permet d'illustrer ce résultat. En effet, le plomb est corrélé avec la fraction volumique des particules inférieures à 63µm ($r^2=0,97$). Dans une moindre mesure, cette corrélation existe avec le cuivre ($r^2=0,92$) et le zinc ($r^2=0,88$). Compte-tenu de la faible représentation des particules argileuses (figure 4), la fraction des particules inférieures à 63µm correspond essentiellement à la fraction silteuse.

Ce résultat permet de faire l'hypothèse que les ETM migrent sous forme particulaire jusqu'à un horizon où des mécanismes de fixation interviennent. Il est également possible que des particules fines déjà présentes en profondeur participent à la précipitation d'ETM suite à un relargage au niveau d'un horizon supérieur.

4 CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons considéré les hétérogénéités décimétriques (échelle du lithofaciès) d'un dépôt fluvioglacière sous-jacent à un bassin d'infiltration d'eaux pluviales. Nous avons évalué le rôle des lithofaciès dans les mécanismes de transferts de contaminants (ETM). L'étude sédimentologique du dépôt fluvioglacière a mis en évidence 4 lithofaciès, décrits d'après le code de Miall (1978) : un sable moyen (S-x), des graviers sans matrice sableuse ou fine (Gcx,o), des mélanges de sables et graviers à granulométrie étalée (Gcm) ou bimodale (Gcm,b). L'analyse de la granulométrie fine a mis en évidence une migration des particules silteuses de la surface vers des lithofaciès en profondeur. Une corrélation forte entre la concentration en ETM (notamment le plomb) et la fraction silteuse montre que les ETM semblent migrer sous forme particulaire (silts) ou se fixer au niveau des éléments silteux. L'hétérogénéité de la formation fluvioglacière peut engendrer des chemins préférentiels d'écoulement, facilitant la migration des particules silteuses en profondeur, expliquant ainsi la non-linéarité de la décroissance des concentrations en métaux lourds en fonction de la profondeur. Des analyses minéralogiques par lithofaciès seront effectuées, afin de mieux appréhender les mécanismes de fixations des ETM.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR NF U 44-041 (1985). Boues des ouvrages des eaux usées urbaines : dénominations et spécifications. Ed. AFNOR, Paris, 11.
- Ammann, A., Hoehn, E. and Koch, S. (2003). Ground water pollution by roof runoff infiltration evidenced with multi-tracer experiments. *Water research*, 37, 1143-1153.
- Apleyard, S.J., Angeloni, J. and Watkins, R. (2006). Arsenic-rich groundwater in an urban area experiencing drought and increasing population density, Perth, Australia. *Applied Geochemistry*, 21, 83-97.
- BRGM (2000). Guide Gestion des sites (potentiellement) pollués, Visites préliminaires, Diagnostic initial et Évaluation Simplifiée des Risques. Ed. BRGM, version 2.
- Collin, M.L. and Melloul, A.J. (2003). Assessing groundwater vulnerability to pollution to promote sustainable urban and rural development. *Journal of Cleaner Production*, 11, 727-736.
- Goutaland, D., Winiarski, T., Bièvre, G. and Buoncristiani, J.F. (2005). Intérêt de l'approche sédimentologique en matière d'infiltration d'eaux pluviales. Caractérisation par radar géologique. *Techniques Sciences Méthodes*, 10, 71-79.
- Mastersizer (2000). Zeta potential measurements. Malvern Instruments, UK.
- Miall, A.D. (1978). Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: *Fluvial Sedimentology*, A.D. Miall (Ed.), Mem. Can. Soc. Petrol. Geol. 5, 597-604.
- NF T 90-112 (1998). Qualité de l'eau - Dosage de huit éléments métalliques (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Pb) par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme.
- Pitt, R., Clark, S. and Field, R. (1999). Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices. *Urban Water*, 1, 217-236.
- Plassard, F. (1999). Influence de la complexation sur la rétention de trois cations métalliques par un sol alcalin. Application à un bassin d'infiltration des eaux pluviales. Thèse sci. : Université Claude Bernard, Lyon 1, 141.
- Winiarski, T., Crosnier, J., Vacherie, S. and Métral, B. (2004). Evaluation de la teneur en eau de la zone non-saturée d'un bassin d'infiltration de l'Est de Lyon (France). Novatech'2004, Lyon, France, 7-11 juin 2004.