

# Traitement des sédiments issus de l'assainissement pluvial

François PETAVY<sup>1</sup>, Véronique RUBAN<sup>1</sup>, Jean-Yves VIAU<sup>2</sup>, Pierre CONIL<sup>3</sup>

1. Laboratoire central des Ponts et Chaussées, route de Bouaye, BP 4129, 44341 Bouguenais Cedex, France

2. Saint-Dizier Environnement, rue Gay-Lussac, BP 09, Zone industrielle, 59147 Gondecourt, France

3. BRGM, SGR/PdL, 1, rue des Saumonières, BP 92342, Nantes Cedex 03, France

Pour toute correspondance : [veronique.ruban@lpc.fr](mailto:veronique.ruban@lpc.fr)

## Résumé

Le devenir des sédiments issus de l'assainissement pluvial est une préoccupation forte des gestionnaires de bassins et voiries. En effet, ces résidus représentent des volumes importants et sont fréquemment pollués. Leur gestion constitue donc un réel enjeu économique et environnemental. Les études antérieures mettent en évidence une contamination par les métaux lourds, les hydrocarbures et les HAP avec des teneurs supérieures aux valeurs de référence pour les sols pollués. Cependant, les résultats sont contradictoires quant à la localisation de ces polluants. L'étude de traitabilité réalisée en laboratoire montre que les polluants organiques et inorganiques sont majoritairement présents au niveau des particules fines. Ces particules sont « libres » et facilement séparables par tri granulométrique, ou agglomérées et nécessitent alors une étape supplémentaire d'attrition pour permettre leur désagrégation et leur séparation granulométrique. Le protocole mis au point a permis, après optimisation des différents paramètres opératoires, de concentrer les polluants au sein des particules fines (< 80 µm) et de dépolluer jusqu'à 75 % de l'échantillon brut. Ces résultats ont débouché sur la conception d'une unité pilote mise au point selon le principe établi en laboratoire, tout en respectant les contraintes techniques et économiques actuelles. Les sédiments valorisables devront répondre à un cahier des charges précis et rigoureux en vue de leurs réutilisations.

### Mots clés

Attrition, éléments traces, polluants, sédiments, traitement, unité pilote.

## Introduction

Le développement croissant des réseaux routiers et autoroutiers au cours des dernières décennies et l'imperméabilisation qui en résulte ont fait de la maîtrise du ruissellement l'une des priorités environnementales. Pour gérer ces effluents, des fossés et des bassins de retenue des eaux

pluviales sont fréquemment mis en place, et ce depuis plus d'une vingtaine d'années. Ils jouent un rôle à la fois sur les débits (écrêtement des pics) et sur la qualité des effluents (sédimentation des matières en suspension). Les sédiments qui s'y accumulent doivent être curés pour maintenir ou restituer les fonctions de ces ouvrages. Cependant, les matériaux collectés lors de ces opérations d'entretien peuvent être contaminés (métaux lourds, hydrocarbures, pesticides...) et présentent un risque pour l'environnement et la santé humaine. Plusieurs travaux (Pettersson, 1999 ; Bäckström, 2001 ; Färm, 2001 ; Durand, 2003) montrent un intérêt particulier pour ces sédiments, mais les gestionnaires de bassins sont confrontés à un manque global de connaissance pour permettre la gestion et la valorisation de leurs sous-produits. Bien qu'une estimation des volumes soit difficile à obtenir, les quantités déposées ou curées apparaissent très importantes avec environ 5 millions de tonnes de matière sèche (Ruban et al, 2003). A titre de comparaison, la production annuelle française de boues des stations d'épuration des eaux résiduaires urbaines (matière sèche) est estimée à 1,3 million de tonnes en 2005 (IFEN, 2001). Face à ces tonnages élevés et à un risque de pollution importante, l'évacuation et le devenir des résidus constituent un enjeu important pour les collectivités. L'objectif est de proposer aux gestionnaires des techniques de traitement permettant une valorisation de leurs sous-produits. Pour faire face aux coûts de transport élevés et à la disparité des bassins, un traitement sur site apparaît comme le plus approprié. Les travaux de caractérisation et de traitement réalisés en laboratoire seront présentés, ainsi que la mise en place d'une unité mobile de traitement au Laboratoire central des Ponts et Chaussées.

## Méthode

### Principe de traitement

Le principe consiste à concentrer la pollution dans une fraction réduite de l'échantillon afin de l'isoler et de permettre la valorisation des autres fractions. La localisation de la

pollution au sein des sédiments est donc indispensable pour répondre à ce principe de traitement. Les études antérieures (Colandini, 1997 ; Lee et al, 1997 ; Zanders, 2005) montrent généralement qu'il existe une accumulation de la pollution dans les fractions fines. Ceci peut s'expliquer par une surface spécifique plus importante des particules fines et donc un nombre de sites de fixation plus élevé. Cependant, Durand (2003) observe peu de différence de concentration entre les particules fines inférieures à 40 µm et les particules plus grossières supérieures à 315 µm. Deruelle (2004) et Durin (2006) observent également une répartition homogène des polluants organiques et métalliques en fonction des différentes classes granulométriques. Face à ces contradictions, nous établissons une hypothèse : « Il existe une accumulation de la pollution dans les particules fines, mais ces dernières ne sont pas toujours disponibles par simple tri granulométrique. Elles peuvent être agglomérées entre elles ou autour de particules grenues, augmentant ainsi le pourcentage de pollution des éléments grossiers. » Pour vérifier cette hypothèse, les échantillons vont subir une étape d'attrition, technique minéralurgique qui consiste par frottement à éliminer les encroûtements de surface des particules. Ceci a pour effet de nettoyer les particules grenues et de disperser les composés fins qui y adhéraient (fig. 1). Le mélange est ensuite tamisé pour permettre une séparation entre les particules fines formées et les particules plus grossières. Les teneurs en matière organique totale et en éléments traces sont déterminées sur les fractions fines et grossières avant et après attrition. Elles permettront de valider ou non notre hypothèse.

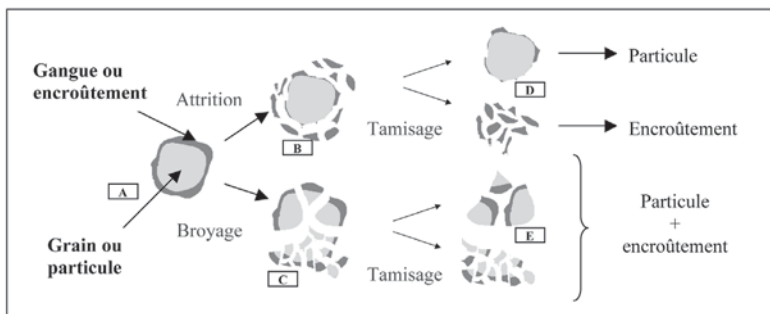


Figure 1 : Principe de l'attrition.

L'effet de l'attrition (A-B-D) sur les particules est comparé à celui d'un broyage classique (A-C-E). Le broyage entraîne de multiples cassures au sein des particules sans permettre de désagrégation entre la gangue polluée et le grain.

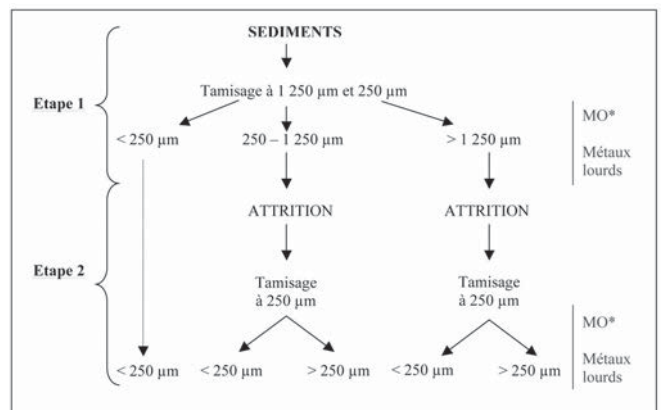
**Prélèvement des sédiments**

Le sédiment étudié provient du bassin d'infiltration de Cheviré, localisé au sud-ouest de Nantes. Sa surface est de 780 m<sup>2</sup> et sa profondeur d'environ 1,50 m. De type routier, il draine le pont de Cheviré qui permet le franchissement de la Loire par la rocade ouest. La longueur du pont est de 1 562 m avec deux rampes à 6 % qui élèvent le tracé

de 50 m au-dessus du fleuve. Le pont est constitué de 2 chaussées à trois voies avec un séparateur central en béton. Le profil transversal a une largeur totale de 24,60 m. La surface de drainage des eaux est de 38 425 m<sup>2</sup>. Le trafic supporté par le pont est d'environ 80 000 véhicules par jour. Le prélèvement a été réalisé sur les 15 premiers centimètres du sol à l'aide d'une pelle en acier inoxydable.

**Analyses**

Les fractions granulométriques des échantillons sont isolées par tamisage à l'aide de tamis en nylon. Les essais d'attrition en laboratoire sont réalisés en batch dans une cellule octogonale d'une capacité de 1 litre. La cuve comporte des arêtes vives et des pales d'hélices en opposition dont la rotation crée des zones de turbulence très actives. Le schéma opératoire utilisé pour les essais de caractérisation des sédiments est décrit sur la figure 2. Les tamis utilisés présentent des seuils de coupure de 1 250 µm et 25 µm. La vitesse de rotation des pales est fixée à 2 125 tr/min et la durée d'attrition est de 180 secondes. De plus, la pulpe a une teneur en matière sèche de 60 % environ. Les conditions opératoires de séparation granulométrique et d'attrition seront modifiées lors des essais d'optimisation de la méthode de traitement.



\* MO = matière organique

Figure 2 : Mode opératoire des essais de caractérisation des sédiments.

Pour chaque fraction, les teneurs en matière organique et en éléments traces sont déterminées. Les matières organiques sont assimilées aux matières volatiles et sont mesurées par perte de poids de l'échantillon après calcination pendant 2 heures à 550 °C, selon la norme NF EN 12879. La détermination des teneurs totales en éléments traces (Pb, Cu, Cd, Zn, Ni, Cr) nécessite une mise en solution par attaque acide des phases solides, selon la norme NF X 31-147, après calcination pendant 3 heures à 450 °C à l'aide d'un mélange d'acide fluorhydrique concentré et d'acide perchlorique. L'analyse des éléments se fait par ICP ou SAA suivant les teneurs et les limites de quantification.

## Résultats et discussion

### Caractérisation des sédiments

#### Etape 1 : Séparation granulométrique

La matière organique totale et les éléments traces sont déterminés sur les trois fractions granulométriques issues du premier tamisage de l'étape 1 (tab. 1). Les concentrations en métaux traces sont comparées aux valeurs cibles et d'intervention de la norme hollandaise pour les sols pollués. Si ces seuils n'ont pas de valeur légale en France, ils sont néanmoins fréquemment utilisés comme valeurs de référence pour interpréter la présence de certains composés chimiques dans les sols.

	PM <sup>1</sup> %	MO <sup>2</sup> %	Cd	Cr	Cu mg.kg <sup>-1</sup>	Ni	Pb	Zn
> 1 250 µm	20	6,2	0,6	36	122	16	183	699
250 << 1 250 µm	45	6,4	0,5	40	155	18	200	729
< 250 µm	35	17,1	0,8	113	334	45	434	2 079
Norme hollandaise	Cible		0,8	100	36	35	85	140
	Intervention		12	380	190	210	530	720

1. PM : pourcentage massique  
2. MO : matière organique totale

#### Tableau 1 : Pourcentage massique, concentrations en matière organique et en éléments traces dans les différentes fractions granulométriques.

Les deux fractions supérieures à 250 µm présentent de teneurs en matière organique et en éléments traces relativement similaires. La teneur en matière organique est voisine de 6 % et les teneurs en éléments traces sont supérieures aux valeurs cibles pour le cuivre, le plomb et le zinc et supérieure à la valeur d'intervention pour le zinc dans la fraction comprise entre 250 et 1 250 µm. La fraction fine, inférieure à 250 µm, constitue 35 % de l'échantillon et présente une concentration très élevée en matière organique avec 17,1 %, et en éléments traces avec des teneurs toutes supérieures aux valeurs cibles et très supérieures aux valeurs d'intervention pour le cuivre et le zinc.

Cette caractérisation du sédiment de Cheviré vérifie la première partie de notre hypothèse, à savoir une accumulation de la pollution dans les particules fines. Néanmoins, certaines teneurs en métaux restent élevées dans les fractions grenues (cuivre, plomb, zinc).

#### Etape 2 : Attrition

Pour vérifier la seconde partie de l'hypothèse, des essais d'attrition sont réalisés sur la fraction intermédiaire comprise entre 250 et 1 250 µm, afin d'étudier la désagrégation des particules fines présentes autour des particules grenues (tab. 2).

	P.M <sup>1</sup> %	M.O <sup>2</sup> %	Cd	Cr	Cu mg.kg <sup>-1</sup>	Ni	Pb	Zn
> 250 µm	74	0,8	0,1	17	16	9	69	111
< 250 µm	26	20,0	1,1	166	387	67	549	2331

1. PM : pourcentage massique  
2. MO : matière organique totale

#### Tableau 2 : Concentration en éléments traces dans les deux fractions granulométriques après attrition.

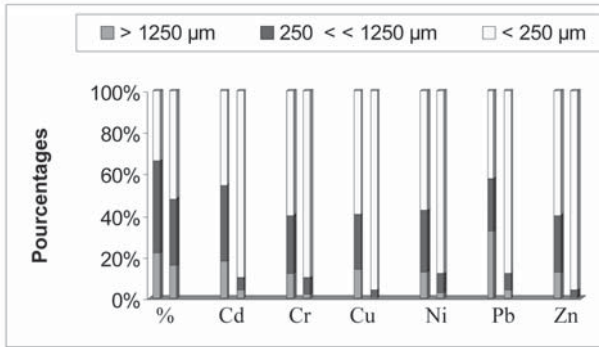
L'étape d'attrition a permis d'extraire 26 % de particules fines inférieures à 250 µm. Cette phase est très polluée avec 20,0 % de matière organique et des teneurs en éléments métalliques élevées, supérieures aux valeurs cibles pour le cadmium, le nickel et le chrome et supérieures aux valeurs d'intervention pour le cuivre (387 mg kg<sup>-1</sup>), le plomb (549 mg kg<sup>-1</sup>) et le zinc (2 331 mg kg<sup>-1</sup>). Les particules supérieures à 250 µm correspondent à 74 % de l'échantillon avec un pourcentage de matière organique inférieur au pourcent et des concentrations en éléments traces toutes inférieures aux valeurs cibles de la norme hollandaise. De plus, les concentrations en éléments traces encore présents dans les fractions grossières se situent dans les gammes des sols ordinaires données par Baize (2000).

Des essais complémentaires, dans des conditions identiques, ont été réalisés sur la fraction supérieure à 1 250 µm. Ils confirment la présence d'agglomérats de particules fines polluées au sein des éléments grossiers avec 27 % de particules fines générées. Les 73 % de particules grenues restantes sont largement dépolluées avec 2,4 % de matière organique et des concentrations en éléments traces inférieures ou légèrement supérieures aux valeurs cibles de la norme hollandaise.

#### Bilan massique

Les essais d'attrition ont permis de localiser la pollution présente au sein des fractions intermédiaire et grossière. De plus, l'hypothèse établie est vérifiée, à savoir la présence d'agglomérats de particules fines entre elles ou sur les particules grenues responsables de l'homogénéité de la pollution en fonction des classes granulométriques. Le traitement mis en place, séparation granulométrique et attrition (fig. 2), permet de dépolluer 74 % de la fraction comprise entre 250 et 1 250 µm et 73 % de la fraction supérieure à 1 250 µm.

Si les fractions inférieures à 250 µm des étapes 1 et 2 sont cumulées, le rendement de l'attrition sur la dépollution du sédiment brut peut être calculé. Le pourcentage massique total ainsi que le pourcentage massique de chaque élément sont représentés sur la figure 3 par deux histogrammes. Le premier correspond aux différents pourcentages après tamisage à 1 250 et 250 µm (étape 1), et le second aux différents pourcentages des fractions cumulées après attrition puis tamisage à 250 µm (étape 1 + étape 2).



**Figure 3 : Pourcentage massique et pourcentage des différents éléments sans et avec attrition.**

L'attrition a entraîné la désagrégation de 18 % de particules fines sur l'ensemble de l'échantillon avec 52 % d'éléments inférieurs à 250 µm après traitement contre 34 % initialement. Les particules fines générées (18 %) sont très chargées en polluants et renferment entre 30 % de nickel et 45 % de plomb et de cadmium. L'ensemble des particules fines (libres et agrégées) renferme entre 88 % et 96 % des éléments traces pour 52 % de la masse totale de l'échantillon.

Les pourcentages massiques de polluants résiduels présents dans les fractions grossières ont très fortement diminué après attrition avec des masses de métaux comprises entre 5 et 10 % pour la fraction intermédiaire et 1 et 5 % pour la fraction grossière.

L'attrition, technique minéralurgique, a permis d'éliminer l'encroûtement de surface des particules et de répondre à notre objectif, à savoir la localisation de la pollution. Ce sont les particules fines, qu'elles soient libres dans l'échantillon ou agglomérées autour de particules grenues, qui sont enrichies en polluants métalliques et organiques. Sous forme d'agglomérats, elles peuvent entraîner une contamination des particules grenues.

### Optimisation du traitement par attrition

Après avoir localisé la pollution organique et métallique au sein des différentes fractions granulométriques, des essais d'optimisation sont réalisés afin d'augmenter le pourcentage de particules valorisables. Les performances du traitement et par conséquent le pourcentage de particules fines produites sont généralement étudiés en faisant varier plusieurs paramètres (Bayley and Biggs, 2005) et notamment les seuils de coupure, la durée d'attrition, la siccité de la pulpe et la vitesse de rotation des pales. Bien que de nombreuses questions et relations entre les différents paramètres ne soient pas résolues, plusieurs travaux sur des sables contaminés ont été réalisés. Si Strazisar et Seslj (1999) observent un lien direct entre la durée d'attrition et la remobilisation des polluants avec les particules fines, Pearl et al. (1994) notent que l'extension de la durée du traitement a un effet limité sur la dépollution des sols. Feng et al. (2001) et Gül et al. (2005) ont quant à eux travaillé sur l'influence de la siccité de la pulpe à traiter. Ils remarquent que les meilleurs rendements sont obtenus pour des teneurs en matière

sèche comprises entre 65 et 75 %. De plus, l'efficacité de l'étape d'attrition diminue lorsque la siccité atteint 80 %. L'objectif est la conception d'une unité mobile. Les critères économiques sont donc également pris en compte lors de l'optimisation du traitement.

Dans ce papier, nous ne présenterons que les résultats obtenus lors de l'optimisation de la durée d'attrition. Les essais sont réalisés comme précédemment mais avec un mode opératoire (fig. 2) légèrement différent. Si la vitesse de rotation des pales reste égale à 2 125 tr/min, les seuils de coupure sont fixés à 2 mm et 80 µm alors que l'étape d'attrition n'est réalisée que sur la fraction intermédiaire. De plus, la teneur en matière sèche de la pulpe est de 70 % et correspond aux conditions optimales de traitement.

#### Etape 1 : Séparation granulométrique

Les caractéristiques chimiques des trois fractions granulométriques obtenues lors de l'étape 1 après tamisage à 2 mm et 80 µm sont représentées dans le tableau 3 et comparées aux valeurs cibles et d'intervention de la norme hollandaise.

	PM <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	%		mg.kg <sup>-1</sup>					
> 2 000 µm	13	7,1	0,5	45	154	20	165	853
80 < < 2 000 µm	60	9,2	0,8	52	197	22	230	1 036
< 80 µm	27	16,8	1,2	107	382	43	379	2 119
Norme hollandaise	Cible		0,8	100	36	35	85	140
	Intervention		12	380	190	210	530	720

1. PM : pourcentage massique  
2. MO : matière organique totale

**Tableau 3 : Pourcentage massique, concentrations en matière organique et en éléments traces dans les différentes fractions granulométriques.**

Les particules supérieures à 2 000 µm représentent 13 % de l'échantillon avec un pourcentage de matière organique de 7,1 %. Si les teneurs en cadmium, chrome et nickel sont faibles, celles en cuivre, plomb et zinc sont plus élevées avec notamment une concentration en zinc supérieure à la valeur d'intervention de la norme hollandaise. Cependant, les concentrations en matière organique et en éléments traces sont significativement inférieures à celles retrouvées dans les fractions fines. De plus, cette fraction peut être directement valorisable dans une filière présentant un cahier des charges peu contraignant.

Les particules fines inférieures à 80 µm représentent 27 % de l'échantillon. Cette fraction est très polluée avec 16,8 % de matière organique et des teneurs en éléments traces supérieures aux valeurs cibles pour le cadmium, le chrome, le plomb et le nickel et très largement supérieures aux valeurs d'intervention pour le cuivre et le zinc.

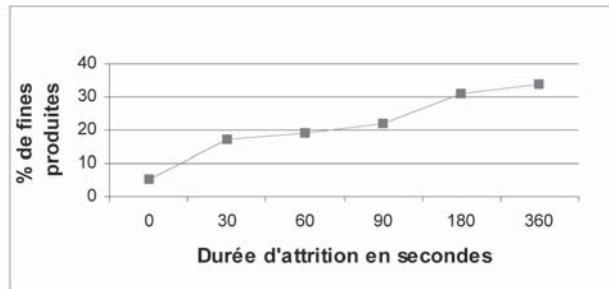
La fraction intermédiaire comprise entre 80 et 2 000 µm présente elle aussi une pollution importante avec 9,2 % de matière organique et des teneurs en cuivre et en zinc supérieures aux valeurs d'intervention de la norme hollandaise. Pour cette fraction, le traitement se poursuit par une étape d'attrition et de séparation granulométrique afin de définir les pourcentages de particules fines agglomérés.

## Etape 2 : Influence de la durée d'attrition

Cinq essais sont réalisés afin d'évaluer l'influence de la durée d'attrition sur la production de particules fines et sur la pollution résiduelle présente au sein des particules grenues. Les durées d'attrition sont de 30, 60, 90, 180 et 360 secondes.

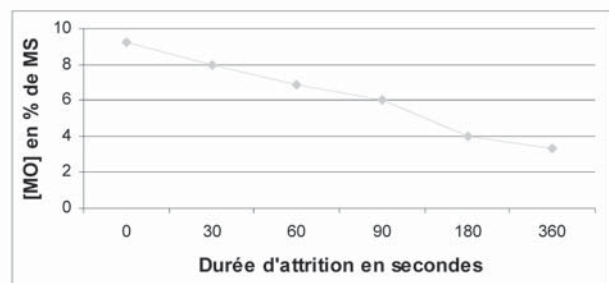
Le pourcentage de particules fines inférieures à  $80 \mu\text{m}$  issues de l'attrition en fonction de la durée du traitement est représenté sur la figure 4.

**Figure 4 : Pourcentage de fines formées inférieures à**



### 80 $\mu\text{m}$ en fonction de la durée d'attrition.

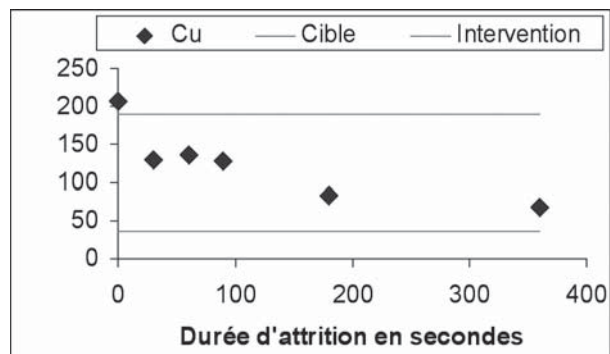
La fraction  $80 \mu\text{m}$ -2 mm présente environ 5 % de particules fines résiduelles après l'étape de tamisage. La production de fines après 30 secondes de traitement est de 17 %, puis elle augmente avec la durée d'attrition pour atteindre les valeurs de 31 % après 180 secondes et de 34 % après 360 secondes de traitement. En doublant la durée d'attrition de 180 secondes à 360 secondes, le pourcentage de fines augmente très peu avec 34 % contre 31 %. Les concentrations en polluants organiques et métalliques présentes dans les éléments grossiers ainsi que les critères économiques permettront de définir un compromis quant au choix de la durée optimale de traitement. Pour cela, les teneurs en matières organiques (fig. 5) et en éléments traces (fig. 6 et 7) sont déterminées sur la fraction comprise entre 80 et 2 000  $\mu\text{m}$  après les différentes durées d'attrition.



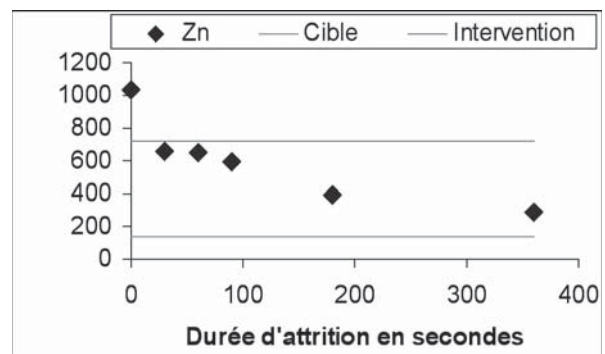
**Figure 5 : Evolution de la teneur en matière organique en fonction de la durée d'attrition.**

Le pourcentage de matière organique avant attrition de la fraction comprise entre  $80 \mu\text{m}$  et 2 mm est de 9,2 %. L'attrition permet une diminution de la teneur en matière organique à 8 % après 30 secondes de traitement et jusqu'à 4 % après 180 secondes puis 3,6 % après 360 secondes.

Les teneurs en cuivre et en zinc sont supérieures aux valeurs d'intervention avant traitement. L'évolution des teneurs en cuivre (fig. 6) et en zinc (fig. 7) permettront de déterminer la durée d'attrition pour obtenir un produit final relativement dépollué. Les teneurs en polluant sont comparées aux valeurs cibles et d'intervention de la norme hollandaise qui sont également représentées sur les deux figures.



**Figure 6 : Evolution de la concentration en cuivre en fonction de la durée d'attrition.**



**Figure 7 : Evolution de la concentration en zinc en fonction de la durée d'attrition.**

L'évolution des teneurs en cuivre et en plomb est similaire avec tout d'abord une diminution importante lors des 30 premières secondes de traitement, 130  $\text{mg.kg}^{-1}$  contre 197  $\text{mg.kg}^{-1}$  pour le cuivre et 659  $\text{mg.kg}^{-1}$  contre 2 119  $\text{mg.kg}^{-1}$  pour le zinc. La pente se stabilise entre 30 et 90 secondes de traitement puis augmente de nouveau entre 90 et 180 secondes avant de se stabiliser une nouvelle fois entre 180 et 360 secondes.

Les teneurs en cuivre et en zinc sont relativement proches des valeurs d'intervention jusqu'à 90 secondes de traitement,

avec pour le cuivre 128 mg.kg<sup>-1</sup> contre les 190 mg.kg<sup>-1</sup> de la norme et pour le zinc, 589 mg.kg<sup>-1</sup> contre les 720 mg.kg<sup>-1</sup> de la valeur d'intervention.

Ces teneurs diminuent fortement entre 90 et 180 secondes de traitement pour atteindre des teneurs de 83 mg.kg<sup>-1</sup> pour le cuivre et 396 mg.kg<sup>-1</sup> pour le zinc. Bien que toujours supérieures aux valeurs cibles de la norme hollandaise, la concentration en cuivre et en zinc est beaucoup plus faible. En doublant la durée de traitement (360 contre 180 secondes), le gain de dépollution n'est pas très important et les teneurs restent supérieures aux valeurs cibles. Le surcoût de traitement occasionné par une durée de traitement de 360 secondes ne semble pas justifié au vu des performances obtenues. Malgré un pourcentage de particules fines assez important après 180 secondes (31 %), cette durée de traitement est retenue car elle entraîne une dépollution élevée des particules grenues. Le rapport entre le pourcentage de particules fines générées et le degré de dépollution des éléments grossiers est intéressant après 180 secondes de traitement.

#### Bilan des traitements

Le pourcentage massique ainsi que les teneurs en matière organique et en éléments traces avant et après 180 secondes de traitement sont présentés dans le tableau 4.

	PM <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb <sup>3</sup>	Zn
	%		mg.kg <sup>-1</sup>					
80 << 2 000 µm avant attrition	100	11,6	0,8	52	197	22	230	1 036
80 << 2 000 µm après attrition	69	4,0	0,4	26	83	12	135 <sup>3</sup>	396
< 80 µm après attrition	31	18,5	1,3	121	391	49	442	2 369
Norme hollandaise	Cible		0,8	100	36	35	85	140
	Intervention		12	380	190	210	530	720

1. PM : pourcentage massique
2. MO : matière organique totale
3. La concentration en plomb a été calculée.

**Tableau 4 : Pourcentage massique, concentrations en matière organique et en éléments traces dans les différentes fractions granulométriques.**

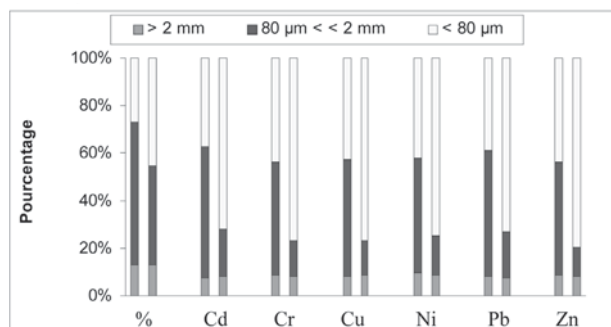
Après 180 secondes de traitement sur la fraction intermédiaire comprise entre 80 et 2 000 µm, 31 % de particules fines inférieures à 80 µm sont séparables par tri granulométrique. Cette fraction fine présente des teneurs très élevées en polluants avec 18,5 % de matière organique et des teneurs en éléments traces largement supérieures aux valeurs d'intervention de la norme hollandaise pour le cuivre (391 mg.kg<sup>-1</sup>) et le zinc (2 369 mg.kg<sup>-1</sup>).

La fraction supérieure à 80 µm a été largement dépolluée avec des pourcentages de dépollution de 69 % pour le cadmium, 79 % pour le cuivre et le chrome, 75 % pour le nickel et 83 % pour le zinc. Le pourcentage de matière organique a lui aussi fortement diminué en passant de 11,6 % à 4 %.

Si l'on exprime le pourcentage massique de chaque fraction après traitement par attrition et tamisage ainsi que la

répartition massique de chaque élément au sein des différentes fractions, nous connaissons la quantité de sédiment valorisable et la pollution qu'il renferme (fig. 8).

Comme pour la figure 3, deux histogrammes sont représentés pour chaque élément, le premier correspondant au pourcentage massique avant traitement, et le second après traitement.



**Figure 8 : Pourcentage massique et pourcentage des différents éléments sans et avec attrition.**

La fraction fine inférieure à 80 µm correspond à 45 % de l'échantillon total et renferme entre 72 % (cadmium) et 80 % (zinc) de la masse totale en éléments traces.

Avec un seuil de coupure de 80 µm et une durée d'attrition de 180 secondes, environ 55 % du sédiment initial est valorisable d'un point de vue environnemental. Des tests géotechniques sont à prévoir pour déterminer les caractéristiques du matériau et définir ainsi ses possibilités de valorisation.

### Conception d'une unité pilote

Le principe de traitement retenu pour la conception de l'unité pilote découle directement de l'étude de traitabilité réalisée précédemment. La conjugaison de séparations granulométriques et d'attrition a permis, à l'échelle du laboratoire, de concentrer la pollution métallique et organique au sein des éléments fins inférieurs à 80 µm et d'obtenir des rendements de fractions valorisables, particules supérieures à 80µm, pouvant atteindre 75 % de l'échantillon brut en fonction des sédiments étudiés.

Néanmoins, la réalisation de l'unité pilote ne peut pas être définie sur les seuls résultats obtenus en laboratoire. La problématique liée aux sédiments de l'assainissement pluvial ainsi que les contraintes d'échelle entre les traitements en laboratoire et pilotes seront des paramètres à prendre en compte pour concevoir judicieusement l'unité pilote.

De plus, l'unité de traitement doit présenter, dans le contexte actuel, des exigences économiques et environnementales compatibles afin d'être proposée comme une alternative viable aux gestionnaires de bassins et de balayures de voiries.

## Problématique, objectifs et contraintes

Les bassins implantés le long des routes et autoroutes se retrouvent distants les uns des autres et éloignés des grosses agglomérations. La mise en place d'une station fixe de traitement nécessite d'acheminer sur plusieurs kilomètres les résidus curés. Dans un souci d'exigences économiques et face à l'importance du coût de transport des déchets, nos recherches se sont orientées vers la conception d'une unité mobile ou semi-mobile afin de réduire les distances entre le déchet et son centre de traitement. Le souhait de traiter les résidus *in situ* a engendré différentes contraintes liées au contexte des bassins d'une part et à l'acheminement sur site des équipements d'autre part. Les bassins sont souvent isolés et ne sont pas alimentés en eau et en électricité. Ce manque de service ajoute une contrainte supplémentaire à l'unité pilote : l'autonomie. Si l'absence d'électricité peut être résolue par l'apport d'un groupe électrogène, l'absence d'eau nécessite quant à elle de prévoir une filière de traitement en continu des eaux de process afin de permettre un fonctionnement en circuit fermé. L'encombrement des équipements doit également être réduit afin de faciliter l'acheminement de l'unité de traitement vers les différents sites et de limiter ainsi les coûts de transport. De plus, l'unité doit être la plus simple possible afin de favoriser la mise en œuvre du traitement et de réduire les périodes de montage et démontage susceptibles d'augmenter le coût du traitement.

Par rapport au traitement en laboratoire, plusieurs contraintes pratiques devront être prises en compte pour assurer le bon déroulement du traitement des résidus : L'unité pilote est conçue pour fonctionner à des débits de 200 à 400 kilogrammes par heure et bien que manuelle, l'alimentation sera plus grossière et des encombrants (sacs plastiques, bouteilles, canettes...) pourront être acheminés dans l'unité de traitement et entraîner une dégradation des équipements. Pour s'affranchir de ces difficultés, une coupure granulométrique de quelques dizaines de millimètres sera nécessaire en amont de l'unité afin d'éliminer les macro-déchets indésirables.

Le traitement des sédiments est réalisé en discontinu (batch) au laboratoire alors qu'il sera effectué en continu à l'échelle pilote. Cette différence de fonctionnement entraîne une nouvelle contrainte, à savoir la gestion des flux de résidus en fonction des temps de séjour propres à chaque équipement. La principale difficulté est d'éviter les zones de « bourrage », susceptibles de nuire à la qualité du traitement.

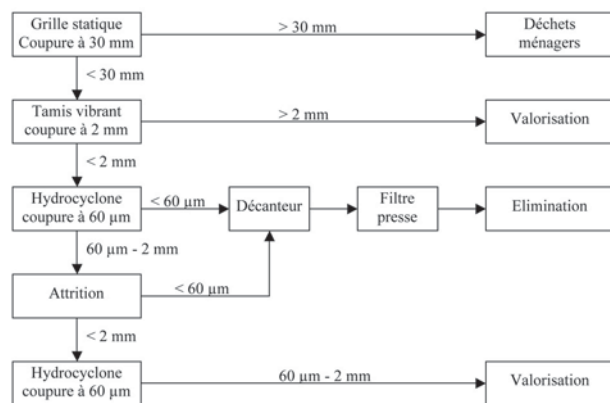
Contrairement aux essais en laboratoire consacrés au seul traitement des sédiments, l'unité pilote sera composée également d'une filière de traitement des eaux permettant de travailler en circuit fermé. Ce traitement est indispensable pour récupérer les éléments fins riches en polluants d'une part, et pour être autonome vis-à-vis des quantités d'eau d'autre part.

## Principe de traitement

Le principe de traitement de l'unité pilote mise en place au Laboratoire central des Ponts et Chaussées est présenté sur la figure 9.

Les sédiments, injectés dans l'unité pilote subissent une première coupure granulométrique à 30 mm. La grille statique, placée en amont de l'unité, a pour objectif d'isoler les macro-déchets et de protéger ainsi les équipements situés en aval. La fraction supérieure à 30 mm sera éliminée via la filière des déchets ménagers.

Les résidus inférieurs à 30 mm vont subir un traitement similaire à celui mis en place lors des essais de traitabilité en laboratoire. Les particules sont acheminées, par l'intermédiaire d'un convoyeur, au niveau d'un tamis vibrant de maillage 2 mm. Cette coupure joue un double rôle : elle isole d'une part la fraction 2 mm-30 mm potentiellement valorisable, et protège d'autre part l'hydrocylone situé en aval des particules grossières (2 mm-30 mm).



**Figure 9 : Schéma du principe de l'unité mobile et pourcentage des différentes fractions en condition de laboratoire sur le sédiment de Chevrière.**

La séparation granulométrique suivante est réalisée par hydrocyclonage. Cet équipement permet d'abaisser le seuil de coupure à 60 µm contre 80 µm par tamisage en laboratoire. L'objectif est de réduire ainsi le pourcentage de particules fines enrichies en polluants. Les particules inférieures à 60 µm contenues dans les eaux de surverse des hydrocyclones sont ensuite injectées dans la filière de traitement des eaux (décanteur et filtre presse).

La fraction 60 µm-2 mm est quant elle introduite en continu dans la machine d'attrition. Comme en laboratoire, les forces de frottement induites par ce traitement génèrent des particules fines qui seront également séparées par hydrocyclonage puis orientées vers le traitement des eaux. La fraction 60 µm-2 mm récupérée sera caractérisée en vue de définir les filières potentielles de valorisation.

L'ensemble de ces opérations est réalisé par voie humide avec des teneurs en eau qui fluctuent de 85 % pour les coupures par hydrocylone à 30 % pour l'étape d'attrition.

Les eaux de surverse du décanteur sont directement renvoyées au niveau des différents équipements afin de fonctionner en circuit fermé.

## Conclusion

Ce travail intervient dans le cadre d'une thèse réalisée au LCPC et met en relation très étroite la recherche théorique réalisée au laboratoire et la recherche appliquée avec une mise en situation de traitement industriel par l'intermédiaire d'une unité pilote.

Dans un premier temps, cette étude a permis de répondre à l'hypothèse posée, à savoir une accumulation de la pollution dans les particules fines libres ou agglomérées. Dans le cas d'agglomérat, l'attrition a été testée pour séparer la gangue composée de particules fines polluées et le grain « propre ». Cette technique minéralurgique, couplée à des séparations granulométriques, a montré un grand intérêt pour la dépollution des sédiments issus de l'assainissement pluvial.

Dans un second temps, notre étude s'est penchée sur la conception d'une unité pilote pour répondre à la problématique des sédiments de bassins et fossés. Les choix de mise en œuvre ont été guidés d'une part par des critères techniques et d'autre part par des critères économiques. Cinq sédiments de bassins et deux balayures de voiries vont être traités par l'unité pilote afin de déterminer les rendements de traitement et conclure sur la faisabilité de cette technique. De plus, les produits ainsi traités subiront une caractérisation géotechnique selon le guide des terrassements routiers afin de déterminer les filières potentielles de valorisation.

## Remerciements

Les auteurs remercient également l'Agence de l'eau Seine-Normandie, le SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes) et le RGCU (Réseau génie civil urbain) pour leurs soutiens financiers.

## Références bibliographiques

AFNOR NF EN 12879. Caractérisation des boues. Détermination de la perte au feu de la matière sèche.

AFNOR NF X 31-147. Sols, Sédiment. Mise en solution totale par attaque acide.

Bäckström M. (2001) – Particle trapping in grassed swales. *Proc. Int. Conf. NOVATECH 2001*, 1, 391-398, Lyon, France.

Baize, D. (2000) – Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français. *Le courrier de l'environnement*, 39.

Bayley, R.W. and Biggs, C.A. (2005) – Characterisation of an attrition scrubber for removal of high molecular weight contaminants in sand. *Chemical Engineering Journal*, 111, 71-79.

Colandini, V. (1997) – Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds. *Thèse de doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour*.

Deruelle, F. (2004) – Caractérisation, traitement et valorisation des sédiments issus de l'assainissement pluvial. *Rapport, Université des sciences et des technologies de Lille*.

Durand C. (2003) – Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial. Origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques. *Thèse de doctorat, Université de Poitiers*.

Durin B. (2006) – Transfert et transport colloïdal de polluants métalliques. *Thèse de doctorat, Université de Nantes*.

Färm C. (2001) – Accumulation of sediment and heavy metals in a storm water detention pond. *Proc. Int. Conf. NOVATECH 2001*, 1, 589-596, Lyon, France.

Feng, D., Lorenzen, L., Aldrich, C. and Maré, P.W. (2001) – Ex situ diesel contaminated soil washing with mechanical methods. *Minerals Engineering*, 14, 1093-1100.

Gül, A., Kayataş, Y. and Önal, G. (2005) – Beneficiation of colemanite tailings by attrition and flotation. *Minerals Engineering*, 19, 368-369.

IFEN (2001) – Communiqué de presse du 15/03/01.

Lee, P.K., Touray, J. C., Baillif, P. et Ildefonse, J. P. (1997) – Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France. *The Science of the Total Environment* 201, 1-15.

Pearl, M., Wood, P., Barber, S.P., Lejeune, G. and Martin, I. (1994) – Using separation processes from the mineral processing industry as an enabling technology for soil treatment laboratory and pilot plant study. *AEA Technology, National Environmental Technology Centre, Culham, Oxfordshire, OX14 3DB, UK*.

Petterson, T. (1999) – Pollutant removal efficiency in two storm water ponds in Sweden. *Proc. 8th Int. Conf. Urban Storm Drainage*, 2, 866-873, Sydney, Australia.

Ruban, V., Clozel, B., Conil, P. et Durand, C. (2003) – Origine, caractérisation et gestion des boues de l'assainissement pluvial routier : Point sur les connaissances actuelles et perspectives. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 246-247, 117-126.

Stražisar, J. and Seselj, A. (1999) – Attrition as a process of comminution and separation. *Powder technology*, 105, 205-209.

Zanders, J. M. (2005) – Road sediment : characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road run-off. *The Science of the Total Environment* 339, 4.