

François PÉTAVY, Véronique RUBAN*,
Jean-Claude AURIOL
*Laboratoire central des Ponts et Chaussées,
Bouguenais, France.*

Pierre CONIL
*BRGM, SGR/PdL,
Nantes, France*

Jean-Yves VIAU
*Saint-Dizier Environnement,
Gondecourt, France*

Pilote de traitement des sédiments de l'assainissement pluvial

■ 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 en éléments traces, matière organique et hydrocarbures totaux. Leur gestion constitue donc un réel enjeu économique et environnemental. L'objectif de cette étude est de proposer un traitement de ces matériaux afin de permettre leurs réutilisations en technique routière. Pour cela, une unité pilote basée sur une technique minéralurgique d'attrition et sur des séparations granulométriques a été conçue au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Le principe est d'isoler les particules fines ($< 60 \mu\text{m}$) libres ou agglomérées, porteuses de polluants organiques ou métalliques et permettre ainsi la dépollution des fractions $60 \mu\text{m}$ -2 mm et 2-30 mm. Les caractéristiques chimiques et géotechniques des fractions grossières issues du traitement sont compatibles avec une ou plusieurs filières de valorisations : remblai routier, couches de forme, remblai de tranchée ou remblai de surface. 45 à 87 % des sédiments bruts étudiés (5 sédiments de bassins, 2 balayures de voirie) sont ainsi réutilisables. Outre les critères environnementaux et géotechniques, la faisabilité de cette étude respecte le contexte économique actuel.

Pilot plant for treating stormwater drainage sediment

■ ABSTRACT

The management of stormwater sediments (including sediments from road and urban basins, and street sweeping sediments) is of major concern to both urban and road managers. These residues actually give rise to significant volumes and are often polluted by trace elements, organic matter and total hydrocarbons. Their handling thus becomes a critical economic and environmental consideration. The objective of the present study is to propose a treatment protocol for these materials to allow for their reuse in road building applications. To achieve this objective, a pilot plant has been designed around both a mineral attrition technique and particle fraction separations at the LCPC Laboratory. The operating principle of this unit is to isolate the fines ($< 60 \mu\text{m}$), either unbound or clustered, carrying organic or metal pollutants, thereby making it possible to purify the $60 \mu\text{m}$ -2 mm and 2-30 mm fractions. The chemical and geotechnical characteristics of coarse particle fractions resulting from the treatment procedure are suitable for one or more recycling applications: road embankment, road foundation layers, trench filling, or surface backfill. In all, between 45% and 87% of the untreated sediments under study (5 basin sediments, 2 street sweepings sediments) were found to be reusable. Beyond the environmental and geotechnical criteria introduced, the feasibility of this study is compatible with the current economic context.

* AUTEUR À CONTACTER :

Véronique RUBAN
veronique.ruban@lcpc.fr

INTRODUCTION

Le développement croissant des villes et des réseaux routiers et autoroutiers au cours des dernières décennies a généré une quantité très importante de polluants qui se retrouve en partie dans les sédiments de bassins d'infiltration et de retenue, et dans les balayures de voiries.

La maîtrise du ruissellement, du fait de l'augmentation de l'imperméabilisation, est devenue l'une des priorités de l'aménagement urbain et routier. En effet, les eaux pluviales peuvent d'une part engendrer des volumes importants susceptibles de provoquer des inondations, et d'autre part véhiculer des quantités élevées de polluants organiques (hydrocarbures, pesticides) et inorganiques (métaux lourds) [1]. Pour gérer les effluents provenant du ruissellement sur les surfaces aménagées, des bassins de retenue des eaux pluviales sont fréquemment mis en place depuis plusieurs décennies [2-3]. En sites routier et autoroutier, ils offrent une gestion quantitative et qualitative des eaux de ruissellement alors qu'en site urbain, ils complètent le système d'assainissement traditionnel et assurent une protection des agglomérations contre les inondations. Ces bassins 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'accumulent par décantation au fond des bassins doivent être curés pour maintenir ou restaurer le bon fonctionnement 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 [4-7] constituent une base de données intéressante sur les degrés de pollution liés à ces matériaux. Bien qu'une estimation des volumes soit difficile à obtenir, les quantités déposées ou curées apparaissent très importantes avec près de 5 millions de tonnes de matière sèche à l'échelle du territoire français [8].

Par ailleurs, la croissance des villes et de leurs agglomérations a engendré une augmentation importante des volumes de produits de balayages issus du nettoyage des chaussées. Ces produits présentent, de par leurs origines, de fortes similitudes avec les sédiments issus des bassins routiers, et par conséquent de fortes teneurs en polluants organiques et inorganiques. La quantité de ces résidus est également importante et a été estimée en France et pour une année courante à 1 million de tonnes de matière sèche [9]. Les communautés urbaines de Bordeaux et Nantes collectent respectivement chaque année 18 000 [10] et 13 000 [11] tonnes de résidus issus du balayage de leurs voiries.

Les évolutions de la réglementation dans le domaine de l'eau et des déchets ont poussé les collectivités locales et les gestionnaires de bassins à revoir leurs politiques environnementales face aux déchets issus de l'assainissement pluvial. Compte tenu des volumes importants de matériaux, l'enjeu environnemental et économique est important. Il convient donc de revoir les modes d'élimination jusqu'ici largement utilisés (mise en décharge, épandage) et de disposer de filières adaptées à la gestion des sous produits de l'assainissement pluvial. De plus, les solutions apportées devront respecter les contraintes économiques du moment. L'objectif de cette étude est de concevoir au Laboratoire central des Ponts et Chaussées, une unité pilote de traitement des sédiments de l'assainissement pluvial afin de dépolluer ces résidus et permettre ainsi leur valorisation en technique routière (remblais, couches de forme).

MATERIELS ET METHODES

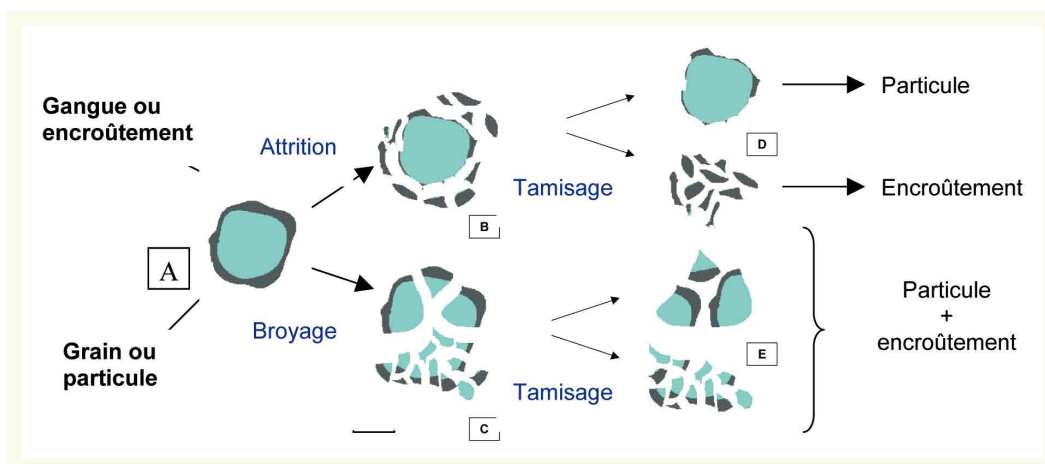
■ Principe de traitement

Le principe de ce traitement est de localiser les porteurs de polluants organiques et métalliques afin de les isoler et permettre ainsi la valorisation des fractions dépolluées. Plusieurs études ont été menées sur la localisation des polluants au sein des sédiments et différentes conclusions en ont été dressées. Lee [12] et Zanders [13] notent une accumulation importante des polluants dans les particules fines alors que Durand [7], Durin [14] et Clozel [15] nuancent les affirmations précédentes en montrant une certaine homogénéité dans la répartition des polluants en fonction de la distribution granulométrique. Des essais en laboratoire ont donc été menés afin de déterminer la faisabilité d'un traitement physique comme technique de dépollution des sédiments de l'assainissement pluvial [16]. Une caractérisation préliminaire a montré une association importante entre les polluants et les particules fines ($< 80 \mu\text{m}$). Les fractions grossières ($80 \mu\text{m}$ -2 mm) présentent

néanmoins des concentrations en polluants élevées qui ne permettent pas une réutilisation sans un traitement complémentaire. Pour cela, une technique minéralurgique, l'attrition (**figure 1**), a donc été utilisée afin de déterminer la présence éventuelle d'agrégats de particules fines polluées. La **figure 1** schématise l'effet de l'attrition sur les particules (A-B-D) et compare cette technologie à un broyage classique (A-C-E), inadapté à la séparation des encroûtements présents autour des particules.

figure 1

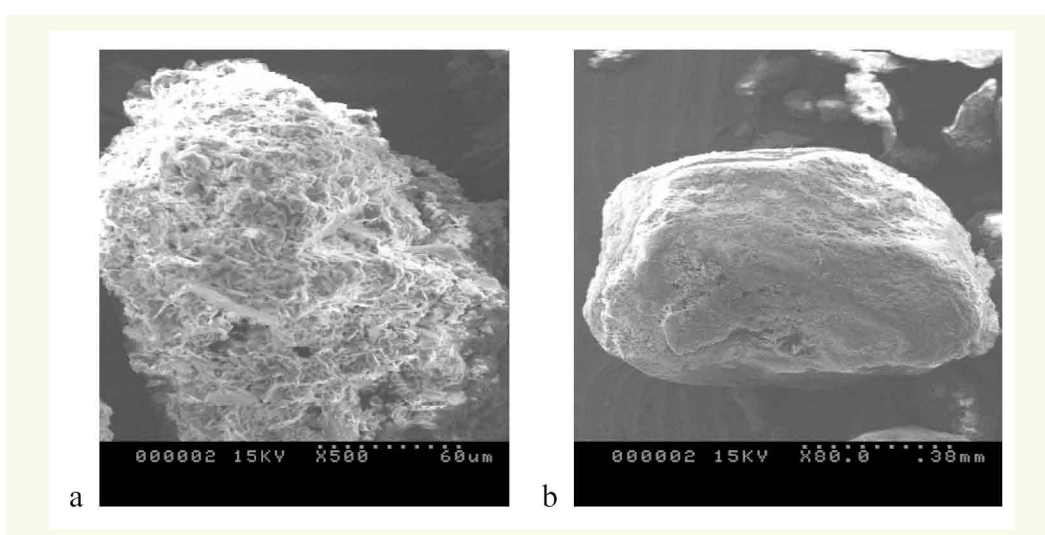
Schéma de principe de l'attrition et comparaison aux effets d'un broyage.



Les forces de frottement générées lors de l'attrition entraînent une production de particules fines ($< 80 \mu\text{m}$) très largement polluées. La fraction grossière présente alors des teneurs en polluants organiques et métalliques compatibles avec les exigences fixées pour une réutilisation en technique routière. En complément des analyses chimiques, l'effet de l'attrition a également été observé par microscopie électronique à balayage (MEB) (**figure 2**).

figure 2

a. Photographie au MEB d'une particule de la fraction $80 \mu\text{m}$ -2 mm avant attrition. b. Photographie au MEB d'une particule de la fraction $80 \mu\text{m}$ -2 mm après attrition.



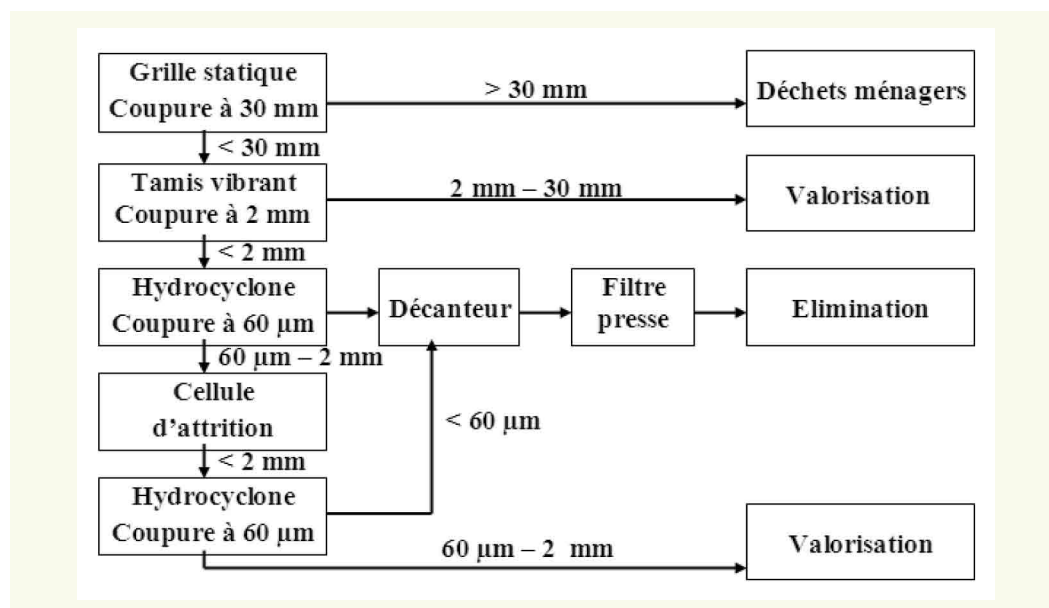
Les analyses au MEB ont montré l'effet des frottements générés par attrition sur les particules de la fraction traitée. Sur le cliché de la **figure 2a**, la particule est entourée d'une gangue volumineuse et cotonneuse correspondant aux agrégats de particules fines riches en matière organique et en éléments métalliques. Après attrition, le cliché présenté sur la **figure 2b** montre une particule dépourvue de la gangue organique et traduit parfaitement l'effet de l'attrition sur les grains constituant les sédiments de l'assainissement pluvial.

Les séparations granulométriques couplées à l'étape d'attrition permettent d'atteindre, en laboratoire, des rendements de dépollution élevés et des pourcentages de sédiments potentiellement valorisables compris entre 45 et 75 %.

■ Unité pilote de traitement

Le principe de l'unité, nommée ATTRISED, est décrit sur la [figure 3](#).

figure 3
Principe de l'unité de traitement ATTRISED.



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 sont acheminés, 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 2-30 mm et protège d'autre part l'hydrocyclone situé en aval des particules grossières (2-30 mm).

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 à 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 hydrocyclone 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.

■ Les sédiments étudiés

Sept sédiments issus de bassins d'infiltration et de retenue routiers et urbains ou de balayures de voiries ont été étudiés. Les sédiments de bassin sont prélevés à l'aide d'une pelle mécanique et sur une hauteur de 15 cm alors les balayures de voiries sont récupérées par l'intermédiaire de balayeuses aspiratrices utilisées par les communautés urbaines. Trois exemples différents de sédiments sont traités dans cet article : des sédiments provenant du bassin routier de Cheviré, du bassin urbain AhAh et des balayures de voiries de la ville de Lille.

Le bassin de Cheviré est localisé au sud-ouest de Nantes. Sa surface est de 780 m² 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. Sa longueur est de 1562 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 m². Le trafic supporté par le pont est d'environ 80 000 véhicules par jour.

Le bassin AhAh est situé dans la commune de Crosne (région parisienne) et récupère les eaux pluviales de deux rues principales traversant une zone industrielle. Plusieurs entreprises sont susceptibles de par leurs activités : traitement de surface, imprimerie, garage, d'entraîner une pollution organique et métallique des eaux pluviales récupérées dans le bassin.

Les balayures de voiries de Lille sont prélevées tous les jours dans l'hypercentre de la ville. L'échantillon récupéré fait suite à une période de temps sec de plusieurs jours.

■ Analyses chimiques

Les teneurs en matière organique, hydrocarbures totaux, HAP et 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 [17]. Les hydrocarbures totaux sont déterminés selon la norme X31-410 [18] avec le fréon comme solvant d'extraction. L'analyse du percolat est réalisée par spectrométrie infrarouge. Les teneurs en HAP sont déterminées selon la norme XP X33-012 [19]. Ils sont extraits par un solvant hexane/acétone (v/v), séparés sur colonne chromatographique avant d'être détectés par fluorométrie. 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 [20], 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 ICPou SAA suivant les teneurs et les limites de quantifications.

■ Caractérisation géotechnique

Les caractérisations géotechniques sont réalisées afin de déterminer, selon le guide de réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) [21], les différentes classes d'appartenance des résidus traités. Les paramètres retenus dans cette étude pour la classification sont la teneur en matière organique, la granulométrie, l'argilosité et l'état hydrique des matériaux.

La granulométrie des échantillons est déterminée par tamisage pour les particules de taille supérieure à 500 µm, et par granulométrie à diffraction laser pour les particules de taille inférieure à 500 µm (Malvern Master Sizer MS 1005). L'argilosité du matériau est définie par la valeur au bleu de méthylène (VBS). L'essai à la tâche notée V_{bs} (NF P 94 068) [22] consiste à injecter dans une solution contenant le sol une quantité croissante de bleu de méthylène, et à déterminer la quantité de bleu permettant de saturer le sol. Pour caractériser l'état hydrique d'un sol, la teneur en eau naturelle (W_n) est comparée à l'optimum Proctor normal (W_{OPN}). Dans le cadre de cette étude, le compactage dynamique a été effectué selon le principe de l'essai Proctor normal (NF P 94-093) [23].

La [figure 4](#) présente le tableau synoptique de classification des matériaux [21]. En fonction des caractéristiques des sédiments étudiés, leur classe d'appartenance pourra être déterminée et utilisée pour définir les filières potentielles de valorisation.

RÉSULTATS

■ Caractérisations chimiques et pourcentages massiques des différentes fractions

Les caractéristiques chimiques des sédiments bruts et des différentes fractions ainsi que les pourcentages massiques sont répertoriés dans le [tableau 1](#).

figure 4

Tableau synoptique de classification géotechnique des sédiments.

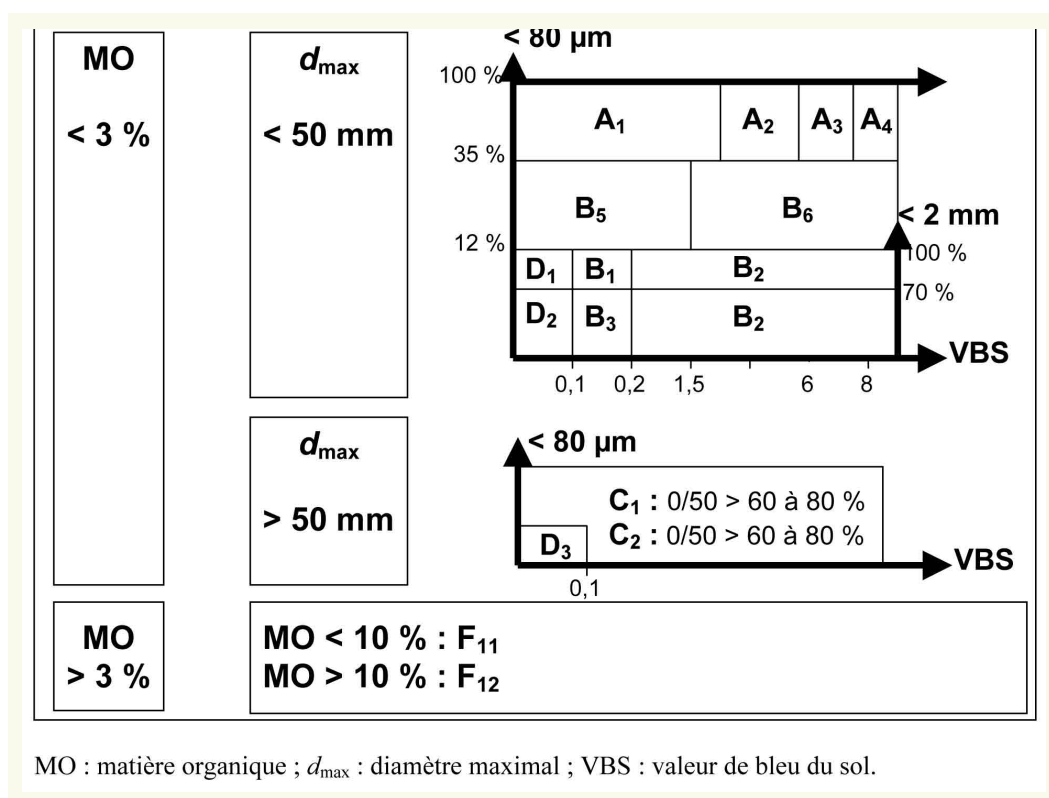


tableau 1

Pourcentage massique et caractérisation chimique des sédiments bruts et des fractions granulométriques issues de l'unité pilote.

		PM ¹	MO ²	HcT ³	Phe ⁴	Cr	Cu	Pb	Zn
		%	%	mg·kg ⁻¹	µg·kg ⁻¹	mg·kg ⁻¹			
Cheviré	Sédiment brut	-	15,6	3540	388	69	306	138	1180
	> 30 mm	4	-	-	-	-	-	-	-
	2-30 mm	8	7,5	383	185	32	125	83	650
	60 µm-2 mm	50	2,5	108	20	27	21	60	188
	< 60 µm	38	25,2	6431	691	114	496	268	2275
AhAh	Sédiment brut	-	5,2	2533	268	29	72	69	268
	> 30 mm	1	-	-	-	-	-	-	-
	2-30 mm	13	3,8	/	/	42	38	37	134
	60 µm-2 mm	74	2,0	1344	168	34	50	48	78
	< 60 µm	11	16,8	2805	582	123	303	348	1152
Lille	Sédiment brut	-	5,9	823	727	202	97	106	356
	> 30 mm	2	-	-	-	-	-	-	-
	2-30 mm	32	2,6	/	/	64	16	12	58
	60 µm-2 mm	44	2,8	308	323	76	80	49	206
	< 60 µm	22	16,5	1318	964	118	222	269	871

¹ pourcentage massique ; ² matière organique ; ³ hydrocarbures totaux ; ⁴ phénanthrène

Le sédiment brut de Cheviré présente des teneurs très élevées en polluants organiques avec 15,6 % de matière organique, 3540 mg·kg⁻¹ d'hydrocarbures totaux et 388 µg·kg⁻¹ de phénanthrène. Les quantités de cuivre et de zinc sont également très élevées avec respectivement 306 et 1180 mg·kg⁻¹. Bien que les sédiments de AhAh et de Lille présentent des teneurs en polluants plus faibles que celles rencontrées dans les résidus de Cheviré, un traitement est néanmoins indispensable pour une réutilisation de ce résidu en technique routière car certains composés sont présents en forte concen-

trations. A titre d'exemple on peut citer les concentrations en hydrocarbures totaux ($2533 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) du bassin AhAh et les concentrations en phénanthrène ($727 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) des balayures de Lille.

La fraction supérieure à 30 mm constituée de canettes, bouteilles, cailloux et autres débris, représente 1 à 4 % de la masse de l'échantillon brut en fonction des sites étudiés. Elle est éliminée avec les déchets ménagers.

Les produits de balayage étant généralement plus grossiers que les sédiments de bassin [7], le pourcentage massique de la fraction 2-30 mm varie de 8 % (Cheviré) à 32 % (Lille). Les teneurs en polluants de cette fraction sont environ 2 fois plus faibles que dans l'échantillon brut pour la majorité des produits caractérisés et atteignent même pour certains composés des concentrations 9 à 10 fois plus faibles.

Les fractions $60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mm représentent 44 à 74 % de l'échantillon brut et ont des teneurs similaires à celles rencontrées dans les sols ordinaires. Les rendements de dépollution de cette fraction traduisent une efficacité élevée de la méthode de traitement et laisse présager des filières de valorisation intéressantes.

Les fractions inférieures à $60 \text{ }\mu\text{m}$ représentent 11 à 38 % des sédiments bruts et renferment une majorité des polluants initialement présents dans les sédiments.

■ Efficacité de l'étape d'attrition

Des échantillons des fractions $60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mm avant attrition ont également été analysés afin de confirmer l'efficacité de l'étape d'attrition observée en laboratoire [24]. Les figures 5 et 6 présentent les concentrations en polluants organiques (matière organique, hydrocarbures totaux, HAP) et métalliques (cuivre et zinc) au sein des fractions $60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mm avant attrition ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmB) et après attrition ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmA) des sédiments de Cheviré et de Lille.

figure 5

Comparaison avant ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmB) et après ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmA) attrition des teneurs en polluants au sein des fractions $60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mm des sédiments de Cheviré.

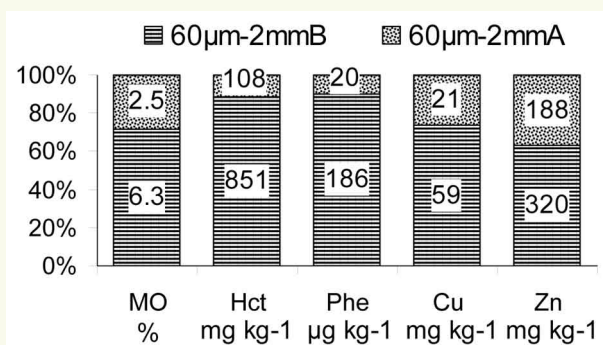
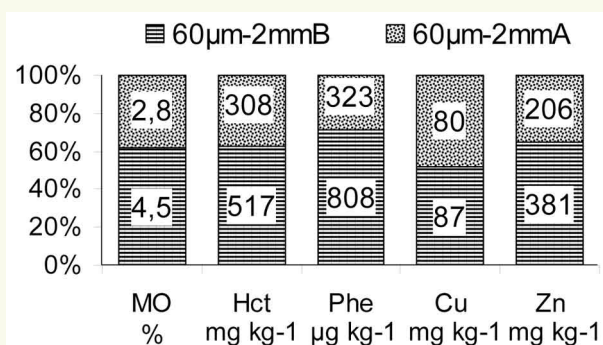


figure 6

Comparaison avant ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmB) et après ($60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mmA) attrition des teneurs en polluants au sein des fractions $60 \text{ }\mu\text{m}$ -2 mm des sédiments de Lille.



Dans cette étude, la différence entre les fractions 60 µm-2 mm avant (60 µm-2 mmB) et après attrition (60 µm-2 mmA) sont particulièrement remarquable. Pour les sédiments de Cheviré (figure 5), le pourcentage de matière organique diminue de 6,3 à 2,5 %, les concentrations en hydrocarbures totaux et en phénanthrène sont de 108 mg·kg⁻¹ et 20 µg·kg⁻¹ contre respectivement 851 mg·kg⁻¹ et 186 µg·kg⁻¹ avant attrition. Les concentrations en éléments traces indiquent également l'effet important de l'attrition sur la dépollution des sédiments. Pour les sédiments de Lille (figure 6), l'effet de l'attrition est moins important que pour les sédiments de Cheviré. En effet, pour les sédiments de Lille, les pourcentages de réduction de la pollution s'étendent de 10 % pour le cuivre à 60 % pour le phénanthrène tandis que ce pourcentage varie de 40 % pour le zinc à 90 % pour les hydrocarbures et le phénanthrène dans le cas des sédiments de Cheviré. Bien que l'étape d'attrition permette une réduction significative des teneurs en polluants, son efficacité dépend essentiellement de la quantité de particules fines agglomérées au sein de la fraction 60 µm-2 mm.

■ Caractérisations géotechniques

Une caractérisation géotechnique (tableau 2) est réalisée sur les deux fractions potentiellement valorisables (2-30 mm et 60 µm-2 mm) suivant le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme [21]. Le tableau synoptique de classification des sols (figure 4) permet d'attribuer à chaque fraction traitée une classe d'appartenance et de définir les filières de valorisation envisageables.

tableau 2
Caractéristiques
géotechniques des deux
fractions potentiellement
valorisables.

		MO	d_{\max}^1	< 2 mm ²	< 80 µm ³	VBS ⁴	pd OPN ⁵
		%	µm	%	%	g 100 g ⁻¹	t m ⁻³
Cheviré	2-30 mm	7,5	< 50 mm	-	-	-	-
	60 µm-2 mm	2,5	< 50 mm	89	2	0,25	1,64
AhAh	2-30 mm	3,8	< 50 mm	-	-	-	-
	60 µm-2 mm	2,0	< 50 mm	93	2	0,66	1,70
Lille	2-30 mm	2,6	< 50 mm	5	1	< 0,1	/
	60 µm-2 mm	2,8	< 50 mm	100	6	0,67	1,76

¹ diamètre de l'élément le plus grossier ; ² % de passant à 2 mm ; ³ % de passant à 80 µm ;

⁴ valeur au bleu de méthylène ; ⁵ masse volumique sèche apparente à l'optimum Proctor.

Le premier critère de sélection concerne la teneur en matière organique. Les fractions présentant un pourcentage de matière organique supérieur à 3 % appartiennent à la classe F identifiée comme sols organiques et sous produits industriels. Avec des teneurs en matière organique de 7,5 et 3,8 %, les fractions 2-30 mm des sédiments de Cheviré et AhAh sont considérés comme des produits faiblement organiques et appartiennent à la classe F_{II} (MO < 10 %).

Pour les résidus présentant une teneur en matière organique inférieure à 3 %, la classification se poursuit avec trois critères granulométriques (diamètre maximal de l'élément le plus grossier et les pourcentages de passant à 2 mm et à 80 µm) et un critère d'argilosité (valeur au bleu de méthylène). Avec un d_{\max} inférieur à 50 mm, un pourcentage de passant à 2 mm supérieur à 70 %, un pourcentage de particules fines (< 80 µm) inférieur à 12 % et une valeur au bleu de méthylène supérieure à 0,2 g pour 100 g de sol, les fractions 60 µm-2 mm des trois sédiments étudiés appartiennent à la classe B₂, classe regroupant les sables peu argileux.

Avec d'une part des pourcentages de passant à 2 mm et 80 µm de 5 et 1 % et d'autre part une très faible argilosité (VBS < 0,1) la fraction 2-30 mm des balayures de Lille appartient à la classe D₂, classe des graves alluvionnaires propres.

■ Filières de valorisation et conditions d'utilisation

› Classe B₂

Les résidus appartenant à la classe B₂ sont susceptibles d'être valorisés en remblais routier, de tranchée, ou de surface mais également en couche de forme. La plasticité de leurs particules fines rend ces sols sensibles à l'eau et par conséquent leur temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique relativement court. L'unité pilote mise en place permet de moduler en fonction du réglage des tamis vibrants, la teneur en eau du produit de sortie. L'état hydrique requit pour une réutilisation en technique routière pourra donc être obtenu. Si ces matériaux peuvent être, sous certaines conditions, directement valorisables en remblais, leurs utilisations comme couches de forme nécessite un traitement préalable par un liant hydraulique et requière une protection de surface par un enduit de cure gravillonné.

› Classe D₂

Ces sols constituent les meilleurs matériaux de construction des remblais (routier et tranchée) et sont très largement réutilisables sans condition particulière. Ces sols sont également utilisables en couches de forme dans leur état naturel lorsque la résistance des granulats est suffisamment élevée, ou traités avec un liant hydraulique si la friabilité est élevée. La caractérisation géotechnique doit donc se poursuivre par une mesure de la résistance mécanique des granulats (test de Los Angeles ou de micro Deval) pour déterminer la nécessité ou non de traiter ces résidus pour pouvoir les réutiliser en couche de forme.

› Classe F₁₁

Lorsque les résidus ne peuvent être acceptés en remblai routier, en couches de forme ou en remblai de tranchées, filières proposant des valorisations très intéressantes, ils sont orientés vers une réutilisation comme remblais de surface. Les matériaux de classes F, de par leur teneur en matière organique supérieure à 3 % appartiennent à cette catégorie de résidus dont seul leur emploi en remblai de surface est autorisé avec comme usage privilégié les couvertures de surface devant être engazonnées.

■ Approche économique d'une unité mobile de traitement

› Coût de fabrication

En collaboration avec deux industriels, Saint-Dizier Environnement et SOTRES, une unité mobile de traitement des sédiments à échelle industrielle est en cours de conception. La différence principale entre les unités pilote et industrielle concerne le débit d'alimentation qui va directement conditionner le choix et le mode de fonctionnement des différents équipements. Le débit d'alimentation en sédiments prévu pour l'unité mobile est de 2 à 3 tonnes par heure ce qui représente un débit 10 fois plus élevé que pour l'unité pilote installée lors de nos essais. La conséquence directe est l'augmentation du débit des eaux de process qui sera compris entre 20 et 30 m³·h⁻¹ en fonction de la recirculation. Le dimensionnement des équipements pour le traitement des eaux, avec notamment le décanteur lamellaire, devra être optimisé afin de réduire l'encombrement et permettre ainsi l'installation de l'unité mobile sur une remorque.

Face à l'intérêt manifeste de plusieurs grands groupes, les sociétés SOTRES et Saint Dizier Environnement se placent comme des acteurs potentiels dans l'industrialisation du procédé mis en place lors de nos travaux. Une première estimation du coût de fabrication d'une unité mobile de traitement montée sur une remorque a été établie ([tableau 3](#)).

L'évaluation économique d'une unité mobile de traitement s'élève donc à 333 000 €. Ce coût global comprend d'une part le traitement spécifique des sédiments qui équivaut à une dépense de 137 000 € et d'autre part le traitement des eaux qui est de 116 000 €. Les dépenses liées à la remorque, au montage des équipements sur celle-ci, à la tuyauterie et à l'armoire électrique sont également intégrées dans le coût global de l'unité mobile et représentent plus de 80 000 €.

tableau 3
Estimation économique
d'une unité mobile de
traitement.

Nature du traitement	Equipements	Montant
Criblage primaire 1	Trémie d'alimentation Essoreur-Cribleur Cuve sous Cribleur Passerelle rabattable Tapis refus crible Châssis Tapis	42 700 €
Cyclonage / Essorage primaire 2	Pompe M100 + Châssis pompe Moteur 7,5 kW Flexible DN 80 / Bride en aluminium Cyclone caisson 300 Essoreur Châssis Essoreur Support Châssis Passerelle Goulotte filtrat	32 700 €
Attrition 3	Cellule d'attrition	15 800 €
Cyclonage / Essorage secondaire 4	Cuve sous Essoreur Pompe M100 + Châssis pompe Moteur 7,5 kW Cyclone caisson 300 Châssis support Essoreur Passerelle rabattable Essoreur Tapis Châssis support Tapis	45 800 €
Pompage des eaux 5	Cuve reprise des eaux sales Pompe de reprise des eaux sales Cuve Eau / Filtrat/ Boue à presser Pompe Eau clarifiée Pompe filtrat	31 400 €
Traitement des eaux 6	Pompe à polymère Décanteur lamellaire Agitateurs Pompes d'élimination des boues	50 000 €
Pressage des boues 7	Pompe gavage piston membrane Filtre presse Compresseur Tapis sous Filtre	33 900 €
Tuyauterie	Divers tuyauterie	5 000 €
Remorque et montage	Remorque Montage sur remorque	50 000 € 20 700 €
Armoire électrique et câblage	Electricité et câblage	5 000 €
UNITÉ MOBILE DE TRAITEMENT DES SEDIMENTS		333 000 €

De plus, des croquis de l'unité mobile (**figures 7 et 8**) sont actuellement en cours d'élaboration afin de prévoir l'agencement des différents équipements.

La **figure 6** représente l'ensemble de l'unité mobile de traitement montée sur une remorque et destinée à se déplacer de bassin en bassin afin de traiter les sédiments curés. L'alimentation en sédiments sera réalisée par l'intermédiaire des équipements utilisés pour le curage des bassins et fossés (tractopelle...).

➤ Coût de traitement

L'objectif final pour les sociétés désireuses d'investir dans ce projet est de postuler à divers appels d'offres concernant la gestion des sédiments de l'assainissement pluvial. Les sociétés devront donc être en mesure de proposer un coût de traitement à la tonne pour l'ensemble de leurs prestations. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte afin d'établir un coût de traitement ; ils dépendent d'une part du service proposé aux clients (location ou prestation) et d'autre part des conditions *in situ* et notamment des caractéristiques (volumes, granulométrie) des sédiments rencontrés.

figure 7
Unité mobile vue
de dessus.

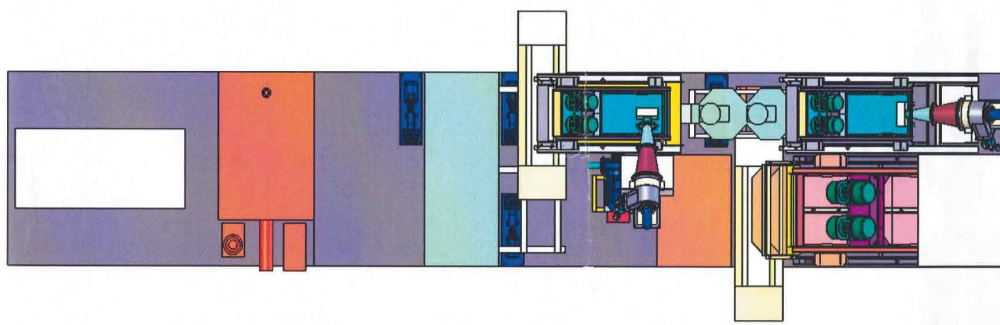
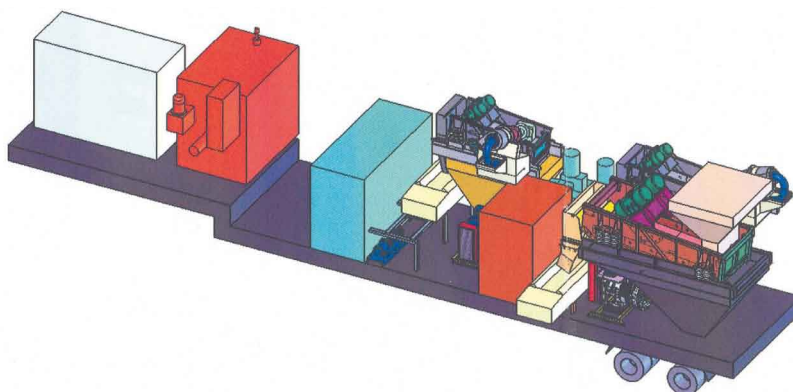


figure 8
Unité mobile sur
remorque.



A ce stade d'avancement du projet, il est encore difficile de prétendre annoncer un coût de traitement à la tonne pour les résidus de l'assainissement pluvial. Aux différents paramètres à prendre en compte viennent s'ajouter la politique des sociétés propriétaires de l'unité mobile et les évolutions de la réglementation. Cependant, compte tenu des contraintes réglementaires de plus en plus fortes dans le domaine des déchets, le traitement par l'unité pilote apparaît très prometteur et compétitif vis à vis des solutions actuelles.

CONCLUSIONS

La conservation des ressources nobles couplée à la forte demande de matériaux en technique routière nécessite la réutilisation de sous produits. L'étude proposée présente une solution innovante pour permettre la valorisation des sédiments de l'assainissement pluvial en remblais routier, de tranchées ou de surface et en couches de forme. A travers la conception d'une unité pilote basée sur des séparations granulométriques et sur une technique d'attrition, le traitement mis en place permet d'isoler les polluants organiques et métalliques au sein des particules fines ($< 60 \mu\text{m}$) et de valoriser les fractions grossières dépolluées. Parmi les 5 sédiments de bassins et les 2 balayures de voiries étudiés, les rendements sont très encourageants avec 45 à 87 % des résidus bruts réutilisables. Bien que leurs caractéristiques chimiques et géotechniques soient satisfaisantes pour prétendre à une valorisation en technique routière, les possibilités de valorisation (remblais routier, de tranchée, de surface et couches de forme) sont plus ou moins intéressantes en fonction de la qualité du produit final. ATTRISED apparaît donc comme une solution innovante pour le traitement des sédiments de l'assainissement pluvial et pourra également être adapté à d'autres sédiments issus du curage de réseaux ou du dragage de canaux, fleuves et rivières. De plus, ces résultats pourront servir de base à l'élaboration d'un guide à l'usage des gestionnaires de bassins, de manière à leur apporter des méthodes et des solutions efficaces de gestion des produits de l'assainissement pluvial.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Agence de l'Eau Seine Normandie, le SETRA et le RGPU pour leur soutien financier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **GROMAIRE M.C.**, La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau unitaire : origines et caractéristiques. Thèse de doctorat ENPC, Paris, **1998**, 507 pages.
- 2 **NIGHTINGALE H.**, Accumulation of As, Ni, Cu and Pb in retention and recharge basin soils from urban runoff. *Water Resource Bulletin*, vol. **23**, **1987**, pp. 663-672.
- 3 **YOUSSEF Y.A.**, **HVITVED-JACOBSEN T.**, **SLOAT J.**, **LINDEMAN W.**, Sediment accumulation in detention or retention ponds. *The Science of The Total Environment*, vol. **146-147**, **1994**, pp. 451-456.
- 4 **PETTERSON T.**, Pollutant removal efficiency in two storm water ponds in Sweden. *Actes de la 8e conférence Urban Storm Drainage*, Sydney, Australia, vol. **2**, **1999**, pp. 866-873.
- 5 **BÄCKSTRÖM M.**, Particle trapping in grassed swales. *Actes de la conférence internationale NOVATECH 2001*, Lyon, France, vol. **1**, **2001**, pp. 391-398.
- 6 **FÄRM C.**, Accumulation of sediment and heavy metals in a storm water detention pond. *Actes de la conférence internationale NOVATECH 2001*, Lyon, France, vol. **1**, **2001**, pp. 589-596.
- 7 **DURAND C.**, 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, **2003**, 248 pages.
- 8 **RUBAN V.**, **CLOZEL B.**, **CONIL P.**, **DURAND C.**, 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*, vol. **246-247**, **2003**, pp. 117-126.
- 9 **KEMPF S.**, Les enjeux liés à la gestion et à la valorisation des boues et sédiments de l'assainissement pluvial routier et urbain. Rapport de l'Université de Bordeaux. **2001**, 58 pages.
- 10 **SERMANSON A.**, Définition et optimisation de filière de traitement et de valorisation de sous produits d'assainissement au sein de la Communauté Urbaine de Bordeaux. Projet de recherche A5, GARIH. **1998**, 47 pages.
- 11 **HEUDIER A.**, Propositions pour le traitement des déchets du nettoyage de voirie. Nantes. Rapport Ecole des Mines de Nantes, **2001**, 54 pages.
- 12 **LEE P.K.**, **TOURAY J.C.**, **BAILLIF P.**, **ILDEFONSE J.P.**, Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France. *The Science of the Total Environment*, vol. **201**, **1997**, pp. 1-15.
- 13 **ZANDERS J.M.**, Road sediment: characterization and implications for the performance of vegetated strips for treating road run-off. *The Science of the Total Environment*, vol. **339**, **2005**, pp. 41-47.
- 14 **DURIN B.** Transfert et transport colloïdal de polluants métalliques. Thèse de doctorat, Université de Nantes, **2006**, 376 pages.
- 15 **CLOZEL B.**, **RUBAN V.**, **DURAND C.**, **CONIL P.**, Chemical and mineralogical assessment of the origin and mobility of heavy metals (Cd, Zn, Pb, Cu, Ni, Cr) in contaminated sediments from retention and infiltration ponds. *Applied Geochemistry*, vol. **21**, **2006**, pp. 1781-1798.
- 16 **PETAVY F.**, **RUBAN V.**, **CONIL P.**, **VIAU J.-Y.**, Mise en place d'une unité pilote de traitement des sédiments issus de l'assainissement pluvial. *La Houille Blanche*, vol. **5**, **2007**, pp. 113-119.
- 17 NF EN 12879., Caractérisation des boues. Détermination de la perte au feu de la matière sèche, **2000**.
- 18 NF X 31-410., Qualité du sol. Dosage des huiles minérales. Méthode par spectrométrie à l'infrarouge et méthode par chromatographie en phase gazeuse, **1994**.
- 19 NF XP X33-012., Caractérisation des boues. Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB), **2000**.
- 20 NF X 31-147., Sols, Sédiment. Mise en solution totale par attaque acide, **1996**.
- 21 SETRA-LCPC., Guide Technique pour la réalisation des remblais et des couches de formes (GTR). 2 fascicules, **2000**.
- 22 NF P 94 068., Sols : reconnaissance et essais Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache, **1998**.
- 23 NF P 94-093., Sols : reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié, **1999**.
- 24 **PETAVY F.**, **RUBAN V.**, Conception of a pilot plant for the treatment of stormwater sediment. In : *Proceedings 6th international conference Novatech*, **3**, **2007**, pp. 1277-1284.