



Sédiments/Eaux pluviales

# SYNTHESE OPERATIONNELLE

| Sédiments de  
l'assainissement pluvial |  
*caractéristiques, gisement,  
gestion et perspectives*

**REDACTEURS** : Laëtitia Bacot  
Graie/OTHU, Julien Couvidat,  
Vincent Chatain, Mathieu Gautier,  
Damien Tedoldi - INSA Lyon DEEP  
**EN APPUI SUR LE CONSORTIUM  
DU PROJET**

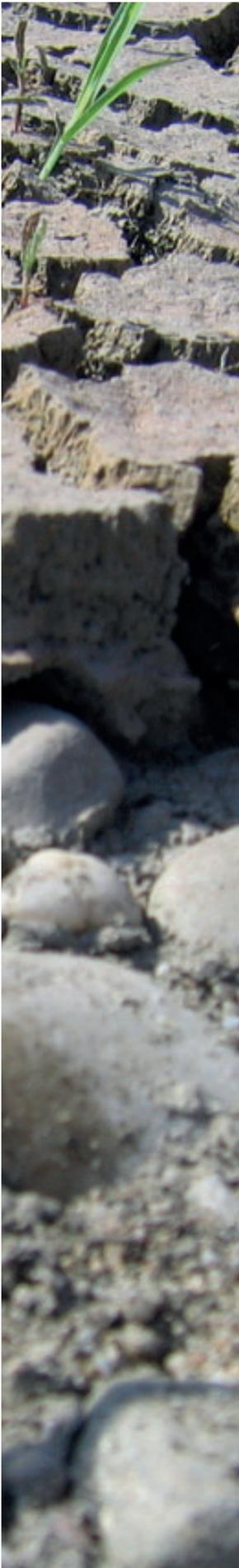
2023

ÉDITION GRAIE



Avec le soutien de :

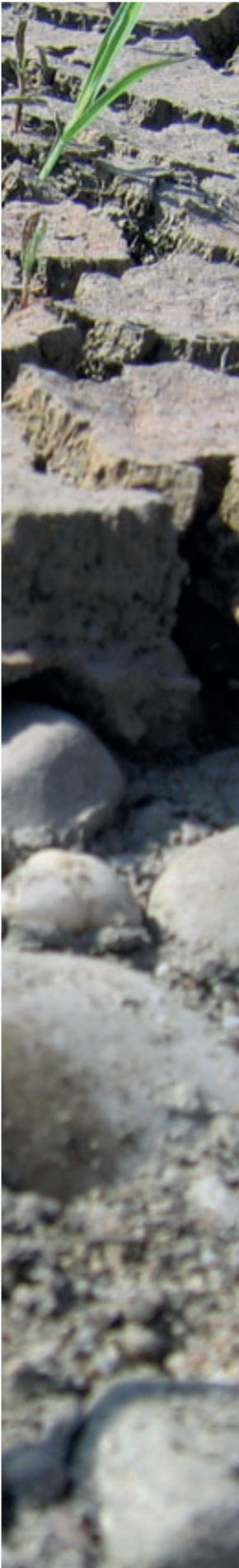




# TABLE DES MATIERES

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>AXE 1 : Réglementation, caractéristiques et gisements</b>	<b>6</b>
1. La réglementation	7
2. Le gisement	7
3. Les caractéristiques des sédiments de l'assainissement pluvial	9
<b>AXE 2 : Pratiques de gestion actuelles</b>	<b>10</b>
A. GESTION IN-SITU : Laisser le sédiment en place	14
B. GESTION EX-SITU: Gestion des sédiments Post Curage	15
<b>AXE 3 : Quelles autres valorisations pourraient-êtré envisagées ?</b>	<b>20</b>
<b>AXE 4 : Synthèse &amp; Perspectives</b>	<b>23</b>
<b>Annexes</b>	<b>26</b>
ANNEXE 1 : Données à capitaliser sur les curages	26
ANNEXE 2 : Proposition d'une démarche méthodologique de caractérisation et de gestion de sédiments urbains	27
ANNEXE 3 : Références bibliographiques	38



# INTRODUCTION

---

Les gestionnaires d'infrastructures (urbaines, routières, péri-urbaines, etc.) collectent les eaux pluviales et gèrent ces eaux notamment grâce à des **bassins** qui permettent aux eaux pluviales d'être retenues et décantées puis infiltrées dans le milieu naturel.

**Ces bassins bien dimensionnés ont fait leurs preuves** depuis les années 70. Aussi bien en terme hydraulique (ils régulent les flux d'eaux pluviales et évitent les inondations) qu'en terme de qualité des eaux. En effet, les éléments en suspension, charriés par les eaux pluviales ruisselées, sont retenus efficacement dans les ouvrages de rétention, et les eaux décantées rejoignent le milieu naturel en s'infiltrant dans le sol.

Cependant, **la gestion des sédiments retenus et collectés représente un réel enjeu pour les gestionnaires**, car les filières de gestion et de valorisation de ces résidus ne sont pas clairement identifiées aujourd'hui et restent difficiles à appréhender.

**Que connaît-on aujourd'hui :**

- du **GISEMENT** ?
- des **CARACTÉRISTIQUES** de ces sédiments urbains ?
- des **TRAITEMENTS** actuels possibles de ces sous-produits ? (Etat de l'Art)
- des **PERSPECTIVES** envisageables pour leur gestion ?

Afin de répondre à ces interrogations, le projet **DESIR** « Développement et évaluation de stratégies de gestion durable des sédiments de bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales » a débuté fin 2019 pour une durée de 36 mois dans le cadre de l'accord cadre de partenariat AERMC et OTHU.

Il a mêlé étroitement compétences scientifiques et compétences opérationnelles en fédérant l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, la Métropole de Lyon, PROVADEMSE, les équipes de recherche de l'OTHU dont le laboratoire DEEP de l'INSA Lyon (Porteur), le BRGM, VetAgro Sup, le LEHNA de l'ENTPE, le GRAIE.

Ce partenariat a permis de capitaliser les connaissances acquises dans l'OTHU et au-delà, de les consolider et d'analyser les différents traitements actuellement utilisés et de définir des perspectives opérationnelles pour la gestion de ces sédiments.



# INTRODUCTION

---

Cette synthèse opérationnelle succincte, restituée en **4 axes**, **les principales conclusions** de ce projet qui s'est intéressé uniquement aux bassins de gestion des eaux pluviales secs. Le détail des résultats scientifiques obtenus est disponible au sein des livrables scientifiques du projet 1 & 2 | [Lien](#).

## Qu'est-ce qu'un bassin de gestion des eaux pluviales ? et pourquoi contient-il des sédiments ?

Les bassins sont des ouvrages de stockage, de décantation et/ou d'infiltration.

Différentes configurations peuvent être rencontrées :

- Les bassins enterrés, réalisés en béton ou utilisant des éléments préfabriqués comme des canalisations surdimensionnées ;
- Les bassins à ciel ouvert, excavations naturelles ou artificielles, avec ou sans digues ;
- Les bassins en eau de façon permanente ou secs, inondés très ponctuellement et partiellement en fonction des pluies.

Aujourd'hui, les bassins à ciel ouvert peuvent et doivent être conçus comme des espaces multi-usages, favorisant leur intégration dans le site et leur bon fonctionnement. En général, ils participent aisément à l'amélioration du cadre de vie : bassins d'agrément, espaces verts, terrains de jeu.

Les bassins peuvent avoir différentes fonctions hydrauliques :

- Interceptor des eaux pluviales strictes ou des eaux unitaires ;
- Être alimentés systématiquement, en étant placés à l'exutoire d'un réseau ou n'être alimentés par surverse qu'en cas de saturation du réseau, en étant en dérivation ;
- Restituer les eaux (à débit contrôlé et après l'averse) vers le réseau principal, le sol - par infiltration - ou le milieu naturel.

Les bassins ont une fonction de piégeage de la pollution très importante : dégrillage grossier pour piéger les matériaux flottants (plastiques, feuilles), décantation pour la pollution particulaire...

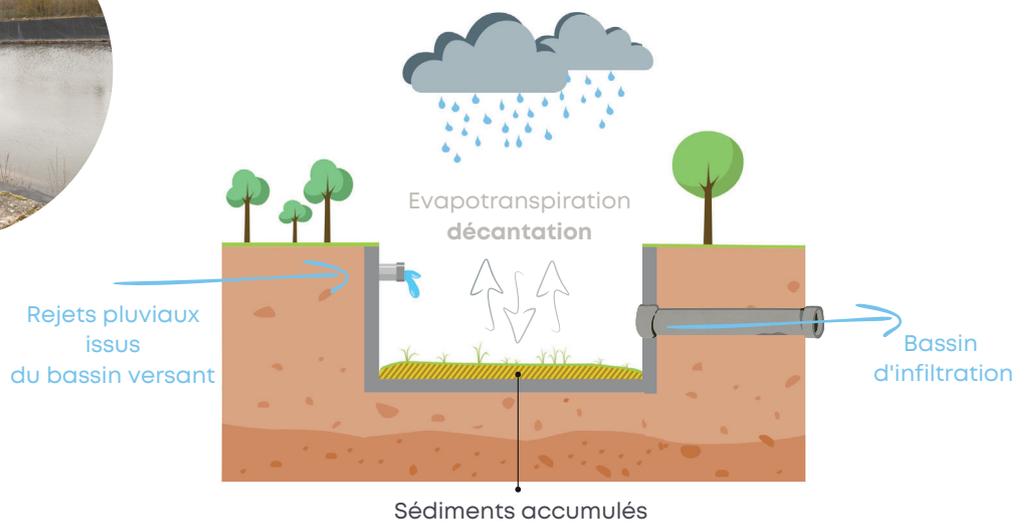
La pollution piégée in situ constitue une fraction des sédiments urbains pluviaux étudiés dans le projet DESIR. La dépollution peut être maîtrisée et optimisée selon la conception du bassin.



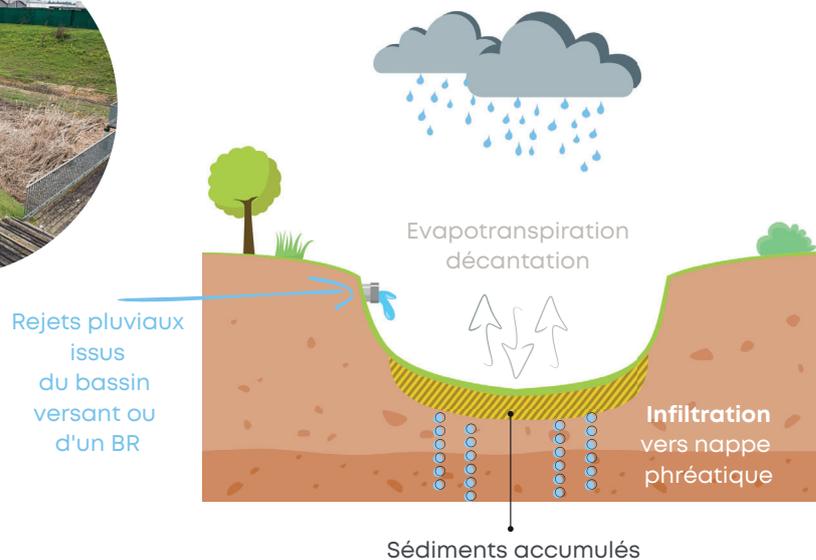
# INTRODUCTION

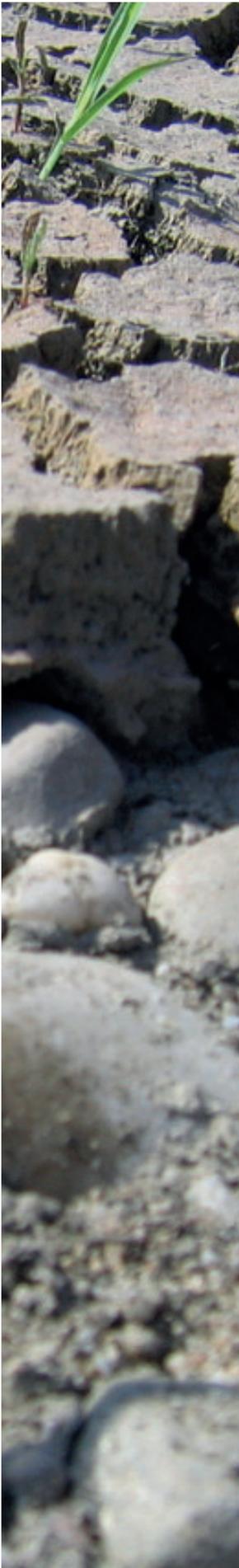
Nos objets d'étude : les sédiments au sein des ouvrages suivants :

## Bassin de rétention/décantation BR



## Bassin d'infiltration BI





# AXE 1 : REGLEMENTATION, CARACTERISTIQUES ET GISEMENTS

---

## Quelques mots de contexte ...

La gestion des eaux pluviales est un enjeu important des environnements urbanisés d'aujourd'hui et de demain. Même si actuellement les politiques publiques incitent les collectivités à une gestion intégrée et plus diffuse des eaux pluviales, les techniques de gestion centralisée (collecte à grande échelle des eaux pluviales via des réseaux alimentant des bassins) que sont les bassins de décantation/rétention et d'infiltration sont des ouvrages qui restent couramment utilisés par les acteurs de l'assainissement depuis les années 70.

Leur fonctionnement est efficace et peut générer des quantités relativement importantes de sédiments qui s'accumulent dans le fond des ouvrages pour éviter qu'ils ne rejoignent le milieu naturel.

Leur gestion reste une problématique courante des gestionnaires, bien qu'aucune réglementation spécifique ne s'y rapporte : **comment réaliser cette gestion, à quelle fréquence, sur quels ouvrages prioriser les curages, vers quelles filières envoyer ces sous-produits collectés ?**



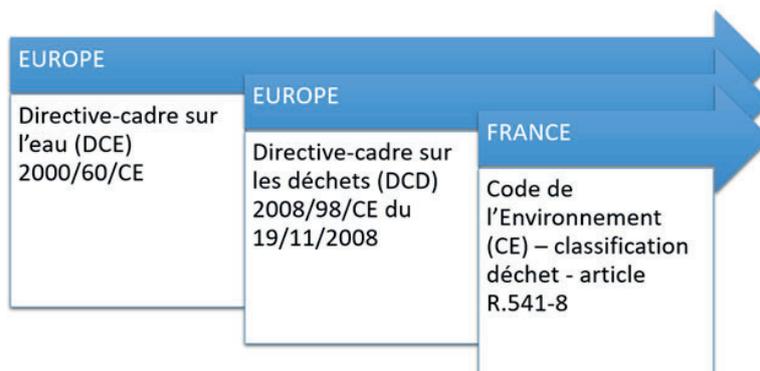
## 1- LA RÉGLEMENTATION

Contrairement aux sédiments marins et continentaux (fleuves, rivières et canaux), **le curage des sédiments pluviaux "urbains" ne relève pas d'une réglementation spécifique.**

En termes de droit communautaire, il est possible cependant de s'appuyer sur deux directives-cadres pour statuer sur l'impact du curage sur les ressources en eau, et le devenir des produits de curage : la directive-cadre sur l'eau (DCE) 2000/60/CE, et la directive-cadre sur les déchets (DCD) 2008/98/CE du 19/11/2008.

De plus, dans le droit national français, les déchets sont classifiés selon les 4 catégories de l'article R.541-8 du Code de l'Environnement (CE) en dangereux, POP (contamination par des polluants organiques persistants supérieure à des limites définies), non-dangereux et inertes.

Il en ressort que tout sédiment curé, et quel que soit son devenir, doit faire l'objet d'une évaluation de sa dangerosité. En fonction des résultats de cette évaluation, les sédiments seront prioritairement valorisés/réemployés dans des filières adéquates après un éventuel traitement et/ou éliminés en installation de stockage de déchets.



## 2- LE GISEMENT

Le décret n° 2021-321 du 25 mars 2021 relatif à la traçabilité des déchets (dont POP), des terres excavées et des sédiments prévoit que les gestionnaires de déchets dangereux doivent transmettre le contenu de leur(s) registre(s) chronologique(s) au registre national des déchets à partir du 1er janvier 2022.

Lorsque le déchet n'est pas dangereux la production d'un BSD "Bordereau de suivi des Déchets" n'est pas obligatoire, ceci rend le suivi des sédiments de curage compliqué, et la production de données utiles à l'évaluation des pratiques difficile (par exemple pour la connaissance de la quantité produite). En revanche une déclaration d'informations au registre national électronique des terres excavées et sédiments est nécessaire pour les volumes supérieur à 500 m<sup>3</sup>.

Ainsi la quantification précise des volumes de sédiments issus des bassins d'infiltration/rétention est difficile à obtenir car la gestion de ces sédiments est parcellaire, discrétionnaire, et les gestionnaires sont peu incités en général à curer et à suivre finement leurs gisements, ce qui contribue au manque de données existantes. Certains bassins peuvent rester plus de 20 ans sans curage. Les curages se font principalement de façon curative et non préventive lorsque des problèmes de fonctionnement de l'ouvrage sont rencontrés (dysfonctionnement hydraulique, débordement, stagnation, et/ou développement de végétation ...)

L'étude faite par le SETRA (Service d'études techniques des routes et autoroutes) dans les années 90 a permis de déterminer pour 11 départements (régions Normandie et Centre) les volumes de sédiments issus des bassins de routes nationales et bassins autoroutiers (SETRA, 1995). Par une extrapolation approximative sur l'ensemble du territoire français par le LCPC- Laboratoire central des Ponts et Chaussées (Ruban et al. 2003) il a été estimé à 9 300 000 m<sup>3</sup> le volume de sédiment de curage retiré des bassins routiers et urbains français.

En considérant que la densité moyenne de ces sous-produits était de 1,2 et la siccité de 50 %, ces auteurs ont obtenu une masse d'environ 5 millions de tonnes de matière sèche [1] sur le territoire français, soit un enjeu économique d'environ 300 millions d'euros par an (Conil et al., 2009). Bien que ce ne soit qu'une estimation, ce chiffre démontre tout l'intérêt de ne pas négliger la valorisation des sédiments, ainsi que la nécessité de produire des données plus fiables concernant le gisement.

## A RETENIR

GISEMENT MAL CONNU (ESTIMATION D'AU MOINS 5 MILLIONS DE TONNES DE MATIÈRE SÈCHE), PEU D'INFORMATIONS CAPITALISÉES PAR LES MAITRES D'OUVRAGE SUR CE TYPE DE PRODUITS, CAR LES CURAGES SONT IRRÉGULIERS ET NON SYSTÉMATIQUES.

[1]  $\text{masse (t)} = \text{densité} \times \text{Volume (m}^3\text{)} \times \text{siccité} = 1,2 \times V \times 0,5$

### 3-LES CARACTÉRISTIQUES DES SÉDIMENTS DE L'ASSAINISSEMENT PLUVIAL

Deux aspects particuliers de ces sédiments ressortent de l'analyse des données bibliographiques et de la capitalisation des données acquises dans le cadre de l'OTHU :

- **une granulométrie fine des particules qui les constituent,**
- **et une poly-contamination métallique et organique élevée.**

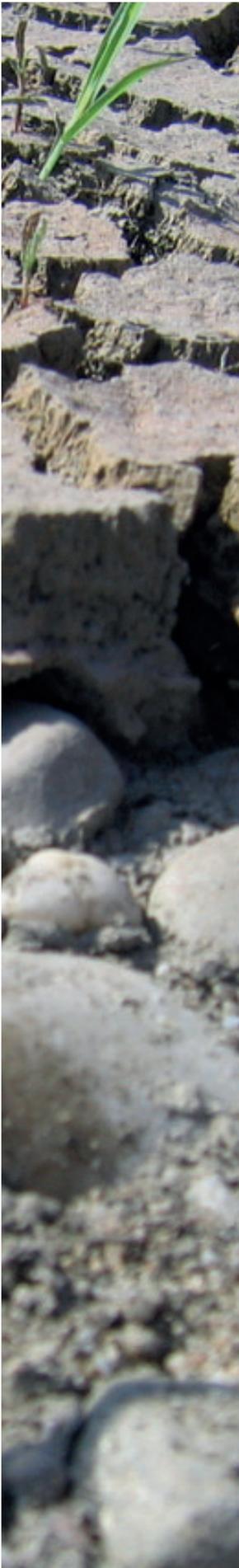
Ces caractéristiques rendent donc leur gestion parfois compliquée pour les gestionnaires face au manque de visibilité sur les filières adéquates de gestion. En particulier lorsqu'il s'agit de minimiser les volumes envoyés en Installations de Stockage de Déchets pour favoriser le réemploi et la valorisation, comme encouragé par la Directive-Cadre sur les Déchets 2008/98/CE du 19/11/2008.

A titre indicatif, une sélection de données issues de la bibliographie sont présentées dans le Tableau 1. Cette concentration en contaminants organiques et inorganiques est généralement localisée au niveau des particules fines (Petavy et al. 2007). Bien qu'un profil des contaminants puisse être établi (Flanagan et al. 2021), leurs concentrations varient d'un bassin à un autre, et même d'un événement pluvieux à un autre (Chocat et al. 2007).

Tableau 1 : Principales caractéristiques des sédiments de bassin d'infiltration et rétention. Les données sont présentées sous la forme min-max (médiane si disponible)

	Teneur en eau %	Teneur en MO % MS	Métaux						Organiques	
			Cd	Ni	Cr	Cu	Pb	Zn	∑ <sup>16</sup> PAHs	∑ <sup>7</sup> PCBs
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	μg/kg
<i>Bassins de rétention (Deruelle F 2004)</i>	17-75	3 - 53,7	0,23 - 795	/	/	14,8 - 619	5,4 - 885	20,6 - 3850	/	/
<i>Étude sur 19 bassins d'infiltration localisés à l'est de Lyon (Zhan et al. 2021)</i>	/	3 - 29 (18)	0,17 - 4,90 (0,87)	17 - 116 (54)	24 - 119 (57)	28 - 663 (152)	28 - 341 (153)	58 - 3800 (569)	<0,19 - 46,7 (1,15)	4 - 546 (104)

MO : matière organique | Cd : cadmium | Ni : nickel | Cr: chrome | Pb : plomb | Zn : zinc | PAH : HAP hydrocarbures aromatiques polycycliques | PCB : polychlorobiphényles



## AXE 2 : LES PRATIQUES DE GESTION ACTUELLES

---

Comme nous l'avons rappelé, il n'existe pas de réglementation spécifique concernant la valorisation des sédiments pluviaux urbains. Ce manque de clarté et d'harmonisation représente une difficulté supplémentaire pour l'établissement de filières pérennes.

En effet, pour chaque type de sédiments, plusieurs filières peuvent être employées, cependant c'est la réglementation attribuée à chaque filière qui va permettre d'orienter le gestionnaire dans sa prise de décision finale.

Le projet DESIR a intégré une démarche d'enquête auprès des gestionnaires, en leur qualité de service de la ville ou du département, délégataire de service public, industriel ou chercheur.

**Ainsi, plusieurs spécificités ressortent des entretiens réalisés auprès des acteurs opérationnels, et vous sont présentés ci-après.**

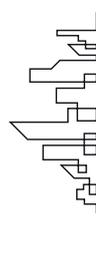


## 1ER CONSTAT : LA GESTION DES SÉDIMENTS SE FAIT MAJORITAIREMENT DE MANIÈRE PRAGMATIQUE

Les gestionnaires interrogés donnent la **priorité aux solutions les plus économiques et acceptables au niveau réglementaire et environnemental**.

Il en résulte des pratiques inhomogènes entre les territoires, et parfois à l'intérieur même d'un territoire et au sein du même gestionnaire.

Par exemple, il n'y a pas de fréquence spécifique de curage, et celui-ci est fait au besoin en fonction de l'observation de la couche accumulée.



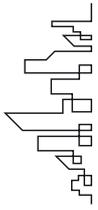
*EXEMPLE : A la Métropole de Lyon par exemple, lorsqu'un bassin possède une couche accumulée d'au moins une dizaine de centimètres de sédiments, l'équipe de terrain du secteur le signale. Les bassins composant la liste sont ensuite priorisés en fonction de l'ouvrage, du bassin versant (et des contaminants attendus), de l'exutoire du bassin, et du budget annuel. A la métropole de Limoges, sur un parc de bassins de près d'une centaine d'ouvrages il n'a été réalisé que 2 curages en 10 ans. A l'inverse, les bassins de l'agglomération de Douai sont curés annuellement par contrat (délégation de service public à Suez).*

Cette disparité s'explique autant par les politiques publiques locales (importance accordée au pluvial, ou aux techniques de déconnexion des réseaux), que par les problématiques financières ou humaines (peu de moyens disponibles).

Les problèmes de financement sont souvent évoqués par les acteurs interrogés. Il a même été question de la part de certains acteurs d'une gestion uniquement « dans l'urgence », et d'intervention du service concerné qu'en cas de dysfonctionnement (colmatage ou débordement), de plaintes d'un riverain, ou d'un déversement accidentel.

C'est ce qui amène au second point de cet aspect pragmatique de la gestion, **le manque de moyens** (humain, matériel, financier) conditionne souvent les aspects techniques de la gestion : les besoins les plus urgents passent en premier, et en l'absence de dysfonctionnements, certains bassins peuvent ne pas être curés sur une longue période. Pour un bassin de rétention, le curage curatif vient restaurer la capacité de stockage et assurer le fonctionnement hydraulique. Sans dysfonctionnement, l'absence de curage ne constitue pas un problème, voire même augmente les performances en terme d'abattement des pollutions (cf. encart programme de recherche CABRRES page suivante).

Pour les bassins d'infiltration, ils peuvent être curés en cas de déversements accidentels ou en cas de colmatage, de manière curative, ou alors leur surface peut être « profilée » pour favoriser l'écoulement (de manière préventive aux dysfonctionnements).



*EXEMPLE : le bassin de Minerve (Métropole de Lyon) a été profilé en décembre 2019 pour dégager l'entrée du bassin d'infiltration (BI), car le tuyau d'arrivée restait en charge, un dysfonctionnement révélant également une accumulation de fines dans le lit du BI. Certains acteurs curent aussi lorsque les végétaux (roseaux par exemple) ont trop envahi le bassin. En dehors du curage, il est souvent noté que les gestionnaires entretiennent les bassins possédant de la végétation, en procédant à des fauches par exemple.*

## **CONSTAT 2 : ON OBSERVE ÉGALEMENT UNE DISPARITÉ DANS LES FILIÈRES DE GESTION EMPRUNTÉES (TRAITEMENT, STOCKAGE/VALORISATION).**

Il ressort des entretiens des gestionnaires que le curage n'est pas une réponse systématique, ni adaptée à tous les cas et à toutes les temporalités.

Il existe un continuum des pratiques de gestion, qui vont de l'entretien du bassin, de ses fonctionnalités jusqu'au curage. Le dénominateur commun entre ces pratiques est la gestion pragmatique au plus juste, visant à limiter au maximum les coûts économiques mais aussi écologiques. Par exemple, par le réemploi des sédiments au plus proche du lieu de curage, que ce soit dans le bassin (réétanchéification, régalaie), près du bassin (buttes, dépôts en bout de champs), ou pour une valorisation plus spécifique par une filière locale (génie civil ou technique routière par exemple).

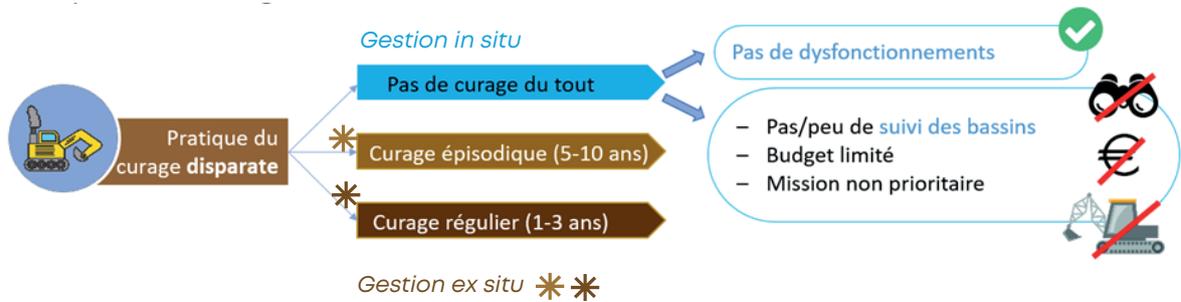
Ainsi la gestion, peut se diviser en 2 types de filières:

- Une gestion optimisée des sédiments et des ouvrages en dehors du curage, que nous appellerons **gestion in-situ**, mais qui peut s'incorporer à une démarche de gestion intégrée des ouvrages de l'assainissement pluvial. Cette démarche consiste à laisser le sédiment en place et à le gérer en le végétalisant ou en ajoutant par exemple un prétraitement physique à l'amont du bassin.
- Une **gestion ex-situ** des sédiments, qui suit le curage, selon un schéma classique de prétraitement/traitement, puis gestion du devenir (stockage ou valorisation)

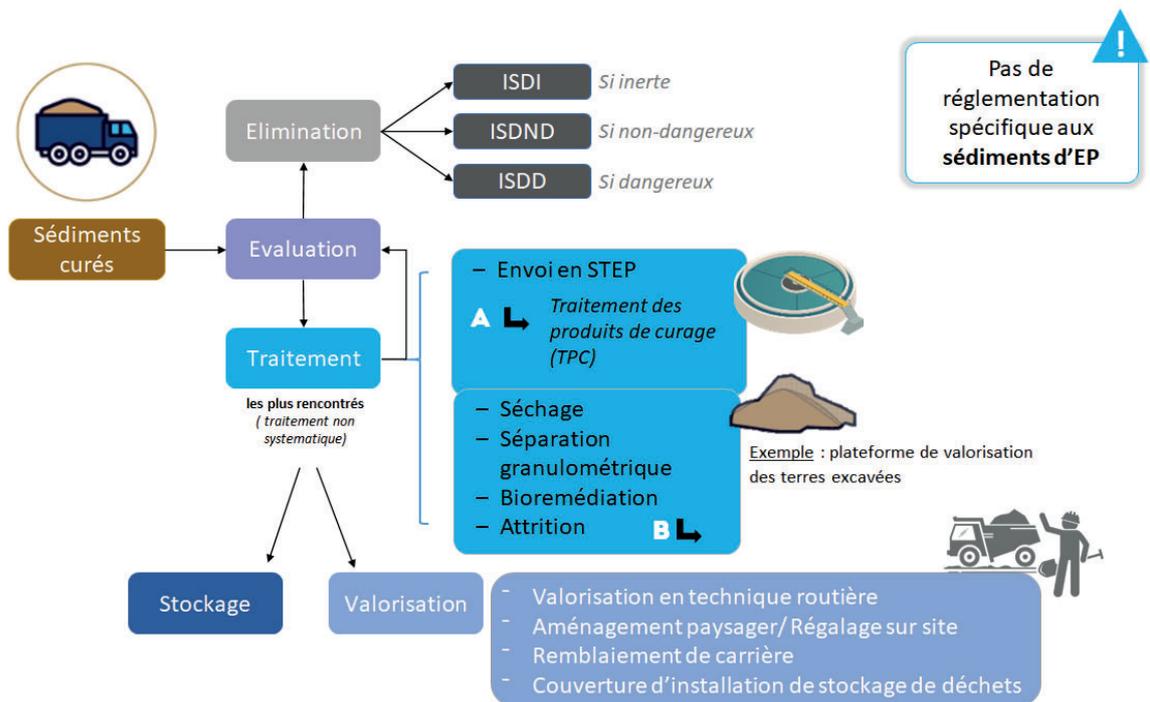
### **A RETENIR**

SELON LES OBSERVATIONS DE L'OTHU ET LES RESULTATS DU PROGRAMME DE RECHERCHE CABRRES, ON CONSTATE UNE CHUTE DE PERFORMANCE DES BASSINS DE RÉTENTION/DÉCANTATION AU-DELÀ DE 5 ANS D'ACCUMULATION DE SÉDIMENTS .  
UNE FRÉQUENCE DE CURAGE TOUS LES 5 ANS MINIMUM DE CES OUVRAGES ET DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES SONT PRECONISEES. POUR EN SAVOIR PLUS - **LIEN**

## Schéma résumant les pratiques de curage



## Dans le cas d'une gestion ex situ



## A - GESTION IN-SITU - LAISSER LE SEDIMENT EN PLACE

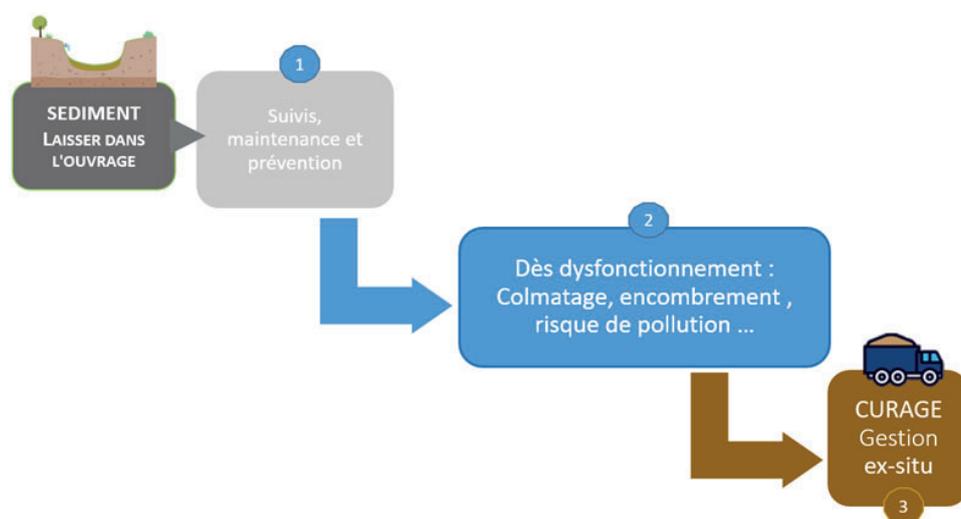
Intégrer les sédiments dans la gestion du bassin (in-situ) comporte des intérêts pour le gestionnaire : en limitant la fréquence des curages, il en limite aussi le coût économique récurrent dans le temps, il diminue le transport de « petits » volumes, il permet à la matière d'évoluer par l'action naturelle bio-physico-chimique (maturation de la matière organique, dégradation de contaminants organiques plus labiles, formation de complexes plus ou moins stables avec les ETM- éléments traces métalliques), tout en contribuant à la formation d'une couche de surface réactive capable de piéger une partie des contaminants qui la traverse.

Cependant, dans une gestion optimisée in-situ, les dépôts de sédiments et de contaminants au fond des bassins peuvent, à terme, constituer un problème (particulièrement pour les bassins de rétention/décantation) :

- Soit parce que le bassin ne remplit plus ses fonctions hydrauliques,
- Soit parce que les conditions physico-chimiques évoluent (pH, conditions redox, etc.) et amènent à des risques de relargage de polluants accumulés (exemple : relargage de certains métaux lors de la mise en place de conditions d'oxydoréduction réduites).

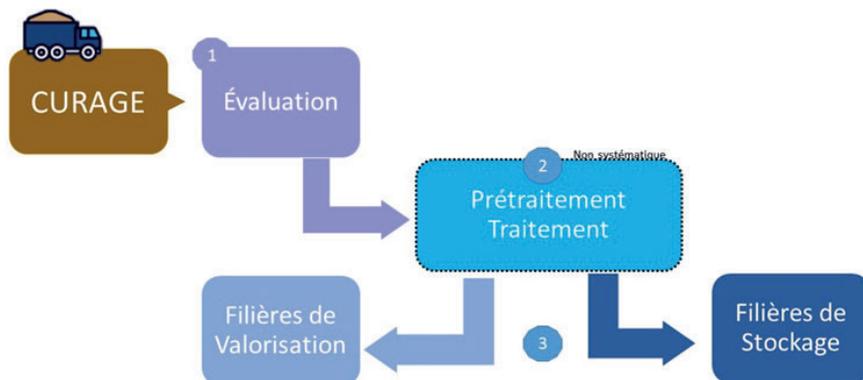
De manière générale, il est toléré réglementairement et conseillé techniquement de laisser les sédiments s'accumuler tant qu'aucun des problèmes présentés ci-dessus n'est identifié. Chaque bassin ayant ses propres spécificités, il convient d'adapter les précautions à la situation et aux volumes de perturbations (pollutions spécifiques, apport important de matières solides...).

Un **curage des bassins de rétention après 5 ou 6 ans d'utilisation** est conseillé par l'OTHU grâce à ces suivis, prenant en compte le compromis entre diminution de l'écotoxicité, limitation des remobilisations potentielles, et entretien régulier des ouvrages (Lipeme Kouyi et al. 2018).



## B - GESTION EX-SITU: Gestion des sédiments Post Curage

En fonction de la composition et de la teneur en contaminants du sédiment, des opérations de prétraitements ou de traitements seront potentiellement nécessaires pour convenir aux critères d'acceptabilité des filières. Ces opérations permettent de réduire la teneur en contaminants des sédiments mais également de modifier leur granulométrie ou encore leur siccité. Ceci permet alors de diminuer les volumes et de réduire les coûts de transport et de traitements de façon non-négligeables.



1

### A RETENIR : LORS DU CURAGE

#### QUELQUES RECOMMANDATIONS SPECIFIQUES AUX BASSINS DE RETENTION:

##### Stratégie

Le gestionnaire peut opter pour un curage complet après plusieurs années (répartition des sédiments et contaminants plutôt homogène) ou un curage bien plus régulier mais généralement ciblé (répartition plutôt hétérogène). Le choix doit tenir compte du suivi, de l'état de connaissance du bassin (contexte géographique, géologique et fonctions) et des contraintes économiques et techniques.

##### Période

- Curer de préférence en hiver permettrait d'éviter l'aérosolisation, c'est-à-dire la dispersion dans l'air des bactéries pathogènes potentiellement présentes (Lipeme Kouyi et al. 2018).
- Curer en période sèche permet d'avoir un taux d'humidité moins élevé pour les bassins non immergés, ce qui peut faciliter les traitements.

##### Recommandations spécifiques au bassin d'infiltration (De Becdelièvre et al. 2008)

- Enlever en priorité la couche superficielle causant le colmatage.
- Attention à ne pas brasser et enfouir les couches colmatées et les dépôts pollués.
- Attention au compactage néfaste pour la perméabilité du sol : songer à remplacer la couche superficielle par des matériaux propres.
- En cas d'eau retenue dans le bassin, la vidanger précautionneusement.  
Ne pas percer des trous ponctuels pour l'évacuer afin d'éviter toute pollution de la nappe.

## Details sur les méthodes/techniques utilisées

### PRÉTRAITEMENTS

- **Déshydratation mécanique ou naturelle** : permet d'augmenter la siccité des sédiments et donc de diminuer les volumes. La déshydratation mécanique peut se faire à l'aide d'outils comme un filtre-pressé, un filtre à bande, ou encore une centrifugeuse. La déshydratation naturelle se fait, quant à elle, généralement par ressuyage ou lagunage actif. Ce processus naturel beaucoup plus long permet néanmoins de traiter de plus grands volumes et d'initier la biodégradation partielle des polluants organiques (Charrasse et al., 2018).
- **Criblage/ dégrillage** : il retire les déchets les plus grossiers. Ce processus est souvent utilisé en début de chaîne de traitement notamment pour protéger les éléments qui suivent. Les outils les plus fréquents sont les grilles fixes, les tamis vibrants et les trommels (Ruban, 2005).

### TRAITEMENTS

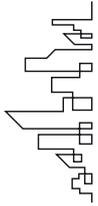
#### -- TECHNIQUES DE TRAITEMENT

**Séparation granulométrique** : ces techniques ont pour but de séparer la fraction fine, plus susceptible de concentrer la MO (Badin et al., 2008) et les contaminants (Couvidat et al., 2018; Petavy et al., 2009; Sutherland et al., 2012), de la fraction grossière qui peut être valorisable. Quelques procédés appliquant ce type de séparation sont présentés ci-dessous :

- > Hydrocyclonage : utilisation de la force centrifuge entraînant les particules les plus grossières vers les parois de l'hydrocyclone qui sont ensuite récupérées au fond de celui-ci (souverse). Les particules fines remontent grâce à un effet vortex (surverse) (Ruban, 2005). Ce type de processus demande beaucoup d'énergie notamment par l'utilisation de pompes pour assurer un débit continu. Pour un processus optimisé, il est recommandé de mettre en série deux hydrocyclones (Hébrard-Labit, 2006).
- > Spiralage : ce type de séparation est à la fois densimétrique et gravimétrique. Les sédiments sont placés au sommet de la spirale et sont entraînés par un courant d'eau déportant les plus légères vers l'extérieur. ► *Les processus de spiralage et hydrocyclonage présentent des limites en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sédiment et de la nature des contaminants.*
- > Attrition : L'attrition est moins exigeante et s'adapte pour de nombreux sédiments (De becdelievre et al., 2008; Moura et al., 2009) mais elle reste très énergivore et le succès de son application dépend aussi de la nature des sédiments. Ce traitement consiste à éliminer les encroûtements présents à la surface des particules par frottement. Les particules sont projetées les unes sur les autres dans de grandes cuves équipées de pales (Delamain et al., 2016). En effet, les particules fines chargées en contaminants peuvent s'agglomérer entre elles ou à la surface des plus grosses particules. Ce processus suivi d'un hydrocyclonage permet de séparer les fines des plus grossières (Ruban, 2005 ; Petavy et al., 2009).

2 Non systématique

**Prétraitement  
Traitement**



*EXEMPLE : Procédé ATTRISED : une unité mobile pilote intégrant l'attrition a été proposée par Petavy et al. (2007) pour le traitement des sédiments d'assainissement pluvial. Une grille statique permet de protéger le dispositif et le tamis vibrant a une double utilité puisqu'il permet d'une part d'isoler la fraction 2 mm - 30 mm mais aussi de protéger l'hydrocyclone. Ce procédé permet donc la dépollution des fractions 2 - 30 mm et 60 µm - 2 mm.*

- > Traitement biologique : ce type de traitement est adapté pour une contamination organique et utilise la capacité des micro-organismes à dégrader les micropolluants organiques dans des conditions redox et nutritionnelles favorables (Debecdelievre et al., 2008; Ruban, 2005). A titre d'exemple, on peut citer comme procédés, les biopiles ou encore le landfarming. Cependant ces processus, bien que peu coûteux, demandent une surface importante et un temps de traitement relativement long (plusieurs mois). Ils sont également peu efficaces dans le cas d'une contamination aux HAP- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques ou pour d'autres polluants organiques dits persistants . Il est important de prendre en compte la gestion des eaux de percolation de ce traitement afin de ne pas relarguer de fortes teneurs en contaminants dans l'environnement (Ruban et al., 2010).

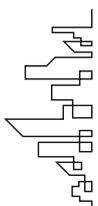
D'autres types de traitements sont possibles comme les techniques de lavages chimiques, de vitrification, de désorption thermique ou encore de phytoextraction mais elles sont jugées non appropriées ou peu efficaces pour les sédiments d'assainissement pluvial vis-à-vis de leurs caractéristiques, et/ou trop coûteuses (Ruban, 2005; Scordia, 2008).

#### -- MODES USUELS de traitement

Les exemples qui suivent sont notamment appliqués depuis plusieurs années par la Métropole de Lyon, ou d'autres gestionnaires, et constituent une voie de gestion intéressante et facilement applicable sur l'ensemble du territoire.

Ces unités sont dévolues au traitement d'autres déchets ou combinent plusieurs fonctions, et peuvent être utilement empruntées par les sédiments urbains.

- >UNITÉ DE TRAITEMENT DES SABLES "UTS" (OU TPC- Traitement des Produits de Curage) EN STEP - station d'épuration- utilisant notamment l'hydrocyclonage (fréquemment utilisé par les grosses agglomérations)



*EXEMPLE : La métropole de Lyon par exemple y envoie une partie des sédiments curés, selon l'acceptation de la STEP. Les critères d'acceptabilité théoriques sont peu nombreux :*

- o Pas de déchets radioactifs
- o PCB < 50 ppm
- o 4,5 < PH < 8,5

## Prétraitement Traitement

Cette filière est intéressante économiquement pour les sédiments comportant une grande quantité de particules > 50 µm (la partie inférieure 50 µm partant vers la filière eau).

Une analyse granulométrique est donc recommandée pour évaluer l'intérêt de cette filière. La filière de sortie de ce traitement est celui des Boues de STEP (incinération, épandage, co-compostage ...)

- >PLATEFORME DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DE TERRES POLLUÉES : *filière plus ponctuellement utilisée car ce type de plateforme n'existe pas partout mais prometteuse pour les sous-produits notamment de bassins d'infiltration*

L'objectif de ce type de plateforme est de proposer une valorisation de terres polluées et autres déchets poreux granulaires (déchets de déconstruction, sédiments, etc.). Dans la nomenclature ICPE, ces plateformes opèrent comme lieu de transit (stockage temporaire) et de traitement (majoritairement non-thermique) pour des déchets. Les sédiments sont en général déshydratés, criblés, et traités biologiquement.

Les critères d'acceptabilité dans cette filière sont issus de l'arrêté du 4 juin 2021 fixant les critères de sortie du statut de déchet pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement.

En dehors des critères réglementaires, certains autres paramètres sont pris en compte par l'exploitant, par rapport à ses contraintes propres.





## Details sur les méthodes usuelles de valorisation et stockage

Tableau 2 : méthodes usuelles de valorisation et stockage des sédiments

Filières	Conditions	Règlement applicable	Référentiel
Valorisation en technique routière	Sédiment inerte ou non dangereux	<p>Guide des terrassements Routiers (GTR) (SETRA, 1992 réédité en 2000)            Guide acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale (SETRA, mars 2011)            Guide d’application - Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les sédiments de dragage et de curage (Cerema, 2020)            Norme NF P11-300 : Exécution des terrassements – Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d’infrastructures routières (1992)</p>	
Aménagement paysager/ Régilage sur site de l’installation de stockage	Sédiment inerte ou étude spécifique selon EN 12920+A1	<p>Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes</p>	
Remblaiement de carrière	Sédiment inerte et siccité > 50%	<p>Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières modifié par ceux du 05/05/10 puis du 12/03/12</p>	<p>Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes</p>
Couverture d’installation de stockage de déchets	Sédiment inerte ou non dangereux selon le type d’utilisation	<p>Arrêté du 9 septembre 1997 relatif au stockage de déchets « non dangereux », remplacé par celui du 15/02/16</p>	<p>Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes</p>
Stockage	Sédiment inerte, dangereux ou non dangereux présentant une siccité > 30%	<p>Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes            Arrêté du 9 septembre 1997 relatif au stockage de déchets « non dangereux », remplacé par celui du 15/02/16 relatif aux installations de stockage de déchets de sédiments</p>	



## **AXE 3 : QUELLES AUTRES VALORISATIONS POURRAIENT-ETRE ENVISAGEES ?**

---

**D'autres méthodes de traitements ou filières de gestion ont été révélées au cours de l'étude, certaines ne sont pas retenues mais d'autres constituent des pistes à explorer :**



## LES AUTRES MODES DE GESTION ENVISAGES NON RETENUS

### Épandage agricole et incinération:

Ce sont des solutions directes peu utilisées pour les sédiments urbains pluviaux seuls ceci compte tenu du coût de traitement et des caractéristiques des sédiments.

L'épandage agricole ou la valorisation agronomique semble peu adaptés aux sédiments pluviaux urbains, car ces sédiments ne présentent qu'un faible intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures et des plantations vue leur composition.

Ce traitement pourrait être éventuellement intéressant dans des contextes et territoires agricoles .

L'incinération directe quand à elle, permettrait de réduire les volumes mais est très coûteuse et peu adaptée aux sédiments étudiés notamment lorsque le taux d'humidité est trop important.

*NB : La réglementation évolue rapidement, des discussions et questions , sur la différenciation Boues et sédiment urbain sont en cours.*

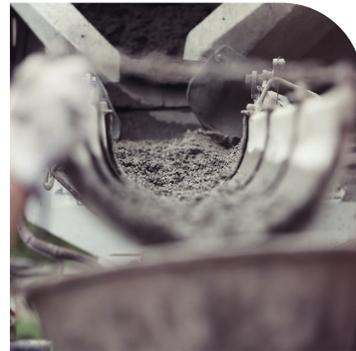


# LE CAS SPÉCIFIQUE DE LA FILIÈRE GÉNIE CIVIL (HORS TECHNIQUE ROUTIÈRE)

## Filière Béton ou ciment

Le génie civil est une filière bien employée pour la valorisation des sédiments de manière générale mais encore peu utilisée en matière de sédiments pluviaux urbains. On peut dégager deux grandes filières principales, selon que le sédiment soit mélangé avec du ciment et des granulats (filière « Béton »), ou selon qu'il entre directement dans la fabrication du ciment (filière « Ciment »). D'autres utilisations dans le génie civil peuvent être envisagées, comme la technique routière ( cf. page 19).

De manière générale, la valorisation de sédiments dans une filière « Béton » doit composer avec deux problèmes : la présence de contaminants métalliques qui ont un effet inhibiteur sur la prise du béton, et le taux de matière organique qui peut également poser des soucis de retard de prise, ou de fragilité structurelle à long terme (Amar et al., 2020; Beddaa et al., 2020; Couvidat et al., 2016). De fait, les spécifications concernant cette filière de valorisation peuvent se montrer contraignantes selon le gisement ou l'usage employé.



Bien que cette filière soit contraignante du point de vue réglementaire, la réussite des chantiers expérimentaux de la Métropole de Lille avec le programme de recherche SEDIMATERIAUX encourage à poursuivre les recherches sur cette voie. La réussite de celle-ci pourra dépendre également en partie de la mise en place d'un système de traçabilité remarquable en sortie de traitement (Ruban et al., 2010). Un critère primordial pour mieux appréhender cette filière est de mieux caractériser la matière organique des sédiments pluviaux urbains, notamment en terme de qualité et de réactivité.

Mais au delà des critères techniques, le soutien de la collectivité et son engagement dans l'utilisation des matériaux ainsi créés conditionnera le succès économique de ces chantiers.

## Utilisation en couche d'étanchéité

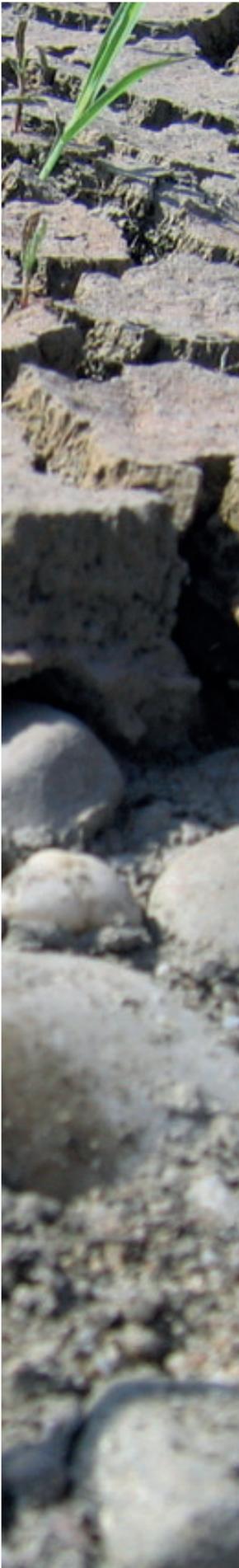
Un autre exemple de filière est celui de la ville de Roubaix qui, en 2014, a utilisé les sédiments accumulés de 3 bassins de son parc pour créer la couche d'étanchéité permettant de recouvrir le fond de ces bassins. La formulation finale de cette couche d'étanchéité comportait 90 % de sédiments et 10 % de bentonite (Sedilab, 2021b).

Peu d'informations sont disponibles sur ce sujet, notamment sur les caractéristiques des sédiments, mais c'est une solution à potentiellement envisager lors de pollutions limitées.



## Utilisation en remblaiement de tranchée

Cet exutoire est adapté pour les sédiments peu pollués car l'eau s'écoulant dans les tranchées entraîne la migration des polluants (Ruban et al., 2010).



## AXE 4 : SYNTHÈSE & PERSPECTIVES

---

Le projet DESIR (Développement et évaluation de stratégies de gestion durable des sédiments de bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales) avait pour objectif de mieux comprendre d'une part, les caractéristiques des sédiments accumulés dans les bassins de décantation/infiltration des eaux pluviales urbaines, et d'autre part, d'étudier les possibilités de valorisation de ces matériaux qui, à l'heure actuelle, sont essentiellement considérés et gérés comme des déchets après curage des bassins.

Concernant la caractérisation biogéochimique de ces sédiments, deux aspects particuliers ressortent :

- la granulométrie fine des particules qui les constituent,
- et une poly-contamination inorganique et organique élevée.

Ces caractéristiques rendent donc leur gestion parfois compliquée. Même si les principales filières de gestion sont connues, le manque de données surtout quantitatives, sur le gisement de ces sédiments, n'aide pas à la décision et une filière ne peut en l'état des connaissances actuelles être mise plus en avant pour la gestion des sédiments urbains qu'une autre.

Les deux filières de gestion actuellement les plus rencontrées grâce à nos enquêtes sont : **le traitement en STEP avec les sables de curage de réseaux d'assainissement et la mise en décharge de classe 1.**

Dans un contexte où la déconnexion des eaux pluviales est de plus en plus préconisée et le recours à l'infiltration plébiscité, la traitabilité concrète des matériaux solides générés par ces nouvelles pratiques est à approfondir et des tests de filières sont nécessaires en laboratoire et en situation réelle.

De plus explorer la viabilité économique des filières et la massification du gisement annuel en gérant de façon commune les sédiments pluviaux urbains et autoroutiers semble également nécessaire pour avancer sur la thématique .

La majorité des sédiments urbains ne sont pas considérés comme dangereux. Cependant pour ceux qui le sont depuis l' Arrêté du 4 juin 2021 fixant les critères de sortie du statut de déchet pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement, le droit français rend possible leur valorisation. Aujourd'hui, il est possible pour les filières concernées d'accepter ces sédiments "dangereux".

Les critères d'acceptation pour la valorisation des sédiments dangereux peuvent limiter la valorisation des sédiments urbains, non pas par leur dangerosité mais en particulier du fait de leurs propriétés physico-chimiques pas forcément adaptées à ces filières (quantité de matière organique, finesse, concentrations en contaminants).

Des filières spécifiques aux sédiments urbains, en massifiant leur quantité seraient intéressantes. Le fait de traiter simultanément les sédiments de curages urbains et autoroutiers pourrait être une piste intéressante. De plus le développement exponentiel actuel des bassins d'orages pour éviter le déversement des déversoirs d'orage au milieu naturel, risque d'accroître les sédiments en tête de station. Un traitement conjoint des sédiments de curage et des sédiments de fond de bassins d'orage pourrait être également à étudier même si ils sont différents.

L'un des gros freins, est le manque de connaissance sur le gisement et le tonnage. Une des premières étapes selon nous pourrait être d'inciter les collectivités à capitaliser leurs données de curage.

Mais pour avancer sur ce thème, des données de terrain sont nécessaire et à engranger comme cela est réalisé par tout autre ouvrage d'assainissement (la gestion patrimoniale réseau pourrait élargir aux ouvrages techniques de gestion à la source et centralisés des eaux pluviales).

C'est la raison pour laquelle, nous proposons ci-après en annexe 1, les indicateurs de suivi pertinents à compiler, conserver et à capitaliser au sein de chaque collectivité et une méthodologie de caractérisation de ces sédiments en annexe 2 .

### **Pour en savoir plus !**

LIVRABLE 1 DESIR | ÉTAT DE L'ART :  
sur la gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial -  
2022 - [LIEN](#)

LIVRABLE 2 DESIR | SCÉNARIOS DE GESTION ET COMPARAISON MULTICRITÈRE  
|SÉDIMENTS DE L'ASSAINISSEMENT PLUVIAL - 2022- [LIEN](#)

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des voies de valorisation et stockage des sédiments

Type	Dangereux		Non dangereux					Inerte								
Siccité (%)	<30	>30	<30	>30	>50			<30	>30	>50						
MO (%)						<3	<10				<3	<10				
Granulométrie dmax (mm)						<50	>50				<50	>50	<2			
Quantité acceptée				Les quantités doivent correspondre au besoin de l'exutoire	Les quantités doivent correspondre au besoin du chantier				Les quantités doivent correspondre au besoin de l'exutoire	Les quantités doivent correspondre au besoin du chantier			Les quantités doivent correspondre au besoin de l'exutoire	Les quantités doivent correspondre au besoin de l'exutoire		
Exutoire	Traitement Déshydratation	ISDD	Traitement Déshydratation	ISDND	Couche périodique ISDND	Technique routière* (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B5, B6, D1, D2)	Technique routière* (C1, C2, D3)	Technique routière* classe F11	Traitement Déshydratation	ISDI	Remblaiement carrière**/couche ISD	Technique routière* (A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B5, B6, D1, D2)	Technique routière* (C1, C2, D3)	Technique routière* classe F11	Régalage/aménagement paysager	Etanchéité bassin

(\*) : Le guide utilisé pour la définition des caractéristiques du sédiment en technique routière est le Guide des terrassement routiers (SETRA, 2000). Pour déterminer à quelle catégorie il appartient d'autres caractéristiques comme l'indice de plasticité, la valeur en bleu de méthylène ou encore l'état hydrique sont à définir.

(\*\*) : Concernant le remblaiement de carrière, la granulométrie maximale demandée est souvent de 4mm mais aucune réglementation spécifie cette caractéristique. Il faut donc vérifier auprès de la carrière concernée.

Remarques :

- Pour l'utilisation en technique routière, d'autres guides sont utilisables avec des caractéristiques demandées différentes.
- D'autres voies sont envisageables pour les sédiments comme l'envoi en unité de traitement des sables dans une STEP (ou autre plateforme de traitement des sables) ou encore l'envoi dans des plateformes spécialisées en traitement des terres excavées (ex: Neoter Suez). Cependant chaque plateforme à ses propres critères d'acceptabilités.

La classification du sédiment en fonction de la réglementation sur la dangerosité des déchets constitue la clé d'entrée principale de ce tableau, puisque bien souvent elle conditionne le non-emploi de certaines filières.

Il faut ensuite suivre les principales propriétés (siccité, MO, dmax) pour voir quel(s) exutoire(s)/scénario(s) sont envisageables.

Exple. : pour un sédiment non-dangereux, avec peu de MO (<3%MS), plusieurs scénarios de valorisation en technique routière sont envisageables. Selon le dmax, on pourra s'orienter vers des usages adaptés à différentes classes de granulats (se référer ici aux guides en vigueur, et notamment le Guide de terrassement routier pour un détail des différentes classes de matériaux, et leur mise en œuvre).



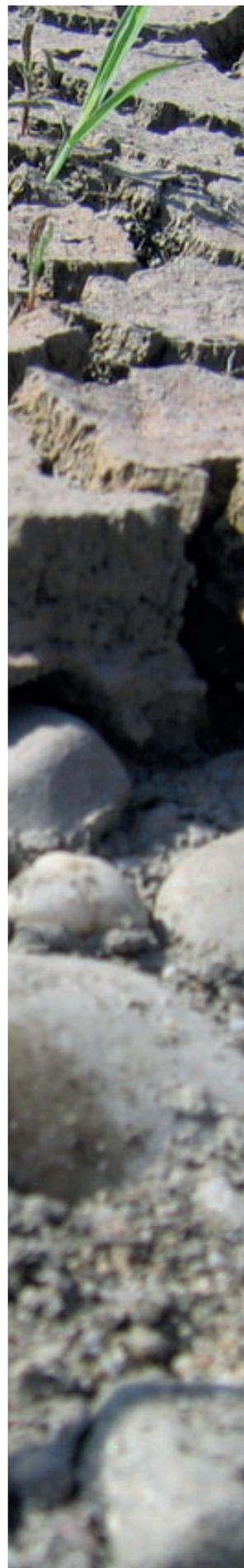
# ANNEXE 1 : DONNEES A CAPITALISER SUR LES CURAGES

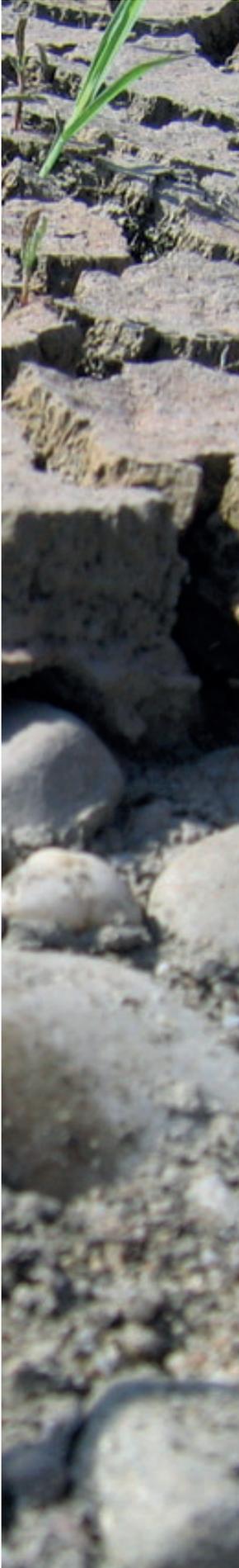
---

Comme indiqué dans le document, un des freins majeurs à notre projet a été le manque de données capitalisées par les collectivités sur leur curage pour déterminer le gisement et lancer une analyse multicritère représentative au niveau national.

Un simple recueil des informations suivantes dans un tableur permettrait d'alimenter une base de données étayée et d'asseoir des réflexions plus poussées sur les choix de filières au regard des gisements

- Lieu
- date du curage
- type d'ouvrage
- date du précédent curage
- taille de l'ouvrage
- quantité de sédiment curé
- analyses réalisées
- nombre de prélèvements d'échantillons
- méthode de prélèvements des échantillons
- résultats d'analyses ( lier un fichier)
- filière choisie d'élimination ou de traitement
- coût global et ou par postes de cette élimination





# **ANNEXE 2 : PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DE CARACTÉRISATION ET DE GESTION DE SÉDIMENTS URBAINS**

---

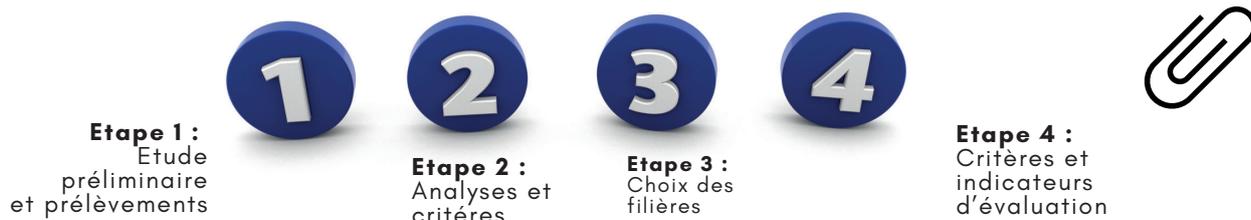
La caractérisation des sédiments de bassin est une étape préalable à toute opération de gestion. Le choix des filières de gestion des sédiments excavés doit être fait en prenant en compte leur état de pollution et leurs caractéristiques granulométriques .

Le gestionnaire des infrastructures est considéré comme producteur des sédiments, et à ce titre, il est responsable durant toutes les étapes de gestion ex-situ. Il doit :

- caractériser de manière optimale le gisement de sédiments,
- communiquer toutes les informations nécessaires à la valorisation ou l'élimination (Code de l'environnement - Article L541-7, 2020).

C'est également le gestionnaire qui doit veiller à ce que la filière choisie soit sans danger pour la santé humaine et l'environnement (Code de l'environnement - Article L541-2, 2010, Article L541-1, 2020) .

Cette partie présente quelques étapes considérées comme indispensables de caractérisation, telles que les étapes d'échantillonnage et d'analyse. Ces informations sont issues des recherches , et de la bibliographie existante sur le thème.



## **1** **ETAPE 1 : Etude préliminaire, plan d'échantillonnage et prélèvements**

Ce paragraphe s'appuie principalement sur les résultats d'une étude du Laboratoire des Ponts et Chaussées (LCPC) retranscrits au sein du "*Guide technique : Recommandations pratiques pour la gestion des produits de l'assainissement pluvial*" (Hébrard-Labit 2006), et sur la FICHE TECHNIQUE OTHU N°27 : Echantillonnage des sédiments décantés dans un bassin de rétention/décantation

### **Etude préliminaire**

Il s'agit d'une étude préliminaire, historique et documentaire visant à recenser les informations disponibles sur le type de contamination (nature, quantité, localisation), ses origines (sources accidentelles ou chronique) et les caractéristiques du site. Si elle est couplée à la définition des objectifs (en termes d'efficacité de la dépollution, de risques d'exposition, de performances hydrauliques...) et des contraintes (coûts, main d'œuvre, volumes...) permet d'identifier la méthode d'échantillonnage la plus adaptée.

### **Plan d'échantillonnage**

Il s'agit d'établir un plan précisant la localisation et la répartition des points de prélèvements ainsi que le mode opératoire et le nombre de prises et d'échantillons.

### **Nombre et répartition des prélèvements**

Le nombre de prélèvements doit être adapté selon l'aire surfacique et selon que la donnée recherchée est une concentration moyenne ou maximale.

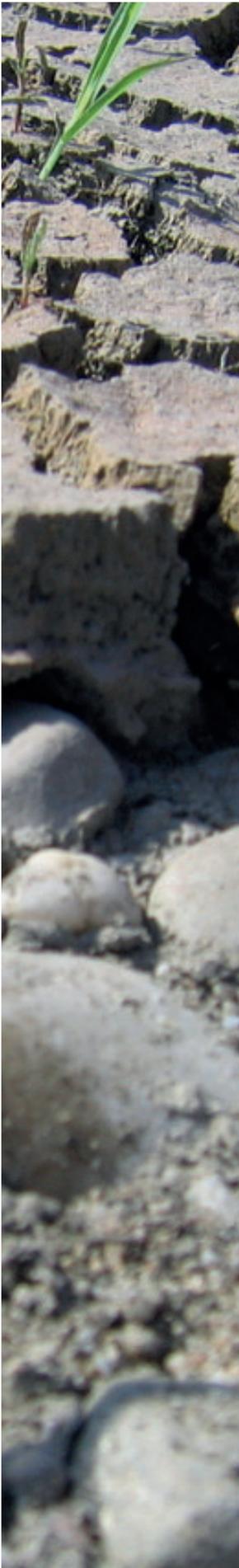
Pour obtenir un échantillon "moyen" représentatif dans le cas d'une surface de bassin supérieure à 5000 m<sup>2</sup>, il peut être nécessaire de réaliser plus d'une vingtaine de prélèvements (Hébrard-Labit 2006).

Lorsque les zones d'accumulation de sédiments et de contaminations n'ont pas été clairement identifiées, la répartition de ces prélèvements peut se faire de manière systématique par maillage. Dans le cas contraire il est possible de se baser sur les données de répartition. Un échantillonnage aléatoire sera privilégié pour les bassins plutôt homogènes. Dans le cas de dépôts plus hétérogènes, l'échantillonnage peut être adapté. Par exemple, prélever dans les zones les plus souvent en eau peut être judicieux pour obtenir les concentrations maximales en métaux lourds dans le cas d'un bassin d'infiltration (De Becdelièvre et al. 2008).

Attention : la moyenne est une donnée intéressante mais si le gestionnaire a fait plusieurs échantillons alors l'écart type entre les échantillons est également précieuse (concentration minimale et maximale)

### **Type d'échantillonnage**

Dans le cas des bassins, l'échantillonnage peut être séquentiel. Le principe est d'échantillonner jusqu'à ce que la précision obtenue soit satisfaisante. Une telle procédure permet, de manière rigoureuse, d'interrompre l'échantillonnage dès que l'information obtenue convient. Elle se base sur un modèle qui permet d'estimer la variance d'une variable au sein d'une parcelle à partir de la moyenne estimée sur un certain nombre d'observations.



Ainsi le prélèvement est réalisé pour une profondeur donnée.



Il est alors possible de s'adapter à la structure de l'ouvrage et d'échantillonner les différentes couches du dépôt. Cette solution est à privilégier car la pollution peut être répartie différemment en fonction de la profondeur (Tedoldi et al. 2019).

Une autre possibilité est la réalisation d'un échantillonnage composite. C'est-à-dire un mélange homogène de différentes prises. La masse de la prise est alors pondérée par rapport à la hauteur des sédiments dans le cas où l'épaisseur des dépôts est variable. Enfin, le prélèvement ponctuel moyen est une technique rapide et simple se faisant sur une profondeur importante avec mélange des différents horizons.

De façon générale, la masse des échantillons prélevés doit être en cohérence avec la granulométrie. Pour les eaux pluviales un échantillon de 500g semble adapté. Si nécessaire, utiliser la méthode des quarts pour réduire la taille d'un échantillon composite par exemple. Enfin, échantillonner en bordure de bassin est déconseillé pour limiter les effets de bord dus notamment à la végétation.

### **Considérations pour les pratiques de prélèvement**

En ce qui concerne les outils de prélèvement, le choix dépend de la présence d'eau et de la profondeur d'échantillonnage.

- En milieu sec, une pelle ou cuillère peuvent être utilisées à moins de 50 cm de profondeur mais une tarière à main sera privilégiée pour des profondeurs plus importantes.
- En milieu aquatique, un carottier ou une pelle mécanique peuvent être utilisés pour un sédiment liquide à semi-liquide alors qu'un tube en PVC sera privilégié pour les sédiments semi-liquides voire solides.

Il est recommandé de faire réaliser les prises par 2 personnes formées et équipées de gants propres jetables. Chacune des prises doit être réalisée dans les mêmes conditions que les autres et correspondre à une même quantité de matériaux prélevée.

Le laboratoire d'analyse choisi peut indiquer les précautions à respecter. Pour éviter un développement notable de l'activité microbienne et ne pas modifier la distribution initiale des polluants, les échantillons sont généralement conservés à l'abri de la lumière et à une température inférieure à 4°C (Saulais 2011). Le laboratoire fournit généralement le flaconnage et indique les modalités de transport.

Les récipients de stockage peuvent être de natures différentes selon les substances analysées. Une fiche de suivi permet de transmettre toutes les informations nécessaires à l'analyse, le questionnaire doit notamment indiquer les modalités d'échantillonnage (Vaillant et al. 2020).

Outre les prélèvements et l'envoi en laboratoire, certains outils et capteurs qui n'ont pas été présentés dans ce paragraphe permettent d'obtenir des résultats analytiques directement sur le terrain. Ils se révèlent très intéressants dans un objectif de suivi de la qualité des sédiments.

## 2 ETAPE 2 : Analyses et critères



Le laboratoire d'analyse est choisi par le gestionnaire selon la qualité, la proximité, les délais et les coûts engendrés. Il procède aux opérations de caractérisation des sédiments. Afin de limiter les coûts, l'analyse se limite généralement à l'estimation de la contamination et des risques environnementaux. Néanmoins, les informations relatives aux compositions chimiques et physiques permettent d'organiser une gestion pertinente, compte-tenu des particularités du gisement.

### Analyse de dangerosité

Pour déterminer le devenir des sédiments, une évaluation de la non-dangerosité devra être réalisée. Cette évaluation peut être conduite en suivant le protocole proposé pour les sédiments de dragage et présenté dans le Guide d'application relatif à l'acceptabilité environnementale de sédiments en technique routière (Vaillant et al. 2020).

#### Les 15 propriétés de danger → une positive = Déchet dangereux

HP 1 : Explosif	HP 2 : Comburant
HP 3 : Inflammable	HP 4 : Irritant - irritation cutanée et lésions oculaires
HP 5 : Toxicité spécifique pour un organe cible (STOT) / toxicité par aspiration	HP 6 : Toxicité aigüe
HP 7 : Cancérogène	HP 8 : Corrosif
HP 9 : Infectieux	HP 10 : Toxique pour la reproduction
HP 11 : Mutagène	HP 12 : Dégagement d'un gaz à toxicité aigüe
HP 13 : Sensibilisant	HP 14 : <u>Ecotoxique</u>

Fixées par la directive cadre déchets (2008/98/CE), révisée par le règlement 1357/2014/UE et la décision 2014/955/UE. Si le déchet possède au moins une propriété de danger, il est classé comme dangereux.

Parmi les 15 propriétés de danger existantes, la vérification de la dangerosité doit être au minimum établie sur la base des propriétés HP 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13 et 14, selon les exigences du Ministère en charge de l'Environnement. Une démarche d'évaluation simplifiée a été proposée pour les propriétés citées, à l'exception de HP 14. Des seuils exprimés en mg/kg de matière sèche pour les polluants les plus préoccupants ont été proposés ci-après. Si le sédiment présente des valeurs en-dessous de ces seuils, cela permet de garantir sa non-dangerosité.

Paramètre	SEUILS PERMETTANT DE GARANTIR LE CARACTERE NON DANGEREUX D'UN SEDIMENT	
	AU TITRE DES PROPRIETES DE DANGER HP 4 à 8, HP 10, HP 11 ET HP 13 Démarche simplifiée (mg/kg de matière sèche)	AU TITRE DE LA PROPRIETE HP 14 (S1 ; mg/kg de matière sèche)
Arsenic	330	30
Cadmium	530	2
Chrome VI	250	150
Cuivre	4000	100
Mercurure	500	0,001
Nickel	130	50
Plomb	1000	100
Zinc	7230	300
PCB (7 congénères)	50	22,8
HAP (16 US-EPA)	500	0,680
Tributylétain	3000	0,1

Seuils permettant de garantir le caractère non dangereux d'un sédiment au titre des propriétés de danger HP 4 à 8, HP 10, HP 11, HP 13 et HP 14; adapté de (Pandard 2016; Vaillant et al. 2020)



## Ecotoxicité

La simple mesure des polluants par analyse chimique ne permet pas d'évaluer les conséquences d'un mélange de polluants donnés (C. Gonzalez-Merchan et al. 2014). Concernant l'évaluation de la propriété HP 14 relative à l'écotoxicité des sédiments, un protocole précis est préconisé par le Ministère en charge de l'environnement pour les sédiments (Pandard 2016). Dans un premier temps, les concentrations en polluants des sédiments sont confrontées à des seuils de référence (S1). Si aucune concentration n'est supérieure à ces valeurs seuils, les polluants ne sont pas dangereux au regard de la propriété HP14. Dans le cas contraire, il faut procéder à des essais écotoxicologiques.

- Lixiviats

- o Mesure de la conductivité électrique comme indicateur de la salinité résiduelle

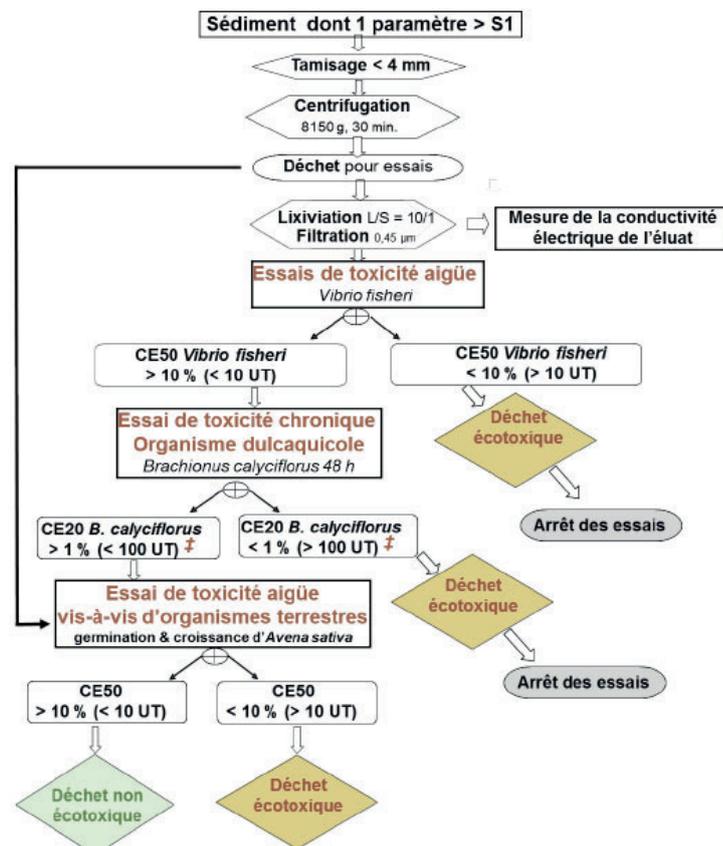
- o Essai de toxicité aiguë utilisant les bactéries *Vibrio fischeri* (basé sur l'inhibition de la luminescence)

- o Essai de toxicité chronique utilisant les bactéries *Brachionus calyciflorus* (basé sur l'inhibition de leur croissance)

- Sédiments centrifugés et lixiviats

- o Essai de toxicité aiguë utilisant l'avoine, *Avena sativa* (basé sur l'inhibition de la germination ou croissance des semences)

Protocole permettant de statuer sur la non-dangerosité d'un sédiment au regard de la propriété de danger HP 14 (Pandard 2016)





Si les résultats d'un des tests dépassent le seuil limite préconisé, le déchet est considéré écotoxique et donc dangereux. A noter que dans le cadre des sédiments urbains, Les résultats du projet CABRRES ont montré l'intérêt d'utiliser le test « Ostracodes » pour caractériser le caractère écotoxique de ces sédiments. En effet le test « Ostracodes » est adapté pour le suivi de l'écotoxicité des sédiments des bassins de retenue-décantation, il a notamment été démontré grâce à lui que les sédiments frais (collectés lors d'un événement pluvial) étaient plus écotoxiques que les sédiments maturés (en place depuis plus de 6 mois)- ([Lipeme Kouyi et al. 2018 - TSM](#))

### **Autres tests de caractérisation**

Afin d'orienter les décisions du gestionnaire et de permettre l'acceptation des sédiments dans les différentes filières possibles, une caractérisation physique et chimique est réalisée (Hébrard-Labit 2006).

#### **>Caractérisation physique<**

La caractérisation physique est composée d'une analyse granulométrique et de siccité. Ces deux analyses sont utiles pour connaître la pertinence des traitements et estimer la rentabilité pour une filière donnée.

#### **>Caractérisation chimique<**

La caractérisation chimique est d'une importance cruciale pour l'évaluation des risques associés à la pollution.

- **Analyse en contenu total** : Le laboratoire détermine la teneur en matière organique et la quantité totale de polluants. Pour une valorisation en technique routière, les analyses en contenus totaux doivent être réalisées « a minima pour les paramètres suivants : COT, BTEX, PCB (7 congénères), HCT (C10-C40), HAP (16 US-EPA) et TBT (pour les sédiments marins, estuariens ou portuaires) » (Vaillant et al. 2020).
- **Essais de lixiviation** : Il s'agit de déterminer la quantité de polluants susceptibles d'être relargués par la matrice solide. Pour une valorisation en technique routière, les essais de lixiviation doivent être réalisés suivant les normes NF EN 12457-2 ou NF EN 12457-4 « a minima pour les paramètres suivants : As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, fluorures, chlorures, sulfates, indice phénols, COT et fraction soluble » et tenir compte des résultats de l'étude préliminaire (Vaillant et al. 2020).

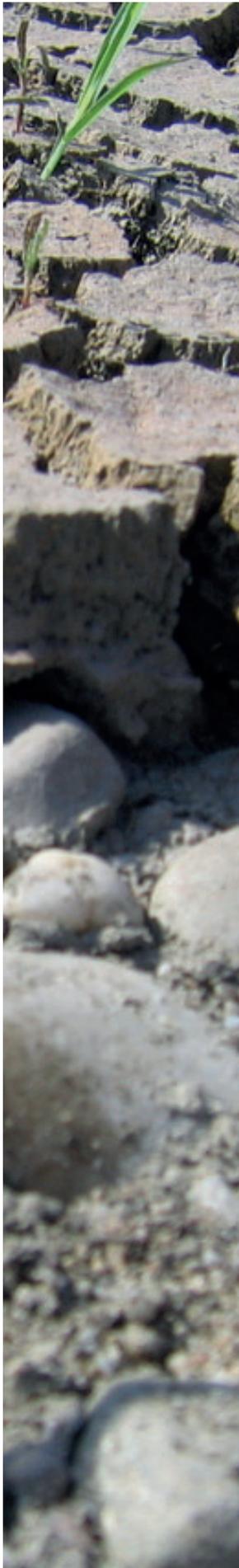
Les informations à propos de la provenance et la quantité de sédiments et du plan d'échantillonnage, les résultats de l'analyse de dangerosité, des essais de lixiviation et des analyses en contenu total seront généralement à fournir quelle que soit la filière choisie. Il est à noter que les exploitants des installations de valorisation peuvent choisir d'accepter ou refuser le chargement même en l'absence des documents préconisés (Vaillant et al. 2020).

## **3**

### **ETAPE 3 :**

#### **Choix des filières : pertinence, contraintes technologiques et économiques**

Cette partie propose quelques éléments de réflexion à l'intention des gestionnaires au regard des résultats de DESIR mais reste à compléter.



## Composition et contaminants

### • POUR UNE VALORISATION

La caractérisation permet de définir le besoin selon la spécificité du gisement.

Pour envisager une valorisation en technique routière, le tableau ci-dessous (Vaillant et al. 2020) présente les valeurs limites à respecter par le matériau selon les usages. Les résultats de la caractérisation croisés avec ces données permettent d'identifier les polluants problématiques et d'envisager les traitements ou mélanges nécessaires. Les usages de type 1 sont les moins exigeants vis-à-vis de la pollution métallique. Toutefois, l'étude citée précédemment (Zhu et al. 2020) montre que les sédiments de Django Reinhardt contiennent des teneurs en pollution métallique 10 à 100 fois plus élevées que les seuils pour le chrome, le cuivre, le nickel et le plomb. Dans ce cas, un traitement préalable et une étape de formulation semblent indispensables.

Conformité environnementale : valeurs limites en fonction des usages (Vaillant et al. 2020)

VALEURS LIMITES A RESPECTER PAR LE MATERIAU ALTERNATIF ET LE MATERIAU ROUTIER			
Paramètres	Usages de type 1	Usages de type 2	Usages de type 3
Analyse en lixiviation (NF EN 12457-2 [12] ou NF EN 12457-4 [13]) exprimée en mg/kg de matière sèche			
As	0.6	0.6	0.6
Ba	36	25	25
Cd	0.05	0.05	0.05
Cr total	4	2	0.6
Cu	10	5	3
Hg	0.01	0.01	0.01
Mo	5.6	2.8	0.6
Ni	0.5	0.5	0.5
Pb	0.6	0.6	0.6
Sb	0.6	0.3	0,08
Se	0.5	0.4	0.1
Zn	5	5	5
Fluorures	60	30	13
Chlorures	10000	5000	1000
Sulfates	10000	5000	1300
Analyse en contenu total exprimée en mg/kg de matière sèche			
COT1	30000/600002		
BTEX	6		
PCB (7 congénères)	1		
HCT (C10-C40)	5003		
HAP (16 US-EPA)	50		
TBT4	0,1		

Usages

1 Ce paramètre n'est pas pertinent pour la vérification de la conformité environnementale d'un matériau routier traité aux liants hydrocarbonés.

2 Une valeur limite de 60 000 mg/kg de matière sèche peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat (analyse en lixiviation).

3 Si un matériau routier traité aux liants hydrocarbonés ne respecte pas cette valeur pour la fraction C10-C40, il peut être jugé conforme si la valeur de HCT ne dépasse pas 300 mg/kg de matière sèche pour la fraction C10-C21.

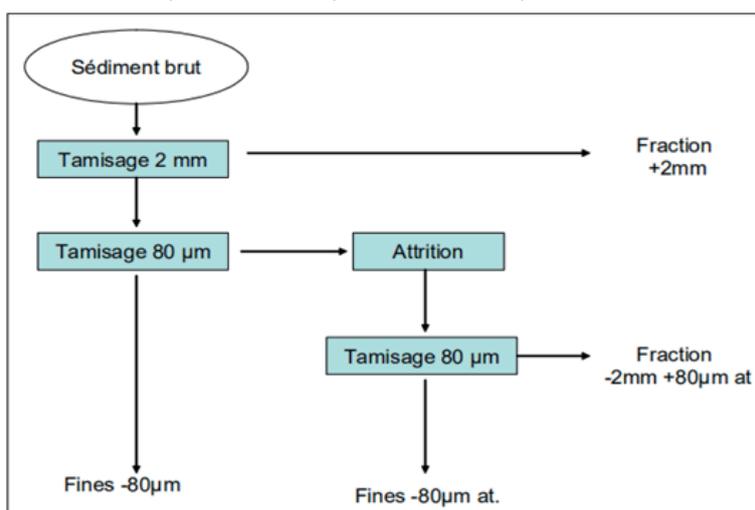


### Intérêt du tri physique par le procédé ATTRISED :

Comme évoqué précédemment, les sédiments peuvent présenter des caractéristiques différentes selon les bassins. Les fractions valorisables et la répartition des polluants peuvent être très variables. Afin de pouvoir juger de l'intérêt du tri physique, un essai préliminaire est judicieux.

Le rapport du LCPC propose une marche à suivre (Véronique Ruban et al. 2010). Il s'agit de prélever de manière représentative un échantillon de 2 kg environ. Après un premier tamisage à 30 mm pour ôter la fraction la plus grossière, les particules sont réparties en 3 fractions granulométriques par tamisage. Le tri physique complet présente un intérêt marqué si la fraction de particules valorisables (dans ce cas compris entre 80 et 2000  $\mu\text{m}$ ) est significative, c'est-à-dire supérieure à 30 % en masse environ. Cette fraction ne doit pas comporter des teneurs en polluants gênantes en vue du stockage ou de la valorisation. Dans ce cas, l'essai peut être poursuivi par la réalisation d'une attrition sur cette fraction suivie d'un nouveau tamisage pour isoler les fines séparées. L'établissement d'un bilan complet massique et chimique sur les différentes fractions est grandement utile pour quantifier les résultats et évaluer l'efficacité d'un traitement (potentiellement plus complet) à grande échelle.

Schéma du protocole d'essai préliminaire (Véronique Ruban et al. 2010)



*Le procédé ATTRISED fonctionne mais n'est actuellement pas mis en œuvre et commercialisé. L'utilisation du procédé ne présente un intérêt que pour une certaine composition de sédiments. De plus, l'utilisation d'un tel traitement est coûteuse et nécessite une grosse quantité de sédiment pour être rentable.*

### **Estimation économique : coûts directs et influence du volume**

Les considérations économiques ont un poids considérable pour la prise de décision. Le Tableau présente une estimation des coûts de traitements par tonne pour différents choix possibles. La proximité entre le gisement et les installations de la filière choisie importe puisqu'il faut comptabiliser les coûts de transport.



Estimation des coûts en 2010 de traitements ou d'élimination  
(coûts d'installation non pris en compte, adapté de Véronique Ruban et al. 2010)



Traitement	Estimation du coût (euros)
Dispositif d'attrition	40 à 60 par tonne de matière sèche (coût du traitement hors assistance technique et besoin énergétique)
Dispositif de traitement des sables	100 à 120 par tonne
Épandage	6 par m <sup>3</sup>
Transport sur 50 km	4 à 4,5 par tonne
Transport sur 120 km	7,2 à 8,4 par tonne
Stockage (ISDND)	70 à 150 par tonne
Incinération en four ou cimenterie	110 à 320 par tonne

Ce tableau a pour but d'informer à propos des coûts bruts de traitement mais il reste très limité. Le volume de sédiments à gérer rentre également en compte. Ces coûts ont été utilisés au sein de notre étude et ont permis de réaliser les analyses multicritères du livrable 2.

En termes de coûts de mise en œuvre et de traitement, la valorisation est plus facilement envisageable pour un volume important, de l'ordre de 50 m<sup>3</sup> ou 100 tonnes de matière sèche (Véronique Ruban et al. 2010).

Pour un volume inférieur de sédiments pollués, à défaut de nouvelles voies de valorisation, les filières d'éliminations semblent à l'heure actuelle l'issue la plus raisonnable économiquement.

Il est possible de mélanger les sédiments de plusieurs bassins ou de procéder à des mélanges avec des matériaux similaires pour amortir les coûts. Par exemple, le mélange avec les boues de curage des stations d'épuration est avantageux d'un point de vue économique. Pourtant les polluants contenus dans les sédiments de l'assainissement pluvial (éléments métalliques, hydrocarbures...) ne sont pas les mêmes que ceux des boues de station d'épuration. Cela peut impacter les rendements de dépollution et conduire à des traitements peu adaptés aux résultats médiocres. Il semble plus judicieux de choisir des matériaux aux propriétés les plus semblables possibles (en termes d'apports de polluants et de granulométrie) pour une gestion commune. Réunir les sédiments de différents bassins présentant des contextes géologiques et anthropiques similaires peut être compliqué par la diversité et l'hétérogénéité des bassins. En revanche, un traitement commun à moindre coût pourrait permettre ensuite une valorisation en technique routière.

Certains gestionnaires autoroutiers diffèrent l'élimination ou la valorisation des boues grâce aux lits de séchages (Joveniaux et al. 2009). Lorsque cette solution fait office de « stockage » elle peut permettre de gérer des volumes plus importants et être moins contraint par la discontinuité des flux tout en assurant une déshydratation et un traitement biologique. Il reste légitime de s'interroger sur l'absence de transferts de polluants vers le milieu naturel. Même si les eaux de ruissellement sont recueillies, des expositions accidentelles ou dues à l'émission d'aérosols ne semblent pas impossibles.



### Coûts indirects et intérêt de la valorisation

La valorisation présente un intérêt économique extrêmement limité, même dans des conditions optimales. Pour des matériaux recyclés du BTP, le prix de revente en technique routière est de l'ordre d'une dizaine d'euros hors taxe par tonne. C'est peu au regard des coûts nécessaires pour traiter, élaborer et formuler les sédiments. Cela-dit, le stockage et l'élimination sont également coûteux.

Outre les coûts économiques directs, d'autres conséquences plus difficiles à évaluer devraient être considérées lors de la décision. Par exemple, les étapes de transport causent inévitablement des émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants atmosphériques. L'impact environnemental, en raison des dégâts causés, est lui-même à l'origine de coûts sur le long terme. Il faut ajouter à cela le bruit, et les problèmes de sécurité routière et de gestion des infrastructures (Véronique Ruban et al. 2010). Pour les techniques de traitement et les filières d'élimination ou de valorisation, la pollution émise ou réémise (ainsi que les voies d'exposition) et les coûts énergétiques et liés aux infrastructures sont à considérer.

C'est aussi de ce point de vue que la valorisation est intéressante : la raréfaction des ressources et les conditions de leur exploitation font des sédiments de l'assainissement pluvial un gisement non négligeable. Leur usage permet d'économiser les matières premières et l'énergie nécessaire à l'extraction et au transport de ces dernières, tout en évitant le stockage.

## 4

### ETAPE 4 : Proposition de critères et d'indicateurs d'évaluation de la filière retenue

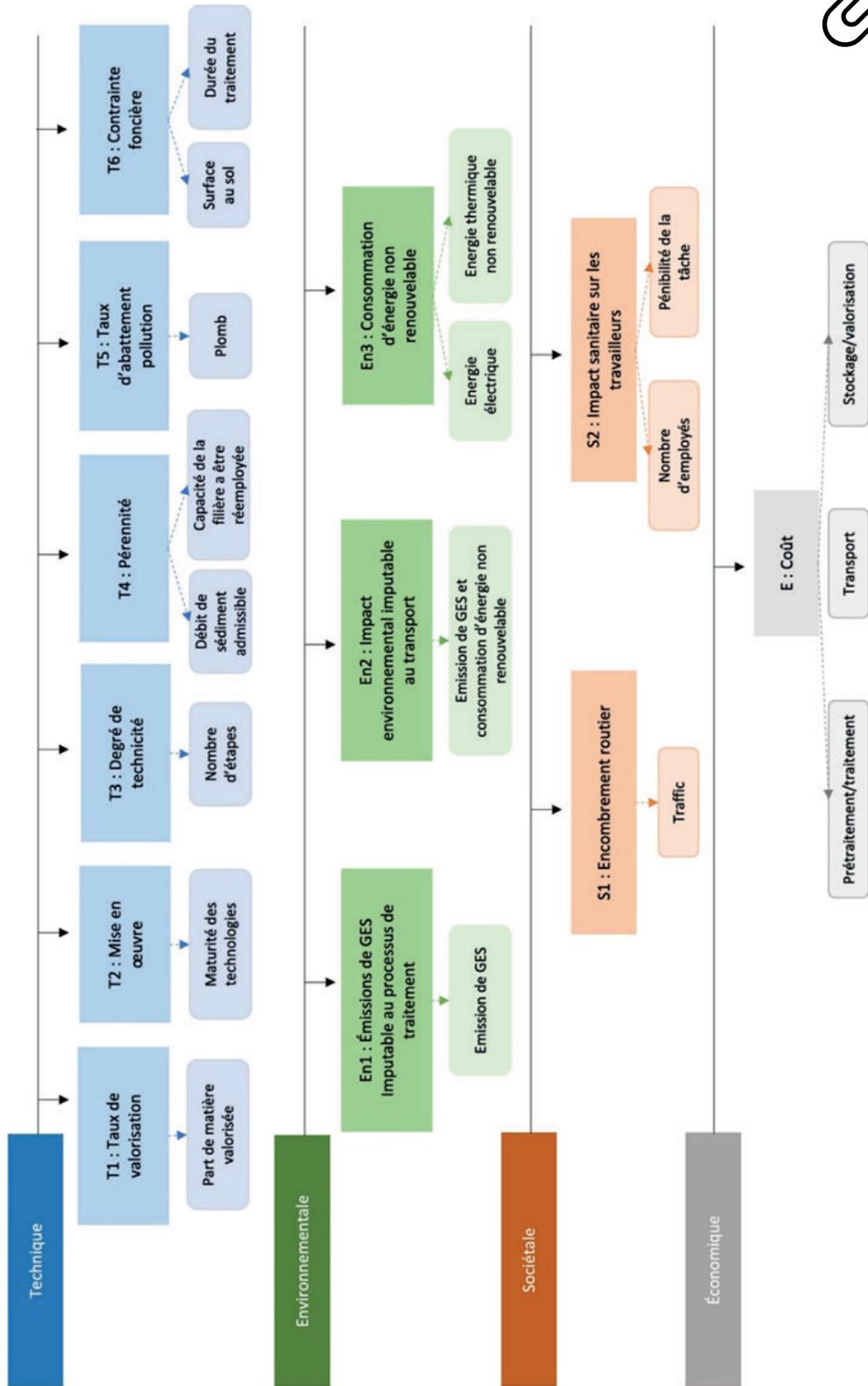
A l'issue de ce travail, douze critères et indicateurs (économiques, environnementaux, techniques ou encore sociétaux) ont été définis et illustrés dans la figure ci-après.

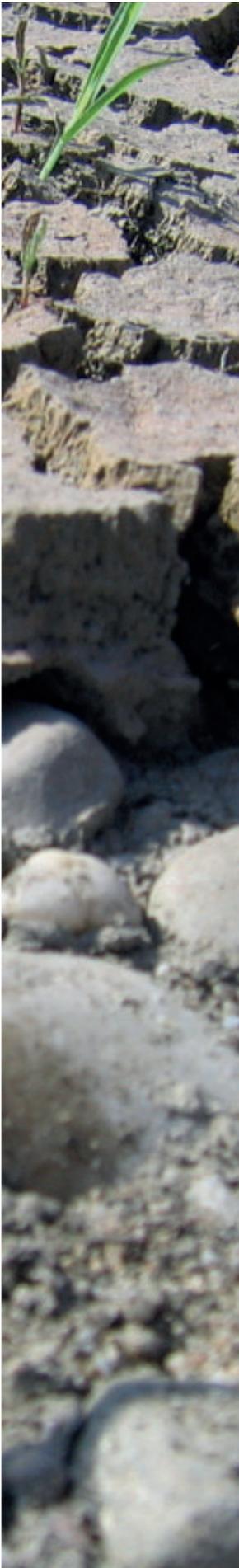
Ceux-ci ont été choisis car ils nous paraissaient incontournables, mais également car nous disposions pour ceux-ci de données de performances pour les sites étudiés.

Cependant, même si des procédures existent, aucune méthode ne peut garantir le respect des trois principes, exhaustivité, cohérence et non redondance, pour un nombre de critères important.

Il est d'ailleurs important de garder à l'esprit que multiplier les critères n'améliore pas l'analyse (Barraud, Miramond, et Le Gauffre 2004). Selon Bouyssou (1989), au-delà d'une douzaine de critères, la charge cognitive est trop importante ne permettant pas aux décideurs d'évaluer significativement les informations.

Système d'évaluation proposé au sein du programme DESIR





# ANNEXE 3 : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Amar, M., Benzerzour, M., Kleib, J., Abriak, N.-E., 2020. From dredged sediment to supplementary cementitious material: characterization, treatment, and reuse. *International Journal of Sediment Research*. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.06.002>

Beddaa, H., Ouazi, I., Ben Fraj, A., Lavergne, F., Torrenti, J.-M., 2020. Reuse potential of dredged river sediments in concrete: Effect of sediment variability. *Journal of Cleaner Production* 265, 121665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121665>

Charrasse, B., Hennebert, P., Doumenq, P., 2018. Mobility of PAHs, PCBs and TPHs from Fresh and Aged Dredged Sediments. *Waste Biomass Valor* 9, 1231–1241. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9864-6>

Chocat, B., Bertrand-Krajewski, J.-L., Barraud, S., 2007. Eaux pluviales urbaines et rejets urbains par temps de pluie. *Les techniques de l'ingénieur*.

Couvidat, J., Benzaazoua, M., Chatain, V., Bouamrane, A., Bouzahzah, H., 2016. Feasibility of the reuse of total and processed contaminated marine sediments as fine aggregates in cemented mortars. *Construction and Building Materials* 112, 892–902. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.186>

Couvidat, J., Chatain, V., Bouzahzah, H., Benzaazoua, M., 2018. Characterization of how contaminants arise in a dredged marine sediment and analysis of the effect of natural weathering. *Science of The Total Environment* 624, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.130>

De Becdelièvre, L., S. Barraud, B. Clozel, H. Gaboria, A. Seron, J.-M. Come, S. Kaskassian, et al. 2008. « L'infiltration en questions – Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain. » Guide de préconisation pour la conception et la gestion des ouvrages de rétention-d'infiltration. Programme EcoPluies. Agence Nationale de la Recherche (ANR), lien

Delamain, M., Rodriguez, F., 2016. Performances épuratoires des bassins de retenue et des noues – rôle de la rétention et de la mobilisation des micropolluants (Rapport final).

Flanagan, Kelsey, Godecke-Tobias Blecken, Helène Österlund, Kerstin Nordqvist, et Maria Viklander. 2021. « Contamination of Urban Stormwater Pond Sediments: A Study of 259 Legacy and Contemporary Organic Substances ». *Environmental Science & Technology* 55 (5): 3009-20. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07782>

Gonzalez-Merchan, C., Y. Perrodin, C. Sébastien, C. Bazin, T. Winiarski, et S. Barraud. 2014. « Ecotoxicological Characterisation of Sediments from Stormwater Retention Basins ». *Water Science and Technology* 69 (5): 1045-51. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.006>

Hébrard-Labit, Céline. 2006. « Guide technique : Recommandations pratiques pour la gestion des produits de l'assainissement pluvial ». Guide technique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPD).

Lipeme Kouyi, G., S. Barraud, C. Becouze-Lareure, D. Blaha, Y. Perrodin, L. Wiest, J.-B. Aubin, et al. 2018. « Caractérisation des sédiments d'un bassin de retenue-décantation des eaux pluviales et éléments pour la gestion ». *Techniques Sciences Méthodes*, no 9 (septembre): 65-75. <https://doi.org/10.1051/tsm/201809065>

LIVRABLE 1 DESIR | ÉTAT DE L'ART : sur la gestion opérationnelle des sédiments de l'assainissement pluvial - 2022 - LIEN  
LIVRABLE 2 DESIR | SCÉNARIOS DE GESTION ET COMPARAISON MULTICRITÈRE | SÉDIMENTS DE L'ASSAINISSEMENT LUVIAL - 2022- LIEN

Menger, P. 2005. « Approches internationales en matière d'évaluation des risques sur les sites pollués : le cas des Pays-Bas ». RP-54370-FR. BRGM.

Moura, P., Barraud, S., Baptista, M., 2009. Méthode d'évaluation des performances des systèmes d'infiltration des eaux de ruissellement en milieu urbain. Doc'INSA, Villeurbanne.

Pandard, Pascal. 2016. « Classification réglementaire des déchets - Guide d'application pour la caractérisation en dangerosité ». INERIS.

Pétavy, F., Ruban, V., Conil, P., Viau, J.-Y., 2009. Attrition efficiency in the decontamination of stormwater sediments. *Applied Geochemistry* 24, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.09.014>

Ruban, V., 2005. Caractérisation et gestion des sédiments de l'assainissement pluvial, Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris.

Ruban, Véronique, G. Arnaud, P. Conil, F. Pétavy, et J.-Y. Viau. 2010. « Traitement et valorisation des sédiments de l'assainissement pluvial routier et urbain - Apport des tris physiques ». EG 24. ETUDES ET RECHERCHES DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES - SERIE : GENIE URBAIN. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPD); Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPD). <https://doi.org/10.3829/erlpc.eg24-fr>

Saulais M. (2011) Développement végétal et affinité avec les métaux dans les bassins de rétention / infiltration. Thèse de doctorat : ENTPE, France. Lien

Scordia, P.-Y., 2008. Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollués et traités dans les matériaux routiers. Ecole Centrale de Lille.

Sedilab, 2021b. Fonds de bassins du Parc Barbieux (Roubaix) [WWW Document]. Sedilab. URL <https://www.sedilab.com/portfolio-item/fonds-de-bassin/> (accessed 7.15.21).

SETRA, 1995. PRODUITS DE CURAGE DES FOSSES ET DES BASSINS ROUTIERS - QUANTIFICATION, CARACTERISATION ET FILIERES D'ELIMINATION. RAPPORT D'ETUDE 108.

Sutherland, R.A., Tack, F.M.G., Ziegler, A.D., 2012. Road-deposited sediments in an urban environment: A first look at sequentially extracted element loads in grain size fractions. *Journal of Hazardous Materials* 225–226, 54–62. <https://doi.org/10/gm2nj5>

Vaillant, Patrick, Nor-Edine Abriak, Philippe Bataillard, Rodolphe Benaddou, Samira Brakni, Didier Desmoulin, Laurent Eisenlohr, et al. 2020. « Guide d'application - Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en technique routière - Les sédiments de dragage et de curage ». Centre d'Etude et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema).  
---

NF EN 12457-2 (2002) : Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité).

NF EN 12457-4 (2002) Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 4 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 10 mm (sans ou avec réduction de la granularité).





Sédiments/Eaux pluviales

Plus d'informations sur le projet :

[http://www.graie.org/othu/progr\\_desir.htm](http://www.graie.org/othu/progr_desir.htm)

Ce programme est animé par Vincent Chatain, et Julien Couvidat -  
INSA Lyon DEEP avec l'appui de Laëtitia Bacot, Graie

Les partenaires du projets :



Les contributeurs :

Camille Arnault - Agence de l'eau RMC, Laëtitia Bacot - GRAIE/OTHU, Jean-Philippe Bedell - ENTPE LEHNA, Titouan Bouëtard, INSAL DEEP, Julien Couvidat INSAL DEEP, Milena Chabert- INSAL DEEP, Vincent Chatain- INSAL DEEP, Benoit Cournoyer , VetAgra Sup LEM, Blandine Clozel - BRGM, Cécile Delolme - ENTPE, Mathieu Gautier - INSAL DEEP, Wessam Gallia - Vetagro Sup LEM, Claire Gibello- Métropole de Lyon, Manon Kania,-Provadeems, Gislain Lipeme Kouyi - INSAL DEEP, Nelly Maamir - Métropole de Lyon, Damien Tedoldi - INSA DEEP, Thierry Winiarski - ENTPE LEHNA,

(c) Crédits photos : Julien couvidat et Graie /OTHU - Laëtitia Bacot

2023

ÉDITION GRAIE



Avec le soutien de :

