

Analyse des sédiments du canal de Bonpas - Janvier 2022

| | |
|-----------------------|---|
| Référence : | H-44202325-2022-000066-A |
| Rédacteur(s) : | [LE DIOT Christelle] |
| Entité propriétaire : | 44202325 - SERVICE ETUDE EAU ET ENVIRONNEMENT |
| Accessibilité : | Interne EDF |
| Catégorie : | Enregistrement |
| Parc : | |
| Site : | SALONH \ SALON |
| Diffusion : | Benoit GHILARDI (Hydro Med) – Fabrice BOURGEOIS (Hydro Med) – Sébastien MENU (CIH) – François LAUTERS (DTG) |

1. CONTEXTE ET OBJECTIF

Dans le cadre du projet de curage prévu en 2023 du canal de Bonpas situé sur la commune d'Avignon et du nettoyage d'un bassin de décantation sur la commune de Noves (GEH Durance), l'exploitant est chargé d'étudier l'impact environnemental du projet. Cette étude doit intégrer une caractérisation des sédiments, via des analyses classiques et des analyses de valorisation.

Neufs prélèvements de sédiment ont été réalisés par l'exploitant le 28 janvier 2022. Les analyses physico-chimiques et leur interprétation ont été confiées à DTG. L'objectif de ces analyses est d'évaluer la qualité des sédiments à gérer. Cette note présente les résultats principaux de cette étude.

2. RESUME ET CONCLUSION

Les sédiments prélevés dans le canal de Bonpas en janvier 2022 présentent une granulométrie très fine, composée principalement d'argiles et de limons. Les trois échantillons sont homogènes. Ces sédiments sont très peu organiques. L'azote global est essentiellement représenté par de l'azote organique. Les teneurs en fer et en manganèse restent faibles par rapport à un ensemble de retenues EDF.

Les éléments trace métalliques sont présents dans des teneurs faibles pour la plupart. Le Nickel et le Chrome sont toutefois mesurés supérieurs aux seuils TEC, seuils en-dessous desquels des effets toxiques sur des organismes sont peu probables, tout en restant inférieurs aux seuils PEC, seuils au-dessus desquels des effets toxiques sur des organismes sont très probables.

Par ailleurs, les analyses réalisées sur ces sédiments montrent la faible présence de micropolluants organiques (HAP, PCB, et autres pesticides). 4 micropolluants organiques « atypiques » ont tout de même été mesurés mais restent inférieurs aux seuils TEC ou seuils vert du SEQeau V2, seul un micropolluant (Xylène) dépasse le seuil bleu SEQeau V2.

Les seuils S1, seuils issus de la réglementation liée aux opérations sur des sédiments extraits de canaux ou de cours d'eau (Arrêté du 09/08/2006) ne sont pas dépassés. Si l'administration se base sur ces seuils, un **projet de curage** serait soumis à **déclaration** si le volume de sédiments est inférieur à 2 000 m³, sinon il sera soumis à **autorisation**. Le non-dépassement de ces seuils montre le faible potentiel écotoxique de ces sédiments, ils peuvent donc être considérés comme **non dangereux**.

Les seuils définis pour l'acceptabilité d'un matériau sur une installation de stockage de déchets inerte (Arrêté du 12/12/2014) ne sont pas dépassés. **Ces sédiments remplissent ainsi les critères d'admission sur une ISDI.**

Les **voies de valorisation** qui pourraient être envisagées du point de vue de la caractérisation de ces sédiments sont : l'utilisation en **amendement basique de type « Tangué »** (après séchage) et en **matière première pour la fabrication de clinker (cimenterie)**. Les caractéristiques physico-chimiques des sédiments prélevés dans le canal de Bonpas risquent de limiter leur utilisation dans les autres filières de valorisation.

3. PRELEVEMENTS ET ANALYSES REALISEES

3.1. PRELEVEMENTS

Les prélèvements ont été réalisés par l'exploitant le 28 janvier 2022. Neuf prélèvements ont pu être réalisés dans le canal de Bonpas à l'aide d'une tarière. Ces 9 prélèvements ont été mélangés par zone et confectionnés en trois échantillons puis envoyés au laboratoire LDL, au LERM et à AUREA, pour analyses.



Ainsi, les prélèvements 1, 2 et 3 ont été mélangés pour confectionner l'échantillon **Ech1**, les prélèvements 4, 5 et 6 pour confectionner l'échantillon **Ech2** et 7, 8, 9 pour l'échantillon **Ech3**.

3.2. ANALYSES CLASSIQUES

Les analyses classiques ont été réalisées par le laboratoire La Drome Laboratoire (LDL). Les paramètres à analyser ont été choisis en fonction de la réglementation en vigueur. Pour des explications sur les substances, et notamment les éléments trace métalliques, les PCB et les HAP, il est intéressant de se reporter aux fiches techniques réalisées par le CIH et facilement disponibles.

ANALYSES DEMANDEES

Sur la totalité de l'échantillon : Granulométrie

Sur la fraction < 2mm : % Matière sèche tot % Matière sèche minérale % Matière sèche organique

Substances prioritaires de la DCE (tableau 1 de la circulaire DCE 2006/16, si substrat sédiment pertinent)

Nutriments : Azote Kjeldahl, Azote ammoniacal, Nitrates, Nitrites, Azote global, Phosphore total, Orthophosphates

Métaux : Aluminium, Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Fer, Manganèse, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc

HAP (les 16 de la liste EPA) PCB (les 7 PCB indicateurs et les PCB totaux)

Carbone Organique Total BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène) Hydrocarbures (C10-C40)

Autres (préciser) :

Sur l'eau interstitielle : Azote Kjeldahl, Azote ammoniacal, Nitrates, Nitrites, N global, P total, orthophosphates

pH, conductivité Autres (préciser) :

Test de lixiviation normalisé X 30 402 2 : COT sur éluat Indice phénols Fraction soluble

Antimoine, Arsenic, Baryum, Cadmium, Chrome total, Cuivre, Mercure, Molybdène, Nickel, Plomb, Sélénium, Zinc

Fluorures Sulfates Chlorures Autres (préciser) :

3.3. ANALYSES DE VALORISATION (AGRONOMIQUES ET MINERALOGIQUES)

Un échantillon a également fait l'objet d'une « caractérisation afin de pré-orienter les sédiments gérés à terre », telle que décrite dans la note H-E22-2013-01478-FR¹. Cette caractérisation porte sur des critères physiques, chimiques, agronomiques et minéralogiques. Les essais sont regroupés en deux approches de caractérisation l'une « minérale » et l'autre « agronomique ».

Le volet « minéral » a été réalisé au LERM et comprend la détermination des paramètres suivants :

- Paramètres physiques :
 - Argilosité (valeur au bleu et limites d'Atterberg),
 - Analyse granulométrique,
 - Détermination de la teneur pondérale en matière sèche (siccité)
- Paramètres chimiques :
 - Détermination des éléments majeurs (SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, K₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, P₂O₅, TiO₂, sulfates et soufre total),
 - Détermination de la teneur pondérale en matières organiques,
- Paramètres minéralogiques, par diffraction des rayons X :
 - Analyse semi-quantitative des phases cristallines,
 - Analyse semi-quantitative des phases argileuses

Le volet « agronomique » a été réalisé au laboratoire AUREA et comprend la détermination des paramètres physico-chimiques suivants :

- Paramètres physiques :
 - Densité apparente,
 - Teneur en eau
- Paramètres chimiques :
 - Teneurs en éléments nutritifs : N, P, K, Ca, Mg, oligo-éléments,
 - Capacité d'échanges cationiques (CEC),
 - Teneur en matière organique (MO) et carbone organique,
 - pH et conductivité,
 - Teneurs en éléments phytotoxiques : éléments traces métalliques (ETM) et composés traces organiques (CTO),
 - Valeur neutralisante et solubilité carbonique.

***NB** : Un problème d'acheminement des sédiments dans les différents laboratoires AUREA a empêché la réalisation des analyses de type Terre, à savoir :*

- *Teneurs en éléments nutritifs : oligo-éléments,*
- *Capacité d'échanges cationiques (CEC),*
- *Teneur en matière organique (MO) et carbone organique,*
- *pH et conductivité,*
- *Valeur neutralisante.*

¹ Théry F., Anger B., Brochier V. (2013). Caractérisations minimales à réaliser afin de pré-orienter les sédiments gérés à terre vers une voie de valorisation matière ou agronomique. Rapport interne H-E22-2013-01478-FR, EDF R&D, 28 p.

4. PRINCIPAUX RESULTATS

Le cadre réglementaire sur lequel s'appuie cette interprétation est décrit en Annexes 1 et 2. De même, les clés de lecture des graphiques et des résultats sont fournies en Annexe 3.

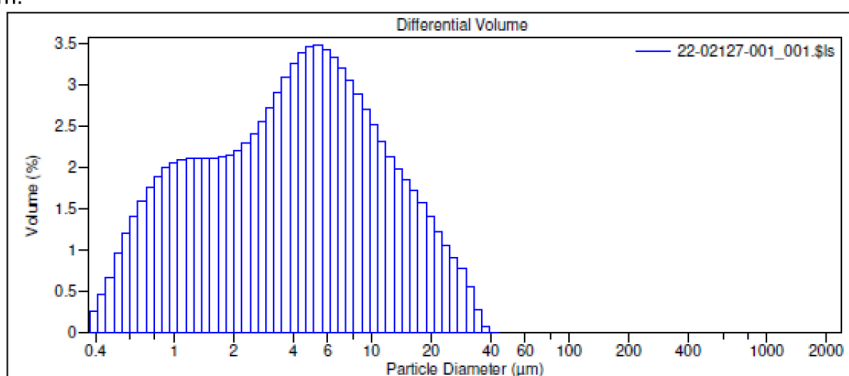
4.1. GRANULOMETRIE

La granulométrie des sédiments prélevés dans le canal de Bonpas est très fine, constituée principalement de limons et d'argiles. **Elle est homogène sur l'ensemble du linéaire.**

4.1.1. Échantillon Ech1

La granulométrie de l'échantillon Ech1 présente uniquement des sédiments inférieurs à 50 µm (limons et argiles), dont environ 95% compris entre 0 et 20 µm.

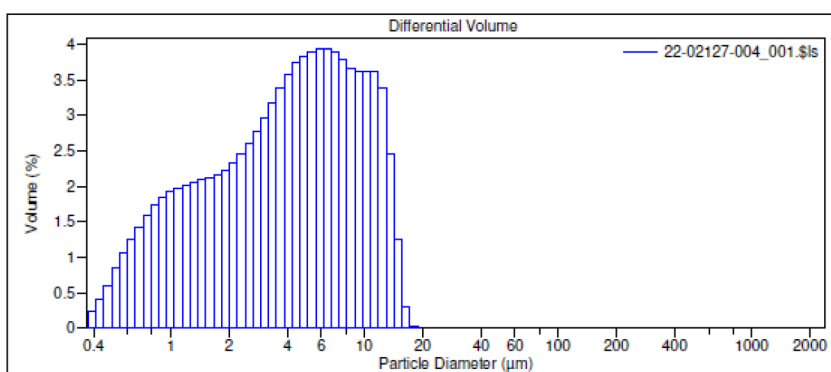
| Fraction (%) | ECH1 |
|----------------|------|
| 0 à 2 µm | 29.0 |
| 2 à 20 µm | 65.5 |
| 20 à 50 µm | 5.4 |
| 50 à 63 µm | 0.0 |
| 63 à 200 µm | 0.0 |
| 200 à 1000 µm | 0.0 |
| 1000 à 2000 µm | 0.0 |
| > 2000 µm | 0.0 |



4.1.2. Échantillon Ech2

La granulométrie de l'échantillon Ech2 est également très fine. La totalité des sédiments est inférieure à 20 µm (argiles et limons).

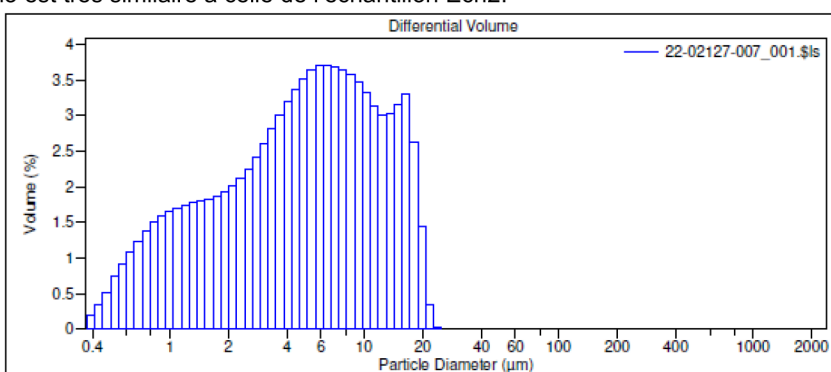
| Fraction (%) | ECH2 |
|----------------|------|
| 0 à 2 µm | 27.5 |
| 2 à 20 µm | 72.5 |
| 20 à 50 µm | 0.0 |
| 50 à 63 µm | 0.0 |
| 63 à 200 µm | 0.0 |
| 200 à 1000 µm | 0.0 |
| 1000 à 2000 µm | 0.0 |
| > 2000 µm | 0.0 |



4.1.3. Échantillon Ech3

La granulométrie de l'échantillon Ech3 est très similaire à celle de l'échantillon Ech2.

| Fraction (%) | ECH3 |
|----------------|------|
| 0 à 2 µm | 23.7 |
| 2 à 20 µm | 75.4 |
| 20 à 50 µm | 0.9 |
| 50 à 63 µm | 0.0 |
| 63 à 200 µm | 0.0 |
| 200 à 1000 µm | 0.0 |
| 1000 à 2000 µm | 0.0 |
| > 2000 µm | 0.0 |



Le refus pondéral à 2 mm (graviers, débris végétaux, ...) de ces trois échantillons est nul.

À noter que les analyses présentées dans cette note ont été réalisées uniquement sur la fraction inférieure à 2 mm.

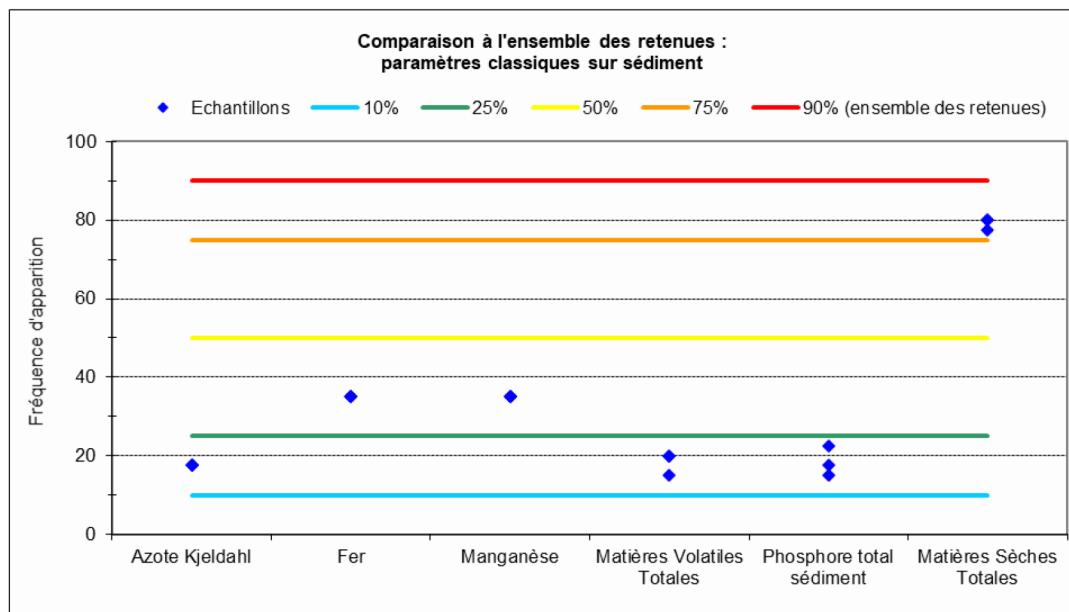
4.2. PHYSICO-CHIMIE CLASSIQUE DU SEDIMENT

En termes de paramètres physico-chimiques, les trois échantillons présentent des résultats assez similaires.

| Code Sandre | Parametre | Unité | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
|-------------|----------------------------|---------------|-------|-------|-------|
| | CLASSIQUE | | | | |
| 1307 | Matières Sèches Totales | % | 65.50 | 65.50 | 63.70 |
| 1434 | Matières Volatiles Totales | g/kg MS | 45.00 | 45.00 | 41.00 |
| 1841 | Carbone Organique Total | g/kg MS | 7.75 | 8.34 | 8.06 |
| 1551 | Azote global | g(N)/kg MS | 1.04 | 1.10 | 1.05 |
| 1319 | Azote Kjeldahl | g(N)/kg MS | 1.04 | 1.10 | 1.05 |
| 1335 | Azote amoniacal | g(N)/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1339 | Nitrites | mg(NO2)/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1340 | Nitrates | mg(NO3)/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1350 | Phosphore total sédiment | g/kg MS | 0.49 | 0.42 | 0.46 |
| 1433 | Orthophosphates | mg(PO4)/kg MS | 6.30 | 3.90 | 4.30 |
| 1393 | Fer | g/kg MS | 22.35 | 21.70 | 22.06 |
| 1394 | Manganèse | g/kg MS | 0.52 | 0.50 | 0.51 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Les sédiments des échantillons Ech1, Ech2, et Ech3 sont très peu chargés en matière organique, en azote et en phosphore. L'azote global est essentiellement représenté par de l'azote organique (Azote Kjeldahl) et sa concentration est plutôt faible par rapport à un ensemble de retenues EDF. Les teneurs en fer et en manganèse sont faibles par rapport à un ensemble de retenues EDF.



4.3. PHYSICO-CHIMIE CLASSIQUE DE L'EAU INTERSTITIELLE

| Code Sandre | Parametre | Unité | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
|-------------|------------------------|-----------|--------|--------|---------|
| | CLASSIQUE | | | | |
| 1551 | Azote global | mg(N)/L | 5.80 | 7.70 | 14.90 |
| 1319 | Azote Kjeldahl (N) | mg/L | 5.80 | 7.70 | 14.90 |
| 1335 | Ammonium (NH4) | mg(NH4)/L | 4.67 | 7.25 | 15.64 |
| 1339 | Nitrites | mg(NO2)/L | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1340 | Nitrates | mg(NO3)/L | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1350 | Phosphore Total (en P) | mg(P)/L | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1433 | Orthophosphates (PO4) | mg(PO4)/L | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1302 | pH | Unité pH | 7.70 | 7.60 | 7.50 |
| 1303 | Conductivité | µS/cm | 737.00 | 738.00 | 1022.00 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

4.4. ELEMENTS TRACE METALLIQUES

| Code Sandre | Parametre | Unité | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
|-------------|-----------|----------|-------|-------|-------|
| 1369 | Arsenic | mg/kg MS | 6.20 | 6.20 | 6.50 |
| 1382 | Plomb | mg/kg MS | 13.40 | 12.80 | 13.10 |
| 1383 | Zinc | mg/kg MS | 71.30 | 68.80 | 66.60 |
| 1386 | Nickel | mg/kg MS | 36.90 | 34.30 | 33.90 |
| 1387 | Mercure | mg/kg MS | 0.04 | 0.04 | 0.06 |
| 1388 | Cadmium | mg/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1389 | Chrome | mg/kg MS | 65.10 | 61.30 | 58.80 |
| 1392 | Cuivre | mg/kg MS | 18.60 | 17.90 | 17.70 |
| 1393 | Fer | g/kg MS | 22.35 | 21.70 | 22.06 |
| 1394 | Manganèse | g/kg MS | 0.52 | 0.50 | 0.51 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Légende :



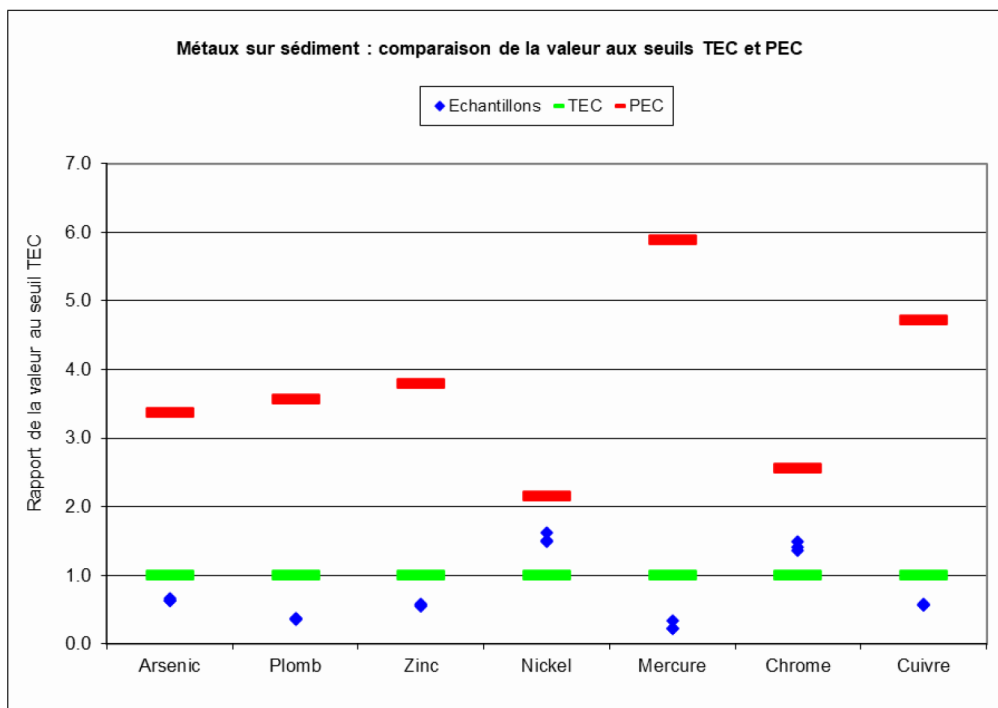
Teneur supérieure au seuil TEC



Teneur supérieure au seuil PEC

Pour le **Chrome** et le **Nickel**, les seuils TEC, seuils en dessous desquels des effets toxiques sur des organismes sont peu probables, sont dépassés pour les trois échantillons.

Pour les autres éléments trace métalliques, les concentrations rencontrées restent inférieures aux seuils TEC, seuils en-dessous desquels des effets toxiques sur des organismes sont peu probables.

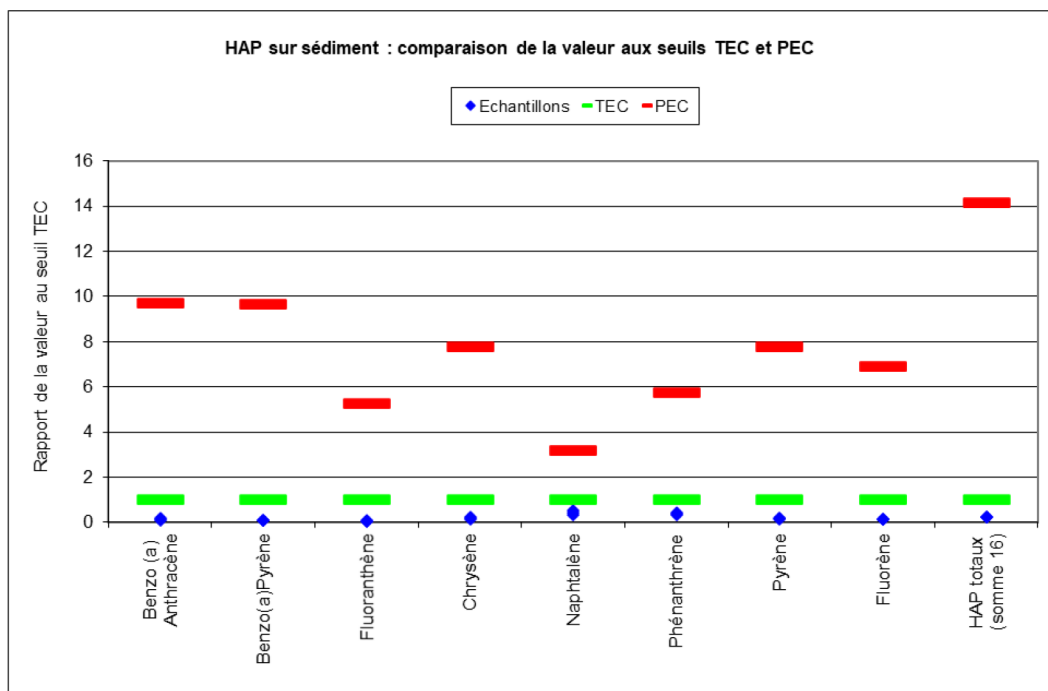


En comparaison à un ensemble de retenues EDF, les sédiments présentent des teneurs faibles en éléments trace métalliques, sauf pour le Chrome et le Nickel, qui présentent toutefois des concentrations proches de la médiane.

Les fonds géochimiques de la région semblent assez faibles Nickel et Chrome (< 10 mg/kg), ils ne permettent pas d'expliquer les teneurs mesurées dans les sédiments du canal de Bonpas.

4.5. HAP, PCB ET AUTRES MICROPOLLUANTS ORGANIQUES

4.5.1. Les HAP



Une grande partie des 16 HAP mesurés sont présents dans les trois échantillons analysés. Les teneurs rencontrées restent très faibles, inférieures aux seuils TEC, seuils en-dessous desquels des effets toxiques sur des organismes sont peu probables.

Pour les 4 HAP Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(ghi)pérylène et Indo(1,2,3 cd)pyrène, les concentrations des sédiments restent très inférieures aux seuils jaunes du SEQeau V2, ils ne présentent donc pas de menace particulière.

| Code Sandre | Parametre | Unité | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
|-------------|------------------------|----------|-------|-------|-------|
| 1116 | Benzo(b)fluoranthène | µg/kg MS | 31 | 32 | 42 |
| 1117 | Benzo(k)fluoranthène | µg/kg MS | 11 | < LQ | 12 |
| 1118 | Benzo(ghi)pérylène | µg/kg MS | 33 | 32 | 40 |
| 1204 | Indéno(1,2,3 cd)pyrène | µg/kg MS | < LQ | < LQ | 12 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Légende :

Teneur supérieure au seuil bleu SEQeau Teneur supérieure au seuil vert SEQeau

| Code Sandre | Parametre | Unité | Ech 1 | Ech 2 | Ech 3 |
|-------------|--------------------------|----------|-------|-------|-------|
| 1082 | Benzo (a) Anthracène | µg/kg MS | 13 | 12 | 19 |
| 1115 | Benzo(a)Pyrène | µg/kg MS | 12 | 11 | 15 |
| 1191 | Fluoranthène | µg/kg MS | 29 | 26 | 37 |
| 1453 | Acénaphthène | µg/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1458 | Anthracène | µg/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1476 | Chrysène | µg/kg MS | 28 | 26 | 36 |
| 1517 | Naphtalène | µg/kg MS | 73 | 93 | 58 |
| 1524 | Phénanthrène | µg/kg MS | 83 | 86 | 71 |
| 1537 | Pyrène | µg/kg MS | 33 | 28 | 41 |
| 1621 | Dibenzo(a, h) anthracène | µg/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1622 | Acénaphthylène | µg/kg MS | < LQ | < LQ | < LQ |
| 1623 | Fluorène | µg/kg MS | 11 | 12 | 10 |
| 6136 | HAP totaux (somme 16) | µg/kg MS | 357 | 358 | 393 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Légende :

Teneur supérieure au seuil TEC Teneur supérieure au seuil PEC

Dans tous les cas, **la somme des 16 HAP reste très inférieure au seuil TEC**, seuil en dessous duquel des effets toxiques sur des organismes sont peu probables.

4.5.2. Les PCB

Les 7 PCB indicateurs ont été mesurés pour les trois échantillons. La teneur en PCB indicateurs varie entre 2 et 3 µg/kg MS, ce qui reste faible par rapport aux différents seuils surveillés.

4.5.3. Les autres micropolluants organiques

Le DEHP a été mesuré sous le seuil TEC, seuil en-dessous duquel des effets toxiques sur des organismes sont peu probables, pour les trois échantillons.

Parmi les autres substances prioritaires de la DCE et pertinentes pour le sédiment, quatre ont été mesurées au-dessus de la limite de quantification du laboratoire, leurs teneurs restent cependant inférieures aux seuils TEC, seuils en-dessous desquels des effets toxiques sur des organismes sont peu probables, ou au seuil vert du SEQeau V2.

| Code Sandre | Parametre | Unites | ECH1 | ECH2 | ECH3 |
|-------------|---------------------|----------|------|------|------|
| 1652 | Hexachlorobutadiène | µg/kg MS | 16 | 25 | 16 |
| 1199 | Hexachlorebenzène | µg/kg MS | 6 | 7 | 8 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

Légende :

Teneur supérieure au seuil TEC Teneur supérieure au seuil PEC

| Code Sandre | Parametre | Unites | ECH1 | ECH2 | ECH3 |
|-------------|--------------------|----------|------|------|------|
| 1780 | Xylène (o+m+p) | µg/kg MS | 8.1 | 7.2 | 5.5 |
| 1888 | Pentachlorobenzène | µg/kg MS | 13 | 14 | 11 |

LQ : Limite de quantification du laboratoire

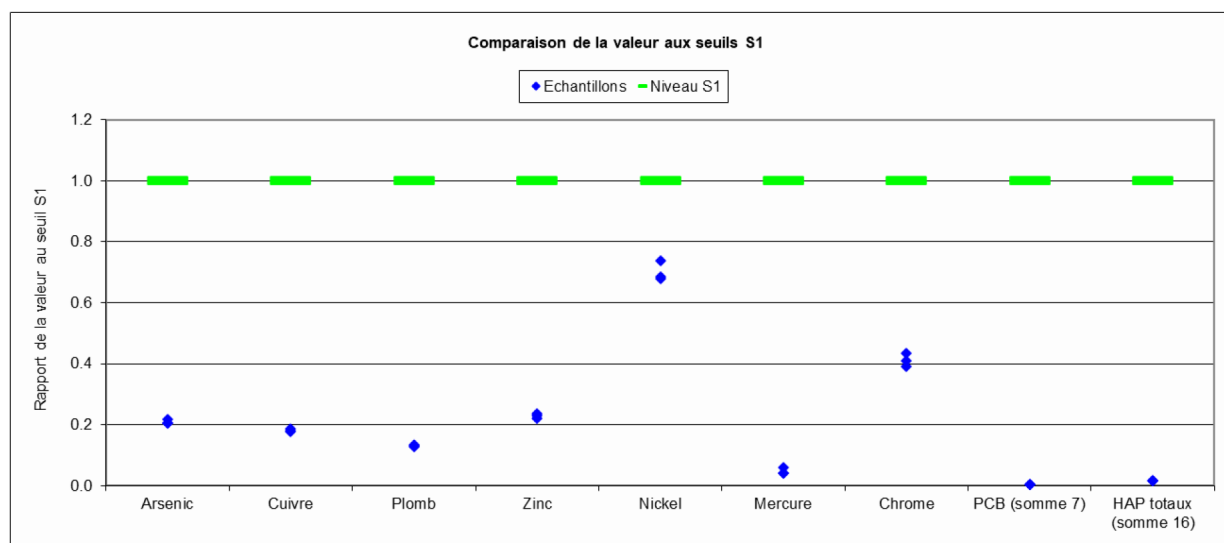
Légende :

Teneur supérieure au seuil bleu SEQeau Teneur supérieure au seuil vert SEQeau

4.6. ANALYSES EN VUE D'UN CURAGE

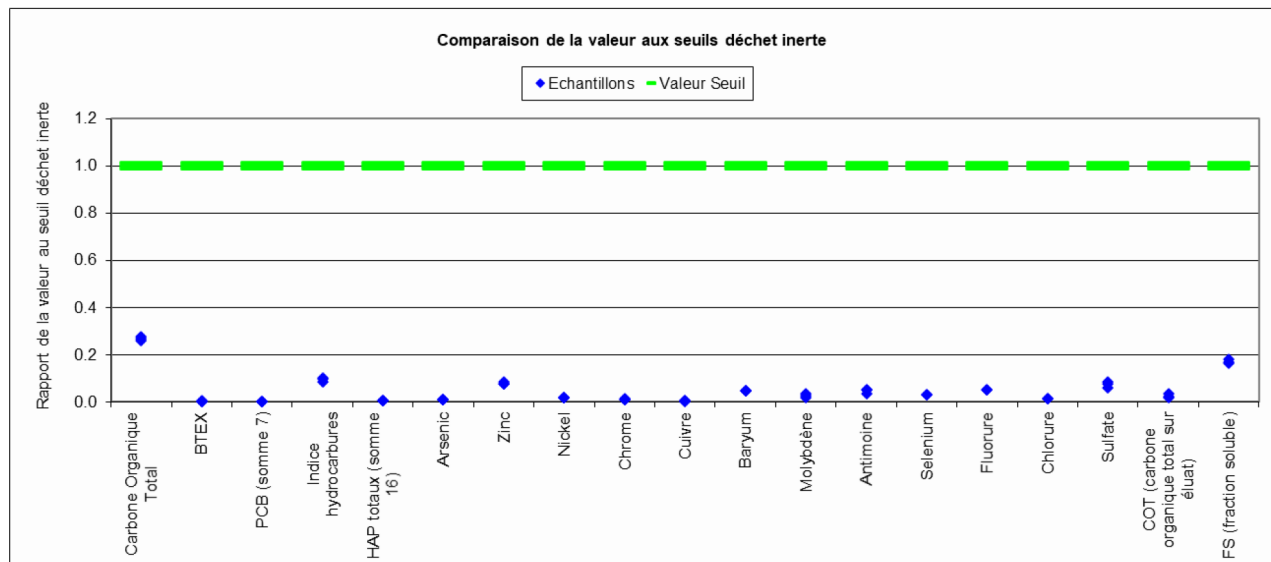
Les seuils S1, seuils issus de la réglementation liée aux opérations sur des sédiments extraits de canaux ou de cours d'eau (Arrêté du 09/08/2006) ne sont pas dépassés. Si l'administration se base sur ces seuils, un projet de curage serait soumis à déclaration dans la limite d'un volume inférieur à 2000 m³.

De plus, le non-dépassement de ces seuils S1 marque le faible potentiel écotoxique du sédiment, ces seuils ayant été définis en partie sur la base des connaissances actuelles en écotoxicologie. Ils peuvent être considérés comme **non dangereux**.



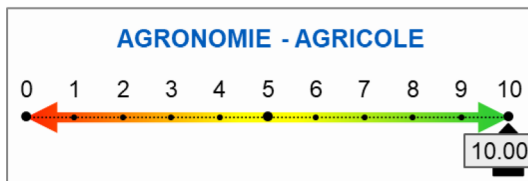
4.7. ANALYSES EN VUE D'UN DEPOT A TERRE

Aucun seuil défini pour l'acceptabilité d'un matériau sur une installation de stockage de déchets inerte (Arrêté du 12/12/2014) n'est dépassé, pour l'ensemble des échantillons. **Ces sédiments remplissent donc les critères d'admission sur ce type d'installation (ISDI).**

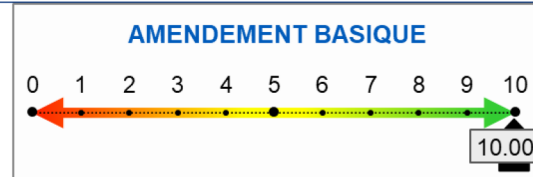


4.8. ANALYSES EN VUE D'UNE VALORISATION

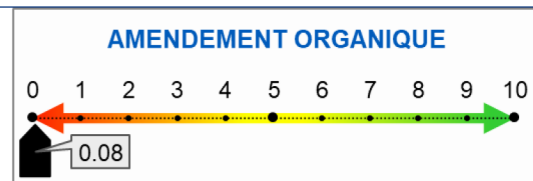
Filière « Agricole » (hors plan d'épandage²)



L'indice d'adéquation pour la filière "agricole" est calculé en utilisant le meilleur score parmi les trois critères retenus pour cette application. Chaque critère est caractéristique d'un type de matière fertilisante, à savoir soit d'un amendement basique (CaO+MgO), soit d'un amendement organique (%MO) soit d'un engrais (maximum entre N, P₂O₅, K₂O). L'indice d'adéquation est donc déterminé en tenant compte du type de matière fertilisante dont les caractéristiques des sédiments se rapprochent le plus.



Les concentrations de CaO et de MgO sont assez élevées (CaO + MgO = 16,32% du produit frais et 25,46% sur le produit sec), ils peuvent **revendiquer le statut d'amendement minéral basique** de type « tangué », après séchage (vis-à-vis de la norme NF U44-001).



La norme NF U44-051 fixe une teneur minimale en matière organique, de 15% à 25% de la matière fraîche selon les types de produits. **La teneur en matière organique de ces sédiments (2% de la matière sèche) est très faible.**



Selon la législation, tout produit dont une des teneurs en N, P₂O₅ ou K₂O dépasse 3% de la matière brute, ou dont la somme de ces 3 éléments dépasse 7%, doit être considéré comme engrais. Ces concentrations n'étant pas atteintes dans ces sédiments (max < 1%), ils ne peuvent **pas revendiquer le statut d'engrais** (vis-à-vis de la norme NF U42-001).

² Le détail des résultats et interprétations sur l'utilisation de ces sédiments dans le cadre d'un plan d'épandage sont détaillés dans le rapport du laboratoire AUREA.

Filières « Construction de sols »

Les valeurs du Phosphore Olsen et du Fer libre sont manquantes dans les résultats d'analyse des sédiments (problème lié au laboratoire). Ces deux valeurs sont nécessaires pour le calcul des indicateurs utilisés pour l'indice d'adéquation des filières « Espace vert » et « Renaturation de sites dégradés ».

Cependant il est possible d'estimer l'Indice de Pouvoir Chlorosant (IPC) sans utiliser la teneur en Fer libre. Pour se faire, la valeur du calcaire total et du calcaire actif sont utilisées. Deux valeurs pour l'IPC sont proposées : 30 ou 50 (dans les tableaux ci-dessous).

Concernant le Phosphore Olsen, deux hypothèses sont émises : « Polsen bon » = valeur favorable pour les filières, « Polsen mauvais » = valeur défavorable pour les filières.

En faisant varier les valeurs de l'IPC et du Polsen, 4 valeurs d'indice d'adéquation par filière sont obtenues (cf. tableaux ci-dessous).

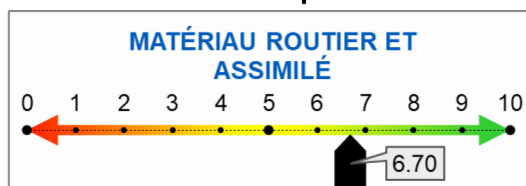
| Usage "Espace vert" | Si IPC à 30 | Si IPC à 50 | Usage "Renaturation de sites dégradés" | Si IPC à 30 | Si IPC à 50 |
|---------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
| Si Polsen mauvais | 4.00 | 3.56 | Si Polsen mauvais | 5.52 | 5.08 |
| Si Polsen bon | 5.11 | 4.67 | Si Polsen bon | 6.19 | 5.74 |

| Usage "Espace vert + compost" | Si IPC à 30 | Si IPC à 50 | Usage "Renaturation de sites dégradés + compost" | Si IPC à 30 | Si IPC à 50 |
|-------------------------------|-------------|-------------|--|-------------|-------------|
| Si Polsen mauvais | 6.68 | 6.68 | Si Polsen mauvais | 8.01 | 8.01 |
| Si Polsen bon | 7.79 | 7.79 | Si Polsen bon | 8.67 | 8.67 |

Les résultats ci-dessus montrent que les critères IPC et Polsen n'ont que peu d'influence dans le calcul de l'indice d'adéquation. Les concentrations en matière organique (MO), Azote (N), Phosphore (P_2O_5) et Potassium (K_2O) sont très faibles dans les sédiments. Leur valorisation en construction de sols serait mieux adaptée pour un **usage de renaturation de sites dégradés** (caractéristiques moins exigeantes), mais le mélange avec un compost spécifique (riche en N, P, K) pourrait permettre d'envisager une valorisation en espace vert.

NB : les valeurs affichées « + compost » donnent une idée du gain apporté par un compost « standard » (valeur très approximative).

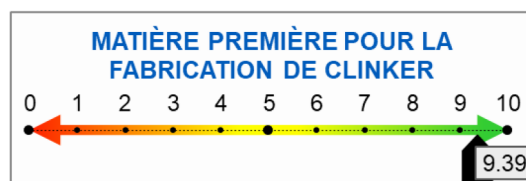
Filières « Technique routière »



La granulométrie très fine de ces sédiments ainsi que la teneur en matière organique très faible **risque de limiter son utilisation comme matériau routier**.

Vis-à-vis des valeurs limites pour une utilisation des sédiments en technique routière, les sédiments analysés ne montrent aucun dépassement de ces valeurs limites (selon l'annexe 3 du Guide SETRA 2011).

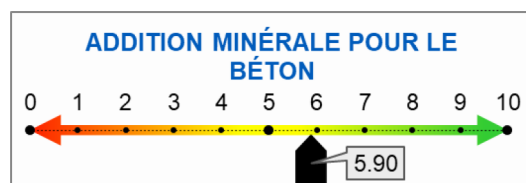
Filières « Cimenterie »



La granulométrie très fine et les fortes teneurs en calcaire et en argile des sédiments sont adaptés pour la fabrication de clinker. La proportion de silice sous forme de quartz, dont l'aptitude à la cuisson est plus faible, apparaît maîtrisable.

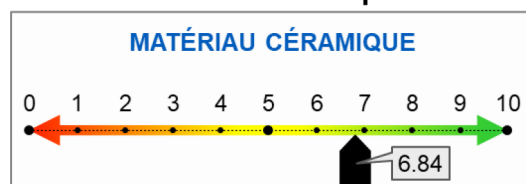
Du fait de ces caractéristiques chimiques et minéralogiques, ces ressources sédimentaires sont **techniquement très propices à une utilisation dans l'industrie cimentière**.

Filières « Béton »



Bien que la granulométrie fine et la forte teneur en calcaire soient des caractéristiques favorables pour une utilisation des sédiments comme addition béton, la teneur en minéraux argileux risque de limiter son utilisation dans cette filière de valorisation.

Filières « Céramique »



L'importante teneur en argile et la granulométrie très fine sont un atout pour l'utilisation de ces sédiments dans la filière « Céramique ». Cependant la teneur en calcaire semble trop importante pour envisager une valorisation comme matière première à l'industrie de la terre cuite.

ANNEXE 1 : CADRE REGLEMENTAIRE

Critères d'évaluation de la qualité des sédiments en vue d'un curage

Ces critères dits « S1 » sont relatifs à l'application de la Loi sur l'Eau, mais ils peuvent être pris comme repère pour l'étude d'incidence du dossier d'exécution. Dans le cadre de cette loi, en cas de nécessité de curage, l'étude d'incidence doit conclure sur la faisabilité de la remise dans le cours d'eau des matériaux mobilisés, notamment au regard de la contamination des sédiments [...]. L'état des lieux de cette étude d'incidence doit faire apparaître un ensemble de données physico-chimiques acquises in situ et décrites à l'article 5 de l'Arrêté du 30 mai 2008 (prescriptions applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau et canaux relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature prévue aux articles L214-1 et L214-6 du code de l'environnement, soumises à autorisation ou à déclaration).

Sur les sédiments, ces paramètres physico-chimiques sont appréciés au regard des seuils dits « S1 », issus de l'Arrêté du 9/08/2006 relatif aux opérations sur des sédiments extraits de canaux ou de cours d'eau. Au-delà des seuils S1, et pour un volume de sédiments inférieur à 2000 m³, l'opération est soumise à une procédure d'autorisation ; en-deçà, une déclaration suffit. Le non-dépassement de ces seuils S1 marque également le faible potentiel écotoxique du sédiment, ces seuils ayant été définis en partie sur la base des connaissances actuelles en écotoxicologie. Le programme intégré dans le dossier d'autorisation ou de déclaration définit les interventions prévues sur la base d'un diagnostic de l'état initial des milieux [...], en référence à l'objectif de bon état ou de bon potentiel fixé pour l'unité hydrographique concernée. Ce diagnostic peut s'appuyer sur les éléments d'évaluation de la qualité du milieu réalisée selon les critères du paragraphe précédent.

Critères d'évaluation de la qualité des sédiments en vue d'un dépôt à terre après curage

- Cadre réglementaire du dépôt à terre de sédiments :

En référence à la circulaire du 24/12/2010 modifiant la nomenclature des installations classées, exerçant une activité de traitement de déchets :

Les sédiments ont un statut de déchet lorsqu'ils ne sont pas uniquement déplacés au sein des eaux de surface.

Les stockages de sédiments à terre sont classés sous la rubrique 2760 des installations classées et doivent satisfaire aux dispositions relatives aux installations de stockage de déchets non dangereux (pour les sédiments non dangereux) ou de stockage de déchets dangereux (pour les sédiments dangereux), toutes soumises à autorisation.

Le caractère dangereux d'un déchet est apprécié au regard de l'article R.541-8 du code de l'environnement et de ses critères H1 à H14.

Cependant, **les ouvrages ou aménagements attachés à une opération de valorisation des déchets ne sont pas concernés par le classement sous la rubrique 2760**. Cela concerne en particulier les opérations d'aménagement de berges, de remblais ou les aménagements paysagers.

Les installations d'entreposage de sédiments non dangereux relèvent de la rubrique 2716 des installations classées, à savoir : « Installation de transit, regroupement ou tri de déchets non dangereux, non inertes ». Ces installations sont soumises à autorisation au-delà de 1000 m³ et à déclaration entre 100 et 1000 m³. Cela comprend les installations mettant en œuvre une simple décantation gravitaire et procédant à la déshydratation naturelle en andain. L'entreposage ne peut être supérieur à un an si le sédiment est destiné à être éliminé, ou à trois s'il est destiné à être valorisé.

- Réglementation « déchet inerte » :

La rubrique ICPE 2760 citée ci-dessus exclut les installations de stockage de déchets inertes mentionnées à l'article L.541-30-1 du code de l'environnement. Une installation de stockage de déchets inertes (ISDI) est une installation d'élimination de déchets inertes par dépôt ou enfouissement sur ou dans la terre. Depuis la circulaire du 24/12/2010, la possibilité de qualifier un sédiment de « déchet inerte » est discutée.

L'arrêté du 12 décembre 2014 prévoit que la procédure d'admission sur un site de stockage de déchets inertes doit à minima montrer le respect de critères « déchet inerte », critères vérifiés sur la base des résultats d'un test de lixiviation normalisé. Le stockage d'un déchet inerte peut être réalisé sur une ISDI.

Au-delà de la problématique du stockage, le respect de ces critères « déchet inerte » évalués à partir du test de lixiviation normalisé peut ouvrir la voie à des propositions de valorisation des sédiments et à la discussion sur des solutions de dépôt à terre adaptées à la situation (opérations d'aménagement de berges, de remblais, aménagements paysagers, comblement d'anciennes carrières, épandage agricole...).

Critères d'évaluation de la qualité des sédiments du point de vue du milieu aquatique

Deux sources principales de seuils sont considérées :

- Les seuils écotoxicologiques TEC et PEC, issus notamment des travaux de Mac Donald, 2000
 - Le seuil **TEC**, Treshold Effect Concentration, correspond à la concentration au-dessous de laquelle les effets toxiques sur les organismes des sédiments sont peu probables. Cependant, 25% des écosystèmes où les concentrations se situent sous le TEC peuvent être en mauvais état.
 - Le seuil **PEC**, Probable Effect Concentration, correspond à la concentration au-dessus de laquelle des effets toxiques sur des organismes sont très probables. Cependant, 25% des écosystèmes où les concentrations se situent au-dessus du PEC peuvent ne pas présenter d'effets toxiques.
- La grille du SEQ Eau v2 de 2003 qui instaure des classes de qualité allant d'une bonne qualité (bleue) à une qualité médiocre (orange). Cette grille n'est plus en vigueur mais est utilisée ici à titre de repère car à ce jour elle n'a pas été remplacée.

ANNEXE 2 : GUIDE D'INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES DE VALORISATION

Des éléments techniques d'interprétation et des recommandations sont énoncés pour plusieurs grandes filières de valorisation potentielles. Ils proviennent de guides techniques de références, de normes, de classifications, ou sont fruit d'un retour d'expérience. Des exemples de matériaux traditionnellement utilisés et de leurs caractéristiques sont présentés pour quelques filières. Pour rappel, bien qu'existe un panel de possibilités, aucune de ces voies n'est à l'heure actuelle adaptée de façon robuste pour assimiler des sédiments fins.

FILIERES AGRONOMIQUES

Sous réserve des principes d'innocuité et d'efficacité agronomique, certains déchets agricoles, urbains ou industriels sont valorisés en agriculture. Ils peuvent en effet améliorer la qualité des sols appauvris par l'exploitation agricole. Ils peuvent également présenter un intérêt en construction de sols : aménagement routier, aménagement paysager urbain, réhabilitation de friche industrielle, restauration de milieu, ...

L'interprétation de résultats d'analyses agronomiques peut se faire selon deux logiques opérationnelles de valorisation :

- Logique produit** : valorisation en tant que matière fertilisante, conformément à la réglementation en vigueur. Elle est basée sur le respect des normes applicables en France : support de culture (terre végétale), engrais, amendement basique, amendement organique.

*Dans certains cas, les sédiments remplissent les spécifications techniques précisées dans les normes support de culture (NF U 44-551) et/ou amendement basique (NF U 44-001). Les caractéristiques agronomiques peuvent être proches ou similaires ou produits normalisés. Toutefois, ces normes définissent des listes exhaustives de produits où ne figurent pas les sédiments. **Par conséquent, les sédiments ne peuvent pas revendiquer le statut de produit de par leur origine.***
- Logique déchet** : valorisation par l'intermédiaire d'un plan d'épandage, conformément à la réglementation applicable aux boues d'épuration (arrêté du 08/01/1998).

L'acceptation d'épandage suppose d'avoir vérifié l'intérêt agronomique pour les parcelles réceptrices, ainsi que son innocuité. Le tableau ci-dessous rappelle les teneurs en contaminants à prendre en compte. L'arrêté indique également une quantité maximum épandable de 30 tonnes de MS/ha/10ans. Cette quantité peut être réduite en fonction des teneurs en éléments traces.

Teneurs limites en éléments-traces dans les boues (arrêté du 08/01/1998)

| Éléments | Valeur limite (en mg/kg de MS) | | Flux maxi cumulé sur 10 ans (en g/m ²) | |
|--|--------------------------------|--------------|--|--------------|
| | Cas général | Sur pâturage | Cas général | Sur pâturage |
| Éléments-traces métalliques et métalloïdes | Cadmium | 10 | - | 0,015 |
| | Chrome | 1000 | - | 1,5 |
| | Cuivre | 1000 | - | 1,5 |
| | Mercure | 10 | - | 0,015 |
| | Nickel | 200 | - | 0,3 |
| | Plomb | 800 | - | 1,5 |
| | Zinc | 3000 | - | 4,5 |
| | Sélénium | 100 | - | - |
| Composés-traces organiques | Cr+Cu+Ni+Zn | 4000 | - | 6 |
| | 7 principaux PCB* (Tot) | 0,8 | 0,8 | 1,2 |
| | Fluoranthène | 5 | 4 | 7,5 |
| | Benzo (b) fluoranthène | 2,5 | 2,5 | 4 |
| | Benzo (a) pyrène | 2 | 1,5 | 3 |

(*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180

Concernant la construction de sols à partir de sédiment, il n'existe pas aujourd'hui de réglementation spécifique. **Cette application, bien que prometteuse, est freinée par le vide réglementaire.** De plus, les besoins sont importants dans le cadre de projets d'aménagement. Par exemple, dans le cas des zones urbaines, le mode d'approvisionnement classique, consistant à décaper des terres agricoles en périphérie des villes est de plus en plus discuté. Pour certaines grandes aires urbaines, il faut aller chercher de la terre de plus en plus loin. La terre végétale devient alors un produit onéreux qui pourrait être substitué par des sédiments.

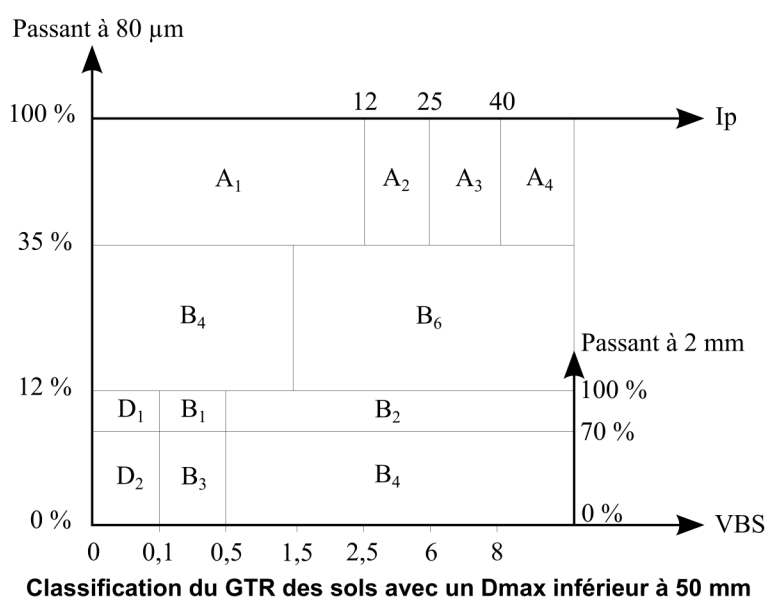
Pour une utilisation agronomique, les caractéristiques recherchées vont différer selon l'application envisagée. Pour une utilisation agricole, une forte teneur en carbonates et/ou en matière organique est favorable. Pour la construction d'un sol à partir de sédiments, il faut impérativement que la conductivité électrique soit inférieure à 2 mS/cm et que le pH soit proche de 7. Une teneur en matière organique est aussi un atout pour une utilisation dans cette filière.

MATERIAU ROUTIER ET ASSIMILE

Parmi les différents secteurs du génie civil, le domaine routier est un grand consommateur de matériaux. Les volumes nécessaires à la réalisation des infrastructures routières et assimilées (voies piétonnes, pistes cyclables, chemins, ...) sont importants.

Dans une structure routière, les différentes couches, selon leur rôle, n'ont pas les mêmes performances mécaniques à justifier. En remblai et en couche de forme, les résistances mécaniques des matériaux peuvent rester relativement faibles. **Cela laisse la possibilité d'utiliser des sédiments issus de dragage.**

La classification de référence est définie par le GTR³. Cette classification a été conçue pour les sols, mais il est également possible d'utiliser cette classification pour les sédiments. La granularité et l'argilosité sont les deux paramètres d'entrée qui permettent de distinguer les 4 grandes classes de sols : A, B, C et D (voir figure ci-dessous). Le détail de la classification relative aux sols fins (classe A), dans laquelle on pourrait retrouver les sédiments fins de barrage, est disponible dans les documents de référence.



Les sédiments fins, tout comme les sols fins, impliquent généralement qu'un traitement (à la chaux, au ciment, au liant hydraulique routier et/ou l'ajout correcteur granulométrique) soit réalisé pour être utilisés en technique routière. La caractérisation géotechnique doit alors être faite sur les sédiments bruts pour adapter au mieux le traitement. Mais une seconde phase d'essais est nécessaire pour connaître les performances des sédiments après avoir subi un traitement, et ce, afin d'estimer leur capacité à être utilisés en couches routières. Les performances à atteindre après traitement sont données par le GTS⁴.

Grace aux nombreux travaux de R&D à l'échelle nationale, le contexte amorce progressivement une évolution dans cette filière, et commence à reconnaître l'utilisation des sédiments. Par exemple, le guide méthodologique « chapeau » sur les matériaux alternatifs en technique routière⁵ prévoit une **application potentielle aux déblais de dragage**. Les valeurs limites en lixiviation permettant de justifier toutes les utilisations en technique routière sont disponibles dans le Guide SETRA 2011.

Par ailleurs, on retrouve les sédiments comme un gisement de matériau dans la base OFRIR2 « Observatoire Français des Ressources pour les Infrastructures », développée par des organismes reconnus en matière d'infrastructures routières et de gestion des déchets. Ces matériaux restent cependant dans la catégorie des matériaux naturels « hors spécifications ».

³ SETRA-LCPC (1992). Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) - Guide technique - Fascicules I : principes généraux - Fascicules II : annexes techniques. Référence D9233.

⁴ SETRA-LCPC (2000). Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques : application à la réalisation des remblais et des couches de forme. Guide technique, 240 p.

⁵ SETRA (2011). Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale - Guide méthodologique, 28 p. ISBN 978-2-11-099173-7.

Pour une utilisation comme matériau routier et assimilé, il est préférable que les sédiments aient une faible teneur en matière organique. En quantité importante, cette teneur va rendre compliqués et donc onéreux les traitements. Selon leur quantité et leur nature, les minéraux argileux peuvent aussi être pénalisants pour cette filière. La présence d'une fraction granulométrique sableuse facilite la mise en œuvre.

VALORISATION EN CIMENTERIE

Le ciment est un produit hydraulique constitué d'une poudre minérale finement moulue, destiné à être utilisé comme liant dans des mortiers ou des bétons. Les ciments courants sont fabriqués à partir d'un mélange – appelé cru – constitué principalement de calcaire et d'argile dans des proportions voisines de 80 % - 20 %.

Après homogénéisation et broyage, le cru est chauffé en four rotatif jusqu'à des températures proches de 1450°C, qui permettent l'obtention d'une roche artificielle déshydratée et décarbonée : **le clinker, le composant principal des ciments courants**. Des compositions chimiques courantes des matières premières et du cru pour la fabrication de clinker sont données à titre indicatif dans le tableau ci-dessous.

Compositions chimiques courantes des matières premières et du cru pour la fabrication de clinker

| Composants | Compositions courantes des matières premières de base | | | Cru |
|------------------------------------|---|------------|------------|-----------|
| | Calcaire | Marne | Argile | |
| Perte au Feu (%) | 40 – 44 | 2 – 42 | 1 – 20 | 32 – 36 |
| SiO ₂ (%) | 0,5 – 3,0 | 3 – 50 | 37 – 78 | 12 – 16 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 0,1 – 1,0 | 0,1 – 20 | 7 – 30 | 2 – 5 |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 0,1 – 0,5 | 0,5 – 10,0 | 2 – 15 | 1,5 – 2,5 |
| CaO (%) | 52 – 55 | 5 – 52 | 0,5 – 25,0 | 40 – 45 |
| TiO ₂ (%) | 0,0 – 0,7 | 0,0 – 0,7 | 0,2 – 1,8 | 0,0 – 0,5 |
| MgO (%) | 0,5 – 5,0 | 0,5 – 5,0 | ~ 5 | 0,3 – 5 |
| K ₂ O (%) | ~ 0,3 | ~ 3,5 | ~ 0,55 | 0,1 – 1,5 |
| Na ₂ O (%) | ~ 0,1 | ~ 0,2 | 0,1 – 0,3 | 0,1 – 0,5 |
| SO ₃ (%) | ~ 0,1 | 0,1 – 4,0 | ~ 3 | 0 – 1,5 |
| Cl (%) | 0,0 – 0,6 | 0,0 – 0,6 | 0,0 – 1,0 | 0,0 – 0,3 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0,0 – 0,8 | 0,0 – 0,8 | 0,0 – 1,0 | 0,0 – 0,8 |

Pour une utilisation comme matière première dans la fabrication de clinker, une très large gamme de sédiments peut être utilisée. C'est principalement leur proportion dans le cru qui va varier selon leurs caractéristiques, notamment chimiques. Des sédiments avec une teneur en carbonates importante pourront être utilisés en plus grande quantité (de l'ordre de 20 – 25 %). Au-delà du problème de l'eau, une teneur en quartz élevée peut fortement limiter leur proportion dans le cru. De plus, si des grains de quartz ont un diamètre assez important, supérieur à 200 µm, ils peuvent entraîner une usure plus rapide des broyeurs. Au final, pour faciliter cette utilisation, il est préférable que les sédiments fins soient riches en carbonates et/ou minéraux argileux, relativement pauvres en quartz et aient une faible teneur en eau à l'entrée dans l'usine.

ADDITION MINERALE POUR LE BETON

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde. Il est présent dans tous les secteurs de la construction, ses qualités et ses performances répondent aux différents besoins en matière de bâtiment et de génie civil en respectant les exigences de sécurité, d'esthétique et de durabilité. Le béton hydraulique est composé de granulats, de ciment, d'eau, d'air et éventuellement d'adjuvants et d'additions minérales.

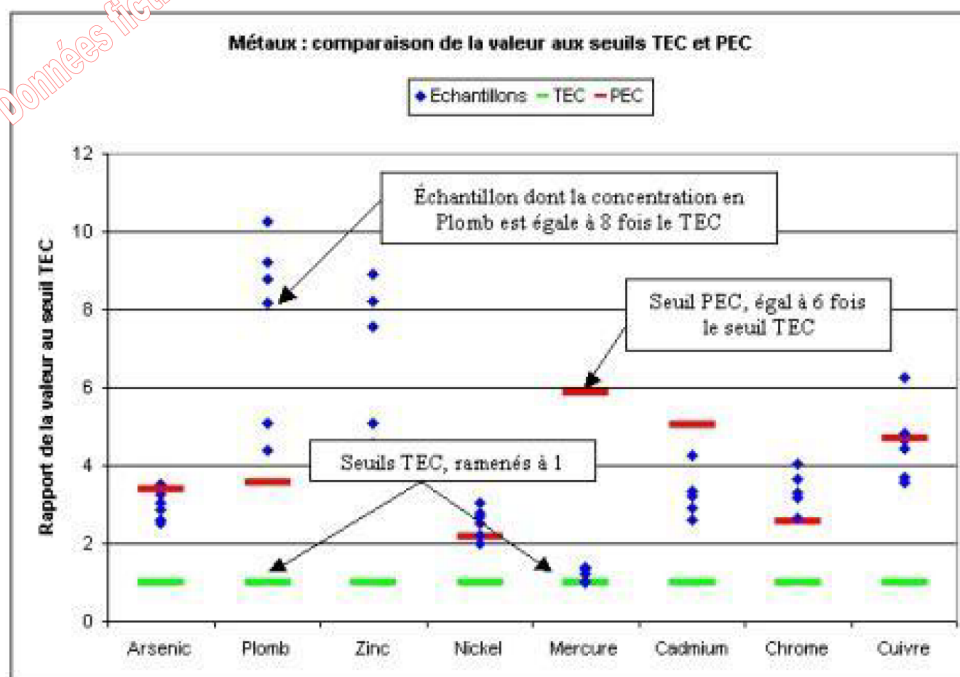
Pour une utilisation comme addition minérale (filler) dans les mortiers ou bétons, **les caractéristiques généralement rencontrées pour les sédiments fins sont peu adaptées**. En effet, pour cette application, il est préférable que les sédiments soient fins et que les teneurs en matière organique et en minéraux argileux soient très faibles. Une mise en œuvre de cette filière est donc assez délicate.

ANNEXE 3 : CLES DE LECTURE DES GRAPHIQUES ET DES RESULTATS

Il est important de noter que seuls les paramètres pour lesquels un seuil est disponible parmi la liste des seuils du cadre réglementaire ci-dessus, sont pris en compte dans l'analyse proposée dans cette note. Les autres paramètres mesurés peuvent être consultés dans les résultats bruts du laboratoire. Aucun seuil ou repère pertinent n'a été retenu à ce jour pour les commenter.

De plus, seuls les paramètres pour lesquels une mesure au-delà du seuil de quantification du laboratoire a été observée, sont représentés dans les graphiques, l'objectif de ces graphiques étant de faire ressortir les éventuels points durs. Les paramètres analysés mais se trouvant en-deçà de la limite de quantification du laboratoire sont indiqués dans un tableau lorsqu'un seuil existe et permet de les interpréter.

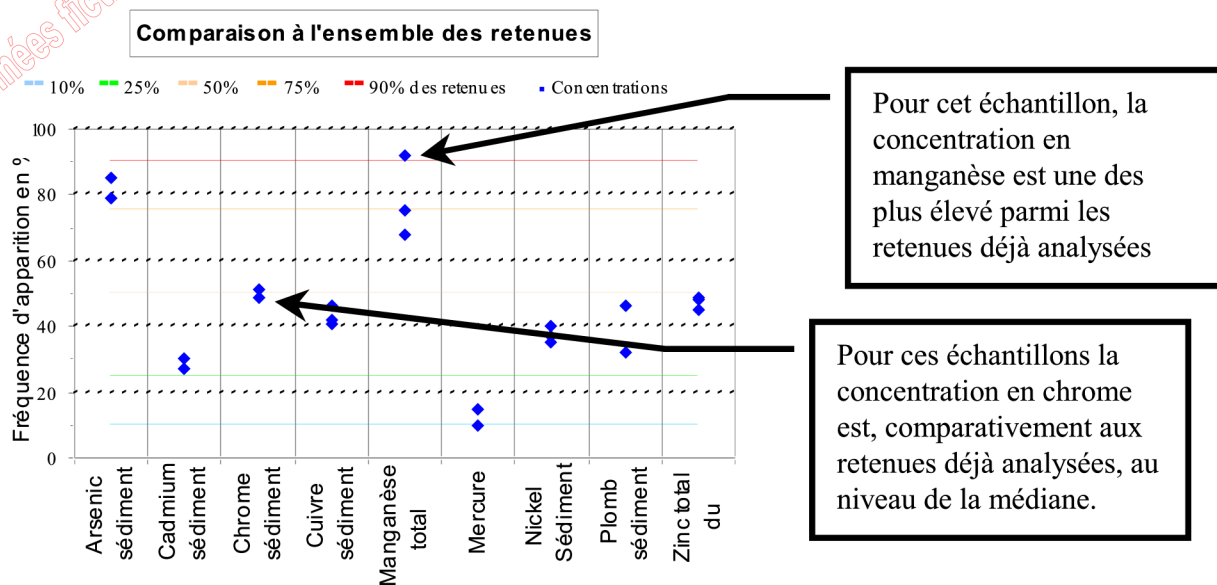
Les graphiques de comparaison aux seuils de qualité permettent de présenter les concentrations mesurées par leur rapport à un seuil donné, seuil ramené à la valeur 1.



Graphique type de comparaison à un seuil

Les graphiques de comparaison à un ensemble de retenues permettent de situer les échantillons au regard d'un ensemble de résultats déjà obtenus sur d'autres retenues. Les exemples ci-dessous illustrent cette façon de présenter.

Données fictives



Graphique type de comparaison à un ensemble de retenues EDF

Évaluation de l'adéquation technique pour les filières de valorisation

Un outil d'évaluation de l'adéquation technique entre les caractéristiques des sédiments fins de barrage et les spécifications des filières de valorisation a été élaboré pour faciliter l'interprétation des résultats. Néanmoins des études complémentaires seront nécessaires pour valider la faisabilité d'une utilisation de sédiments dans les filières visées.

Cet outil a été conçu avec pour objectif de **pré-orienter les sédiments fins vers des filières de valorisation selon leurs caractéristiques**. Il se base sur un cadre méthodologique défini grâce à un travail de recherche bibliographique, intégrant littérature scientifique, normes, guides techniques, ainsi que des expériences menées en laboratoire et la prise en considération d'avis d'experts.

L'adéquation technique entre un sédiment et une application se traduit par une note comprise entre 0 et 10, appelée « indice d'adéquation (IA) » (voir exemple sur la figure ci-dessous). Les indices d'adéquation sont des moyennes pondérées de plusieurs scores interprétant des critères indicateurs relatifs aux voies de valorisation. Ainsi, les indices d'adéquation contribuent à pré-orienter les sédiments vers les filières de valorisation les plus adaptées techniquement.

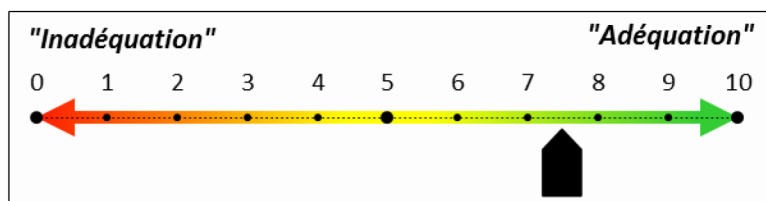


Figure 1. Exemple d'indice d'adéquation (IA) pour une application donnée

Si un sédiment a un IA faible pour une application donnée, cela ne signifie pas qu'il sera impossible d'utiliser le sédiment pour cette application, mais qu'il sera plus délicat à mettre en œuvre (par exemple, il devrait faire l'objet de traitements complémentaires). À l'inverse, si le sédiment a un IA élevé, son utilisation pour une application donnée sera plus facile. Toutefois, une étude complémentaire reste nécessaire pour confirmer la faisabilité technique.

Page d'approbation

Analyse des sédiments du canal de Bonpas - Janvier 2022

Réf. : H-44202325-2022-000066

Indice : A Date : 30/06/2022 Accessibilité : Interne EDF

Rédacteur(s) :

- LE DIOT Christelle - 30/06/2022

Vérificateur(s) :

- Pas de Vérificateur

Approbateur(s) :

- LE DIOT Christelle - 30/06/2022