

**Granulométrie et contamination comparées des
sédiments des voies navigables en Wallonie et Nord de la
France, enjeux pour la valorisation**

Claire Alary, Bruno Lemiere, Laurence Haouche

► **To cite this version:**

Claire Alary, Bruno Lemiere, Laurence Haouche. Granulométrie et contamination comparées des sédiments des voies navigables en Wallonie et Nord de la France, enjeux pour la valorisation. Mines et Carrières, 2011, pp.25-33. hal-00691484

HAL Id: hal-00691484

<https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00691484>

Submitted on 26 Apr 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Granulométrie et contamination comparées des sédiments des voies navigables en Wallonie et Nord de la France, enjeux pour la valorisation.

Claire ALARY¹, Bruno LEMIERE², Laurence HAUCHE-BELKESSAM³

1. EMDouai, MPE-GCE, F-59500 Douai, Univ. Lille Nord de France, F-59000 Lille;
2. BRGM, Environnement & Procédés, 3 Av. C. Guillemin, F-45060 Orléans Cedex 2
3. ISSeP (Institut Scientifique de Service Public) Colfontaine, Zoning A. Schweitzer, Rue de la Platinerie, B-7340 Colfontaine

1. Introduction

Les sédiments des voies d'eau sont un enjeu environnemental majeur en Europe, et particulièrement dans la région transfrontalière Belgique Wallonie – Nord de la France, en relation avec la densité du réseau de voies d'eau, de l'habitat et du tissu industriel passé et présent. Les sédiments affectent non seulement la navigabilité, mais aussi la qualité des ressources en eau. Ils sont également un élément déterminant pour le contrôle des masses d'eau du fait de leur rôle dans les inondations. Le curage régulier des sédiments est donc un élément obligatoire (VNF, 2007, 2008a). Il est également essentiel pour le développement d'un transport régional fluvial éco-favorable mais génère en contrepartie d'importants volumes de matériaux considérés comme des déchets potentiels (VNF, 2008b). La réutilisation des sédiments pour la construction ou les infrastructures constitue donc un enjeu clé, en combinant réduction des déchets et des besoins en ressources naturelles pour le même usage. La connaissance à l'échelle locale des caractéristiques physicochimiques des sédiments (granulométrie, composition minérale, contenu en sable, argile et matière organique) et de leur contamination (contenu en métaux lourds et en polluants organiques) peut jouer un rôle essentiel pour la conduite des opérations de curage : pour la bonne gestion des dépôts (MEEDAT, 2008), et surtout pour l'évaluation des possibilités de valorisation des sédiments. La typologie physicochimique des sédiments va déterminer leurs propriétés géotechniques, et ainsi leur valeur comme matériaux secondaires pour valorisation. Le niveau de contamination détermine les possibilités de réutilisation mais aussi les contraintes de mise en dépôt. Avoir

une bonne connaissance du gisement est donc capital pour en améliorer la gestion et en affiner les processus de traitement éventuels.

Dans cette étude, on se propose de contribuer à la connaissance du gisement de sédiments en régions Wallonne et Nord Pas de Calais (ces deux régions se caractérisant par un passé urbano-industriel similaire), à partir des données mises à disposition par les opérateurs des voies d'eau ; et d'établir ensuite un état des lieux de leur contamination. La variabilité des teneurs en polluants en fonction des caractéristiques texturales de la matrice sédimentaire et l'évaluation de l'hétérogénéité spatiale de la contamination tout au long des voies d'eau seront abordées.

2. Méthodologie

Cette étude s'appuie uniquement sur les données existantes, acquises par les opérateurs régionaux, respectivement par la direction générale opérationnelle de la mobilité et des voies hydrauliques (DGO2) du service public de Wallonie (SPW) et Voies Navigables de France (Service Navigation- Nord Pas de Calais) dans le cadre de leurs campagnes régulières de caractérisation des stocks de sédiments.

Les banques de données ainsi alimentées intègrent un grand nombre de paramètres granulométriques (proportions d'argiles, limons et sables) et physico-chimiques (pH, teneurs en éléments majeurs, en carbone total, en polluants métalliques, en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), en polychlorobiphényles (PCB), etc.) qui permettent une caractérisation la plus exhaustive possible des sédiments.

Les données utilisées dans ce travail sont extraites de ces deux bases et correspondent aux échantillons pour lesquels sont disponibles une analyse granulométrique et une analyse des principaux contaminants : concentrations en contaminants métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), organiques (PCBs : somme des 7 congénères ; 028, 052, 101, 118, 138, 153, 180, HAPs : somme des 16 HAP de l'US-EPA). Seules les données VNF possèdent un géoréférencement. Les données étudiées ne comprennent pas les analyses effectuées dans le cadre du projet GEDSET, ni celles obtenues dans le cadre des méthodes de caractérisation récemment mises en application. Les données ainsi sélectionnées ne représentent que 20 à 30% des analyses disponibles, mais assurent une couverture géographique de tout le bassin. Ceci représente environ 600 échantillons, issus pour moitié des banques de données françaises et wallonnes.

Le devenir des sédiments dragués varie en fonction des concentrations en contaminants mesurées. Ces dernières sont comparées à des seuils définis dans différents textes

réglementaires wallons et français et qui régissent la gestion des sédiments dans les deux régions concernées par cette étude. Ces seuils sont donnés à titre indicatif dans le tableau 1.

3. Distribution des polluants dans les sédiments fluviaux en Région Nord Pas de Calais et Wallonie

Une hypothèse fréquemment avancée est que les sédiments des canaux wallons sont plus fins que leurs homologues français. Plus généralement, on admet que la pollution se concentre dans les fractions les plus fines. Afin de tester ces hypothèses, une étude des relations entre distribution granulométrique et contamination a été effectuée sur les échantillons pour lesquels les données étaient complètes (granulométrie et polluants).

3.1 Texture des sédiments

3.1.1 Les sédiments wallons

L'examen des caractéristiques granulométriques des sédiments wallons a été réalisé à partir de 293 échantillons issus de la base de données des services des voies navigables de la DGO2. Il met en évidence que tous les sédiments présentent une proportion d'argiles inférieures à 20 %, la moyenne comme la médiane étant d'environ 7,5 %. Le calcul de la distribution granulométrique sur les 293 données fait apparaître que 65 % des particules sont des limons (Figure 1, gauche). La proportion de sédiments sableux selon le classement CCSBM (sables, limons argiles) est assez faible (7 %), ce qui est confirmé par l'analyse de la distribution, avec seulement 13 % des échantillons présentant une proportion de sables (grains > 50 µm) supérieure à 50 % (Figure 2).

3.1.2 Les sédiments français

L'examen des caractéristiques granulométriques des sédiments a été réalisé à partir de 315 échantillons. Il montre que les sédiments sont globalement assez fins avec 40 échantillons sur 315 qui présentent une proportion d'argiles correspondant à plus de 30 % de la distribution granulométrique totale et 126 échantillons avec une proportion d'argiles comprises entre 20 et 30 % (Figure 3). De plus, 279 échantillons (soit 89 %) présentent moins de 50 % de sables (50-200 µm) et 151 échantillons (soit 48 %) se caractérisent par une proportion de sable grossier (200-2000 µm) inférieure à 5 % de la distribution granulométrique totale. Le calcul de la distribution granulométrique sur les 315 données fait apparaître que 54 % des grains se situent dans les limons et 20 % dans les argiles (Figure 1, droite). La proportion de sédiments sableux est assez faible, d'après l'analyse de la distribution, avec seulement 11 % des échantillons présentant une proportion de sables (grains > 50 µm) supérieure à 50 %.

3.1.3 Comparaison

Les proportions de particules argileuses ($< 2 \mu\text{m}$) sont nettement plus faibles pour les sédiments wallons que pour les sédiments français (Figure 1), alors qu'il n'apparaît pas de différence significative pour les particules sableuses ($> 50 \mu\text{m}$). Cette différence ne s'explique pas par des raisons géologiques ou géomorphologiques (les bassins drainés sont similaires), ni par des raisons anthropogéniques (historique industriel ou agricole, pratiques de gestion des voies d'eau) entre régions wallonne et française.

Le traitement effectué dans le présent travail ne prend pas en compte un éventuel décalage entre distributions granulométriques lié à des protocoles ou des pratiques différant entre laboratoires wallons et français. Bien que théoriquement les méthodes utilisées doivent aboutir à des résultats comparables, on ne peut exclure la possibilité de différences systématiques entre coupures granulométriques de part et d'autre de la frontière, qui seraient passées inaperçues du fait de la gestion strictement nationale des sédiments.

Les informations disponibles ne permettent pas de conclure ; si cette différence devait avoir une incidence sur les enjeux (§4), il faudrait approfondir l'examen des données analytiques en vérifiant par exemple si les protocoles mis en œuvre sont comparables entre la France et la Wallonie, et si la différence observée est régionalisée ou générale.

3.2 Répartition des polluants en fonction de la texture des sédiments

Rappelons que l'on ne dispose pas ici de données sur la répartition des polluants dans chaque classe granulométrique (granulochimie), et que l'on s'est donc borné à comparer les teneurs en polluants avec le profil granulométrique des échantillons. Une première analyse des moyennes et médianes n'ayant pas donné de conclusions nettes, elle a été complétée par l'analyse de la répartition des teneurs les plus élevées selon les profils granulométriques.

3.2.1 Les sédiments wallons

Les données relatives aux concentrations en polluants métalliques et organiques ont été classées suivant la description texturale faite pour chaque échantillon et fournie dans la base de données : limons ; limons sableux et sables. Le résultat de ce classement est reporté dans le Tableau 2. Les moyennes, médianes et maximas les plus élevés sont observés dans les limons pour As, Cd, Co, Cu, Hg, Pb, Zn et Ni et dans les sédiments limono sableux pour les HAP et PCB. La concentration maximale en Cr a été observée dans un sable. Si l'on compare aux teneurs maximales admissibles et teneurs de sécurité wallonnes, une forte proportion d'échantillons pollués est observée dans les limons et également dans les limons sableux.

3.2.2 Les sédiments français :

Les données relatives aux concentrations en polluants métalliques et organiques ont été regroupées en fonction des caractéristiques granulométriques du sédiment. L'analyse de la répartition des concentrations en polluants selon les caractéristiques granulométriques des échantillons montrent que les concentrations moyennes les plus élevées en métaux Cd, Cr, Hg, Pb et Zn se trouvent dans les sédiments les plus fins (proportion argiles >30 %). Cette observation est nuancée par le fait que pour ces mêmes éléments, la médiane des concentrations n'est pas systématiquement plus élevée dans les sédiments les plus fins. Ce biais entre moyenne et médiane pourrait s'expliquer par la présence de teneurs très fortes dans les sédiments fins. Cependant, on retrouve des maximas de concentrations dans toutes les classes granulométriques (Tableau 3). En particulier il faut souligner que les maximas de As, Cu, Hg, Ni, et Zn ont été trouvés dans les sédiments les plus grossiers (% argiles < 20 %). En ce qui concerne les polluants organiques, peu de différences transparaissent entre les classes : pour chaque classe granulométrique, 20 à 25 % des échantillons dépassent le seuil S1 (MATE, 2006) de concentrations en HAP avec une teneur maximale en HAP dans les sédiments les plus grossiers.

3.2.3 Comparaison

Les données relatives aux concentrations en polluants métalliques et organiques ont été classées par rapport aux % d'argiles côté français, et suivant le classement CCSBM: limons, limons sableux et sables, côté wallon. Cette divergence affecte peu les conclusions par classe. Les teneurs maximales en polluants réparties par rapport aux classes granulométriques, et le pourcentage d'échantillons supérieurs aux teneurs guides, donnent des informations plus lisibles.

Dans les canaux wallons, les teneurs maximales en Pb, Zn, Cu, Cd, As, Co, Ni, Hg, ainsi que le pourcentage des échantillons supérieurs aux valeurs guides, décroissent des sédiments les plus fins vers les plus sableux. Cette tendance n'est pas observée pour les HAP ou les PCB.

Dans les canaux français, les teneurs maximales ainsi que le pourcentage des échantillons supérieurs aux valeurs guides ne permettent pas d'observer une telle tendance. Ces divergences peuvent être dues à des processus industriels locaux qui s'avéreraient surreprésentés dans les lots analysés : par exemple, les sites métallurgiques du zinc ou du plomb situés sur le réseau français entraînent la présence de particules grossières riches en Zn, Cd ou Pb (Isaure et al., 2002).

3.3 Répartition spatiale des teneurs en polluants

Afin de tenir compte de ces différents paramètres dans tout projet de curage, il est important de connaître leur variabilité spatiale, et de déterminer si celle-ci affecte un éventuel schéma de valorisation. On peut ainsi prendre en compte la variabilité spatiale des propriétés géotechniques, la longueur de bief affectée par les contaminations majeures ou la longueur de bief sans anomalie disponible pour extraction/valorisation directe. Ces paramètres peuvent déterminer si le bief doit être curé globalement sans différenciation des sédiments à évacuer, s'il est préférable de prélever en premier des sections particulièrement polluées, et/ou s'il faut considérer certaines sections à propriétés favorables comme des gisements potentiels de matériaux secondaires. La stratégie de curage et les matériels à utiliser peuvent en découler. On se propose donc ici, à partir des données précédemment décrites, de discuter de la variabilité des contaminants à l'échelle d'un réseau hydrographique et à l'échelle d'un canal.

3.3.1 A l'échelle d'un bassin hydrographique

On discute ici la distribution spatiale des teneurs en polluants dans le réseau hydrographique du Nord- Pas de Calais à partir des données géoréférencées fournies par VNF. Deux exemples de contamination sont commentés : Zn et Cd.

La figure 4 réalisée à partir de 858 observations issues de la base de données VNF représente les concentrations en Zn dans les voies navigables du Nord Pas de Calais. On observe une forte variabilité des concentrations, selon le canal considéré et en relation avec les caractéristiques des régions traversées. Par exemple des concentrations élevées sont observées dans le canal de la Deûle, qui traverse des zones industrialisées et urbanisées, notamment les secteurs historiques de la pyrométallurgie et l'agglomération lilloise. Ces concentrations élevées s'opposent aux concentrations plus faibles mesurées dans des bassins versants moins soumis à des contraintes anthropiques, comme par exemple celui de la Scarpe supérieure ou de la Sambre. En ce qui concerne le Cd, on observe une cartographie comparable à celle du Zn mais avec toutefois une particularité importante, à savoir un écart très important entre les teneurs minimales et les teneurs maximales (Figure 5). On peut proposer plusieurs éléments d'explication : soit des modalités de transport différentes dans le canal avec une capacité de transport qui pourrait être plus importante pour le Zn, soit différentes sources d'apports présentant un rapport Cd/ Zn différent. Dans la figure 6 qui présente la répartition de la concentration en Zn en fonction des concentrations en Cd, on observe deux corrélations qui seraient en faveur de sources multiples avec un rapport Cd/Zn différent.

3.3.2 A l'échelle d'un canal

On propose ensuite de passer à une échelle d'observation plus fine qui est celle d'un canal, avec comme exemple le canal de la Deûle, pour discuter la distribution des polluants. Les données utilisées correspondent à 73 observations extraites de la base de données de VNF. Le pas d'échantillonnage est variable avec une moyenne qui s'établit autour du kilomètre. La densité des prélèvements est en fait plus élevée, mais des échantillons composites représentatifs d'un secteur kilométrique sont préparés et analysés. La figure 7 présente les concentrations en Zn de l'amont à l'aval du canal. On observe d'abord des zones de plus faibles concentrations (autour de 1000 mg/kg) qui s'opposent à des zones de plus fortes concentrations (concentrations très variables autour de 4000 mg/kg). Si l'on se focalise sur ces zones de plus fortes concentrations, on observe qu'elles sont marquées par la présence de pics ponctuels de concentrations. De plus, la comparaison de ces pics entre eux montre que l'écart entre les concentrations est là encore très élevé. Une classification ascendante hiérarchique établie simplement à partir des teneurs en Zn permet d'illustrer la forte hétérogénéité des concentrations (Figure 8). Cette analyse permet de regrouper les observations dans plusieurs classes en mettant les observations les plus semblables dans une même classe et ensuite de relier les classes en fonction de leur plus ou moins grande dissimilarité. Pour le Zn, la majorité des observations (89 %) sont dans deux classes qui sont dissemblables et qui présentent les concentrations moyennes les moins élevées respectivement de 905 et 3816 mg/kg. Ces deux classes sont très dissemblables des deux autres qui présentent, elles, un nombre d'observations réduit mais des concentrations très élevées. Ces deux classes correspondent aux « hots spots » (points chauds : fortes concentrations en polluants observées en un seul point) décrits précédemment. La même analyse a été faite pour Cd, on retrouve deux classes qui intègrent la majorité des observations (soit ici 82 %) (Figure 9). Ces deux classes s'opposent à 4 autres qui présentent des concentrations élevées mais un nombre d'observations très faible. Le fait d'avoir 4 classes pour les « hots spots » montre le large éventail de concentrations pour ces hots spots. Cette analyse montre que des fortes concentrations sont observées localement. La difficulté réside donc dans le maillage de l'échantillonnage afin d'avoir une caractérisation la plus précise possible.

Il faut rappeler ici que VNF a fait le choix d'analyser des échantillons composites à partir de plusieurs prélèvements effectués à proximité d'un même point. Cette technique est justifiée

par le coût des analyses en laboratoire et par l'homogénéisation des mesures par rapport à des pollutions ponctuelles, mais elle ne permet pas un maillage fin au niveau des résultats.

Une précédente étude (Alary, 2001) a été menée sur la Scarpe inférieure, un petit canal de 7 km et d'environ 25 m de large, où un échantillonnage très serré a été mené, tous les 100 mètres environ, en rive droite, en rive gauche et au milieu du canal. Ce canal se caractérise par des rejets multiples actuels et historiques, industriels ou issus des stations de relèvements. Si l'on n'observe que peu de variation des concentrations au milieu du canal, la variabilité est élevée en rive gauche et rive droite avec des pics ponctuels de concentrations. L'analyse géostatistique de ces résultats réalisée à partir des concentrations en Zn et Cd a permis de séparer une variable régionalisée (dans le cas présent cette variable correspond à la distribution des concentrations Zn ou Cd dans le secteur étudié) en deux composantes : une composante à courte portée à partir de laquelle ce sont des variations à très petites échelles qui ont pu être extraites et une variation à longue portée à partir de laquelle ce sont des variations à plus grandes échelles qui ont pu être extraites, la portée étant la distance d'influence du phénomène spatial (Alary et Demougeot-Renard, 2010). La composante à courte portée met en évidence la présence de pics très ponctuels de concentrations corrélés aux différents rejets (étendue métrique) alors que la composante à longue portée peut être interprétée comme une conséquence du panache de polluant induit par un rejet particulier et qui impacte le canal sur une longue distance (étendue kilométrique).

3.4 Application statistique

Si l'on analyse l'ensemble des données VNF au regard de ces observations, il se confirme que les pics de pollution semblent être d'échelle hectométrique (50 m à 1 km). Cette échelle correspond approximativement à celle du cadastre industriel historique, et aux points de rejets. Il n'est pas possible de préciser si ces pics affectent toute la largeur du canal, ni s'il y a migration par rapport aux points de rejets. Les polluants analysés sont groupés selon des associations typiques des sites industriels historiques, en fonction du type d'activité.

4. Enjeux et perspectives

4.1 Vers un tri des sédiments ?

Les observations précédentes semblent montrer l'intérêt de discriminer les sédiments au cours d'une opération de curage, permettant ainsi de limiter le mélange de sédiments très pollués et de sédiments peu ou pas pollués, et ainsi de faciliter la valorisation des seconds. Même sur des zones dites plus contaminées, ces séparations semblent avoir leur intérêt car les concentrations peuvent y être localement multipliées par 3 à 10 (exemple du Zn pour le canal de la Deule, Figure 7).

Il convient en revanche de prendre en compte l'ensemble des polluants. Ceci rend le travail difficile car, selon le polluant considéré, les sources industrielles ne sont pas les mêmes, et les zones de contaminations, dépendantes de l'histoire de la région, des sources et des caractéristiques des rejets, ne sont pas localisées au même endroit. Ceci peut être illustré par le résultat d'une classification ascendante hiérarchique établie à partir des teneurs en Zn, Cd, Hg, HAP et PCB extraites de la base de données VNF pour le canal de la Scarpe (Figure 10, Tableau 4). La classe 1 (n = 18) présentant des concentrations globalement faibles est très dissimilaire des classes 3 et 4 qui présentent des concentrations élevées pour tous les contaminants. En revanche, on observe que la classe 2, peu dissimilaire de la classe 1 et présentant un nombre d'échantillons élevé (n=25), se caractérise par des concentrations peu élevées pour les polluants métalliques mais présente les concentrations les plus fortes en HAP. Des observations similaires peuvent être tirées si l'on réalise l'analyse statistique sur sédiments du canal de la Deule.

4.2 La séparation granulométrique des sédiments peut-elle améliorer sa valorisation potentielle ?

Les observations précédentes mettent en évidence le caractère limoneux des sédiments du Nord-Pas de Calais et de la Wallonie. Les différentes fractions granulométriques de ces sédiments présentent des concentrations en polluants différenciées, ce qui est plutôt en faveur d'une séparation des différentes fractions pour une éventuelle valorisation. En particulier, il semble que pour les métaux, la phase granulométrique la plus fine est globalement la plus concentrée, si l'on excepte le voisinage de sites industriels particuliers. Cependant il convient de nuancer cette tendance car tous les polluants ne présentent pas cette tendance générale, des maximas de concentrations sont trouvés dans toutes les fractions et une hétérogénéité granulométrique significative entre les deux régions a été constatée.

On distinguera ici la valorisation directe des sédiments les moins pollués, la réduction des volumes pollués par fractionnement granulométrique, et la valorisation après traitements de dépollution.

Dans le premier cas, un fractionnement granulométrique aura pour objet d'améliorer les propriétés physiques du matériau à réutiliser. Dans le deuxième cas, on vise à concentrer les polluants dans un volume réduit de sédiments, et à rendre valorisable la fraction la moins polluée, en réduisant ainsi les coûts de mise en dépôt. Dans le troisième cas, le fractionnement facilitera le traitement et en réduira le coût.

Dans toute filière de valorisation ou de traitement, une technique de séparation granulométrique peut donc être souvent mise en place, mais elle doit être adaptable à la typologie du matériel sédimentaire et être basée sur une caractérisation chimique détaillée du sédiment.

5. Conclusions

Le travail présenté ici montre l'importance de bien caractériser le gisement car il présente une très forte hétérogénéité. L'hétérogénéité granulométrique justifierait des analyses comparées d'échantillons wallons et français. De plus, l'étendue des zones de fortes contaminations est difficile à estimer précisément car elle est dépendante de nombreux paramètres qui sont la localisation des rejets, l'intensité de leur débit, la morphologie du cours d'eau et la dynamique de sédimentation. Ceci montre l'intérêt d'utiliser des outils d'analyse rapide pour affiner spatialement la caractérisation.

Le choix d'analyser des échantillons composites (pratique usuelle aussi bien pour VNF que pour le SPW) à partir de plusieurs prélèvements effectués à proximité d'un même point se justifie si l'on considère sa représentativité par rapport à une mise en dépôt non différenciée. Il ne permet pas de trier plus finement les sédiments extraits, ni de séparer les fractions les plus polluées en vue de traitements séparés. Seule l'analyse sur site permettrait à moindre frais d'augmenter cette densité, et d'effectuer des mesures sur chaque prélèvement.

Les pics de pollution semblant être d'échelle hectométrique (50 m à 1 km), un curage sélectif des sédiments pourrait affecter des sections de bief de l'ordre de 100m. L'obtention de mesures sur site à un maillage plus dense sur quelques polluants représentatifs (métaux lourds, hydrocarbures totaux) permettrait éventuellement de sélectionner à une maille plus fine, décamétrique. Cette approche serait indispensable si on envisage un curage environnemental minimisant le volume de sédiments pollués, ou une extraction directe de sédiments destinés à la valorisation. Le coût de ces mesures pourrait être compensé par l'économie réalisée sur la gestion ultérieure de ces sédiments.

Des outils d'analyse rapide sont en cours de développement pour les sédiments ; le projet GeDSeT mène actuellement une action de recherche pour mettre en place une méthodologie permettant d'intégrer, de manière souple et pertinente, l'utilisation de ce type d'outils à un plan de travaux de curage (Laboudigue, 2008). Différentes techniques sont testées dans le cadre de ce programme : la spectrométrie XRF portable, et différentes méthodes issues de la géophysique. L'utilisation d'un spectromètre XRF portable permet l'identification des principales concentrations en "métaux lourds" (Zn, Pb, Cu, Mn, et lorsque possible, As, Cr, Cd...), et la hiérarchisation rapide des sédiments entre pollués, peu pollués ou non pollués au moment d'un curage par exemple. Les grandeurs mesurées en géophysique ne présentent pas par elles-mêmes d'intérêt pour la gestion des sédiments, mais l'acquisition systématique de mesures en continu poursuit deux objectifs : - le repérage d'anomalies majeures dans le lit de

la voie d'eau à curer,- l'identification précoce des zones polluées, sans prélèvement. Les différentes techniques étudiées présentent une sensibilité suffisante pour identifier ou localiser des anomalies de pollution significatives ou de courte amplitude. Comme leur précision absolue reste semi-quantitative, elles ne sont pas adaptées à suivre des variations continues à grande échelle. Néanmoins, ce sont bien les premières qui sont immédiatement exploitables lors de la conduite d'un curage. La signification de toutes ces observations ne peut pas être évaluée sans analyses de laboratoire. Compte tenu que celles-ci ne peuvent être obtenues que dans des délais importants, incompatibles avec une gestion de chantier, il faut impérativement préciser le degré de confiance qu'on peut attendre des mesures sur site, et le degré de risque qu'on introduirait en les utilisant pour des décisions de chantier.

La valorisation des sédiments curés, quelle que soit l'option retenue (bruts ou traités, dépôt temporaire) dépend largement de leur sélection et triage, afin de limiter au maximum le mélange entre sédiments peu pollués, directement valorisables, et sédiments très pollués, pénalisants. La connaissance des teneurs en polluants dans les sédiments pourrait permettre la mise en place de curage sélectif ou de tri des sédiments curés vers des voies de gestion dédiées à une typologie de sédiment. Cela pourrait résulter, en une décomposition du bief à curer en sections précises dont les sédiments sont traités séparément ou en une extraction préalable des sédiments les plus pollués en vue d'inertage ou de mise en dépôt et des sédiments peu pollués, en vue de valorisation directe.

Le curage sélectif doit faire l'objet de calcul coût-bénéfice tel que peuvent l'intégrer les outils d'aide à la décision (Lemière et al., 2010). Ainsi, si on doit tenir compte du surcoût entraîné par la mise en place du curage sélectif, et du coût d'élimination des seuls sédiments les plus pollués, on peut s'attendre à une réduction du coût de mise en dépôt liée aux volumes valorisés et à la réduction du coût d'élimination d'un mélange des sédiments (non pollués et pollués) correspondant à un grand volume de matière. Le tableau 5 esquisse une analyse coût/bénéfice comme illustration d'une comparaison des deux approches.

Références bibliographiques :

Alary, C., Demougeot Renard, H., 2010. Factorial kriging analysis as a tool for explaining the complex spatial distribution of metals in sediments, *Environmental Science and Technology* 44, 2, 593-599.

Alary, C., 2001. Migration des polluants métalliques et organiques à l'échelle d'un sous-bassin hydraulique. Compte-rendu programme FEDER. CNRSSP, Technical report. 01-23, p 72.

Isaure Marie-Pierre, Laboudigue Agnes, Manceau Alain, Sarret Geraldine, Tiffreau Christophe, Trocellier Patrick, Lambie Geraldine, Hazemann Jean-Louis, & Chateigner Daniel, 2002. Quantitative Zn speciation in a contaminated dredged sediment by μ -PIXE, μ -SXRF, EXAFS spectroscopy and principal component analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66, 9, 1549–1567.

Laboudigue, A., Le projet INTERREG GEDSET, Analyse multicritère des choix de gestion de sédiments, Colloque RAMOGE: “La gestion durable des sédiments : problématique européenne, spécificités méditerranéennes”, Monaco, 28-29/10/2008.

Lemière, B., Michel, P., Abriak, N.E., Haouche, L., Laboudigue, A., Alary., C., Badreddine, R., Hazebrouck, B., Meerseman, J.R., 2010. The GeDSeT project: constitution of a decision support tool (DST) for the management and material recovery of waterways sediments in Belgium and Northern France, *Déchet Sciences et Techniques*, N°57, pp 5.

MATE, 2006. Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret no 93-743 du 29 mars 1993. (Journal officiel du 24 septembre 2006).

MEEDDAT, 2008. Circulaire du 4 juillet 2008 - Procédures relatives à la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux.

AGW du 30 novembre 1995 - Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage (M.B. 13.01.1996), modifié par l'arrêté du Gouvernement wallon du 20 mai 1999 établissant une liste de matières assimilables à des produits (M.B. 18.06.1999), du 10 juin 1999 (M.B. 09.09.1999), du 4 juillet 2002 relatif à la procédure et à diverses mesures d'exécution du décret du 11 mars 1999 relatif au permis d'environnement (M.B. 21.09.2002), du 27 février 2003 fixant les conditions sectorielles d'exploitation des centres d'enfouissement technique (M.B. 13.03.2003), du 3 avril 2003 fixant les conditions sectorielles d'exploitation de certaines installations de regroupement de matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage (M.B. 06.05.2003) et par l'arrêté du Gouvernement wallon du 5 décembre 2008 insérant une partie VIII dans la partie réglementaire du Livre Ier du Code de l'Environnement (M.B. 27.01.2009).

VNF, 2007 - Schéma directeur régional des terrains de dépôt.

VNF, 2008a. - Circulaire technique « Opérations de dragage ». Document VNF/SME/C-TEC/DRAG/d, 24/11/2008. 23p.

VNF, 2008b. - Guide dragage. Document VNF/SME/C-TEC/DRAG/d, 76p.

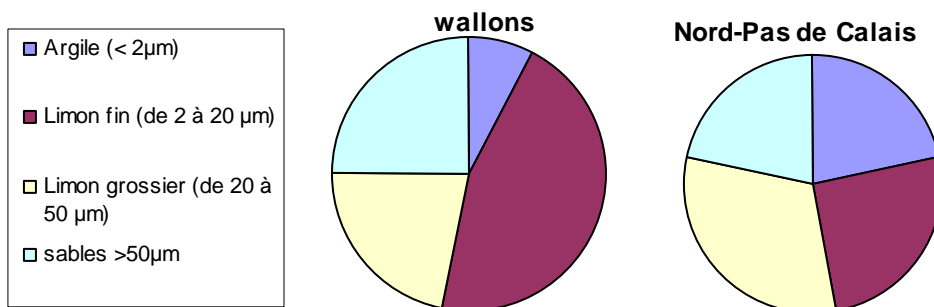


Figure 1 : Distributions granulométriques médianes pour les sédiments français et les sédiments wallons calculées respectivement à partir de 315 et 293 données.

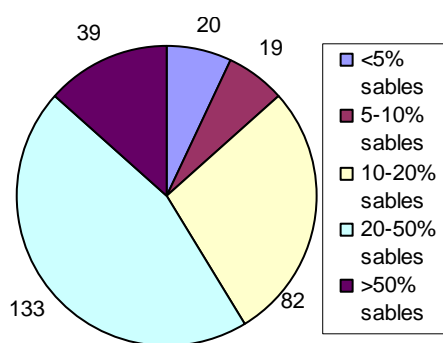


Figure 2 : Nombre d'échantillons se distribuant par 5 classes de teneurs en sables (>50µm) sur 293 échantillons de sédiments wallons

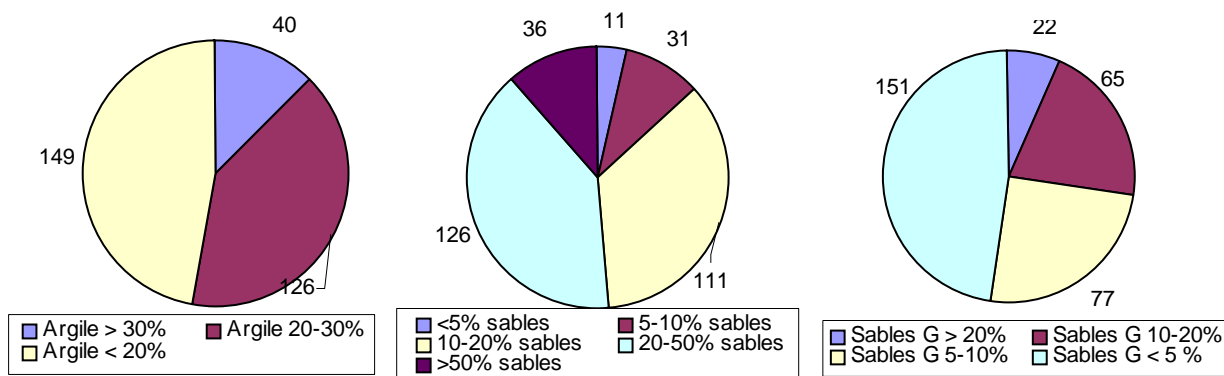


Figure 3 : Nombre d'échantillons se distribuant dans 3 classes de teneurs en argiles, 5 classes de teneurs en sables (>50µm) et 4 classes de teneurs en sables grossiers (>200 µm) pour 315 échantillons VNF Nord Pas de Calais

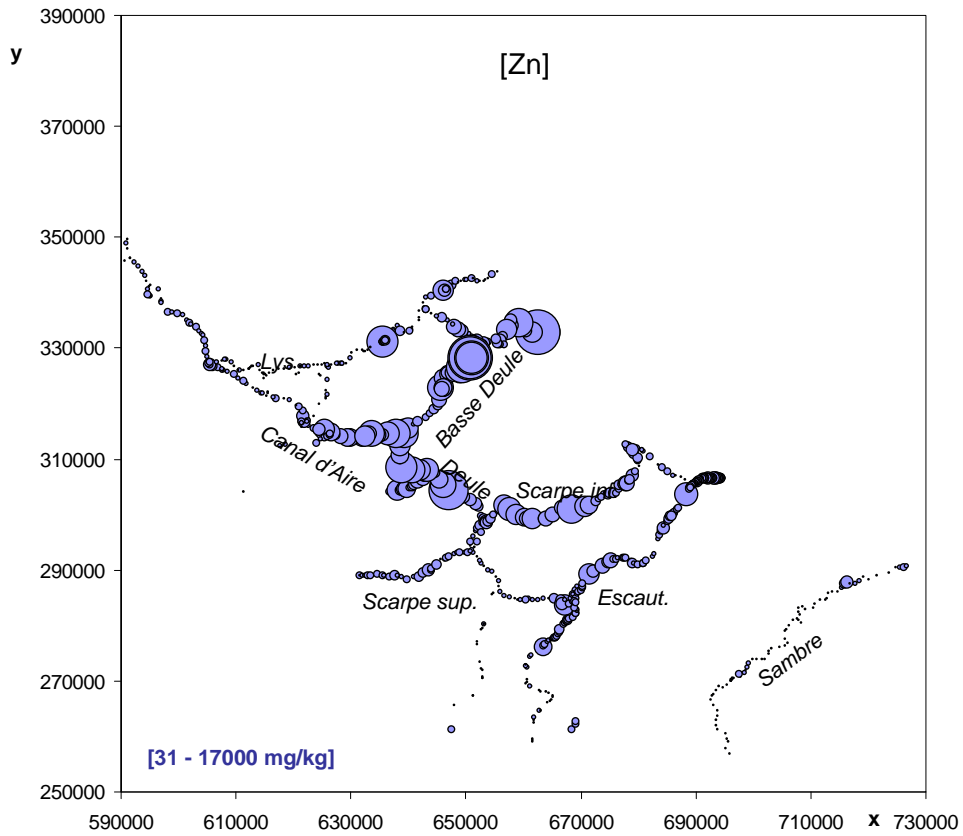


Figure 4 : Variabilité des concentrations en Zn dans le réseau hydrographique de la région Nord – Pas de Calais, (données VNF; n=858). Le diamètre des cercles est corrélé à l'éventail des concentrations qui s'étale de 31 à 17000 mg/kg.

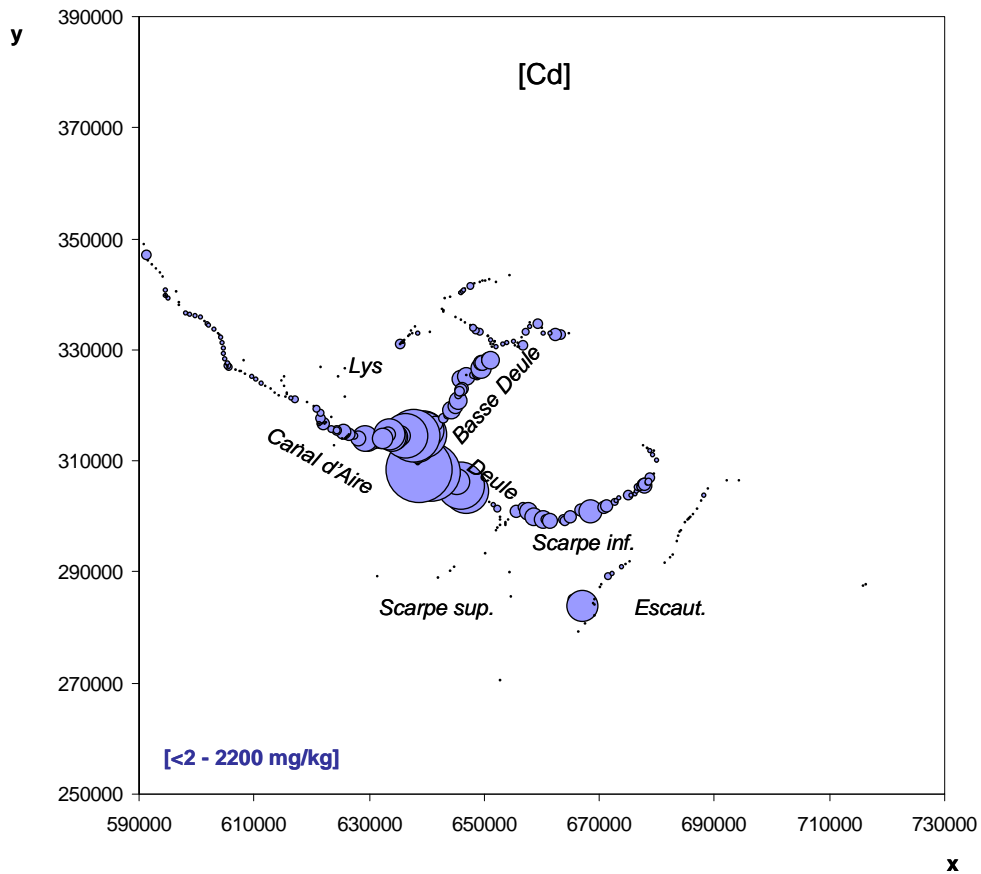


Figure 5 Variabilité des concentrations en Cd dans le réseau hydrographique de la région Nord – Pas de Calais, (données VNF; n=858). Le diamètre des cercles est corrélé à l'éventail des concentrations qui s'étale de 2 à 2200 mg/kg.

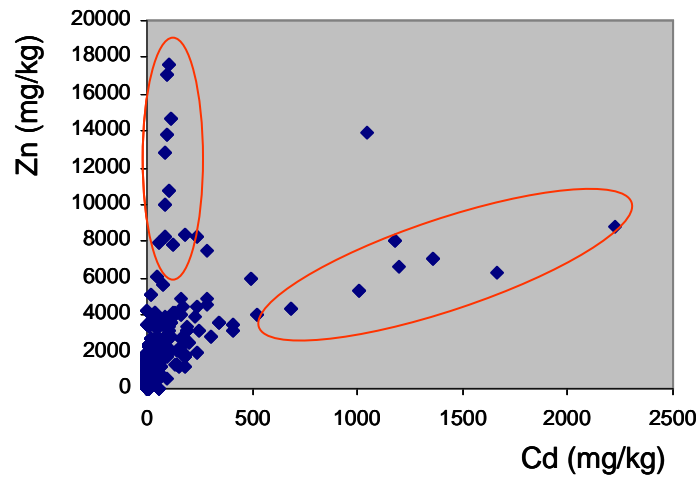


Figure 6 : Concentrations en Cd en fonction des concentrations en Zn dans les sédiments du Nord-Pas de Calais.

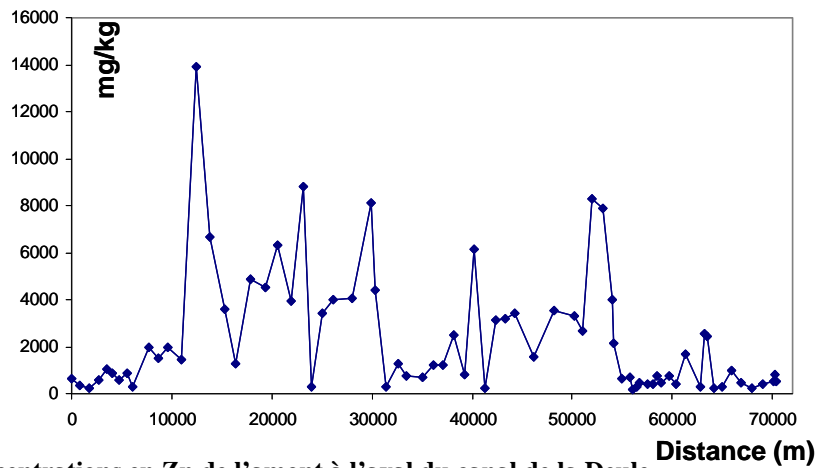


Figure 7 : Concentrations en Zn de l'amont à l'aval du canal de la Deule

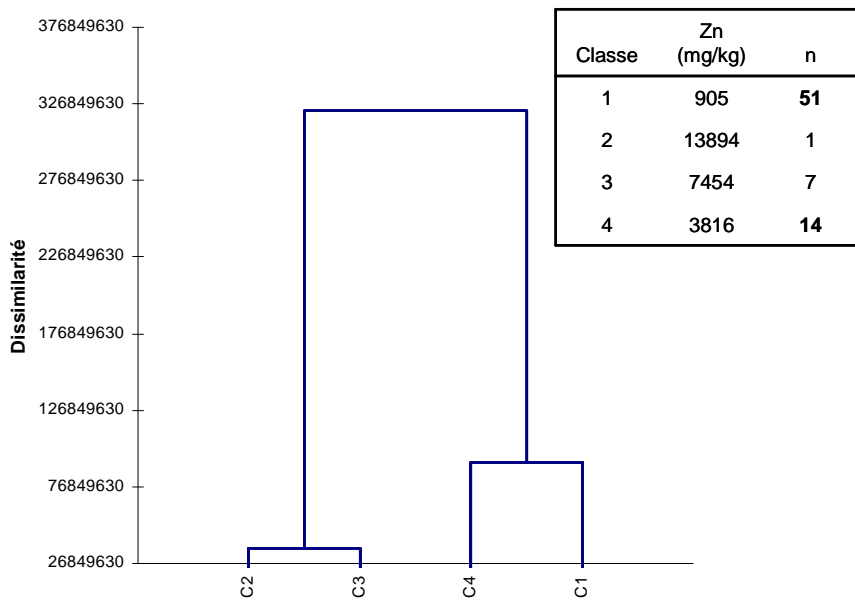


Figure 8 : Classification ascendante hiérarchique établie à partir des teneurs en Zn dans le canal de la Deule. Les teneurs en Zn correspondent au barycentre de chaque classe ; n est le nombre de données.

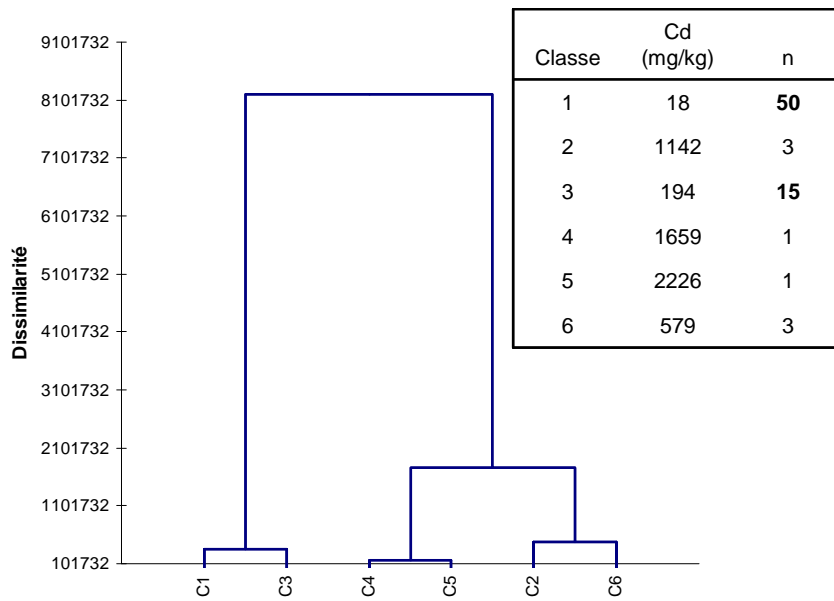


Figure 9 Classification ascendante hiérarchique établie à partir des teneurs en Cd dans le canal de la Deule. Les teneurs en Cd correspondent au barycentre de chaque classe ; n est le nombre de données.

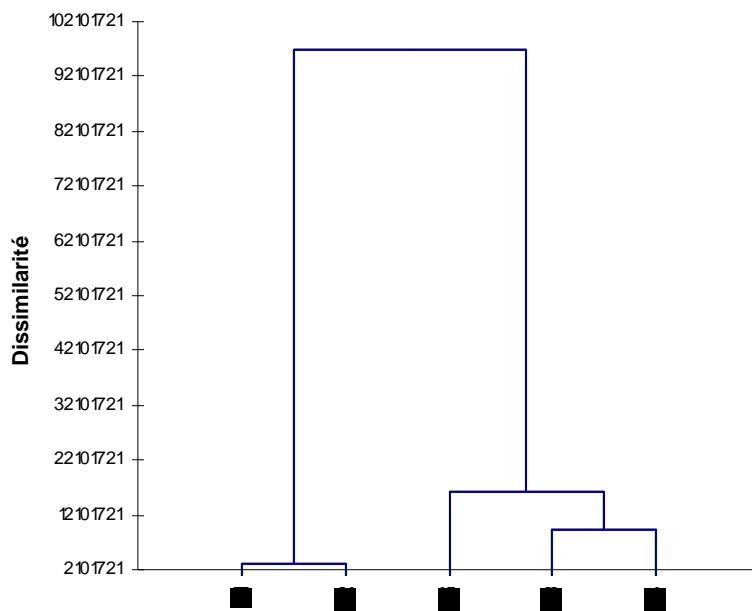


Figure 10 : Classification ascendante hiérarchique établie à partir des teneurs en Zn, Cd, Hg, HAPs et PCBs extraites de la base de données VNF pour le canal de la Scarpe.

France			Substance	Wallonie		
S1(1)	Seuils sédiments(2)	Seuils sédiments non dangereux(2)	Unité : mg/kg de matière sèche	Teneurs maximales admissibles(3)	Teneurs de sécurité (3)	Test d'éluat (3)
30	0.5	2	As tot	50	100	0.5
	20	100	Ba			
2	0.04	1	Cd	6	30	0.1
			Co	25	100	0.5
150	0.5	10	Cr	200	460	0.5
			Cr VI			0.1
100	2	50	Cu	150	420	2
1	0.01	0.2	Hg	1.5	15	0.02
	0.5	10	Mo			
50	0.4	10	Ni	75	300	0.5
100	0.5	10	Pb	250	1500	0.5
	0.06	0.7	Sb			
	0.1	0.5	Se			
300	4	50	Zn	1200	2400	2
	800	15000	Cl-			
	10	150	F-	250	500	20
			CN-	5	25	0.1
	1000	20000	SO4--			
	1		Indice phénol			
	500	800	COT sur éluat			
			Hydrocarbures apolaires	1500	4500	10
			Hydrocarbures aliphatiques (C10 – C40)	50	100	limite quanti GC
			Hydrocarbures aromatiques monocycliques	10	75	
			Solvants halogénés	1	5	0.0005
22.8			HAP (somme 16 US- EPA)	9	45	0.0002
0.68			PCBs (somme 7 congénères)	0.25	0.75	0.002
			Pesticides organochlorés totaux	0.25	0.5	0.002

Tableau 1 : Seuils environnementaux en Wallonie et en France (dans VNF 2008a et b ; AGW, 1995)

(1) Diagnostic initial : Seuils d'aide à la décision S1 (valeurs seuils – Substance ; MATE, 2006 : Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret no 93-743 du 29 mars 1993. (Journal officiel du 24 septembre 2006).

(2) Diagnostic approfondi : Seuils d'aide à la décision - Seuils fixés par la Décision du Conseil Européen n°2003-3 du 19 décembre 2002 (France : Arrêté du 15/03/06).

(3) AGW (arrêté du gouvernement wallon) du 30 novembre 1995.

mg/kg	As	Cd	Cr	Co	Cu	Hg	Pb	Zn	Ni	HAP	PCB
Limons (77 éch)											
MIN	1.6	0.6	36.0	4.1	18.0	0.0	44	120.0	16.0	0.0	0.0
MAX	1005	7285	263	994	3325	10.3	50420	142500	2380	230	2.9
MOY	32.7	108.8	98.3	31.6	192.9	1.1	1392	4937.2	110.2	18.9	0.2
MED	12.1	5.1	83.0	18.0	82.0	0.8	214	1165.0	40.0	6.9	0.1
% > TMA	8%	42%	13%	16%	13%	12%	45%	49%	14%	40%	21%
% > TMS	3%	4%	0%	1%	6%	0%	4%	13%	4%	12%	6%
limons sableux (203 éch)											
MIN	0	0	4	3	7	0	4	35	8	0.0	0.0
MAX	48	413	750	55	1245	7	8075	26100	580	329.4	4.2
MOY	9	11	82	15	114	1	247	1145	41	20.6	0.1
MED	7	4	60	14	68	1	158	865	31	9.4	0.0
% > TMA	0%	30%	10%	7%	10%	15%	28%	31%	6%	52%	11%
% > TMS	0%	4%	1%	0%	5%	0%	1%	6%	1%	10%	4%
sables (20 éch)											
MIN	1	0	15	1	13	0	22	92	7	1.4	0.0
MAX	28	11	596	24	485	1	1058	3760	128	86.2	0.2
MOY	6	3	85	11	77	0	232	747	32	14.8	0.0
MED	5	1	50	12	42	0	146	558	26	8.6	0.0
% > TMA	0%	17%	6%	0%	6%	0%	28%	11%	6%	50%	0%
% > TMS	0%	0%	6%	0%	6%	0%	0%	6%	0%	5%	0%

**Tableau 2 : Contamination par classes de limons et sables sur 301 échantillons de Wallonie (SPW).
Les seuils TMA ET TMS utilisés correspondent respectivement au seuil maximal et au seuil de sécurité définis dans les textes réglementaires qui régissent la gestion des sédiments wallons (SPW nov.1995 -2008).**

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PCB	HAP
Argile > 30% - nombre : 40										
Maxi	93.2	1177	431	242	26.9	129	3128	8090	1.176	180
Moyenne	16.5	92.3	81.4	69.5	4.9	38.6	343.1	984.1	0.2	19.5
Médiane	10.5	6.4	62.4	43.9	0.7	30.6	115.0	424.0	0.1	3.0
Mini	4.3	2.47	6.2	6.3	0.1	14.7	18.3	61.8	0.063	0.174
%>Seuil S1	13%	78%	10%	23%	38%	15%	58%	63%	5%	20%
Argile 20-30% - nombre : 146										
Maxi	90.8	1355	219	313	20.4	143	4622	7104	0.68	167
Moyenne	12.1	52.1	60.4	66.0	1.8	37.0	268.1	721.8	0.2	17.6
Médiane	7.2	4.7	51.3	55.8	0.6	28.3	139.0	435.0	0.1	7.8
Mini	3.3	0.56	12.7	9.6	0.06	10.9	9.01	65	0.063	0.784
%>Seuil S1	6%	66%	4%	18%	29%	17%	63%	64%	0%	26%
Argile < 20% - nombre : 149										
Maxi	346	346	356	874	49.2	334	2660	8288	1.142	2265
Moyenne	15.4	37.0	55.2	67.2	2.5	27.7	216.9	789.6	0.2	30.1
Médiane	7.6	6.5	40.7	48.5	0.6	18.9	125.0	397.0	0.1	7.6
Mini	2.9	1.51	14.3	3.28	0.07	5.76	9.22	31.9	0.063	0.174
%>Seuil S1	7%	61%	5%	15%	32%	8%	60%	61%	3%	24%

Tableau 3: Contamination par classes d'argiles sur 315 échantillons VNF Nord Pas de Calais. Les seuils S1 utilisés correspondent aux seuils d'aide à la décision du diagnostic initial (VNF, 2008 a et b).

Classe	Cd	Zn	Pb	Hg	PCB totaux	HAP totaux	nombre de données
1	1,010	292,172	97,100	0,436	0,152	16,055	18
2	6,386	757,720	366,360	5,120	0,287	43,737	25
3	68,292	2371,500	320,667	7,390	0,181	32,836	6
4	139,143	4072,429	411,714	14,919	0,288	37,251	7
5	289,000	7466,000	649,000	49,200	0,170	26,920	1

Tableau 4: Classification ascendante hiérarchique établie à partir des teneurs en Zn, Cd, Hg, HAPs et PCBs extraites de la base de données VNF pour le canal de la Scarpe. Les valeurs correspondent au barycentre de chaque classe.

	Mise en dépôt non différenciée	Curage sélectif et destinations différenciées
Coût du curage	minimisé	Augmenté (2 phases)
Caractérisation préalable	Statistiquement significative	Géolocalisée et précise
Coût du dépôt	Elevé : volume maximum, surface du site, produits uniformément pollués, surveillance	Réduit : volume minimum (sédiments pollués non dangereux)
Matériaux valorisables	Aucun sauf si le bief à curer est totalement non pollué	Oui – disponibles dès l'extraction, par voie d'eau
Mise en décharge	Aucune actuellement – très importante dans les futures réglementations	Oui mais réduite aux fractions les plus polluées

Tableau 5 : Comparaison des incidences principales d'un curage sélectif et d'un curage non différencié