

Pollution des sédiments

C.I.F.P. 20/XI/1997

1. DEFINITIONS	2
1.1. GRANULOMETRIE.....	2
1.2. ORIGINES, ELEMENTS CONSTITUTIFS.....	2
1.3. MICROPOLLUANTS	3
2. METHODES D'ETUDE DE LA QUALITE DES SEDIMENTS.....	4
2.1. PRELEVEMENTS	4
2.2. CHOIX DES PARAMETRES.....	5
2.3. METHODES D'ANALYSE.....	5
2.3.1. <i>éléments en trace</i>	6
2.3.2. <i>micropolluants organiques</i>	6
2.3.3. <i>assurance de la qualité.</i>	7
2.4. BIO-ESSAIS, METHODES BIOLOGIQUES	8
3. QUALITE DES SEDIMENTS & IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT	9
3.1. SEUILS DE QUALITE.....	9
3.1.1. <i>méthode de détermination</i>	9
3.1.2. <i>comparaison de jeux de seuils (concepts, valeurs).</i>	12
3.2. TYPES D'IMPACTS	13
4. REGLEMENTATION DES PRODUITS DE DRAGAGE OU DE CURAGE	15
4.1. SITUATION FRANÇAISE.....	15
4.2. PROPOSITION FAITE DANS LE CADRE DU PROJET D'APPROFONDISSEMENT DE LA MOSELLE	15
5. GESTION DES PRODUITS DE DRAGAGE : TRAITEMENTS, STOCKAGES	16
5.1. APERÇU DES POSSIBILITES.....	16
5.2. METHODE DE CHOIX.....	19
6. CONCLUSIONS	20
6.1. STATUT DES MATERIAUX DE DRAGAGE	20
6.2. INTERET DES METHODES D'EVALUATION DE RISQUE OU DE DANGER	20
7. REFERENCES.....	21

1. Définitions

1.1. granulométrie

Le terme de sédiment n'est pas toujours employé de la même façon ; on retiendra un sens utilisé par beaucoup d'acteurs ; **matériau déposé au fond des cours d'eau, ou en milieu marin et estuarien, constitué essentiellement de particules de taille ≤ 2 mm.**

Les matériaux de dragage peuvent évidemment inclure des « particules » plus volumineuses (des pneus, des carcasses de voiture ou des blocs de roche également . . .).

1.2. origines, éléments constitutifs

La connaissance de l'origine des éléments constitutifs des sédiments est reliée à la répartition granulométrique. Les seuils de classe résultent de choix « culturels » et de l'emploi - aujourd'hui dépassé - de techniques de tamisage.

$< 2\mu$	$2\mu < - \leq 20\mu$	$20\mu < - \leq 63\mu$	$> 63\mu$
argiles et colloïdes	limons fins	limons grossiers	sable

Tableau 1- Contenu des fractions granulométriques'

La formation des sédiments résulte de phénomènes d'érosion, suivis de dépôts dans des zones plus calmes, d'apports de matière organique sous diverses formes (débris végétaux, rejets . . .). enfin de transformations au sein du sédiment (action des organismes, réactions d'oxydo-réduction . . .). La matière organique est soit adsorbée sur les particules fines ($\leq 63\mu$), soit présente sous forme dissoute ou de colloïdes.

Les sédiments constituent un compartiment de stockage des polluants en raison de leur mode de constitution (sédimentation des matières en suspension) et de leur composition : présence de carbonates, d'oxy-hydroxydes de fer et de manganèse, d'argiles, de matière organique, qui interviennent de manières diverses dans la rétention des polluants comme les métaux ou les micropolluants organiques : phénomènes d'adsorption et de chelation notamment.

Le sédiment est en général stratifié, avec une zone oxisque en surface, où l'adsorption semble liée aux hydroxydes de fer et de manganèse, et une zone anoxique, caractérisée par la formation de sulfures qui vont précipiter les métaux. Cependant, les couches supérieures du sédiment (même sur une épaisseur notable) ne sont pas inertes ni immobiles ; elles sont sujettes à des remaniements du fait de l'action d'organismes fouisseurs ou de phénomènes hydrauliques, et sont aussi le siège d'une activité importante des micro-organismes (biodégradation, modification de forme chimique des métaux, bioaccumulation).

¹ classes se référant à l'origine à plusieurs systèmes de classification . . .

1.3. micropolluants

On appelle ainsi toute substance susceptible d'effet à des concentrations inférieures ou égales au **mg/litre** ; on distinguera des micropolluants minéraux, improprement appelés métaux lourds², et des micropolluants organiques. Compte tenu du nombre de substances chimiques (plus de 4 millions d'entités recensées au Chemical Abstract Service, environ 100.000 en circulation commerciale ou industrielle selon l'inventaire « EINECS » de l'Union Européenne), on se contentera ici de quelques indications succinctes sur certains composés très fréquemment cités.

Composé		Usages
arsenic	As	traitement du bois, verre, métallurgie (Cu, Pb)
cadmium	Cd	verre, métallurgie, batteries, PVC, catalyseur, pigments . . .
chrome	Cr	métallurgie, pigments
cuivre	CU	métallurgie, catalyseur, verre
mercure	Hg	instruments de mesure, dentisterie, électrolyse des chlorures, industrie électrique
nickel	Ni	métallurgie, monnaie, catalyseur (industrie pétrolière), cables électriques
plomb	Pb	métallurgie (dont Cu), verre et cristal, additif essence
zinc	Zn	galvanisation, batteries, réactif chimique
polychlorobiphényles	PCB	isolant, fluide diélectrique, fluide thermique, fluide hydraulique, lubrifiant, papiers spéciaux . . .
hydrocarbures polycycliques aromatiques	HPA	sous-produits des combustions, présents naturellement dans le pétrole, le charbon et les goudrons
pentachlorophénol		traitement du bois

Tableau 2 - Exemples de micropolluants

² préférer le terme *d'éléments en trace*

2. Méthodes d'étude de la qualité des sédiments

2.1. **prélèvements**

Si l'on met de côté les secteurs accessibles à pied (petits cours d'eau), les seuls outils de prélèvement utilisables sont :

- benne preneuse (manuelle)
- carottier

Il existe différents types de benne preneuse ; dans tous les cas, l'opération de prélèvement se passe en deux temps :

1. dépôt de la benne en position ouverte sur le fond
2. fermeture de la benne

La fermeture est déclenchée par différents dispositifs : traction sur la corde, envoi d'un messageur... Le choix de l'outil doit privilégier la technique la moins perturbatrice du sédiment (on peut perdre une partie très importante des particules fines en surface en cas de mauvaise manipulation). La benne Eckmann semble actuellement un bon compromis.

Le carottier est intéressant à profondeur élevée, ou pour des études structurales, ou pour des épaisseurs importantes.

La conduite de l'opération de prélèvement dépend des objectifs poursuivis ; dans le cas d'un suivi de la qualité, on ne s'intéresse en principe qu'aux sédiments récemment déposés, donc les plus **superficiels**³. Dans le cas de prélèvements préliminaires à des opérations de dragage ou de curage, on s'intéressera plus à l'ensemble de l'épaisseur du dépôt sédimentaire. Dans tous les cas, il faudra constituer un échantillon moyen représentatif de chaque point de prélèvement à partir de plusieurs sous-échantillons (RD/milieu/RG).

Les sous-échantillons sont ensuite mélangés dans un seau de 10 litres en plastique, en éliminant au passage les gros débris ; à partir de ce mélange, on remplit ensuite un bocal de 2 litres, ou 2 d'un litre. Le matériau constitutif du bocal a relativement peu d'**importance**, l'usage le plus répandu étant le verre. Par contre, il convient de remplir le plus complètement possible (limiter la quantité d'air et de surnageant aqueux). Conserver à l'abri de la lumière et à 4°C jusqu'à prise en charge par le laboratoire, de préférence sous 48 heures.

Un guide pratique des techniques de prélèvement et de préparation des échantillons de sédiments est en préparation dans le cadre du programme d'études interagences.

³ Cela ne suffit pas toujours, notamment s'il y a eu des crues importantes auparavant. Dans l'absolu, il faudrait évaluer l'ancienneté du dépôt, à l'aide de radiotraceurs

2.2. **choix des paramètres**

Très fréquemment, les donneurs d'ordre se réfèrent à des listes standardisées de paramètres, dont l'extension plus ou moins grande est plus régulée en fonction des moyens financiers que des risques de présence. Bien souvent, on a perdu le sens de la présence de tel ou tel composé sur ce type de liste.

Il semblerait plus logique de commencer par collecter quelques informations, d'une part sur l'historique de l'occupation des sols à l'amont du point de prélèvement, d'autre part sur les données préexistantes en matière de qualité d'eau et de sédiments. Les données historiques incluent les établissements industriels, les pollutions accidentelles, l'agriculture et les rejets de collectivité. Les données existantes (si elles existent) proviennent essentiellement du « Réseau National de Bassin » (RNB), donc s'obtiennent auprès des DIREN ou des Agences de l'Eau.

D'autre part, la destination prévue pour les matériaux de dragage va aussi conditionner le choix des paramètres à analyser : pour la mise en décharge, il faudra vérifier la conformité du matériau avec la réglementation ; pour le recyclage agricole, il faudra vérifier qu'il n'y a pas d'incompatibilité avec les cultures, et donc notamment analyser les mêmes paramètres que pour les boues d'épuration.

Dans la pratique, il faudra en fait combiner les trois approches au cas par cas ; on ne connaît en effet pas forcément très bien l'adéquation entre activités industrielles et paramètres à rechercher, ce qui fait courir le risque de passer à côté de paramètres importants. Il y a aussi des composés qui sont « ubiquitaires », comme les HPA.

On pourrait donc retenir l'idée d'une liste de base, à laquelle on ajouterait en option l'un ou l'autre paramètre selon les informations historiques recueillies :

- éléments en trace : Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, **Zn** (As en option)
- **HPA** : Acénaphène, Acénaphylène, Anthracène, **Benzo(a)anthracène**, **Benzo(a)pyrène**, **Benzo(b)fluoranthène**, **Benzo(ghi)pérylène**, **Benzo(k)fluoranthène**, Chrysène, **Dibenzo(ah)anthracène**, Fluoranthène, **Indéno(123cd)pyrène**, Naphthalène, Phénanthrène, Pyrène
- PCB : par congénère, PCB28, 52, 101, 118,138, 153,180

2.3. **méthodes d'analyse**

D'une manière générale, l'analyse chimique consiste à isoler le ou les éléments qu'on cherche à mesurer, avant de déterminer son « activité ». Cette démarche générale a notamment pour but de supprimer les interférences, donc d'augmenter la fiabilité des mesures ; en retour, cela alourdit les manipulations.

2.3.1. éléments en trace

La méthode d'analyse la plus courante reste la spectrométrie d'absorption atomique. Celle-ci consiste à bombarder l'ion métallique qu'on cherche à analyser par une lumière spécifique de cet élément (lampe à cathode métallique), et à mesurer la perte due à l'absorption de photons par l'ion à analyser. L'intensité lumineuse perdue est directement proportionnelle à la concentration d'ion métallique. Le bombardement peut se faire dans une flamme ou dans un micro-four en carbone, qui permet un gain de sensibilité appréciable.

Actuellement, on commence à utiliser en routine une technique couplant une torche à plasma avec un spectromètre de masse.

Dans tous les cas, il faut passer par une phase préalable de destruction de la matrice de sédiment, ce qui se fait par attaque acide à chaud (eau régale⁴ ou autre acide « fort »). L'utilisation concomitante d'ultra-sons semble également de plus en plus pratiquée, en remplacement du système classique à reflux.

Le mercure et l'arsenic s'analysent selon un protocole différent, qui tient compte de la volatilité de ces éléments.

2.3.2. micropolluants organiques

D'une manière générale, l'analyse des micropolluants organiques repose sur des techniques chromatographiques. Ces techniques consistent à séparer les composés par adsorption sur un support. Les composés sont ensuite désorbés, dans un ordre précis, dépendant des propriétés du support, de la phase qui assure le transport et des composés à analyser. A la sortie du système où ont lieu adsorption puis désorption, on dispose un détecteur dont le signal est proportionnel à la concentration du composé.

Au préalable, il faut passer par une phase d'extraction et de concentration, avec souvent une étape de purification qui permet de débarrasser l'échantillon des interférences (par ex. matières organiques).

Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Dans cette technique, la phase mobile est un gaz, la phase immobile est constituée de polymères de silicone plus ou moins greffés, ce qui permet d'obtenir des colonnes de polarité différente. Les composés à analyser doivent donc être stables à (relativement) haute température ; ils sont en général peu polaires. Certains composés polaires (par ex. phénols) doivent être transformés (dérivatisation) en composés moins polaires pour pouvoir passer en CPG.

⁴ mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique, en proportion 3/1

Pollution des sédiments

Les détecteurs utilisables sont plus ou moins spécifiques ; ils réagissent à la présence d'ions après destruction de la molécule :

- . FID = non spécifique ; détection des ions formés à partir des hétéro-atomes (Cl, N, P, O)
- . ECD = réagit à l'ion Cl⁻
- . NPD = réagit à l'azote, au phosphore (triazines, organo-phosphorés)
- SM = spectrométrie de masse ; détection de plusieurs ions, dont la présence simultanée « signe » la présence d'une molécule.

Exemples : polychlorobiphényles (PCB), lindane, chlorophénols (après dérivatisation), atrazine, insecticides organophosphorés . . .

Chromatographie liquide haute performance (HPLC)

Dans cette technique, la phase mobile est liquide ; la séparation se fait à température modérée, en jouant sur la pression. Les composés analysables à l'aide de cette technique sont dans l'ensemble plus polaires que ceux analysés par CPG.

Les détecteurs utilisables sont de deux types :

- spectrométrie ultra-violet (absorption par la substance d'énergie lumineuse dans l'ultra-violet, proportionnellement à la concentration) ; deux variantes sont possibles = détecteur à barrette de diodes, qui permet de reconstituer le spectre UV de la substance, fluorimétrie = mesure de la lumière émise en retour par la substance
- spectrométrie de masse (cf plus haut)

Exemples : hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), atrazine, herbicides phényl-urées
...

Dans tous les cas, l'identification des substances repose d'abord sur le temps de rétention (laps de temps séparant la détection du solvant d'injection et le « pic » représentant une substance) ; ce temps de rétention doit être comparé à celui de substances pures injectées régulièrement. Il n'y a donc pas de certitude absolue d'identification, c'est pourquoi on préconise d'utiliser deux montages (colonnes de polarités différentes). Le détecteur à barrette de diodes, pour l'HPLC, et la spectrométrie de masse, permettent une meilleure identification des substances.

2.3.3. assurance de la qualité

Toutes ces techniques d'analyse sont empreintes de risques d'erreur importantes : chaque manipulation comporte de tels risques. On travaille avec de petites quantités d'échantillons, il faut extraire et concentrer etc. Il y a donc des risques de pertes (volatilisation, ou autres), ainsi que des risques d'erreurs (pesées, volumes), qui se répercutent sur le résultat. Les manipulations ne sont pas strictement quantitatives - notamment l'extraction -.

La seule parade à ces difficultés consiste à mettre en place des procédures d'assurance de la qualité, dont on retiendra notamment :

- recours à des protocoles normalisés
- description détaillée des protocoles internes au laboratoire⁵
- insertion d'étalons et de blancs dans les séries d'analyses
- recours à des échantillons certifiés pour vérifier les rendements d'extraction ou de minéralisation

En **principe**, ces différents points sont pratiqués en routine par les laboratoires accrédités⁶. Ces différentes précautions ont pour effet de renchérir le coût des analyses, mais ce renchérissement est à mettre en rapport avec les enjeux.

2.4. **bio-essais, méthodes biologiques**

L'analyse chimique souffre de deux inconvénients importants :

- sa sélectivité restreint la gamme de substances mesurées ; si l'on veut être exhaustif, il faut déployer des moyens très importants
- l'extraction, ou la minéralisation dans le cas des métaux, ne donnent accès qu'à des concentrations « totales », ou à peu près. Cela ne suffit en aucun cas pour estimer le risque d'effets environnementaux.

A l'inverse, les méthodes biologiques rendent mieux compte des effets ; bien employées, elles permettront d'être plus exhaustif quant à la description des impacts. Cependant, elles ne permettent pas d'identifier le ou les agents **causaux** lorsqu'un effet est relevé. De plus, les organismes vivants sont plus ou moins sensibles aux substances toxiques ; il conviendra donc en général de combiner plusieurs « outils » biologiques pour décrire correctement la toxicité d'un matériau.

Il ne faut pas concevoir l'analyse chimique comme opposée aux méthodes biologiques ; ce sont plutôt des approches complémentaires, qui ont des contraintes de temps différentes.

Sans entrer dans les détails, deux types de méthodes peuvent être utilisées dans 1 'étude de la contamination des sédiments ; le choix dépendra des objectifs de l'étude et des contraintes de temps et de moyens financiers :

- bioessais de toxicité ; s'utilisent en laboratoire ; ils s'appliquent à des échantillons d'eau (interstitielle, lixiviat . ..) ou de sédiments (ou d'autres matrices le cas échéant), et portent sur des organismes aquatiques (algues, crustacés, voire poissons, amphibiens), des organismes vivant dans le sédiment (oligochètes, larves d'insectes, amphipodes), ou encore des plantes
- relevés faunistiques : même principe que l'**IBGN**⁷, sur des populations plus spécifiques du sédiment (en particulier les oligochètes).

⁵ pour ce qui n'est pas normalisé, ou laissé au choix de l'opérateur dans certaines normes

⁶ l'accréditation passe par un audit du laboratoire par des experts ; l'audit est renouvelé régulièrement

⁷ Indice Biologique Général Normalisé ; relevé des populations vivant dans l'eau et en surface du sédiment dans une zone proche du point de prélèvement

Exemples d'application :

- ↳ étude de l'impact d'un rejet sur un sédiment, ou des échanges nappe-rivière à travers le sédiment (avec incidence sur la qualité) → relevés faunistiques **et/ou** bioessais
- ↳ classification de matériaux → bioessais

Milieu	Espèce	Durée	Développement	Coût (F HT)
eau	daphnie	24 - 48 h	normalisé	≤ 1000
	ceriodaphnie	7 j	standardisé	10 - 15.000
	algue	72 h	normalisé	3.000
sédiment	chironome	10 j (minimum)	en	inconnu
	hyalella		développement	inconnu
sol (plantes)	orge, cresson	14 j (minimum)	normalisé	5.000 ?
	laitue		normalisé	?
	ray-grass		normalisé	?
	concombre		normalisé	?

Tableau 3 - Bioessais disponibles pour les études du sédiment

Ce tableau ne mentionne pas d'essai sur bactéries comme le test d'inhibition de la bioluminescence de *Vibrio fischeri* (dont une des versions commerciales est connue sous le nom de Microtox S). Cette omission est intentionnelle : d'une part, la signification écologique d'essais sur bactérie n'est pas bien cernée dans le cas des sédiments, d'autre part la représentativité pose question (sous-échantillonnage d'une quantité très faible de sédiment dans la version « phase solide », extrait organique dans d'autres cas ...).

Les essais sur poisson ne sont pas mentionnés non plus dans ce tableau ; ils nécessitent en effet des volumes d'eau importants, peu compatibles avec les contraintes d'échantillonnage si l'on s'intéresse à l'eau interstitielle ou à un lixiviat.

Dans le cas des essais sur algues, les résultats peuvent être **biaisés** par la présence de nutriments.

3. Qualité des sédiments & impacts sur l'environnement

3.1. *seuils de qualité*

3.1.1. méthode de détermination

On parle ici de seuils de qualité « milieu » ; les agences ont revu en profondeur leur « grilles de qualité » ces dernières années, de façon à intégrer l'évolution des connaissances, et à prendre en compte de nouveaux paramètres comme justement les micropolluants. Le nouveau système est appelé SEQ-Eau, pour « système d'évaluation de la qualité » ; il est encore en cours de développement.

Pollution des sédiments

Le SEQ-Eau est basé sur la notion d'altération (groupe de paramètres) et sur la notion d'usage et de fonctions. Les paramètres constitutifs des altérations sont dotés de seuils qui peuvent varier selon les fonctions/usages. Pour les micropolluants, on a essentiellement considéré la fonction « potentialités biologiques » et l'usage AEP.

Dans le cas de la fonction « potentialités biologiques », le système comprend 5 classes de qualité, définies au tableau ci-après.

Taxons <i>polluo-</i> <i>sensibles</i>	<i>Diversité</i>	<i>Seuils</i>
tous absents	très faible	
		4
nombreux absents	réduite	
		3
nombreux absents	satisfaisante	
		2
certains absents	satisfaisante	
		1
tous présents	satisfaisante	

Tableau 4 - Signification des classes de qualité

D'un point de vue pratique, la détermination des seuils pour les micropolluants dans l'eau repose sur la connaissance des effets des substances pures dans le cadre d'essais de toxicité. La correspondance entre les paramètres caractéristiques des effets toxiques et les seuils de qualité est donnée au tableau suivant.

Seuil de qualité	Définition des seuils	Risques potentiels en cas de dépassement du seuil
4	La moyenne géométrique des plus basses valeurs fiables aiguës CE ou CL50 pour trois niveaux trophiques (algues/plantes, invertébrés et poissons).	très grand risque d'effets létaux sur plusieurs espèces ; diminution de l'abondance, et de la variété des espèces
3	La plus basse valeur fiable aiguë CE ou CL50 sans facteur de sécurité.	risque d'effets létaux sur les espèces les plus sensibles ; diminution de l'abondance
2	Soit la plus basse concentration chronique fiable sans effet (NOEC) sans facteur de sécurité ou la plus basse valeur fiable aiguë CE ou CL50 avec un facteur de sécurité de 100	risque d'effets chroniques (sublétaux) ; possible réduction de l'abondance ; prédominance d'espèces tolérantes
1	Soit la plus basse concentration chronique fiable sans effet (NOEC) avec un facteur de sécurité de 10 ou la plus basse valeur fiable aiguë CE ou CL50 avec un facteur de sécurité de 1000	risque d'effets chroniques (sublétaux), pour les espèces les plus sensibles, notamment pour les juvéniles

Tableau 5 - Correspondance entre seuils de qualité et paramètres de toxicité

Pour les sédiments, il existe très peu de données issues d'essais de toxicité ; deux méthodes ont été employées :

- ↳ pour les métaux et quelques organiques, méthode statistique permettant de déterminer deux seuils « sans effet » et « effets probables » à partir de bases de données associant des données biologiques (relevés faunistiques et tests de toxicité *in situ*) et des concentrations mesurées dans les mêmes études ;
- ↳ pour les autres, calcul à partir des seuils dans l'eau à l'aide du coefficient de partage eau/sédiment.

Dans les deux cas, on s'est limité aux deux premiers seuils ; une nouvelle étude est en cours pour mieux définir les concepts pour les seuils 3 et 4.

3.1.2. comparaison de jeux de seuils (concepts, valeurs)

La comparaison des systèmes développés par différents pays industrialisés mériterait une étude à part entière, qui reste à faire'. A partir d'un même objectif général - la protection du milieu -, on peut arriver à des résultats différents, pour trois raisons principales :

- différences au niveau des méthodes employées
- différences de sensibilité des experts impliqués (cf notamment l'emploi des coefficients)
- extension des jeux de données utilisées

Paramètre	u	EP	WEA
fluoranthène	µg/kg	120	113
benzo(a)pyrène	µg/kg	225	9 (90*0.1)
PCB (totaux)	µg/kg	12.5	22
mercure	µg/kg	0.038 - 128	130
zinc	mg/kg	35 - 215	124

Tableau 6 - Comparaison de seuils de qualité sur sédiments

Cette comparaison illustre bien l'impossibilité d'appliquer le concept EP aux métaux, parce que ceux-ci sont présents sous plusieurs formes chimiques, et que les interactions avec la matrice sont donc plus complexes et très variables d'un point à un autre.

	niveau 1 (SSE) ⁹	niveau 2 (SEM) ¹⁰	niveau 3 (SEN) ¹¹
As extractible	3	7	17
Cd extractible	0.2	0.9	3
Cr extractible	55	55	100
Cu extractible	28	28	86
Hg total	0.05	0.2	1
Ni extractible	35	35	61
Pb extractible	23	42	170
Zn extractible	100	150	540
PCB totaux	0.02	0.2	
Σ-HCH		0.005	
HCH a	0.0003	0.01	
HCH β	0.0002	0.03	
HCH g	0.0009	0.003	
hexachlorobenzène	0.001	0.03	

Tableau 7 - Seuils proposés pour le PASL

(en µg/g, sauf grisé = µg/g pour 1% de COT)

⁸ dans les études réalisées pour le volet micropolluants, une telle démarche d'inventaire avait été faite, mais la situation évolue

⁹ seuil sans effet

¹⁰ seuil d'effet mineur, similaire au seuil 2 du SEQ

¹¹ seuil d'effet néfaste, non directement comparable aux seuils SEQ

	valeur- objectif	valeur limite	valeur de contrôle	valeur d'interventio n	valeur de contrôle "mer du Nord"
arsenic	29	55	55	55	29
cadmium	0.8	2	7.5	12	4
chrome	100	380	380	380	120
cuivre	35	35	90	190	60
mercure	0.3	0.5	1.6	10	1.2
nickel	35	35	45	210	45
plomb	85	530	530	530	110
zinc	140	480	720	720	365
PCB28	0.001	0.004	0.03		0.03
PCB52	0.001	0.004	0.03		0.03
PCB101	0.004	0.004	0.03		0.03
PCB118	0.004	0.004	0.03		0.03
PCB138	0.004	0.004	0.03		0.03
PCB153	0.004	0.004	0.03		0.03
PCB180	0.004	0.004	0.03		0.03
Σ -PCB (7 cong.)			0.2		
hexachlorobenzène	0.0025	0.004	0.02		0.02
Σ -chlorobenzènes				30	
HCH a	0.0025		0.02		
HCH β	<i>0.001</i>		0.02		
HCH g	0.00005	<i>0.001</i>	0.02		0.02
C-HCH				2	

Tableau 8 - Seuils en vigueur aux Pays-Bas

Il n'est évidemment pas question de pousser la comparaison trop loin ; ces deux tableaux - qui ne représentent qu'une sélection de substances - illustrent par contre la difficulté qu'il y aurait à transposer des valeurs de seuil en vigueur dans d'autres contextes sans s'interroger sur l'adéquation des concepts utilisés au but poursuivi.

3.2. types *d'impacts*

La contamination des sédiments par des substances toxiques peut avoir plusieurs types de conséquences :

- **impact** sur la qualité de l'eau (transferts sédiment \rightarrow eau)
- **impact** sur la faune du sédiment, ou de la colonne d'eau
- **impact** sur la nappe alluviale
- **impacts** secondaires à l'extraction des sédiments contaminés :
 - \hookrightarrow impacts des travaux
 - \hookrightarrow impacts des matériaux extraits.

La présence de sédiments contaminés, même très fortement, ne doit pas entraîner automatiquement une proposition de curage ; compte tenu des impacts potentiels engendrés

par les travaux (relargage de **contaminants**, pouvant entraîner des mortalités de poisson ou de faune benthique au **moment** des travaux, ou des transferts dans la nappe), une telle décision doit se peser en fonction des contraintes spécifiques du site, et d'une comparaison des risques induits tant par le fait de laisser les sédiments contaminés en place - si c'est faisable - que de les extraire.

Ceci renvoie donc typiquement à des démarches d'évaluation de risque, selon le modèle développé notamment aux Etats-Unis par l'**US-EPA**¹². Ce modèle a été développé pour la problématique « sols contaminés », mais s'applique à bien d'autres situations.

¹² United States Environmental Protection Agency

4. Réglementation des produits de dragage ou de curage

4.1. *situation française*

Les opérations de dragage et de curage relèvent de textes multiples, selon les modalités envisagées pour ces projets. On citera en particulier la « loi sur l'eau » (01/1992), dont plusieurs rubriques concernent le devenir des matériaux extraits (1.2.0, 2.3.0, 4.1.0), le code rural, dont l'article L 232.3 concerne la protection des frayères (vis à vis du colmatage par les MES), la « loi **Barnier** » (95-101 du 02/02/1995) qui dispose de l'acceptabilité du dépôt par les riverains si celui-ci ne crée pas de nuisance, et enfin les dispositions relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Pour autant, ces textes ne dégagent pas de statut précis pour les matériaux de dragage ni de curage ; on ne sait pas s'il s'agit de déchets.

Deux opinions contradictoires se sont exprimées jusqu'à présent sur la question du statut (réglementaire) des matériaux extraits :

- considérer ces matériaux comme des déchets, position défendue notamment par des experts de l'INRA il y a quelques années, et reprise dans un projet de décret de la DPPR ; le Conseil d'État a depuis demandé que les boues de curage soient retirées du texte (pour des questions de forme).
- ne pas considérer ces matériaux comme déchets, et gérer « au coup par coup » en fonction des risques, opinion défendue par la DIREN Nord-Pas de Calais et la MISE 59.

La deuxième option est motivée par des considérations techniques (volumes . ..) et économiques (transport, traitement ou mise en décharge) jugées insurmontables s'il s'agissait de déchets. D'un autre côté, sans statut précis, on aura du mal à trouver des solutions économiques et techniques viables, et à gérer les matériaux correctement.

4.2. *proposition faite dans le cadre du projet d'approfondissement de la Moselle*

Cette proposition part du contenu de l'étude d'impact, et des dispositions prévues pour l'évacuation des matériaux dragués, à savoir :

- ↳ dépôt des matériaux non contaminés en gravière
- ↳ évacuation des matériaux contaminés en centre d'enfouissement technique (CET)

Les matériaux « contaminés » sont identifiés au moyen d'analyses chimiques réalisées sur les matériaux vaseux pendant le chantier, puisque l'étude d'impact n'a conduit à repérer qu'un seul secteur pollué.

En principe, la vocation des CET est d'accueillir les « déchets ultimes » ; il paraît donc logique de caler les décisions d'évacuation sur les seuils prévus par la réglementation sur les

déchets, et plus particulièrement ceux applicables aux sols contaminés (annexe 1, §2.4 de l'arrêté du 18/02/1994 modifiant l'arrêté du 18/12/1992).

En revanche, si l'on se contente d'un seul seuil « pivot », on court le risque soit d'être trop peu protecteur pour le milieu, en admettant dans la **gravière** des matériaux notablement pollués, soit de gaspiller des ressources (financières, volume . . .) en évacuant en CET des matériaux trop peu contaminés. Pour pallier ces inconvénients, il a été proposé de travailler avec deux seuils, l'un visant à protéger le milieu (si les concentrations sont inférieures à ces seuils, dépôt en **gravière** sans restriction), l'autre à orienter vers l'évacuation en CET. Entre les deux, on déciderait de la destination des matériaux après des investigations complémentaires calquées sur la réglementation (en projet) relative au classement des déchets.

Cependant, les seuils de la réglementation « déchet » ont deux inconvénients importants :

- ↪ on ne sait pas comment ils ont été établis, et les valeurs sont apparemment élevées ;
- ↪ il s'agit de concentrations maximales (les déchets doivent présenter des concentrations inférieures à ces seuils. Sauf dérogation (arrêté préfectoral), les déchets dépassant ces concentrations-seuil doivent être traités avant leur admission en décharge.

Ceci amène à deux conclusions provisoires (ou deux questions à discuter) :

1. s'il y a des arguments militant dans le sens d'une assimilation des matériaux de dragage à des déchets, on voit aussi que cette assimilation pose des problèmes de mise en oeuvre ;
2. en tout état de cause, il faudrait un système de classification non pas à 2 seuils, mais à 3, le seuil le plus élevé déclenchant des traitements permettant soit l'admission en CET, soit le recyclage (en remblai ou autre). Le seuil intermédiaire serait alors celui de classification en dangereux/non dangereux.

5. Gestion des produits de dragage : traitements, stockages

5.1. aperçu des possibilités

Classiquement, 4 voies de gestion sont évoquées concernant les matériaux de dragage :

- recyclage, dont application sur des sols
- mise en dépôt
- traitement

Certains pays pratiquant le dragage depuis longtemps et à large échelle ont aussi une conception ouverte du recyclage :

Domaine	Usage
aquatique	<ul style="list-style-type: none">• développement des habitats (zones humides, îlots, etc.)• aquaculture

	<ul style="list-style-type: none">• stabilisation des berges, contrôle de l'érosion
terrestre	<ul style="list-style-type: none">• parcs et zones récréatives• agriculture, forêt, horticulture
industriel	<ul style="list-style-type: none">• restauration des sols miniers¹³• remblai, construction

Tableau 9- Réutilisation des matériaux de dragage¹⁴

Les usages évoqués dans ce tableau s'appliquent largement à des sédiments marins ou estuariens, ainsi qu'à des matériaux sableux. En Europe, la gamme d'usages envisagés habituellement semble plus restreinte.

La mise en dépôt peut être précédée d'un traitement, dont le but sera alors principalement de réduire les volumes ou la **siccité** préalablement au dépôt. En milieu marin, ainsi que dans des cours d'eau importants, la mise en dépôt inclut éventuellement des zones sous eau, en principe uniquement pour des matériaux non ou faiblement contaminés. Sinon, la mise en dépôt renvoie en fait à l'évacuation en centre d'enfouissement technique (décharge).

La notion de traitement recouvre 3 ou 4 catégories, selon la manière dont on classe les techniques :

- réduction de volume, essentiellement par déshydratation
- séparation selon la granulométrie
- extraction des **contaminants**, combinée éventuellement à leur destruction
- immobilisation

La déshydratation peut être employée seule (simple réduction de volume, mais peu performante), ou comme élément d'une procédure plus complexe (exemple d'Amsterdam, présenté par van Diepen & al.) ; en revanche, la séparation se conçoit plus difficilement comme une opération autonome. L'extraction semble surtout appliquée aux contaminations par les métaux - elle est techniquement possible pour les organiques, mais certainement très coûteuse -, et fera appel soit à des réactifs acides (destruction des complexes organiques et ionisation des métaux), soit à des chélatants comme l'**EDTA** (recyclable). L'immobilisation s'obtient à haute température par formation de céramiques, en principe inertes, ou par d'autres procédés. Pour plus de détail sur les techniques et leurs contraintes de mise en oeuvre, voir en particulier le document « Guide pour l'évaluation et le choix des technologies de traitement des sédiments contaminés » d'**Environnement Canada**.

D'autres techniques de traitement sont envisageables, voire font l'objet de recherches, comme par exemple la « biolixiviation » des métaux. Cette approche, initialement développée pour des minerais à faible teneur, repose sur la capacité de certaines bactéries de métaboliser les sulfures, ce qui se traduit conjointement par une libération des ions métalliques et un abaissement du pH. On recueille une solution métallique, qui peut ensuite être concentrée et traitée par précipitation. Le déchet **(poly)métallique** se présente alors comme une boue beaucoup plus concentrée gérée comme un déchet « standard ». A l'heure actuelle, cette

¹³ Mines à ciel ouvert

¹⁴ D'après Paipai & al.

technique n'est pas opérationnelle pour les sédiments. Des procédés similaires sont également proposés pour les **contaminants** organiques, qui semblent plus opérationnels (sans considération de coût). Cependant, les exemples décrits dans la littérature scientifique concernent apparemment surtout des « mono-contaminations ».

Le recours à des procédures incluant le traitement des matériaux ne semble justifié que si l'on a affaire à des volumes importants, ou à une production chronique, comme dans le cas des ports, ou de pays comme les Pays-Bas. D'un autre côté, l'existence à proximité de la zone de dragage d'infrastructures dédiées au traitement des déchets spéciaux pourrait permettre de traiter aussi les volumes plus faibles et plus ponctuels, sous réserve que les sédiments contaminés soient assimilés à des déchets et que le problème du financement soit réglé.

En termes de coûts, il semble difficile d'obtenir des éléments précis ; les coûts varient en fonction des projets, sans qu'on sache forcément comment, et des pays. Il vaudrait mieux aborder cette question en comparant les éléments constitutifs d'un coût, plutôt que le coût global, comme c'est le cas dans les deux tableaux ci-après.

Technique	Fraction traitée ¹⁵	Contaminants	Coûts estimés (US\$)
Déshydratation • décantation • filtre-bande ou -presse	T	sans objet	10 - 40 / m ³
Fractionnement	T	sans objet	5 - 20 / tonne (mat. sèche)
Traitement biologique • land farming • aération en bassin	T L	hydrocarbures, HPA hydrocarbures, HPA	20 - 50 / m ³ (50% siccité) 60 - 320 / m ³ (idem)
Traitement chimique • extraction HCl • extraction chelatants	T/autres sauf T	métaux métaux	5 - 175 / tonne (mat. sèche) 10 - 75 / tonne (mat. sèche)
Trait. physico-chimique • flottation • séparation gravitaire	lourde lourde	μpolluants organiques et métaux	40 / tonne (mat. sèche) non documenté
Immobilisation	T	μpolluants organiques et métaux	50 / m ³ (mat. sèche)

Tableau 10- Techniques de traitement & coûts estimatifs

¹⁵ T = total ; L = fraction légère ; lourde = fraction lourde

¹⁶ D'après Bieshevel & al. ; les coûts réels actuels sont probablement plus élevés

Technique	Objectif	Coût/u H.T. en FF	u	Source
Extraction - traitement (global)		43.00	m ³	VNF (étude de cas)
Dragage (extraction et clapage)	sédiments fins vol. > 100.000 m ³	15.00	m ³	SN-Stbg
Dragage (extraction et dépôt îlot ou clapage)	matériaux sablo-graveleux vol. > 100.000 m ³	20.00 - 43.00	m ³	SN-Stbg
Dépôt sol (étanchéifié)		23.00	m ³	VNF
Cyclonage	Séparation (50 ou 100 µ)	3.00	t (mat.sèche)	ENSG (Nancy)
Extraction mécanique + incinération	élimination hydrocarbures	3 300.00	m ³	VNF - DRN Chalon
Extraction mécanique + décharge	élimination hydrocarbures	2700.00	m ³	VNF - DRN Chalon
Extraction mécanique + traitement biologique	élimination hydrocarbures	250.00	m ³	VNF - DRN Chalon
Extraction hydraulique ¹⁷ + incinération	élimination hydrocarbures	3200.00	m ³	VNF - DRN Chalon
Extraction hydraulique + traitement biologique ¹⁸	élimination hydrocarbures	215.00	m ³	VNF - DRN Chalon

Tableau 11- Techniques de traitement & coûts associés¹⁹

5.2. méthode de choix

Elle devra tenir compte des volumes à traiter, des ressources disponibles (ressources financières, mais aussi matérielles, comme CET, centres de traitement . ..). et des caractéristiques finales du matériau (on connaît par exemple des cas où le traitement a augmenté la toxicité du matériau . ..). En tout état de cause, il conviendra donc d'intégrer dans les critères de choix et de comparaison les éléments (analyse chimique, essais de toxicité) qui auront motivé la décision de traiter. D'une manière générale il convient aussi de mettre en place un suivi de l'exécution du traitement.

¹⁷ Décantation en bassin ou filtre-presse

¹⁸ traitement biologique des eaux interstitielles

¹⁹ Compilation réalisée dans le cadre de la délégation française au groupe Am de la CIPR

6. Conclusions

6.1. statut des matériaux de dragage

Dans le contexte actuel, cette question apparaît primordiale, si l'on veut disposer de critères de gestion clairs ; si le classement en déchet, qui reste dans les intentions du Ministère, pose un problème économique, il faut le dire et se donner les moyens de le régler.

La méthode de classement élaborée au sein du Ministère pour les déchets semble applicable aux sédiments et matériaux de dragage ; en revanche, on manque actuellement de références de terrain.

6.2. intérêt des méthodes d'évaluation de risque ou de danger

La méthode de classement proposée pour les déchets est indépendante des interactions avec le milieu ; une ouverture possible pourrait être d'élargir l'approche « évaluation de danger » pour intégrer cette dimension ; on ferait alors, comme aux USA, des évaluations de risque pour chaque projet important.

7. Références

1. AIPCN - Comité Technique Permanent II, Groupe de travail 19 - Guide pratique : La valorisation des produits de dragage - Supplément Bull. 77
2. Babut M. (1997) Seuils de qualité pour les micropolluants organiques & minéraux - Synthèse - Etude interagences n°53
3. Babut M. (1997) - Critères de gestion des matériaux de dragage - Aperçu des seuils utilisés dans le contexte européen & propositions - Note Agence de l'eau Rhin-Meuse
4. Biesheuvel G. & al. Cleaning-up of contaminated sediments in Dutch inland waters - Bull. AIPCN 80, 16-23
5. Depollutech/OIE (1995) Faisabilité technique des méthodes d'épuration biotechnologiques - Etude interagences (hors série)
6. Environnement Canada (1992) Guide pour le choix et l'opération des équipements de dragage et des pratiques environnementales qui s'y rattachent - Plan d'action Saint Laurent, Centre Saint Laurent, Division des technologies de restauration
7. Environnement Canada (1994) Guide pour l'évaluation et le choix des technologies de traitement des sédiments contaminés - Plan d'action Saint Laurent, Centre Saint Laurent, Division des technologies de restauration
8. Environnement Canada (1994) Répercussions environnementales du dragage et de la mise en dépôt des sédiments - Direction de la Protection, Section du développement technologique
9. GEODE (1996) - Bilan d'activité
10. Paipai 1. Environmental enhancement using dredged materials - Bull. AIPCN 85, 5-19
11. van Diepen H. & al. Dredging and the environment: new developments from the Netherlands - Bull. AIPCN 80, 29-37
12. Verley F., Pavageau P. (1996) Document d'information sur la réglementation relative aux opérations de curage et dragage et au devenir des boues - Pole de compétence sur les sols et sites pollués, Région Nord-Pas de Calais