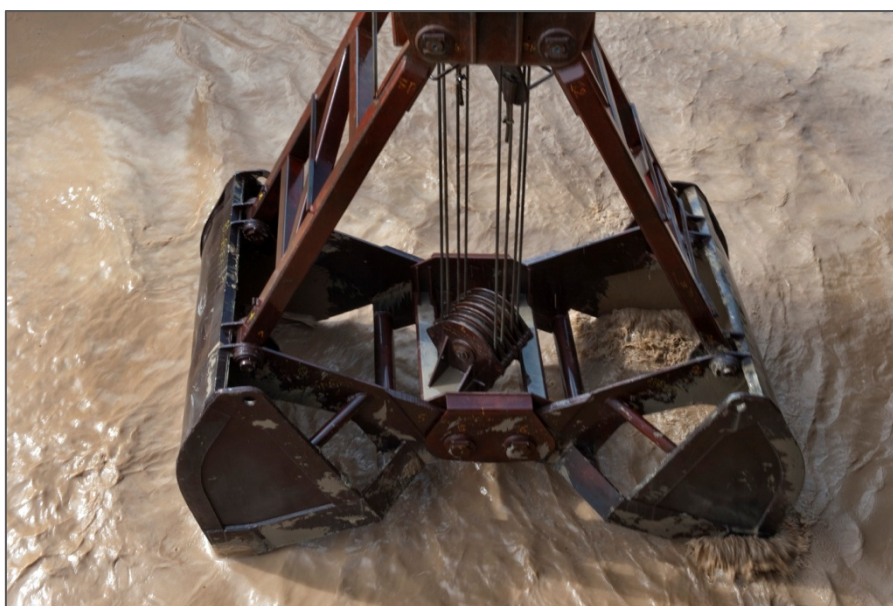


Plan d'action du bassin Rhône-Méditerranée
pour la pollution par les PCB

-
SDAGE Rhône-Méditerranée 2010-2015

Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments aquatiques potentiellement contaminés



Fichier : Recommandations-sediments-V2-0d.docx - 07/10/2013

Photo de couverture © Laurent Mignaux/METL-MEDDE

Historique des versions			
Version	Date	Rédaction	Evolution ou de modification
V2.0	Septembre 2013	Yves GOUISSET – DREAL Rhône-Alpes IDRA Environnement GT « Recommandations sédiments ¹ » CETE Lyon : Agathe DENOT, Laurent CANTEGRIT	• Extension à tous milieux aquatiques en eau douce et tous types de travaux. • Prise en compte de travaux en faveur de la restauration des milieux aquatiques • Ouverture à d'autres contaminants que les PCB
V1	Avril 2008	Eric BOURLES – Service Navigation Rhône-Saône Yves GOUISSET – DREAL Rhône-Alpes, Délégation de bassin Rhône-Méditerranée	• Création. • Encadrement des travaux d'entretien du chenal de navigation sur les grands cours d'eau.

¹ Composition du GT Recommandation en 2013 (co-rédacteurs)

- Agence de l'Eau RM&C : Eve SIVADE, Thomas PELTE
- BRGM : Blandine CLOZEL
- CNR : Sylvain REYNAUD
- DDT 73 : Anne JOUHANNAUD-TRUSSON
- EDF : Fabrice BEIGNON
- ENTPE : Yves PERRODIN, Gwenaëlle ROUX
- DREAL PACA : Jean-Guillaume LACAS
- DREAL Rhône-Alpes : Cyril BOURG, Delphine CATHALA, Geneviève GOLASZEWSKI
- FRAPNA : Audrey ROGGERMAN / Lydie NEMAUSAT
- IDRA : Alain DREAU, Nicolas FAUCONNIER
- IRSTEA : Marc BABUT
- ONEMA : Michel DELPRAT

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	8
1.1	CADRE D'ÉLABORATION DES RECOMMANDATIONS.....	8
1.2	OBJECTIF DES RECOMMANDATIONS.....	8
1.3	ARTICULATION AVEC LA RÉGLEMENTATION	8
1.4	CHAMP COUVERT PAR LES RECOMMANDATIONS	9
1.5	CHAMPS NON COUVERT	10
1.6	PCB ET PCB INDICATEURS	10
1.7	CONVENTION DU DOCUMENT	11
2	CADRE GENERAL.....	12
2.1	PROCESSUS DE CONTAMINATION DES SÉDIMENTS.....	12
2.2	RÉPARTITION DES CONTAMINANTS ENTRE EAU ET SÉDIMENTS	12
2.3	CONTAMINATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE AQUATIQUES À PARTIR DE SÉDIMENTS	12
2.4	MOBILITÉ DES SÉDIMENTS	16
2.5	LE TRANSPORT DES CONTAMINANTS PAR LES COURS D'EAU	19
2.6	RÔLE DES CRUES.....	19
2.7	IMPACTS DES OPERATIONS D'EXTRACTION DES SÉDIMENTS	20
3	PRINCIPES DES RECOMMANDATIONS	22
3.1	IDENTIFICATION DES MILIEUX AQUATIQUES CONTAMINÉS OU SUSPECTS	22
3.2	CARACTÉRISATION PRÉALABLE DE L'ÉTAT DE CONTAMINATION DES SÉDIMENTS.....	23
3.3	RÈGLE GÉNÉRALE.....	26
3.4	CAS DÉROGATOIRES.....	26
3.5	REGISTRE DES QUANTITÉS DE CONTAMINANTS REMIS EN CIRCULATION	28
3.6	ÉLÉMENTS DE RELATIVISATION	28
4	MARCHE A SUIVRE POUR UN PROJET DE TRAVAUX.....	33
	ANNEXES	39
	FICHES MILIEUX	40
	A1 - ATERRISSEMENT EN COURS D'EAU	41
	A2 - ACCUMULATION SÉDIMENTAIRE DE CONFLUENCE	49
	A3 - TRAVAUX EN BERGE.....	55
	A4 - DRAGAGES EN LAC.....	63
	A5 - CURAGE D'ÉTANG	67
	A6 - BARRAGE : CHASSES ET CURAGES	73
	A7 - VOIES NAVIGABLES	81
	A8 - INFRASTRUCTURES DE NAVIGATION	87
	A9 - BASSIN PORTUAIRE.....	95
	A10 - ANNEXE FLUVIALE : CASIER GIRARDON DU RHÔNE.....	101
	A11 - RHONE.....	105
	ANNEXES TECHNIQUES	117
	A12 - SÉDIMENTS LIBRES/IMMOBILISÉS – OCCURRENCES PROBABLES	118
	A13 - ÉLÉMENTS POUR LA DÉCISION D'ENTREPRENDRE LES TRAVAUX	119
	A13.1 - LISTES DES AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES.....	119
	A14 - ÉCHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS.....	125
	A14.1 - PREAMBULE	125
	A14.2 - STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	126

A15 - FICHE PRÉLÈVEMENT.....	144
A16 - ANALYSES EN LABORATOIRE	146
A17 - GESTION À TERRE DES SÉDIMENTS EXTRAITS.....	164
A18 - RÉFÉRENTIELS DE QUALITÉ DES SÉDIMENTS	165
A19 - TECHNIQUES DE TRAVAUX, IMPACTS ET REDUCTION DES IMPACTS	175
A20 - BIBLIOGRAPHIE.....	182

Figures

Figure 1 - Exemple de variation de la teneur en contaminant – PCB - en fonction de l'âge des sédiments – et donc ici de la profondeur – sur des carottes prélevées en 2012 sur un casier Girardon à Péage de Roussillon.	16
Figure 2 - Schéma des déplacement des sédiments avec le courant (F. Boulvain, Université de Liège).	19
Figure 3 : <i>Dispersion des sédiments au cours d'un clapage (Alzieu, 1988).</i>	20
Figure 4 - Profil des teneurs en plomb des sédiments de l'étang de la Gruère (Jura suisse) en fonction de l'âge (Shotyk et al., 1996)	29
Figure 5 -Schéma de gestion d'un projet de travaux impliquant des sédiments potentiellement contaminés.	33
Figure 6 - Schémas de principe du phénomène d'érosion et de sédimentation dans un cours d'eau au niveau des berges	42
Figure 7- Exemple d'un curage mécanique en eau dans un cours d'eau (DEC)	43
Figure 8- Exemple d'un curage hydraulique par drague aspiratrice en rivière (NEMEAU).....	44
Figure 9 - Secteurs de prélèvement pour un atterrissement d'une longueur inférieure à 600 mètres	44
Figure 10 - <i>Secteurs de prélèvement pour un atterrissement d'une longueur supérieure à 600 m. L'illustration présente un atterrissement d'une longueur de 700 m. dans laquelle 4 secteurs de prélèvement ont été définis</i>	45
Figure 11 – <i>Prélèvements en fonction de la nature des sédiments rencontrés.</i>	45
Figure 12 - Bathymétrie avant et après travaux de la Petite Loire à Blois (DDT45).....	47
Figure 13 - Schéma de principe de la mise en place d'un suivi en continu des MES	47
Figure 14 - Schéma de principe du phénomène de sédimentation dans la confluence de deux cours d'eau.....	49
Figure 15- Exemple de sédimentation à la confluence entre un cours d'eau et un exutoire d'étang.....	50
Figure 16 - Exemple de sédimentation à la confluence entre deux cours d'eau (Rhône et xxx)	50
Figure 17 - Exemple de sédimentation à la confluence entre canal et étang (VNF Frontignan)	50
Figure 18 - Exemple d'un curage hydraulique par drague aspiratrice dans l'estuaire de la Vilaine (370 000m ³ IAV)	51
Figure 19 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment	52
Figure 20 - Exemple d'une érosion active de berge sur la rivière Dulais au Royaume Unis (Aquaterra).....	55
Figure 21 - Schéma de principe de l'accumulation sédimentaire sur les berges (Eau Seine Normandie)	56
Figure 22 - Reprise de berges à l'Isle sur la Sorgue (SMBS)	57
Figure 23 - Reprise de berges à Châteauneuf de Gadagne (SMBS)	57
Figure 24 - Protection de digue par la pose d'enrochement (Arcadis)	58
Figure 25 - Berges maçonnées et petits aménagements visant à créer des abris piscicoles (SMBS)	58
Figure 26- Aménagement associant réhabilitation des berges et création d'un chemin piétonnier (SMBS)	58
Figure 27 - Exemple de bathymétrie couplée à une topographie des berges (Mesuris)	59
Figure 28 - Exemple d'échantillonnage sur les berges (points noirs) et dans le chenal de l'Oise (points verts) en prévision d'un élargissement du chenal (IDRA-ISL)	60
Figure 29 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)	61
Figure 30 - Exemple d'une vidange d'un plan d'eau sur la commune de Damgan avant curage mécanique (IDRA 2011)	68
Figure 31 - Dragage de l'étang de Jugon les Lacs (450 000 m ³ – IDRA 2007-2008)	69
Figure 32 - Exemple de levé bathymétrique dans un étang du Louroux (IDRA)	69
Figure 33 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment	70
Figure 34 - Exemple de restitution d'une carte d'isoconcentration en mercure.....	71
Figure 35 - Schéma d'un profil de barrage.....	73

Figure 36 - Schéma de l'évolution des âges des dépôts	73
Figure 37 - Différence de sédimentation derrière un barrage (en haut) et un seuil (en bas) (d'après G. Degoutte)	74
Figure 38 - Exemple de drague aspiratrice à élinde modulable (VIS)	75
Figure 39 - légende	75
Figure 40 : Barrage avec large retenue. A - Topographie initiale ; B - Bathymétrie avant opération ; C- Epaisseur de sédiment accumulé. On observe que l'épaisseur et les volumes les plus importants sont ceux liés à la formation deltaïque de l'entrée de la rivière principale et autres affluents.	76
Figure 41 : barrage avec retenue linéaire. A - Topographie initiale ; B - Bathymétrie avant opération ; C- Epaisseur de sédiment accumulé. Les épaisseurs les plus importantes (il est plus difficile de raisonner en termes de volume/forme de la retenue) sont également liées à ce dépôt qui s'amorce très en amont du barrage.....	77
La Figure 42 Figure 43 : A- bathymétrie juste avant une chasse, à proximité du barrage - B - Bathymétrie après chasse ; C- Identification (pointillé noir) des zones remobilisées et des zones peu ou pas modifiées. La bathymétrie avant/après curage. Les volumes latéraux sont stabilisés, formant de nouvelles terrasses à peine mobilisées alors que les volumes en amont, dans le chenal, ont été totalement évacués. Les nouveaux dépôts qui vont s'accumuler dans le chenal seront donc beaucoup plus récents que les dépôts latéraux.	77
Figure 43 : A- bathymétrie juste avant une chasse, à proximité du barrage - B - Bathymétrie après chasse ; C- Identification (pointillé noir) des zones remobilisées et des zones peu ou pas modifiées par la chasse.	77
Figure 44 : Représentation des trois secteurs où l'échantillonnage sera mené (l'échelle représente l'épaisseur des sédiments accumulés)	78
Figure 45 : Représentation des 7 secteurs où l'échantillonnage sera mené	78
Figure 46 - légende	Erreur ! Signet non défini.
Figure 47 - Exemple de curage mécanique en eau à l'aide d'une pelle sur ponton (Jan de Nul)	82
Figure 48 - Exemple de curage mécanique à sec (Ouest France)	82
Figure 49 - Bathymétrie d'une portion de canal et vue en coupe d'un gabarit de curage (ISL)	83
Figure 50 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)	85
Figure 51 - Envasement en amont d'une porte éclusée (écluse de Jarville - canal de la Marne au Rhin)(Bord à Bord).....	88
Figure 52 - Exemple d'un affouillement autour d'une pile de pont (US Gouvernement).....	88
Figure 53 - Ecluse de Vire, curage à sec (Ouest France)	89
Figure 54 - Ecluse de Marsenac, curage en eau (Commune de Flagnac).....	89
Figure 55 - Pelle bras long pour curage d'appontement (IDRA)	89
Figure 56 - Exemple de bathymétrie sur l'écluse des Fontinettes à Flandre et de l'écluse de Mericourt (VNF).....	90
Figure 57 - Exemple d'échantillonnage sur l'écluse de Marpent - VNF Nord Pas de Calais (IDRA).....	91
Figure 58 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)	92
Figure 59 - Exemple de levé bathymétrique en milieu portuaire	96
Figure 60 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment	97
Figure 61 - Exemple de restitution des résultats des tests de lixiviation lancés sur sédiment portuaire.....	98
Figure 62 - Exemple de restitution d'une carte d'isoconcentration en mercure en milieu portuaire.....	99
Figure 63 - Evolution temporelle des appareils Girardon	101
Figure 64 - Schéma « 3D » d'un casier Girardon (exagération verticale)	102
Figure 65 - A- Schéma représentant les étapes d'accrétion du casier (et la projection au sol des passées à PCB) ; B- Représentation de la mémoire de la concentration en PCB au cours du temps	102
Figure 66 - répartition des zones d'échantillonnage.....	103
Figure 67 - profil en long du Rhône -Sogreah 2000, mise en forme Hydratec/MINEA	106
Figure 68 - Extrait du dossier de demande d'autorisation des dragages d'entretien du Rhône	106
Figure 69 - Chute CNR type	107
Figure 70 - Principales zones de dragages et de remobilisation des matériaux.....	108
Figure 71 - Volume total dragué et nombre d'interventions par aménagement.	109
Figure 72 - Types de sédiments dragués sur le Rhône.....	110
Figure 73 - Tube manuel pour prélèvement de sédiments fins.	110
Figure 74 - Pelle amphibie pour zone peu profonde.....	110
Figure 75 - Benne preneuse pour tous sites	111

Figure 76 – Benne preneuse	111
Figure 77 –Pelle sur ponton pour sites avec profondeur <10m.....	111
Figure 78 –Pelle sur ponton.	111
Figure 79 –Atelier de forage tous sites	111
Figure 80 –Atelier de forage	111
Figure 81 –Coupe longitudinale de fonctionnement d’une drague aspiratrice. Schéma de fonctionnement d’un chaland en train de restituer les sédiments par clapage.	114
Figure 82 –Chute des matériaux clapés à partir d’une barge.	115
Figure 83 : Organigramme de la chaine complète d’un diagnostic sédimentaire [d’après ENV. CANADA, 1994].....	125
Figure 84 : Principales méthodes de positionnement des stations de prélèvement	127
Figure 85 : Schéma de principe d’un prélèvement de sédiment superficiel.	128
Figure 86 : Schéma de principe d’un prélèvement carotté de sédiment.	129
Figure 87 : Exemple de stratégie d’échantillonnage de sédiment portuaire [CALB/IDRA].....	130
Figure 88 : Logigramme récapitulant la stratégie d’échantillonnage	135
Figure 89 : Raclette à sédiments.....	137
Figure 90 : benne Eckman.	137
Figure 91 : Benne Vav Veen.....	137
Figure 92 : Carottier de plongée	138
Figure 93 : Carottier inox à main	138
Figure 94 : Carottier gravitaire	139
Figure 95 : Carottier poinçonneur	139
Figure 96 : Carottier à bvox-corer.....	139
Figure 97 : Moyens de prélèvement recommandés pour différents types de milieux [d’après Env. CANADA modifié]....	141
Figure 98 : Quelques exemples de moyens de navigation mobilisables et d’un ponton flottant [CNR, IDRA].....	142
Figure 99 : Logigramme récapitulant les étapes de prétraitement	146
Figure 100 : Schéma d’une opération de quartage	147
Figure 101 : Analyseur multimètre de terrain.....	150
Figure 102 : Exemple d’histogramme granulométrique d’un sédiment à dominante limoneuse.....	150
Figure 103 : Démarche du protocole H14 « sédiment » [MEEDDM].....	156
Figure 105 : Exemple d’une carte du fond géochimique en Cuivre dans les sols, par régions agricoles en Bourgogne [INRA/IDRA]	171
Figure 106 : Pelle mécanique bras long et pelle mécanique sur ponton.....	175
Figure 107 : Pelle amphibie en action [IDRA]	176
Figure 108 : Curage à l’aide d’une benne preneuse	176
Figure 109 : Drague aspiratrice (le cutter est visible en tête du bas aspirant).....	177
Figure 110 : Exemple de prétraitement en bassin de décantation ou géotextile filtrant [IDRA, Tencate]	177
Figure 111 : Rotodévaseur	178
Figure 112 : Système d’agitateur à hélices	178
Figure 113 : Dispersion des sédiments au cours d’un clapage (Alzieu, 1988).....	178
Figure 114 : Barrage flottant.	180
Figure 115 : Godet à clapet pour éviter la dispersion des sédiments à la remontée.....	181
Figure 116 : Tube plongeur pour réduire les panaches de clapage (source OFEFP).....	181

Tableaux

Tableau 1 - Flux de contaminants mesurés sur les eaux et matières en suspension à la station d'Arles (source IRSN, Agence de l'eau).....	12
Tableau 3 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner	52
Tableau 4 - Type de travaux à engager en fonction du type de berge et des enjeux assujettis (Syndicat Mixte du Bassin des Sorgues SMBS).....	57
Tableau 5 - Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011].....	59
Tableau 6 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner	70
Tableau 7- Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011].....	84
Tableau 8 - Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011].....	91
Tableau 9 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner	97
Tableau 10 - Comparaison des volumes remis en suspension entre 1995 et 2006 à l'occasion des dragages, et du transport en suspension du Rhône.	107
Tableau 11 - Nombre de lieux de prélèvement de matériaux en fonction du volume à draguer.	109
Tableau 12 - Nombre de prélèvement de matériaux en fonction de l'épaisseur à draguer.	109
Tableau 13 - Dragage d'entretien CNR 2008-2012-concentration en PCBi sur les échantillons réalisés avant travaux...	113
Tableau 14 – Contrôle de la turbidité lié au chantier.....	114
Tableau 15 - Dragage d'entretien CNR 2008-2012-concentration en PCBi sur les échantillons réalisés avant travaux...	118
Tableau 16 : Ajustement du nombre de station en fonction du niveau de contamination	128
Tableau 17 : Conditions et durée de stockage au laboratoire [d'après Env. Canada]	131
Tableau 18 : Protocole d'échantillonnage de la CNR.....	132
Tableau 19 : Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011].....	133
Tableau 20 : Nombre de station de prélèvement	133
Tableau 21 : Ajustement du nombre de stations en fonction du niveau de contamination	134
Tableau 22 : Nombre d'échantillon à réaliser en fonction des épaisseurs de sédiment en jeu	134
Tableau 23 : Volume de l'échantillon requis pour porter les analyses physico-chimiques [d'après ENV. CANADA, 1994 et échanges laboratoires]	135
Tableau 24 : Synthèse des principaux moyens de prélèvements des sédiments de surface	138
Tableau 25 : Synthèse des principaux moyens de prélèvements des sédiments de surface	140
Tableau 26 : Quantité optimale requise de sédiment pour lancer les analyses [échanges laboratoires].....	147
Tableau 27 : Paramètres physico-chimiques descriptifs des sédiments	149
Tableau 28 : Exemple de classification granulométrique des sédiments (d'après Glemarec)	151
Tableau 29 : Autres paramètres physico-chimiques descriptifs	152
Tableau 30 : Inventaire des sources et impacts potentiels des polluants.....	153
Tableau 31 : Tests écotoxicologiques appliqués sur sédiment	154
Tableau 32 : Principales étapes du test de lixiviation	157
Tableau 33 : Paramètres analysés sur éluat conforme Arrêté du 28/10/2010	158
Tableau 34 : Paramètres analysés sur brut conforme Arrêté du 28/10/2010	158
Tableau 35 : Seuils réglementaires S1 de l'Arrêté du 9 août 2006	165
Tableau 36 : Proposition de seuils S1/S2 PCB du CEMAGREF	166
Tableau 37 : Seuils Si appliqués au calcul du QSM	167
Tableau 38 : Exemple de PNEC sédiment [INERIS, 2012].....	168
Tableau 39 : Exemple de NQE provisoire sédiment [Circulaire 28/07/2005]	169
Tableau 40 : Propositions de valeurs seuils HAP en milieu marin [Géode, 2011]	170
Tableau 41 : Valeurs du programme ASPITET [INRA, GIS SOL]	170
Tableau 42 : Valeurs limites des concentrations sur éluats et sédiment brut*	172
Tableau 43 : Seuils réglementaires propres à l'épandage et à la reconstitution des sols	173
Tableau 44 : Synthèse des référentiels disponibles pour les sédiments selon les contextes et mise en application	174

1 INTRODUCTION

1.1 CADRE D'ÉLABORATION DES RECOMMANDATIONS

L'ampleur des effets des contaminations historiques des sédiments aquatiques dulcicoles et marins par des substances toxiques persistantes et bio-accumulables, commence à être mesurée. Elle peut localement nécessiter la prise de mesures sévères telles que l'interdiction de consommer des poissons.

Un paradoxe existe entre ces constats récents qui ne manquent pas d'être préoccupants et la prise en compte encore insuffisante de ces situations par la réglementation tant européenne que nationale.

Dans l'attente de cadrages réglementaires adaptés, le Préfet coordonnateur du bassin Rhône-Méditerranée, appuyé par le Comité de bassin, a décidé que l'Etat établirait des recommandations pour encadrer les travaux mettant en jeu des sédiments potentiellement contaminés. Cet objectif a été défini dans les Programmes d'action du bassin 2008-2010 et 2011-2013 pour la pollution par les PCB et a été repris dans le Plan d'action PCB national². Il a été traduit dans le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux – SDAGE – du bassin Rhône-Méditerranée³ :

1.2 OBJECTIF DES RECOMMANDATIONS

La pré-qualification d'un projet de travaux ou d'intervention sur des sédiments aquatiques potentiellement contaminés, n'échappe pas à la règle de l'évaluation de l'impact et de l'identification de mesures d'évitement et de réduction de ces impacts, et d'une phase de balance entre avantages et désavantages du projet, suivie d'une phase finale sur la décision de réaliser ou pas le projet dans la forme envisagée.

S'inscrivant totalement dans ce cadre, les présentes recommandations visent à proposer aux parties concernées par les interventions sur des sédiments aquatiques potentiellement contaminés (services de l'Etat instructeurs de demandes d'autorisation, pétitionnaires, opérateurs techniques publics ou privés), les pratiques les plus adaptées à leur contexte et les plus à jour par rapport aux connaissances techniques du moment, dans le but de minimiser l'impact de leur intervention sur l'environnement.

L'objectif est d'établir un cadre d'intervention technique qui contribue à éviter une aggravation de la situation et la dispersion des contaminants, notamment dans le cas de sédiments anciens immobilisés dans des structures sédimentaires stabilisées.

1.3 ARTICULATION AVEC LA RÉGLEMENTATION

Les présentes recommandations complètent, sur le volet spécifique des sédiments aquatiques potentiellement contaminés, notamment par des PCB, les actes réglementaires en vigueur qui encadrent les travaux et interventions sur les milieux aquatiques.

Sont concernées les mesures qui pourraient être mises en œuvre en application des articles L211-1 et L241-1 à L241-6 du code de l'environnement, pour maîtriser l'impact de ces travaux sur l'environnement.

² Plan d'action PCB du bassin Rhône-Méditerranée 2008-2010 et 2011-2013 : Action : « Développer des outils de gestion sédimentaire ».

Plan d'action PCB national : Action : « Comprendre les phénomènes de transfert sédimentaire et établir une doctrine pour la conduite des opérations de dragage »

³ Disposition n° 5C-04, L'Etat doit « Etablir les règles d'une gestion précautionneuse des travaux sur les sédiments aquatiques contaminés ».

1.4 CHAMP COUVERT PAR LES RECOMMANDATIONS

1.4.1 Milieux aquatiques

Les recommandations traitent des cours d'eau et plan d'eau dulcicoles et saumâtres.

Les canaux constituent un milieu intermédiaire : la faiblesse du courant conduit à des formes et dynamiques de dépôts plus proches des situations lacustres que de celles des cours d'eau courants.

1.4.2 Type d'opérations et de travaux

Les recommandations visent à traiter de l'ensemble des travaux et opérations susceptibles d'impliquer un curage, dragage, remise en mouvement de sédiments aquatiques, et donc une gestion de ces sédiments.

Cela couvre l'ensemble des travaux d'extraction de sédiments, en eau ou dans les berges, avec ou sans restitution au cours d'eau et plan d'eau des matériaux déplacés lors des actions d'entretien, de restauration, de création ou d'aménagement de site, de chasses.

Sont ainsi notamment concernés, pour les cours d'eau et plan d'eau, les opérations de curage ou de dragage⁴ pour :

- l'entretien du chenal et d'ouvrages de navigation, de ports, berges, ... ;
- la gestion hydraulique du cours d'eau (remobilisation de marges alluviales, dont les lônes et casiers Girardon du Rhône, les atterrissements en berge et aux confluences, ...) ;
- les chasses des sédiments accumulés dans les ouvrages de retenue d'eau et les vidanges.

1.4.3 Contaminants

Les contaminations des sédiments des cours d'eau qui ont conduit à l'accumulation de produits tels que les PCB, le mercure, le plomb, ... sont essentiellement liées à l'activité industrielle, à des périodes où les contraintes environnementales n'existaient pratiquement pas ou étaient moins sévères et où les rejets étaient faits la plupart du temps directement dans les cours d'eau.

Les substances solubles ne sont pas significativement stockées par les sédiments.

En général, les contaminations des sédiments couvrent un large spectre de substances et il est très rare de rencontrer des sédiments aquatiques contaminés par une seule espèce chimique. A contrario, l'absence d'un contaminant majeur, même très répandu comme les PCB, n'exclue pas la présence d'autres contaminants.

La présente recommandation, initialement rédigée pour les PCB, est conçue de manière à permettre une transposition à d'autres contaminants bio-accumulables retenus par les sédiments, à condition notamment, de pouvoir faire référence à :

- ***une norme de qualité environnementale réglementaire (NQE) ;***
- ***ou un seuil conçu comme tel : seuil de contaminant dont le niveau conduit à un impact sanitaire (ce qui est présentement le cas des PCB) ou un effet direct sur les biocénoses aquatiques ;***
- ***ou par défaut un seuil réglementaire non NQE.***

⁴ Le **dragage** est compris comme une opération d'une certaine envergure réalisée avec des outils lourds (pompe aspirante, drague, etc.). Il est utilisé dans le cadre des opérations de maintien du chenal de navigation des canaux et cours d'eau.

Le **curage** est le terme le plus générique qui couvre tant des opérations de simple mobilisation de sédiments à très petite échelle sans sortie du lit mineur du cours d'eau que l'enlèvement des sédiments lié à une opération d'entretien de cours d'eau à grande échelle ou liée à des travaux ou à la création d'un ouvrage dans le lit mineur d'un cours d'eau et à l'entretien de cet ouvrage (curage des retenues de barrages par exemple). Il est communément utilisé dans le cadre de l'entretien ou de travaux en milieu fluvial (hors maintien des chenaux de navigation). Réf. Circulaire du 4 juillet relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes ou fluviaux.

1.5 CHAMPS NON COUVERT

1.5.1 Milieu marin

Les interventions en milieu marin ne sont pas couvertes par cette version. Toutefois, il est évident que ce milieu est indirectement concerné, puisque in fine, tous les contaminants transportés par les cours d'eau se retrouvent finalement en mer.

La durée de dégradation de nombreux contaminants étant importante par rapports aux temps de circulation amont/aval des sédiments et matières en suspension (les PCB ont une demi-vie pouvant atteindre 2700 ans), il n'est volontairement pas fait référence à un temps de transfert jusqu'à la mer, quelle que soit la distance à l'embouchure.

Le milieu marin est pris en compte en considérant que toute remise en circulation de contaminants contenus dans des sédiments aquatiques fluviaux se retrouvera en mer, sans considération de temps de transfert

1.5.2 Gestion ou réutilisation de sédiments extraits

Le présent document ne traite pas de la gestion des sédiments lorsqu'ils sont extraits du milieu, qu'ils soient contaminés ou non.

Cet aspect important de la problématique de gestion des sédiments, surtout s'ils sont contaminés, est abordé dans d'autres documents :

- Pour l'aspect réglementaire :
 - o Document de la DREAL Rhône-Alpes produit par le CETE (à venir)
 - o [Document de la DREAL Nord-Pas de Calais](#)
 - o [Document de la DREAL Bretagne](#)
- Pour l'aspect traitement
 - o Document CETE cité ci-dessus ;
 - o Document AXELERA (à venir) ;
 - o ...

On trouvera toutefois des éléments synthétiques sur le sujet en annexe (Annexe « gestion à terre des sédiments extraits », p. 164).

1.6 PCB ET PCB INDICATEURS

Les PCB réunissent 209 congénères au sein desquels certains ont été plus largement utilisés, donc introduits dans l'environnement. De ce fait, pour réduire les coûts d'analyse, mais aussi parce que très peu de laboratoires savent analyser l'ensemble des congénères, il est d'usage de se limiter aux sept congénères les plus fréquents dans l'environnement, dénommés PCB indicateurs (PCBi) congénères n° 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180. Certaines analyses ne sont faites que sur 6 congénères (sans le 153 qui représente tout de même 1/3 des 7PCBi dans les analyses réalisées dans le bassin).

Les teneurs et seuils en PCB cités dans le présent document sont tous exprimés en PCB indicateurs, qui seront notés PCBi.

A l'inverse, se pose la question de la représentativité des PCBi par rapport à l'ensemble des PCB. Selon les sources bibliographiques, les 7 PCBi représenteraient entre 50% et 42% des 209 congénères.

Pour simplifier, on peut retenir qu'il y a en réalité dans les échantillons analysés, environ le double de PCB que ce qui est exprimé en concentration ou masse de PCB indicateurs.

1.7 CONVENTION DU DOCUMENT

Du fait du facteur « circulation des eaux », certaines problématiques sont différentes dans les cas des cours d'eau, plans d'eau voire canaux.

Par convention, le document est rédigé pour l'ensemble de ces milieux, mais les parties traitant spécifiquement d'un milieu aquatique (ex : les plans d'eau), seront précédées de la mention du milieu traité (ex : « Plan d'eau : »).

2 CADRE GENERAL

2.1 PROCESSUS DE CONTAMINATION DES SÉDIMENTS

La contamination des sédiments par des substances toxiques provient de plusieurs sources, d'ampleur variable souvent d'origine industrielle : rejets anciens dans les cours d'eau, sites contaminés historiques, STEP, rejets pluviaux, rejets sauvages, pollutions diffuses diverses, pollutions atmosphériques.

Les caractéristiques physico-chimiques de certaines substances (organochlorées dont les PCB, formes organiques de métaux : mercure, plomb, ...) ont pour conséquence une adsorption rapide sur les particules présentes : matières en suspension (MES) en premier lieu, puis sédiment de fond après dépôt des MES.

2.2 RÉPARTITION DES CONTAMINANTS ENTRE EAU ET SÉDIMENTS

Les contaminants, du fait de leur facteur de solubilité ou de leur affinité pour les particules argileuses ou organiques, seront portés par l'eau ou par les particules solides (MES, sédiments), ou les deux en proportions variables. Par exemple, le suivi de la qualité des eaux et des MES, notamment en période de crue à la station d'Arles sur la Rhône, montre bien que la seule approche traditionnelle de l'analyse de l'eau ne suffit pas à évaluer la quantité de contaminants transportés par un cours d'eau.

Famille Chimique	Flux moyen annuel (2008-2009) en Tonnes	
	Eau brute	MES
Métaux ou métalloïdes	4 658	14 909
HAP	33	7
Semi volatils organiques divers	341	7
Pesticides	106	2
Chlorobenzènes	2,7	1
Organostanneux	78	0,9
Benzène, Toluène, Ethyl-benzène et Xylènes	0,00	0,8
PCB	0,00	0,2
Hydrocarbures Halogénés Volatils - OHV	35	0,3
Anilines et Chloroanilines	2	0,1
Phénols et chlorophénols	5	0,07
Alkylphénols	6	0,02

Tableau 1 - Flux de contaminants mesurés sur les eaux et matières en suspension à la station d'Arles (source IRSN, Agence de l'eau)

2.3 CONTAMINATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE AQUATIQUES À PARTIR DE SÉDIMENTS

2.3.1 Bioaccumulation et bioamplification

Les organismes vivants (faune et flore) procèdent en permanence à des échanges avec leur environnement : respiration, alimentation, élimination de résidus ... comme tels, ils sont donc exposés aux contaminants présents dans cet environnement, et sont susceptibles de modifier leur devenir. Ces interactions entre matrices abiotiques, telles que les sédiments, et organismes vivants, peuvent se traduire en termes de toxicité, de bioaccumulation ou de biodégradation. La présente section traite surtout de bioaccumulation.

La bioaccumulation désigne l'absorption et le stockage dans les organismes vivants de substances chimiques en concentration supérieure à celle de leur environnement : eau, matières en suspension ou sédiment, alimentation.

Les contaminants bioaccumulables incluent des éléments minéraux (métaux tels que plomb, cadmium, ...), des substances de synthèse (polychlorobiphényles - PCB, polybromodiphényl-éthers-PBDE, etc.), des substances organiques produites accidentellement (hydrocarbures poly-aromatiques –HAP), ou encore des composés organométalliques, notamment le méthyl-mercure.

Certains de ces composés, notamment les PCB et le méthyl-mercure, sont bioamplifiés.

La bioamplification est un processus d'accumulation à partir de l'alimentation (proies), où le prédateur accumule le contaminant concerné à un niveau de concentration plus élevé que sa proie. Elle se produit lorsque la vitesse (taux) d'absorption est plus élevée que la vitesse (taux) d'élimination.

2.3.2 Contamination de la faune aquatique

La faune aquatique de fond (benthique) et de pleine eau (pélagique) subit une contamination par les substances chimiques en phase dissoute dans l'eau ainsi que, pour les substances peu ou pas solubles, par contact et ingestion de matières en suspension et sédiments contaminés (rôle des biofilms à la surface des sédiments, des galets) et de matière vivante (invertébrés, poissons).

2.3.2.1 Invertébrés

Les invertébrés benthiques vivent au contact ou dans la couche superficielle des sédiments de fond. Ces derniers sont particulièrement exposés aux contaminants associés aux sédiments fins, par voie respiratoire ou tégumentaire (par les contaminants contenus dans l'eau interstitielle des sédiments), ou par ingestion de la matière organique du sédiment. Ces invertébrés sont aussi une source de nourriture pour de nombreuses autres espèces d'invertébrés ou de poissons.

2.3.2.2 Poissons

La contamination des poissons se fait selon deux voies distinctes :

- Respiratoire : échange au niveau branchial, impliquant en premier lieu les contaminants dissous, et de manière minoritaire les contaminants adsorbés aux MES après désorption.
- Digestive : désorption de contaminants des MES dans le tube digestif, ou consommation de proies contaminées (algues, invertébrés, autres poissons).

La contamination se fait de manière variable selon les molécules considérées. Par exemple, les espèces de carnassiers comme le brochet ou le sandre sont fortement accumulateurs pour le mercure et moins pour les PCB. Les facteurs déterminant le niveau d'accumulation des contaminants chez les poissons sont le comportement alimentaire (les espèces opportunistes avec une alimentation très variée, comme le chevaie, accumulent moins des contaminants comme les PCB que des espèces plus sélectives), la position dans le cours d'eau ou le plan d'eau, la longueur de la chaîne alimentaire, l'âge ou la taille (pour les contaminants bioamplifiés), ou encore le taux de matière grasse.

Cours d'eau : Dans les secteurs de vitesse de courant moyenne à rapide, où les sédiments ne s'accumulent pas, la contamination des poissons pourrait se faire par voie consommation de biofilm ou par voie respiratoire.

Dans les secteurs à vitesse plus lente, les poissons benthiques pourront se contaminer directement à partir du sédiment, des invertébrés et de la flore aquatique.

En tout état de cause, la superficie des aires prospectées par les poissons et sa variabilité est assez mal connue ; ces aires pourraient ainsi inclure plusieurs types d'habitat.

2.3.3 Contamination de la flore aquatique

Les végétaux enracinés dans le sédiment (macrophytes) qui peuvent en extraire certaines substances et les accumuler dans leurs tiges ou feuilles, ou constituer un support passif sur leur surface pour des MES contaminées, constituant ainsi une source de contamination pour les espèces herbivores.

2.3.4 Seuils de contamination des sédiments à prendre en compte

L'appréciation de la qualité des sédiments est généralement basée sur des considérations d'effets toxiques directs sur les invertébrés benthiques. Dans le cas au moins des PCB, le seuil de concentration ainsi défini n'empêche pas les poissons de dépasser le seuil réglementaire de consommation (réglementation visant la protection de la santé humaine). Ce seuil réglementaire sera d'ailleurs retenu comme norme de qualité environnementale (NQE) pour le biote dans la directive « substances prioritaires » en préparation (COM 2011/876).

C'est sur cette seule base solide, que des études ont été menées dans le cadre des plans d'action PCB du bassin et nationaux, pour préciser les relations entre la contamination des sédiments et celle des poissons de rivière en les décrivant par des modèles de bioaccumulation plus ou moins complexes. Ces modèles devaient permettre de déterminer un niveau seuil de PCB dans les sédiments au-dessus duquel les poissons ne seraient pas conformes aux teneurs maximales en dioxines et en PCB de type dioxine fixées par la réglementation (*i.e.* règlement européen fixant les teneurs maximales pour les dioxines et les PCB de type dioxine dans les denrées alimentaires).

Trois types de modèles ont été développés ou appliqués, présentés ci-dessous du plus simple au plus complexe :

- a) **Facteurs d'accumulation sédiment-biote** : Le BSAF (Biota Sediment Accumulation Factor) est le ratio entre la concentration du contaminant considéré dans le biote (normalisée par le taux de lipide de l'organisme) et celle dans les sédiments (normalisée par le carbone organique total, carbone organique particulaire - COT). Par une transformation de l'équation définissant le BSAF, il est possible de calculer un seuil sédiment correspondant au seuil réglementaire de consommation des poissons. Cette approche a été appliquée à environ 800 couples de données sédiments/poissons de la base de données du bassin Rhône-Méditerranée et à la base nationale produisant respectivement des seuils de 26,6 µg/kg et 50 µg/kg PCB_i dans les sédiments. Dans les deux cas la capacité prédictive (proportion de poissons pour lesquels le taux de contamination est correctement prédit par le modèle) est de l'ordre de 50-60%.
- b) **Modèle statistique** : Les trois variables utilisées dans ce modèle permettent à elles seules d'expliquer 78% de la variabilité de la contamination des poissons. Le modèle permet de prédire la contamination des poissons à partir (i) de leur taille, (ii) de la proportion de carbone détritique (provenant du sédiment) dans leur alimentation, et (iii) de la concentration maximale de PCB_i dans les sédiments à laquelle ils ont été exposés au cours de leur vie. Il est possible de calculer pour chaque poisson (de cette étude), la concentration maximale dans le sédiment qui permettrait de respecter le seuil réglementaire de consommation. . Pour que 75% des poissons au minimum soient conformes au seuil réglementaire de consommation, il ne faudrait pas dépasser 12,7 µg/kg en PCB_i dans les sédiments ; pour protéger 90% des poissons il ne faut pas dépasser 5,9 µg/kg.
- c) **Modèle à base physiologique** : Ce modèle décrit l'ensemble des processus physiologiques contribuant à l'accumulation des PCB par les poissons. Il permet d'incorporer la variabilité des comportements du biote (poissons), et de comprendre ainsi pourquoi sur un même site, des poissons apparemment similaires ont des niveaux de contamination différents, pour ensuite définir des niveaux seuil de contamination dans les sédiments qui puissent être ajustés site par site ou protéger tous les sites avec un niveau de certitude connu. La concentration en PCB_i à ne pas dépasser dans le sédiment pour que les différents poissons considérés individuellement (jusqu'à un âge de 14 ans dans le cas d'étude) ne dépassent à aucun moment le seuil réglementaire sanitaire varie de 1 à 1,5 µg/kg PCB_i selon l'espèce et le site considérés.

Les seuils issus de l'approche BSAF appliquées aux bases de données nationale ou de bassin sont proches de la médiane des valeurs obtenues avec le modèle statistique. De même, 90% des poissons testés sont conformes (sans savoir s'ils l'ont été en permanence) à un niveau d'exposition supérieur mais du même ordre de grandeur que les seuils obtenus à l'aide du modèle à base physiologique. Malgré des bases conceptuelles différentes, ces trois approches produisent des valeurs cohérentes entre elles.

Les valeurs les plus basses (1 à 6 µg/kg ps pour la somme des PCB_i) sont similaires au seuil de 10 µg/kg retenu dans le présent document.

Ces résultats ont conduit conserver la valeur de 60 µg/Kg en PCB_i initialement retenue dans la V1 des recommandations comme seuil de contamination des sédiments conduisant à une contamination des poissons au sens sanitaire pour l'alimentation humaine. C'est donc cette limite qui sert de socle aux présentes recommandations V2.

Deux commentaires importants:

- Les PCB sont la seule substance pour laquelle un seuil scientifiquement argumenté ait été déterminé sur la base des relations entre la teneur du sédiment en contaminant et la teneur résultante dans la chair des poissons. Pour toutes les autres substances il n'existe que des seuils de concentrations qui déterminent les limites entre régimes déclaratifs ou autorisation des dossiers de demande d'autorisation administratives⁵, ou des seuils de toxicité vis-à-vis des invertébrés benthiques. Pour les sédiments aquatiques un seuil de 680 µg/Kg en PCB_i détermine la limite entre déclaration et autorisation pour la remise à l'eau de sédiments.
- Par contre on ne connaît pas pour les PCB, la limite de concentration qui ne devrait pas être dépassée pour le bon développement des populations piscicoles. On sait seulement qu'à partir d'environ 600 µg/Kg on observe des désordres sur les individus et leur reproduction. La limite de concentration en PCB_i garante du bon état des populations piscicole se situe donc entre 26/50 et 600 µg/Kg. Encore ne faudrait-il pas considérer que l'espèce poisson isolément et inclure dans la détermination d'un seuil sédiment/poissons les effets de la bioamplification qui portent préjudice aux espèces quasi exclusivement piscivores comme la loutre⁶, le balbuzard pêcheur, le cormoran, ...

Il s'ensuit que les présentes recommandations, si elles sont rédigées pour pouvoir couvrir l'ensemble des contaminants des sédiments aquatiques, ne peuvent traiter avec pertinence que la substance PCB. Les seuils à utiliser pour les autres substances restent d'une part ceux de la réglementation, lesquels sont des seuils de déclaration/autorisation et d'autre part, les NQE lorsque celles-ci sont disponibles (Confer l'annexe sur les référentiels des sédiments, page 165).

⁵ Arrêté du 09/08/2006 relatif aux rejets dans les eaux de surface de sédiments aquatiques

⁶ La bibliographie indique qu'au-delà de 150 ng/g en PCB_i dans la chair des poissons, on constate une disparition des populations de loutre par inhibition des fonctions reproductrices. Cette valeur correspond au seuil sanitaire pour l'homme, exprimé en équivalents PCB_i.

2.4 MOBILITÉ DES SÉDIMENTS

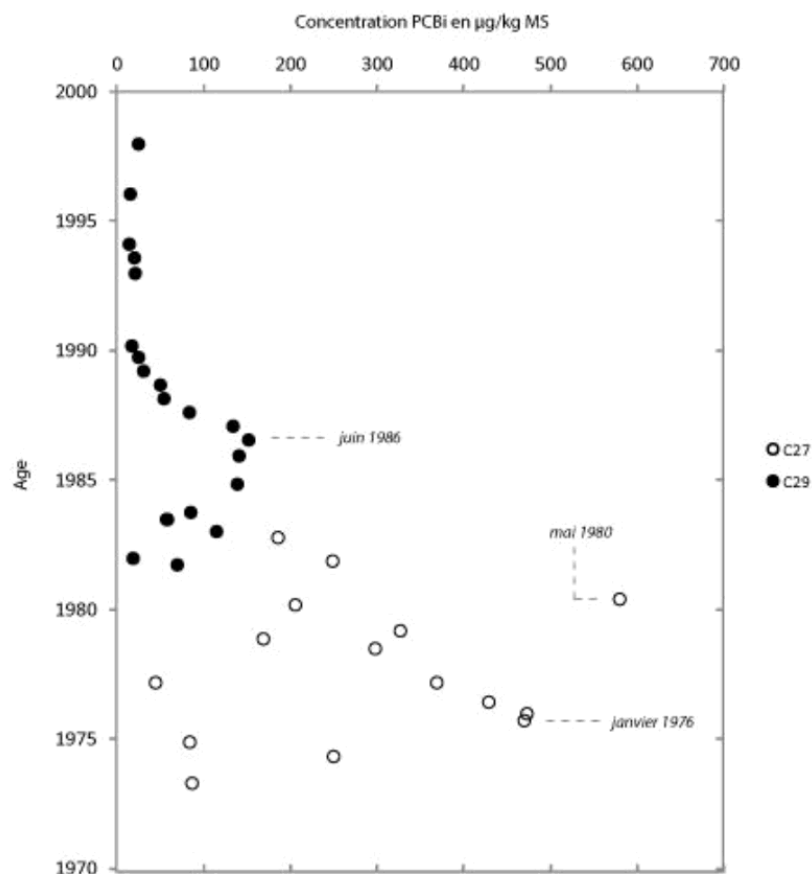
Du point de vue de leur mobilité, les sédiments aquatiques peuvent être classés en deux catégories : les sédiments immobilisés et les sédiments libres. Cette distinction est fondamentale pour ce qui concerne les interventions sur les sédiments aquatiques susceptibles d'être contaminés.

2.4.1 Sédiments immobilisés

Ils sont stockés dans des structures stables (hors événement hydrologique exceptionnel) :

- couches moyennes ou profondes de sédiments de cours d'eau ou de plan d'eau. Ces couches subissent un processus de diagenèse, se traduisant par une élimination partielle de l'eau interstitielle et une compaction du matériau⁷.
- dans des marges ou annexes alluviales en arrière des berges ;
- en berges ;
- même s'il ne s'agit pas de sédiments proprement dit, il convient d'ajouter aux berges, les sols contaminés, remblais ou dépôts industriels, lorsque ceux-ci sont confondus avec les berges et peuvent être remaniés sans précaution par des travaux ou soumis à l'érosion naturelle affectant les berges.

Figure 1 - Exemple de variation de la teneur en contaminant – PCB – en fonction de l'âge des sédiments – et donc ici de la profondeur – sur des carottes prélevées en 2012 sur un casier Girardon à Péage de Roussillon. On constate que les sédiments déposés entre 1970 et 1990 sont les plus contaminés, notamment pour la période 1970-1980 (in Rapport BRGM n° xxx, publication à venir).



⁷ La diagenèse se rapporte à l'ensemble des modifications physico-biochimiques que subit un sédiment, après dépôt, dans les conditions de pression et température "faibles" qui règnent en environnement de sub-surface. Il s'agit de processus de dégradation et d'évolution de la matière organique et de phénomènes de cimentation, dissolution, recristallisation et remplacement affectant les phases carbonatée, siliceuse ou sulfatée. http://www2.ulg.ac.be/geolsed/processus/processus.htm#LA_DIAGENESE

Les sédiments immobilisés, c'est à dire stockés dans des structures stables, sont généralement des sédiments dont les dépôts remontent à plusieurs décades : ils ont donc pu être marqués par des épisodes de pollution anciens.

La période qui s'étale des années 1900/1920 aux années 70/80, a connu une contamination quasi continue des cours d'eau et plans d'eau par des contaminants industriels (métaux, polluants organiques divers, tel que les PCB dont le pic de contamination se situe vers 1975). Les sédiments immobilisés durant ces périodes sont ceux qui présentent le risque potentiel de contamination le plus élevé.

Cours d'eau :

- Les sédiments immobilisés des cours d'eau ne renferment pas l'ensemble de la pollution émise, du moins pour ce qui concerne les éléments retenus par les sédiments : en effet, une partie de cette pollution émise, certainement majeure, ayant pu être transportée par le courant et les crues, dans l'eau ou les matières en suspension, jusqu'à la mer. Toutefois, ce sont les couches profondes encore en place, déposées durant les périodes de « pollution », qui peuvent être les plus contaminées.
- Dans certains cas, les sédiments immobilisés peuvent être remis en mouvement hors intervention directe humaine ou à l'occasion de crues exceptionnellement importantes conduisant à des phénomènes locaux de surcreusement ou érosion de berges (crues au moins centennales par exemple).

Canaux : Du fait d'une circulation négligeable des sédiments, les sédiments immobilisés recèlent la quasi-totalité des contaminants apportés au milieu aquatique, du moins entre deux périodes de dragage.

Plan d'eau :

- En dehors des zones de courant (connections des tributaires et émissaires), on peut considérer que la quasi-totalité des sédiments des plans d'eau est immobilisée et contient la majorité de la pollution émise (pour ce qui concerne les contaminants retenus par les sédiments).
- Dans le cas des grands plans d'eau comme le Léman, avec circulation de sédiments liés aux courants et vents et soumis à des curages réguliers des sorties de ports, on peut avoir une dispersion des pollutions ponctuelles.
- Du fait de la charge potentielle plus importante des sédiments immobilisés (pas d'évacuation par le courant et les crues d'une partie des sédiments contaminés) ainsi que d'un impact local plus important (pas de dilution par le courant), la manipulation de sédiments profonds de lac peut-être plus problématique qu'en cours d'eau.

Sauf évènement hydrologique exceptionnel, seule une intervention humaine (dragages, curages et travaux divers, chasse de barrage, érosion de berges suite à changement de profil, ...) peuvent conduire à la remise en mouvement des sédiments immobilisés au sein du cours d'eau ou à leur étalement sur le fond d'un plan d'eau.

2.4.2 Sédiments libres (disponibles)

On désigne sous ce terme l'ensemble des sédiments de surface qui reposent sur le fond ou en berge. Ils sont à l'interface « massif sédimentaire/eau libre ». Ils sont disponibles, tant d'un point de vue hydrobiologique (support de biocénose aquatique, fournisseur d'éléments au biote, dont les contaminants contenus) qu'hydrologique (sédiments remobilisables et déplaçables par le courant, plus particulièrement lors des crues).

La limite entre sédiments libres et immobilisés est uniquement une question de dynamique et d'épaisseur :

- Ils sont déplacés par le courant et par les crues au plus décennales ;
- Ils s'accumulent préférentiellement dans des zones :
 - o naturelles de ralentissement : rive convexe, zones de faible courant ;
 - o ou maintenues artificiellement en déséquilibre hydrodynamique : chenaux de navigation, zones quasiment sans courant comme les écluses ou les retenues ;

Si leur accumulation n'est pas remise en cause par une action anthropique (dragage, chasse, ...) ou naturelle comme une crue exceptionnelle, ils peuvent être considérés comme immobilisés momentanément ou plus durablement. Si des phénomènes comme l'induration par diagénèse, de végétalisation, de déconnection du lit mineur suite à un enfoncement, ... ont le temps de se mettre en place avant une remobilisation naturelle ou anthropique, le caractère d'immobilisation est renforcé.

Leur épaisseur est fonction de la dynamique du cours d'eau – elle est voisine de celle des sédiments qui sont déplacés à l'occasion des crues d'intensité moyenne :

- Dans les zones lentes, l'épaisseur des sédiments libres mobilisables peut être faible, de l'ordre d'une vingtaine de cm. ;
- Dans les zones à fort courant, et à forte variation de courant, les épaisseurs déposées/remobilisées peuvent être plus importantes : par exemple, l'Arc en Maurienne peut inciser un secteur de 3 m en une crue et redéposer autant en période inter-crués.

Cours d'eau : Le déplacement des sédiments libres avec le courant naturel ou encore à l'occasion des crues est à considérer comme inévitable⁸.

Plans d'eau : Il n'y a pas à proprement parler de sédiments libres dans un plan d'eau. Ils ne sont généralement pas affectés par des courants, sauf dans le cas des grands plans d'eau (circulation de sédiments induits par les courants et vents nécessitant par exemple de dragage de ports) ou certains cas précis tels que les courants induits par la vanne de fond des barrages hors période de chasse ou les estuaires des tributaires. Par contre, ils peuvent être déplacés et ré-étalés à l'occasion de dragages ou de curages.

Les sédiments transportés par les cours d'eau sont soit, par définition, les sédiments libres, soit des sédiments immobilisés remis en circulation suite à des travaux ou éventuellement par des crues exceptionnelles.

⁸ Sauf si la mise en œuvre d'un piégeage est nécessaire et possible.

2.5 LE TRANSPORT DES CONTAMINANTS PAR LES COURS D'EAU

Les cours d'eau transportent les contaminants au sein de leurs 3 phases :

- l'eau : contaminants solubles ;
- les matières en suspension (MES) : les contaminants fixés sur les fractions fines et organiques ;
- les sédiments : contaminants stockés dans les parties fines et organiques des sédiments ou dans les biofilms à la surface des éléments plus grossiers.

Les matières en suspension se déplacent au sein de la masse d'eau en mouvement. Lorsque la vitesse diminue, les MES les plus lourdes se déposent au fond. Sous l'effet du courant, les sédiments sont mis en mouvement sur le fond du cours d'eau (reptation ou saltation). La limite entre MES et sédiments est floue dans les fines granulométries et fonction du courant (particules < 10 à 1 µ). Par exemple, selon le régime hydraulique, des sables fins et des vases de fond peuvent être mises en suspension sur des distances plus ou moins importantes.

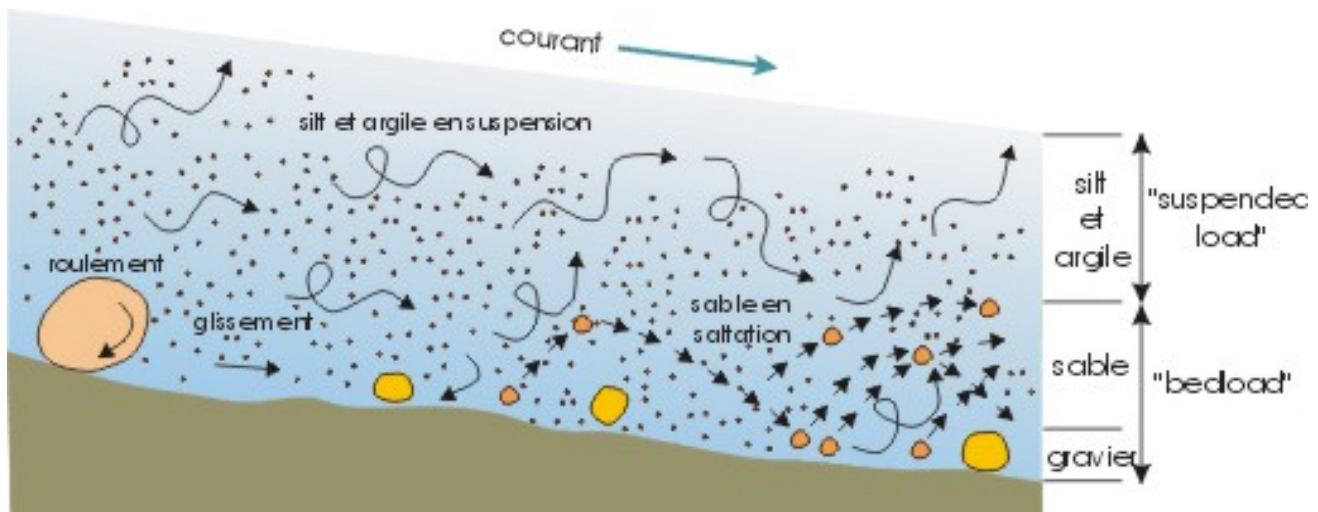


Figure 2 - Schéma des déplacements des sédiments avec le courant (F. Boulvain, Université de Liège).

Les galets et graviers avancent de quelques dizaines ou centaines de mètres par an, uniquement pendant les crues. Les sables avancent très doucement au fond des rivières en période courante et parcourent plusieurs kilomètres pendant les crues. Les limons et argiles avancent en suspension dans l'eau, même hors crue.

2.6 RÔLE DES CRUES

Les crues jouent un rôle majeur dans le déplacement des sédiments et donc des différents contaminants qu'ils contiennent, aussi est-il intéressant de développer la mécanique de propagation des sédiments au cours des crues, afin de comprendre la propagation des contaminants.

Au cours d'une année, c'est pendant les crues que les quantités de sédiments les plus importants sont déplacés, c'est-à-dire que sur une période moyenne, environ 80% des sédiments sont déplacés pendant 10% du temps.

En décrue, la capacité de transport de la rivière diminue : une partie des sédiments en suspension se dépose dans les zones de faibles vitesses et dans les champs d'inondation. Les sédiments déposés dans le lit mineur de la rivière pourront être remobilisés lors d'une prochaine crue. Ceux déposés dans les terrains inondés (marges alluviales, lit majeur, champ de stockage...) resteront immobilisés avec leurs contaminants.

Enfin, des crues exceptionnelles, peuvent remettre en mouvement des structures sédimentaires considérées comme stables (atterrissements, berges, annexes fluviales, ...).

Cas du fleuve Rhône

Les quantités de sédiments et matières en suspension déplacées au cours d'une crue sont très supérieures à celles concernées par les dragages d'entretien du chenal de navigation, même si les granulométries concernées ne sont pas totalement les mêmes : les dragages concernant des granulométries moins fines. Ils mobilisent en moyenne 600 000m³ de sédiments/ans soit moins de 3% du transport solide en suspension.

Les sédiments les plus récents déposés et soumis à dragage d'entretien et les sédiments transportés par les crues présentent des teneurs moyennes en PCB voisines, qui correspondent à un bruit de fond anthropique qui croît de l'amont (10-15 µg/Kg PCB_i) vers l'aval (40-60 µg/Kg).

Des sédiments anciens potentiellement plus contaminés (mercure, PCB, ...) sont stockés dans des annexes fluviales déconnectées, des champs d'inondation, dans la méditerranée.

Confer la fiche milieu Rhône, page 105

2.7 IMPACTS DES OPÉRATIONS D'EXTRACTION DES SÉDIMENTS

Les travaux sur sédiments immergés conduisent à des remises en suspension plus ou moins importantes selon les techniques (confer ci-dessus).

Le clapage, par exemple, s'accompagne de divers phénomènes de dispersion, en fonction de la granulométrie et des courants. En l'absence de courant au sein de la masse d'eau, un étalement de fond se produit du fait de courants de densité.

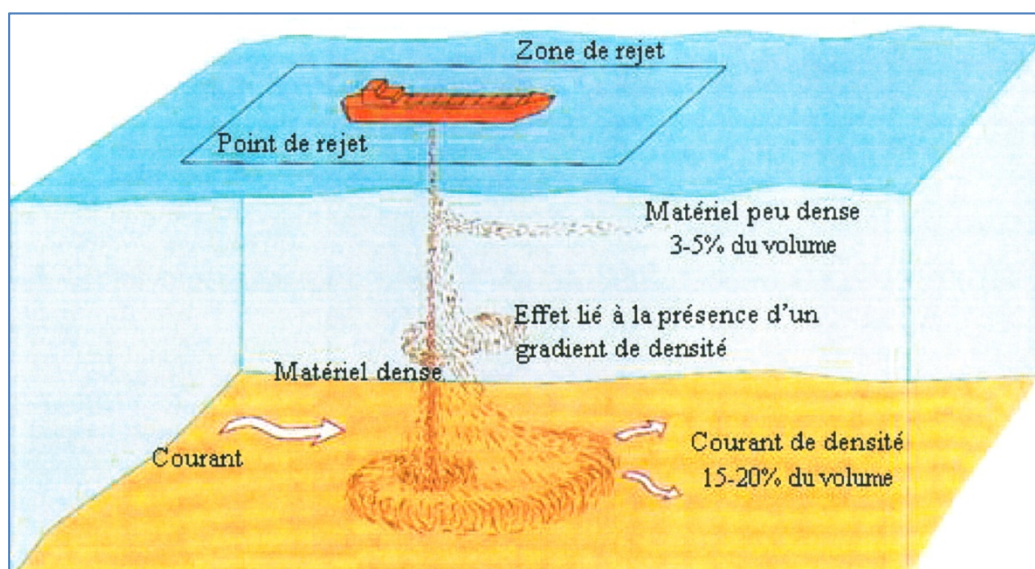


Figure 3 : Dispersion des sédiments au cours d'un clapage (Alzieu, 1988).

En se limitant aux opérations de curage, les différents impacts résultant du fonctionnement des engins sont listés ci-dessous.

2.7.1 Pollutions accidentelles du milieu aquatique

Les pollutions accidentelles susceptibles de survenir concernent les fuites d'hydrocarbures (huiles, carburant) par l'engin de curage ou les pertes de sédiment dans le cas d'un objectif de non remise à l'eau de sédiments contaminés (mauvaise étanchéité des barges, erreurs de manipulation).

Les autres pollutions accidentelles, par des carburants par exemple, revêtent un caractère exceptionnel qui ne présente pas un véritable danger si une réaction immédiate d'arrêt du chantier et de nettoyage est menée.

2.7.2 Augmentation de la turbidité et biodisponibilité des contaminants

Concrètement, les impacts liés à une augmentation des Matières En Suspension (MES) se traduisent de différentes façons dans le milieu aquatique.

2.7.2.1 Impacts sur le milieu pélagique (phytoplancton, poissons)

L'augmentation des concentrations en MES peut se traduire à court terme par une chute de l'oxygène dissous et une augmentation des teneurs en ammoniac dans la colonne d'eau.

Le phytoplancton et les poissons sont les principaux organismes aquatiques concernés par le panache de MES. En milieu lacustre, un calcul théorique montre que les MES décanteront en 5 heures maximum.

A plus long terme, le changement des conditions physico-chimiques (réoxydation des sédiments anoxiques) peut entraîner un **relargage des contaminants adsorbés sur les MES comme les métaux**.

Il a été montré que la désorption des contaminants n'intervenait qu'à des échelles de temps sans commune mesure avec la durée de vie du panache turbide. Les contaminants restent alors sous forme particulaire et sédimenteront avec le panache. Par contre, les nouveaux fonds après décantation présenteront un milieu où la biodisponibilité des contaminants aura été renouvelée avec les nouvelles couches superficielles.

2.7.2.2 Impacts sur le milieu benthique (macrofaune, frayère)

En se déposant sur les fonds, les MES forment une couche superficielle faiblement cohésive, dite couche néphéloïde. Lorsque les sédiments sont restitués en quantité importante au milieu aquatique, les dépôts de MES forment une couche épaisse et étendue avec pour conséquence la destruction de la macrofaune et des frayères.

A moyen terme, les invertébrés benthiques sont directement affectés par les contaminants adsorbés sur ces MES (processus de bioaccumulation et bioamplification le long de la chaîne trophique).

2.7.2.3 Impacts sur la végétation aquatique

L'incidence des curages concerne les systèmes végétaux des berges, herbiers aquatiques et zones de roselières qui constituent à la fois un habitat, une source de nourriture et une zone de reproduction pour de nombreuses espèces aquatiques.

L'augmentation des teneurs en MES peut affecter temporairement la transparence de l'eau et indirectement l'activité photosynthétique des végétaux. De plus, la croissance des végétaux peut être ralentie voir stoppée à cause de dépôts massifs et répétés par l'envasement des fonds.

Le transfert de contaminants contenus dans les MES est un domaine peu étudié et la place des végétaux dans la contamination de la chaîne trophique n'est pas évaluée.

Confer également Annexe « Mesures de réduction des impacts des travaux », page 114.

3 PRINCIPES DES RECOMMANDATIONS

Ce chapitre expose les principes qui encadrent de manière exhaustive l'ensemble des travaux ou interventions.

Pour une mise en œuvre opérationnelle se reporter au chapitre MARCHE A SUIVRE POUR UN PROJET DE TRAVAUX, page 33.

La mise en mouvements, suite à des travaux, de sédiments contaminés conduit, pour les cours d'eau, à leur étalement à l'aval du lieu d'intervention et, pour les plans d'eau, à leur redéposition sur des surfaces plus ou moins larges. Selon le niveau de contamination des sédiments, il peut en résulter une dégradation du milieu par augmentation des surfaces des fonds contaminés, augmentation des teneurs en contaminants et accroissement de la biodisponibilité des substances contenues dans les matières en suspension et les sédiments redéposés.

Ceci implique qu'au préalable, il ait été procédé à une **caractérisation de l'état de contamination des sédiments**, laquelle sera réalisée avec une précision adaptée au contexte hydromorphologique et aux travaux et interventions envisagés.

Une fois connu le niveau de contamination du massif sédimentaire et éventuellement procédé aux adaptations nécessaire du projet d'intervention, il pourra être procédé à la phase de décision de réaliser les travaux, soit en appliquant les règles générales basées sur le principe de non dégradation, soit en acceptant, dans certains cas justifiés, une dérogation aux règles générales.

Les **opérations réalisées dans l'urgence pour assurer la sécurité des personnes**, ne sont pas soumises à ces règles. Toutefois, il est nécessaire que soient réalisées, même a posteriori, des analyses sur les sédiments mobilisés par l'opération, et pour laquelle on aura veillé à en réduire l'impact environnemental.

3.1 IDENTIFICATION DES MILIEUX AQUATIQUES CONTAMINÉS OU SUSPECTS

L'état de contamination des sédiments est fortement lié aux activités amont. En règle générale, les têtes de bassin versant historiquement exemptes d'occupation industrielle ont toutes les chances de ne pas être contaminés au-delà du bruit de fond géochimique (ou, pour les PCB par exemple, à un bruit de fond anthropique de pollution atmosphérique).

A contrario, une zone aval d'une zone marquée par plus d'un siècle d'activités industrielles diverses, sera contaminée par un large cortège de substances. Les zones intermédiaires pourront présenter des niveaux de contamination moyens divers selon les distances aux zones contaminées amont, ou à un historique industriel moins lourd ou plus diffus.

Il est au préalable souhaitable de disposer de listes ou cartes identifiant les milieux aquatiques dont les sédiments sont :

- soit déjà identifiés comme :
 - présentant une contamination avérée de un ou plusieurs contaminants ;
 - à l'inverse, ne supportant pas de contamination particulière ;
- soit pour lesquels la situation géographique laisse supposer :
 - une forte suspicion de contamination (aval de zone industrielle ancienne) ;
 - un état logiquement non contaminé (tête de bassin versant n'ayant jamais hébergé d'activité industrielle).

Ces éléments seront synthétisés sur une cartographie qui identifiera trois zones :

- zone 1 : tête de bassin versant non pollués ou supposés non polluée ;
- zone 2 : zone intermédiaire entre la zone 1 et 3 ;
- zone 3 : secteur contaminé : contamination fortement soupçonnée ou avérée.

Lorsque des contaminations spécifiques ont été établies ou sont fortement soupçonnées, essentiellement au droit et à l'aval d'installations spécifique (ex : PCB pour un site ayant assemblé des transformateurs, plomb pour un site fabriquant des batteries, ...), ces informations seront mentionnées sur les cartes.

Les cartes devraient être actualisées au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données de contamination :

- confirmation de l'état de contamination d'une zone :
 - o confirmation de l'état de non contamination d'une Zone 1 suite à des analyses ;
 - o idem pour une Zone 3
- changement de classe d'une zone : passage de 1 ou 2 en 3, de 2 en 1 ;
- mise en évidence de contaminations spécifique mono élément au sein d'une zone ;
- etc.

Cette connaissance, qui est destinée à s'affiner au fur et à mesure de la prise en compte des nouvelles analyses réalisées au préalable de tous travaux ou intervention, sera utilisée pour :

- **dimensionner l'effort de reconnaissance avant travaux (nombre d'échantillons) ;**
- **voire permettre de se passer d'échantillonnage et d'analyse dans le cas de bon état prouvé par des précédentes analyses.**

Dans l'attente, ou à défaut, la carte des arrêtés d'interdiction de consommation des poissons contaminés par les PCB constitue une première approximation⁹ des zones 2 et 3 :

- Par excès car les arrêtés sont bornés par des obstacles aux déplacements des poissons (barrages, seuils) ;
- Relativement pertinentes pour les autres contaminants industriels que les PCB, sauf dans les cas rares de contamination mono-spécifiques aux PCB (Tillet-lac du Bourget par exemple).

Pour autant, les autres zones ne sont pas prouvées exemptes de contamination par d'autres substances que les PCB.

3.2 CARACTÉRISATION PRÉALABLE DE L'ÉTAT DE CONTAMINATION DES SÉDIMENTS

Cette caractérisation est une étape indispensable qui vise deux objectifs :

- Evaluation de l'état de contamination du massif sédimentaire qui doit faire l'objet de travaux.
- Détermination de l'état de contamination de la nouvelle interface « massif sédimentaire/eau libre » à l'issue des travaux.

3.2.1 Evaluation de l'état de contamination du massif sédimentaire qui doit faire l'objet de travaux.

Cette étape doit conduire à déterminer :

- o L'état de contamination de l'ensemble du massif sédimentaire ;
- o La distribution des contaminants dans le massif : répartition homogène ou existence de compartiments plus contaminés (points chauds). Cette distribution des contaminants sera fortement influencée par le mode de dépôt et l'âge des sédiments, c'est-à-dire les conditions hydromorphologiques de dépôt. Ce qui conduira soit à proposer une teneur moyenne d'ensemble, soit des teneurs moyennes par compartiments ;
- o La détermination de la quantité de contaminant (en Kg) contenus dans le massif.

⁹ www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr, rubrique Pollution par les PCB, puis Arrêtés d'interdiction, ou directement : www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/usages-et-pressions/pollution_PCB/pcb-arretes-interdiction.php

La stratégie d'échantillonnage doit être adaptée aux conditions de dépôt des sédiments pour permettre une détermination adaptée de la contamination : teneur moyenne, présence de zones plus contaminées.

3.2.2 Détermination de l'état de contamination de la nouvelle interface « massif sédimentaire/eau libre » à l'issue des travaux

C'est à dire les futurs fonds de la rivière ou du plan d'eau, les futures berges, qui seront en contact avec l'eau libre du milieu aquatique et sièges de la vie des organismes de fond. Généralement cela concerne :

- o la zone des travaux : les reconnaissances dépasseront d'au moins 30/50 cm la simple épaisseur du massif sédimentaire de manière à caractériser les nouveaux fonds après travaux ;
- o les zones aval ou périphériques impactées par les redépôts : leur surface et l'épaisseur des sédiments qui s'y déposeront seront calculées.

La couche sédimentaire qui doit constituer le nouveau fond après travaux doit être caractérisée : des échantillons doivent être prélevés également immédiatement en dessous de la couche qui doit être déplacée.

3.2.3 Adaptation de l'effort d'échantillonnage

Tant dans le but de correctement caractériser un massif sédimentaire que de ne pas préconiser des densités d'échantillonnage disproportionnées, il est proposé que l'effort d'échantillonnage soit adapté selon quatre critères :

- 1 Le **type hydromorphologique de dépôt** (atterrissement, barrage, lac, ...) ;
- 2 **L'ancienneté du sédiment** directement fonction de la période durant laquelle le sédiment s'est déposé. Selon le type de dépôt (atterrissement, barrage, lac, ...) les sédiments déposés à différentes périodes occuperont des niveaux ou places spécifiques qu'il convient d'identifier verticalement ou latéralement, pour les échantillonner spécifiquement ;
- 3 **L'état de contamination supposé ou connu** de la zone des travaux. Les têtes de bassin versant exempt d'occupation industrielle ne sont pas à échantillonner de la même manière qu'une section de cours d'eau aval d'une zone industrielle ancienne (zones 1, 2 ou 3 si cartographie disponible) ;
- 4 La **connaissance déjà acquise de l'état de contamination** du massif sédimentaire. La densité d'échantillonnage sera réduite sur les zones pour lesquelles on dispose déjà de données applicables au massif sédimentaire considéré.

3.2.3.1 Adaptation de l'échantillonnage aux configurations hydromorphologiques

Les processus de sédimentation sont spécifiques à chaque type de dépôt sédimentaire : accumulation en berge, atterrissement en confluence, remplissage de barrages, ...

Il s'ensuit que la reconnaissance d'un massif sédimentaire particulier doit être adaptée pour obtenir un échantillonnage représentatif de l'ensemble du massif, aux différentes périodes de dépôt.

La pratique courante de prélèvements uniquement en surface introduit des biais importants et ne peut plus être la règle.

Les fiches milieu de l'annexe, présentent pour les principaux types de dépôt sédimentaires, les processus de sédimentation, les localisations possibles des zones contaminées, les méthodes d'échantillonnage adaptées. Elles contiennent des recommandations et méthodes qui doivent être mises en œuvre.

Des variantes sont possibles, à condition d'être techniquement justifiées et développées, qui pourront d'ailleurs contribuer à l'enrichissement des fiches.

Confer l'annexe Fiches milieux, page 41.

3.2.3.2 *Adaptation de l'échantillonnage à l'ancienneté des sédiments*

L'ancienneté des sédiments est directement en relation avec le risque de contamination. Les sédiments déposés entre les années 60 et 90 sont ceux qui présentent les plus grands risques. A contrario, les sédiments récents ou actuels, sont contaminés à des niveaux relativement constants dans le temps, caractéristiques du cours d'eau.

Les fiches milieux proposent une identification des zones susceptibles de contenir les sédiments anciens, selon une logique verticale, mais également latérale, qui conduit à une adaptation du plan d'échantillonnage.

Confer l'annexe Fiches milieux, page 41.

3.2.3.3 *Adaptation de l'échantillonnage à l'état de contamination*

L'état de contamination évalué avant travaux pour dimensionner l'effort d'échantillonnage.

On s'appuiera sur les cartes établissant les 3 zones de contamination :

- zone 1 : tête de bassin versant ;
- zone 2 : zone intermédiaire entre la zone 1 et 3 ;
- zone 3 : secteur contaminé : contamination fortement soupçonnée ou avérée.

Des coefficients correctifs fonction de ces zones sont donnés dans la rubrique échantillonnage des fiches milieux.

En l'absence de ces cartes ou de données, l'effort d'échantillonnage sera par défaut maximal, tel que défini dans les fiches milieux.

Confer l'annexe Fiches milieux, page 41.

3.2.3.4 *Adaptation de l'échantillonnage à la connaissance acquise sur la contamination*

L'effort d'échantillonnage est variable selon qu'on s'intéresse à un massif sédimentaire ou une zone sédimentaire homogène sur laquelle on ne dispose d'aucunes données ou a contrario, des reconnaissances ont eu lieu récemment ou régulièrement.

Les fiches milieux proposent une pondération de l'effort d'échantillonnage selon le niveau de connaissance de l'état des sédiments, pondération adaptée au type de sédimentation et à la fréquence d'intervention sur le milieu.

Confer l'annexe Fiches milieux, page 41.

3.3 RÈGLE GÉNÉRALE

Le principe de non dégradation sera strictement mis en œuvre, en s'appuyant sur des seuils de teneur en contaminant et qui se traduira par des règles particulières d'intervention.

L'impact des travaux est essentiellement examiné selon les termes suivants¹⁰ :

- la concentration du matériau déplacé est « admissible » ;
- les nouveaux fonds après intervention ne doivent pas être dégradés par rapport à la situation initiale ;
- les zones d'intérêt écologique (fonds ou berges) situées à l'aval proche du site d'intervention, telles que frayères et zones de croissance, annexes, roselières, etc. doivent être épargnées de la redéposition des matériaux pollués.

Pour ce qui concerne les PCB, ces recommandations reposent sur deux seuils relatifs à la teneur des sédiments exprimés en µg/Kg de poids sec pour les 7 PCB indicateurs :

- **Si la teneur en PCB_i est inférieure à 10 µg/kg** : pas de précaution supplémentaire spécifique aux PCB.
- **Si elle reste comprise entre 10 et 60 µg/kg** : le procédé utilisé doit restituer un fond de qualité équivalente à celui échantillonné avant l'intervention (en comparant la concentration initiale de la couche de surface du lieu de dépôt/sédimentation à la concentration moyenne du matériau déplacé).
- **Si la concentration dépasse 60 µg/kg** : ne pas restituer le sédiment au fleuve dans ces conditions.
- Dans tous les cas, **le nouveau fond du site d'extraction doit présenter en faible épaisseur une concentration inférieure ou égale à celle d'origine.**

Cours d'eau : Les objectifs du SDAGE de restauration de l'espace de bon fonctionnement des cours d'eau et de restauration de la continuité sédimentaire ou du bon état hydromorphologique restent les objectifs majeurs de la gestion sédimentaire des cours d'eau.

Ils doivent toutefois, dans les cas d'une suspicion de contamination des sédiments par des substances persistantes, être accompagnés de précautions particulières.

3.4 CAS DÉROGATOIRES

Dans les situations exceptionnelles, argumentés par des considérants environnementaux pour lesquels une décision de **déroger au principe de non dégradation** pourra être prise dans certaines conditions précises.

Au-delà des opérations d'urgence dans un impératif de sécurité civile, certaines opérations de restauration de milieux aquatiques nécessitent de réaliser des travaux sur des massifs sédimentaires plus ou moins contaminés. Elles peuvent dans certaines conditions conduire le Préfet à prendre un arrêté adaptant la règle générale exposée ci-dessus.

¹⁰ On ne traite pas ici des termes habituels relatifs au taux de matière en suspension, oxygène dissous, ... dont les règles sont définies par ailleurs et qui doivent être réglementairement respectées et contrôlées dans le cadre des procédures habituelles.

3.4.1 Conditions de dérogation

La question se pose lorsque les sédiments qui doivent faire l'objet des travaux sont :

- Soit à une teneur inférieure au seuil de 60µg/Kg mais néanmoins supérieure à celle de la zone qui sera impactée. Il peut s'ensuivre une **dégradation par augmentation des teneurs en PCB des nouveaux fonds après travaux**, y compris après mise en œuvre de toutes les précautions et mesures de réductions d'impacts possibles. ;
- Soit à une **teneur supérieur au seuil de 60 µg/Kg**, y compris dans des gammes sensiblement élevées (plusieurs centaines).
- Et qu'il est inenvisageable d'extraire les sédiments pour raison de contrainte environnementales et/ou de coûts démesurés : **ce qui conduit à envisager une remise à l'eau des sédiments extraits.**

Dans ces conditions, la simple mise en œuvre du principe général, basé sur des seuils de concentrations, interdirait la réalisation de ces opérations qui en outre impliquent généralement des sédiments immobilisés, lesquels dans des conditions normales ne seraient pas remis en mouvement.

Pour que des opérations marquées par un très fort intérêt environnemental (réhabilitation d'annexes fluviales, rétablissement de continuité, ...) puissent néanmoins rester possibles, une dérogation est envisageable, **si et seulement si** :

- l'opération qui a pour but d'améliorer l'état environnemental d'un milieu aquatique **s'inscrit dans la mise en œuvre du programme de mesure du SDAGE ou relève d'un projet d'intérêt général** au sens de l'article 4.7 de la Directive cadre sur l'eau ;
- et l'examen de **critères précis qualifiant les avantages et désavantages environnementaux de l'opération** conduit l'autorité administrative à décider que la réalisation de l'opération est objectivement justifiée. Concrètement que **les avantages environnementaux de l'opération compensent les désavantages liés à la contamination par les sédiments remis en circulation.**

Plan d'eau : De telles dérogations ne semblent pas envisageable pour les milieux lacustres. En effet l'absence de courant, donc de dilution tant en terme de concentration de contaminant que de surface sur laquelle le sédiment est redéposé, conduirait à un impact très important.

3.4.2 Éléments de décision pour une dérogation

L'autorité compétente qui doit porter la décision de faire ou d'abandonner le projet, peut s'appuyer sur une méthode qui fournit les éléments utiles pour étayer sa décision. L'application de cette méthode conduit à détailler objectivement les désavantages environnementaux, leur importance et leur conséquence, face aux avantages du projet d'opération qui eux sont connus.

Ce processus dérogatoire s'appuie sur l'examen d'une liste d'avantages et désavantages, qualifiés selon leur intérêt ou leur gravité.

Ces éléments sont détaillés page 119.

Limites aux dérogations : A l'évidence, si l'on est en présence d'une quantité non négligeable de sédiments (au-delà de 10 000 m3 par exemple), significativement contaminés (au-delà de 250 µg/Kg en PCB_i par exemple), on atteint raisonnablement la limite de l'exercice dérogatoire et l'abandon de l'opération, ou mieux, l'enlèvement des sédiments s'imposent.

Attention : Les valeurs exemples ci-dessus, ne sont données que pour indiquer des ordres de grandeur. Elles ne peuvent en aucun cas être considérées comme des seuils en dessous desquels une dérogation devrait être décidée d'office.

3.5 REGISTRE DES QUANTITÉS DE CONTAMINANTS REMIS EN CIRCULATION

Dans la mesure où les opérations sont précédées d'une phase de reconnaissance du massif sédimentaire avec évaluation de la quantité de contaminants contenus, que l'on soit en-dessous ou au-dessus des seuils, en dérogation ou non au principe général, il est proposé qu'au niveau du bassin soit tenu un registre :

- des quantités de contaminants remis en circulation en distinguant les sédiments libres et immobilisés, les cas généraux et dérogatoires ;
- des quantités extraites dans le cas d'opérations menées sans remises à l'eau des sédiments ;
- des rejets évités dans le cas d'opérations non autorisées.

Ce registre n'a d'intérêt que dans l'analyse qui en sera faite après deux ou trois ans de tenue. Son examen sera utile pour avancer sur les réflexions sur la relativisation des impacts des opérations ayant concerné des sédiments contaminés par les PCB.

Contenu du registre :

Les éléments du registre seront extraits des arrêtés préfectoraux d'autorisation, lesquels mentionneront :

- la quantité estimée de PCBi dans le massif sédimentaire faisant l'objet de travaux. Si nécessaire, les quantités seront détaillées selon la destination des sédiments :
 - o remise à l'eau ;
 - o extraction ;
 - o laissé sur place sans intervention.
- Pour les remise à l'eau, la durée de l'intervention (de quelques jours à plusieurs mois/années pour certaines opération hydromorphologiques).

La Délégation de bassin qui sera destinataire d'une copie des arrêtés et tiendra le registre à jour sur le portail Internet de bassin.

3.6 ELÉMENTS DE RELATIVISATION

La démarche dérogatoire n'est pas aisée lorsqu'elle revient à juger par exemple des avantages hydromorphologiques en regard du désavantage de la contamination d'un cours d'eau, alors que ces éléments ne sont pas comparables.

Pour ce qui concerne le désavantage « remise en mouvement de contaminants », il serait plus confortable de pouvoir évaluer le taux d'augmentation des teneurs en contaminant consécutifs à des travaux dans des milieux aquatiques dans lesquels ces contaminants sont déjà présents et circulent avec le courant (confer Tableau 1 page 12).

A cet effet on peut citer les fonds géochimiques naturels et les évaluations de flux de contaminants réalisés sur les sédiments et matières en suspension.

On n'oubliera pas par ailleurs que l'on opère dans un contexte global de réduction des émissions de substances dangereuses tel que défini dans les SDAGE.

3.6.1 Bruit de fond géochimique

La notion de relativisation est aisée à évoquer dans le cas de substances naturellement présentes dans l'environnement à des teneurs naturelles, car il peut être fait référence à la notion de bruit de fond géochimique, bruit de fond naturel. Les éléments concernés sont Ag, As, Al, CrVI, Sb, Pb, Zn, Se, Ni, Hg, Cd, Cr, F, Cu, Fe, Mn, Ba.

Les concentrations du bruit de fond sont généralement faibles et n'atteignent qu'exceptionnellement des teneurs préoccupantes. Il s'ensuit que pour de nombreux éléments chimiques le bruit de fond est masqué par les conséquences des contaminations anthropiques.

L'approche devient par ailleurs impossible dans le cas de substances toxiques artificielles d'origine anthropiques pour lesquelles le bruit de fond naturel est par définition égal à zéro. Tout au plus pourra-t-on parler pour ces substances de « **bruit de fond anthropique** »

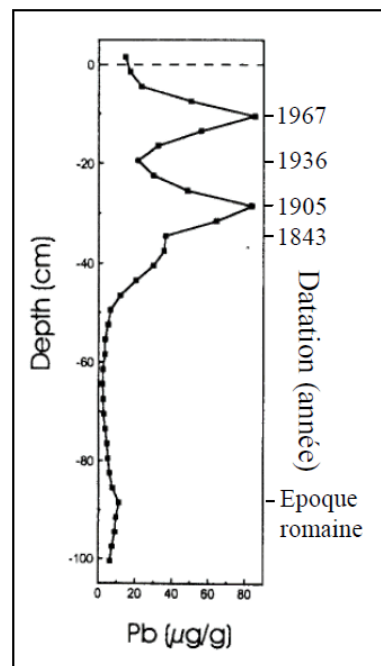


Figure 4 - Profil des teneurs en plomb des sédiments de l'étang de la Gruère (Jura suisse) en fonction de l'âge (Shotyk et al., 1996)

3.6.2 Les flux de contaminants transportés par les cours d'eau

La mise en relation entre les contaminants remis en circulation dans les cours d'eau à l'occasion de travaux et les contaminants qui sont déjà présents dans les sédiments et matières en suspension du cours paraît une approche plus logique : cela revient en quelque sorte à essayer d'évaluer l'importance et le danger d'une augmentation de la contamination du cours d'eau consécutive aux travaux sur des sédiments contaminés.

Toutefois, cette démarche, aussi logique puisse-telle apparaître, se heurte à l'absence de données, et lorsque elles existent, cas du Rhône présenté ci-dessous, à des données partielles.

Données de flux sur le Rhône

Le fleuve Rhône, qui constitue environ les 2/3 des apports d'eau douce et 80% des apports en contaminants au littoral méditerranéen français, fait l'objet d'un suivi de la contamination des eaux et des matières en suspension à la station d'Arles qui indique, entre 2008 et 2011, un **flux à la Méditerranée variable compris entre 21 et 153 kg/an de PCB¹¹**, relevé uniquement sur les matières en suspension.

Ce flux à la mer est constitué par divers apports en PCB du bassin versant du Rhône, pour certains desquels il a été possible de donner des ordres de grandeur :

- rejets liquides des stations d'épuration (évalués à moins de 10 Kg/an) ;
- lessivage des surfaces imperméables contaminées par les PCB déposés par voie atmosphérique (évalués à 15-20 Kg/an) ;
- rejetés par les industriels autorisés pour moins de 0.4 Kg/an ;

et des apports, majeurs, puisqu'ils concernent le solde, mais pour lesquels il n'est pas possible de procéder à des évaluations et qui sont, par ordre supposé d'importance, les PCB :

¹¹ Le flux de contaminants transportés par les matières en suspension est fonction de l'hydrologie du fleuve. La quantité de PCB ayant varié entre 25 et 170 Kg/an selon les crues de l'année, la valeur de 150 ayant été déterminé pour une année hydrologique moyenne.

- historiquement présents dans les sédiments aquatiques en tant que reliquat des décennies précédentes de pollution ;
- provenant de berges ou dépôts en berge contaminés non encore identifiés et soumis à érosion ;
- libérés par des travaux passés ou récents concernant notamment des sédiments contaminés immobilisés ;
- résultant, dans des proportions impossibles à quantifier, du lessivage des PCB_i introduits par les épandages de boues de stations d'épuration (environ 4 Kg/an de PCB_i épandus dans les champs, avec un seuil d'autorisation de 800 µg/kg) ;
- aux éventuels actes de vandalismes...

C'est à ce flux, qui peut être qualifié de « bruit de fond anthropique », que vont s'ajouter ceux qui seront générés par des opérations ou des travaux sur des sédiments aquatiques contaminés, et c'est sur ces mêmes bases que devra être évaluée leur acceptabilité.

Pour situer les quantités mises en jeu, notons que l'ensemble des opérations de **remobilisation des marges alluviales du Rhône**, sur 19 zones comprises entre Péage de Roussillon et Avignon, par érosion naturelle, programme ambitieux et d'intérêt environnemental majeur, conduiraient à libérer environ 5Kg/an de PCB_i pendant la vingtaine d'années que durerait l'opération¹² (voir détail paragraphe 3.6.3 ci-dessous).

Autre référence, passée celle-ci, les **chasses du Haut-Rhône** de juin 2012 considérant que les 2.7 millions de m³ de sédiments effectivement chassés, dont la teneur en PCB n'était que de 3 µg/Kg, sont susceptibles d'avoir contenu 12 kg de PCB_i.

Une fois ces éléments posés, on n'en est pas pour autant renseignés, car incapables d'évaluer l'impact d'une augmentation de quelques % à quelques dizaine de % des contaminations déjà existantes, faute de connaissances scientifiques nécessaires. Ce questionnement concerne également la vulnérabilité du milieu marin, collecteur ultime, avec le risque d'augmenter la biodisponibilité et les stocks de PCB.

Dans cet exercice de relativisation des flux, il peut être tentant de faire référence à la quantité de contaminants qui aurait déjà atteint la mer depuis le début des contaminations. Son évaluation, même entaché d'une forte incertitude, est certes intéressante, mais ne peut en aucun cas servir de justification pour relativiser un « petit » apport complémentaire¹³.

L'équation s'avère donc particulièrement complexe :

- Les éléments de relativisation, même lorsqu'ils existent sous forme chiffrée ne permettent pas de qualifier ni la faisabilité, ni la dangerosité d'une opération impliquant des sédiments contaminés ;
- Plus encore, pour les substances toxiques persistantes comme les PCB, intervient la notion de cumul dans les milieux aquatiques et dans le biote. **Toute nouvelle introduction dans le milieu naturel, outre l'augmentation des concentrations, conduit à augmenter pour de longues périodes le stock global dans les milieux aquatiques et in fine dans le milieu marin.**
- La notion de relativisation est alors délicate et revient plutôt à tenter de définir, quasiment sans arguments et en tout cas d'échelle solide de relativisation, quelle contamination complémentaire serait admissible.

¹² Quantité grossièrement évaluée à partir de la teneur moyenne d'un casier Girardon qui a fait l'objet de reconnaissance détaillée et d'une estimation grossière, faute de retour d'expérience, du temps de démantèlement naturel des casiers Girardon.

¹³ Ordre de grandeur de 70 tonnes durant les 50 dernières années.

Sauf à prendre la décision de ne plus réaliser ce type de travaux, on s'oriente donc nécessairement vers la définition de ce que l'administration pourrait autoriser comme rejet de substance tels que les PCB, rejet considéré comme une des composantes de l'étude des impacts du projet de travaux.

Dans le futur, deux éléments pourront contribuer à éclairer le contexte :

- L'analyse a posteriori du **registre des flux provoqués ou évités**, n'apportera pas directement de réponse mais permettra dans un premier temps de connaître l'ordre de grandeur des quantités de contaminant (ici des PCB) en jeux dans les opérations de gestion sédimentaires des cours d'eau du bassin Rhône-méditerranée ;
- Dans un second temps, et si les connaissances scientifiques ont pu être mobilisées, peut-être sera-t-on capable de donner des limites de remise en circulation des contaminants contenus dans les sédiments immobilisés au-delà desquelles les désavantages sont évaluables et en tout cas prépondérants par rapport aux avantages qu'il y aurait à réaliser les opérations de gestion sédimentaires.

3.6.3 Exemples d'opérations conduisant à une réflexion de relativisation : la remobilisation des marges alluviales du Rhône

Les travaux de restauration écologique du fleuve Rhône concernent des aménagements uniques à l'échelle du bassin Rhône Méditerranée : les digues latérales ou « épis Girardon » et les barrages hydroélectriques avec la création des Vieux Rhône. Ces aménagements ont créé des stocks de sédiments immobilisés au fil du temps avec des niveaux de contamination variables.

Une dynamique de restauration écologique est en cours sur le Rhône dans le cadre du plan Rhône comprenant un programme de restauration écologique du fleuve, et des travaux sont réalisés de façon expérimentale pour restaurer les Vieux Rhône :

- diversification des annexes fluviales : restauration de îles, de zones humides...
- décorsetage pour redonner de la mobilité latérale au fleuve dans un but de renaturation et de protection des inondations : démontage partiel d'épis Girardon pour permettre au fleuve d'éroder naturellement les marges alluviales au gré des événements hydrologiques, dans le cadre d'un schéma directeur de remobilisation réalisé par l'Observatoire des Sédiments du Rhône.

Cette restauration s'inscrit dans le SDAGE actuel au titre des mesures permettant d'atteindre le bon potentiel sur le fleuve et devrait se poursuivre au titre du SDAGE suivant.

La logique de concentration étant potentiellement bloquante pour certains secteurs à restaurer et devant la difficulté à trancher entre deux enjeux environnementaux (renaturation et remise de PCB au milieu), il a été proposé dans le cas très précis du Rhône pour lequel la nature et l'ampleur des projets sont connus et bornés, de raisonner **en logique de flux admissible**, ce dernier devant être considéré comme acceptable et encadré.

Il est exposé ci-dessous **les éléments techniques permettant d'évaluer le flux** libéré par ces travaux et son niveau d'acceptabilité.

Quantification du flux

Le schéma directeur de remobilisation des marges alluviales du fleuve Rhône identifie **19 complexes de casiers représentant un total de 19 millions de m³ de sédiments** qui pourraient être remis en circulation dans le fleuve Rhône. Parmi ces 19 complexes, une sélection sera réalisée sur les secteurs les plus propices. Ce volume maximum de 19 millions de m³ ne serait pas libéré en une seule fois. En effet les travaux de restauration seront échelonnés dans le temps. De plus, le temps de démontage d'un casier Girardon est variable en fonction des événements hydrologiques : les experts scientifiques de la Zone Atelier Bassin du Rhône (géomorphologues, géographes, BRGM, ...) réunis en avril 2012 sur ce sujet ont estimé une durée moyenne de **20 ans** pour remobiliser la totalité des sédiments d'un casier. Enfin, une étude expérimentale

réalisée par le BRGM en 2011 sur un casier du Vieux Rhône de Péage de Roussillon a estimé la quantité de PCBi contenu dans un casier de **20 000 m³ à 2kg**.

En étendant les teneurs constatées sur le casier de péage de Roussillon à l'ensemble des casiers concernés, ce qui constitue un calcul très approximatif, on évalue le flux de PCB remis en circulation dans le système Rhône **par complexe de casier à environ 5kg/an**.

Eléments de comparaison de flux

- ordres de grandeur des flux de PCB estimés à Arles sur la période 2008-2011 : 21 à 153 Kg/an ;
- flux de PCB libéré par les chasses du Haut Rhône réalisées en 2012 estimé à 5kg,
- flux de PCB ayant transité à Arles depuis 1960 (p.m. 70 t).

Si l'on suppose que la remobilisation se limitera au maximum (du fait des faisabilités techniques et financières) à un complexe de casiers par an sur la durée du prochain SDAGE (2016-2021), ce programme pourrait générer un flux potentiel maximum de PCB libéré de **5 kg la première année à une 20aine de kg la dernière année, ce flux décroissant au fur et à mesure que les casiers s'érodent**.

Acceptabilité du flux admissible

Vu l'intérêt environnemental de ces opérations et les éléments de relativisation développés ci-dessus, il a été proposé de faire valoir dans les dossiers de demande d'autorisation qui devront être élaborés, que le flux libéré par les travaux sur les marges alluviales est acceptable, et donc que le programme de restauration est réalisable, tout en encadrant leur réalisation en :

- planifiant les travaux envisagés sur le fleuve en fonction de ces ordres de grandeur.
- évaluant a priori les flux libérés par chacun des projets (cf méthode d'échantillonnage) et en les déclarant dans le registre des travaux envisagé au niveau du bassin ;
- réalisant un bilan annuel à postériori à l'échelle du fleuve des flux libérés dans le système pour vérifier la cohérence des ordres de grandeur.

Les opérations de remobilisation suivront l'ensemble des méthodes contenues dans les présentes recommandations : échantillonnage, adaptation des méthodes de remobilisation en cas de découverte de zones plus contaminées qu'attendu, renseignement du registre des contaminants, ...

(Confer la fiche milieu Girardon page 101).

4 MARCHE A SUIVRE POUR UN PROJET DE TRAVAUX

Lorsqu'un projet de travaux ou d'intervention sur des sédiments potentiellement contaminés émerge, la marche à suivre pour les pétitionnaires et les services instructeurs est la suivante.

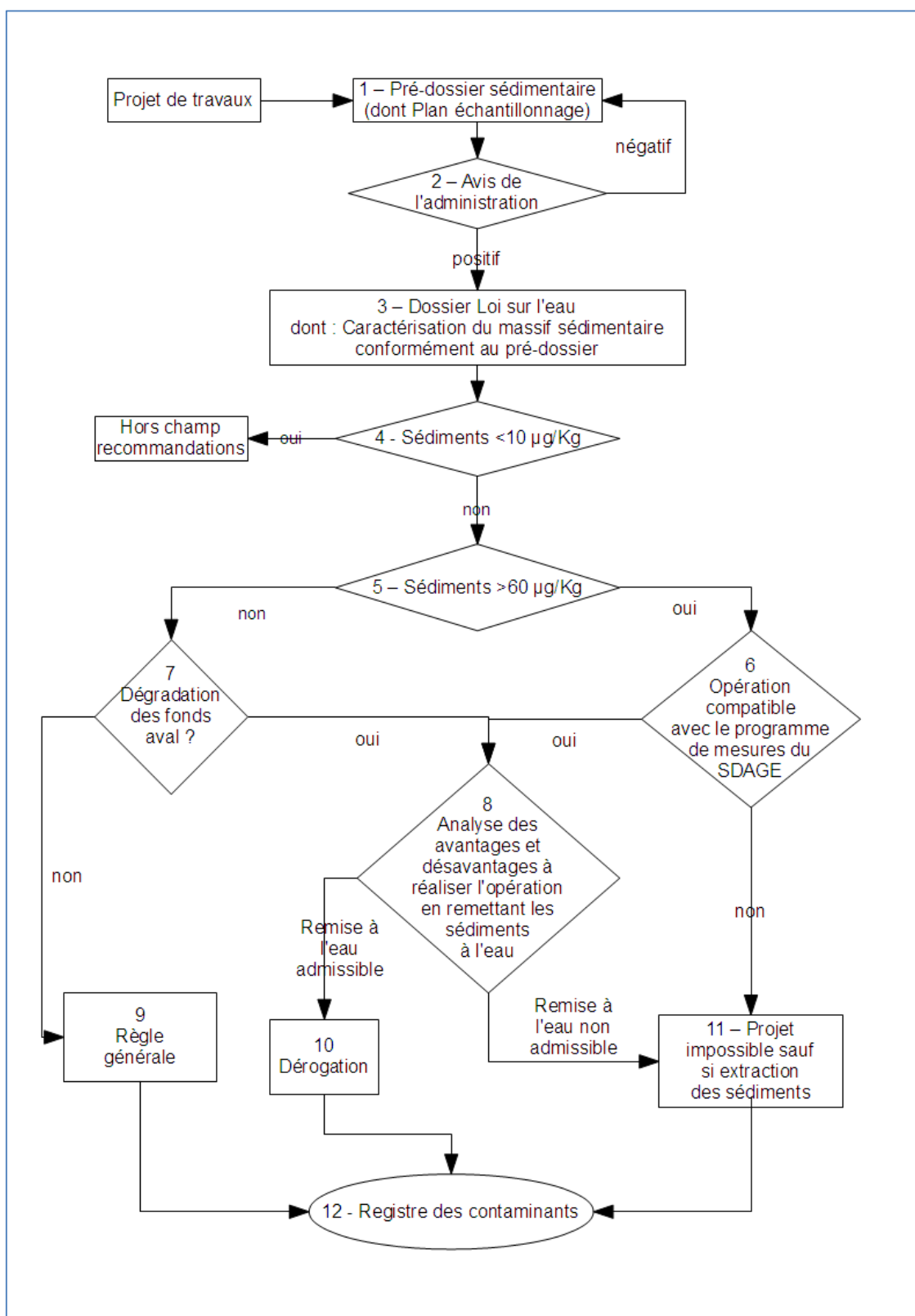


Figure 5 -Schéma de gestion d'un projet de travaux impliquant des sédiments potentiellement contaminés.

1) Pré-dossier sédimentaire

Le pétitionnaire élabore un pré-dossier qui comprend les éléments suivants :

- Description des travaux projetés : finalités, justification, dimension du projet, degré d'urgence, sédiments libres/immobilisés, connaissance de l'état de contamination des sédiments, destination des sédiments... ;
- Plan d'échantillonnage justifié : plan d'implantation, profondeurs investiguées, nombre d'échantillons, méthode d'échantillonnage... et analyses prévues (paramètres, seuils analytiques, ...);
- Méthode prévue d'interprétation des résultats d'analyse pour déterminer le(les) niveau(x) de contamination du massif sédimentaire ;
- Méthode de travaux, durée, phasage, période de l'année, précautions particulières, ...

Le pétitionnaire s'appuie sur les éléments suivants :

- Si elles sont disponibles, **les cartes ou listes qui désignent les cours d'eaux pour lesquels une contamination des sédiments (PCB et autres substances) est soit déjà avérée, soit soupçonnée** (zone 1 : tête de bassin versant, zone 2 : zone intermédiaire entre la zone 1 et 3, zone 3 : secteur contaminé : contamination fortement soupçonnée ou avérée). Cette carte est disponible sur le site Internet de bassin¹⁴.
- **La Fiches milieux la plus adaptée au contexte du projet.** Les écarts aux éléments contenus dans ces fiches seront justifiés.

Ces éléments ne sont pas nécessairement détaillés, seule la partie plan d'échantillonnage doit l'être suffisamment et vaut engagement du pétitionnaire à le réaliser.

En outre le pré-dossier contient la demande d'autorisation d'intervention dans le cours d'eau pour effectuer les prélèvements prévus au plan d'échantillonnage.

2) Avis de l'administration sur le pré-dossier sédimentaire

L'administration examine le pré-dossier et si son contenu lui paraît adapté à la problématique, donne l'autorisation d'intervenir sur le cours d'eau pour échantillonner.

Dans le cas contraire elle informe le pétitionnaire que le plan d'échantillonnage n'est pas adapté.

Le pétitionnaire informe l'administration au minimum une semaine à l'avance des opérations d'échantillonnage.

¹⁴ Ces cartes seront disponibles fin 2013 pour la Région Rhône-Alpes. A défaut on utilisera la carte des arrêtés préfectoraux d'interdiction partielle ou totale de consommation des poissons au titre des PCB.

3) Dossier Loi sur l'eau, caractérisation du massif sédimentaire

Le pétitionnaire élabore le dossier loi sur l'eau dont la partie consacré au volet sédimentaire contient les éléments suivants :

- Une synthèse sur l'état de contamination des sédiments comprenant :
 - o la description de la méthode d'interprétation des données ;
 - o une évaluation des quantités de contaminants contenus dans le massif sédimentaire, leur répartition dans le massif, l'identification de points chauds ;
 - o lorsque des teneurs supérieures à 60µg/Kg en PCBi sont relevées, il s'agit de bien individualiser dans le dossier :
 - les valeurs d'analyses individuelles, dont celles qui dépassent ce seuil ;
 - une individualisation, si c'est possible, de zones auxquelles on peut attribuer des teneurs en PCBi supérieures ou inférieures au seuil ;
- - o une évaluation de la teneur moyenne du massif sédimentaire, selon une méthode de calcul statistiquement et hydromorphologiquement argumentée.
- La stratégie d'intervention adaptée à l'état constaté des sédiments ;
- Les impacts de l'intervention, les risques durant l'intervention ;
- les méthodes d'évaluation initiales, pendant travaux et après travaux ;
- L'état prévu des fonds après l'intervention ;
- La spécification d'une opération de contrôle a posteriori à moyen terme programmée pour vérifier cet état¹⁵.

Dans le cas d'hétérogénéités marquées dans la contamination au sein du massif, ne permettant pas de raisonner en teneur moyenne, et que des zones de fortes concentrations (points chauds) sont identifiées, le pétitionnaire étudiera la solution **d'extraction sélective des zones les plus contaminées**. Dans ce cas il redevient possible de raisonner en teneur moyenne pour les parties restantes du massif¹⁶.

Dans les situations où l'opération nécessiterait une **dérogation à la règle générale** de non dégradation pour pouvoir être menée, le pétitionnaire préparera un rapport dans lequel il renseignera et argumentera les rubriques de l'analyse avantages/désavantages détaillée dans l'annexe « Listes des avantages et désavantages », page 119.

Par ailleurs, un soin particulier sera mis à décrire, dans le dossier de demande d'autorisation :

- les états des milieux aquatiques impactés attendus à court, moyen et long terme.
- Les méthodes de suivi à moyen et long terme des effets environnementaux des travaux.

6) Opérations listées dans le programme de mesure du SDAGE ou entant dans la catégorie de Projet d'intérêt général justifiant dérogation (articles 212-7 et 11 du code de l'environnement)

Confer 3.4 ci-dessus page 26.

¹⁵ Disposition 2.06 du SDAGE « Améliorer le suivi à moyen et long terme et la connaissance des milieux impactés par l'activité humaine en complément du programme de surveillance du bassin » - page 62.

¹⁶ L'importance des points chauds et la nécessité de les traiter individuellement sera évaluée en tenant compte des concentrations observées (par exemple > 150-200µg/Kg) et du volume du point chaud, volume absolu (pour évaluer la quantité de contaminant contenue = volume x concentration) et volume relatif (pour évaluer la proportion en volume et quantité de contaminant cette zone par rapport à l'ensemble du massif).

Selon l'importance ou la complexité du dossier, l'analyse de la pertinence de rattachement d'une opération à ces catégories justifiant dérogation pourra conduire le service de l'Etat instructeur à demander l'appui de la DREAL voire proposer une saisine du Préfet coordonnateur de bassin.

7) Dégradation des fonds aval

Dans le cas où tout en étant à une concentration inférieure à 60µg/Kg, les sédiments faisant l'objet des travaux sont plus contaminés que les fonds environnant, il y a risque de dégradation de ces fonds par augmentation des teneurs.

Pour que l'opération soit envisageable, il convient qu'elle soit examinée à travers l'analyse avantage/désavantages ci-dessous, dans un contexte de dérogation à la règle générale.

8) Analyse des avantages et désavantages

Les éléments de cette analyse sont :

- introduits au paragraphe 3.4.2 page 27 ;
- et détaillés dans l'annexe « Listes des avantages et désavantages », page 119.

Les éléments nécessaires à cette analyse sont réunis par le pétitionnaire dans un rapport dans lequel il renseignera et argumentera la liste des rubriques détaillée dans l'annexe « Listes des avantages et désavantages ».

Il est rappelé qu'un soin particulier sera pris à décrire, dans le dossier de demande d'autorisation :

- les états des milieux aquatiques impactés attendus à court, moyen et long terme.
- Les méthodes de suivi à moyen et long terme des effets environnementaux des travaux.

9) Règle générale

La règle générale, telle que définie au paragraphe 3.3 page 26 s'applique.

10) Dérogation

On est bien dans l'un des deux cas :

- les sédiments qui doivent être remis à l'eau dépassent le seuil de 60 µg/Kg ;
- bien qu'ils soient inférieurs à 60 µg/Kg, leur redéposition va dégrader les fonds périphériques ou avals, qui sont initialement moins contaminés que les sédiments remis à l'eau.

Si à l'issue de l'examen des avantages/désavantages de l'opération, l'administration conclue que l'opération est réalisable et que les sédiments peuvent être remis à l'eau, elle veillera à ce que l'autorisation mentionne bien les engagements de suivi à moyen et long terme de l'impact des travaux sur les milieux aquatiques tels que décrits en 3.

Selon l'importance ou la complexité du dossier, le service de l'Etat instructeur qui est conduit soumettre au préfet un dossier concluant à une possibilité de dérogation pourra demander l'appui de la DREAL voire proposer une saisine du Préfet coordonnateur de bassin.

14) Gestion normale

Confer 3.3 ci-dessus, page 26.

15) Registre des contaminants remis en circulation

Confer 3.5 ci-dessus, page 28.

Dans le but de simplifier la collecte des informations nécessaires au registre, les arrêtés d'autorisation ou de non autorisation devront comporter les éléments suivants :

- volume total de sédiments concerné par l'opération ;
- pour chaque partie de ce volume qui sera **remis à l'eau, extrait** ou **laissé en place**, et si les évaluations ont été faites, les teneurs mesurées en contaminant et les quantités de contaminant sous la forme : substance/poids (ex : PCB/3 Kg) ;
- Pour les remise à l'eau : durée de l'intervention (de quelques jours à plusieurs mois/années pour certaines opération hydromorphologiques) ;
- Pour les extractions : la destination.

Lorsque l'autorisation n'est pas accordée, et dans le but que les données ne soient pas perdues, le service instructeur fera parvenir à la Délégation de bassin les éléments suivants :

- volume total de sédiments concerné par l'opération ;
- pour chaque partie de ce volume qui devait être **remis à l'eau, extrait** ou **laissé en place**, et si les évaluations ont été faites, les teneurs mesurées en contaminant et les quantités de contaminant sous la forme : substance/poids (ex : PCB/3 Kg).

ANNEXES

A1 - ATTERRISEMENT EN COURS D'EAU	41
A2 - ACCUMULATION SÉDIMENTAIRE DE CONFLUENCE	49
A3 - TRAVAUX EN BERGE.....	55
A4 - DRAGAGES EN LAC.....	63
A5 - CURAGE D'ÉTANG	67
A6 - BARRAGE : CHASSES ET CURAGES.....	73
A7 - VOIES NAVIGABLES.....	81
A8 - INFRASTRUCTURES DE NAVIGATION	87
A9 - BASSIN PORTUAIRE.....	95
A10 - ANNEXE FLUVIALE : CASIER GIRARDON DU RHÔNE.....	101
A11 - RHONE	105
A12 - SÉDIMENTS LIBRES/IMMOBILISÉS – OCCURRENCES PROBABLES.....	118
A13 - ÉLÉMENTS POUR LA DÉCISION D'ENTREPRENDRE LES TRAVAUX	119
A14 - ÉCHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS	125
A15 - FICHE PRÉLÈVEMENT	144
A16 - ANALYSES EN LABORATOIRE	146
A17 - GESTION À TERRE DES SÉDIMENTS EXTRAITS.....	164
A18 - RÉFÉRENTIELS DE QUALITÉ DES SÉDIMENTS.....	165
A19 - TECHNIQUES DE TRAVAUX, IMPACTS ET REDUCTION DES IMPACTS	175
A20 - BIBLIOGRAPHIE	182

Fiches milieux

Fiche milieu

A1 - ATERRISSEMENT EN COURS D'EAU

Travaux d'approfondissement ou curage d'entretien pour rétablir un niveau donné d'écoulement d'un cours d'eau.



1	PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN D'UN COURS D'EAU	41
2	REPARTITION DES CONTAMINATIONS	42
3	OPÉRATION SUR LE MILIEU	43
4	PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	44
5	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER	46
6	RESTITUTION DES RÉSULTATS	47
7	MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX	47

A1.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN D'UN COURS D'EAU

En milieu fluvial, le transit sédimentaire est hétérogène et varie en fonction des milieux rencontrés (zone profonde, zone élargie, zone anthropisée, le débit de la rivière) ainsi que le type de substrat sur lequel s'effectue l'écoulement.

Il est couramment admis que le transport de matériaux solides en rivière se fait sous deux formes :

- par **charriage** sur le fond lorsque ces matériaux dépassent un certain diamètre et que le courant ne peut les mettre en suspension. Ils se déplacent alors en contact quasi-permanent avec le fond par roulement et petits sauts ;
- en **suspension** lorsque les matériaux sont suffisamment fins et le courant suffisamment puissant pour les transporter au sein de la colonne d'eau.

L'accumulation des sédiments se fait préférentiellement sur des secteurs distincts :

- les zones d'atterrissement en rive convexe,
- lorsque la vitesse d'écoulement est réduite (bras mort, méandrisation, îles, ouvrages sur lit mineur),

Lorsqu'il y a une crue, l'ensemble de la matrice sédimentaire est charriée et déposée dans les zones de calme hydraulique.

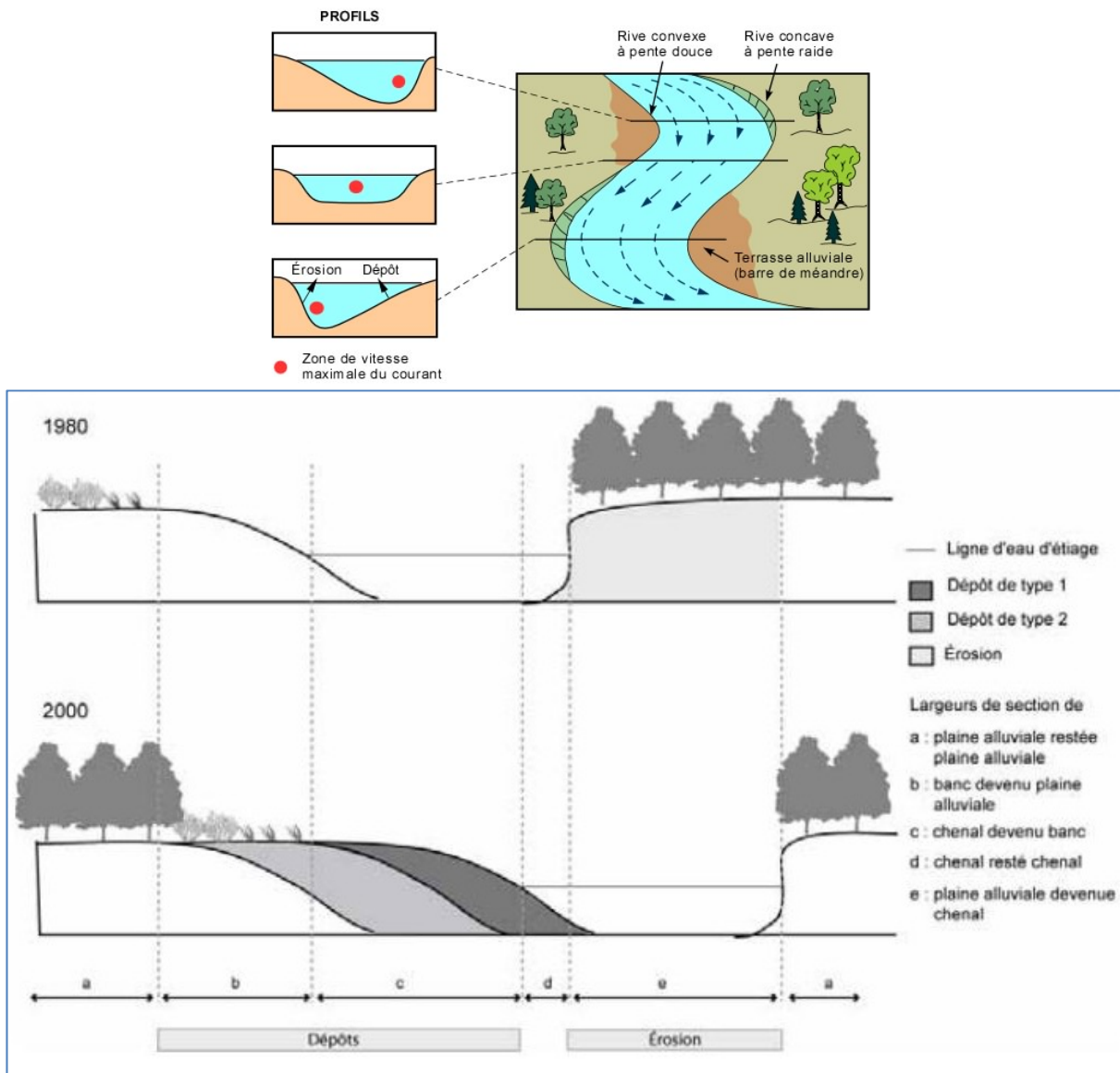


Figure 6 - Schémas de principe du phénomène d'érosion et de sédimentation dans un cours d'eau au niveau des berges

A1.1 - REPARTITION DES CONTAMINATIONS

A1.1.1 - Ancienneté des sédiments

Situation mixte : présence de sédiments immobilisés en proportion directe avec l'ancienneté de l'atterrissement et de sa « fossilisation » par la végétation.

La Figure 6 indique la position théorique des sédiments les plus anciens mais des reprises d'érosion par des crues peuvent brouiller ce schéma.

La largeur peut-être un indice d'ancienneté.

Les anciennes berges sont éventuellement à rechercher dans les parties boisées.

Dans les cas sensibles, l'examen de photographies aériennes anciennes pourra renseigner sur les périodes d'engraissement.

Le plan d'échantillonnage sera justifié par les éléments géomorphologiques relevés in situ et du schéma de sédimentation qu'il est possible d'en déduire.

A1.1.2 - Présence de contaminations

S'il n'est pas identifié de source de contamination à l'amont du site (zones industrielles ou urbaines, affluent contaminé), les sédiments déposés présenteront le niveau de contamination des sédiments courants au moment de leur dépôt. L'enjeu est alors de correctement détecter la présence ou l'absence de sédiments déposés à des périodes de plus forte contamination (années 60-90).

Dans le cas de source de pollution amont avérée, l'échantillonnage sera renforcé.

A1.2 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU – MOYENS TECHNIQUES

Confer Annexe A19 - - Techniques de travaux, impacts et reduction des impacts, page 175.

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien sur les zones d'atterrissement. Ils permettent de maintenir un tirant d'eau nécessaire au cours d'eau pour garantir la continuité de ou des activités qui lui sont associées (base de loisir, baignade, pêche, navigation, continuité écologique...).

Globalement, trois grands moyens d'intervention sont adaptés :

- le curage mécanique ;
- le curage hydraulique ;
- et le curage par agitation.

Dont le choix est conditionné par le niveau de contamination (adapter le facteur « dispersion »), la profondeur du lit mineur (engins amphibie ou sur barge/ponton), et la portance des fonds conditionnent en grande partie la technique utilisée.



Figure 7- Exemple d'un curage mécanique en eau dans un cours d'eau (DEC)



Figure 8- Exemple d'un curage hydraulique par drague aspiratrice en rivière (NEMEAU)

A1.3 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Confer Annexe A14.2.1 - Définition d'un plan d'échantillonnage, page 126

A1.3.1 - Protocole standard

Dans le cas d'atterrissements en :

- zone 1 (si aucune campagne d'analyses a été réalisée antérieurement) ;
- en zone 2.

L'échantillonnage sera composé de **deux échantillons minimum par longueur d'atterrissement de 600m¹⁷**.

Les deux échantillons seront répartis selon le sens de dépôt chronologique des sédiments : diviser l'atterrissement en 2 secteurs dans le sens de la largeur : les prélèvements seront répartis sur l'ensemble des 2 secteurs, un côté berge, l'autre côté cours d'eau.

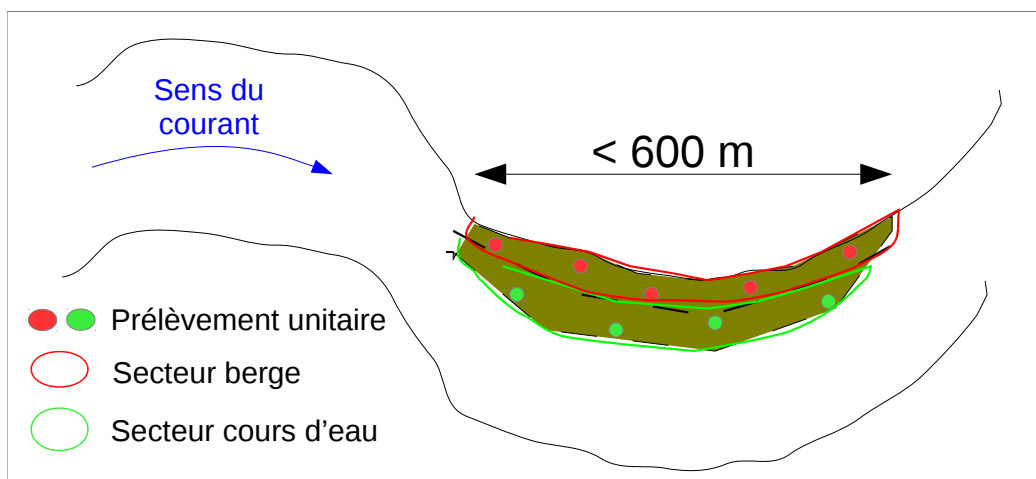


Figure 9 - Secteurs de prélèvement pour un atterrissement d'une longueur inférieure à 600 mètres

¹⁷ Rappel : un échantillon est composé de trois prélèvements mélangés puis réduit par quartage.

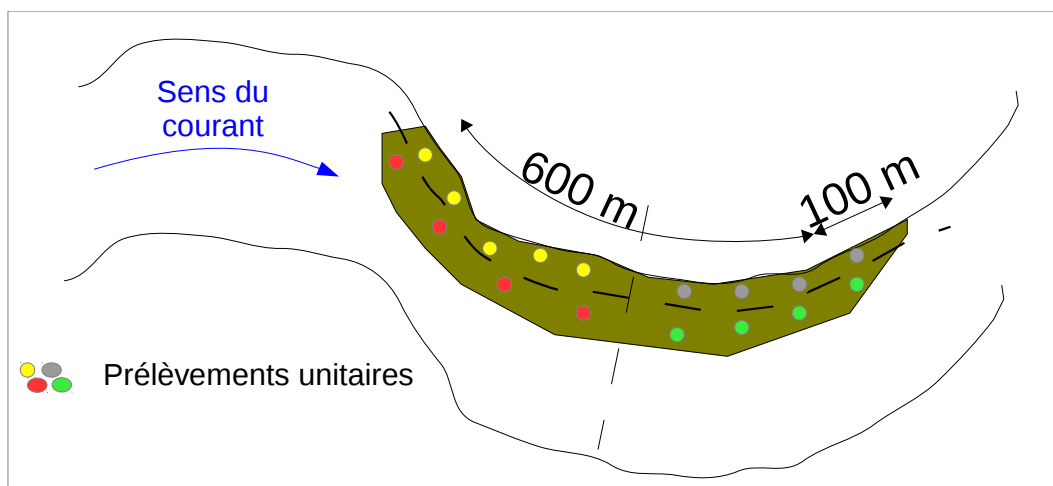


Figure 10 - Secteurs de prélèvement pour un atterrissement d'une longueur supérieure à 600 m. L'illustration présente un atterrissement d'une longueur de 700 m. dans laquelle 4 secteurs de prélèvement ont été définis

- Si sur un secteur, les sédiments présentent une texture différente (éléments grossiers sur une partie et éléments fins sur l'autre), il sera réalisé un échantillon par texture.
- Si le dépôt de sédiment est homogène sur toute l'épaisseur (même granulométrie, même couleur), réaliser un échantillon tous les mètres,
- Si plusieurs couches de sédiments sont identifiées sur l'épaisseur du dépôt, réaliser un échantillon par couche. Si l'épaisseur d'une des couches est supérieure à 1 m, réaliser un échantillon supplémentaire par mètre.

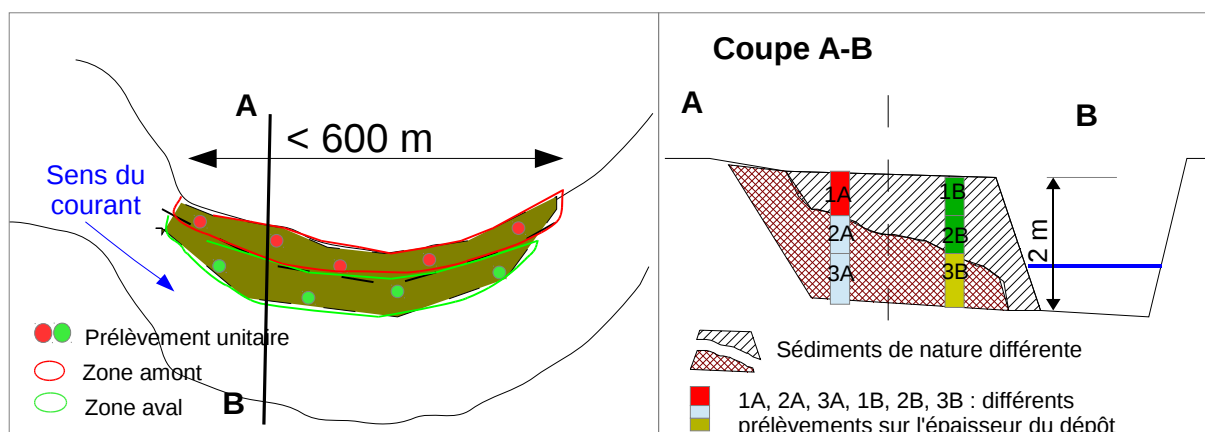


Figure 11 – Prélèvements en fonction de la nature des sédiments rencontrés.

A1.3.2 - Adaptation du protocole d'échantillonnage

Dans le cas d'atterrissements :

- en zone 3, la longueur unitaire de zone échantillonnée est ramenée à 300m.
- en zone 1, s'il y a déjà eu des analyses anciennes de moins de 15 ans montrant une absence de contamination des sédiments, et si l'occupation du bassin versant n'a pas évolué, il n'est pas nécessaire d'analyser la qualité des sédiments.

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A1.4 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local et le devenir des matériaux curés : dépôts à terre, usage routier, valorisation agricole (matières azotées, phosphorées, rapport C/N).

		Zone 1*	Zone 2*	Zone 3*
Analyses sur contenu total	Métaux et métalloïdes : As, Cd, Cr, Cu Hg, Ni, Pb, Zn	X	X	X
	Métaux et métalloïdes : Ba, Mo, Sb, Se		X	X
	HCT (selon le séquençage: C10-C12, C12-C16, C16-C21, C21-C35, C35-C40)	X	X	X
	HAP (16 de la liste de l'US-EPA) Distinguer la concentration de chaque molécule	X	X	X
	PCB (7 PCB)	X	X	X
	COT		X	X
	BTEX		X	X
	Tributylétain + produits de sa dégradation (si voie navigable)		X	X
Essais de lixiviation (NF EN 12457-2)	Métaux et métalloïdes : As, Cd, Cr, Cu Hg, Ni, Pb, Zn, Ba, Mo, Sb, Se		X	X
	Fluorures		X	X
	Chlorures		X	X
	Sulfates		X	X
	Fraction solubles		X	X
Ecotoxicité (sur l'échantillon présentant des teneurs les plus élevées)			X	X
Essais mécaniques	Granulométrie (Dmax et tamisat à 80µm) sédimentométrie (0-80µm)	Si filières d'aménagement ou usages routiers envisagés		
	VBS et ES (équivalent de sable)			
	Los Angeles			
	MDE – friabilité (pour le sable)			
	Proctor	Si usage routier envisagé		
	Indice Portance Immédiat			

*** zone 1 : tête de bassin versant non pollués ou supposés non polluée, zone 2 : zone intermédiaire, zone 3 : secteur contaminé : contamination fortement soupçonnée ou avérée (cf page 22).**

Remarque : Les essais d'écotoxicité et mécaniques seront réalisés après l'analyse des premiers résultats obtenus sur contenu total et sur éluât après lixiviation.

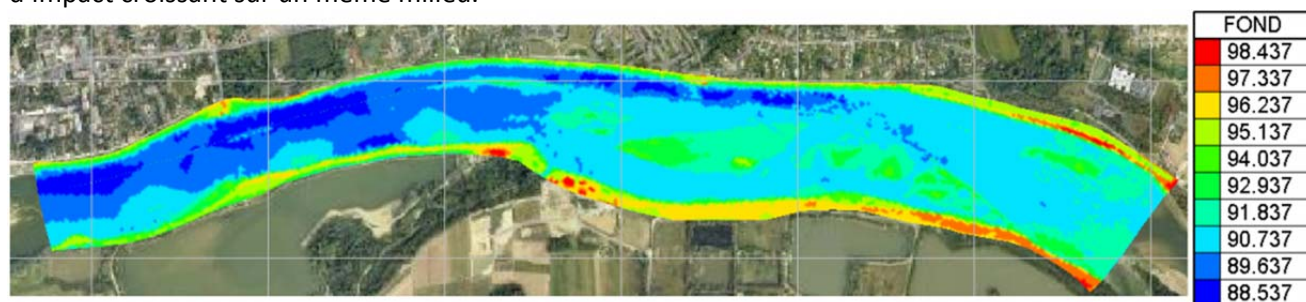
Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A1.5 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

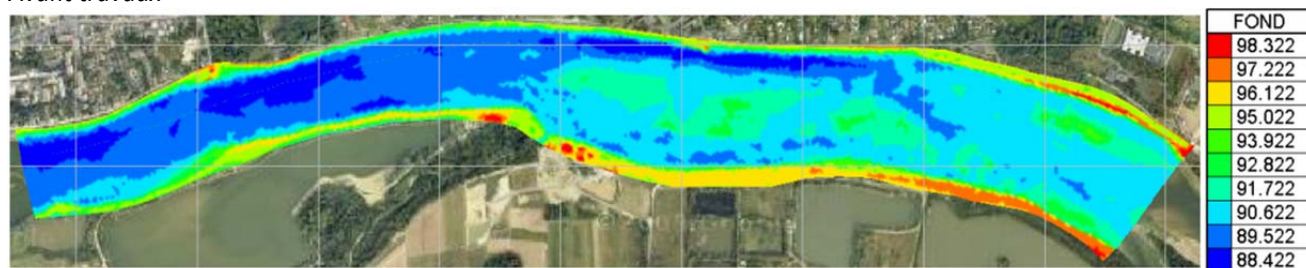
Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCBi) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

L'ensemble des analyses quantitatives et qualitatives sont reportées dans un rapport détaillé comprenant une représentation cartographique des estimations quantitatives de sédiments avec des relevés bathymétrique avant et après travaux ainsi que l'épaisseur de sédiments

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisés pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.



Avant travaux



Après travaux

Figure 12 - Bathymétrie avant et après travaux de la Petite Loire à Blois (DDT45)

A1.6 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de curage sur étangs, il est préconisé de mettre en place :

- Des moyens de préhension limitant la remobilisation des sédiments dans l'eau ;
- Des barrages anti-MES autour des engins de curage ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier.
- Pour de la redistribution sédimentaire, une prise en compte de la teneur en MES dans le milieu aval avec la mise en place d'un suivi en continu (MES, pH, O2 et O2 dissous)

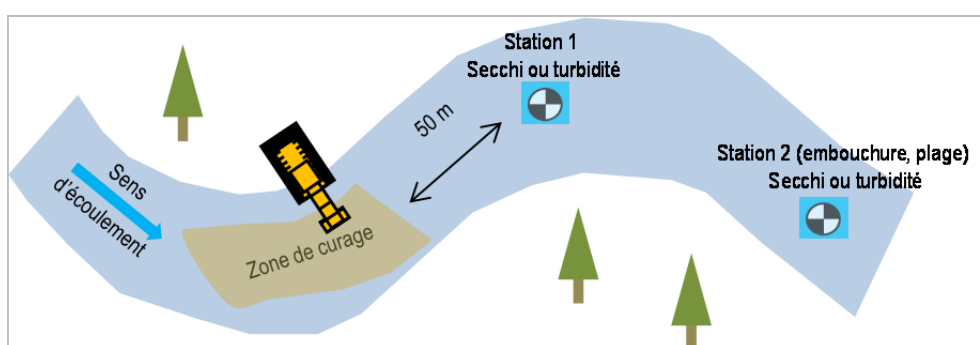


Figure 13 - Schéma de principe de la mise en place d'un suivi en continu des MES

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

Fiche milieu	
A2 - ACCUMULATION SÉDIMENTAIRE DE CONFLUENCE Travaux d'approfondissement ou curage d'entretien pour maintenir la fonctionnalité d'un cours d'eau.	

1	Processus de sédimentation au sein d'un cours d'eau	41
2	Répartition des contaminations	42
3	Opération sur le milieu	43
4	Protocole d'échantillonnage	44
5	Analyses physico-chimiques à lancer	46
6	Restitution des résultats	47
7	Mesures de réduction des impacts des travaux	47

A2.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN D'UN COURS D'EAU

En milieu fluvial, et plus particulièrement sur les zones de confluence, une discontinuité dans le transit sédimentaire apparaît. Les sédiments s'accumulent préférentiellement sur ce secteur et forment ce qui est couramment appelé le « bouchon vaseux » dans les zones de faible pente ou estuarienne ou « bouchon graveleux » lorsque le régime est torrentiel.

Généralement, le transport de matériaux solides en rivière se fait sous deux formes :

- par **charriage** sur le fond lorsque ces matériaux dépassent un certain diamètre et que le courant ne peut les mettre en suspension. Ils se déplacent alors en contact quasi-permanent avec le fond par roulement et petits sauts ;
- en **suspension** lorsque les matériaux sont suffisamment fins et le courant suffisamment puissant pour les transporter au sein de la colonne d'eau.

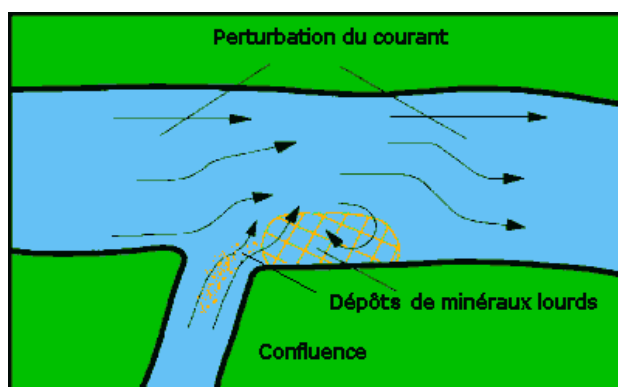


Figure 14 - Schéma de principe du phénomène de sédimentation dans la confluence de deux cours d'eau



Figure 15- Exemple de sédimentation à la confluence entre un cours d'eau et un exutoire d'étang



Figure 16 - Exemple de sédimentation à la confluence entre deux cours d'eau (Rhône et xxx)

Enfin, on relèvera que des zones de confluences existent aussi sur certains canaux (ex. : Canal du Rhône à Sète) en connexion avec des étangs proches par le truchement de « passes » :

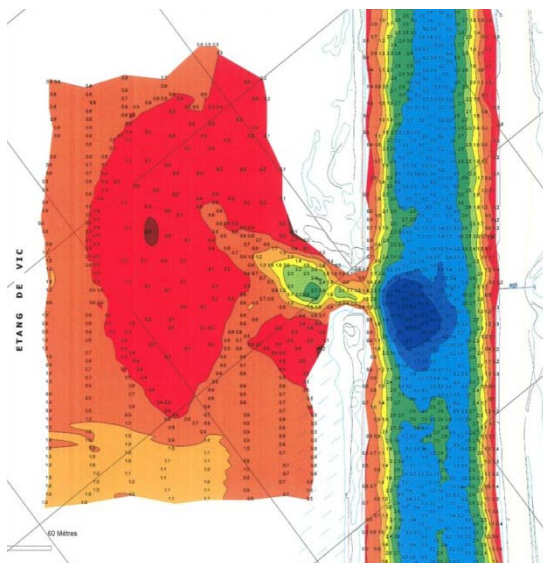


Figure 17 - Exemple de sédimentation à la confluence entre canal et étang (VNF Frontignan)

A2.2 - REPARTITION DES CONTAMINATIONS

Dans les cours d'eau, les contaminations dépendent des apports du bassin versant. Dans les zones agricoles, ce sont souvent des matières azotées et phosphorées qui s'accumulent dans les sédiments. Dans les zones urbaines, le ruissellement des eaux pluviales, les principaux tributaires et les points de rejet sont dans une majorité des cas responsables des éventuelles pollutions rencontrées. Ces zones méritent une attention particulière. Les zones industrielles situées à proximité sont également source de pollution.

A2.3 - OPÉRATION SUR LE MILIEU

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien sur les zones d'atterrissement. Ils permettent de maintenir un tirant d'eau nécessaire au cours d'eau pour garantir la continuité de ou des activités qui lui sont associées (base de loisir, baignade, pêche, navigation, continuité écologique...). Le choix d'une technique de curage par rapport à une autre va dépendre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sédiments ;
- Des volumes de matériaux à extraire ;
- Du contexte environnemental du cours d'eau ;
- Des coûts économiques de l'opération à court et long terme ;

Globalement et sans tenir compte des expériences de bio-curage par dégradation microbiologique qui ne proposent que des solutions partielles, il existe trois grands moyens d'extraction : le curage mécanique, le curage hydraulique et le curage par agitation. Le tirant d'eau disponible et la portance des fonds conditionnent en grande partie la technique utilisée.



Figure 18 - Exemple d'un curage hydraulique par drague aspiratrice dans l'estuaire de la Vilaine (370 000m³ IAV)

Le curage d'une zone de confluence est une opération récurrente à long terme, en effet la sédimentation est préférentielle dans ces secteurs. La mise en place d'un système permanent de turbine placées sur les abords en direction du chenal principal d'écoulement peut permettre de diminuer la formation de zone d'accumulation néanmoins aucun retour d'expérience n'est pour l'heure actuelle disponible.

Document annexe « Techniques de travaux adaptées ».

A2.4 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

En l'absence de réglementation, la stratégie d'échantillonnage peut s'appuyer en premier lieu sur les protocoles des Voies Navigables de France (VNF) ou de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Toutefois, ces protocoles doivent être adaptés au contexte des cours d'eau dont les volumes de sédiments sont généralement faibles sont peu voir pas contaminés.

Volume de matériaux à extraire (m³)	Nombre de station de prélèvement
< 2 000	1
2 000 à 10 000	2
10 000 à 25 000	4
25 000 à 50 000	6
> 50 000	6 + 1 par tranche de 10 000 m ³ supplémentaire

Tableau 2 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner

Sur le terrain, Il est recommandé de réaliser plusieurs prélèvements ponctuels par station (3 généralement) pour constituer un échantillon moyen à analyser en laboratoire. La suspicion d'une zone contaminée (aire de carénage, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et d'analyses spécifiques pour mieux caractériser le secteur.

Enfin, il est important également de tenir compte des épaisseurs de sédiment en jeu et de procéder à un sous échantillonnage (moyen ou non) pour analyser les matériaux curés et ceux qui vont rester en place sur le fond (principe de non dégradation du milieu). Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

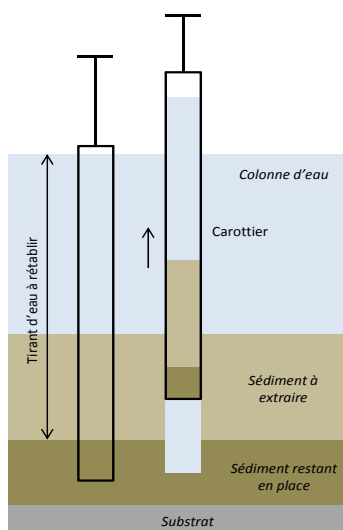


Figure 19 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment

A2.5 - REPRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A2.6 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local et le devenir des matériaux curés (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique,...). On peut citer par exemple la valeur agronomique des sédiments en vue d'une valorisation agricole (matières azotées, phosphorées, rapport C/N).

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A2.7 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCB) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisés pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

L'ensemble des analyses quantitatives et qualitatives sont reportées dans un rapport détaillé comprenant une :

- Représentation cartographique des estimations quantitatives de sédiments avec des relevés bathymétrique avant et après travaux ainsi que l'épaisseur de sédiments

A2.8 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de curage sur étangs, il est préconisé de mettre en place :

- Des moyens de préhension limitant la remobilisation des sédiments dans l'eau ;
- Des barrages anti-MES autour des engins de curage ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier.
- Pour de la redistribution sédimentaire, une prise en compte de la teneur en MES dans le milieu aval avec la mise en place d'un suivi en continu (MES, pH, O₂ et O₂ dissous)

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

Fiche milieu	
A3 - TRAVAUX EN BERGE Renforcement, modification, réhabilitation des berges d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau	

1	Processus de sédimentation	55
2	Répartition des contaminations	56
3	Opérations sur le milieu	56
4	Répartition et volumes des sédiments	58
5	Protocole d'échantillonnage	59
6	Analyses physico-chimiques à lancer	60
7	Restitution des résultats	61
8	Mesures de réduction des impacts des travaux	61

A3.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

Globalement, la dynamique sédimentaire le long des berges provoque l'érosion de celles-ci. En effet, de par sa situation de zone tampon entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, la berge est soumise à de fortes sollicitations. Ces ajustements morphologiques se caractérisent notamment par un enfoncement du lit de la rivière et/ou par le sapement des berges.



Figure 20 - Exemple d'une érosion active de berge sur la rivière Dulais au Royaume Unis (Aquaterra)

Dans une moindre mesure, la sédimentation peut intervenir lorsqu'un obstacle à l'écoulement est présent le long du profil de berge (épis, tronc d'arbre, macro déchet, etc...). Ce phénomène intervient en période de hautes eaux, sur un tronçon rectiligne. Des banquettes limoneuses ou sablo-limoneuses se déposent alors en bordure des berges, où le courant est moindre. Pendant l'étiage, au contraire, le débit diminue ainsi que la hauteur d'eau. Les hélophytes et hydrophytes colonisent les banquettes limoneuses qui n'ont pas été emportées par les crues. Les tiges et feuilles immergées ralentissent le courant, provoquant le dépôt de sédiments fins supplémentaires, élargissant les banquettes latérales et facilitant l'extension végétale vers le centre du chenal. A terme, si les

conditions de crue n'emportent pas la végétation et les banquettes limoneuse, des frayères peuvent apparaître.

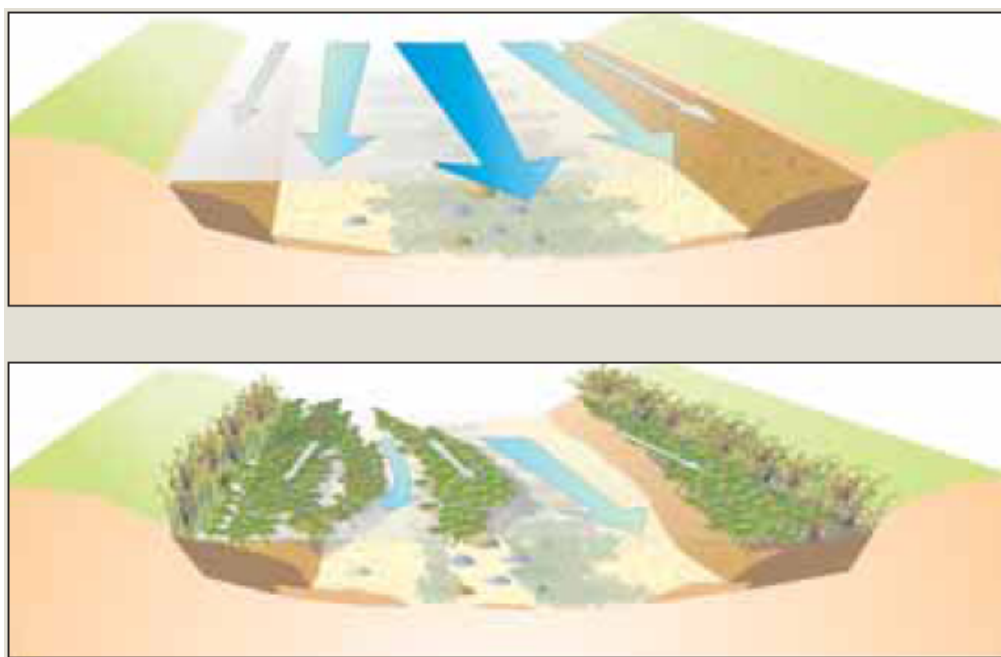


Figure 21 - Schéma de principe de l'accumulation sédimentaire sur les berges (Eau Seine Normandie)

A3.2 - REPARTITION DES CONTAMINATIONS

Quelle que soit la masse d'eau concernée (étang ou cours d'eau), les contaminations sont couramment plus élevées dans les zones de réception de tributaires ou de rejets, y compris pluviaux, mais également dans les sites à vocation agricole. La majorité des pollutions observées provenant du bassin versant concernent plutôt des contaminants organiques.

A3.3 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU

Une berge est un milieu naturellement dynamique. La stabilité peut être assurée par des créations anthropiques (peu favorables au bon fonctionnement de l'écosystème du cours d'eau). Dans ce contexte, la dégradation de berges justifie une opération de réhabilitation seulement si on est en présence d'un enjeu suffisamment important.

Suite à un événement exceptionnel (crue, étiage sévère...) ou faute d'entretien régulier par les propriétaires riverains, les berges peuvent s'éroder. La réponse appropriée à ces dommages dépend de la configuration des lieux et des enjeux présents. Des travaux importants sont susceptibles d'être nécessaires en fonction de la situation considérée. En effet, les berges peuvent être classées suivant 3 catégories pour lesquelles les enjeux diffèrent :



Figure 24 - Protection de digue par la pose d'enrochement (Arcadis)

A3.3.3 - Les berges maçonnées ou enrochées

Dégradées, ces berges maçonnées ou enrochées nécessitent parfois des travaux relevant du génie civil, qui pourront être associés à de petits aménagements visant, par exemple, à recréer des caches pour les poissons. Néanmoins, dans la mesure du possible, le génie végétal ou mixte est utilisé en priorité. La réhabilitation des berges peut être l'occasion de valoriser le cours d'eau :

- création ou réhabilitation d'un chemin piétonnier,
- mise en place de ponton permettant un accès à l'eau, etc.



Figure 25 - Berges maçonnées et petits aménagements visant à créer des abris piscicoles (SMBS)



Figure 26- Aménagement associant réhabilitation des berges et création d'un chemin piétonnier (SMBS)

Cf. Document annexe « Techniques de travaux adaptées ».

A3.4 - RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS

Les levés bathymétriques par échosondeur sont des moyens fiables et rapides pour visualiser la répartition des accumulations de sédiments sur les fonds. Ils permettent numériquement de calculer un volume de sédiment à extraire en fonction des côtes de curage à respecter dans les canaux.

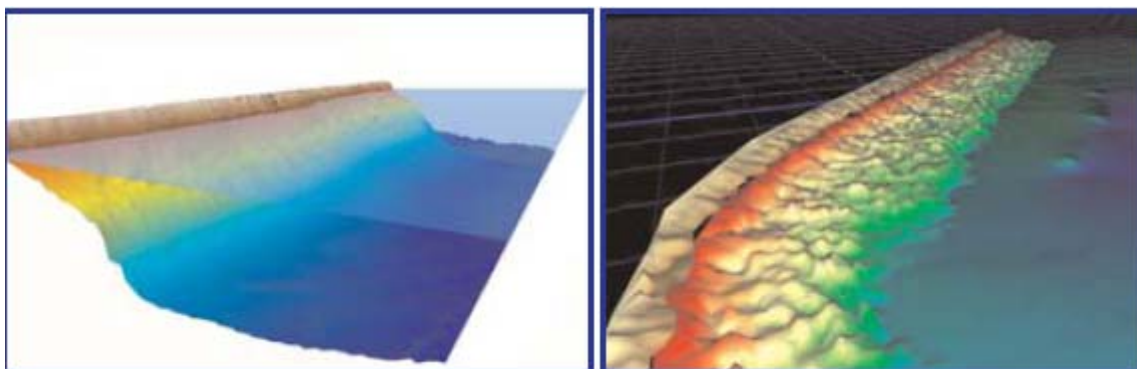


Figure 27 - Exemple de bathymétrie couplée à une topographie des berges (Mesuris)

Cf. Document annexe des recommandations « Modalités de dépôts des sédiments ».

Remarque : Les levés bathymétriques/topographiques permettent de contrôler les travaux, avant, pendant et après chantier (optimisation des volumes extraits et coûts associés). Un suivi régulier des levés bathymétriques/topographiques renseigne alors sur les cinétiques de sédimentation le long des berges, voire sur l'érosion que celles-ci peuvent subir.

A3.5 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les Voies Navigables de France (VNF) proposent un nombre d'analyses à lancer en fonction des volumes de sédiments en jeu et du contexte rural ou urbain (présomption de pollution).

Contexte Rural		Contexte Urbain
Volume de matériaux à extraire (m ³)	Nombre d'échantillons à analyser	
< 25 000	Au minimum 1 échantillon par tranche de 10 000 m³	Au minimum 1 échantillon par tranche de 5000 m³
> 25 000	Au minimum 3 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 20 000 m³	Au minimum 5 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 10000 m³
	Exemple : 13 000 m ³ → 2 échantillons minimum	Exemple : 13 000 m ³ → 3 échantillons minimum

Tableau 4 - Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011]

Dans le cadre de travaux de renforcement, réhabilitation ou modification, le maitre d'ouvrage peut être amené à extraire des matériaux qui constituent la berge. Deux méthodes de prélèvement peuvent intervenir :

- Prélèvement de sédiments le long du linéaire de berge en cas de remobilisation des matériaux dans le cours d'eau,
- Prélèvement de terre (forage) sur la berge en cas de travaux importants (élargissement du cours d'eau, renforcement par gabions, tunage, palplanche)

VNF précise que les analyses portent sur toute l'épaisseur du sédiment susceptible d'être remobilisé. Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

Remarque : La suspicion d'une zone contaminée (sédiments anciens jamais curés, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et analyses spécifiques pour mieux caractériser le gisement.

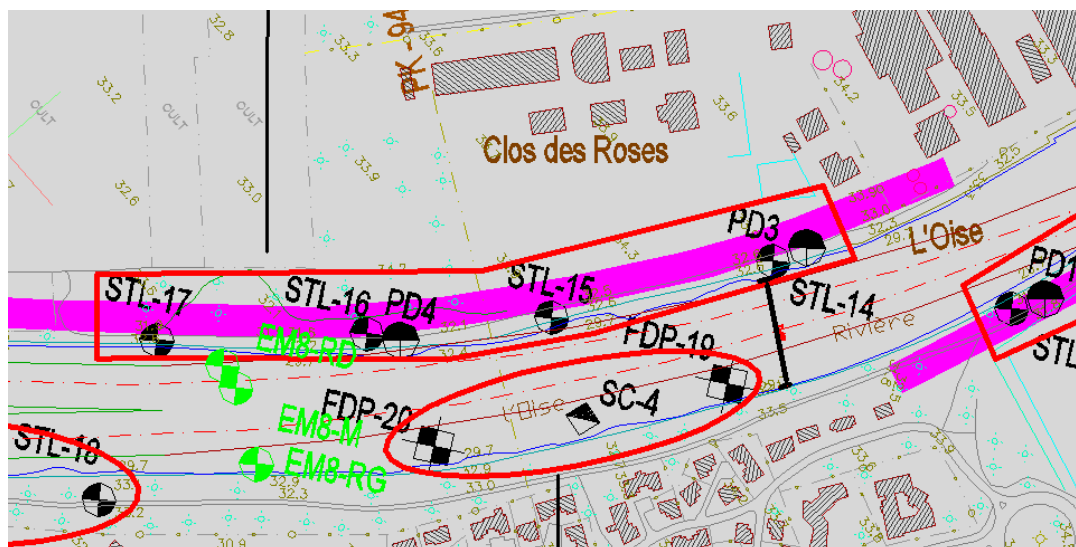


Figure 28 - Exemple d'échantillonnage sur les berges (points noirs) et dans le chenal de l'Oise (points verts) en prévision d'un élargissement du chenal (IDRA-ISL)

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A3.6 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer dépendent du type de prélèvement (sol sur berge ou sédiment dans la masse d'eau).

Dans le cas de sédiments susceptibles d'être remobilisés pendant les travaux, ils doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local (pollution particulière) et le devenir des matériaux (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique,...).

Pour des sondages de sol, une étude historique de site est indispensable et selon les résultats observés, peut nécessiter le lancement d'analyses sur les métaux lourds et les hydrocarbures (HCT, HAP).

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A3.7 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCBi) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisées pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

En fonction de la longueur du cours d'eau, les représentations cartographiques sont également appropriées pour visualiser la qualité des sédiments susceptibles d'être remobilisés ou la qualité des terres présentes sur les berges.

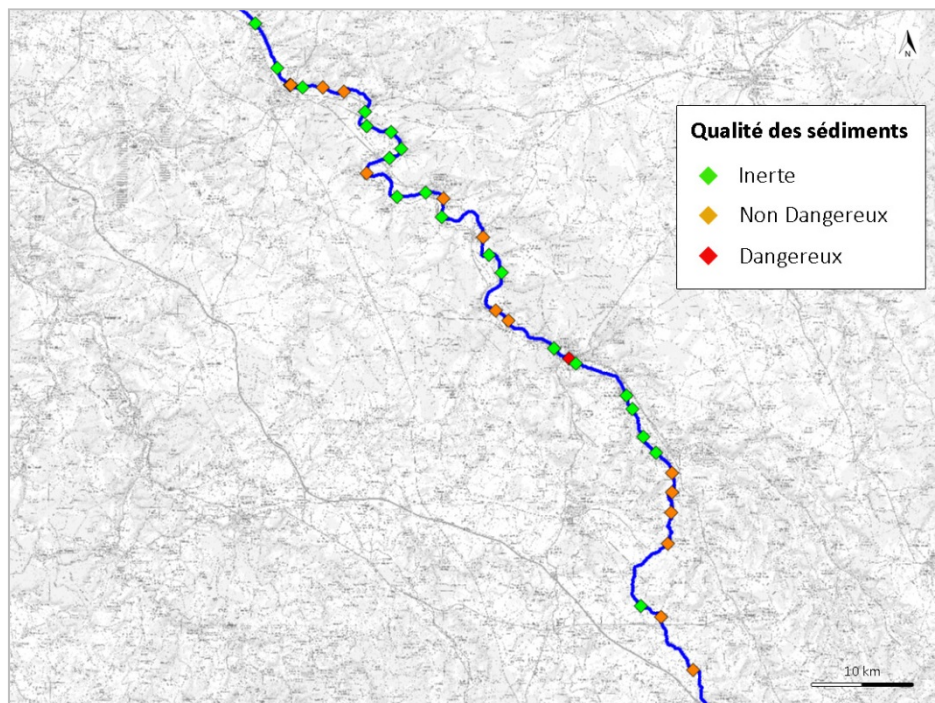


Figure 29 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)

A3.8 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de reprofilage, modification, renforcement, où une remobilisation des sédiments du cours d'eau est nécessaire, il est préconisé de mettre en place :

- Des barrages anti-MES autour des engins intervenant dans le milieu aquatique ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier ;
- Un suivi des MES, pH, O₂ et O₂ dissous en aval du point de redistribution des sédiments dans la masse d'eau

Pour les aménagements sur la berge, les techniques de génie végétal sont elles-mêmes des moyens de réduction des impacts.

Fiche milieu

A4 - DRAGAGES EN LAC

Travaux d'approfondissement ou curage d'entretien pour maintenir la fonctionnalité d'installations portuaires, actions hydromorphologique.



1	PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN D'UN LACCOURS D'EAU	41
2	REPARTITION DES CONTAMINATIONS	42
3	OPÉRATION SUR LE MILIEU	43
4	PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	44
5	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER	46
6	RESTITUTION DES RÉSULTATS	47
7	MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX	47

A4.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION DANS UN LAC

En milieu lacustre ...

A4.2 - REPARTITION DES CONTAMINATIONS

Dans le cas des plans d'eau naturels, la distribution spatiale des polluants dans les sédiments est fonction de :

- leur localisation vis-à-vis des sources d'apports qui sont généralement constituées par les tributaires (ex Tillet ou Belle-Eau pour le lac du Bourget) ;
- mais aussi de l'influence des vents et courants dominant qui vont plus ou moins disperser ce « panache » de pollution ou éventuellement les déporter vers des zones de dépôt tel que les certains ports.

Dans le cas d'opérations de curage de ports, deux cas sont possibles, soit le curage est exceptionnel (Le Bourget) avec mobilisation de sédiments anciens, donc potentiellement contaminés, soit il est courant/annuel (petits ports du Léman) et les sédiments mobilisés sont a priori, peu contaminés.

A4.3 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU – MOYENS TECHNIQUES

Confer Annexe A19 - - Techniques de travaux, impacts et reduction des impacts, page 175.

Les opérations à considérer en milieu lacustre sont généralement de deux types :

- Opérations d'entretien d'infrastructures existantes, généralement portuaires (dragages) ;
- Entretien de zones de connexion avec les tributaires et les émissaires (dragages) ;
- Création de nouvelles infrastructures portuaires (marinas) ;
- Opérations hydromorphologiques diverses (apports de matériaux pour ré-engraissement de roselières, reprofilage de berges dans le cadre d'opération de renaturation, ...).

Sont à exclure, cars jamais mises en œuvre des opérations de dragage de large envergure sur les fonds du lac.

Du point de vue contamination des sédiments, ces opérations s'avèrent plus ou moins spécifiques et certaines peuvent être assimilées à des opérations similaires sur d'autres milieux.

Opérations d'entretien d'infrastructures existantes, généralement portuaires (dragages)

Entretien de zones de connexion avec les tributaires et les émissaires (dragages)

Création de nouvelles infrastructures portuaires (marinas)

Opérations hydromorphologiques diverses

(apports de matériaux pour ré-engraissement de roselières, reprofilage de berges dans le cadre d'opération de renaturation, ...)

A noter que dans certains types de travaux, on se situe plutôt dans le cas où des sédiments sont rapportés aux lacs sans qu'on en connaisse l'origine et/ou la qualité (cas de la renaturation de la rive du Bourget à Tresserve, du projet de remblaiement de rive à Neuvecelle/Maxilly sur le Léman).

On ne traitera donc dans cette fiche « Lac », que les opérations conduisant à des dragages de fonds existants.

A4.4 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Confer Annexe A14.2.1 - - Définition d'un plan d'échantillonnage, page 126

A4.4.1 - Adaptation du protocole d'échantillonnage

Dans le cas d'atterrissements :

- en zone 3, la longueur unitaire de zone échantillonnée est ramenée à 300m.
- en zone 1, s'il y a déjà eu des analyses anciennes de moins de 15 ans montrant une absence de contamination des sédiments, et si l'occupation du bassin versant n'a pas évolué, il n'est pas nécessaire d'analyser la qualité des sédiments.

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A4.5 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local et le devenir des matériaux curés : dépôts à terre, usage routier, valorisation agricole (matières azotées, phosphorées, rapport C/N).

		Zone 1*	Zone 2*	Zone 3*
Analyses sur contenu total	Métaux et métalloïdes : As, Cd, Cr, Cu Hg, Ni, Pb, Zn	X	X	X
	Métaux et métalloïdes : Ba, Mo, Sb, Se		X	X
	HCT (selon le séquençage: C10-C12, C12-C16, C16-C21, C21-C35, C35-C40)	X	X	X
	HAP (16 de la liste de l'US-EPA) Distinguer la concentration de chaque molécule	X	X	X
	PCB (7 PCB)	X	X	X
	COT		X	X
	BTEX		X	X
	Tributylétain + produits de sa dégradation (si voie navigable)		X	X
Essais de lixiviation (NF EN 12457-2)	Métaux et métalloïdes : As, Cd, Cr, Cu Hg, Ni, Pb, Zn, Ba, Mo, Sb, Se		X	X
	Fluorures		X	X
	Chlorures		X	X
	Sulfates		X	X
	Fraction solubles		X	X
Ecotoxicité (sur l'échantillon présentant des teneurs les plus élevées)			X	X
Essais mécaniques	Granulométrie (Dmax et tamisat à 80µm) sédimentométrie (0-80µm)	Si filières d'aménagement ou usages routiers envisagés		
	VBS et ES (équivalent de sable)			
	Los Angeles			
	MDE – friabilité (pour le sable)			
	Proctor	Si usage routier envisagé		
	Indice Portance Immédiat			

*** zone 1 : tête de bassin versant non pollués ou supposés non polluée, zone 2 : zone intermédiaire, zone 3 : secteur contaminé : contamination fortement soupçonnée ou avérée (cf page 22).**

Remarque : Les essais d'écotoxicité et mécaniques seront réalisés après l'analyse des premiers résultats obtenus sur contenu total et sur éluât après lixiviation.

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A4.6 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées

A4.7 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont ...

La notion de relativité est à considérer d'une part vis-vis de la persistance des sources d'émissions (cas des cours d'eau), d'autre part des possibilités de relargage des sédiments extraits à proximité de la zone de travaux et enfin du bilan entre concentration mesurée sur sédiments au droit du site de relargage et concentration sur sédiments à réinjecter.

La réinjection de sédiments prélevés sur les zones littorales des plans d'eau y.c. dans les ports, sous réserve d'une qualité compatible avec cette destination, dans des zones profondes doit prendre en compte au minimum deux composantes principales :

- Si elle est effectuée en pleine eau, au dessus de la plaine lacustre, elle doit court-circuiter la couche biogène du lac (épi, méta et hypolimnion superficiel) pour éviter la mise en contact directe des polluants avec des maillons de la chaîne trophique exploités directement ou indirectement (poissons fréquentant l'espace pélagique superficiel, perche, corégone, truite, zooplancton : ceci impose un minimum de connaissance sur la stratification thermique, le peuplement piscicole...
- Si elle est effectuée sur la zone sublittorale, des habitats particuliers indispensables à des espèces d'intérêt patrimonial peuvent être connus et doivent être évités (ombrières sur Annecy, Léman, Bourget ..., frayères pour corégone sur ces lacs et d'autres, zones favorables pour le chabot, blennie...) : le répertoire de tels habitats est connu à Annecy, au Bourget (cf. Cisalb) ou au Léman et il doit être consulté en préalable à la rédaction d'un arrêté de travaux et/ou rejet.

Fiche milieu	
A5 - CURAGE D'ÉTANG Travaux de curage d'entretien et d'approfondissement	

1	PROCESSUS DE SÉDIMENTATION	67
2	RÉPARTITION DES CONTAMINATIONS	42
3	OPÉRATIONS SUR LE MILIEU	68
4	RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS	69
5	PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	69
6	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER	46
7	RESTITUTION DES RÉSULTATS	71
8	MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX	72

A5.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

Dans un étang, les accumulations de sédiments dépendent de plusieurs facteurs :

- Eau libre ou non (traversé par un cours d'eau avec un transit de la masse d'eau par des ouvrages de type clapet, vannes, moulin assurant un débit de réserve au cours d'eau aval) ;
- Présence d'une différence topographique importante avec le bassin versant.

Elles diffèrent ainsi généralement entre la zone de confluence d'un cours d'eau avec l'étang et les zones abritées proches des digues/barrages en aval de la retenue.

Les sédiments d'un étang sont le plus fréquemment d'origine terrigène (érosion et transport sédimentaire depuis le bassin versant). A noter également que plus le débit du cours d'eau qui alimente l'étang est important, plus la charge solide qu'il transporte l'est tout autant. La sédimentation en étang peut aussi être d'origine autochtone, associée à la production de matière organique (matières algaires, squelette des organismes vivants...) et de coquilles d'organismes.

On assiste généralement à un gradient de dépôt des matériaux : les plus grossiers arrivent dans l'étang se déposent en entrée de celui-ci (delta de dépôt) et les sédiments fins décantent dans la partie aval du plan d'eau.

A long terme, un étang non entretenu se comble et disparaît par l'effet de l'eutrophisation.

Illustration ici, c'est du grand classique donc ne pas hésiter à le montrer...

A5.2 - RÉPARTITION DES CONTAMINATIONS

Dans les étangs, les contaminations dépendent des apports du bassin versant. Dans les zones agricoles, ce sont souvent des matières azotées et phosphorées qui s'accumulent dans les sédiments. Dans les zones urbaines, le ruissellement des eaux pluviales, les principaux tributaires et les points de rejet sont dans une majorité des cas responsables des éventuelles pollutions rencontrées dans un plan d'eau (contamination aux hydrocarbures, HAP, HCT). Ces zones méritent une attention particulière. Les zones industrielles situées à proximité sont également source de pollution.

A5.3 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien et de retour à l'état initial. Ils permettent de maintenir un tirant d'eau nécessaire à l'étang pour garantir la continuité de ou des activités qui lui sont associées (base de loisir, baignade, pêche, navigation, continuité écologique...). Le choix d'une technique de curage par rapport à une autre va dépendre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sédiments ;
- Des volumes de matériaux à extraire ;
- Du contexte environnemental de plan d'eau ;
- Des coûts économiques de l'opération à court et long terme ;
- Du plan de gestion qui lui est associé.

Dans le cas d'une gestion de la retenue avec des vidanges (partielles ou totales), la technique de curage se fera exclusivement par pelle mécanique. Les matériaux extraient auront subi au préalable un assèchement de plusieurs mois pour permettre la minéralisation des vases et une réduction du volume total d'environ 20%.



Figure 30 - Exemple d'une vidange d'un plan d'eau sur la commune de Damgan avant curage mécanique (IDRA 2011)

Si aucune vidange n'est prévue, un curage en eau (pelle mécanique amphibie, sur ponton, depuis les bords ou par drague aspiratrice) est envisagé. Dans le cas d'un curage par drague aspiratrice, deux possibilités de gestion des sédiments sont susceptibles d'être mises en place :

- Refoulement de la mixture draguée vers de bassins de décantation ;
- Redistribution en aval du plan d'eau (continuité écologique) si les matériaux sont sableux.



Figure 31 - Dragage de l'étang de Jugon les Lacs (450 000 m³ – IDRA 2007-2008)

Document annexe « Techniques de travaux adaptées ».

A5.4 - RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS

Les levés bathymétriques par échosondeur sont des moyens fiables et rapides pour visualiser la répartition des accumulations de sédiment sur les fonds. Ils permettent de calculer numériquement un volume de sédiment à extraire en fonction des tirants d'eau à rétablir.

Cf. Document annexe des recommandations « Modalités de dépôts des sédiments ».

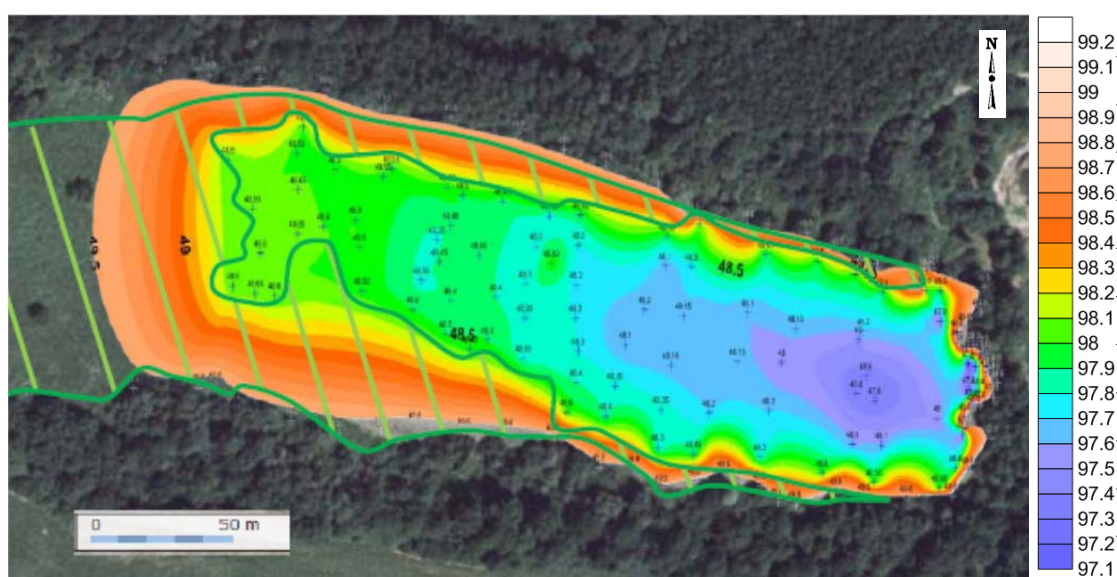


Figure 32 - Exemple de levé bathymétrique dans un étang du Louroux (IDRA)

Remarque : Les levés bathymétriques permettent de contrôler les travaux de curage avant, pendant et après chantier (optimisation des volumes extraits et coûts associés). Un suivi régulier des levés bathymétriques renseigne alors sur les cinétiques de sédimentation dans le port.

A5.5 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

En l'absence de réglementation, la stratégie d'échantillonnage peut s'appuyer en premier lieu sur les protocoles des Voies Navigables de France (VNF) ou de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Toutefois, ces protocoles doivent être adaptés au contexte d'étang dont les volumes de sédiments sont généralement plus élevés et peu contaminés.

Volume de matériaux à extraire (m³)	Nombre de station de prélèvement
< 2 000	1
2 000 à 10 000	2
10 000 à 25 000	4
25 000 à 50 000	6
> 50 000	6 + 1 par tranche de 10 000 m ³ supplémentaire

Tableau 5 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner

Sur le terrain, Il est recommandé de réaliser plusieurs prélèvements ponctuels par station (3 généralement) pour constituer un échantillon moyen à analyser en laboratoire. La suspicion d'une zone contaminée (aire de carénage, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et d'analyses spécifiques pour mieux caractériser le secteur.

Enfin, il est important également de tenir compte des épaisseurs de sédiment en jeu et de procéder à un sous échantillonnage (moyen ou non) pour analyser les matériaux curés et ceux qui vont rester en place sur le fond (principe de non dégradation du milieu). Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

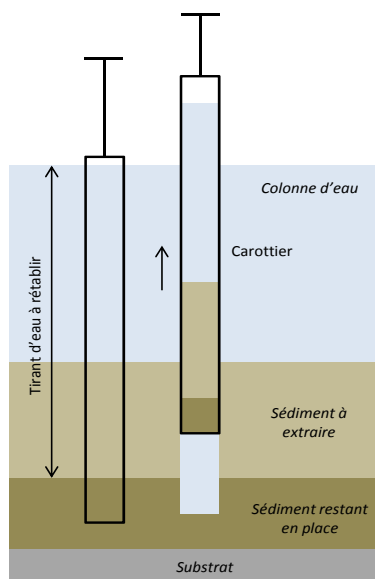


Figure 33 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A5.6 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local et le devenir des matériaux curés (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique,...). On peut citer par exemple la valeur agronomique des sédiments en vue d'une valorisation sur parcelle agricole (matières azotées, phosphorées, rapport C/N, CEC...).

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A5.7 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCB_i) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisées pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

A l'échelle d'un étang, il est intéressant de présenter les concentrations en contaminant dans les sédiments sous la forme de carte d'isoconcentration. Le nombre et la méthode d'interpolation des analyses devront être alors explicités pour valider la représentativité des résultats.

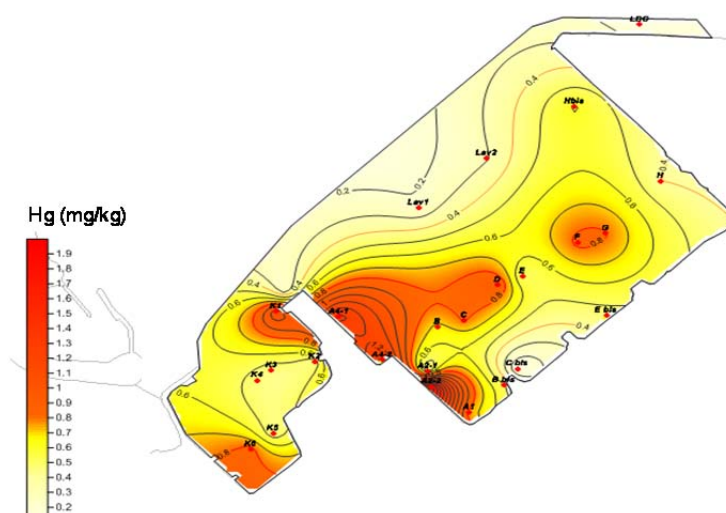


Figure 34 - Exemple de restitution d'une carte d'isoconcentration en mercure

A5.8 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de curage sur étangs, il est préconisé de mettre en place :

- Des moyens de préhension limitant la remobilisation des sédiments dans l'eau ;
- Des barrages anti-MES autour des engins de curage ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier.
- Pour de la redistribution sédimentaire, une prise en compte de la teneur en MES dans le milieu aval avec la mise en place d'un suivi en continu (MES, pH, O2 et O2 dissous)

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

Fiche milieu

A6 - BARRAGE : CHASSES ET CURAGES

Maintien de la capacité du barrage.
Gestion sédimentaire.



1	Les processus de sédimentation	73
2	Les opérations sur les barrages	74
3	Le protocole d'échantillonnage	75
4	Restitution des résultats	79
5	Mesures de réduction des impacts des travaux	79

A6.1 - LES PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN D'UN BARRAGE

Une grande variabilité est observée d'un barrage à un autre en fonction de la forme (superficie largeur/longueur, profondeur) de la vallée constituant le réservoir, du débit de la rivière et de la nature (masse, taille) des sédiments, ... mais de façon systématique :

- l'eau qui se arrive dans le bassin dépose une partie significative de sa charge solide, les éléments les plus lourds, en raison de l'abaissement de la vitesse qui accompagne l'entrée dans le bassin ;
- les sédiments fins sont entraînés plus loin dans le bassin, plus proche du barrage où elles sédimentent ;
- ce comblement partiel est entaillé et le dépôt de sédiment plutôt grossier se déplace de plus en plus loin dans le bassin, semblable à une progradation deltaïque.

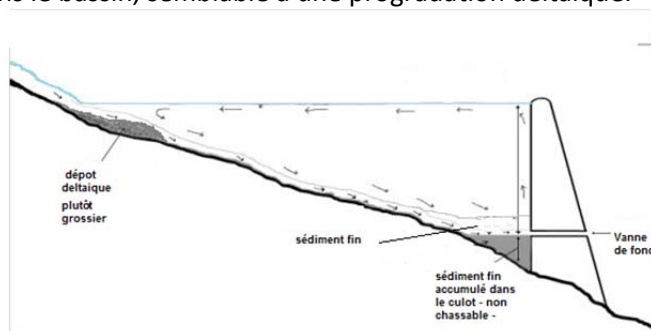


Figure 35 - Schéma d'un profil de barrage

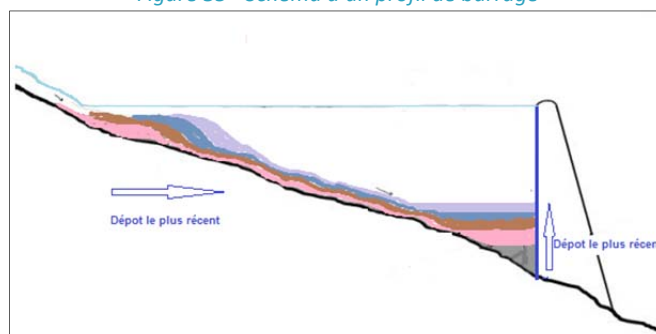


Figure 36 - Schéma de l'évolution des âges des dépôts

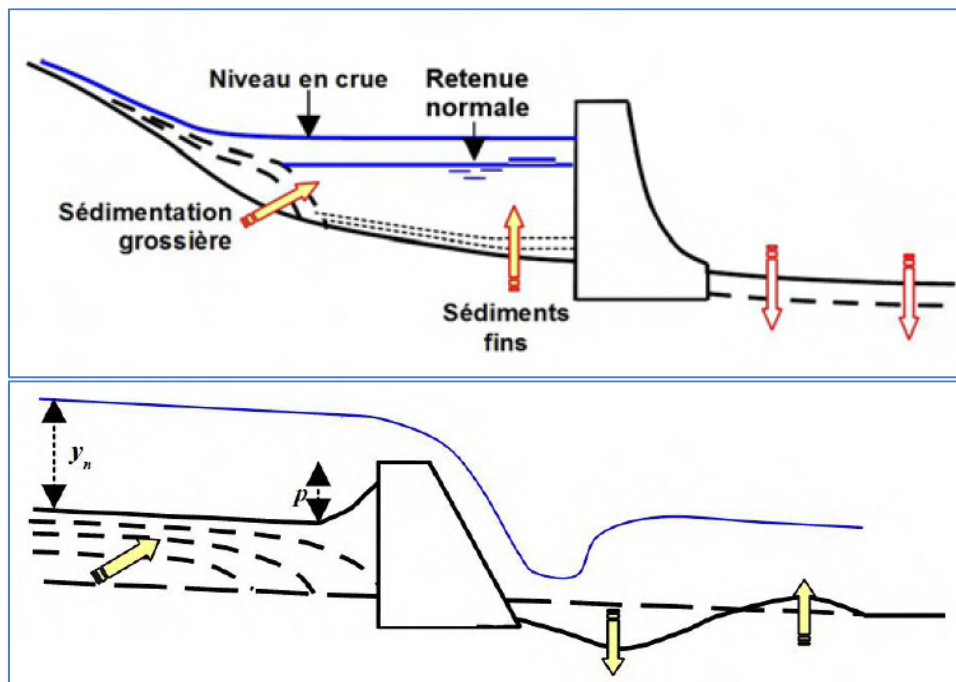


Figure 37 – Différence de sédimentation derrière un barrage (en haut) et un seuil (en bas) (d'après G. Degoutte)

A6.2 - LES OPÉRATIONS SUR LES BARRAGES

A6.2.1 - Chasses

Employées pour éviter l'envasement des retenues sont des vidanges de fond du barrage permettant de laisser passer (souvent à l'occasion d'une crue) une part des sédiments accumulés dans la retenue.

D'un coût bien moindre par rapport à un dragage, la chasse présente des inconvénients : une augmentation brutale de la turbidité et/ou abaissement de la concentration en oxygène de l'eau sortant des vannes peut entraîner une mortalité de la faune aval par asphyxie, des effets à plus longs termes peuvent également être entraînés par le colmatage des fonds.

A6.2.2 - Curage d'entretien

Les opérations de curage sont peu fréquentes parce qu'elles sont techniquement difficiles à mettre en œuvre (profondeur d'extraction, volume de sédiment important) et coûteuses (amenée/repli de drague spécifique, acheminement du matériel en altitude). On notera qu'elles sont utilisées pour désenvaser les ouvrages de vidange colmatés ou pour parfaire une opération de chasse inefficace.

Au regard de l'homogénéité des matériaux à extraire (sédiments fins, absence de macro-déchets), les techniques de curage hydraulique sont particulièrement adaptées (drague aspiratrice stationnaire avec une élinde modulable pour intervenir au-delà des 30 mètres avec des variations du niveau d'eau).



Figure 38 - Exemple de drague aspiratrice à élinde modulable (VIS)

A6.2.3 - Dimensions et volumes usuels

Ajouter : données générales sur dimensions des ouvrages (exemples de classes de longueur, profondeur, largeur, volumes de sédiments immobilisés, volumes « chassables » ou dragables, périodicité).

A6.3 - LE PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Le protocole d'échantillonnage devra prendre en compte la variabilité attendue des matériaux et la nature des sédiments accumulés dans la retenue, pour cela, il convient de connaître la nature du sédiment (à curer ou qui sera éliminé lors de la chasse) ainsi que sa répartition au sein de la retenue.

L'effort d'échantillonnage sera pondéré en fonction du volume de sédiment considéré et de la période ayant donné lieu à cette accumulation ; cf. figure suivante (à peaufiner) : il sera d'autant plus grand que la dernière chasse est ancienne et le volume de sédiment à évacuer important.

Nombre d'échantillons

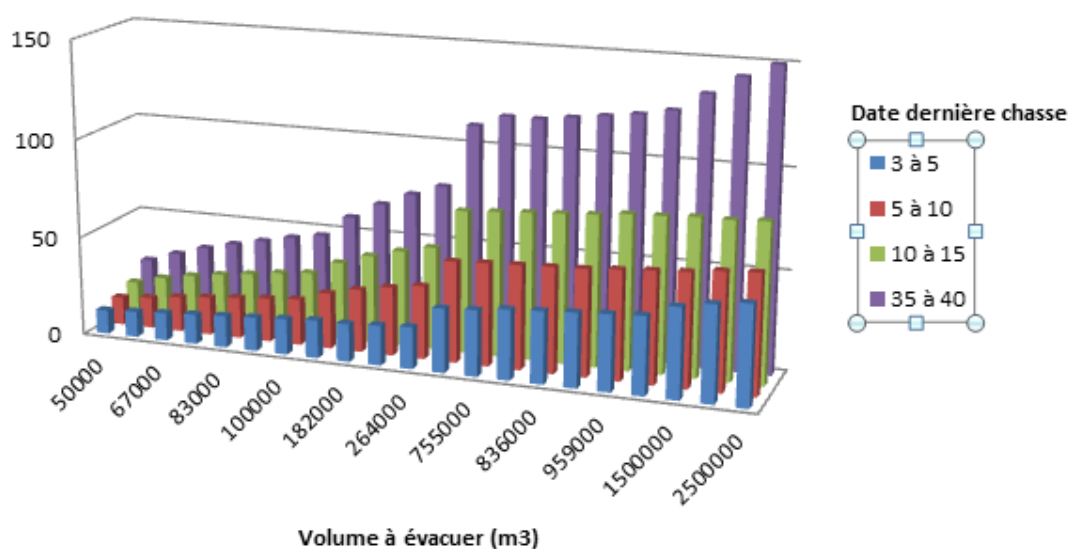


Figure 39 - légende

Une fois l'estimation du volume de sédiment et sa répartition connus, les points de prélèvements sont définis et l'échantillonnage est réalisé.

A6.4 - ESTIMATION DU VOLUME DE SÉDIMENT ET DE SA RÉPARTITION.

Elle est effectuée par comparaison de levés bathymétriques entre deux chasses¹⁸. Pour servir de référence à la chasse suivante et faire un bilan du volume de sédiments évacués, une bathymétrie à l'issue quasi-immédiate de la chasse doit être réalisée. La comparaison entre les bathymétries avant et après chasse permet une représentation « 3D » des sédiments accumulés et une évaluation des volumes susceptibles d'être mobilisés.

Pour les barrages pour lesquels on ne dispose pas de levé bathymétrique antérieur ou ceux pour lesquels il s'agit de la première opération de vidange, on se basera sur la topographie avant mise en eau.

Les deux figures suivantes représentent deux retenues aux formes bien distinctes.

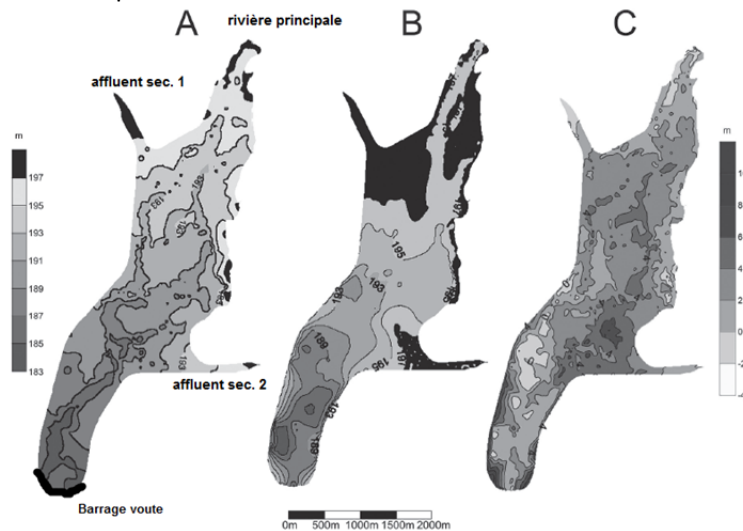


Figure 40 : Barrage avec large retenue. A - Topographie initiale ; B – Bathymétrie avant opération ; C- Epaisseur de sédiment accumulé. On observe que l'épaisseur et les volumes les plus importants sont ceux liés à la formation deltaïque de l'entrée de la rivière principale et autres affluents.

¹⁸ Elle doit être réalisée avec un nombre suffisant de profils. Méthodes :

- échosondeur et/ou lidar si présence de partie hors eau
- sonar couplé à un GPS (correction à la température de l'eau et la salinité).

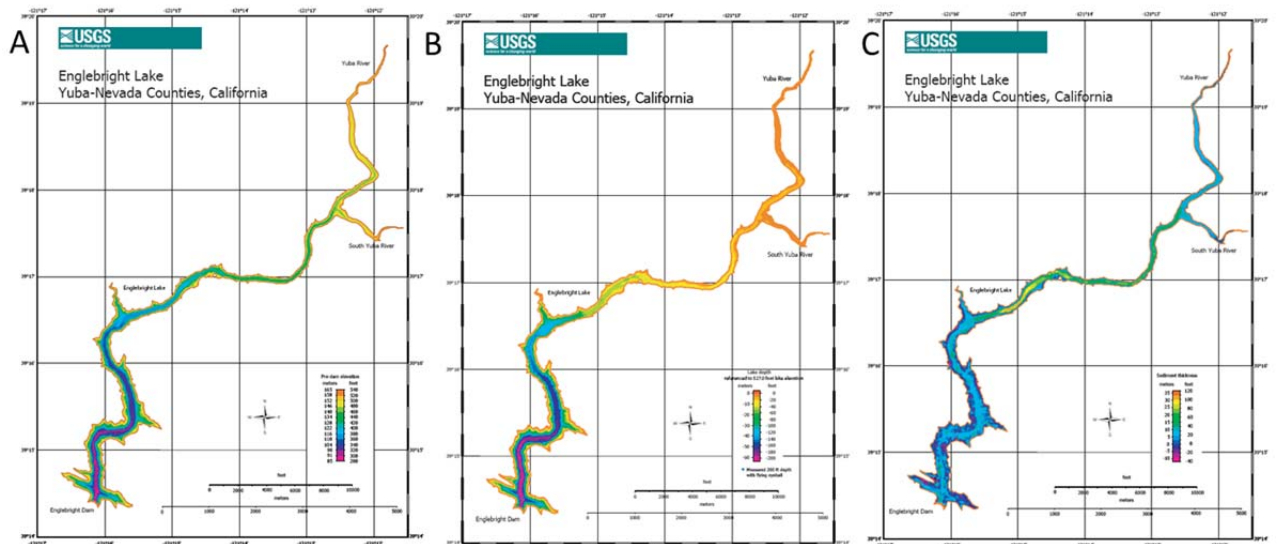


Figure 41 : barrage avec retenue linéaire. A - Topographie initiale ; B - Bathymétrie avant opération ; C- Epaisseur de sédiment accumulé. Les épaisseurs les plus importantes (il est plus difficile de raisonner en termes de volume/forme de la retenue) sont également liées à ce dépôt qui s'amorce très en amont du barrage.

Le fait de ne pas disposer de bathymétrie antérieure peut être à l'origine d'une surévaluation des volumes de sédiments qui seront effectivement remobilisés ; en effet, certaines zones de sédiments compacts, moins susceptibles d'être remobilisées seront intégrées selon cette évaluation alors qu'en présence d'une bathymétrie/topographie intermédiaire, ces zones latérales ou situées en amont dans la formation deltaïque, ayant résistées aux chasses antérieures, ne seront pas comptabilisées.

La Figure 42 Figure 43 : A- bathymétrie juste avant une chasse, à proximité du barrage - B - Bathymétrie après chasse ; C- Identification (pointillé noir) des zones remobilisées et des zones peu ou pas modifiées. Les volumes latéraux sont stabilisés, formant de nouvelles terrasses à peine mobilisées alors que les volumes en amont, dans le chenal, ont été totalement évacués. Les nouveaux dépôts qui vont s'accumuler dans le chenal seront donc beaucoup plus récents que les dépôts latéraux.

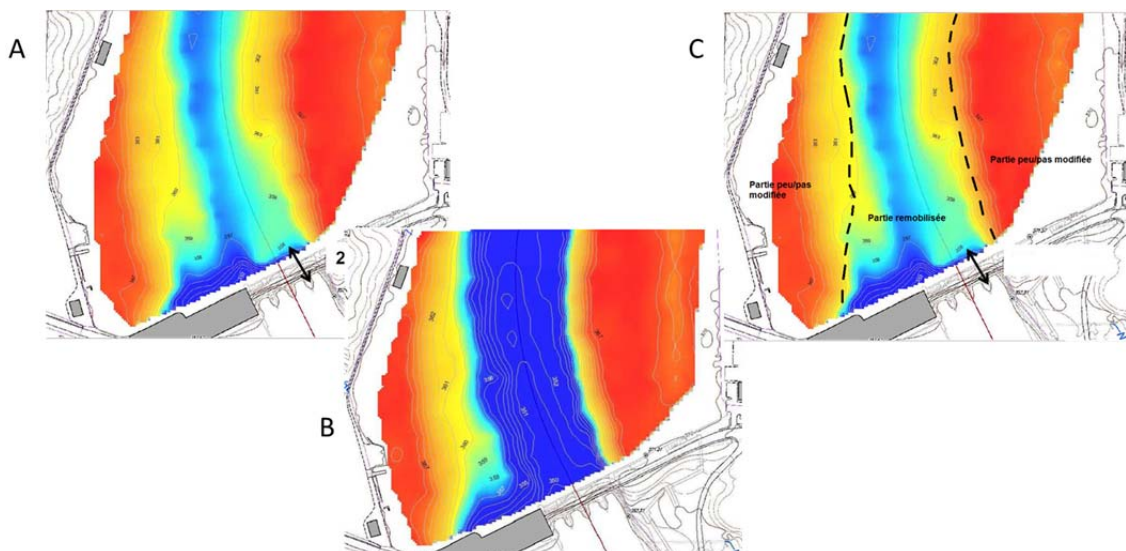


Figure 43 : A- bathymétrie juste avant une chasse, à proximité du barrage - B - Bathymétrie après chasse ; C- Identification (pointillé noir) des zones remobilisées et des zones peu ou pas modifiées par la chasse.

Les dépôts latéraux ne peuvent néanmoins être totalement exclus de l'échantillonnage car un débit de chasse plus important peut potentiellement provoquer des effondrements de pans entiers qui seront alors entraînés par le courant.

Cas particulier des sédiments accumulés dans la zone du culot (partie du réservoir située au-dessous des organes de vidange) : Ces derniers ne sont pas intégrés dans le différentiel avant/après chasse s'il est établi sur la base de bathymétrie intermédiaire (et non topographie avant mise en eau) alors qu'il sera nécessaire de les évaluer s'ils doivent peuvent faire l'objet d'un curage à l'issue de la chasse.

A6.4.1 - Identification des zones à échantillonner

Avant de positionner les points de prélèvements, il est nécessaire de procéder à un « découpage de la retenue » en zones considérées comme homogène en termes d'âge et nature sédimentaire. L'exercice a été tenté sur les deux exemples précédents.

Trois secteurs distincts d'échantillonnage (

Figure 44) sont proposés pour le barrage à large retenue (cf. Figure 40). Les zones 1 et 2 sont situées dans les secteurs d'avancement deltaïque des principaux affluents à la retenue, elles concernent des dépôts importants. La zone 3 correspond à la zone de sédimentation la plus fine.

Pour le barrage tout en longueur, le nombre de secteur est plus important, les typologies des zones étant plus difficiles à appréhender.

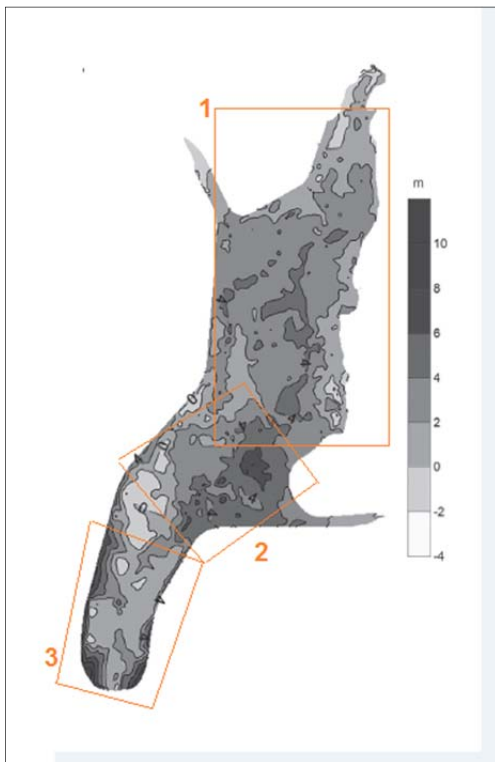


Figure 44 : Représentation des trois secteurs où l'échantillonnage sera mené (l'échelle représente l'épaisseur des sédiments accumulés)

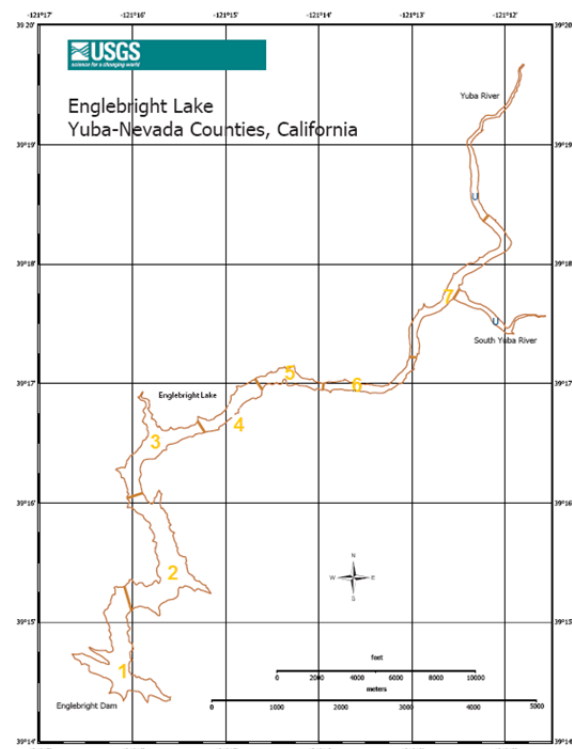


Figure 45 : Représentation des 7 secteurs où l'échantillonnage sera mené

Cas des « vieilles » terrasses latérales : Ces dépôts latéraux seront systématiquement analysés au moins le long d'une coupe située parallèlement et au plus près du barrage (sédiment à la fois plus ancien et plus fin) mais en dehors de la zone d'influence directe de l'ouverture des vannes.

A6.4.2 - Position des points de prélèvements

Au sein de ces zones à échantillonner, la répartition des prélèvements, peut être aléatoire, homogène ou dirigée (par exemple dans le sens de l'aggradation sédimentaire). Le nombre de prélèvement (et d'échantillons) sera fonction de l'âge de la dernière chasse.

A6.4.3 - Méthodes de prélèvement

Pour la partie qui sera remise en suspension lors de la chasse, les prélèvements doivent impérativement être réalisés sur toute l'épaisseur concernée. Ils seront réalisés à l'aide d'une barge (permettant d'accéder à peu près n'importe quel point de la retenue) et disposant d'une carotteuse afin d'atteindre les profondeurs nécessaires (jusqu'à au moins 10 m de sédiment sous plusieurs mètres d'eau).

Une partie des carottages pourra être éventuellement réalisée de la berge ou d'un pont sous réserve exclusive que le prélèvement réponde au cahier des charges en termes de profondeur de prélèvement et de position au sein de la retenue.

Chaque carotte ainsi prélevée sera divisée en différents sous-échantillons intégratifs de 2 mètres maximum. Les différents échantillons seront analysés et ensuite recombinaison au prorata de l'épaisseur de chacun des échantillons pour obtenir une analyse moyenne par prélèvement.

A6.5 - ANALYSES SÉDIMENTS À RÉALISER

Ajouter : tableau des analyses à réaliser.

Distinguer (?) des analyses obligatoires et des analyses fonctions de l'historique amont ?

A6.6 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

- Représentation cartographique des points de prélèvements avec analyse moyenne accompagnée des valeurs min-max obtenues par prélèvement.
- Représentation cartographique des sections « homogènes » auxquelles les points de prélèvement se réfèrent.
- Concentration moyenne et quantité moyenne : Attribution de l'analyse moyenne par zone homogène au volume moyen correspondant
- Comparaison au seuil S1 de cette concentration moyenne.

A6.7 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Sur le critère sédiments contaminés, les précautions à prendre pendant les travaux sont les suivantes.

A6.7.1 - Dragage d'entretien

La technique d'extraction et de remise à l'eau en aval, induit les mêmes précautions et mesures de réduction des impacts d'un dragage d'entretien en cours d'eau – conférer fiche « Dragage d'entretien du chenal d'écoulement ou du chenal de navigation ».

A6.7.2 - Les chasses

On ne traite pas ici de l'impact du flux massif de matières en suspension libérés à l'occasion des chasses, et qui fait nécessairement l'objet d'un volet important du dossier loi sur l'eau.

Les dangers environnementaux relatifs à l'aspect contamination des sédiments sont ceux liés au risque de remettre en mouvements des sédiments dont le niveau de contamination est inconnu, parce que :

- l'évaluation des masses sédimentaires concernées était fausse ;
- la chasse ne s'est pas déroulée dans les conditions hydrauliques prévues : mauvaises manœuvres, crue pendant les chasses.

Dans tous les cas, il y a eu érosion supplémentaires latérales ou en profondeur de zones non caractérisées, concernant des sédiments plus âgés donc potentiellement plus contaminés.

Le paradoxe réside dans le fait que les ouvrages soumis à des chasses régulières, sont ceux sur lesquels les manœuvres de chasse sont les mieux maîtrisées et qui contiennent a priori des sédiments présentant généralement des taux de contamination plus faibles.

La maîtrise des volumes de sédiments chassés doit être recherchée, surtout dans le cas d'ouvrages anciens susceptibles de contenir des sédiments contaminés (déposés dans les années 1950-1990).

Fiche milieu	
A7 - VOIES NAVIGABLES Maintien du tirant d'eau, curage d'entretien.	

A7.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

Un canal est un ouvrage de navigation qui permet aux bateaux de court-circuiter la portion d'un cours d'eau trop longue ou non navigable. Il n'a alors plus de lien direct avec le cours d'eau.

Globalement, la dynamique sédimentaire dans un canal est lente et le transport de charge solide est quasi-inexistant (courant faible). La production de sédiment est liée principalement à l'érosion des berges avec le passage des bateaux (batillage) et les variations fréquentes des niveaux d'eau (phénomène de surpression). Dans une moindre mesure, les apports de sédiment peuvent provenir des cours d'eau et rigoles qui alimentent le canal, des ruissèlements latéraux ou encore des rejets.

A7.2 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien. Ils permettent de maintenir un tirant d'eau nécessaire au passage des bateaux sur toute la voie d'eau. Le choix d'une technique de curage par rapport à une autre va dépendre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sédiments ;
- Des volumes de matériaux à extraire ;
- Du contexte environnemental du canal ;
- Des contraintes d'accès et de roulement depuis les berges pour les dragages mécaniques ;
- Des coûts économiques de l'opération à court et long terme ;

La maîtrise des niveaux d'eau dans un canal permet d'effectuer des opérations de curage mécaniquement à sec. Les engins circulent alors directement sur le fond du canal.

Des curages hydrauliques sont également mis en œuvre en particulier lorsque les sédiments curés peuvent être restitués dans le milieu aquatique (rivière en connexion ou proximité immédiate) (prise en compte de la circulaire du 18 janvier 2013, *relative à l'application des classements de cours d'eau en vue de leur préservation ou de la restauration de la continuité écologique, en application de l'Article L.214-17 du code de l'environnement.*)



Figure 46 - Exemple de curage mécanique en eau à l'aide d'une pelle sur ponton (Jan de Nul)



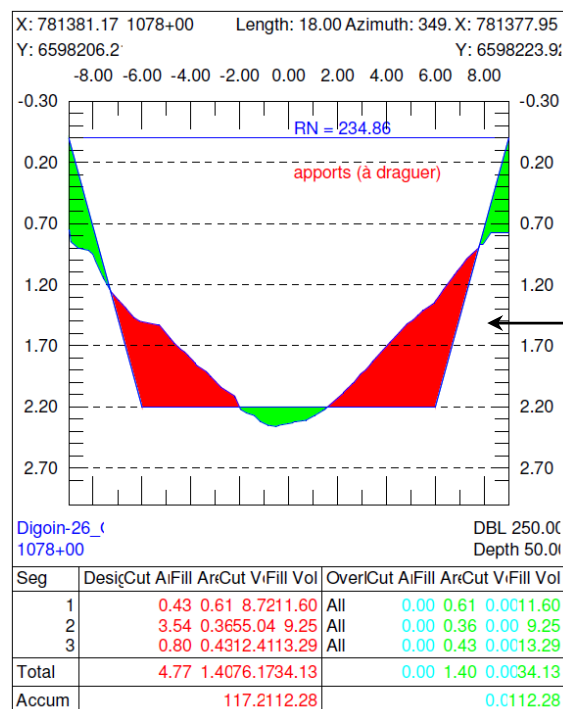
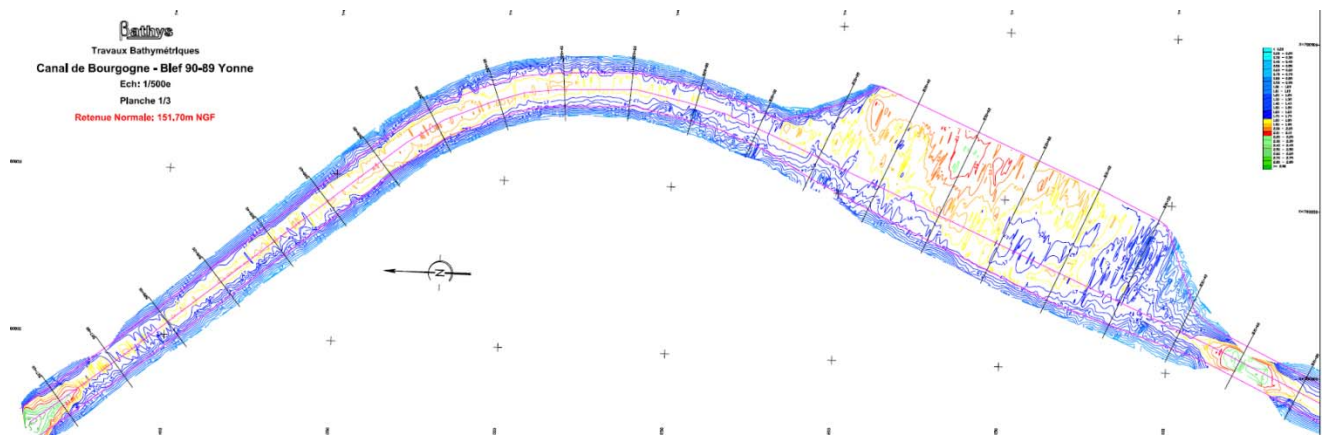
Figure 47 - Exemple de curage mécanique à sec (Ouest France)

Cf. Document annexe « Techniques de travaux adaptées ».

A7.3 - RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS

Les levés bathymétriques par échosondeur sont des moyens fiables et rapides pour visualiser la répartition des accumulations de sédiments sur les fonds. Ils permettent numériquement de calculer un volume de sédiment à extraire en fonction des côtes de curage à respecter dans les canaux.

Cf. Document annexe des recommandations « Modalités de dépôts des sédiments ».



Sédiments à curer

Figure 48 - Bathymétrie d'une portion de canal et vue en coupe d'un gabarit de curage (ISL)

Les levés bathymétriques permettent de contrôler les travaux de curage avant, pendant et après chantier (optimisation des volumes extraits et coûts associés). Un suivi régulier des levés bathymétriques renseigne alors sur les cinétiques de sédimentation dans un canal.

A7.4 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les Voies Navigables de France (VNF) proposent un nombre d'analyses à lancer en fonction des volumes de sédiments en jeu et du contexte rural ou urbain (présomption de pollution).

Contexte Rural		Contexte Urbain
Volume de matériaux à extraire (m ³)	Nombre d'échantillons à analyser	
< 25 000	Au minimum 1 échantillon par tranche de 10 000 m³	Au minimum 1 échantillon par tranche de 5000 m³
> 25 000	Au minimum 3 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 20 000 m³	Au minimum 5 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 10000 m³
	Exemple : 13 000 m ³ → 2 échantillons minimum	Exemple : 13 000 m ³ → 3 échantillons minimum

Tableau 6- Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011]

VNF précise que les analyses portent sur toute l'épaisseur du sédiment à curer. Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

La suspicion d'une zone contaminée (sédiments anciens jamais curés, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et analyses spécifiques pour mieux la représenter.

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A7.5 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagé selon le contexte local (pollution particulière) et le devenir des matériaux curés (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique,...).

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A7.6 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCB_i) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisées pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

En fonction de la longueur du canal, les représentations cartographiques sont également appropriées pour visualiser la qualité des sédiments à curer à l'échelle de plusieurs biefs. Elles permettent ainsi de mettre parfois en évidence une continuité dans la qualité du gisement sur un secteur donné, et de passer de données stationnelles à des représentations linéaires (à l'échelle d'une portion de canal).

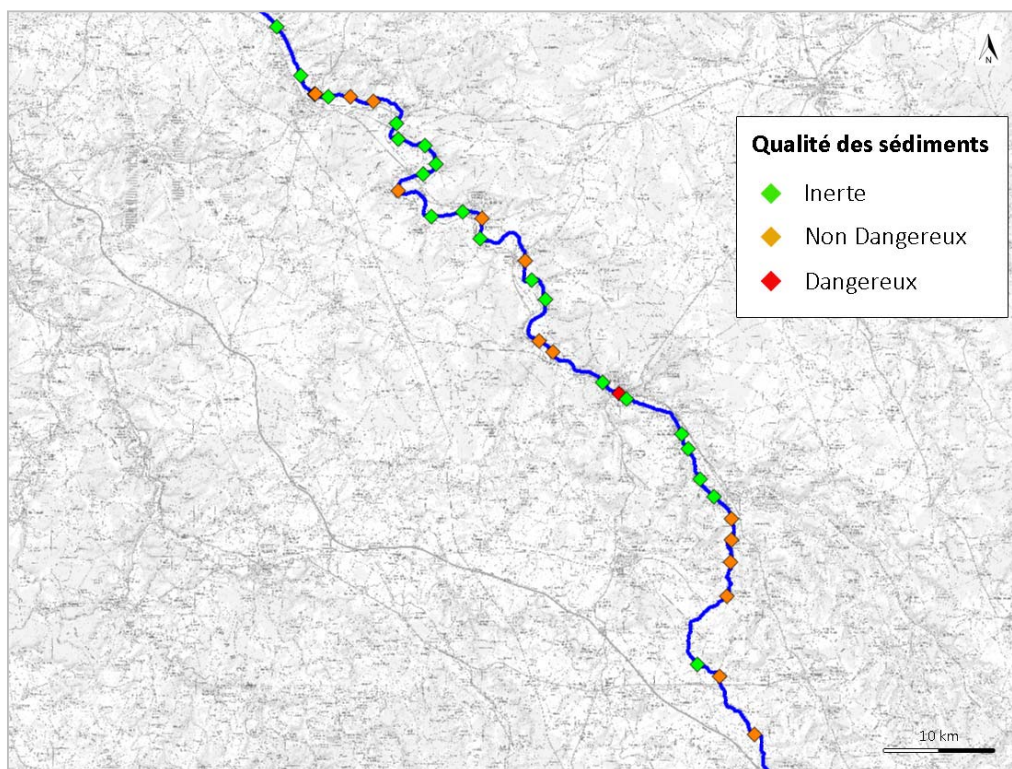


Figure 49 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)

A7.7 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de curage, il est préconisé dans les canaux de mettre en place :

- Des barrages anti-MES autour des engins de curage ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier ;
- Un suivi des MES, pH et O2 dissous en aval du point de redistribution des sédiments dans la masse d'eau

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

A8 - INFRASTRUCTURES DE NAVIGATION



Désenvasement d'ouvrage de navigation, d'écluses.

1	PROCESSUS DE SÉDIMENTATION	87
2	REPARTITION DES CONTAMINATIONS	88
3	OPÉRATIONS SUR LE MILIEU	88
4	RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS	90
5	PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	91
6	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER	92
7	RESTITUTION DES RÉSULTATS	92
8	MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX	93

A8.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

Globalement, la dynamique sédimentaire est freinée lorsqu'elle rencontre un obstacle. En effet, les écluses, seuils, barrages ou aménagement dans le lit mineur (épis de navigation) modifient le comportement du transit de la charge solide. Il est ainsi observé une sédimentation rapide des ouvrages situés de part et d'autre du lit mineur d'un cours d'eau et dans une moindre mesure, des affouillements apparaissent lorsque l'ouvrage est discontinu (pile de pont par exemple).



Figure 50 - Envasement en amont d'une porte écluse (écluse de Jarville – canal de la Marne au Rhin)(Bord à Bord)

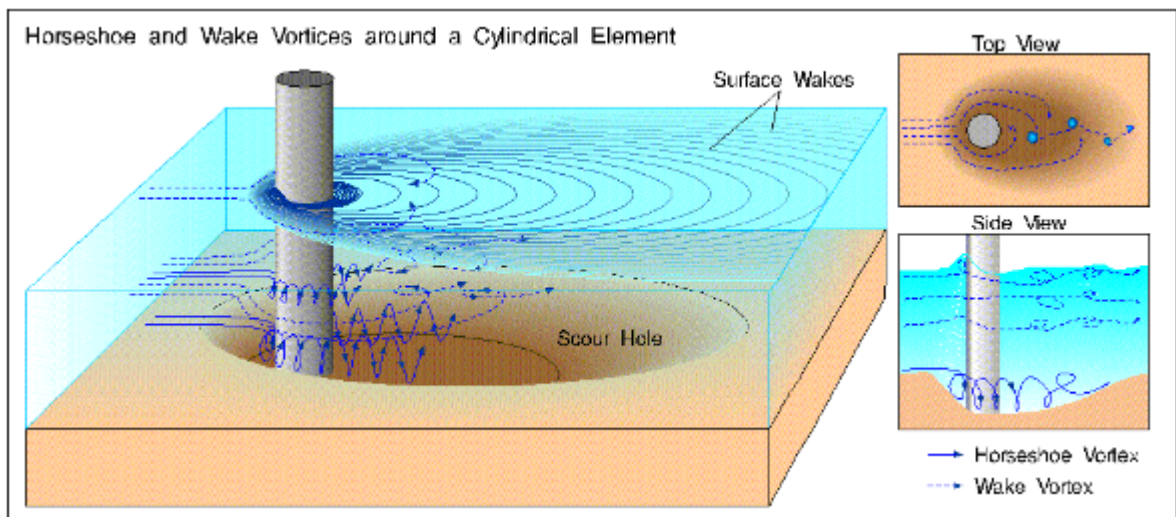


Figure 51 - Exemple d'un affouillement autour d'une pile de pont (US Government)

A8.2 - REPARTITION DES CONTAMINATIONS

Le stock sédimentaire étant plus volumineux au pied des ouvrages, les contaminations y sont couramment plus élevées. La présence de rejets, y compris pluviaux, sur le linéaire amont du cours d'eau est la principale origine responsable de concentration anormales en polluants observée dans les sédiments accumulés devant les ouvrages.

A8.3 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien. Ils permettent de diminuer le risque sur le milieu en aval de l'ouvrage lorsque le bouchon vaseux sera entraîné par effet de chasse. Le choix d'une technique de curage par rapport à une autre va dépendre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sédiments ;
- Des volumes de matériaux à extraire ;
- Du contexte environnemental du canal ;
- Des coûts économiques de l'opération à court et long terme ;

Remarque : La maîtrise des niveaux d'eau dans le canal permet d'effectuer des opérations de curage à sec. Les engins circulent alors directement sur le fond du canal.



Figure 52 - Ecluse de Vire, curage à sec (Ouest France)



Figure 53 - Ecluse de Marsenac, curage en eau (Commune de Flagnac)



Figure 54 - Pelle bras long pour curage d'apportement (IDRA)

Globalement, l'intervention rapide, l'impact résiduel sur le milieu, les conditions techniques simplifiées et le faible coût économique d'une intervention par des engins mécaniques autour des ouvrages de navigation, est une solution à privilégier si les conditions le permettent.

Cf. Document annexe « Techniques de travaux adaptés ».

A8.4 - RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS

Les levés bathymétriques par échosondeur sont des moyens fiables et rapides pour visualiser la répartition des accumulations de sédiments sur les fonds. Ils permettent numériquement de calculer un volume de sédiment à extraire en fonction des côtes de curage à respecter dans les canaux.

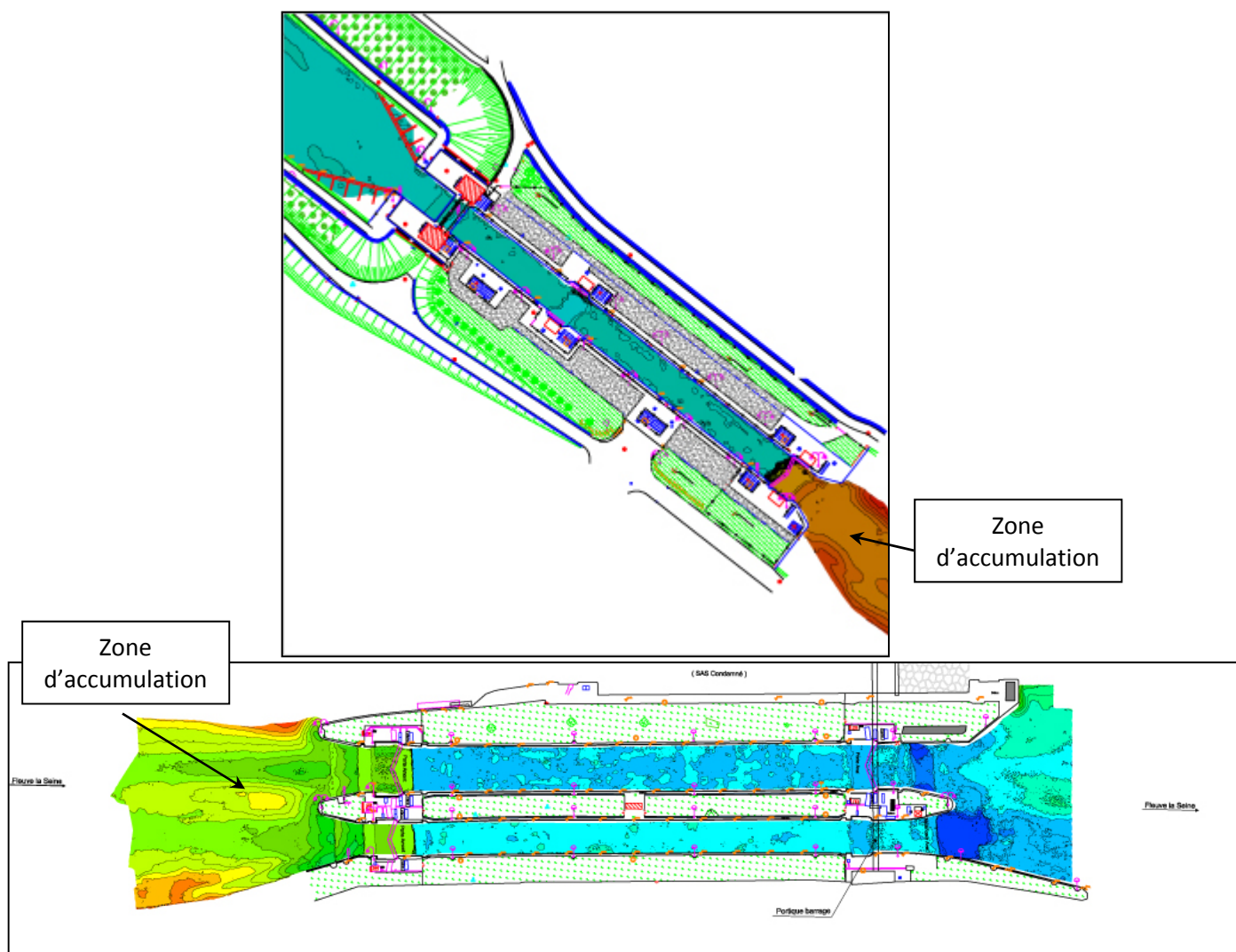


Figure 55 - Exemple de bathymétrie sur l'écluse des Fontinettes à Flandre et de l'écluse de Mericourt (VNF)

Cf. Document annexe des recommandations « Modalités de dépôts des sédiments ».

Remarque : Les levés bathymétriques/topographiques permettent de contrôler les travaux, avant, pendant et après chantier (optimisation des volumes extraits et coûts associés). Un suivi régulier des levés bathymétriques/topographiques renseigne alors sur les cinétiques de sédimentation le long des berges.

A8.5 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les Voies Navigables de France (VNF) proposent un nombre d'analyses à lancer en fonction des volumes de sédiments en jeu et du contexte rural ou urbain (présomption de pollution).

	Contexte Rural	Contexte Urbain
Volume de matériaux à extraire (m ³)	Nombre d'échantillons à analyser	
< 25 000	Au minimum 1 échantillon par tranche de 10 000 m³	Au minimum 1 échantillon par tranche de 5000 m³
> 25 000	Au minimum 3 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 20 000 m³	Au minimum 5 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 10000 m³
	Exemple : 13 000 m ³ → 2 échantillons minimum	Exemple : 13 000 m ³ → 3 échantillons minimum

Tableau 7 - Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011]

Dans le cadre de travaux d'entretien d'un ouvrage de navigation, les prélèvements se font sur le périmètre du site de curage. Dans le cas d'une écluse, un point en amont et en aval de l'ouvrage est généralement observé.

VNF précise que les analyses portent sur toute l'épaisseur du sédiment susceptible d'être remobilisé. Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

Remarque : La suspicion d'une zone contaminée (sédiments anciens jamais curés, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et analyses spécifiques pour caractériser au mieux le gisement.

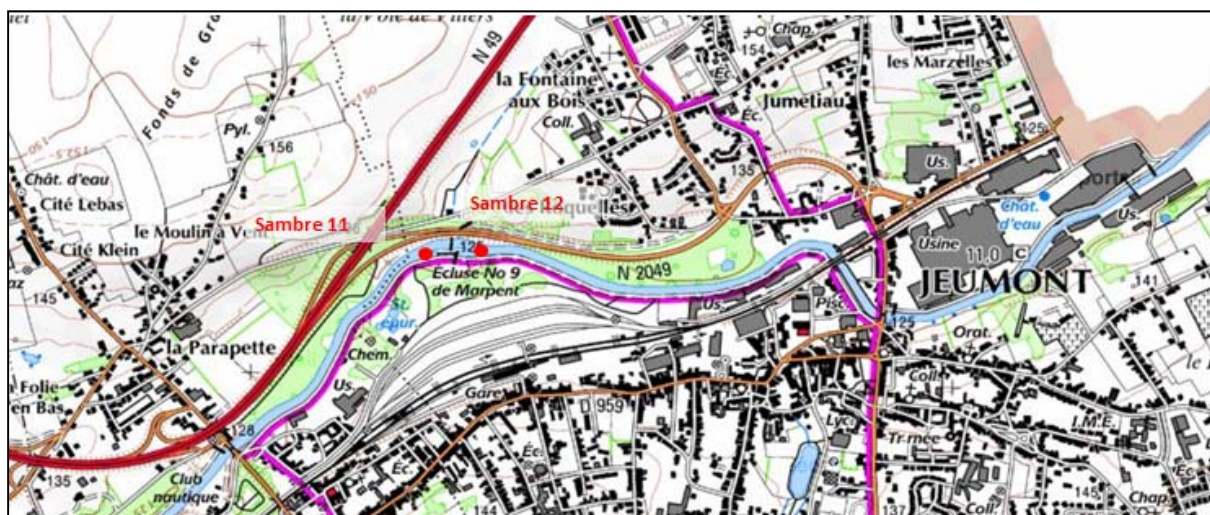


Figure 56 - Exemple d'échantillonnage sur l'écluse de Marpent – VNF Nord Pas de Calais (IDRA)

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A8.6 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagées selon le contexte local (pollution particulière) et le devenir des matériaux curés (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique,...).

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A8.7 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60µg/Kg pour les PCB) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Remarque : Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisées pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

En fonction de la longueur du cours d'eau, les représentations cartographiques sont également appropriées pour visualiser la qualité des sédiments à curer à l'échelle de plusieurs biefs.

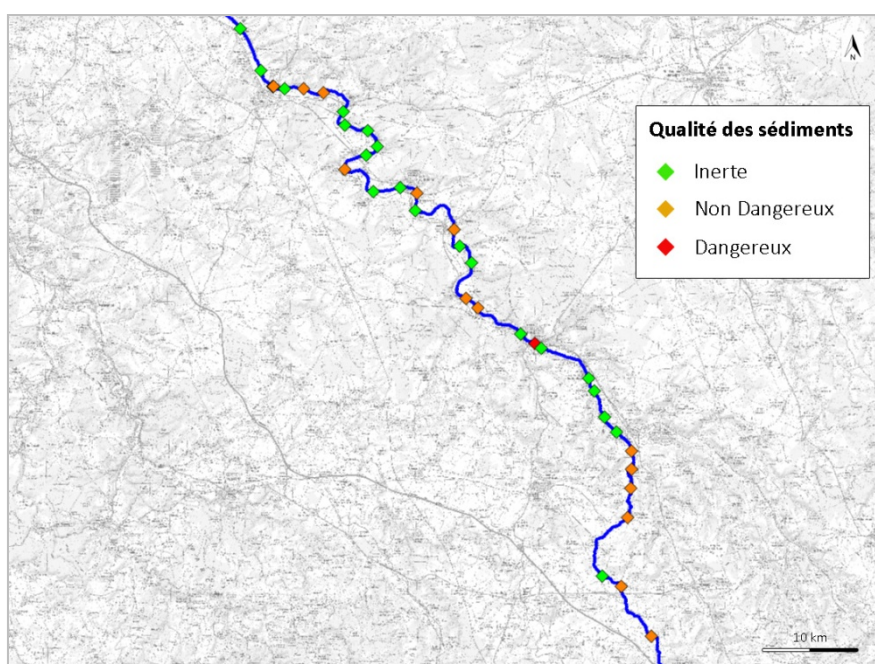


Figure 57 - Qualité des sédiments en fonction des seuils de déchets inertes (Arrêté du 28/10/10)

A8.8 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de reprofilage, modification, renforcement, où une remobilisation des sédiments du cours d'eau est nécessaire, il est préconisé de mettre en place :

- Des barrages anti-MES autour des engins intervenant dans le milieu aquatique ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier ;
- Un suivi des MES, pH, O₂ et O₂ dissous en aval du point de redistribution des sédiments dans la masse d'eau

Pour les aménagements sur la berge, les techniques de génie végétal sont elles-mêmes des moyens de réduction des impacts.

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

A9 - BASSIN PORTUAIRE

Travaux de curage d'entretien et d'approfondissement.



1	PROCESSUS DE SÉDIMENTATION	95
2	OPÉRATIONS SUR LE MILIEU	95
3	RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS	96
4	PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE	96
5	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES À LANCER	97
6	RESTITUTION DES RÉSULTATS	98
7	MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX	99

A9.1 - PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

En milieu portuaire, les accumulations de sédiments sont hétérogènes et varient en fonction des conditions hydrodynamiques du port. Elles peuvent ainsi différer entre la passe d'entrée d'un port et les zones plus abritées en fond de bassin.

Généralement, les sédiments portuaires en milieu continental sont d'origine terrigène (érosion et transport sédimentaire depuis le bassin versant). A noter également que le confinement des bassins portuaires accentue bien souvent le phénomène d'accumulation des sédiments (pas de reprise par les courants).

A9.2 - OPÉRATIONS SUR LE MILIEU

Les opérations à considérer sont les curages d'entretien et d'approfondissement. Ils permettent de maintenir un tirant d'eau nécessaire au passage des bateaux et d'accompagner le développement du port (implantation d'un nouveau quai, d'une digue,...). Le choix d'une technique de curage par rapport à une autre va dépendre :

- Des caractéristiques physico-chimiques des sédiments ;
- Des volumes de matériaux à extraire ;
- Du contexte environnemental du port ;
- Des coûts économiques de l'opération à court et long terme ;

Les sédiments portuaires sont parfois le siège d'une contamination qui nécessite des mesures de réduction des impacts, en particulier celles qui limitent les remises en suspension de sédiment. Les travaux de curage portuaire sont réalisés mécaniquement (pelle mécanique sur ponton, drague à godets,...) ou hydrauliquement (drague aspiratrice).

Il est important de noter que les dragues aspiratrices génèrent moins de remise en suspension (aspiration). Toutefois, le mélange eau/sédiment aspiré par la drague doit être renvoyé vers un site de prétraitement à terre pour concentrer les sédiments (bassins de décantation, géotextile filtrant, hydrocyclonage), nécessitant un foncier parfois important.

Généralement, les techniques de curage par agitation (rotodévaseur, hydrocurage,...) qui remobilisent et dispersent les sédiments dans le milieu aquatique sont évitées ou appliquées uniquement sur des sédiments sains.

Cf. Document annexe « Techniques de travaux adaptés ».

A9.3 - RÉPARTITION ET VOLUMES DES SÉDIMENTS

Les levés bathymétriques par échosondeur sont des moyens fiables et rapides pour visualiser la répartition des accumulations de sédiment sur les fonds. Ils permettent numériquement de calculer un volume de sédiment à extraire en fonction des tirants d'eau à rétablir.

Cf. Document annexe des recommandations « Modalités de dépôts des sédiments ».

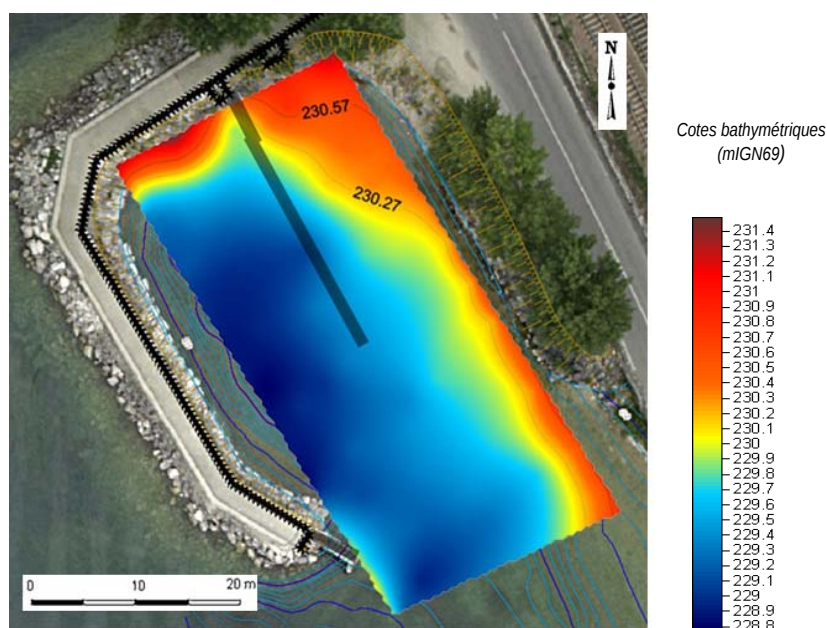


Figure 58 - Exemple de levé bathymétrique en milieu portuaire

Les levés bathymétriques permettent de contrôler les travaux de curage avant, pendant et après chantier (optimisation des volumes extraits et coûts associés). Un suivi régulier des levés bathymétriques renseigne alors sur les cinétiques de sédimentation dans le port.

A9.4 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

En l'absence de réglementation, la stratégie d'échantillonnage peut s'appuyer en premier lieu sur les protocoles des Voies Navigables de France (VNF) ou de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Toutefois, ces protocoles doivent être adaptés au contexte portuaire dont les volumes de sédiments sont généralement plus faibles mais plus contaminés.

Volume de matériaux à extraire (m³)	Nombre de station de prélèvement
< 2 000	5
2 000 à 10 000	10
10 000 à 25 000	20
25 000 à 50 000	30
> 50 000	30 + 10 par tranche de 10 000 m ³ supplémentaire

Tableau 8 - Proposition sur le nombre de station à échantillonner

Sur le terrain, Il est recommandé de réaliser plusieurs prélèvements ponctuels par station (3 généralement) pour constituer un échantillon moyen à analyser en laboratoire. La suspicion d'une zone contaminée (aire de carénage, présence de rejets,...) impose la réalisation de prélèvements et d'analyses spécifiques pour mieux caractériser le secteur.

Enfin, il est important également de tenir compte des épaisseurs de sédiment en jeu et de procéder à un sous échantillonnage (moyen ou non) pour analyser les matériaux curés et ceux qui vont rester en place sur le fond (principe de non dégradation du milieu). Il est donc préférable d'utiliser un moyen de prélèvement par carottage.

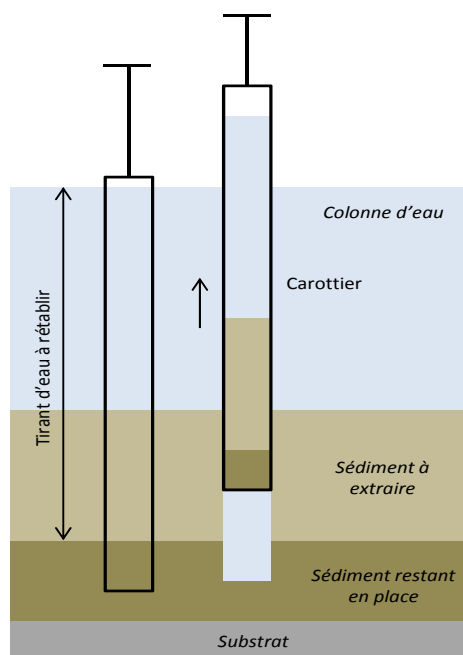


Figure 59 - Schéma d'un prélèvement carotté de sédiment

Cf. Document annexe des recommandations « Echantillonnage des sédiments ».

A9.5 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les analyses physico-chimiques à lancer en priorité doivent respecter les paramètres de l'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* ».

- Métaux (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Chrome, Mercure, Nickel, Plomb, Zinc) ;
- HAP (16 composés de l'US-EPA) ;
- PCB (CB 28, CB 52, CB 101, CB 118, CB 138, CB 153, CB180).

D'autres analyses physico-chimiques et écotoxicologiques peuvent être engagés selon le contexte local et le devenir des matériaux curés (dépôts à terre, restitution au milieu aquatique si les sédiments portuaires sont jugés sains,...). On peut citer par exemple les organoétains (TBT, DBT, MBT) qui sont des produits de synthèse, interdits en tant que biocides, mais utilisés anciennement dans les peintures antisalissures sur les navires.

Cf. Document annexe des recommandations « Analyses Laboratoires ».

A9.6 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Les analyses physico-chimiques doivent être présentées sous la forme de tableaux de synthèse des résultats bruts du laboratoire et comparées aux valeurs réglementaires (seuils S1 de l'Arrêté du 9 août 2006, 60 µg/Kg pour les PCBi) et/ou valeurs repères (le choix des seuils doit être justifié).

Les valeurs S1 n'ont pas vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact sur les milieux aquatiques, mais sont utilisés pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique. Elles constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu.

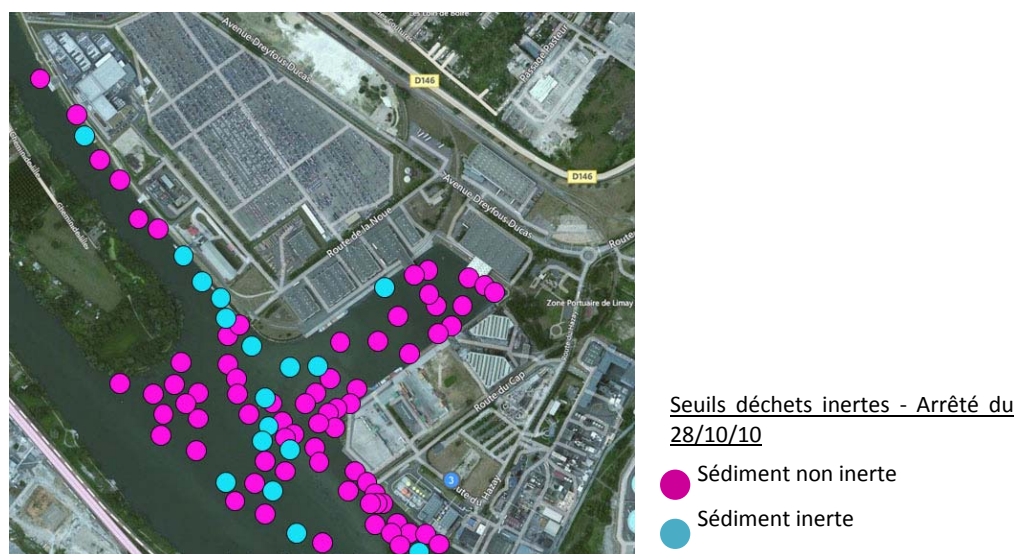


Figure 60 - Exemple de restitution des résultats des tests de lixiviation lancés sur sédiment portuaire

A l'échelle d'un port, il est intéressant de présenter les concentrations en contaminant dans les sédiments sous la forme de carte d'isoconcentration. Le nombre et la méthode d'interpolation des analyses devront être alors explicités pour valider la représentativité des résultats.

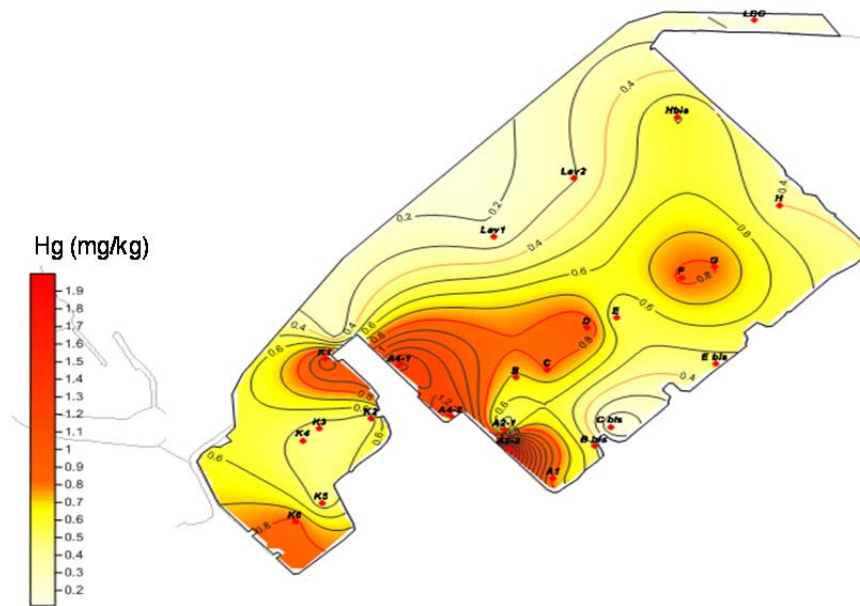


Figure 61 - Exemple de restitution d'une carte d'isoconcentration en mercure en milieu portuaire

A9.7 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les moyens de réduction des impacts sont à ajuster en fonction de la sensibilité du milieu. Pour les opérations de curage en milieu portuaire, il est préconisé de mettre en place :

- Des moyens de préhension limitant la remobilisation des sédiments dans l'eau, a fortiori en cas de sédiments potentiellement contaminés ;
- Des barrages anti-MES autour des engins de curage ;
- Un suivi de la turbidité de l'eau à proximité du chantier.

Cf. Document annexe des recommandations « Mesures de surveillance, réduction et suppression des impacts »

A10 - ANNEXE FLUVIALE : CASIER GIRARDON DU RHÔNE

Après démantèlement des digues et épis, remobilisation naturelle des sédiments accumulés dans les casiers.

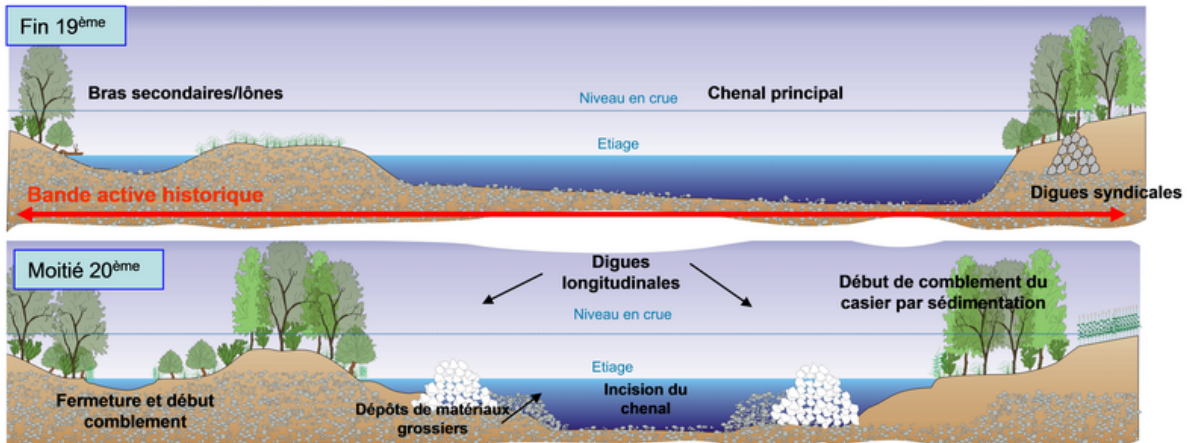


Doit être actualisée avec les éléments du rapport BRGM (échantillonnage)

A10.1 - LES PROCESSUS DE SÉDIMENTATION AU SEIN DES CASIERS

Mis à part les derniers aménagements liés à la mise en place des barrages hydroélectriques récents, digues et épis « Girardon » ont constitué la dernière phase (mi XIX^{ème} début XX^{ème}) d'une longue série

Une première phase (1840-1940) pour la protection contre les crues et l'amélioration de la navigation



Une deuxième phase (1937-1986) pour le développement de la production d'énergie, de l'irrigation et de la navigation

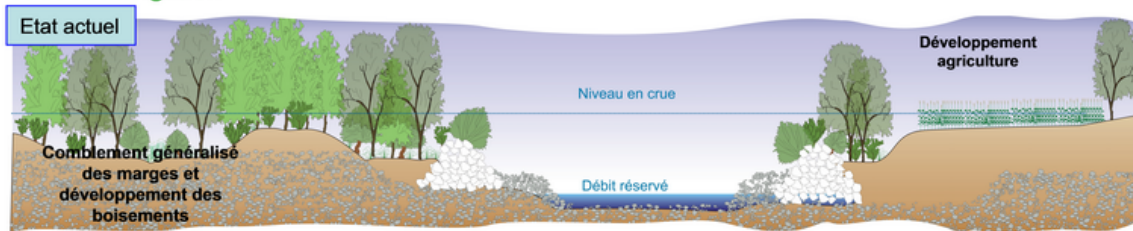


Figure 62 – Evolution temporelle des appareils Girardon

Les casiers sont essentiellement alimentés lors des épisodes de crues et sont susceptibles d'avoir enregistré la pollution circulant dans le Rhône depuis leur mise en place. Suite à la mise en place des canaux de dérivation pour l'hydroélectricité et le passage en débit réservé des Vieux Rhône, plus rares sont les crues susceptibles de noyer et remobiliser les sédiments présents dans les casiers. De plus le développement de la végétation est facilité, ce qui favorise encore plus la fixation des sédiments. En dehors des épisodes de crues, même avant la mise en débit réservé, le casier est sec

ou partiellement en eau et l'évolution de l'accumulation sédimentaire peut être suivie grâce à l'étude de plans anciens et photos aériennes.

L'étude menée sur un casier girardon de l'île des graviers (Ile de la Platière, Péage de Roussillon) montre que même situé à l'intérieur d'une courbe concave du fleuve, l'accumulation sédimentaire est possible et prograde vers le fleuve et les PCB suivent la forme de la sédimentation. Les teneurs en PCB sont en relation avec les différentes périodes d'accumulation de sédiment et ne sont pas reliés de façon simple aux paramètres classiquement connus pour les contrôler (taille des particules, concentration en matière organique, ...).

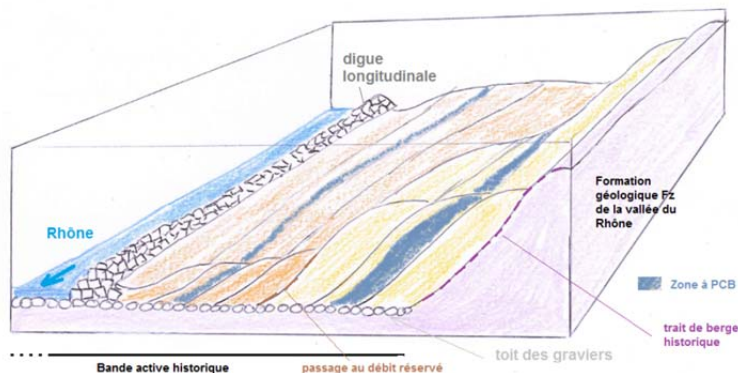


Figure 63 - Schéma « 3D » d'un casier Girardon (exagération verticale)

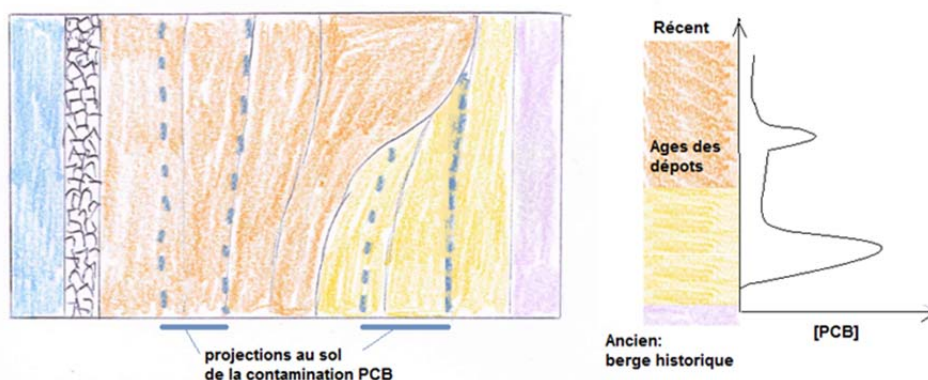


Figure 64 - A- Schéma représentant les étapes d'accrétion du casier (et la projection au sol des passées à PCB) ; B- Représentation de la mémoire de la concentration en PCB au cours du temps

A10.2 - TYPE DE TRAVAUX

A l'issue d'un démantèlement de la digue longitudinale, accompagné du démantèlement partiel ou complet des épis perpendiculaires, la remobilisation naturelle des sédiments (sableux) accumulés pourra s'enclencher.

A10.3 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

Si dans l'ensemble on sait que les concentrations en PCB les plus élevées ayant circulées dans le Rhône sont plutôt anciennes (pic de production et consommation dans les années 1970-1980), les archives sédimentaires acquises généralement sur des îlons sur le linéaire du Rhône (Poster Mourier

et al. Journée OSR octobre 2012) montrent que localement des concentrations élevées peuvent être accumulées sur des périodes récentes (accident, remobilisation de décharges anciennes ?). Le protocole d'échantillonnage sera adapté pour prendre en compte cette la variabilité.

A10.4 - ESTIMATION DU VOLUME DE SÉDIMENT ET DE SA RÉPARTITION

Le casier a été construit sur la bande active historique du fleuve, son épaisseur varie sur quelques mètres d'épaisseur. Il n'a pas été identifié (pour l'instant) de façon simple d'évaluer sur une grande superficie la profondeur à laquelle ce dernier est situé mais le toit des graviers est aisément repéré ponctuellement avec un peu d'expérience par l'enfoncement d'une tige métallique (jusqu'à ce qu'elle rencontre les galets).

Il convient d'acquérir une bonne compréhension de la position et de la chronologie de l'installation des structures (digues, épis...) qui ont favorisé l'accumulation des sédiments. Il est en effet supposé que la plupart des structures qui ont été mises en place se sont adossées à des formations géologiques (alluvions dite récentes pour l'essentiel), ne présentant pas de pollution. Ces formations géologiques constituent une des bornes latérales de la zone d'échantillonnage sous réserve que l'accumulation sédimentaire n'ait pas recouverte significativement les formations géologiques.

L'étude diachronique des berges à partir d'un nombre suffisamment conséquent de cartes et photos aériennes permet d'estimer en deux dimensions les différentes zones et périodes d'accrétion dans le casier. L'étude de carte présentant des données topographiques permettra également de réaliser des profils en travers. L'emploi de modèle numérique de terrain très précis tel qu'il est possible d'en acquérir au Lidar est un plus. En effet l'étude de la microtopographie permet de bien distinguer les berges anciennes ou ressauts liés à des changements de régime d'accrétion tel que le passage en débit réservé pour les Rhône court-circuités.

A10.5 - IDENTIFICATION DES ZONES À ÉCHANTILLONNER

Les zones à échantillonner seront définies sur la base de leur représentativité surfacique. Ainsi dans l'exemple présenté précédemment, il peut être proposé deux zones distinctes dont les résultats de l'échantillonnage seront pondérés pour 40% pour la zone 1 et 60% pour la zone 2.

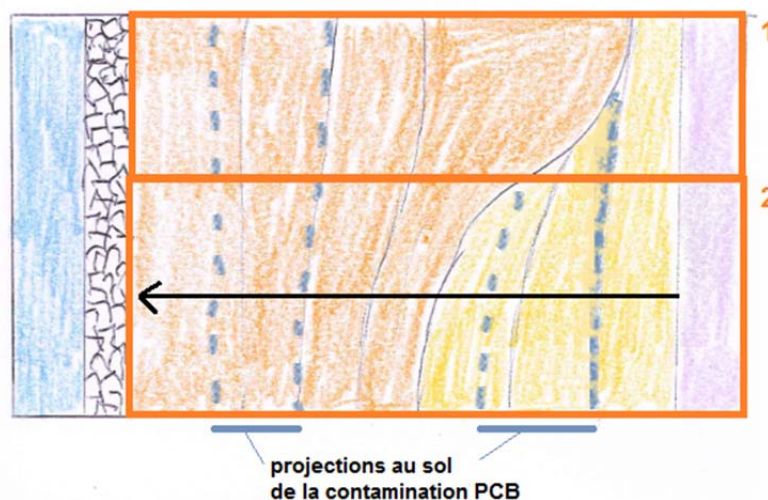


Figure 65 – répartition des zones d'échantillonnage

A10.6 - POSITION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS

L'échantillonnage prendra donc en compte la représentativité des zones d'accrétion et leur âge. L'échantillonnage sera donc réalisé le long de transect perpendiculaire à l'accrétion. Le nombre de carottes qui sera prélevé, c'est-à-dire l'espacement des carottes au sein du transect est défini par la connaissance des périodes d'accrétion. Il conviendra de faire un nombre suffisant de prélèvement au sein de la zone potentiellement la plus polluée (période 1970-1980). Le même pas sera ensuite appliqué le long du transect.

A10.7 - MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENTS

Les prélèvements seront réalisés sur toute l'épaisseur de la zone d'accumulation. Les sédiments, relativement cohésifs, se prêtent à des prélèvements simplement réalisés à la tarière (type Edelman pour le sol sableux). Le prélèvement est constitué de passées successives de 20 à 30 cm de sédiment pour constituer un échantillon d'un mètre d'épaisseur maximum. L'épaisseur de l'échantillon sera conservée autant que possible tout le long du transect afin que les différents échantillons soient représentatifs du volume prélevé (si un prélèvement fait moins que l'épaisseur définit pour l'échantillonnage, sa contribution sera minimisée au prorata de l'épaisseur effectivement prélevée). Une concentration moyenne sera établie après pondération en fonction de la représentativité surfacique des différentes zones.

A10.8 - RESTITUTION DES RÉSULTATS

Représentation cartographique des points de prélèvements avec analyse moyenne accompagnée des valeurs min-max obtenues par prélèvement.

Moyenne des prélèvements d'un transect (au prorata de l'épaisseur de chaque prélèvement)

Concentration moyenne et quantité moyenne : Attribution de l'analyse moyenne par transect pondérée par zone homogène.

Comparaison au seuil S1 de cette concentration moyenne.

A11 - RHONE

Entretien des ouvrages hydroélectrique et de navigation



1 Les processus de sédimentation.....	1
2 Les opérations d'entretien sur le Rhône.....	4
3 Le protocole d'échantillonnage	6
3.1 Nombre de prélèvements.....	6
3.2 Méthode de prélèvement	7
4 Mesures de réduction des impacts des travaux	12

A11.1 - LES PROCESSUS DE SÉDIMENTATION

Venant des Alpes, le Rhône est le plus puissant des fleuves français. Comme le montre le profil en long ci-après, le Rhône se caractérise par une forte pente moyenne (0.5m/km) jusqu'à proximité de son embouchure dans la méditerranée. La diversité de son bassin versant lui confère un débit soutenu tout le long de l'année (pluie océanique sur la Saône, influences méditerranéennes au sud, fonte de neige et des glaciers le long des affluents rive gauche ...).

L'aménagement du Rhône par la Compagnie Nationale du Rhône depuis 1939 a consisté à :

- créer 18 chutes hydroélectriques depuis la frontière Suisse jusqu'à Vallabrègues ;
- créer une voie navigable au gabarit de plaisance sur le Haut-Rhône et au gabarit européen de Lyon à la mer ;
- favoriser le développement de la vallée du Rhône par le biais de l'irrigation, puis de ses missions d'intérêt général (MIG) depuis 2003.

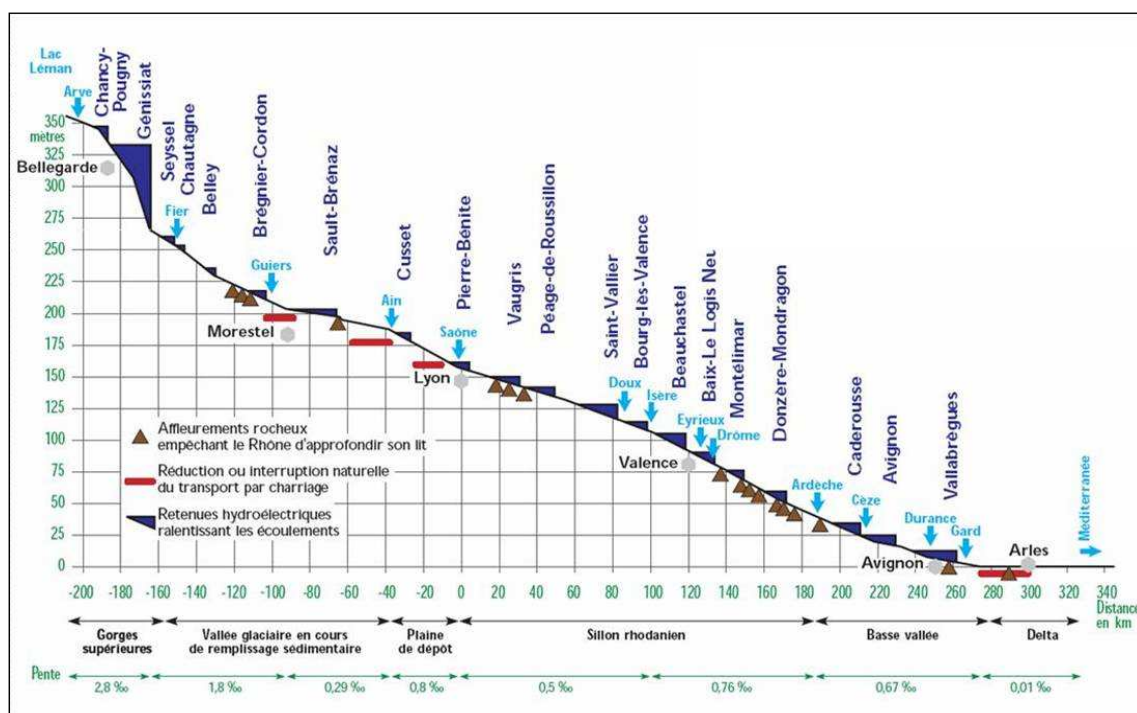


Figure 66 – profil en long du Rhône -Sogreah 2000, mise en forme Hydratec/MINEA

La puissance du fleuve permet un important transport solide de particules fines comme le montre les résultats du chapitre transport solide de l'étude globale du Rhône.

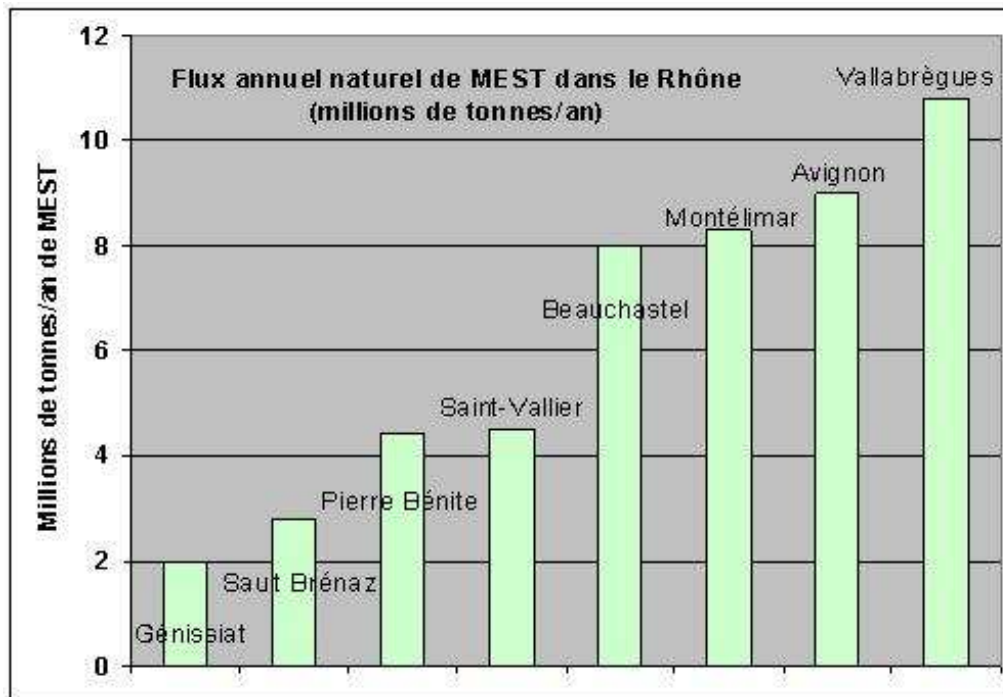


Figure 67 – Extrait du dossier de demande d'autorisation des dragages d'entretien du Rhône

Par contre il est constaté une raréfaction des apports grossiers par les affluents, suite au reboisement des versants, à la construction de nombreux barrages sur les affluents et aux prélèvements par les carriers jusqu'à une époque très récente des graviers et galets de ces rivières. La chenalisation systématique du fleuve entre la fin du XIX siècle et le début du XX siècle (aménagements Girardon) a stabilisé le profil en long du fleuve. C'est certainement cet aménagement antérieur à celui de la CNR qui a permis d'éviter l'apparition d'incision (enfouissement du lit) du lit depuis la création des chutes hydroélectriques sur le fleuve.

Aujourd'hui à l'échelle du fleuve le lit du Rhône est globalement stable et le transit de sédiments grossiers ne concerne plus que quelques tronçons du fleuve.

Les retenues hydroélectriques implantées le long du fleuve sont des retenues de basses chutes (10m en moyenne, voir figure ci-après, exceptée celle de Génissiat 60m), ce qui limite les impacts sur le transport solide du fleuve. En effet, en période de crue, les chutes s'effacent progressivement, les niveaux et vitesses d'écoulement redeviennent proches des conditions d'écoulement avant aménagement du fleuve par la CNR.

Après plusieurs dizaines d'années d'exploitations des ouvrages hydroélectriques et de navigation, il est constaté que le lit du Rhône reste globalement stable. Il n'est pas n'observé de sédimentation massive dans les retenues (contrairement à un réservoir de barrage classique qui piège les sédiments entrant).

Par rapport au transport solide du fleuve, moins de 3% du flux annuel qui passe dans chaque chute se dépose et nécessite un dragage d'entretien comme le montre le tableau suivant, provenant du dossier de demande d'autorisation du plan de gestion des dragages d'entretien CNR.

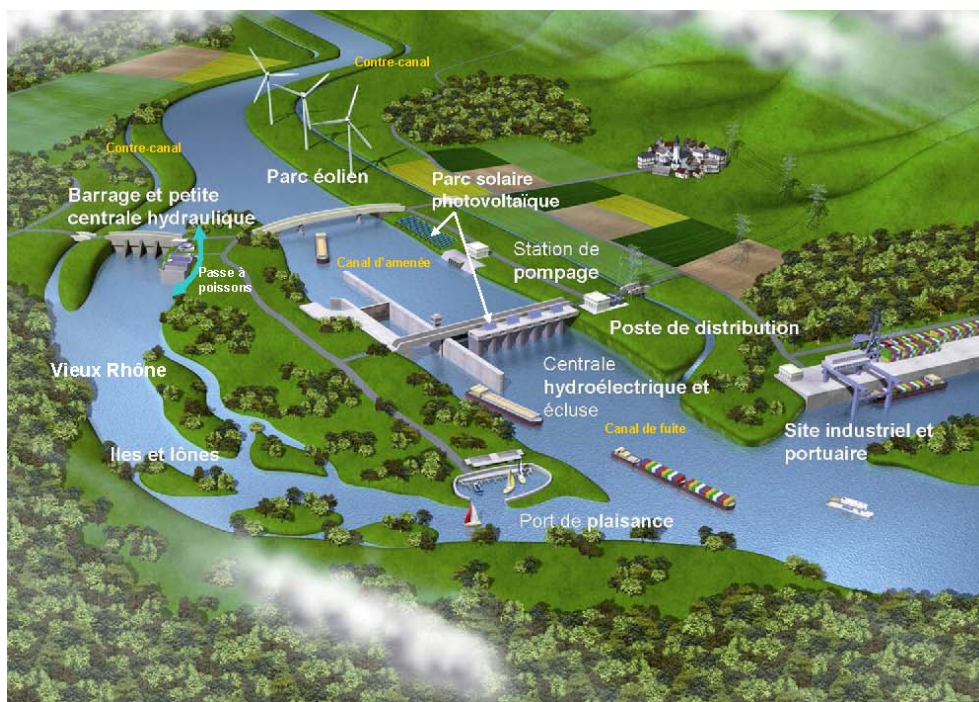


Figure 68 – Chute CNR type

	Quantité draguées par la CNR en 12 ans-1995-2006				
Chute	Volume en m ³	Masse en T	Masse annuelle moyenne en T	Transport solide annuel en suspension du Rhône en T ⁽¹⁾	Proportion
Génissiat	258 945	517 890	43 158	2 000 000	2.2%
Seyssel	170 010	340 020	28 335	2 200 000	1.3%
Chautagne	193 884	387 768	32 314	2 600 000	1.2%
Belley	105 213	210 426	17 536	2 600 000	0.7%
Brégnier Cordon	52 705	105 410	8 784	2 600 000	0.3%
Sault Brénaz	45 091	90 182	7 515	2 800 000	0.3%
Pierre Bénite	190 611	381 222	31 769	4 400 000	0.7%
Vaugris	283 260	566 520	47 210	4 400 000	1.1%
Péage de R.	125 615	251 230	20 936	4 500 000	0.5%
Saint Vallier	294 627	589 254	49 105	4 500 000	1.1%
Bourg les V.	1 264 731	2 529 462	210 789	8 000 000	2.6%
Beauchastel	459 742	919 484	76 624	8 000 000	1.0%
Baix Logis Neuf	745 920	1 491 840	124 320	8 200 000	1.5%
Montélimar	1 072 143	2 144 286	178 691	8 300 000	2.2%
Donzère-M.	847 290	1 694 580	141 215	8 300 000	1.7%
Caderousse	405 062	810 124	67 510	8 500 000	0.8%
Avignon	535 043	1 070 085	89 174	9 000 000	1.0%
Vallabrègues	829 772	1 659 544	138 295	10 800 000	1.3%
Palier d'Arles	25 143	50 286	4 191	11 000 000	< 0.1 %
Barcarin (2)	249 190	498 380	41 532	10 000 000	0.4%
Port Saint Louis (2)	28 740	57 480	4 790	10 000 000	< 0.1 %

1) : valeurs issues de l'Etude Globale Rhône - (2) : 1 000 000 t via petit Rhône.

Tableau 9 - Comparaison des volumes remis en suspension entre 1995 et 2006 à l'occasion des dragages, et du transport en suspension du Rhône.

A11.2 - LES OPÉRATIONS D'ENTRETIEN SUR LE RHÔNE

Trois usages nécessitent des travaux d'entretien par dragage :

La navigation. Il s'agit de l'entretien des garages d'écluse qui représente 50% des volumes dragués. Il s'agit de sédiments fins qui se déposent en amont et en aval des écluses. Quelques opérations ponctuelles concernent le chenal navigable. Seul la zone située entre Vallabrègues et Arles nécessite des dragages d'entretien annuel du chenal.

Le maintien des sections d'écoulement pour les crues qui représente 40% des volumes dragués. Il s'agit de sédiments fins et grossiers qui se déposent principalement sur le dernier kilomètre de la majorité des affluents. Ces dépôts sont une conséquence de la rehausse des lignes d'eau courante du Rhône (nécessaire à la création des chutes hydroélectriques). L'affluents n'a plus suffisamment de puissance pour transporter ses sédiments jusqu'au Rhône. Il est donc nécessaire de « pousser » par dragage les sédiments déposés sur quelques centaines de mètres pour les remettre dans le flux du Rhône.

Le maintien des ouvrages en exploitation, qui représente moins de 10% des volumes dragués. Il s'agit d'entretenir des décanteurs en amont de siphons, des passes à poissons, des sondes de mesures....

Le schéma suivant présente les divers lieux de dragage d'entretien du Rhône.

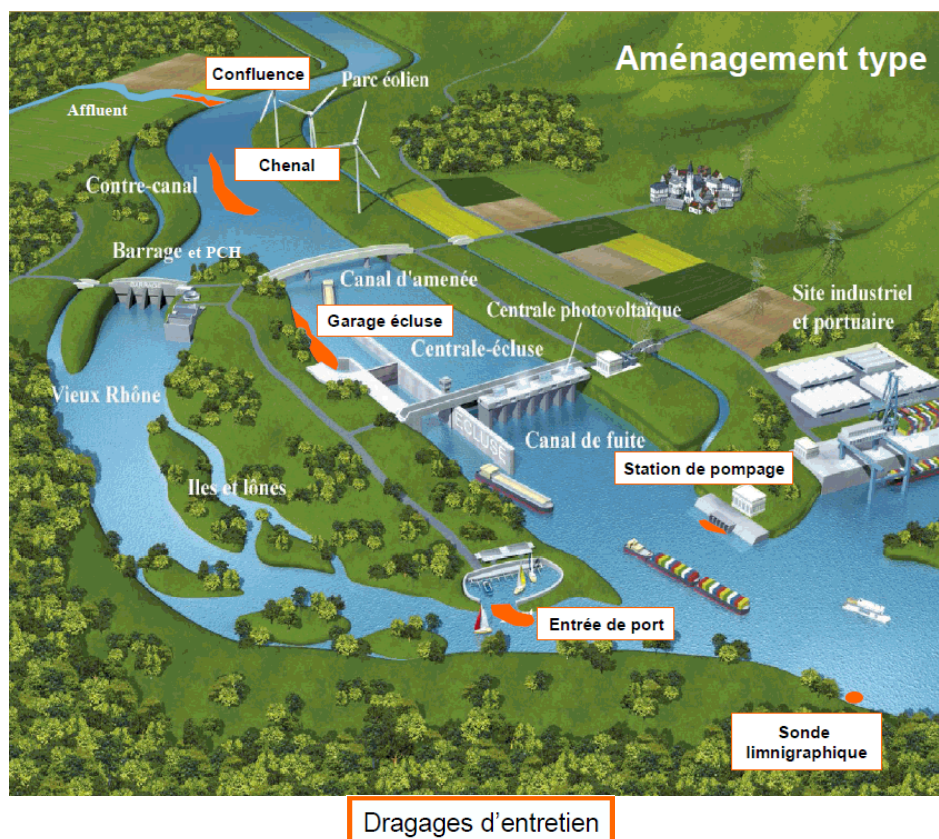


Figure 69 – Principales zones de dragages et de remobilisation des matériaux

Au total entre 1987 et 2006, plus de 160 sites ont fait l'objet d'une intervention. 660 000m³ de sédiments sont en moyenne dragués chaque année. Le graphique suivant issu du dossier de demande d'autorisation du plan de gestion des dragages d'entretien CNR, permet de quantifier les travaux de dragage pour l'entretien du Rhône au droit de chaque chute.

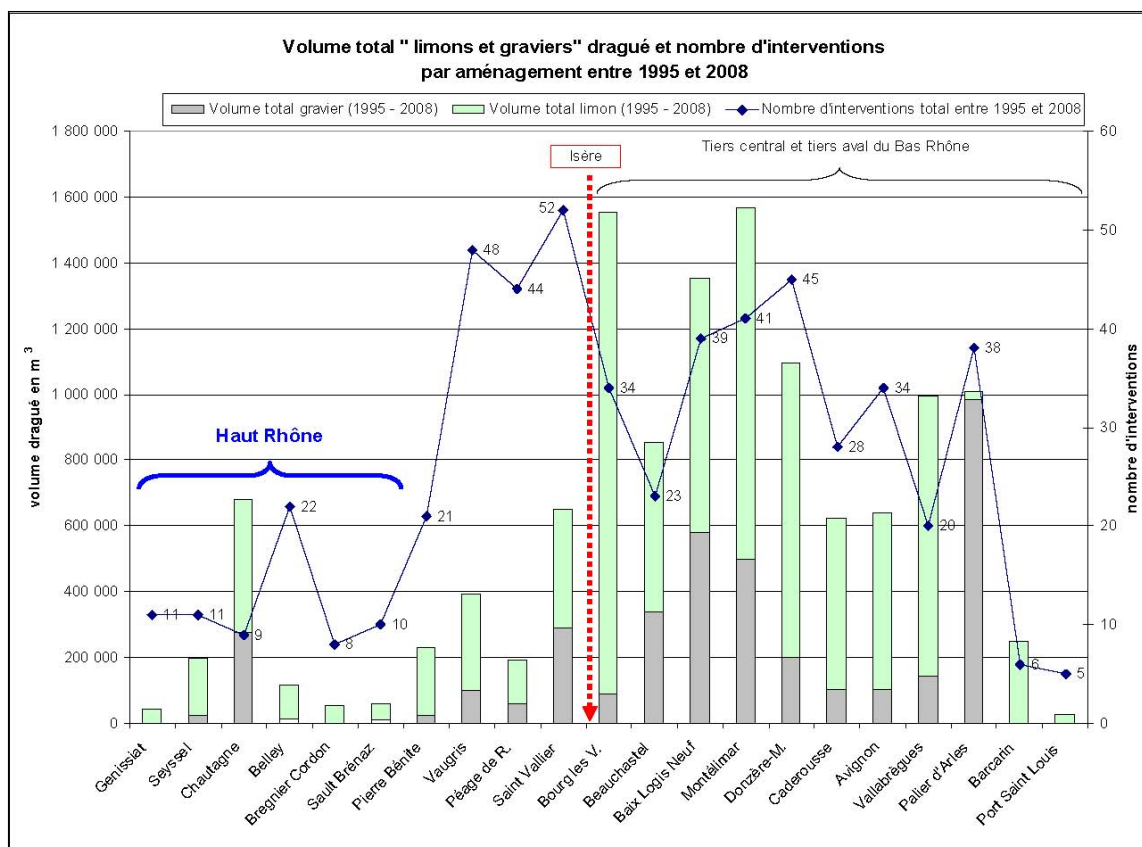


Figure 70 – Volume total dragué et nombre d'interventions par aménagement.

A11.3 - LE PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

A11.3.1 - Nombre de prélèvements

Le protocole d'échantillonnage est fourni dans le dossier de demande d'autorisation du plan de gestion des dragages d'entretien sur le domaine concédé au titre de la loi sur l'eau. Ce protocole est le suivant. Suite au retour d'expérience de 5 ans d'application du plan de gestion, ce protocole pourra être modifié en accord avec la police de l'eau. Afin de caractériser les sédiments à draguer, le nombre de lieux de prélèvement est choisi en fonction du volume à draguer comme l'indique le tableau ci-dessous :

Volumes de matériaux en m3	Nombre de lieu de prélèvement
0 à 2 000	0
2 000 à 10 000	1
10 000 à 20 000	2
20 000 à 40 000	3
40 000 à 80 000	4
80 000 à 160 000	5
Plus de 160 000	6

Tableau 10 - Nombre de lieux de prélèvement de matériaux en fonction du volume à draguer.

Sur chaque lieu de prélèvement, le nombre de prélèvement est fonction de l'épaisseur à draguer :

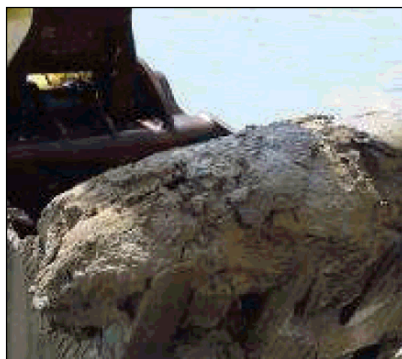
Epaisseur de matériaux en m.	Nombre de prélèvement
Entre la surface et 1 m	1
De 1 à 2 m	2 (1 surface et 1 fond)
De 2 à 4 m	3 (1 surface, 1 milieu et 1 fond)

Tableau 11 - Nombre de prélèvement de matériaux en fonction de l'épaisseur à draguer.

Lorsque les matériaux sont des galets et graviers et que la fraction fine est très peu représentée (diamètre <2mm inférieur à 3% de la masse totale du prélèvement), les analyses physico-chimiques en PCB ne sont pas réalisées. En effet seule la fraction fine (sédiments fins, inférieurs à 2 mm) est acceptée pour analyse par les laboratoires. C'est cette fraction qui contient les polluants, il est admis que les galets, blocs et matériaux grossiers en sont exempts. Les photos suivantes illustrent la variété des sédiments dragués.



Graviers/Sables/Limons



Sédiments fins



Sédiments grossiers

Figure 71 – Types de sédiments dragués sur le Rhône.

A11.3.2 - Méthode de prélèvement

Plusieurs méthodes de prélèvements peuvent être employées en fonction de la nature des sédiments, de la profondeur d'eau et de la hauteur du dragage envisagée comme le montre les photos suivantes.



Figure 72 – Tube manuel pour prélèvement de sédiments fins.



Figure 73 – Pelle amphibie pour zone peu profonde.



Figure 74 – Benne preneuse pour tous sites

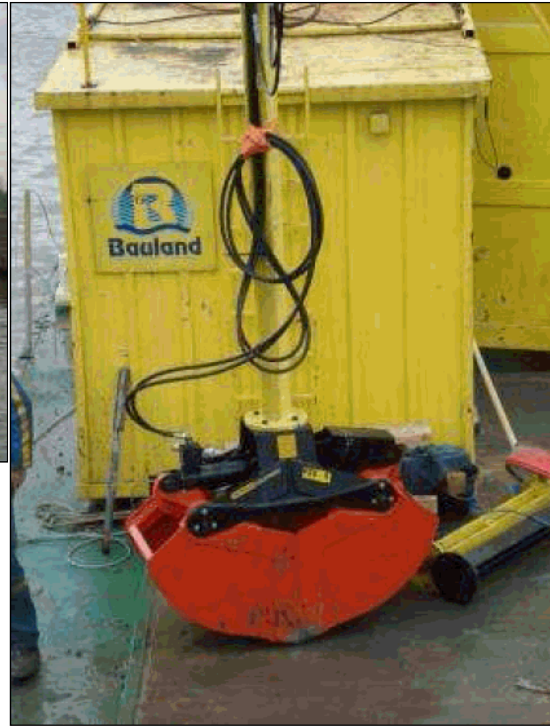


Figure 75 – Benne preneuse



Figure 76 – Pelle sur ponton pour sites avec profondeur <10m.



Figure 77 – Pelle sur ponton.



Figure 78 – Atelier de forage tous sites



Figure 79 – Atelier de forage

Les coûts approximatifs (2012) sont les suivants :

1. Tubes manuel pour sédiments fins – 4 500€ pour prélèvements sur un site-durée 1 journée. plongeurs - 4 000 € pour prélèvements sur un site – durée 1 journée.
2. pelle amphibie – 8 000€ pour 1 site – durée 1/2 journée.
3. benne preneuse –5 000€ à l’aval de Lyon (car navigable) pour une journée de prélèvement soit 1 à 2 sites en fonction de la distance entre sites.
4. pelle sur ponton – 25 000€ à l’aval de Lyon (car navigable) pour une campagne de sondage sur 100 km sur 5 à 7 sites - durée 1 semaine.
5. atelier de forage-20 000€ pour 3 sondages sur un site, prélèvements sur 3m de profondeur - durée 4 jours par site.

Nota : Les travaux d’entretien sont réguliers sur le Rhône. Les sédiments dragués sont récents et ne sont plus concernés par les pollutions historiques aux PCB (pollution comprise entre les années 60 et 80). **Il n’est donc pas nécessaire de réaliser des prélèvements de sédiments après travaux.**

Le dossier de demande d’autorisation du plan de gestion des dragages d’entretien sur le domaine concédé au titre de la loi sur l’eau est encadré par l’arrêté inter-préfectoral n°2011077-0004 de Mars 2011 portant autorisation au titre du code de l’environnement des opérations de dragages d’entretien sur le domaine concédé du Rhône. Cet arrêté indique, conformément à l’arrêté du 9 août 2006, que lors des analyses des sédiments, la teneur à prendre en compte est la teneur maximale mesurée (soit 60µg/kg MS pour Σ7PCBi d’après la recommandation Rhône).

Toute fois il peut être toléré :

- 1 dépassement pour 6 échantillons analysés ;
- 2 dépassements pour 15 échantillons analysés ;
- 3 dépassements pour 30 échantillons analysés ;
- 1 dépassement par tranche de 10 échantillons supplémentaires analysés ;

sous réserve que les termes mesurées sur les échantillons en dépassement n’atteignent pas 1.5fois les niveaux de référence considérés (soit $1.5 \times 60 = 90 \mu\text{gPCBi/kgMS}$).

Le tableau suivant présente l’ensemble des résultats des échantillons de sédiments analysés sur la période 2008/2012 pour les travaux d’entretien par dragage. Les travaux concernent 74 chantiers d’un volume supérieur à 2000m³ pour lesquels 384 échantillons ont fait l’objet de mesures physico-chimiques. Ces travaux sont classés de l’amont vers l’aval du Rhône. Le Point Kilométrique zéro se situe à Lyon à la confluence Rhône / Saône. Les Points Kilométriques sont négatifs à l’amont de Lyon.

Les analyses ont été faites sur les 7 congénères des PCB indicateurs. Les résultats présentent la somme de ces 7 PCB indicateurs. La limite de quantification d’un congénère s’est réduite depuis 2008. Elle était de 5 à 10µg/kgMS pour les travaux réalisés jusqu’en 2010 (couleur jaune). En 2011 (couleur bleue), une partie des analyses ont été réalisées avec une limite de quantification d’un congénère de 1µg/kgMS. Toutes les analyses réalisées après (couleur verte) ont été réalisées avec une limite de quantification d’un congénère de 1µg/kgMS.

Dragage d'entretien CNR 2008-2012-concentration en PCB sur les échantillons réalisés avant travaux

Description	PK	chute	volume m3	nb échant.	Concentration des 7PCBi par échantillon															
Les Ussets	-152	SY	95 000	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
retenue Ce	-147	CE	700 000	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
pont SNCF de Vions	-134	Bv	11 500	2	3	1														
Siphon du Séran	-128.5	Bv	408	1	1															
Vallée bleue	-67	SB	12 000	4	6	5	5	9												
Entonnement barrage de Villebois	-64	SB	58 000	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
Yzeron	1.5	PB	10 677	2	60.5	*	24.5													
Yzeron	1.5	PB	9 700	5	10	3	3	3	6											
Chenal P3.3 quai sud PLEH	3.3	PB	4 035	5	32	23	59	32	22											
garage aval écluse	4	PB	8 400	9	29	17	29	27	25	32	42	46	15							
prise d'eau Ciselande	9.3	PB	200	1	0.9															
Garon	17.8	VS	2 858	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
halte nautique Givros	18.2	VS	25 000	10	3	6	7	3	6	5	56.6	34.2	21.7	52.9						
Gier	18.4	VS	5 810	3	*	18	20													
Sévenne	27.6	VS	5 700	3	7	9	21.4													
Sévenne	27.6	VS	3 835	6	6	7	6	4	1	10										
Gere	28.6	VS	8 200	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Vézérance	30	VS	1 855	3	3	4	17													
garage aval	34	VS	5 000	2	29.8	31.3														
PK42	42	PR	6 800	1	39.4															
Arbuel	42	PR	2 000	5	0	0	0	7	0											
Valencize	47.2	PR	5 500	4	3	3	22	3												
garage aval	61.5	PR	4 300	5	*	*	*	*	67											
Bancel	69.5	SV	13 450	3	58.3	25.2	25.3													
Torrenson	69.5	SV	2 500	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
PK73	73	SV	4 400	4	*	*	*	*												
Cance	73.5	SV	24 000	9	24	1	*	1	*	*	25	24	*							
Galaure	76	SV	26 000	7	7	23	*	53	31	*	*									
Galaure	76.3	SV	34 880	5	14.4	8	22.1	29.5	34											
PK79	79	SV	7 450	2	21	39														
confluent Doux partie intermédiaire	90	BV	50 000	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Doux	90.5	BV	35 500	7	*	*	*	*	*	8	5									
Bassin des Musards	98.5	BV	3 000	1	1															
garage aval	106	BV	45 000	2	57	57														
garage amt ecluse	106	BV	67 000	3	*	*	*													
Embroye	119.8	Be	28 000	3	*	*	*													
Rieu de Vel	122.7	BE	1 500	1	*															
garage amt ecluse	123.5	BE	108 000	16	23	14	2	34	17	17	18									
Eyrieux	126.5	LN	20 000	3	*	*	*													
Drôme aval	130	LN	100 000	14	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Barrage de Printegarde Nord	130	LN	55 000	3	21	21	21													
Barrage de Printegarde Sud	130	LN	5 400	4	5	5	5	5												
bge Printegarde	130.1	LN	8 000	4	*	*	*	*												
Ouvéze	133.5	BLN	22 000	6	7	15	20	14	22	34										
garage amt ecluse	142.5	LN	84 000	15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
garage aval ecluse	143	LN	13 000																	
PK 149.4	149.4	MO	2 500	3	*	*	*													
Roubion	160	MO	115 000	6	1	1	1	1	1	1										
Port vedette	165	Mo	2 200	1	*															
garage aval	165	Mo	8 000	2	27.8	26.4														
garage amt ecluse	167	DM	42 140	1	*															
Garage amont écluse	167	DM	25 000	6	35	21	73	27	35	53										
Préfiltration Bollène	167.5	DM	3 000	4	22	16	20.1	15.8												
ecluse aval	190	DM	23 220	7	21.9	25.5	12.8	25	23.1	23.4	26.3									
St etienne de Sorts	204.2	CA	6 500	4	1	10.8	17.8	1.8												
Cèze	213.5	CA	140 000	15	17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
port Ardoise	214	CA	56 000	2	*	*														
Port Ardoise	214	CA	10 000	4	49.8	42	1.23	1												
Garage amont écluse	215	CA	15 000	6	25	16	89	21	12	37										
bassin de virement du Pontet	234	AV	11 000	6	21	23	32	27	18	8										
garage ecluse amt	234	AV	13 000	6																
Port vedette	239	AV	12 700	2	*	*														
garage ecluse aval	239	AV	5 000	3	27	44	19													
Port vedette	239	AV	2 000	2	24.4	26														
allée d'Oules	242	AV	1 300	2	18.6	19.9														
Dragage DURANCE	247	VA	430 000	15	7	13	5	5	3	5	7	8	7	1	12	12	12	4		
prise eau écluse Beaucaire	265	VA	9 615	7	20	23	58	66	28	19	31									
garage aval	265	VA	11 041	1	*															
Garage aval écluse	265	VA	10 000	4	10	6	1	1												
Palier d'Arles défluent	280	PA	32 000	7	35	35	36	35	36	35	35									
chenal	286	PA	6 000	8	*	*	*	*	*	*	*									
embouquement barc	316.8	PA	23 600	7	16.4	21.1	11.9	21.3	25	11.6	20.9									
Débouquement Barcarin	317	PA	15 000	6	14	8	6	7	13	1										
Palier d'Arles 267.5 à 281.3	275 à 280	PA	20 000	5	1	1	16	1	3											
			2 795 672	384																
2008-2010																				
2011																				
2012																				
en rose			valeur de la limite de quantification d'un congénère																	
*			limite de quantification atteinte, mais cette valeur n'est pas connue																	

Tableau 12 - Dragage d'entretien CNR 2008-2012-concentration en PCB sur les échantillons réalisés avant travaux

Les mesures montrent que les sédiments des dragages d'entretien du Rhône ont une teneur très faible en PCB entre la frontière suisse et Sault Brénaz (<10µg/kgMS). Les mesures réalisées pendant les chasses de Verbois en juin 2012 confirment cette analyse.

A l'aval de Lyon, il n'a pas été rencontré de « hot spot » de pollution, mais plutôt une pollution diffuse, avec ponctuellement des valeurs qui peuvent dépasser 60µg/kgMS, tout en restant inférieur à 1.5 fois cette valeur. Les analyses réalisées ne permettent pas de noter une augmentation des concentrations en PCB entre Lyon et la mer.

Enfin, une partie des chantiers concerne le dernier kilomètre des lits des affluents en amont du Rhône. Là encore les mesures ne montrent pas de « hot spot » particuliers.

A11.4 - MESURES DE RÉDUCTION DES IMPACTS DES TRAVAUX

Les dragages d'entretien du Rhône sont juridiquement très encadrés. L'article 4.4 de l'arrêté inter-préfectoral n°2011077-0004 du 18 mars 2011 précise les mesures de pilotage du chantier. La maîtrise de l'incidence de l'opération de dragage est pilotée par le paramètre turbidité. Les écarts maximums admissibles sont :

Turbidité à l'amont du chantier (en NTU)	Ecart maximal de turbidité entre l'amont et l'aval
< à 15	10
Entre 15 et 100	20
> à 100	30

Tableau 13 – Contrôle de la turbidité lié au chantier.

La mesure aval est faite à 3km, au plus, à l'aval du point de restitution des sédiments.... La mesure aval est la moyenne de trois mesures réalisées en rive droite, en rive gauche et dans l'axe du panache. Une mesure servant de référence est réalisée à 100m à l'amont de la zone draguée. La fréquence des mesures est de : 1 fois par jour la première semaine puis 2 fois par semaine, ainsi qu'à chaque changement de cadence. Pour les chantiers d'une durée supérieure à 3 semaines,... la fréquence de prélèvement passe à une fois par semaine.

Les schémas suivants illustrent la diffusion des sédiments restitués par une drague aspiratrice (la majorité des dragages) et un chaland lors du clapage (Entre 10% et 20% des volumes dragués).

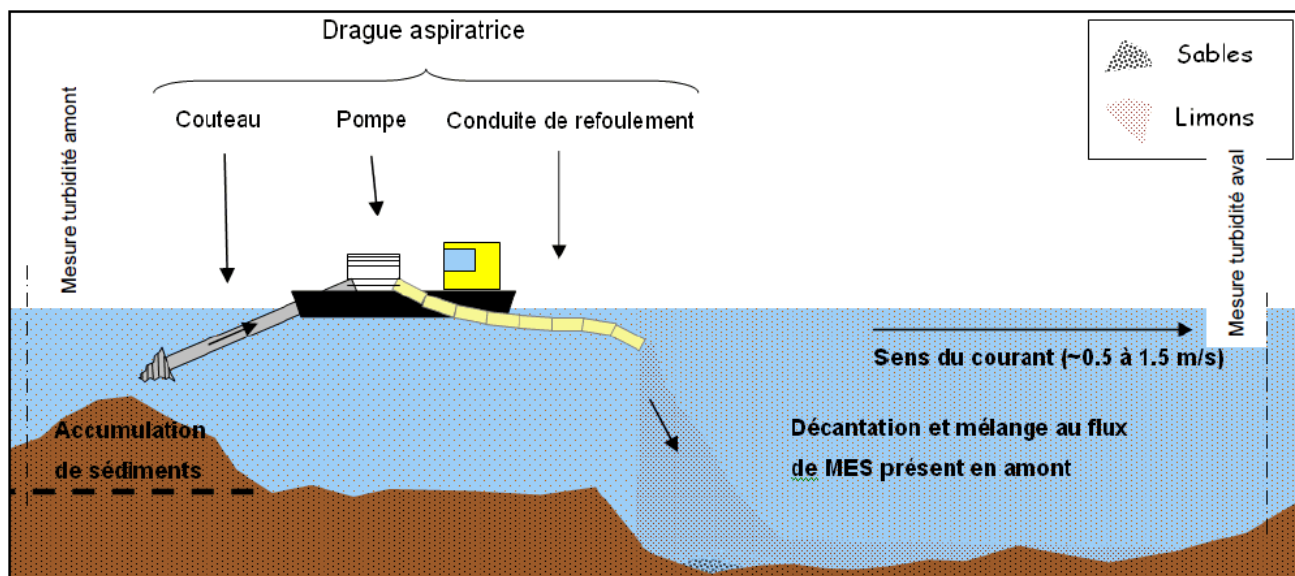


Figure 80 – Coupe longitudinale de fonctionnement d'une drague aspiratrice. Schéma de fonctionnement d'un chaland en train de restituer les sédiments par clapage.

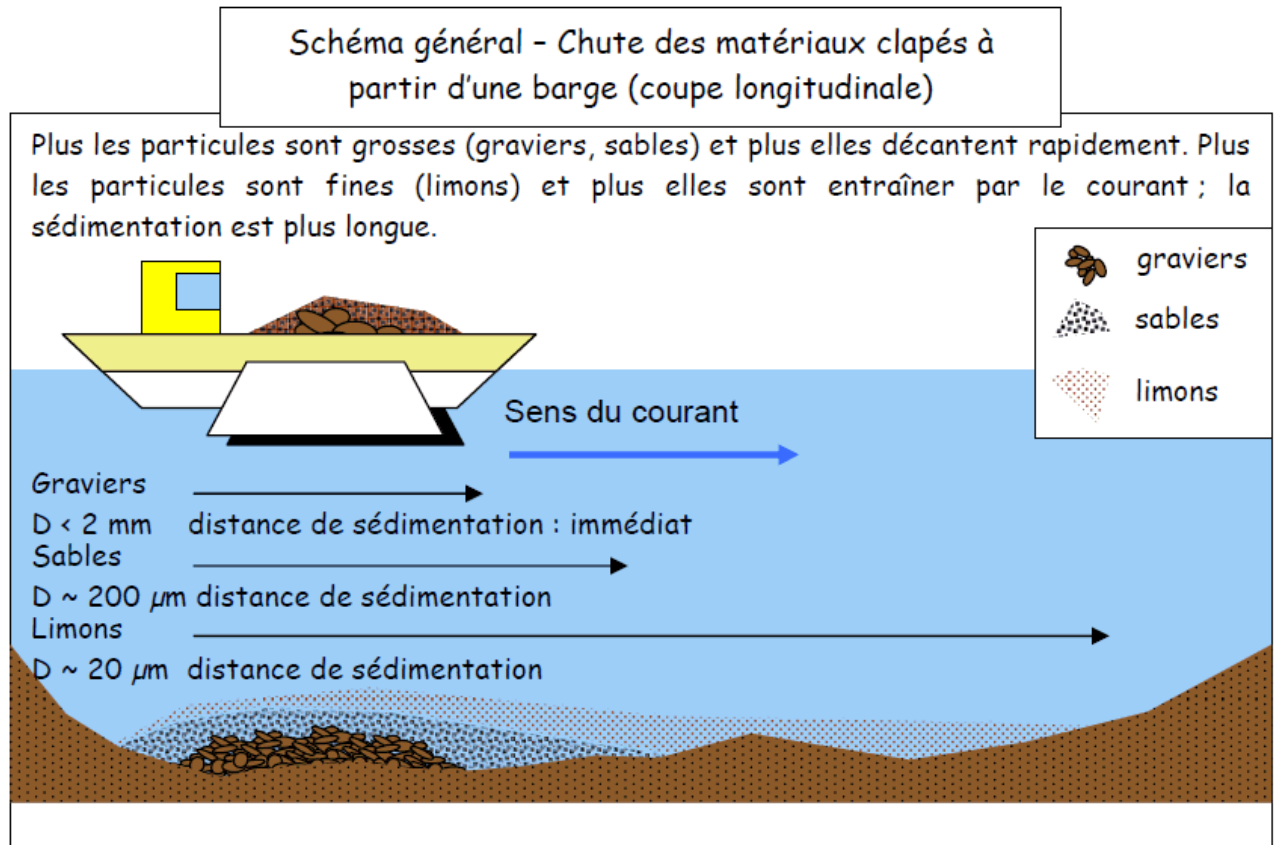


Figure 81 –Chute des matériaux clapés à partir d'une barge.

ANNEXES TECHNIQUES

A12 - SÉDIMENTS LIBRES/IMMOBILISÉS – OCCURRENCES PROBABLES

Cette typologie permet de pré-qualifier le ou les types de sédiments qui seront potentiellement rencontrés : sédiments libres et/ou sédiments immobilisés. Cela conduit à évaluer le risque de rencontrer des sédiments anciens qui peuvent être plus contaminés.

Type d'intervention		Sédiments libres	Sédiment immobilisés
Entretien chenal de navigation	Chenal dans le lit du cours d'eau	X	Seulement si surcreusement
	Désenvasement ouvrages	X	Seulement si surcreusement
	Garages d'écluse	X	non
	Darses	X	X
Création d'ouvrage (nouvel ouvrage ou redimensionnement d'ouvrage existant)	Creuser un chenal dans un cours d'eau ou un canal	X X - Si creusement dans un cours d'eau existant	X
	Nouvelle darse, plan d'eau, port,	X - Seulement si creusement dans un cours d'eau ancien ou existant	X
	Autres interventions : pile pont, remblai routier, passe à poisson, usine hydroélectrique, barrage, ...	X - Seulement si creusement dans un cours d'eau ancien ou existant	X
Entretien du cours ou plan d'eau	Renforcement et réhabilitation de berges	x	X
	Curage du cours d'eau	x	X
	Décolmatage des berges et du fond Entretien des ouvrages d'art	X	x
Action morphologiques	Dépôt de type casier Girardon	non	X
	Réactivation de lônes et bras morts	X - Si lône et bras-mort encore actifs, notamment lors des crues	X
	Faciliter le transport sédimentaire	X	x
Remobilisation d'accumulations de sédiments dans les cours d'eau	Atterrissements	X - A la marge	X
	Confluences	X - A la marge	X
	Ralentir le transport sédimentaire	X	non
Piège à sédiments		X	non
Extraction de sédiments contaminés		X	X
Chasses de sédiments accumulés dans les ouvrages de retenue		x	X
Entretien d'une retenue hydro-électrique	Dragage d'une retenue endiguée	X	x
	Dragage d'une confluence	X	x
	Dragage des ouvrages (sondes ...)	X	x

Tableau 14 - Dragage d'entretien CNR 2008-2012-concentration en PCB sur les échantillons réalisés avant travaux

A13 - ÉLÉMENTS POUR LA DÉCISION D'ENTREPRENDRE LES TRAVAUX

Dans le cas de processus dérogatoire aux principes généraux des recommandations, il convient de s'appuyer sur l'examen :

- d'une **liste d'avantages et désavantages**, qualifiés selon leur intérêt ou leur gravité ;
- dont un des termes majeur consiste en une **relativisation des impacts** sur le milieu aquatique, en proposant de **raisonner en flux de contaminants** remis en circulation plutôt qu'en seuils de concentration.

A13.1 - LISTES DES AVANTAGES ET DÉSAVANTAGES

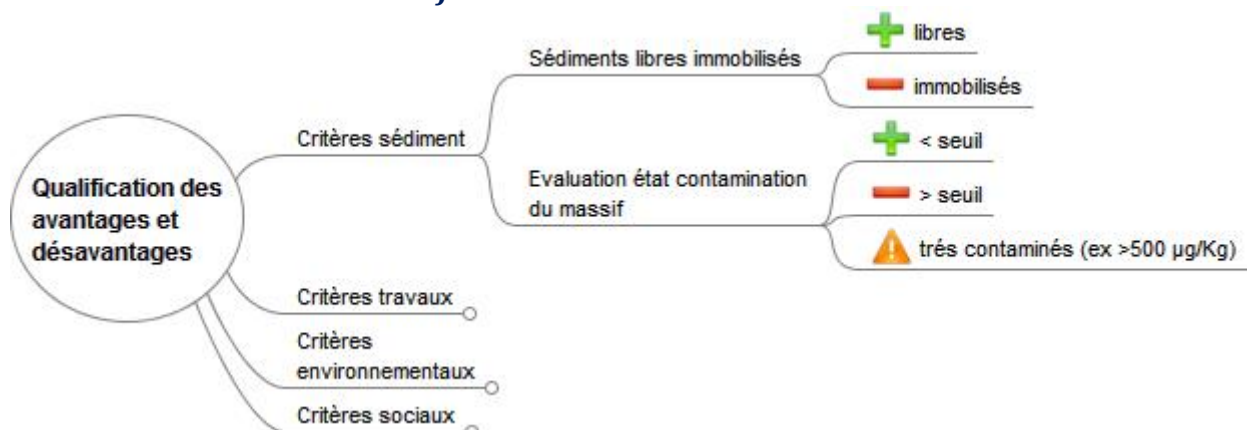
La décision d'entreprendre des travaux mettant en œuvre des sédiments aquatiques contaminés doit s'appuyer sur une analyse des avantages/inconvénients à réaliser ces travaux selon des critères qu'il convient de qualifier et de classer afin de les rendre les plus objectifs possibles.

Avertissements : Les critères qui sont listés ci-dessous sont spécifiques et réduits à la problématique sédiments aquatiques contaminés. Ils viennent en complément des critères classiques d'évaluation de l'impact.

Les critères sont répartis en 4 familles :

- Sédiments
- Travaux
- Environnementaux
- Sociaux.

A13.1.1 - Critères relatifs aux Sédiments



Sédiments libres-immobilisés

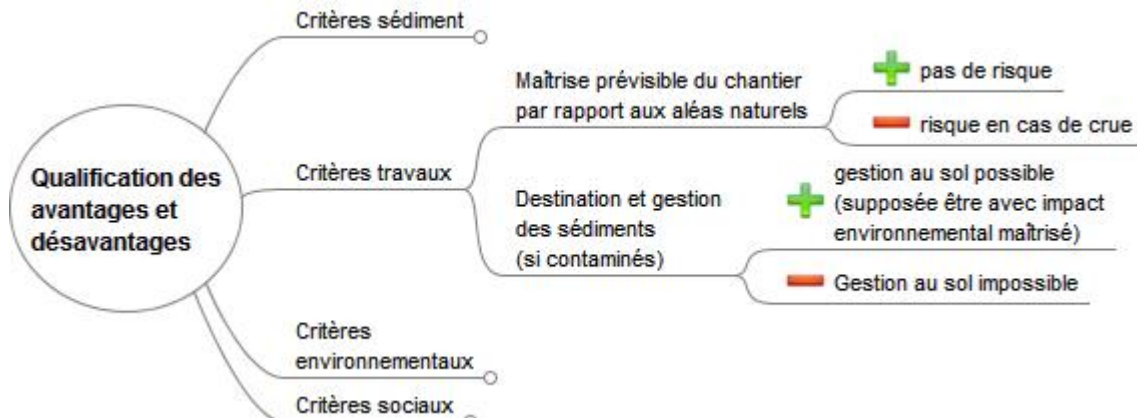
- o Les sédiments libres sont susceptibles d'être dispersés par le courant ou les crues : leur remise en eaux peut être considérée comme une possible anticipation d'un événement qui risque de se produire.
Critère neutre ou positif (à décider)
- o Les sédiments immobilisés, ne posent pas de problèmes tant qu'on n'y touche pas. La décision de les remettre à l'eau est lourde de conséquence.
Critère négatif.

Niveau de contamination des sédiments

En réalité, la qualification est plus complexe car on a généralement une multi-contamination (cf méthode écotox de type VNF, H14). Sur le seul critère PCB :

- Inférieurs au seuil : la dégradation aval ou périphérique est réelle mais mesurée dans son impact environnemental.
Positif
- Supérieur au seuil : il y a dégradation environnementale certaine.
Négatif
- Très sup. au seuil (ex : > 500 ??? µg/Kg) : on est à des niveaux prohibitifs qui devraient remettre en cause l'opération.
Opération impossible.

A13.1.2 - Critères relatifs aux travaux



Maîtrise prévisible du chantier par rapport aux aléas naturels

Renseigne sur le niveau d'aléa du chantier en lien avec les conditions naturelles et techniques pouvant être rencontrées pendant la réalisation (maîtrise des sédiments manipulés, impacts d'une crue survenant durant les opérations – lien avec la durée prévisible, ...)

Aléas chantiers :

- faibles : positif
- moyen : négatif
- forts (dont risque en cas de crue) : opération impossible si contamination supérieure à 100-200 ??

Destination et gestion des sédiments (si contaminés)

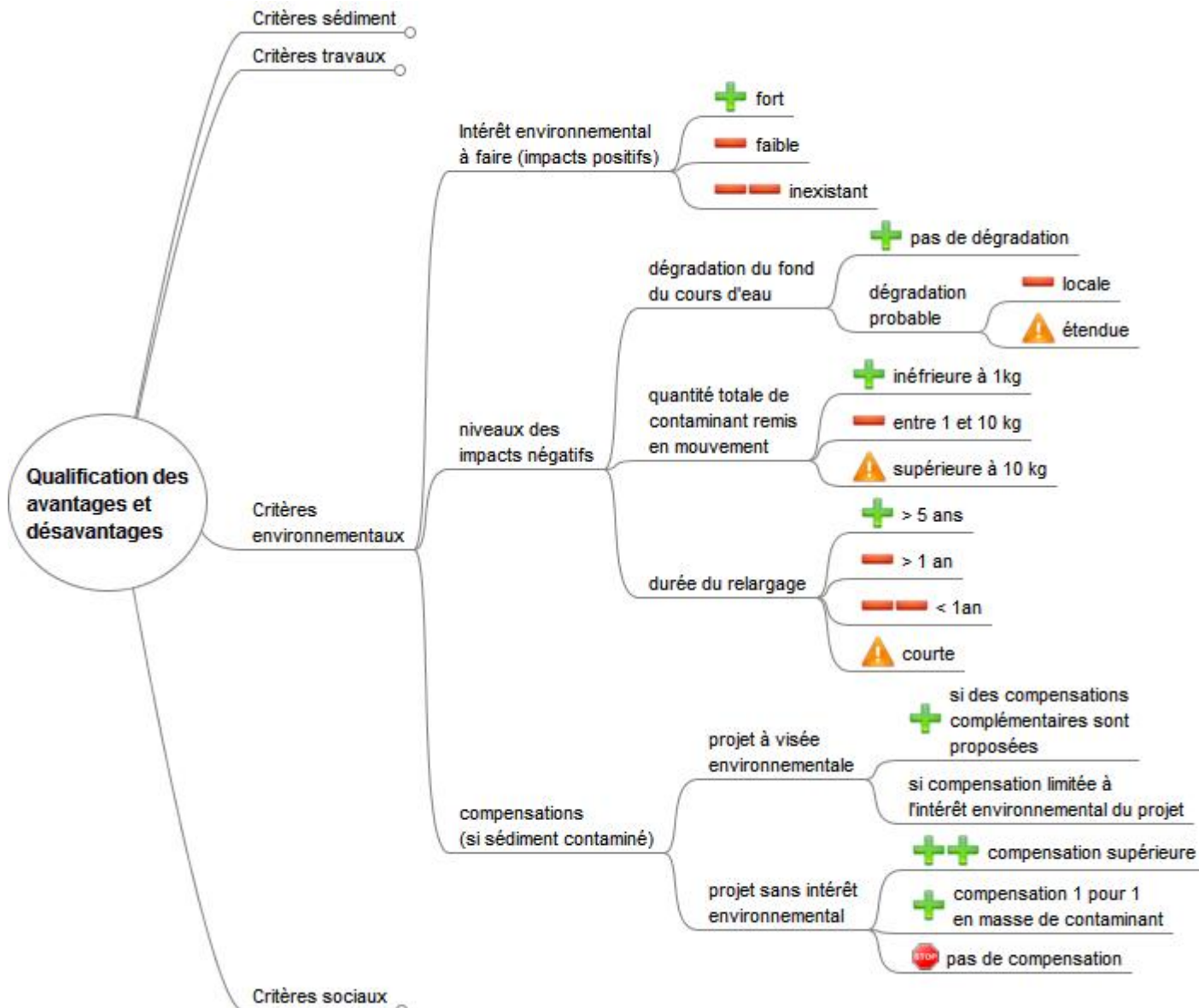
Gestion au sol possible (supposée être avec impact environnemental maîtrisé)

Dans le cas de sédiments faiblement contaminés caractérisés comme non dangereux, l'existence d'une possibilité de valorisation simplifie le problème en cas de nécessité d'extraction. A contrario, la difficulté à envisager une valorisation au sol (difficulté technique à charger sur barges ou camions, transport en camion très impactant, coûts induits justifiés comme exagérés, ...) force, si la décision de faire les travaux doit être prise, à une remise à l'eau des sédiments.

Gestion au sol :

- aisée : très positif
- possible : positif
- impossible : négatif

A13.1.3 - Critères environnementaux



Intérêt environnemental à faire

Opération motivée par un intérêt environnemental :

- Opération uniquement à visée environnementale : très positif
- Faible : négatif
- Inexistants : très négatif à « opération impossible » si impacts.

Impacts

Dégradation du fond du cours d'eau à l'aval ou en périphérie :

- Pas de dégradation : positif
- Dégradation probable locale : négatif
- Dégradation probable étendue : opération impossible

Quantité totale de contaminants remis en circulation :

- Inférieur à 1 Kg de PCB_i : positive ou neutre
- Entre 1 et 3 Kg : négative (modifier chiffre dans schéma)
- Sup à 3 Kg : opération impossible ? Quota annuel dépassé.

Durée du relargage (ne change pas la quantité de contaminants remis en circulation ni la quantité qui arrivera en mer, mais diminue la biodisponibilité par réduction des concentrations des sédiments déposés) :

- Sup. 5 ans : positif
- Inf. 1 an : négatif
- Inf. 1 an : très négatif
- Courte : opération impossible si sédiments contaminés et vol. important (devrait être réglé par calcul)

Compensations

La compensation doit être évoquée lorsque les travaux ont un impact négatif sur l'environnement.

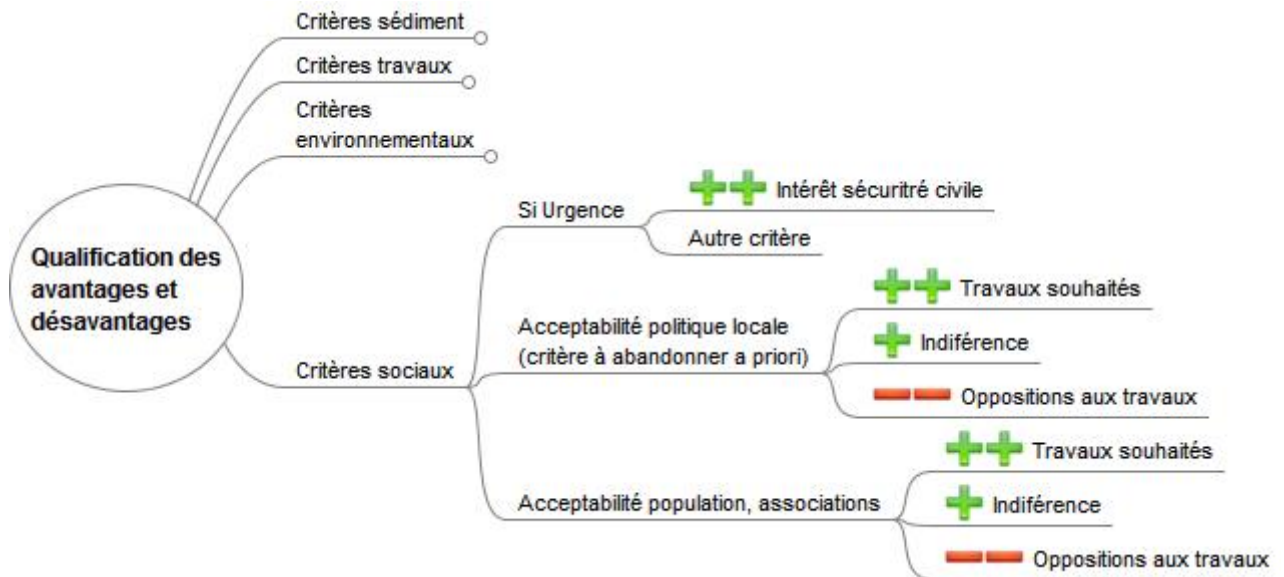
Si l'opération a un intérêt environnemental, on peut considérer que la compensation est la motivation de l'opération, à condition de donner les éléments d'équilibre entre avantages/désavantages pour vérifier qu'on n'a pas un déséquilibre : intérêt environnemental moyen et impact fort :

- Compensations complémentaires : positif
- Pas de compensations complémentaires : neutre.

Si l'opération n'a pas d'intérêt environnemental, la compensation ne peut être recherchée que dans une contre-mesure visant à diminuer une source de contaminant dans les mêmes proportions que les contaminants remis dans le milieu : recherche et traitement de décharge sauvages, traitement d'un point chaud, ... :

- Compensation supérieure à impacts (plus de contaminants éliminés sur un site contaminé (le même ou un autre site) que de contaminants remis en circulation dans le milieu aquatique par l'opération) : très positif
- Compensation à 1 pour 1 : positif
- Pas de compensation : opération impossible

A13.1.4 - Critères sociaux



Urgence

Ce critère est difficile à manipuler. On suppose que le critère d'urgence est attribué par l'autorité administrative avec discernement. Vérifier toutefois que l'urgence n'exclue pas des mesures de réduction des impacts comme une remise à terre provisoire, une limitation de l'intervention au strict nécessaire, ...

Acceptabilité : politique locale

Renseigne sur le contexte politique local. Décrit l'importance relative de l'aspect politique de la décision à faire ou ne pas faire.
Maintien à discuter avec le groupe.

Situation du projet en regard du droit

A rajouter au schéma ???

Renseigne sur les possibles difficultés d'ordre juridique, voire les conflits de droit que le projet soulève, tant par une décision de le faire que de ne pas le réaliser. Décrit l'importance relative de l'aspect politique de la décision à faire ou ne pas faire.

Paramètre : aucun obstacle réglementaire, difficulté réglementaire/juridique prévisible.

Acceptabilité : populations, Associations

Renseigne sur le contexte d'acceptation/opposition des populations locales et associations. Décrit l'importance relative de l'aspect politique de la décision à faire ou ne pas faire.

- Travaux souhaités : très positif
- Indifférence : positif
- Opposition : très négatif ? ou négatif ?

A14 - ECHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS

A14.1 - PREAMBULE

Rappel sur les étapes de chaîne complète du diagnostic sédimentaire :

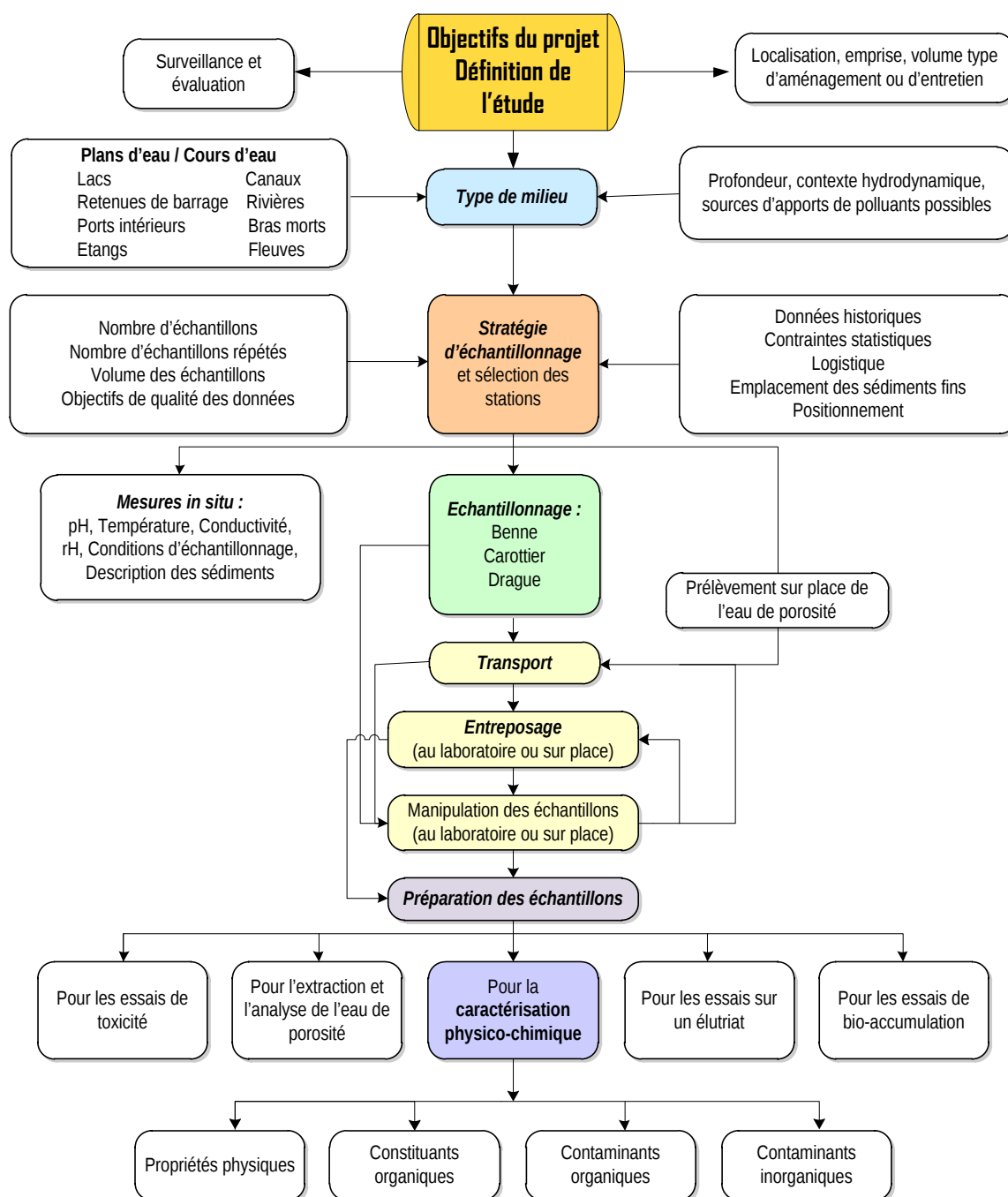


Figure 82 : Organigramme de la chaîne complète d'un diagnostic sédimentaire [d'après Env. Canada, 1994]

A14.2 - STRATÉGIES D'ÉCHANTILLONNAGE

La définition du plan d'échantillonnage est la première étape de la campagne diagnostic du massif sédimentaire. De sa pertinence dépendent largement les interprétations qui seront posées à l'issue de la phase d'analyses physico-chimiques. L'objectif du plan d'échantillonnage est donc de garantir la représentativité horizontale et verticale du degré de contamination du gisement de sédiment.

Actuellement, il n'existe pas de prescriptions réglementaires définissant les modalités d'échantillonnage des sédiments en cours d'eau ou plan d'eau, à l'image de ce qui existe dans le cadre des opérations de dragage en milieu maritime [METL, 2000 : Circulaire n°2000-62 du 14 juin].

Pour rappel, la réglementation nationale [JORF n°147 - Arrêté du 30 mai 2008 – Article 5] indique qu'en cas d'opération de curage « *les échantillons de sédiment doivent être représentatifs du contexte local au moment des travaux. En particulier, leur nombre et les modalités d'obtention doivent être cohérents avec la surface concernée, la nature granulométrique et physico-chimique du sédiment* ».

A14.2.1 - Définition d'un plan d'échantillonnage

a) Représentativité horizontale ou maillage

Le nombre des stations de prélèvement est une question d'échelle de projet et d'objectif de représentation. L'effort d'échantillonnage à prévoir peut s'apprécier selon la portée même du projet ou de l'étude (depuis un diagnostic ponctuel, par exemple les dépôts sédimentaires face à un point de rejet, jusqu'au schéma directeur départemental du curage de canaux).

La représentativité horizontale de l'échantillonnage est gouvernée par le positionnement et la densité des stations de prélèvement qui dépendent des spécificités propres aux opérations et travaux sur sédiment.

La littérature propose plusieurs méthodes pour positionner des stations de prélèvement selon différents types de milieux (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Parmi celles-ci, les méthodes dites aléatoires, ciblées et statistiques sont les plus répandues et permettent d'orienter le Maître d'Ouvrage.

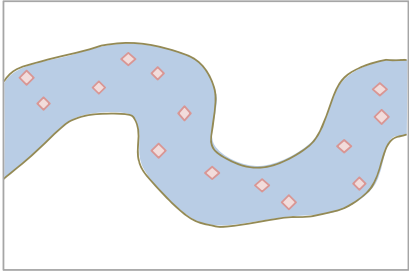
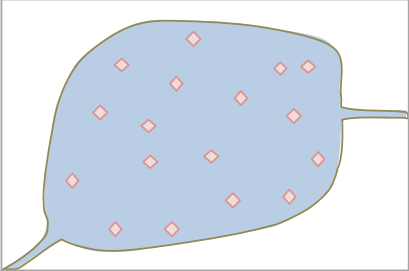
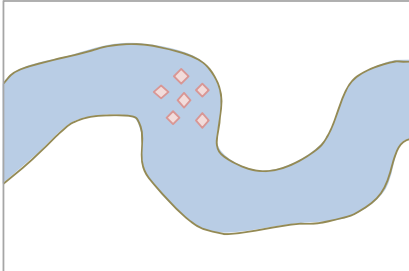
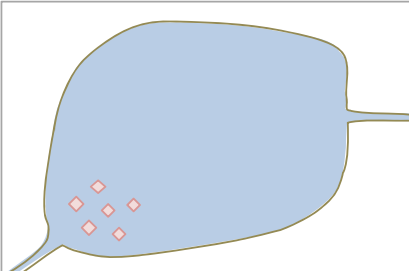
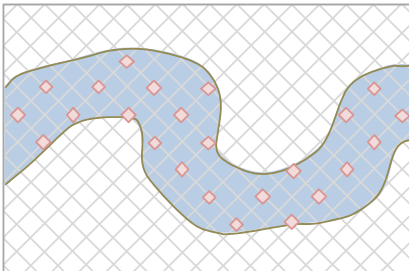
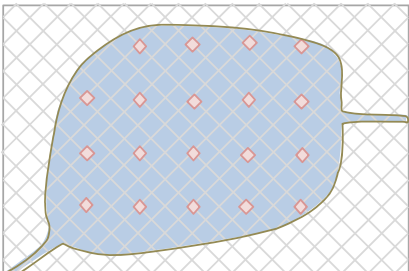
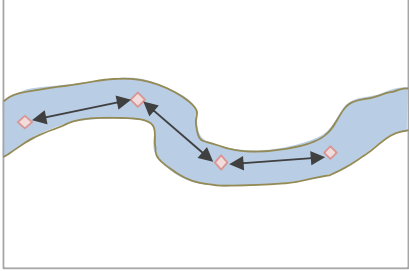
<i>Milieu fluviatile</i>	METHODE ALEATOIRE	<i>Milieu lacustre</i>
	Prélèvements de façon aléatoire sur l'ensemble de la zone d'étude <i>Exemple</i> : Endroits les plus faciles d'accès <i>Condition</i> : Zone étudiée de nature homogène	
<i>Milieu fluviatile</i>	METHODE CIBLEE OU ORIENTEE	<i>Milieu lacustre</i>
	Prélèvements de façon précise sur une zone jugée pertinente pour l'étude et susceptible de contenir des sédiments contaminés <i>Exemple</i> : Zone d'accumulation de sédiment, zone de rejet,...	
<i>Milieu fluviatile</i>	METHODE STATISTIQUE	<i>Milieu lacustre</i>
	Prélèvements en fonction d'un maillage régulier et homogène sur l'ensemble de la zone étudiée <i>Condition</i> : Prélèvements équidistants	
	<i>Exemple du haut</i> : milieux fluviatiles <i>Exemple du bas</i> : cours d'eau de faible largeur ou canaux artificiels	

Figure 83 : Principales méthodes de positionnement des stations de prélèvement

Nota : pour un projet donné, le couplage de ces différentes approches (méthodes combinées) est parfois nécessaire pour rendre compte de l'hétérogénéité de la zone d'étude.

Sur le terrain : Les coordonnées géographiques des stations doivent être enregistrées systématiquement après chaque prélèvement. L'utilisation d'un GPS permet d'atteindre le degré de précision habituellement attendu de ± 10 m (diamètre du cercle figurant la station de prélèvement). Il est cependant préférable d'avoir recours à un GPS différentiel de précision inframétrique.

En l'absence de prescriptions réglementaires, l'effort d'échantillonnage à prévoir s'apprécie en premier lieu au regard des critères suivants :

Objectifs du projet : - L'objet de l'étude : curage d'entretien, surveillance du milieu, projet d'aménagement ; - Volume de sédiment potentiellement mobilisable ; - Le niveau de précision recherché pour caractériser le massif (du pré-diagnostic au diagnostic approfondi)
Zone d'étude : - Etendue du projet (surface concernée m²/ha, km²), - Typologie du milieu : dépôts homogène/hétérogène, zone ouverte (eau libre) ou confinée (darse) - Contexte hydrodynamique ; - Les sources d'apports dans le milieu ; - Données historiques : connaissance <i>a priori</i> du gisement (analyses antérieures, suivis...), degré de remaniement, plan d'aménagement.
Contraintes de terrain et d'analyse : - Volume à collecter ; - Contraintes d'accès et contraintes matériel ; - Contrainte budgétaire du diagnostic.

Tableau 15 : Ajustement du nombre de station en fonction du niveau de contamination

b) Représentativité verticale

La représentativité verticale des sédiments vise à caractériser les strates sédimentaires représentatives du projet (prélèvements de surface et/ou en profondeur).

Les prélèvements sur toute la hauteur du massif ne sont pas toujours indispensables, comme par exemple sur des opérations impliquant une remobilisation des premiers centimètres du sédiment superficiel (10 à 15 cm maximum), à l'instar des projets de battage de palplanches, de curage d'entretien régulier, ou de suivi qualitatif du milieu sédimentaire.

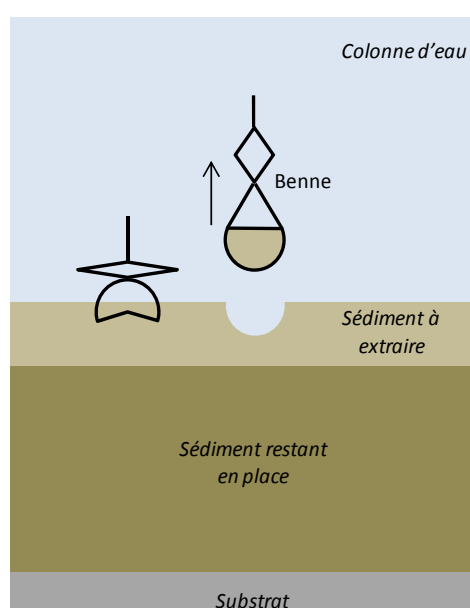


Figure 84 : Schéma de principe d'un prélèvement de sédiment superficiel.

A contrario, les opérations impliquant des épaisseurs de sédiment importantes nécessitent d'évaluer l'état de contamination du gisement sur toute sa composante verticale (dragage, vidange de barrage).

Il est recommandé également sur les dépôts anciens, témoins d'une pollution historique, de connaître la qualité des matériaux restant en place à l'issue du projet (curage d'approfondissement, opération de dépollution). Cette démarche est à même de renseigner un Maître d'Ouvrage sur les risques de dégradation du milieu et des objectifs de bon état écologique à atteindre dans le cadre de la DCE.

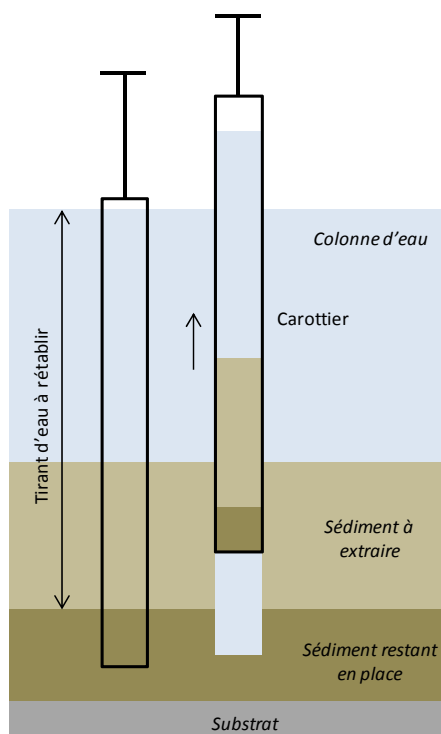


Figure 85 : Schéma de principe d'un prélèvement carotté de sédiment.

A14.2.2 - Constitution d'un échantillon

c) Réalisation d'un échantillon ponctuel

Un échantillon ponctuel (ou échantillon premier) est issu d'une seule et même station de prélèvement, mais devrait être systématiquement obtenu à partir de plusieurs prélèvements successifs pour augmenter la représentativité du contexte sédimentaire local.

L'analyse d'un échantillon ponctuel est mise en œuvre lorsque l'on cherche à diagnostiquer plus finement un gisement sédimentaire sur une zone donnée (méthode d'échantillonnage ciblée).

Sur le terrain : Au préalable, chaque station de prélèvement recevra un nom ou un numéro pour faciliter la prise de note sur le terrain, l'étiquetage et le suivi des échantillons.

d) Réalisation d'un échantillon moyen

La réalisation d'un échantillon moyen (ou échantillon composite) peut s'avérer nécessaire lorsque l'on cherche à caractériser une situation moyenne, par exemple lorsque la zone d'étude est relativement étendue (curage d'entretien sur un linéaire important et homogène). Les échantillons moyens sont généralement obtenus à partir de trois échantillons ponctuels.

Sur le terrain : Il convient de s'assurer de ne pas réitérer un prélèvement sur un même emplacement pour éviter l'échantillonnage d'un sédiment déjà remanié.

La constitution d'un échantillon moyen à partir d'échantillons ponctuels très différents (texture, granulométrie,...) est fortement déconseillé car peu représentative d'un seul et même faciès de dépôt. Dans ce cas, l'analyse séparée des échantillons ponctuels est une solution, avant de revoir le plan d'échantillonnage.

e) Exemple d'application

Les deux modes d'échantillonnages précités peuvent être utilisés en concomitance sur un même projet. La figure suivante illustre l'approche d'échantillonnage mise en œuvre dans le cadre des opérations prévisionnelles de curage des ports du Lac du Bourget. La démarche a consisté à diagnostiquer la qualité des sédiments en se basant sur la distribution des volumes de sédiment portuaire à l'échelle du projet (médiane $\approx 500 \text{ m}^3$) :

- Cas n°1 : Volume de sédiment à curer $< 500 \text{ m}^3$;
- Cas n°2 : Volume de sédiment à curer $> 500 \text{ m}^3$.

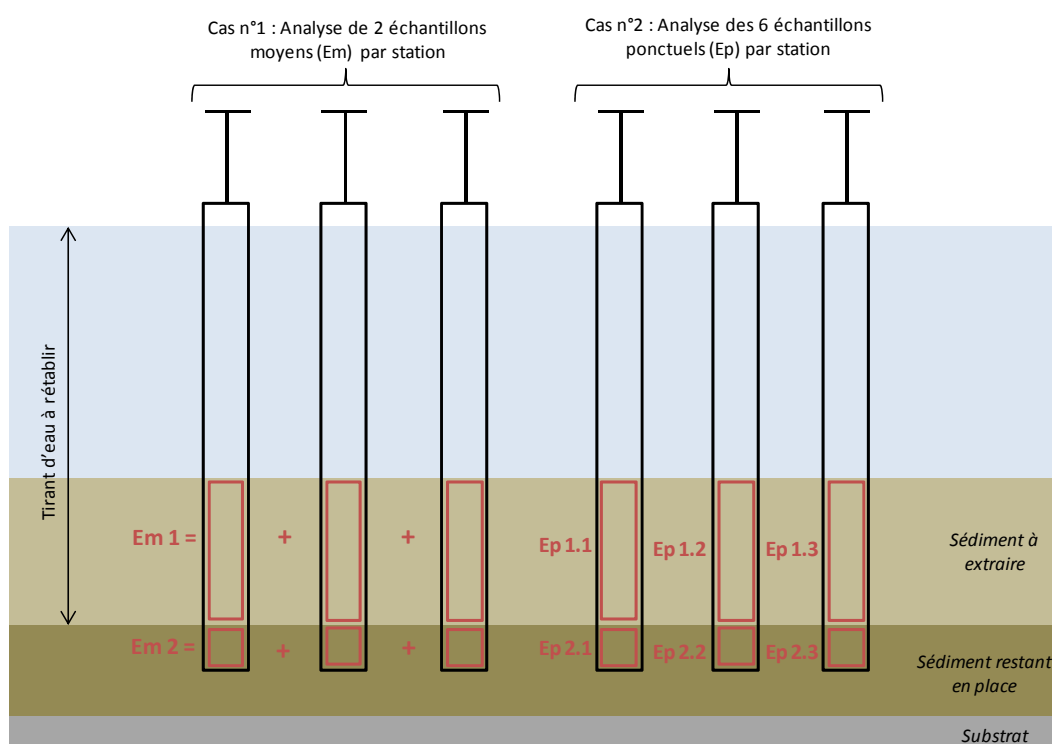


Figure 86 : Exemple de stratégie d'échantillonnage de sédiment portuaire [CALB/IDRA]

f) Fiche de prélèvement

Les prélèvements sont déposés indemnes dans un réceptacle (goulotte inox par exemple) pour y être détaillées et photographiées. L'ensemble des données recueillies est consigné au sein d'une fiche descriptive qui fait apparaître les éléments suivants :

- Les références et les coordonnées géographiques du point de prélèvement ;
- Les dates et heures du prélèvement ;
- Le nom du ou des opérateurs sur site ;
- Les moyens de prélèvements utilisés ;
- Les hauteurs de sédiments échantillonnés ;
- La nature, la couleur et la structure du prélèvement (constat organoleptique) ;

...

Un exemple de fiche terrain est proposé au sein de la « **Fiche Prélèvement** ».



De même, les « **Fiches Milieux** » détaillent les principaux types de milieux rencontrés et les stratégies à adopter :

- *Barrage / retenue hydraulique ;*
- *Canaux navigables*
- *Ruisseaux ;*
- *Fleuve : marges alluviales (casier Girardon, atterrissement en berge).*

g) Conditionnement et transport des échantillons

Entre chaque prélèvement, il convient de s'assurer d'un nettoyage rigoureux du matériel, avec l'eau du site ou avec de l'eau déminéralisée, pour limiter les risques de contamination des échantillons. Ceci est particulièrement vrai pour les outils de prélèvement et de conditionnement (cuillère ou spatule au revêtement non altéré).

Les échantillons de sédiment seront conditionnés dans des récipients 1 à 2 litres en verre ou en matériaux polymères (polyéthylène, polypropylène ou polystyrène cristal).

Dans le cadre de l'analyse d'échantillons moyens, il est fortement recommandé de procéder aux phases de mélange et d'homogénéisation des échantillons ponctuels en laboratoire. Sur le terrain, les sources de contamination sont trop importantes et les proportions volumiques de chaque échantillon ponctuel difficilement appréciables pour garantir la juste représentativité de l'échantillon moyen.

Les échantillons de sédiment doivent être impérativement transportés au laboratoire dans les 24 heures suivant la phase de prélèvement. Les flacons référencés selon le plan d'échantillonnage seront maintenus, lors du transport, à l'abri de la lumière et à une température comprise entre 2°C et 8°C (NF EN ISO 5667-15, 2009). L'utilisation d'une glacière isotherme (ou électrique) et de blocs réfrigérants permettront de garantir ces conditions de transport.

Au laboratoire, la durée de stockage des échantillons devra être réduite au maximum avant de porter les analyses et particulier les tests écotoxicologiques. A titre indicatif, les prescriptions de stockage sont détaillées dans le tableau ci-après :

<i>Paramètres</i>	<i>Durée de stockage</i>	<i>Conditions de stockage</i>
Analyse chimiques sur sédiment brut	2 semaines max	Conservation à l'obscurité dans un réfrigérateur à 4 ± 2°C
	6 mois max	Conservation à l'obscurité dans un congélateur à -20°C
Analyse chimique sur eau interstitielle	Procéder aux analyses immédiatement pour éviter toutes transformations physico-chimiques	
Test écotoxicologique	2 semaines max	Conservation à l'obscurité dans un réfrigérateur à 4 ± 2°C

Tableau 16 : Conditions et durée de stockage au laboratoire [d'après Env. Canada]

h) Démarche qualité

Dans la chaîne de mesure de la qualité des sédiments potentiellement contaminés, l'étape d'échantillonnage est le premier maillon qui peut introduire une erreur importante. Il est donc primordial d'opérer avec le plus grand soin et de s'assurer que le personnel préleveur justifie d'une formation et de l'expérience suffisante en la matière.

Il n'existe pas pour l'instant d'accréditation spécifique pour les prélèvements de sédiment. L'accréditation COFRAC¹⁹ concerne les prélèvements d'eau et est généralement réservée aux laboratoires et aux unités de prélèvements associées. Une norme (ISO 5667-12) spécifique aux sédiments est à ce jour à l'étude [AFNOR].



A défaut de justificatifs normalisés, un plan d'assurance qualité peut être demandé aux prestataires pour la mission de prélèvement (cf. Fiche « PAQ »).

Le prestataire réalisant les prélèvements ou le laboratoire sous-traitant doit idéalement conserver un double de chaque prélèvement réalisé sur le terrain. Cette étape, qui nécessite certes un effort supplémentaire d'échantillonnage en terme de volume, est réalisée avec deux objectifs différents :

- A des fins de contrôle de la prestation, par la réalisation d'analyses en double, soit dans le même laboratoire (réplicabilité), soit dans deux laboratoires différents (reproductibilité). Une comparaison statistique inter-stationnelle devient alors possible (calcul d'un écart-type,...) ;
- Dans le cadre d'analyse d'échantillons moyens pour déceler dans des échantillons premiers conservés une origine plus précise de la contamination.

A14.2.3 - Exemples de stratégies d'échantillonnage

En l'absence de réglementation, des Maîtres d'Ouvrage comme la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) et les Voies Navigables de France (VNF) ont développé en interne des protocoles sur le nombre de stations et d'analyses à réaliser dans le cadre de leurs activités.

i) Protocole d'échantillonnage Compagnie Nationale du Rhône (CNR)

La CNR propose un nombre de station de prélèvement en fonction des volumes de sédiment à curer. Les analyses associées aux prélèvements dépendront des épaisseurs de matériaux en jeu (échantillonnage séquentiel).

Volume de matériaux à extraire (m³)	Nombre de stations	Epaisseur du sédiment (m)	Nombre d'échantillons à analyser
2 000 à 10 000	1	0 - 1	1
10 000 à 20 000	2	1 - 2	2 (1 surface / 1 fond)
20 000 à 40 000	3	2 - 4	3 (1 surface / 1 milieu / 1 fond)
40 000 à 80 000	4	4 - 8	4 (1 surface / 2 milieu / 1 fond)
80 000 à 160 000	5	+ 8	5 (1 surface / 3 milieu / 1 fond)
> 160 000	6		

Tableau 17 : Protocole d'échantillonnage de la CNR

¹⁹ COFRAC : Comité Français d'Accréditation

j) Protocole d'échantillonnage VNF

Le protocole VNF fournit un nombre d'analyses à lancer en fonction des volumes de sédiment en jeu et du contexte rural ou urbain (présomption de pollution). VNF précise que les analyses portent sur toute l'épaisseur du sédiment à curer.

CONTEXTE RURAL		CONTEXTE URBAIN
<i>Volume de matériaux à extraire (m³)</i>	<i>Nombre d'échantillons à analyser</i>	
< 25 000	Au minimum 1 échantillon par tranche de 10 000 m³	Au minimum 1 échantillon par tranche de 5000 m³
> 25 000	Au minimum 3 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 20 000 m³	Au minimum 5 échantillons, puis 1 échantillon par tranche de 10000 m³
	Exemple : 13 000 m ³ → 2 échantillons minimum	Exemple : 13 000 m ³ → 2 échantillons minimum

Tableau 18 : Protocole d'échantillonnage VNF [VNF, 2011]

Concernant le nombre exact de prélèvement, VNF suggère de l'adapter en fonction du contexte local. La suspicion d'une zone contaminée (accumulation de sédiment, présence de rejets,...) impose une analyse de chaque prélèvement. A l'inverse, l'analyse d'un échantillon moyen constitué de plusieurs prélèvements ponctuels (3 généralement) est acceptable sur la zone d'étude exempte de contamination *a priori*.

k) Proposition de stratégie d'échantillonnage

Compte tenu de la multitude de situations possibles et de la complexité de certains projets, il est difficile, voire illusoire, de proposer une « doctrine » d'échantillonnage à appliquer en routine. Bien souvent une adaptation au cas par cas est nécessaire. Néanmoins, des points de convergence identifiés dans la littérature (critères discriminants du volume, du contexte, et de la profondeur de sédiment remobilisé) permettent de proposer ici une approche à destination des maîtres d'ouvrage ou services de l'état sur laquelle s'appuyer.

La stratégie s'appuie en premier lieu sur le protocole d'échantillonnage VNF à la différence près qu'elle n'indique non pas un nombre d'analyses à lancer mais un nombre de stations de prélèvement à considérer, en fonction des volumes de sédiment en jeu (*Tableau 19*).

<i>Volume de matériaux à extraire (m³)</i>	<i>Nombre de station de prélèvement</i>
< 2 000	1
2 000 à 10 000	2
10 000 à 25 000	4
25 000 à 50 000	6
> 50 000	6 + 1 par tranche de 10 000 m³ supplémentaire

Tableau 19 : Nombre de station de prélèvement

Le nombre de stations sera adapté par le Maître d’Ouvrage sur la base de ses connaissances du milieu et en particulier de la présomption d’une contamination. Le *Tableau 20* ci-dessous propose 3 facteurs multiplicatifs pour ajuster le nombre de station (n) à échantillonner en fonction du niveau de connaissance du site (degré de contamination pressenti du milieu, historique... cf.).

Volume de matériaux à extraire (m³)	Niveau de connaissance du site		
	Bon (n x 1)	Moyen à faible (n x 2)	Nul (inconnu) (n x 3)
< 2 000	1	2	3
2 000 à 10 000	2	4	6
10 000 à 25 000	4	8	12
25 000 à 50 000	6	12	18
> 50 000	6 + 1 par 10 000 m³ supplémentaire	(6 + 1 par 10 000 m³ supplémentaire) x2	(6 + 1 par 10 000 m³ supplémentaire) x3

Tableau 20 : Ajustement du nombre de stations en fonction du niveau de contamination

Certains contextes sédimentaires sont très peu propices à la contamination (par ex. les plages de dépôts grossiers torrentiels – *ONF RTM de l’Isère*), la nécessité de porter une analyse physico-chimique apparaît très peu justifiée.

Sur le terrain : Il est recommandé de réaliser plusieurs prélèvements ponctuels par station (3 généralement) pour constituer un échantillon moyen à analyser en laboratoire (cf. *Chap. A14.2.2* -).

Selon le degré de précision recherché, le Maître d’Ouvrage pourra également analyser chaque prélèvement ponctuel pour densifier le nombre de stations et ainsi augmenter la représentativité horizontale du plan d’échantillonnage.

Enfin, il est important également de tenir compte des épaisseurs de sédiment en jeu et de procéder à un sous échantillonnage (moyen ou non) pour analyser l’ensemble des strates représentatives du projet (*Tableau 21*).

Epaisseur du sédiment (m)	Nombre d’échantillons à analyser
0 - 1	1
1 - 2	3
2 - 4	4
4 - 6	6
> 8	8
	(+1 par tranche de 1 m supplémentaire)

Tableau 21 : Nombre d’échantillon à réaliser en fonction des épaisseurs de sédiment en jeu

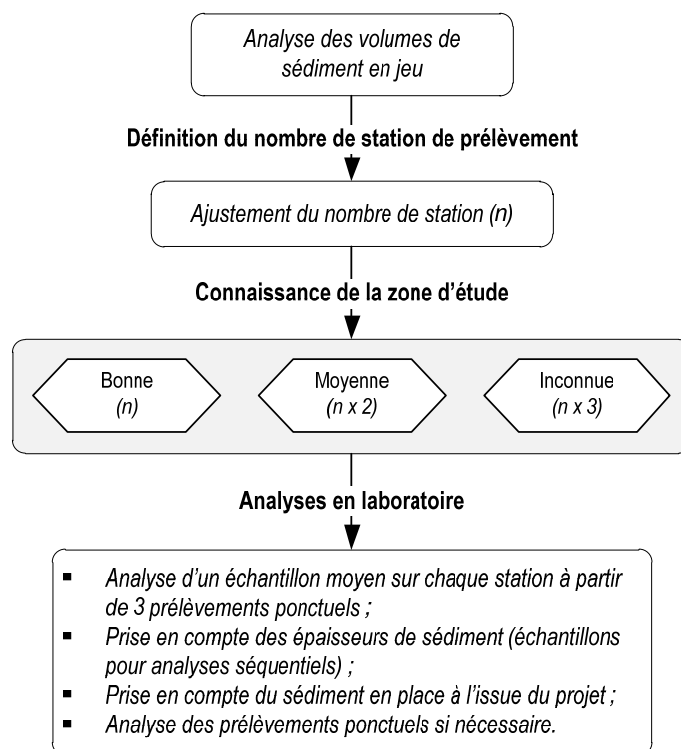


Figure 87 : Logigramme récapitulant la stratégie d'échantillonnage

l) Volume de sédiment à prélever

Sur le terrain : Les quantités de sédiment à collecter sont édictées par les besoins affichés par les laboratoires d'analyses. A titre indicatif, les volumes couramment demandés sont présentés dans le tableau suivant :

	Volume moyen à collecter
Analyses physico-chimiques sur brut	
Contaminants inorganiques (ETM)	
Contaminants organiques (PCB)	
Autres paramètres (COT, teneur en eau, densité...)	1 L
Granulométrie	
Hydrocarbures (HCT, HAP)	0,5 à 1 L
Essais biologique (tests d'écotoxicité, bioaccumulation)	1 à 3 L
Extraction de l'eau porale	2 L
Préparation d'un éluat	1 L

Tableau 22 : Volume de l'échantillon requis pour porter les analyses physico-chimiques [d'après ENV. CANADA, 1994 et échanges laboratoires]

On relèvera cependant qu'en cas de prélèvement sur une station pauvre en matériaux fins (la fraction sédimentaire limono-argileuse <63 µm est la plus propice à fixer les contaminants), le volume à collecter avant tamisage peut rapidement devenir rédhibitoire.

De plus, la manipulation sur le terrain (tamisage), donc en dehors de tout contexte de laboratoire, est à proscrire autant que possible pour ne pas risquer de dénaturer les échantillons (lessivages des particules, resolubilisation des contaminants associés). Les points suivants doivent donc être soulevés :

- i) *y-a-t-il possibilité de déplacer la station, tout en restant dans le champ du projet ?*
- ii) *si aucun faciès d'accumulation ne permet de répondre à ces conditions, l'incidence du projet devient négligeable au regard des risques associés à la qualité physico-chimique des sédiments remobilisés. Le diagnostic peut légitimement être simplifié sur le secteur concerné.*
- iii)

A14.2.4 - Moyens de prélèvement

Les trois principaux moyens de prélèvement sont basés sur le principe de fonctionnement de la drague, de la benne et du carottier.

Les modèles de drague et bennes, relativement faciles à utiliser, conviennent à la plupart des substrats et sont relativement économiques. Elles permettent un échantillonnage du **sédiment superficiel**.

Les modèles de carottiers sont nombreux et utilisés préférentiellement pour obtenir un échantillon peu ou non dénaturé du sédiment (**prélèvement carotté**). Ils permettent ainsi de bien appréhender la représentativité verticale du massif sédimentaire et limitent les biais de mesures associés à remobilisation de la matrice sédimentaire.

Le choix d'un moyen de prélèvement par rapport à un autre dépend des objectifs de l'étude et des exigences du terrain. Sa sélection passe par l'analyse des éléments de décision suivants :

- *Quel est le milieu d'intervention ? Eau douce, estuaire, marais, port, rivière, lac,...*
- *Quelles sont les conditions de terrain ? Profondeur, courant, embarcation, accès à pied,...*
- *Quels sont les moyens mis en œuvre ? Potence de relevage, treuil, mains,...*
- *Quel est la nature des sédiments ? Indurés, meubles, fraction en cailloutis ou en matériaux grossier, végétation,...*

m) Prélèvement des sédiments superficiels

▪ *Raclette à sédiment*

La raclette est adaptée pour prélever les premiers centimètres du sédiment (crème de vase ou « *couche néphéloïde* »), en particulier dans le cas de diagnostics aux interfaces d'échanges eau/sédiment. L'eau surnageant est évacuée grâce à de petits trous situés à son extrémité. Son utilisation est simple mais fait appel à des plongeurs expérimentés.

Ses limites d'utilisation sont celles de la plongée : contrainte de profondeur, sécurité de l'intervention, turbidité de l'eau et courants.



Figure 88 : Raclette à sédiments.

▪ *Benne Eckman*

Cette benne légère est destinée aux prélèvements de vases meubles sur une épaisseur d'environ 10 cm. Elle est équipée d'une boîte de section carrée en acier inoxydable avec deux mâchoires fermantes. Lorsque la benne touche le fond, les mâchoires sont déclenchées grâce à la chute d'un messenger sur la ligne de suspension.

Son principal inconvénient est de perdre son contenu à la remontée si un élément plus grossier obstrue ses mâchoires (végétaux, cailloutis).



Figure 89 : benne Eckman.

▪ *Benne Van Veen*

Elle convient à la plupart des substrats (vase meuble, vase compacte, sable et cailloutis) et permet des prélèvements sur 10 à 30 cm d'épaisseurs selon sa taille.

Sa construction simple et robuste facilite son utilisation en eau profonde et dans le courant. Au contact du fond, un loquet se désengage et libère les mâchoires qui se referment par rapprochement des bras de leviers.

Il convient de signaler que l'onde de choc à la descente peut perturber les sédiments fins (crème de vase) et qu'à la fermeture, le prélèvement déstructure les horizons de dépôt des sédiments. Les teneurs en eau du sédiment prélevé restent proches des matériaux en place.



Figure 90 : Benne Vav Veen.

<i>Moyen</i>	<i>Milieu d'intervention</i>	<i>Épaisseurs prélevées (cm)</i>	<i>Volumes prélevés (litre)</i>	<i>Sédiments</i>	<i>Déstructuration de l'échantillon</i>	<i>Coûts</i>
Raclette à sédiment	Fluvatile et lacustre en plongée	1 - 3	0,5 - 1	Vase fluide, crème de vase	Faible	Modéré (plongeurs)
Benne Eckman	Fluvatile et lacustre en eaux profondes (>30m)	10	1 - 4	Vases meubles, sables fins	Moyenne	Faible
Benne Van Veen	Fluvatile et lacustre en eaux profondes et par courant	10 - 30	2 - 10	Vases meubles et compactes, sables, petits cailloutis	Moyenne	Faible

Tableau 23 : Synthèse des principaux moyens de prélèvements des sédiments de surface

n) Prélèvement des sédiments par carottage

▪ Carottier de plongée

Ce dispositif permet de prélever des carottes de 20 à 80 cm selon le degré de consolidation des sédiments. Les échantillons sont collectés dans un tube transparent qui retient le matériau dans sa position originale et qui permet une description claire des profils sédimentaires. Son coût est relativement faible (tube en PVC) mais son utilisation est limitée par les contraintes en plongée : profondeur, turbidité de l'eau et courants.



Figure 91 : Carottier de plongée

▪ Carottier inox à main

Il est efficace pour prélever des carottes de sédiment meuble et plus compact sur des épaisseurs de 50 à 200 cm. Le tube est en acier inoxydable (longueur de 2 m avec rallonge possible à 3 m par manchon de vissage) et équipé à son extrémité de poignées pour faciliter sa pénétration dans les sédiments consolidés et parfois d'une trousse coupante. Il est destiné à un usage en eaux peu profondes dans lesquelles on peut évoluer à pieds ou sur une embarcation si l'on dispose de rallonge (hauteur d'eau maximum 7 mètres).

Simple d'utilisation, il faut toutefois le manœuvrer avec soin pour empêcher les sédiments les moins cohésifs de s'échapper à la remontée (effet de chasse).



Figure 92 : Carottier inox à main

▪ Carottier gravitaire

Il permet de réaliser des échantillons de 50 à 150 cm de sédiment compact relativement peu remaniés (compaction des couches supérieures pouvant atteindre un facteur 2). Son tube est équipé d'ailerons pour stabiliser sa chute libre en position verticale et facilite ainsi sa pénétration dans les sédiments. Le carottier gravitaire est utilisé lorsque les prélèvements au carottier à main posent problèmes à cause d'une trop grande profondeur d'eau et/ou d'un courant trop fort. Sa manipulation est délicate et nécessite une capacité de levage (treuil) adaptée à son poids élevé (30 à 50 kg).



Figure 93 : Carottier gravitaire

Remarque : Il existe d'autres modèles de carottier gravitaire (type « Kullenberg ») généralement mise en œuvre dans le cadre de missions océanographiques (étude lithologique, évaluation des ressources du sous-sol,...). Ils sont constitués d'un tube métallique long (> 5m) et fortement lestés (> 200 kg). La longueur du tube est adaptée en fonction de la nature des fonds : plus le substrat est dur, plus la longueur du tube sera courte, afin d'éviter la casse du matériel [IFREMER]. En milieu continental, son utilisation s'avère intéressante dans le cadre d'un diagnostic sédimentaire en pied de barrage (profondeur élevée, envasement important).

▪ Carottier poinçonneur

Les prélèvements carottés peuvent atteindre plusieurs mètres (jusqu'à 8 m d'épaisseur) selon les objectifs de sondage et la nature des fonds rencontrés. Les échantillons de sédiment sont conservés intacts sous gaine PVC (tubage sur la hauteur d'eau et à l'avancement des sondages). Sur le terrain, le carottier poinçonneur est chargé sur un ponton flottant ce qui exige une main d'œuvre conséquente et un temps d'intervention plus long.



Figure 94 : Carottier poinçonneur

▪ Carottier à boîte « box-corer »

Ce dispositif est peu connu en France mais il allie les avantages de la benne et ceux du carottier. Il est muni d'une boîte cubique (50 cm x 50 cm x 50 cm de profondeur) et permet de prélever des échantillons non remaniés, en s'enfonçant par gravité dans le sédiment meuble. A la remontée, la boîte est refermée par un système de couteau qui encapsule un bloc de sédiment.

Sa manipulation est délicate et nécessite une capacité de levage (treuil) adaptée à son poids élevé (environ 50 kg).



Figure 95 : Carottier à box-corer

Moyen de prélèvements	Milieu d'intervention	Épaisseurs prélevées (cm)	Volumes prélevés (litre)	Sédiments	Déstructuration de l'échantillon	Coûts (mobilisation et matériel)
Carottier de plongée	Fluvatile et lacustre en plongée	20 - 100	0,5 - 2	Vases meubles	Faible	Modéré (plongeurs)
Carottier à main	Fluvatile et lacustre en eaux peu profondes et par faible courant (> 8 m)	50 - 200	0,5 - 4	Vases meubles et compactes	Faible	Faible
Carottier gravitaire	Fluvatile et lacustre en eaux profondes (< 8 m)	50 - 150	1 - 3	Vases meubles et compactes	Moyenne en surface (compaction)	Modéré (exige un treuil)
Carottier poinçonneur	Fluvatile et lacustre en eaux profondes	> 200	> 4	Vases meubles et compactes, sables, cailloutis	Faible	Elevé (moyen humain et technique)
Box-corer	Fluvatile et lacustre en eaux profondes (< 8 m)	50	> 30	Vases meubles et compactes	Faible	Modéré (exige un treuil)

Tableau 24 : Synthèse des principaux moyens de prélèvements des sédiments de surface

o) Sélection d'un moyen de prélèvement

Il est recommandé de privilégier un moyen de prélèvement qui ne déstructure que faiblement les matériaux à échantillonner. En effet, une perturbation de la structure du sédiment entraîne inévitablement des modifications sur ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

Les prélèvements carottés, comme souligné dans l'Arrêté du 30 mai 2008²⁰, semblent plus en adéquation avec la recommandation précitée, toutefois ils présentent certains inconvénients :

- *Les couches superficielles du sédiment sont perturbées lors de l'enfoncement (phénomène de compaction), le diamètre doit donc être suffisamment important pour éviter les effets de bords ;*
- *Les tubes en acier présentent des risques de contamination pour les échantillons (analyses des Eléments Traces Métalliques) ;*
- *Les volumes de sédiment échantillonné sont généralement plus faibles et exigent des prélèvements répétitifs qui se répercutent rapidement sur le temps et les coûts de mobilisation des équipes terrains.*

Remarque : D'autres moyens de prélèvement plus spécifiques peuvent être mobilisés selon les enjeux de prélèvement et les contraintes du site (carottier Beeker, benne Ponar, benne Shipeck,...).

La stratégie des méthodes d'échantillonnage peut être résumée à travers le logigramme suivant.

²⁰ Arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau et canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application du code de l'environnement

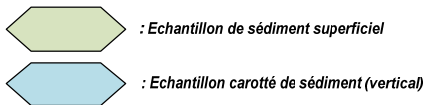


Figure 96 : Moyens de prélèvement recommandés pour différents types de milieux [d'après Env. CANADA modifié]

p) Autres moyens à mobiliser

Outre le matériel de prélèvement, la qualité des prélèvements est souvent dictée par la dextérité des préleveurs mais aussi par les moyens de navigation mobilisés. Le maître d'ouvrage doit s'assurer dans sa consultation que ceux-ci soient pertinents, c'est-à-dire dimensionnés pour le matériel de prélèvement et le personnel sur site, mais aussi adapté aux conditions du milieu.

L'intervention en cours d'eau amène parfois à manœuvrer avec des hauteurs d'eau limitées précisément sur les zones d'accumulation des massifs sédimentaires. Dans ce cas, l'usage d'embarcation à faible tirant d'eau est nécessaire (coque fond plat, barge légère). A contrario, les prélèvements nécessitant des carottages profonds impliquent des embarcations plus lourdes pour garantir la stabilité du matériel et la sécurité du personnel.



Figure 97 : Quelques exemples de moyens de navigation mobilisables et d'un ponton flottant [CNR, IDRA]

A15 - FICHE PRÉLÈVEMENT

(à faire)

Cette fiche sera à remplir sur site par l'opérateur du prélèvement.

A16 - ANALYSES EN LABORATOIRE

A16.1 - RAPPEL SUR LES ACCRÉDITATIONS DES LABORATOIRES

Il est fortement recommandé au Maître d'Ouvrage de mandater un laboratoire agréé par le Ministère chargé de l'Environnement (Arrêté du 12 novembre 1998 portant modalités d'agrément des laboratoires, modifié par Arrêté du 27 octobre 2011)

Remarque : Pour un couple paramètre-matrice donné, l'agrément délivré par le ministère est conditionné par le fait que le laboratoire est accrédité au titre de la NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC pour ce couple paramètre/matrice. Les agréments ministériels sont aujourd'hui fixés pour un couple paramètre-matrice et non plus pour un « lot » de paramètres. Pour la matrice sédimentaire, les agréments ministériels sont en cours de validation, en l'absence de limites de quantification proposés [Avis du MEDD, NOR DEVL1131786V, JORF 21 janvier 2012].

Lien agrément ministériel : <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/index.php>

A16.2 - PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE

Au laboratoire, le prétraitement des échantillons est une source de biais de mesures non négligeable, comparable à celles rencontrées sur le terrain lors de la manipulation des échantillons (cf. Chap.). Les phases de prétraitement sont récapitulées dans le logigramme suivant.

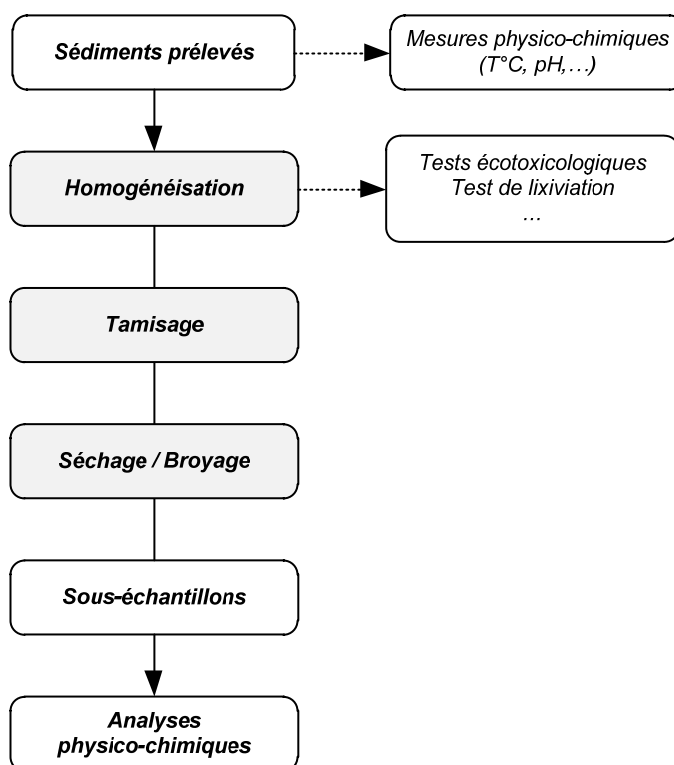


Figure 98 : Logigramme récapitulant les étapes de prétraitement

toto

Remarque : Le transport des échantillons jusqu'au laboratoire peut modifier considérablement les paramètres physico-chimiques du sédiment. Ainsi, les mesures physico-chimiques à l'interface sédiment-eau (T°, pH, potentiel d'oxydoréduction,...) doivent être enregistrés directement à l'issue du prélèvement.

A16.2.1 - Phase d'homogénéisation

Les échantillons de sédiment sont dans un premier temps homogénéisés. Cette étape est essentielle pour obtenir un résultat représentatif de l'échantillon, qui plus est lorsque la prise d'essai pour l'analyse n'est que de quelques grammes (Tableau 26).

<i>Paramètres</i>	<i>Quantité optimale requise (g)</i>
Granulométrie	250
Carbone Organique Total	800
Composés azotés ou phosphorés	750
Eléments Traces Métalliques	375
HAP	375
PCBi	600
Test de lixiviation	2 000
Test écotoxicologique Brachionus	100
Test H14	10 000 – 20 000

Tableau 25 : Quantité optimale requise de sédiment pour lancer les analyses [échanges laboratoires]

Remarque : Pour l'analyse d'un échantillon moyen, la méthode consiste à réunir la même proportion volumique de chaque échantillon ponctuel. Ce dernier est alors soumis à une opération de quartage pour diminuer son volume tout en conservant sa représentativité (Figure 100). Il est recommandé de réaliser cette opération au laboratoire pour s'affranchir des contraintes de terrain (cf. Chap.).

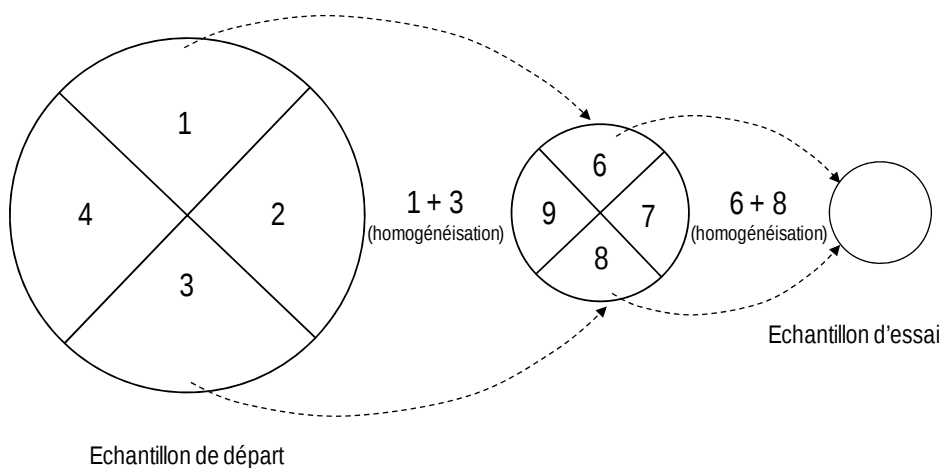


Figure 99 : Schéma d'une opération de quartage

Le temps d'homogénéisation devra être réduit au minimum afin de ne pas altérer d'avantage l'intégrité du prélèvement (partition granulométrique faussée, oxygénation prolongée,...). Elle est réalisée manuellement ou mécaniquement jusqu'à l'obtention d'un sédiment d'une texture et d'une couleur homogène.

Il convient de noter que des sous échantillons pourront être confectionnés pour réaliser d'autres types d'analyses (tests écotoxicologiques, test de lixiviation,...). Dans ce cas, les étapes de prétraitement sont spécifiques aux protocoles analytiques.

A16.2.2 - Phase de tamisage

Les laboratoires assurent un tamisage à sec inférieur à 2 mm pour les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques. Cette étape permet de se concentrer sur la fraction granulométrique de l'échantillon en deçà de laquelle les contaminants sont les plus à même de se fixer.

Le tamisage assure également l'enlèvement des organismes inféodés, végétaux et tous autres débris dans les échantillons avant analyse. Leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sédiments restent inconnues, néanmoins certains organismes peuvent affecter directement ou indirectement les résultats de test écotoxicologique (notion d'espèces concurrentes).

A16.2.3 - Phase de séchage et de broyage

En dernière étape, les échantillons subissent successivement une phase de séchage et de broyage. Le protocole de séchage est celui des normes analytiques en vigueur : séchage à l'étuve 40°C, lyophilisation,... (NF ISO 11464). Cette opération vise à désagréger l'échantillon séché et à en assurer l'homogénéisation.

A16.3 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans le cadre d'un simple diagnostic sédimentaire les paramètres à analyser en standard sont présentées dans le tableau ci-dessous. Les normes et méthodes analytiques indiquées ci-après sont données à titre indicatif :

<i>Paramètres</i>	<i>Référence de la méthode</i>	<i>Principe de la méthode</i>	<i>Limite de Quantification (mg/kg)</i>	<i>Coût unitaire €HT</i>
Analyses standards				
Granulométrie	NF X 31-107	Colonne à tamis ou laser	0 à 2 000 µm	100 - 150
Matière sèche	NF EN 11880	Gravimétrie		5 - 10
Densité	NF ISO 11464			5 - 10
Phosphore (P)	NF EN ISO 11 885	Minéralisation à l'eau régale et dosage ICP/AES	1	10 - 20
Azote Kjeldahl (NTK)	NF EN ISO 13342	Dosage par Spectrométrie	500	10 - 20
Carbone Organique Total (COT)	NF EN ISO 10694	Acidification et combustion haute température (~1250°C)		25 - 50
Analyses des Eléments Traces Métalliques (ETM)				
Arsenic (As)	NF EN ISO 11 885		1	5 - 10
Cadmium (Cd)	NF EN ISO 11 885		1	5 - 10
Chrome (Cr)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Cuivre (Cu)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Mercure (Hg)	NF EN ISO 1483		0,1	5 - 10
Nickel (Ni)	NF EN ISO 11 885	Minéralisation à l'eau régale et dosage ICP/AES	1	5 - 10
Plomb (Pb)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Zinc (Zn)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Aluminium (Al)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Fer (Fe)	NF EN ISO 11 885		5	5 - 10
Analyses de composés organiques				
HAP (16 US-EPA)	XP X 33-012	Extraction hexane/acétone et dosage GC/MS	0,1 µg/kg ps	150 - 200
PCBi (7 congénères)	XP X 33-012		0,01	150 - 200

Tableau 26 : Paramètres physico-chimiques descriptifs des sédiments

Ces paramètres ne renseignent que succinctement sur l'état du milieu sédimentaire mais répondent d'un point de vu réglementaire à l'Arrêté du 9 août 2006 relatifs aux niveau 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.

Remarque : les Limites de Quantification (LQ) indiquées par le laboratoire doivent répondre aux conditions techniques de réalisation des analyses chimiques, physico-chimiques et écotoxicologiques formulées en Annexe 1 de l'Arrêté du 27 octobre 2011 portant agrément des laboratoires. Ces LQ sont définies par le laboratoire national de référence pour la surveillance de l'eau et des milieux aquatiques (AQUAREF), telles que la valeur de LQ proposée soit égale ou inférieure aux NQE (Normes de Qualité Environnementales issues de la DCE (Arrêté du 25 janvier 2010).

Sur le terrain : L'enregistrement des paramètres physico-chimiques du sédiment (température, pH, potentiel d'oxydoréduction) est recommandé pour venir étoffer ce diagnostic sédimentaire. Ces mesures seront réalisées *in-situ* à l'interface eau-sédiment, et non au laboratoire sur un échantillon dénaturé, pour caractériser au mieux les conditions du milieu. Elles seront réalisées grâce à l'utilisation d'un analyseur multimètre de terrain et consignée sur la fiche de prélèvement (cf. « Fiche Prélèvement »).



Figure 100 : Analyseur multimètre de terrain

Un exemple de rendu d'analyse granulométrique est proposé sur la figure suivante. Classiquement, les résultats sont représentés sous la forme d'une courbe cumulée des différentes fractions et/ou d'un histogramme de chaque fraction (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), à partir duquel les propriétés du sédiment sont identifiées.

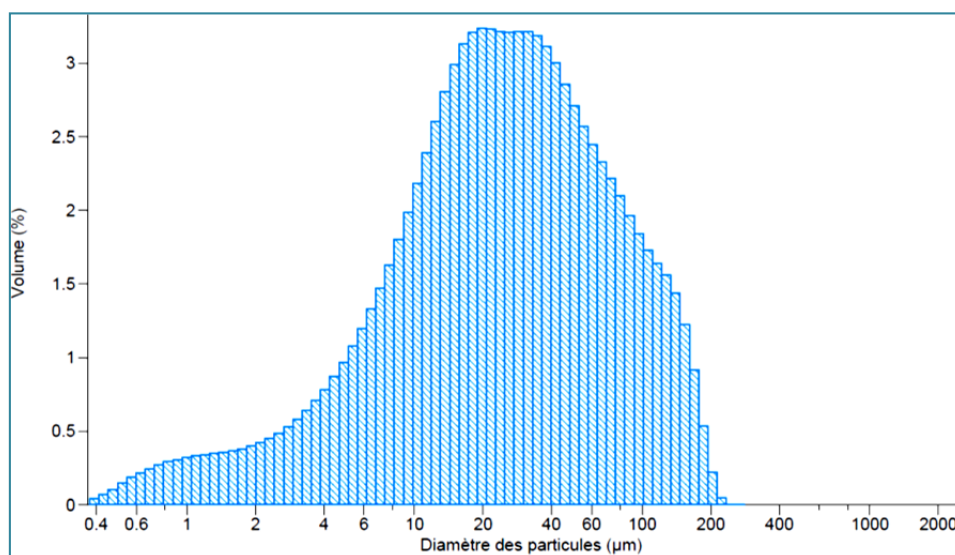


Figure 101 : Exemple d'historgramme granulométrique d'un sédiment à dominante limoneuse

Il existe de nombreuses classifications granulométriques qui permettent de qualifier un échantillon de sédiment. Classiquement, on admet les catégories de particules suivantes :

Fractions		Diamètre des particules
<i>Argiles :</i>		<i>< 2 μm</i>
<i>Limons :</i>		<i>< 63 μm</i>
<i>Sables :</i>	<i>Sables fins :</i>	<i>63 - 250 μm</i>
	<i>Sables moyens :</i>	<i>250 - 500 μm</i>
	<i>Sables grossiers :</i>	<i>500 - 2000 μm</i>
<i>Cailloutis :</i>		<i>2 - 20 mm</i>
<i>Graviers :</i>		<i>20 - 200 mm</i>

Tableau 27 : Exemple de classification granulométrique des sédiments (d'après Glemarec)

Plusieurs paramètres granulométriques permettent de caractériser plus finement la distribution d'un sédiment. On relève ainsi :

- *La médiane : Diamètre de particules pour laquelle l'échantillon est séparé en deux effectifs égaux ;*
- *La moyenne : Diamètre moyen des particules de l'échantillon ;*
- *Le mode : Diamètre de particules représentatif de l'échantillon (fréquence cumulé la plus forte).*

Si plusieurs fractions granulométriques sont mises en exergues, on parle alors de mode principal, mode secondaire...

A16.4 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES COMPLÉMENTAIRES

Dans le cadre de travaux impliquant des sédiments contaminés, d'autres paramètres pourront faire l'objet de recherches plus spécifiques en fonction du contexte locale. On retiendra en particulier les composés organiques suivants :

- *Les organoétains (TBT, DBT, MBT) : Produit de synthèse, interdit en tant que biocide, mais utilisés anciennement dans les peintures antisalissures sur les navires ;*
- *Les hydrocarbures totaux (HCT) : Mélanges complexes de molécules de carbone et d'hydrogène regroupés par type (gazole, fioul et huile) et dits d'usage courant ;*
- *Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (BTEX) : Substances introduites majoritairement par les activités humaines, à faible potentiel de bioaccumulation, mais très toxique pour l'environnement et la santé.*

D'un point de vu réglementaire et pour répondre aux exigences de l'Arrêté du 30 mai 2008 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau et canaux, des analyses sur l'eau interstitielle des sédiments pourront être lancées. Ces analyses concernent les composés azotés :

- Azote total et ammoniacale (NH₄) : Constituants naturels des sédiments mais polluants organiques toxiques pour le milieu aquatique et qui contribuent à la désoxygénation de l'eau.

L'analyse de ces composés sur l'eau interstitielle pourra s'accompagner d'une analyse de composés phosphorés (phosphore, orthophosphates) qui peuvent avoir des effets néfastes aussi pour le milieu aquatique (surproduction végétale).

L'analyse de ces paramètres sur la phase solide ou sur l'eau inertielle des sédiments peut s'avérer nécessaire lors d'opérations de curage ou de vidange de barrage qui remobilisent d'importantes quantités de particule dans la colonne d'eau.

Sur le terrain : L'enregistrement des paramètres physico-chimiques in situ dans la colonne d'eau (température, pH, conductivité, oxygène dissous, turbidité) complètera efficacement l'état initial du milieu avant travaux.

Paramètres	Référence de la méthode	Principe de la méthode	Limite de Détection (mg/kg)	Coût unitaire €HT
Analyses de composés organiques				
Organoétains (TBT, DBT, MBT)	NF EN ISO 23161	Dosage par CPG	0,01	150 - 250
HCT (C10-C40)	NF EN ISO 16703	Dosage par CPG	15	80 - 120
BTEX	NF EN ISO 11423-1	Extraction hexane/acétone et dosage GC/MS	0,05	100 - 150
Composés azotés et phosphorés				
Ammonium (NH ₄)	NF T 90-105-2		20	10 - 20
Nitrate (NO ₃) Nitrite (NO ₂)	NF EN ISO 10304-1	Dosage par Chromatographie ionique	20	10 - 20
Orthophosphates (PO ₄)	NF EN ISO 10304-1		20	10 - 20

Tableau 28 : Autres paramètres physico-chimiques descriptifs

Le tableau suivant synthétise les origines et les principaux effets des contaminants sur l'environnement aquatique (**Tableau 29**) :

NATURE DU POLLUANT	SOURCES		IMPACTS SUR LE MILIEU	
	Naturelles	Anthropiques	Directs	Indirects
Matières en Suspension (MES)	- Remobilisation de matière minérale et organique ;	- Rejets eaux usées ;	- Augmentation de la turbidité ; Modification des biocénoses ;	- Développement micro-organismes ; Diminution de la photosynthèse ;
Matière Organique	- Décomposition de matière végétale ou animale ;	- Rejets industriels et urbains ;	- Anoxie des fonds ; Modification de la structure des populations d'invertébrés benthiques ;	- Modification des biocénoses ;
Mercuré	- Volcanisme, érosion, dégazage océanique ;	- Combustion du charbon et du fuel, industrie minière et métallurgique, fabrication du chlore et de la soude ;	- Altération du phytoplancton ; Modification physiologique des poissons ; Empoisonnement des organismes vivants ; Ralentissement de la croissance des bivalves ;	- Modification des biocénoses ;
Cadmium	- Présent dans la croûte terrestre ;	- Sous-produit du raffinage du plomb et du cuivre, combustion du charbon et des produits pétroliers ;	- Inhibition de la croissance du phytoplancton ; Effets physiologiques sur les larves de crustacés ;	- Modification des biocénoses ;
Plomb	- Sol ;	- Production et utilisation dans les batteries, alliages, pigments, industries de fusion du plomb ;	- Ralentissement de la croissance des organismes vivants ; Inhibition de la reproduction des organismes vivants ;	- Modification des biocénoses ;
Zinc	- Eruptions volcaniques, feux de forêts, aérosols marins ;	- Activité minière et industrielle, épandage agricole, activités urbaines ;	- Action sur le développement larvaire des mollusques benthiques ;	- Modification des biocénoses ;
Cuivre	- Erosion, volcanisme, végétation ;	- Industrie du cuivre, des métaux, du bois et des fertilisants, incinération des déchets, énergies fossiles	- Action sur le développement larvaire des mollusques benthiques ;	- Modification des biocénoses ;
Chrome	- Croûte terrestre, érosion (chromite) ;	- Industrie chimique, métallurgie, technologie des réfractaires ;	- Anomalie dans le développement larvaire chez les bivalves ;	- Modification des biocénoses ;
Nickel	- Erosion, volcanisme ;	- Energie fossile, incinération des déchets, épandage des boues d'épuration, industrie du nickel, de l'acier et du plomb ;	- Effets sur la reproduction des bivalves ;	- Modification des biocénoses ;
Arsenic	- Activité volcanique, feu de forêt ;	- Alliages, fonderies de métaux non ferreux, traitement du bois, microélectronique, textile, pesticides, énergies fossiles ;	- Inhibition du développement du phytoplancton ;	- Modification des communautés planctoniques ;
PCB (Polychlorobiphenyles)	- Pas d'origine naturelle ;	- Anciens équipements électriques, condensateurs et transformateurs encore en usage ;	- Aucun impact direct	- Effets mutagènes et reprotoxiques sur les espèces aquatiques à long terme par bioaccumulation ;
TBT (Tributylétain)	- Pas d'origine naturelle ;	- Peintures antirouille, produits phytosanitaires ;	- Mortalité des mollusques ; Action sur la calcification, la croissance et la reproduction des mollusques ;	- Appauvrissement du milieu naturel ;
Hydrocarbures	- Feux de forêt, éruptions volcaniques.	- Combustion du pétrole, charbon, gaz naturel ou du bois, déversement accidentel ou volontaire de pétrole.	- Diminution de l'oxygénation des eaux ; Altération externe des organismes vivants ; Asphyxie des espèces aquatiques ; Diminution de la photosynthèse.	- Développement d'espèces opportunistes ; Effets mutagènes et tératogènes sur les espèces aquatiques.

Tableau 29 : Inventaire des sources et impacts potentiels des polluants

A16.5 - TESTS ÉCOTOXICOLOGIQUES

Les tests d'écotoxicologiques ou bio-essais ont pour objectif de renseigner sur les effets toxiques d'un échantillon sur différents compartiments de l'environnement. En parallèle des analyses physico-chimiques, les bio-essais ont l'avantage de prendre en compte les phénomènes de synergie et d'antagonisme entre les contaminants, souvent délicats à déceler dans le cadre de simple analyse.

Ce chapitre se concentre sur les bio-essais les plus souvent utilisés pour l'évaluation de l'écotoxicité des sédiments sur le milieu aquatique et terrestre. Chaque bio-essai est spécifique et son domaine de représentativité limité (toxicité, sensibilité de l'organisme testé, compartiment aquatique représenté,...). Il est donc recommandé de réaliser plusieurs tests, selon la complexité de l'étude, à différents niveaux trophiques (algue, crustacé, poisson) et degrés de toxicité (aiguë, chronique).

Toxicité aiguë : Toxicité immédiate, sur une courte période de la durée de vie des organismes, en général liée à une concentration élevée de produits chimiques ou d'un échantillon.

Toxicité chronique : Toxicité à long terme, incluant les phases juvéniles et de reproduction des organismes, en général liée à une exposition prolongée à de faibles concentrations de produits chimiques ou d'un échantillon.

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux bio-essais standardisés et appliqués sur sédiment :

<i>Ecosystème</i>	<i>Organismes testés</i>	<i>Bio-essai</i>	<i>Toxicité</i>
<i>Milieu benthique</i>	<u>Bactéries</u> : - <i>Vibrio fischeri</i>	Microtox [®] – NF EN ISO 1348	Aiguë
<i>Milieu benthique</i>	<u>Macro-invertébrés</u> : - <i>Chironomus riparius</i>	Test Chironome (7/10j et 28j) XP T90-339-1	Chronique
<i>Milieu benthique</i>	<u>Crustacés</u> : - <i>Daphnia magna</i>	Test Daphnie (24h) – NF EN ISO 6341	Aiguë
<i>Milieu pélagique</i>	- <i>Cériodaphnia dubia</i>	Test Cériodaphnie (21j) – NF T 90-376	Chronique
	- <i>Brachionus calyciflorus</i>	Test Brachionus (48h) – NF T 90-377	Chronique
<i>Milieu pélagique</i>	<u>Algues</u> : - <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (anc. <i>Selenastrum Capricornutum</i>)	Test algue (72h) – NF T 90-375	Chronique
<i>Milieu terrestre</i>	<u>Végétaux</u> : - Avoine, colza, laitue,... - Avoine, colza, laitue,...	Test de germination (4/7j) – NF X 31-201 Test de croissance (17j) – NF X 31-202	Moyen terme
	<u>Macro-invertébré</u> : - <i>Eisenia foetida</i>	Test ver de terre (14j) – NF X 31-251	Aiguë

Tableau 30 : Tests écotoxicologiques appliqués sur sédiment

Remarque : Certains bio-essais sont réalisés indirectement sur sédiment soit à travers les eaux interstitielles, soit sur les éluats des matériaux, au moyen d'un essai de lixiviation ou de percolation. Le choix de la phase aqueuse à tester dépendra alors principalement de l'analyse des mécanismes et voies de transferts des contaminants en rapport avec le projet.

A16.6 - TEST DE DANGEROUSITÉ

A16.6.1 - Critère H14 - sédiment

Ce protocole a été établi par le groupe de travail « *dangereusité des sédiments* » piloté par le MEEDDM et co-animé par le BRGM pour la mesure du critère « H14 » sur les sédiments marins et continentaux (1^{er} octobre 2009). Plusieurs opérateurs sont impliqués dans son élaboration (Géode, VNF, EDT, Port de Paris...), ainsi que différents organismes scientifiques (BRGM, CEMAGREF, CETMEF, IFREMER, INERIS...).

Ce protocole fait intervenir une batterie de différents tests écotoxicologiques dont la mise en application a pour objet la définition du caractère dangereux ou non du sédiment en vue de sa gestion à terre.

La volonté du MEEDDM est que le protocole « *H14 - sédiments* » s'insère dans le contexte général "déchets" qui prévaut aujourd'hui, sans accorder aux sédiments une originalité que presque tous les producteurs de déchets pourraient revendiquer pour leurs propres déchets.

A partir de ce postulat, la proposition est de suivre les principes de base du protocole "déchet" issu des travaux de l'INERIS, à savoir :

- *Prise en compte de la toxicité de l'éluat (toxicité aiguë sur bactérie *Vibrio fischeri* ou *Daphnia magna* et toxicité chronique sur *Brachionus calyciflorus*) ;*
- *Prise en compte de la toxicité de la matrice brute (toxicité aiguë sur végétaux).*

Le protocole « H14 - sédiment » prévoit ainsi la réalisation de trois types de tests d'écotoxicités en fonction du degré de contamination des sédiments étudiés (Figure 102).

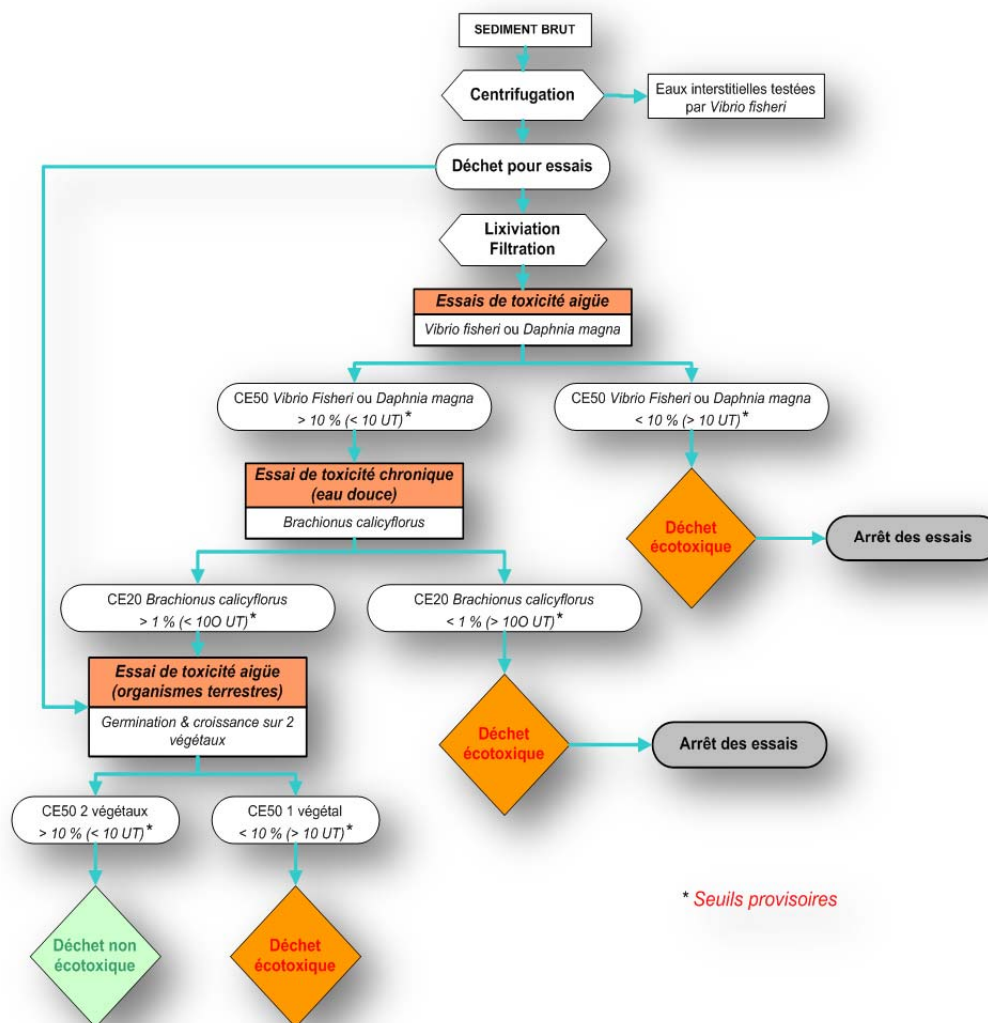


Figure 102 : Démarche du protocole H14 « sédiment » [MEEDDM]

A16.6.2 - Vers un test H15

La directive 2008/98/CE reprend les dispositions de la directive 91/689/CE relative aux déchets dangereux, incluant les quatorze critères (H1 à H14) permettant de qualifier ou non la dangerosité de certains déchets, auxquels sont aujourd'hui rattachés les sédiments gérés à terre.

Cette directive introduit aussi un quinzième critère : « H15 : Déchets susceptibles, après élimination, de donner naissance, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, qui possède l'une des caractéristiques énumérées ci-dessus ». Le protocole associé à ce critère n'est pas en l'état connu.

A16.7 - AUTRES TESTS PRATIQUÉS

A16.7.1 - Test de lixiviation

L'objectif des tests de lixiviation est de caractériser le comportement du sédiment vis-à-vis de la mobilité des éventuels contaminants qu'il contient (potentiel de relargabilité). Les tests de lixiviation correspondent à un des principaux critères d'admission d'un déchet en Installation de Stockage de Déchets (ISD).

Les analyses sont réalisées selon le protocole normalisé NF EN 12457-2, dont les étapes sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Etape	Manipulation
1	Tamissage à 4 mm (si le refus représente plus de 5% de la masse de l'échantillon, il est broyé à 4 mm dans un concasseur pour obtenir un échantillon avec au moins 95% de la masse inférieure à 4 mm) ;
2	Homogénéisation de l'échantillon, le lixiviant (eau déminéralisée) est ajouté à l'échantillon dans un ratio Liquide / Solide = 10 (10 l/kg) ;
3	L'échantillon est ensuite agité par retournement pendant 24 heures à 7 tours par minute ;
4	Décantation et centrifugation de l'échantillon ;
5	Filtration de l'éluat sur un filtre de porosité 0,45 µm ;
6	Lancement des analyses physico-chimiques sur éluat.

Tableau 31 : Principales étapes du test de lixiviation

Le test de lixiviation porte sur les paramètres suivants, sur éluat :

Paramètres sur éluat	Limites de Quantification couramment rencontrées (mg/kg MS)
Arsenic (As)	0,2
Baryum (Ba)	0,1
Cadmium (Cd)	0,002
Chrome (Cr)	0,1
Cuivre (Cu)	0,2
Mercurie (Hg)	0,001
Molybdène (Mo)	0,1
Nickel (Ni)	0,1
Plomb (Pb)	0,1
Antimoine (Sb)	0,02
Sélénium (Se)	0,02
Zinc (Zn)	0,2
Chlorures	10
Sulfates	50
Fluorures	5
Indice phénol	0,1
Fraction soluble	2000
Carbone Organique Total (COT)	5

Tableau 32 : Paramètres analysés sur éluat conforme Arrêté du 28/10/2010²¹

Les analyses suivantes sont aussi réalisées sur matière brute :

Paramètres sur brut	Limites de Quantification couramment rencontrées (mg/kg MS)
Polychlorobiphényles (PCBi)	0,07
Hydrocarbures totaux (HCT)	15
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	0,8
Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (BTEX)	0,25
Matière sèche	0,1
Carbone Organique Total (COT)	1000

Tableau 33 : Paramètres analysés sur brut conforme Arrêté du 28/10/2010

²¹ Arrêtes du 28/10/10 : Seuils d'acceptabilités en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI)

A16.8 - FICHES « TESTS ECOTOXICOLOGIQUES »

A16.8.1 - Test Microtox®

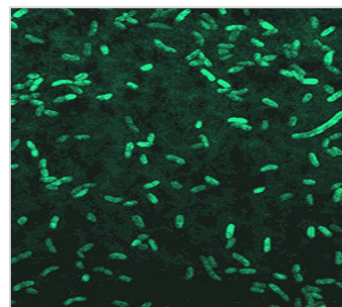
Référence normative : NF EN ISO 1348-2

Objectif / domaine d'application :

Le test permet d'évaluer la toxicité aiguë des eaux interstitielles ou de l'éluat d'un sédiment vis-à-vis des bactéries *Vibrio fischeri* (anc. *Photobacterium phosphoreum*).

Principe général :

Il consiste à déterminer la concentration de l'échantillon qui, après 5, 15 et 30 minutes, inhibe 50 % de la luminescence des bactéries (test aussi appelé de « bioluminescence »). Cette Concentration d'Inhibition est désignée alors par la CI_{50} - t, t représentant le temps de contact des bactéries avec l'échantillon.



Informations pratiques :

Le volume nécessaire pour porter le test est de 125 ml.

Les montants moyens affichés par les laboratoires avoisinent 150 à 300 €HT/analyse.

Les délais d'analyses affichés sont généralement d'une semaine, incluant la lixiviation.

A16.8.2 - Test Chironome

Référence normative : XP T90-339-1

Objectif / domaine d'application :

Le test consiste à évaluer la survie, la croissance et l'émergence des *Chironomus riparius* (vers inféodés au sédiment) exposés directement à un sédiment.

Principe général :

Les chironomes au stade larvaire sont exposés directement au sédiment pendant 7 ou 10 jours (test de survie et de croissance). A l'issue de cette première phase, l'émergence des chironomes est observée pendant 28 jours. Les émergents peuvent être récupérés pour prolonger le test et étudier le cycle de vie de la seconde génération de chironomes.

Les données enregistrées au cours du test de toxicité chronique sont analysées pour estimer une concentration de sédiment qui entraînerait une réduction de l'effet mesuré (en %) et une Concentration Sans Effet Observé (CSEO).



Informations pratiques :

Le volume nécessaire pour porter le test est de 1 à 2 L.

Les montants moyens affichés par les laboratoires avoisinent 1000 €HT/analyse

Les délais d'analyses affichés sont généralement de 15 jours à 1 mois ½.

A16.8.3 - Test Daphnie

Référence normative : NF EN ISO 6341

Objectif / domaine d'application :

Le test permet d'évaluer la toxicité aiguë des eaux interstitielles ou de l'éluat d'un sédiment vis-à-vis des microcrustacés *Daphnia magna*

Principe général :

Il consiste à déterminer la concentration de l'échantillon qui immobilise en 24 heure (ou 48h) 50 % des daphnies. Cette concentration, dite Concentration Efficace est désignée par la CE_{50} .

L'essai est conduit en deux étapes *i)* un essai préliminaire indiquant approximativement la CE_{50} 24h *ii)* un essai définitif permettant d'affiner l'intervalle des concentrations qui lors de l'essai préliminaire font passer le pourcentage d'immobilisation de 0 à 100 %.



Informations pratiques :

Il existe un test d'écotoxicologique chronique sur *Daphnia magna* (21 jours) ou *Ceriodaphnia dubia* (7 ou 8 jours) basé sur l'inhibition de la reproduction des microcrustacés au stade adulte.

Le volume nécessaire pour porter le test est de 500 ml.

Les montants moyens affichés par les laboratoires avoisinent 180 à 350 €HT/analyse.

Les délais d'analyses affichés sont généralement de une semaine sur test aigu à 1 mois pour les tests de toxicité chroniques.

A16.8.4 - Test Brachionus

Référence normative : AFNOR NFT 90-377 ou NF ISO 20666

Objectif / domaine d'application :

Le test permet d'évaluer la toxicité chronique des eaux interstitielles ou de l'éluat d'un sédiment vis-à-vis du microcrustacé (rotifère) *Brachionus calyciflorus*

Principe général :

Son principe repose sur un essai d'inhibition de la croissance des populations de *Brachionus* sur 48 heures. A l'issue du test, un pourcentage d'inhibition est déterminé pour chaque concentration. Les résultats sont exprimés en CI_{20} , c'est-à-dire la Concentration qui Inhibe 20% des individus (blocage de la reproduction).



Informations pratiques :

Actuellement ce biotest est utilisé par les Voies Navigables de France (VNF) pour l'évaluation de la toxicité potentielle des sédiments de dragages, selon un protocole normalisé NFT90-377. Sur la base des recommandations VNF [2008], les sédiments sont classés de la façon suivante :

- Si la **Cl₂₀ (48 h) < 1%** (il faut moins de 1% du lixiviat du produit pour avoir une inhibition de 20% de la population) alors le sédiment est écotoxique et donc dangereux ;
- Si la **Cl₂₀ (48 h) > 1%** (il faut plus de 1% du lixiviat du produit pour avoir un impact) alors le sédiment est non écotoxique et donc non dangereux.

Le volume nécessaire pour porter le test est de 500 ml.

Les montants moyens affichés par les laboratoires sont de 250 à 300 €HT/analyse.

Les délais d'analyses affichés sont généralement de 2 à 4 semaines maximum.

A16.8.5 - Test Algue d'eau douce

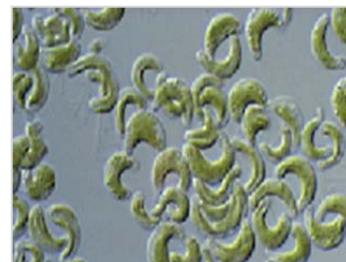
Référence normative : NF T 90-375 ou NF EN ISO 8692

Objectif / domaine d'application :

Le test permet d'évaluer la toxicité chronique des eaux interstitielles ou de l'éluat d'un sédiment sur les algues d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata* (anc. *Selenastrum Capricornutum*).

Principe général :

Il consiste à déterminer la concentration de l'échantillon testé qui inhibe en 72 heures 50 % de la croissance des algues. Cette concentration, dite Concentration Efficace est désignée par la CE₅₀.



Informations pratiques :

Le volume nécessaire pour porter le test est de 250 ml.

Les montants moyens affichés par les laboratoires sont d'environ 500 à 700 €HT/analyse.

Les délais d'analyses affichés sont généralement d'une semaine.

Tests sur le milieu terrestre

A16.8.6 - Test de germination (NF x 31-201) et croissance (NF x 31-202) des végétaux

Référence normative :

Test de germination : NF x 31-201 ;

Test de croissance des végétaux : NF x 31-202 ou NF iso 11269-2

Objectif / domaine d'application :

Le test permet d'évaluer la toxicité à moyen terme des sédiments vis-à-vis de différents végétaux (avoine, colza, laitue,...), notamment celles d'intérêt agricole.

Principe général :



Les échantillons de sédiment sont dilués avec un milieu ISO (mélange de 70% de sable de Fontainebleau, 20 % de kaolinite et 10 % de sphaigne). Les différentes graines sont plantées dans les dilutions et l'essai se déroule en 2 étapes :

1. Un essai préliminaire de 7 jours qui permet d'étudier l'effet de différentes concentrations comprises entre 1 et 100 % d'échantillon ;
2. Un essai définitif pour lequel une série de 5 dilutions est réalisée (en se plaçant aux bornes des dilutions pour lesquelles l'émergence passait de 0 à 100 % lors de l'essai préliminaire).

Après 7 jours, les graines germées sont comptabilisées pour déterminer l'effet sur la germination et le nombre de pousses est réduit à cinq. Après 14 jours minimum et au maximum au bout 21 jours, la biomasse de chaque dilution est quantifiée par pesée.

Informations pratiques :

Le volume nécessaire pour porter le test est de 2 à 3 L.

Les montants moyens affichés par les laboratoires sont de €HT/analyse.

Les délais d'analyses affichés sont généralement d'une semaine pour le test de germination et de 3 semaines pour le test de croissance végétale.

A16.8.7 - Test vers de terre (NF x 31-251)

Le test permet d'évaluer la toxicité aiguë des sédiments vis-à-vis des vers de terre *Eisenia fetida*. Les sédiments sont préalablement dilués dans un substrat artificiel avant d'être mis en contact avec les vers. La mortalité des vers est suivie quotidiennement. Après 14 jours, les macro-invertébrés sont comptabilisés dans les différentes dilutions pour déterminer l'effet sur la mortalité des vers de terre.



A16.8.8 - Remarques sur les « Microbiotests »

Depuis quelques années, plusieurs des tests précités (Daphnie, Brachionus, Micro-algue), font l'objet d'amélioration pour faciliter leur mise en œuvre qui nécessitait jusqu'alors des mises en culture parfois longues et délicates et des coûts associés onéreux.

Ces « kits » d'analyse permettent d'éviter un maintien des stocks vivant d'organismes en privilégiant, par exemple, les œufs de dormance, conservables et dont l'éclosion est contrôlable « à la demande » (Source : *Laboratoire d'Ecotoxicologie et d'Ecologie Aquatique, Univ. de Gand, Belgique*).

Depuis quelques années, plusieurs des tests précités (Daphnie, Brachionus, Micro-algue), font l'objet d'amélioration pour faciliter leur mise en œuvre qui nécessitait jusqu'alors des mises en culture parfois longues et délicates et des coûts associés onéreux.

Ces « kits » d'analyse permettent d'éviter un maintien des stocks vivant d'organismes en privilégiant, par exemple, les œufs de dormance, conservables et dont l'éclosion est contrôlable « à la demande » (Source : *Laboratoire d'Ecotoxicologie et d'Ecologie Aquatique, Univ. de Gand, Belgique*).

A17 - GESTION À TERRE DES SÉDIMENTS EXTRAITS

Cette annexe sera rédigée après la sortie des documents suivants, avec lesquels elle fera le lien :

- *De l'étude du CETE de Lyon sur*
- *Des documents AXELERA*

A18 - RÉFÉRENTIELS DE QUALITÉ DES SÉDIMENTS

La définition du caractère polluant, toxique ou dangereux des sédiments s'opère à partir de plusieurs référentiels en vigueur qu'ils soient réglementaires ou simplement définis au travers des préconisations scientifiques reconnues.

Le points suivants détaillent ces principaux niveaux de référence, leur portée, et leur application à différents contextes : sédiments dans le milieu aquatique ou en gestion à terre.

A18.1 - SEUILS LOI EAU : QUALITÉ DES SÉDIMENTS EXTRAITS DE COURS D'EAU OU CANAUX - ARRÊTÉ DU 9 AOÛT 2006

La réglementation en vigueur fait état de valeurs seuils données par l'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 ».

Ces valeurs réglementaires sont regroupées sous la dénomination de seuils « S1 » pour les sédiments des cours d'eau ou canaux (Tableau 34). Pratiquement, ces seuils **n'ont vocation à servir de valeur d'évaluation d'impact** sur les milieux aquatiques, mais sont utilisés pour statuer de la procédure réglementaire à engager dans le cadre d'opérations en lien avec le milieu aquatique, en application de la Nomenclature Loi sur l'Eau [Annexe au Décret n°2006-881 du 17 juillet 2006].

Au-delà de S1, le régime d'instruction au titre du Code de l'Environnement est susceptible de changer selon les volumes concernés (Déclaration ou Autorisation), tel que :

- Volume > 2000 m3 → Autorisation
- Volume < 2000 m3 et teneur des sédiments > S1 → Autorisation
- Volume < 2000 m3 et teneur des sédiments < S1 → Déclaration

Niveaux réglementaires	Loi sur l'Eau Arrêté du 9 août 2009
ETM	Seuil S1 (mg/kg)
Arsenic (As)	30
Cadmium (Cd)	2
Chrome (Cr)	150
Cuivre (Cu)	100
Mercure (Hg)	1
Nickel (Ni)	50
Plomb (Pb)	100
Zinc (Zn)	300
PCB	
Somme des PCB	0,68
HAP	
Somme des 16 HAP	22,8

Tableau 34 : Seuils réglementaires S1 de l'Arrêté du 9 août 2006

Les valeurs S1 constituent souvent un premier point de repère permettant d'apprécier l'incidence d'une opération et correspondent à des niveaux potentiels d'impact croissant sur un même milieu *[rem. IDRA : le seuil S1 n'est pas décisif quand au devenir du projet c'est l'étude d'incidence qui l'est]. Ces seuils sont supérieurs aux seuils d'acceptabilité en décharge de déchets inertes. [Attention ! les valeurs seuils de l'Arrêté d'octobre 2010 sur les déchets inertes portent, pour les métaux, sur les éluats et non sur brut. Seuls les valeurs de HAP et PCB sont comparables aux seuils S1 ; les seuils inertes sont (encore) moins drastiques que les seuils S1].*

Remarque : Les valeurs seuils S1 sont les mêmes que les seuils « sol » de valorisation agricole des boues de STEP [Arrêté du 8 janvier 1998, cf. § 4.7.2.3], au paramètre Arsenic près, ceci en dépit de la différence

flagrante de milieu (terrestre/aquatique). Ces valeurs sont issues pour partie d'essais écotoxicologiques. *Se repose ici la question de la relation entre les seuils de références à utiliser et ce que l'on veut faire des sédiments (maintien dans le milieu ou exportation à terre). Le fait que ce soit des références d'utilisation de boues à terre me laisse supposer que les rédacteurs pensaient aussi à une utilisation à terre des sédiments.*

[IDRA : En attente de réponse scientifique]...

A18.2 - SEUILS S1/S2 PCB (CEMAGREF)

Dans le cadre d'une collaboration entre le SNRS²², la DIREN de bassin et l'IRSTEA (ex CEMAGREF), une proposition de seuils décisionnels pour la gestion des sédiments à draguer dans le Rhône a été mise point pour les PCB²³.

Cette proposition repose en partie sur le principe retenu de non dégradation du milieu aquatique par rapport aux objectifs décrits dans la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60 (Article 4). Ces valeurs seuils visent avant tout à protéger la ressource piscicole et elles prennent en compte les processus d'empoisonnement secondaires le long de la chaîne trophique. Cette recommandation concerne les travaux fluviaux qui impliquent la manipulation des sédiments et provoquent leur remise en suspension, même partielle.

Ainsi, l'impact des PCB sur le milieu aquatique est examiné selon les seuils « S1/S2 » suivants :

Concentration en PCB indicateurs dans les sédiments (analyse sur fraction fine du sédiment < 2mm)			
	S1 [PCBi] < 10 µg/kg	10 µg/kg < [PCBi] < 60 µg/kg	S2 [PCBi] > 60 µg/kg MS
RESTITUTION AU MILIEU AQUATIQUE	OUI Pas de précaution supplémentaire spécifique aux PCB	OUI, mais précaution nécessaire : Le procédé utilisé doit restituer un fond de qualité équivalente à celui échantillonné avant l'intervention (comparaison entre la concentration de la couche de surface du lieu de dépôt/sédimentation à la concentration moyenne du matériau déplacé).	NON Pas de restitution du sédiment au milieu dans ces conditions

Tableau 35 : Proposition de seuils S1/S2 PCB du CEMAGREF

Remarque : Le seuil « S1 CEMAGREF » de 10 µg/kg MS a été défini sur la base des arrêtés « substances » promulgués dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE et d'un coefficient de partage entre l'eau et le sédiment. Ce seuil peut faire l'objet d'un ajustement en fonction du taux de matière organique du sédiment. Le seuil S2 de 60 µg/kg a été choisi en application du principe de précaution sur les bases de données bibliographiques récentes.

²² Service Navigation Rhône Saône

²³ SNRS, SERE. 2008 – Recommandation pour la manipulation des sédiments du Rhône dans le contexte de pollution par les PCB – 4p

L'application de ces seuils, proposés pour le système fluvial, apparaît néanmoins applicable au contexte lacustre dans la mesure où la méthode de définition par l'équilibre de partition²⁴ (pour S1) est d'autant plus vérifiable car le maintien de l'équilibre paraît plus certain en milieu lacustre.

[IDRA : point en cours sur les derniers ajustements des seuils S1/S2 qui passeraient à S1=10 µg/KG MS et S2 = 30 µg/Kg MS (cf. entretien M. BABUT)]

A18.3 - QUOTIENT DE RISQUE QSM

Le Q_{SM} est un indice de contamination englobant l'ensemble des paramètres analysés. Il a été mis en place par VNF en 2004, sur la base de travaux du CEMAGEF et de l'ENTEPE, pour permettre d'apprécier le risque engendré par la manipulation d'un sédiment sur le milieu aquatique. Il est défini comme suit :

$$Q_{SM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}$$

Avec :

C_i : concentration du polluant i dans le sédiment

S_i : valeur seuil S1 du polluant i (Arrêté du 9 août 2006)

n : nombre de polluants analysés

Les valeurs seuils prises en compte dans le calcul sont les suivantes :

	Substance	S_i (mg/kg MS) (arrêté du 09/08/2006)
ETM	Arsenic (As)	30
	Cadmium (Cd)	2
	Chrome (Cr)	150
	Cuivre (Cu)	100
	Mercure (Hg)	1
	Nickel (Ni)	50
	Plomb (Pb)	100
	Zinc (Zn)	300
PCB	Somme des congénères 8, 52, 101, 118, 138, 153 et 180	0,680
HAP	HAP totaux (16 US EPA)	22,8

Tableau 36 : Seuils S_i appliqués au calcul du QSM

La discrimination par le Q_{SM} se fait de la façon suivante :

- $Q_{SM} < 0,1$: Sédiments non pollués – Risque négligeable : les matériaux peuvent être gérés sans contraintes particulières ;
- $0,1 < Q_{SM} < 0,5$: Risque faible – Dangerosité à vérifier par la réalisation d'un test écotoxicologique : le test Cl_{20} *Brachionus* (48h) ;

²⁴ Modèle de l'équilibre de partage : approche analytique basée sur l'équilibre thermodynamique permettant de quantifier la distribution d'un contaminant entre les différents compartiments environnementaux (eau-sédiment-biote).

- $QSM > 0,5$: Risque non négligeable – Réaliser un diagnostic approfondi, et notamment a minima un test Cl_{20} *Brachionus* (48h) et un test de lixiviation.

A18.4 - VALEURS ÉCOTOXICOLOGIQUES PNEC ET RÉGLEMENTAIRES NQE

L'évaluation de la toxicité d'un contaminant passe par l'estimation de sa concentration dite sans effets pour l'environnement : PNEC (*Predicted Non Effect Concentration*). Il existe des PNEC eau douce, eau marine, sédiment et orale (empoisonnement secondaire des prédateurs par leurs proies). Toutes ces valeurs seuils sont extrapolées à partir de résultats écotoxicologiques, affectés d'un facteur d'incertitude variable selon la qualité et la quantité des données nécessaire au calcul. Les PNEC sont calculées et validées par des organismes experts, comme l'INERIS²⁵ en France.

Concernant le compartiment sédimentaire, les PNEC sédiment sont peu nombreuses et souvent dérivées à partir des PNEC eau (méthode des lois de partage). Les PNEC ainsi déterminées doivent donc être prises avec précaution et utilisées comme des indicateurs [LACHAMBRE & FISSON, 2007].

PARAMÈTRES	PNEC _{SEDIMENT} (mg/kg sec)
Cadmium	2,3 + bruit de fond
Cuivre	0,8
Mercure	9,3 + bruit de fond
Plomb	53,4 + bruit de fond
Zinc	37 + bruit de fond

Tableau 37 : Exemple de PNEC sédiment [INERIS, 2012]

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE établit le cadre de la politique commune à mettre en œuvre afin de rétablir ou d'assurer le maintien du bon état écologique et chimique des eaux en Europe. Cela se traduit par l'amplification des actions de surveillance des écosystèmes aquatiques et l'adoption par l'ensemble des Etats-membres d'une méthodologie visant à définir des seuils de qualité pour l'environnement. Ces seuils sont appelés Normes de Qualité Environnementales (NQE). L'annexe VIII de la DCE liste 83 substances jugées prioritaires.

Une NQE représente la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote, qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et les écosystèmes.

Les NQE sont déterminées à partir des travaux de recherche réalisés sur les PNEC. Elles sont consultables pour les eaux de surface et les biotes dans l'Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface (Annexe 8 de l'Arrêté).

La Directive Cadre sur l'Eau décrit la procédure d'établissement des NQE pour les substances organiques dans la colonne d'eau mais reste floue concernant l'étude des sédiments ou l'empoisonnement secondaire.

²⁵ INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

Les états membres ont donc toute latitude pour ce qui concerne les PNEC sédiments et empoisonnement secondaire. **Aucune NQE sédiment n'est actuellement disponible**, excepté dans la Circulaire du 28 juillet 2005 définissant des NQE provisoires dont certaines sont calculées à partir des lois de partage pour le sédiment.

PARAMÈTRES	NQEp_{SEDIMENT} (mg/kg sec)
<i>Fluoranthène</i>	0,083
<i>Benzo(a)pyrène</i>	7,6
Benzo(b)fluoranthène	0,17
Benzo(k)fluoranthène	0,014
<i>TBT</i>	0,01

Tableau 38 : Exemple de NQE provisoire sédiment [Circulaire 28/07/2005]

Compte tenu des écarts très importants pour une même substance entre les NQE des différents pays, tant à l'échelle communautaire que mondiale, la situation en 2012 est intermédiaire quant à la prise en compte de la qualité des sédiments dans l'évaluation de l'état des milieux aquatiques, alors que :

- des contaminations de biote (poissons par exemple) sont constatées, dont certaines mises en relation directe avec la contamination des sédiments ;
- la réflexion PNEC sédiments démarre juste et n'a pas encore permis de confirmer ou de faire évoluer les seuils de la réglementation.

Remarque 1 : Ces NQEp sédiment doivent être utilisées avec précaution (exemple : le Benzo(a)pyrène dont les effets toxiques sont supérieurs aux benzofluoranthènes, possède une NQEp moins restrictive).

Remarque 2 : Le Groupe Géode a récemment proposé des valeurs seuils destinées à compléter les référentiels « immersion » en milieu marin (seuils N1/N2 de l'Arrêté du 9 Août 2006), spécifiquement pour les 16 HAP_{US EPA} [GÉODE²⁶, 2011]. Ces valeurs sont directement issues d'une approche écotoxicologique (comparaison entre l'occurrence d'une substance donnée et un effet biologique sur les organismes) et non d'un traitement purement statistique d'un jeu de données. Bien que présentées pour le milieu marin, réputé d'une plus grande biodiversité que les milieux aquatiques continentaux (spectre de sensibilité plus large des espèces), elles constituent à tous ces égards des référentiels fondés, mais n'ont, en l'état, pas fait l'objet d'une validation réglementaire.

PARAMÈTRES	Valeurs seuils N1 (mg/Kg MS)	Valeurs seuils N2 (mg/Kg MS)
<i>Naphtalène</i>	0,16	1,13
<i>Acénaphthylène</i>	0,04	0,34
<i>Acénaphthène</i>	0,015	0,26
<i>Fluorène</i>	0,02	0,28
<i>Phénanthrène</i>	0,24	0,87
<i>Anthracène</i>	0,085	0,59
<i>Fluoranthène</i>	0,6	2,85
<i>Pyrène</i>	0,5	1,5
<i>Benzo(a)anthracène</i>	0,26	0,93

²⁶ GÉODE : Groupe d'Etudes et d'Observations sur les Dragages et l'Environnement

<i>Chrysène</i>	0,38	1,59
<i>Benzo(b)fluoranthène</i>	0,4	0,9
<i>Benzo(k)fluoranthène</i>	0,2	0,4
<i>Benzo(a)pyrène</i>	0,43	1,015
<i>Dibenzo(ah)anthracène</i>	0,06	0,16
<i>Benzo(ghi)pérylène</i>	1,7	5,65
<i>Indeno(1,2,3-c,d)pyrène</i>	1,7	5,65
<i>Somme des HAP</i>	-	-

Tableau 39 : Propositions de valeurs seuils HAP en milieu marin [Géode, 2011]

A18.5 - BRUIT DE FOND GÉOCHIMIQUE

L'activité volcanique, les feux de forêt ou encore l'érosion des roches émettent naturellement dans l'environnement certains contaminants. Les concentrations naturelles en contaminant (métaux et HAP principalement) retrouvées dans l'eau, les sols, les sédiments et les biotes sont alors appelées bruit de fond.

Remarque : Il arrive que certaines valeurs écotoxicologiques (PNEC) induisent des effets toxiques à des concentrations inférieures au bruit de fond dans une zone d'étude. Dans ce cas, la démarche consiste à prendre en compte le bruit de fond local pour évaluer concrètement les risques sur l'environnement (relativisation des impacts).

Il existe plusieurs bases de données sur les bruits de fond géochimique à des échelles géographiques variables (régionale, nationale, européenne). Elles concernent principalement les teneurs en métaux retrouvés dans les sols, à l'instar du programme national ASPITET (*Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces*) diligenté par l'INRA. Ce programme résulte d'une analyse statistique nationale sur le Fond Pédogéochimique Naturel (FPGN) dont les résultats sont regroupés dans la base de données du GIS SOL.

ETM (mg/Kg MS)	Gammes de valeur couramment observés dans les sols ordinaires	Valeurs repères	Seuil d'investigation
Arsenic	1,0 à 25,0	25	
Cadmium	0,05 à 0,45	0,5	0,7
Chrome	10 à 90	40	100
Cuivre	2 à 20	40	35
Mercure	0,02 à 0,10	-	-
Nickel	2 à 60	31	70
Plomb	9 à 50	30	60
Zinc	10 à 100	110	150

Tableau 40 : Valeurs du programme ASPITET [INRA, GIS SOL]

Remarque : Des bruits de fond spécifiques au compartiment sédimentaire sont disponibles dans les bases de données suivantes :

- INERIS, 2012. – *Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques* ;
- FOREGS – *Forum of European Geological Survey Directors*.

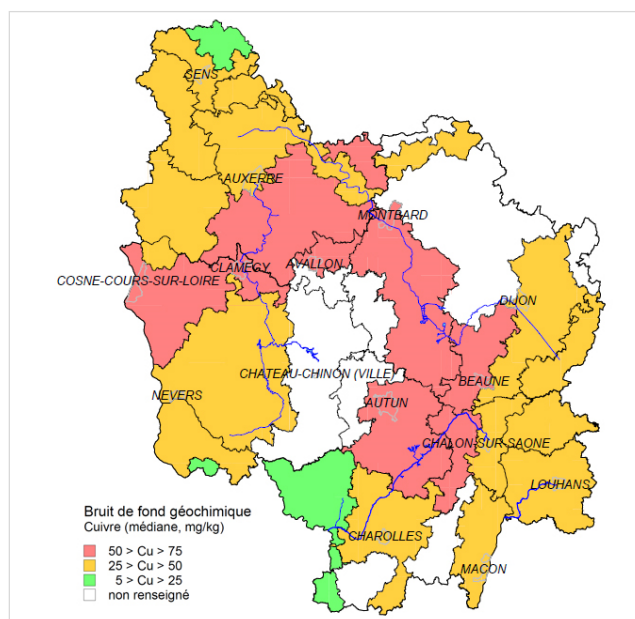


Figure 103 : Exemple d'une carte du fond géochimique en Cuivre dans les sols, par régions agricoles en Bourgogne [INRA/IDRA]

A18.6 - RÉFÉRENTIELS DE GESTION À TERRE DES SÉDIMENTS

Il n'existe actuellement pas de réglementation spécifique aux sédiments et boues de dragage, on doit donc aborder la problématique sous l'angle des dispositions législatives et réglementaires relatives aux déchets, auxquels sont rattachés les sédiments qui ne sont pas uniquement déplacés au sein des eaux de surface. Cette logique ne proscrie donc en rien les possibilités d'une valorisations ultérieures.

L'Article L541-2-2 du Code de l'Environnement précise que les sédiments « déplacés au sein des eaux de surface aux fins de gestion des eaux et des voies d'eau, de prévention des inondations, d'atténuation de leurs effets ou de ceux des sécheresses ou de mise en valeur des terres ne sont pas soumis à la réglementation sur les déchets s'il est prouvé que ces sédiments ne sont pas dangereux ».

La gestion à terre des sédiments passe donc par une qualification des matériaux à extraire au regard des seuils réglementant la gestion des déchets :

A18.6.1 - Seuils des Installations de Stockage de Déchets (ISD)

Les valeurs limites d'acceptabilité des déchets en **Installations de Stockage de Déchets** (Tableau 41) sont édictées à travers les textes réglementaires suivants :

- Arrêté du 28 octobre 2010 fixant la liste des types de déchets inertes admissibles dans les Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI, anciennement dénommé CET de classe 3) et les conditions d'exploitation de ces sites ;
- Décision n° 2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE (ISDND, anciennement dénommé CET de classe 2) ;
- Arrêté du 30/12/02 relatif au stockage de déchets dangereux (ISDD, anciennement dénommé CET de classe 1).

<i>Paramètres</i>	<i>Unité</i>	<i>ISDD Arrêté du 30/12/2002</i>	<i>ISDND Décision conseil du 19/12/2002</i>	<i>ISDI Arrêté du 28/10/2010</i>
Arsenic (As)	mg/kg MS	25	2	0,5
Baryum (Ba)	mg/kg MS	300	100	20
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	5	1	0,04
Chrome (Cr)	mg/kg MS	70	10	0,5
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	100	50	2
Mercure (Hg)	mg/kg MS	2	0,2	0,01
Molybdène (Mo)	mg/kg MS	30	10	0,5
Nickel (Ni)	mg/kg MS	40	10	0,4
Plomb (Pb)	mg/kg MS	50	10	0,5
Antimoine (Sb)	mg/kg MS	5	0,7	0,06
Sélénium (Se)	mg/kg MS	7	0,5	0,1
Zinc (Zn)	mg/kg MS	200	50	4
Chlorure (Cl ⁻)	mg/kg MS	25 000	15 000	800
Fluorure (F ⁻)	mg/kg MS	500	150	10
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	mg/kg MS		20 000	
Indice phénol	mg/kg MS			1
COT	mg/kg MS	1 000	800	500
Fraction Soluble (FS)	mg/kg MS	100 000	60 000	4 000
HCT *	mg/kg MS		2 500	500
16 HAP *	mg/kg MS			50
7 PCB *	mg/kg MS			1
BTEX *	mg/kg MS			6
COT *	mg/kg MS			30 000

*Tableau 41 : Valeurs limites des concentrations sur éluats et sédiment brut**

Article L 541-4-1 et circulaire du 24 décembre 2010 relative aux modalités d'application des décrets n°2009-1341, 2010-369 et 2010-875 modifiant la nomenclature des installations classées.

4.1.1 Critère de dangerosité « H14 sédiment »

La caractérisation de la dangerosité des déchets se fait au regard des propriétés énumérées à l'Annexe I au R541-8 du C.E (décret n°2002-54).

Sur les 14 critères de dangerosité « H », le critère H14 d'écotoxicité semble aujourd'hui le plus pertinent pour définir la dangerosité d'un sédiment, eu égard à la note du MEDD du 18 septembre 2002. La mise en œuvre du test de dangerosité « H14 - sédiment » est préconisée dans **le cadre d'une gestion à terre des déchets issus des dragages**. Ce protocole encore à l'étude vise à définir l'écotoxicité des matériaux à travers une série de bio-essais aiguës ou chroniques sur l'éluat de lixiviation du matériau, l'eau interstitielle et enfin le matériau brut lui-même (*cf. Document Annexes Chap...*).

Remarque : A noter que le déclenchement ou non de la procédure du test H14 est prévu, en l'état, si au moins un dépassement d'un des seuils S1 de l'Arrêté du 9 Août 2006 est constaté. Le protocole tel qu'il a été testé, étudié et pour proposition au Ministère est disponible. rapport final d'étude sur ce protocole est prévu pour le printemps 2012.

A18.6.2 - Valorisation agronomique

A défaut de valeurs seuils réglementaires de gestion des sédiments à terre, les valeurs de l'**Arrêté du 8 janvier 1998** relatif à l'épandage des boues de station d'épuration ont souvent été prises en compte pour les sédiments extraits des opérations de dragage et en vue d'une valorisation à terre en épandage ou reconstitution de sol.

Il n'en demeure pas moins que des différences notables existent entre sédiment et boues de STEP en termes de composition et de volumes à gérer.

Les niveaux de référence relatifs à la législation sur l'épandage des boues de STEP sont rappelés dans le tableau suivant. Cette législation fixe deux seuils, les valeurs limites dans les boues et les valeurs limites dans les sols, autorisant ou non le dépôt à terre (cf. *Tableau 42*).

Arrêté du 8 janvier 1998		
<i>Valeur limite (en mg/kg MS) acceptée dans les boues pour :</i>		
<i>Utilisation possible</i>	<i>Epandre</i>	<i>Reconstituer un sol</i>
MÉTAUX TRACES		
<i>Cadmium</i>	10	2
<i>Chrome</i>	1000	150
<i>Cuivre</i>	1000	100
<i>Mercure</i>	10	1
<i>Nickel</i>	200	50
<i>Plomb</i>	800	100
<i>Zinc</i>	3000	600
COMPOSÉS ORGANIQUES		
<i>PCB</i>	0,8	
<i>Fluoranthène</i>	5	
<i>Benzo(b)fluoranthène</i>	2,5	
<i>Benzo(a)pyrène</i>	2	

Tableau 42 : Seuils réglementaires propres à l'épandage et à la reconstitution des sols

A18.6.3 - Autres valeurs repère

FNADE

Guide SETRA

A18.6.4 - Autres programmes de collecte de données de qualité sédiment

A l'échelle nationale

Sédimentothèque (programme Sédimar) attention : marin

A l'échelle du Bassin Rhône-Alpes : OSR

A18.7 - SYNTHÈSE DES RÉFÉRENTIELS ET MISE EN APPLICATION

	Référentiels	Origine du référentiel	Contexte de mise en œuvre
RESTITUTION AU MILIEU AQUATIQUE	Seuils Loi sur l'Eau S1 (Arrêté 9/08/2006)	Valeurs écotoxicologiques pour certains paramètres	Critère de déclenchement de procédure administrative (Déclaration / Autorisation). Préambule à tout projet en lien avec le milieu aquatique impliquant une remobilisation de sédiment.
	Seuils « S1 / S2 » (PCB)	Valeurs écotoxicologiques proposées par l'IRSTEA, SNRS, DIREN de Bassin	Objectifs de non dégradation du milieu, lors des opérations de dragage
	PNEC_{sed}	Valeurs écotoxicologiques validées par organismes d'Etat (INERIS, IFREMER, US EPA..)	Protection des peuplements benthiques
	NQE	DCE, sur la base des PNEC	Objectifs de protection de la ressource en eau (bon état écologique et chimique)
GESTION A TERRE	Bruit de fond géochimique	Concentration en contaminant du sol et des sédiments pour une aire géographique donnée Source : INRA	Référentiel pouvant être utilisé pour la relativisation des impacts
	Seuils « épandage » et « sols » (Arrêté du 8/01/1998, boues de STEP)	Equivalent Seuil S1 + Arsenic	Valorisation agronomique en épandage, ou reconstitution de sol
	Valeurs guides SETRA (nov. 2010)	SETRA / MEDD Valeurs basées sur les seuils inertes de l'Arrêté du 28/10/2010	Valorisation des sédiments en sous-couche routière
	Seuils « Déchets » : Inerte / Non Dangereux / Dangereux Arrêté 28/10/2010	Valeurs seuils sur éluat et matériaux bruts	Stockage/Élimination : qualification du sédiment au regard de la nomenclature Déchets
	H14 (2012)	BRGM / MEDD	Critère de définition de la dangerosité d'un sédiment en vue d'une gestion à terre

Tableau 43 : Synthèse des référentiels disponibles pour les sédiments selon les contextes et mise en application

A19 - TECHNIQUES DE TRAVAUX, IMPACTS ET REDUCTION DES IMPACTS

Il existe un grand nombre de techniques d'intervention sur les sédiments allant du simple battage de palplanches aux systèmes automatisés de curage. Néanmoins, chaque opération doit avant tout être cohérente avec les aspects suivants :

- La nature et l'emprise des travaux projetés ;
- Les caractéristiques du gisement sédimentaire : volume, niveau de contamination
- Les impacts générés sur l'environnement et le contexte socio-économique ;
- La réglementation en vigueur.
- Les coûts de l'opération à court et long terme ;

Le choix d'utilisation d'une technique plutôt qu'une autre est donc conditionné par de nombreux critères d'ordre économique, environnemental mais surtout technique. Les descriptifs techniques des moyens d'intervention sont synthétisés ci-après.

Globalement, il existe deux grands moyens d'extraction de sédiments aquatiques, qu'il y ait remise à l'eau ou dépôt à terre : le **curage mécanique** et le **curage hydraulique**.

S'ajoute le **curage par agitation**, qui lui n'est utilisé que pour une remise à l'eau.

Ils présentent la caractéristique de générer un taux de matière en suspension, la forme extrême étant la méthode par agitation.

A19.1 - CURAGE MÉCANIQUE

Le principe de fonctionnement est basé sur l'extraction des sédiments à l'aide d'un outil de préhension qui ne déstructure que faiblement les matériaux et minimise les prélèvements d'eau. Les volumes retirés et transportés sont donc, aux foisonnements près, sensiblement voisins de ceux en place.

Impact MES : La dispersion des sédiments et matières en suspension, sans être nulle, peut être minimisée par le choix du matériel (voir ci-dessous) et les précautions de l'opérateur.

La benne preneuse a un impact MES supérieur à la pelle mécanique, notamment du fait qu'elle est utilisée pour des profondeurs supérieures et donc le trajet de remontée est plus important ; de plus l'égouttement est important lors de la sortie de l'eau.

Le curage mécanique peut être mis en œuvre avec des moyens de décaissement variables (godet, benne preneuse,...). Les machines interviennent généralement sur l'eau à partir de pontons flottants ou d'engins amphibies. La faisabilité de l'intervention dépend alors des hauteurs d'eau disponibles. Le curage mécanique est également envisageable à sec comme c'est le cas sur les canaux et plans d'eau artificiels où la maîtrise des niveaux d'eau est permise.



Figure 104 : Pelle mécanique bras long et pelle mécanique sur ponton



Figure 105 : Pelle amphibie en action [IDRA]



Figure 106 : Curage à l'aide d'une benne preneuse

A19.2 - CURAGE HYDRAULIQUE

Le principe d'extraction des engins hydrauliques est basé sur une dilution des sédiments avec l'eau, le mélange créé est aspiré et refoulé via des canalisations. Les volumes refoulés sont donc plus importants que ceux en place (1 volume de sédiment en moyenne pour 10 volumes d'eau).

Impact MES : Dans le cas de remise en eau, la dispersion de matières en suspension est très importante, elle est très faible dans le cas d'exportation directe à terre (à condition de ne pas avoir de retour de ruissellements en berge).

Les sédiments peuvent être préalablement désagregés à l'aide d'un cutter. Par définition, cette technique n'est utilisable que sur un milieu en eau à l'aide de dragues aspiratrices.



Figure 107 : Dragage aspiratrice (le cutter est visible en tête du bas aspirant)

Pour une gestion à terre des sédiments, cette technique nécessite une certaine disponibilité foncière. En effet, le mélange refoulé doit être renvoyé vers un site de prétraitement à terre pour « concentrer » les sédiments et gérer les eaux de rejets.



Figure 108 : Exemple de prétraitement en bassin de décantation ou géotextile filtrant [IDRA, Tencate]

Dans le cas d'une gestion à terre, la remise en suspension est minimisée, puisque le mélange aspiré est directement envoyé à terre dans des systèmes de rétention.

A19.3 - CURAGE PAR AGITATION

Cette technique consiste à remettre en suspension les sédiments dans la colonne d'eau tout en profitant des processus de dilution et de courant. Il existe de nombreux dispositifs créés à cet effet, on citera entre autres :

- *Le rotodévaseur* : Embarcation munie d'une fraise horizontale qui déstructure le matériau et le remet en suspension dans l'eau ;
- *Les agitateurs* : Dispositifs mécaniques à hélices ou hydrauliques injectant de l'eau qui chassent le sédiment et le remettent en suspension dans l'eau.

Impact MES : L'impact est maximum, puisque la remise en suspension dans le courant est la base de la méthode de dragage.



Figure 109 : Rotodévaseur



Figure 110 : Système d'agitateur à hélices

A19.4 - IMPACTS DE L'EXTRACTION DES SÉDIMENTS

Les travaux sur sédiments immergés conduisent à des remises en suspension plus ou moins importantes selon les techniques (confer ci-dessus).

Le clapage, par exemple, s'accompagne de divers phénomènes de dispersion, en fonction de la granulométrie et des courants. En l'absence de courant au sein de la masse d'eau, un étalement de fond se produit du fait de courants de densité.

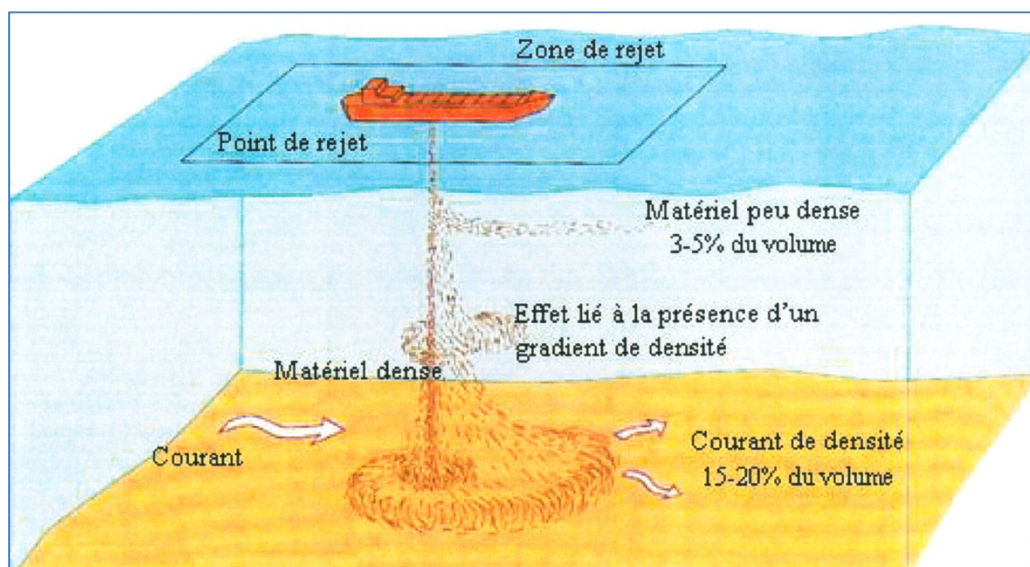


Figure 111 : Dispersion des sédiments au cours d'un clapage (Alzieu, 1988).

En se limitant aux opérations de curage, les différents impacts résultant du fonctionnement des engins de curage sont listés ci-dessous :

A19.4.1 - Pollutions accidentelles du milieu aquatique

Les pollutions accidentelles susceptibles de survenir concernent les fuites d'hydrocarbures (huiles, carburant) par l'engin de curage ou les pertes de sédiment dans le cas d'un objectif de non remise à l'eau (mauvaise étanchéité des barges, erreurs de manipulation). Il en résultera une dégradation plus ou moins conséquente du milieu aquatique.

Par précaution, les engins de curage devraient utiliser des huiles de type végétal et biodégradable. L'étanchéité des barges doit être systématiquement contrôlée avant mise en service.

Les autres pollutions accidentelles revêtent un caractère exceptionnel qui ne présente pas un véritable danger si une réaction immédiate d'arrêt du chantier et de nettoyage est menée. Les volumes de carburant seront minimes et stockés à l'écart du milieu aquatique (bac de rétention). Les moyens de lutte contre ces pollutions (absorbant d'hydrocarbures, barrages flottants) seront disponibles à proximité des ateliers de curage et de reprise à terre des sédiments. Des exigences sur ces points seront formulées dans le cadre des consultations d'entreprises.

A19.4.2 - Augmentation de la turbidité de l'eau

Concrètement, les impacts liés à une augmentation des Matières En Suspension (MES) se traduisent de différentes façons dans le milieu aquatique.

a. Impacts sur le milieu pélagique (phytoplancton, poissons)

L'augmentation des concentrations en MES peut se traduire à court terme par une chute de l'oxygène dissous et une augmentation des teneurs en ammoniac¹⁰ dans la colonne d'eau. A plus long terme, le changement des conditions physico-chimiques (réoxydation des sédiments anoxiques) peut entraîner un relargage des contaminants adsorbés sur les MES comme les métaux. Le phytoplancton et les poissons sont les principaux organismes aquatiques concernés par le panache de MES.

Concernant les risques de relargage de contaminants contenus par les sédiments, il a été montré que la désorption des contaminants n'intervenait qu'à des échelles de temps incompatibles avec la durée de vie du panache turbide. Les contaminants restent alors sous forme particulaire et sédimentent avec le panache. En milieu lacustre, un calcul théorique montre que les MES décanteront en 5 heures maximum¹¹. L'ammoniac est le principal facteur de toxicité au moment de l'opération de curage.

b. Impacts sur le milieu benthique (macrofaune, frayère)

En se déposant sur les fonds, les MES forment une couche superficielle faiblement cohésive, dite couche néphéloïde. A long terme, les invertébrés benthiques sont directement affectés par les contaminants adsorbés sur ces MES (processus de bioaccumulation et bioamplification le long de la chaîne trophique). Dans des cas extrêmes, lorsque les sédiments sont restitués au milieu aquatique, les MES forment des dépôts et recouvrent les fonds (destruction de la macrofaune et des frayères).

c. Impacts sur la végétation aquatique

L'incidence des curages concerne les systèmes végétaux des berges, herbiers aquatiques et zones de roselières qui constituent à la fois un habitat, une source de nourriture et une zone de reproduction pour de nombreuses espèces aquatiques.

L'augmentation des teneurs en MES peut affecter temporairement la transparence de l'eau et indirectement l'activité photosynthétique des végétaux. De plus, la croissance des végétaux peut être ralentie voir stoppée à cause de dépôts massifs et répétés par l'envasement des fonds.

A19.5 - RÉDUCTIONS DES IMPACTS DES TRAVAUX

Certaines mesures permettent de réduire, dans certains cas, l'impact et la propagation des sédiments mis en suspension à l'occasion de travaux de dragage. Elles sont fonctions des techniques et des milieux.

A19.5.1 - Cours d'eau / Plan d'eau

En cours d'eau, le courant est un facteur de dispersion inévitable et seuls :

- le choix de l'outil ;
- des précautions dans les manœuvres ;
- le choix de périodes avec des régimes hydrologique faibles ;

peuvent réduire les impacts.

Confer Figure 81 –Chute des matériaux clapés à partir d'une barge., page 115.

En plan d'eau, l'absence de courant (en général), permet d'utiliser avec plus d'efficacité des méthode des de réduction de la dispersion des fines. Il s'agit essentiellement de barrages flottants ou de tubes ou « chaussettes » de clapage.

A19.5.2 - Protection de la zone de dragage - Barrages flottant, godet à clapet

Des barrages anti-MES peuvent être disposés autour des engins de curage et de la zone de chargement en barge pour limiter les risques dispersion des sédiments. Ces barrages flottants sont déplacés au gré de l'avancement du chantier.



Le barrage flottant est équipé d'une jupe en géomembrane (200gr/m²) immergée et stabilisée par un lest bas périphérique.

Figure 112 : Barrage flottant.



Figure 113 : Godet à clapet pour éviter la dispersion des sédiments à la remontée.

A19.5.3 - Protection de la zone de clapage - Tube plongeur

Un tube plongeur télescopique peut être utilisé pour l'immersion des matériaux dragues en profondeur. Il est constitué d'éléments mobiles assemblés en acier ou en polyéthylène.

En milieu lacustre, il peut permettre une immersion en deçà, de la thermocline et une meilleure maîtrise du panache dans le milieu.

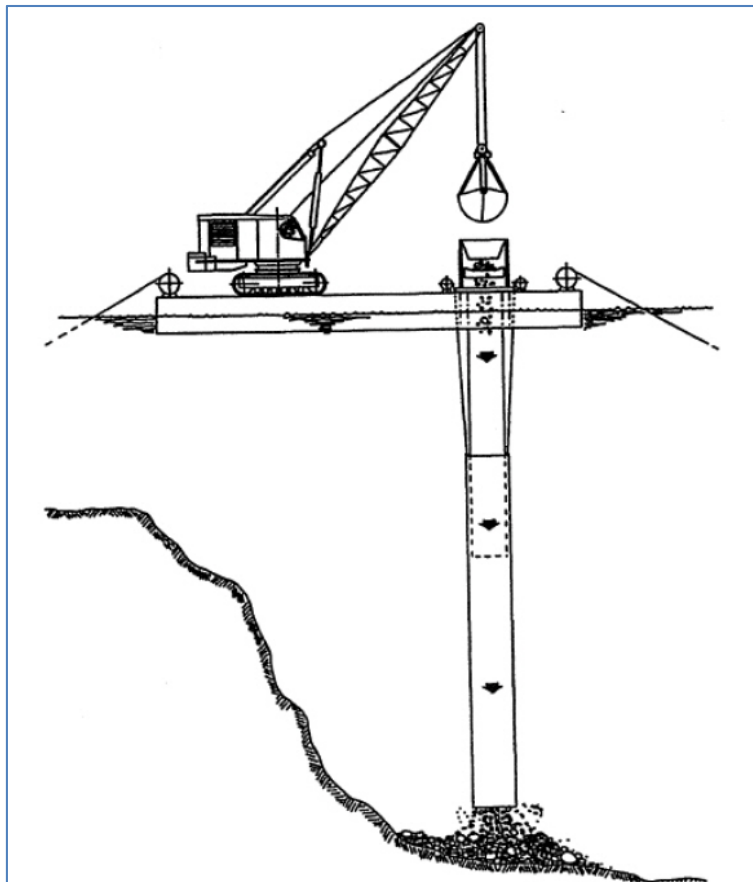


Figure 114 : Tube plongeur pour réduire les panaches de clapage (source OFEFP).

A20 - BIBLIOGRAPHIE

- ALZIEU C., 1999** – *Dragage et environnement marin – Etat des connaissances* – IFREMER – 210p ;
- AQUAREF, 2011.** – *Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques, échantillonnage et analyse des eaux et des sédiments en milieu continental*. Rapport avec la participation de l'INERIS, BRGM, CEMAGREF, LNE. – 96p.
- Aquaref, 2011.** – *Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE* – ONEMA, MEDDTL –24p.
- BABUT M. & MEIGE, 2008.** – Proposition de seuils décisionnels temporaires pour la gestion des sédiments à draguer dans le Rhône. CEMAGREF – 7 p.
- Babut M., Perrodin Y, et al., 2004** – *Méthodologie d'évaluation écotoxicologique de matériaux de dragage : tests de la démarche & essais d'optimisation. Rapport final CEMAGREF, ENTPE, VNF, METL.* 100 p.
- Bonnet C., 2000** – *Développement de bio-essais sur sédiments et applications à l'étude, en laboratoire, de la toxicité de sédiment dulçaquicoles contaminés. Thèse de Doctorat. Univ. de Metz, Laboratoire d'écotoxicologie CEMAGREF.*
- CHARRIAU A., 2010.** – *Etude de la contamination organique et métallique associée aux sédiments du District Hydrographique International de l'Escaut.* Agence de l'Eau Artois Picardie, Région Nord Pas de Calais, CNRS, Géosystème, Université de Lille 1. 33p.
- CETMEF, 2011.** – *Dragage d'entretien des voies navigables, aide à l'élaboration et au suivi d'un plan de gestion pluriannuel.* 185 p.
- CETMEF, 2009** – *Dragage hydrodynamique – Etat des lieux des pratiques françaises et recommandations générales* – CETMEF, MEDDTL – 80p ;
- Communauté d'Agglomération du lac du Bourget, IDRA Environnement SA, 2009** - SCHEMA DIRECTEUR DU CURAGE DES PORTS DU LAC DU BOURGET
- ENV. CANADA, 1994.** – *Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation de sédiments en vue de leur caractérisation physico-chimique et d'essais biologiques* – Rapport SPE 1/RM/29 – Série de la protection et de l'environnement – 178p ;
- GEFFARD, 2001.** – *Toxicité potentielle des sédiments marins et estuariens contaminés : évaluation chimique et biologique, biodisponibilité des contaminants sédimentaires.* Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I – 376p ;
- GHESTEM JP., avec la participation de LACGENAL J. (LNE), 2008.** – *L'assurance qualité pour les prélèvements dans les milieux aquatiques en vue d'analyses physico-chimiques : état des lieux 2008.* BRGM/RP-56859-FR, 63p, 2 illustrations, 2 annexes.
- JEANNOT R., LEMIERE B., CHIRON S., 2000** – *Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. Rapport BRGM R 50128, 110 p, 44 fig., 3 annexes*
- JORF, 1998.** – Arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n°97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
- JORF, 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.
- JORF n°147, 2008.** – Arrêté du 30/05/08 fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L.

214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement.

JORF, 2010. – Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. NOR: DEVP1022585A.

LACHAMBRE & FISSON, 2007. – *Contamination chimique en estuaire de Seine - Fiches substances d'origines naturelles et anthropiques* – Groupement d'intérêt public Seine-Aval ;

METL, 2000. – *Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par arrêté interministériel. Instructions techniques portant sur le prélèvement et l'analyse des déblais de dragage – volet échantillonnage.* pp 7-9.

Mouvet C., Vaillant P., Babut M., Pandard P., 2009 – *Test H14 pour les sédiments : présentation du protocole proposé pour validation par le groupe de travail « dangerosité des sédiments » du MEEDDM et argumentaire succinct de choix effectués.* 6 p.

MURDOCH & MACKNIGHT, 1991. – *Handbook of Techniques for Aquatic Sediments Sampling* – CRC Press, Inc., Boca Raton, FL – 210p ;

UNEP, 2007. – *Manuel d'échantillonnage et d'analyse des sédiments.* Programme des Nations Unies pour l'Environnement - Plan d'action pour la méditerranée. UNEP(DEPI)/MED WG.321/Inf.4 – 29p.

Santiago S., et al., 2002 – *Guide pour l'utilisation des tests écotoxicologiques avec Daphnies, bactérie luminescentes, algues vertes, appliquées aux échantillons de l'environnement.* Groupe de travail « Tests écotoxicologiques » de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman. 49 p.+ annexes ;

VNF, 2011. – *Circulaire technique – Opération de dragage – VNF/SME/C-TEC/DRAG/e* – 26 p ;

Sites internet

Législation/Réglementation : <http://www.legifrance.gouv.fr/>

Protocole H14 : <http://www.brgm.fr/publication/pubDetailRapportSP.jsp?id=RSP-BRGM/RP-60835-FR>

