



Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) lors des activités de dragage

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte
contre les changements climatiques

et

Environnement Canada

Canada 

Québec 

Ce document doit être cité de la façon suivante :

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et Environnement Canada, 2014. *Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) lors des activités de dragage*, X p.

Photographie de couverture : Claude Brassard, Pêches et Océans Canada

Document de travail

Équipe de réalisation

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

- **Aurélié Mutz**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Lise Boudreau**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Isabelle Guay**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Pierre Michon**, Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels

Environnement Canada

- **Julien Gravière**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Serge Lepage**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Francois Marchand**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Magella Pelletier**, Direction de la science et des technologies, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau
- **Myriam Rondeau**, Direction de la science et des technologies

COLLABORATION

- **Vincent Escher**, étudiant à la Maîtrise en Environnement, *Université de Sherbrooke*
- **Hélène Houde**, étudiante à la Maîtrise en Environnement, *Université de Sherbrooke*
- **Dominique Robert-Dubord**, étudiant à la Maîtrise en Environnement, *Université de Sherbrooke*
- **Philippe Thibert-Leduc**, étudiant à la Maîtrise en Environnement, *Université de Sherbrooke*
- **Serge Hébert**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*

RÉVISION SCIENTIFIQUE

- **Hélène Dufour**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques*
- **Simon Blais**, Direction des activités de protection de l'environnement, *Environnement Canada*

RÉVISION LINGUISTIQUE ET TRADUCTION

- Version française, à venir
- Version anglaise, à venir

Remerciements

L'équipe de travail désire remercier les personnes suivantes :

Du Ministère du développement durable, de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques : Mario Bérubé, Danielle Pelletier et Sylvie Legendre (Direction du suivi de l'état de l'environnement) pour les données sur les teneurs ambiantes en MES (BQMA), Lise Richard (Direction du suivi de l'état de l'environnement) pour la cartographie, Martine Gélinau (Direction du suivi de l'état de l'environnement) pour avoir pris part à la réflexion sur la définition des balises de gestion, André Lachance (Direction régionale de la Capitale Nationale) pour ses commentaires avisés sur le chapitre 5.

Claude Brassard, Pascal Tremblay et François Hazel (Pêches et Océans Canada) pour l'information relative à la loi sur les Pêches.

Pierre Rouleau (Pêches et Océans Canada, Garde côtière Canadienne) et Réal Vaudry (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Région du Québec) pour la transmission des rapports de suivi des projets de dragage;

Danielle Cloutier et Robert Hamelin (CIMA+), Jacques Bérubé et Nathalie Paquet (CJB Environnement inc.) ainsi que Patrick Charbonneau (Dessau, Génivar et WSP) pour les informations concernant le suivi des MES lors des projets de dragage;

Guillaume Tremblay (Dessau) pour la visite du site de dragage et de rejet en eau libre à Rivière-du-Loup, le 12 juillet 2010;

L'équipe de travail tient également à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce document.

Avant-propos

Cette publication est réalisée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) du Québec et Environnement Canada (EC) avec le soutien du Comité de Concertation Navigation. Elle s'inscrit parmi les outils de gestion des activités de dragage que développent conjointement EC et le MDDELCC en accord avec la Stratégie de navigation durable.

La Stratégie de navigation durable a été élaborée en 2004 par les membres du Comité de Concertation Navigation dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent III (1998-2003). L'un des enjeux de cette stratégie étant d'« assurer la mise en œuvre de la gestion intégrée du dragage et des sédiments » (D'Arcy et Bibeault, 2004), le Groupe de travail sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments (GTGIDS) fut mandaté pour développer une approche de gestion intégrée du dragage sur le Saint-Laurent. Le document d'orientation sur la gestion intégrée du dragage (GTGIDS, 2004) établit les bases de cette approche et propose des orientations visant l'amélioration des processus de gestion du dragage.

La prise en compte des effets des activités de dragage sur l'habitat du poisson est l'une des 17 recommandations du GTGIDS (2004). Ainsi, les études menées sur les activités de dragage du chenal de la Traverse Nord (au sud-est de l'île d'Orléans) ont montré que le rejet des sédiments en eau libre affectait les populations d'esturgeon noir (Nellis *et al.*, 2007; Hatin *et al.*, 2007; McQuinn et Nellis, 2007). Par des études de modélisation et des observations de terrain, les chercheurs ont montré que les sédiments rejetés au site de dépôt de l'île Madame étaient transportés par les courants vers l'aire d'alimentation des esturgeons noirs juvéniles, causant ainsi des modifications importantes à leur habitat qui se répercutent sur l'abondance et la répartition de des individus dans ce secteur de l'estuaire. Ces impacts ayant été considérés comme un enjeu majeur pour la survie et le rétablissement de la population d'esturgeon noir du Saint-Laurent, les sédiments dragués ne peuvent plus être rejetés au site de dépôt de l'île Madame depuis 2009.

Outre les modifications d'habitats causées par le transport sédimentaire à court et à long terme, l'augmentation importante des teneurs en matières en suspension (MES) dans la colonne d'eau engendre des effets directs et indirects sur la vie aquatique. L'un des deux comités ayant succédé au GTGIDS, soit le Comité de concertation de la recherche sur le dragage (CCRD), s'est vu confier le mandat de développer le cadre scientifique requis pour établir les balises de gestion des MES associées aux activités de dragage.

Ainsi, ce document présente les recommandations relatives à la gestion des MES lors des activités de dragage et de rejet en eau libre qui ont été établies par un processus de concertation et après consultation auprès des divers intervenants en dragage. Il s'adresse aux gestionnaires et maîtres d'œuvre des projets de dragage afin de leur procurer des balises en matière de gestion des MES. Étant donné le nombre important de dragages effectués dans le fleuve Saint-Laurent, le présent document traite principalement du Saint-Laurent et fait état des teneurs en MES qui y ont été observées. Les orientations présentées ici peuvent toutefois être appliquées aux travaux effectués dans d'autres cours d'eau au Québec.

Il est à noter que le document ne traite pas des sédiments contaminés mais procure plutôt des balises pour minimiser l'impact physique de la remise en suspension des sédiments sur la vie aquatique. Pour la gestion des sédiments contaminés, il est recommandé de consulter les documents [Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration](#) (EC et MDDEP, 2007) et [L'évaluation du risque écotoxicologique du rejet en eau libre des sédiments, en soutien à la gestion des projets de dragage en eau douce](#) (MDDEFP et EC, 2013).

Document de travail

Résumé

Le fleuve Saint-Laurent est un écosystème complexe dont les propriétés physiques changent d'amont en aval. Inaugurée en 1959, la voie navigable du Saint-Laurent permet aux navires de haute mer de joindre l'océan Atlantique aux Grands Lacs, sur une distance de plus de 3 200 km. Pour garantir des conditions de navigation sécuritaires, environ 450 000 m³ de sédiments sont dragués chaque année pour l'ensemble des dragages effectués dans le Saint-Laurent. L'une des principales préoccupations liées au dragage est l'augmentation temporaire des teneurs en matières en suspension (MES) qui peut représenter une menace pour la vie aquatique.

Les critères de qualité des eaux de surface adoptés par MDDELCC permettent de protéger la vie aquatique contre les effets néfastes des MES. Ces critères de qualité sont utilisés notamment pour limiter les concentrations en MES dans les effluents d'eaux usées qui sont rejetés à l'environnement. Des critères de gestion des MES spécifiques aux activités de dragage sont maintenant définis en tenant compte des teneurs ambiantes en MES observées dans le Saint-Laurent et des concentrations en MES mesurées en situation de dragage.

En eaux limpides (dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement inférieures à 25 mg/L), les concentrations moyennes en MES mesurées à 100 mètres de la drague et du point de rejet ne doivent pas augmenter de plus de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes, tandis qu'à 300 mètres de la drague et du point de rejet, l'augmentation ne doit pas être supérieure à 5 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes. Dans les eaux turbides (dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement supérieures à 25 mg/L), les concentrations moyennes en MES mesurées à 100 mètres de la drague et du point de rejet ne doivent pas augmenter de plus de 100 % par rapport aux teneurs ambiantes, tandis qu'à 300 mètres de la drague et du point de rejet, l'augmentation ne doit pas être supérieure à 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes. La concentration moyenne en MES est mesurée sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu. Ces critères de gestion sont complétés par un ensemble de balises liées à la protection des zones et des espèces aquatiques sensibles ainsi qu'aux usages industriels, commerciaux ou récréatifs.

Abstract

[À noter que le résumé en anglais est à revoir complètement par un traducteur à partir du résumé en français, qui a été passablement remanié depuis cette traduction]

The St. Lawrence is a complex ecosystem whose properties change from upstream to downstream. Inaugurated in 1959, the waterway of the St. Lawrence enables offshore vessels to reach the Atlantic Ocean to the Great Lakes, on a distance of more than 3,200 km. To ensure safe navigation conditions, more than 450,000 m³ of sediment are dredged annually in the St. Lawrence. A major concern associated with dredging is the temporary increase in levels of total suspended solids (TSS) which represents a threat to aquatic life.

So far, the quality criteria used by the Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs to limit the concentration of TSS in the aquatic environment apply only to the management of effluent discharges in surface waters. Analysis of ambient concentrations of TSS observed naturally in the St. Lawrence and the concentrations measured under conditions of dredging has identified specific criteria in the management of TSS related to dredging activities.

In clear water flow, which ambient levels of TSS are generally below 25 mg/L, TSS concentrations measured at 100 meters of the dredge or disposal site should not exceed ambient levels by more than 25 mg/L on average during the daily dredging period or over a period of 6 consecutive hours if the dredging is ongoing. In turbid water flow, which ambient levels of TSS are generally higher than 25 mg/L, TSS concentration should not exceed two times (100%) the ambient level at 100 meters from the dredge site, and not exceed ambient levels by more than 25 mg/L on average at 300 meters of the dredge site, over the daily dredging period or over a period of 6 consecutive hours if dredging is ongoing. These criteria management are complemented by a set of best management practices (BMP) associated with the protection of areas and sensitive aquatic species as well as industrial, commercial or recreational uses.

Table des matières

Cette table des matières n'est plus adéquate. Ne pas en tenir compte, elle sera refaite

Équipe de réalisation	iii
Remerciements	iv
Avant-propos	v
Résumé	vii
Abstract	viii
Table des matières	ix
Abréviations et acronymes	xii
Introduction	1
1 La problématique des MES	3
1.1 Les effets des MES sur la vie aquatique	3
1.2 Les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique	8
1.2.1 Le modèle de Newcombe et Jensen (1996).....	9
1.2.2 La démarche du Ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique (Caux et al., 1997).....	10
2 Les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent	12
2.1 Le Saint-Laurent : un système hydrodynamique complexe	12
2.2 Les teneurs ambiantes en MES	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1 Répartition spatiale des teneurs en MES	18
2.2.2 Variations saisonnières des teneurs en MES dans le tronçon et l'estuaire fluvial	19
3 Les MES associées aux activités de dragage	22
3.1 Analyse des projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent	22
3.2 Les concentrations en MES observées lors des travaux de dragage	27
4 Les balises de gestion des MES spécifiques au dragage et leur application	32
4.1 La prise en compte des facteurs influençant le comportement des MES lors du dragage	32
4.2 Les critères de gestion des MES adaptés au dragage	33
4.3 Autres balises de gestion	43
4.4 La surveillance des MES lors des travaux de dragage	34
4.4.1 La turbidité comme indicateur des teneurs en MES	35
4.4.2 La détermination des stations d'échantillonnage	40
4.4.3 Les mesures de turbidité et l'échantillonnage	41
4.4.4 L'arrêt des travaux de dragage	43
5 Les mesures d'atténuation	45

5.1	Les bonnes pratiques de dragage.....	45
5.2	Les écrans protecteurs	49
	Conclusion.....	50
	Ouvrages consultés.....	51
	Annexes.....	62

Liste des figures

Figure 1 :	Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts.....	13
Figure 2 :	Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'île d'Orléans Erreur ! Signet non défini.	
Figure 3 :	Localisation des stations d'échantillonnage.....	17
Figure 4 :	Teneurs ambiantes en MES (mg/L) pour le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial.....	18
Figure 5 :	Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour le tronçon fluvial.....	20
Figure 6 :	Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour l'estuaire fluvial.....	21
Figure 7 :	Influence de la granulométrie sur la relation entre la turbidité et les MES	36
Figure 8.	Relations entre la turbidité et les MES observées dans divers secteurs de la baie des Sept îles	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des principaux effets des MES sur le milieu aquatique.....	4
Tableau 2 : Effets des MES sur trois espèces de salmonidés et sur les invertébrés benthiques	7
Tableau 3 : Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique relatifs aux MES (et à la turbidité)	8
Tableau 4 : Échelle de gravité des effets néfastes (GEN) des MES envers les poissons.....	9
Tableau 5 : Données relatives aux six modèles Log-linéaire de gravité des effets néfastes (GEN)	10
Tableau 6 : Caractéristiques de l'échantillonnage effectué de 2003 à 2008 Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 7 : Gestion des MES opérée lors de certains projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008.....	25
Tableau 8 : Concentrations en MES mesurées lors du suivi de certains projets de dragages effectués dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 9 : Concentrations en MES mesurées à diverses distances (d) de la drague ($d \leq 50$ m, $50 < d \leq 100$ m, $100 < d \leq 150$ m et $d > 150$ m)	28
Tableau 10 : Teneurs en MES observées aux stations exposées, aux stations témoins et au site de dépôt, lors des dragages effectués à l'île aux Grues de 2006 à 2013	<u>320</u>
Tableau 11 : Teneurs en MES observées aux stations exposées, aux stations témoins et au site de dépôt durant le dragage effectué à Berthier sur Mer en 2011	<u>340</u>
Tableau 12 : Paramètres à considérer lors des opérations de dragage et de rejet en eau libre.....	<u>322</u>
Tableau 13 : Critères de gestion des MES liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre .	34
Tableau 14 : Principaux facteurs influençant la valeur de la turbidité mesurée in situ.....	36
Tableau 15 : Exemples de variabilité temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR en % de lumière diffusée) et la concentration en MES (mg/L), pour un même site	37
Tableau 16 : Exemples de variabilité spatio-temporelle des corrélations entre la turbidité et la concentration en MES.	37
Tableau 17 : Mesures d'atténuation envisageables pour les projets de dragage et de rejet en eau libre.....	47

Abréviations et acronymes

CCME	Conseil canadien des ministres de l'Environnement
CCRD	Comité de concertation de la recherche sur le dragage
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
CPEED	Comité de planification et d'évaluation environnementale du dragage
CSL	Centre Saint-Laurent
EC	Environnement Canada
GEN	Gravité des effets néfastes
GTGIDS	Groupe de travail sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments
IADC	International Association of Dredging Companies
LP	Loi sur les pêches
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MES	Matières en suspension
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MPO	Ministère des Pêches et des Océans
OBS	<i>Optical Backscatter Sensor</i>
TSS	<i>Total suspended solids</i>
TUR	Turbidité
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UTN	Unité de turbidité néphélogométrique
ZTM	Zone de turbidité maximale

Introduction

Au Dévonien, il y a trois cent cinquante millions d'années, l'ancêtre du Saint-Laurent a tracé une profonde vallée que suit le tracé actuel du fleuve. Au quaternaire, cette vallée aurait subi au moins quatre glaciations. Lors de la fonte du dernier glacier, il y a 10 000 à 12 000 ans, la dépression a été occupée par les mers de Champlain et de Goldthwait qui y déposèrent des argiles en eaux profondes et des sables et des graviers sur les littoraux. Au fur et à mesure du retrait des glaciers et des mers, le relèvement de la croûte terrestre a entraîné la mise en place d'un nouveau réseau hydrographique qui donna naissance à l'actuel Saint-Laurent il y a environ 7 000 ans (CSL, 1997).

Le système hydrographique du Saint-Laurent, incluant les Grands Lacs, figure parmi les plus importants au monde. Sa superficie de 1,6 millions de km² le classe au 13^e rang mondial et au 3^e rang en importance en Amérique du Nord, après ceux du Mississippi et du Mackenzie. Il draine plus de 25 % des réserves mondiales d'eau douce et influence les processus environnementaux du continent nord-américain. Plus de 30 millions d'États-Uniens et 15 millions de Canadiens vivent dans cet immense bassin (EC, 2012a).

L'écosystème du Saint-Laurent est complexe et ses propriétés physiques changent d'amont en aval. Composé de lacs et de tronçons fluviaux, d'un long estuaire et d'un golfe aux caractéristiques marines, le Saint-Laurent possède une diversité d'habitats ainsi qu'une faune et une flore tout aussi diversifiées (EC, 2012a). Les eaux du Saint-Laurent se distinguent aussi par leur faible charge sédimentaire, une des plus faibles parmi les grands fleuves du monde (CSL, 1997).

Le Saint-Laurent représente une des plus importantes voies de navigation commerciales au monde. Depuis son inauguration en 1959, les navires de haute mer peuvent naviguer jusqu'aux Grands Lacs, sur une distance de 3 260 km du Déroit de Cabot au Lac Supérieur (EC, 2012a). Outre les navires de transport et de commerce, de nombreux bateaux de pêche et de plaisance sillonnent les eaux du Saint-Laurent. Pour garantir des conditions de navigation sécuritaires et maintenir les accès aux infrastructures portuaires, le chenal de navigation, les zones portuaires et les marinas sont dragués régulièrement. Les travaux d'entretien, qui consistent à enlever la couche de sédiments nouvellement accumulés, font souvent l'objet d'une planification annuelle, quinquennale ou décennale pour contrer la tendance naturelle du cours d'eau à rétablir son profil original (CSL, 1997). Environ 450 000 m³ de sédiments sont dragués chaque année dans le Saint-Laurent (Lalancette, 2001, Ricard et Saumure, 2003). Dans l'estuaire fluvial, le volume moyen de sédiments dragués par projet atteint plus de 24 000 m³ en moyenne. Le golfe et les Îles-de-la-Madeleine comptent près des deux tiers des projets de dragage du système Saint-Laurent pour seulement un tiers des volumes dragués (CSL, 1997).

Indispensables à la navigation, les activités de dragage¹ ne sont pas sans conséquences sur la vie aquatique. L'une des principales préoccupations à cet égard concerne l'augmentation temporaire des teneurs en matières en suspension (MES) causée par les travaux de dragage. En

¹ Dans le présent document, les termes « activités de dragage » font généralement référence à la fois aux activités réalisées au site de dragage et à celles réalisées au site de rejet des sédiments dragués.

concentrations élevées et/ou lors d'une exposition prolongée, les MES peuvent avoir des effets néfastes sur les espèces les plus sensibles. La sévérité de ces effets varie en fonction de la concentration en MES et de la durée d'exposition, allant de simples changements comportementaux jusqu'à la mort, en passant par des modifications physiologiques (Bilotta et Brazier, 2008 ; Wilber et Clarke, 2001) pour les organismes aquatiques.

Pour la protection de la vie aquatique contre les effets aigus et chroniques des MES, le MDDELCC a adopté les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (MDDEP, 2013; CCME, 2002). Ces critères de qualité servent notamment d'objectifs à respecter dans le milieu naturel, à l'aval immédiat de rejets d'eaux usées.

En situation de dragage, les MES sont générées par la remise en suspension des sédiments présents dans le lit du cours d'eau. Leur dispersion en aval des travaux dépend non seulement des conditions climatiques et hydrodynamiques du milieu mais aussi de facteurs opérationnels du dragage. C'est pourquoi, il est nécessaire de déterminer des balises de gestion des MES spécifiques aux activités de dragage afin de s'assurer que les meilleures pratiques soient mises en place pour réduire au minimum les impacts des MES sur le biote aquatique. Le présent document servira particulièrement lors de l'élaboration des protocoles de surveillance des MES applicables aux activités de dragage.

Chapitre 1

La problématique des MES

1.1 Les effets des MES sur la vie aquatique

Les MES présentes dans les eaux de surface sont composées, en proportions variables, de limon, d'argile, de particules fines de matières organiques et inorganiques, de composés organiques solubles, de plancton et d'autres organismes microscopiques (CCME, 2002). Elles sont présentes dans les cours d'eaux en concentrations plus ou moins élevées selon la nature du milieu, les apports provenant du bassin versant et les variations saisonnières. Les perturbations du milieu, qu'elles soient d'origine naturelle (vent, pluie, courant, marée, érosion, etc.) ou anthropique (rejets d'eaux usées, navigation, dragage, érosion des secteurs perturbés par les activités humaines, etc.) peuvent générer des concentrations anormalement élevées en MES. Si elles perdurent, ces concentrations élevées peuvent représenter une menace pour la vie aquatique, car elles ont des effets directs sur le milieu physique et sur les organismes et entraînent également des effets indirects qui affectent diverses composantes de la vie aquatique (tableau 1).

L'augmentation des MES dans l'eau provoque généralement une augmentation de la turbidité de l'eau. La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent; qu'il s'agisse de substances dissoutes qui colorent l'eau, comme les acides humiques, ou de particules en suspension de diamètres variables. La turbidité est une mesure du manque de clarté ou de transparence de l'eau. Elle résulte des propriétés optiques des substances présentes dans l'eau qui provoquent la diffusion et l'absorption de la lumière. Les effets de la turbidité sur le milieu aquatique sont liés à la diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Une turbidité élevée réduit la photosynthèse et la capacité des poissons et des autres organismes aquatiques à voir et à saisir leur nourriture. À long terme, les effets indirects de la turbidité se répercutent sur l'ensemble de la chaîne trophique (diminution de la productivité primaire et secondaire) et entraînent une inhibition de croissance des organismes touchés (CCME, 2002).

Outre les effets liés à la turbidité, l'augmentation des MES entraîne des effets directs sur les organismes aquatiques, notamment par l'abrasion des organes photosynthétiques et respiratoires, l'obstruction des branchies et le délogement ou l'étouffement des organismes benthiques ou des œufs. Les MES qui se déposent au fond de l'eau rendent le substrat instable et peuvent colmater le lit du cours d'eau et entraîner la dégradation ou la destruction des microhabitats. Les sédiments fraîchement déposés peuvent également se déplacer bien au-delà de la zone de dépôt et modifier de façon importante les habitats, nuisant ainsi à la productivité benthique et, par le fait même, à l'alimentation des poissons. Ce type d'impact a notamment été mis en lumière par les études sur l'esturgeon noir de l'estuaire du Saint-Laurent (Nellis *et al.*, 2007; Hatin *et al.*, 2007; McQuinn et Nellis, 2007). La famille des Salmonidés, qui compte les espèces les plus prisées pour la pêche récréative, est reconnue pour être particulièrement affectée par la dégradation des habitats causée par l'envasement et l'augmentation de la turbidité. Ce serait également le cas de plusieurs espèces de la famille des Catostomidés (Vachon, 2003), dont fait partie le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce désignée en voie de disparition et protégée en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), depuis 2007. Le chevalier cuivré dispose également, depuis 1999, du statut d'espèce menacée en vertu de la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* en vigueur au

Québec. Bien qu'il n'existe aucune étude de laboratoire concernant l'effet de l'envasement et de la turbidité sur le chevalier cuirvé, il semble qu'il pourrait être sensible à ces perturbations. Reproducteur lithophile et benthophage spécialisé, il présente des caractéristiques similaires à d'autres espèces connues pour être affectées par l'envasement et l'accroissement de la turbidité (Vachon, 2003).

Tableau 1. Résumé des principaux effets des MES sur le milieu aquatique¹

	Effets directs	Répercussions sur la vie aquatique
Augmentation des MES dans la colonne d'eau	<i>Altération des propriétés physiques de l'eau</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la pénétration de la lumière • Dégradation de la qualité optique de l'eau : troubles de la vision • Augmentation de la température de l'eau par absorption des photons sur les particules 	<ul style="list-style-type: none"> • Inhibition de la photosynthèse, diminution de la production primaire et de la libération d'oxygène dissous; impact sur toute la chaîne trophique
	<i>Abrasion par les particules</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Endommagement des organes photosynthétiques et du périphyton • Blessures externes, infections (notamment fongiques) des invertébrés et des poissons • Endommagement et/ou obstruction des organes respiratoires et filtrants des invertébrés et des poissons : asphyxie • Décapage du lit du cours d'eau : délogement et dérive des organismes benthiques et exposition à la prédation 	<ul style="list-style-type: none"> • Modifications comportementales (évitement du panache de MES, migration, prédation) et physiologiques (stress accru, difficultés respiratoires, etc.) • Diminution des taux de croissance et de recrutement (passage du stade juvénile au stade adulte)
Sédimentation des MES	<i>Recouvrement et colmatage</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Recouvrement des habitats aquatiques, particulièrement les frayères, par une couche de sédiments et étouffement des oeufs par diminution des échanges métaboliques essentiels (apport d'oxygène et de nutriments, évacuation des déchets métaboliques) • Diminution de la concentration en oxygène dissous au sein du substrat • Étouffement des organismes benthiques à mobilité réduite 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'installation de nouveaux organismes benthiques • Modification de l'abondance et de la diversité des espèces, répercussions sur les réseaux trophiques
	<i>Perturbation physique du lit des cours d'eau</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> • Modification de la composition du substrat du lit • Réduction de la perméabilité et de la stabilité du lit • Réduction des micro-habitats 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution du taux de survie des poissons au moment du passage de l'œuf à l'alevin

¹ Les effets des MES abordés ici ne comprennent pas les effets des substances nutritives ou polluantes qui peuvent être associées aux particules en suspension. Lorsque les MES transportent des substances nutritives ou polluantes, les effets de ces substances doivent être considérés en plus des effets physiques des MES. Ainsi, les nutriments associés aux particules en suspension contribuent à l'enrichissement des plans d'eau et peuvent entraîner leur eutrophisation, diminuer le taux d'oxygène dissous et favoriser le développement de zones anoxiques. Lorsque les MES sont contaminées par des substances toxiques, elles peuvent contribuer à dégrader la qualité de l'eau, causer de la toxicité envers les organismes aquatiques et participer aux phénomènes de bioaccumulation et de bioamplification dans la chaîne trophique.

Facteurs influençant les effets des MES sur le milieu aquatique

Les effets des MES sur le milieu aquatique dépendent de nombreux facteurs tels que les caractéristiques intrinsèques des particules, les conditions hydrodynamiques et physico-

chimiques du milieu, la vulnérabilité des espèces présentes ainsi que la concentration en MES et la durée d'exposition.

Caractéristiques intrinsèques des particules

Le diamètre, la densité et les propriétés chimiques des particules en suspension, notamment leur capacité à flocculer, conditionnent leur vitesse de sédimentation, conjointement aux variantes du milieu. Ainsi, les particules d'argile et de limon, de diamètre inférieur à 62 μm , sont plus lentes à se déposer que des particules plus grossières. Leur vitesse de sédimentation varie généralement de moins de 0,01 à 3 mm/s et leur temps de séjour élevé dans la colonne d'eau favorise leur transport vers l'aval du cours d'eau (CCME, 2002). Par conséquent, ces particules fines qui demeurent plus longtemps en suspension dans l'eau auront un impact à plus long terme que les sédiments grossiers qui sédimentent rapidement (Bilotta et Brazier, 2008). À l'inverse, les MES organiques contenant des nutriments comme le phosphore sont rapidement assimilées par les organismes aquatiques, ce qui réduit leur présence dans le milieu aquatique et par le fait même leurs effets physiques sur le milieu (Clarke et Wilber, 2000). Toutefois, elles contribuent à l'enrichissement du milieu.

Le diamètre, l'angularité et la dureté des particules jouent un rôle important dans le type d'impact que les MES ont sur les organismes aquatiques. Les particules de moins de 75 μm (argiles, limons et sables très fins) sont généralement responsables de l'obstruction des organes respiratoires. Leur petite taille leur permet d'entrer dans les branchies des poissons et de se loger entre les lamelles branchiales. Les particules plus grossières, dont la taille varie de 75 μm à 250 μm (sables très fins à fins), sont plutôt associées directement à l'abrasion des organes respiratoires (Newcombe et Jensen, 1996).

Conditions hydrodynamiques et physico-chimiques du milieu

Les conditions hydrodynamiques et physico-chimiques du milieu influencent à la fois le comportement des MES et la réponse des organismes. La température, notamment, peut modifier les fonctions biologiques des organismes aquatiques. Lorsque l'eau se réchauffe, la quantité d'oxygène dissous diminue, ce qui peut affecter le taux de respiration. En eau froide, le ralentissement du métabolisme peut également augmenter la vulnérabilité de certaines espèces. L'inhibition des réflexes tussigènes et la diminution de la ventilation réduisent la capacité des poissons à débarrasser leurs branchies des particules (CCME, 2002). En outre, la température de l'eau détermine sa viscosité. Dans une eau chaude dont la viscosité diminue, les MES sédimentent plus vite mais leur dispersion sera également plus rapide (Pye, 1994). Conjuguée à un débit élevé (forts courants, crues, etc.), une augmentation de la température de l'eau peut conduire à une dispersion importante des MES dans le milieu aquatique.

Vulnérabilité des espèces présentes

La sévérité des effets varie selon les espèces présentes dans le milieu et des fonctions biologiques vitales qui les différencient (mobilité, mode d'alimentation, stade de croissance, reproduction, etc.). Certaines espèces, notamment estuariennes, sont plus tolérantes à de fortes concentrations en MES puisqu'elles y sont adaptées. En effet, dans les milieux estuariens, les teneurs en MES sont naturellement plus élevées que dans les autres habitats (Pye, 1994). Les poissons de fond

remettent eux-mêmes les sédiments en suspension lorsqu'ils fouissent dans le substrat à la recherche de nourriture ; ils doivent donc être relativement tolérants à des concentrations élevées en MES. Certains organismes tirent profit de la présence des MES en tant qu'apport nutritif supplémentaire (Clarke et Wilber, 2000). La présence continue d'une quantité élevée de MES peut provoquer un changement dans la biodiversité, favorisant des espèces plus tolérantes au détriment des espèces plus fragiles. Par exemple, dans les cours d'eau affectés par une charge importante de MES, les taxons dominants comme les Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) peuvent être remplacés par d'autres taxons de l'assemblage benthique moins sensibles aux MES (USEPA, 2006).

Les effets les plus néfastes se font ressentir sur les organismes à mobilité réduite ou nulle, plus vulnérables à l'enfouissement et à l'étouffement par les particules qui se déposent sur le lit du cours d'eau. Le comportement d'évitement du panache de sédiments en suspension provoqué par les activités de dragage ou le rejet en eau libre est fréquent chez les poissons adultes. En revanche, les larves, les œufs et les communautés fixes (invertébrés benthiques, coraux et plantes aquatiques) ne peuvent se déplacer aussi facilement que les poissons et subissent davantage les impacts de l'augmentation de la concentration en MES (CCME, 2002).

La tolérance des organismes aquatiques aux MES varie également selon le stade de développement biologique. Par exemple, les œufs des espèces dites lithophiles (comme les truites, les saumons et les ombles) sont très vulnérables à l'augmentation des MES et surtout au dépôt des sédiments qui risque de recouvrir les frayères puisque celles-ci sont établies sur la roche ou le gravier. Le succès reproducteur de ces espèces risque de subir une diminution importante si l'augmentation des MES survient à la période d'incubation, entraînant une hausse du taux de mortalité des oeufs. Bien que les salmonidés soient considérés les plus sensibles à ce phénomène, la plupart des espèces de poisson le sont aussi. Le même phénomène est observable chez les invertébrés aquatiques, les premiers stades de vie étant plus durement touchés que le stade adulte par le dépôt des sédiments (Bilotta et Brazier, 2008).

Durée de l'exposition et concentration des MES

L'intensité des effets sur les organismes aquatiques dépend à la fois de la concentration en MES dans le milieu et de la durée de l'exposition à laquelle sont soumis les organismes. En général, plus la concentration en MES et/ou la durée d'exposition augmentent, plus la probabilité de générer des effets néfastes est élevée. La durée d'exposition détermine si les effets encourus peuvent être réversibles après un retour aux teneurs ambiantes en MES. C'est généralement le cas pour les effets comportementaux (réaction d'évitement du panache de MES par exemple) et, dans une moindre mesure, pour les effets sublétaux (stress physiologique). Dans des conditions extrêmes (fortes concentrations en MES et exposition de longue durée), il peut y avoir une modification de l'abondance et de la diversité des espèces (Bilotta et Brazier, 2008 ; CCME, 2002 et Wilber et Clarke, 2001). Le tableau 2 présente, à titre d'exemples, des données montrant l'ampleur des effets observés à diverses concentrations en MES et durées d'exposition.

Tableau 2. Effets des MES sur trois espèces de salmonidés et sur les invertébrés benthiques
(d'après Newcombe et MacDonald, 1991 et Bilotta et Brazier, 2008)

Espèce	Concentration en MES (mg/L)	Durée d'exposition	Effet observé ^a	Référence ^b
Ombre de l'Arctique (<i>Thymallus arcticus</i>)	25	24 h	Taux de mortalité des alevins vésiculés de 6%	Reynolds <i>et al.</i> , 1988 ^{1 et 2}
	65	24 h	Taux de mortalité des alevins vésiculés de 15%	Reynolds <i>et al.</i> , 1988 ^{1 et 2}
	100	1008 h (42 j)	Réduction du taux de croissance de 6%	McLeay <i>et al.</i> , 1984 ¹
Truite	66	1 h	Comportement d'évitement	Lawrence et Scherer, 1974 ¹
Arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	90	456 h (19 j)	Taux de mortalité des jeunes (immatures) de 5%	Herbert et Merkens, 1961 ¹
	37	1440 h (60 j)	Réduction du taux d'éclosion de 46%	Slaney <i>et al.</i> , 1977 ¹
	57	1440 h (60 j)	Réduction du taux d'éclosion de 23%	Slaney <i>et al.</i> , 1977 ¹
	171	96 h (4 j)	Lésions histologiques	Goldes, 1983 ¹
Truite brune (<i>Salmo trutta</i>)	110	1440 h (60 j)	Taux de mortalité des œufs de 98%	Scullion et Edward, 1980 ¹
Invertébrés benthiques	8	1440 h (60 j)	Jusqu'à 50% de réduction de biomasse	Rosenberg et Wiens, 1978 ¹
	62	2400 h (100 j)	Réduction de l'abondance de 77%	Wagener et LaPerriere, 1985 ¹

^a Les effets observés sont fonction des conditions opératoires de chaque étude (caractéristiques biologiques des organismes, caractéristiques physico-chimiques des particules, température et salinité de l'eau, etc.) et sont par conséquent variables.

^b Les références complètes des études sont disponibles dans ¹ : Newcombe et MacDonald, 1991 et ² : Bilotta et Brazier, 2008.

1.2 Les critères de qualité pour la protection de la vie aquatique

Pour la protection de la vie aquatique, le MDDELCC a adopté des critères de qualité relatifs aux MES et à la turbidité (tableau 3) dans les eaux de surface (MDDEP, 2013). Ces critères de qualité sont notamment utilisés pour établir, en fonction de la sensibilité du milieu, des objectifs de rejet pour les effluents d'eaux usées afin de limiter les apports en MES dans le milieu récepteur.

Les critères de qualité relatifs aux MES s'appliquent aux eaux douces (dulçaquicoles), estuariennes et marines et tiennent compte de deux facteurs : (i) le régime hydrodynamique (eau limpide ou eau turbide) qui influence le taux de remise en suspension et la dispersion des MES, et (ii) la durée d'exposition (effet aigu ou chronique). Les termes «eau limpide» et «eau turbide» sont utilisés pour décrire la portion d'un hydrogramme où les valeurs des concentrations en MES sont basses (exemple < 25 mg/L) ou relativement élevées (exemple >25 mg/L). La valeur de transition recommandée (25 mg/L) a été choisie en examinant les hydrogrammes de plusieurs cours d'eau de la Colombie-Britannique afin de fournir à cette province une définition opérationnelle de la période d'eau limpide (Caux *et al.*, 1997).

Tableau 3. Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique relatifs aux MES (et à la turbidité)
(MDDEP, 2013)

	Effet aigu	Effet chronique
En eau limpide	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation maximale de 25 mg/L (8 unités de turbidité néphélométrique – UTN) par rapport à la concentration naturelle ^a ou ambiante ^b selon le contexte. 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne maximale de 5 mg/L (2 UTN) par rapport à la concentration naturelle ^a ou ambiante ^b selon le contexte.
En eau turbide		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation maximale en tout temps de 25 mg/L (8 UTN) par rapport à la concentration ambiante lorsque celle-ci se situe entre 25 et 250 mg/L (entre 8 et 80 UTN). Augmentation de 10 % par rapport à la concentration ambiante lorsque celle-ci est supérieure à 250 mg/L (supérieure à 80 UTN) mesurée à un moment donné.

^a La concentration naturelle correspond aux teneurs en MES qui prévalent dans un milieu non (ou peu) affecté par le développement anthropique. Dans les bassins versants soumis à de fortes pressions anthropiques, la concentration naturelle fait référence à des teneurs historiques avant les pressions anthropiques.

^b La concentration ambiante correspond aux teneurs en MES qui prévalent dans un milieu donné et qui ne sont pas influencées par une source ponctuelle de MES, par une pluie importante ou par la fonte.

Les critères de qualité du MDDELCC correspondent aux Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux relatives aux matières particulaires totales (CCME, 1999, mis à jour en 2002), elles-mêmes basées en majeure partie sur les critères de qualité de l'eau relatifs à la turbidité et aux sédiments en suspension développés par Caux *et al.* (1997) pour le Ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique. Pour élaborer ces critères de qualité, Caux *et al.* ont utilisé l'approche de la gravité des effets néfastes (GEN) développée par Newcombe et Jensen (1996) et basée sur le concept que les effets des MES sur la vie aquatique augmentent avec la concentration et la durée d'exposition.

1.2.1 Le modèle de Newcombe et Jensen (1996)

La méta-analyse de 80 études sur laquelle repose le modèle de Newcombe et Jensen (1996) (voir aussi Newcombe, 1994 et Newcombe et MacDonald, 1991) intègre des centaines de données relatives aux effets des MES observés sur plusieurs espèces de poissons aux caractéristiques biologiques variées (stade de vie, milieu de vie), exposées à diverses concentrations en MES durant des périodes de temps variables. L'analyse statistique de ces données *Effets / Durée d'exposition / Concentration en MES* a permis de développer une équation empirique reliant la réponse biologique des organismes à la concentration en MES et à la durée d'exposition sous la forme suivante :

$$z = a + b(\log_e x) + c(\log_e y)$$

- où
- z : gravité des effets néfastes (GEN)
 - x : durée d'exposition (h)
 - y : concentration en MES (mg/L)
 - a : ordonnée à l'origine
 - b et c : pente des droites $z = f(x)$ et $z = f(y)$ respectivement

La gravité des effets néfastes (z) est définie, à partir d'effets observés, par une échelle semi-quantitative composée de quinze échelons (tableau 4, voir aussi Newcombe, 1994) regroupés dans quatre classes d'effets : (i) aucun effet, (ii) effets comportementaux, (iii) effets sublétaux (stress physiologique notamment) et (iv) effets létaux et paralétaux (inhibition de croissance, réduction de la densité de population, mortalité).

Tableau 4. Échelle de gravité des effets néfastes (GEN) des MES envers les poissons
(tiré et traduit de Newcombe et Jensen, 1996)

GEN	Effets
	Aucun effet
0	Pas d'effets sur le comportement
	Effets comportementaux
1	Réaction d'alarme/d'alerte
2	Abandon des zones d'abri
3	Réaction d'évitement
	Effets sublétaux
4	Réduction à court terme du taux d'alimentation
5	Stress physiologique mineur ; augmentation de la fréquence de la toux ; augmentation du rythme respiratoire
6	Stress physiologique modéré
7	Dégradation modérée de l'habitat ; désorientation
8	Indications de stress physiologique majeur ; réduction à long terme de la fréquence d'alimentation ; mauvais état général
	Effets létaux et paralétaux
9	Réduction du taux de croissance ; éclosion retardée ; réduction de la densité des populations
10	0-20% de mortalité ; augmentation de la prédation ; dégradation modérée à importante de l'habitat
11	> 20-40% de mortalité
12	> 40-60% de mortalité
13	> 60-80% de mortalité
14	> 80-100% de mortalité

L'équation développée est appliquée à six modèles distincts définis en fonction du groupe taxonomique, du stade de vie, du milieu de vie ainsi que de la taille des particules en suspension (tableau 5). Les coefficients *a*, *b* et *c* diffèrent d'un modèle à l'autre.

Tableau 5. Données relatives aux six modèles Log-linéaire de gravité des effets néfastes (GEN)
(tiré et traduit de Newcombe et Jensen, 1996)

Modèle	1	2	3	4	5	6
	Composantes					
Taxon ^a	S	S	S	S + N	N	N
Stade de vie ^b	J + A	A	J	O + L	A	A
Milieu de vie ^c	ED	ED	ED	ED + ES	ES	ED
Granulométrie des sédiments ^d	F à G	F à G	F	F	F	F
	Pentes et coefficients					
Ordonnée à l'origine (<i>a</i>)	1,0642	1,6814	0,7262	3,7466	3,4969	4,0815
Pente de log _e <i>x</i> (<i>b</i>)	0,6068	0,4769	0,7034	1,0946	1,9647	0,7126
Pente de log _e <i>y</i> (<i>c</i>)	0,7384	0,7565	0,7144	0,3117	0,2669	0,2829
	Statistiques					
Coefficient de corrélation (<i>r</i> ²) ^e	0,6009	0,6173	0,5984	0,5516	0,6200	0,6998
Statistique F	130,28	52,37	82,00	28,03	24,50	27,42
Probabilité (P)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Taille de l'échantillon (N)	171	63	108	43	28	22

^a S : salmonidés (principalement) ; N : non-salmonidés

^b A : adultes; J : juvéniles; L : larves; O : œufs

^c ED : poissons d'eau douce et anadromes; ES : poissons estuariens

^d F : sédiments fins (principalement < 75 µm); G : sédiments grossiers (75-250 µm)

^e Corrigé en fonction des degrés de liberté

En 1997, Newcombe étend le modèle de base aux invertébrés et à la flore aquatiques (Newcombe, 1997). En outre, en 2003, il adapte le modèle aux systèmes aquatiques peu chargés en MES où la réduction de la clarté de l'eau est la principale source d'effets néfastes. Pour cela, il remplace la concentration en MES (mg/L) par l'observation visuelle de la clarté de l'eau mesurée au disque de Secchi (m) (Newcombe, 2003). Ces modèles ne sont pas présentés ici.

1.2.2 La démarche du Ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique (Caux et al., 1997)

La démarche développée par Caux *et al.* (1997) pour établir des critères de qualité de l'eau de surface pour la Colombie-Britannique consiste à déterminer la valeur de l'augmentation de la concentration en MES qui entraîne une hausse d'une unité de l'indice GEN pour le groupe taxonomique le plus sensible. La sensibilité des organismes aquatiques à l'augmentation des MES est déterminée par la pente de la relation concentration – réponse à des durées d'exposition données : plus la pente est forte, plus les organismes aquatiques sont sensibles à une augmentation de la concentration en MES. Le groupe taxonomique qui présente la plus forte pente est considéré comme le groupe le plus sensible à l'augmentation des MES.

Concrètement, Caux *et al.* (1997) ont réalisé des tests d'ajustement (à savoir le test G, alternative au test du chi²) sur les modèles linéaires en 3D déjà établis par Newcombe et Jensen (1996) et sur

de nouveaux modèles sigmoïdes en 3D, pour huit groupes taxonomiques² (Newcombe, 1997). Les variables entrant dans ces modèles sont : log concentration, log durée d'exposition et indice GEN. Les analyses effectuées par Caux *et al.* les conduisent à considérer que le modèle sigmoïde LOG-Weibull permet une meilleure qualité d'ajustement que le modèle Log-linéaire utilisé par Newcombe et Jensen. Par une série de régressions linéaires effectuées sur les paramètres concentration-réponse à onze durées d'expositions différentes, les auteurs ont mis en évidence que la plus forte pente de la relation concentration-réponse est obtenue à 24 h et 48 h d'exposition pour le groupe 2, soit pour les salmonidés adultes d'eaux douces. Le groupe 2 est donc jugé le plus sensible aux variations de concentration en MES pour une durée donnée (pour plus de détails sur la démarche analytique, consulter Caux *et al.*, 1997).

En utilisant les données obtenues avec le groupe des salmonidés adultes d'eau douce pour une exposition de 24 heures, Caux *et al.* ont déterminé qu'une hausse d'une unité de l'indice GEN correspond à une augmentation en MES de 25 mg/L. Cette valeur devient celle du critère de qualité en MES pour une exposition de courte durée. Pour une exposition de longue durée, le critère de qualité est défini par une augmentation de 5 mg/L pour une exposition de 30 jours, ce qui se traduit par un indice GEN de 5 correspondant à un stress physiologique mineur (Caux *et al.*, 1997).

Outre les critères de qualité pour les sédiments en suspension, ces résultats ont servi à déterminer les critères de qualité pour la turbidité. Ainsi, les critères de qualité de l'eau relatifs à la turbidité ont été obtenus en appliquant un facteur de 1/3 aux critères de qualité des MES. La valeur attribuée au ratio MES:turbidité (3:1) est basée sur l'étude de 573 paires de données MES – turbidité relatives aux cours d'eau de la région de Kootenay, en Colombie-Britannique (Caux *et al.*, 1997).

² Outre les six groupes taxonomiques présentés au tableau 5, les modèles intègrent le groupe *Invertébrés aquatiques* et le groupe *Invertébrés aquatiques + flore aquatique* définis par Newcombe en 1997.

Chapitre 2

Les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent

L'objectif poursuivi avec les chapitres 2 et 3 est d'étudier les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent et les teneurs observées lors des activités de dragage afin de déterminer l'adaptabilité des critères de qualité pour définir des balises de gestion propres aux activités de dragage.

2.1 Le Saint-Laurent : un système hydrodynamique complexe

Le fleuve Saint-Laurent prend sa source à la sortie des Grands Lacs et parcourt plus de 1 600 km avant de rejoindre l'océan Atlantique. Le long de son parcours, il héberge divers écosystèmes (fluviaux, lacustres et estuariens) qui se distinguent par un ensemble de particularités biophysiques, notamment les débits, la profondeur et la largeur du lit du cours d'eau, le profil d'écoulement et la salinité des eaux ainsi que les espèces qu'ils abritent. Le fleuve peut ainsi être « segmenté » en cinq grands secteurs hydrographiques, caractérisés par des environnements sédimentaires très différents sur le plan des courants, des marées et des glaces (CSL, 1996 et 1997; EC, 2012b). Il est à noter que pour les besoins de ce document, seulement quelques-unes des nombreuses études décrivant les différents secteurs hydrographiques du Saint-Laurent sont citées.

- *Le tronçon fluvial*, entre la sortie du lac Ontario à Cornwall et le lac Saint-Pierre : secteur d'eaux douces peu influencé par les marées. Les courants y sont très variables en raison de la présence de rapides, de lacs fluviaux (lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre) et d'archipels. Ces deux derniers systèmes constituent des zones de sédimentation. Depuis le début du XX^e siècle, la complexité naturelle de l'écoulement des eaux dans ce secteur a été modifiée par de nombreux ouvrages (chenaux de navigation, barrages, ports, endiguements, etc.) et par l'eutrophisation du lac Saint-Pierre (CSL, 1997 ; Hébert et Belley, 2005).
- *L'estuaire fluvial*, de l'exutoire du lac Saint-Pierre à l'extrémité est de l'île d'Orléans : secteur d'eaux douces soumis aux marées. L'inversion de courant qui survient à la marée montante provoque un mélange accru des différentes masses d'eau provenant des rivières tributaires. Le brassage des eaux limite la sédimentation dans ce secteur. Toutefois, les battures de la région de l'île d'Orléans retiennent temporairement de grandes quantités de sédiments fins et la Traverse Nord (au sud-est de l'île d'Orléans), qui s'ensable rapidement, nécessite de fréquents dragages.
- *Le moyen estuaire*, de l'île d'Orléans jusqu'à Tadoussac : secteur d'eaux saumâtres. Le mélange d'eau douce et d'eau salée, provoqué par des courants de forte intensité jumelés à l'influence des marées, entraîne la remise en suspension des sédiments. Il en résulte une forte turbidité des eaux entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres, zone dite « de turbidité maximale » (figure 1). En aval de cette zone de turbidité, les teneurs en MES chutent rapidement.

- *L'estuaire maritime*, de Tadoussac à Pointe-des-Monts : secteur d'eaux salées débutant à la zone de remontée d'eau profonde en provenance du golfe. Cette zone est située à l'embouchure de la rivière Saguenay et à la tête du chenal Laurentien, une fosse sous-marine de plus de 350 mètres de profondeur qui s'ouvre sur le Saint-Laurent. Les teneurs ambiantes en MES dans ce secteur varient en fonction de la stratification des masses d'eau.

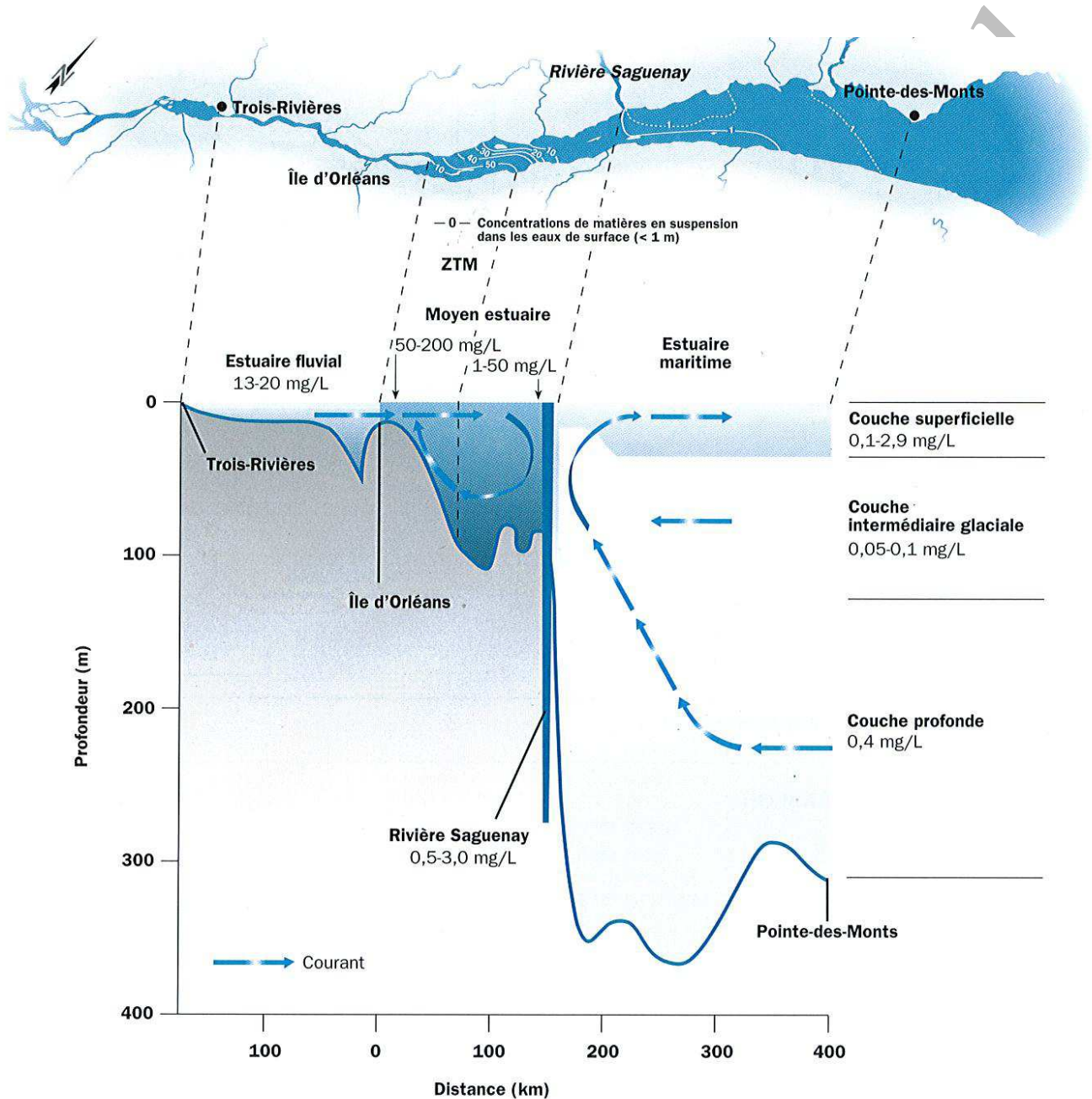


Figure 1. Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts (tiré de CSL, 1997). Il est à noter que cette figure représente une vue schématisée et simplifiée de la bathymétrie du secteur ciblé, pour expliquer le propos.

- *Le golfe*, à partir de Pointe-des-Monts : secteur d'eaux salées ressemblant à une mer intérieure qui s'ouvre sur l'océan Atlantique par les détroits de Cabot et de Belle-Isle. Son écosystème se distingue par la présence du chenal Laurentien, qui sert de couloir à des courants océaniques profonds. Au printemps, les eaux douces du fleuve se mélangent aux eaux salées du golfe en produisant une couche de surface plus chaude et moins salée qui dérive vers l'Atlantique. À l'approche de l'hiver, cette couche se refroidit et devient plus dense, de sorte qu'à la fin du mois de mars, elle se trouve à plus de 100 mètres sous la surface. Cette couche intermédiaire froide est une caractéristique importante du golfe du Saint-Laurent. Une autre particularité de ce secteur est la présence de glaces saisonnières, qui restreignent à la fois l'activité biologique et l'activité humaine, comme la pêche et la navigation (MPO, 2005).

Par ailleurs, dans sa partie fluviale, le Saint-Laurent compte cinq masses d'eau principales et neuf masses d'eau secondaires (figure 2), aux caractéristiques physico-chimiques naturelles bien distinctes (EC, 2012c). En effet, lorsque les eaux des tributaires atteignent le fleuve, elles s'écoulent de façon unidirectionnelle en suivant le rivage, parfois sur de longues distances, avant de se mélanger. Ce n'est qu'à partir des rapides de Deschambault, près de Portneuf (figure 2), que se produit une homogénéisation transversale des eaux, sous l'effet dynamique des marées.

Le transport et la dispersion des MES dans le fleuve et le long des rives sont conditionnés par le déplacement de ces masses d'eau. Le long de leur parcours, les tributaires et les eaux du fleuve se chargent en MES dont les caractéristiques physico-chimiques sont liées à l'occupation du territoire. Au niveau de Québec, les tributaires de la rive sud, occupée principalement par des terres agricoles, contribuent à 19 % de la charge sédimentaire, contre 13 % pour les tributaires de la rive nord (Rondeau *et al.*, 2000), qui est plus urbanisée.

2.2 Les teneurs ambiantes en MES

L'eau qui circule dans le Saint-Laurent présente des concentrations en MES qui varient considérablement d'un secteur à l'autre. La gamme des teneurs en MES de tous ces secteurs **est** relativement bien connue (figure 1). De surcroît, des données recueillies de 2003 à 2008 à diverses stations d'échantillonnage (tableau 6, figure 3), et compilées dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA ; MDDEP, 2010), ont permis de dresser un portrait des variations spatiales et saisonnières des teneurs en MES dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial.

Tableau 6. Caractéristiques de l'échantillonnage effectué de 2003 à 2008 (d'après MDDEP, 2010)

Secteur	Nombre de stations	Numéro des stations	n (nombre de prélèvements)	Échantillonnage	
				Fréquence	Période
Tronçon fluvial	5 principales	1*, 2*, 9*, 10*, 14*	340	Mensuelle	Janvier 2003 à déc. 2008
	9 secondaires	3 à 8, 11 à 13	324		Mai à oct. 2003 à 2008
Estuaire fluvial	2 principales	24* et 28*	132	Mensuelle	Janvier 2003 à déc. 2008
	15 secondaires	15 à 31 sauf 24* et 28*	534		Mai à oct. 2003 à 2008
Zone de turbidité maximale	2	32 et 33	6	Annuelle	Juillet 2003, 2004 et 2005 (échantillons en rive)
Moyen estuaire	2	34 et 35	6		
Estuaire maritime	2	36 et 37	6		
Golfe	6	38 à 43	18		

* Les stations identifiées par un astérisque sont des stations principales (voir figure 3).

Remarque : Les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 1 ou 2 mètres sous la surface.

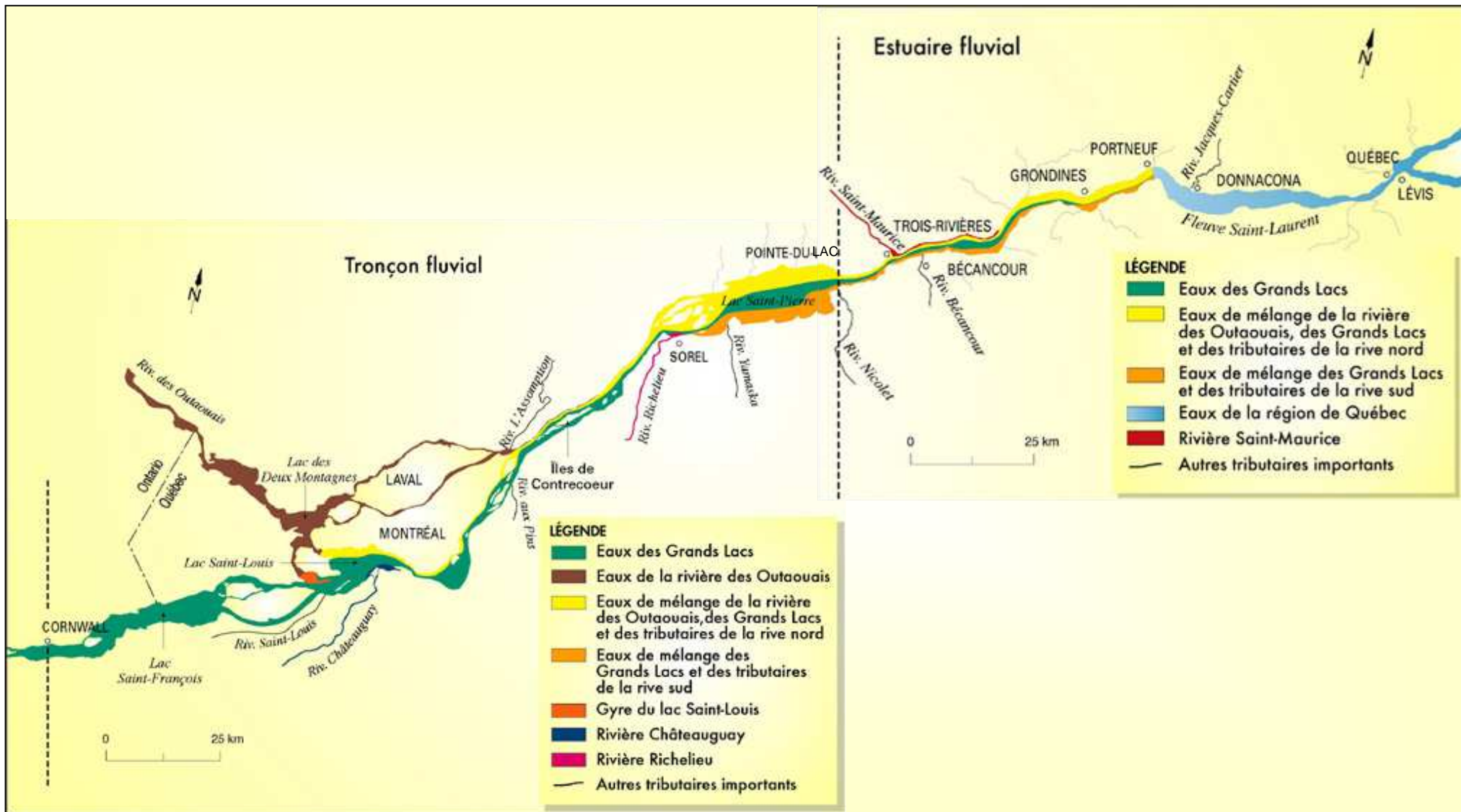


Figure 2. Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'île d'Orléans (adapté de EC, 2012c). À noter qu'il manque un tributaire majeur du Lac Saint-Pierre sur cette figure, soit la rivière Saint-François. Cependant, le but de cette figure est de montrer les différentes masses d'eau du fleuve.

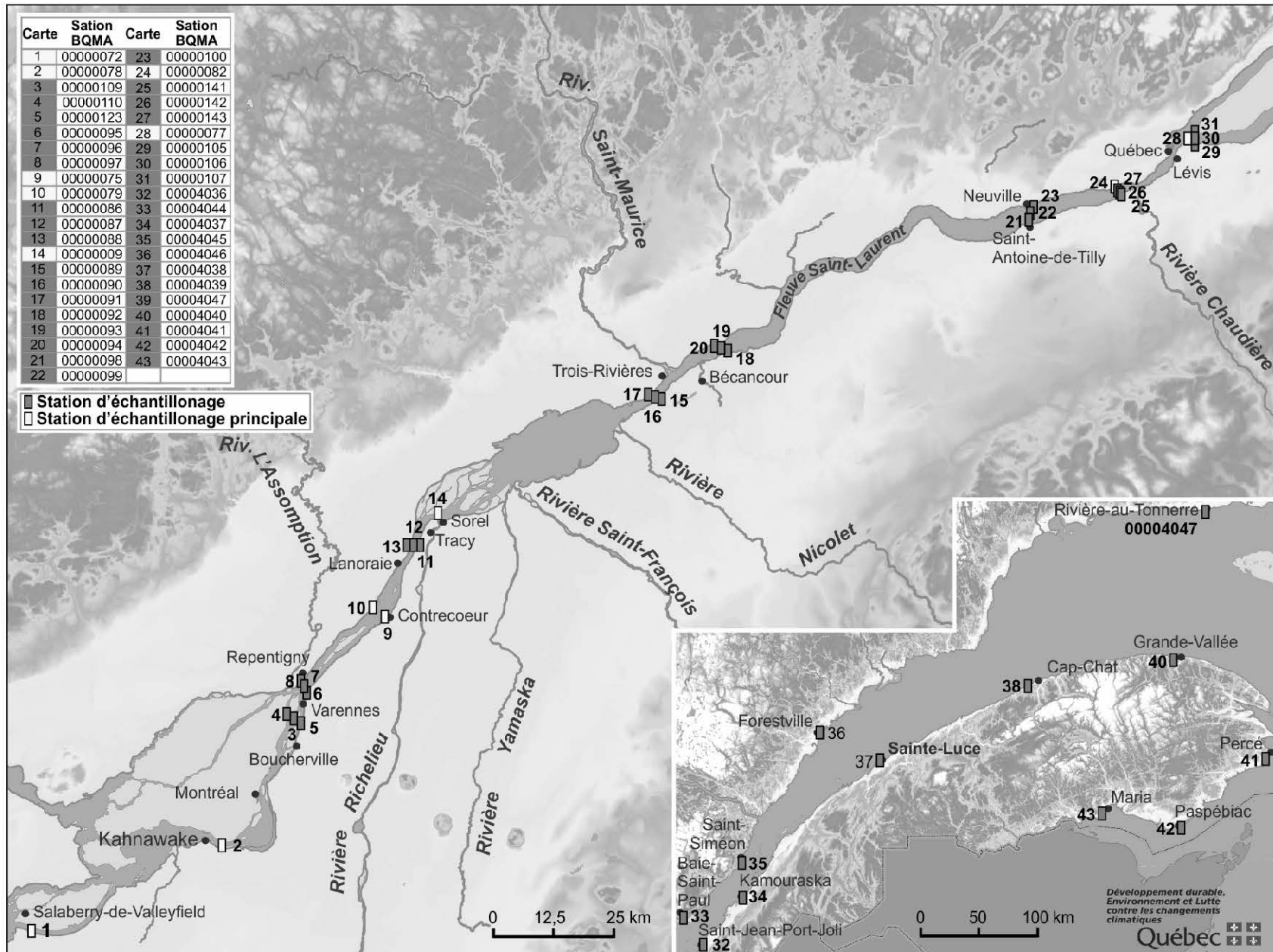


Figure 3. Localisation des stations d'échantillonnage (d'après MDDEP, 2010)

2.2.1 Répartition spatiale des teneurs en MES

Tronçon fluvial et estuaire fluvial

Les données présentées à la figure 4 indiquent que l'estuaire fluvial est plus chargé en MES que le tronçon fluvial. La valeur médiane des concentrations en MES observées dans l'estuaire fluvial, de mai à octobre, est de 10,0 mg/L alors qu'elle est de 4,0 mg/L dans le tronçon fluvial, situé en amont. Outre l'érosion des rives et le ruissellement, c'est surtout l'apport des tributaires qui explique ce phénomène. En effet, entre Sorel-Tracy (tronçon fluvial) et Trois-Rivières (estuaire fluvial), le fleuve reçoit, en rive sud, les eaux des quatre rivières les plus chargées en MES au Québec (Magella Pelletier, Environnement Canada, 2010 – communication personnelle; Rondeau *et al.*, 2000), à savoir les rivières Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet (figures 2 et 3).

Dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial, les teneurs ambiantes en MES dépassent rarement 20 mg/L mais elles peuvent tout de même atteindre 80,0 mg/L (annexes A à C).

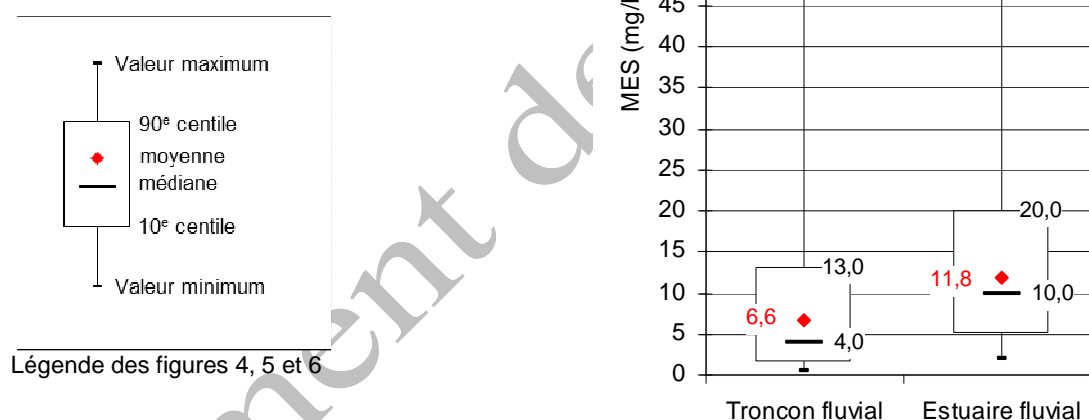


Figure 4. Teneurs ambiantes en MES (mg/L) pour le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010). L'analyse porte sur les données de mai à octobre uniquement (2003 à 2008, stations principales et secondaires confondues) pour le tronçon fluvial (n = 492) et l'estuaire fluvial (n = 598).

Moyen estuaire et estuaire maritime

En aval de l'île d'Orléans, les données recueillies par la BQMA (annexe A) sont peu nombreuses et ne procurent pas d'information sur les variations annuelles observables dans l'estuaire et le golfe. Bien que ce faible nombre de données (3) ne permette pas de dégager un portrait des teneurs ambiantes de ces secteurs, il est possible de constater que les concentrations mesurées aux stations 32 (Saint-Jean-Port-Joli) et 33 (Baie Saint-Paul) (figure 3), situées dans la zone de mélange des eaux, présentent de fortes concentrations en MES qui peuvent atteindre 220 mg/L (annexe A). Lorsque l'eau douce du fleuve rencontre l'eau salée plus dense provenant de l'estuaire maritime, il se crée dans le moyen estuaire un courant descendant vers l'amont. En raison de la bathymétrie du moyen estuaire, ce courant de fond remonte à la surface dans le secteur de la pointe est de l'île d'Orléans (figure 1), entraînant avec lui les sédiments ainsi remis

en suspension (CSL, 1997). À ce phénomène viennent s'ajouter la floculation des particules, l'asymétrie des marées et la circulation cyclonique des eaux (d'Anglejan, 1981 ; Kranck, 1979 ; Silverberg et Sundby, 1979). La zone de turbidité maximale (ZTM) résultante s'étend environ de Saint-Joachim à l'île aux Oies sur la rive nord et plus en aval sur la rive sud, soit de Cap-Saint-Ignace jusqu'à environ La Pocatière. Toutefois, la ZTM se déplace au gré des marées et des variations saisonnières du débit fluvial. Les données rapportées dans la littérature indiquent que les teneurs ambiantes en MES dans la ZTM sont de l'ordre de 50 mg/L à plus de 200 mg/L (d'Anglejan, 1981). En aval de la zone de turbidité maximale du secteur de Montmagny, la concentration en MES baisse drastiquement pour atteindre environ 5 mg/l à Rivière-du-Loup et 2 mg/L à la hauteur du Saguenay (CSL, 1997).

2.2.2 Variations saisonnières des teneurs en MES dans le tronçon et l'estuaire fluvial

Au Québec, les crues printanières dues à la fonte des neiges se produisent durant deux périodes, tel que l'indiquent les figures 5 et 6. En avril, la première fonte des neiges entraîne une augmentation importante des débits du fleuve et des teneurs en MES. Dans le mois qui suit, les fontes tardives du nord du Québec, auxquelles s'ajoute une pluviométrie importante, font passer le débit de la rivière des Outaouais (figure 2) de quelques centaines de m³/s à plus de 8 000 m³/s (EC, 2012b). Cette importante crue apporte au fleuve des volumes d'eau importants et une charge sédimentaire élevée.

L'étendue des crues printanières est limitée par la présence d'ouvrages régulateurs tels que le barrage de Carillon aménagé sur la rivière des Outaouais, à la frontière Québec – Ontario. Ce système de régulation explique la légère baisse des teneurs en MES en mai, notamment dans le tronçon fluvial (Magella Pelletier, Environnement Canada, 2010 – communication personnelle).

Outre les crues printanières, le ruissellement et l'érosion des rives sont responsables d'un apport important en charge sédimentaire dans le Saint-Laurent. Au niveau de Québec, 65 % de la charge sédimentaire est associée à l'érosion du lit et des berges du Saint-Laurent (Rondeau *et al.*, 2000). En outre, dans l'estuaire fluvial, d'intenses courants de fond générés par des marées de forte amplitude balayent les sédiments fins, entraînant une hausse des teneurs ambiantes. Les sédiments ainsi remis en suspension se déposent sur les battures et sont stabilisés par la végétation en période estivale, avant d'être ramenés au large par les marées, les vents forts et les pluies d'automne (principalement en novembre) (CSL, 1997; d'Anglejan, 1981; EC, 1994).

Selon les données recueillies par la BQMA entre 2003 et 2008, les teneurs ambiantes les plus faibles (figures 5 et 6) sont observables en hiver, notamment en mars lorsque le ruissellement est limité par les basses températures, et en été, durant les périodes sèches.

Les données recueillies sur le terrain et dans la littérature mettent en évidence que les teneurs ambiantes en MES dans le fleuve Saint-Laurent sont soumises à des variations spatiales et temporelles liées principalement aux conditions hydrodynamiques du milieu. Ainsi, les concentrations en MES peuvent atteindre occasionnellement plusieurs dizaines de mg/L dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial, notamment lors des périodes de fonte des neiges et de crue (en avril et novembre).

Recommandations pour la gestion des MES lors des activités de dragage

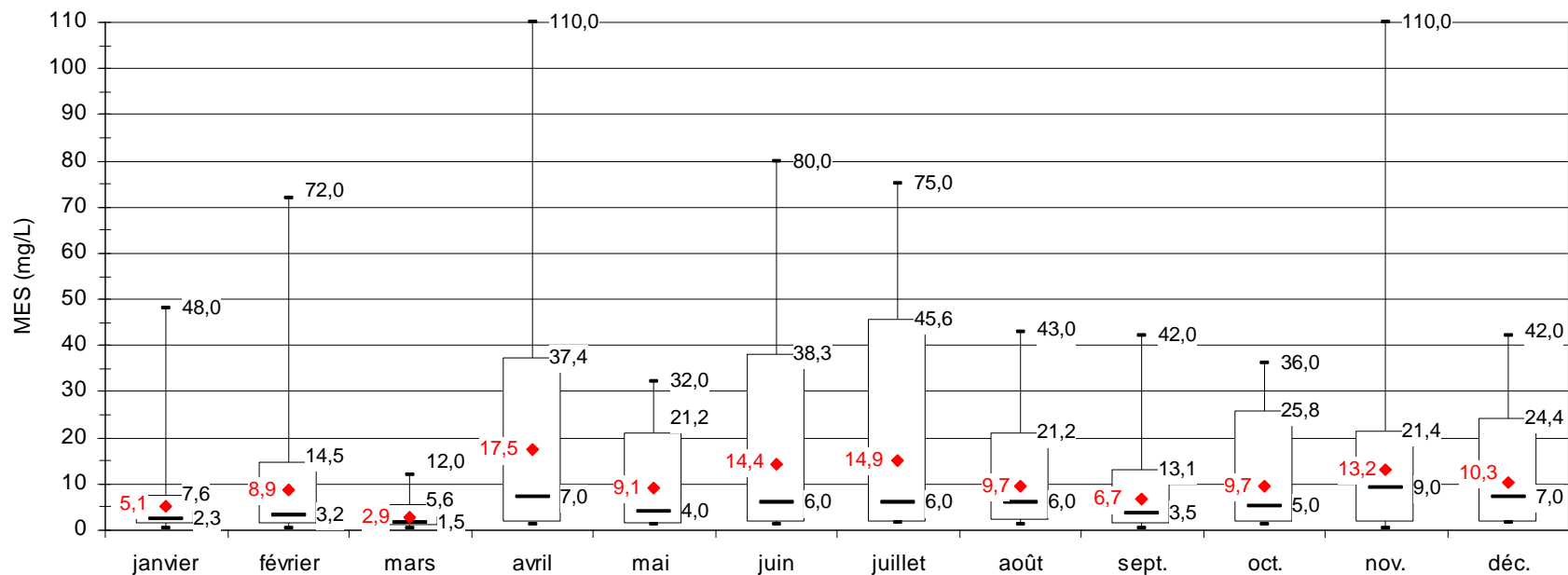


Figure 5. Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour le tronçon fluvial (d'après MDDEP, 2010).

L'analyse porte uniquement sur les données des stations principales, symbolisées par un astérisque (*) sur la figure 3 (n = 340).

Document

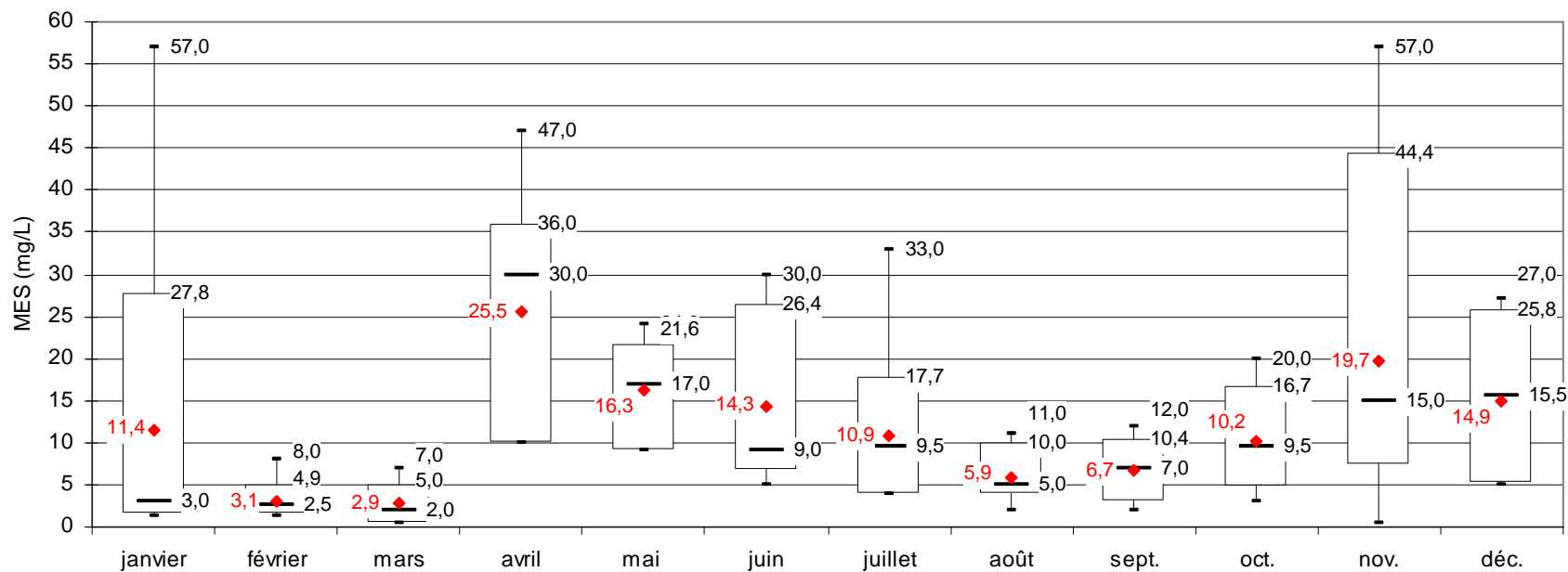


Figure 6. Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010).
L'analyse porte uniquement sur les données des stations principales, symbolisées par un astérisque (*) sur la figure 3 (n = 132).

Document

Chapitre 3

Les MES associées aux activités de dragage

3.1 Le contexte des projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent

Le dragage, responsable d'augmentations en MES ponctuelles, localisées et potentiellement nuisibles à la vie aquatique, est néanmoins une activité indispensable au maintien d'une navigation sécuritaire dans les couloirs de transport, les abords portuaires et les marinas. Praticué depuis le milieu du XIX^e siècle pour la construction de la voie navigable, le dragage vise à augmenter la hauteur d'eau dans les secteurs peu profonds. L'ampleur des travaux de dragage varie en fonction de l'évolution des gabarits de la flotte et des fluctuations des niveaux d'eau. Les secteurs soumis aux processus de sédimentation peuvent nécessiter des dragages d'entretien réguliers pour maintenir les profondeurs d'eau requises. Les dragages d'entretien font parfois l'objet de programmes quinquennaux ou décennaux.

Les dragages réalisés au Québec sont assujettis à la juridiction provinciale, à l'exception des travaux réalisés par un organisme fédéral qui agit dans son champ de juridiction. Le MDDELCC gère la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement à laquelle sont assujettis les projets de dragage réalisés sur une superficie égale ou supérieure à 5000 m² ou sur une distance de 300 mètres et plus (*Loi sur la qualité de l'environnement* et son *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement*). Cette procédure s'applique aux projets privés, à ceux du gouvernement provincial et à certains projets du gouvernement fédéral relatifs à la restauration des fonds marins. Le MDDELCC délivre aussi des certificats d'autorisation pour des travaux de moindre envergure non assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement. D'autres ministères ou organismes, tels que le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) du Québec, interviennent de manière plus spécifique en ce qui a trait aux habitats fauniques en milieux terrestre et aquatique.

Les dragages réalisés au Québec sont également assujettis à la juridiction fédérale. Environnement Canada et Pêches et Océans Canada assurent notamment le respect des exigences concernant l'immersion en mer des sédiments dragués, les espèces menacées, l'habitat du poisson et les oiseaux migrateurs. Tous les projets de dragage sont assujettis à la *Loi sur les pêches* (LP), laquelle requiert que les projets évitent de causer des dommages sérieux³ au poisson⁴, à moins que ces dommages n'aient été autorisés par le ministre de Pêches et Océans Canada. Des critères permettant de déterminer si un projet est assujetti ou non à l'examen du ministre de Pêches et Océans Canada (MPO), notamment pour les activités de dragage d'entretien et celles d'élimination en eaux libres, sont disponibles sur [le site Web du MPO](#). Par ailleurs, en vertu l'article 67 de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE, 2012), les autorités fédérales qui réalisent un projet de dragage en terre domaniale, ou qui exercent leurs attributions pour un tel projet (ex. émission d'une autorisation), doivent évaluer si la réalisation du projet

³ dommages sérieux à tout poisson : la mort de tout poisson ou la modification permanente ou la destruction de son habitat sont considérées comme des dommages sérieux. (Paragraphe 2(2) de la LP).

⁴ poisson : a) les poissons proprement dits et leurs parties; b) par assimilation : (i) les mollusques, les crustacés et les animaux marins ainsi que leurs parties, (ii) selon le cas, les oeufs, le sperme, la laitance, le frai, les larves, le naissain et les petits des animaux mentionnés à l'alinéa a) et au sous-alinéa (i). (Paragraphe 2(1) de la LP).

entraînera des effets environnementaux négatifs importants. Également, mentionnons qu'une activité de dragage peut avoir des impacts sur la navigation et qu'en vertu de la Loi sur la protection de la navigation (LPN), il est possible qu'un examen par Transports Canada soit exigé afin d'évaluer l'interférence sur la navigation.

Selon la situation, d'autres lois et règlements peuvent aussi s'appliquer aux projets de dragage réalisés au Québec. La plupart de ces lois et règlements sont mentionnés sur la page du Registre de planification des activités de dragage du site web du Plan d'action Saint-Laurent.

De façon générale, c'est à travers l'application de cette réglementation ou législation environnementale que peut être exigée l'élaboration d'un protocole de surveillance des MES pour des travaux de dragage. Ainsi, bien que les recommandations du présent document ne soient pas considérées comme des normes réglementaires ou légales, elles deviennent obligatoires lorsqu'elles sont enchâssées dans les actes statutaires (certificats d'autorisation ou permis) délivrés en vue de la réalisation des projets de dragage.

3.2 Analyse des projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent – Étude de cas

Afin d'apprécier l'ampleur des augmentations de MES générées par les activités de dragage, un certain nombre de projets qui se sont déroulés dans le Saint-Laurent, pour lesquels des rapports de surveillance étaient disponibles, ont été analysés⁵. Ainsi, une première compilation effectuée en 2009 permet d'analyser les données de suivi de dix projets de dragage relevant des juridictions fédérales et provinciales qui ont été réalisés dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008 (tableaux 7 et 8). Plus récemment, les données de suivis des dragages réalisés entre 2006 et 2013, à l'île aux Grues et à Berthier-sur-Mer, ont fait l'objet d'une deuxième compilation (tableau 9).

Le tableau 7 présente les conditions dans lesquelles ont été réalisés les projets de dragage, à dix sites du Saint-Laurent, entre 1996 et 2008. Le moyen estuaire est le secteur le plus couvert par cette analyse : cinq des dix projets de dragage analysés s'y sont déroulés. Pour deux d'entre eux, soit ceux du quai de l'île aux Coudres et du quai de Rivière-du-Loup, les données disponibles couvrent plusieurs années consécutives (8 et 7 ans respectivement). Par contre, aucune donnée n'a pu être obtenue pour les projets de dragage ayant été effectués dans l'estuaire maritime.

Parmi les projets analysés, les plus importants en termes de volume de sédiments dragués et de durée des travaux concernent l'entretien de la voie navigable (Hauts-fonds entre Montréal et Cap à la Roche, Traverse Nord et Chenal maritime Mines Seleine). En général, les activités de dragage ont lieu en période estivale, mais elles peuvent s'étendre jusqu'en décembre (Chenal maritime Mines Seleine).

Les principales dragues utilisées lors de ces travaux sont les dragues mécaniques à benne preneuse et les dragues hydrauliques autoporteuses (voir section 5.1). Environ 90 % des sédiments dragués dans le Saint-Laurent, soit plusieurs centaines de milliers de mètres cubes annuellement, sont rejetés en eau libre (CSL, 1997; Lalancette, 2001; Ricard et Saumure, 2003).

⁵ Cette revue n'est pas exhaustive; d'autres projets de dragage ont pu être réalisés dans le Saint-Laurent à la même époque. Les projets analysés ici sont ceux pour lesquels nous avons obtenus les rapports de surveillance.

Les balises de gestion des MES qui ont été utilisées pour le suivi de ces projets sont variables d'un projet à l'autre (tableau 7). Parmi les projets recensés, seul celui du dragage du port de Gros-Cacouna a été géré avec des critères de qualité de l'eau, soit ceux des Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux de surface (CCME, 2002; voir section.1.2). Les valeurs de MES observées à diverses distances de la drague ont été comparées à ces critères de qualité. Pour les autres projets, les balises de gestion retenues (seuil d'alerte, arrêt des travaux) sont basées soit (i) sur une augmentation de plusieurs fois les teneurs ambiantes en MES (par exemple, 4 fois la teneur ambiante à une distance de 500 mètres de la drague dans le cas du dragage du quai de Mines Wabush (Roche ltée, 2000)), soit (ii) sur la sensibilité des organismes aquatiques (*ex.* aquaculture) ou (iii) sur la présence d'une prise d'eau industrielle à proximité (Port de Bécancour).

Tableau 7. Gestion des MES opérée lors de certains projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008

	Projet	V sédiments dragués (m³)	Durée du projet	Période	Type de drague	Dépôt / rejet	Balise de gestion des MES		Fréquence des mesures	
							seuil d'alerte	arrêt immédiat	turbidité	MES
Tronçon fluvial	Hauts-fonds entre Montréal et Cap à la Roche 1998 (CJB Environnement inc. et Procean inc., 1999)	~116 682	~3 mois (08 sept. - 28 nov.)	septembre - novembre	mécanique (benne preneuse) (et hydraulique autoporteuse)	eau libre (2-8 x/24 h)	4 x la teneur ambiante mesurée en amont des travaux		1 x/min sur des séquences de 30 min (à ~200 m en aval des travaux)	
	Lac Saint Pierre 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	~6 500	~15 jours continus (7 j/semaine)	mi à fin septembre	mécanique (benne preneuse)	eau libre (1 x/2 h)				
Estuaire fluvial	Port de Bécancour 2008 (Étude d'impact) (Genivar, 2008)	6 000	10 - 12 jours/an 24 h/jour	août - octobre (basses eaux)	mécanique (benne preneuse)	terrestre	80 mg/L à la prise d'eau (centrale nucléaire Gentilly-2)	100 mg/L à la prise d'eau (centrale nucléaire Gentilly-2)	1 x/2 h	1 x/2 h de 2000 à 2004; 1 x/j de 2005 à 2007; si turbidité = 50 UTN en 2008
Moyen estuaire	Traverse Nord 1996 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997a)	~60 000	8 semaines	mi-juillet - mi-sept.	hydraulique autoporteuse à élinges trainantes	eau libre (1 x/3-6 h)		n.d.	1 ou 2 sortie(s)/semaine	1 x/ 2- 1 x/30 min à 2,5 h, de 0 à 10 éch./j
	Quai Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	4 015	3 jours (19 - 21 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	1 x/5 min à 2 h sur 2 jours, de 5 à 10 échantillons/j	
	Quai Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008)	13 827 (théorique)*	9 jours (04 - 12 juin 2008)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1 x/5-45 min	
	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	15 684 (théorique)*	20 jours (10 - 29 juin 2007)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1 x/5 min à 1 h	
	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	15 684 (théorique)*	16 jours (05 - 15 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1 x/2-90 min	
	2005 (Procean Env. inc., 2005a)	11 254 (théorique)*	14 jours (06 - 19 juin 2005)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1 x/2 min à 1 h le 9 juin 2005	
	2004 (Procean Env. inc., 2004a)	16 218 (théorique)*	6 jours (11 - 16 juin 2004)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1 x/5 min à 1 h le 11 juin 2004	
	2003 (Procean Env. inc., 2004b)	17 000 (théorique)*	6 jours (09 - 14 juin 2003)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1 x/5-10 min les 10 et 11 juin 2003	
	2002 (Procean Env. inc., 2002a)	14 500 (théorique)*	9 jours (10 - 18 juin 2002)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1 x/2-10 min le 12 juin 2002	
	2001 (Procean Env. inc., 2001)	12 500 (théorique)*	7 jours (10 - 16 juin 2001)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1 x/10-40 min le 12 juin 2001	

Recommandations pour la gestion des MES lors des activités de dragage

	Projet	V sédiments dragués (m³)	Durée du projet	Période	Type de drague	Dépôt / rejet	Balise de gestion des MES		Fréquence des mesures	
							seuil d'alerte	arrêt immédiat	turbidité	MES
Moyen estuaire	Quai Rivière-du-Loup 2008 (Procean Env. inc., 2008)	31 093 (théorique)*	16 jours (16 juin - 01 juillet 2008)	juin (- juillet)	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1 x/5-10 min quelques heures par jour du 16 au 19 juin 2008	
	2007 (Procean Env. inc., 2007d)	20 260 (théorique)*	31 jours (03 juillet - 02 août 2007)	juillet (- août)	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1 x/5-10 min de 8 à 15h du 16 au 18 juillet 2007	
	2006 (Procean Env. inc., 2007e)	20 260 (théorique)*	14 jours (22 juin - 05 juillet 2006)	juin - juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1 x/5-10 min les 23, 24 et 25 juin 2006	
	2005 (Procean Env. inc., 2006b)	18 965 (théorique)*	18 jours (27 juin - 14 juillet 2005)	juin - juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1 x/2-20 min les 27 et 29 juin 2005	
	2004 (Procean Env. inc., 2005b)	17697	11 jours (26 juin - 06 juillet 2004)	juin - juillet	benne preneuse et barges à fond ouvrant	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1 x/5-20 min les 26 et 28 juin 2004	
	2003 (Procean Env. inc., 2004c)	24 000	8 jours (15 - 22 juin 2003)	juin	benne ?	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		1 x/5 min à plusieurs h durant 3 jours	
	2002 (Procean Env. inc., 2002b)	45 000	14 jours (30 juin - 13 juillet 2002)	(juin -) juillet	benne ?	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		1 x/5 min à 2 h durant 3 jours	
	Port de Gros-Cacouna 2008 (CJB Env. inc., 2008)	60 000 (théorique)*	en continu et 12 h/j pendant la période de restriction (juin)	mi juin - fin août	hydraulique (sucuse à désagrégateur)	terrestre		+ 25 mg/L par rapport à la teneur ambiante pendant 24 à 48h successives		
Estuaire maritime						aucune donnée disponible				
Golfe	Quai Mines Wabush Port de Sept-Îles (Pointe Noire) 1999 (Roche Ltée, 2000)	232 991	12 semaines (05 août - 27 oct. 1999)	août - octobre	mécanique	eau libre	4- 5 x la teneur ambiante (mesurée par OBS et calibration turbité-MES) à 500 m de la drague	"anticipation d'un risque de turbidité 2 fois plus élevée que le niveau normal aux environs de la zostéaie"		
	1998 (Procean inc., 1999)	227 569	1998			eau libre				
	Chenal maritime Mines Séléine 2008 (CJB Env. inc., 2009a)	366 640	21 semaines (discontinu) (16 juillet - 20 décembre 2008)	juillet - décembre	hydraulique autoporteuse à élinges traînantes	immersion en mer		>150 mg/L au parc de moules pendant 6h consécutives = arrêt des travaux pendant 6h	de 30 min à plusieurs heures	1 x/90 min en journée et 1 x/2 h la nuit les 5 premiers jours

* Estimation réalisée avant le début des travaux

3.3 Les concentrations en MES observées lors des travaux de dragage

Précisons d'abord que parmi les projets de dragage recensés, ceux relatifs à l'entretien de la voie navigable (Hauts-fonds entre Montréal et Cap à la Roche par exemple) n'ont généralement pas fait l'objet de suivi de MES car leur impact a été considéré au préalable négligeable dans ces zones. En effet, dans ces secteurs les sédiments sont principalement composés de particules grossières (sable) qui se déposent assez rapidement et par conséquent se dispersent peu hors du site de dragage (Pierre Rouleau, Pêches et Océan Canada – Garde Côtière Canadienne, 2010, communication personnelle). De plus, les zones sensibles y sont peu nombreuses étant donné les profondeurs relativement élevées qui prévalent et la présence de forts courants.

Dans les zones où un suivi a été effectué, les paramètres mesurés sont la turbidité et/ou les concentrations en MES (mg/L). Pour ces deux paramètres, les mesures ont été prises en surface, et/ou dans un échantillon intégré sur toute la colonne d'eau et parfois au fond de l'eau. Le tableau 8 présente les valeurs des paramètres mesurés lors des suivis des projets : teneurs ambiantes aux stations de référence, concentrations en MES à diverses distances de la drague (< 50 m, $50 < d \leq 100$ m, $100 < d \leq 150$ m et > 150 m) et l'étendue de la zone influencée par la remise en suspension des sédiments. Cette analyse a pour objectif de mettre en évidence un éventuel gradient des concentrations en MES et de définir le rayon de la zone d'influence observée pour la majorité des projets.

Pour la plupart des projets recensés, les teneurs ambiantes sont établies, en début de projet, à plusieurs centaines de mètres de la drague en moyenne, cette distance pouvant varier de 30 mètres à plus d'un kilomètre. Comme attendu, les teneurs ambiantes les plus élevées ont été observées dans les secteurs de l'île aux Coudres (située dans la zone de turbidité maximale) et de Rivière-du-Loup (en bordure de la ZTM) où elles peuvent atteindre 113 mg/L (tableau 8). Seules les teneurs ambiantes observées à Pointe-Noire en 1998 sont présentées en fonction du flot (marée montante) et du jusant (marée descendante). Toutefois, d'autres projets (tels que ceux des quais de l'île aux Coudres, de l'île aux Grues et de Rivière-du-Loup) ont tenu compte de la marée lors du suivi des MES. En général, il apparaît que les teneurs en MES sont plus élevées lors du jusant qu'au flot (Guillaume Tremblay, Dessau, 2010 – communication personnelle; Silverberg et Sundby, 1979).

À partir des valeurs de concentrations en MES mesurées dans la zone d'influence, du plus près de la drague à plus d'un kilomètre de celle-ci, certains consultants ont déterminé la limite du panache de dispersion des sédiments. Cette limite varie généralement de 100 à 150 m de la drague (tableau 8), mais peut atteindre des distances plus grandes en profondeur. Le suivi des travaux effectués dans la baie des Sept îles a permis de constater que les panaches de turbidité les plus prononcés et les plus étendus (500 à 1000 m) observés lors du dragage se développent près du fond, à des profondeurs de 12 à 15 mètres (Roche, 2000). Parfois, la turbidité est masquée par de fortes teneurs ambiantes, dues aux conditions hydrodynamiques du site (ZTM) ou aux conditions climatiques (fortes pluies, vents forts, etc.).

Tableau 8. Concentrations en MES mesurées à diverses distances (d) de la drague (d ≤ 50 m, 50 < d ≤ 100 m, 100 < d ≤ 150 m et d > 150 m)

Projet		Distance à la drague															
		d = 50 m				50 < d = 100 m				100 < d = 150 m				d > 150 m			
		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)	
Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré		
Tronçon fluvial	Hauts-fonds entre Montréal et Cap à la Roche 1998 (CJB Environnement inc. et Procean inc., 1999)	n.d															
	Lac Saint-Pierre 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	n.d															
Estuaire fluvial	Port de Bécancour 2008 (Étude d'impact) Données de 2003 (Genivar, 2008)	N	calculé*		calculé*		calculé*		calculé*		calculé*		calculé*		calculé*		
		moy	25	27,6	29,6	9	24,7	25,6	23,3	23,5	33	20,4	19,4				
		max	49,5	61,2		28,4	30,9	26,9	28,7	26,0	27,5						
		min	18,3	16,4		20,1	19,0	18,8	17,1	11,7	6,9						
Moyen estuaire	Traverse Nord 1996 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997a)	N	profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		profondeur 1<p<23 m		
		moy	24	13	5	2	26	32	6	24	23	5	91	81	1	8	
		max	50,3	87,1	121,2	145,0	37,0	74,5	116,5	39,4	88,6	124,0	69,7	164,5	38,0	404,4	
		min	180,0	249,0	250,0	150,0	145,0	187,0	180,0	154,0	260,0	210,0	647,0	788,0	38,0	710,0	
	Quai Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	N	4		5		2		5		5		5		5		
		moy	25,3	32,15	58,3	45,0	53,3	90,0	44,0	61,2	89,0	39,7	50,4	72,6			
		max	30,6	41,4	79,0	52,6	75,8	140,0	45,3	63,0	110,0	74,7	61,5	110,0			
		min	23,2	25,1	40,0	28,3	42,1	66,0	42,6	59,3	68,0	20,3	28,3	46,0			
	Quai Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008)	N	12	12	13	13	13	18	22	2	3	1 (151 m)					
		moy	29,1	33,0	45,6	31,9	34,2	48,9	36,0	34,8	66,0	47,4	47,1	85,0			
		max	38,6	40,6	67,0	44,0	44,7	78,0	40,7	37,9	94,0	47,4	47,1	85,0			
		min	22,3	25,0	30,0	25,2	25,7	34,0	31,2	31,6	41,0	47,4	47,1	85,0			
	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	N	10		7		6		6		6		6		6		
		moy	33,5	37,7	72,6	31,0	35,6	71,0	24,0	35,7	59,0						
		max	48,3	53,3	88,0	48,0	43,1	82,0	28,5	40,9	83,0						
		min	24,5	27,5	62,0	25,4	27,0	53,0	17,3	28,6	32,0						
	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	N	8		8		2		2		2		2		2		
		moy	29,8	40,8	107,0	28,7	41,8	78,6	28,4	34,5	70,5	20,6	22,2	50,5			
		max	53,4	60,1	210,0	54,0	58,6	110,0	34,8	35,1	79,0	22,4	25,6	58,0			
		min	15,4	31,9	45,0	12,7	17,7	38,0	22,0	33,9	62,0	18,8	18,7	43,0			
2005 (Procean Env. inc., 2005a)	N	4		6		6		6		11		11		11			
	moy	33,7	42,3	70,5	23,4	30,3	50,8	25,8	31,2	45,8	27,8	32,9	52,4				
	max	43,4	50,6	90,0	41,9	47,2	80,0	44,7	36,7	60,0	40,8	51,2	82,0				
	min	19,0	29,1	45,0	9,8	19,2	27,0	15,0	23,1	29,0	14,0	20,3	23,0				
2004 (Procean Env. inc., 2004a)	N	12		8		4		4		16		16		16			
	moy			80,4			48,9			42,5			47,6				
	max			160,0			140,0			92,0			99,0				
	min			25,0			32,0			24,0			14,0				
2003 (Procean Env. inc., 2004b)	N	5		8		6		6		2		2		2			
	moy			85,8			85,4			39,8			40,0				
	max			130,0			270,0			51,0			54,0				
	min			56,0			34,0			22,0			26,0				
2002 (Procean Env. inc., 2002a)	N	9		3		3		3		3		3		3			
	moy			62,3			69,7			38,7			44,3				
	max			120,0			91,0			52,0			50,0				
	min			25,0			47,0			26,0			37,0				
2001 (Procean Env. inc., 2001)	N	5		6		1		1		3		3		3			
	moy			23,5			33,5			18,0			18,0				
	max			27,0			88,0			18,0			27,0				
	min			22,0			18,0			18,0			13,0				

Recommandations pour la gestion des MES lors des activités de dragage

Projet	N	Distance à la drague															
		d = 50 m				50 < d = 100 m				100 < d = 150 m				d > 150 m			
		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)	
Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré		
Moyen estuaire	Quai Rivière-du-Loup 2008 (Procean Env. inc., 2008)	N	15		29		10		4								
		moy	45,0	57,7	52,1	54,9	49,5	65,6	49,4	74,9	60,3						
		max	84,2	93,5	100,4	108,2	65,8	86,0	64,9	89,3	84,0						
	min	13,8	34,6	24,4	32,5	30,1	42,7	21,2	42,4	35,0							
	2007 (Procean Env. inc., 2007d)	N	12		12		7		3								
		moy	73,3	77,9	105,5	146,1	77,1	97,9	71,1	86,0	182,3						
		max	164,3	196,1	141,0	198,4	148,5	169,5	107,1	143,3	250,0						
	min	23,0	25,2	58,7	65,0	35,1	49,0	28,7	28,9	67,0							
	2006 (Procean Env. inc., 2007e)	N	11		14		6										
moy		45,2	61,7	41,2	48,5	29,6	25,0										
max		79,3	111,5	86,3	112,6	45,1	46,2										
min	20,2	27,9	11,7	19,1	21,2	17,2											
2005 (Procean Env. inc., 2006b)	N	7		6		7		6									
	moy	32,0	36,3	37,8	39,6	33,8	45,7	30,7	43,1	68,3							
	max	43,6	51,2	44,7	49,1	53,5	67,5	41,7	72,5	110,0							
min	11,9	25,4	29,8	24,4	14,7	26,3	20,7	26,6	44,0								
2004 (Procean Env. inc., 2005b)	N	20		17		9		11									
	moy	65,0	86,9	62,6	92,1	57,9	69,3	47,5	60,5	114,2							
	max	137,6	178,4	155,5	157,3	109,3	113,1	85,9	107,3	200,0							
min	5,0	44,2	2,1	34,4	1,9	46,0	0,9	23,3	37,0								
2003 (Procean Env. inc., 2004c)	N	15		17		9		16									
	moy		196,1		127,6		112,2		104,3								
	max		460,0		310,0		210,0		220,0								
min		43,0		42,0		45,0		32,0									
2002 (Procean Env. inc., 2002b)	N	6		11		5		3									
	moy		52,7		36,9		31,3		32,3	34,1							
	max		120,0		67,0		36,0		44,0	54,0							
min		23,0		23,0		28,0		19,0	16,0								
Port de Gros-Cacouna 2008 (CJB Env. inc., 2008b)	N	n.d															
Estuaire maritime		aucune donnée disponible															
Golfe	Quai Mines Wabush Port de Sept-Îles (Pointe Noire) 1999 (Roche Ltée, 2000)	N															
		moy															
		max															
min																	
1998 (Procéan, 1999)		n.d															
Chenal maritime Mines Seleine 2008 (CJB Env. inc., 2009a)	N	63															
	moy	20,7	22,9									563	49				
	max	76,2	81,6									3,2	5,4				
min	2,4	3,0									13,5	14,8					
											0,6	0,8					

* Valeur calculée à partir de la relation entre la turbidité et les MES

Des travaux de dragage plus récents que ceux présentés aux tableaux 7 et 8 ayant également fait l'objet de suivi ont permis d'obtenir d'autres données de MES. Ces données n'ont toutefois pas toutes fait l'objet de compilation, mais celles générés lors des dragages effectués à l'île aux Grues et à Berthier-sur-Mer, dans le moyen estuaire, ont été analysées et sont présentées respectivement aux tableaux 9 et 10.

Tableau 9. Teneurs en MES observées aux stations exposées, aux stations témoins et au site de dépôt, lors des dragages effectués par la Société des traversiers du Québec à l'île aux Grues de 2006 à 2013
(Procéan Environnement inc. 2007b, 2007c; Dessau 2008b, 2010a, 2010b; GENIVAR 2011, 2012, 2013)

Année	Teneurs moyennes (min – max) dans la zone de dragage aux stations exposées (mg/L)			Teneurs moyennes ambiantes aux stations témoins (mg/L)	Teneurs moyennes au site de dépôt (mg/L)
	à 100 m et moins de la drague	de 100 à 300 m de la drague	à plus de 300 m de la drague		
2013	133 (42-280) n=19	108 (51-210) n=19	130 n=1	75 (29-180) n=11	160 (28-220) n=10
2012 *	177 (88-700) n=18	154 (85-220) n=18	162 (98-200) n=4	111 (41-190) n=11	120 (71-210) n=8
2011	111 (44-280) n=18	123 (26-310) n=22	107 (88-140) n=4	115 (26-250) n=8	115 (60-220) n=10
2010	207 (62-660) n=29	156 (55-320) n=13	150 n=1	297 (53-610) n=16	240 (170-310) n=7
2009	163 (86-300) n=21	168 (51-280) n=22	150 n=1	180 (31-310) n=8	215 (96-310) n=14
2008	81 (24-170) n=20	71 (28-120) n=5	Aucune donnée	34 (24-52) n=3	35 (34-36) n=2
2007	85 (50-140) n=7	106 (50-170) n=3	Aucune donnée	79 (29-150) n=9	105 (80-140) n=6
2006	76 (40-140) n=9	77 (46-110) n=7	Aucune donnée	66 (32-100) n=7	77 (26-200) n=12

* Les résultats présentés ici diffèrent légèrement de ceux présentés dans le rapport de surveillance et suivi (GENIVAR, 2012). Les valeurs ont été recalculées en considérant les stations 28, 29, 30, 35, 45, 46, 47 et 60 comme des stations exposées (malencontreusement désignées comme stations témoins dans le rapport), après validation avec le responsable de terrain et rédacteur du rapport.

Tableau 10. Teneurs en MES observées aux stations exposées, aux stations témoins et au site de dépôt durant le dragage effectué à Berthier-sur-Mer en 2011 pour Le Havre de Berthier-sur-Mer inc. (Marc Pelletier, 2012)

Teneurs moyennes (minimales - maximales) dans la zone de dragage aux stations exposées (mg/L)			Teneurs moyennes ambiantes aux stations témoins (mg/L)	Teneurs moyennes au site de dépôt (mg/L)
à 100 m et moins de la drague	de 100 à 300 m de la drague	à plus de 300 m de la drague		
54 (12-160) médiane=19 n=11	27 (8-130) médiane= 15 n=18	11 (9-14) médiane=9 n=5	8 (6-10) médiane=7 n=5	20 (1-89) médiane=8 n=17

Les données présentées aux tableaux 8, 9 et 10 permettent de constater qu'à plus de 100 mètres de la drague, les concentrations moyennes en MES n'excèdent généralement pas la valeur correspondant à une augmentation de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes, sauf dans le moyen estuaire à la

Traverse Nord, à l'île aux Grues (2008, 2012 et 2013) et à Rivière-du-Loup, les années où les teneurs ambiantes sont les plus élevées (2003 et 2007) ou lorsque les conditions météorologiques viennent perturber la dispersion des sédiments (ex. fortes pluies et vents forts en 2004). Dans la baie des Sept îles, bien que le panache de dispersion ait pu être observé visuellement à des distances relativement élevées de la drague, les données rapportées (Roche, 2000; Procéan, 1999) semblent indiquer que l'augmentation de la concentration des MES à plus de 100 mètres de la drague est généralement inférieure à 25 mg/L.

Les tableaux 8, 9 et 10 présentent également quelques données relatives aux teneurs en MES observées aux sites de dépôt, lors du rejet des sédiments dragués au Port de Sept-Îles, à l'île aux Grues et à Berthier-sur-Mer. Bien que les valeurs rapportées aux sites de dépôt soient parfois plus élevées qu'aux stations exposées, notamment à l'île aux Grues (tableau 9)⁶, il semble que le rejet en eau libre des sédiments dragués cause généralement moins de turbidité et de MES que le dragage en lui-même. L'action continue de la benne génèrerait plus de MES durant une plus longue période de temps que le rejet ponctuel d'une grosse masse de sédiments. L'étude de Procéan (1999) indique que les suivis effectués dans la baie des Sept îles ont montré que lors du rejet en eau libre, les augmentations de la concentration en MES se produisent généralement tout près de la barge, dans les minutes qui suivent le rejet, en formant un nuage de turbidité en surface et près du fond. La dispersion du nuage de turbidité de surface s'effectuerait plus rapidement qu'au fond. L'étude effectuée par Roche (2000) indique qu'aucune augmentation significative ou persistante de MES n'a pratiquement pu être mesurée à plus de 150 m du point de rejet dans la colonne d'eau et à plus de 300 m du point de rejet en surface. En profondeur toutefois, soit à 5 ou 10 mètres au-dessus du fond, des augmentations de 20 à 30 mg/L ont pu être observées à plus de 500 mètres du point de rejet.

⁶ Il est à noter que la distance entre les stations d'échantillonnage et le point de rejet, variable d'une fois à l'autre, n'a pas été précisée.

Chapitre 4

Les balises de gestion des MES spécifiques au dragage et leur application

Les travaux de dragage dans le Saint-Laurent, ainsi que dans tout autre cours d'eau, doivent être planifiés et exécutés de façon à minimiser les impacts négatifs sur le milieu aquatique. Les balises de gestion définies ici pour le dragage peuvent également servir de base pour encadrer tous travaux dans le milieu aquatique susceptibles d'engendrer des augmentations de matières en suspension.

4.1 La prise en compte des facteurs influençant le comportement des MES lors du dragage

Durant toutes les phases du dragage, de la planification au suivi, la gestion du dragage doit tenir compte de nombreux facteurs qui peuvent avoir un impact sur la remise en suspension des sédiments et leur dispersion dans le milieu aquatique (tableau 11).

Tableau 11. Paramètres à considérer lors des opérations de dragage et de rejet en eau libre

	Paramètres à considérer	Influence sur le milieu aquatique
Paramètres opérationnels de dragage	Ampleur des travaux (volume de sédiments dragués, superficie)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des teneurs en MES • Étendue de la zone affectée par la remise en suspension des sédiments
	Équipements et méthodes utilisés (voir ch.5)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des teneurs en MES
	Durée et fréquence des travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des teneurs en MES • Exposition (effet aigu ou chronique)
	Période de l'année (fraie, migration, etc.) durant laquelle sont effectués les travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition (vulnérabilité des organismes aquatiques)
Caractéristiques hydrodynamiques et physico-chimiques du site	Débit, courants et marées, vagues	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des MES
	Tributaires	<ul style="list-style-type: none"> • Apport ou dilution des MES
	Température	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des MES
	Salinité	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des MES (floculation)
	Bruit de fond en MES	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition initiale
	Granulométrie	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des teneurs en MES • Effets abrasifs • Exposition (concentration et disponibilité des contaminants)
	Qualité des sédiments	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition (contamination)
Événements climatiques	Débit de crues, fortes pluies, etc.	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des teneurs en MES
	Vents	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersion des MES
Zones sensibles	Habitats (frayères, etc.) et espèces protégées	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition (vulnérabilité des organismes aquatiques)
	Activités industrielles, commerciales, de loisirs	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilité des usages

Les choix de gestion doivent être orientés de manière à minimiser la remise en suspension des sédiments et leurs effets sur la vie aquatique. Les conditions qui prévalent à un site donné

doivent être prises en considération et peuvent nécessiter des mesures de protection particulières. Par exemple, la présence de frayères dans le secteur à draguer ou à proximité peut dicter l'interdiction de draguer pendant une période donnée. Par ailleurs, les balises de gestion des MES peuvent être définies en fonction des teneurs ambiantes et des conditions climatiques.

4.2 Les critères de gestion des MES adaptés au dragage

L'examen des données de suivi environnemental des projets (section 3.2) a permis de constater que :

- les concentrations en MES augmentent sensiblement dans la zone immédiate des travaux, mais redeviennent proches des teneurs ambiantes à des distances qui varient généralement entre 100 et 150 mètres des travaux ;
- dans certains secteurs du Saint-Laurent, les teneurs en MES varient grandement sur de courtes distances et ne suivent pas toujours un gradient de concentration décroissant en fonction de la distance à la drague; dans ces secteurs, les teneurs ambiantes peuvent être naturellement élevées et variables.

Suite à ce constat il est proposé de définir des critères de gestion spécifiques aux eaux limpides, dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement inférieures à 25 mg/L, et des critères de gestion spécifiques aux eaux turbides, dont les teneurs ambiantes en MES sont supérieures à 25 mg/L. La valeur seuil de 25 mg/L est considérée adéquate notamment pour distinguer les eaux limpides des eaux turbides dans le Saint-Laurent, car les teneurs ambiantes observées dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent, en amont de la ZTM, sont la plupart du temps inférieures à 25 mg/L⁷. Ainsi les eaux turbides comprennent notamment les eaux de la ZTM, qui circulent entre l'île d'Orléans et l'île aux Coudres, et les eaux qui circulent ailleurs en période de crue importante (fontes printanières et crues automnales).

Les critères de gestion, se traduisant par les concentrations en MES acceptables dans le milieu aquatique, sont applicables au site de dragage et au site de rejet en eau libre lorsque le suivi y est requis. Les valeurs des critères de gestion sont définies par une augmentation de la concentration par rapport à la teneur ambiante et sont présentées au tableau 12. Les teneurs mesurées sur le terrain lors des activités de dragage sont comparées aux critères de gestion. Les modalités de la surveillance des MES durant les travaux de dragage sont définies à la section 4.3.

⁷ La base de données NAQUA (EC, 2010) permet de constater que les teneurs ambiantes en MES à la station de Lévis, les plus élevées après celles de la ZTM, sont généralement inférieures à 25 mg/L durant la période la plus propice au dragage, soit de la fin juin au début septembre.

Tableau 12. Critères de gestion des MES liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre

	Eaux limpides (teneurs ambiantes [MES] ≤ 25 mg/L)	Eaux turbides (teneurs ambiantes [MES] > 25 mg/L)
À 100 m de la drague et du point de rejet	Augmentation moyenne* maximale de la concentration en MES de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu	Augmentation moyenne* maximale de la concentration en MES de 100% par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu
À 300 m de la drague et du point de rejet	Augmentation moyenne* maximale de la concentration en MES de 5 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu	Augmentation moyenne* maximale de la concentration en MES de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu

* Il est recommandé d'utiliser une moyenne géométrique.

** Les teneurs ambiantes correspondent aux concentrations en MES observées dans le milieu qui ne sont pas influencées par les activités de dragage ou par une source ponctuelle. Les sections 4.3.2 et 4.3.3 fournissent des précisions sur la détermination des teneurs ambiantes.

4.3 La surveillance des MES lors des travaux de dragage

Afin de s'assurer que la méthode de dragage est adéquate et que les mesures d'atténuation mises en place (chapitre 5) sont efficaces et minimisent les impacts sur la vie aquatique, il importe de surveiller les concentrations en MES lors des travaux de dragage et de les comparer aux critères de gestion définis au tableau 12. Pour ce faire, il est généralement recommandé d'effectuer une surveillance *in situ*, en utilisant la turbidité comme indicateur des teneurs en MES. Les sections 4.3.1 à 4.3.4 décrivent les modalités du suivi à mettre en place.

Pour les travaux de dragage récurrents à un site donné, la surveillance des MES peut être jugée moins nécessaire, par les autorités compétentes, lorsque les données antérieures et récentes, suffisamment nombreuses, permettent de bien documenter l'absence d'impact significatif sur la vie aquatique.

Également, la surveillance des MES peut être jugée moins nécessaire pour des travaux de petite envergure et à faible impact sur le milieu récepteur, c'est-à-dire : si le volume de dragage est inférieur à 1 000 m³, que les travaux sont réalisés sur moins d'une semaine, que la contamination des sédiments est considérée inférieure à la *Concentration d'effets occasionnels* (CEO) ou aux teneurs naturelles et qu'aucun usage sensible ne justifie la mise en place d'une telle surveillance.

Toutefois, dans tous les cas, les responsables des projets doivent s'assurer que toutes les bonnes pratiques et les mesures d'atténuation sont mises en place pour réduire au minimum les effets sur le milieu aquatique (voir chapitre 5). De plus, ils doivent s'assurer de la surveillance constante des travaux. Un rapport de surveillance doit être produit pour chaque projet de dragage et être transmis aux autorités concernées. Par ailleurs, si les conditions propres au site ou aux travaux changent (hydrologie, contamination, méthode de dragage, etc.), ou si des effets

potentiels sur la vie aquatique sont soupçonnés, le besoin de suivre les augmentations de MES doit être revu.

Par ailleurs, dans les cas où la contamination des sédiments est considérée importante, notamment s'il s'agit d'un projet de restauration de sédiments contaminés, la surveillance des MES devient nécessaire et des mesures additionnelles pourraient être recommandées (voir section 4.4). Par exemple, une surveillance particulière pourrait être exigée pour valider la zone modélisée de dispersion des MES contaminées et assurer la protection d'éléments sensibles du milieu récepteur.

4.3.1 La turbidité comme indicateur des teneurs en MES

La relation entre la turbidité et les MES

Dans les milieux aquatiques, les MES d'origine organique (microorganismes) ou inorganique (argiles, limons, particules fines) et les substances dissoutes (acides organiques, métaux, etc.) sont responsables des phénomènes de diffusion et/ou d'absorption de la lumière. Cette propriété optique de l'eau est exprimée par la mesure de la turbidité (IADC, 2007 ; Minella *et al.*, 2008 ; Thackston et Palermo, 2000 et Ziegler, 2002).

Développée par Jackson dès le début du XX^e siècle (turbidimètre à bougie de Jackson), la mesure de la turbidité a rapidement évolué (Downing, 2005 ; Lillycrop *et al.*, 1996 et USEPA, 1999a). La méthode la plus répandue pour mesurer la turbidité est l'analyse néphélométrique (diffusion de la lumière par les particules en suspension) à l'aide d'un turbidimètre, dont les résultats sont exprimés en UTN - unité de turbidité néphélométrique (CCME, 2002). Le néphélomètre (ou turbidimètre néphélométrique) mesure l'intensité de lumière dispersée (par les particules en suspension) à un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

Contrairement à l'analyse des MES, qui est longue et coûteuse car elle doit être effectuée en laboratoire par filtration et séchage à 105°C (CEAEQ, 2012), la mesure de la turbidité est simple, rapide et peut s'effectuer *in situ* et en continu (Downing, 2005 ; Hudson, 2001 ; Thackston et Palermo, 2000 ; USEPA, 1999b). C'est la raison pour laquelle la turbidité est étudiée et utilisée sur le terrain depuis plusieurs décennies afin de mieux appréhender la corrélation entre la turbidité et les MES (Ritter et Brown, 1971 ; Thrular, 1978). De nombreux facteurs influençant la valeur de la turbidité obtenue lors de sa mesure (tableau 13) ont ainsi été mis en évidence (Chanson *et al.*, 2008 ; Ginting et Mamo, 2006 ; Hudson, 2001 ; Lewis, 2003 ; Lewis *et al.*, 2002 ; Marquis, 2005 ; Teixeira et Caliar, 2005).

Tableau 13. Principaux facteurs influençant la valeur de la turbidité mesurée *in situ*

Paramètres à considérer	Facteurs d'influence
Particules	Granulométrie Angularité Composition (organique et/ou inorganique) Indice de réfraction Spectre d'absorption Couleur
Colonne d'eau	Caractéristiques physico-chimiques (température, salinité...) Substances dissoutes Bulles d'air Couleur
Appareillage	Longueur d'onde de la lumière incidente Caractéristiques du détecteur Calibrage

La répartition granulométrique des sédiments est l'un des facteurs qui influencent de façon significative la turbidité. À une concentration donnée en MES, la turbidité sera plus élevée pour des particules fines (argiles et limons) que pour des éléments grossiers (sables) (figure 7).

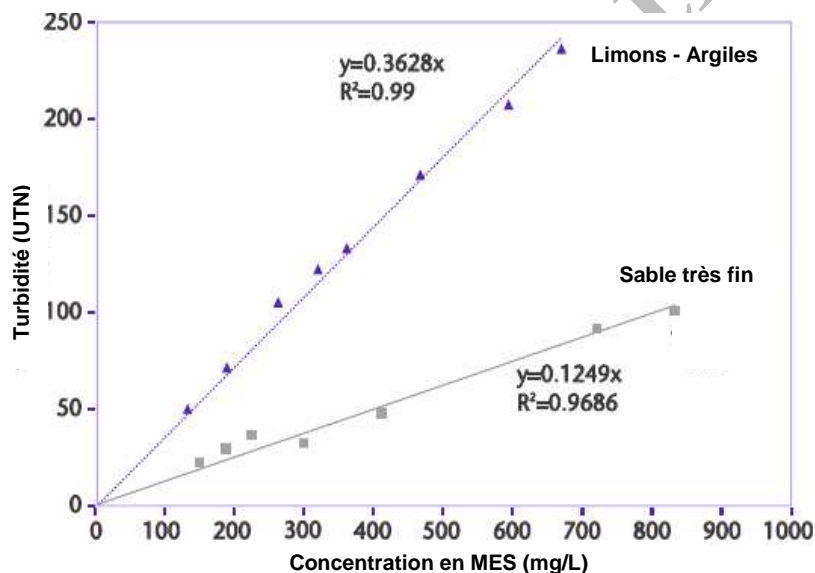


Figure 7. Influence de la granulométrie sur la relation entre la turbidité et les MES
(tiré et traduit de Marquis, 2005)

D'une manière générale, la relation entre la turbidité et les MES est fonction de facteurs spécifiques au bassin hydrographique, tels que la nature du substrat géologique qui conditionne les caractéristiques physico-chimiques des sédiments et de l'eau. Elle dépend également de variations temporelles (saisons, climat, événements particuliers) qui influencent le régime hydrodynamique du cours d'eau et par conséquent la remise en suspension des sédiments et la dispersion des MES (Chanson *et al.*, 2008 ; Lewis, 2003 et 1996 ; Lewis *et al.*, 2002 et Minella *et al.*, 2008). Les exemples suivants illustrent ces variations. Le tableau 14 présente les résultats d'un suivi de corrélation entre la turbidité et les MES, sur plusieurs mois (juillet 2004 à mai 2005), dans le bassin d'Arvorezinha (Rio Grande do Sul, Brésil). Le tableau 15 présente une revue de diverses études ayant permis d'établir des corrélations entre la turbidité et les MES.

Tableau 14. Exemples de variabilité temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR en % de lumière diffusée) et la concentration en MES (mg/L), pour un même site
(tiré et traduit de Minella *et al.*, 2008)

Date	Équation de régression	Coefficient de corrélation r^2
15 juillet 2004	MES = 0,132 x TUR ^{2,204}	0,960
20 sept. 2004	MES = 0,017 x TUR ^{2,750}	0,984
22 sept. 2004	MES = 0,058 x TUR ^{2,446}	0,941
23 oct. 2004	MES = 0,668 x TUR ^{1,831}	0,809
1 ^{er} avril 2005	MES = 0,451 x TUR ^{1,908}	0,887
11 mai 2005	MES = 0,304 x TUR ^{2,010}	0,927
18 mai 2005	MES = 0,308 x TUR ^{2,069}	0,820
20 mai 2005	MES = 0,448 x TUR ^{1,885}	0,931

Tableau 15. Exemples de variabilité spatio-temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR) et la concentration en MES (tiré et traduit de Chanson *et al.*, 2008)

Référence*	Conditions	Corrélation**
Gippel, 1995	Versant Eden, Victoria (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> • TUR = 0,84 x MES + 4,62 si 2 ≤ MES ≤ 153 mg/L
	Rivière Latrobe, Victoria (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> • TUR = 0,85 x MES + 1,97 si 2 ≤ MES ≤ 868 mg/L
Lewis, 1996	Caspar Creek, CA (États-Unis), 1991–1993	<ul style="list-style-type: none"> • $\sqrt[3]{MES} = a \times \sqrt[3]{TUR} + b$ si 5 ≤ MES ≤ 2 000 mg/L et si 5 ≤ TUR ≤ 600 UTN
	Caspar Creek, Californie (États-Unis), 1994–1995	<ul style="list-style-type: none"> • $\log_{10}(MES) = a \times \log_{10}(TUR) + b$ si 10 ≤ MES ≤ 1 000 mg/L et si 20 ≤ TUR ≤ 250 UTN
Grayson <i>et al.</i> , 1996	Rivière Latrobe, Victoria (Australie), avril 1992	<ul style="list-style-type: none"> • MES = 0,92 x TUR – 0,76 si 0 ≤ MES ≤ 140 mg/L et si 0 ≤ TUR ≤ 125 UTN
Smith et Davies-Colley, 2002	Esopus Creek, New-York (États-Unis), tempêtes	<ul style="list-style-type: none"> • TUR = 160 x MES^{0,92} si 0 ≤ MES ≤ 30 g/m³ et si 10 ≤ TUR ≤ 1 000 UTN
Mitchell <i>et al.</i> , 2004	Estuaire de Pagham (Royaume-Uni)	<ul style="list-style-type: none"> • MES = 0,8088 x TUR – 12,571 si 10 ≤ MES ≤ 105 g/L et si 50 ≤ TUR ≤ 150 UTN
Pavanelli et Bigi, 2005	Torrent Sillaro (Italie), argiles et limons < 0,2 mm	<ul style="list-style-type: none"> • MES = 0,00065 x TUR + 2,78 si 1,5 ≤ MES ≤ 30 g/L et si 0 ≤ TUR ≤ 35 000 UTN
Chanson <i>et al.</i> , 2008	Eau et échantillon de sédiments (n°1) d'Erapah Creek, Queensland (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> • MES = 0,00485 x TUR – 0,0350 si 0 ≤ MES ≤ 0,71 g/L et si 7 ≤ TUR ≤ 151 UTN
	Eau du robinet de Brisbane et échantillon de sédiments (n°1) d'Erapah Creek, Queensland (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> • MES = 0,00419 x TUR – 0,00359 si 0 ≤ MES ≤ 0,78 g/L et si 0 ≤ TUR ≤ 187 UTN

* Les références complètes des études sont disponibles dans Chanson *et al.*, 2008

** a et b sont des constantes de régression linéaire.

Il n'existe donc pas de relation universelle entre la turbidité et la concentration en MES (Thackston et Palermo, 2000 ; Truhlar, 1978), elle varie d'un cours d'eau à l'autre, voire d'un secteur de cours d'eau à l'autre, et d'une saison à l'autre. La courbe de corrélation MES - turbidité, obtenue par des mesures conjointes des deux paramètres, est spécifique aux caractéristiques sédimentaires et hydrodynamiques du site dragué.

L'étude réalisée en 1999 dans la baie des Sept îles (Roche, 2000) a montré que la corrélation entre la turbidité et les MES peut varier considérablement d'un endroit à l'autre de la baie (figure 8). Les auteurs expliquent que la composition minéralogique et granulométrique des estrans n'est pas homogène au pourtour de la baie des Sept îles. À certains endroits, ils sont composés de sables fins et brillants, à d'autres endroits de silts argileux ou de sédiments riches en oxydes de fer rougeâtres ou noirs. Par ailleurs, les sédiments prélevés au quai de la minière Wabush sont différents des sédiments qui composent les estrans.

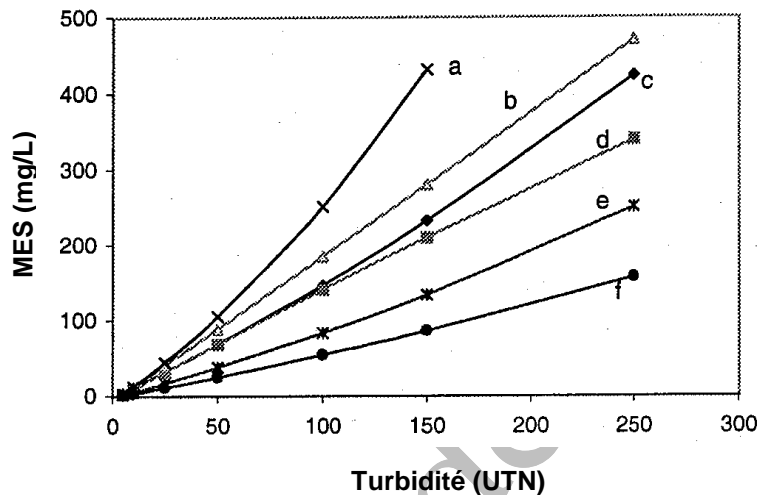


Figure 8. Relations entre la turbidité et les MES observées dans divers secteurs de la baie des Sept îles.
a : secteur ouest, zosténaie ; **b** : secteur nord de la baie ; **c** : quai de la minière Wabush, côté est ; **d** : Pointe à la Marmite ; **e** : zosténaie, côté sud-ouest ; **f** : quai de la minière Wabush, côté ouest (tiré de Roche, 2000).

L'étude de la baie des Sept îles montre l'importance de déterminer pour chaque site la corrélation MES-turbidité qui lui est propre. Pour un même projet de dragage, plusieurs courbes d'étalonnages peuvent être requises si la zone à draguer présente des caractéristiques variables.

L'élaboration de la courbe de corrélation turbidité – MES

La corrélation entre la turbidité et les MES est établie en laboratoire, avant le début des opérations de dragage afin d'amorcer le suivi des MES le plus tôt possible. De cette manière, il est possible de repérer rapidement une éventuelle augmentation importante de MES due à un dysfonctionnement opératoire par exemple. Selon qu'il s'agisse de dragage ou de rejet en eau libre, ce calibrage peut être réalisé de deux manières distinctes⁸ (d'après Earhart, 1984, cité dans Thackston et Palermo, 2000).

- **À proximité de la drague en fonctionnement**, les sédiments fins et grossiers se trouvent en suspension dans l'eau à cause du brassage causé par le dragage. Les mesures de turbidité et de MES peuvent être réalisées par dilutions successives d'un échantillon de sédiments prélevé sur le site et représentatif du substrat qui caractérise de façon générale le site. Les méthodes d'échantillonnage sont décrites dans le *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de*

⁸ Des approches similaires ont été utilisées lors des suivis des travaux de dragage de Pointe-Noire (Procéan inc., 1999 et Roche ltée, 2000) et du chenal de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine (CJB Environnement inc., 2008a).

génie maritime (EC, [2002a](#) et [2002b](#)). Pour obtenir les données pairées qui serviront à établir la courbe d'étalonnage entre les MES et la turbidité, plusieurs méthodes ont été développées. L'exemple suivant illustre les opérations à effectuer:

1. Avant le début des travaux, préparer un litre d'un mélange de 2 g ⁽¹⁾ de sédiments humides et d'eau prélevés sur le site.
2. Après agitation du mélange, prélever 20 à 50 mL pour la mesure des MES et 100 à 130 mL pour la mesure de la turbidité, de manière à toujours prélever un volume total de 150 mL.
3. Compléter à nouveau le mélange à un litre (dilution au 8,5/10^e).
4. Répéter l'extraction des MES et la mesure de turbidité (en répétant les étapes 2 et 3) jusqu'à obtenir 40 dilutions en série (ou lorsque le seuil de détection de la méthode est atteint) pour couvrir toute la gamme des concentrations potentielles au site de dragage.

⁽¹⁾ Les volumes requis pour l'analyse des MES et l'analyse de la turbidité peuvent varier selon les laboratoires. Vérifier avec les laboratoires et ajuster en conséquence. Si on considère que les sédiments ont un taux d'humidité d'environ 40 %, la quantité recommandée ici pour le mélange de départ (2 g de sédiments dans un litre d'eau) produira une concentration initiale théorique d'environ 1 200 mg/L. Si le volume prélevé à chaque dilution est de 150 ml au total (pour les MES et la turbidité), la concentration finale en MES après 40 dilutions serait d'environ 2 mg/L.

- o **Au site de rejet en eau libre**, les particules sédimentent plus ou moins rapidement en fonction de leur taille et de leur densité. Au fur et à mesure que les particules grossières et les plus denses sédimentent, la turbidité résiduelle est causée par des particules plus fines. La réponse de l'appareil de mesure (turbidimètre ou senseur optique de type OBS – (*Optical Backscatter Sensor*) au site de rejet ne sera donc pas la même qu'à proximité de la drague (Roche Itée, 2000). Ce phénomène de décantation peut être reproduit en laboratoire à l'aide d'une colonne de décantation mesurant au moins 1,80 m de long et 15 cm de diamètre, de préférence 20 cm pour éviter les effets de parois. Pour obtenir les données pairées permettant d'établir une relation entre les MES et la turbidité lors du suivi du rejet en eau libre, les opérations suivantes sont suggérées :

1. Avant le début des travaux, préparer un mélange de sédiments et d'eau prélevés au site de dragage, de façon à obtenir une concentration en MES semblable à la concentration du rejet.
2. Remplir la colonne de décantation avec cette suspension.
3. Dès que la sédimentation est amorcée, prélever, juste sous la surface de l'eau, un volume d'eau suffisant pour réaliser la mesure de turbidité et le dosage des MES.
4. Répéter l'échantillonnage jusqu'à atteindre des concentrations en MES inférieures aux critères de gestion. Pour cela, il n'est pas nécessaire de maintenir un intervalle de temps uniforme. Néanmoins, (i) un intervalle de 30 minutes à 1 heure est recommandé pendant les 8 à 16 premières heures du test et (ii) au moins 20 échantillons, de préférence 40, doivent être prélevés les deux premiers jours du test.

La mesure de la turbidité et des MES en laboratoire

Pour la mesure de la turbidité en laboratoire, il est recommandé d'utiliser la méthode suivante (CEAEQ, 2009) ou une méthode équivalente :

Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique. MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 4, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2009, 10 p.

Pour la mesure des MES en laboratoire, il est recommandé d'utiliser la méthode suivante (CEAEQ, 2012) ou une méthode équivalente :

Détermination des solides en suspension totaux : méthode gravimétrique, MA. 104 – S.S. 2.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 2012, 8 p.⁹

Par la suite, la représentation graphique en nuage de points des couples de données turbidité – concentration en MES permet de visualiser la nature de la relation entre les deux variables. Il peut s'agir d'un ajustement de type affine ($y = ax + b$), polynomial ($y = ax^2 + bx + c$), exponentiel ($y = Ke^{ax}$), logarithmique ($y = a \ln x + b$), ou sous forme de puissance ($y = Kx^a$), etc. Il est indiqué d'établir les diverses relations possibles (linéaire, polynomiale du second degré, exponentielle, etc.) afin de déterminer celle qui donne le meilleur résultat, c'est-à-dire celle qui présente le meilleur coefficient de corrélation. Le coefficient de corrélation r^2 de la droite de régression obtenue fournit une indication sur la validité de la relation turbidité – MES. Si la valeur de r^2 est près de 1, alors les variables sont fortement corrélées ; à l'inverse, plus r^2 se rapproche de 0, plus les variables sont indépendantes. Un coefficient inférieur à 0,6 indique que la turbidité est un mauvais indicateur de la concentration en MES (Downing, 2005). Dans ce cas, il est nécessaire de compléter les données par un échantillonnage complémentaire et de vérifier le fonctionnement et l'étalonnage de l'appareil de mesure ainsi que le choix du type de relation retenue. En revanche, si la relation entre les deux paramètres est valide, les concentrations en MES peuvent rapidement être déterminées à partir des mesures de turbidité *in situ*.

Une fois que la meilleure relation turbidité - MES est établie, cette relation est utilisée pour évaluer en temps réel les concentrations en MES à partir des mesures de turbidité. Dès que le dragage est en cours et que les conditions d'exploitation ont commencé à se stabiliser, la corrélation doit être vérifiée et ajustée à l'aide des nouvelles données couplées turbidité – MES obtenues sur le terrain (IADC, 2007; Lewis *et al.*, 2002 ; Minella *et al.*, 2008; Thackston et Palermo, 2000), et ce, pendant toute la durée des travaux, à raison de deux mesures conjointes par semaine (voir section 4.3.3).

4.3.2 La détermination des stations d'échantillonnage pour le suivi des teneurs ambiantes (stations témoins) et des teneurs générées par le dragage (stations exposées)

Au moins une station de référence (station témoin), positionnée dans un secteur non affecté par le dragage, doit permettre de suivre les teneurs ambiantes. Si les conditions du site sont très variables, plusieurs stations témoins sont requises. Les stations témoins doivent être représentatives des conditions qui prévalent au site de dragage. Idéalement, elles sont situées dans des secteurs qui possèdent les mêmes caractéristiques (profondeur d'eau, courant, substrat, granulométrie) que la zone de dragage. Lorsque la surveillance des MES est requise au site de rejet en eau libre, par exemple en présence d'une drague hydraulique qui pompe les

⁹ L'utilisation du filtre 0,45 micron est recommandée.

sédiments et les souffles au site de rejet, les teneurs ambiantes propres au site de rejet doivent également être déterminées. Dans ce cas, une station témoin est établie près du secteur de rejet en eau libre, dans une zone non affectée par le rejet des sédiments.

Au moins deux stations de suivi (stations exposées), positionnées à 100 m et à 300 m de la drague (ou du point de rejet) dans le panache de dispersion, doivent permettre de suivre l'augmentation des MES causée par les travaux de dragage. Dans certains cas où des usages spécifiques ou des secteurs plus sensibles pour la faune aquatique doivent être protégés, d'autres stations de suivi peuvent être requises pour vérifier que ces usages ne sont pas affectés par le dragage. Pour s'assurer que les stations de suivi sont positionnées dans le panache de dispersion, il faut tenir compte de la direction du courant. Dans les secteurs du fleuve affectés par la marée, la direction du courant est inversée lors du flot (marée montante); il faut donc prévoir des stations de suivi tant en amont qu'en aval de la drague. Durant le flot, alors qu'une inversion du courant se produit, le suivi de la turbidité sera effectué aux stations situées en amont de la drague, dans le panache de dispersion. Au jusant (marée descendante), ce sont les stations situées en aval de la drague qui permettront de suivre le panache de dispersion.

Dans certains secteurs, la circulation de l'eau est complexe et plusieurs facteurs peuvent faire varier les courants et entraîner d'importantes variations spatiales et temporelles de la turbidité ambiante. L'étude de Roche (2000) met en évidence l'importance de la géométrie des lieux, de la stratification thermohaline, du vent et de la marée sur la circulation des masses d'eau dans les secteurs côtiers du golfe Saint-Laurent et en particulier dans la baie des Sept îles. La compréhension de ces phénomènes aide à planifier le suivi des panaches de dispersion des MES.

Lorsque les conditions hydrodynamiques du site sont connues, il est possible de prévoir la dispersion des sédiments par modélisation (Borrowman, 2006 ; Dredging Research Ltd. et HR Wallingford, 2003). Les résultats de la modélisation sont généralement de bons indicateurs pour la détermination des positions des stations de référence et de suivi. En l'absence de modélisation ou pour vérifier la dispersion des sédiments, un échosondeur peut être utilisé. Cet appareil permet de visualiser les panaches de sédiments qui ne sont pas toujours visibles à l'œil nu, depuis la surface. En outre, il est possible d'installer des appareils de suivi de la turbidité (senseur optique de type OBS) et des courants (courantomètres) par mouillage à des stations fixes représentatives. Ce dispositif permet d'obtenir de l'information sur le sens et la direction des courants et d'ajuster au besoin les positions des stations de référence et de suivi.

4.3.3 Le suivi de la turbidité *in situ*, aux stations témoins (teneurs ambiantes) et aux stations exposées (teneurs générées par le dragage)

Le suivi des MES est réalisé par la mesure de la turbidité *in situ* à l'aide d'un turbidimètre. Les données de turbidité obtenues (en UTN) sont transformées en concentrations de MES (mg/L) à l'aide de la courbe de corrélation turbidité – MES (section 4.3.1). Le turbidimètre utilisé doit avoir une portée suffisante pour couvrir toute la gamme de valeurs susceptibles d'être observées au site de dragage. Les mesures de turbidité devraient être prises en surface et à diverses profondeurs de la colonne d'eau. Idéalement, les mesures sont effectuées à 1 mètre sous la surface, à 50 % de la profondeur totale et à 1 mètre au-dessus du fond. Dans les secteurs soumis aux marées, le suivi doit généralement alterner entre l'amont et l'aval, selon les phases

de la marée, pour demeurer dans le panache de dispersion des MES (section 4.3.2). Il est important de noter la phase de la marée (jusant, flot, étale) lors de chaque prise de mesure.

Il est recommandé de mesurer la turbidité au moins une fois toutes les deux heures pendant le dragage, à chaque station exposée, durant au moins la première semaine des travaux. Par la suite, lorsque les méthodes de travail sont ajustées, après une ou deux semaines il est possible de réduire la fréquence d'échantillonnage à une ou deux fois par jour, ou plus selon les conditions qui prévalent au site. Lorsque les conditions se détériorent, il est important de resserrer la surveillance. Toutefois, il est nettement préférable, lorsque possible, d'installer un turbidimètre ou un capteur optique fixe qui permet de mesurer la turbidité en continu, facilitant ainsi le suivi des MES.

Aux stations témoins permettant de définir les teneurs ambiantes non influencées par le dragage, la turbidité doit être mesurée quotidiennement, ou plusieurs fois par jour si les conditions varient (par exemple, lors de fortes pluies entraînant une augmentation non négligeable des teneurs ambiantes en MES). Dans les secteurs soumis à la marée, il faudra obtenir des données de teneurs ambiantes aux différentes phases de marées. De plus, dans certaines circonstances, il peut être souhaitable d'obtenir avant le début des travaux, un nombre suffisant de données qui permette d'établir la gamme des teneurs ambiantes du site selon les conditions hydrodynamiques qui y prévalent (crue, pluie, vent, marée, etc.), notamment pour déterminer s'il s'agit d'eaux limpides ou d'eaux turbides. Pour ce faire, il est suggéré qu'au minimum 20 échantillons soient prélevés sur l'ensemble de la colonne d'eau (échantillon intégré) sur une période de deux ou trois jours, de manière à tenir compte des variations journalières naturelles (influence des courants et des marées). Pour déterminer s'il s'agit d'eaux turbides ou d'eaux limpides (section 4.2), il est recommandé, dans ce cas, d'utiliser la médiane des données.

Compte tenu de la grande variabilité de la relation entre la concentration en MES et la turbidité et des facteurs influençant la mesure de cette dernière (voir section 4.3.1), il est important d'utiliser le même appareillage tout au long du suivi ou de le remplacer par un appareil identique ou ayant les mêmes caractéristiques en cas de dysfonctionnement. Le turbidimètre servant au suivi quotidien doit être calibré une fois par jour afin d'éviter les erreurs de mesure dues à la dérive de l'appareil.

Pour valider la courbe de corrélation turbidité - MES (voir section 4.3.1) durant les travaux, au moins deux échantillons destinés à l'analyse des MES en laboratoire sont prélevés hebdomadairement, dans des contenants en plastique ou en verre et doivent être conservés à 4°C durant le stockage et le transport. Aucun agent de préservation n'est nécessaire mais le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse est de 7 jours (CEAEQ, 2012). Comme les valeurs des MES obtenues en laboratoire seront comparées à celles obtenues par la courbe de corrélation établie avec la turbidité mesurée in situ, il sera important que les échantillons envoyés en laboratoire correspondent aux points de mesure in situ (même moment et même profondeur). Il est souhaitable que les échantillons d'eau qui sont prélevés pour valider la courbe de corrélation aient des teneurs en MES dissemblables.

4.3.4 L'arrêt des travaux de dragage

Lorsque la concentration en MES mesurée durant le dragage¹⁰ est supérieure aux critères de gestion indiqués au tableau 12, pendant plus de 6 heures consécutives, il convient d'arrêter temporairement les travaux pour revoir les méthodes de travail de façon à limiter la remise en suspension des sédiments. Des mesures d'atténuation, telles que le recours à des écrans protecteurs, peuvent permettre de limiter la remise en suspension des sédiments (voir chapitre 5). Dès le retour aux teneurs ambiantes ou lorsque les critères de gestion peuvent à nouveau être respectés, les travaux peuvent reprendre, en s'assurant de leur bon déroulement.

Toutefois, dans le cas d'eaux limpides, le critère de gestion appliqué à 300 m de la drague, correspondant à une augmentation de 5 mg/l par rapport aux teneurs ambiantes, peut être difficilement vérifiable avec précision sur le terrain, étant donné sa faible valeur en comparaison avec la marge d'erreur des appareils de mesure. Pour cette raison, ce critère de gestion peut être utilisé davantage pour vérifier l'effet de la dispersion des MES en aval des travaux plutôt que comme seuil déclencheur de l'arrêt des travaux. Dans ce cas, seulement le critère de gestion appliqué à 100 m de la drague constitue un seuil déclencheur de l'arrêt temporaire des travaux afin de revoir les méthodes de travail.

4.4 Autres balises de gestion

La protection des zones et des espèces sensibles

Les activités de dragage, incluant le rejet en eau libre, devraient être réalisées à un moment de l'année qui causera le moins d'impacts possibles sur le cycle vital des espèces présentes. Ainsi, avant de déterminer la période de réalisation des travaux de dragage dans un secteur donné, il est recommandé de s'informer auprès du MPO et du secteur Faune du MFFP pour les périodes propices à la réalisation des activités de dragage, car celles-ci peuvent varier selon la région et les espèces présentes.

Dans les secteurs soumis à l'érosion, ou lorsque le dragage nécessite l'installation d'écrans de protection (voir section 5.2), il est souhaitable que les travaux n'aient pas lieu lors des périodes de fort débit. Par ailleurs, il est généralement interdit de draguer ou de rejeter les sédiments dragués dans les zones sensibles (frayères, herbiers, zones de refuge thermique, etc.).

Lorsque les travaux sont réalisés là où il y a la présence de mammifères marins, il est recommandé de s'informer auprès du MPO et du secteur Faune du MFFP afin de connaître les mesures d'atténuation qui pourraient être exigées dans le but de protéger les mammifères marins, en particulier ceux appartenant à des espèces considérées en péril ou ayant un statut précaire.

Les usages à protéger

Lors de la planification de la gestion des MES, il faut considérer les usages identifiés à proximité du site de dragage et viser à protéger ces usages. En conséquence, la protection des espèces sensibles, des prises d'eau potable ou industrielle, et des activités commerciales et de loisirs présentes sur le cours d'eau peut nécessiter l'application de balises supplémentaires. Dans certains cas, des exigences peuvent être associées à ces usages (par exemple,

¹⁰ La concentration en MES mesurée durant le dragage correspond à la moyenne géométrique des données recueillies durant la période de dragage quotidienne ou durant une période de 6 h consécutives si le dragage est continu. Lorsque le suivi est effectué à plusieurs profondeurs de la colonne d'eau, la moyenne géométrique doit être calculée séparément pour chacune des profondeurs et comparée séparément avec le critère de gestion.

concentrations en MES à ne pas dépasser à la prise d'eau ou au parc aquacole) et la surveillance des MES doit en tenir compte.

Le rejet des eaux issues des sédiments dragués

Lorsque les sédiments dragués sont gérés en milieu terrestre, ils doivent généralement être asséchés, soit dans des bassins ou dans des géotubes, avant d'être éventuellement transportés dans un site de dépôt définitif. Il faut considérer que la proportion d'eau contenue dans les sédiments peut être très variable selon le type de drague utilisée (drague mécanique ou hydraulique). En absence de contamination chimique, les eaux extraites des sédiments peuvent être rejetées au milieu aquatique lorsque leur teneur en MES est inférieure ou égale à 30 mg/L¹¹. La configuration du site d'assèchement doit permettre de contrôler l'écoulement de surface et d'analyser l'excédent d'eau devant être retourné au milieu aquatique. Dans certains cas, lorsque les sédiments sont reconnus comme étant non contaminés et que la configuration du site d'assèchement permet la percolation de l'eau vers le milieu dragué tout en retenant les sédiments, il pourrait être acceptable de ne pas recueillir l'eau pour l'analyser. Par exemple en milieu marin, il peut être possible, lorsque les conditions s'y prêtent, de déposer les sédiments en zone littorale pour les assécher avant leur transport pour réutilisation (ex. recharge de plage), sans recueillir l'eau qui s'en échappe. Toutefois, la salinité des sédiments doit être prise en considération : les sites d'assèchement doivent être sélectionnés de façon à ce qu'ils ne contaminent pas la nappe phréatique par percolation de l'eau salée dans le sol sous-jacent.

La gestion des sédiments contaminés

Lorsque la caractérisation des sédiments révèle une contamination chimique, des mesures additionnelles peuvent être appliquées lors du dragage et lors du retour des eaux de décantation s'il y a lieu. Plus la contamination est importante, plus la remise en suspension des sédiments et leur dispersion seront préoccupantes. Ainsi, selon la situation, il pourra être recommandé, par exemple, de modifier le choix de l'équipement ou la méthode de dragage, d'utiliser un ou plusieurs rideaux de confinement, d'utiliser des boudins absorbants en présence d'hydrocarbures, d'ajouter le suivi des substances contaminantes à la surveillance de la qualité de l'eau, d'ajouter des stations de surveillance à proximité de composantes sensibles du milieu récepteur, d'effectuer un suivi biologique dans les secteurs à risque, etc. Le chapitre 5 fournit de l'information sur les mesures d'atténuation qui peuvent être appliquées.

Pour d'autres renseignements concernant la gestion des sédiments contaminés, il est recommandé de consulter les documents suivants :

- [*Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration \(EC et MDDEP, 2007\)*](#)
- [*L'évaluation du risque écotoxicologique du rejet en eau libre des sédiments, en soutien à la gestion des projets de dragage en eau douce \(MDDEFP et EC, 2013\).*](#)

¹¹ La concentration de 30 mg/l est une exigence appliquée généralement par le MDDELCC pour les bassins de contrôle du ruissellement aménagés sur des sites industriels. Cette valeur est basée sur la performance de la technologie.

Chapitre 5

Les mesures d'atténuation

5.1 Les bonnes pratiques de dragage

Lors de la réalisation des travaux de dragage, les performances qui peuvent être atteintes sur le plan environnemental relativement aux MES générées varient d'un projet à l'autre selon le type de drague utilisée, l'habileté des opérateurs, la nature du matériel dragué, l'hydrodynamique du milieu et les conditions météorologiques qui prévalent au moment des travaux (USEPA, 2005 ; EC, 1994 ; Havis, 1988 ; Hayes, 1986 ; Herbich et Brahme, 1991). Afin de minimiser la remise en suspension et la perte de sédiments durant le dragage ou le rejet en eau libre de sédiments dragués, la planification du projet doit tenir compte de l'ensemble des paramètres opérationnels pour faire en sorte que les équipements de dragage, le protocole des travaux et l'échéancier soient adaptés au site visé par le projet.

Avec les **dragues mécaniques**, la remise en suspension des sédiments qui a lieu lors du creusement est causée principalement par : (i) l'impact de la benne qui frappe le fond du cours d'eau, (ii) la perte de matériaux à travers les mâchoires de la benne lorsque celle-ci ne ferme pas de façon étanche, (iii) l'action érosive de la colonne d'eau pendant la remontée de la benne et (iv) la surverse de la benne au moment de sa sortie de l'eau. Par ailleurs, lors du chargement des sédiments dragués sur des barges, l'eau contenue dans les sédiments s'accumule dans la barge. Un remplissage excessif peut entraîner une surverse importante et être responsable de la remise en suspension de particules fines non décantées.

Contrairement aux dragues mécaniques, les **dragues hydrauliques** génèrent peu de remise en suspension au moment du dragage, sauf lors de l'utilisation d'un désagrégateur pour l'enlèvement de matériaux cohésifs. En revanche, l'utilisation d'un godet-pompe permet d'éviter ce problème. La surverse et le rejet en eau libre du mélange eau – sédiments sont les principales sources de remise en suspension des sédiments. Ainsi les **dragues hydrauliques autoporteuses** utilisant la surverse peuvent générer des augmentations en MES plus importantes que les dragues mécaniques. En effet, lorsque le mélange eau – sédiments résultant du dragage est stocké à bord de la drague en vue du rejet en eau libre, les particules sédimentent et le surnageant est évacué. Or, le temps alloué à la sédimentation est généralement insuffisant pour les particules fines. Elles sont alors rejetées lors de la surverse et entraînent la formation de panaches turbides derrière la drague.

Il existe également des dragues spécialement conçues pour limiter la remise en suspension des sédiments (dragues Amphibex, Mudcat, etc.). Elles sont principalement utilisées pour les travaux de petite et moyenne envergure et leur utilisation est limitée par la profondeur du site à draguer (CSL, 1992).

Plusieurs documents gouvernementaux (EPA, 2001; Joint Guam Program Office, 2010 ; LTMS Agencies, 2001 ; Minnesota Pollution Control Agency, 2011 ; Oregon State Marine Board, 2012 ; USEPA, 2005 ; USACE, 2008) ainsi que des documents produits par des associations internationales sans but lucratif (PIANC EnviCom Working Group 100, 2009), des comptes rendus de conférences (Francingues, N.R. and D.W. Thompson, 2006) et des rapports de consultants (Anchor Environmental CA, L.P., 2003; Anchor QEA and Thomas Johnson

Consultant, 2011) décrivent avec plus ou moins de détails les mesures qui peuvent être entreprises par les promoteurs d'activités de dragage pour minimiser les effets néfastes des travaux sur le milieu récepteur. Les mesures visant spécifiquement à réduire la remise en suspension des sédiments et limiter la perte de MES durant les travaux (incluant le relâchement possible de contaminants) couvrent divers aspects des projets, notamment :

- le choix de l'équipement;
- les bonnes pratiques de dragage;
- la gestion du dragage en fonction du milieu.

Le tableau 16 présente une liste (non exhaustive) des mesures envisageables pour chacun de ces aspects, selon que les travaux soient effectués avec l'un ou l'autre des trois types de dragues les plus utilisés au Québec, c'est-à-dire les dragues mécaniques, les dragues hydrauliques et les dragues hydrauliques autoporteuses (CSL, 1992 et Havis, 1988).

Pour ce qui est du rejet en eau libre des sédiments de dragage, il peut être pertinent de faire la surveillance des MES générées au moment du rejet, il demeurera toutefois difficile de modifier les façons de faire ou d'appliquer des mesures d'atténuation particulières à l'opération. Il importe donc de bien évaluer au préalable l'acceptabilité de rejeter en eau libre les sédiments de dragage. En effet, l'impact de l'accumulation de sédiments sur le fond et l'impact du transport sédimentaire à long terme ont été démontrés dans des secteurs particuliers du fleuve, par exemple au site de rejet situé en aval de l'île Madame, où des modifications du substrat et de l'habitat d'alimentation du poisson ont été observées bien au-delà de la zone de rejet cartographiée (Nellis *et al.* 2007; Hatin *et al.*, 2007; McQuinn et Nellis, 2007). Des conditions de suivi supplémentaires peuvent être exigées pour ce type d'impacts qui n'est pas pris en compte par les recommandations développées ici, ces dernières visant spécifiquement la gestion des augmentations de MES dans la colonne d'eau lors des activités de dragage.

Rappelons que lors de la détermination du mode de gestion des sédiments dragués, les options alternatives au rejet en eau libre doivent être considérées. Parmi ces options, doit figurer la valorisation des sédiments en milieu terrestre ou aquatique. L'option retenue doit correspondre à celle de moindre impact sur le milieu, tout en étant économiquement réalisable (EC et MDDEP, 2007).

Tableau 16. Mesures d'atténuation envisageables pour les projets de dragage et de rejet en eau libre
(d'après Anchor Environmental, 2003 ; CSL, 1992 ; EC, 1994 ; MPO, 2007 et USEPA, 2009)

Document de travail

	Drague	Mesures d'atténuation
Choix de l'équipement	Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Étanchéisation des bennes et des clapets des barges et des chalands • Utilisation de benne preneuse à godet hydraulique (à double paroi) • Fermeture hydraulique de la pelle rétrocaveuse
	Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'un godet-pompe • Étanchéisation des joints de conduite • Augmentation de la puissance et de la capacité de succion (pompes de surpression) • Installation d'un désagrégateur conique directement sous la conduite de succion • Installation d'un bouclier à proximité de la tête aspirante ou du désagrégateur • Enlèvement de la tête désagrégatrice dans les matériaux fins et mous • Utilisation de couteaux ajustés et appropriés • Installation d'un tube à trémie et/ou d'un diffuseur à l'extrémité de la conduite s'ils permettent de réduire la vitesse et la turbulence lors du rejet en eaux libres
	Autoporteuse	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation d'un système de surverse anti-turbidité
	Tous types	<ul style="list-style-type: none"> • Choix du type et de la taille de drague les plus adaptés • Utilisation d'un système de diffuseur submergé (rejet) • Utilisation d'écrans protecteurs (voir section 5.3)
Bonnes pratiques de dragage	Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la vitesse de descente et de remontée de la benne • Installation d'un dispositif pour assurer la fermeture du godet avant la remontée • Nivellement du fond par pivotement de la benne sur le fond à éviter • Descente de la benne le plus bas possible dans le chaland
	Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation de la profondeur de coupe pour qu'elle corresponde approximativement au diamètre du désagrégateur • Optimisation de la vitesse de rotation du désagrégateur avec la puissance d'aspiration de la pompe • Limitation de la vitesse de rotation du désagrégateur à 30 tours/min (CSL, 1992) • Nettoyage du pipeline avant d'enlever ou d'ajouter une section de tuyau
	Autoporteuse	<ul style="list-style-type: none"> • Recours à la surverse à éviter en présence de matériaux fins • Positionnement précis de la tête de la drague dans les sédiments à draguer • Optimisation de la vitesse de la drague avec la puissance d'aspiration de la pompe
	Tous types	<ul style="list-style-type: none"> • Manipulation, nettoyage et maintenance des équipements par des opérateurs formés et sensibilisés • Remontée des ancres avant le déplacement de la drague • Choix d'une technique d'avancement de la drague minimisant les plages de résidus • Choix de plan de coupe en escalier au lieu de coupes verticales • Limitation des dimensions du projet au strict nécessaire • Évaluation du panache de dispersion des MES • Dragage et rejet en période de faible débit pour éviter la dispersion des MES et assurer l'efficacité des mesures de contrôle (hors des périodes de restriction) • Précaution pour limiter la surverse chargée de MES lors du remplissage des barges • Limitation du chargement lors du transport pour éviter un déversement accidentel • Régulation des volumes de matériaux déchargés par unité de temps ou de volume des eaux réceptrices (rejet) • Choix de méthodes et de sites de rejet limitant la dispersion des MES et l'érosion (bassins de sédimentation, recouvrement...) • Valorisation des sédiments dragués (stabilisation de berges, recharge de plages...)
Gestion du milieu	Vie aquatique	<ul style="list-style-type: none"> • Dragage et rejet en période de faible activité biologique (c.-à-d. hors des périodes critiques) pour la protection de la vie aquatique (fraie, migration) • Prise en compte des éléments sensibles du milieu (frayères, eaux coquillères...) • Étalement des matériaux déchargés pour réduire l'épaisseur de recouvrement des organismes benthiques (rejet)
		<ul style="list-style-type: none"> • Composition des sédiments similaire au site de dragage et au site de rejet (caractéristiques physiques, chimiques et biologiques)
	Usages	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte des usages et des réglementations associées (eau potable, activités commerciales et de loisirs)

5.2 Les écrans protecteurs

Lorsque le milieu et le type de projet s'y prêtent, l'utilisation d'écrans protecteurs (rideaux de turbidité) permet de limiter la dispersion des MES générées lors des activités de dragage (Anchor Environmental, 2003 ; CSL, 1992 ; USACE *et al.*, 2001). Des écrans sont notamment utilisés pour protéger des zones particulières (milieux sensibles, prises d'eau, zones récréatives, etc.) des augmentations de la concentration des MES (Francingues et Palermo, 2005; JBF Scientific Corporation, 1978 ; USACE, 1997). Selon les caractéristiques du milieu, le type d'écran utilisé et la façon de le déployer, ces écrans peuvent être relativement efficaces pour confiner les MES dans un secteur limité et favoriser un abattement de la turbidité.

Bien que certains rideaux de turbidité soient conçus pour être utilisés dans des courants pouvant atteindre 6 km/h (1,5 m/s) et dans des zones soumises à l'action du vent, des vagues et de la marée, ce type d'ouvrage est généralement plus efficace lorsque les courants sont faibles ou modérés, les niveaux d'eau relativement stables et les profondeurs d'eau inférieures à cinq ou six mètres (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978 ; OMEE, 1991 ; USACE, 1997).

Les rideaux peuvent être déployés jusqu'au fond, mais ils sont plus souvent installés de telle sorte que l'eau puisse passer dessous car leur fonction est de contenir les eaux turbides et non d'entraver le mouvement de l'eau (Francingues et Thompson, 2006). Selon l'étude de JBF Scientific Corporation sur l'efficacité des écrans de protection (1978), en régime hydrodynamique normal et dans des conditions d'utilisation optimales de l'écran, la turbidité à l'extérieur de la zone de confinement peut être de 80 à 90 % inférieure à celle mesurée à l'intérieur du rideau. Néanmoins, il n'est pas impossible que les conditions hydrodynamiques (vagues, courants) causent des déplacements de l'écran. Si celui-ci vient à toucher le fond, la turbidité à l'extérieur du site peut augmenter et dépasser celle de la zone de confinement. En zones agitées, l'ancrage doit donc être établi de façon régulière, à des intervalles de 15 à 30 mètres des deux côtés de l'écran. Minimale, un espace de 30 cm doit être laissé entre le bord inférieur du rideau et la surface de la couche de sédiments accumulés (JBF Scientific Corporation, 1978 ; USACE, 1997). Plusieurs types d'écrans protecteurs sont présentés à l'annexe D.

Lors du déplacement ou de l'enlèvement des rideaux, des précautions doivent être prises afin d'éviter ou de minimiser la remise en suspension des sédiments (Francingues et Palermo, 2005). Il est conseillé de retirer l'écran uniquement lorsque la qualité de l'eau à l'intérieur de la zone est comparable à celle de l'extérieur, en respectant un délai minimal de 24 heures. Dans tous les cas, les recommandations du constructeur doivent être respectées afin de s'assurer de conditions d'utilisation optimales.

Lors d'un rejet de sédiments dragués, seul un faible pourcentage des particules rejetées demeure normalement en suspension dans la colonne d'eau. La quasi-totalité des sédiments largués descendent rapidement sous forme d'une masse de sédiments qui, au moment de l'impact sur le fond, s'étend sur le lit du cours d'eau. Les écrans de protection ne sont pas conçus pour contenir ce flux; au contraire ils peuvent être entraînés sous l'eau sous l'effet de l'accumulation de sédiments. Une attention particulière doit donc être portée à ces situations (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978).

Conclusion

L'analyse des teneurs ambiantes en MES observées naturellement dans le fleuve Saint-Laurent et des concentrations mesurées en situation de dragage a permis de définir des balises spécifiques à la gestion des MES associées aux activités de dragage. Tenant compte à la fois des effets des MES sur la vie aquatique et des observations recueillies *in situ* lors des dragages effectués ces dernières années, des critères de gestion des MES sont déterminés pour les travaux qui se déroulent en eaux limpides et d'autres pour les travaux qui se déroulent en eaux turbides. Ainsi, ces critères tiennent compte des variabilités spatio-temporelles des teneurs ambiantes, qui sont sensiblement élevées dans la ZTM du Saint-Laurent et lors des crues printanières et automnales.

Pour assurer la protection des écosystèmes aquatiques, ces critères de gestion sont complétés par des balises d'ordre général liées à la protection des zones sensibles (frayères, herbiers, zones de refuge thermique etc.) et des usages de l'eau (prise d'eau, aquaculture, loisirs). Chaque projet de dragage doit faire l'objet d'une analyse détaillée pour déterminer les balises de gestion spécifiques à la situation. Dans tous les cas, les travaux de dragage doivent être réalisés selon les bonnes pratiques et inclure les mesures d'atténuation qui permettent de minimiser la remise en suspension des MES et leurs impacts sur la vie aquatique.

Ces balises de gestion des MES ont été développées pour les projets de dragage effectués sur le Saint-Laurent, car il s'agit du cours d'eau où les dragages les plus imposants et les plus fréquents sont réalisés au Québec. Toutefois, ces balises de gestion peuvent être utilisées, avec certaines adaptations au besoin, pour encadrer la réalisation de dragages ou de travaux d'excavation effectués dans d'autres cours d'eau du Québec. Elles peuvent également servir de base pour encadrer tous travaux dans le milieu aquatique susceptibles d'engendrer des augmentations de matières en suspension, tels que la construction de quai, de digues, de piliers de pont, etc.

Ces balises ayant été développées pour la gestion du dragage de sédiments non contaminés, des mesures additionnelles pourront être recommandées en présence de sédiments contaminés, selon la situation et l'ampleur de la contamination, et ce, autant lors de travaux de dragage d'entretien que lors de travaux de restauration de sites contaminés.

D'autres outils de gestion des activités de dragage ont été développés, notamment dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent. Ainsi, un *Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent*, mis en ligne sur le site Web du Plan d'action Saint-Laurent (http://planstlaurent.qc.ca/fr/liens_utiles/dragage.html), contient l'information relative aux projets de dragage à venir sur le fleuve et vise à faciliter la concertation entre les promoteurs en amont des projets de dragage ainsi que la planification régionale à moyen et à long terme des activités de dragage. L'utilisation de ce registre est recommandée à tous les promoteurs de dragage. La page Web du registre regroupe également l'ensemble des documents de référence, guides et diagrammes décisionnels liés à la gestion des activités de dragage et des sédiments contaminés.

Ouvrages consultés

- Anchor Environmental**, 2003. *Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations*, Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, 87 p.
- Anchor Environmental CA, L.P.**, 2003. *Literature Review of Effects of Resuspended Sediments due to Dredging Operations*, Prepared for Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, Irvine, California, 878 p. + Annexes.
- Anchor QEA et Thomas Johnson Consultant**, 2011. *Sediment Management Handbook for Dredge and Fill Projects*. Prepared for the Port of Long Beach, California, pp. 61-69.
- d'Anglejan B.F.**, 1981. *On the advection of turbidity in the St. Lawrence Middle Estuary*, *Estuaries*, 4(1):2-15.
- D'Arcy P. et J-F. Bibeault**, 2004. *Stratégie de Navigation Durable pour le Saint-Laurent*, Comité de Concertation Navigation de Saint-Laurent Vision 2000, Ministère des Transports du Québec, Pêches et Océans Canada, 111 p.
- Bilotta G.S. et R.E. Brazier**, 2008. *Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota*, *Water Research* 42: 2849-2861.
- Borrowman T. D.**, 2006. *Summary of measurement protocols for sediment resuspended from dredging operations*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-D8, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 9 p.
- Brassard Claude et Pascal Tremblay**, 2010. *Communication personnelle*, Mont-Joli, Pêches et Océans Canada, Protection de l'habitat du poisson, hydroélectricité, navigation et milieu marin.
- Caux P.-Y., D.R.J Moore et D. MacDonald**, 1997. *Ambient water quality guidelines (criteria) for turbidity, suspended and benthic sediments, Technical Appendix*, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Water Management Branch, 82 p.
- CCME – Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement**, 1999, mis à jour en 2002. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Matières particulaires totales*, 15 p., dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil.
- CEAEQ – Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec**, 2012. *Détermination des solides en suspension totaux: méthode gravimétrique*. MA. 104 – S.S. 2.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 8 p. [En ligne] : <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA104SS2.pdf>

- CEAEQ**, 2009. *Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique*. MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 4, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 10 p. [En ligne] : <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA103Tur10.pdf>
- Chanson H., M. Takeuchi et M. Trevethan**, 2008. *Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures of suspended sediment concentration in a small subtropical estuary*, Journal of Environmental Management 88:1406-1416.
- CJB Environnement inc.**, 2009. *Dragage d'entretien annuel de la voie navigable du Saint-Laurent (2009), Dragage d'entretien à lac Saint-Pierre, Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, Examen préalable*, Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, 90 p. et annexes.
- CJB Environnement inc.**, 2008a. *Dragage d'entretien du chenal de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine, surveillance et suivi environnemental des travaux réalisés en 2008*, pour La Société Canadienne de Sel Itée, 28 p.
- CJB Environnement inc.**, 2008b. *Dragage d'entretien du port de Gros-Cacouna, suivi de la qualité de l'eau 2008*, présenté à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada pour le compte de Transports Canada, 14 p. et annexes.
- CJB Environnement inc.**, 2007. *Programme de surveillance et de suivi environnemental 2007, Dragage d'entretien du chenal maritime de Mines Seleine à Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine*, pour La Société Canadienne de Sel Itée, 10 p.
- CJB Environnement inc.**, 2006. *Étude d'impact sur l'environnement, Programme décennal de dragage d'entretien du chenal maritime de Mines Seleine à Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine*, pour La Société Canadienne de Sel Itée, Rapport principal présenté au Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, mai 2006, 166 p.
- CJB Environnement inc. et Procean inc.**, 1999. *Projet de dragage sélectif des Hauts-Fonds entre Montréal et Cap à la Roche, Programme de Surveillance et de suivi environnemental, rapport de surveillance et de suivi des travaux réalisés au cours de l'automne 1998*, Administration portuaire de Montréal, 43 p. et annexes.
- Clarke Douglas. G., Wilber Dara. H.**, 2000. *Assessment of potential impacts of dredging operations due to sediment resuspension*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-E9, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 14 p.
- Consultants Jacques Bérubé inc.**, 1997a. *Dragage d'entretien de la Traverse nord dans le chenal de navigation du Saint-Laurent, suivi de la qualité de l'eau 1996*, Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, 13 p. et annexes.

- Consultants Jacques Bérubé inc.**, 1997b. *Dragage d'entretien du Lac Saint-Pierre, suivi de la qualité de l'eau, rapport final*, Pêches et Océans Canada, Garde côtière canadienne, 13 p. et annexes.
- CSL - Centre Saint-Laurent**, 1997. *Le Saint-Laurent : dynamique et contamination des sédiments*, Rapport thématique sur l'état du Saint-Laurent, Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Montréal, collection « BILAN Saint-Laurent », 127 p.
- CSL**, 1996. *L'écosystème du Saint-Laurent*, Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent, Volume 1, Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Éditions MultiMondes, Montréal, collection « BILAN Saint-Laurent ».
- CSL**, 1992. *Guide pour le choix et l'opération des équipements de dragage et des pratiques environnementales qui s'y rattachent*, document préparé en collaboration avec Travaux Publics Canada et le Ministère de l'Environnement du Québec, En40-438/1992F, 81 p.
- Dessau inc.**, 2008a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2008*, Société des traversiers du Québec, 25 p. et annexes.
- Dessau inc.**, 2008b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues, 2008*, Société des traversiers du Québec, 40 p. et annexes.
- Dessau inc.**, 2010a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues, 2009*, Société des traversiers du Québec, 33 p. et annexes.
- Dessau inc.**, 2010b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues, 2010*, Société des traversiers du Québec.
- Downing John**, 2005. *Turbidity Monitoring*, 511-546, dans Down Randy D., Lehr Jay H., 2005, *Environmental instrumentation and analysis handbook*, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 1 068 p.
- Dredging Research Ltd. et HR Wallingford**, 2003. *Protocol for the field measurement of sediment release from dredgers*, VBKO (Vereniging van Waterbouwers in Bagger – Kust en Oeverwerken) TASS Project, 83 p.
- EC - Environnement Canada**, 2012a. *Fleuve Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?Lang=Fr&n=F46CF5F8-1>, mis à jour le 25 septembre 2012.
- EC** 2012b. *Hydrographie du Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=59C4915D-1>, mis à jour le 3 juillet 2012.

- EC, 2012c. *Les masses d'eau du Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=3776F8EF-1>, mis à jour le 3 juillet 2012.
- EC, 2010. *Base de données Qualité Eau*, Environnement Canada, Division Monitoring et Surveillance de la Qualité de l'Eau.
- EC, 2002a. *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 1 : Directives de planification*. Direction de la protection de l'Environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels, 106 p.
- EC, 2002b. *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 2 : Manuel du praticien de terrain*. Direction de la protection de l'Environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels, 107 p.
- EC, 1994. *Répercussions environnementales du dragage et de la mise en dépôt des sédiments*, document préparé par Les Consultants Jacques Bérubé inc. pour la Section du Développement Technologique, Direction de la Protection de l'Environnement, régions du Québec et de l'Ontario, En 153-39/1994F, 109 p.
- EC et MDDEP, 2007. *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*, 39 p.
- EC et MPO, 2009. *Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent*. [En ligne]. <http://planstlaurent.qc.ca/registreactivitesdragage/Accueil.aspx>, mis à jour le 8 juillet 2009, consulté le 04 août 2010.
- EPA – **Environment Protection Authority**, 2001. *Best Practices Environmental Management – Guidelines for Dredging*, Publication 691, Victoria, Australia, 110 p.
- Francingues N. R. et D. W. **Thompson**, 2006. *Control of Resuspended Sediments in Dredging Projects*. WEDA Thirty-Sixth Annual Technical Conference Proceedings, San Diego, California, pp. 243-253.
- Francingues N. R. et M. R **Palermo**, 2005. *Silt curtains as a dredging project management practice*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-E21, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 18 p.
- GENIVAR, 2013. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues*, 2013. Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec. 28 p. et annexes.
- GENIVAR, 2012. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues*, 2012. Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec. 34 p. et annexes.

- GENIVAR**, 2011. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues*, 2011. Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec. 44 p. et annexes.
- GENIVAR**, 2008. *Programme décennal de dragage d'entretien des installations portuaires de Bécancour, Étude d'impact sur l'environnement, Rapport principal et annexes*, Société du Parc Industriel et portuaire de Bécancour, 93 p. et annexes.
- Ginting D.** et **M. Mamo**, 2006. *Measuring Runoff-Suspended Solids Using an Improved Turbidometer Method*, Journal of Environmental Quality 35: 815-823.
- GTGIDS**, 2004. *Document d'orientation sur la gestion du dragage sur le Saint-Laurent, Document de soutien à la stratégie de navigation durable du comité de concertation navigation*, 21 p.
- Hatin D.**, **S. Lachance** et **D. Fournier**, 2007. Effect of dredged sediment deposition on use by Atlantic Sturgeon and Lake Sturgeon at an open-water disposal site in the St. Lawrence estuarine transition zone. *American fisheries Society Symposium* 56: 235-255.
- Havis R. N.**, 1988. *Sediment Resuspension by Selected Dredges*, Environmental Effects of Dredging, Technical Notes EEDP-09-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 9 p.
- Hayes D. F.**, 1986. *Guide to selecting a dredge for minimizing resuspension of sediment*, Environmental Effects of Dredging, Technical Notes EEDP-09-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 7 p.
- Hébert S.** et **J. Belley** 2005. *Le Saint-Laurent – La qualité des eaux du fleuve 1990-2003*, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du Suivi de l'État de l'Environnement, Envirodoc n°ENV/2005/0095, collection n°QE/156, 25 p. et annexes.
- Herbich J. B.** et **S. B. Brahme**, 1991. *Literature review and technical evaluation of sediment resuspension during dredging*, Improvement of operations and maintenance techniques program, contract report hl-91-1, US Army Corps of Engineers, Washington, DC, 87 p.
- Hudson R.**, 2001. *Interpreting Turbidity and Suspended-Sediment Measurements in High-Energy Streams in Coastal British Columbia*, British Columbia Ministry Of Forests, Vancouver Forest Region, Research Section, Technical Report TR-008, 14 p.
- IADC** – International Association of Dredging Companies, 2007. *Facts about turbidity*, 4 p.
- JBF Scientific Corporation**, 1978. *An analysis of the functional capabilities and performance of silt curtains*, Technical Report D-78-39, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 184 p.
- JGPO – Joint Guam Program Office**, 2010. *Guam and CNMI Military Relocation – Final Environmental Impact Statement. Relocating Marines from Okinawa, Visiting Aircraft*

Carrier Berthing, and Army Air and Missile Defense Task Force – Reader’s Guide, Volume 9: Appendices, Naval Facilities Engineering Command, Pacific, Guam Program Management Office, Pearl Harbor, pp. D-5 – D-20.

Köthe H., 2010. Dredging and the Environment – International Guidance for Best Practices. PIANC Environmental Commission, Presentation at the PIANC 125th Anniversary Celebration in Asia, Nagoya, Japan, 12-14 September 2010.

Kranck K., 1979. *Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary*, Naturaliste Canadien 106:163-173.

Lalancette J., 2001. *Portrait des activités de dragage sur le Saint-Laurent: les aspects opérationnels et environnementaux, Rapport final*, Transports Québec, 58 p.

Lewis D. J., K. W. Tate, R. A. Dahlgren et J. Newell, 2002. *Turbidity and Total Suspended Solid Concentration Dynamics in Streamflow from California Oak Woodland Watersheds*, USDA Forest Service, General Technical Report PSW-GTR-184: 107-118.

Lewis Jack, 2003. *Turbidity-controlled sampling for suspended sediment load estimation*, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 8 p.

Lewis Jack, 1996. *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*, Water Resources Research vol. 32, no. 7, 2299-2310.

Lillicrop Linda S., G. L. Howell et T. E. White, 1996. *Development and evaluation of a prototype turbidity sensor for in situ, long-term measurements*, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiments Station, Technical Report CERC-96-9, 51 p.

Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, 1992. (2012 ?) *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, ch.37, à jour en date du 11 juillet 2010*, Canada, Ministère de la justice, 1992. [En ligne] : <http://lois.justice.gc.ca/fra/C-15.2/index.html>, mis à jour le 10 août 2010, consulté le 16 août 2010.

Loi sur les espèces en péril, 2002. *Loi sur les espèces en péril, ch.29, à jour en date du 11 juillet 2010*, Canada, Ministère de la justice, 2002. [En ligne] : <http://laws.justice.gc.ca/fra/S-15.3/index.html>, mis à jour le 16 août 2010, consulté le 18 août 2010.

LTMS Agencies, 2001. Dredging Best Management Practices, LTMS Management Plan, Appendix 1, pp. 1-1 – 1-3.

Marquis P. 2005. *Turbidity and Suspended Sediment as Measures of Water Quality*, Streamline, Watershed Management Bulletin vol. 9, no. 1, 21-23.

McQuinn I. A. et P. Nellis, 2007. An acoustic-trawl survey of middle St. Lawrence estuary demersal fishes to investigate the effects of dredged sediment disposal on Atlantic Sturgeon and Lake Sturgeon distribution. *American Fisheries Society Symposium* 56 : 257-271.

- MPCA – Minnesota Pollution Control Agency**, 2011. *Best Management Practices for the Management of Dredged Material*, 8 p.
- MDDEP – Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs**, 2010. *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA)*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement.
- MDDEFP**, 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec, matières en suspension*. [En ligne] : http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp, mise à jour en 2013.
- Minella J. P.G., G. H. Merten, J. M. Reichert et R. T. Clarke**, 2008. *Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem*, *Hydrological Processes* 22:1819-1830.
- MPO – Pêches et Océans Canada**, 2008. *Espèces aquatiques en péril - Béluga - Fleuve Saint-Laurent*. [En ligne]. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/species-especes/belugaSTLa-fra.htm>, mis à jour le 11 septembre 2008, consulté le 18 août 2010.
- MPO**, 2007. *Dragage d'entretien périodique, Énoncé opérationnel pour le Québec, Version 3.0*. [En ligne] : <http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/what-quoi/os-eo/qc/maintenance-fra.asp>, mis à jour le 31 mai 2010, consulté le 02 août 2010.
- MPO**, 2005. *Le golfe du Saint-Laurent, un écosystème unique*. [En ligne] : <http://www.glf.dfo-mpo.gc.ca/f0006090>, mis à jour le 29 avril 2010, consulté le 10 août 2010.
- Nellis P., S. Senneville, J. Munro, G. Drapeau, D. Hatin, G. Desrosiers et F. J. Saucier**, 2007. *Tracking the dumping and bed load transport of dredged sediment in the St. Lawrence estuarine transition zone and assessing their impacts on macrobenthos in Atlantic Sturgeon habitat*. *American Fisheries Society Symposium* 56 : 215-234.
- Newcombe C. P.**, 2003. *Impact assessment model for clear water fishes exposed to excessively cloudy water*, *Journal of the American Water Resources Association* 39:529-544.
- Newcombe C. P.**, 1997. *Channel suspended sediment and fisheries: a concise guide to impact*, Resource Stewardship Branch, Ministry of Environment, Lands and Parks, Victoria, British Columbia, 37 p.
- Newcombe C. P.**, 1994. *Suspended sediment in aquatic ecosystems: ill effects as a function of concentration and duration exposure*, Habitat Protection Branch, Ministry of Environment, Lands and Parks, Victoria, British Columbia, 298 p.
- Newcombe C. P. et O. T. J. Jensen**, 1996. *Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact*, *North American Journal of Fisheries Management* 16:693-727.

- Newcombe C. P.** et **D. D. MacDonald**, 1991. *Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems*, North American Journal of Fisheries Management 11:72-82.
- OMEE - Ontario Ministry of the Environment and Energy**, 1991 (mis à jour en 1994). *Evaluating construction activities impacting on water resources Part III B*, 26 p., in *Handbook for dredging and dredged material disposal in Ontario – Dredging transport and monitoring*. Ontario Ministry of the Environment and Energy, Standards Development Branch.
- OSMB – Oregon State Marine Board**, 2012. Best Management Practices (BMPs) White Paper for Recreational Boating Facility Construction and Replacement, 7 p.
- Pelletier Magella**, 2010. Communication personnelle, Québec, Environnement Canada, Direction de la science et des technologies, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau.
- Pelletier Marc**, 2012. *Dragage d'entretien du havre de Berthier-sur-Mer 2011 - Rapport de surveillance et de suivi environnemental*, rapport final préparé pour le Havre de Berthier-sur-Mer. 17 pages.
- PIANC EnviCom Working Group 100**, 2009. Dredging Management Practices for the Environment – A Structured Selection Approach. Publication EnviCom report 100.
- Procean Environnement inc.**, 2008. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2008*, Société des traversiers du Québec, 46 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2007a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2007*, Société des traversiers du Québec, 20 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2007b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues, 2006*, Société des traversiers du Québec, 26 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2007c. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Grues, 2007*, Société des traversiers du Québec, 27 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2007d. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2007*, Société des traversiers du Québec, 37 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2007e. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2006*, Société des traversiers du Québec, 42 p. et annexes.

- Procean Environnement inc.**, 2006a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2006*, Société des traversiers du Québec, 18 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2006b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2005*, Société des traversiers du Québec, 36 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2005a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2005*, Société des traversiers du Québec, 14 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2005b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2004*, Société des traversiers du Québec, 29 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2004a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2004*, Société des traversiers du Québec, 13 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2004b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2003*, Société des traversiers du Québec, 15 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2004c. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2003*, Société des traversiers du Québec, 26 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2002a. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2002*, Société des traversiers du Québec, 16 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2002b. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de Rivière-du-Loup, 2002*, Société des traversiers du Québec, 36 p. et annexes.
- Procean Environnement inc.**, 2001. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de l'Isle-aux-Coudres, 2001*, Société des traversiers du Québec, 22 p. et annexes.
- Procean inc.**, 1999. *Projet de développement du « Terminal de vrac – Pointe-Noire », Étude environnementale*, TPSGC – Dossier n° 4355-S386/32-3/, Port de Sept-Îles – Dossier n° 564-9-1, présenté à la Corporation du Port de Sept-Îles, 200 p. et annexes.
- Pye K.**, 1994. *Sediment transport and depositional processes*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 397 p.

- Ricard M.** et **L. Saumure**, 2003. *Portrait des activités de dragage sur le Saint-Laurent : les aspects administratifs, économiques et sociaux, Rapport final*, Transports Québec, 113 p.
- Ritter J. R.** et **W. H. Brown**, 1971. *Turbidity and suspended-sediment transport in the Russian River Basin, California*, U.S. Department of the Interior Geological Survey, Water Resources Division, 100 p.
- Roche Itée**, 2000. *Suivi environnemental – dragage 1999, Mines Wabush, Suivi des circulations et des panaches de turbidité lors du dragage de 1999*, Administration portuaire de Sept-Îles, 89 p.
- Rondeau B.**, **D. Cossa**, **P. Gagnon** et **L. Bilodeau**, 2000. *Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada*, Hydrological Processes 14, 21-36.
- Rouleau Pierre**, 2010. Communication personnelle, Québec, Pêches et Océans Canada, Garde Côtière Canadienne.
- Silverberg N.** et **B. Sundby**, 1979. *Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence Estuary*, Canadian Journal of Earth Sciences 16:939-950.
- Teixeira E. C.** et **P. C. Caliari**, 2005. *Estimation of the concentration of suspended sediments in river from turbidity measurement: error assessment*, Sediment budgets 1 (Proceedings of symposium S1 held during the seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005), IAHS Publication 291: 151-160.
- Thackston E.L.** et **M. R. Palermo**, 2000. *Improved methods for correlating turbidity and suspended solids for monitoring*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-E8, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 10 p.
- Tremblay Guillaume**, 2010. Communication personnelle, Rivière-du-Loup, Dessau inc.
- Truhlar J.F.**, 1978. *Determining suspended sediment loads from turbidity*, Hydrological Sciences Journal vol. 23, no. 4, 409-417.
- USACE – United States Army Corps of Engineers**, 2008. *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments*, Document number ERDC/EL TR-08-29, by Michael R. Palermo, Paul R. Schroeder, Trudy J. Estes, and Norman R. Francingues, Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory, Vicksburg, MS. 288 p.
- USACE**, 1997. *Turbidity Curtains, Appendix C BMP-27, C-165 – C-174 in Engineering and Design, Handbook for the Preparation of Storm Water Pollution Prevention Plans for Construction Activities*, Engineers Pamphlet EP 1110-1-16, USACE, Washington, DC.
- USACE**, USEPA, San Francisco Bay Conservation and Development Commission, San Francisco Bay Regional Water Quality Control Board, 2001. *Appendix I Dredging “Best*

Management Practices”, in *Long-Term Management Strategy For The Placement Of Dredged Material In The San Francisco Bay Region, Management Plan 2001*, 400 p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency, 2009. *Code of Federal Regulation*, Title 40, Chapter I – *Environmental Protection Agency*, Subchapter H – *Ocean Dumping*, Part 230 – Section 404 (b)(1) *Guidelines for Specification of Disposal Sites for Dredged or Fill Material*, Subpart H – *Actions to minimize adverse effects*, 272-274 [en ligne]. <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=12073d3b40862d8bc172964ed850a0b0&rqn=div6&view=text&node=40:24.0.1.3.24.8&idno=40>, mise à jour le 19 avril 2010, consulté le 21 avril 2010.

USEPA, 2006. *Framework for Developing Suspended and Bedded Sediments (SABS)*. Water Quality Criteria. Office of Water and Office of Research and Development, EPA-822-R-06-001, 151 p.

USEPA, 2005. *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*, EPA-540-r-05-012, OSWER 9355-0-85. Office of Solid Waste and Emergency Response, USEPA, Washington, DC. Pagination multiple.

USEPA, 1999a. *Chapter 7 – Importance of Turbidity*, 13 p. dans *Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions*, EPA-815-R-99-010.

USEPA, 1999b. *Measurement of TSS in runoff*, URS Greiner Woodward Clyde, 40 p.

Vachon, N. 2003. L'envasement des cours d'eau: processus, causes et effets sur les écosystèmes avec une attention particulière aux Catostomidés dont le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*). Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-13, vi + 49 p.

Wilber D. H. et **D. G. Clarke**, 2001. *Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries*, North American Journal of Fisheries Management 21: 855-875.

Ziegler A. C., 2002. *Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment*, Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV, 3p.

Annexes

Annexe A : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station, dans le fleuve Saint-Laurent, d'après MDDEP, 2010.....	A
Annexe B : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station pour le tronçon fluvial, d'après MDDEP, 2010	B
Annexe C : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station pour l'estuaire fluvial, d'après MDDEP, 2010	C
Annexe D : Écrans protecteurs de type I, II et III (tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 et USACE, 1997).....	D

Annexe A

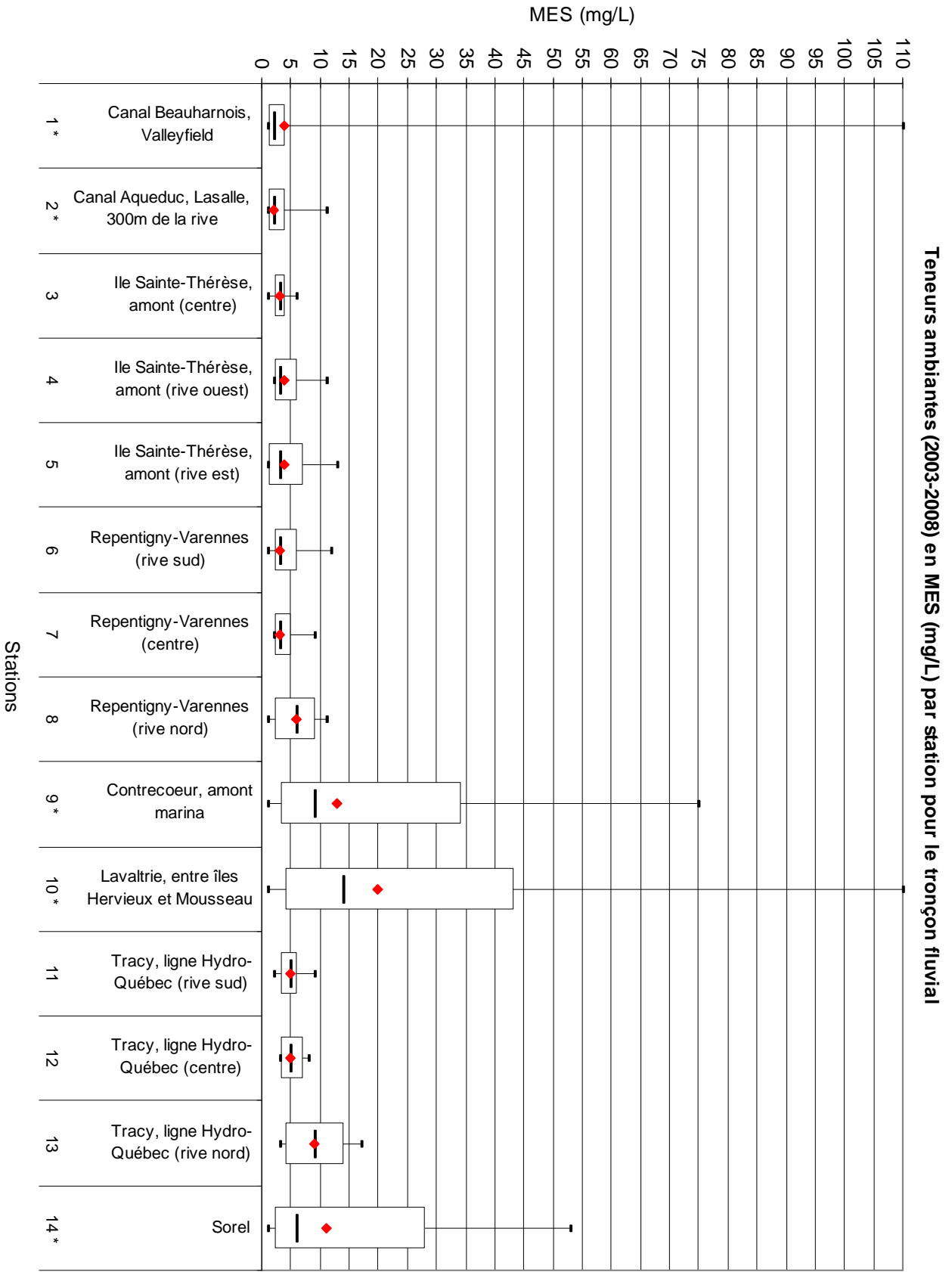
Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station, dans le fleuve Saint-Laurent

Secteur	N°	Station	N	Minimum	C10	Médiane	C90	Maximum	Moyenne
Tronçon fluvial	1 *	Canal Beauharnois, Valleyfield	66	1,0	1,0	2,0	4,0	110,0	4,0
	2 *	Canal Aqueduc, Lasalle, 300m de la rive	70	1,0	1,0	2,0	4,0	11,0	2,0
	3	Ile Sainte-Thérèse, amont (centre)	36	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	3,0
	4	Ile Sainte-Thérèse, amont (rive ouest)	36	2,0	2,0	3,0	6,0	11,0	4,0
	5	Ile Sainte-Thérèse, amont (rive est)	36	1,0	1,0	3,0	7,0	13,0	4,0
	6	Repentigny-Varennnes (rive sud)	36	1,0	2,0	3,0	6,0	12,0	3,0
	7	Repentigny-Varennnes (centre)	36	2,0	2,0	3,0	5,0	9,0	3,0
	8	Repentigny-Varennnes (rive nord)	36	1,0	2,0	6,0	9,0	11,0	6,0
	9 *	Contrecoeur, amont marina	63	1,0	3,0	9,0	34,0	75,0	13,0
	10 *	Lavaltrie, entre îles Hervieux et Mousseau	71	1,0	4,0	14,0	43,0	110,0	20,0
	11	Tracy, ligne Hydro-Québec (rive sud)	36	2,0	3,0	5,0	6,0	9,0	5,0
	12	Tracy, ligne Hydro-Québec (centre)	36	3,0	3,0	5,0	7,0	8,0	5,0
	13	Tracy, ligne Hydro-Québec (rive nord)	36	3,0	4,0	9,0	14,0	17,0	9,0
	14 *	Sorel	70	1,0	2,0	6,0	28,0	53,0	11,0
Estuaire fluvial	15	Trois-Rivières, pont Laviolette (rive sud)	36	3,0	5,0	7,0	17,0	56,0	10,0
	16	Trois-Rivières, pont Laviolette (centre)	36	4,0	5,0	7,0	18,0	23,0	9,0
	17	Trois-Rivières, pont Laviolette (rive nord)	36	5,0	6,0	9,0	19,0	32,0	11,0
	18	Port de Bécancour (rive sud)	36	3,0	4,0	6,0	16,0	34,0	9,0
	19	Port de Bécancour (au centre, bouée 23)	36	4,0	5,0	8,0	14,0	37,0	10,0
	20	Port de Bécancour (rive nord)	36	4,0	6,0	11,0	21,0	74,0	13,0
	21	Neuville-St Antoine de Tilly (rive sud)	35	3,0	5,0	8,0	21,0	32,0	11,0
	22	Neuville-St Antoine de Tilly (centre)	35	5,0	6,0	10,0	19,0	40,0	12,0
	23	Neuville-St Antoine de Tilly (rive nord)	35	6,0	8,0	12,0	21,0	39,0	14,0
	24 *	Anse du Cap-Rouge, 150m de la rive	69	1,0	2,0	7,0	26,0	43,0	10,0
	25	Cap-Rouge, en face (rive sud)	36	5,0	7,0	10,0	22,0	34,0	12,0
	26	Cap-Rouge, en face (centre)	36	6,0	8,0	12,0	21,0	52,0	14,0
	27	Cap-Rouge, en face (rive nord)	36	3,0	6,0	10,0	23,0	27,0	12,0
	28 *	Anse aux sauvages, Lauzon, 300m de la rive	63	1,0	2,0	10,0	29,0	57,0	13,0
	29	Ile d'Orléans, chenal sud (rive sud)	35	6,0	7,0	11,0	19,0	43,0	13,0
	30	Ile d'Orléans, chenal sud (centre)	35	6,0	8,0	12,0	20,0	44,0	14,0
	31	Ile d'Orléans, chenal sud (rive nord)	35	7,0	8,0	12,0	19,0	53,0	14,0
ZTM	32	Saint-Jean-Port-Joli	3	32,0				220,0	81,0
	33	Baie Saint-Paul	3	19,0				38,0	29,0
Estuaire moyen	34	Kamouraska	3	6,0				11,0	8,4
	35	Port-au-Persil	3	4,0				12,0	8,0
Estuaire maritime	36	Forestville	3	6,0				14,0	10,0
	37	Sainte-Luce-sur-Mer	3	6,0				16,0	10,0
Golfe	38	Capucins	3	4,0				12,0	7,0
	39	Rivière-au-Tonnerre	3	4,0				27,0	9,0
	40	Rivière-la-Madeleine	3	3,0				11,0	6,0
	41	Cap-d'Espoir	3	4,0				12,0	8,0
	42	Paspébiac	3	3,0				11,0	8,0
	43	Maria	3	3,0				10,0	6,0

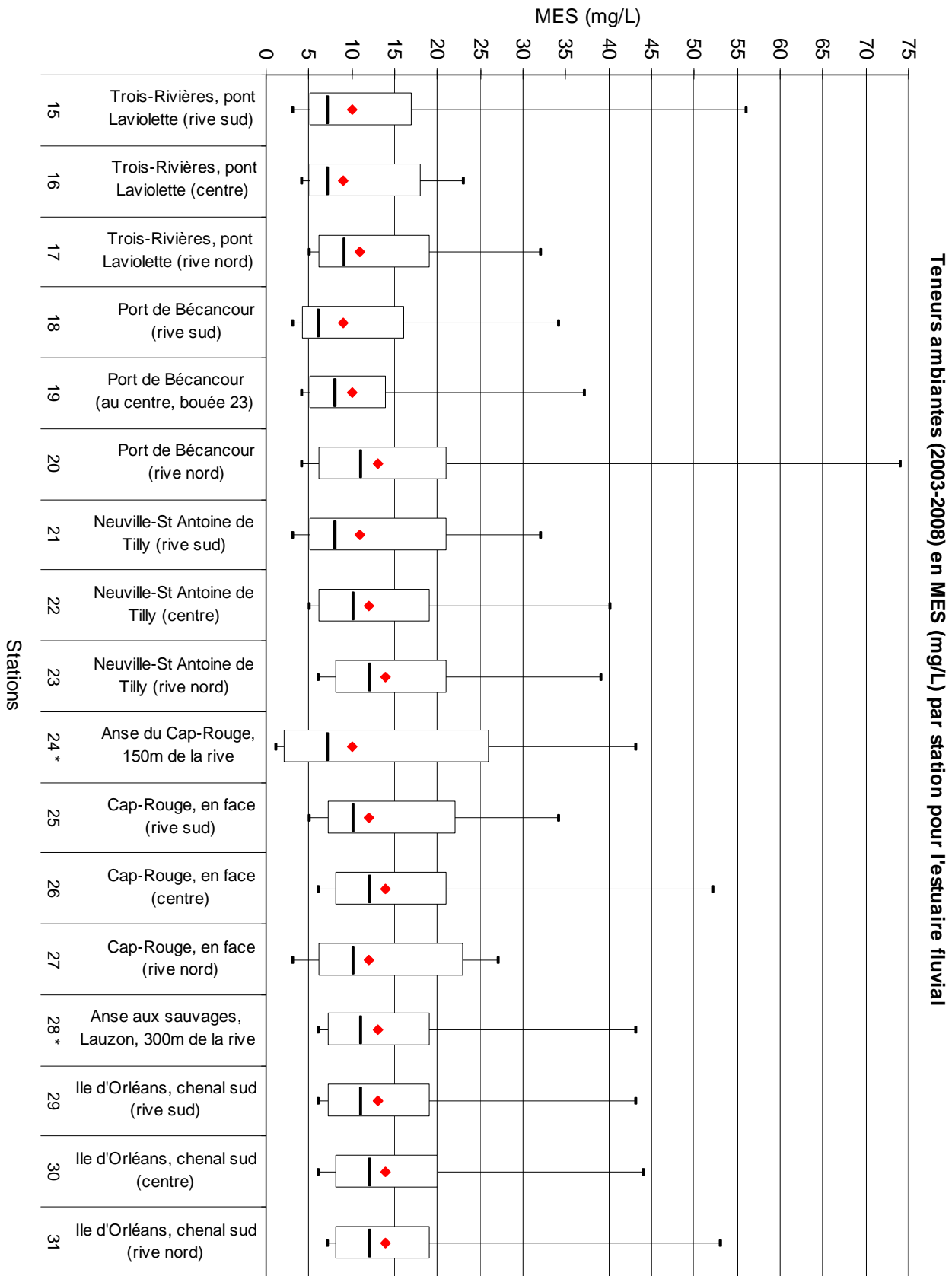
* Stations principales : échantillonnage une fois par mois de janvier 2003 à décembre 2008

Stations 1 à 31 sauf * : stations secondaires : échantillonnage une fois par mois de mai à octobre 2003 à 2008

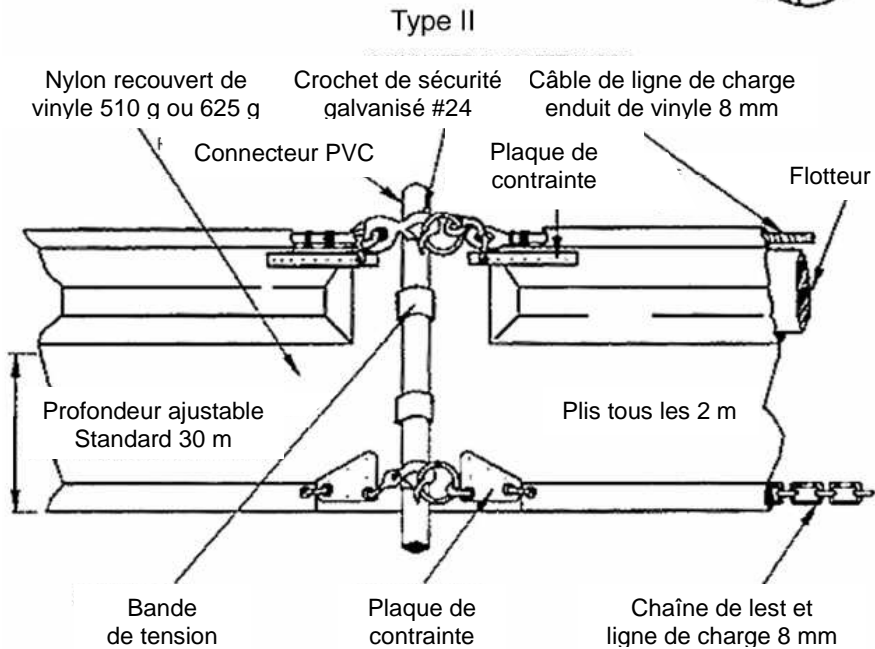
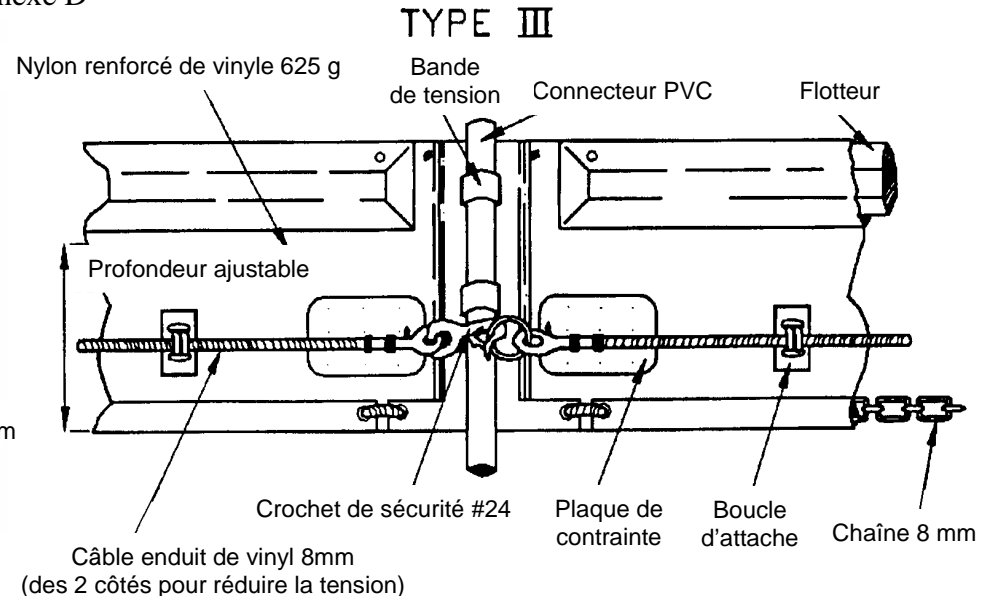
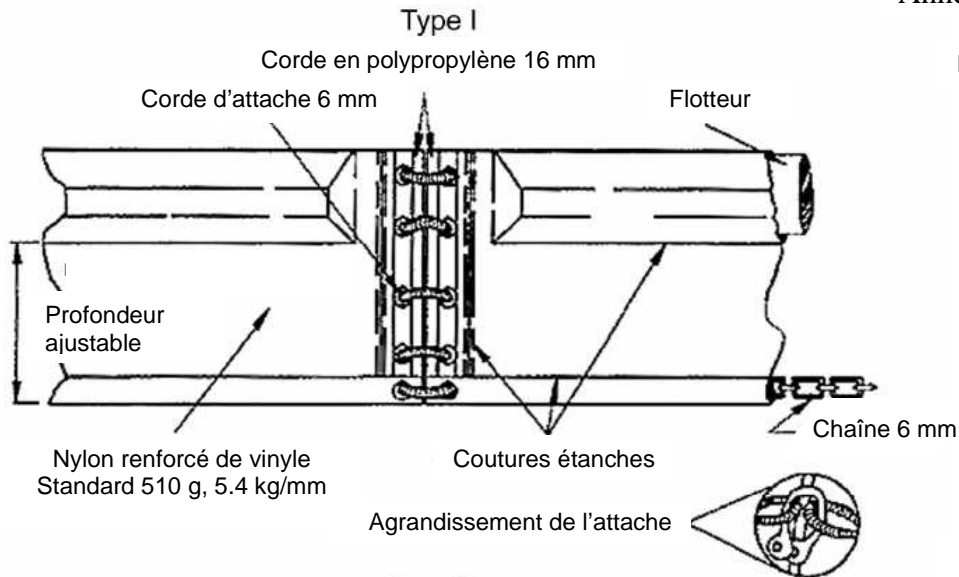
Stations 32 à 43 : échantillonnage une fois par an en juillet 2003, 2004 et 2005



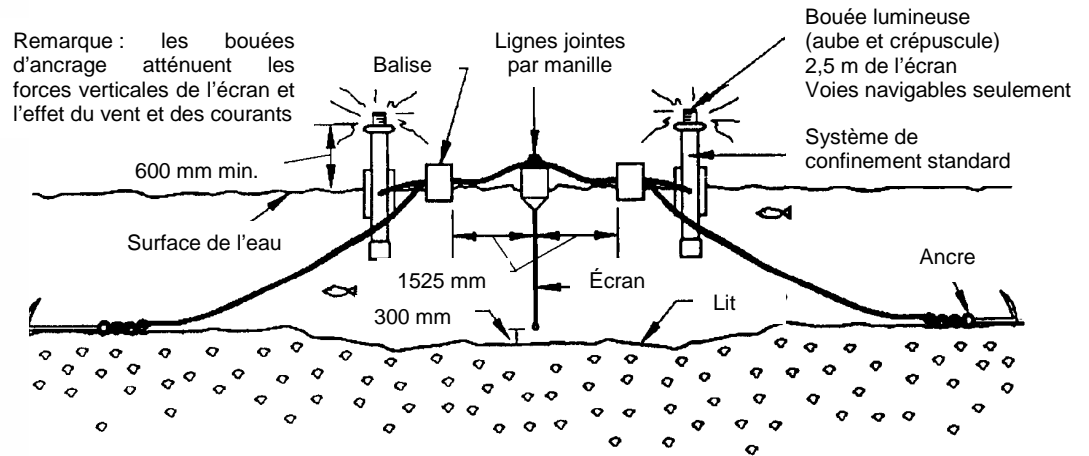
Annexe B
Recommandations pour la gestion des MES lors des activités de dragage



Annexe D



TYPE III – INSTALLATION EN SITUATION DE MARÉE



Écrans protecteurs de type I, II et III (tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 et USACE, 1997)

Document de travail



Environnement
Canada

Environment
Canada

***Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques***

Québec 