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 et Changement climatique Canada

Décembre 2016

www.planstlaurent.qc.ca

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 et Changement climatique Canada, 2016. *Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) lors des activités de dragage*. Québec. 64 pages et annexes.

Photo de la couverture : © Thinkstockphotos

Publié avec l'autorisation de la ministre de l'Environnement et du Changement climatique
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016

Publié avec l'autorisation du ministre du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec
© Gouvernement du Québec, 2016

N^{o} de cat. : En84-142/2016F-PDF
ISBN : 978-0-660-06669-1 (PDF)

Also available in English under the title: *Recommendations for the Management of Suspended Solids (SS) During Dredging Activities.*

Équipe de réalisation

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte contre les Changements climatiques

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

Environnement et Changement climatique Canada

- **Julien Gravière**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Serge Lepage**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Simon Blais**, Direction des activités de protection de l'environnement
- **François 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*
- **Emmanuelle Vallières-Léveillé**, étudiante à la maîtrise en environnement, *Université de Sherbrooke*
- **Serge Hébert**, Direction générale 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 générale du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Remerciements

L'équipe de travail désire remercier les personnes suivantes :

- Du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Mario Bérubé, Danielle Pelletier et Sylvie Legendre (Direction générale du suivi de l'état de l'environnement) pour les données sur les teneurs ambiantes en MES extraites de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique, Lise Richard et France Gauthier (Direction générale du suivi de l'état de l'environnement) pour la cartographie, Martine Gélineau (Direction générale du suivi de l'état de l'environnement) pour sa participation 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 (Services publics et Approvisionnement Canada) 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, GENIVAR et WSP Canada Inc.) pour l'information 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 les personnes et les organismes suivants qui ont fait part de leurs commentaires lors de l'exercice de consultation auprès des intervenants en dragage:

Carole Gosselin, CIMA+
Marie-Chantale Sauvageau, CJB Environnement inc.
Sylvie Coté, Dessau inc.
Réseau Environnement
Jacqueline Roy, Roche ltée Groupe-Conseil
Yves Richard, SNC-Lavalin
Patrick Charbonneau, WSP Canada inc.
Jean-François Bergeron, Société des traversiers du Québec
Nicole Perron, Pêches et Océans Canada – Garde Côtière
Martin Petit, Transports Canada – Affaires environnementales
Yves Paradis, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs – Secteur Faune
Simon Magnan, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Direction des Politiques de l'eau
Annie Bélanger, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Direction générale de l'évaluation environnementale et stratégique

Suzie Thibodeau, Environnement et Changement climatique Canada – Direction des activités de protection de l'environnement
François Hazel, Pêches et Océans Canada – Direction régionale de la gestion des écosystèmes

L'équipe de travail tient également à remercier toutes les autres 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 et Changement climatique Canada (ECCC) avec le soutien du Comité de concertation Navigation. Elle s'inscrit parmi les outils de gestion des activités de dragage que conçoivent ensemble ECCC 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) a reçu le mandat d'élaborer une approche de gestion intégrée du dragage pour 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 nuisait aux populations d'esturgeon noir (Nellis *et al.*, 2007; Hatin, Lachance et Fournier, 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 des individus dans ce secteur de l'estuaire. Ces effets 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 à l'habitat 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 comités ayant succédé au GTGIDS, soit le Comité de concertation de la recherche sur le dragage, s'est vu confier le mandat de mettre au point le cadre scientifique permettant d'établir les balises de gestion des MES associées aux activités de dragage.

Ainsi, le présent document décrit 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. S'adressant aux gestionnaires et maîtres d'œuvre des projets de dragage, il vise à leur procurer des balises en matière de gestion des MES. Étant donné le nombre important de dragages effectués dans le fleuve, le présent document traite principalement du Saint-Laurent et fait état des teneurs en MES qui y ont été observées. Les orientations décrites 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 réduire au minimum 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).

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, qui s'étend sur une distance de plus de 3200 km, permet aux navires de haute mer de se rendre de l'océan Atlantique aux Grands Lacs. Pour garantir des conditions de navigation sécuritaires, un total d'environ 450 000 m^3 de sédiments sont dragués chaque année 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 le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques permettent de protéger la vie aquatique contre les effets néfastes des MES. Ces critères de qualité sont utilisés notamment pour limiter les concentrations de MES des effluents d'eaux usées qui sont rejetés dans l'environnement. Des critères de gestion des MES propres aux activités de dragage sont maintenant définis. Ils tiennent compte des teneurs ambiantes en MES observées dans le Saint-Laurent et des concentrations de 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 de MES mesurées à 100 m 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 m 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 de MES mesurées à 100 m 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 m 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 de MES est mesurée pour la période de dragage quotidienne ou pour 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

The St. Lawrence River is a complex ecosystem whose properties change from its headwaters to its outlet. Opened in 1959, the St. Lawrence Seaway allows ocean-going vessels to travel from the Atlantic Ocean to the Great Lakes, a distance of more than 3200 km. To ensure safe navigation conditions, roughly 450 000 m^3 of sediment are dredged annually in the St. Lawrence. One of the major concerns associated with dredging is the temporary increase in suspended solid (SS) concentrations, which can pose a threat to aquatic life.

The surface water quality criteria adopted by the MDDELCC help protect aquatic life from the harmful effects of suspended solids. These quality criteria are used, in particular, to limit SS concentrations in wastewater effluents discharged into the environment. SS management criteria specific to dredging activities have now been identified, taking into account ambient SS concentrations observed in the St. Lawrence and SS concentrations measured in dredging situations.

In clear waters (where ambient SS concentrations are generally below 25 mg/L), average SS concentrations measured 100 m from the dredge and point of discharge should not increase by more than 25 mg/L compared with ambient concentrations. At 300 m from the dredge and point of discharge, the increase should not be more than 5 mg/L compared with ambient concentrations. In turbid waters (where ambient SS concentrations are generally greater than 25 mg/L), the average SS concentrations measured 100 m from the dredge and discharge point should not increase by more than 100% compared with ambient concentrations, while at 300 m from the dredge and discharge point, they should not increase by more than 25 mg/L compared with ambient concentrations. The average SS concentration is measured over the daily dredging period or, if dredging is continuous, over a period of 6 consecutive hours. These management criteria are complemented by a series of targets associated with the protection of sensitive areas and aquatic species, as well as industrial, commercial and recreational uses.

Table des matières

Équipe de réalisation ..... **i**

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la lutte contre les Changements climatiques i

Environnement et Changement climatique Canada i

Collaboration i

Révision scientifique i

Remerciements ..... **ii**

Avant-propos ..... **iv**

Résumé ..... **vi**

Abstract ..... **vii**

Liste des figures et des tableaux ..... **x**

Abréviations et sigles ..... **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 7

1.2.1 Le modèle de Newcombe et Jensen (1996) 8

1.2.2 La démarche du ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique (Caux, Moore et MacDonald, 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 16

2.2.1 Répartition spatiale des teneurs en MES 18

2.2.2 Variations saisonnières des teneurs en MES 19

3. Les MES associées aux activités de dragage **24**

3.1 Contexte des projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent 24

3.2 Analyse des projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent : étude de cas 25

3.3 Concentrations de MES observées lors des travaux de dragage 29

4. Les balises de gestion des MES propres au dragage et leur application **35**

4.1 La prise en compte des facteurs influant sur le comportement des MES lors du dragage 35

4.2 Les critères de gestion des MES adaptés au dragage 36

4.3 La surveillance des MES lors des travaux de dragage 37

4.3.1 La turbidité comme indicateur des teneurs en MES 38

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) 45

4.3.3 Le suivi de la turbidité *in situ*, aux stations témoins (teneurs ambiantes) et aux stations exposées (teneurs générées par le dragage) 46

4.3.4 L'arrêt des travaux de dragage 47

4.4 Les autres balises de gestion 48

5. Les mesures d'atténuation 50

5.1 Les bonnes pratiques de dragage 50

5.2 Les écrans protecteurs 53

Conclusion 54

Ouvrages consultés 55

Annexe A 65

Annexe B 66

Annexe C 67

Annexe D 68

Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts (tiré de CSL, 1997) 14

Figure 2 : Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'île d'Orléans (adapté d'EC, 2012c) 15

Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage (MDDEP, 2010). 17

Figure 4 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010) 18

Figure 5 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) dans le tronçon fluvial (d'après MDDEP, 2010) 22

Figure 6 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) dans l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010) 23

Figure 7 : Influence de la granulométrie sur la relation entre la turbidité et les MES 39

Figure 8 : Relations entre la turbidité et les MES observées dans divers secteurs de la baie des Sept Îles. a : secteur ouest, zostéraie; b : secteur nord de la baie; c : quai de la minière Wabush, côté est; d : pointe à la Marmite; e : zostéraie, côté sud-ouest; f : quai de la minière Wabush, côté ouest (tiré de Roche ltée, 2000). 42

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 (d'après Newcombe et MacDonald, 1991 et Bilotta et Brazier, 2008) 7

Tableau 3 : Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique relatifs aux MES (et à la turbidité) (MDDEFP, 2013) 8

Tableau 4 : Échelle de gravité des effets néfastes (GEN) des MES pour les poissons (tiré et traduit de Newcombe et Jensen, 1996) 9

Tableau 5 : Données relatives aux modèles log-linéaires de gravité des effets néfastes définis pour six groupes d'organismes aquatiques (tiré et traduit de Newcombe et Jensen, 1996) 10

Tableau 6 : Caractéristiques de l'échantillonnage effectué de 2003 à 2008 (d'après MDDEP, 2010) 16

Tableau 7 : Gestion des MES réalisée lors de certains projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008 27

Tableau 8 : Concentrations de MES mesurées à diverses distances (d) de la drague ..30

Tableau 9 : Concentrations de 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'Isle-aux-Grues de 2006 à 2013 (Procean Environnement inc., 2007b, 2007e; Dessau inc., 2008b, 2010a, 2010b; GENIVAR, 2011, 2012, 2013) 33

Tableau 10 : Concentration de 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) 33

Tableau 11 : Paramètres à considérer lors des opérations de dragage et de rejet en eau libre 35

Tableau 12 : Critères de gestion des MES liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre 37

Tableau 13 : Principaux facteurs influant sur la valeur de la turbidité mesurée *in situ* ...39

Tableau 14 : Exemples de variabilité temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR en % de lumière diffusée) et la concentration de MES (mg/L), pour un même site (tiré et traduit de Minella *et al.*, 2008) 40

Tableau 15 : Exemples de variabilité spatiotemporelle des corrélations entre la turbidité (TUR) et la concentration de MES (tiré et traduit de Chanson, Takeuchi et Trevethan, 2008).....41

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; USEPA, 2010).....52

Abréviations et sigles

BQMA	Banque de données sur la qualité du milieu aquatique
CCRD	Comité de concertation de la recherche sur le dragage
CEO	Concentration d'effets occasionnels
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
GEN	Gravité des effets néfastes
GTGIDS	Groupe de travail sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments
LP	*Loi sur les pêches*
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MES	Matières en suspension
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MPO	Ministère des Pêches et des Océans (Pêches et Océans Canada)
OBS	*Optical backscatter sensor*
SS	*Suspended solid*
TUR	Turbidité
UTN	Unité de turbidité néphélométrique
ZTM	Zone de turbidité maximale

Introduction

Au dévonien, il y a 350 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 de cela 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 7000 ans (CSL, 1997).

Le système hydrographique du Saint-Laurent, Grands Lacs compris, figure parmi les plus importants au monde. Sa superficie de 1,6 million de kilomètres carrés 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 influe sur 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 celles des 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 détroit 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, il est nécessaire de draguer le chenal de navigation, les zones portuaires et les marinas régulièrement. Les travaux d'entretien, qui consistent à enlever la couche de sédiments nouvellement accumulés pour contrer la tendance naturelle du cours d'eau à rétablir son profil original, font souvent l'objet d'une planification annuelle, quinquennale ou décennale (CSL, 1997). Environ 450 000 m^{3} 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 à chaque projet de dragage atteint plus de 24 000 m^{3}. 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 dragage[1] ne sont pas sans conséquence sur la vie aquatique. L'une des principales préoccupations à cet égard concerne

[1] Dans le présent document, le terme « activités de dragage » fait généralement référence à la fois aux activités réalisées au site de dragage et au site de rejet des sédiments dragués.

l'augmentation temporaire des teneurs en matières en suspension (MES) causée par les travaux de dragage. En concentrations élevées ou lors d'une exposition prolongée, les MES peuvent avoir des effets néfastes sur les espèces les plus sensibles. La gravité de ces effets pour les organismes aquatiques – qui vont de simples changements comportementaux jusqu'à la mort, en passant par des modifications physiologiques – varie en fonction de la concentration de MES et de la durée d'exposition (Bilotta et Brazier, 2008; Wilber et Clarke, 2001).

Afin de protéger la vie aquatique contre les effets aigus et chroniques des MES, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a adopté les *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux* (MDDEFP, 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 propres aux activités de dragage, afin de s'assurer que les meilleures pratiques sont 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.

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 se trouvent dans les cours d'eau en concentration plus ou moins élevée 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 de MES. Si elles perdurent, ces concentrations élevées peuvent représenter une menace pour la vie aquatique car, en plus d'avoir des effets directs sur le milieu physique et sur les organismes, elles se traduisent également par des effets indirects qui touchent diverses composantes de la vie aquatique (tableau 1).

L'augmentation des MES dans l'eau provoque généralement une augmentation de sa turbidité. 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 diamètre variable. 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 ces effets liés à la turbidité, l'augmentation des MES induit des effets directs sur les organismes aquatiques, notamment 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. Elles 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, Lachance et Fournier, 2007; McQuinn et Nellis, 2007). Il est reconnu que la famille des salmonidés, qui compte les espèces les plus prisées pour la pêche récréative, est particulièrement atteinte par la dégradation des habitats que causent 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,* depuis 2007. Le chevalier cuivré possède également, depuis 1999,

le 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 cuivré, il semble qu'il puisse être sensible à ces perturbations. Reproducteur lithophile et benthophage spécialisé, il présente des caractéristiques similaires à celles d'autres espèces dont la sensibilité à l'envasement et à l'accroissement de la turbidité est connue (Vachon, 2003).

Tableau 1 : Résumé des principaux effets des MES sur le milieu aquatique*

	Effets directs	Répercussions sur la vie aquatique
Augmentation des MES dans la colonne d'eau	*Altération des propriétés physiques de l'eau*	
	• 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	• Inhibition de la photosynthèse, diminution de la production primaire et de la libération d'oxygène dissous; impact sur toute la chaîne trophique
	Abrasion par les particules	
	• Endommagement des organes photosynthétiques et du périphyton • Blessures externes, infections (notamment fongiques) des invertébrés et des poissons • Endommagement 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	• 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	*Recouvrement et colmatage*	
	• Recouvrement des habitats aquatiques, particulièrement les frayères, par une couche de sédiments et étouffement des œufs par diminution des échanges métaboliques essentiels (apport d'oxygène et de nutriments, évacuation des déchets métaboliques) • Diminution de la concentration d'oxygène dissous au sein du substrat • Étouffement des organismes benthiques à mobilité réduite	• Réduction de l'installation de nouveaux organismes benthiques • Modification de l'abondance et de la diversité des espèces, répercussions sur les réseaux trophiques
	Perturbation physique du lit des cours d'eau	
	• Modification de la composition du substrat du lit • Réduction de la perméabilité et de la stabilité du lit • Réduction des microhabitats	• Diminution du taux de survie des poissons au moment du passage de l'œuf à l'alevin

* 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 pour les organismes aquatiques et participer aux phénomènes de bioaccumulation et de bioamplification dans la chaîne trophique.

Facteurs agissant sur 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 physicochimiques du milieu, la vulnérabilité des espèces présentes ainsi que la concentration de 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 floculer, conditionnent, avec les variantes du milieu, la vitesse de sédimentation. Ainsi, les particules d'argile et de limon, d'un 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 physicochimiques du milieu

Les conditions hydrodynamiques et physicochimiques du milieu influent à la fois sur 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 modifier 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 sédimenteront 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 gravité des effets varie selon les espèces présentes dans le milieu et les 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 de 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 caractérisés par une charge importante de MES, les taxons dominants comme les éphéméroptères, 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 sentir 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 de 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 est susceptible de subir une diminution importante si l'augmentation des MES survient à la période d'incubation, entraînant une hausse du taux de mortalité des œufs. Bien que les salmonidés soient considérés comme les plus sensibles à ce phénomène, la plupart des espèces de poissons le sont aussi. Le même phénomène est observable chez les invertébrés aquatiques, les premiers stades de vie étant plus durement touchés par le dépôt des sédiments que le stade adulte (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 de MES dans le milieu et de la durée de l'exposition à laquelle sont soumis les organismes. En général, plus la concentration de MES ou la durée d'exposition augmentent, plus la probabilité de génération d'effets néfastes est élevée. La durée d'exposition détermine s'il est possible que les effets encourus soient 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 de 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; Wilber et Clarke, 2001). Le tableau 2 présente des exemples de données montrant l'ampleur des effets observés à diverses concentrations de 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 (*Thymallus arcticus*)	25	24 h	Taux de mortalité des alevins vésiculés de 6 %	Reynolds *et al.*, 1988 [1 et 2]
	65	24 h	Taux de mortalité des alevins vésiculés de 15 %	Reynolds *et al.*, 1988 [1 et 2]
	100	1008 h (42 j)	Réduction du taux de croissance de 6 %	McLeay *et al.*, 1984 [1]
Truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)	66	1 h	Comportement d'évitement	Lawrence et Scherer, 1974 [1]
	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 *et al.*, 1977 [1]
	57	1440 h (60 j)	Réduction du taux d'éclosion de 23 %	Slaney *et al.*, 1977 [1]
	171	96 h (4 j)	Lésions histologiques	Goldes, 1983 [1]
Truite brune (*Salmo trutta*)	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 physicochimiques des particules, température et salinité de l'eau, etc.) et sont par conséquent variables.
[b] Les références complètes des études sont disponibles dans Newcombe et MacDonald, 1991 (1) et Bilotta et Brazier, 2008 (2).

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 (MDDEFP, 2013). Ces critères de qualité servent notamment à établir, en fonction de la sensibilité du milieu, des objectifs de rejet pour les effluents d'eaux usées, cela 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 influe sur 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 de MES sont basses (ex. : < 25 mg/L) ou relativement élevées (ex. : > 25 mg/L). La valeur de transition recommandée (25 mg/L) a été choisie suivant un examen des hydrogrammes de plusieurs cours d'eau de la Colombie-Britannique qui visait à fournir à cette province une définition opérationnelle de la période d'eau limpide (Caux, Moore et MacDonald, 1997).

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

	Effet aigu	Effet chronique
En eau limpide	• Augmentation maximale de **25 mg/L (8 UTN)** par rapport à la concentration naturelle [a] ou ambiante [b] selon le contexte	• 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		• 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) à un moment donné

[a] La concentration naturelle correspond aux teneurs en MES qui ont cours dans un milieu non (ou peu) touché 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 ont cours 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, 2002), elles-mêmes basées en majeure partie sur les critères de qualité de l'eau relatifs à la turbidité et aux sédiments en suspension mis au point par Caux, Moore et MacDonald (1997) pour le ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique. Pour définir ces critères de qualité, Caux, Moore et MacDonald ont utilisé l'approche de la gravité des effets néfastes (GEN) élaborée par Newcombe et Jensen (1996) et basée sur le concept selon lequel 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 de MES durant des périodes de temps variables. L'analyse statistique de ces données a permis de concevoir cette équation empirique reliant la réponse biologique des organismes à la concentration de MES et à la durée d'exposition :

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

où
- z : gravité des effets néfastes (GEN)
- x : durée d'exposition (h)
- y : concentration de 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 15 échelons (tableau 4, voir aussi Newcombe, 1994) regroupés en 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 pour 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 ou 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 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 modèles log-linéaires de gravité des effets néfastes définis pour six groupes d'organismes aquatiques (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 *(a)*	1,0642	1,6814	0,7262	3,7466	3,4969	4,0815
Pente de $\log_e x$ *(b)*	0,6068	0,4769	0,7034	1,0946	1,9647	0,7126
Pente de $\log_e y$ *(c)*	0,7384	0,7565	0,7144	0,3117	0,2669	0,2829
Statistiques						
Coefficient de détermination (r^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.

Newcombe (1997) étend le modèle de base aux invertébrés et à la flore aquatiques. 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 de 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, Moore et MacDonald, 1997)

La démarche mise au point par Caux, Moore et MacDonald (1997) pour établir des critères de qualité de l'eau de surface pour la Colombie-Britanique consiste à déterminer la valeur de l'augmentation de la concentration de 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 de 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, Moore et MacDonald (1997) ont réalisé des tests d'ajustement (à savoir le test G, option de remplacement du test du chi^2) sur les modèles linéaires en 3D

déjà établis par Newcombe et Jensen (1996) et sur de nouveaux modèles sigmoïdes en 3D, pour huit groupes d'organismes aquatiques[2] (Newcombe, 1997). Les variables entrant dans ces modèles sont les suivantes : log concentration, log durée d'exposition et indice GEN. Les analyses effectuées par Caux, Moore et Macdonald les ont conduits 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 11 durées d'exposition différentes, les auteurs ont mis en évidence que la plus forte pente de la relation concentration-réponse est obtenue à 24 heures et à 48 heures d'exposition pour le groupe 2, soit pour les salmonidés adultes d'eau douce. Le groupe 2 est donc jugé le plus sensible aux variations de concentration de MES pour une durée donnée (pour plus de détails sur la démarche analytique, consulter Caux, Moore et MacDonald, 1997).

En utilisant les données obtenues avec le groupe des salmonidés adultes d'eau douce pour une exposition de 24 heures, Caux, Moore et MacDonald 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 donc celle du critère de qualité en MES pour une exposition de courte durée. Quant au critère de qualité d'une exposition de longue durée, il 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, Moore et MacDonald, 1997).

Outre les critères de qualité pour les matières en suspension, ces résultats ont servi à déterminer les critères de qualité pour la turbidité. Ceux-ci sont obtenus par l'application d'un facteur de 1/3 aux critères de qualité des MES. La valeur du ratio turbidité/MES (1/3) découle de l'étude de 573 paires de données MES-turbidité relatives aux cours d'eau de la région de Kootenay, en Colombie-Britanique (Caux, Moore et MacDonald, 1997).

[2] Outre les six groupes d'organismes aquatiques présentés au tableau 5, les modèles intègrent les groupes « invertébrés aquatiques » et « invertébrés aquatiques + flore aquatique » définis par Newcombe en 1997.

2. Les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent

L'objectif poursuivi dans 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 1600 km avant de joindre 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 ; http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=59C4915D). 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'eau douce 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'eau douce 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'eau saumâtre. Ce 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 la zone de turbidité maximale (ZTM), les teneurs en MES chutent rapidement.

- *L'estuaire maritime*, de Tadoussac à Pointe-des-Monts : secteur d'eau salée 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 m 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.

- *Le golfe*, à partir de Pointe-des-Monts : secteur d'eau salée 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 m 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, notamment 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 physicochimiques 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 physicochimiques 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.

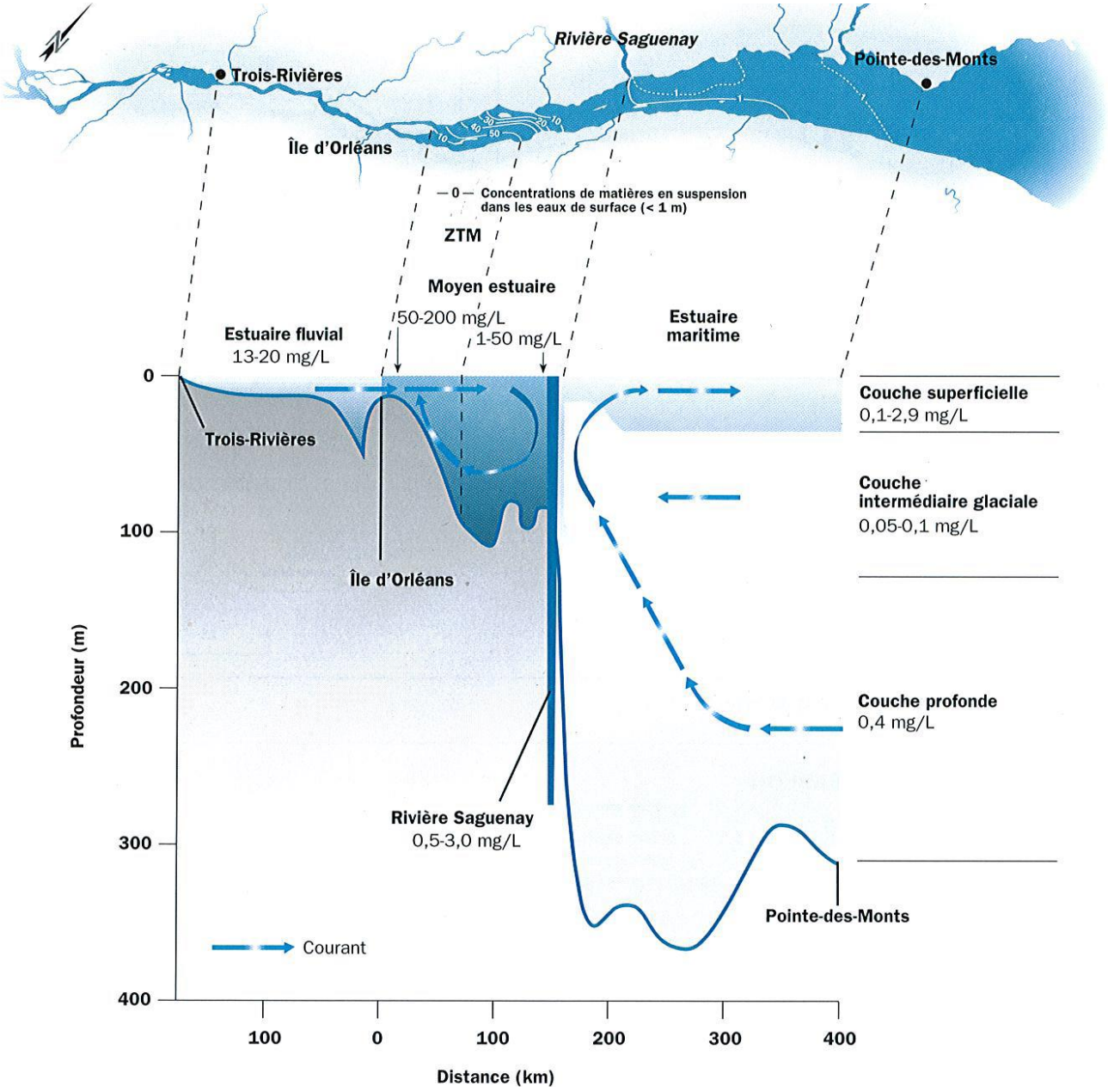


Figure 1 : Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts (tiré de CSL, 1997).

Il est à noter que cette figure représente une vue schématisée et simplifiée de la bathymétrie du secteur ciblé, pour expliquer le propos.

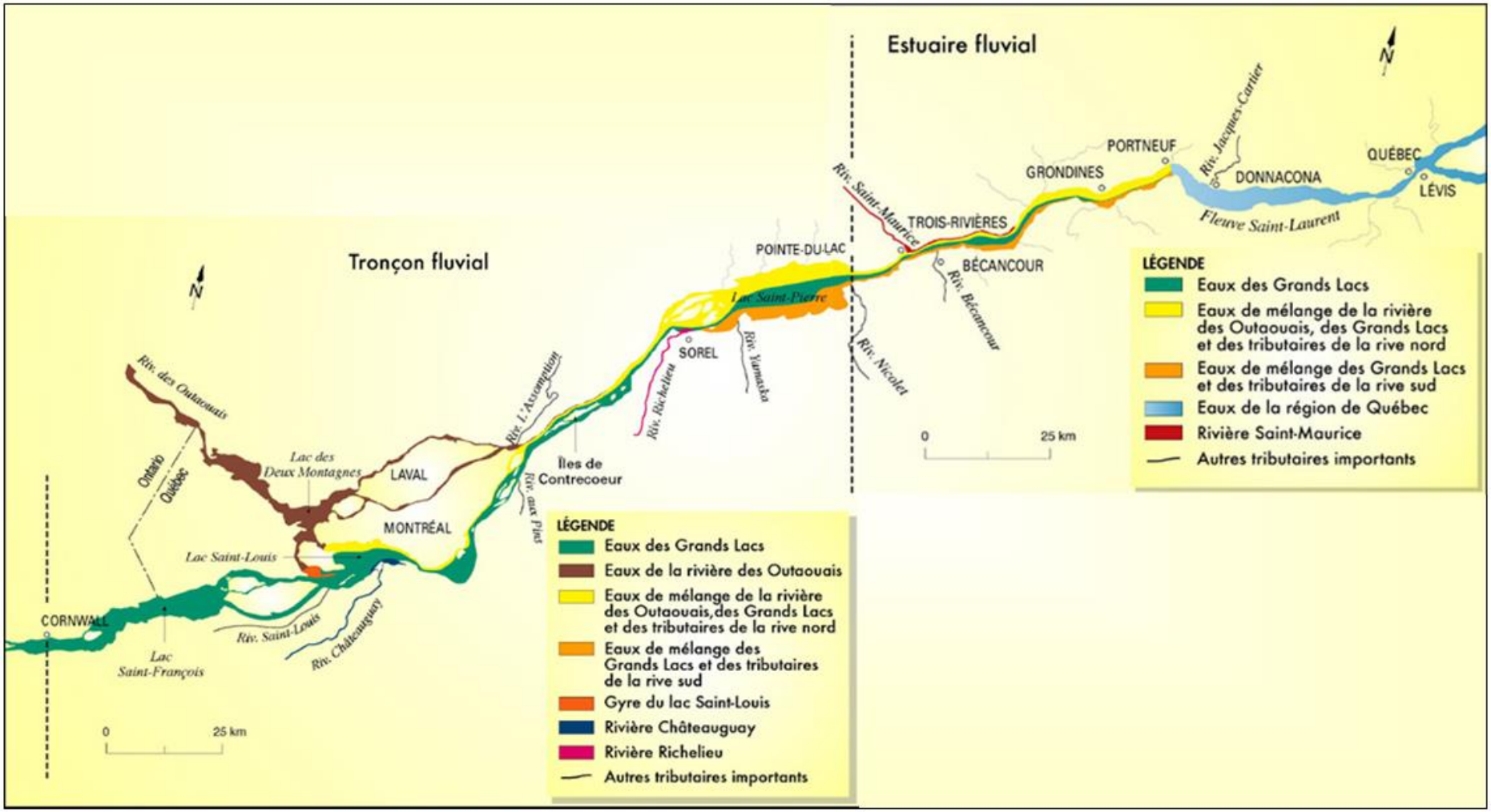


Figure 2 : Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'île d'Orléans (adapté d'EC, 2012c).

Il est 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.

2.2 Les teneurs ambiantes en MES

L'eau qui circule dans le Saint-Laurent présente des concentrations de 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 (Annexe A), et compilées dans la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (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, figure 3).

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	Janv. 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	Janv. 2003 à déc. 2008
	15 secondaires	15 à 31 sauf 24 et 28	534		Mai à oct. 2003 à 2008
ZTM (Moyen estuaire)	2	32 et 33	30	Annuelle	Juillet 2003, 2004 et 2005 (échantillons en rive)
île aux Coudres – Tadoussac (Moyen estuaire)	2	34 et 35	30		
Estuaire maritime	2	36 et 37	30		
Golfe	6	38 à 43	89		

* Les stations suivies d'un astérisque sont des stations principales identifiées par un rectangle jaune sur la figure 3.

Remarque : Dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial, les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 1 ou 2 m sous la surface. Dans le moyen estuaire, l'estuaire maritime et le golfe, les échantillons ont été prélevés à une profondeur de 2 ou 4 m sous la surface.

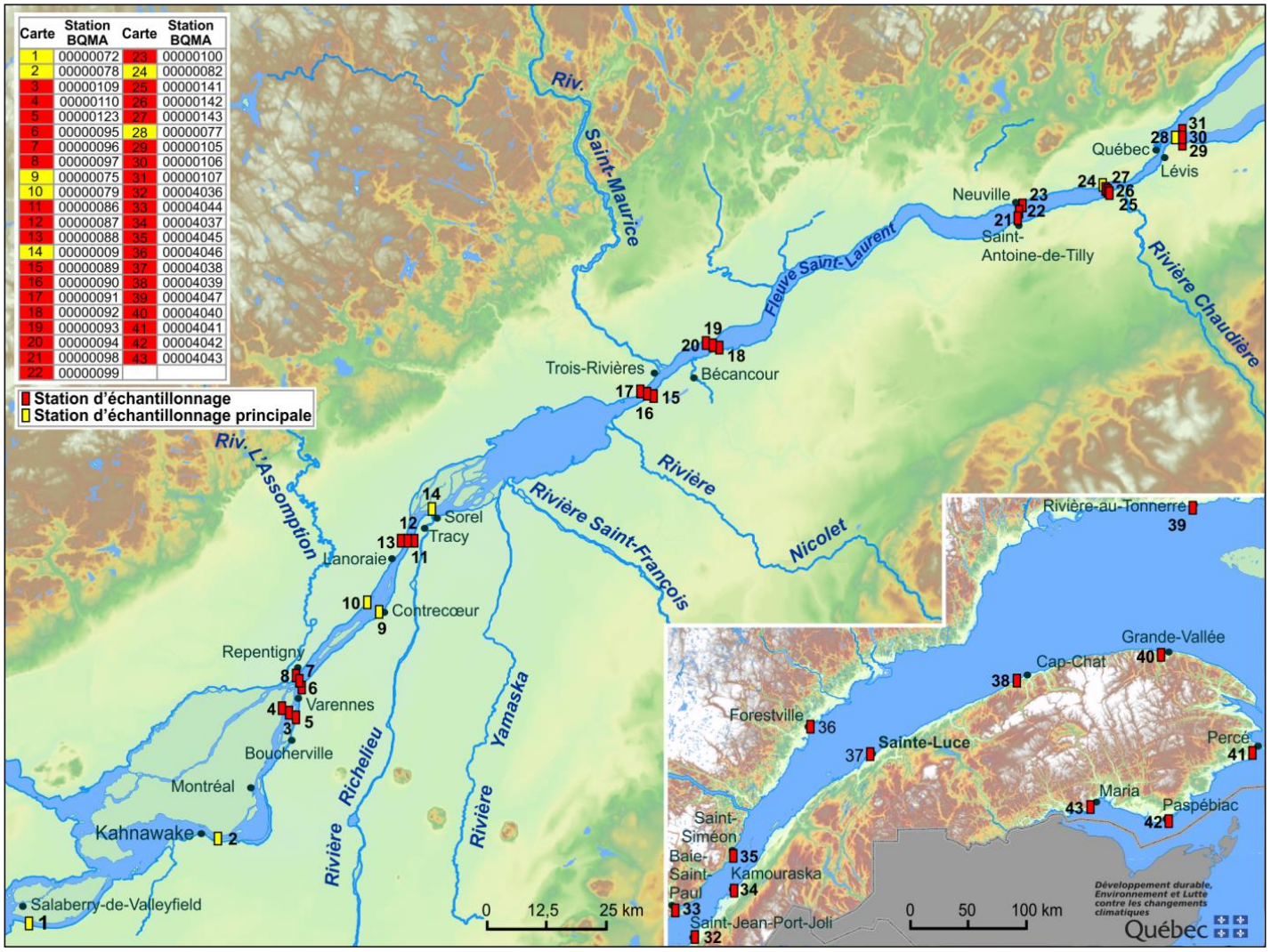


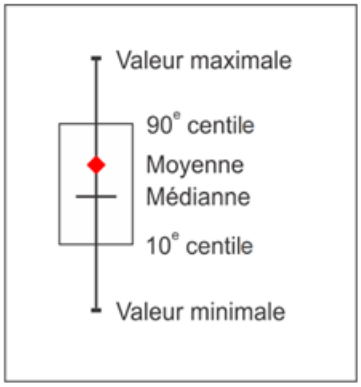
Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage (MDDEP, 2010).

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 de 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 occasionnellement atteindre des valeurs relativement élevées (annexes A à C).



Légende des figures 4, 5 et 6

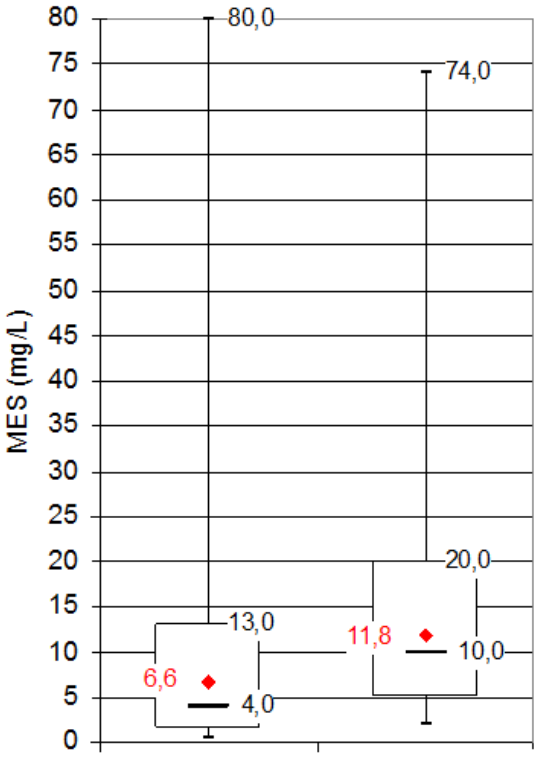


Figure 4 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010). L'analyse porte sur les données de mai à octobre uniquement (2003 à 2008, stations principales et secondaires confondues) pour le tronçon fluvial (n = 492) et l'estuaire fluvial (n = 598).

Moyen estuaire

En aval de l'île d'Orléans, les données recueillies par la BQMA (annexe A) sont peu nombreuses. Il est toutefois 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 de MES, en particulier près de la rive sud où elles 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 qui en résulte s'étend sur la rive nord de Saint-Joachim à l'île aux Oies environ, puis 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 de MES baisse radicalement pour atteindre environ 5 mg/L à Rivière-du-Loup et 2 mg/L à la hauteur du Saguenay (CSL, 1997). Les données recueillies par la BQMA (MDDEP, 2010) dans ce secteur, aux stations de Port-au-Persil et de Kamouraska, montrent des valeurs de MES variant de 4 à 12 mg/L (annexe A).

Estuaire maritime et golfe

Larouche et Boyer-Villemaire (2010) ont étudié les teneurs en MES dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent lors de cinq campagnes d'échantillonnage effectuées à diverses saisons durant la période débutant à la fin de l'été 1997 et se terminant au printemps 2001. Leurs travaux ont montré que les teneurs en MES des secteurs situés en aval du Saguenay sont généralement inférieures à 3 mg/L. Ces observations confirment que la majeure partie des particules en suspension du moyen estuaire sédimentent à la tête de l'estuaire maritime et ne sont pas transportées vers le golfe. De plus, les teneurs observées dans le golfe, en aval de la gyre d'Anticosti, sont généralement inférieures à 1 mg/L.

Les teneurs observées par le MDDELCC dans l'estuaire maritime et le golfe durant les mois de juillet 2003 à 2005 (annexe A) sont relativement plus élevées que celles rapportées par Larouche et Boyer-Villemaire (2010). En effet, les valeurs médianes enregistrées dans la BQMA (MDDEP, 2010) sont de 10 mg/L pour l'estuaire et de 6 à 8 mg/L pour le golfe. Le principal facteur qui peut expliquer ces différences est probablement la localisation des stations d'échantillonnage, celles-ci étant éloignées des côtes dans le cas de l'étude de Larouche et Boyer-Villemaire alors qu'elles étaient situées à proximité du rivage lors de l'étude du MDDELCC.

2.2.2 Variations saisonnières des teneurs en MES

Tronçon fuvial et estuaire fluvial

Dans la portion fuviale du Saint-Laurent, les crues printanières dues à la fonte des neiges se produisent à deux périodes, comme 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 mètres cubes par seconde à plus de 8000 m^3/s (EC, 2012b). Cette importante crue apporte au fleuve des volumes d'eau importants et une charge sédimentaire élevée.

L'impact des crues printanières dans le Saint-Laurent est limité par la présence d'ouvrages régulateurs tels que le barrage de Carillon, aménagé sur la rivière des

Outaouais à la frontière Québec-Ontario, et plusieurs autres barrages aménagés sur le Saint-Laurent en amont de Beauharnois. Ce système de régularisation permet de retenir ou de laisser passer des volumes d'eau contrôlés, tant au niveau des eaux provenant des Grands Lacs que de celles de l'Outaouais. Au plus fort de la crue printanière, la rivière des Outaouais s'écoule dans la rivière des Prairies, la rivière-des-Milles-Îles et le lac Saint-Louis. Étant donné que les masses d'eau de l'Outaouais et des Grands lacs se mélangent peu avant la sortie du lac Saint-Pierre, leurs teneurs respectives en MES peuvent différer passablement. Ainsi, après la crue printanière des Grands Lacs qui se termine habituellement en mai, il est possible d'observer une baisse des teneurs en MES dans la masse d'eau provenant des Grands Lacs en même temps qu'une augmentation des teneurs en MES dans la masse d'eau de l'Outaouais, car la crue printanière de l'Outaouais n'est toujours pas terminée (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). Les glaces qui se forment durant l'hiver contribuent à l'érosion des rives et au transport des sédiments qu'elles contiennent lorsqu'elles sont entraînées en aval. Ce phénomène est particulièrement notable là où la marée est importante (CSL, 1996). Le dragage peut également contribuer à fragiliser les berges du Saint-Laurent, majoritairement composées de sédiments argileux, car ces derniers s'érodent plus facilement et plus rapidement lorsqu'ils ont été remaniés (Richard, 2010), comme c'est le cas lors des travaux de dragage et de rejet en eau libre. En outre, dans l'estuaire fluvial, d'intenses courants de fond générés par des marées de forte amplitude balaient 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 en MES 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 de MES peuvent atteindre occasionnellement plusieurs dizaines de milligrammes par litre dans le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial, notamment lors des périodes de fonte des neiges et de crue (en avril et novembre).

Moyen estuaire

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. Seules des teneurs estivales ont été rapportées alors que c'est au printemps que les teneurs en MES sont les plus élevées. Troude et Sérodes (1988) ont étudié le rôle des glaces dans l'érosion des estrans du moyen estuaire et ont observé que les sédiments emprisonnés dans la partie supérieure des glaces peuvent être exportés en aval, en quantité

importante, lors de la débâcle. Ainsi, ils ont estimé qu'entre Montmagny et Cap-Tourmente, la charge de surface des glaces exportée annuellement des estrans est d'environ 15 kilogrammes de sédiments par mètre carré de glace, ce qui représente une contribution d'environ 25% à l'érosion totale annuelle de ces estrans.

Estuaire maritime et golfe

Les travaux de Larouche et Boyer-Villemaire (2010) ont montré que les concentrations maximales de MES dans l'estuaire maritime apparaissent généralement en mai, ou parfois en juin, notamment près de la rive nord. Dans l'estuaire maritime, les teneurs en MES observées au printemps varient d'environ 1,5 à 3,0 mg/L, alors que le reste de l'année, elles sont généralement inférieures à 1,5 mg/L.

Dans les secteurs du golfe du Saint-Laurent influencés par le courant de Gaspé ou la gyre d'Anticosti, les teneurs observées en mai (2 à 3 mg/L) sont généralement plus élevées que celles observées le reste de l'année (< 1 mg/L). Plus en aval, à partir du détroit de Jacques-Cartier jusqu'au plateau madelinien, les teneurs en MES sont généralement inférieures à 1 mg/L durant toute l'année (Larouche et Boyer-Villemaire, 2010). Dans ce secteur, les teneurs les plus élevées apparaissent surtout en avril.

Comme indiqué plus haut (section 2.2.1), les teneurs rapportées par la BQMA pour ces secteurs (annexe A; MDDEP, 2010) sont généralement plus élevées que celles observées par Larouche et Boyer-Villemaire (2010), et ce, probablement en raison de la localisation des stations plus près du rivage.

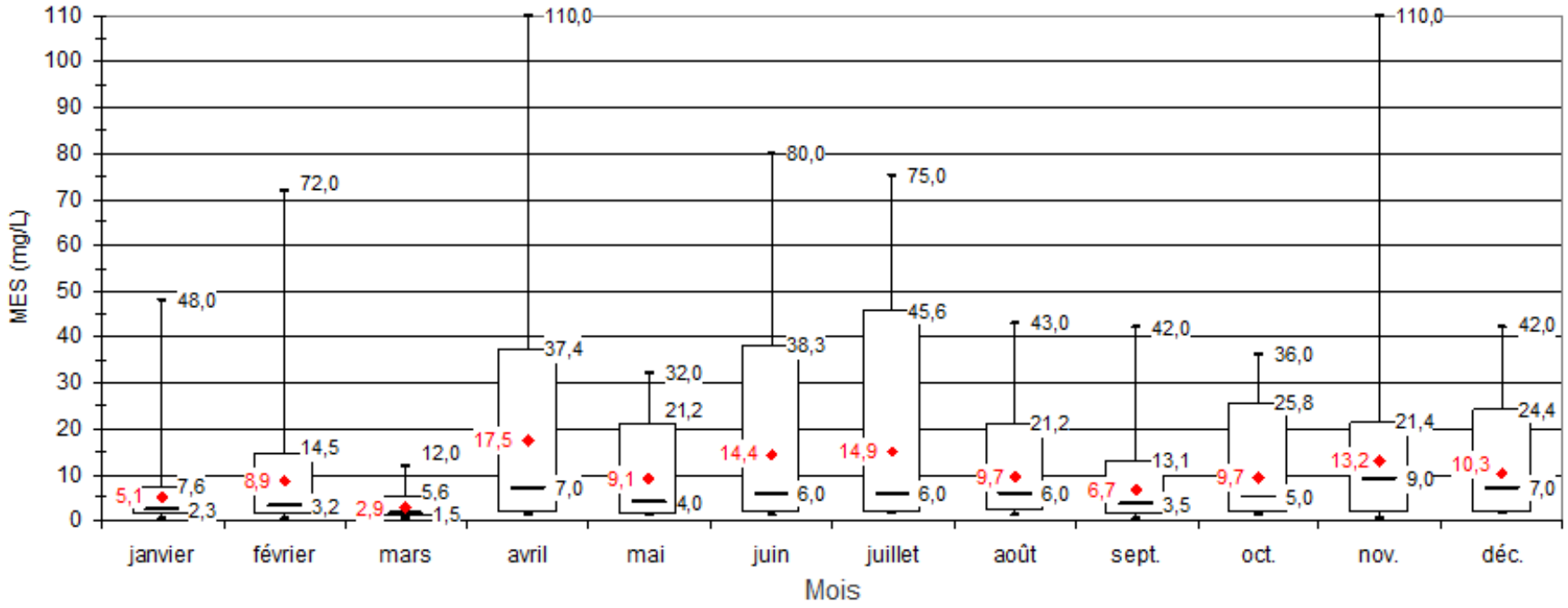


Figure 5 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) dans le tronçon fluvial (d'après MDDEP, 2010). L'analyse porte uniquement sur les données des stations principales, énumérées dans le tableau 6 et identifiées par un rectangle jaune sur la figure 3 (n = 340).

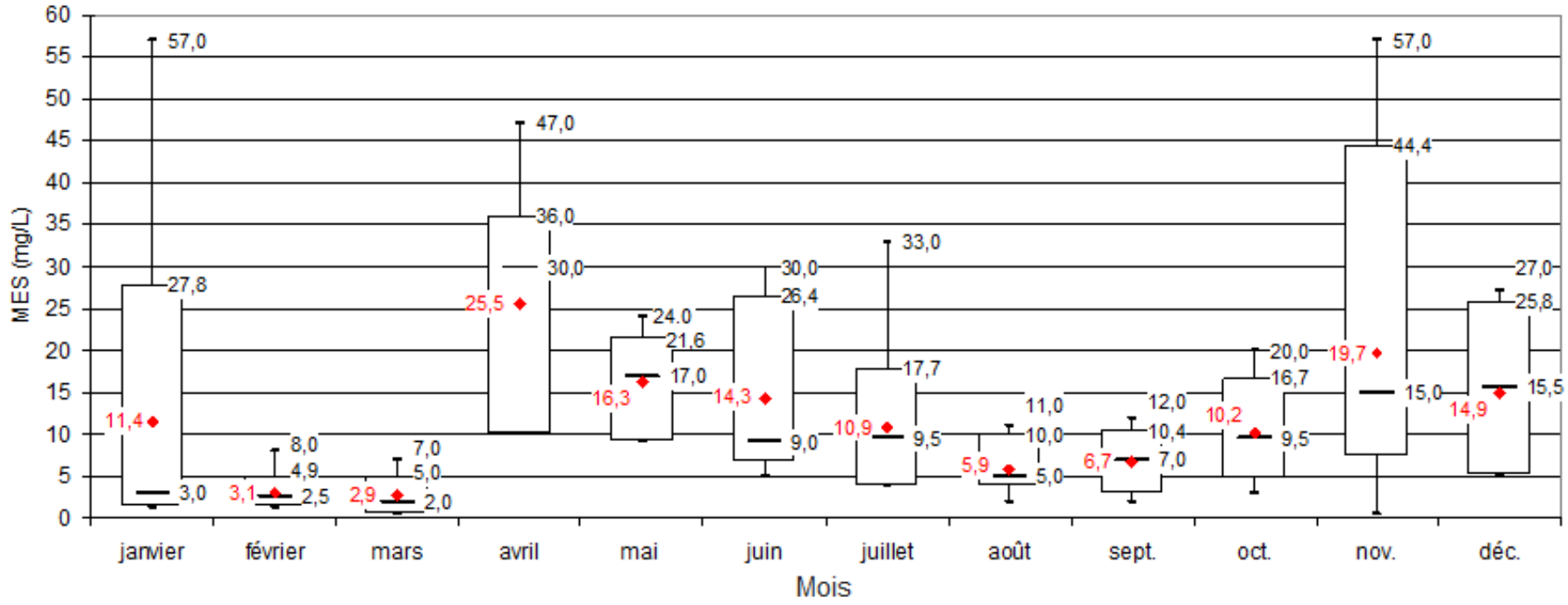


Figure 6 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) dans l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010). L'analyse porte uniquement sur les données des stations principales, énumérées dans le tableau 6 et identifiées par un rectangle jaune sur la figure 3 (n = 132).

3. Les MES associées aux activités de dragage

3.1 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. Pratiqué depuis le milieu du XIXe siècle pour la construction et l'entretien 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. Dans les secteurs soumis aux processus de sédimentation, il peut être nécessaire d'effectuer des dragages d'entretien réguliers pour maintenir les profondeurs d'eau requises. Les dragages d'entretien peuvent être annuels et font parfois l'objet de programmes quinquennaux ou décennaux.

Les dragages réalisés au Québec sont assujettis à la législation provinciale, à l'exception des travaux réalisés par un organisme fédéral qui agit dans son champ de compétence. 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 m^2 ou sur une distance de 300 m ou plus, en vertu de la *Loi sur la qualité de l'environnement* et de 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 lorsqu'il est plus particulièrement question d'habitats fauniques en milieux terrestre et aquatique.

Les dragages réalisés au Québec sont également assujettis à la législation fédérale. Environnement et Changement climatique 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 sérieux[3] au poisson[4], à moins que ces dommages n'aient été autorisés par le ministre des Pêches et des

[3] Le paragraphe 2(2) de la LP indique que, pour l'application de cette loi, la mort de tout poisson, la modification permanente ou la destruction de son habitat sont considérées comme des « dommages sérieux ».

[4] En vertu du paragraphe 2(1) de la LP, sont définis comme des « poissons » : 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 œufs, 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).

Océans du Canada (Canada, 2012a). Des critères permettant de déterminer si un projet est assujetti ou non à l'examen du ministère des Pêches et des Océans (MPO) du Canada, notamment pour les activités de dragage d'entretien et celles d'élimination en eau libre, sont disponibles sur le site Web du MPO. Par ailleurs, en vertu l'article 67 de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (2012) (Canada, 2012b), les autorités fédérales qui réalisent un projet de dragage en terre domaniale, ou qui exercent leurs attributions pour un tel projet (émission d'une autorisation, par exemple), doivent évaluer si la réalisation du projet entraînera des effets environnementaux néfastes importants. Il est également à noter 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*, il est possible que Transports Canada exige un examen visant à évaluer son interférence avec 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 dans le contexte de l'application de cette réglementation ou législation environnementale que l'élaboration d'un protocole de surveillance des MES pour des travaux de dragage peut être exigée. 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 statuaires (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 qu'il soit possible 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 analysés[5]. Ainsi, une première compilation effectuée en 2009 a permis d'analyser les données de suivi de 10 projets de dragage relevant des compétences fédérales et provinciales qui ont été réalisés dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008 (tableaux 7 et 8). Plus récemment, les données de suivi des dragages réalisés entre 2006 et 2013 à l'Isle-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, en 10 sites du Saint-Laurent, entre 1996 et 2008. Le moyen estuaire est le secteur le plus couvert par cette analyse : 5 des 10 projets de dragage analysés s'y sont déroulés. Pour deux d'entre eux, soit ceux du quai de l'Isle-aux-Coudres et du quai de

[5] Cette analyse 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 les rapports de surveillance ont pu être obtenus.

Rivière-du-Loup, les données disponibles couvrent plusieurs années consécutives (huit et sept 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 fait 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 de Mines Seleine). En général, les activités de dragage ont lieu en période estivale, mais elles peuvent s'étendre jusqu'en décembre au chenal maritime de 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).

Les balises de gestion des MES qui ont été utilisées pour le suivi de ces projets varient d'un projet à l'autre (tableau 7). Parmi les projets recensés, seul celui de 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* (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, quatre fois la teneur ambiante à une distance de 500 m de la drague dans le cas du dragage du quai de Mines Wabush [Roche ltée, 2000]), soit (ii) sur la sensibilité des organismes aquatiques (en présence d'aquaculture par exemple), soit (iii) sur la présence d'une prise d'eau industrielle à proximité (port de Bécancour).

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

	Projet	Volume de sédiments dragués (m^3)	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 (8 sept.-28 nov.)	sept.-nov.	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)	
Tronçon fluvial	**Lac Saint-Pierre** 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	~ 6 500	~ 15 jours continus (7 jours/semaine)	mi-sept. à fin sept.	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 heures/jour	août-oct. (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 à mi-sept.	hydraulique autoporteuse à élindes traînantes	eau libre (1 x / 3-6 h)		nd	1 ou 2 sortie(s)/semaine 1 x / 2-5 min	1 x / 30 min à 2 h 30 min, de 0 à 10 échant./j
Moyen estuaire	**Quai de l'Isle-aux-Grues** 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	4 015	3 jours (19-21 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	1 x / 5 min à 2 h sur 2 jours, de 5 à 10 échant./j	
Moyen estuaire	**Quai de l'Isle-aux-Coudres** 2008 (Dessau inc., 2008a)	13 827 (théorique)*	9 jours (4-12 juin 2008)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	~ 1 x / 5-45 min	
Moyen estuaire	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	15 684 (théorique)*	20 jours (10-29 juin 2007)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	~ 1 x / 5 min à 1 h	
Moyen estuaire	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	15 684 (théorique)*	16 jours (5-15 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	~ 1 x / 2-90 min	
Moyen estuaire	2005 (Procean Env. inc., 2005a)	11 254 (théorique)*	14 jours (6-19 juin 2005)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	~ 1 x / 2 min à 1 h le 9 juin 2005	
Moyen estuaire	2004 (Procean Env. inc., 2004a)	16 218 (théorique)*	6 jours (11-16 juin 2004)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		nd	~ 1 x / 5 min à 1 h le 11 juin 2004	
Moyen estuaire	2003 (Procean Env. inc., 2004b)	17 000 (théorique)*	6 jours (9-14 juin 2003)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 1 x / 5-10 min les 10 et 11 juin 2003	
Moyen estuaire	2002 (Procean Env. inc., 2002a)	14 500 (théorique)*	9 jours (10-18 juin 2002)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 1 x / 2-10 min le 12 juin 2002	
Moyen estuaire	2001 (Procean Env. inc., 2001)	12 500 (théorique)*	7 jours (10-16 juin 2001)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 1 x / 10-40 min le 12 juin 2001	

Tableau 7. (suite) : Gestion des MES réalisée lors de certains projets de dragage effectués dans le Saint-Laurent entre 1996 et 2008

	Projet	Volume de sédiments dragués (m^3)	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 de Rivière-du-Loup** 2008 (Procean Env. inc., 2008)	31 093 (théorique)*	16 jours (16 juin-1 juillet 2008)	juin-juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 1 x / 5-10 min quelques heures par jour du 16 au 19 juin 2008	
	2007 (Procean Env. inc., 2007c)	20 260 (théorique)*	31 jours (3 juillet-2 août 2007)	juillet-août	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 1 x / 5-10 min de 8 à 15 h du 16 au 18 juillet 2007	
	2006 (Procean Env. inc., 2007d)	20 260 (théorique)*	14 jours (22 juin-5 juillet 2006)	juin-juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre			~ 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			~ 1 x / 2-20 min les 27 et 29 juin 2005	
	2004 (Procean Env. inc., 2005b)	17 697	11 jours (26 juin - 6 juillet 2004)	juin-juillet	benne preneuse et barges à fond ouvrant	eau libre			~ 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		eau libre			1 x / 5 min à plusieurs heures durant 3 jours	
	2002 (Procean Env. inc., 2002b)	45 000	14 jours (30 juin-13 juillet 2002)	juin-juillet		eau libre			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 heures/jour pendant la période de restriction (juin)	mi-juin à fin août	hydraulique (suceuse à désagrégateur)	terrestre		+ 25 mg/L par rapport à la teneur ambiante pendant 24 à 48 h successives		
Estuaire maritime						*aucune donnée disponible*				
Golfe	**Quai de Mines Wabush Port de Sept-Îles (Pointe-Noire)** 1999 (Roche Ltée, 2000)	232 991	12 semaines (5 août-27 oct. 1999)	août-oct. (basses eaux)	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 zostéraie		
	1998 (Procean inc., 1999)	227 569	1998			eau libre				
	Chenal maritime de Mines Seleine 2008 (CJB Env. inc., 2009)	366 640	21 semaines (discontinu) (16 juillet-20 déc. 2008)	juillet-déc.	hydraulique autoporteuse à élindes traînantes	immersion en mer		>150 mg/L au parc de moules pendant 6 h consécutives = arrêt des travaux pendant 6 h	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 Concentrations de MES observées lors des travaux de dragage

Il faut d'abord préciser 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 comme 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 la présence de profondeurs relativement élevées et de forts courants.

Dans les zones où un suivi a été effectué, les paramètres mesurés sont la turbidité (UTN) ou les concentrations de MES (mg/L). Pour ces deux paramètres, les mesures ont été prises en surface ou dans un échantillon intégré sur toute la colonne d'eau et parfois au fond de l'eau. Le tableau 8 présente les valeurs mesurées lors du suivi des projets : teneurs ambiantes aux stations de référence, concentrations de MES à diverses distances de la drague et 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 de 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 m à plus de 1 km. Comme attendu, les teneurs ambiantes les plus élevées ont été observées dans les secteurs de l'Isle-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'Isle-aux-Coudres, de l'Isle-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 de MES mesurées dans la zone d'influence, du plus près de la drague à plus de 1 km 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 (de 500 à 1000 m) observés lors du dragage se développent près du fond, à des profondeurs de 12 à 15 m (Roche ltée, 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 de MES mesurées à diverses distances (d) de la dragues (d ≤ 50 m, 50 < d ≤ 100 m, 100 < d ≤ 150 m et d > 150 m)

	Projet		Distance à la dragues												Teneurs ambiantes				Limite du panache de dispersion
			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*	nd												*~ 240*				nd
		moy													7				
		max.													9				
		min.													5				
	Lac Saint-Pierre 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	*N*	nd												*8*				nd
		moy													6				
		max.													8				
		min.													3				
Estuaire fluvial	**Port de Bécancour** 2008 (Étude d'impact) *Données de 2003* (GENIVAR, 2008)	*N*		*25*		calculé [1]		*9*		calculé [1]		*6*		calculé [1]		*33*		calculé [1]	*3*			calculé [1]		dispersion rapide
		moy		28		30		25		26		23		24		20		19	13			9		
		max.		50		61		28		31		27		29		26		27	16			13		
		min.		18		16		20		19		19		17		12		7	12			7		
Moyen estuaire	**Traverse Nord** 1996 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997a)		profondeur 1 < p < 23 m				profondeur 1 < p < 23 m				profondeur 1 < p < 23 m				profondeur 1 < p < 23 m				turbidité (UTN) surface / mi-profondeur / fond				masquée par les teneurs naturelles élevées (ZTM)
		N	*24*	*13*	*5*	*2*	*26*	*32*		*6*	*24*	*23*		*5*	*91*	*81*	*1*	*8*	*47*	*17*	*47*		
		moy	50	87	121	145	37	75		117	39	89		124	70	165	38	404	64	78	144		
		max.	180	249	250	150	145	187		180	154	260		210	647	788	38	710	315	187	677		
		min.	13	12	26	140	13	19		55	15	16		72	14	20	38	75	28	31	25		
	Quai de l'Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	*N*	*4*				*5*				*2*				*5*				*7*				100 m (2002 et 2004)
		moy	25	32		**58**	45	53		**90**	44	61		**89**	40	50		**73**	32	43		**66**	
		max.	31	41		**79**	53	76		**140**	45	63		**110**	75	62		**110**	55 (32 m)	67 (105 m)		**100 (105 m)**	
		min.	23	25		**40**	28	42		**66**	43	59		**68**	20	28		**46**	21 (88 m)	26 (88 m)		**32 (88 m)**	
	Quai de l'Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008a)	*N*	*12*	*12*		*13*	*13*	*13*		*18*	*22*	*2*		*3*	*1 (151 m)*						*5*		150 m
		moy	29	33		**46**	32	34		**49**	36	35		**66**	47	47		**85**	35	39		**56**	
		max.	39	41		**67**	44	45		**78**	41	38		**94**	47	47		**85**	45 (313 m)	45 (313 m)		**68 (327 m)**	
		min.	22	25		**30**	25	26		**34**	31	32		**41**	47	47		**85**	26 (319 m)	34 (319 m)		**43 (319 m)**	
	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	*N*	*10*				*7*				*6*								*12*				100 m
		moy	34	38		**73**	31	36		**71**	24	36		**59**					23	28		44	
		max.	48	53		**88**	48	43		**82**	29	41		**83**					33 (43 m)	46 (62 m)		59 (98 m)	
		min.	25	28		**62**	25	27		**53**	17	29		**32**					17 (35 m)	20 (35 m)		34 (75 m)	
	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	*N*	*8*				*8*				*2*				*2*				*15*				~ 100 m
		moy	30	41		**107**	29	42		**79**	28	35		**71**	21	22		**51**	19	23		40	
		max.	53	60		**210**	54	59		**110**	35	35		**79**	22	26		**58**	31 (224 m)	42 (115 m)		60 (210 m)	
		min.	15	32		**45**	13	18		**38**	22	34		**62**	19	19		**43**	11 (190 m)	13 (435 m)		25 (891 m)	
	2005 (Procean Env. inc., 2005a)	*N*	*4*				*6*				*6*				*11*				*7*				~ 100 m
		moy	34	42		**71**	23	30		**51**	26	31		**46**	28	33		**52**	36	38		61	
		max.	43	51		**90**	42	47		**80**	45	37		**60**	41	51		**82**	58 (460 m)	51 (460 m)		84 (460 m)	
		min.	19	29		**45**	10	19		**27**	15	23		**29**	14	20		**23**	7 (127 m)	24 (127 m)		27 (127 m)	
	2004 (Procean Env. inc., 2004a)	*N*	*12*				*8*				*4*				*16*				*6*				100 m (largeur = 40 m)
		moy	32	56		**80**	18	45		**49**	15	35		**43**	17	40		**48**	17 (mg/L) [1]	49 (mg/L) [1]		54	
		max.	64	93		**160**	31	96		**140**	17	64		**92**	43	79		**99**	23 (229 m)	70 (287 m)		98 (287 m)	
		min.	19	18		**25**	4	25		**32**	12	21		**24**	5	12		**14**	11 (260 m)	32 (229 m)		39 (229 m)	
	2003 (Procean Env. inc., 2004b)	*N*	*5*				*8*				*6*				*2*				*3*				150 m
		moy	38	43		**86**	28	45		**85**	30	23		**40**	13	25		**40**	16 (mg/L) [1]	28 (mg/L) [1]		43	
		max.	61	71		**130**	50	140		**270**	47	30		**51**	22	34		**54**	27 (400 m)	31 (390 m)		52 (390 m)	
		min.	8	21		**56**	13	20		**34**	13	15		**22**	4	15		**26**	10 (390 m)	24 (433 m)		26 (433 m)	
	2002 (Procean Env. inc., 2002a)	*N*	*10*	*9*		*9*	*4*	*2*		*3*		*3*			*3*				*4*	*3*	*1*	*4*	100 m (largeur < 33 m)
		moy	33	35		**62**	32	38		**70**	23	24		**39**	22	26		**44**	27 (mg/L) [1]	36 (mg/L) [1]	34	48	
		max.	64	64		**120**	42	45		**91**	31	31		**52**	32	30		**50**	35 (200 m)	56 (220 m)		68 (220 m)	
		min.	17	16		**25**	18	31		**47**	17	18		**26**	14	23		**37**	20 (200 m)	24 (200 m)		34 (200 m)	
	2001 (Procean Env. inc., 2001)	*N*	*5*				*6*				*1*				*3*				*5*			*4*	100 m (largeur = 30-40 m)
		moy	21	37		**24**	21	33		**34**	17	29		**18**	13	31		**18**	21 (mg/L) [1]	24 (mg/L) [1]		30	
		max.	32	42		**27**	39	50		**88**	17	29		**18**	15	40		**27**	30 (575 m)	33 (200 m)		48 (575 m)	
		min.	16	30		**22**	13	27		**18**	17	29		**18**	11	18		**13**	8 (220 m)	14 (200 m)		9 (220 m)	

Tableau 8 (suite). Concentrations de 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												Teneurs ambiantes				Limite du panache de dispersion
			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**	Turbidité (UTN) Surface	Turbidité (UTN) Intégré	MES (mg/L) Surface	MES (mg/L) Intégré	
Moyen estuaire	**Quai de Rivière-du-Loup**	*N*		*15*				*29*				*10*				*4*					*8*		~ 150 m
	2008	moy	45	58		**51**	52	55		**50**	49	66		**56**	49	75		**60**	35	44		30	
	(Procean Env. inc., 2008)	max.	84	93		**140**	100	108		**120**	66	86		**90**	65	89		**84**	66 (520 m)	95 (520 m)		73 (520 m)	
		min.	14	35		**22**	24	32		**20**	30	43		**34**	21	42		**35**	20 (815 m)	20 (859 m)		10 (859 m)	
	2007	*N*		*12*				*12*				*7*				*3*					*13*		~ 150 m
	(Procean Env. inc., 2007c)	moy	73	78		**234**	106	146		**318**	77	98		**247**	71	86		**182**	51	56		113	
		max.	164	196		**690**	141	198		**690**	149	170		**420**	107	143		**250**	126 (420 m)	138 (420 m)		280 (420 m)	
		min.	23	25		**54**	59	65		**130**	35	49		**84**	29	29		**67**	19 (350 m)	24 (350 m)		7 (450 m)	
	2006	*N*		*11*				*14*				*6*									*5*		110 m
	(Procean Env. inc., 2007d)	moy	45	62		**118**	41	48		**98**	30	25		**78**					16	20		62	
		max.	79	112		**250**	86	113		**240**	45	46		**110**					21 (515 m)	33 (485 m)		86 (468 m)	
		min.	20	28		**61**	12	19		**50**	21	17		**53**					9 (468 m)	14 (515 m)		48 (515 m)	
	2005	*N*		*7*			*6*			*7*		*6*				*4*					*4*		~ 220 m (conditions calmes)
	(Procean Env. inc., 2006b)	moy	32	36		**62**	38	40		**73**	34	46		**88**	31	43		**68**	17	22		29	
		max.	44	51		**88**	45	49		**110**	54	68		**130**	42	73		**110**	24 (578 m)	33 (507 m)		46 (507 m)	
		min.	12	25		**47**	30	24		**46**	15	26		**52**	21	27		**44**	10 (520 m)	8 (1 380 m)		11 (1 380 m)	
	2004	*N*		*20*				*17*				*9*				*11*					*9*		250 m, fortes pluies et vents forts les jours
	(Procean Env. inc., 2005b)	moy	65	87		**186**	63	92		**194**	58	69		**141**	48	61		**114**	18	21		35	
		max.	138	178		**460**	156	157		**340**	109	113		**210**	86	107		**200**	42 (360 m)	37 (380 m)		79 (380 m)	
		min.	5	44		**66**	2	34		**73**	2	46		**76**	1	23		**37**	5 (690 m)	8 (910 m)		9 (910 m)	
	2003	*N*		*15*				*17*				*9*				*16*					*10*		masquée par de fortes teneurs ambiantes (vents forts et vagues)
	(Procean Env. inc., 2004c)	moy	69	85		**196**	55	59		**128**	57	55		**112**	49	50		**104**	40 (mg/L) [1]	41 (mg/L) [1]		85	
		max.	153	172		**460**	200	137		**310**	106	100		**210**	80	96		**220**	76 (460 m)	78 (540 m)		180 (540 m)	
		min.	25	22		**43**	16	19		**42**	32	24		**45**	28	17		**32**	12 (640 m)	14 (390 m)		28 (640 m)	
	2002	*N*	*17*	*15*	*6*	*12*	*14*	*15*	*11*	*5*	*11*	*11*	*3*	*8*	*7*	*7*	*3*	*4*	*13*	*11*	*7*	*6*	~ 150 m (2001 : 200 m)
	(Procean Env. inc., 2002b)	moy	44	44	53	**99**	38	31	37	**58**	25	21	31	**44**	23	16	32	**34**	18 (mg/L) [1]	15 (mg/L) [1]	23	34	
		max.	85	91	120	**290**	94	93	67	**82**	43	40	36	**61**	39	28	44	**54**	30 (~ 1200 m)	32 (~ 500 m)	36 (600 m)	52 (~ 1200 m)	
		min.	12	17	23	**49**	15	11	23	**26**	15	8	28	**26**	8	6	19	**16**	8 (~ 200 m)	5 (~ 400 m)	11 (~ 400 m)	13 (~ 1200 m)	
	Port de Gros-Cacouna 2008	*N*	*52* (pour toute la zone de dragage; distance à la drague non mesurée)																	*43*		calculé [1]	masquée par les variations naturelles au moment du dragage
	(CJB Env. inc., 2008)	moy					turbidité (intégré) :		10		MES (intégré):		16							14		22	
		max.							50 [3]				79 [3]							138 [2]		**216** [2]	
		min.							4				6							3		4	
Estuaire maritime			nd																				
Golfe	**Quai de Mines Wabush Port de Sept-Îles (Pointe-Noire)** 1999 (Roche ltée, 2000)	*N*									*1*			*11*									zone de dragage : < 400 m en surface et 500 à 1000 m en profondeur; zone de rejet : < 150 m en surface et 500 m en profondeur
		moy									**6**			**4**						2			
		max.												**13**									
		min.												**1**									
	1998 (Procean, 1999)										Au-delà de 100 m de la drague, les teneurs en MES sont généralement inférieures à 15 mg/L								MES (mg/L) **surface** flot [4]	MES (mg/L) **surface** jusant [5]	MES (mg/L) **fond** flot [4]	MES (mg/L) **fond** jusant [5]	de 500 à < 1000 m
		N																		*4*		*1*	
		moy																		13	20	10	12
		max.																		19	24		
		min.																		6	12		
	Chenal maritime, Mines Seleine 2008	*N*		*63*												*563*		*49*		*53*		*55*	nd
	(CJB Env. inc., 2009)	moy		21		**23**										3		**4**		1		2	
		max.		76		**82**										14		**15**		2 (743 m)		6 (743 m)	
		min.		2		**3**										1		**1**		1 (1361 m)		Ø (570 et 1361 m)	

nd : Données non disponibles

(1) Valeur calculée à partir de la relation entre la turbidité et les MES.

[2] Les valeurs maximales de turbidité et de MES ont été observées à l'extérieur de la zone d'influence du dragage, à marée descendante.
[3] Dans la zone d'influence du dragage, les valeurs maximales de turbidité et de MES ont été observées près du point de rejet de l'eau provenant des bassins de décantation.
[4] Marée montante (courant de marée entre la marée basse et la marée haute).
[5] Marée descendante (courant de marée entre la marée haute et la marée basse).

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 été compilées, mais celles générées lors des dragages effectués à l'Isle-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 : Concentrations de 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'Isle-aux-Grues de 2006 à 2013 (Procean Environnement inc., 2007b, 2007e; Dessau inc., 2008b, 2010a, 2010b; GENIVAR, 2011, 2012, 2013)

Année	Concentrations moyennes (minimales et maximales) dans la zone de dragage aux stations exposées (mg/L)			Concentrations moyennes ambiantes aux stations témoins (mg/L)	Concentrations 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 de 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 : Concentration de 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)

Concentrations moyennes (minimales et maximales) dans la zone de dragage aux stations exposées (mg/L)			Concentrations moyennes ambiantes aux stations témoins (mg/L)	Concentrations 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 m 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'Isle-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 (fortes pluies et vents forts en 2004, par exemple). 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 ltée, 2000; Procean inc., 1999) semblent indiquer que l'augmentation de la concentration des MES à plus de 100 m 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'Isle-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'Isle-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 générerait plus de MES durant une plus longue période que le rejet ponctuel d'une grosse masse de sédiments. Selon l'étude de Procean (1999), les suivis effectués dans la baie des Sept Îles ont montré que lors du rejet en eau libre, les augmentations de la concentration de 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 que pratiquement aucune augmentation notable ou persistante de MES n'a 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 m au-dessus du fond, des augmentations de 20 à 30 mg/L ont pu être observées à plus de 500 m 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.

4. Les balises de gestion des MES propres 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 réduire au minimum les impacts néfastes pour le milieu aquatique. Les balises de gestion définies ici pour le dragage peuvent également servir de base pour l'encadrement de tous travaux susceptibles d'engendrer des augmentations de matières en suspension dans le milieu aquatique.

4.1 La prise en compte des facteurs influant sur 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)	• Augmentation des teneurs en MES • Étendue de la zone touchée par la remise en suspension des sédiments
	Équipements et méthodes utilisés (voir chapitre 5)	• Augmentation des teneurs en MES
	Durée et fréquence des travaux	• Augmentation des teneurs en MES • Exposition (effet aigu ou chronique)
	Période de l'année (fraie, migration, etc.) durant laquelle sont effectués les travaux	• Exposition (vulnérabilité des organismes aquatiques)
Caractéristiques hydrodynamiques et physicochimiques du site	Débit, courants et marées, vagues	• Dispersion des MES
	Tributaires	• Apport ou dilution des MES
	Température	• Dispersion des MES
	Salinité	• Dispersion des MES (floculation)
	Bruit de fond en MES	• Exposition initiale
	Granulométrie	• Augmentation des teneurs en MES • Effets abrasifs • Exposition (concentration et disponibilité des contaminants)
	Qualité des sédiments	• Exposition (contamination)
Événements climatiques	Débit de crues, fortes pluies, etc. Vents	• Augmentation des teneurs en MES • Dispersion des MES
Zones sensibles	Habitats (frayères, par exemple) et espèces protégées	• Exposition (vulnérabilité des organismes aquatiques)
	Activités industrielles, commerciales, de loisir	• Compatibilité des usages

Les choix de gestion doivent être orientés de manière à réduire au minimum la remise en suspension des sédiments et leurs effets sur la vie aquatique. Les conditions qui ont cours 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 de MES augmentent notablement dans la zone immédiate des travaux, mais redeviennent proches des teneurs ambiantes à des distances qui varient généralement entre 100 et 150 m 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 par rapport à la drague; dans ces secteurs, les teneurs ambiantes peuvent être naturellement élevées et variables.

Suivant ce constat, il est proposé de définir des critères de gestion propres aux eaux limpides, dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement inférieures à 25 mg/L, et des critères de gestion propres aux eaux turbides, dont les teneurs ambiantes en MES sont supérieures à 25 mg/L. La valeur seuil de 25 mg/L est considérée comme 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/L[7]. 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 des concentrations de 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 – *National aquatic database* (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 de MES de **25 mg/L** par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu	Augmentation moyenne* maximale de la concentration de MES de **100 %** par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu
À **300 m** de la drague et du point de rejet	Augmentation moyenne* maximale de la concentration de MES de **5 mg/L** par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu	Augmentation moyenne* maximale de la concentration de MES de **25 mg/L** par rapport aux teneurs ambiantes**, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu

* Il est recommandé d'utiliser une moyenne géométrique.

** Les teneurs ambiantes correspondent aux concentrations de 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 réduisent au minimum les impacts sur la vie aquatique, il importe de surveiller les concentrations de 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 important 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 1000 m³, si les travaux sont réalisés sur moins d'une semaine, si la contamination des sédiments est considérée comme inférieure à la concentration d'effets occasionnels (CEO) ou aux teneurs naturelles et si aucun usage à protéger à proximité 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 comme importante, notamment s'il s'agit d'un projet de restauration de sédiments contaminés, la surveillance des MES devient nécessaire et des mesures supplémentaires pourraient être recommandées (voir section 4.4). Par exemple, une surveillance particulière pourrait être exigée pour la validation de la zone modélisée de dispersion des MES contaminées et 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 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; Ziegler, 2002).

Mise au point par Jackson dès le début du XXe siècle (turbidimètre à bougie de Jackson), la mesure de la turbidité a depuis évolué (Downing, 2005; Lillycrop, Howell et White, 1996; 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 unités de turbidité néphélométrique (UTN, 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, 2009), 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, étudiée sur le terrain depuis plusieurs décennies, sert à mieux appréhender la corrélation entre la turbidité et les MES (Ritter et Brown, 1971; Thrular, 1978). De nombreux facteurs influant sur la valeur de la turbidité obtenue lors de sa mesure (tableau 13) ont ainsi été mis en évidence (Chanson, Takeuchi et Trevethan, 2008; Ginting et Mamo, 2006; Hudson, 2001; Lewis, 2003; Lewis *et al.*, 2002; Marquis, 2005; Teixeira et Caliari, 2005).

Tableau 13 : Principaux facteurs influant sur la valeur de la turbidité mesurée *in situ*

Paramètres à considérer	Facteurs d'influence
Particules	Granulométrie Angularité Composition (organique ou inorganique) Indice de réfraction Spectre d'absorption Couleur
Colonne d'eau	Caractéristiques physicochimiques (température, salinité, etc.) 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 ont une influence notable sur 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).

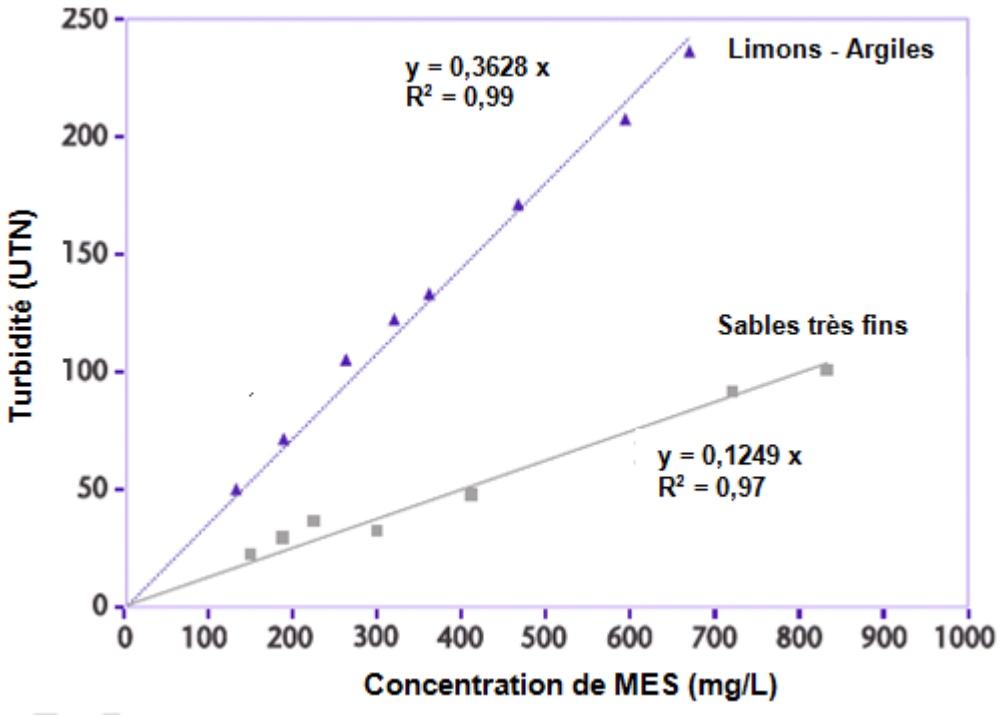


Figure 7 : Influence de la granulométrie sur la relation entre la turbidité et les MES (tiré et traduit de Marquis, 2005)

D'une manière générale, la relation entre la turbidité et les MES est fonction de facteurs propres au bassin hydrographique, tels que la nature du substrat géologique, qui conditionne les caractéristiques physicochimiques des sédiments et de l'eau. Elle dépend également de variations temporelles (saison, climat, événements particuliers)

qui influent sur le régime hydrodynamique du cours d'eau et par conséquent sur la remise en suspension des sédiments et la dispersion des MES (Chanson, Takeuchi et Trevethan, 2008; Lewis, 2003 et 1996; Lewis *et al.*, 2002; 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 (de 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 de MES (mg/L), pour un même site (tiré et traduit de Minella *et al.*, 2008)

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

Tableau 15 : Exemples de variabilité spatiotemporelle des corrélations entre la turbidité (TUR) et la concentration de MES (tiré et traduit de Chanson, Takeuchi et Trevethan, 2008)

Référence*	Description	Corrélation**
Gippel, 1995	Versant Eden, Victoria (Australie)	• TUR = 0,84 x MES + 4,62 si 2 ≤ MES ≤ 153 mg/L
	Rivière Latrobe, Victoria (Australie)	• TUR = 0,85 x MES + 1,97 si 2 ≤ MES ≤ 868 mg/L
Lewis, 1996	Caspar Creek, CA (États-Unis), 1991-1993	• $\sqrt[3]{MES} = a \times \sqrt[3]{TUR} + b$ si 5 ≤ MES ≤ 2 000 mg/L et si 5 ≤ TUR ≤ 600 UTN
	Caspar Creek, Californie (États-Unis), 1994-1995	• $\log_{10}(MES) = a \times \log_{10}(TUR) + b$ si 10 ≤ MES ≤ 1 000 mg/L et si 20 ≤ TUR ≤ 250 UTN
Grayson *et al.*, 1996	Rivière Latrobe, Victoria (Australie), avril 1992	• 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	• $TUR = 160 \times MES^{0,92}$ si 0 ≤ MES ≤ 30 g/m^3 et si 10 ≤ TUR ≤ 1 000 UTN
Mitchell *et al.*, 2004	Estuaire de Pagham (Royaume-Uni)	• 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	• MES = 0,00065 x TUR + 2,78 si 1,5 ≤ MES ≤ 30 g/L et si 0 ≤ TUR ≤ 35 000 UTN
Chanson, Takeuchi et Trevethan, 2008	Eau et échantillon de sédiments (n° 1) d'Eprapah Creek, Queensland (Australie)	• 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'Eprapah Creek, Queensland (Australie)	• 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, Takeuchi et Trevethan, 2008
** *a* et *b* sont des constantes de régression linéaire.

Il n'existe donc pas de relation universelle entre la turbidité et la concentration de MES (Thackston et Palermo, 2000; Truhlar, 1978); cette relation 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 turbidité-MES, obtenue par des mesures couplées des deux paramètres, est propre aux caractéristiques sédimentaires et hydrodynamiques du site dragué.

L'étude réalisée en 1999 dans la baie des Sept Îles (Roche ltée, 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.

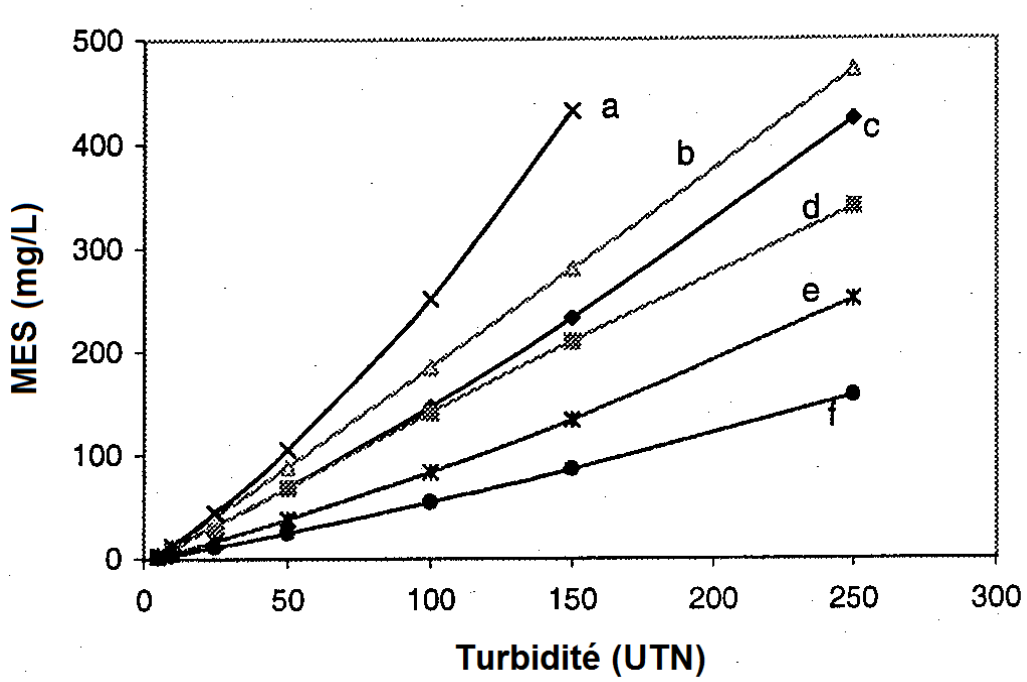


Figure 8 : Relations entre la turbidité et les MES observées dans divers secteurs de la baie des Sept Îles. a : secteur ouest, zostéraie; b : secteur nord de la baie; c : quai de la minière Wabush, côté est; d : pointe à la Marmite; e : zostéraie, côté sud-ouest; f : quai de la minière Wabush, côté ouest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

L'étude de la baie des Sept Îles montre l'importance de déterminer pour chaque site la corrélation turbidité-MES qui lui est propre. Pour un même projet de dragage, plusieurs courbes d'étalonnage 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 que le suivi des MES puisse commencer le plus tôt possible. Cette façon de faire permet de repérer rapidement une éventuelle augmentation importante de MES due à un dysfonctionnement opératoire, par exemple. Ce calibrage peut être réalisé de deux manières distinctes selon qu'il s'agit de dragage ou de rejet en eau libre[8] (d'après Earhart, 1984, cité dans Thackston et Palermo, 2000).

[8] Des approches similaires ont été utilisées lors des suivis des travaux de dragage de Pointe-Noire (Procean inc., 1999 et Roche ltée, 2000) et du chenal de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine (CJB Environnement inc., 2009).

- **À proximité de la drague en fonction**, 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 génie maritime* (EC, 2002a et 2002b). Pour obtenir les données couplées qui serviront à établir la courbe de corrélation entre les MES et la turbidité, plusieurs méthodes ont été mises au point. 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, en prélever de 20 à 50 mL pour la mesure des MES et de 100 à 130 mL pour la mesure de la turbidité, de manière à prélever un volume total de 150 mL.

3. Ajouter 150 mL d'eau du site à ce qu'il reste du mélange de l'étape 1, pour obtenir à nouveau un litre.

4. Répéter l'extraction des MES et la mesure de turbidité (en répétant les étapes 2 et 3) jusqu'à l'obtention de 40 dilutions en série (ou jusqu'à l'atteinte du seuil de détection de la méthode), 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. Considérant 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 1200 mg/L. Si le volume prélevé à chaque dilution est de 150 mL au total (pour les MES et la turbidité), la concentration théorique de MES après 40 dilutions serait d'environ 2 mg/L.

- **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 ltée, 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 paroi. Pour obtenir les données couplées permettant d'établir une relation entre les MES et la turbidité lors du suivi du rejet en eau libre, il est suggéré d'appliquer les opérations suivantes :

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 de 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 l'atteinte de concentrations de 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) 20 échantillons au moins, 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 néphélémétrique, MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 4, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 10 p.

Pour la mesure des MES en laboratoire, il est recommandé d'utiliser la méthode suivante (CEAEQ, 2012)[1] 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, 8 p.

[1] **L'utilisation du filtre 0,45 µm est recommandée.**

Par la suite, la représentation graphique en nuage de points des couples de données turbidité-MES permet de visualiser la nature de la relation entre les deux variables. Il peut s'agir par exemple 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 ($y = Kx^a$). 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 détermination. Le coefficient de détermination 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 de MES (Downing, 2005). Dans ce cas, il est nécessaire de compléter les données par un échantillonnage supplémentaire et de

vérifier le fonctionnement et l'étalonnage de l'appareil de mesure ainsi que le type de relation retenu. En revanche, si la relation entre les deux paramètres est valide, les concentrations de 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 de 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 couplées 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 touché 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 existent au site en l'absence 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 sédiments et les souffle 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 influencée 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 particuliers ou des secteurs plus critiques pour la faune aquatique doivent être protégés, il peut être requis de recourir à d'autres stations de suivi pour vérifier que ces usages ne sont pas perturbés 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 touchés 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 où la circulation de l'eau est complexe, 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 des 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 m sous la surface, à 50 % de la profondeur totale et à 1 m 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 ont cours au site. Lorsque les conditions se détériorent, il est important de resserrer la surveillance. Toutefois, il est nettement préférable, lorsque c'est possible, d'installer un turbidimètre ou un senseur optique fixe qui mesure la turbidité en continu, ce qui facilite le suivi des MES.

À chacune des stations exposées, la valeur moyenne de la concentration de MES est calculée, pour chaque profondeur d'eau, par la moyenne géométrique des données générées sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu.

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 ont cours (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 de MES et la turbidité et des facteurs influant sur 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. Il faut calibrer le turbidimètre servant au suivi quotidien 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 sept 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 de MES mesurée durant le dragage[9] 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 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, il est possible de reprendre les travaux, 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

[9] La concentration de 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 heures 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.

ambiantes, peut être difficile à vérifier avec précision sur le terrain, étant donné sa faible valeur par rapport à 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 que comme seuil déclencheur de l'arrêt des travaux. Dans ce cas, seul le critère de gestion appliqué à 100 m de la drague constitue un seuil déclencheur de l'arrêt temporaire des travaux.

4.4 Les autres balises de gestion

La protection des zones et des espèces sensibles

Les activités de dragage, y compris le rejet en eau libre, devraient être réalisées à l'un des moments de l'année qui causent le moins d'impacts 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 quant aux 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 d'éviter d'effectuer les travaux 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 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 ces organismes, en particulier ceux appartenant à des espèces considérées comme 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 présents à proximité du site de dragage et viser à protéger ces usages. En conséquence, la protection des espèces sensibles et des prises d'eau potable ou industrielle ainsi que l'existence d'activités commerciales et de loisir sur le cours d'eau peuvent nécessiter l'application de balises supplémentaires. Dans certains cas, des exigences peuvent être associées à ces usages (par exemple, concentrations de 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 soit dans des géotubes, avant d'être transportés dans un site de dépôt définitif s'il y a lieu. Il faut considérer que la proportion d'eau contenue dans les sédiments peut être très variable selon le type de drague utilisée (mécanique ou hydraulique). En l'absence de contamination chimique, les eaux

extraites des sédiments peuvent généralement être rejetées dans le milieu aquatique lorsque leur teneur en MES est inférieure ou égale à 50 mg/L[10]. Toutefois, cette valeur peut être revue à la baisse dans certaines situations, notamment lorsque les sédiments sont contaminés ou lorsque le secteur comporte des zones sensibles ou des usages à protéger (voir les deux sous-sections précédentes). 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 (recharge de plage, par exemple), 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 supplémentaires peuvent être appliquées lors du dragage et 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 d'éléments sensibles du milieu récepteur ou d'effectuer un suivi biologique dans les secteurs à risque. 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).

[10] La concentration de 50 mg/L, mesurée sur un échantillon instantané, est généralement utilisée comme limite acceptable lors du contrôle des eaux de ruissellement sur des sites industriels (MDDELCC, document en préparation).

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 au moment des travaux (USEPA, 2005; EC, 1994; Havis, 1988; Hayes, 1986; Herbich et Brahme, 1991). Afin de réduire au minimum la remise en suspension et la perte de sédiments durant le dragage ou le rejet en eau libre de sédiments dragués, il faut tenir compte dans la planification du projet 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 creusage 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 de moyenne envergure et leur utilisation est limitée par la profondeur du site à draguer (CSL, 1992).

Plusieurs documents gouvernementaux (EPA, 2001; JGPO, 2010; LTMS Agencies, 2001; MPCA, 2011; OSMB, 2012; USEPA, 2005; Palermo *et al.*, 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 et Thompson, 2006) et des rapports de consultants (Anchor Environmental, 2003; Anchor QEA et 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 réduire au minimum les effets néfastes des travaux sur le milieu récepteur. Les mesures visant précisément à réduire la remise en suspension des sédiments et à limiter la perte de MES durant les travaux (ce qui inclut 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) de mesures envisageables pour chacun de ces aspects, selon que les travaux sont effectués avec l'un ou l'autre des trois principaux types de dragues utilisés au Québec, c'est-à-dire les dragues mécaniques, les dragues hydrauliques et les dragues hydrauliques autoporteuses (CSL, 1992; 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 adaptées à l'opération de rejet en eau libre. Il importe donc de bien évaluer au préalable s'il est acceptable 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, Lachance et Fournier, 2007; McQuinn et Nellis, 2007). Des conditions de suivi supplémentaires peuvent être exigées pour ces types d'impacts qui ne sont pas pris en compte par les recommandations présentées ici, ces dernières visant expressément la gestion des augmentations de MES dans la colonne d'eau lors des activités de dragage.

Lors de la détermination du mode de gestion des sédiments dragués, les options pouvant remplacer le 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; USEPA, 2010)

	Drague	Mesures d'atténuation
Choix de l'équipement	Mécanique	• 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	• 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 ou d'un diffuseur à l'extrémité de la conduite s'ils permettent de réduire la vitesse et la turbulence lors du rejet en eau libre
	Autoporteuse	• Utilisation d'un système de surverse antiturbidité
	Tous types	• 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	• 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
		• Absence de nivellement du fond par pivotement de la benne sur le fond
		• Descente de la benne le plus bas possible dans le chaland
	Hydraulique	• 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 l'enlèvement ou l'ajout d'une section de tuyau
	Autoporteuse	• Non-recours à la surverse 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	• Manipulation, nettoyage et entretien des équipements par des opérateurs formés
		• Remontée des ancres avant le déplacement de la drague
		• Choix d'une technique d'avancement de la drague réduisant au minimum les plages de résidus
		• Choix d'un 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 (lors du rejet)
		• Choix de méthodes et de sites de rejet limitant la dispersion des MES et l'érosion (bassins de sédimentation, recouvrement, etc.)
		• Valorisation des sédiments dragués (stabilisation de berges, recharge de plages, etc.)
Gestion du milieu	Vie aquatique	• Dragage et rejet en période de faible activité biologique (c'est-à-dire hors des périodes critiques) pour la protection de la vie aquatique (fraie, migration)
		• Prise en compte des éléments sensibles du milieu (frayères, eaux coquillières, etc.)
		• Étalement des matériaux déchargés pour réduire l'épaisseur de recouvrement des organismes benthiques (lors du rejet)
		• Composition des sédiments similaire au site de dragage et au site de rejet (caractéristiques physiques, chimiques et biologiques)
	Usages	• Prise en compte des usages et des réglementations associées (eau potable, activités commerciales et de loisir)

5.2 Les écrans protecteurs

Lorsque le milieu et le type de projet s'y prêtent, l'utilisation d'écrans protecteurs (rideaux de turbidité) limite 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, une telle protection peut être relativement efficace 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 5 ou 6 m (Francingues et Palermo, 2005; JBF Scientific Corporation, 1978; OMEE, 1994; 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 m des deux côtés de l'écran. Minimalement, 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 pour éviter ou réduire au minimum 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 suivies afin d'assurer des 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 descend rapidement sous la 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 aux situations de ce genre (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 propres à la gestion des MES associées aux activités de dragage. Des critères de gestion des MES 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 ont été déterminés pour les travaux qui se déroulent en eaux limpides d'une part et en eaux turbides d'autre part. Ainsi, ces critères tiennent compte des variabilités spatiotemporelles des teneurs ambiantes, qui sont considérablement élevées dans la ZTM du Saint-Laurent et lors des crues printanières et automnales.

Pour assurer la protection des écosystèmes aquatiques, il est apparu indiqué de compléter ces critères de gestion 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 visant à déterminer les balises de gestion convenant à la situation. Dans tous les cas, les travaux de dragage doivent être réalisés selon les bonnes pratiques et inclure les mesures d'atténuation permettant de réduire au minimum la remise en suspension des MES et leurs impacts sur la vie aquatique.

Ces balises de gestion des MES ont été élaborées pour les projets de dragage effectués dans 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, il est possible d'utiliser ces balises de gestion, en y apportant certaines adaptations au besoin, pour encadrer la réalisation de dragages ou de travaux d'excavation dans d'autres cours d'eau du Québec. Ces balises peuvent également servir de base à l'encadrement de tous travaux susceptibles d'engendrer des augmentations de matières en suspension dans le milieu aquatique, tels que la construction d'un quai, de digues ou de piliers de pont.

Ces balises ayant été établies pour la gestion du dragage de sédiments non contaminés, des mesures supplémentaires 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 mis au point, notamment dans le cadre du Plan d'action Saint-Laurent. Ainsi, le Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent, mis en ligne sur le site Web du Plan d'action Saint-Laurent, contient de l'information relative aux projets de dragage à venir sur le fleuve et vise à faciliter la concertation entre les promoteurs associés aux 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 projets 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*, 87 p. et annexes. [Préparé pour la Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, Irvine (Californie)].

Anchor QEA et Thomas Johnson Consultant, 2011. *Sediment Management Handbook for Dredge and Fill Projects*, 76 p. [Préparé pour le Port of Long Beach, Californie].

D'Anglejan, B. F., 1981. « On the advection of turbidity in the St. Lawrence middle estuary », *Estuaries*, vol. 4, no 1, p. 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 et 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*, vol. 42, no 12, p. 2849-2861.

Borrowman, T. D., 2006. *Summary of Measurement Protocols for Sediment Resuspended from Dredging Operations*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 9 p. (DOER Technical Notes Collection). [ERDC TN-DOER-D8].

Canada, 2012a. *Loi sur les Pêches* [En ligne]. [http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/f-14/]

Canada, 2012b. *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* [En ligne]. [http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-15.21/page-1.html].

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, 2002. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Matières particulaires totales*, dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, Winnipeg, CCME, 15 p.

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 néphélémétrique*, 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*, vol. 88, no 4, p. 1406-1416.

CJB Environnement inc., 2009. *Dragage d'entretien du chenal de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine*, surveillance et suivi environnemental des travaux réalisés en 2008, 28 p. [Pour la Société canadienne de sel ltée].

CJB Environnement inc., 2008. *Dragage d'entretien du port de Gros-Cacouna*, suivi de la qualité de l'eau 2008, 14 p. et annexes. [Présenté à Travaux publics et Services gouvernementaux Canada pour le compte de Transports Canada].

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, D.G. et D.H. Wilber, 2000. *Assessment of Potential Impacts of Dredging Operations due to Sediment Resuspension*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 14 p. (DOER Technical Notes Collection). [ERDC TN-DOER-E9].

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*, Montréal, Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, 127 p. (coll. BILAN Saint-Laurent). [Rapport thématique sur l'état du Saint-Laurent].

CSL, 1996. *L'écosystème du Saint-Laurent, Montréal, Environnement Canada – Région du Québec*, Conservation de l'environnement et Éditions MultiMondes. (coll. BILAN Saint-Laurent). [Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent, volume 1].

CSL, 1992. *Guide pour le choix et l'opération des équipements de dragage et des pratiques environnementales qui s'y rattachent*, 81 p. [Document préparé en collaboration avec Travaux publics Canada et le ministère de l'Environnement du Québec, En40-438/1992F].

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.

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.

Downing, John, 2005. *Turbidity monitoring*, dans Down, R. D. et J. H. Lehr, Environmental Instrumentation and Analysis Handbook, Hoboken (New Jersey), John Wiley and Sons, p. 511-546.

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].

EC, 2012b. *Hydrographie du Saint-Laurent*. [En ligne]. [http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=59C4915D-1].

EC, 2012c. *Les masses d'eau du Saint-Laurent*. [En ligne]. [http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=3776F8EF-1].

EC, 2010. *Base de données NAQUA*, Environnement Canada, Division du monitoring et de la 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*, 109 p. [Document préparé par Les Consultants Jacques Bérubé inc. pour la Section du développement technologique de la Direction de la protection de l'environnement, régions du Québec et de l'Ontario, En 153-39/1994F].

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. [En ligne]. [http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/diverses/Qualite_criteres_sediments_f.pdf].

EC et MPO, 2009. *Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent*. [En ligne]. [http://planstlaurent.qc.ca/registreactivitesdragage/Accueil.aspx].

EPA – Environment Protection Authority, 2001. *Best Practices Environmental Management – Guidelines for Dredging*, Victoria (Australie), EPA, 110 p. [Publication 691].

Francingues, N. R. et D. W. Thompson, 2006. « Control of resuspended sediments in dredging projects", dans WEDA Thirty-Sixth Annual Technical Conference Proceedings, San Diego (Californie), p. 243-253.

Francingues, N. R. et M. R. Palermo, 2005. *Silt Curtains as a Dredging Project Management Practice*, Vicksburg (Mississipi), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 18 p. (DOER Technical Notes Collection). [ERDC TN-DOER-E21].

GENIVAR, 2013. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de L'Isle-aux-Grues, 2013*, 28 p. et annexes. [Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec].

GENIVAR, 2012. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de L'Isle-aux-Grues, 2012*, 34 p. et annexes. [Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec].

GENIVAR, 2011. *Programme de surveillance et de suivi environnemental des travaux de dragage au quai de L'Isle-aux-Grues, 2011*, 44 p. et annexes. [Rapport de GENIVAR à la Société des traversiers du Québec].

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*, vol. 35, no 3, p. 815-823.

GTGIDS – Groupe de travail sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments, 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 », dans Munro, J. (dir.), Anadromous Sturgeons: Habitats, Threats, and Management, *American Fisheries Society*, p. 235-255. (American Fisheries Society Symposium 56).

Havis, R. N., 1988. *Environmental Effects of Dredging: Sediment Resuspension by Selected Dredges*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 9 p. (Technical Notes). [EEDP-09-2].

Hayes, D. F., 1986. *Environmental Effects of Dredging: Guide to Selecting a Dredge for Minimizing Resuspension of Sediment*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 7 p. (Technical Notes). [EEDP-09-1].

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, 25 p. et annexes. [Envirodoc n° ENV/2005/0095, collection n° QE/156].

Herbich, J. B. et S. B. Brahme, 1991. *Literature Review and Technical Evaluation of Sediment Resuspension During Dredging*, Washington, DC, USACE, 87 p. [Rapport HL-91-1].

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, 14 p. [Rapport technique TR-008].

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*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 184 p. [Rapport technique D-78-39].

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, Pearl Harbor, Naval Facilities Engineering Command, Pacific, Guam Program Management Office, p. D-5–D-20.

Köthe, H., 2010. *Dredging and the Environment – International Guidance for Best Practices*. PIANC Environmental Commission. [Présentation donnée à la PIANC 125th Anniversary Celebration tenue à Nagoya, au Japon, du 12 au 14 septembre 2010].

Kranck, K., 1979. « Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence estuary », *Naturaliste canadien*, vol. 106, p. 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.

Larouche, P. et U. Boyer-Villemaire, 2010. « Suspended particulate matter in the St. Lawrence estuary and Gulf surface layer and development of a remote sensing algorithm », *Estuarine*, Coastal and Shelf Science, vol. 90, p. 241-249.

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*, dans Standiford, Richard B. et al. (dir.), Proceedings of the Fifth Symposium on Oak Woodlands: Oaks in California's Challenging Landscape, Albany (Californie), USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, p. 107-118. [Rapport PSW-GTR-184].

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, p. 2299-2310.

Lillycrop, L. S., G. L. Howell et T. E. White, 1996. *Development and Evaluation of a Prototype Turbidity Sensor for In Situ, Long-Term Measurements*, Washington, DC, USACE, Waterways Experiments Station, 51 p. [Rapport technique CERC-96-9].

LTMS Agencies, 2001. Appendix 1: Dredging "Best Management Practices", Final LTMS Management Plan, p. I-1–I-3.

Marquis, P., 2005. « Turbidity and suspended sediment as measures of water quality", Streamline », *Watershed Management Bulletin*, vol. 9, no 1, p. 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 », dans Munro, J. (dir.), Anadromous Sturgeons: Habitats, Threats, and Management, *American Fisheries Society*, p. 257-271. (American Fisheries Society Symposium 56).

MDDEFP – Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 2013. *Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68533-3 (PDF), 510 p. et 16 annexes.. [En ligne]. [http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp].

MDDEFP et EC, 2013. *L'évaluation du risque écotoxicologique du rejet en eau libre des sédiments, en soutien à la gestion des projets de dragage en eau douce*, 35 p. et annexes. [En ligne]. [http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/diverses/Qualite_criteres_sediments_f.pdf].

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.

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*, vol. 22, no 12, p. 1819-1830.

MPCA – Minnesota Pollution Control Agency, 2011. *Best Management Practices for the Management of Dredged Material*, 8 p.

MPO –Pêches et Océans Canada, 2005. *Le golfe du Saint-Laurent, un écosystème unique*, ISBN 0-662-69499-6, 30 p.

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 », dans Munro, J. (dir.), Anadromous Sturgeons: Habitats, Threats, and Management, *American Fisheries Society*, p. 215-234. (American Fisheries Society Symposium 56).

Newcombe, C. P., 2003. « Impact assessment model for clear water fishes exposed to excessively cloudy water », *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 39, no 3, p. 529-544.

Newcombe, C. P., 1997. *Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Concise Guide to Impact*, Victoria (Colombie-Britannique), Ministry of Environment, Lands and Parks, Resource Stewardship Branch, 37 p.

Newcombe, C. P., 1994. *Suspended Sediment in Aquatic Ecosystems: Ill Effects as a Function of Concentration and Duration Exposure*, Victoria (Colombie-Britannique), Ministry of Environment, Lands and Parks, Habitat Protection Branch, 298 p.

Newcombe, C. P. et D. D. MacDonald, 1991. « Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems », *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 11, no 1, p. 72-82.

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*, vol. 16, no 4, p. 693-727.

OMEE – Ontario Ministry of the Environment and Energy, 1994. *Evaluating construction activities impacting on water resources – Part III B*, dans Handbook for Dredging and Dredged Material Disposal in Ontario – Dredging Transport and Monitoring, Ontario Ministry of the Environment and Energy, Standards Development Branch, 26 p.

OSMB – Oregon State Marine Board, 2012. *Best Management Practices (BMPs) White Paper for Recreational Boating Facility Construction and Replacement*, 7 p.

Palermo, M. R., P. R. Schroeder, T. J. Estes et N. R. Francingues, 2008. *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments*, Vicksburg, Mississippi, USACE, Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory, 288 p. [ERDC/EL TR-08-29].

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,* 17 p. [Rapport final préparé pour Le Havre de Berthier-sur-Mer inc.].

PIANC EnviCom Working Group 100, 2009. *Dredging Management Practices for the Environment – A Structured Selection Approach*. [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 Rivière-du-Loup, 2007*, Société des traversiers du Québec, 37 p. et annexes.

Procean Environnement inc., 2007d. *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., 2007e. *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., 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*, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 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.

Richard, L.-F., 2010. *L'érosion des berges en eau douce*, Suivi de l'état du Saint-Laurent, Environnement Canada, 8 p. [En ligne]. [http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/PDFs_accessibles/Erosion_2010_f_FINAL_v1.0.pdf].

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 ltée, 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,* vol. 14, no 1, p. 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*, vol. 16, no 4, p. 939-950.

Teixeira, E. C. et P. C. Caliari, 2005. « Estimation of the concentration of suspended sediments in river from turbidity measurement: error assessment », dans *Sediment Budgets I* (Proceedings of Symposium S1 Held During the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005), p. 151-160. [IAHS Publication 291].

Thackston, E. L. et M. R. Palermo, 2000. *Improved Methods for Correlating Turbidity and Suspended Solids for Monitoring*, Vicksburg (Mississippi), U.S. Army Engineer Research and Development Center, 10 p. (DOER Technical Notes Collection). [ERDC TN-DOER-E8].

Tremblay, Guillaume, 2010. Communication personnelle, Rivière-du-Loup, Dessau inc.

Troude, J. P. et J. B. Sérodes, 1988. «Le rôle des glaces dans le régime morpho-sédimentologique d'un estran de l'estuaire moyen du Saint-Laurent ». *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol 15. p. 348-354.

Truhlar, J. F., 1978. « Determining suspended sediment loads from turbidity », *Hydrological Sciences Journal*, vol. 23, no 4, p. 409-417.

USACE – United States Army Corps of Engineers, 1997. « Appendix C, BMP 27: Turbidity curtains », dans *Engineering and Design*, Handbook for the Preparation of Storm Water Pollution Prevention Plans for Construction Activities, Washington, DC, USACE, p. C-165–C-174. [EP 1110-1-16].

USACE, USEPA, San Francisco Bay Conservation and Development Commission et San Francisco Bay Regional Water Quality Control Board, 2001. « Appendix I: Dredging "Best Management Practices" », dans *Long-Term Management Strategy for the Placement of Dredged Material in the San Francisco Bay Region: Management Plan 2001*, 3 p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency, 2010. « Title 40, Chapter I, Subchapter H, Part 230 – Section 404 (b)(1), Subpart H – Actions to minimize adverse effects », *Code of Federal Regulation*, p. 272-274. [En ligne]. [https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-230/subpart-H].

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

USEPA, 2005. *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*, Washington, DC, USEPA, Office of Solid Waste and Emergency Response, 236 p. [EPA-540-r-05-012, OSWER 9355-0-85].

USEPA, 1999a. « Chapter 7 – Importance of turbidity », dans *Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions*, p. 7-1–7-11. [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), Longueuil, Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, vi + 49 p. [Rapport technique 16-13].

Wilber, D. H. et D. G. Clarke, 2001. « Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shelfish with relation to dredging activities in estuaries », *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 21, no 4, p. 855-875.

Ziegler, A. C., 2002. « Issues related to use of turbidity measurements as a surrogate for suspended sediment », dans *Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop*, April 30 – May 2, 2002, Reno, NV, 3 p.Anchor Environmental, 2003. Literature Review of Effects of Resuspended Sediments due to Dredging Operations, 87 p. et annexes. [Préparé pour la Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, Irvine (Californie)].

Annexe A

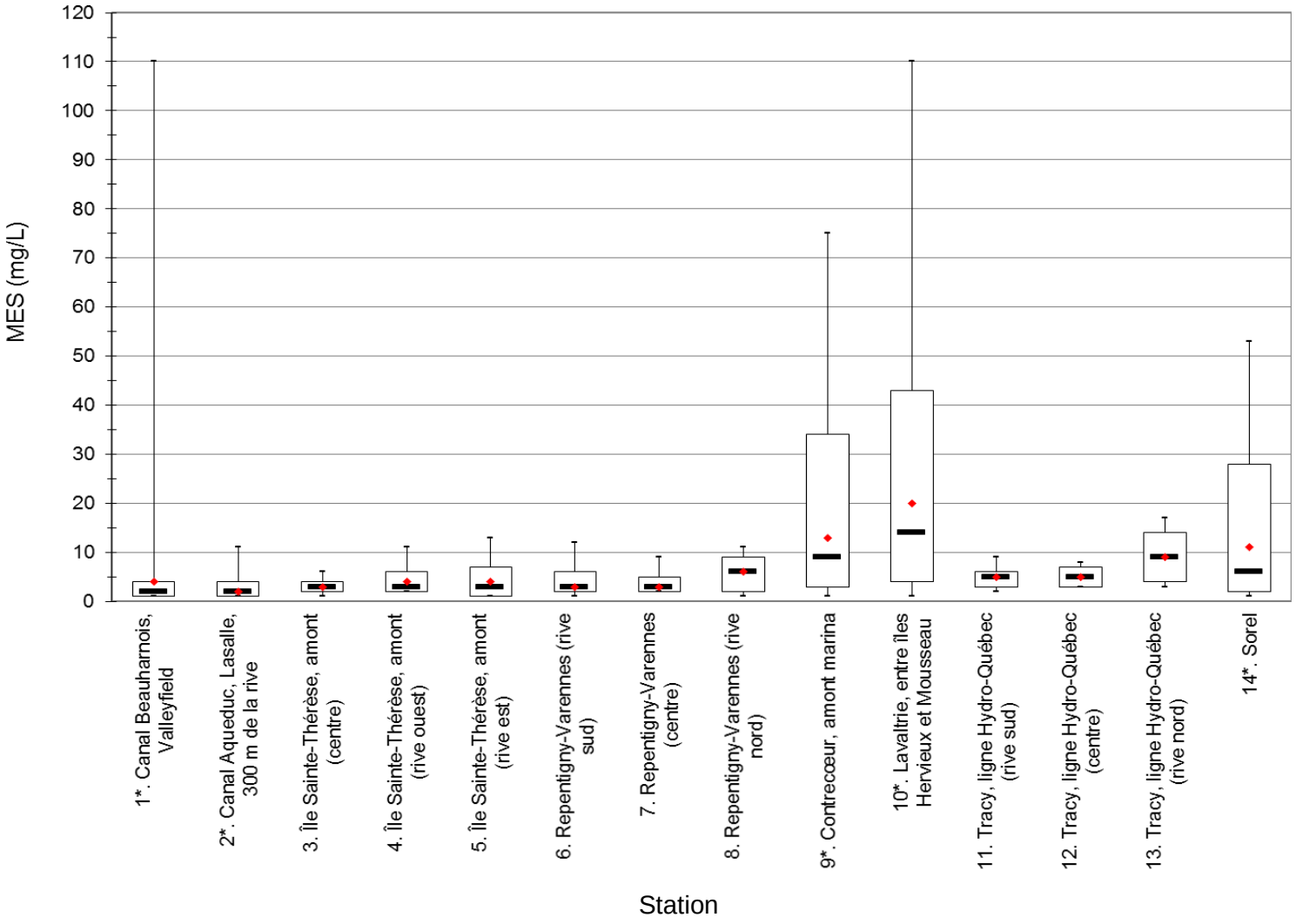
Tableau A-1 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) observées de 2003 à 2008 1 dans les divers secteurs du Saint-Laurent (MDDEP, 2010)

Secteur	N°	Station	N	Minimum	C10	Médiane	C90	Maximum	Moyenne
Tronçon fluvial	1 *	Canal Beauharnois, Valleyfield	66	1	1	2	4	110	4
	2 *	Canal Aqueduc, Lasalle, 300 m de la rive	70	1	1	2	4	11	2
	3	Île Sainte-Thérèse, amont (centre)	36	1	2	3	4	6	3
	4	Île Sainte-Thérèse, amont (rive ouest)	36	2	2	3	6	11	4
	5	Île Sainte-Thérèse, amont (rive est)	36	1	1	3	7	13	4
	6	Repentigny-Varennes (rive sud)	36	1	2	3	6	12	3
	7	Repentigny-Varennes (centre)	36	2	2	3	5	9	3
	8	Repentigny-Varennes (rive nord)	36	1	2	6	9	11	6
	9 *	Contrecœur, amont marina	63	1	3	9	34	75	13
	10 *	Lavaltrie, entre îles Hervieux et Mousseau	71	1	4	14	43	110	20
	11	Tracy, ligne Hydro-Québec (rive sud)	36	2	3	5	6	9	5
	12	Tracy, ligne Hydro-Québec (centre)	36	3	3	5	7	8	5
	13	Tracy, ligne Hydro-Québec (rive nord)	36	3	4	9	14	17	9
	14 *	Sorel	70	1	2	6	28	53	11
Estuaire fluvial	15	Trois-Rivières, pont Laviolette (rive sud)	36	3	5	7	17	56	10
	16	Trois-Rivières, pont Laviolette (centre)	36	4	5	7	18	23	9
	17	Trois-Rivières, pont Laviolette (rive nord)	36	5	6	9	19	32	11
	18	Port de Bécancour (rive sud)	36	3	4	6	16	34	9
	19	Port de Bécancour (au centre, bouée 23)	36	4	5	8	14	37	10
	20	Port de Bécancour (rive nord)	36	4	6	11	21	74	13
	21	Neuville–Saint-Antoine-de-Tilly (rive sud)	35	3	5	8	21	32	11
	22	Neuville–Saint-Antoine-de-Tilly (centre)	35	5	6	10	19	40	12
	23	Neuville–Saint-Antoine-de-Tilly (rive nord)	35	6	8	12	21	39	14
	24 *	Anse du Cap Rouge, 150 m de la rive	69	1	2	7	26	43	10
	25	Cap-Rouge, en face (rive sud)	36	5	7	10	22	34	12
	26	Cap-Rouge, en face (centre)	36	6	8	12	21	52	14
	27	Cap-Rouge, en face (rive nord)	36	3	6	10	23	27	12
	28 *	Anse aux Sauvages, Lauzon, 300 m de la rive	63	1	2	10	29	57	13
	29	Île d'Orléans, chenal sud (rive sud)	35	6	7	11	19	43	13
	30	Île d'Orléans, chenal sud (centre)	35	6	8	12	20	44	14
	31	Île d'Orléans, chenal sud (rive nord)	35	7	8	12	19	53	14
Moyen estuaire – ZTM	32	Saint-Jean-Port-Joli	15	32	36	55	170	220	81
	33	Baie-Saint-Paul	15	19	23	28	38	38	29
Moyen estuaire	34	Kamouraska	15	6	7	8	11	11	8
	35	Port-au-Persil	15	4	4	7	12	12	8
Estuaire maritime	36	Forestville	15	6	6	10	10	14	10
	37	Sainte-Luce-sur-Mer	15	6	9	10	14	16	10
Golfe	38	Capucins	14	4	4	7	9	12	7
	39	Rivière-au-Tonnerre	15	4	4	8	12	27	9
	40	Rivière-la-Madeleine	15	3	4	7	8	11	6
	41	Cap-d'Espoir	15	4	5	7	11	12	8
	42	Paspébiac	15	3	4	8	10	11	8
	43	Maria	15	3	4	6	9	10	6

[1] Aux stations principales (*) : échantillonnage une fois par mois (1 échantillon par station), 12 mois par année, de janvier 2003 à décembre 2008.
Aux stations secondaires (1 à 31 sauf *) : échantillonnage une fois par mois (1 échantillon par station), 6 mois par année (de mai à octobre), de 2003 à 2008.
Aux stations 32 à 43 : échantillonnage une fois par année (5 échantillons par station) en juillet 2003, 2004 et 2005

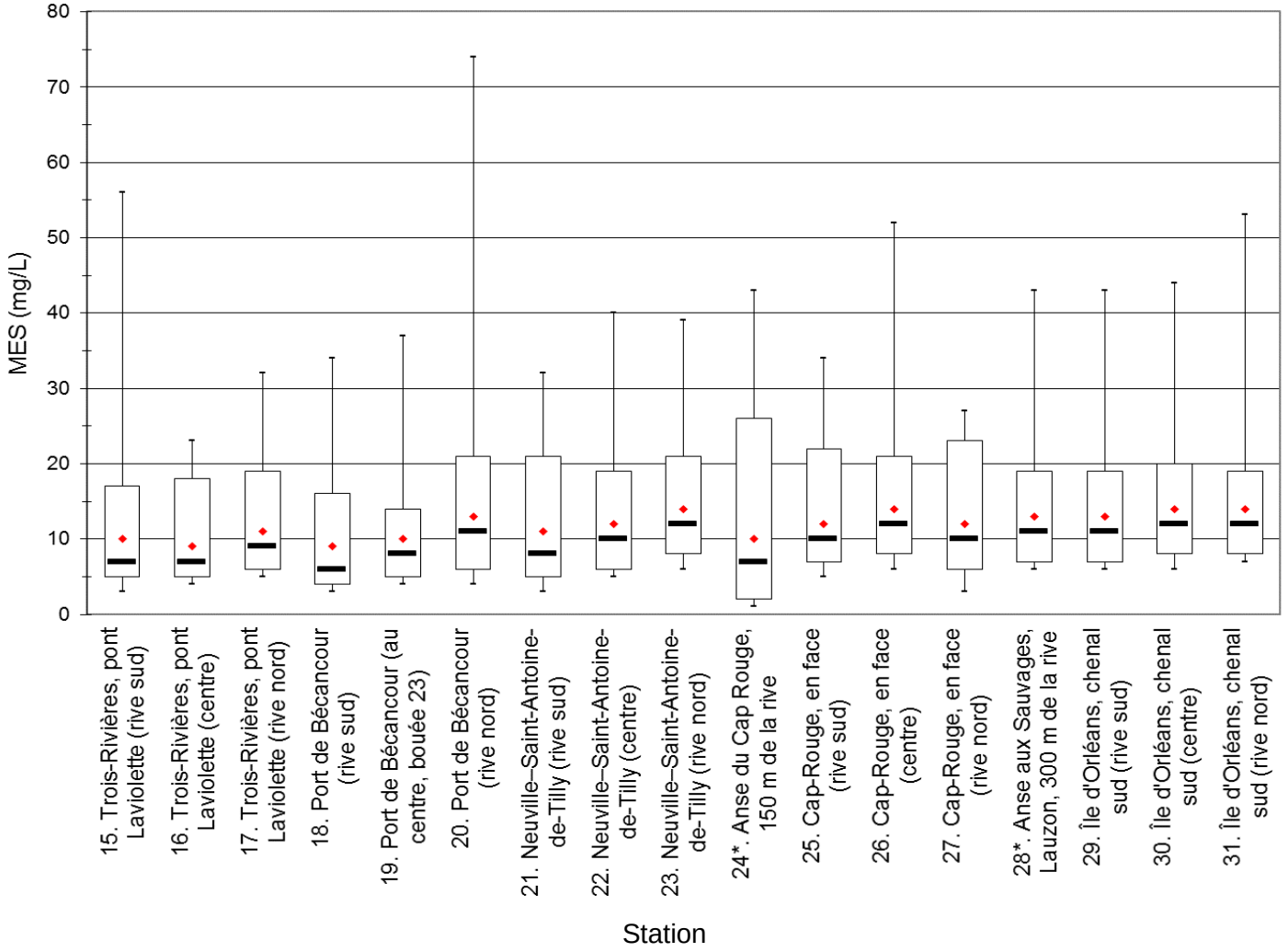
Annexe B

Tableau B-1 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) observées de 2003 à 2008 dans le tronçon fluvial (MDDEFP, 2010)



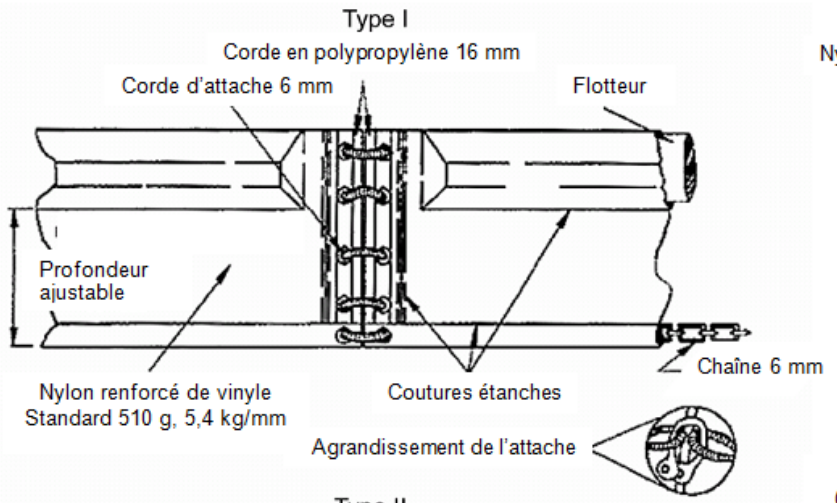
Annexe C

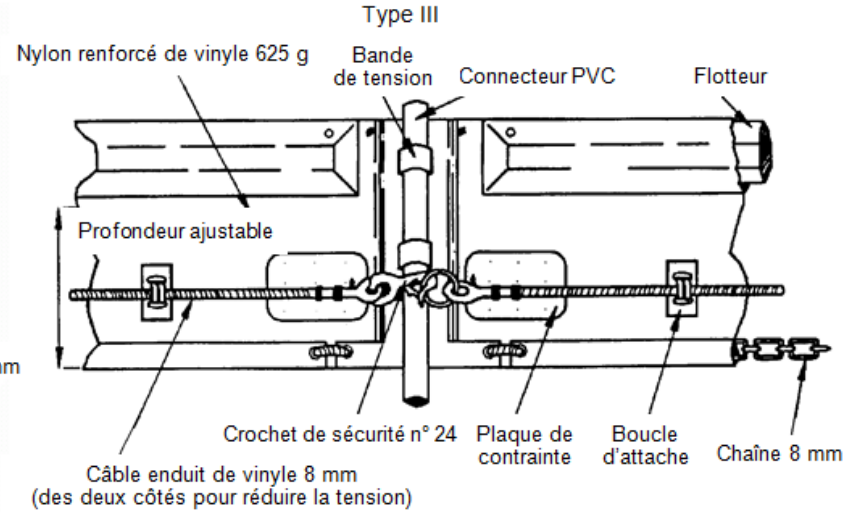
Tableau C-1 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) observées de 2003 à 2008 dans l'estuaire fluvial (MDDEFP, 2010)

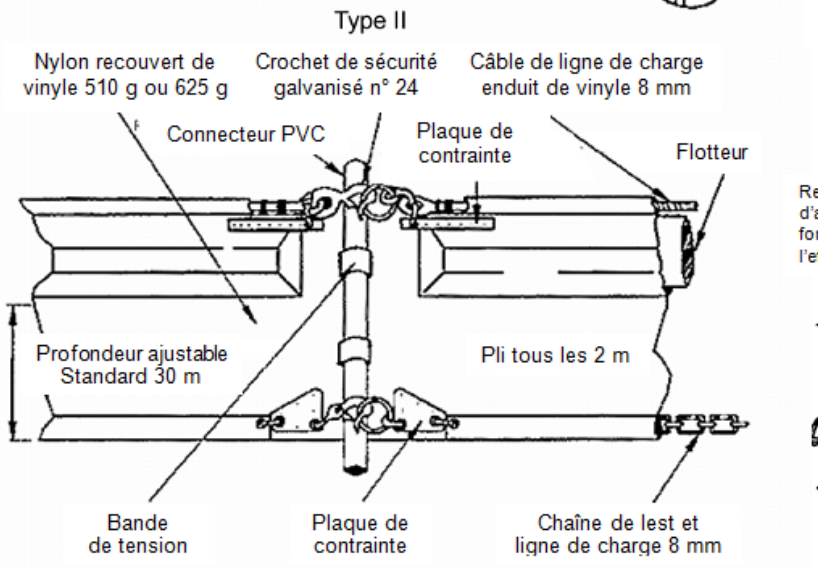


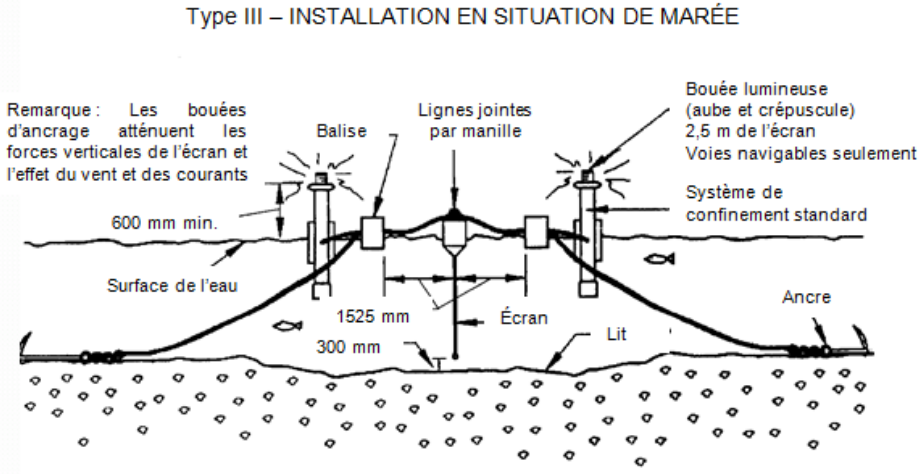
Annexe D

Tableau D-1 : Écrans protecteurs de type I, II et III (tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 et USACE, 1997)









Environnement et
Changement climatique Canada

Environment and
Climate Change Canada

Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques

Québec