



Document de travail– avril 2013

Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
Et Environnement Canada

Canada 

Québec 

Ce document doit être cité de la façon suivante :

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec et Environnement Canada, 2013. *Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre*, X p.

Photographie de couverture : Claude Brassard, Pêches et Océans Canada

Document de travail

Équipe de réalisation

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la faune et des Parcs du Québec

- **Aurélié Mutz**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Lise Boudreau**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Isabelle Guay**, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Service des avis et des expertises – Milieu aquatique
- **Pierre Michon**, Direction des évaluations environnementales, Service des projets en milieu hydrique

Environnement Canada

- **Julien Gravière**, Division des activités de protection de l'environnement
- **Serge Lepage**, Division 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

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune

- **Daniel Hatin**, Direction de la recherche sur la faune

Commentaire [LB1]: À vérifier

COLLABORATION

Université de Sherbrooke :

- **Vincent Escher**, étudiant à la Maîtrise en Environnement
- **Hélène Houde**, étudiant à la Maîtrise en Environnement
- **Dominique Robert-Dubord**, étudiant à la Maîtrise en Environnement
- **Philippe Thibert-Leduc**, étudiant à la Maîtrise en Environnement

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec :

- **Serge Hébert**, Direction du suivi de l'état de l'environnement
- **Hélène Dufour**, Direction du suivi de l'état de l'environnement
- **André Lachance**, Direction régionale de la Capitale-Nationale, *Centre de contrôle environnemental du Québec* :

Commentaire [LB2]: Ou placer dans les remerciements. À voir.

RÉVISION LINGUISTIQUE ET TRADUCTION

- Version française,
- Version anglaise,

Remerciements

L'équipe de travail désire remercier les personnes suivantes :

Mario Bérubé, Danielle Pelletier et Sylvie Legendre (MDDEFP, DSÉE) pour les données sur les teneurs ambiantes en MES (BQMA), Lise Richard (MDDEFP, DSÉE) pour la cartographie, Martine Gélinau (MDDEFP, DSÉE) pour avoir pris part à la réflexion sur la définition des balises ;

Claude Brassard et Pascal Tremblay (Pêches et Océans Canada, Protection de l'habitat du poisson, hydroélectricité, navigation et milieu marin) pour les informations concernant la protection de la faune aquatique et des mammifères marins en particulier ;

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

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

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

Susan Roe (Environnement Canada, Bureau national des recommandations et des normes) pour ses compléments d'information sur la démarche de Caux *et al.* (1997).

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

Commentaire [LB3]: Je ne suis pas sûre que c'est pertinent de mettre ces deux noms dans les remerciements. À discuter lors de notre réunion

Avant-propos

Cette publication a été réalisée par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEFP) et Environnement Canada (EC) avec le soutien du Comité de Concertation Navigation. Elle s'inscrit parmi les outils de gestion des activités de dragage que développent conjointement EC et le MDDEFP en accord avec la Stratégie de navigation durable.

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

La prise en compte des effets des activités de dragage sur l'habitat du poisson est l'une des 17 recommandations du GTGIDS (2004). L'augmentation des teneurs en matières en suspension (MES) dans la colonne d'eau et son impact sur la vie aquatique constituent l'une des principales problématiques associées aux activités de dragage et de rejet en eau libre. L'un des deux comités ayant succédé au GTGIDS, soit le Comité de concertation de la recherche sur le dragage (CCRD), s'est vu confier le mandat de développer le cadre scientifique requis pour établir les balises de gestion des MES associées aux activités de dragage.

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

Il est à noter que le document ne traite pas des sédiments contaminés mais procure des balises pour minimiser l'impact de la mise en suspension des sédiments sur la vie aquatique. Pour la gestion des sédiments contaminés, il est recommandé de consulter le document *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration* (EC et MDDEP, 2007).

Résumé

Le fleuve Saint-Laurent est un écosystème complexe dont les propriétés physiques changent d'amont en aval. Inaugurée en 1959, la voie navigable du Saint-Laurent permet aux navires de haute mer de joindre l'Océan Atlantique aux Grands Lacs, sur une distance de plus de 3 200 km. Pour garantir des conditions de navigation sécuritaires, plus de 450 000 m³ de sédiments sont dragués chaque année dans le Saint-Laurent. Une des préoccupations principales 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 adoptés par le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec pour limiter les concentrations en MES dans le milieu aquatique sont utilisés principalement pour la gestion des rejets d'effluents dans les eaux de surface. L'analyse des teneurs ambiantes en MES observées dans le fleuve Saint-Laurent et des concentrations en MES mesurées en situation de dragage a permis de définir des balises spécifiques à la gestion des MES liées aux activités de dragage.

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

À long terme, les balises de gestion des MES devraient être complétées par divers outils de gestion des activités de dragage sur le Saint-Laurent. Il serait notamment intéressant d'établir une cartographie du Saint-Laurent permettant aux différents acteurs du dragage d'avoir une vue d'ensemble des enjeux sociaux, économiques et environnementaux liés aux activités de dragage.

Abstract

Commentaire [LB4]: Je n'ai pas revu l'abstract. Si quelqu'un a envie de revoir cette section, ce serait bienvenu. Sinon, il faudra de toute façon faire traduire le document, je crois bien.

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

So far, the quality criteria used by the Ministry of Sustainable Development, Environment and Parks of Quebec to limit the concentration of TSS in the aquatic environment apply only to the management of effluent discharges in surface waters. Analysis of ambient concentrations of TSS observed naturally in the St. Lawrence and SPM concentrations measured under conditions of dredging has identified specific tags in the management of TSS related to dredging activities.

In clear water flow, which ambient levels of SPM are generally below 25 mg/L, TSS concentrations measured at 100 meters of the dredge or disposal site shall not exceed ambient levels by more than 25 mg/L on average during the daily dredging period or over a period of 6 consecutive hours if the dredging is ongoing. In turbid water flow, which ambient levels of SPM are higher than 25 mg/L, this tag has to twice ambient levels of SPM at 100 meters from the dredge or disposal site. It is supplemented by a beacon at 300 meters of the dredge or disposal site, where the SPM concentrations shall not exceed ambient levels by more than 25 mg/L averaged over the daily dredging period or over a period of 6 consecutive hours if dredging is ongoing. These tags management are complemented by a set of tags associated with the protection of areas and sensitive aquatic species as well as industrial, commercial or recreational uses.

On the long view, TSS tags management should be supplemented by various management tools of dredging on the St. Lawrence. It would be interesting to establish a map of St. Lawrence to allow the various protagonists in the dredging of having an overview of social, economic and environmental issues related to dredging activities.

Table des matières

Équipe de réalisation	iii
Remerciements	iv
Avant-propos	v
Résumé	vi
Abstract	vii
Table des illustrations.....	x
Abréviations	xii
Introduction	1
1 La problématique des matières en suspension (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 <i>et al.</i> , 1997).....	9
2 Les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent	11
2.1 Le Saint-Laurent : un système hydrodynamique complexe	11
2.2 Les teneurs ambiantes en MES	14
2.2.1 Répartition spatiale des teneurs en MES.....	16
2.2.2 Évolution temporelle des teneurs en MES dans le tronçon et l'estuaire fluvial	18
3 Les MES associées aux activités de dragage	21
3.1 La gestion actuelle des MES liées aux activités de dragage	Erreur ! Signet non défini.
3.2 Les concentrations en MES observées lors des travaux dragage	25
3.3 Les facteurs influençant le comportement des MES lors du dragage.....	Erreur ! Signet non défini.
4 Les balises de gestion des MES et leur application	30
4.1 Les balises de gestion des MES adaptés au dragage.....	31

4.2	Les modalités d'échantillonnage et de mesure.....	33
4.2.1	La turbidité comme indicateur des teneurs en MES	33
4.2.2	Le suivi sur le terrain.....	38
5	Les mesures d'atténuation.....	40
5.1	Les bonnes pratiques de dragage.....	40
5.2	Les performances environnementales des dragues	Erreur ! Signet non défini.
5.3	Les écrans protecteurs	42
	Conclusion.....	46
	Références	48
	Annexes.....	58

Document de travail

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts.....	13
Figure 2 : Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'Île d'Orléans	14
Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage	15
Figure 4 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) pour le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial.....	16
Figure 5 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour le tronçon fluvial.....	19
Figure 6 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour l'estuaire fluvial.....	20
Figure 7 : Influence de la granulométrie sur la relation turbidité – MES	35
Figure 8 : Schéma d'un écran protecteur, tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005	42
Figure 9 : Configurations typiques des écrans protecteurs	43
Figure 10 : Utilisation d'un écran protecteur dans le cas d'un rejet en eau libre par conduite de rejet.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux effets des MES sur le milieu aquatique.....	3
Tableau 2 : Effets des MES sur trois espèces de salmonidés et sur les invertébrés benthiques	6
Tableau 3 : Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique relatifs aux MES (et à la turbidité).....	7
Tableau 4 : Échelle de gravité des effets néfastes associés aux MES, sur les poissons.....	8
Tableau 5 : Données relatives aux six modèles de gravité des effets néfastes associés aux MES ..	9
Tableau 6 : Caractéristiques de l'échantillonnage 2003-2008	14
Tableau 7 : Gestion actuelle des MES liées aux activités de dragage dans le fleuve Saint-Laurent	23
Tableau 8 : Concentrations en MES mesurées lors des suivis des projets de dragage	26
Tableau 9 : Concentrations en MES mesurées aux intervalles de distance d de la drague : $d \leq 50$ m, $50 < d \leq 100$ m, $100 < d \leq 150$ m et $d > 150$ m	28

Tableau 10 : Paramètres à considérer lors des opérations de dragage et de rejet en eau libre	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 11 : Balises de gestion des MES liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre ..	32
Tableau 12 : Principaux facteurs influençant la valeur de la turbidité mesurée.....	34
Tableau 13 : Exemples de variabilité temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR en % de lumière diffusée) et la concentration en MES (mg/L), pour un même site	35
Tableau 14 : Exemples de variabilité spatio-temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR) en UTN et la concentration en MES en mg/L (sauf indications contraires)	36
Tableau 15 : Mesures d'atténuation envisageables pour les projets de dragage et de rejet en eau libre.....	41
Tableau 16 : Principaux facteurs influençant l'efficacité des écrans protecteurs	42

Document de travail

Abréviations et acronymes

CCME	Conseil canadien des ministres de l'Environnement
CCRD	Comité de concertation de la recherche sur le dragage
CEAEQ	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
CPEED	Comité de planification et d'évaluation environnementale du dragage
CSL	Centre Saint-Laurent
EC	Environnement Canada
GEN	Gravité des effets néfastes
GTGIDS	Groupe de travail sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments
IADC	International Association of Dredging Companies
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la faune et des Parcs
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MES	Matières en suspension
MPO	Ministère des Pêches et Océans
OBS	Optical Backscatter Sensor
USACE	United States Army Corps of Engineers
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UTN	Unité de turbidité néphélométrique
ZTM	Zone de turbidité maximale

Introduction

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

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

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

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

Pourtant indispensables à la navigation, les activités de dragage ne sont pas sans conséquences sur la vie aquatique. L'une des principales préoccupations à cet égard concerne l'augmentation temporaire des teneurs en matières en suspension (MES) causés par les travaux de dragage. À des concentrations élevées et/ou lors d'une exposition prolongée, les MES peuvent avoir des effets néfastes sur les espèces les plus sensibles. La sévérité de ces effets peut être variable, allant de

simples changements comportementaux jusqu'à la mort, en passant par des modifications physiologiques (Bilotta et Brazier, 2008 ; Wilber et Clarke, 2001).

Pour la protection de la vie aquatique contre les effets aigus et chroniques des MES, le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) a adopté les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (MDDEP, 2010b, 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 générés par la remise en suspension des sédiments présents dans le lit du cours d'eau plutôt que par un rejet extérieur et leur dispersion en aval des travaux dépendent non seulement des conditions hydrodynamiques et climatiques mais aussi de facteurs opérationnels liés au dragage. C'est pourquoi, il est nécessaire de déterminer des balises de gestion des MES spécifiques aux activités de dragage afin de s'assurer que les meilleures pratiques soient mises en place pour réduire au minimum les impacts des MES sur le biote aquatique.

Chapitre 1

La problématique des matières en suspension

1.1 Les effets des matières en suspension sur la vie aquatique

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

L'augmentation des matières en suspension dans l'eau provoque généralement une augmentation de la turbidité de l'eau. La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent; qu'il s'agisse de substances dissoutes qui colorent l'eau, comme les acides humiques, ou de particules en suspension de diamètres variables. La mesure de 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 déviation ou l'absorption de la lumière (Wetzel, 1975 dans CCME, 2002). Les effets de la turbidité sur le milieu aquatique sont liés à la diminution de la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Une turbidité élevée réduit la photosynthèse et la capacité des poissons et des autres organismes aquatiques à voir et à saisir leur nourriture. À long terme, les effets indirects de la turbidité se répercutent sur l'ensemble de la chaîne trophique (diminution de la productivité primaire et secondaire) et entraînent une inhibition de croissance des organismes touchés (CCME, 2002).

Outre les effets liés à la turbidité, l'augmentation des matières en suspension entraîne des effets directs sur les organismes aquatiques, notamment par l'abrasion des organes photosynthétiques et respiratoires, l'obstruction des branchies et le délogement ou l'étouffement des organismes benthiques ou des œufs. Les matières en suspension qui se déposent au fond de l'eau rendent le substrat instable et peuvent colmater le lit du cours d'eau et entraîner la dégradation ou la destruction des microhabitats. Ces impacts sur le milieu physique ont des répercussions sur la vie aquatique (tableau 1). Certaines espèces de poissons sont particulièrement affectées par la dégradation de leur habitat causé par l'envasement et l'augmentation de la turbidité. Ce serait le cas notamment de plusieurs espèces de la famille des Catostomidés (Vachon, 2003), dont fait partie le chevalier cuivré (*Moxostoma hubbsi*), une espèce menacée 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 pourrait être sensible à ces perturbations. Reproducteur lithophile et benthophage spécialisé, il présente des caractéristiques similaires à d'autres espèces connues pour être affectées par l'envasement et l'accroissement de la turbidité (Vachon, 2003).

Tableau 1 : Principaux effets des MES sur le milieu aquatique
(adapté de Esher *et al.*, 2010 ; d'après Bilotta et Brazier, 2008 ; CCME, 2002 et Wilber et Clarke, 2001)

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

Facteurs influençant les effets des MES sur le milieu aquatique

Les effets des MES sur le milieu aquatique dépendent de nombreux facteurs tels que les caractéristiques intrinsèques des particules, les conditions hydrodynamiques et physico-chimiques du milieu, la vulnérabilité des espèces présentes ainsi que la concentration en MES et la durée d'exposition.

Caractéristiques intrinsèques des particules

Le diamètre, la densité et les propriétés chimiques des particules en suspension, notamment leur capacité à flocculer, conditionnent leur vitesse de sédimentation, conjointement aux variantes du milieu. Ainsi, les particules d'argile et de limon, de diamètre inférieur à 62 µm, sont plus lentes à se déposer que des particules plus grossières. Leur vitesse de sédimentation varie généralement de moins de 0,01 à 3 mm/s et leur temps de séjour élevé dans la colonne d'eau favorise leur transport vers l'aval du cours d'eau (CCME, 2002). Par conséquent, ces particules fines qui demeurent plus longtemps en suspension dans l'eau auront un impact à plus

long terme que les sédiments grossiers qui sédimentent rapidement (Bilotta et Brazier, 2008). À l'inverse, les MES organiques contenant des nutriments comme le phosphore sont rapidement assimilés 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).

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 fins à très fins), sont plutôt associées directement à l'abrasion des organes respiratoires (Newcombe et Jensen, 1996).

Conditions hydrodynamiques et physico-chimiques du milieu

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

Vulnérabilité des espèces présentes

La sévérité des effets varie selon les espèces présentes dans le milieu et des fonctions biologiques vitales qui les différencient (mobilité, mode d'alimentation, stade de croissance, reproduction, etc.). Certaines espèces, notamment estuariennes, sont plus tolérantes à de fortes concentrations en MES puisqu'elles y sont adaptées. En effet, dans les milieux estuariens, les teneurs en MES sont naturellement plus élevées que dans les autres habitats (Pye, 1994). Les poissons de fond remettent eux-mêmes les sédiments en suspension lorsqu'ils fouissent dans le substrat à la recherche de nourriture ; ils doivent donc être relativement tolérants à des concentrations élevées en MES. Certains organismes tirent profit de la présence des MES en tant qu'apport nutritif supplémentaire (Clarke et Wilber, 2000). La présence continue d'une quantité élevée de MES peut provoquer un changement dans la biodiversité, favorisant des espèces plus tolérantes au détriment des espèces plus fragiles. Par exemple, dans les cours d'eau affectés par une charge importante de MES, les taxons dominants comme les Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) peuvent être remplacés par d'autres taxons de l'assemblage benthique moins sensibles aux MES (USEPA, 2006).

Les effets les plus néfastes se font ressentir sur les organismes à mobilité réduite ou nulle, plus vulnérables à l'enfouissement et à l'étouffement par les particules qui se déposent sur le lit du cours d'eau. Le comportement d'évitement du panache de sédiments en suspension provoqué par

les activités de dragage ou le rejet en eau libre est fréquent chez les poissons adultes. En revanche, les larves, les œufs et les communautés fixes (invertébrés benthiques, coraux et plantes aquatiques) ne peuvent se déplacer aussi facilement que les poissons et subissent davantage les impacts de l'augmentation de la concentration en MES (CCME, 2002).

La tolérance des organismes aquatiques aux MES varie également selon le stade de développement biologique. Pour les poissons dont la reproduction dépend de la qualité des frayères, le succès reproducteur risque de subir une diminution importante si l'augmentation des MES survient à la période d'incubation, entraînant une hausse du taux de mortalité des œufs. Le même phénomène est observable chez les invertébrés aquatiques, les premiers stades de vie étant plus durement touchés que le stade adulte par la décantation d'un apport supplémentaire en particules (Bilotta et Brazier, 2008).

Durée de l'exposition et concentration des MES

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

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

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

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

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

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

Pour la protection de la vie aquatique, le MDDEFP a adopté des critères de qualité relatifs aux MES et à la turbidité (tableau 3) dans les eaux de surface (MDDEP 2010b). Ces critères de qualité sont notamment utilisés pour établir, en fonction de la sensibilité du milieu, des objectifs de rejet pour les effluents d'eaux usées afin de limiter les apports en MES dans le milieu récepteur.

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

Tableau 3 : Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique relatifs aux MES (et à la turbidité) (MDDEP, 2010b)

	Effet aigu	Effet chronique
En eau limpide	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation maximale de 25 mg/L (8 UTN) par rapport à la concentration de fond 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne maximale de 5 mg/L (2 UTN) par rapport à la concentration de fond
En eau turbide		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation maximale en tout temps de 25 mg/L (8 UTN) par rapport à la concentration de fond lorsque celle-ci se situe entre 25 et 250 mg/L (entre 8 et 80 UTN) Augmentation de 10 % par rapport à la concentration de fond lorsque celle-ci est supérieure à 250 mg/L (supérieure à 80 UTN) mesurée à un moment donné

Les critères de qualité du MDDEFP correspondent aux Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux relatives aux matières particulaires totales (CCME, 1999, mis à jour en 2002), elles-mêmes basées en majeure partie sur les critères de qualité de l'eau relatifs à la turbidité et aux sédiments développés par Caux. *et al* (1997) pour le Ministère de l'Environnement de Colombie-Britannique.

Pour élaborer ces critères de qualité, Caux *et al.* ont utilisé l'approche de la gravité des effets néfastes (GEN) développée par Newcombe et Jensen (1996), basée sur le concept que les effets des MES sur la vie aquatique augmentent avec la concentration et la durée d'exposition.

1.2.1 Le modèle de Newcombe et Jensen (1996)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

^e Corrigé en fonction des degrés de liberté

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

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

La démarche développée par Caux *et al.* (1997) pour établir des critères de qualité de l'eau de surface pour la Colombie-Britannique consiste à déterminer la valeur de l'augmentation de la concentration de sédiments en suspension 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 une faible augmentation de la concentration en MES aura un effet important sur les organismes aquatiques. Le groupe taxonomique qui présente la plus forte pente est considéré comme le groupe le plus sensible à l'augmentation des MES.

Concrètement, Caux *et al.* (1997) ont réalisé des tests d'ajustement (à savoir le test G, alternative au test du χ^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 taxonomiques¹ (Newcombe, 1997). Les variables entrant dans ces modèles sont : log concentration, log durée d'exposition et indice GEN. Les analyses effectuées par Caux *et al.* les conduisent à considérer que le modèle sigmoïde LOG-Weibull permet une meilleure qualité d'ajustement que le modèle Log-linéaire utilisé par Newcombe et Jensen. Par une série de régression linéaires effectuées sur les paramètres concentration-réponse à onze durées d'expositions différentes, les auteurs ont mis en évidence que la plus forte pente de la relation concentration-réponse est obtenue à 24 h et 48 h d'exposition pour le groupe 2, soit les salmonidés adultes d'eaux douces. Le groupe 2 est donc jugé le plus sensible aux variations de concentration en sédiments en suspension pour une durée donnée (pour plus de détails sur la démarche analytique, consulter Caux *et al.*, 1997).

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

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

¹ Outre les six groupes taxonomiques présentés au tableau 5, les modèles intègrent le groupe *Invertébrés aquatiques* et le groupe *Invertébrés aquatiques + flore aquatique* définis par Newcombe en 1997.

Chapitre 2

Les teneurs ambiantes en MES dans le Saint-Laurent

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

2.1 Le Saint-Laurent : un système hydrodynamique complexe

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

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

marine de plus de 350 mètres de profondeur qui s'ouvre sur le saint-Laurent. Les teneurs ambiantes en MES dans ce secteur varient en fonction de la stratification des masses d'eau, mais elles sont généralement inférieures à 3 mg/L (figure 1).

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

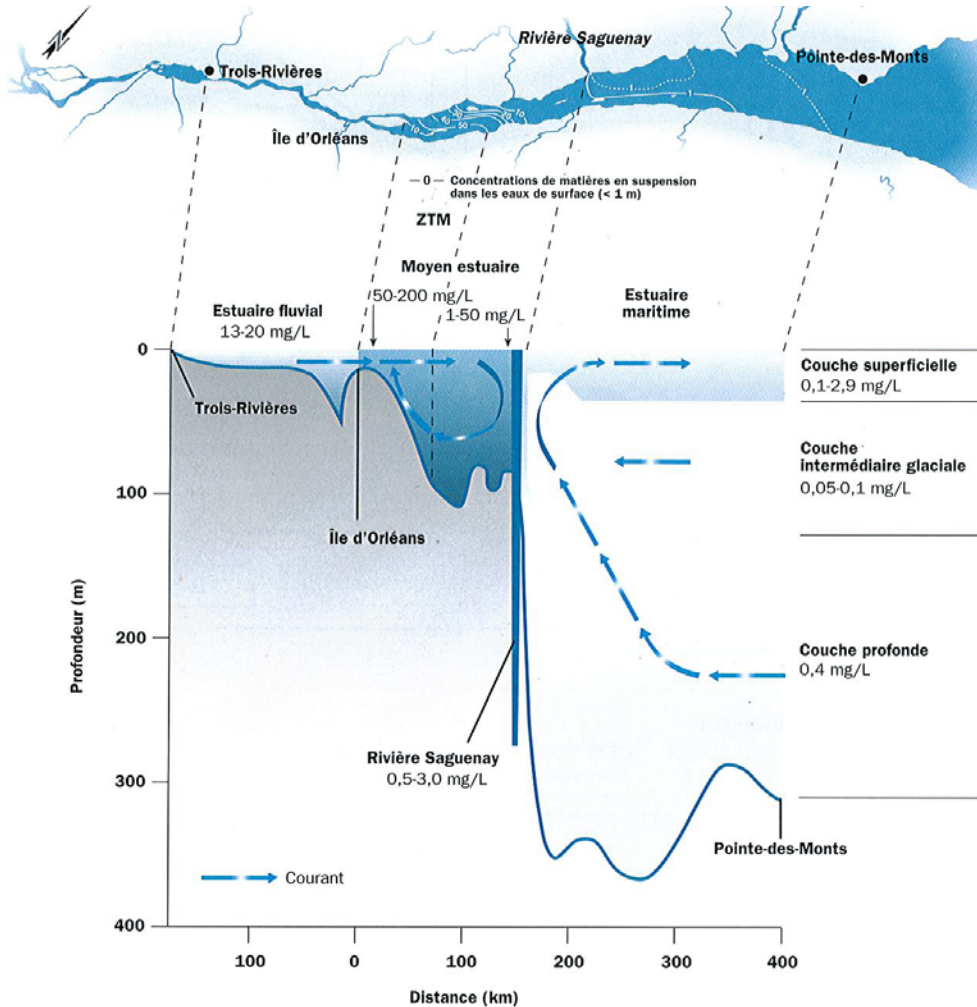


Figure 1 : Teneurs ambiantes en MES entre Trois-Rivières et Pointe-des-Monts (tiré de CSL, 1997)

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

Le transport et la dispersion des MES dans le fleuve et le long des rives sont conditionnés par le déplacement de ces masses d'eau. Le long de leur parcours, les tributaires et les eaux du fleuve se chargent en MES dont les caractéristiques physico-chimiques sont liées à l'occupation du

territoire. Au niveau de Québec, les tributaires de la rive sud, occupée principalement par des terres agricoles, contribuent à 19 % de la charge sédimentaire, contre 13 % pour les tributaires de la rive nord (Rondeau *et al.*, 2000), qui est plus urbanisée.

2.2 Les teneurs ambiantes en MES

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

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

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

Remarque : Le seuil de détection de la méthode analytique utilisée (voir CEAEQ, 2009b et 2008) est de 3 mg/L (MDDEP, 2010a).

Commentaire [d5]: échantillon intégré ?

Lise : je vais vérifier cela.

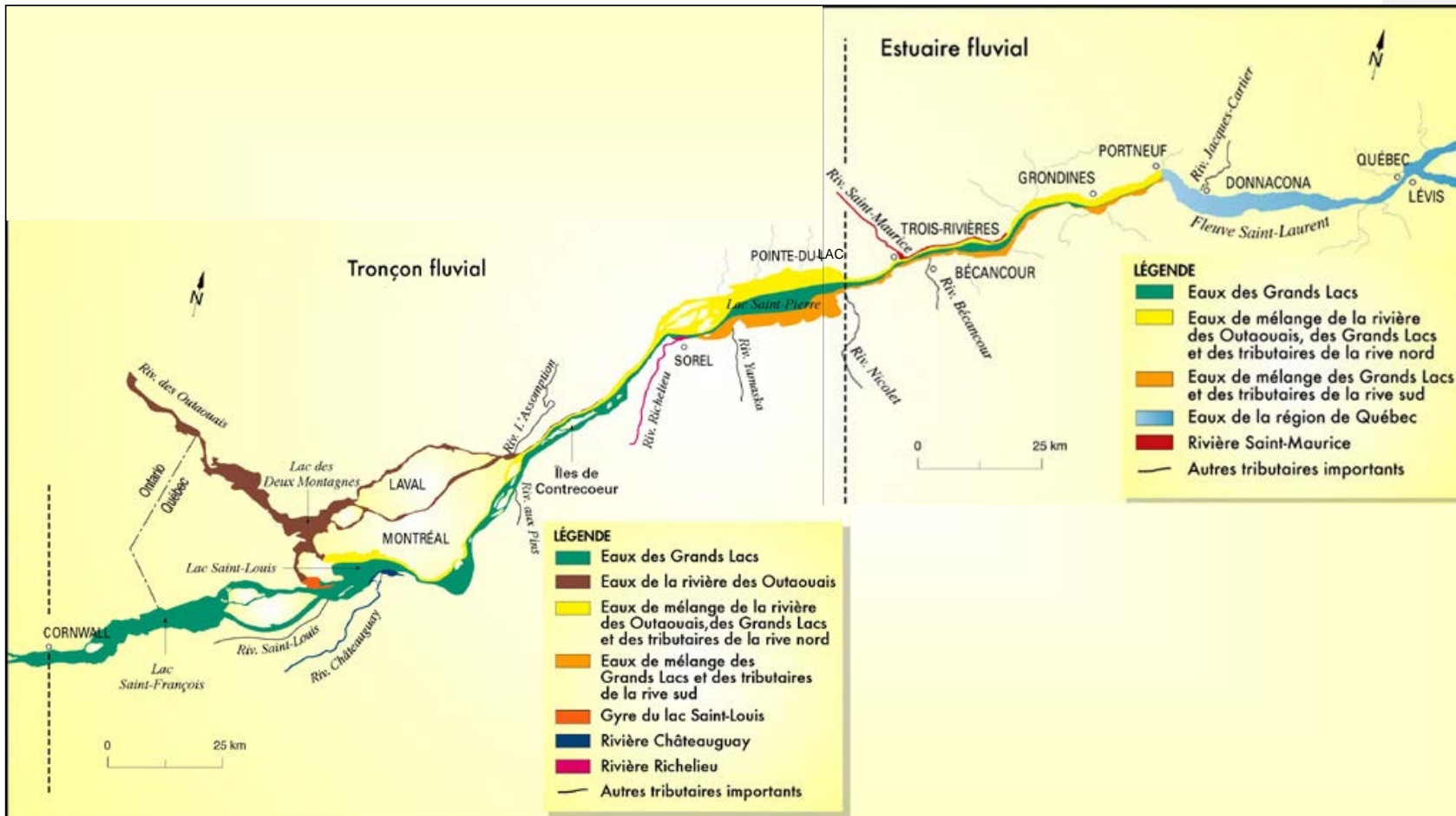


Figure 2 : Masses d'eau du Saint-Laurent entre Cornwall et l'Île d'Orléans (adapté de EC, 2012)

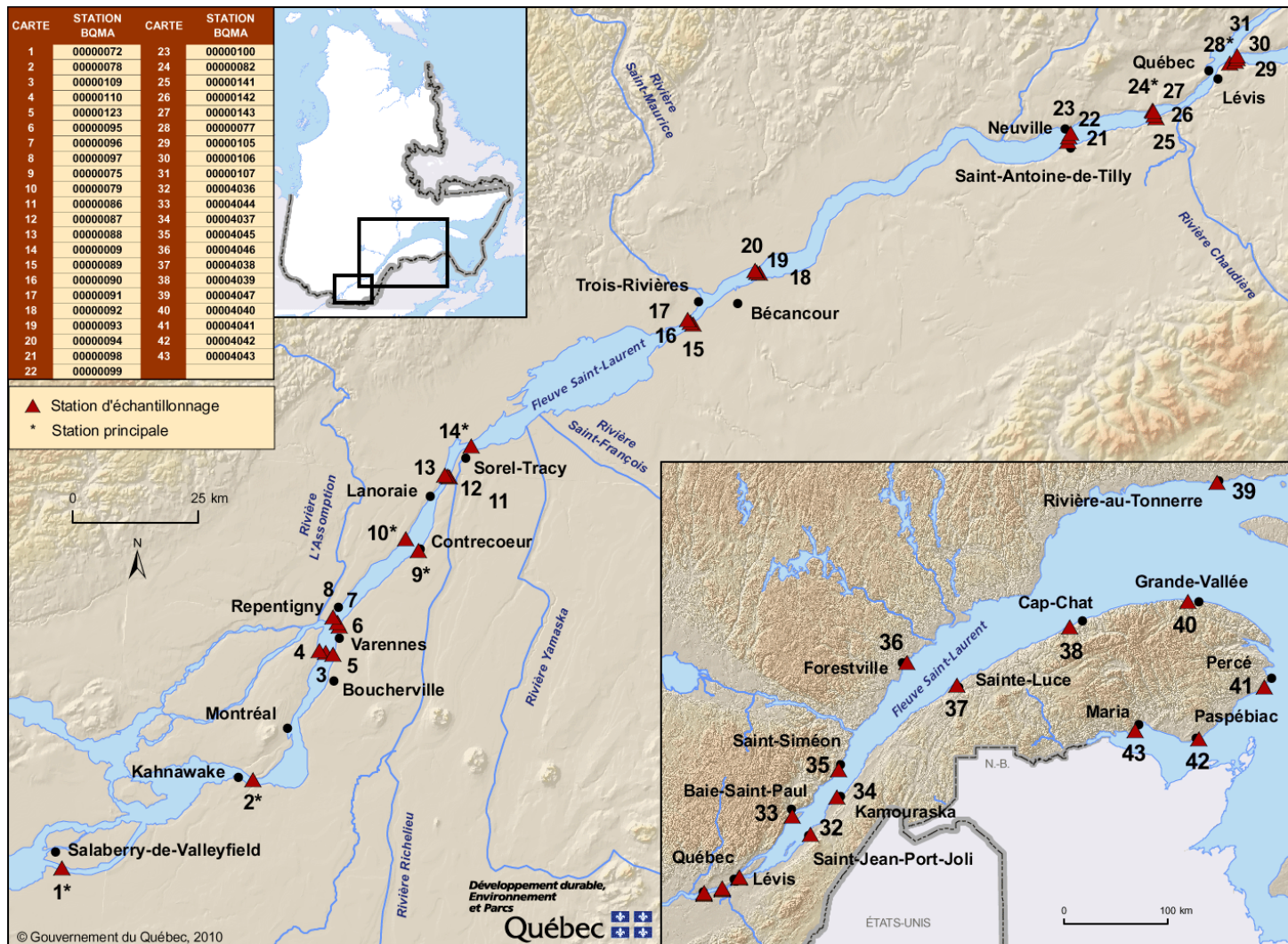


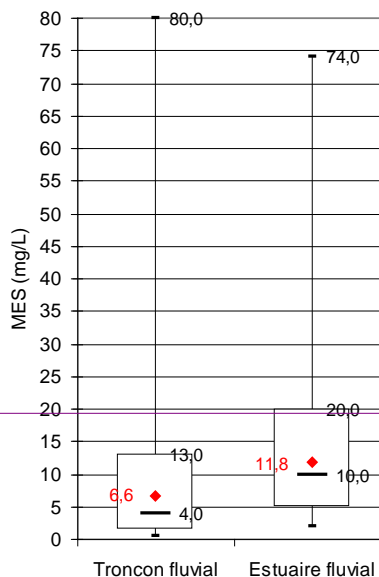
Figure 3 : Localisation des stations d'échantillonnage (d'après MDDEP, 2010a)

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 fluvial². La valeur médiane des concentrations en MES observées dans l'estuaire fluvial, de mai à octobre, est de 10,0 mg/L alors qu'elle est de 4,0 mg/L dans le tronçon fluvial, situé en amont. Outre l'érosion des rives et le ruissellement, c'est surtout l'apport des tributaires qui explique ce phénomène. En effet, entre Sorel-Tracy (tronçon fluvial) et Trois-Rivières (estuaire fluvial), le fleuve reçoit, en rive sud, les eaux des quatre rivières les plus chargées en MES au Québec (Pelletier, 2010 – communication personnelle; Rondeau *et al.*, 2000), à savoir les rivières Richelieu, Saint-François, Yamaska et Nicolet (figures 2 et 3).

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



Commentaire [d6]: Ajouter ce tributaire sur la figure 2.

Lise : Si c'est vraiment nécessaire, ça va demander l'aide d'un graphiste. La figure initiale, qui provient d'EC, est ainsi faite. Par contre la rivière Saint-François apparaît sur la figure 3. À voir.

Figure 4 : Teneurs ambiantes en MES (mg/L) pour le tronçon fluvial et l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010a. Seules les données de mai à octobre 2003 à 2008 ont été utilisées.)

Moyen estuaire et Estuaire maritime

En aval de l'Île d'Orléans, les données recueillies par la BQMA (annexe A) sont peu nombreuses et ne procurent pas d'information sur les variations annuelles observables dans l'estuaire et le golfe. Bien que ce faible nombre de données (3) ne permette pas de dégager un portrait des teneurs ambiantes de ces secteurs, il est possible de constater que les concentrations mesurées aux stations 32 (Saint-Jean-Port-Joli) et 33 (Baie Saint-Paul) (figure 2), situées dans la zone de mélange des eaux, présentent de fortes concentrations en MES qui peuvent atteindre 220 mg/L (annexe A). Lorsque l'eau douce du fleuve rencontre l'eau salée plus dense provenant de l'estuaire maritime, il se crée dans le moyen estuaire un courant descendant vers l'amont. En raison de la bathymétrie du moyen estuaire, ce courant de fond remonte à la surface dans le secteur de la pointe est de l'Île d'Orléans (figure 1), entraînant avec lui les sédiments ainsi remis en suspension (Caux *et al.*, 1997; CSL, 1997). À ce phénomène appelé « upwelling » viennent s'ajouter la floculation des particules, l'asymétrie des marées et la circulation cyclonique des eaux (d'Anglejan, 1981; Kranck, 1979; Silverberg et Sundby, 1979). La zone de turbidité maximale (ZTM) résultante s'étend jusqu'en aval de l'Isle-aux-Coudres sur la rive sud. Toutefois, elle se déplace au gré des marées et des variations saisonnières du débit fluvial. Les

² 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). Les résultats sont présentés sous forme de diagrammes de type boxplot avec : minimum, 10^e centile, médiane, 90^e centile et maximum. La moyenne a également été ajoutée (point rouge).

données rapportées dans la littérature indiquent que les teneurs ambiantes en MES dans la zone de turbidité maximale sont de l'ordre de 50 mg/L à plus de 200 mg/L (d'Anglejan, 1981).

Document de travail

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

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

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

Outre les crues printanières, le ruissellement et l'érosion des rives sont responsables d'un apport important en charge sédimentaire dans le Saint-Laurent. Au niveau de Québec, 65 % de la charge sédimentaire est associée à l'érosion du lit et des berges du Saint-Laurent (Rondeau *et al.*, 2000). En outre, dans l'estuaire fluvial, d'intenses courants de fond générés par des marées de forte amplitude balayent les sédiments fins, entraînant une hausse des teneurs ambiantes. Les sédiments ainsi remis en suspension se déposent dans 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 2008³, les teneurs ambiantes les plus faibles (figures 5 et 6) sont observables en hiver, notamment en mars lorsque le ruissellement est limité par les basses températures, et en été, durant les périodes sèches (Escher *et al.*, 2010).

Les données recueillies sur le terrain et dans la littérature mettent en évidence que les teneurs ambiantes en MES dans le fleuve Saint-Laurent sont soumises à des variations spatiales et temporelles liées principalement aux conditions hydrodynamiques du milieu. Ainsi, les concentrations en MES peuvent atteindre plus de 200 mg/L au niveau de la zone de turbidité maximale (ZTM) et dépasser occasionnellement plusieurs dizaines de mg/L dans les autres secteurs, notamment lors des périodes de fonte des neiges et de crue (en avril et novembre).

Commentaire [LB7]: Est-ce qu'on considère le rapport des étudiants de Sherbrooke comme un document officiel qui peut être diffusé ?

Je suggère plutôt qu'on ne cite pas leur rapport, mais qu'on les indique comme collaborateurs dans l'équipe de travail.

À discuter en réunion.

³ L'analyse porte uniquement sur les données des stations principales, symbolisées par un astérisque (*) sur la figure 3 (n = 340 pour le tronçon fluvial et n = 132 pour l'estuaire fluvial).

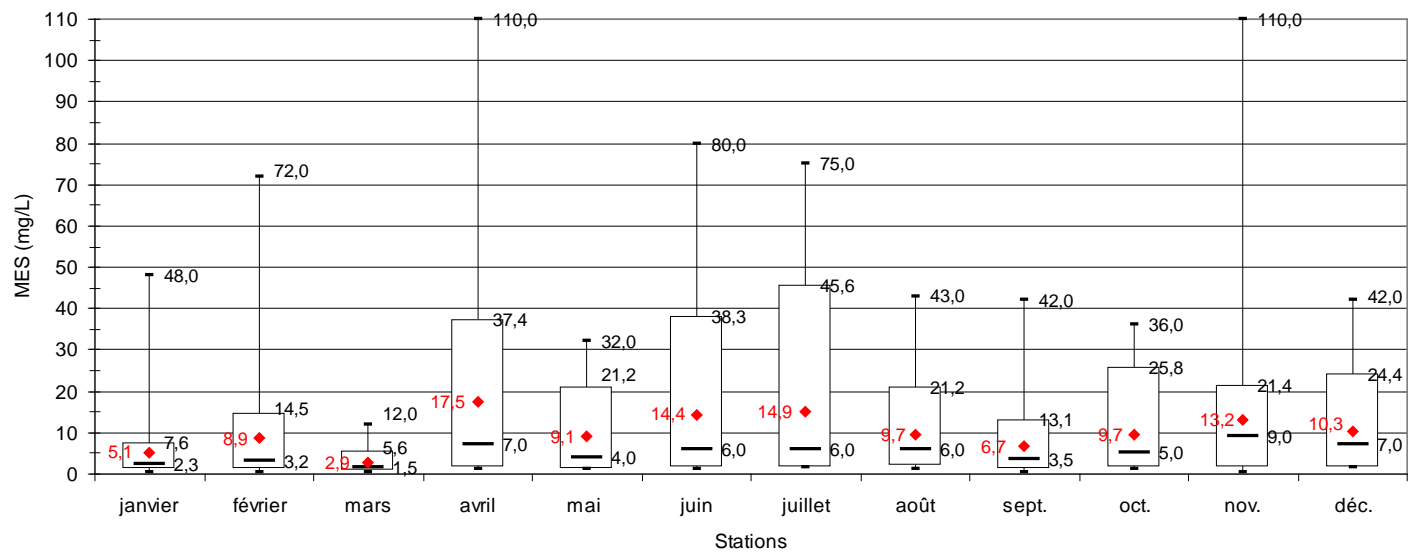


Figure 5 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour le tronçon fluvial (d'après MDDEP, 2010a)

Document

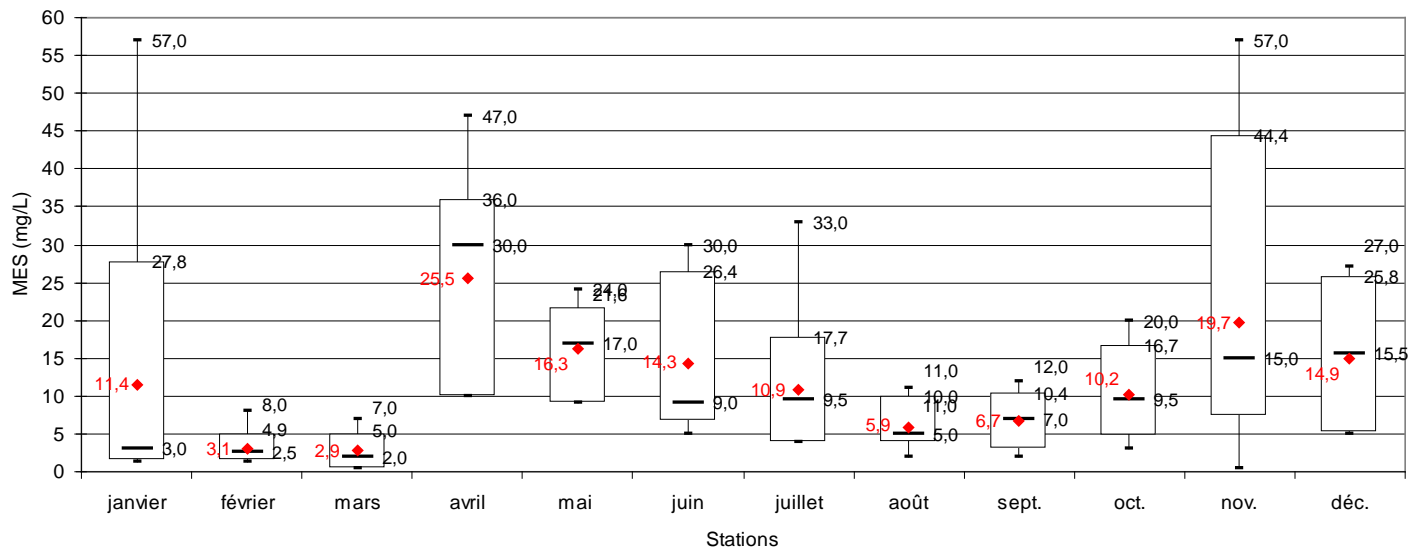


Figure 6 : Teneurs ambiantes mensuelles (2003-2008) pour l'estuaire fluvial (d'après MDDEP, 2010a)

Chapitre 3

Les MES associées aux activités de dragage

3.1 Analyse 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 chenaux de navigation, les abords portuaires et près des quais, ainsi que dans les marinas. Le dragage de capitalisation, opéré dès le milieu du XIX^e siècle pour la construction de la voie navigable, vise à augmenter la hauteur d'eau utile à la navigation. L'ampleur des travaux de capitalisation 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, le dragage d'entretien permet de maintenir les profondeurs d'eau déjà existantes (d'Arcy et Bibeault, 2004).

En général, tous les travaux de dragage réalisés sur le Saint-Laurent sont soumis à la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (1992), qu'ils soient réalisés pour le compte d'organismes fédéraux, provinciaux, municipaux ou privés. Les dragages réalisés au Québec sont également assujettis à la juridiction provinciale. Le MDDEFP gère la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement à laquelle sont assujettis les projets de dragage réalisés sur une superficie égale ou supérieure à 5000 m² ou sur une distance de 300 mètres et plus (Loi sur la qualité de l'environnement, R.R.Q., 1981). 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 MDDEFP délivre aussi des certificats d'autorisation pour des travaux de moindre envergure (CSL, 1997 ; EC et MPO, 2009b). Environnement Canada et Pêches et Océans Canada assurent le respect des exigences au regard de certains enjeux (immersion en mer des sédiments dragués, espèces menacées, habitat du poisson, oiseaux migrants). Enfin, d'autres ministères, tels que le Ministère des Ressources Naturelles, ou organismes interviennent de manière plus spécifique en ce qui a trait aux habitats fauniques en milieux terrestre et aquatique (d'Arcy et Bibeault, 2004).

Les dragages d'entretien périodique font parfois l'objet de programmes décennaux. Le programme de dragage d'entretien doit contenir la description complète du projet, sa justification, les caractéristiques du milieu récepteur et les effets du projet sur ce dernier, ainsi que les modalités d'application du projet. Un rapport du programme de surveillance et de suivi est produit à chaque dragage. Ce dernier présente la méthodologie utilisée lors des activités de surveillance et de suivi, le déroulement des activités de dragage (par exemple, l'arrêt des travaux dus à un bris ou à la présence de mammifères marins, etc.) et les résultats du suivi de turbidité et/ou du comportement des MES.

Gestion des MES - Étude de cas

Afin de dresser un portrait de la gestion actuelle des MES liées aux activités de dragage et d'estimer l'augmentation des concentrations en MES générée par ces activités, douze projets de

dragage relevant des juridictions fédérales et provinciales, qui se sont déroulés dans le Saint-Laurent de 1996 à 2008, ont été analysés.

Le tableau 7 présente les conditions dans lesquelles se sont déroulés ces projets. Le moyen estuaire est le secteur le plus couvert par cette analyse. Cinq des douze projets analysés s'y sont déroulés et pour deux d'entre eux, soit ceux du Quai de l'Isle-aux-Coudres et du Quai de Rivière-du-Loup, les données disponibles couvrent plusieurs années consécutives (8 et 7 ans respectivement). En revanche, aucune donnée n'a pu être obtenue pour les projets de dragage ayant été effectués dans l'estuaire maritime.

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

Les principales dragues utilisées lors de ces travaux sont les dragues mécaniques à benne preneuse et les dragues hydrauliques autoporteuses (voir section 5.1). Près de 90 % des sédiments dragués sont rejetés en eau libre, soit environ 400 000 des 450 000 m³ de sédiments dragués annuellement dans l'ensemble du fleuve (CSL, 1997 ; Ricard et Saumure, 2003).

Les balises encadrant la gestion des MES lors des suivis de ces projets sont très variables d'un projet à l'autre (tableau 7). Parmi les projets recensés, seul le projet de dragage au 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). En ce qui concerne les autres projets, les balises de gestion utilisées pour les MES (seuil d'alerte, arrêt immédiat) sont basées soit (i) sur une augmentation de plusieurs fois le bruit de fond (par exemple, 4 fois le bruit de fond à une distance de 500 mètres de la drague dans le cas du suivi environnemental du dragage du quai de Mines Wabush (Roche ltée, 2000)), soit (ii) sur la sensibilité des organismes aquatiques (mammifères marins, aquaculture) ou (iii) sur la présence d'une prise d'eau industrielle à proximité (Port de Bécancour).

En général, les teneurs ambiantes en MES sont établies lors des premiers jours des travaux. La stratégie d'échantillonnage et de mesure utilisée pour le suivi des MES n'est pas commune à tous les consultants. Dans la majorité des cas, les MES sont suivies *in situ* et en continu par la mesure de la turbidité. Pour cela, une courbe de corrélation turbidité – MES est établie durant les premiers jours des travaux en prélevant de 20 à 100 échantillons, par intégration sur toute la colonne d'eau. La turbidité est mesurée sur le site et les échantillons sont conservés et envoyés au laboratoire pour le dosage des MES. La courbe de corrélation est ensuite utilisée pour déterminer les concentrations en MES auxquelles correspondent les valeurs de turbidité mesurées *in situ*. Les fréquences d'échantillonnage sont fonction de la position des stations et des conditions hydrodynamiques (courants et stades de marées). Néanmoins, certains consultants préfèrent mesurer directement les MES en échantillonnant à toutes les deux heures environ, dans la zone d'influence de la drague et aux stations de référence, et en analysant les prélèvements d'eau dans un laboratoire de terrain installé à proximité des travaux. Les résultats du dosage peuvent être connus en trois heures environ. L'évaluation des concentrations en MES par dosage est plus précise que par extrapolation à partir de la turbidité, mais dans ce cas le suivi ne peut être effectué en continu.

Commentaire [d8]: Je prends pour acquis que ces dragages ont été réalisés selon les bonnes pratiques de dragage (avec mesures d'atténuation) tel que définie au chapitre 5. Les critères de gestion doivent être assez sévère pour s'assurer justement que des mesures d'atténuation soient toujours mises en place.

Mis en forme : Non Surignage

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

	Projet	V sédiments dragués (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 (08 sept. - 28 nov.)	septembre - novembre	mécanique (benne preneuse) (et hydraulique autoporteuse)	eau libre (2-8x / 24h)	4 fois le bruit de fond mesuré en amont des travaux		1x / min sur des séquences de 30min (à ~200 m en aval des travaux)	
	Lac Saint Pierre 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	~6 500	~15 jours continu (7j/semaine)	mi à fin septembre	mécanique (benne preneuse)	eau libre (1x / 2h)				
Estuaire fluvial	Port de Bécancour 2008 (Étude d'impact) (Genivar, 2008)	6 000 m ³ /an	10 - 12 jours/an 24h/jour	août - octobre (basses eaux)	mécanique (benne preneuse)	terrestre	80 mg/L à la prise d'eau (centrale nucléaire Gently-2)	100 mg/L à la prise d'eau (centrale nucléaire Gently-2)	1x / 2h	1x/2h de 2000 à 2004 1x/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 en continu ?	mi-juillet - mi-sept.	hydraulique autoporteuse à élindes traînantes	eau libre (1x / 3-6h)		n.d.	1 ou 2 sortie(s) / semaine 1x / 1x / 30min à 2h30 2-5min de 0 à 10 éch. / j	
	Quai Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	4 015	3 jours (19 - 21 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	1x / 5min à 2h sur 2 jours de 5 à 10 échantillons / j	
	Quai Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008)	13 827 (théorique)	9 jours (04 - 12 juin 2008)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1x / 5-45min	
	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	15 684 (théorique)	20 jours (10 - 29 juin 2007)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1x / 5min à 1h	
	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	15 684 (théorique)	16 jours (05 - 15 juin 2006)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1x / 2-90min	
	2005 (Procean Env. inc., 2005a)	11 254 (théorique)	14 jours (06 - 19 juin 2005)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1x / 2min à 1h le 9 juin 2005	
	2004 (Procean Env. inc., 2004a)	16 218 (théorique)	6 jours (11 - 16 juin 2004)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		n.d.	~ 1x / 5min à 1h le 11 juin 2004	
	2003 (Procean Env. inc., 2004b)	17 000 (théorique)	6 jours (09 - 14 juin 2003)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1x / 5-10min 10 et 11 juin 2003	
	2002 (Procean Env. inc., 2002a)	14 500 (théorique)	9 jours (10 - 18 juin 2002)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1x / 2-10min le 12 juin 2002	
	2001 (Procean Env. inc., 2001)	12 500 (théorique)	7 jours (10 - 16 juin 2001)	juin	mécanique (benne preneuse)	eau libre		présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km de la drague	~ 1x / 10-40min le 12 juin 2001	

Projet	V sédiments dragués (m3)	Durée du projet	Période	Type de drague	Dépôt / rejet	Balise de gestion des MES		Fréquence des mesures		
						seuil d'alerte	arrêt immédiat	turbidité	MES	
Moyen estuaire	Quai Rivière-du-Loup 2008 (Procean Env. inc., 2008)	31 093 (théorique)	16 jours (16 juin - 01 juillet 2008)	juin (- juillet)	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1x / 5-10min quelques heures par jour du 16 au 19 juin 2008	
	2007 (Procean Env. inc., 2007c)	20 260 (théorique)	31 jours (03 juillet - 02 août 2007)	juillet (- août)	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1x / 5-10min de 8 à 15h du 16 au 18 juillet 2007	
	2006 (Procean Env. inc., 2007d)	20 260 (théorique)	14 jours (22 juin - 05 juillet 2006)	juin - juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1x / 5-10min les 23, 24 et 25 juin 2006	
	2005 (Procean Env. inc., 2006b)	18 965 (théorique)	18 jours (27 juin - 14 juillet 2005)	juin - juillet	mécanique (benne preneuse)	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1x / 2-20min les 27 et 29 juin 2005	
	2004 (Procean Env. inc., 2005b)	17697 (non précisé)	11 jours (26 juin - 06 juillet 2004)	juin - juillet	benne preneuse et barges à fond ouvrant	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		~ 1x / 5-20min les 26 et 28 juin 2004	
	2003 (Procean Env. inc., 2004c)	24 000 (non précisé)	8 jours (15 - 22 juin 2003)	juin	benne ?	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		1x / 5min à plusieurs h durant 3 jours	
	2002 (Procean Env. inc., 2002b)	45 000 (non précisé)	14 jours (30 juin - 13 juillet 2002)	(juin -) juillet	benne ?	eau libre	présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km des barges		1x / 5min à 2h durant 3 jours	
Port de Gros-Cacouna 2008 (CJB Env. inc., 2008b)	60 000 (théorique)	en continu et 12h/j pendant la période de restriction (juin)	juin - août	hydraulique (sucuse à désagrégation)	terrestre		+ 25 mg/L par rapport au bruit de fond pendant 24 à 48h successives			
Estuaire maritime						aucune donnée disponible				
Golfe	Quai Pointe-Noire Port de Sept-Îles 1999 (Étude environnementale) (Procean inc., 1999)	800 000 (1999-2003)				terrestre				
	Quai Mines Wabush Port de Sept-Îles 1999 (Roche Ltée, 2000)	232 991	12 semaines (05 août - 27 oct. 1999)	août - octobre	mécanique	eau libre	4 à 5 fois le bruit de fond (mesure 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 zosténaie"		
	Chenal maritime Mines Seleine 2008 (CJB Env. inc., 2008a)	366 640	21 semaines (discontinu) (16 juillet - 20 décembre 2008)	juillet - décembre	hydraulique autoporteuse à élinges traînantes	immersion en mer		150 mg/L au parc de moules pendant 6h consécutives = arrêt des travaux de 6h	de 30min à plusieurs heures	1x / 90min en journée et 1x / 2h la nuit les 5 premiers jours
	Chenal maritime Mines Seleine (Étude impact) (CJB Env. inc., 2006-2007)	250 000	discontinu (protection de la vie aquatique)	mi-mai - début octobre	hydraulique autoporteuse	immersion en mer		150 mg/L au parc de moules ou 10 mg/L au parc de pétoncles pendant 6h consécutives		

* théorique : volume accumulé depuis l'année précédente

3.2 Les concentrations en MES observées lors des travaux dragage

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

Dans les zones où un suivi a été effectué, les paramètres mesurés sont la turbidité et/ou les concentrations en MES en mg/L. Pour ces deux paramètres, les mesures ont été prises en surface et/ou dans un échantillon intégré sur toute la colonne d'eau. Le tableau 8 présente les valeurs des paramètres mesurés lors des suivis des projets : teneurs ambiantes aux stations de référence, concentrations en MES à diverses distances de la drague et étendue de la zone influencée par la remise en suspension des sédiments. Le tableau 9 présente les valeurs des concentrations en MES selon la distance à la drague (< 50 m, $50 < d \leq 100$ m, $100 < d \leq 150$ m et > 150 m). Cette analyse a pour objectif de mettre en évidence un éventuel gradient des concentrations en MES et de définir le rayon de la zone d'influence observée pour la majorité des projets.

Pour la plupart des projets recensés, les teneurs ambiantes sont établies, en début de projet, à plusieurs centaines de mètres de la drague en moyenne, cette distance pouvant varier de 30 mètres à plus d'un kilomètre. Comme attendu, les teneurs ambiantes mesurées sont sensiblement plus élevées au niveau 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 du projet Quai de Pointe-Noire sont présentées en fonction du flot (marée montante) et du jusant (marée descendante) bien que d'autres projets (tels que ceux des quais de l'Isle-aux-Coudres et de Rivière-du-Loup) en ont tenu compte lors du suivi des MES. En général, il apparaît que les teneurs en MES sont plus élevées lors du jusant qu'au flot (Silverberg et Sundby, 1979 ; Tremblay, 2010 – communication personnelle).

À partir des valeurs de concentrations en MES mesurées dans la zone d'influence, du plus près de la drague à plus d'un kilomètre de celle-ci, certains consultants ont déterminé la limite du panache de dispersion des sédiments. Cette limite varie généralement de 100 à 150 m de la drague (tableau 8). Parfois, elle est masquée par de fortes teneurs ambiantes, dues aux conditions hydrodynamiques du site (ZTM) ou aux conditions climatiques (fortes pluies, vents forts, etc.). L'analyse des concentrations en MES mesurées à différents intervalles de distance à la drague (tableau 9) confirme généralement ces résultats. Les concentrations en MES mesurées à plus de 100 m de la drague n'excèdent généralement pas la valeur correspondant à une augmentation 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes, à l'exception de 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 (en 2004 par exemple).

Tableau 8 : Concentrations en MES mesurées lors des suivis des projets de dragage

Projet		Teneurs ambiantes				Zone d'influence de la drague				Limite du panache de dispersion
		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		
		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)	d	?					-200m		n.d.
	N	?					-240			
moy	5					7				
max	9					9				
min	3					5				
Tronçon fluvial	Lac Saint-Pierre 1997 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997b)	d	?					?		n.d.
	N	2					8			
	moy	6,9					5,9			
	max	7,2					7,8			
	min	6,6					2,5			
Estuaire fluvial	Port de Bécancour 2008 (Étude d'impact) Données de 2003 sauf indications contraires (Genivar, 2008)	d	-300m de la drague	calculé*		5 à 538m de la drague		prise d'eau Gentilly-2 (-1200-1500m)		dispersion rapide
	N	3		12		73		416		
moy	13,4		9,4		23,8		9,6 ± 7,3 (2003-2007)			
max	15,6		12,5		49,5 (drague)		66,7 (2003)			
min	11,6		6,8		11,7		2,0 (2007)			
Estuaire fluvial	Traverse Nord 1996 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997a)	d	UTN surface	UTN mi-prof	UTN fond	UTN surface	UTN mi-prof	UTN fond		masquée par les teneurs naturelles élevées (ZTM)
		N	?			15 à >999m de la drague				
		moy	47	17	47	165	25	124	27	
		max	64,0	78,0	144,0	79,0	87,0	171,0	203,3	
		min	315,0	187,0	677,0	751,0	199,0	912,0	710 (344m, 17m de profondeur)	
Estuaire fluvial	Quai Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	d	32 à 164m de la drague			35 à 188m de la drague				2006, 2005 et 2003 : ? 2004, 2002 : 100 m
		N	7			16				
		moy	32,0	42,5	66,0	38,3	48,1	77,0		
		max	55,3 (32m)	66,9 (105m)	100,0 (105m)	74,7 (170m)	75,8 (63m)	140,0 (63m)		
		min	21,4 (88m)	25,5 (88m)	32,0 (88m)	20,3 (158m)	25,1 (36m)	40,0 (36m)		
Estuaire fluvial	Quai Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008)	d	244 à 392m de la drague			0 à 151m de la drague				150 m
		N	5			35				
		moy	34,9	38,9	56,2	31,6	34,2	50,2		
		max	44,7 (313m)	45,0 (313m)	68,0 (327m)	47,4 (151m)	47,1 (151m)	94,0 (118m)		
		min	26,1 (319m)	33,7 (319m)	43,0 (319m)	22,3 (50m)	25,0 (50m)	30,0 (37m)		
Moyen estuaire	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	d	170 à 457m drague en opération			26 à 144m de la drague				100 m
		N	12			23				
		moy	22,6	27,7	44,0	30,3	36,5	69,0		
		max	32,6 (43m)	46,0 (62m)	59,0 (98m)	48,3 (34m)	53,3 (34m)	88,0 (50m)		
		min	17,1 (35m)	20,0 (35m)	34,0 (75m)	17,3 (115m)	27,0 (89m)	32,0 (103m)		
Moyen estuaire	2006 (Procean Env. inc., 2006a)	d	115 à 900m de la drague			0 à 184m de la drague				~100 m
		N	15			20				
		moy	18,7	22,7	40,0	28,3	38,7	86,0		
		max	31,2 (224 m)	42,2 (115m)	60,0 (210m)	54,0 (61m)	60,1 (7m)	210,0 (45m)		
		min	11,2 (190 m)	12,9 (435m)	25,0 (891m)	12,7 (82m)	17,7 (76m)	38,0 (76m)		
Moyen estuaire	2005 (Procean Env. inc., 2005a)	d	50 à 500m de la drague			25 à 290m de la drague				~100 m
		N	7			27				
		moy	35,5	37,5	60,7	27,2	33,4	53,3		
		max	58,4 (460m)	51,2 (460m)	84,0 (460m)	44,7 (105m)	51,2 (280m)	90,0 (41m)		
		min	7,2 (127m)	24,2 (127m)	27,0 (127m)	9,8 (87m)	19,2 (76m)	23,0 (245m)		
Moyen estuaire	2004 (Procean Env. inc., 2004a)	d	195 à 287m de la drague			20 à 312 m de la drague				100 m (largeur = 40 m)
		N	6			40				
		moy	16,5 (mg/L)	48,5 (mg/L)	54,0	21,5 (mg/L)	45,3 (mg/L)	57,2		
		max	26,9 (400m)	69,9 (287m)	98,0 (287m)	63,5 (48 m)	90,1 (23 m)	160,0 (23 m)		
		min	11,4 (260m)	31,7 (229m)	39,0 (229m)	4,7 (234 m)	11,9 (218 m)	14,0 (218 m)		
Moyen estuaire	2003 (Procean Env. inc., 2004b)	d	390 à 433m de la drague			de 27 à 220m de la drague				150 m
		N	3			21				
		moy	15,8 (mg/L)	27,8 (mg/L)	43,0	30,0 (mg/L)	36,0 (mg/L)	68,0		
		max	26,9 (400m)	30,5 (390m)	52,0 (390m)	61,0 (35m)	140,0 (68m)	270,0 (68m)		
		min	10,0 (390m)	24,4 (433m)	26,0 (433m)	4,0 (220m)	15,0 (220m)	22,0 (134m)		
Moyen estuaire	2002 (Procean Env. inc., 2002a)	d	200 à 575m de la drague			22 à 200m de la drague				100 m (largeur < 33 m)
		N	3			4				
		moy	27,0 (mg/L)	35,6 (mg/L)	48,3	29,7 (mg/L)	32,0 (mg/L)	57,0		
		max	35,0 (200m)	56,0 (220m)	68,0 (220m)	64,4 (42m)	63,5 (42m)	120,0 (42m)		
		min	19,9 (200m)	23,7 (200m)	34,0 (200m)	13,9 (200m)	15,6 (39m)	25,0 (39m)		
Moyen estuaire	2001 (Procean Env. inc., 2001)	d	200 à 575m de la drague			10 à 245m de la drague				100 m (largeur = 30-40 m)
		N	5			15				
		moy	21,0 (mg/L)	24,1 (mg/L)	29,5	19,1 (mg/L)	33,4 (mg/L)	26,2		
		max	30,0 (575m)	33,3 (200m)	48,0 (575m)	39,0 (100m)	47,0 (100m)	88,0 (100m)		
		min	8,0 (220m)	13,6 (200m)	9,0 (220m)	11,0 (245m)	17,5 (157m)	13,0 (245m)		

Projet	Teneurs ambiantes				Zone d'influence de la drague				Limite du panache de dispersion		
	Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)				
	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré			
Moyen estuaire	d	520 à 860m de la drague (zone A)				11 à 378m de la drague				-150 m	
	N	8				58					
	moy	35,1	44,3	30,0		50,2	58,9	52,0			
	max	66,0 (520m)	95,2 (520m)	73,0 (520m)		100,4 (56m)	108,2 (80m)	140,0 (33m)			
	min	20,1 (815m)	19,5 (859m)	10,0 (859m)		13,8 (29m)	32,5 (61m)	20,0 (61m)			
	d	150 à 450m de la drague				31 à 225m de la drague					-150 m
	N	13				34					
	moy	51,0	56,0	113,0		85,3	106,8	216,6			
	max	126,0 (420m)	138,0 (420m)	280,0 (420m)		164,3 (40m)	198,4 (60m)	690,0 (31 et 70m)			
	min	19,0 (350m)	24,0 (350m)	7,0 (450m)		23,0 (50m)	25,2 (50m)	54,0 (50m)			
d	386 à 573m de la drague (zone C)				18 à 150m de la drague				110 m		
N	5				31						
moy	16,0	20,4	62,0		39,8	48,0	101,0				
max	20,5 (515m)	32,8 (485m)	86,0 (468m)		86,3 (81m)	112,6 (63m)	250,0 (34m)				
min	9,0 (468m)	13,6 (515m)	48,0 (515m)		11,7 (63m)	17,2 (108m)	50,0 (51m)				
d	507 à 1380m de la drague (zone A)				3 à 297m de la drague					-220 m (conditions calmes)	
N	4				23						
moy	16,5	21,6	28,8		33,8	40,8	72,9				
max	23,7 (578m)	33,1 (507m)	46,0 (507m)		53,5 (114m)	72,5 (165m)	130,0 (120m)				
min	9,6 (520m)	8,3 (1380m)	11,0 (1380m)		11,9 (5m)	24,4 (100m)	44,0 (196m)				
d	360 à 1078m de la drague (zone A)				15 à 465m de la drague				250 m, fortes pluies et vents forts les jours précédents		
N	9				57						
moy	17,7	20,6	34,6		59,8	80,6	167,3				
max	41,6 (360 m)	37,3 (380 m)	79,0 (380 m)		155,5 (55m)	178,4 (46m)	460,0 (50m)				
min	5,4 (690 m)	8 (910 m)	9,0 (910 m)		0,9 (455m)	23,3 (280m)	37,0 (280m)				
d	390 à 780m de la drague (zones A et C)				1 à 765m de la drague					masquée par de fortes teneurs ambiantes (vents forts et vagues)	
N	10				57						
moy	40,0 (mg/L)	41,0 (mg/L)	85,0		57,0 (mg/L)	63,0 (mg/L)	137,0				
max	76,0 (460m)	78,0 (540m)	180,0 (540m)		200,0 (85m)	172,0 (1m)	460,0 (1m)				
min	12,0 (640m)	14,0 (390m)	28,0 (640m)		16,0 (65m)	17,0 (279m)	32,0 (765m)				
d	environ 200 à 1200m de la drague				10 à 250m de la drague				-150 m (2001 : 200 m)		
N	13	11	7	6	53	52	26	30			
moy	18,1 (mg/L)	14,7 (mg/L)	23,0	33,8	35,6 (mg/L)	31,3 (mg/L)	40,0	69,0			
max	30,0 (-1200m)	31,7 (-500m)	36,0 (600m)	52,0 (-1200m)	93,9 (75m)	92,9 (75m)	120,0 (46m)	290,0 (25m)			
min	8,4 (-200m)	5,0 (-400m)	11,0 (-400m)	13,0 (-1200m)	7,6 (155m)	5,9 (155m)	19,0 (181m)	16,0 (155m)			
d	n.d.				n.d.					masquée par les variations naturelles au moment du dragage	
N	43				52						
moy	14,1				10,1						
max	138,0				50,3						
min	2,8				4,4						
Estuaire maritime											
aucune donnée disponible											
Golfe	MES (mg/L) surface		MES (mg/L) fond		profil vertical au site de mise en dépôt				n.d.		
	flot (1) jusant (2)		flot (1) jusant (2)		0 m 10 m 20 m 30 m (de profondeur)						
	d	?		1		?					
	N	4		1		1					
	moy	13,3	19,5	10,0	12,0	14,0	15,0	14,0		11,0	
	max	19,0	24,0								
	min	6,0	12,0								
	d	100 à 3500m de la drague (données du 16 sept. 1999)								-100 m en surface et 150 m au fond	
	N	12									
	moy	4,1									
max	12,7 (200m)										
min	1,0 (500m)										
d	570m (turbidité: 18 et MES: 19), 743m (turbidité: 16 et MES: 16) et 1361m (turbidité: 19 et MES: 20)				Autour de la drague (63), à 570m (turb.: 169 et MES: 24), 743m (turb.: 166 et MES: 20), 1361m (turb.: 228 et MES: 5)				n.d.		
N											
moy	1,3				5,0						
max	2,3 (743m)				76,2 (dragage)						
min	0,7 (1361m)				0,6 (1361m)						
*calculé : à partir de la corrélation turbidité-MES											
(1) Marée montante (courant de marée entre la marée basse et la marée haute)											
(2) Marée descendante (courant de marée entre la marée haute et la marée basse)											

Tableau 9 : Concentrations en MES mesurées aux intervalles de distance d de la drague : $d \leq 50$ m, $50 < d \leq 100$ m, $100 < d \leq 150$ m et $d > 150$ m

Projet	$d \leq 50$ m				$50 < d \leq 100$ m				$100 < d \leq 150$ 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	n.d.																	
	n.d.																	
Estuaire fluvial	Port de Bécancour 2008 (Étude d'impact) Données de 2003 (Genivar, 2008)	N	25		calculé*		9		calculé*		6		calculé*		33		calculé*	
		moy	27,6		29,6		24,7		25,6		23,3		23,5		20,4		19,4	
		max	49,5		61,2		28,4		30,9		26,9		28,7		26,0		27,5	
		min	18,3		16,4		20,1		19,0		18,8		17,1		11,7		6,9	
Moyen estuaire	Traverse Nord 1996 (Consultants Jacques Bérubé inc., 1997a)	N	profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m		profondeur 1<p<23m	
		moy	24	13	5	2	26	32	6	24	23	5	91	81	1	8		
		max	50,3	87,1	121,2	145,0	37,0	74,5	116,5	39,4	88,6	124,0	69,7	164,5	38,0	404,4		
		min	180,0	249,0	250,0	150,0	145,0	187,0	180,0	154,0	260,0	210,0	647,0	788,0	38,0	710,0		
	Quai Isle-aux-Grues 2006 (Procean Env. inc., 2007b)	N	4		5		7		2		5		5		5		5	
		moy	25,3	32,15	58,3		45,0	53,3	90,0		44,0	61,2	89,0		39,7	50,4	72,6	
		max	30,6	41,4	79,0		52,6	75,8	140,0		45,3	63,0	110,0		74,7	61,5	110,0	
		min	23,2	25,1	40,0		28,3	42,1	66,0		42,6	59,3	68,0		20,3	28,3	46,0	
	Quai Isle-aux-Coudres 2008 (Dessau inc., 2008)	N	12	12	13	13	13	13	18	22	2	3	1 (151 m)		1		85,0	
		moy	29,1	33,0	45,6		31,9	34,2	48,9		36,0	34,8	66,0		47,4	47,1	85,0	
		max	38,6	40,6	67,0		44,0	44,7	78,0		40,7	37,9	94,0		47,4	47,1	85,0	
		min	22,3	25,0	30,0		25,2	25,7	34,0		31,2	31,6	41,0		47,4	47,1	85,0	
	2007 (Procean Env. inc., 2007a)	N	10		7		6		6		6		6		6		6	
		moy	33,5	37,7	72,6		31,0	35,6	71,0		24,0	35,7	59,0		59,0		59,0	
		max	48,3	53,3	88,0		48,0	43,1	82,0		28,5	40,9	83,0		83,0		83,0	
		min	24,5	27,5	62,0		25,4	27,0	53,0		17,3	28,6	32,0		32,0		32,0	
2006 (Procean Env. inc., 2006a)	N	8		8		8		2		2		2		2		2		
	moy	29,8	40,8	107,0		28,7	41,8	78,6		28,4	34,5	70,5		20,6	22,2	50,5		
	max	53,4	60,1	210,0		54,0	58,6	110,0		34,8	35,1	79,0		22,4	25,6	58,0		
	min	15,4	31,9	45,0		12,7	17,7	38,0		22,0	33,9	62,0		18,8	18,7	43,0		
2005 (Procean Env. inc., 2005a)	N	4		6		6		6		6		6		11		11		
	moy	33,7	42,3	70,5		23,4	30,3	50,8		25,8	31,2	45,8		27,8	32,9	52,4		
	max	43,4	50,6	90,0		41,9	47,2	80,0		44,7	36,7	60,0		40,8	51,2	82,0		
	min	19,0	29,1	45,0		9,8	19,2	27,0		15,0	23,1	29,0		14,0	20,3	23,0		
2004 (Procean Env. inc., 2004a)	N	12		8		8		4		4		16		16		16		
	moy	31,7	56,2	80,4		18,4	45,5	48,9		14,9	34,8	42,5		17,2	39,5	47,6		
	max	63,5	93,1	160,0		30,7	96,4	140,0		16,8	64,4	92,0		42,6	78,6	99,0		
	min	18,5	17,7	25,0		4,0	24,6	32,0		11,9	21,3	24,0		4,6	12,0	14,0		
2003 (Procean Env. inc., 2004b)	N	5		8		8		6		6		2		2		2		
	moy	37,9	43,2	85,8		28,2	45,1	85,4		30,0	23,3	39,8		12,9	24,7	40,0		
	max	61,0	70,5	130,0		49,8	140,2	270,0		47,0	29,5	51,0		21,8	34,2	54,0		
	min	7,9	20,7	56,0		13,0	20,3	34,0		13,2	15,4	22,0		3,9	15,2	26,0		
2002 (Procean Env. inc., 2002a)	N	10		9		4		3		3		3		3		3		
	moy	33,3	35,1	62,3		31,7	38,2	69,7		22,9	24,3	38,7		21,6	26,4	44,3		
	max	64,4	63,5	120,0		42,0	45,1	91,0		31,2	30,7	52,0		31,8	30,0	50,0		
	min	17,4	15,6	25,0		18,3	31,2	47,0		16,6	18,1	26,0		13,9	22,6	37,0		
2001 (Procean Env. inc., 2001)	N	5		6		6		1		1		3		3		3		
	moy	21,0	36,7	23,5		20,8	32,7	33,5		17,0	29,4	18,0		13,3	30,8	18,0		
	max	32,0	41,6	27,0		39,0	50,1	88,0		17,0	29,4	18,0		15,0	39,9	27,0		
	min	16,0	29,7	22,0		13,0	27,3	18,0		17,0	29,4	18,0		11,0	17,5	13,0		

Projet		d ≤ 50 m				50 < d ≤ 100 m				100 < d ≤ 150 m				d > 150 m					
		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)		Turbidité (UTN)		MES (mg/L)			
		Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré	Surface	Intégré		
Moyen estuaire	Quai Rivière-du-Loup 2008 (Procean Env. inc., 2008)	N	15		29		10		4		15		29		10		4		
	moy	45,0	57,7	50,7	52,1	54,9	49,8	49,5	65,6	55,6	49,4	74,9	60,3	49,4	74,9	60,3	49,4	74,9	
	max	84,2	93,5	140,0	100,4	108,2	120,0	65,8	86,0	90,0	64,9	89,3	84,0	64,9	89,3	84,0	64,9	89,3	
	min	13,8	34,6	22,0	24,4	32,5	20,0	30,1	42,7	34,0	21,2	42,4	35,0	21,2	42,4	35,0	21,2	42,4	
	2007 (Procean Env. inc., 2007c)	N	12		12		7		3		12		12		7		3		
	moy	73,3	77,9	233,7	105,5	146,1	317,5	77,1	97,9	247,4	71,1	86,0	182,3	71,1	86,0	182,3	71,1	86,0	
	max	164,3	196,1	690,0	141,0	198,4	690,0	148,5	169,5	420,0	107,1	143,3	250,0	107,1	143,3	250,0	107,1	143,3	
	min	23,0	25,2	54,0	58,7	65,0	130,0	35,1	49,0	84,0	28,7	28,9	67,0	28,7	28,9	67,0	28,7	28,9	
	2006 (Procean Env. inc., 2007d)	N	11		14		6		4		11		11		6		4		
	moy	45,2	61,7	118,0	41,2	48,5	98,4	29,6	25,0	78,2									
max	79,3	111,5	250,0	86,3	112,6	240,0	45,1	46,2	110,0										
min	20,2	27,9	61,0	11,7	19,1	50,0	21,2	17,2	53,0										
2005 (Procean Env. inc., 2006b)	N	7		6		7		6		4		7		7		4			
moy	32,0	36,3	61,9	37,8	39,6	73,4	33,8	45,7	88,2	30,7	43,1	68,3	30,7	43,1	68,3	30,7	43,1		
max	43,6	51,2	88,0	44,7	49,1	110,0	53,5	67,5	130,0	41,7	72,5	110,0	41,7	72,5	110,0	41,7	72,5		
min	11,9	25,4	47,0	29,8	24,4	46,0	14,7	26,3	52,0	20,7	26,6	44,0	20,7	26,6	44,0	20,7	26,6		
2004 (Procean Env. inc., 2005b)	N	20		17		9		11		20		20		17		11			
moy	65,0	86,9	186,2	62,6	92,1	193,6	57,9	69,3	140,8	47,5	60,5	114,2	47,5	60,5	114,2	47,5	60,5		
max	137,6	178,4	460,0	155,5	157,3	340,0	109,3	113,1	210,0	85,9	107,3	200,0	85,9	107,3	200,0	85,9	107,3		
min	5,0	44,2	66,0	2,1	34,4	73,0	1,9	46,0	76,0	0,9	23,3	37,0	0,9	23,3	37,0	0,9	23,3		
2003 (Procean Env. inc., 2004c)	N	15		17		9		16		15		15		9		16			
moy	68,5	84,7	196,1	55,1	59,3	127,6	56,7	54,6	112,2	49,2	50,3	104,3	49,2	50,3	104,3	49,2	50,3		
max	152,6	172,2	460,0	199,6	137,2	310,0	106,1	99,8	210,0	80,2	95,5	220,0	80,2	95,5	220,0	80,2	95,5		
min	24,6	21,5	43,0	15,5	18,5	42,0	32,0	23,5	45,0	28,2	17,2	32,0	28,2	17,2	32,0	28,2	17,2		
2002 (Procean Env. inc., 2002b)	N	17	15	6	12	14	15	11	5	11	11	3	8	7	7	3	4		
moy	43,9	43,8	52,7	37,7	31,4	36,9	25,4	21,3	31,3	23,0	16,0	32,3	23,0	16,0	32,3	23,0	16,0		
max	85,0	90,8	120,0	93,9	92,9	67,0	43,1	40,3	61,0	39,3	27,7	44,0	39,3	27,7	44,0	39,3	27,7		
min	11,9	16,6	23,0	14,8	11,4	23,0	15,2	8,3	28,0	7,6	5,9	19,0	7,6	5,9	19,0	7,6	5,9		
Port de Gros-Cacouna 2008 (CJB Env. inc., 2008b)	N							calculé*		75		calculé*		75		calculé*			
moy									6,0										
max									8,7										
min									4,1										
Estuaire maritime		aucune donnée disponible																	
Quai Pointe-Noire Port de Sept-Îles 1999 (Étude environnementale)		n.d.																	
Golfe	Quai Mines Wabush Port de Sept-Îles 1999 (Roche Ltée, 2000)	N							1				11				11		
	moy								6,1									3,9	
	max																		12,7
min																			1
Chenal maritime Mines Seleine 2008 (CJB Env. inc., 2008a)	N	63										563		49				49	
moy	20,7		22,9										3,2						4,2
max	76,2		81,6										13,5						14,8
min	2,4		3,0										0,6						0,8

*calculé : à partir de la corrélation turbidité-MES

Chapitre 4

La détermination de balises de gestion des MES spécifiques au dragage et leur application

Les travaux de dragage dans le Saint-Laurent, ainsi que dans tout autre cours d'eau, doivent être planifiés et exécutés de façon à minimiser les impacts négatifs sur le milieu aquatique.

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

Durant toutes les phases du dragage, de la planification au suivi, la gestion du dragage doit tenir compte de nombreux facteurs qui peuvent avoir un impact sur la mise en suspension des sédiments et leur comportement (tableau 10).

Tableau 10 : Paramètres à considérer lors des opérations de dragage et de rejet en eau libre

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

Les choix de gestion doivent être orientés de manière à minimiser la mise en suspension des sédiments et leurs effets sur la vie aquatique. Les conditions qui prévalent à un site donné doivent être prises en considération et peuvent nécessiter des mesures de protection particulières. Par exemple, la présence de frayères dans le secteur à draguer ou à proximité peut dicter l'interdiction de draguer pendant une période donnée. Par ailleurs, les balises de gestion des MES peuvent être définies en fonction des teneurs ambiantes et des conditions climatiques.

4.2 Les critères de gestion des MES adaptés au dragage

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

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

Suite à ce constat il est proposé de définir des critères de gestion spécifiques aux eaux limpides, dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement inférieures à 25 mg/L, et des critères de gestion spécifiques aux eaux turbides, dont les teneurs ambiantes en MES sont supérieures à 25 mg/L. Ces dernières comprennent notamment les eaux de la zone de turbidité maximale, qui circulent entre l'Île d'Orléans et l'Isle-aux-Coudres, et les eaux qui circulent en période de crue importante (fontes printanières et crues automnales). Ces critères de gestion, se traduisant par les concentrations en MES acceptables dans le milieu aquatique, sont applicables aux sites de dragage et de rejet en eau libre. La valeur de ces critères est définie par une augmentation de la concentration par rapport à la teneur ambiante (tableau 11).

Au Québec, le seuil de 25 mg/L est considéré adéquat 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 zone de turbidité maximale, sont la plupart du temps inférieures à 25 mg/L. En effet, la base de données Qualité Eau d'Environnement Canada (EC, 2010) permet de constater que les teneurs ambiantes en MES à la station de Lévis, les plus élevées après celles de la ZTM (M. Pelletier, 2010 – communication personnelle), sont généralement inférieures à 25 mg/L durant la période la plus propice au dragage, soit de la fin juin au début septembre. Ce seuil peut donc être utilisé pour distinguer les eaux limpides des eaux turbides.

Commentaire [LB9]: J'ai changé la formulation initiale, qui était : « D'après les données de la base de données Qualité Eau d'Environnement Canada (EC, 2010a), les teneurs ambiantes en MES à la station de Lévis (teneurs ambiantes en MES les plus élevées, à l'exception de la ZTM, Pelletier, 2010 – communication personnelle) ne dépassent 25 mg/L que dans 3,1% du temps lors des périodes de dragage permises (27 juin – 1^{er} sept. ; MPO, 2005).

Magella, est-ce que tu peux préciser ce qu'on entend par « que dans 3,1% du temps » ?

Tableau 11 : Critères de gestion des MES liées aux activités de dragage et de rejet en eau libre

Définition ^a	Eaux limpides	Eaux turbides
	Teneurs ambiantes [MES] ≤ 25 mg/L	Teneurs ambiantes [MES] > 25 mg/L
À 100 m de la drague ou du point de rejet	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne de la concentration en MES de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne de la concentration en MES de 100% par rapport aux teneurs ambiantes, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu
À 300 m de la drague ou du point de rejet	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne de la concentration en MES de 5 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes si le dragage se poursuit sur plus d'une journée 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation moyenne de la concentration en MES de 25 mg/L par rapport aux teneurs ambiantes, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 h consécutives si le dragage est continu

a

Commentaire [LB10]: Hélène Dufour : Sur quoi est basé le 6 hres ?
 Lise : Je ne me souviens plus exactement. Je crois qu'on a vu ça dans un projet aux USA, et il me semble que nous étions assez confortables avec cette limite.

Commentaire [LB11]: Je crois que nous n'avions pas prévu de critère de gestion à 300 m en eau limpide. Je propose d'ajouter ce critère qui correspond à notre critère de qualité – effets chroniques.

La détermination des teneurs ambiantes

Les teneurs ambiantes propres au secteur à draguer, aussi appelées « bruit de fond », doivent être déterminées immédiatement avant ou au début des travaux. 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). En outre, les teneurs ambiantes doivent être réévaluées périodiquement, par au moins deux mesures par jour ou de manière plus complète lorsque les conditions hydrologiques changent (lors de fortes pluies entraînant une augmentation non négligeable des teneurs ambiantes en MES par exemple).

L'arrêt des travaux

Lorsque les concentrations en MES mesurées durant le dragage sont supérieures aux critères de gestion indiqués plus haut (tableau 11) pendant plus de 6 heures consécutives si le dragage est continu, il convient d'arrêter temporairement les travaux et de revoir les méthodes de travail de façon à limiter la mise en suspension des sédiments. Des mesures d'atténuation, telles que le recours à des écrans protecteurs, peuvent permettre de limiter la mise en suspension des sédiments (voir ch.5). Dès le retour aux teneurs ambiantes ou lorsque les critères de gestion peuvent à nouveau être respectés, les travaux peuvent reprendre, en s'assurant de leur bon déroulement.

4.3 Autres balises de gestion

La protection des zones et des espèces sensibles

Les activités de dragage doivent être réalisées lors des périodes permises. Par exemple, pour le Québec, le MPO (2007) indique que ces périodes s'étendent du 27 juin au 1^{er} septembre, à moins qu'il soit établi lors de l'étude d'impact que les dates choisies ne nuisent pas au cycle vital des espèces présentes. Ces dates sont variables en fonction de la région et des espèces

présentes au site de dragage et de rejet. Elles sont indiquées par le MPO lors de la planification des projets de dragage soumis à l'évaluation environnementale (Brassard et Tremblay, 2010 – communication personnelle). De la même manière, il est interdit de draguer dans les zones sensibles (frayères, herbiers, parcs aquacoles...). Dans les secteurs soumis à l'érosion ou lorsque le dragage nécessite l'installation d'écrans de protection (voir section 5.2), il est également souhaitable que les travaux n'aient pas lieu lors des périodes de fort débit.

À partir du moyen estuaire, une attention particulière doit être portée à la surveillance des mammifères marins. En général, le MPO recommande l'arrêt des travaux lorsqu'il y a présence d'un ou plusieurs mammifère(s) marin(s) dans un rayon de 400 mètres de la drague. Cette recommandation est basée sur le comportement des bélugas, espèce menacée dans le Saint-Laurent et protégée en vertu de la Loi sur les espèces en péril (2002) depuis 1979 (MPO, 2008). En effet, lors d'une plongée moyenne de 7,5 minutes, les bélugas sont capables de parcourir 400 mètres sous l'eau (Brassard et Tremblay, 2010 – communication personnelle).

Les usages à protéger

Lors de la planification de la gestion des MES, il faut considérer les usages identifiés à proximité du site de dragage et viser à protéger ces usages. En conséquence, la protection des espèces sensibles, des prises d'eau potable ou industrielle, et des activités commerciales et de loisirs présentes sur le cours d'eau peut nécessiter l'application de balises supplémentaires. Dans certains cas, des réglementations peuvent être associées à ces usages (par exemple, concentrations en MES à ne pas dépasser à la prise d'eau ou au parc aquacole) et le suivi des MES doit en tenir compte.

4.4 Le suivi des MES lors des travaux de dragage

Afin de s'assurer que la méthode de dragage est adéquate et que les mesures d'atténuation mises en place (chapitre 5) sont efficaces et minimisent les impacts sur la vie aquatique, il est nécessaire de suivre les concentrations en MES lors des travaux de dragage. Pour ce faire, il est généralement recommandé d'effectuer un suivi *in situ*, en utilisant la turbidité comme indicateur des teneurs en matières en suspension.

Pour les travaux de dragage récurrents à un site donné, il est possible de considérer que le le suivi des MES n'est pas requis lorsque les suivis antérieurs et récents ont permis de bien documenter l'absence d'impact significatifs sur la vie aquatique. Il faudra toutefois 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.

4.4.1 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...) sont responsables des phénomènes de diffusion et/ou d'absorption de la lumière. Cette propriété optique de l'eau est exprimée par la mesure de la turbidité (IADC, 2007 ; Minella *et al.*, 2008 ; Thackston et Palermo, 2000 et Ziegler, 2002).

Développée par Jackson dès le début du XX^e siècle (turbidimètre à bougie de Jackson), la mesure de la turbidité a rapidement évolué (Downing, 2005 ; Lillycrop *et al.*, 1996 et USEPA, 1999a). Aujourd'hui, la méthode la plus répandue est la néphélogéométrie. Elle consiste à mesurer la lumière dispersée par les particules en suspension dans l'eau avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident. Le résultat est exprimé en Unité de Turbidité Néphélogéométrique (UTN) (CEAEQ, 2009a ; Ginting et Mamo, 2006 ; Lewis, 1996).

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, 2009b et 2008), la mesure de la turbidité est simple, rapide et peut s'effectuer *in situ* et en continu (Downing, 2005 ; Hudson, 2001 ; Thackston et Palermo, 2000 ; USEPA, 1999b). C'est la raison pour laquelle la turbidité est étudiée et utilisée sur le terrain depuis plusieurs décennies afin de mieux appréhender la corrélation turbidité – MES (Ritter et Brown, 1971 ; Thrular, 1978). De nombreux facteurs influençant la valeur de la turbidité obtenue lors de sa mesure (tableau 12) ont ainsi été mis en évidence (Chanson *et al.*, 2008 ; Ginting et Mamo, 2006 ; Hudson, 2001 ; Lewis, 2003 ; Lewis *et al.*, 2002 ; Marquis, 2005 ; Teixeira et Caliar, 2005).

Tableau 12 : Principaux facteurs influençant la valeur de la turbidité mesurée *in situ*

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

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

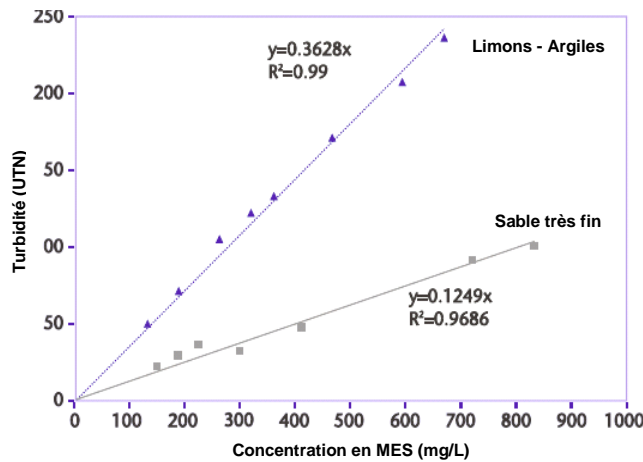


Figure 7 : Influence de la granulométrie sur la relation turbidité – MES (tiré et traduit et Marquis, 2005)

D’une manière générale, la relation entre la turbidité et les MES est fonction de facteurs spécifiques au bassin hydrographique, tels que la nature du substrat géologique qui conditionne les caractéristiques physico-chimiques des sédiments et de l’eau. Elle dépend également de variations temporelles (saisons, climat, événements particuliers) qui influencent le régime hydrodynamique du cours d’eau et par conséquent la remise en suspension des sédiments et la dispersion des MES (Chanson *et al.*, 2008 ; Lewis, 2003 et 1996 ; Lewis *et al.*, 2002 et Minella *et al.*, 2008). Les exemples suivants illustrent ces variations. Le tableau 13 présente les résultats d’un suivi de corrélation entre la turbidité et les MES, sur plusieurs mois (juillet 2004 à mai 2005), dans le bassin d’Arvorezinha (Rio Grande do Sul, Brésil). Le tableau 14 est une revue de diverses études ayant mené à des corrélations entre la turbidité et les MES.

Tableau 13 : Exemples de variabilité temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR en % de lumière diffusée) et la concentration en MES (mg/L), pour un même site (tiré et traduit de Minella *et al.*, 2008)

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

Tableau 14 : Exemples de variabilité spatio-temporelle des corrélations entre la turbidité (TUR) en UTN et la concentration en MES en mg/L (sauf indications contraires) (tiré et traduit de Chanson *et al.*, 2008)

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

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

** a et b sont des constantes de régression linéaire

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

L'élaboration de la courbe de corrélation turbidité – MES

La corrélation entre la turbidité et les MES est établie en laboratoire, avant le début des opérations de dragage afin d'amorcer le suivi des MES le plus tôt possible. De cette manière, il est possible de repérer rapidement une éventuelle augmentation importante due à un dysfonctionnement opératoire par exemple. Selon qu'il s'agisse de dragage ou de rejet en eau libre, ce calibrage peut être réalisé de deux manières distinctes⁴ (d'après Earhart, 1984, cité dans Thackston et Palermo, 2000).

⁴ Des approches similaires ont été utilisées lors des suivis des travaux de dragage de Pointe-Noire (Procéan inc., 1999 et Roche Itée, 2000) et du chenal de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine (CJB Environnement inc., 2008a).

- **À proximité de la drague en fonctionnement**, les sédiments fins et grossiers se trouvent en suspension dans l'eau à cause du brassage causé par le dragage. Les mesures de turbidité et de MES peuvent être réalisées par dilutions successives d'un échantillon de sédiments prélevé sur le site et représentatif du substrat qui caractérise de façon générale le site. Les méthodes d'échantillonnage sont décrites dans le *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime* (EC, 2002a et 2002b). Les opérations à effectuer pour obtenir des données de MES et de turbidité sont les suivantes :

1. Préparer un litre d'un mélange de 1 g de sédiments humides et d'eau prélevés sur le site.
2. Après agitation du mélange, prélever 20 à 50 mL pour la mesure des MES et 100 à 130 mL pour la mesure de la turbidité, de manière à toujours prélever un volume total de 150 mL.
3. Compléter à nouveau le mélange à un litre (dilution au $8,5/10^6$).
4. Répéter l'extraction des MES et la mesure de turbidité jusqu'à obtenir 40 dilutions en série (ou lorsque le seuil de détection de la méthode est atteint) pour couvrir toute la gamme de concentration.

- **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 OBS) au site de rejet ne sera donc pas la même qu'à proximité de la drague (Roche Itée, 2000). Ce phénomène de décantation peut être reproduit en laboratoire à l'aide d'une colonne de décantation mesurant au moins 1,80 mètres de long et 15 cm de diamètre, de préférence 20 cm pour éviter les effets de parois. Les opérations à effectuer pour obtenir des données de MES et de turbidité sont les suivantes :

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

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

Dès que le projet est en cours et que les conditions d'exploitation ont commencé à se stabiliser, la corrélation doit être ajustée par intégration de couples de données turbidité – MES obtenues sur le terrain (IADC, 2007 ; Lewis *et al.*, 2002 ; Minella *et al.*, 2008 ; Thackston et Palermo, 2000), pendant toute la durée des travaux, à raison de deux mesures conjointes par jour. Il est suggéré d'utiliser entre autres les échantillons prélevés pour le suivi des teneurs ambiantes (voir section.4.1).

4.4.2 Le suivi sur le terrain

La détermination des stations d'échantillonnage

Les mesures de suivi doivent être réalisées dans le panache de dispersion des sédiments afin d'obtenir les concentrations les plus élevées, c'est-à-dire celles qui ont potentiellement le plus d'impact sur la vie aquatique. Lors de la planification du suivi, il est possible de prévoir par modélisation la dispersion des sédiments (Borrowman, 2006 ; Dredging Research Ltd. et HR Wallingford, 2003). Pour cela, les conditions hydrodynamiques du site doivent être connues. Les résultats de la modélisation sont généralement de bons indicateurs pour la détermination des positions des stations de référence et de suivi. En zones soumises aux marées, les stations de référence et de suivi sont distribuées tant en amont qu'en aval de la zone de dragage.

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 (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.

Les mesures de turbidité et l'échantillonnage

Le suivi des MES est réalisé par la mesure de la turbidité en surface et intégrée sur toute la colonne d'eau, et par extrapolation à l'aide de la courbe de corrélation turbidité – MES. La turbidité est mesurée au moins une fois toutes les deux heures durant la période de dragage quotidienne, à chaque station. Dans les secteurs soumis aux marées, les mesures doivent tenir compte des différents stades de marées afin d'être représentatives des variations de MES qui surviennent au cours d'une période de dragage continu. Pour un suivi plus complet, il est possible d'installer des OBS par mouillage fixe à certaines stations.

Commentaire [LB12]: à préciser

Compte tenu de la grande variabilité de la relation entre la concentration en MES et la turbidité et des facteurs influençant la mesure de cette dernière (voir section.4.4.1), il est important d'utiliser le même appareillage tout au long du suivi ou de le remplacer par un appareil identique ou ayant les mêmes caractéristiques en cas de dysfonctionnement. Le turbidimètre servant au suivi quotidien doit être calibré une fois par jour afin d'éviter les erreurs de mesure dues à la dérive de l'appareil.

Les échantillons quotidiens destinés à l'analyse des MES en laboratoire sont prélevés 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 d'analyse est de 7 jours (CEAEQ, 2009b).

Document de travail

5.1 Les bonnes pratiques de dragage

Lors de la planification du projet de dragage et/ou de rejet en eau libre, le promoteur doit tenir compte de l'ensemble des paramètres opérationnels en choisissant un équipement, un protocole et un échéancier adaptés au site visé par le projet, de manière à minimiser l'augmentation de MES due aux travaux. Le tableau 15 présente une liste (non exhaustive) des mesures envisageables pour limiter la remise en suspension des sédiments lors de travaux de dragage utilisant l'un des trois types de dragues les plus utilisées au Québec, c'est-à-dire les dragues mécaniques, les dragues hydrauliques et les dragues hydrauliques autoporteuses (CSL, 1992 et Havis, 1988).

Chaque type de drague a ses propres performances sur le plan environnemental et selon le matériel utilisé, la remise en suspension et la perte de sédiments dragués seront plus ou moins importantes (EC, 1994 ; Havis, 1988 ; Hayes, 1986 ; Herbich et Brahme, 1991). Pour les **dragues mécaniques**, la remise en suspension des sédiments a lieu principalement lors du creusage des sédiments, (i) à l'instant où la benne frappe le fond du cours d'eau, (ii) par la perte de matériaux à travers les mâchoires de la benne, (iii) par l'action érosive de la colonne d'eau pendant la remontée de la benne et (iv) par la surverse de la benne au moment de sa sortie de l'eau. L'augmentation des concentrations en MES à proximité immédiate de la drague varie de 25 à 300 mg/L, mais est généralement inférieure à 100 mg/L. Lors du chargement des sédiments dragués sur les 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. La perte de matériaux dragués au site même des travaux représente environ 2 % en masse, et tend à décroître lorsque les quantités de sédiments dragués augmentent.

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 le dragage de matériaux cohésifs. En revanche, la surverse et le rejet en eau libre du mélange eau – sédiments sont les principales sources de remise en suspension des sédiments. 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 sédiment et le surnageant est évacué. Or, le temps alloué à la sédimentation est insuffisant pour les particules fines. Elles ont alors rejetées lors de la surverse et entraînent la formation de panaches turbides en arrière de la drague. Les concentrations en MES observées peuvent alors atteindre 16 fois celles observées sans utilisation de la surverse.

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

Commentaire [LB13]: Commentaire général d'André Lachance sur le chapitre 5, il fait d'autres commentaires plus loin dans le chapitre :

« Je pense que de discuter de technique de dragage est inapproprié et surtout incomplet. Je l'enlèverais tout simplement. Le comité fédéral-provincial sur la gestion intégré des sédiments essaie de sortir un guide là dessus. Ça date des années 2000 et il n'est pas encore sorti!!! Donc, c'est un sujet assez complexe. Même avec mes petites corrections, je ne suis vraiment pas à l'aise avec cette section. Il y a énormément de différence entre le dragage et le rejet des sédiments. Il y a donc énormément de travail à faire pour cette section et je ne crois pas que ça soit nécessaire. Le rester du document m'apparaît correct et suffisant sans cette section #5. »

Commentaire [LB14]: Commentaire d'André Lachance :

« Et lorsque la benne ne ferme pas de façon étanche »

Commentaire [LB15]: Commentaire d'André Lachance :

« Quand est-il au point de rejet ?? »

Commentaire [LB16]: Commentaire d'André Lachance :

« Le godet-pompe ne cause pas ce problème »

Commentaire [LB17]: Commentaire d'André Lachance :

« Il serait donc logique de ne pas l'utiliser lorsque nous sommes en présence de sédiments fins »

Tableau 15 : Mesures d'atténuation envisageables pour les projets de dragage et de rejet en eau libre (d'après Anchor Environmental, 2003 ; CSL, 1992 ; EC, 1994 ; MPO, 2007 et USEPA, 2009)

	Dragage	Mesures de mitigation	
Choix de l'équipement	Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Étanchéisation des bennes et des clapets des barges et des chalands Utilisation de benne preneuse à godet hydraulique (à double paroi) Fermeture hydraulique de la pelle rétrocaveuse <u>Utilisation d'un godet-pompe</u> 	Commentaire [LB18]: (Commentaire d'André Lachance) « Ajouter une ligne : Utiliser un godet -pompe »
	Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> 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 <u>Installation d'un tube à trémie et/ou d'un diffuseur à l'extrémité de la conduite</u> 	Commentaire [LB19]: Commentaire André Lachance : « Pourquoi ? Ca ne fait que disperser les sédiments »
	Autoporteuse	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation d'un système de surverse anti-turbidité 	
	Tous types	<ul style="list-style-type: none"> Choix du type et de la taille de drague les plus adaptés Utilisation d'un système de diffuseur submergé (rejet) Utilisation d'écrans protecteurs (voir section 5.3) 	
Bonnes pratiques de dragage	Mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de la vitesse de descente et de remontée de la benne <u>Installation d'un dispositif pour assurer la fermeture du godet avant la remontée</u> Nivellement du fond par pivotement de la benne sur le fond à éviter Descente de la benne le plus bas possible dans le chaland 	Commentaire [LB20]: (Commentaire d'André Lachance) « Ajouter une ligne : Avoir un dispositif pour assurer la fermeture du godet avant la remontée »
	Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> Limitation de la profondeur de coupe pour qu'elle corresponde approximativement au diamètre du désagrégateur Optimisation de la vitesse de rotation du désagrégateur avec la puissance d'aspiration de la pompe Limitation de vitesse de rotation du désagrégateur à 30 tours/min (CSL, 1992) Nettoyage du pipeline avant d'enlever ou d'ajouter une section de tuyau 	Mis en forme : Police : (Par défaut) Arial, 10 pt
	Autoporteuse	<ul style="list-style-type: none"> Recours à la surverse à éviter <u>en présence de matériaux fins</u> Optimisation de la vitesse de la drague avec la puissance d'aspiration de la pompe 	Commentaire [LB21]: (Commentaire André Lachance) « S'assurer que la tête de la drague reste dans les sédiments »
	Tous types	<ul style="list-style-type: none"> <u>Manipulation, nettoyage et maintenance des équipements par des opérateurs formés et sensibilisés</u> Remontée des ancrs avant le déplacement de la drague Choix d'une technique d'avancement de la drague minimisant les plages de résidus Choix de plan de coupe en escalier au lieu de coupes verticales Limitation des dimensions du projet au strict nécessaire Évaluation du panache de dispersion des MES Dragage et rejet en période de faible débit pour éviter la dispersion des MES et assurer l'efficacité des mesures de contrôle Limitation du chargement lors du transport pour éviter un déversement accidentel Récupération rapide de tout déversement accidentel de sédiments pendant les activités de transbordement ou de transport Régulation les volumes de matériaux déchargés par unité de temps ou de volume des eaux réceptrices (rejet) Choix de méthodes et de sites de rejet limitant la dispersion des MES et l'érosion (bassins de sédimentation, recouvrement...) Valorisation des sédiments dragués (stabilisation de berges, recharge de plages...) 	Commentaire [LB22]: (Commentaire d'André Lachance) « Ajouter une ligne : Prioriser le rejet en milieu terrestre » Lise : Je crois que la ligne plus bas « Valorisation des sédiments dragués » va dans ce sens.
			Commentaire [LB23]: (Commentaire d'André Lachance) « Comment ??? »
Gestion du milieu	Vie aquatique	<ul style="list-style-type: none"> Dragage et rejet en période de faible activité biologique (c.-à-d. hors période critique) pour la protection de la vie aquatique (fraie, migration...) Prise en compte des éléments sensibles du milieu (frayère, eaux coquillières...) Étalement des matériaux déchargés pour réduire l'épaisseur de recouvrements des organismes benthiques (rejet) Composition des sédiments similaire aux sites de dragage et de rejet (caractéristiques physiques, chimiques et biologiques) 	
	Usages	<ul style="list-style-type: none"> Prise en compte des usages et des réglementations associées (eau potable, activités commerciales et de loisirs...) 	

5.2 Les écrans protecteurs

Les écrans protecteurs sont des dispositifs conçus pour contrôler la turbidité en limitant la dispersion des MES générées lors des activités de dragage (Anchor Environmental, 2003 ; CSL, 1992 ; USACE *et al.*, 2001). Selon l'efficacité de l'écran (tableau 16), l'augmentation du temps de séjour des particules et la réduction du débit permettent une sédimentation plus rapide des MES et entraînent par conséquent un abattement de la turbidité. Des écrans peuvent également être utilisés pour protéger des zones particulières (milieux sensibles, prises d'eau, zones récréatives, etc.) contre une augmentation en MES (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978 ; USACE, 1997).

Tableau 16 : Principaux facteurs influençant l'efficacité des écrans protecteurs (d'après JBF Scientific Corporation, 1978, cité par Francingues et Palermo, 2005)

Facteurs d'influence	
Matériel	Caractéristiques de l'écran protecteur (conception, spécificités techniques...)
Méthodes	Déploiement de l'écran
Milieu	Nature et quantité de matières en suspension (MES mais aussi débris, huiles, contaminants...) Conditions hydrodynamiques (courants, marées, vents...)

Un écran de protection est généralement constitué de panneaux de 30 mètres de longueur, perméables ou non, que l'on peut lier entre eux par des connecteurs. Ces panneaux sont maintenus verticalement en place par une série de flotteurs et une chaîne de fond lestée. Les tensions créées par le courant et les forces hydrodynamiques sont absorbées par des câbles de tension et le dispositif est maintenu en position par un système d'ancrage (CSL, 1992 ; Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978) (figure 11).

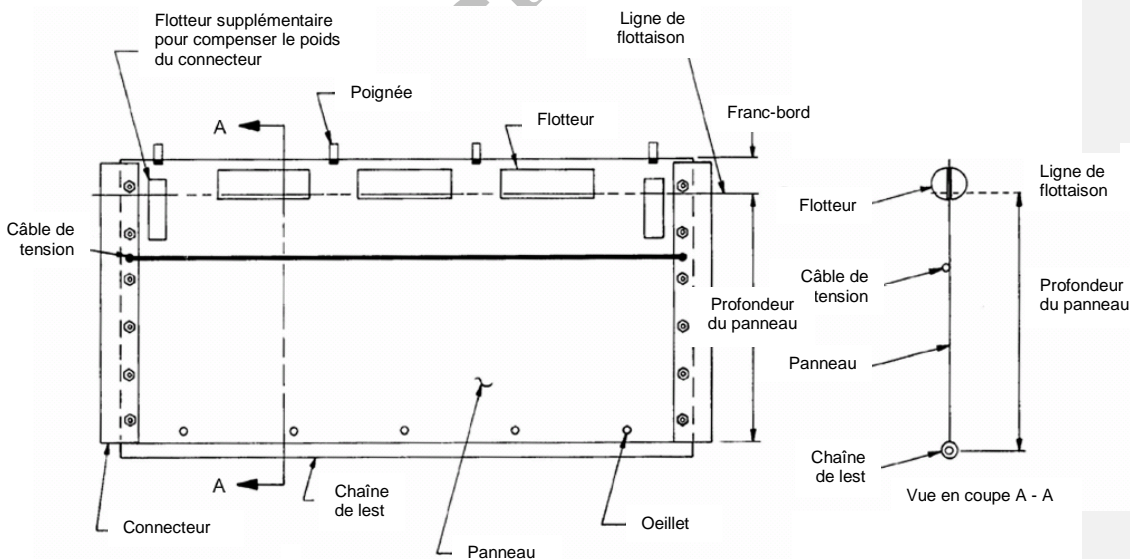


Figure 11 : Schéma d'un écran protecteur, tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 (adapté de JBF Scientific Corporation, 1978)

Commentaire [LB24]: Commentaire d'André Lachance :

« Texte qui fait peur. Les écrans protecteurs que l'on appelle rideaux de turbidités ne sont pas utilisés pour les dragages de la voie maritime. Par contre, dans les autres types de dragages nous avons plusieurs exemples d'utilisations. »

Configurations d'écrans protecteurs et efficacité selon les régimes hydrodynamiques

La configuration de l'écran (figure 12) est déterminée selon les objectifs du projet et l'étude du régime hydrodynamique du site et du trafic maritime. La configuration labyrinthe (A) a déjà été utilisée sur les cours d'eau où le trafic maritime est important, mais semble être relativement inefficace en raison du flux qui passe directement entre les sections de rideau. Sur les cours d'eau non soumis aux marées, une configuration semi-circulaire (B) est acceptable, mais la distance entre les extrémités ancrées de l'écran doit être suffisamment grande pour éviter les fuites de MES. Lorsqu'il s'agit de contrôler un rejet à proximité du rivage (ou les effluents d'une zone de confinement), l'écran peut être ancré dans une configuration de type «U» (C). Dans ce cas, les extrémités du rideau sont ancrées à terre environ à équidistance du point de rejet. Dans une situation de marée avec inversion des courants, une configuration circulaire ou elliptique (D) est requise ; un système d'amarrage plus vaste est alors nécessaire. De plus, il faut prévoir un ajustement de la profondeur du rideau en fonction du niveau d'eau.

Un rideau typique peut atteindre 150 à 450 mètres de longueur pour les configurations en U ou semi-circulaire et 300 à 900 mètres pour les cas circulaire ou elliptique (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978). Leur profondeur est limitée à 30 mètres mais dépasse rarement 3 à 4 mètres en eaux agitées, même profondes, en raison de l'action des courants et des vagues (USACE, 1997).

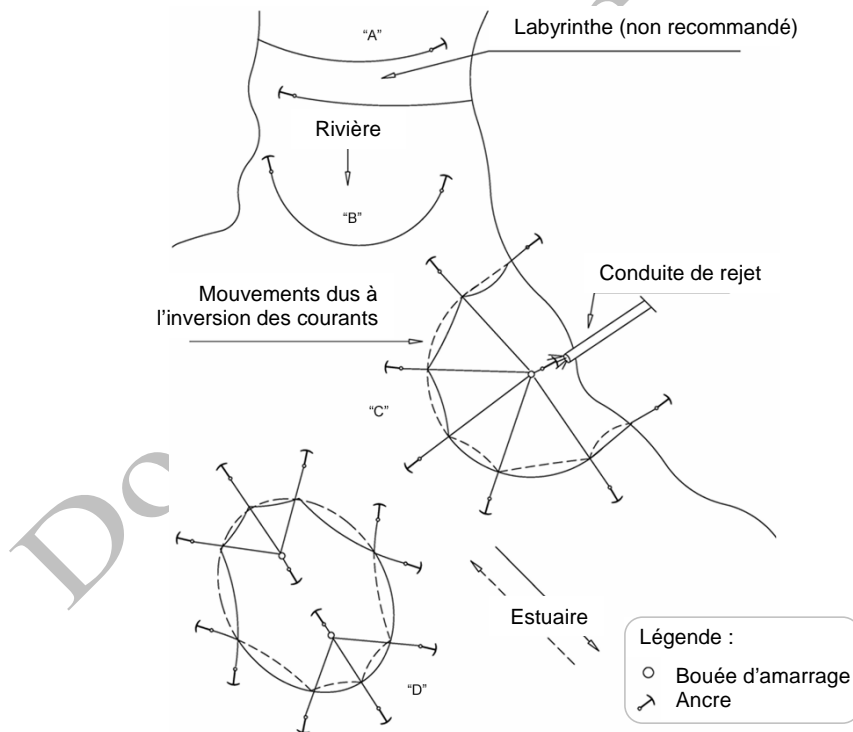


Figure 12 : Configurations typiques des écrans protecteurs (tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 ; adapté de JBF Scientific Corporation, 1978)

Lors d'un rejet de sédiments dragués (figure 13), seul un faible pourcentage de particules rejetées reste en suspension dans la colonne d'eau. En effet, la quasi-totalité des sédiments déchargés descendent rapidement sous forme d'une boue liquide qui 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 sur cette dernière (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978).

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 site. Néanmoins, lorsque le courant entraîne l'écran à remettre les sédiments en suspension en touchant le fond, ce phénomène peut s'inverser.

En zones agitées, l'ancrage doit donc être établi de façon régulière (à des intervalles de 15 à 30 mètres des deux cotés de l'écran) et un espace de 30 cm minimalement doit être laissé entre le bord inférieur du rideau et la surface de la couche de sédiments accumulés (JBF Scientific Corporation, 1978 ; USACE, 1997) (annexe D).

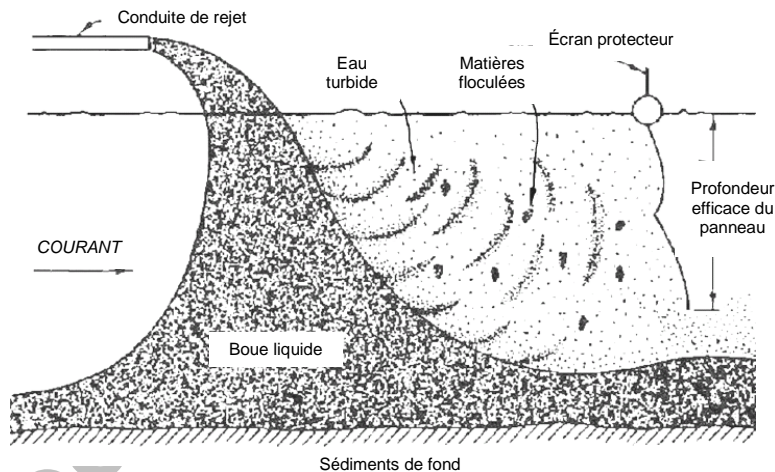


Figure 13 : Utilisation d'un écran protecteur dans le cas d'un rejet en eau libre par conduite de rejet (tiré et traduit de Francingues et Palermo, 2005 ; adapté de JBF Scientific Corporation, 1978)

Un des inconvénients majeurs des écrans de protection est que leur efficacité décroît lorsque la vitesse du courant augmente, à cause de l'évaselement de l'écran et de la remise en suspension des sédiments. Ainsi, il existe plusieurs types d'écrans adaptés à différentes situations hydrodynamiques (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978 ; USACE, 1997) (annexe D) :

- type I : zones protégées sans courant, à l'abri du vent et des vagues ;
- type II : zones de courant faible à modéré jusqu'à 4 km/h, soit environ 1 m/s, et / ou zones soumises à l'action du vent et des vagues ;
- type III : zones où la vitesse du courant peut atteindre 6 km/h, soit environ 1,5 m/s, et / ou zones soumises à l'action des marées et / ou du vent et des vagues.

Commentaire [LB25] : Pas sûr de bien comprendre. Est-ce qu'on ne devrait pas dire : « Néanmoins, lorsque le courant entraîne l'écran vers le fond, il peut y avoir remise en suspension et ce phénomène peut s'inverser » ?

Commentaire [LB26] : Commentaire d'André Lachance :
« La conduite de rejet ne devrait jamais être en surface ou en dehors de l'eau. »

D'une manière générale, l'efficacité des écrans de protection est limitée dans les zones où le courant dépasse 2 km/h, soit environ 0,5 m/s (Francingues et Palermo, 2005 ; JBF Scientific Corporation, 1978 ; Ontario Ministry of the Environment and Energy, 1991). En outre, des précautions doivent être prises lors du déplacement ou de l'enlèvement des rideaux afin d'éviter, ou de minimiser, la remise en suspension des sédiments (Francingues et Palermo, 2005). Il est conseillé de retirer l'écran uniquement lorsque la qualité de l'eau à l'intérieur de la zone est comparable à celle à l'extérieur, tout en respectant un minimum de 24 heures. Dans tous les cas, les données du constructeur doivent être respectées afin de s'assurer de conditions d'utilisation optimales.

Document de travail

Conclusion

L'analyse des teneurs ambiantes en MES observées naturellement dans le fleuve Saint-Laurent et des concentrations en MES mesurées en situation de dragage a permis de définir des balises spécifiques à la gestion des MES liées aux activités de dragage. Des critères de gestion sont applicables aux eaux limpides, dont les teneurs ambiantes en MES sont généralement inférieures à 25 mg/L, et aux eaux turbides, dont les teneurs ambiantes en MES sont supérieures à 25 mg/L. Ainsi, ces critères tiennent compte des variabilités spatio-temporelles des teneurs ambiantes, qui sont sensiblement élevées dans la zone de turbidité maximale (ZTM) et lors des crues printanières et automnales.

En eaux limpides, les concentrations en MES mesurées à 100 mètres de la drague ou du site de rejet ne doivent pas dépasser les teneurs ambiantes par plus de 25 mg/L en moyenne, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu. En eaux turbides, les concentrations en MES mesurées à 100 mètres de la drague ne doivent pas être supérieures à deux fois les teneurs ambiantes en MES, tandis qu'à 300 mètres de la drague ou du site de rejet, elles ne doivent pas dépasser les teneurs ambiantes par plus de 25 mg/L en moyenne, sur la période de dragage quotidienne ou sur une période de 6 heures consécutives si le dragage est continu. Afin de s'assurer du respect de ces critères de gestion, il est conseillé de suivre les concentrations en MES en continu par mesure *in situ* de la turbidité et extrapolation, grâce à une courbe de corrélation spécifique aux caractéristiques des sédiments à draguer.

Les critères de gestion des MES sont basés sur l'analyse des effets des MES sur la vie aquatique (Caux *et al.*, 1997 ; CCME, 2002 ; Newcombe et Jensen, 1996) et sur les observations recueillies lors des suivis de dragage qui ont été effectués ces dernières années. Le fleuve Saint-Laurent étant un écosystème complexe, ces critères de gestion sont complétés par des balises liées à la protection des zones et des espèces aquatiques sensibles (frayères, herbiers, mammifères marins) ainsi que des usages de l'eau (prise d'eau, aquaculture, loisirs). En cas d'impossibilité justifiée de respecter l'une ou l'autre des balises de gestion lors des travaux de dragage, il est possible de les adapter. Néanmoins, il est demandé aux promoteurs de toujours appliquer les bonnes pratiques de dragage qui permettent de minimiser la remise en suspension des MES et leur impact sur la vie aquatique.

Les balises de gestion des MES sont complétées par divers outils de gestion des activités de dragage sur le Saint-Laurent. Ainsi, dans le cadre de la mise en œuvre de la gestion intégrée du dragage (GTGIDS, 2004), le Comité de planification et d'évaluation environnementale du dragage (CPEED) a développé le *Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent* (EC et MPO, 2009a). Ce registre, mis en ligne sur le site Web du Plan d'action Saint-Laurent⁵, contient l'information relative aux projets de dragage à venir sur le fleuve et vise à faciliter la concertation entre les promoteurs en amont des projets de dragage ainsi que la planification régionale à moyen et à long terme des activités de dragage. La page Web du registre

Commentaire [LB27]: Je crois que j'enlèverais le deuxième paragraphe. Il me semble que ce n'est pas opportun en conclusion de reprendre cela en détail. Ces précisions apparaissent dans le résumé ainsi qu'à la section 4.1, à mon avis c'est suffisant.

Commentaire [LB28]: Pourrait sûrement être nuancé. Si vous êtes inspirés, allez-y.

Commentaire [LB29]: Serge ou Pierre, est-ce que vous pouvez vérifier la référence

⁵ http://planstlaurent.qc.ca/fr/liens_utilites/dragage.html

regroupe également l'ensemble des documents de référence, guides et diagrammes décisionnels liés à la gestion des activités de dragage.

Il serait également intéressant de réaliser une cartographie du Saint-Laurent comprenant les zones de dragage et de rejet (voir CSL, 1997), les zones nécessitant une attention particulière du fait de la nature des sédiments (argiles, contamination reconnue ou potentielle, etc.), les zones et les espèces sensibles, les usages (prises d'eau, aquaculture, etc.) qui permettrait aux différents acteurs du dragage d'avoir une vue d'ensemble des enjeux sociaux, économiques et environnementaux liés aux activités de dragage sur le Saint-Laurent.

Commentaire [LB30]: Pour mentionner cela de cette façon, il faudrait qu'il y ait un projet sur la table.

Est-ce que vous avez des éléments à indiquer ici ? Sinon on peut tout simplement enlever ce paragraphe.

Document de travail

Références

- Anchor Environmental**, 2003. *Literature review of effects of resuspended sediments due to dredging operations*, Los Angeles Contaminated Sediments Task Force, 87 p.
- d'Anglejan B.F.**, 1981. *On the advection of turbidity in the St. Lawrence Middle Estuary*, Estuaries, 4(1):2-15.
- d'Arcy Pierre, Bibeault Jean-François**, 2004. *Stratégie de Navigation Durable pour le Saint-Laurent*, Comité de Concertation Navigation de Saint-Laurent Vision 2000, Ministère des Transports du Québec, Pêches et Océans Canada, 111 p.
- Bilotta G.S., Brazier R.E.**, 2008. *Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota*, Water Research 42: 2849-2861.
- Borrowman Thomas D.**, 2006. *Summary of measurement protocols for sediment resuspended from dredging operations*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-D8, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 9 p.
- Brassard Claude, Tremblay Pascal**, 2010. Communication personnelle, Mont-Joli, Pêches et Océans Canada, Protection de l'habitat du poisson, hydroélectricité, navigation et milieu marin.
- Caux P.-Y., Moore D.R.J., MacDonald D.**, 1997. *Ambient water quality guidelines (criteria) for turbidity, suspended and benthic sediments, Technical Appendix*, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Water Management Branch, 82 p.
- CCME** – Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, 1999, mis à jour en 2002. *Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique – Matières particulaires totales*, 15 p., dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil.
- CEAEQ** – Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2009a. *Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique*, MA. 103 – Tur. 1.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 10 p.
- CEAEQ**, 2009b. *Détermination des solides en suspension totaux et volatils : méthode gravimétrique*, MA. 115 – S.S. 1.1 (SM 2540 D), Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 11 p.
- CEAEQ**, 2008. *Détermination des solides en suspension totaux et volatils dans l'eau : méthode gravimétrique*, MA. 104 – S.S. 1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 10 p.

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

CSL, 1997. *Le Saint-Laurent : dynamique et contamination des sédiments*, Rapport thématique sur l'état du Saint-Laurent, Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Montréal, collection « BILAN Saint-Laurent », 127 p.

CSL, 1996. *L'écosystème du Saint-Laurent*, Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent, Volume 1, Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Éditions MultiMondes, Montréal, collection « BILAN Saint-Laurent ».

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

Dessau inc., 2008. *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.

Downing John, 2005. *Turbidity Monitoring*, 511-546, dans Down Randy D., Lehr Jay H., 2005, *Environmental instrumentation and analysis handbook*, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 1 068 p.

Dredging Research Ltd. et HR Wallingford, 2003. *Protocol for the field measurement of sediment release from dredgers*, VBKO (Vereniging van Waterbouwers in Bagger – Kust en Oeverwerken) TASS Project, 83 p.

Environnement Canada (EC), 2012a. *Fleuve Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?Lang=Fr&n=F46CF5F8-1>, mis à jour le 25 septembre 2012.

Mis en forme : Anglais (Canada)

Environnement Canada (EC), 2012b. *Hydrographie du Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=59C4915D-1>, mis à jour le 3 juillet 2012.

Commentaire [LB31]: anciennement EC 2010b

Environnement Canada (EC), 2012c. *Les masses d'eau du Saint-Laurent*. [En ligne] : <http://www.ec.gc.ca/stl/default.asp?lang=Fr&n=3776F8EF-1>, mis à jour le 3 juillet 2012.

Commentaire [LB32]: anciennement CSL 2008

Environnement Canada (EC), 2010. *Base de données Qualité Eau*, Environnement Canada, Division Monitoring et Surveillance de la Qualité de l'Eau.

Environnement Canada (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.

Environnement Canada (EC), 2002b. *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 2 : Manuel du praticien de terrain*.

Direction de la protection de l'Environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels, 107 p.

EC, 1994. *Répercussions environnementales du dragage et de la mise en dépôt des sédiments*, document préparé par Les Consultants Jacques Bérubé inc. pour la Section du Développement Technologique, Direction de la Protection de l'Environnement, régions du Québec et de l'Ontario, En 153-39/1994F, 109 p.

EC et **MDDEP**, 2007. *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*, 39 p.

EC et **MPO**, 2009. *Registre de planification des activités de dragage sur le Saint-Laurent* [en ligne]. <http://planstlaurent.qc.ca/registreactivitesdragage/Accueil.aspx>, mis à jour le 8 juillet 2009, consulté le 04 août 2010.

~~**Eseher** Vincent, **Houde** Hélène, **Robert Dubord** Dominique, **Thibert Leduc** Philippe, 2010. *Développement d'une approche pour la gestion des matières en suspension (MES) lors d'activités de dragage et de rejet en eaux libres*, Rapport Final, Université de Sherbrooke, 88 p.~~

Francingues Norman R., **Palermo** Michael R., 2005. *Silt curtains as a dredging project management practice*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-E21, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 18 p.

Genivar, 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 Daniel, **Mamo** Martha, 2006. *Measuring Runoff-Suspended Solids Using an Improved Turbidometer Method*, Journal of Environmental Quality 35: 815-823.

GTGIDS, 2004. *Document d'orientation sur la gestion du dragage sur le Saint-Laurent, Document de soutien à la stratégie de navigation durable du comité de concertation navigation*, 21 p.

Havis Robert N., 1988. *Sediment Resuspension by Selected Dredges*, Environmental Effects of Dredging, Technical Notes EEDP-09-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 9 p.

Hayes Donald F., 1986. *Guide to selecting a dredge for minimizing resuspension of sediment*, Environmental Effects of Dredging, Technical Notes EEDP-09-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 7 p.

Hébert Serge, **Belley** Josée, 2005. *Le Saint-Laurent – La qualité des eaux du fleuve 1990-2003*, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du Suivi de l'État de l'Environnement, Envirodoc n°ENV/2005/0095, collection n°QE/156, 25 p. et annexes.

- Herbich** John B., **Brahme** Shashikant B., 1991. *Literature review and technical evaluation of sediment resuspension during dredging*, Improvement of operations and maintenance techniques program, contract report hl-91-1, US Army Corps of Engineers, Washington, DC, 87 p.
- Hudson** Robert, 2001. *Interpreting Turbidity and Suspended-Sediment Measurements in High-Energy Streams in Coastal British Columbia*, British Columbia Ministry Of Forests, Vancouver Forest Region, Research Section, Technical Report TR-008, 14 p.
- IADC** – International Association of Dredging Companies, 2007. *Facts about turbidity*, 4 p.
- JBF Scientific Corporation**, 1978. *An analysis of the functional capabilities and performance of silt curtains*, Technical Report D-78-39, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 184 p.
- Kranck** Kate, 1979. *Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence Estuary*, *Naturaliste Canadien* 106:163-173.
- Lewis** David J., Tate Kenneth W., Dahlgren Randy A., Newell Jacob, 2002. *Turbidity and Total Suspended Solid Concentration Dynamics in Streamflow from California Oak Woodland Watersheds*, USDA Forest Service, General Technical Report PSW-GTR-184: 107-118.
- Lewis** Jack, 2003. *Turbidity-controlled sampling for suspended sediment load estimation*, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 8 p.
- Lewis** Jack, 1996. *Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation*, *Water Resources Research* vol. 32, no. 7, 2299-2310.
- Lillycrop** Linda S., Howell Gary L., White Thomas E., 1996. *Development and evaluation of a prototype turbidity sensor for in situ, long-term measurements*, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiments Station, Technical Report CERC-96-9, 51 p.
- Loi canadienne sur l'évaluation environnementale**, 1992. *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale, ch.37, à jour en date du 11 juillet 2010*, Canada, Ministère de la justice, 1992 [en ligne]. <http://lois.justice.gc.ca/fra/C-15.2/index.html>, mis à jour le 10 août 2010, consulté le 16 août 2010.
- Loi sur les espèces en péril**, 2002. *Loi sur les espèces en péril, ch.29, à jour en date du 11 juillet 2010*, Canada, Ministère de la justice, 2002 [en ligne]. <http://laws.justice.gc.ca/fra/S-15.3/index.html>, mis à jour le 16 août 2010, consulté le 18 août 2010.
- Marquis** Paul, 2005. *Turbidity and Suspended Sediment as Measures of Water Quality*, *Streamline, Watershed Management Bulletin* vol. 9, no. 1, 21-23.

- MDDEP** – Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, 2010a. *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.
- MDDEP**, 2010b. *Critères de qualité de l'eau de surface au Québec, matières en suspension* [en ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0306, mise à jour inconnue, consulté le 06 mai 2010.
- Minella** Jean P.G., Merten Gustavo H., Reichert José M., Clarke Robin T., 2008. *Estimating suspended sediment concentrations from turbidity measurements and the calibration problem*, Hydrological Processes 22:1819-1830.
- MPO** – Pêches et Océans Canada, 2008. *Espèces aquatiques en péril - Béluga - Fleuve Saint-Laurent* [en ligne]. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/species-especes/belugaSTLa-fra.htm>, mis à jour le 11 septembre 2008, consulté le 18 août 2010.
- MPO**, 2007. *Dragage d'entretien périodique, Énoncé opérationnel pour le Québec, Version 3.0* [en ligne]. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/what-quoi/os-eo/qc/maintenance-fra.asp>, mis à jour le 31 mai 2010, consulté le 02 août 2010.
- MPO**, 2005. *Le golfe du Saint-Laurent, un écosystème unique* [en ligne]. <http://www.glf.dfo-mpo.gc.ca/f0006090>, mis à jour le 29 avril 2010, consulté le 10 août 2010.
- Newcombe** Charles P., 2003. *Impact assessment model for clear water fishes exposed to excessively cloudy water*, Journal of the American Water Resources Association 39:529-544.
- Newcombe** Charles P., 1997. *Channel suspended sediment and fisheries: a concise guide to impact*, Resource Stewardship Branch, Ministry of Environment, Lands and Parks, Victoria, British Columbia, 37 p.
- Newcombe** Charles P., 1994. *Suspended sediment in aquatic ecosystems: ill effects as a function of concentration and duration exposure*, Habitat Protection Branch, Ministry of Environment, Lands and Parks, Victoria, British Columbia, 298 p.
- Newcombe** Charles P., **Jensen** Jorgen O. T., 1996. *Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact*, North American Journal of Fisheries Management 16:693-727.
- Newcombe** Charles P., **MacDonald** Donald D., 1991. *Effects of Suspended Sediments on Aquatic Ecosystems*, North American Journal of Fisheries Management 11:72-82.
- Ontario Ministry of the Environment and Energy**, 1991 (mis à jour en 1994). *Evaluating construction activities impacting on water resources Part III B*, 26 p., in *Handbook for dredging and dredged material disposal in Ontario – Dredging transport and monitoring*. Ontario Ministry of the Environment and Energy, Standards Development Branch.

Pelletier Magella, 2010. Communication personnelle, Québec, Environnement Canada, Direction de la science et des technologies, Monitoring et surveillance de la qualité de l'eau.

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., 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 – Point-Noire », Étude environnementale*, TPSGC – Dossier n° 4355-S386/32-3/, Port de Sept-Îles – Dossier n° 564-9-1, présenté à la Corporation du Port de Sept-Îles, 200 p. et annexes.
- Pye K.**, 1994. *Sediment transport and depositional processes*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 397 p.
- Ricard Marcel, Saumure Laurent**, 2003. *Portrait des activités de dragage sur le Saint-Laurent : les aspects administratifs, économiques et sociaux, Rapport final*, Transport Québec, 113 p.
- Ritter John R., Brown William H.**, 1971. *Turbidity and suspended-sediment transport in the Russian River Basin, California*, U.S. Department of the Interior Geological Survey, Water Resources Division, 100 p.
- Roche Itée**, 2000. *Suivi environnemental – dragage 1999, Mines Wabush, Suivi des circulations et des panaches de turbidité lors du dragage de 1999*, Administration portuaire de Sept-Îles, 89 p.
- Rondeau B., Cossa D., Gagnon P., Bilodeau L.**, 2000. *Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada*, Hydrological Processes 14, 21-36.
- Rouleau Pierre**, 2010. Communication personnelle, Québec, Pêches et Océans Canada, Garde Côtière Canadienne.
- R.R.Q.**, 1981. *Section II – Projets assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement dans Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement, c.Q-2, r.9, à jour au 1^{er} août 2010*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 1981, [en ligne].
http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R9.htm, mis à jour le 1^{er} août 2010, consulté le 02 août 2010.

Silverberg Norman, **Sundby** Bjørn, 1979. *Observations in the turbidity maximum of the St. Lawrence Estuary*, Canadian Journal of Earth Sciences 16:939-950.

Teixeira Edmilson C., **Caliari** Paulo C., 2005. *Estimation of the concentration of suspended sediments in river from turbidity measurement: error assessment*, Sediment budgets 1 (Proceedings of symposium S1 held during the seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005), IAHS Publication 291: 151-160.

Thackston E.L., **Palermo** M.R., 2000. *Improved methods for correlating turbidity and suspended solids for monitoring*, DOER Technical Notes Collection TN-DOER-E8, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 10 p.

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

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

USACE – United States Army Corps of Engineers, 1997. *Turbidity Curtains, Appendix C BMP-27, C-165 – C-174 in Engineering and Design, Handbook for the Preparation of Storm Water Pollution Prevention Plans for Construction Activities*, Engineers Pamphlet EP 1110-1-16, USACE, Washington, DC.

USACE, USEPA, San Francisco Bay Conservation and Development Commission, San Francisco Bay Regional Water Quality Control Board, 2001. Appendix I *Dredging “Best Management Practices”*, in *Long-Term Management Strategy For The Placement Of Dredged Material In The San Francisco Bay Region, Management Plan 2001*, 400 p.

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

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

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

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

Vachon, N. 2003. L'envasement des cours d'eau: processus, causes et effets sur les écosystèmes avec une attention particulière aux Catostomidés dont le chevalier cuivré (*Moxostoma*

hubbsi). Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de l'aménagement de la faune de Montréal, de Laval et de la Montérégie, Longueuil, Rapport technique 16-13, vi + 49 p.

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

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

Document de travail

Annexes

Annexe A : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station, dans le fleuve Saint-Laurent, d'après MDDEP, 2010a..... A

Annexe B : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station pour le tronçon fluvial, d'après MDDEP, 2010a B

Annexe C : Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station pour l'estuaire fluvial, d'après MDDEP, 2010a C

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

Annexe A

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

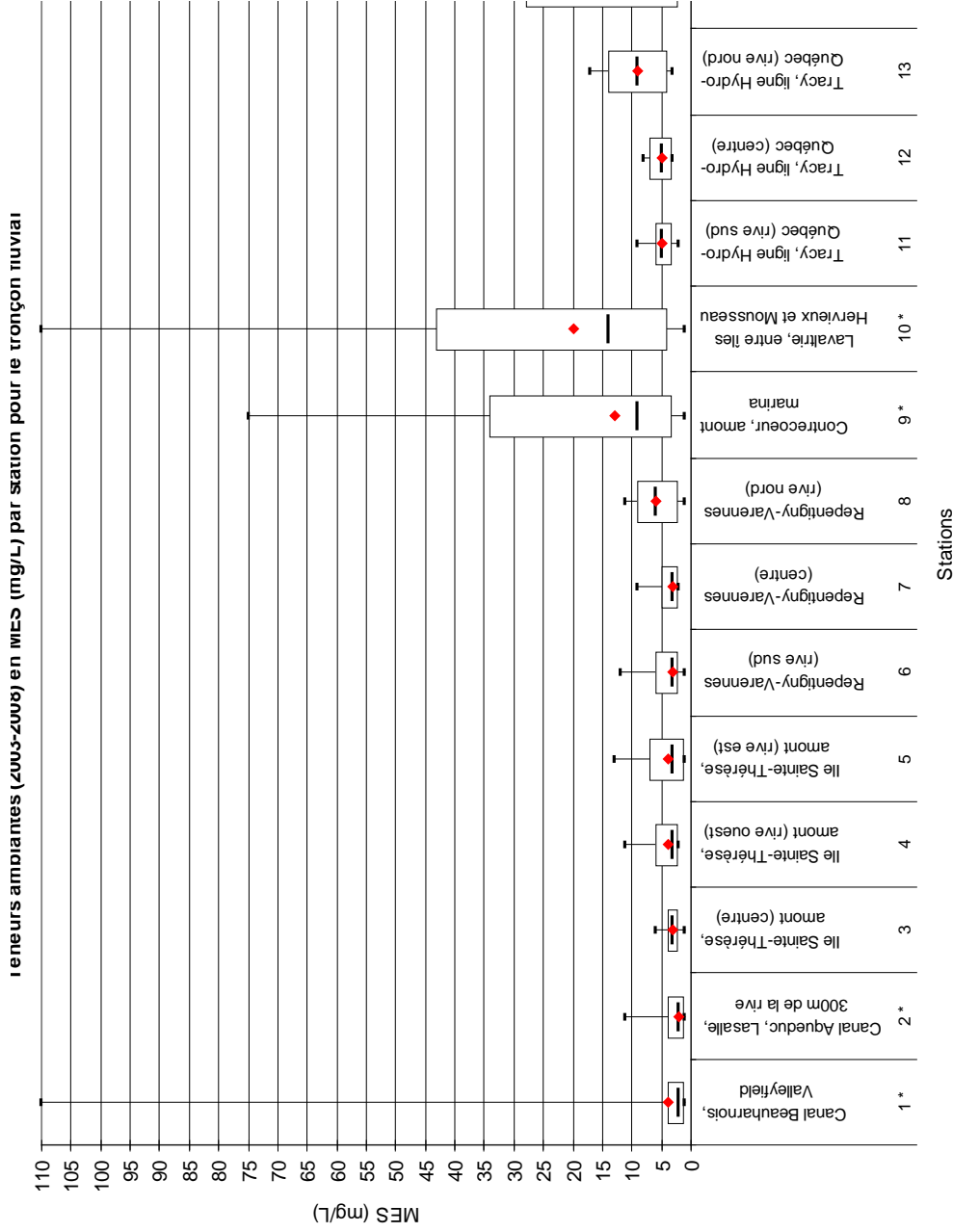
Secteur	N°	Station	N	Minimum	C10	Médiane	C90	Maximum	Moyenne
Tronçon fluvial	1 *	Canal Beauharnois, Valleyfield	66	1,0	1,0	2,0	4,0	110,0	4,0
	2 *	Canal Aqueduc, Lasalle, 300m de la rive	70	1,0	1,0	2,0	4,0	11,0	2,0
	3	Ile Sainte-Thérèse, amont (centre)	36	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	3,0
	4	Ile Sainte-Thérèse,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

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

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

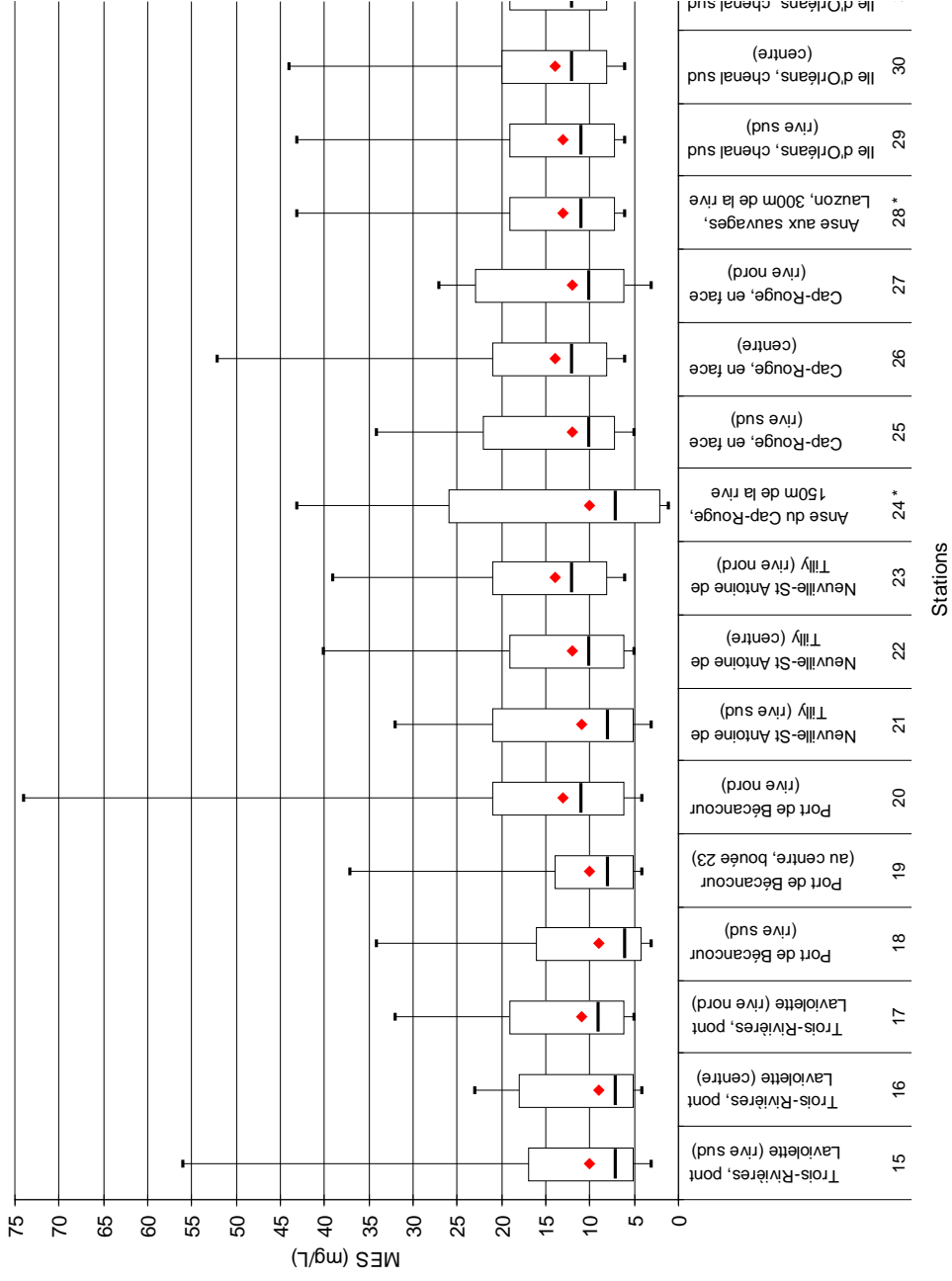
Stations 32 à 43 : échantillonnage une fois par an en juillet 2003, 2004 et 2005

Annexe B

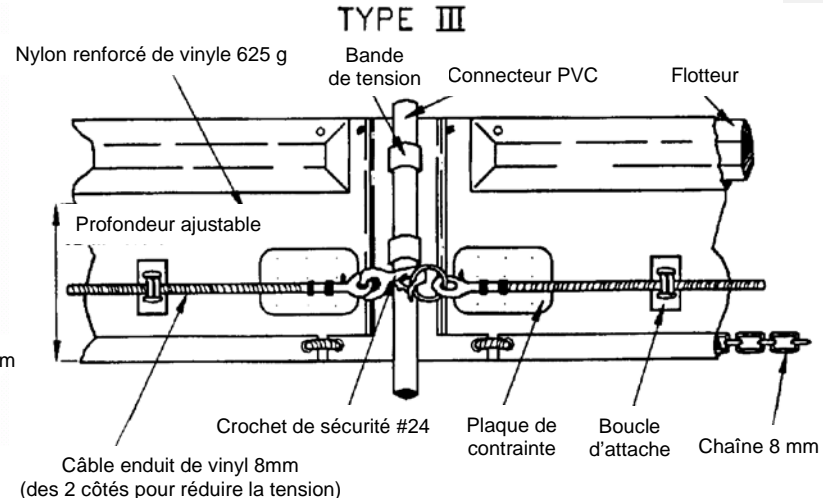
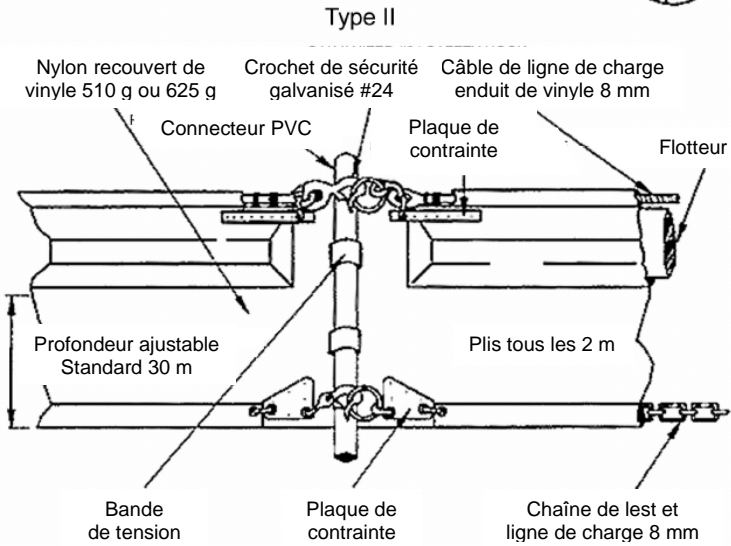
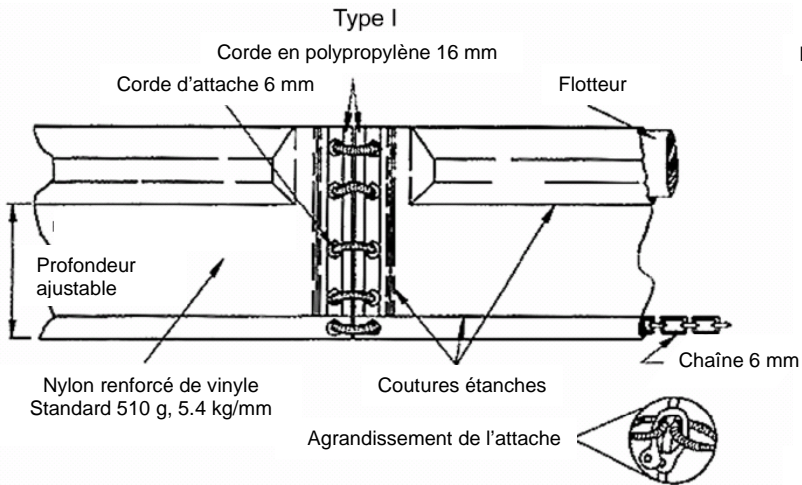


Annexe C

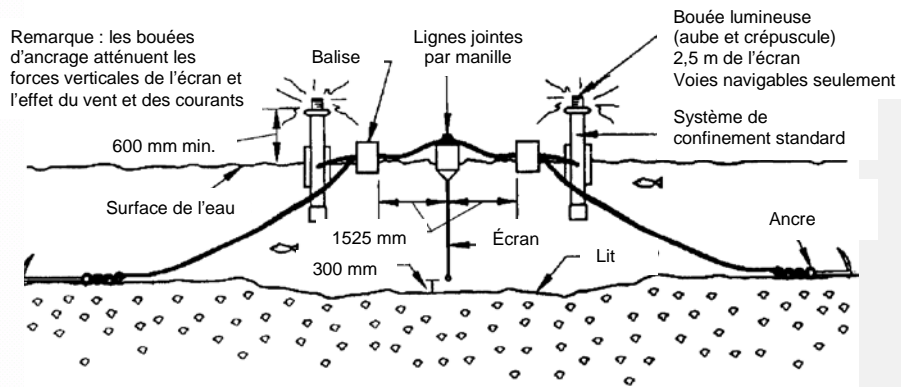
Teneurs ambiantes (2003-2008) en MES (mg/L) par station pour l'estuaire fluvial



Annexe D



TYPE III – INSTALLATION EN SITUATION DE MARÉE



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

Document de travail



Environnement
Canada

Environment
Canada

*Développement durable,
Environnement
et Parcs*

Québec 

