

TECHNOPOLE
MARITIME
DU QUÉBEC



LE RÉSEAU MARITIME INNOVANT

GESTION ET VALORISATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE AU QUÉBEC

Novembre 2018

*Une étude réalisée dans le cadre de réseau MeRLIN
par Julie Dionne – Lavoie (Université du Québec à Rimouski)*

Un projet piloté par :

TECHNOPOLE
MARITIME
DU QUÉBEC



Table des matières

Liste des Figures	iii
Liste des Tableaux	v
Remerciements	1
Mise en contexte.....	2
Chapitre 1	7
État des lieux du dragage au Québec.....	7
1.1 Gouvernance	8
1.1.1 Législation associée au dragage	8
1.1.2 Parties prenantes d'un projet de dragage.....	9
1.1.3 Groupes de travail sur le dragage au Québec	10
1.2. Aperçu des opérations de dragage.....	11
1.2.1 Étapes d'un projet de dragage	12
1.2.2 La caractérisation des sédiments	12
1.2.3 Méthodes d'extraction	15
1.2.4 Filières de gestion.....	16
1.2.5 Traitements des sédiments contaminés	17
1.2.6 Surveillance et suivi environnemental	19
1.2.7 Services commerciaux	20
Chapitre 2	22
Vers une gestion durable des sédiments de dragage	22
2.1. Les filières de valorisation des sédiments	23
2.2 Pratiques de gestion durable des sédiments de dragage à l'international.....	23
2.2.1 Exemples de projets de valorisation	23
2.2.2 Projets sur la valorisation des sédiments dragués	27
2.3 Contexte en évolution au Québec.....	28
Chapitre 3	31
Propositions applicables au système Saint- Laurent en vue d'une valorisation des sédiments de dragage.....	31
3.1. Meilleures pratiques de gestion des sédiments de dragage au Québec	32
3.1.1 Filières de gestion.....	33
3.1.2 Mode d'extraction.....	34

3.1.3 Mesures d'atténuations	35
3.1.4 Valorisation et compensation	37
3.2 Perspectives pour le futur	38
3.2.1 Diffusion d'un sondage.....	38
3.2.2 Conduire des projets de recherche	40
3.2.3 Création d'un répertoire d'offre et de demande	41
3.2.4 Organisation d'un atelier thématique MeRLIN	42
3.2.5 Créer un groupe d'experts techniques et valorisation.....	42
Conclusion	44
Références.....	45
Lexique	49
Annexe I Avantages et inconvénients des différents types de dragues utilisés au Québec. Informations tirées de Centre Saint-Laurent, 1992.	51
Annexe II Avantages et inconvénients des différents moyens de transports des sédiments de dragage. Informations tirées de Centre Saint-Laurent, 1992.....	52
Annexe III Les modes de gestions des sédiments et leurs avantages et inconvénients. Informations tirées de Pêches et Océans Canada, 2016 ; Erwan Rieussec, 2008	53
Annexe IV Prétraitement et traitement des sédiments de dragage contaminés.....	55
Annexe V Projet de recherche sur la valorisation en génie civil et côtier	58

Liste des Figures

Figure 1. Réseaux des ports commerciaux au Québec (Bureau d'Information Maritime, Sodes)..	2
Figure 2. État actuel des deux types de contaminants présents dans l'environnement. (Plan Saint-Laurent, 2014)	4
Figure 3. Indice de contamination dans les sédiments (Plan Saint-Laurent, 2014)	5
Figure 4. Les parties prenantes entourant un projet de dragage au Québec.....	9
Figure 5. Principales activités de dragage au Québec. (Groupe Océan, 2014)	12
Figure 6. Les étapes à suivre pour la gestion environnementale d'un projet de dragage. (Plan Saint-Laurent, 2011-2026).....	12
Figure 7. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments. Ces critères permettent de séparer les sédiments de dragage en trois classes. (Inspiré de : EC et MDDEP, 2007).....	14
Figure 8. Définitions des classes de sédiments et gestion du matériel de dragage. (Inspirée de: EC et MDDEP, 2007)	15
Figure 9. Schéma des types de gestion en fonction des classes de sédiments.....	17
Figure 10. En haut à gauche: Technique de lagunage actif. En haut à droite: Installation pour effectuer des décantations. Images du bas: Technique de séchage avec sacs géotextiles. (Tirées de : Envisan; Valemar).....	18
Figure 11. En haut à gauche: Biotraitement. En haut à droite: Hydro cyclonage. En bas à gauche: Extraction sous vacuum. En bas à droite: Exemple d'une structure solide obtenue par stabilisation/solidification. (Tirées de : Envisan; Horizon environnement; Ciment Québec)	19
Figure 12. Les principales méthodes de valorisation utilisées à ce jour.....	23
Figure 13. Port de Dunkerque en France. (Tiré de: Affiche Pascal Grégoire)	24
Figure 14. Lagune de traitement des sédiments de dragage. (Tiré de: Envisan).....	24
Figure 15. Techniques de valorisation des sédiments sableux issus des travaux du Projet Stratégique 2014-2018. (Pascal Grégoire, 2015)	25
Figure 16. Pluvier à collier interrompu, espèce considéré comme en déclin en Europe. (Tiré de: Mallorca Bird watching)	26
Figure 17. Économie circulaire dans la gestion des sédiments de dragage dans le port de Dunkerque en France. (Pascal-Grégoire, 2015)	30
Figure 18. Comparaison des niveaux d'impact entre la gestion en eau libre et la mise en dépôt terrestre selon différents scénarios de contamination et de volume de sédiments dragués. (Rieussec, 2008).....	32

Figure 19. Répertoire des chercheurs possédant des expertises liées à la gestion des sédiments de dragage..... 40

Liste des Tableaux

Tableau 1. Transport de marchandise au port de Montréal en tonne de 1970 à 2013. (Comtois et Slack, 2015).....	3
Tableau 2. Lois auxquelles les travaux de dragage sont soumis.....	8
Tableau 3. Les différents guides pour la caractérisation des sédiments	13
Tableau 4. Type de transport des sédiments excavés.	16
Tableau 5. Les principales filières de gestion des sédiments de dragage.....	16
Tableau 6. En haut : Coûts estimés de la gestion des sédiments par le rejet en eaux libre. En bas : Coûts estimés pour la gestion en milieu terrestre. (Rieussec, 2008).....	33
Tableau 7. Mode de gestion à privilégier en fonction des volumes et des niveaux de contamination. (Rieussec, 2008).....	34
Tableau 8. Grille d'appréciation des performances environnementales associées à chacun des types de dragues. (Centre Saint-Laurent, 1992)	35
Tableau 9. Mesures d'atténuations recommandées pour la colonne d'eau lors des activités de dragage (Inspiré de: Michaud J.R., 2000; Fall O. et al., 2017)	36
Tableau 10. Mesures d'atténuations recommandées pour le milieu terrestre lors des activités de dragage (Inspiré de: Michaud J.R., 2000; Fall O. et al., 2017)	36
Tableau 11. Bottin de services commerciaux.	20

Remerciements

Je souhaite remercier toute l'équipe de Technopole Maritime du Québec tout d'abord pour son accueil au sein de son équipe, mais aussi pour tout ce qu'elle a pu m'apporter pendant ces 3 mois de stage à leurs côtés. Je remercie également Candice et Noémie pour la confiance et le soutien qu'elles ont su m'accorder dès le début du stage et pour l'opportunité d'avoir pu travailler pour TMQ.

Je remercie également toutes les personnes qui ont pris du temps pour répondre à mes questions lors de la réalisation de ce rapport. Merci à Jean-François Belzile du Port de Montréal, à Frédéric Maloney de Groupe Océan, Frédéric Filion gestionnaire des Voies navigables (GCC), Sébastien Lafrance de la STQ, Sophie Fallaha du CIRAIG, Guillaume St-Onge détenteur de la Chaire de recherche en géologie marine du Canada, Amélie Hupé au MÉSI, à tous ceux que j'oublie de citer et finalement à tous les membres MerLIN pour leur intérêt envers ce projet.

Merci à toutes ces personnes qui ont fait de mon stage une réussite.

Mise en contexte

- **Objectif et méthodologie du rapport**

La problématique de la gestion des sédiments de dragage avait été identifiée en novembre 2016 comme une priorité de recherche par les membres du réseau MeRLIN, une initiative pilotée par Technopole maritime du Québec. Ce rapport permet d’initier un exercice de réflexion sur les enjeux de la gestion des sédiments de dragage au Québec. Le but principal du rapport est d’exposer les différentes informations en matière de gestion des sédiments de dragage (réglementaire, technique et scientifique) et de proposer des pistes de solutions afin de codévelopper des stratégies de gestion durable des sédiments de dragage. Pour réaliser cette étude, une dizaine d’entrevues avec des acteurs du milieu au Québec ont été réalisées et une revue de littérature a aussi été effectuée. Cette revue a permis de trouver différents exemples de projets concrets de valorisation des sédiments et de projets de recherche sur le sujet.

- **Le système Saint-Laurent**

Le fleuve Saint-Laurent est une voie navigable de grande importance (**3 700 kilomètres** du lac Supérieur à l’océan Atlantique), avec plus d’une **trentaine d’infrastructures portuaires** commerciales (Figure 1).



Figure 1. Réseaux des ports commerciaux au Québec (Bureau d'Information Maritime, Sodes)

Le fleuve Saint-Laurent est considéré comme un **fleuve vulnérable** en raison de différents facteurs : accroissement de la pression anthropique liée au trafic maritime, introduction d'espèces envahissantes et pollution (Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026). On constate une **augmentation soutenue de la navigation** commerciale, touristique et plaisancière depuis plusieurs années. Le tableau 1 représente l'évolution en tonnes de marchandises de 1970 à 2013 au Port de Montréal.

Le Saint-Laurent est aussi soumis à des phénomènes naturels tels que l'augmentation du niveau moyen des mers qui augmente le niveau d'érosion des berges, mais aussi l'augmentation de l'intensité des tempêtes. Tous ces types de pressions peuvent devenir exacerbés dans le contexte des **changements climatiques** (Bernatchez et Dubois, 2004).

Tableau 1. Transport de marchandise au port de Montréal en tonne de 1970 à 2013. (Comtois et Slack, 2015)

Année	Vrac sec	Grain	Produits pétroliers	Vrac liquide	Conteneurs	Cargo général	Total
1970	3 754 694	6 059 893	8 540 695	258 563	818 034	3 290 882	22 722 761
1980	5 307 406	7 437 936	6 881 155	503 828	3 058 283	1 709 170	24 897 778
1990	4 305 523	2 757 114	7 135 377	687 874	5 764 276	1 098 263	21 748 427
2000	4 167 179	2 128 784	3 641 609	773 784	9 205 120	816 915	20 733 391
2010	3 204 076	2 380 863	7 505 560	645 576	12 033 434	150 158	25 919 667
2011	3 431 811	1 741 035	10 056 615	704 034	12 471 002	129 767	28 534 264
2012	3 467 394	3 070 054	9 525 354	196 068	12 032 966	130 167	28 422 003
2013	3 912 531	2 638 159	9 392 360	157 573	11 896 671	159 677	28 156 971

- **Les enjeux des opérations de dragage**

La problématique de gestion des sédiments de dragage est encore assez méconnue au Québec, mais elle présente de plus en plus un véritable enjeu lié à l'augmentation du trafic maritime. Pour préserver le **bon état de la voie maritime**, il est nécessaire d'entreprendre des travaux de dragage (Centre Saint-Laurent, 1992). Ces travaux sont aussi essentiels à la **préservation de la sécurité** des ports actuels. Le dragage est aussi un passage obligé lors de la création de **nouvelles aires portuaires**.

Les travaux de dragage comportent différents enjeux :

Un enjeu économique

Les opérations d'excavation et de gestion des sédiments sont très coûteuses, mais essentielles au développement et au maintien des activités maritimes. La Garde Côtière Canadienne (GCC) s'occupe d'effectuer les travaux d'entretien de la voie navigable. Les frais sont à la charge des compagnies de transport maritime qui empruntent le Saint-Laurent et ses ports. Les coûts d'enlèvement des hauts fonds dans les eaux du port entre le chenal de navigation et les quais sont assumés par les administrations portuaires. Les ports et la GCC doivent faire effectuer leurs travaux de dragage par des compagnies spécialisées.

Pour le système Saint-Laurent, les coûts de dragage varient de **33 \$ à 100 \$ par mètre cube**. Ces coûts n'incluent pas les coûts de décontamination, ni ceux de compensation environnementale (Comtois et Slack, 2015). Pour le dragage de la traverse du nord, soit du Lac St-Pierre à la pointe est de l'Isle-aux-Coudres, ce sont des volumes variant de **50 000 à 100 000 m³** qui sont dragués

chaque année. Les coûts et quantités de sédiments à draguer varient en fonction des types de sol, de la turbulence de l'eau et aussi de l'intensité du trafic maritime (Comtois et Slack, 2015).

Pour les ports, à titre d'exemple, le port de Bécancour prévoit dans son récent programme décennal un dragage d'entretien annuel de ses infrastructures. Le volume se situe entre 6 000 et 10 000 m³ par année (GENIVAR, 2008). Le coût total est estimé à environ 7,1 M\$ pour toute la durée du programme décennal (GENIVAR, 2008). Le volume de sédiments à draguer est estimé en fonction du taux de sédimentation observé au fil des ans.

Un enjeu environnemental

L'expansion de la population riveraine et l'augmentation des activités industrielles ont occasionné un **accroissement de la pollution** emportée vers le Saint-Laurent et jusque dans ses sédiments (Centre Saint-Laurent, 1992). La contamination par des éléments toxiques dans le Saint-Laurent se caractérise par deux phases distinctes : la contamination historique et la contamination émergente.

Observé individuellement, ces deux groupes de substances ont évolué de manière différente dans l'environnement (Figure 2). Les données recueillies depuis les dernières années montrent une diminution assez importante des contaminants provenant de l'industrialisation du milieu du 20^{ième} siècle (contamination historique).

Les critères de dépassement en matière de protection de la vie aquatique et des sédiments ne sont plus outrepassés ou encore très peu (Plan Saint-Laurent, 2014). Il reste cependant certains secteurs ayant encore des problématiques de contamination historique : en amont du lac Saint-François, au sud du lac Saint-Louis, le secteur en aval de Montréal, le delta de Sorel, une partie du lac Saint-Pierre et les ports de Montréal et de Québec (Plan Saint-Laurent, 2014).

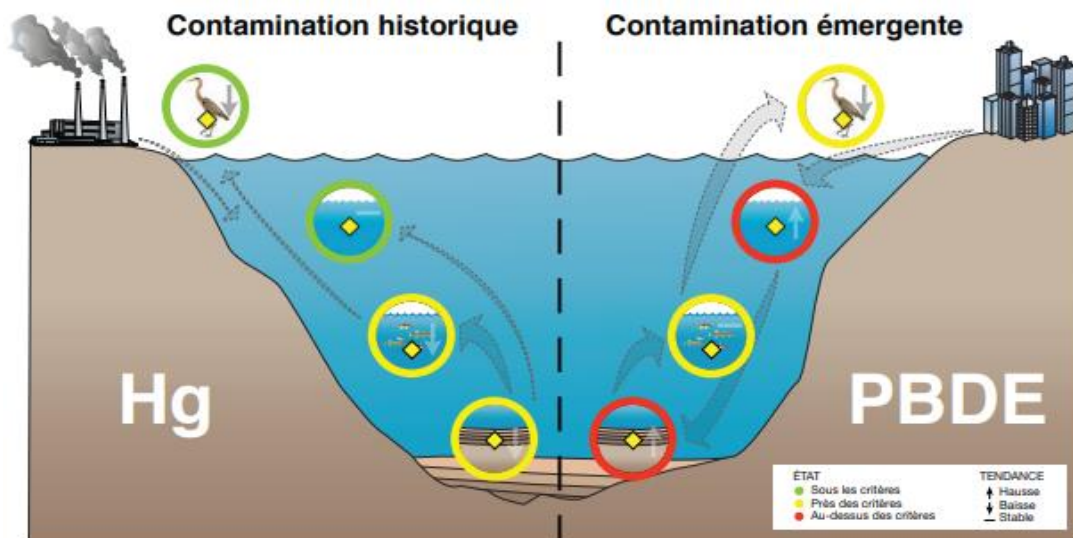


Figure 2. État actuel des deux types de contaminants présents dans l'environnement. (Plan Saint-Laurent, 2014)

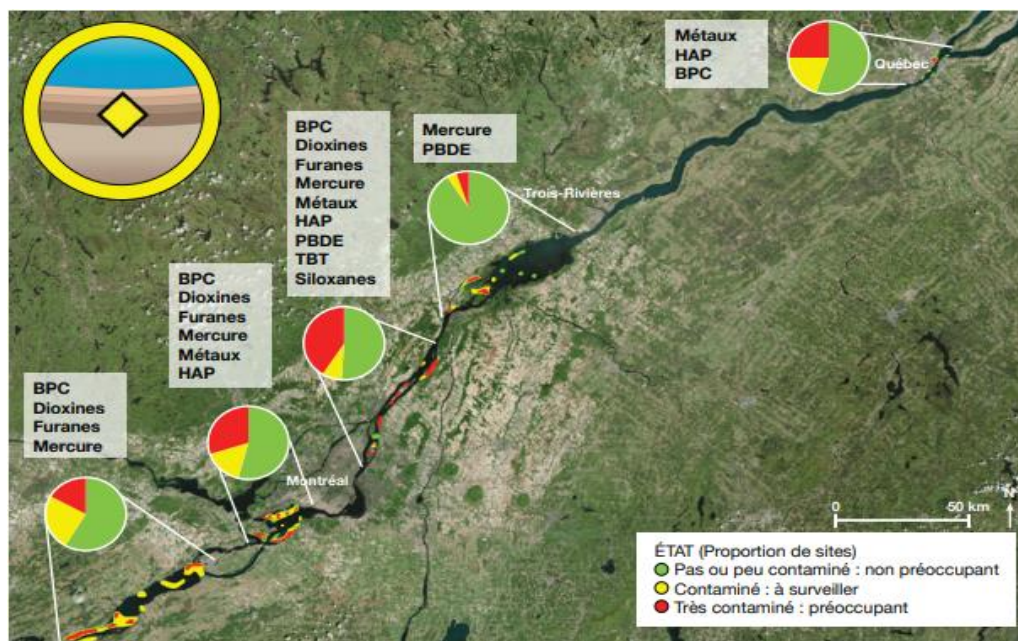


Figure 3. Indice de contamination dans les sédiments (Plan Saint-Laurent, 2014)

Quant à elle, la contamination émergente voit ses concentrations en contaminants augmenter depuis la dernière décennie. Les critères de protection de la vie aquatique sont souvent dépassés (Plan Saint-Laurent, 2014). La Figure 3 représente l'état de la contamination des sédiments dans différentes zones du fleuve Saint-Laurent.

Le dragage présente des impacts importants sur la **qualité de l'eau**, la **qualité des sédiments**, et également sur la **faune benthique / ichtyenne**. Ces impacts étant reliés à la **remise en suspension** des sédiments, à la **destruction des habitats** lors de l'excavation et au **recouvrement** lors du rejet des sédiments (Rieussec, 2008). Les matériaux excavés par la drague doivent être retirés des sites ce qui occasionne un risque de remise en suspension dans l'écosystème des polluants qui y sont contenus. La mise en dépôt terrestre fait elle aussi face à la problématique de la contamination du système hydrique (qualité des eaux souterraines et de ruissèlement, puits et prises d'eau) et à l'occupation du territoire par les installations permettant une gestion sécuritaire des sédiments.

Un enjeu sociétal

L'acceptabilité sociale est une notion de plus en plus incontournable lorsqu'on pense à un projet lié à l'environnement. Les travaux de dragage n'y font pas exception. Les citoyens se posent souvent la question à savoir si cela est vraiment nécessaire et ne voit pas d'un bon œil pour l'environnement le rejet ou la gestion au sol des sédiments. De plus, la présence physique des aires de dépôts des sédiments de dragage, soit sur terre ou en mer, peut aussi occasionner des **conflits avec les usages** prévus pour le milieu. Les initiateurs du projet doivent souscrire à une philosophie de transparence et de collaboration avec les parties prenantes tout en acceptant que le projet puisse être modifié, voire bonifié (CPEQ, 2012).

Par exemple, dans le cas d'un projet de dragage, il semblerait que la valorisation des sédiments de dragage exerce une influence très positive sur l'acceptabilité sociale (Verbeeck, 2015). Les

citoyens verraient d'un œil positif le fait que les sédiments ne soient plus traités comme des déchets, mais plutôt comme une ressource exploitable et même positive pour l'environnement (Verbeeck, 2015).

Chapitre 1

État des lieux du dragage au Québec

1.1 Gouvernance

1.1.1 Législation associée au dragage

En raison des impacts environnementaux potentiels engendrés par le dragage, ces activités sont strictement encadrées par différents paliers gouvernementaux. Les travaux de dragage sont soumis à juridiction fédérale par le biais de **Pêches et Océans Canada (MPO)** et de la **Garde Côtière Canadienne (GCC)**, de **Services publics et Approvisionnement Canada** et d'**Environnement et Changements climatiques Canada (EC)**. Les travaux réalisés au Québec peuvent également être soumis à des lois et règlements provinciaux et municipaux par le **Ministère du développement durable et de la lutte aux changements climatiques (MDDELCC)**. Le cadre réglementaire peut varier d'un projet à l'autre en fonction du promoteur, de la nature du dragage à effectuer, du mode de gestion des sédiments dragués et de l'emplacement géographique du projet. Les projets de dragage au Québec sont soumis à différentes lois (Tableau 2).

Tableau 2. Lois auxquelles les travaux de dragage sont soumis

Législation	Adresse URL
Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune	http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/C-61.1/
Loi sur la qualité de l'environnement	http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/Q-2
Loi sur les océans	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/O-2.4/
Loi sur les espèces en péril	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/s-15.3/
Loi sur les espèces sauvages du Canada	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/W-9/
Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/M-7.01/
Loi sur les pêches	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/f-14/
Loi sur la protection de la navigation	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/N-22/
Loi canadienne sur l'évaluation environnementale	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/C-15.21/
Loi canadienne sur la protection de l'environnement	http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/c-15.31/

Au Québec, tout dragage est soumis à une autorisation en vertu de **l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement** (L.R.Q. c. Q2). En ce qui concerne les dragages de grande envergure, soit d'une longueur supérieure à 300 mètres ou d'une superficie de 5 000 mètres carrés ou plus,

ils sont également soumis à une autorisation gouvernementale en vertu de l’**article 31.5** qui est encadré par la procédure d’évaluation et d’examen des impacts sur l’environnement définie à la section IV.1 de la Loi sur la qualité de l’environnement (EC et MDDELCC, 2015).

Selon la nature du projet de dragage, différents cadres réglementaires et légaux seront applicables. Si le projet doit avoir lieu dans une zone d’immersion en mer, il est nécessaire d’obtenir un **permis d’immersion** en vertu de la loi canadienne sur la protection de l’environnement (LCPE) émis par EC. Si le projet de dragage nécessite la gestion des sédiments en milieu terrestre c’est la **réglementation en matière de gestion des sols** qui devient applicable (Politique de protection des sols du MDDELCC).

1.1.2 Parties prenantes d’un projet de dragage

En gestion de projet, les parties prenantes sont considérées comme toute personne, groupe ou organisme qui peuvent affecter, être affectés ou se sentir affectés par un aspect du projet et ce de manière positive ou négative. On compte cinq catégories de parties prenantes reliées aux projets de dragage au Québec (Figure 4).

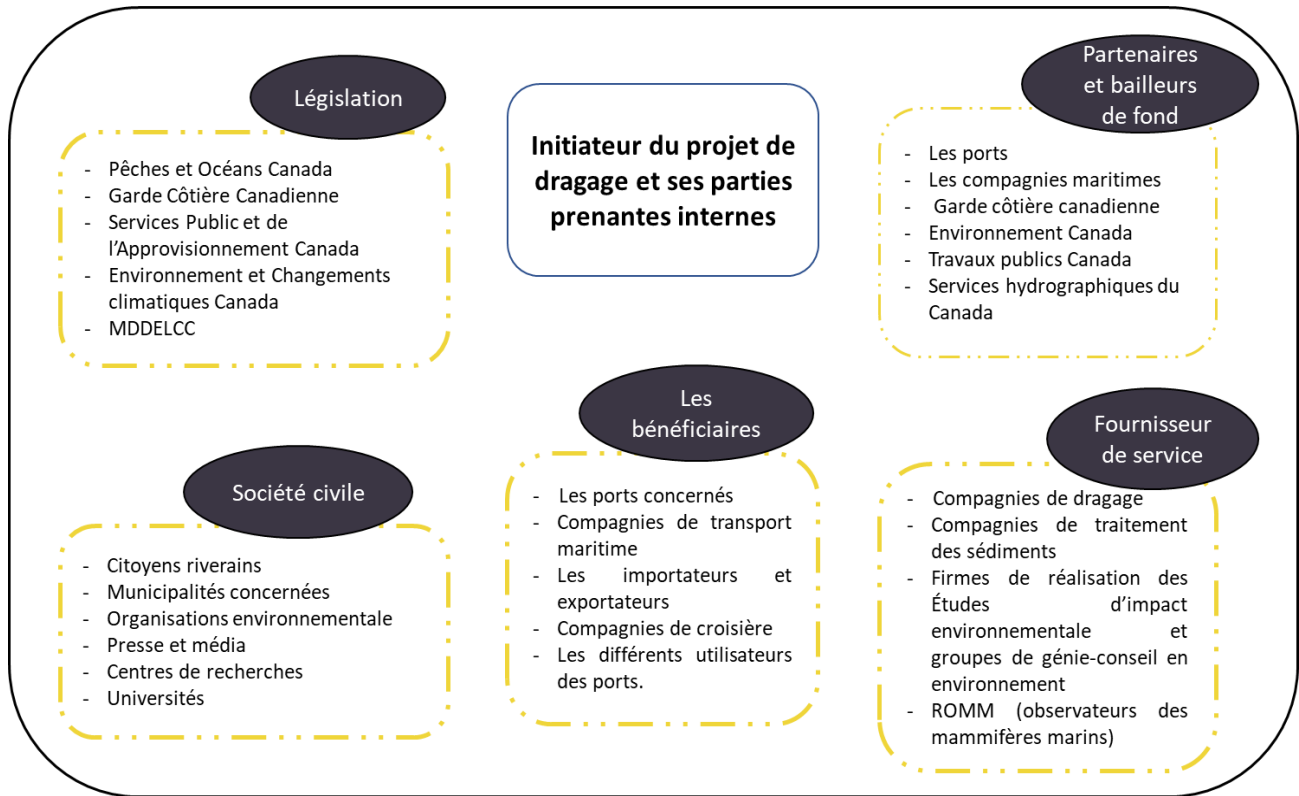


Figure 4. Les parties prenantes entourant un projet de dragage au Québec.

Il est très important de connaître les parties prenantes, car le succès d’un projet peut dépendre de celles-ci.

1.1.3 Groupes de travail sur le dragage au Québec

Comité sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments (CGIDS)

Le comité a été mis sur pied à la suite de différentes études menées par **Plan d'action Saint-Laurent** sur les impacts environnementaux liés à la navigation commerciale et plaisancière. Le CCN est créé en 1998 et le Comité sur la gestion intégrée du dragage et des sédiments (CGIDS) suit de près.

L'objectif du CCN est « la poursuite de la concertation entre les organismes du transport maritime, de la navigation de plaisance et de la société civile, par le maintien de ces comités, dans une perspective de gestion intégrée » (Plan-Saint-Laurent).

Le comité de dragage a comme objectif **d'améliorer la gestion des activités de dragage** dans le but de protéger les écosystèmes ainsi que la santé publique mais tout en assurant un développement de la navigation sur le fleuve.

Les actions du CGIDS sont :

- Élaborer les connaissances scientifiques par le biais de projets de recherches appliquées pour appuyer la gestion des activités de dragage et de restauration de sites de sédiments contaminés;
- Élaborer des outils et guides à l'intention des divers intervenants impliqués dans la planification, l'évaluation, la conception, la réalisation et le suivi des travaux de dragage et de restauration de sites de sédiments contaminés;
- Améliorer la concertation et les façons de faire dans l'application des processus fédéral et provincial d'évaluation environnementale des projets (par exemple dans l'évaluation de la perte d'habitat du poisson);
- Améliorer les processus de consultation et de participation du public dans l'analyse des projets, tout en favorisant la concertation entre les différents intervenants impliqués dans les activités de dragage et de gestion de sédiments.

Différentes stratégies de navigation durable sont mises sur pied par le CCN. Des guides disponibles pour les gestionnaires des travaux de dragage et pour les praticiens des évaluations environnementales sont disponibles sur le site web de Plan Saint-Laurent. Un **registre des activités de dragage** a aussi été mis sur pied dans le but d'améliorer la gestion des travaux, mais aussi de pouvoir planifier les travaux sur le long terme.

Comité dragage et gestion des sédiments (Réseau Environnement)

Le comité de dragage assure la communication auprès des différents intervenants des projets de dragage et de gestion de sédiments pour tout ce qui concerne le cadre réglementaire. Différents événements sont organisés par Réseau Environnement sur le sujet. Actuellement, le comité travaille à **commenter les recommandations du ministère** en matière de dragage et de gestion des sédiments.

Groupe conseil maritime (SODES)

Mis sur pied par la Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES), ce groupe réunit les représentants de l'industrie maritime du Saint-Laurent et ceux de la Garde côtière canadienne. Le Groupe conseil maritime (GCM) assure **l'échange d'information** permettant aux deux parties de mieux connaître les réalités et les positions respectives sur les dossiers d'intérêts communs. Le dragage étant une des priorités pour le GCM. La Sodes coordonne le sous-comité du GCM sur le dragage d'entretien du chenal navigable dans le Saint-Laurent. Ce comité permet aux représentants de la Garde côtière canadienne de renseigner les représentants de l'industrie sur les activités de dragage d'entretien qui ont lieu sur le chenal de navigation du Saint-Laurent.

1.2. Aperçu des opérations de dragage

C'est ainsi qu'environ **entre 500 000 m³** (Rieussec, 2008) **et 1 000 000 m³** (Centre Saint-Laurent, 1992) de sédiments sont retirés annuellement pour préserver la navigation dans le Saint-Laurent et ses ports. À titre de comparaison, le port de New-York a dû retirer 910 000 m³ de sédiments à lui seul pour permettre un accès sécuritaire à ses installations (Plan Saint-Laurent, 2017). Les quantités de sédiments dragués sont assez faibles par rapport à celles de nombreuses régions américaines ou européennes.

On retrouve notamment trois principaux types de travaux de dragage :

- **Dragage d'entretien** des chenaux de navigation et des aires portuaires
- **Dragage d'approfondissement** ou de capitalisation
 - Accroître la profondeur du corridor de navigation
 - Construction des nouvelles aires portuaires
 - Installation d'infrastructures diverses
- **Restauration** de sites à fortes pollutions

Au Québec, le dragage est utilisé à différentes fins. La Figure 5 permet de voir les différents parts du marché liées aux activités de dragage.¹

¹ *Ailleurs dans le monde, on utilise aussi le dragage pour l'exploitation minière et pour usage terrestre (prélèvement de sable en mer pour des usages anthropique), en prélevant une taille de matériaux précise (Centre Saint-Laurent, 1992).*

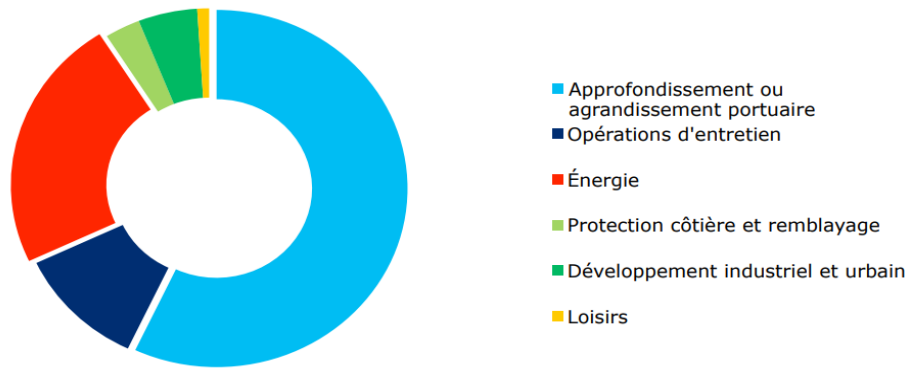


Figure 5. Principales activités de dragage au Québec. (Groupe Océan, 2014)

1.2.1 Étapes d'un projet de dragage

Un projet de dragage au Québec doit passer par différentes étapes pour se soumettre aux différentes exigences en matière de protection de l'environnement (Figure 6).

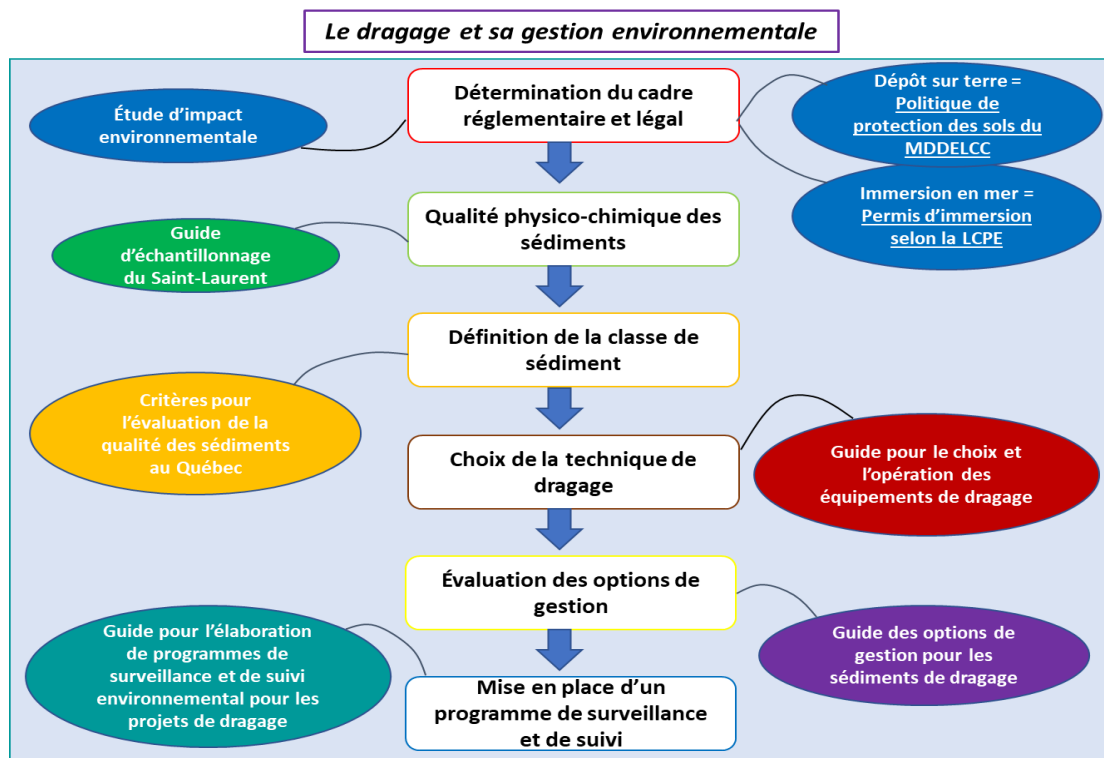


Figure 6. Les étapes à suivre pour la gestion environnementale d'un projet de dragage. (Plan Saint-Laurent, 2011-2026)

1.2.2 La caractérisation des sédiments

Il est nécessaire d'effectuer une caractérisation physico-chimique des sédiments de dragage pour connaître leur teneur en contaminant ainsi que leur potentiel de contamination. L'initiateur du projet de dragage doit faire approuver par le Ministère son programme de caractérisation des sédiments avant de le débiter. Différents guides sont disponibles pour

effectuer la caractérisation, l'échantillonnage des sédiments ainsi que pour déterminer leurs critères de qualités (Tableau 3).

Tableau 3. Les différents guides pour la caractérisation des sédiments

<i>Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 1 et 2</i>	Le guide a pour objectif de minimiser la variabilité des résultats d'analyse des sédiments qui peut être attribuable aux différentes activités des laboratoires. Ces analyses doivent servir à la production d'un rapport pour l'évaluation de la qualité des sédiments.
<i>Guide de caractérisation physico-chimique et toxicologique des sédiments</i>	Un guide conçu par le MDDELCC et EC (2016) permettant d'effectuer la caractérisation physico-chimique des sédiments.
<i>Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration</i>	Le guide est créé par EC et le MDDELCC (2007). Il doit servir à établir la meilleure stratégie de gestion des sédiments de dragage. Ce guide permet d'attribuer des classes aux sédiments et de les gérer en fonction de celles-ci.

Définition de la classe des sédiments

Il est nécessaire d'établir un seuil de contamination (Figure 7) au-delà duquel des tests sur la toxicité devront être effectués et les rejets de matériaux seront interdits. Pour répondre à ces critères, des valeurs de références ont été établi par le Conseil Canadien des Ministres de l'environnement, ayant pour but l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec (EC et MDDEP, 2007) : cinq critères de références existent et ont permis de définir trois classes de sédiments.

Le dépôt de sédiments de dragage en eaux libres n'est envisagé uniquement lorsque les matériaux sont considérés comme sans danger pour l'écosystème aquatique. Un **permis d'immersion en mer** doit être demandé à EC. Plus précisément, le CEO représente la concentration à partir de laquelle des effets néfastes sont appréhendés pour plusieurs espèces benthiques et le CEF la concentration à partir de laquelle des effets néfastes sont appréhendés pour la majorité des espèces benthiques (EC et MDDEP, 2007). Les méthodes de gestion des matériaux de dragage dépendent de la classe attribuée aux sédiments après les analyses (Figure 8).

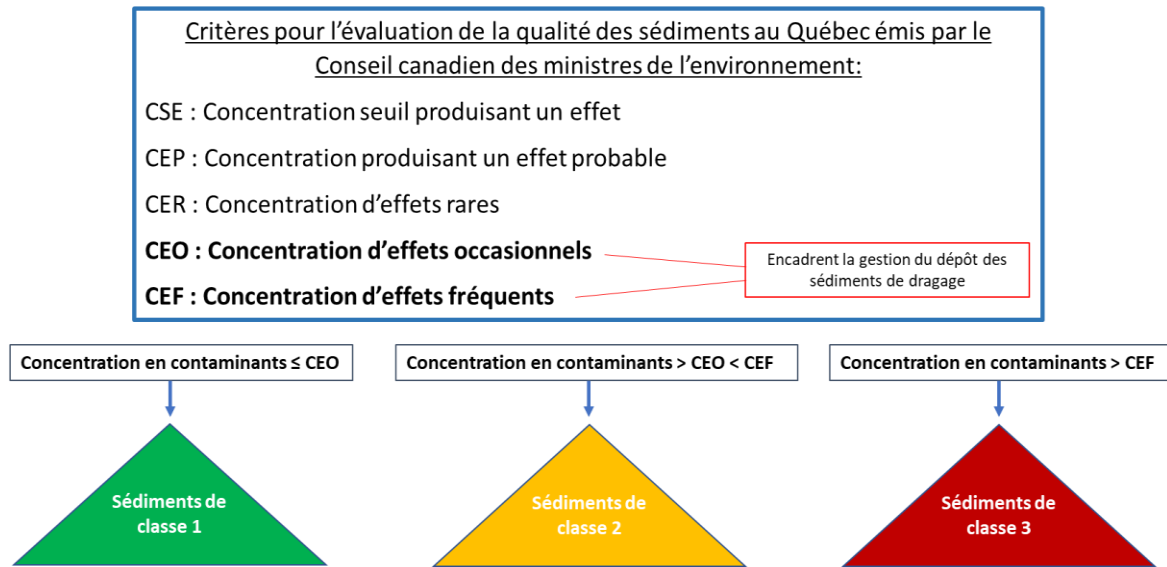


Figure 7. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments. Ces critères permettent de séparer les sédiments de dragage en trois classes. (Inspiré de : EC et MDDEP, 2007)

L'option retenue de gestion des sédiments de dragage doit être celle qui a un impact moindre sur le milieu, mais en répondant aussi au critère d'être économiquement réalisable. La méthode de gestion des sédiments ne doit pas contribuer à détériorer le milieu et lors de l'analyse des options de gestion, la valorisation doit être considérée (EC et MDDEP, 2007).

Définition des classes de sédiments

Sédiment de classe 1

- La probabilité d'observer des effets biologiques néfastes est faible.
- Autorisation d'immersion des sédiments en eaux libres ou autorisation de réutilisation.
- Attention à ne pas détériorer le milieu de réception en ajoutant des contraintes physiques non adéquate.

Sédiment de classe 2

- La probabilité d'observer des effets biologiques néfastes est relativement élevée.
- Des essais de toxicité doivent être effectués: Si les essais démontre l'innocuité des sédiments, le rejet en eaux libres est possible. Sinon décontamination nécessaire.
- Attention en cas de rejet, il est important que le site de dragage possède des concentrations de contaminants inférieures ou égales à celle du site de dépôt. Celui-ci doit donc être caractérisé.
- Investiguer pour trouver les sources de contaminations.
- Restauration du site recommandée (pour atteindre des valeurs CEO).

Sédiment de classe 3

- La probabilité d'observer des effets biologiques néfastes est très élevée.
- Interdiction de rejeter les sédiments en eaux libre.
- Traitement des sédiments ou confinement.
- Investigation pour trouver les sources de contamination.
- Restauration du site souhaitable (pour atteindre valeur CEO)

Figure 8. Définitions des classes de sédiments et gestion du matériel de dragage. (Inspirée de: EC et MDDEP, 2007)

1.2.3 Méthodes d'extraction

Les équipements de dragage

Il existe un large éventail de technique et de variété d'équipement de dragage. On retrouve trois types de dragage avec des **types d'équipements différents** qui sont en usage sur le fleuve Saint-Laurent. Les trois principaux types de dragues sont :

- Les dragues mécaniques
- Les dragues hydrauliques
- Les dragues spéciales

Le dragage mécanique est le plus répandu actuellement à travers le monde et au Québec.

L'annexe I présente les principales dragues qui ont été utilisées dans le Saint-Laurent et les avantages et inconvénients qui y sont associés.

Le transport des sédiments excavés

Les matériaux qui ont été excavés doivent nécessairement être déplacés soit en mer soit en berge ou encore en milieu terrestre. Les sédiments doivent parfois passer par un processus de traitement par décontamination. Il est donc possible que les sédiments passent par un site de transfert, un site de traitement, puis finalement jusqu'au site de dépôt prédéterminé. Il y a six manières possibles de transporter les résidus de dragage au Québec, tel que présenté au Tableau 4.

Tableau 4. Type de transport des sédiments excavés.

Transport en milieu aquatique	Transport en milieu terrestre
Pipeline	Camion
Barge et Chaland	Train
Drague suceuse autoporteuse	Convoyeur

L'annexe II présente les différents moyens de transport, de même que leurs avantages et inconvénients.

1.2.4 Filières de gestion

Le Tableau 5 présente les trois principales filières de gestion des sédiments de dragage.

Tableau 5. Les principales filières de gestion des sédiments de dragage.

Retour au milieu aquatique / marin	Gestion à terre	Gestion en berge
Rejet en eaux libres	Mise en dépôt	Dépôt en berge
Confinement en milieu aquatique	Confinement en milieu terrestre	Confinement en berge
Valorisation (Restauration, stabilisation, création d'aménagements fauniques)	Valorisation (génie civil, épandage agricole, aménagement d'habitats fauniques)	Valorisation (stabilisation des berges, restauration de cordons littoraux)

Au Québec, la gestion des sédiments de dragage par le rejet en eaux libres est la méthode la plus répandue. Environ **90% des sédiments sont rejetés en eaux libres** (Plan Saint-Laurent, 2016).

Les avantages et inconvénients de chaque mode de gestion sont présentés dans l'annexe III.

Pour conclure, la Figure 9 présente une synthèse des méthodes de gestion possible à utiliser en fonction des classes de sédiments.

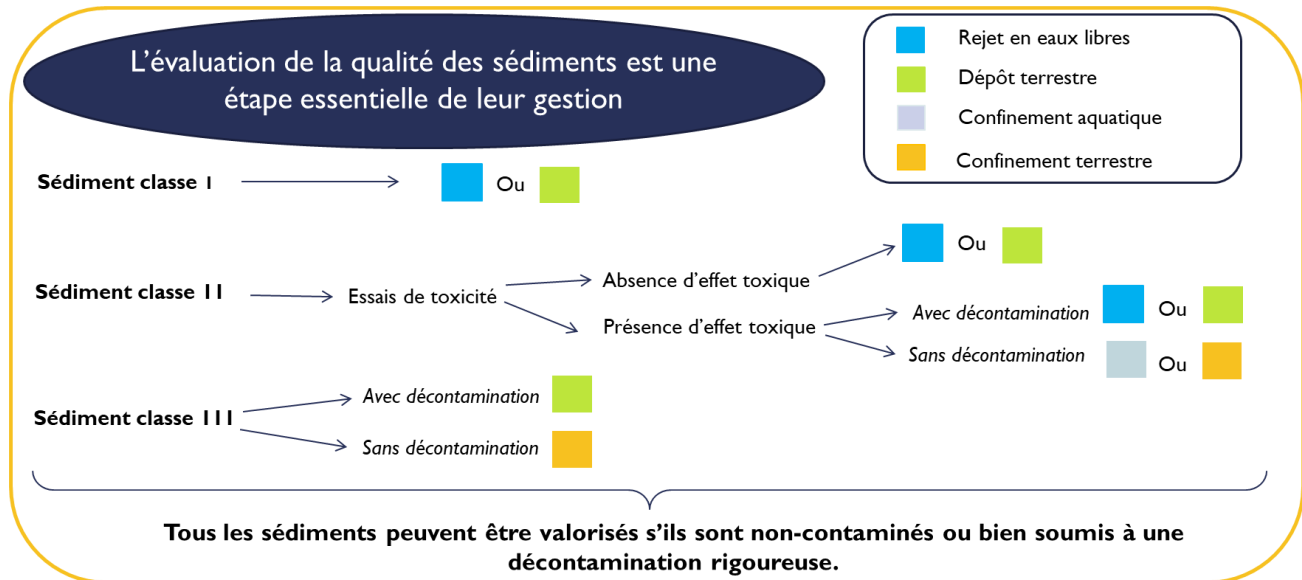


Figure 9. Schéma des types de gestion en fonction des classes de sédiments.

1.2.5 Traitements des sédiments contaminés

Techniques de prétraitement ou séchage :

Les sédiments de dragage sont composés d'une matrice sédimentaire et organique, mais aussi en grande partie d'eau. Lorsque la teneur en eau du matériel dragué est supérieure à 50%, il est nécessaire de passer par une phase de prétraitement des sédiments qui consiste à en extraire l'eau par des **techniques de déshydratation** (Figure 10). Ce qui permet de réduire le poids total des sédiments à manipuler et à traiter. Voici les techniques les plus utilisées :

- Lagunage actif
- Déshydratation mécanique
- Sédimentation-décantation
- Séchage par sac géotextile



Figure 10. En haut à gauche: Technique de lagunage actif. En haut à droite: Installation pour effectuer des décantations. Images du bas: Technique de séchage avec sacs géotextiles. (Tirées de : Envisan; Valemar)

Les techniques de traitement ou décontamination :

Il est possible qu'une fraction des sédiments dragués nécessite un traitement de décontamination, s'ils sont jugés comme pollués. Les types de traitement suivant sont les plus couramment utilisés, notamment par la compagnie Européenne ENVISAN spécialisés dans les dragages environnementaux et le traitement des sédiments contaminés (Figure 11).

- Biologique
- Physico-chimique
- Thermique
- Extraction sous vacuum
- Dessablage par hydro cyclonage
- Électrocinétique
- Stabilisation/solidification
- Vitrification

Il est possible d'obtenir des informations plus détaillées sur le prétraitement et le traitement des sédiments de dragage en Annexe IV.



Figure 11. En haut à gauche: Biotraitement. En haut à droite: Hydro cyclonage. En bas à gauche: Extraction sous vacuum. En bas à droite: Exemple d'une structure solide obtenue par stabilisation/solidification. (Tirées de : Envisan; Horizon environnement; Ciment Québec)

1.2.6 Surveillance et suivi environnemental

Les programmes de surveillance et de suivi environnementaux font partie intégrante du processus d'évaluation environnementale. Il est très important de s'assurer que les différents impacts sur les milieux naturels et humains soient anticipés et minimisés et que les impacts résiduels soient compensés (EC et MDDELCC, 2015).

La **surveillance environnementale** s'impose car elle sert à s'assurer que les travaux de dragage sont effectués de manière à respecter les engagements et exigences qui ont été fixés par les autorisations gouvernementales suite à l'évaluation environnementale. Le programme de surveillance inclut les mesures d'atténuation ou de compensation (EC et MDDELCC, 2015).

Le **suivi environnemental** quant à lui, est une démarche scientifique qui permet de suivre l'évolution des milieux naturels ou anthropiques qui sont affectés par le projet. L'objectif des suivis environnementaux est de vérifier la justesse de l'évaluation et de la prévision des impacts appréhendés. Il sera alors possible de juger l'efficacité des mesures d'atténuation et de réagir lorsque les résultats escomptés ne sont pas ceux attendus. Le suivi environnemental permet aussi d'obtenir des connaissances dans le but d'améliorer la planification de travaux futurs (EC et MDDELCC, 2015).

1.2.7 Services commerciaux

Cette section sert de bottin inscrivant les entreprises offrant des services commerciaux en lien avec le dragage au Québec.

Tableau 6. Bottin de services commerciaux.

Type de service	Nom entreprise	Notes
Dragage	Dragage Océan DSM	- Dragage selon des règles environnementales strictes.
	McNally	- Dragage - Ont déjà effectué un travail de compensation (création d'habitat pour les poissons)
	Normrock	- Service de dragage - Fabrication de dragues - Vente d'unité de dragage
Traitement / Valorisation /confinement	Sanexen	- Restauration de site contaminé - Végétalisation - Traitement des sédiments - Traitement <i>in situ</i>
	Écosphère	- Traitement de sols contaminés - Déshydratation de boues par lit de séchage
	Englobe	- Traitement et réhabilitation de sols - Valorisation des sols - Conservation de la traçabilité des sols
	Terrapure Environnement	- Traitement et réhabilitation de sols - Traitement des eaux usées à quai - Intervention en cas d'urgence (déversement, décontamination)
	Pangeos	- Caractérisation et réhabilitation environnementale - Analyse sur site en temps réel des contaminants - Statistique et géostatistique appliquées - Traitement par stabilisation / solidification - Essais et études spécialisés - Recherche et développement
	Horizon Environnement	- Traitement de sols contaminés - Confinement sécuritaire
	MATREC	- Collecte de matériaux secs - Valorisation de matériaux secs - Confinement
Multi tâches	Ciment Québec inc.	- Création de ciment avec sols contaminés par technique de stabilisation / solidification
	Gersol	- Dragage environnemental - Décontamination des sols - Dispositions et gestions des sols
	Valusol	- Dragage - Assèchement des sédiments - Réhabilitation de sol contaminés
Autres	Groupe Géniarp	- Levés bathymétriques - Surveillance des opérations de dragage
	McKeil marine ltée.	- Services de transport maritime (remorqueurs, barges)
	Urgence marine inc.	- Services maritimes - Supervision et surveillance à quai - Locations de barges et remorqueurs
	Alliance Verte	- Guide l'industrie vers l'excellence environnementale
	Marc Pelletier (indépendant)	- Relevés et rapports de terrain - Analyses granulométriques/sédimentologiques - contamination chimique - Études et échantillonnage des sédiments - Planification et gestion des zones côtières - Recherche et développement de nouvelles technologies environnementales - Analyse d'impact environnemental - Services conseils
Il est à noter que certaines entreprises peuvent être absentes du tableau. Celles qui y figurent ont émergées durant les recherches entourant le présent rapport.		

Chapitre 2

Vers une gestion durable des sédiments de dragage

2.1. Les filières de valorisation des sédiments

Actuellement, la valorisation des sédiments de dragage se fait selon trois types d'utilisations principales (Figure 12).

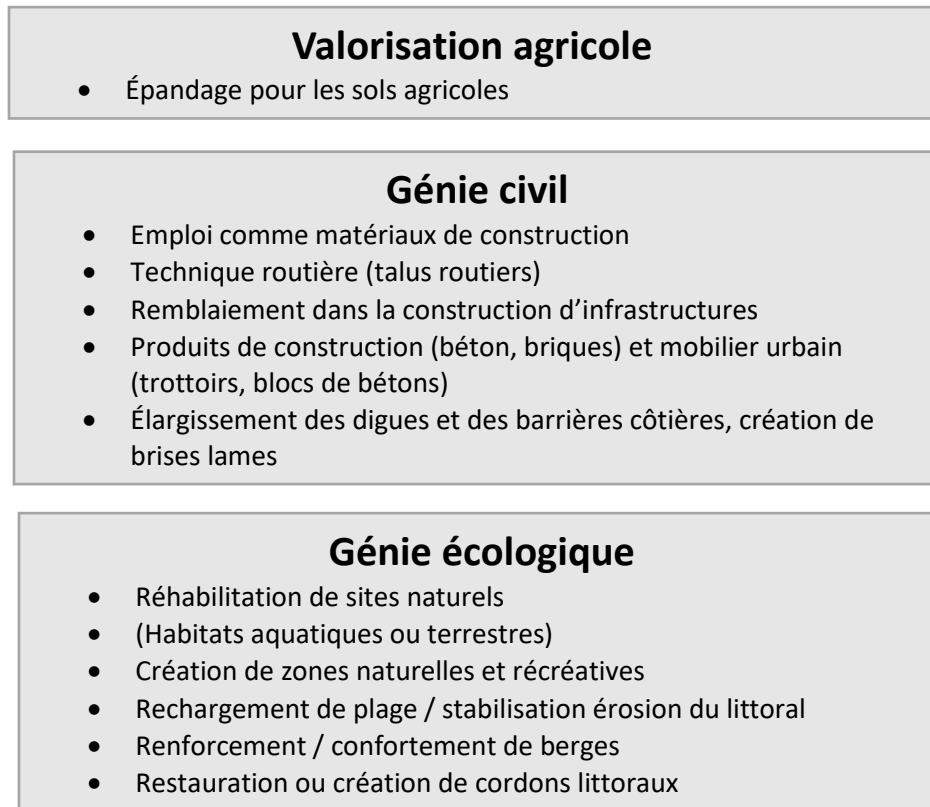


Figure 12. Les principales méthodes de valorisation utilisées à ce jour.

Actuellement, à l'échelle internationale les méthodes de valorisation des sédiments dans le génie civil sont plus connues et utilisées, mais celles qui relèvent du génie écologique tendent à se développer et représentent très certainement de nouvelles options durables pour le futur.

De manière générale, tous les types de sédiments peuvent être valorisés, mais les sables ont en général la meilleure valeur ajoutée.

2.2 Pratiques de gestion durable des sédiments de dragage à l'international

2.2.1 Exemples de projets de valorisation

2.2.1.1 Le cas du port de Dunkerque en France : Vers une réutilisation presque totale des sédiments de dragage

Le port maritime de Dunkerque en France s'étend sur une longueur de 17 km et comporte deux entrées, une à l'est et l'autre à l'ouest. Ce port possède une grande accessibilité nautique et ses

installations lui permettent de recevoir les plus grands navires du monde et tous les types de marchandises (Figure 13).

Dû à sa taille et à sa position hydraulique, le port de Dunkerque est soumis à un **envasement important**. Comme le port accueille des navires à fort tirant d'eau, il leur est nécessaire d'effectuer des travaux de dragage d'entretien annuellement. Ce sont des quantités volumineuses de sédiments qui sont draguées (environ 6,5 Mm³). Sur cette quantité ont compte environ 5,8Mm³ qui sont des vases immergeables, 500 000m³ sont des sables sains et 50 – 75 000 m³ de sédiments non-immmergeables gérés à terre.



Figure 13. Port de Dunkerque en France. (Tiré de: Affiche Pascal Grégoire)

Le port de Dunkerque possède des **réserves d'espaces importants**, c'est pourquoi les sédiments subissent un **prétraitement de type lagunage actif**. Trois lagunes de déshydratation naturelle ont été construites, pour une dimension de 6 ha (Figure 14). Le traitement des sédiments est effectué par **déshydratation naturelle** renforcée en quatre phases: remplissage des lagunes, décantation, consolidation et déshydratation forcée.



Figure 14. Lagune de traitement des sédiments de dragage. (Tiré de: Envisan)

Les principaux contaminants retrouvés sont des métaux lourds, des huiles minérales, des HAP et de la matière organique. Sur la période de 2008 à 2014, c'est un volume total de 350 000 m³ traité de sédiments non immergeables.

Les sédiments ainsi traités ont ensuite été mis en valeur :

- 340 000 m³ ont servi à faire des modèles paysagers végétalisés qui serviront comme **noyau de biodiversité**;
- 10 000 m³ ont été utilisé dans des techniques de génie civil. Ils ont servi à la **réparation d'une route** existante, comme couche de fondation ou couche de forme. Des **blocs de bétons** ont aussi été construits dans le but de **renforcer les ouvrages de défense contre la mer**.

Les sables ayant été jugés sains ont été déplacés dans des sites de stockage temporaire. Les sables ont servi à trois usages principaux :

- **Lutte contre l'érosion des berges**;

- **Commercialisation** des sables excédentaires;
- **Recherche doctorale** pour la gestion des sédiments sableux.

Le projet stratégique 2014-2018 prévoit des travaux d'agrandissement et de réaménagement des infrastructures portuaires. Il est prévu qu'environ 7,1 Mm³ de sables seront issus des travaux du projet stratégique. Il est prévu que tous ces sables soient mis en valeur. La Figure 15

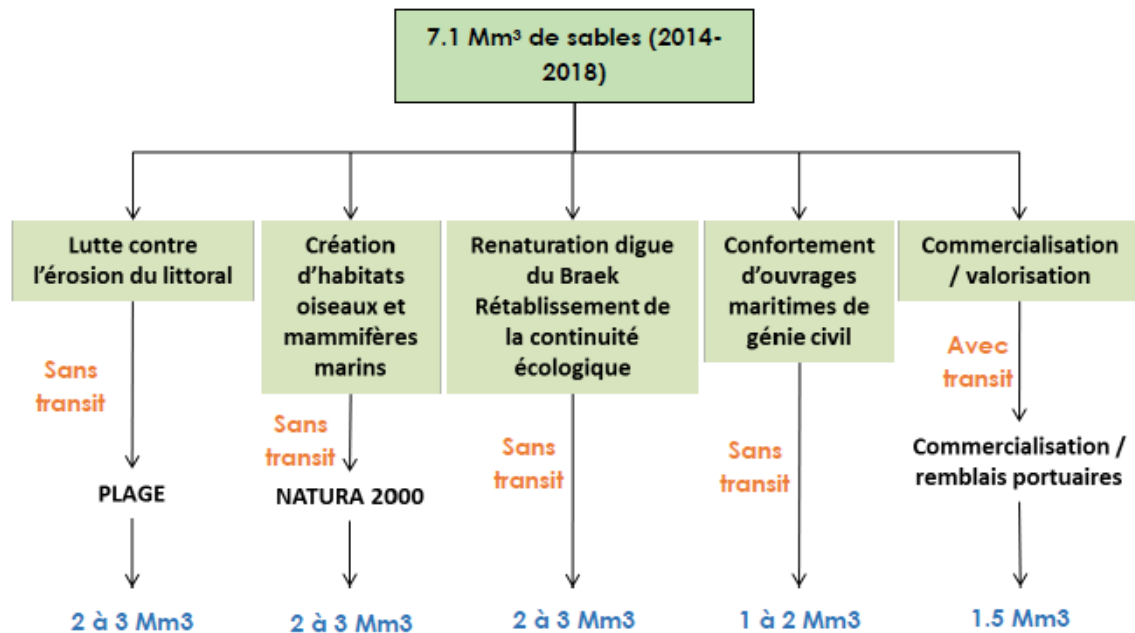


Figure 15. Techniques de valorisation des sédiments sableux issus des travaux du Projet Stratégique 2014-2018. (Pascal Grégoire, 2015)

présente les manières de valoriser les sédiments qui seront employées.²

C'est la compagnie de dragage luxembourgeoise Jan de Nul qui effectue les dragages d'entretien annuel, le traitement et la valorisation des sédiments. Cette compagnie européenne s'est illustrée dans de nombreux travaux de dragage environnemental.

2.2.1.2 Le cas de la lagune de Venise : Un bon exemple d'utilisation des sédiments comme habitat faunique

La récupération des fractions non contaminées pour un usage en génie écologique peut représenter un débouché important pour la valorisation des sédiments dans le futur. C'est notamment ce qui a été entrepris en Italie pour **restaurer les marais** dans la lagune de Venise. Sur une période de dix ans, 3,31 km² de marais ont été recréés à l'aide de 5 Mm³ de sédiments de dragage (Drévès, 2001).

² Les objectifs du port sont qu'en 2016, 100% des sédiments traités soient valorisés, en 2018 100% des rejets d'eaux pluviales terminant dans les bassins portuaires soient aux normes en matière de contaminant et qu'en 2020 les volumes de sédiments qui doivent être traités soient moindres que 20 000 m³/an, pour finalement atteindre l'objectif d'avoir un bon état écologique du port en 2021.

La lagune de Venise est d'une importance particulière pour les oiseaux marins, comme site de reproduction et comme site d'hivernage. C'est d'ailleurs le site d'hivernage le plus important d'Italie avec une population de plus de 200 000 oiseaux (Scarton et *al.*, 2012).

Entre 1985 et 2009, **environ 80 îles ont été construites avec des sédiments de dragage** de type sableux, limoneux ou encore un mélange des deux. En 2009, une superficie totale de 900 ha ajoutée a été constaté (Scarton et *al.*, 2012). Ces îles ont été construites tout d'abord comme moyen innovant de gestion des sédiments et comme alternative au déversement en mer. L'impact que ces îles ont eu sur la reproduction d'espèces d'oiseaux à statut précaire, notamment le *Charadrius alexandrinus* ou pluvier à collier interrompu (Figure 16) qui est considéré comme en déclin, a été une valeur



Figure 16. Pluvier à collier interrompu, espèce considéré comme en déclin en Europe. (Tiré de: Mallorca Bird watching)

ajoutée à l'utilisation de cette technique (Scarton et *al.*, 2012). Cette espèce ainsi que de nombreuses autres se sont mises à utiliser massivement ces îles de dragages.

L'élévation des îles varie entre 0,5 et 1 m au-dessus du niveau d'eau moyen. La topographie des îles n'est pas lissée pour permettre une variation d'habitat avec la présence de petits monticules et dépressions (Scarton et *al.*, 2012). L'élévation moyenne de ces îles est comparable à celle des marais salant naturels et elles deviennent inmanquablement couverte d'une végétation halophile en moins de 10 ans. Ce processus naturel a des effets positifs, tel que **l'apparition d'habitats à haute valeur de conservation** (Scarton et *al.*, 2012).

2.2.13 Exemples divers : Canada et États-Unis

- **Tampa-Bay**

Le port de Tampa Bay en Floride possède deux îles qui servent aux déversements des sédiments de dragage. Ces îles sont actuellement reconnues comme habitats de nidification importants par la *BirdLife International* et la *National Audubon Society* (Alliance Verte, 2018).

- **Colombie-Britannique**

À la suite du dragage de la marina de China Creek, les matériaux ont servis à la création d'un nouvel accès public appelé le *Waterfront Park* (Alliance Verte, 2018).

- **Ports Toronto**

Ports Toronto a retiré 40 000 tonnes de débris et de sédiments à l'embouchure de la rivière Don dans le but de cesser l'arrivée de contaminant dans le port de Toronto. Les déchets et sédiments dragués sont stockés dans des cellules (3) de confinement. Une fois que les cellules sont à pleine capacité, Ports Toronto les scelles à l'aide d'argile et de terre. Ensuite, l'Office de protection de la nature de Toronto transforme ces sites : la cellule #1 à déjà été transformée en des terres

humides (2013) et actuellement la cellule #2 est en transformation pour devenir un habitat faunique de neuf hectares (2017-2018) dans le parc Tommy-Thompson.

- **Port de Cleveland**

En 2015, 5 268 m³ de déblais de dragage de la rivière Cuvahoga ont été vendus par le port de Cleveland à une entreprise de construction. Les matériaux serviront pour un projet du Ministère des Transports de l'Ohio visant à remplacer un échangeur routier. La vente de ces sédiments démontre le désir d'appliquer une gestion efficace des sédiments de la rivière en transformant un « déchet » en produit utile, durable et en réduisant les dépenses publiques.

2.2.2 Projets sur la valorisation des sédiments dragués

2.2.2.1 Projets européens pour la valorisation des sédiments

CEAMaS (Civil Engineering Applications for Marine Sediments) est un projet qui réunit 8 partenaires en provenance de Belgique, France, Irlande et des Pays-Bas. Le but est de renforcer les possibilités de valorisation pour les sédiments de dragage dans des **applications de génie civil** de façon durable, économique et socialement acceptable.

SETARMS est un projet alliant 12 partenaires français et britanniques qui travaillent dans le but d'exploiter de nouvelles solutions économiques et environnementales pour la gestion durable des sédiments de dragage. Le projet se concentre pour le moment à trouver des solutions pour les **dragages d'entretien des ports en Manche**. SETARMS est soutenu financièrement par l'Europe dans le but de permettre aux partenaires de développer des solutions basées sur des travaux de recherche fiables et éventuellement applicables à d'autres régions.

GeDSeT est un projet qui vise à identifier des options de gestion durable des **sédiments transfrontaliers**. Un outil d'aide à la décision a été créé grâce aux travaux de recherche et aux données recueillies auprès des acteurs du milieu.

Le **projet CAP sédiment** est une plateforme en ligne qui découle d'une initiative de la France et de l'Angleterre. Il a pour objectif de regrouper les **principaux travaux de recherche** datant du début des années 2000 à aujourd'hui sur le thème de la gestion à terre des sédiments contaminés. Il s'agit d'un support internet public fournissant des Guides de Réalisations et des Guides Thématiques.

2.2.2.2 Chaire industrielle de recherche

EcoSed (Économie circulaire des sédiments) est une chaire de recherche sur les sédiments de l'École des Mines de Douai (France) qui vise une **meilleure gestion des sédiments portuaires et fluviaux afin de les recycler et de les réutiliser en génie civil**. Cette chaire est caractérisée par sa multidisciplinarité alliant les aspects matériaux et environnementaux (p. ex. mécanique, physique, chimie), mais aussi la santé (p. ex. écotoxicologie) et la prise en compte des composantes socio-économiques (p. ex. économie, géographie, sociologie, droit).

SEDILAB est un centre de ressource sur la gestion et la valorisation des sédiments de dragage. Il y a quelques années le projet **SÉDIMATÉRIAUX** voit le jour. C'est une initiative française qui a

pour but de **développer des expertises en valorisation des sédiments de dragage en technique routière**. Dans le cadre du projet, un guide méthodologique Sédimatériaux a été mis sur pied, exposant la méthodologie et les modalités pour valoriser les sédiments de dragage dans le génie civil. Ce guide fut produit par les travaux de recherches menés par le Département Génie Civil et Environnemental (DGCE) de l'Ecole des Mines de Douai depuis plus de dix ans sur la thématique de valorisation des sédiments de dragage. Il est possible de demander le guide *New solutions for sediments* sur le site SEDILAB.

2.2.2.3 *Projet de recherche et développement*

Parmi les différents travaux de recherche sur des techniques de valorisation utilisables dans le domaine du génie civil et côtier existent actuellement, il existe :

International

- **France** : Travail de recherche sur l'utilisation des sédiments de dragage en technique de **stabilisation des berges**. (Brakni et *al.*, 2009)
- **Tunisie** : Travail de recherche sur l'utilisation des sédiments de dragage dans les **briques de construction**. (Rouis Ben Amor et *al.*, 2008)

Québec / France

- Thèse sur la valorisation des sédiments non-immérgeable dans le but de les utiliser en **couche de fondation pour les routes** et d'en faire des **blocs de bétons**. (Raouf, 2013)

Il est possible d'obtenir des informations plus détaillées sur les trois travaux suivants dans l'Annexe V.

2.3 Contexte en évolution au Québec

Dans un Québec maritime en constante évolution, la **Stratégie Maritime** présente une vision à l'horizon 2030. Elle a pour objectif de stimuler une croissance durable de l'économie maritime québécoise, le mieux-être des communautés du territoire maritime et la protection de l'intégrité des écosystèmes fluviaux et marins. La Stratégie maritime « *encourage la recherche scientifique, le développement de l'expertise maritime, la concertation des communautés et la mise en valeur responsable du territoire maritime [...] elle aura affirmé le caractère indissociable des dimensions économique, sociale et environnementale du développement durable* » (Stratégie maritime, 2018).

Parmi ses **grandes orientations**, trois principaux axes d'interventions concernent l'environnement :

- Protéger la biodiversité des écosystèmes d'eau douce et d'eau marine;
- Améliorer la gestion des risques liés au transport maritime;
- Contribuer à la lutte contre les changements climatiques.

La Stratégie Maritime ne parle pas spécifiquement du dragage des sédiments, mais en raison de ses objectifs de développement durable, l'amélioration des techniques de gestion des sédiments pourrait être pertinente à intégrer.

Le **Plan d'action Saint-Laurent 2011-2026**, une initiative conjointe du gouvernement du Canada et du Québec, compte également parmi ses principaux objectifs la conservation et la mise en valeur du Saint-Laurent dans une perspective de développement durable. Le Plan d'action Saint-Laurent identifie trois enjeux qui doivent guider les actions conjointes, c'est-à-dire :

- La conservation de la biodiversité;
- La pérennité des usages;
- L'amélioration de la qualité de l'eau.

L'orientation n°9 contenue dans l'enjeu sur la qualité de l'eau vise directement à « améliorer les outils de gestion des sédiments contaminés ».

Devant l'importance que revêt le Saint-Laurent d'un point de vue économique et écologique, il est nécessaire de penser à des stratégies permettant de conserver la pérennité de ses usages, mais aussi sa santé à long terme. Pour ce faire, il est important que les modèles d'économie du Québec se diversifient et évoluent vers des options plus durables (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018). C'est ainsi qu'il est possible de constater le début des réflexions sur **l'économie circulaire** au Québec. Selon plusieurs études, la mise en place d'une dynamique d'économie circulaire permettrait de réduire les impacts environnementaux, d'accroître le nombre d'emplois, de hausser le PIB, de faciliter le développement de nouveaux marchés et de créer de nombreuses occasions d'affaires pour les entreprises offrant le service primaire (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018).

Le Gouvernement du Québec a mis sur pied la **Stratégie gouvernementale de développement durable 2015-2020** qui y intègre la notion d'économie circulaire. Un comité regroupant une quinzaine d'acteurs stratégiques a aussi été mis sur pied et est coordonné par l'Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire (Institut EDDEC) sur le campus de l'Université de Montréal.

Recyc-Québec en fait une de ses priorités pour les prochaines années. Plusieurs **initiatives** ont été créées et plusieurs projets financés (enveloppe estimée à 2,3 M\$). D'ailleurs, cette année, l'équipe de Recyc-Québec en partenariat avec l'Institut EDDEC et le Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation (MÉSI) tiendront pour la première fois au Québec les premières **Assises québécoises de l'économie circulaire** le 5 décembre 2018 au Palais des Congrès de Montréal.

Sachant que la gestion des sédiments contaminés engendre de nombreux coûts liés à une gestion terrestre et aux traitements de décontamination, la valorisation de ces sédiments peut alors être vue comme avantageuse : diminution de l'impact sur l'environnement et gain économique et social (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018). La valorisation des sédiments conduit à une symbiose industrielle, partie intégrante de l'économie circulaire, par sa réutilisation à d'autre fin et par d'autres entreprises. Ainsi, la symbiose contribue à préserver la valeur d'une matière qui était jusqu'alors considérée comme un déchet (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018). Par exemple, la

gestion à terre des sédiments de dragage du port de Dunkerque répond à la démarche de l'économie circulaire (Figure 17).

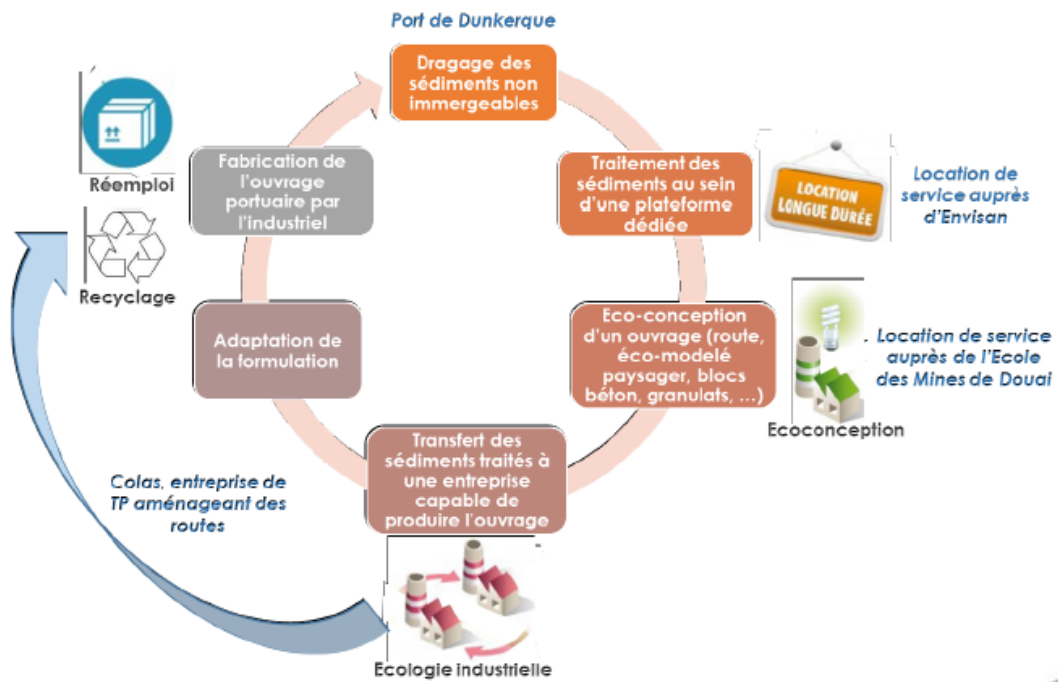


Figure 17. Économie circulaire dans la gestion des sédiments de dragage dans le port de Dunkerque en France. (Pascal-Grégoire, 2015)

Lorsqu'on parle d'économie circulaire, **l'approche par cycle de vie** devient un outil à ne pas négliger. Actuellement, très peu d'étude à travers le monde porte sur l'analyse du cycle de vie (ACV) des sédiments de dragage jusqu'à la valorisation. Dans le cadre des recherches entourant le présent rapport, deux études récentes allient ACV et sédiments de dragage (Bai, 2017 et Hadj Sadok, 2018). Il semblerait que les étapes de traitement sont souvent considérées comme ayant le plus d'impact sur l'environnement et étant les plus coûteuses. Cependant, ces études ne prennent pas en considération toutes les étapes du dragage en lui-même, jusqu'à la réutilisation. Ce sont des études très complexes qui méritent d'être développées dans le futur.

Cependant, il n'existe pas d'ACV effectuées au Québec sur la valorisation des sédiments de dragage, malgré la présence de deux centres d'expertises qui peuvent réaliser des ACV : le Centre de Transfert Technologique en Écologie Industrielle (**CTTÉI**) et le Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (**CIRAIG**).

Chapitre 3

Propositions applicables au système Saint-Laurent en vue d'une valorisation des sédiments de dragage

Plusieurs défis sont à envisager pour les prochaines années pour le système Saint-Laurent, on pense notamment à l'**adaptation des ports aux changements climatiques** (montée rapide du niveau de la mer, intensification des tempêtes et raz de marée) ainsi qu'au maintien de la **compétitivité du fleuve**. Ce qui signifie que les installations portuaires et la voie navigable pourront être soumis à divers travaux d'aménagement, d'approfondissement et un élargissement.

Dans une optique de développement de l'industrie maritime, il est nécessaire d'assurer une continuité des travaux de dragage puisque le fleuve Saint-Laurent est une des principales portes d'entrées du commerce en direction de l'Amérique du nord. La mise en place de nouvelles techniques de gestion des sédiments de dragage via la valorisation permettrait de traiter le sédiment comme une matière recyclable et non plus comme déchet, dans le but **d'atteindre les objectifs de développement durable** fixé par le gouvernement du Québec.

3.1. Meilleures pratiques de gestion des sédiments de dragage au Québec

Cette section fait état des pratiques qui sont à envisager pour favoriser la conservation et la protection de l'environnement dans le cadre des projets de dragage et de la gestion des sédiments.

La démarche de valorisation permet de répondre à de multiples enjeux de développement durable. Au niveau de l'environnement, cela permet de préserver les réserves naturelles de granulats par la valorisation des matériaux de dragage, de développer l'écologie industrielle, de protéger les habitats et la biodiversité.

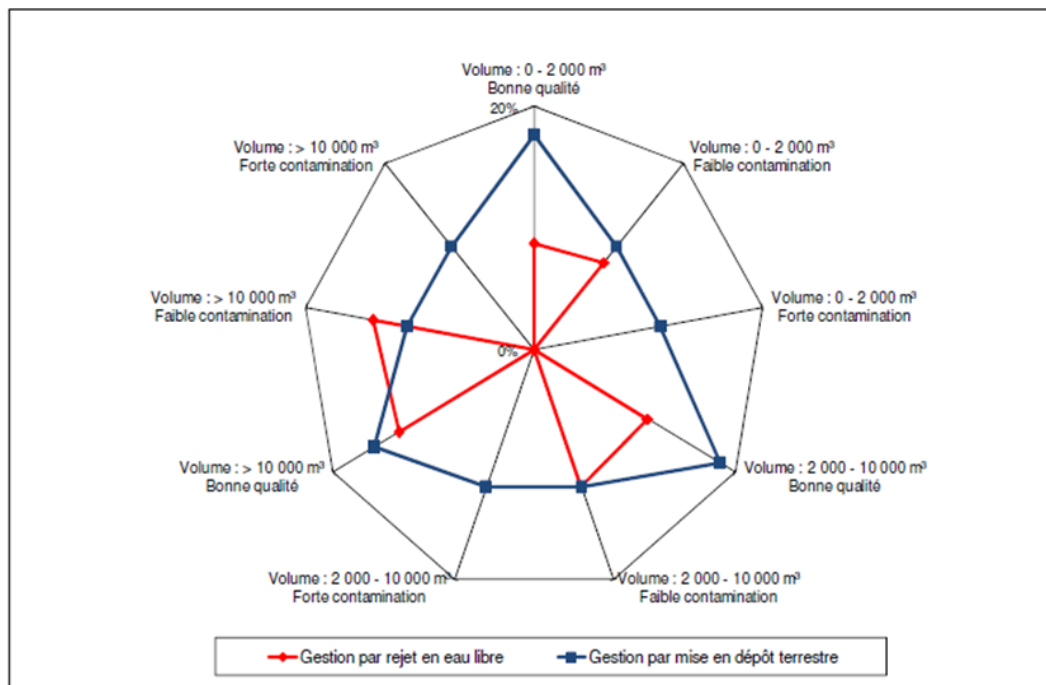


Figure 18. Comparaison des niveaux d'impact entre la gestion en eau libre et la mise en dépôt terrestre selon différents scénarios de contamination et de volume de sédiments dragués. (Rieussec, 2008)

Pour le volet socio-économique, la valorisation des sédiments de dragage permet de renforcer l'innovation, d'optimiser le réemploi et donc le recyclage, d'adapter les aménagements industrialo-portuaires aux changements climatiques (p. ex. avec des matériaux de dragage) pour faire une meilleure gestion des risques et augmenter l'acceptabilité sociale du dragage.

3.1.1 Filières de gestion

Une étude réalisée au Québec (Rieussec, 2008) permet de mettre en évidence les niveaux d'impacts environnementaux entre la gestion sur terre et le rejet en eaux libres, selon différents scénarios de contamination et de volumes de sédiments (Figure 18).

Le travail de Rieussec (2008) compare aussi les coûts de gestion des sédiments de dragage au Québec par le rejet en eau libre et le dépôt en milieu terrestre, les deux techniques les plus utilisées au Québec (Tableau 6). Il est à noter que les résultats peuvent varier d'un site à l'autre en fonction des quantités à draguer, de la qualité des sédiments (niveau de contamination) et des contraintes techniques et environnementales.

Tableau 7. En haut : Coûts estimés de la gestion des sédiments par le rejet en eaux libres. En bas : Coûts estimés pour la gestion en milieu terrestre. (Rieussec, 2008)

Volume	Coût minimum	Coût maximum	Coût moyen	Coûts estimés pour un volume maximum
0 – 2 000 m ³	14 000 \$	110 000 \$	54 \$/m ³	108 000 \$
2 000 – 10 000 m ³	58 000 \$	220 000 \$	29 \$/m ³	290 000 \$
> 10 000 m ³	> 220 000 \$	-	29 \$/m ³	> 290 000 \$

Volume (m ³)	Niveau de contamination	Coût moyen	Coût de mise en dépôt	Redevance	Coût moyen total	Coûts estimés pour un volume maximum
0 – 2 000	Bonne qualité	72 \$/m ³	25 \$/m ³	10 \$/m ³	107 \$/m ³	216 000 \$
	Faible	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	300 000 \$
	Forte	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	300 000 \$
2 000 – 10 000	Bonne qualité	72 \$/m ³	25 \$/m ³	10 \$/m ³	107 \$/m ³	1 080 000 \$
	Faible	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	1 550 000 \$
	Forte	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	1 550 000 \$
> 10 000	Bonne qualité	72 \$/m ³	25 \$/m ³	10 \$/m ³	107 \$/m ³	> 1 080 000 \$
	Faible	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	> 1 550 000 \$
	Forte	72 \$/m ³	73 \$/m ³	10 \$/m ³	155 \$/m ³	> 1 550 000 \$

Il est à noter que les coûts sont plus faibles pour la gestion par rejet en eaux libres que pour la gestion en milieu terrestre.

L'analyse effectuée par Rieussec (2008) permet de fournir un cadre de référence pour argumenter sur le choix du mode de gestion des sédiments de dragage le plus approprié en fonction des différents scénarios et selon leurs impacts environnementaux et économiques. Le Tableau 7 présente un résumé des modes de gestion à privilégier selon différents scénarios.

Tableau 8. Mode de gestion à privilégier en fonction des volumes et des niveaux de contamination.
(Rieussec, 2008)

		Niveau de contamination		
		Bonne qualité	Faible	Fort
Volume	0 – 2 000 m ³	Rejet en eau libre	Rejet en eau libre	Mise en dépôt
	2 000 – 10 000 m ³	Rejet en eau libre	Rejet en eau libre / Mise en dépôt	Mise en dépôt
	> 10 000 m ³	Rejet en eau libre	Mise en dépôt	Mise en dépôt

Les résultats montrent que :

- D'un point de vue économique et écologique, lorsque les sédiments sont **faiblement ou pas du tout contaminés** et dragués dans des **quantités inférieures à 10 000 m³** il est plus avantageux de rejeter les sédiments en **eaux libres**.
- Lorsque les volumes de sédiments dragués sont **plus élevés que 10 000 m³** il est préférable de les **gérer sur terre**. Les impacts environnementaux sont considérés comme plus faibles sur terre, car le dépôt en haut libre d'une quantité supérieure à 10 000 m³ pourrait ensevelir une grande quantité d'organismes et disperser une bonne quantité des polluants présents dans le sédiment (Rieussec, 2008).
- Chaque fois que le sédiment présente une **forte contamination** il doit être **géré sur terre**.
- Pour les catégories de **sédiments fortement contaminés ou d'un volume supérieur à 10 000 m³ conjugué à une faible contamination**, il serait alors avantageux de procéder à une **mise en valeur une fois traités**. Il serait aussi possible de prendre une partie des sédiments non pollués et disponibles à l'immersion pour les valoriser.

Une problématique qui est à réfléchir dans un futur rapproché si l'on souhaite aller de l'avant avec la valorisation des sédiments est le **besoin d'espace pour la gestion à terre**. En effet, plusieurs filières de valorisation nécessitent un dépôt terrestre pour effectuer les étapes de séchage, de décontamination le cas échéant et de mise en valeur. Pour ce faire, il serait indispensable de trouver des terrains et d'obtenir les autorisations essentielles par le gouvernement.

3.1.2 Mode d'extraction

Dans une optique de promotion du développement durable et de la préservation de l'environnement, il est recommandé de choisir une technique de dragage qui aurait le moins d'impact possible sur l'environnement. Le Tableau 8 peut aider à faire un choix éclairé sur la technique de dragage à préconiser.

Tableau 9. Grille d'appréciation des performances environnementales associées à chacun des types de dragues. (Centre Saint-Laurent, 1992)

Critères environnementaux	Dragues mécanique		Dragues hydrauliques			Dragues spéciales	
	Benne preneuse	Cuillère Et Rétrocaveuse	Suceuse simple	Désagrégatrice	Suceuse porteuse	Amphibie godet pompe (watermaster)	Tarrière horizontale (mudcat)
Remise en suspension à l'endroit dragué	-	--	+	+	-	+	+
Remise en suspension dans les aires résiduelles	+	+	+	+	-	+	+
Remise en suspension au site de dépôt	+	+	-	-	-	+	+
Facilité de contrôle de la remise en suspension	-	--	+	+	+	+	+
Remise en suspension durant le transport	+	+	++	++	+	++	++
Précision du dragage	+	+	+	+	-	+	++
Envergure des installations de traitement	++	++	--	--	--	+	+
Légende:	[-] Défavorable		[- -] Très défavorable		[+] Favorable		[+ +] Très favorable

3.1.3 Mesures d'atténuations

Pour s'assurer de maintenir un niveau d'impact environnemental le plus faible possible, il est particulièrement recommandé de mettre en place des mesures d'atténuations. Les mesures d'atténuation pour la colonne d'eau (Tableau 9) visent :

- La réduction des concentrations de solides et de contaminants remis en suspension et en solution;
- La réduction de leur transport par advection par les courants;
- La protection des espèces sensibles.

Les mesures d'atténuation pour le milieu terrestre (Tableau 10) servent à :

- La réduction des concentrations de contaminants dans les rejets gazeux, liquides et solides;
- La réduction des risques de migration de contaminants dans l'air, les sols, les eaux souterraines et les réseaux d'égouts;
- La réduction des voies d'exposition des milieux naturels et humains.

Tableau 11. Mesures d'atténuations recommandées pour la colonne d'eau lors des activités de dragage (Inspiré de: Michaud J.R., 2000; Fall O. et al., 2017)

Colonne d'eau	
Dragage/ Transport	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter les travaux aux moments propices de la marée ou du cycle hydrologique. - Réduction de la durée et du taux de dragage. - Réduction des profondeurs de coupe - Optimisation de la vitesse du désagrégateur avec la puissance de la pompe. - Augmentation de la puissance de la pompe aspirante. - Pose d'un capot étanche près de la tête du désagrégateur. - Amélioration des joints d'étanchéité des bennes mécaniques, des barges ou des conduites de refoulement. Des bennes/wagons ou citernes utilisées pour le transport des matériaux de dragage. - Pose d'écrans/rideaux de protection (membranes imperméables, cloisons de palplanches, rideaux à bulles) au site des travaux ou près des zones sensibles. - Interdiction d'utiliser la surverse au moment du remplissage des barges/wagons. - Choisir des périodes de l'année ou les espèces sensibles qui fréquentent le secteur ne sont pas en période de reproduction. - Observation préalable de la faune sous-marine. Certaines espèces de fond pouvant être déplacé avant le début des travaux de dragage. - Arrêt des moteurs et des travaux lors d'observation de mégafaune.
Gestion des hydrocarbures et déchets des navires	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de déversement en mer. - Maintenance régulière des équipements. - Stockages sécurisés des produits. - Préparation d'un plan anti-pollution et d'un plan de gestion des déversements accidentels.
Dépôt/confinement en eaux libres	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter les travaux aux moments propices de la marée ou du cycle hydrologique. - Réduction du volume des matériaux à chaque décharge. - Installation de diffuseurs submergés à l'extrémité des conduites. - Recouvrement des sédiments contaminés avec des matériaux propres. - Dépôt des sédiments dans des sacs en géotextile dans les barges/chalands. - Considérer l'utilisation de barges/chalands au lieu des conduites de refoulement.
Dépôt/confinement terrestre	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des débits hydrauliques des matériaux déposés. - Ajout de flocculants ou barrières physiques pour améliorer la sédimentation. - Vérification du fonctionnement ou installation d'un système de traitement physicochimique des effluents.

Tableau 10. Mesures d'atténuations recommandées pour le milieu terrestre lors des activités de dragage (Inspiré de: Michaud J.R., 2000; Fall O. et al., 2017)

Milieu terrestre	
Dépôt/confinement terrestre	<ul style="list-style-type: none"> - Maintien des sédiments sous l'eau ou maintenir humide la couche de surface durant la journée du confinement. - Amélioration de l'étanchéité des digues. - Recouvrement des sédiments contaminés avec des matériaux propres ou poses de membranes imperméables. - Plantation d'écrans de végétation ou création de bermes en terre pour ceinturer le site de dépôt.
Traitement des sédiments contaminés	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction des débits traités. - Vérification du captage des rejets gazeux, liquides et solides et de leur acheminement vers des équipements d'épuration. - Vérification du fonctionnement des équipements d'épuration selon les spécifications du manufacturier. - Ajout de systèmes d'épuration complémentaires. - Réexamen du choix des composantes technologiques de l'ensemble du procédé de traitement.

3.1.4 Valorisation et compensation

Au Québec, la valorisation des sédiments de dragage pourrait s'appliquer plus précisément aux matériaux qui sont gérés sur terre, soit ceux avec présence de contaminant ou encore pour les infrastructures portuaires possédant l'espace nécessaire. Aussi, une partie des sédiments qui sont jugés sains pourrait être utilisée en cas de travaux majeurs d'agrandissement ou de réfraction effectués en milieu portuaire et qui nécessiteraient une bonne quantité de sédiments. Pour optimiser le rendement des projets à l'intérieur desquels seront valorisés les sédiments, il est nécessaire d'y inclure **la notion de proximité géographique**. En effet, plus les sédiments seront valorisés à proximité des sites de dragage ou de traitement des sédiments, plus il y aura d'économie sur le transport de ceux-ci.

Au Québec, il serait très intéressant de mettre de l'avant des projets de **rechargement de plage** en raison de la problématique de l'érosion côtière qui est très présente dans plusieurs régions (p. ex. utilisation de recharge en sable ou fabrication d'agrégats). La **restauration de marais** maritime serait aussi une option très intéressante puisque ces milieux écologiquement importants sont actuellement en retrait dans de nombreux secteurs au Québec. L'utilisation des sédiments pour les **travaux de voiries et de construction** est aussi une filière intéressante puisque plusieurs études et travaux ont déjà été réalisés à l'échelle internationale et ont démontré l'efficacité des différentes techniques.

En outre, le Québec aurait certainement un **intérêt financier** à intégrer des méthodes de valorisation des sédiments de dragage. Celles-ci permettraient de rentabiliser certaines activités ou du moins d'économiser sur les frais liés au traitement des sédiments ou bien à leur confinement. Ces coûts étant reconnus comme très élevés, ils pourraient être en partie recouverts par la valorisation des sédiments (p. ex. en évitant d'acheter de nouvelle matière première et en réalisant des travaux pouvant être considérés comme des mesures de compensation). Ainsi, il est primordial de se questionner sur les **besoins des ports** et des autres secteurs avoisinants. Par exemple, si des agrandissements, des travaux de construction, de restauration d'habitats sont cédulés dans le secteur proche, alors la réutilisation des sédiments devient une option intéressante et plus rentable pour les gestionnaires.

Il faut aussi considérer que certains matériaux dragués sont aussi plus intéressants et plus rentables que d'autres, comme par exemple les sables non contaminés présents dans une bonne proportion dans le chenal maritime. Dans les nombreux projets de valorisation effectués au port de Dunkerque, une partie des sables a servi pour des projets de recherche et une autre portion pour la revente commerciale.

Un autre élément auquel il faut réfléchir est la **provenance des sédiments** et les usages souhaités. Ainsi, il est aussi à noter que les sédiments provenant de la partie fluviale du Saint-Laurent et ceux provenant de la partie maritime ne peuvent être utilisés pour les mêmes usages. Par exemple, les sédiments de dragage salés ne pourraient servir à reconstruire un habitat faunique considéré non salé (à moins de subir une désalinisation). La présence de sel ou non est à prendre en compte selon les options de valorisation voulu (Raymond, 2008).

3.2 Perspectives pour le futur

Dans un futur proche, il serait envisageable de conduire diverses actions ayant pour but d'accroître la disponibilité des informations liées aux activités de dragage et d'enclencher une discussion sur les possibilités réelles de valorisation des sédiments de dragage au Québec. La concertation de tous les acteurs du milieu doit faire partie de la solution vers un marché de valorisation potentiel. Ces actions sont présentées aux sections suivantes.

3.2.1 Diffusion d'un sondage

Il est actuellement difficile d'obtenir des informations sur certains aspects du dragage au Québec. Il existe une charte disponible en ligne sur le site de Plan Saint-Laurent, qui indique les projets de dragage prévus durant l'année. Cependant, il y a très peu d'informations concernant les mesures environnementales et la gestion des sédiments. Il est difficile de savoir combien de sédiments sont dragués puis gérés en milieu terrestre ou marin et quelle est la proportion réelle de sédiments contaminés.

Il serait donc pertinent de diffuser des questionnaires auprès de tous les promoteurs des projets de dragage. Ces questionnaires viseraient à augmenter le niveau de connaissance sur les sédiments dragués et sur les pratiques québécoises en matière de dragage. Il serait alors possible de créer une **banque régionale de données** (p. ex. coûts, quantité draguée, type d'opération, type de sédiments, niveau de contamination, méthode de gestion, mesures d'atténuations, mise en avant de la valorisation) ce qui permettrait de mieux documenter et chiffrer le dragage. En ayant plus d'informations, il sera dès lors plus facile de trouver ou de développer les meilleures méthodes de mise en valeur applicable à chaque secteur ou chaque projet de dragage.

Les questions suivantes sont des exemples d'informations qu'il serait pertinent d'obtenir :

- Effectuez-vous des dragages chaque année?
- Quel est le volume moyen du dragage d'entretien réalisé annuellement?
- Quel est le coût moyen du dernier dragage effectué? Quel est le coût annuel estimé?
- Quels est la composition des sédiments dragués (vases, sables, graviers et galets, autres, ne sais pas)?
- Quel est le niveau de contamination des sédiments?
- Savez-vous quels types de contaminants sont présents dans vos sédiments (TBT, PCB, HAP, métaux lourd)?
- Quel type de dragage utilisez-vous?
- Utilisez-vous des techniques de protection environnementale?
- Comment sont gérés vos sédiments de dragage (en eaux libres, en milieu terrestre)?
- Pour les sédiments gérés au sol, à quelle distance du port se trouve le lieu de stockage?
- Avez-vous déjà utilisé les sédiments de dragage dans le but d'effectuer des compensations environnementales ou dans le but de les valoriser?

3.2.2 Conduire des projets de recherche

Une option très intéressante pour l'avenir de la valorisation des sédiments de dragage au Québec est la mise en place de travaux de recherche sur le sujet. Il apparaît que le Québec ne possède actuellement pas de centre d'expertise sur la valorisation des sédiments de dragage, mais que de **nombreux experts et services commerciaux** en lien avec la gestion des sols et sédiments existent déjà. Il serait donc pertinent de lancer des **initiatives de collaboration** entre les acteurs du milieu du dragage et ces experts.

Le Québec possède notamment un vaste réseau d'expert au niveau des universités et des collèges techniques avec lesquels il serait intéressant de développer des partenariats et des collaborations. Plusieurs Universités et Centres collégiaux de transfert de technologie (CCTT) au Québec sont habilités à réaliser des projets de recherche en collaboration avec les industries et compagnies du milieu maritime (Figure 19).



Figure 19. Répertoire des chercheurs et organismes possédant des expertises liées à la gestion des sédiments de dragage

Avec la connaissance des différents domaines d'expertises disponible au Québec, il serait très intéressant de mettre sur pied des projets de recherche dans le but de combler certaines lacunes et d'améliorer les connaissances scientifiques générales sur les sédiments. Aussi, il serait pertinent de développer des travaux de recherche sur la valorisation des sédiments de dragage.

Voici quelques exemples de **sujets de recherche scientifique** qui gagneraient à être approfondis :

- Caractérisation géologique des fonds marins de la voie navigable et des ports du Québec.
- Recherche des conditions hydrodynamiques optimales d'un point d'équilibre sédimentaire visant à limiter les interventions futures.
- Modélisation hydro sédimentaire, cinétique d'accumulation des sédiments.
- Échantillonnage pour déterminer les zones contaminées et la source de ces contaminations.

Voici quelques exemples de projets de recherche sur la **valorisation des sédiments de dragage** qu'il serait intéressant de mettre sur pied dans le contexte du Québec :

- Projet de recherche sur la création d'agrégats avec des sédiments de dragage dans le but d'utiliser les agrégats comme matériel de stabilisation des côtes. La fabrication d'agrégats serait une solution durable dans la gestion de l'érosion côtière.
- Projets de recherche sur l'ajout de sédiment de dragage dans les matériaux routiers, notamment pour la construction de couche d'assise routière.
- Projet de recherche sur la construction de briques et blocs de béton pouvant être utilisés dans la construction.

L'annexe V présente des exemples de travaux de recherches qui ont déjà été menés à l'échelle internationale.

Il serait aussi intéressant de favoriser certaines recherches en **Analyses des cycles de vie (ACV)**, **Analyse coûts-bénéfice (ACB)** et **Analyse multicritères (AMC)**, par exemple :

- Création d'un projet de recherche sur les analyses de cycles de vie des travaux de dragage et de valorisation³.

3.2.3 Création d'un répertoire d'offre et de demande

Pour faire suite au sondage, il serait très pertinent de créer un répertoire des possibilités réelles et concrètes de méthodes de valorisation pouvant être envisagées pour le Québec.

Selon Raymond (2008), la mise sur pied d'un **réseau d'offre et de demande** concernant les sols et les sédiments serait une très bonne idée dans le but d'anticiper les différents marchés qui pourraient s'ouvrir à plus ou moins long terme.

Ainsi, un répertoire rassemblant ces informations devrait être mis sur pied :

- Ports et autres organismes effectuant du dragage de sédiments

³ Une discussion téléphonique avec Mme. Sophie Fallaha du CIRAIG a confirmé l'intérêt et la possibilité de réaliser un projet de recherche, en collaboration avec un ou plusieurs membres MeRLIN intéressés à effectuer une analyse de cycle de vie lié aux activités de dragage et de valorisation.

- Milieux nécessitant des restaurations
- Sites d'enfouissements, sites miniers, entreprises agricole, horticole et forestière, entreprises de construction et de transport et plages qui sont actuellement en besoin de matériel.

Ce répertoire devrait être mis à jour régulièrement et contenir les informations nécessaires pour que les fournisseurs de sédiments et les demandeurs de matière puissent communiquer entre eux. De ce fait, le répertoire serait considéré comme étant fiable auprès des entrepreneurs (Raymond, 2008). Ce qui permettrait aussi de potentiellement de sauver des coûts pour le fournisseur et pour le demandeur.

3.2.4 Organisation d'un atelier thématique MeRLIN

Un atelier MeRLIN est à planifier afin d'amorcer une discussion sur le devenir des sédiments de dragage qui doivent être gérés en milieu terrestre (sédiments contaminés, agrandissement d'infrastructure portuaire, etc).

Contenu de l'atelier :

- Quels sont les enjeux d'une gestion des sédiments en milieu terrestre?
- Quelle est la réglementation actuelle sur la réutilisation des sédiments?
- Quelles sont les filières de valorisation des sédiments qui pourrait promouvoir l'économie circulaire tout en répondant à des besoins locaux?
- Est-ce que le sédiment contaminé doit conserver le statut de déchet ou bien peut-il être transformé en matière recyclable/valorisable?

Cet atelier visera à rassembler les représentants de l'industrie maritime (p. ex. ports et armateurs), les compagnies de dragage, les universités (p. ex. ULaval, UQAR/ISMER, USherbrooke), les CCTTs (p. ex. Innovation maritime, CCTÉI) et les autres centres de recherche (p. ex. CIDCO, CIRAI), les gouvernements (p. ex. MÉSI, Recyc-Québec, GCC, STQ, MDDELCC, EC), les associations (p. ex. Armateurs du Saint-Laurent, SODES, Alliance Verte), les réseaux de recherche (p. ex. RQM, Québec Océan...) et les groupes de travail sur le dragage (p. ex. CCN, SODES, Réseau environnement).

3.2.5 Créer un groupe d'experts techniques et valorisation

Il serait très utile de créer un groupe de travail composé d'experts qui se concentrerait sur le développement de la valorisation des sédiments de dragage au Québec. Le groupe aurait comme principales fonctions de :

- Alimenter les réflexions sur la gestion des sédiments et leur valorisation ;
- Mener des expérimentations sur les techniques de valorisation des sédiments ;
- Conduire des actions de recherche et développement sur la gestion des sédiments et leur valorisation dans l'optique d'une application industrielle, mais également des études économiques liés aux impacts écologiques;
- Soutenir le développement de filière de valorisation et développer la concertation avec les parties prenantes concernées (création de tables de concertation);

- Développer des outils facilitant la prise de décision.

Exemples de composition potentielle de ce groupe d'expert : Garde Côtière Canadienne, Ministère des transports, Environnement Canada, port, compagnie de dragage, entreprise spécialisée en traitement des sédiments, associations, Universités.

Conclusion

Ce rapport visait à exposer les différentes informations en matière de gestion et de valorisation des sédiments de dragage, notamment sous l'angle technique et scientifique en incluant les aspects de réglementation et de gouvernance.

Cette collection d'information, obtenue par entrevues et par une revue de littérature, a permis ensuite de mieux comprendre les enjeux, de s'ouvrir à de nouvelles méthodes en développement à l'international et de proposer des pistes de solutions propres aux caractéristiques du milieu de l'industrie québécoise et au contexte en évolution au Québec. Nous espérons ainsi qu'il sera possible de codévelopper des stratégies de gestion durable des sédiments de dragage sur le territoire.

Afin de poursuivre la réflexion et d'obtenir les meilleurs résultats, des propositions de pistes de développement qui ont été identifiées par cette étude sont :

- L'amélioration de la connaissance :
 - Diffuser des questionnaires auprès de tous les acteurs des projets de dragage
 - Créer d'un répertoire d'offre et de demande de sols et sédiments
- Le développement de la concertation :
 - Créer un groupe d'experts techniques et valorisation
 - Organiser un atelier thématique MeRLIN autour de la gestion des sédiments en milieu terrestre
- La mise en œuvre d'actions de recherche et développement.

La formation d'un comité dragage au sein du réseau MeRLIN permettra d'alimenter des réflexions au sujet de la valorisation des sédiments de dragage au Québec.

Références

Alliance verte, (2018), *Magazine édition 2018*, 56 pages.

Alliance Verte, « Le port de Cleveland tire profit de ses déblais de dragage », consulté en août 2018, [En ligne], URL : <https://allianceverte.org/2015/10/09/port-cleveland-tire-profit-ses-deblais-dragage/>

Alliance Verte, « Énergie renouvelable et terres humides à Ports-Toronto », consulté en août 2018, [En ligne], URL : <https://allianceverte.org/2015/09/17/energie-renouvelable-terres-humides-portstoronto/>

Bai, J., Chatain, V., Laforest, V., (2017), *Analyse du cycle de vie (ACV) d'une filière de valorisation terrestre de sédiments de dragage marins contaminés*, Déchets Science et Techniques, no 73, 13 pages.

Bernatchez, P. & Dubois, J., (2004), *Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien*, Géographie physique et Quaternaire, 58(1), p.45–71.

BRGM, « GeDSeT : gestion durable des sédiments transfrontaliers », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://www.brgm.fr/projet/gedset-gestion-durable-sediments-transfrontaliers>

Boudreault, J.-P. et Dubé, J.-S., (2015), *Stratégie de valorisation des sols et sédiments contaminés suivant le traitement par stabilisation et solidification : secteur Beauport, Port de Québec*, Étude mandatée par Administration portuaire du Québec, 48 pages.

Brakni S., Edine Abriak N., Hequette A., (2009), *Formulation of artificial aggregates from dredged harbour sediments for coastline stabilization*, Environmental Technology, 30:8, pages 849-854.

CAP sédiments, « Le projet », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://cap-sediments.fr/le-projet.html>

CEAMAS, « Civil Engineering Applications for Marine Sediments », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://ceamas.sediments.fr/fr>

Centre Saint-Laurent, (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. W de catalogue En40-438/1992F. 81 pages.

Ciment Québec, « Stabilisation – solidification », consulté en août 2018, [En ligne], URL : <https://cimentquebec.com/construction/stabilisation-solidification/>

Conseil du patronat du Québec (CPQ), Conseil Patronal de l'Environnement du Québec (CPEQ) et Éco Entreprises Québec (ÉEQ), (2018), *Économie circulaire au Québec : Opportunités et impacts économiques*, Groupe de recherche en Gestion et mondialisation de la technologie de

Polytechnique Montréal, Institut de l'environnement, du développement durable et de l'économie circulaire du campus de l'Université de Montréal, 76 pages.

Conseil Patronal du Québec (CPEQ), (2012), Guide des bonnes pratiques afin de favoriser l'acceptabilité sociale des projets, 68 pages.

Comtois, C., Slack, B. (2015). *Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent: le transport maritime*. Rapport présenté à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada, au Gouvernement du Québec et à Ouranos. CIRRELT, Université de Montréal, 64 p.

Drévès, L., (2001), Restauration des écosystèmes côtiers : actes du colloque (Brest 8-9 novembre 2000), Plouzané, France : IFREMER, 378 pages.

Environnement Canada, (2002), *Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime. Volume 1: Directives de planification*. Environnement Canada, Direction de la Protection de l'environnement, Région du Québec, Section innovation technologique et secteurs industriels. Rapport, 106 pages.

Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, (2007), *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration*. 39 pages.

Environnement Canada et ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, (2015), *Guide pour l'élaboration de programmes de surveillance et de suivi environnemental pour les projets de dragage et de gestion des sédiments*. 24 pages + annexes.

ENVISAN, « Dragage environnemental et traitement des sédiments », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://www.envisan.com/fr/activites/dragage-environnemental-et-traitement-des-sediments>

Fall, O., Rodrigues, F., Sanon, P.H., Baiod, S., Awojobi, O., Diawara, M., Yameogo, G.C., Mpatswe, M.O., Alissoutin, S.M., Hamza, M., El Azizi, M., Diallo, K., Cisse, M., (2017), *Résumé de l'étude d'impact environnemental et social du projet de dragage du chenal du port minéralier de la Snim à Nouadhibou (Mauritanie)*, Groupe de la banque africaine de développement, 22 pages.

GENIVAR, (2008), *Programme décennal de dragage d'entretien des installations portuaires de Bécancour*, Études d'impact sur l'environnement présenté au MDDEP, Société du parc industriel et portuaire de Bécancour, 269 pages.

Groupe Océan, (2014), *Une nouvelle ère pour le dragage dans l'Est du Canada*, Institut des biens immobiliers du Québec, Atelier sur les infrastructures maritimes, 18 diapositives.

Grégoire, Pascal, (2015), *Gestion des sédiments de dragage au port de Dunkerque*, Commission Nouveaux projets du SPPPI, 18 diapositives.

Hadj Sadok, R., Belas, N., Tahlaiti, M., Belaribi, O.m Taieb, F., Belguesmia, K., Safer, O., (2018), Proposition d'un processus d'industrialisation des sédiments de dragage, MATEC Web of Conferences 149, 7 pages.

Herbich, J.B., (1992), *Handbook of Dredging Engineering*. McGraw-Hill Inc., Montréal. Pagination multiple.

Horizon Environnement, « Traitement », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://www.horizonenviro.com/services/traitement>

IFREMER, (1999), *Dragages et environnement marin : État des connaissances*, Coordinateur Claude Alzieu, IFREMER, 225 pages.

Le Devoir, (2017), « Draguer le fleuve pour demeurer compétitif? », Florence Sara G. Ferraris, consulté le 23 août 2018, [En ligne], URL : <https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/496010/transport-maritime-draguer-le-fleuve-pour-demeurer-competitif>

Mallorca bird watching, « Kentish Plover », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <https://www.mallorcabirdwatching.com/birds/kentish-plover>

Michaud, J.R., (2000), *Programme de surveillance et de suivi environnemental de projets de dragage et de gestion des sédiments. Démarche de conception et de mise en œuvre*, Environnement Canada, Direction de la protection de l'environnement, Région du Québec, Section Éco-innovation technologique. Rapport 217 pages.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques et Environnement et Changement climatique Canada, (2016), *Guide de caractérisation physico-chimique et toxicologique des sédiments*. 62 pages + annexes.

Ministère de l'énergie et des ressources naturelles, (2017), *Orientations du ministère de l'énergie et des ressources naturelles en matière d'acceptabilité sociale : Livre vert*, Gouvernement du Québec, Bibliothèque et Archives nationales du Québec 32 pages.

Miraoui, M., (2010), *Prétraitement et traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation dans le génie civil*, Département de Génie Civil et Environnement de l'École des Mines de Douai, 210 pages.

Plan d'action Saint-Laurent (2011-2026), *Entente Canada-Québec sur le Saint-Laurent*, 52 pages.

Plan Saint-Laurent, Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent (2014), *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014*. Environnement Canada, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, Parcs Canada, Pêches et Océans Canada et Stratégies Saint-Laurent, 53 pages.

Plan Saint-Laurent, (2017), *La navigation sur le Saint-Laurent, un écho du passé, une voie d'avenir*, 36 pages.

Plan-Saint-laurent, (2016), *Recommandations pour la gestion des matières en suspension (MES) lors des activités de dragage*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la

Lutte contre les changements climatiques et Environnement et Changement climatique Canada, 83 pages.

Plan-Saint-Laurent, « Comité de Concertation Navigation », consulté le 20 août 2018, [En ligne], URL : http://planstlaurent.qc.ca/fr/usages/comites_de_concertation/navigation.html

Project Management Institute, (2014), *Guide du corpus des connaissances en management de projet : Guide Pmbok*, 5^{ième} édition, 609 pages.

Raouf, A., (2013), *Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage*, Doctorat délivré conjointement par Mines Douai, Université Lille et Université de Sherbrooke, 205 pages.

Rieussec, E., (2008), *Analyse comparative des différents modes de gestion des sédiments de dragage en milieux terrestre et marin*, Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, Université de Sherbrooke, 136 pages.

Rouis Ben Amor, Z., Hassis, H., Ben Oueddou, M., (2008), *Valorisation des sédiments marins du port de la Goulette (Tunisie) en briques de construction*, Urbistics Tunisia, 9 pages.

Scarton, F., Cecconi, G., Valle, R., (2012), *Use of dredge islands by a declining European shorebird, the Kentish Plover Charadrius alexandrinus*, Wetlands Ecol Manage vol 21, pages 15–27.

SEDILAB, « Guide méthodologique Sédimatériaux : Technique routière », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL : <http://sedilab.sediments.fr/fr/guide-methodologique-sedimateriaux-technique-routiere>

SETARMS, « Sustainable Environmental Treatment and Reuse of Marine Sediment », consulté en juillet 2018, [En ligne], URL: <http://www.setarms.org/>

SODES, « Ports et terminaux », consulté en août 2018, [En ligne], URL : <http://www.st-laurent.org/bim/connaître-l'industrie-maritime/economie/ports-terminaux/>

Song, Y., (2016), *Traitement électrocinétique des sédiments de dragage et valorisation par solidification/stabilisation*. Génie civil. Université de Normandie, 182 pages.

Stratégie Maritime du Québec, « Grandes orientations », consulté en août 2018, [En ligne], URL : <https://strategiemaritime.gouv.qc.ca/grandes-orientations/environnement/>

United States Environmental Protection Agency (USEPA), (2009), *Technology Performance Review: Selecting and Using Solidification/Stabilization Treatment for Site Remediation*. USEPA National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, OH. 21 pages.

Valemar, « Essorage des boues », consulté en août 2018 [En ligne], URL : <http://www.energis-nauticservices.fr/essorage-des-boues.html>

Verbeeck, C., (2015), *Étude de cas : L'acceptabilité sociale des activités de dragage*, Département de Géographie, Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal, 94 pages.

Lexique

Acceptabilité sociale	L'acceptabilité sociale renvoie à l'information, à la consultation, voire au dialogue entre un promoteur, les parties prenantes et les citoyens de la communauté directement concernée. L'acceptabilité sociale découle donc d'un débat préalable sur les enjeux du projet et sur les préoccupations des citoyens. Ne pas confondre acceptation et acceptabilité. L'acceptabilité sociale ne signifie pas unanimité, pas davantage que le seul respect des obligations légales et des normes applicables à un projet. (MERN, 2017)
Analyse de cycle de vie (ACV)	Évaluation des effets directs ou indirects d'un produit sur l'environnement, depuis l'extraction des matières premières qui entrent dans sa composition jusqu'à son élimination. (Dictionnaire de l'Environnement, 2018)
Contamination historique	La contamination historique est celle léguée par l'arrivée de la révolution industrielle et elle a apporté les contaminants suivants : les métaux lourds tel le mercure, les pesticides organochlorés et les BPC. (Plan Saint-Laurent, 2014)
Contamination émergente	La contamination émergente a apporté les contaminants suivants : les PBDE (produits ignifuges) et les PPSP (médicaments tel que les antidépresseurs, traitements hormonaux ainsi que les produits de beauté et d'hygiène). (Plan Saint-Laurent, 2014)
Économie circulaire	L'économie circulaire est un système de production, d'échange et de consommation visant à optimiser l'utilisation des ressources à toutes les étapes du cycle de vie d'un bien ou d'un service, dans une logique circulaire, tout en réduisant l'empreinte environnementale et en contribuant au bien-être des individus et des collectivités (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018). C'est la transformation d'une économie traditionnelle dans le but de viser une efficacité accrue de l'utilisation des ressources et la réduction des matières résiduelles.
Écologie industrielle	L'écologie industrielle et territoriale s'inspire du fonctionnement des écosystèmes naturels pour recréer à l'échelle du système industriel une organisation caractérisée par un usage optimal des ressources et un fort taux de recyclage de la matière et de l'énergie. L'objectif est de tendre vers des circuits courts et un bouclage des cycles des flux physiques à l'échelle des territoires, et ainsi de limiter globalement la consommation de ressources et les impacts environnementaux.
Symbiose industrielle	C'est une des cinq stratégies de l'économie circulaire. « La symbiose industrielle relie les entreprises d'une même zone industrielle. Les résidus, ou extrants, d'une entreprise deviennent

alors la matière première, ou intrant, d'une autre. Ce système d'échange repose surtout, sans s'y limiter, sur la proximité géographique » (CPQ, CPEQ et ÉEQ, 2018).

Annexe I Avantages et inconvénients des différents types de dragues utilisés au Québec.
Informations tirées de Centre Saint-Laurent, 1992.

Dragues mécaniques	Avantages	Inconvénients
À Benne preneuse	<ul style="list-style-type: none"> - Conservation de l'intégrité des sédiments. Haute teneur solide. - Petite envergure des installations (transport, traitement, dépôt) - Profondeur presque illimité - Sécurité du travail près des quais et ouvrages fixes 	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de production relativement faible et décroissant avec la profondeur (30 à 500m³ / heure) - Taux de remise en suspension des sédiments élevés dans la colonne d'eau lors du prélèvement des sédiments fin non-cohésif
À cuillère	<ul style="list-style-type: none"> - Efficace pour retirer les sédiments pollués en rive ou dans une plaine inondable 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible efficacité voire nulle dans les sédiments fluides - Encombrement potentiel pour la navigation
Rétrocaveuse	<ul style="list-style-type: none"> - Précision du dragage en eau peu profonde - Efficace dans les matériaux meuble et durs et en présence d'obstacle - Coûts unitaires faible pour les petits volumes - Rejet en eaux libres par les barges génère peu de turbidité (moins qu'avec les dragues hydrauliques) 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulations supplémentaires lorsque le rejet en eaux libres est impossible - L'utilisation peut être limité par les courants marins
Dragues hydrauliques	Avantages	Inconvénients
Suceuse simple	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de production élevé (jusqu'à 7000m³ / heure) - Transport des sédiments plus facile sur de longue distance 	<ul style="list-style-type: none"> - Haute teneur en eau des matériaux excavés (80 à 90%) - Grandes surfaces nécessaires pour le dépôt des matériaux et pour le traitement des eaux - Fond irrégulier dans les sols durs suite au dragage - Impossible d'enlever les débris avec les techniques hydrauliques
À désagrégateur	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de remise en suspension dans la colonne d'eau lors du prélèvement des sédiments plus faible qu'avec les dragues mécaniques - Utilisation non-limité par les vitesses des courants marins et par la houle - Pour le travail sur les sédiments pollués minimalisation des risques pour les travailleurs, car transport avec pipeline - Coûts unitaires moins élevé pour les grands volumes 	<ul style="list-style-type: none"> - La drague elle-même et les pipelines constitue des obstacles à la navigation - Le rejet en eaux libres par pipeline génère plus de turbidité à la zone de dépôt que le rejet par barge des dragues mécaniques - La présence de gaz dans les sédiments ou d'éléments de taille grossière peuvent affecter le fonctionnement des pompes - Manipulations additionnelles des matériaux lorsqu'il est impossible de rejeter en eaux libres
Suceuse porteuse	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune entrave à la navigation - Transport facilité sur de longues distances et aucune manipulation additionnelle quand le rejet en eaux libres est possibles - Utilisation maximale des compartiments grâce à la surverse - Application non limitée par la vitesse des courants et par la houle 	<ul style="list-style-type: none"> - Impossible d'opérer en continu - Dans les sédiments pollués il est impossible d'utiliser la pleine capacité des compartiments sans recourir à la surverse - Précision moindre que tous les types de dragues - Utilisation généralement réservée à l'excavation de volumes importants dans des chenaux de navigation - Utilisation restreinte dans les zones peu profondes car besoin d'un fort tirant d'eau
Drague spéciales	Avantages	Inconvénients
Drague à tarière horizontale (mudcat)	<ul style="list-style-type: none"> - Petite taille: transport facile par camion ou par avion et permet de travailler dans des endroits peu accessibles pour les autres types de dragues - Laisse un fond régulier 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement modeste - Occasionne une certaine remise en suspension aux extrémités de la tarière - Profondeur maximale de 6,1 m - Sensible aux vents, courants et à la houle. Nécessite des repositionnements fréquents
Drague à godet pompe (watermaster)	<ul style="list-style-type: none"> - Turbidité réduite au maximum - Petite taille: transport facile par camion ou par avion et permet de travailler dans des endroits peu accessibles pour les autres types de dragues - Amphibie donc peut travailler sur la berge ou directement dans l'eau (très peu profonde) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement modeste - Profondeur maximale de 3,8 m

Annexe II Avantages et inconvénients des différents moyens de transports des sédiments de dragage. Informations tirées de Centre Saint-Laurent, 1992.

Méthodes de transport	Avantages	Inconvénients
Pipeline	<ul style="list-style-type: none"> - Économique - Faible perte de sédiment - Absence d'interruption des opérations de dragage - Peu d'opération de transfert - Idéal pour les sédiments fluides - Peut servir pour décharger les barges 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite des pompes de surpression pour les longues distances et fort dénivelé - Colmatage des conduites - Entrave à la navigation - Beaucoup de contrainte lors du transport en milieu terrestre - Utilisation limité à des forts volumes - Nécessité d'avoir de grands bassins de décantation pour le dépôt en milieu terrestre
Barge et Chaland	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts de transport peu élevé sur de courtes distances 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin de débarcadères pour le déchargement en milieu terrestre - Comporte parfois des problèmes d'étanchéité
Drague suceuse autoporteuse	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts de transport peu élevé sur de courtes distances - Idéal pour le dépôt en eaux libres 	<ul style="list-style-type: none"> - Interruptions dans les opérations de dragage - Nécessite un bon tirant d'eau - Non recommandé en présence de sédiment fortement pollués, en raison des pertes liées au chargement et au transport
Camion	<ul style="list-style-type: none"> - Grande souplesse de transport et facilité d'accès à tous les sites de dépôts ou de traitement terrestre - Mode de transport idéal pour les transferts entre dépôt en rive et dépôt terrestre et acheminement vers des lieux de traitements 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts de transport élevés - Pollution par le bruit, poussière et problème de circulation - Nécessite des manipulations supplémentaires des sédiments dragués - Il doit y avoir des stations de transfert - Il est nécessaire que les sédiments soient préalablement séchés avant le transport
Train	<ul style="list-style-type: none"> - Avantageux pour le transport des sédiments pollués à travers le milieu urbain 	<ul style="list-style-type: none"> - Rentable uniquement pour le transport de très grand volumes et sur des longues distances - Nécessite des manipulations supplémentaires des sédiments - Il doit y avoir une voie ferrée à proximité du site d'extraction, ou près des sites de dépôt et de traitement
Convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts d'opérations peu élevés 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation sur de très courtes distances - Investissement initial assez élevé - Équipement bruyant - Risques important de fuites

Annexe III Les modes de gestions des sédiments et leurs avantages et inconvénients. Informations tirées de Pêches et Océans Canada, 2016 ; Erwan Rieussec, 2008

Dépôt en milieu aquatique		
	Avantages	Désavantages
En eaux libres	<ul style="list-style-type: none"> - Solution la moins coûteuse - Sédiments de classe 1 peuvent y être déposé - Sédiments de classe 2 peuvent être déposé (avec condition de bioessais préalable) - Toutes types de granulométrie possible - Tous les types de dragages peuvent utiliser cette méthode de gestion (pipeline, barge, drague hydraulique porteuse) 	<ul style="list-style-type: none"> - Aucune valorisation des sédiments dragués - Modification et perturbation du milieu aquatique - Souvent les sites de dépôts sont loin des quais, donc longue attente avant le retour des barges - Problème de sécurité en mer selon les saisons
Confinement en milieu aquatique	<ul style="list-style-type: none"> - Technique efficace pour gérer des sédiments contaminés avec potentiel de toxicité - Limite les échanges entre le sédiment contaminé et le milieu 	<ul style="list-style-type: none"> - Coûts très variable - La création d'un site de confinement en milieu aquatique est plus onéreuse que le confinement en berge ou terrestre - Besoin d'un grand volume de sédiment sain pour effectuer le recouvrement - Il est nécessaire que le site d'enfouissement possède des conditions hydrodynamiques favorable à la stabilité des sédiments
Valorisation (Restauration, stabilisation ou création d'aménagements fauniques)	<ul style="list-style-type: none"> - Apporte un bénéfice pour la faune - Recyclage de sédiments - Apporte une forme de compensation aux travaux de dragage 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacts pour les habitats déjà en place - Comporte des coûts de réalisation très élevés - Nécessite des volumes de sédiments dragués important - Profondeur d'eau parfois insuffisante pour accéder aux sites à mettre en valeur - Couvert de glace pouvant nuire à la durée de vie du site
En berge		
Dépôt en berge		<ul style="list-style-type: none"> - Comporte des impacts sur les habitats en place - Plus coûteux que le dépôt en eaux libres (parfois grande distance entre le site de dépôt et le site de dragage) - Doit être réalisé en partenariat avec les gestionnaires et le promoteurs - Le calendrier de dragage doit s'ajuster avec celui des projets d'aménagements - Demande une gestion très stricte des eaux de lixiviations - Les marées sont un élément pouvant être contraignant
Confinement en berge	- Solution intéressante pour le dépôt des sédiments dont la qualité varie de bonne à modéré	<ul style="list-style-type: none"> - Impacts sur les habitats en place - Coûts élevés lors de la mise en place de la cellule de confinement - Nécessité de construire un système de digue autour de la zone de confinement - Ces sites sont construits près des berges en eaux libres et peuvent être un obstacle à la navigation
Valorisation (stabilisation des berges)	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution des quantités de sédiments qui sont prélevés pour faire les recharges de plage - Recyclage de sédiments - Apporte une forme de compensation aux travaux de dragage 	<ul style="list-style-type: none"> - Comporte des coûts de réalisation très élevés - Nécessite des volumes de sédiments dragués important - Profondeur d'eau parfois insuffisante pour accéder aux sites à mettre en valeur

En milieu terrestre

Mise en dépôt	<ul style="list-style-type: none"> - Option envisageable pour les sédiments peu contaminés qui respectent les critères d'utilisation des sols - Évite la perturbation du milieu aquatique occasionné lors du rejet en eaux libres - Les coûts peuvent être faible lorsque le site de dépôt est près de celui de dragage 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu comporter des impacts sur les habitats terrestres en place - Onéreuse lorsque les sédiments doivent être transporté (en camion étanche) d'un lieu de stockage temporaire vers l'aire permanente - Augmente la durée des travaux si les sédiments doivent être déplacé en camion - Dérangement (bruit) et impact potentiel sur la sécurité de la population en lien avec le transport par camion - Doit être réalisé en partenariat entre les gestionnaires et les promoteurs. Si la GCC assume tous les coûts cela n'est pas avantageux
Confinement en milieu terrestre	<ul style="list-style-type: none"> - La seule option en cas de sédiments fortement contaminés 	<ul style="list-style-type: none"> - Les coûts de ce mode de gestion sont extrêmement élevés - Besoins de plusieurs manipulations (séchage, transport) - Nécessite un site de confinement autorisé - Danger et dérangement potentiel de la population lors du transport par camion - L'aménagement des sites de dépôts doit comprendre l'utilisation de matériaux imperméables, le traitement des eaux de drainage et de lixiviation
Valorisation	<ul style="list-style-type: none"> - La granulométrie de certains sédiments correspond à celle utilisé pour la fabrication du béton, l'entretien et la construction de route - Utile comme matériaux de remblais lors de travaux sur les ports (nouvelles constructions, restauration) - Diminution des quantités de sédiments qui sont prélevés pour faire les travaux de génie civil - Recyclage de sédiments - Apporte une forme de compensation aux travaux de dragage 	<ul style="list-style-type: none"> - Comporte des coûts de réalisation très élevés - Nécessite des volumes de sédiments dragués important - Les sédiments doivent préalablement être séchés et décontaminés

Annexe IV Prétraitement et traitement des sédiments de dragage contaminés

1. Le prétraitement ou séchage des sédiments

Les sédiments de dragage sont composés d'une matrice sédimentaire et organique, mais aussi en grande partie d'eau. Il arrive la plupart du temps que la teneur en eau du matériel dragué soit supérieure à 50%. Il est donc nécessaire de passer par une phase de prétraitement des sédiments qui consiste à en extraire l'eau par des techniques de déshydratation. Ce qui permettra de réduire le poids total des sédiments à manipuler et à traiter. Les deux techniques suivantes sont couramment utilisées.

Le lagunage actif :

Cette technique de déshydratation des sédiments consiste à étaler les matériaux de dragage dans des bassins. Ils seront aérés et retournés régulièrement, ce qui permettra à l'eau de s'évaporer ou de se drainer. Cette technique permet de récupérer des sédiments composés de 60 à 65% de matière sèche. De plus, en phase finale les polluants organiques pourront être dégradés par bioremédiation. Le plus gros inconvénient de ce type de prétraitement est la grande superficie nécessaire pour mettre en place les bassins et la longue période de temps que prend la déshydratation.

La déshydratation mécanique :

Ce type de technique de prétraitement peut être effectué par des filtres presses à plateaux ou à bandes ou encore par des centrifugeuses. Ces techniques sont utilisées lorsque la déshydratation des sédiments doit être effectuée rapidement ou lorsque l'espace près du site de dragage ne permet pas la mise en place de la méthode du lagunage actif.

Sédimentation-décantation :

La technique de sédimentation-décantation est une opération qui sépare les phases solides des phases liquides à l'aide des différences de gravités (les boues se déposent au fond). On peut aussi utiliser des flocculants pour aider le processus (Miraoui, 2010).

Séchage par sac géotextile :

Injection des boues dans des sacs géotextiles en forme tubulaire. Ajout d'un agent flocculant pour permettre de faire des agglomérations de particules solides emprisonnés dans les sacs. L'eau libre quant à elle va être exfiltré à travers les interstices des sacs géotextiles (Pangeos).

2. Le traitement des sédiments

Il est possible qu'une fraction des sédiments dragués nécessite un traitement de décontamination, s'ils sont jugés comme pollués. Les quatre types de traitement suivant sont les plus couramment utilisés, notamment par la compagnie Européenne ENVISAN spécialisés dans les dragages environnementaux et le traitement des sédiments contaminés.

Biologique :

Le traitement biologique est adéquat pour la dépollution des matériaux contaminés en polluants organiques, notamment les hydrocarbures légers possédant de courtes chaînes. Ce sont des microorganismes élevés dans des conditions optimales qui sont utilisés pour dégrader ces polluants.

Physico-chimique :

Ce type de traitement est utilisé lorsque les sédiments sont constitués de polluants mixtes organiques et métalliques. Les sédiments seront séparés et triés par des procédés physique et chimique. Ce qui laissera une fraction granulaire lavée, décontaminé et prête à être mise en valeur et une autre fraction plus fine qui sera concentrée en contaminant. Cette dernière fraction sera déshydratée et transformer sous forme de galette pour en favoriser son stockage dans un centre de déchet.

Thermique :

Les sédiments soumis à des températures de l'ordre de 450° à 650° pendant quelques dizaines de minutes permettent aux métaux et à la matière organique d'être éliminé par volatilisation, combustion ou pyrolyse (IFREMER, 1999).

Extraction sous vacuum

Cela consiste en une volatilisation forcée des composés. Cette technique s'effectue sur les composés volatils (benzène, toluène, les solvants chlorés, etc). Les sols sont mis sous une toile étanche qui sera connecté à une pompe vacuum. Le changement de pression sous la toile augmentera la volatilisation des composés qui sont en dessous. Les vapeurs ainsi créées seront captés par des filtres au charbon actif.

Dessablage par hydrocyclonage :

Cette technique fonctionne de manière semblable à celle physico-chimique par l'aboutissement à un tri granulométrique. La différence est qu'aucun procédé chimique n'est utilisé, c'est la densité des grains qui est utilisée. Ce tri densimétrique donnera une fraction fine et contaminé et une fraction plus grossière non contaminé. Cette technique est très adaptée pour les sédiments sableux.

Électrocinétique :

Méthode assez récente et prometteuse, elle peut être appliqué *in situ* sur des sédiments peu perméable. Cette technique sert à éliminer les contaminants sous l'influence d'un courant continu appliqué au sédiment. Il se produit une réaction de type électrolyse de l'eau, ce qui produit des ions H⁺ et favorise donc la désorption et la dissolution d'espèces métalliques. Le pH doit toujours être surveillé, car à pH basique l'efficacité du traitement sera réduite (Song, 2016).

Stabilisation/solidification :

Le procédé de traitement par stabilisation et solidification (S/S) est composé de 2 phases principales : La stabilisation chimique des contaminants présent dans le sédiment à traiter puis l'encapsulation physique du sédiment traité sous forme de matrice solide de type monolithique (Boudreault et Dubé, 2015). Le but principal de ce type de traitement est de réduire la solubilité des éléments contaminants en les confinant en une masse peu perméable, ce qui permet une protection contre la dissolution de ces contaminants et le transfert par ruissellement vers les différentes masses d'eau. Ce type de traitement des sols et des sédiments contaminés est

considéré comme la meilleure technologie pour le traitement de plus de 50 types de matières résiduelles (USEPA, 2009).

Le traitement des sédiments par S/S présente plusieurs avantages dans une optique de développement durable.

- Aucuns matériaux contaminés envoyés dans des sites d'enfouissement
- Possibilité de réutiliser les sédiments décontaminés : Remblais, butte paysagère, couche de remplissage sous l'asphalte, etc

Vitrification :

C'est une technologie à haute température (1200°C à 3000°C) destinée à immobiliser les contaminants dans une matrice vitrifiée. Celle-ci est résistante à la lixiviation et chimiquement durable. Les métaux non volatiles sont immobilisés, mais les métaux volatiles doivent être récupérés dans un système de traitement des effluents gazeux. Les composés organiques sont décomposés ou brûlés. Cette technique est favorable en présence de Hg ou de matières radioactives (Miraoui, 2010).

Informations tirées de :

- <http://www.envisan.com/fr/activites/dragage-environnemental-et-traitement-des-sediments/techniques>
- <http://www.horizonenviro.com/services/traitement>

Annexe V Projet de recherche sur la valorisation en génie civil et côtier

- **Thèse sur la valorisation des sédiments non-immérgeable dans le but de les utiliser en couche de fondation pour les routes et d'en faire des blocs de bétons**

La méthodologie intègre un prétraitement des sédiments et un temps de séchage dans des bassins de décantation. Des tests sur les sédiments ont été effectués pour connaître les principales caractéristiques des matériaux. Dans l'étude, les sédiments analysés démontraient une taille trop fine pour répondre adéquatement au besoin en matière de portance. Cependant, l'ajout de sable de dragage et d'un liant hydraulique ont permis d'atteindre les valeurs de l'Indice de Portance qui permette l'utilisation du matériel dans une couche de fondation. Le mélange routier a été conçu avec 1/3 de sédiment de dragage, 2/3 de sable de dragage et avec un traitement de 1% de chaux vive et 6% de liant hydraulique. Une route de 550 mètres a été réalisé dans le port de Dunkerque pour faire des essais terrain de cette technique. Le suivi de la route a démontré de très bonne performance en matière de résistance. L'évaluation environnementale a aussi permis de constater des taux en contaminants inférieurs aux seuils prédéfinis, indiquant donc l'absence de relargage.

Deux types de bétons ont été testés. Un béton avec une base de 12,5% de sédiment de dragage (B1) et un béton avec une base de 20% de sédiment de dragage (B2). Les bétons ont été soumis à un programme expérimental visant : l'évaluation des indicateurs de la durabilité sur les deux bétons ; des tests de durabilité par des essais de performance (gel/dégel, attaque sulfatique externe, réaction alcalis-granulats) ; et une évaluation de l'impact environnemental.

Les résultats sur la durabilité ont apporté des informations sur la qualité et la performance des deux bétons étudiés. Le béton B1 présente de bonnes performances mécaniques et microstructurales et révèle des qualités comparables à un béton ordinaire. Le béton B2 quant à lui a montré des performances moins élevées que B1. Toutefois, même avec ce taux, le béton B2 se rapproche de la performance équivalente d'un béton ordinaire.

Les deux bétons ne présentent pas d'effet néfaste pour l'environnement avec des taux de contaminants inférieurs aux seuils.

Il serait cependant nécessaire de mener d'autres tests en fonction du type d'usage prévu pour les blocs de bétons. Par exemple, des tests de lixiviations devront être menés pour les blocs visant à être immergés dans la mer (ouvrages de protections marine notamment).

Pour plus d'informations : Achour Raouf, (2013), *Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage*, Doctorat délivré conjointement par Mines Douai, Université Lille et Université de Sherbrooke, 205 pages.

- **Travail de recherche sur l'utilisation des sédiments de dragage dans les briques de construction**

Le traitement et l'identification des sédiments dans un port de Tunisie (port la Goulette) a été effectué dans le but de mener une étude sur la valorisation des sédiments de dragage du port en génie civile sous forme de brique.

Deux formules de brique ont été testés :

- 60% argile + 10% sable + 30% sédiments sous forme de briques creuses. Cuisson à 900°.

- 50% argile + 10% sable + 40% sédiments sous forme de briques pleines. Cuisson à 900°.

Il a été remarqué que ces briques composées en partie de sédiments marin sont un peu plus légères que les briques d'argiles conventionnelle. Elles sont donc plus facilement manipulables. Les briques creuses sont moins résistantes que celle à base d'argile (-26%). Les briques pleines sont cependant plus résistantes que les briques en argile (+16%).

Les analyses environnementales des briques ont démontré que même lors de lixiviation les contaminants marins présent en quantité inférieure aux seuils sont restés emprisonnés et fixés dans la brique.

Pour plus d'informations : Rouis Ben Amor, Z., Hassis, H., Ben Oueddou, M., (2008), *Valorisation des sédiments marins du port de la Goulette (Tunisie) en briques de construction*, Urbistics Tunisia, 9 pages.

- **Travail de recherche sur l'utilisation des sédiments de dragage en technique de stabilisation des berges**

L'érosion côtière est un aléa naturel observé sur un grand nombre de milieu côtier. L'élévation du niveau moyen des mers en est la principale cause, le déficit en sédiment provenant de la mer peut aussi en être une cause. Les berges du fleuve Saint-Laurent n'échappent pas à ce phénomène. C'est pourquoi de nombreuses solutions ont été mise sur pied. Une solution efficace, esthétique et peu invasive consiste à faire des recharges de plages, pour recréer le profil naturel de la plage et venir atténuer les effets des vagues sur la côte. Cependant, pour faire des recharges de plage le plus efficace possible, il est nécessaire de connaître la taille granulométrique des sédiments de la plage où l'on souhaite intervenir. Il est aussi possible d'opter pour une taille de grain qui est compatible avec l'énergie que reçoit la côte.

Dans ce contexte, l'utilisation des sédiments de dragage en génie côtier serait un atout et une forme de recyclage des sédiments et de préservation des ressources primaires (pas besoin de prélever de sable dans une carrière pour faire la recharge).

Pour ce faire, le département du génie civil et environnemental de l'école des Mines de Douai en France à développer une nouvelle approche pour l'utilisation des sédiments de dragage dans les recharges de plages. Il s'agit de la formation d'agrégat marin, ce qui donne des tailles de grains plus grandes et donc une meilleure durabilité face à l'érosion.

La première étape a été de caractériser les sédiments prélevés :

- Teneur en eau
- pH
- Proportion de matière organique
- Analyse minéralogique (X-ray Diffraction)
- Taille granulométrique
- Degré de contamination

Ensuite pour transformer le sédiment en agrégats :

- Décantation pour réduire la teneur en eau jusqu'à une limite efficace pour faire les agrégats
- Traitement des sédiments si besoin
- Mixage des sédiments avec un liant hydraulique (ciment)
- Création d'une pâte cimentée
- Incorporation de la mixture dans des moules en formes de granule de 10 cm de haut par 5-6 cm de large et insérer dans un extrudeur de 3cm de diamètre
- Une pression de 6 bars sur la pâte sera appliquée sur la mixture inséré dans l'extrudeur
- Cela formera une pâte qui sera coupé dans des segments de 15 à 20 mm
- Leur forme ronde ou angulaire leur sera alors donnée

Les chercheurs ont créé différentes formes et tailles d'agrégats avec des ratios eau/ciment différents. Différents tests de résistance mécanique ont été effectués.

Les résultats des différents tests ont montré que selon leur technique les agrégats avaient des coefficients de fragmentation et de dégradation assez faible et qu'ils étaient résistants à l'immersion.

D'autres tests devraient être conduit pour connaître le comportement des agrégats dans les conditions climatiques du Québec. Des tests sur le terrain devraient être effectués pour connaître l'évolution des agrégats soumis aux processus côtiers.



Pour plus d'informations : Brakni S., Edine Abriak N., Hequette A., (2009), *Formulation of artificial aggregates from dredged harbour sediments for coastline stabilization*, Environmental Technology, 30:8, pages 849-854.