



VILLE DE QUÉBEC

Étude de faisabilité technique et économique pour l'extraction, le traitement et la disposition des sédiments du lac Saint-Augustin

Rapport final

Rapport préparé par :

DESSAU

Juin 2009
N/Réf. : 129-P024118-0103-EN-0001-01



SOMMAIRE EXÉCUTIF

En raison de l'importante problématique de la présence de cyanobactéries dans le lac Saint-Augustin durant la période estivale, un projet d'expérimentation a été présenté en 2008 par la ville de Québec au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). Cette proposition a été effectuée dans le cadre de l'appel de proposition de projets-pilotes pour la restauration de milieux eutrophes et a été retenue.

La teneur en phosphore présente dans l'eau du lac est très importante et les sédiments accumulés dans le fond du lac constituent une source importante de ce nutriment. L'objectif du projet pilote consiste donc à diminuer la concentration de phosphore dans le lac pour ainsi restaurer le lac Saint-Augustin et lui redonner des caractéristiques permettant de retrouver des usages actuellement compromis.

Dans le cadre de cette étude, différentes techniques d'extraction, de traitement et de disposition des sédiments ont été examinées dans le but de réaliser une étude de faisabilité technique et économique. La méthode la plus efficace pour l'extraction des sédiments s'avère le dragage hydraulique (pompage) en raison de la forte teneur en eau des sédiments (90 %). Le pompage à l'aide d'une drague de type Mud Cat et d'une drague amphibie munie d'un godet-pompe a donc été évalué. Dans le cas de traitement des sédiments (déshydratation), trois techniques ont été étudiées, soit l'utilisation de sacs Geotubes®, de centrifugeuses décanteuses et l'épandage des sédiments directement dans des champs agricoles. Six sites potentiels ont également été localisés pour assécher les sédiments ou en disposer de façon définitive.

Après évaluation des différentes techniques disponibles, de la localisation des sites potentiels, de l'aspect logistique et des coûts engendrés selon diverses alternatives proposées, l'option répondant le mieux aux différentes contraintes pourrait s'accomplir par le pompage des sédiments à l'aide d'une drague amphibie et l'épandage sur des terrains situés à proximité du lac Saint-Augustin. Cette option est évaluée à un coût de 2 900 000 \$¹. Toutefois, si la déshydratation des sédiments s'avérait nécessaire, l'utilisation d'une drague amphibie et d'unités de centrifugation serait l'avenue à privilégier. Les coûts de réalisation par cette technologie sont alors estimés à 10 000 000 \$ pour des travaux répartis sur deux ans.

¹ Ce coût n'inclut pas les études préliminaires (caractérisation détaillée des sédiments, essai de pompage et obtention des autorisations gouvernementales)

VILLE DE QUÉBEC

Étude de faisabilité technique et économique pour l'extraction, le traitement et la disposition des sédiments du lac Saint-Augustin

Rapport final

Préparé par :

Marie-Hélène Michaud, biol., M.Sc. océanographie
Biologiste

Approuvé par :

Fabien Bolduc, biol., M.Sc.
Chargé de projet

Dessau inc.
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) Canada G2K 2G2
Téléphone : 418.626.1688
Télécopieur : 418.647.2540
Courriel : info@dessau.com
Site Web : www.dessau.com

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Ville de Québec

Marc Marin, ing. M. Env.

Conseiller en environnement,
Service de l'environnement

René Gélinas, biol.

Directeur de la qualité du milieu,
Service de l'environnement

Dessau inc.

Christian Gagnon, biol.

Directeur de projet

Fabien Bolduc, biol. M.Sc.

Chargé de projet

Marie-Hélène Michaud, biol. M.Sc. océanographie

Biologiste

Karine Fortier

Cartographe

Nathalie Loubier

Secrétaire

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXCÉCUTIF	I
1 INTRODUCTION.....	1
2 REVUE ET ANALYSE DES INFORMATIONS EXISTANTES.....	3
2.1 La Grande Corvée.....	3
2.2 Outils de gestion du phosphore.....	3
2.3 Revue de littérature	4
2.4 Qualité des sédiments.....	4
3 ÉVALUATION DES TECHNIQUES ET DES COÛTS POUR L'EXTRACTION DES SÉDIMENTS ...	6
3.1 Drague de type Mud Cat	6
3.2 Godet-pompe monté sur une pelle amphibie	9
3.3 Apport externe d'eau vers le lac.....	10
4 ÉVALUATION DES TECHNIQUES ET DES COÛTS RELIÉS AU TRAITEMENT DES SÉDIMENTS	12
4.1 Sacs de géotextile.....	12
4.1.1 Procédé.....	12
4.1.2 Sommaire des coûts de traitement.....	15
4.2 Centrifugeuse décanteuse	16
4.3 Épandage des sédiments.....	17
5 SITES POTENTIELS DE DISPOSITION DES SÉDIMENTS.....	19
5.1 Site 1 : 145, chemin du Lac.....	19
5.2 Site 2 : Champs agricoles situés au nord du chemin du Lac.....	19
5.3 Site 3 : Lot 1 693 373.....	19
5.4 Site 4 : Écocentre (ancien site de matériaux secs)	19
5.5 Site 5 : Section nord du lac	21
6 ÉVALUATION DE LA DISPOSITION DES SÉDIMENTS	22
6.1 Sites de traitement	22
6.1.1 Site 1 : 145, chemin du Lac.....	22
6.1.2 Site 2 : Champs agricoles situés au nord du chemin du Lac.....	23
6.1.3 Site 3 : Lot 1 693 373.....	23
6.1.4 Site 4 : Écocentre (ancien site de matériaux secs)	23
6.1.5 Site 5 : Section nord du lac	23
6.2 Sites de disposition finale.....	24

7	ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES OPÉRATIONS.....	25
7.1	Méthodologie d'évaluation des impacts	25
7.2	Identification des sources d'impact potentielles	25
7.3	Milieu naturel.....	25
7.4	Milieu humain.....	27
8	SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES POSSIBILITÉS	28
8.1	Pompage des sédiments et épandage (scénario 1).....	28
8.2	Pompage des sédiments et traitement par centrifugation (scénario 2)	28
8.3	Pompage des sédiments et traitement par sacs géotubes (scénario 3).....	29
9	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	31
9.1	Conclusion	31
9.2	Recommandations	31
10	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	33
11	PERSONNES CONSULTÉES.....	34

Tableaux

Tableau 4-1	Sommaire des coûts estimés pour la déshydratation des sédiments par sac de géotextile	15
Tableau 4-2	Estimation budgétaire pour la déshydratation des sédiments par centrifugeuse décanteuse	17
Tableau 7-1	Matrice des impacts appréhendés pour le projet d'extraction, de traitement et de disposition des sédiments du lac Saint-Augustin.....	26
Tableau 8-1	Synthèse des coûts estimés pour les différents scénarios d'extraction et traitement des sédiments	30

Figures

Figure 3-1	Drague Mud Cat modèle MC915.....	8
Figure 3-2	Drague amphibie.....	10
Figure 4-1	Fonctionnement de la technologie Geotube®	13

Cartes

Carte 3-1	Localisation du lac Saint-Augustin	7
Carte 5-1	Localisation des sites potentiels pour la disposition temporaire des sédiments dragués	20

Ce rapport est l'œuvre de Dessau inc. et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de la **Ville de Québec**. La **Ville de Québec** se réserve le droit de reproduire et de diffuser le présent rapport.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants de Dessau qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés selon la procédure relative à l'approvisionnement de notre manuel qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet.

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
N° DE RÉVISION	DATE	DESCRIPTION DE LA MODIFICATION ET/OU DE L'ÉMISSION
0A	2009-04-03	Rapport préliminaire
0B	2009-04-20	Rapport final pour approbation
00	2009-05-22	Rapport final
01	2009-06-15	Rapport final modifié

1 INTRODUCTION

La problématique de la dégradation de la qualité de l'eau du lac Saint-Augustin est connue depuis plusieurs décennies et déjà en 1968, le lac était classé comme eutrophe. La ville de Québec, en collaboration avec la ville de Saint-Augustin-de-Desmaures et le comité de bassin du lac Saint-Augustin, a comme vision de restaurer le lac Saint-Augustin et de lui redonner des caractéristiques permettant de retrouver des usages actuellement compromis.

Plusieurs études ont été réalisées depuis le début des années 2000 et la problématique du lac est maintenant bien connue. La présence de concentration importante de phosphore dans l'eau est le principal facteur favorisant la prolifération de floraisons d'algues bleu-vert. L'objectif est de diminuer la concentration du phosphore dans l'eau de 70 µg/L à 10 µg/L de phosphore.

Étant donné la faible superficie et les caractéristiques du bassin versant, les sédiments accumulés dans le fond du lac ont été identifiés comme une source importante de phosphore dans la colonne d'eau en raison de leur remise en suspension et de la décomposition de la matière organique qu'ils contiennent.

Pour contrôler et réduire les apports internes de phosphore dans la colonne d'eau, plusieurs outils de gestion *in situ* du phosphore provenant des sédiments ont été analysés (Consortium DDM – Pro Faune, 2005). L'étude conclut que l'inactivation du phosphore par floculation est l'outil qui répond le plus aux critères, suivi du pompage des sédiments. D'autre part, bien que le recouvrement de la surface des sédiments soit toujours au stade expérimental, cette technique représente également une solution possible pour réduire le relargage du phosphore dans la colonne d'eau.

Pour vérifier la faisabilité technique et l'opportunité de ces deux techniques de restauration dans le lac Saint-Augustin, un projet d'expérimentation a été présenté en juin 2008 par la ville de Québec en réponse à l'appel de propositions de projets-pilotes pour la restauration de lacs eutrophes du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). La proposition déposée par la ville de Québec a été retenue par le gouvernement.

Dans ce contexte, Dessau a été mandaté pour documenter plus précisément la faisabilité technique et économique de l'extraction, du traitement et de la disposition des sédiments contenus dans le lac Saint-Augustin. De façon détaillée, les activités prévues au mandat sont les suivantes :

- Revue et analyse des informations existantes.
- Évaluation des techniques et coûts pour l'extraction des sédiments.
- Évaluation des techniques et des coûts reliés au traitement des sédiments.
- Identification des sites potentiels de traitement et de disposition de sédiments.
- Évaluation des coûts de disposition des sédiments.

2 REVUE ET ANALYSE DES INFORMATIONS EXISTANTES

Divers documents ont été consultés pour la réalisation de cette étude de faisabilité. Certains d'entre eux traitent de la problématique déjà connue de la présence du phosphore dans le lac alors que d'autres concernent les activités de dragage en différents types de milieux et l'utilisation de différents types de machinerie. Les paragraphes suivants présentent une brève description des documents examinés.

2.1 La Grande Corvée

Dans le cadre de « La Grande Corvée du bassin versant du lac Saint-Augustin », réalisée en 2002, plusieurs documents ont été produits traitant de divers sujets concernant le lac Saint-Augustin. En effet, une collecte de données a permis d'amasser de l'information, entre autres, sur les sites potentiellement contaminés (Corbeil et al., 2002a), le portrait agroenvironnemental (Pilote et al., 2002a), la paléolimnologie (Roberge et al., 2002), les apports en phosphore (Pilote et al., 2002b), l'écologie des cyanobactéries (Bouchard-Valentine et al., 2002) et la contamination des sédiments (Corbeil et al., 2002b) du bassin versant et du lac Saint-Augustin.

Ces documents révèlent que les activités anthropiques se déroulant autour du lac Saint-Augustin ont eu pour effet d'accélérer le processus d'eutrophisation du lac. Le phosphore, élément majeur qui contribue à l'état d'eutrophisation ainsi qu'à la présence de cyanobactéries, proviendrait de différentes sources, soit les eaux sanitaires avec les installations septiques déficientes, les raccordements inversés, les sols urbanisés et les sédiments du lac.

2.2 Outils de gestion du phosphore

Le document intitulé « Développement d'un outil de gestion *in situ* du phosphore provenant des sédiments du lac Saint-Augustin », réalisé par le consortium DDM – Pro Faune (2005) a également été consulté. Cette étude avait pour objectifs d'évaluer l'importance des flux en phosphore en provenance des sédiments du lac Saint-Augustin et d'identifier les outils de gestion *in situ* du phosphore provenant des sédiments du plan d'eau, tout en assurant le développement durable et contemporain de ses ressources et de ses potentiels.

Le volume de sédiments non consolidés (plus de 90 % du contenu en eau) accumulés dans le lac Saint-Augustin a été évalué à 736 379 m³ en 2004 et l'épaisseur moyenne de ces sédiments est de l'ordre de 110 cm. Les apports d'eau au lac Saint-Augustin sont insuffisants pour permettre un lessivage vers l'aval du phosphore libéré par les sédiments. Ainsi, plusieurs outils de gestion *in situ* du phosphore dans l'eau ont été identifiés et analysés à l'aide d'une analyse multicritères. Cette analyse démontre que la combinaison de

l'inactivation du phosphore et du pompage des sédiments serait l'avenue à explorer pour améliorer la qualité des eaux du lac Saint-Augustin et ses usages.

2.3 Revue de littérature

Une série d'articles scientifiques portant sur les effets du dragage des sédiments et les implications au niveau du largage du phosphore, ainsi que sur la restauration de milieux lacustres de différentes façons, dont le dragage des sédiments, ont été fournis par la ville de Québec. La grande majorité de ces articles révèlent que le dragage des sédiments est une solution efficace dans la diminution des concentrations de phosphore dans le milieu. Toutefois, ces articles discutent des résultats obtenus, mais décrivent très peu les méthodes, appareillages et instruments utilisés. De plus, ils ne fournissent aucune information sur le coût des opérations de restauration.

Le document « Méthodes de gestion et réutilisation des sédiments pollués » (Agence de l'eau Artois-Picardie, 2004) présente un inventaire détaillé des techniques de curage, de transport, de traitement et des usages des sédiments. Ce document a été consulté afin de connaître les diverses options qui pourraient convenir au projet d'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin.

Aussi, une revue de littérature a été effectuée en 2008 par Pro Faune (2008), portant sur le « Projet de restauration du lac Saint-Augustin : Évaluation de certaines techniques de contrôle de phosphore *in situ* ». Cette revue avait pour but de documenter la faisabilité et l'efficacité de deux méthodologies envisagées, soit l'inactivation du phosphore en suspension par floculation (chaux) et l'utilisation d'une drague hydraulique (pompage) pour extraire les sédiments du lac ainsi que leur valorisation/disposition. Selon ce document, le traitement à la chaux pour provoquer la précipitation du phosphore devrait être efficace, selon les caractéristiques physico-chimiques du lac Saint-Augustin. Ce traitement a, en général, peu d'effet sur la faune et la flore et si les apports externes sont bien contrôlés, les effets de l'inactivation du phosphore à l'aide de chaux peuvent s'étendre sur plusieurs années. En ce qui a trait au pompage des sédiments, cette intervention est majeure et nécessite une connaissance détaillée du milieu ainsi qu'une bonne planification. Également, les sédiments pompés contenant plus de 90 % d'eau, ils nécessiteront un prétraitement, soit la déshydratation, avant leur transport jusqu'au site de disposition finale.

2.4 Qualité des sédiments

Les résultats d'analyses chimiques en laboratoire ont révélé des teneurs moyennes, sur une base de sédiments secs, de 892 mg/kg en phosphore total, 19 119 mg/kg en aluminium et 29 355 mg/kg en fer.

À partir du moment où les sédiments se retrouvent en milieu terrestre, ils sont considérés comme des sols. Par conséquent, leur gestion doit tenir compte de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du MDDEP, ainsi que du *Règlement sur le stockage et les centres de transfert de sols contaminés*.

À la lumière des résultats obtenus sur la qualité des sédiments du lac Saint-Augustin (Corbeil et al., 2002b), plusieurs échantillons ont présenté des teneurs en métaux (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc et arsenic) supérieures au seuil d'effets mineurs (SEM) définis par Environnement Canada et le ministère de l'Environnement du Québec (1992), alors que seul le cadmium a présenté des dépassements pour le SSE (seuil d'effets néfastes) pour neuf des 20 points échantillonnés. Toutefois, si on considère ces sédiments comme des sols, aucun de ces échantillons n'a présenté de dépassement du critère de niveau B pour les sols du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP, 2002). En conséquence, les sédiments retirés du lac, une fois déshydratés, pourraient être transportés et servir de matériel de recouvrement pour les lieux d'enfouissement sanitaire, les gravières ou sablières ou comme matériaux de remblayage sur des terrains contaminés à vocation résidentielle (Consortium DDM - Pro Faune, 2005). D'autre part, si l'alternative d'épandre directement les sédiments sur les terrains environnants ou de les utiliser comme amendement de sols agricoles est privilégiée, d'autres analyses devront toutefois être réalisées au préalable pour s'assurer que leur degré de contamination (toxicité, lixiviation, etc.) permet une telle utilisation.

3 ÉVALUATION DES TECHNIQUES ET DES COÛTS POUR L'EXTRACTION DES SÉDIMENTS

Cette section présente les différentes techniques pour l'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin ainsi que les coûts associés selon la méthode.

De prime abord, rappelons que le lac Saint-Augustin possède une superficie de 68 ha et un volume évalué à 2 252 106 m³, pour une profondeur moyenne de 3,30 m (profondeur maximale : 6,45 m). Le volume de sédiments non consolidés, qui contiennent plus de 90 % d'eau, accumulés dans le lac a été évalué en 2004 à 736 379 m³ et l'épaisseur moyenne de ces sédiments est de 110 cm (épaisseur maximale : 400 cm). La carte 3-1 présente la localisation du lac Saint-Augustin.

En raison de l'aspect non consolidé des sédiments à extraire, l'option de dragage hydraulique (pompage) s'avère la méthode la plus effective pour l'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin. Cette méthode a donc été retenue et quelques procédés ont été examinés. Deux technologies ont été évaluées pour le dragage hydraulique des sédiments : la drague Mud Cat et le godet-pompe monté sur une pelle amphibie (Amphibex).

Il est à noter que le projet prévoit également une floculation du phosphore contenu dans la colonne d'eau préalablement à l'extraction des sédiments. Toutefois, cet aspect ne fait pas partie du mandat de Dessau et n'est pas décrit dans les sections suivantes.

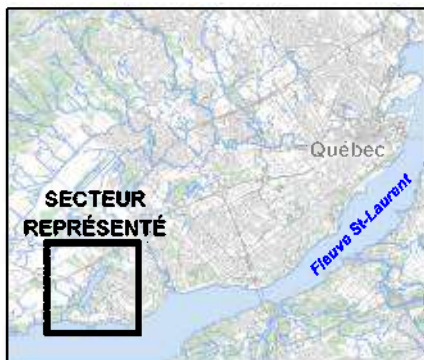
De plus, l'exécution des travaux devra tenir compte de certains critères limitatifs. En effet, les conditions hivernales n'étant généralement pas favorables pour la réalisation de ce genre de travaux, ceux-ci ne pourront être réalisés que sur une période d'environ sept mois (mai à novembre), selon les conditions. Afin de maintenir un certain niveau de qualité de vie des citoyens, les travaux devront se dérouler pendant un maximum de 10 heures par jour et idéalement cinq jours par semaine. En fonction de ces contraintes, la période de travail est de 150 jours par année.


3.1 Drague de type Mud Cat

Une drague de type Mud Cat, modèle MC915, est capable de pomper 450 m³/h contre 53 m de tête, munie d'un bouclier horizontal de 2,75 m de large afin de réduire la turbidité. Couplé à une pompe de surpression travaillant au même débit que la drague, les sédiments peuvent être acheminés directement jusqu'à une distance de 1 km du lac. La figure 3-1 présente l'appareil qui pourrait être utilisé dans le cadre de l'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin.



Fleuve Saint-Laurent



 Limite du bassin versant du lac Saint-Augustin

Lac Saint-Augustin -
Évaluation des techniques et sites

**Carte 3-1
Localisation du lac Saint-Augustin**

Source :

Bases : BDTO, 1 : 20 000, MRNF Québec.

Cartographie : Dessau.

0  1 km

Projection MTM, fuseau 7, NAD83

Date : Mai 2009
ND : 129 P024118-103

Consolidated Giroux Environnement inc. (CGEI) est une compagnie qui œuvre depuis plus de 40 ans dans le domaine de la réhabilitation et de la gestion environnementale. Cette compagnie, spécialisée dans le dragage et l'assèchement des sédiments, utilise des dragues de type Mud Cat, couplées à des centrifugeuses décanteuses. Dans le cadre de ce mandat, des représentants de l'entreprise ont été rencontrés par Dessau afin d'obtenir une description des techniques proposées d'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin ainsi qu'une estimation budgétaire.

L'estimation budgétaire comprend la mobilisation et la démobilisation de l'équipement, le service de grue et le pompage des sédiments.

Figure 3-1 Drague Mud Cat modèle MC915



Le coût de mobilisation inclut l'installation des équipements alors que la démobilisation inclut le démantèlement et le nettoyage du site. Le temps de transport est considéré dans le coût pour ces deux activités. Ces activités sont évaluées à 50 000 \$.

Pour ce qui est du pompage des sédiments, un coût unitaire de 7,50 \$/m³ a été considéré. Avec une drague Mud Cat, il serait possible de réaliser l'extraction de tout le volume de sédiments (700 000 m³) sur une période de 233 jours, à raison de 10 heures de travail par jour. L'estimation des coûts fournie par la compagnie CGEI est de 5 250 000 \$. Au total, en répartissant les travaux sur deux années et en incluant les frais de mobilisation et démobilisation de l'équipement, le coût de pompage des sédiments à l'aide d'une drague Mud Cat est évalué à 5 350 000 \$.

3.2 Godet-pompe monté sur une pelle amphibie

Une technologie développée au Québec, une excavatrice amphibie (Amphibex), peut accomplir une grande variété de tâches en milieu marin, aquatique ou côtier, dont le dragage. Elle peut être équipée d'un godet-pompe déchiqueteur et peut travailler à une profondeur pouvant atteindre 6,5 m. Un système de pompage permet d'acheminer les sédiments sur environ 1 km de distance.

La compagnie Ecotechnologies du Nouveau-Brunswick est une entreprise possédant plusieurs excavatrices Amphibex. Cette entreprise a été contactée par Dessau pour obtenir des coûts de réalisation des travaux au lac Saint-Augustin. Le coût d'utilisation des équipements est estimé à 500 \$/heure, pour un rendement approximatif de 150 m³ de sédiments non consolidés dragués à l'heure.

Considérant un volume de sédiments de 700 000 m³, le temps estimé pour extraire ce volume est d'environ 4 700 heures, soit 470 jours de 10 heures de travail. Afin de réduire le nombre de jours de travail de moitié (235 jours), l'utilisation de deux dragues est envisagée. Le coût total des travaux de pompage à l'aide de dragues amphibie est évalué à 2 350 000 \$. À ce montant, il faut compter des frais pour la mobilisation et démobilisation, ainsi que quelques impondérables, pour un total de 2 650 000 \$ sur deux ans. La figure 3-2 présente une drague de type amphibie qui pourrait être utilisée dans le cadre du projet d'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin.

Figure 3-2 Drague amphibie



3.3 Apport externe d'eau vers le lac

Bien qu'une partie de l'eau extraite du lac avec les sédiments puisse être retournée vers le plan d'eau une fois traitée, puisque le lac Saint-Augustin ne possède pas un grand volume d'eau par rapport à la quantité de sédiments à extraire, il faut porter une attention particulière au débit de pompage des sédiments qui varie entre 300 m³/h (2 dragues amphibie) et 450 m³/h (Mud cat).

Selon EXXEP (2003), l'apport en eau au lac Saint-Augustin s'effectue principalement par écoulement souterrain et par un réseau intermittent de tributaires urbains et agricoles. Ainsi, le volume d'eau du lac est renouvelé entièrement en près de sept mois (*op. cit.*). Considérant le volume du lac évalué à 2 252 106 m³ et le temps de renouvellement de cette eau en sept mois, le débit du lac peut être estimé à environ

440 m³/h. Il serait donc sans doute utile de prévoir un apport d'eau externe afin de maintenir le niveau d'eau du lac lors des opérations de pompage des sédiments, particulièrement dans le cas de l'utilisation d'une drague Mud Cat de grande capacité et si les sédiments pompés sont acheminés hors du bassin versant pour assèchement. À titre indicatif, des frais associés au pompage d'eau d'une source externe sont estimés à environ 1 000 \$/jour.

4 ÉVALUATION DES TECHNIQUES ET DES COÛTS RELIÉS AU TRAITEMENT DES SÉDIMENTS

Cette section fait état des techniques pour l'assèchement des sédiments, ainsi que les coûts associés, selon le traitement utilisé.

4.1 Sacs de géotextile

La technique des sacs de géotextile consiste à accumuler les sédiments pompés du lac dans un géotube composé d'une membrane géotextile. Cette technique de déshydratation passive des boues est commercialisée, entre autres, par Geotube®, représenté au Québec par la compagnie Terratube. Les sédiments pompés seront ainsi déshydratés progressivement et l'eau résiduelle sera retournée au lac.

L'application de la technique Geotube est justifiée par la caractérisation des sédiments réalisée par le consortium DDM – Pro Faune (2005) qui révèle que les sédiments accumulés dans le lac Saint-Augustin sont peu denses et contiennent une forte proportion d'eau (plus de 90%). Le pompage des sédiments dans des sacs permettrait de limiter la charge interne de phosphore et de déshydrater les sédiments sans manipulation complexe.

Les boues seraient par la suite caractérisées et valorisées ou pourraient être déposées dans un site autorisé selon leur qualité en tenant compte de la réglementation en vigueur. La figure 4-1 décrit brièvement la technologie des Geotubes.

4.1.1 Procédé

Les sédiments sont pompés et acheminés vers le sac à l'état soluble. Avant l'arrivée dans le sac Geotube, les boues sont conditionnées par un polymère. Le mélange boues-polymères passe par une chambre de mélange afin que les boues flocculent. Le floc ainsi obtenu est retenu par la membrane du sac alors que l'excès d'eau sortira par les pores de la membrane du sac. Avec le temps, la pression exercée contre les parois du sac force le liquide à s'écouler à travers celle-ci, laissant la matière sèche à l'intérieur du sac. L'excès d'eau pourra ensuite être retourné au lac suite à une décantation ou un traitement. En général, après un hiver et plusieurs cycles de gel-dégel, la siccité des sédiments contenus à l'intérieur des sacs peut atteindre les 25 %.

Figure 4-1

Fonctionnement de la technologie Geotube®

1- Emmagasiner des boues



Les boues sont pompées et mélangées à un polymère qui les floccule et favorise ainsi la séparation des fractions solide et liquide.

2- Déshydratation



Une eau claire ressort par toute la surface du sac et s'écoule vers l'étang, laissant ainsi plus de 99 % de solides emprisonnés dans le Geotube®

3- Consolidation des boues



Les solides demeurent dans le sac. Ce dernier peut perdre jusqu'à 80% de son volume initial. Lorsque plein, le contenu du sac peut être disposé sur des terres agricoles, dans un site de compostage ou encore dans un site d'enfouissement selon la qualité et la composition des boues emmagasinées.

Le terrain qui recevra le Geotube devra être préparé de la façon suivante :

- Étape 1- Légère excavation du terrain et ajout d'une couche de sable afin de créer une surface plane, sans roche, avec une pente de 0,5% en direction d'un bassin ou d'un puits de pompage.
- Étape 2- Mise en place d'un lit de drainage comprenant une géomembrane imperméable sur l'ensemble de la surface.
- Étape 3 – Installation du sac Geotube à plat sur la surface drainante.

Le coût moyen des matériaux nécessaires et de la mise en place d'un tel lit est estimé à entre 10 \$ et 15 \$ du mètre carré. Il faut également considérer la construction d'un bassin de sédimentation afin de s'assurer de la qualité de l'eau avant le rejet au milieu naturel.

L'objectif de siccité est de 25 %, bien que la siccité finale après un ou plusieurs cycles gel – dégel puisse être supérieure.

En fonction du volume de sédiments à traiter et des contraintes de période de travaux, il doit être envisagé de réaliser les travaux sur plus d'une année. Le dimensionnement des sacs Geotube a été réalisé selon l'hypothèse que le volume des sédiments à extraire est d'environ 700 000 m³, avec une moyenne de siccité de 10 %.

Pour des travaux se réalisant sur deux ans, les besoins seraient de 10 973 m (36 000 pieds) linéaires pour les sacs de 27,43 m (90 pieds) de circonférence. Il est à noter que dans ce cas-ci, les sacs peuvent être empilés sur le principe de la pyramide (base élargie au sol). Le nombre d'étages pourrait être déterminé avec précision suite à des tests réalisés avec la boue à extraire. En considérant une hypothèse de trois étages, la base pourrait être constituée de 150 sacs de 27,43 m de circonférence et de 30,50 m de long. Cette base présenterait alors une empreinte au sol d'environ 6,3 ha. La réalisation du pompage de 700 000 m³ de sédiments sur 235 jours de travail (sur 2 ans, soit en moyenne 120 jours par année) à 10 heures de travail par jour nécessite deux dragues et deux unités de polymérisation.

Si les travaux se réalisent sur cinq ans, les besoins annuels en sacs de 27,43 m (90 pieds) de circonférence seraient de 1 829 m (6 000 pieds) linéaires. On considère ainsi que lors de la deuxième année, le volume résiduel libéré par l'effet du gel – dégel dans les sacs en place permettrait de prendre en charge un volume additionnel de sédiments dans les sacs de l'année précédente. L'espace ainsi nécessaire pour ces sacs

disposés en un seul niveau serait d'environ 2,5 ha. En répartissant le travail sur cinq ans, le pompage des sédiments représenterait annuellement de 90 à 100 jours de travail par année, à 10 heures de travail par jour avec une drague et une unité de polymérisation.

4.1.2 Sommaire des coûts de traitement

Le tableau 4-1 résume les coûts de traitement de déshydratation des sédiments par la technique des Geotubes. Les coûts sont estimés pour les travaux se réalisant sur deux ou cinq ans, à raison de 10 heures par jour.

Pour les besoins du calcul, le coût des sacs Geotubes a été converti en devises canadiennes à un taux approximatif de 0,80 \$ (1 \$ CAD = 0,80 \$ USD). Toutefois, ces prix sont en date de mars 2009 et sont sujets aux variations dues au marché et du taux de change de la devise américaine.

En ce qui a trait à la polymérisation des boues, une équipe de quatre personnes par quart de travail est nécessaire pour opérer une unité de polymérisation d'une capacité d'environ trois tonnes métriques de matière solide à l'heure². Le coût de la main-d'œuvre est évalué à 2 420 \$ par quart de travail (total de 1 140 000 \$), alors que le coût de l'équipement de polymérisation est évalué à 120 000 \$ par mois d'utilisation (total de 120 000 \$). À ce coût, il faut ajouter le coût des polymères qui pourrait se situer à environ 30 \$ par mètre cube de matière sèche prise en charge (total de 2 100 000 \$).

Tableau 4-1 Sommaire des coûts estimés pour la déshydratation des sédiments par sac de géotextile

Item	Coûts sur deux ans (deux dragues, 10 h par jour) (\$)	Coûts sur cinq ans (une drague, 10 h par jour) (\$)
Sacs Geotube [®]	3 625 000	3 070 000
Lit de drainage	950 000	380 000
Polymérisation – Main d'œuvre	1 140 000	1 210 000
Polymérisation – Équipement	240 000	240 000
Polymérisation - Additifs	2 100 000	2 100 000
Total	8 055 000 \$	7 000 000 \$

² Cette capacité de polymérisation est équivalente à la capacité de pompage de l'Amphibex munie d'un godet-pompe.

4.2 Centrifugeuse décanteuse

L'utilisation de centrifugeuses décanteuses peut également être envisagée pour la déshydratation des sédiments. Des tests sur les matériaux devraient toutefois être pratiqués en laboratoire au préalable afin de déterminer les propriétés physiques et chimiques des sédiments à assécher. Il serait ainsi possible de déterminer le meilleur polymère à utiliser de façon à maximiser le rendement des opérations.

Pour ces opérations, un réservoir de boues de 92 000 litres avec agitateurs et tamis rotatifs serait requis, ainsi que le système de déshydratation de polymère avec deux réservoirs de 10 000 litres chacun, une chambre de contrôle et distribution électrique, deux convoyeurs, les pompes à boues, à polymères et à eau ainsi que six opérateurs.

L'estimation budgétaire a été effectuée pour la déshydratation d'environ 35 000 tonnes métriques solides (TMS), sur une base opérationnelle de dix ou douze heures de travail par jour.

La mobilisation et la démobilisation incluent l'installation des équipements ainsi que le démantèlement et le nettoyage du chantier. Pour ce qui est de la déshydratation, les estimations ont été faites pour traiter de 25 à 30 TMS par jour par unité de déshydratation, ce qui représente entre 1 200 et 1 400 jours pour traiter 35 000 TMS. Afin d'augmenter le rendement, il est envisageable d'utiliser plusieurs unités de centrifugation. Ainsi, cinq unités de centrifugation pourraient traiter de 125 à 150 TMS par jour, le temps de traitement serait alors de 233 à 280 jours. Les coûts de mobilisation et démobilisation sont estimés à 24 000 \$ par année par unité. Les coûts d'opération de déshydratation sont de 2 500 \$ par jour d'opération par unité de centrifugation.

La consommation de polymère peut varier selon le type de sédiment et des essais devront être effectués en laboratoire afin de déterminer la quantité exacte de polymère à utiliser. Comme à la section précédente, l'estimation a été faite en considérant un coût de 30 \$ par mètre cube de matière sèche prise en charge.

D'autres frais peuvent être applicables pour les travaux de déshydratation des sédiments, notamment les coûts d'électricité (600V) pour faire fonctionner les équipements. La location d'une génératrice permettant d'alimenter les unités de centrifugation est estimée à 5 000 \$ par semaine et le coût du carburant nécessaire à la génératrice est de 500 \$ par jour. Une alimentation à partir du réseau d'Hydro-Québec pourrait toutefois être envisagée. À titre indicatif, le coût de branchement au réseau d'Hydro-Québec est estimé à 100 000 \$ et la consommation d'énergie à 100 \$ par jour par unité de centrifugation.

De plus, il faut également prévoir l'utilisation d'une grue de 40 tonnes ou plus pour l'installation et le démantèlement du système de déshydratation, pour un total d'environ 10 000 \$. Aussi, le terrain devra être suffisamment solide et au niveau pour l'implantation du système de déshydratation des boues.

Les coûts associés à la déshydratation des sédiments sont présentés au tableau 4-2 et incluent la mobilisation et la démobilisation de l'équipement, les opérations de déshydratation ainsi que le polymère.

Tableau 4-2 Estimation budgétaire pour la déshydratation des sédiments par centrifugeuse décanteuse

Item	Coûts sur deux ans (5 unités, 10 h par jour) (\$)	Coûts sur cinq ans (trois unités, 10 h par jour) (\$)
Mobilisation / Démobilisation	240 000	360 000
Opération de déshydratation	3 500 000	3 750 000
Polymérisation	2 100 000	2 100 000
Alimentation électrique	240 000	250 000
Total	6 080 000 \$	6 460 000 \$

4.3 Épandage des sédiments

Les sédiments extraits du lac Saint-Augustin peuvent être considérés comme des biosolides et constituer des matières résiduelles fertilisantes (MRF). En effet, le phosphore et autres éléments qu'ils contiennent font qu'ils peuvent être utilisés comme amendements organiques des sols ou comme source d'éléments fertilisants (engrais) (MDDEP, 2008).

L'épandage des sédiments directement sur des terres peut constituer un moyen de disposition des sédiments dragués. Les coûts associés à l'acheminement des sédiments dans un rayon de 1 km sont inclus dans les coûts de la machinerie de pompage. Toutefois, des frais supplémentaires sont à prévoir pour l'aménagement préalable des surfaces réceptrices, l'excavation de fossés afin d'y installer des tuyaux perforés pour favoriser la récupération de l'eau excédentaire et l'aménagement de bassins de décantation si requis. Le montant estimé de l'aménagement du site récepteur est de 200 000 \$. De plus, il faudrait voir à niveler les sédiments dans les champs une fois leur assèchement complété. Le coût d'utilisation d'une niveleuse pour réaliser cette activité est évalué à 50 000 \$.

Le coût total de ce moyen de traiter les sédiments et les épandant sur des terres avoisinantes (dans un rayon de un kilomètre) est de l'ordre donc de 250 000 \$.

Des frais supplémentaires seront associés aux demandes de permis pour l'entreposage des sédiments dans les champs et aux autres travaux connexes à l'épandage des sédiments. En effet, ce genre d'utilisation des sédiments est considéré comme une activité de valorisation qui nécessite une demande de certificat d'autorisation (MDDEP, 2008). Des analyses de qualité devront également être réalisées afin de vérifier l'atteinte de certains critères et ces analyses devront être effectuées par un laboratoire accrédité par le centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ). Tous les travaux d'épandage devront être encadrés par le « Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes » du MDDEP (2008) et faire l'objet d'un plan agroenvironnemental de valorisation (PAEV).

5 SITES POTENTIELS DE DISPOSITION DES SÉDIMENTS

Les principaux critères qui ont servi à la sélection des sites sont la distance par rapport au lac, l'accessibilité au site et la superficie offerte.

Cette section présente les sites potentiels situés près du lac Saint-Augustin en vue de traiter les sédiments excavés du lac ou d'en disposer de façon définitive. La localisation de ces sites est présentée à la carte 5-1. La distance donnée de ces sites par rapport au lac Saint-Augustin est la plus courte distance du lac mesurée en ligne droite. Il est à noter que Dessau n'a effectué aucune demande d'autorisation pour l'utilisation de ces sites à des fins de disposition de matériel dragué. La ville de Québec devra établir le contact avec les propriétaires de ces sites potentiels afin de trouver une entente pour l'utilisation de ces terrains.

5.1 Site 1 : 145, chemin du Lac

Il s'agit d'une ferme située directement en bordure du lac Saint-Augustin. Ce site pourrait être considéré comme un excellent endroit pour traiter les sédiments car il n'y a pratiquement aucun transport à effectuer. La superficie totale de ce terrain est de 4,6 ha.

5.2 Site 2 : Champs agricoles situés au nord du chemin du Lac

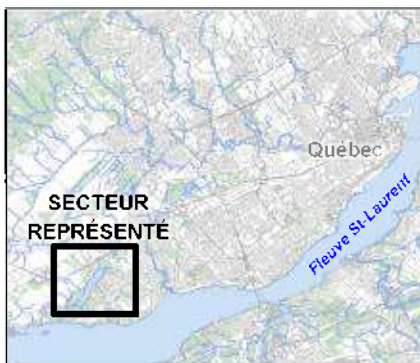
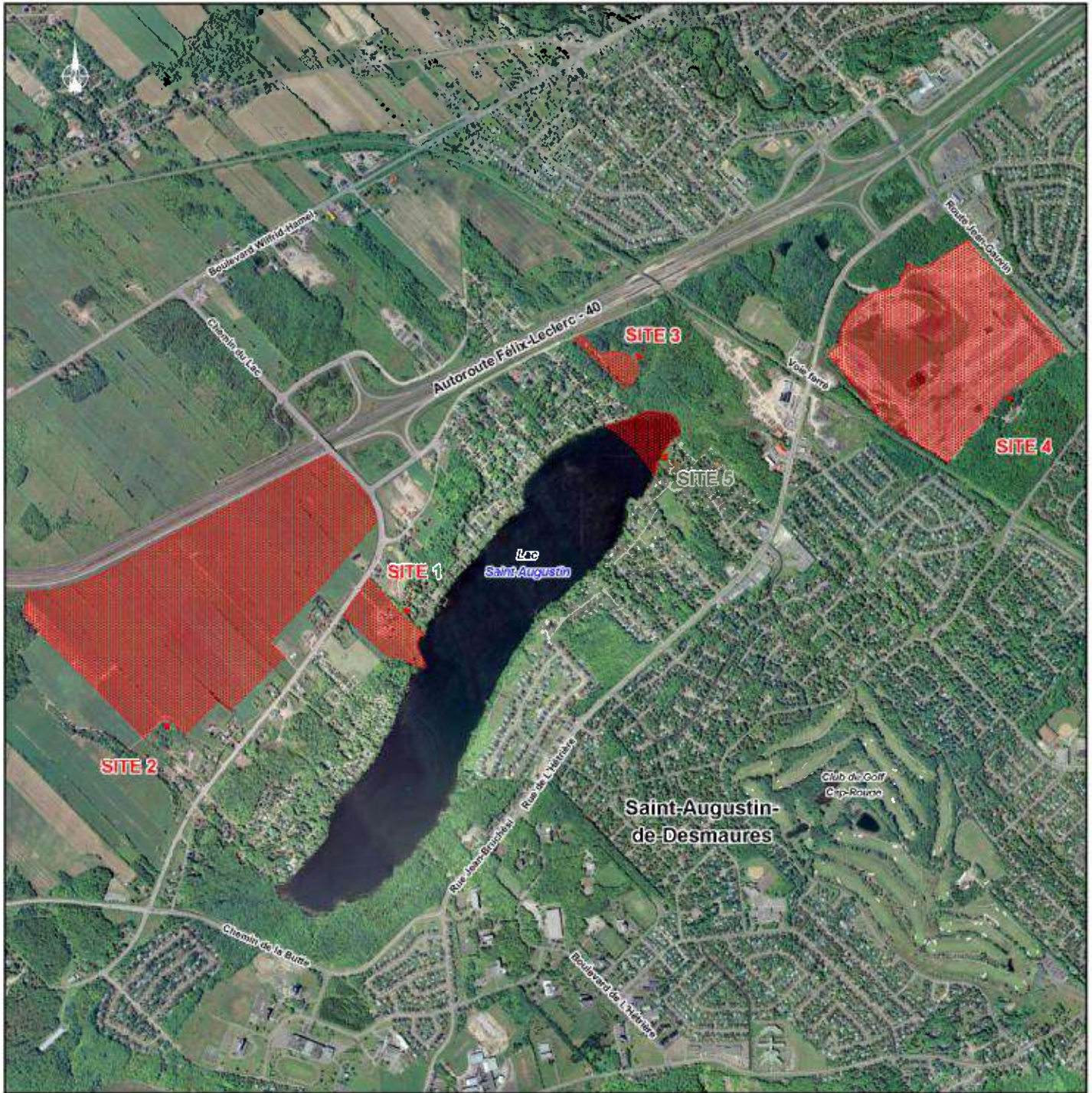
Il s'agit des champs agricoles localisés entre l'autoroute 40 et le chemin du Lac. Ce secteur a été suggéré par la ville de Saint-Augustin-de-Desmaures. Le secteur visé pour ce site se situe à environ 350 m du lac Saint-Augustin et offre une superficie considérable approximative de 63,5 ha. Pour acheminer les sédiments dragués à ce site par pompage, il faut considérer la traversée du chemin du Lac.

5.3 Site 3 : Lot 1 693 373

Ce site est considéré comme un espace de terrain non aménagé et non exploité selon la carte interactive de la ville de Québec. Ce site se situe approximativement à 100 m du lac et couvre une superficie d'environ 1,6 ha (superficie déboisée uniquement).

5.4 Site 4 : Écocentre (ancien site de matériaux secs)

Ce site se situe à 640 m de distance du lac et il constitue le site le plus éloigné de tous les sites inventoriés. Ce site offre une superficie non négligeable de 37,5 ha. Toutefois, pour utiliser ce site, il faudra considérer la traversée de la rue de l'Hétrière ainsi que de la voie ferrée, donc prévoir des aménagements de protection de conduite en conséquence.



 Site potentiels de disposition/traitement des sédiments

Lac Saint-Augustin -
Évaluation des techniques et sites

Carte 5-1
Localisation des sites potentiels
pour la disposition temporaire
des sédiments dragués

Source :
Base : Image © Google 2008

Cartographie : Dessau

0 1 km

Projection MTM, fuseau 7, NAD83

Date : Mai 2009
N/D : 129 P024118-103

5.5 Site 5 : Section nord du lac

La construction d'un batardeau dans la portion nord du lac, de façon à créer une sorte d'enclave servirait à utiliser cette portion comme site temporaire. Les sédiments du lac pourraient ainsi être pompés et entreposés temporairement du côté nord du batardeau. Deux rideaux de turbidité seraient installés du côté sud du batardeau afin de limiter au maximum la perte de sédiments entreposés. Une fois le secteur nord du lac rempli de sédiments, il serait possible d'assécher les sédiments et de charger des camions pour transporter le matériel excavé vers un site de disposition finale. Sur la carte 4-1, la superficie accordée pour ce site est de 3 ha. Dans le cas de cette option, il est nécessaire de tenir compte des coûts d'activités qui ne sont pas inclus dans le sommaire des coûts présentés plus bas, tels que la construction du batardeau et l'installation des rideaux de turbidité.

6 ÉVALUATION DES COÛTS DE DISPOSITION DES SÉDIMENTS

Les coûts de disposition des sédiments restent difficiles à évaluer en raison des multiples facteurs qui doivent être considérés (distance et superficie des sites, option de gestion préconisée, etc.). Cette section évalue donc les éléments dont il faut tenir compte afin d'optimiser l'aspect de disposition des sédiments. Pour les besoins de l'étude, une distance de 25 km a été considérée pour le transport des sédiments.

Le tableau 6-1 présente le type d'utilisation possible pour chacun des sites décrits ci-dessous.

Tableau 6-1 Utilisation possible des sites potentiels

Site	Traitement	Disposition finale
Site 1 – 145 ch. Du lac	X	
Site 2 – champs	X	X
Site 3 – lot 1 693 373	X	
Site 4 – Écocentre	X	X
Site 5 – section nord du lac	X	

6.1 Sites de traitement

Tous les sites présentés à la section précédente pourraient servir de sites temporaires pour le traitement des sédiments dragués, en vue de les assécher. Les sédiments pompés devraient être acheminés aux sites temporaires par conduite. Les coûts associés au pompage des sédiments dans un rayon de 1 km de la drague³ sont inclus dans les frais d'extraction. Toutefois, tous les sites visés devraient être aménagés, ce qui engendrera des coûts supplémentaires. Si des Geotubes ou des centrifugeuses sont employés, il faudrait prévoir un système (pompes de surpression) pour réacheminer l'eau excédentaire au lac. Un traitement de l'eau extraite des sédiments pourrait également être nécessaire pour assurer le respect des critères de rejet dans le milieu récepteur.

6.1.1 Site 1 : 145, chemin du Lac

Le site 1 est un des sites localisé le plus près de l'aire de travail (bordure du lac) et l'utilisation de ce site pour un entreposage temporaire permettrait de réduire les coûts de pompage. En effet, les sédiments sur

³ À condition que la différence de dénivelé soit réduite.

toute la superficie du lac pourraient être pompés et acheminés directement sur le site à l'aide de l'équipement de dragage et du matériel de pompage.

Les techniques de traitement des sédiments qui pourraient potentiellement être envisagées sur ce site sont l'entreposage dans des sacs Geotubes associés à un pompage réparti sur cinq ans, en raison de la superficie disponible, ou l'utilisation de centrifugeuses décanteuses.

6.1.2 Site 2 : Champs agricoles situés au nord du chemin du Lac

Le site 2, situé à environ 350 m du lac pourrait constituer un bon site de traitement, en raison de sa grande superficie, en aménageant une conduite suffisamment longue pour y pomper directement les sédiments. Il faudrait donc prévoir un coût supplémentaire selon la longueur nécessaire de la conduite, estimé à 50 000 \$ par kilomètre de distance ou pour 50 m de dénivelé.

L'utilisation de sacs Geotubes ou de centrifugeuses décanteuses pour l'assèchement des sédiments pourrait être envisagée au site 2.

6.1.3 Site 3 : Lot 1 693 373

Le site 3, qui se situe à une distance d'environ 100 m du lac, offre une superficie restreinte de 1,6 ha pour l'entreposage temporaire des sédiments. Ce site peut fournir l'espace nécessaire pour accueillir trois unités de centrifugation. Toutefois, pour obtenir plus d'espace, il faudrait envisager déboiser une partie du terrain (1,0 ha) et ainsi permettre l'implantation de 5 unités de centrifugation ou des géotubes si les travaux sont réalisés sur 5 ans (2,5 ha).

6.1.4 Site 4 : Écocentre (ancien site de matériaux secs)

Le site 4 est le site le plus éloigné (640 m) mais offre une superficie non négligeable. Pour utiliser ce site, il faudra prévoir des frais supplémentaires occasionnés par l'utilisation d'une conduite plus longue et divers aménagements pour protéger les conduites qui traverseront les routes et la voie ferrée.

6.1.5 Site 5 : Section nord du lac

Le site 5 est situé à même le lac Saint-Augustin. Avec la construction d'un batardeau et l'installation de rideaux de confinement, la portion nord du lac pourrait être aménagée comme site d'entreposage temporaire des sédiments pompés.

Dans ce cas, les sédiments pourraient être pompés directement dans l'enclave et laissés sur place avant disposition finale ou déshydratation.

6.2 Sites de disposition finale

Les sédiments du lac Saint-Augustin n'étant pas contaminés (selon les informations disponibles), ils pourraient être utilisés sous plusieurs formes (matériaux de remblais ou de construction, valorisation agricole [amendement de sol, compostage], recouvrement de sites à restaurer [sablères, gravières], élimination dans un site d'enfouissement). Toutefois, ces matériaux n'ayant pas de caractéristiques particulièrement intéressantes, il est peu probable de pouvoir obtenir une compensation monétaire pour en disposer.

Les sites 2 et 4 présentés à la section précédente pourraient servir de site de disposition finale. En effet, ces sites offrent une superficie suffisante pour disposer de tout le volume, ou du moins, une grande proportion, des sédiments extraits. Il faudrait toutefois considérer devoir effectuer les aménagements nécessaires pour recueillir ces sédiments et récupérer l'eau au maximum. Suite à l'assèchement naturel des sédiments, il faudrait également prévoir la machinerie nécessaire pour procéder au nivellement des sédiments. Il est important de rappeler que le site 4 constitue un ancien site de disposition pour les matériaux secs et que des mesures et études complémentaires devront être entreprises si ce site est retenu pour la disposition des sédiments qui contiennent un fort pourcentage en eau. L'entreposage définitif des sédiments dans les champs agricoles pourrait pour sa part constituer une valorisation des sédiments, car les éléments nutritifs contenus dans les sédiments pourraient servir à amender les sols.

Les sédiments entreposés temporairement aux sites 1, 3 et 5 devront être acheminés vers un ou des sites de disposition finale après leur déshydratation. Pour ce faire, il faut prévoir l'utilisation de machinerie adaptée aux besoins, ainsi que les coûts de chargement et de transport des sédiments. Un chargeur coûte environ 95 \$/heure alors qu'un fardier trois essieux (environ 50 tonnes) coûte environ 115 \$/heure. En considérant qu'il faut approximativement trois heures pour charger et décharger le fardier et effectuer un aller-retour au site de disposition finale situé à une distance de 25 km, il faudrait prévoir l'utilisation de trois fardiers pour réaliser les opérations de façon continue. Le montant journalier estimé pour l'utilisation de cette machinerie est de 4 400 \$, par journée de 10 heures. Ainsi, pour effectuer le transport de 35 000 TMS, 700 voyages de fardier seraient nécessaires, totalisant un montant de 1 050 000 \$. Ces prix sont en date de mars 2009 et sont sujets aux variations annuelles.

Les sites de disposition finale à envisager pourraient être des sablières, des gravières ou des lieux d'enfouissement. Toutefois, aucune investigation de ces sites n'a été entreprise par Dessau quant à la disponibilité et la localisation de ces sites situés dans la région de la ville de Québec.

7 ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES OPÉRATIONS

7.1 Méthodologie d'évaluation des impacts

Afin de procéder à la description des impacts sur les différentes composantes du milieu récepteur pour chacune des phases de réalisation du projet, il est nécessaire d'identifier les sources possibles d'impact et de reconnaître les principaux enjeux environnementaux susceptibles d'être touchés par ces sources d'impact. À cette étape-ci, les impacts environnementaux ne peuvent être quantifiés en termes absolus, mais les changements engendrés par ces impacts peuvent être prévus.

7.2 Identification des sources d'impact potentielles

Cette section présente les sources potentielles d'impact selon les différentes phases de réalisation du projet. Les différentes phases du projet ont été identifiées selon les activités à réaliser. L'utilisation d'une matrice d'identification des impacts permet de faire ressortir les activités du projet qui sont susceptibles de générer des impacts sur les éléments sensibles du milieu. La matrice d'identification des impacts est présentée au tableau 7-1.

7.3 Milieu naturel

Le projet d'extraction, de traitement et de disposition des sédiments du lac Saint-Augustin serait susceptible d'avoir certains impacts sur le milieu naturel. Les principales sources d'impacts du projet qui ont été identifiées sont l'aménagement des surfaces de travail, le pompage et la disposition des sédiments et la mobilisation/démobilisation de la machinerie. Les composantes du milieu naturel qui seraient susceptibles d'être touchées par le projet sont le sol, l'eau, l'ichtyofaune et l'herpétofaune. Le projet d'extraction des sédiments du lac Saint-Augustin contribuerait toutefois à moyen terme à améliorer l'habitat naturel de façon importante et aurait un impact positif sur la qualité de l'eau du lac. En étalant les travaux sur quelques années (5 ans), l'impact sur le milieu aquatique serait réduit dont, entre autres, la problématique de maintien du niveau d'eau du lac.

Au niveau de la qualité de l'eau, les travaux de pompage des sédiments auront des impacts mineurs puisque la remise en suspension des sédiments fins est réduite avec cette technologie. Suite à la disposition ou au traitement de sédiments, des analyses de l'eau rejetée vers le lac et l'implantation d'un système de traitement pourraient toutefois être nécessaires pour s'assurer que la qualité de l'eau satisfait les critères applicables.

Tableau 7-1 Matrice des impacts appréhendés pour le projet d'extraction, de traitement et de disposition des sédiments du lac Saint-Augustin

Nature de l'impact ? Impact négatif ? Impact positif			Sources d'impact										
			Phases de réalisation										
			Installation	Dragage	Déshydratation		Assèchement	Transports	Démantèlement	Post-opération			
			Aménagement des aires de travail	Pompage des sédiments	Utilisation de géotubes	Utilisation de centrifugeuses	Disposition - site temporaire	Disposition - site définitif	Démantèlement de la machinerie	Sédiments extraits du lac			
Éléments sensibles du milieu	Milieu naturel	Sol	Qualité des sols	?				?	?	?			
		Eau	Qualité de l'eau de surface	?	?						?		
		Faune	Habitats et ichtyofaune		?							?	
			Habitats et herpétofaune	?	?	?							
	Milieu humain	Utilisation du sol	Activités récréatives		?							?	
			Agricole			?		?					
			Résidentielle									?	
		Infrastructures	Réseau routier						?				
		Population	Qualité de vie										?
			Aspect socio-économique	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
			Sécurité publique	?									
			Ambiance sonore	?	?		?			?	?		
Paysages	?		?	?							?		

7.4 Milieu humain

Les impacts du projet sur le milieu humain seraient susceptibles de se manifester dans toutes les phases de réalisation du projet. En effet, les activités de pompage des sédiments et l'utilisation éventuelle de géotubes seraient susceptibles d'avoir des impacts sur l'utilisation du sol en ce qui a trait aux activités récréatives se déroulant sur le lac Saint-Augustin et à l'agriculture, si des champs sont visés pour l'entreposage temporaire des sédiments en sacs Geotubes.

Le réseau routier pourrait également subir les conséquences de la circulation supplémentaire générée par le transport par camionnage des sédiments vers un ou des sites de disposition définitifs. Évidemment, l'ensemble des travaux serait susceptible de causer des impacts sur la sécurité publique, l'ambiance sonore et l'aspect visuel des paysages.

Également, le fait d'extraire les sédiments chargés en phosphore, source probable des proliférations de cyanobactéries observées dans le lac Saint-Augustin, apporterait des améliorations pour les activités récréatives se déroulant dans le secteur du lac, tout en maintenant la qualité de vie des résidents et l'aspect visuel du lac.

8 SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES POSSIBILITÉS

Cette section fait une synthèse des différentes alternatives proposées pour l'extraction, le traitement et la disposition des sédiments du lac Saint-Augustin. Le tableau 8-1 présente la répartition des coûts évalués pour les différents scénarios. Tous les scénarios ont été évalués pour un volume total de 700 000 m³ de sédiments à extraire du lac. Si des études démontrent qu'il n'est pas nécessaire d'extraire tous les sédiments pour réduire les concentrations de phosphore dans l'eau à un niveau permettant d'éviter les proliférations de cyanobactéries, les coûts pourraient être revus à la baisse.

8.1 Pompage des sédiments et épandage (scénario 1)

Ce scénario réalisé sur deux ans comprend le pompage des sédiments à l'aide d'une drague munie d'un godet-pompe et la disposition finale des sédiments excavés en champs (site 2). Dans ce cas, les coûts des travaux de pompage s'élèveraient approximativement à **2 650 000 \$** avec deux dragues amphibies munies d'un godet-pompe. Toutefois, il faudrait considérer un certain supplément pour la longueur de la conduite, tout comme d'autres frais pour le creusage de fossés et l'installation de tuyaux perforés dans ces fossés afin de favoriser la récupération de l'eau excédentaire (**200 000 \$**). Un nivellement des matériaux pompés devra également être effectué une fois qu'ils seront suffisamment asséchés (**50 000 \$**).

La durée des travaux de pompage est évaluée à environ 235 jours au total, soit environ 120 jours (24 semaines) de travail par année pendant deux ans, à 10 heures par jour. Ces travaux pourraient être étalés sur une période de cinq ans, mais il faudrait alors prévoir des frais supplémentaires pour la mobilisation/démobilisation des équipements, pour un total de **2 900 000 \$**. Dans le cas où les travaux seraient étalés sur cinq ans, le coût total estimé est de **3 125 000 \$**.

8.2 Pompage des sédiments et traitement par centrifugation (scénario 2)

Ce scénario comprend le pompage des sédiments à l'aide de dragues amphibies, la déshydratation des sédiments par centrifugation et leur disposition finale dans un site définitif. Dans ce cas-ci, la plupart des sites identifiés à la section 5.2 pourraient être utilisés comme site d'entreposage temporaire et de traitement. Le coût approximatif des opérations de pompage serait le même que celui mentionné à la section 8.1, soit **2 820 000 \$**, à raison de 280 jours de travail, étalés sur deux années.

Pour la déshydratation des sédiments, les coûts de traitement s'élèveraient approximativement à **6 080 000 \$**, incluant le coût de mobilisation et de démobilisation de cinq unités de centrifugation, afin de ramener le temps de rendement équivalent à celui du pompage, soit 280 jours. Les polymères et l'alimentation électrique des équipements sont également inclus dans ce coût. Le montant requis pour

réaliser ces deux volets s'ajouterait aux coûts pour le transport des matériaux vers un site de disposition finale, évalué à **1 050 000 \$**, pour une distance de 25 km vers un site de disposition finale. Comme mentionnés à la section 4.2, des frais supplémentaires pourraient être engendrés pour l'utilisation centrifugeuse supplémentaire, s'il y a un besoin nécessaire de flocculation, pour le traitement de l'eau de retour, le cas échéant.

Le montant total estimé pour la réalisation de ce scénario est de **10 000 000 \$**. Si les travaux étaient plutôt répartis sur 5 ans (1 drague et 3 unités de centrifugation), le coût s'élèverait à 10 435 000 \$.

8.3 Pompage des sédiments et traitement par sacs géotubes (scénario 3)

Étant donné la phase de floculation des sédiments à l'aide de polymère qui se limite à environ 3 TMS/h, l'utilisation du godet-pompe sur une pelle amphibie est plus appropriée avec l'usage des géotubes. Le coût d'extraction des sédiments est alors évalué à **2 650 000 \$** pour un scénario réalisé sur deux ans avec deux excavatrices amphibies et de **2 875 000 \$** pour un scénario réalisé sur cinq ans avec une drague, incluant les coûts annuels de mobilisation/démobilisation et les frais afférents de l'équipe de travail.

Pour le volet de traitement des sédiments dans des sacs géotubes, l'estimation des coûts inclurait tous les travaux connexes qui sont associés à la préparation du terrain et s'élèverait à approximativement **8 055 000 \$**, si les travaux d'assèchement sont réalisés sur deux années ou à **7 000 000 \$**, si les travaux sont réalisés sur cinq ans. En pompant les sédiments sur deux années, les travaux de remplissage des sacs prendraient environ 470 jours, à raison de 10 heures de pompage par jour. Toutefois, en répartissant ce travail sur cinq ans, la durée des travaux serait réduite à environ 100 jours de travail par année, à raison de 10 heures par jour. Au total, le coût des travaux pour les deux volets jumelés varierait entre de **11 805 000 \$** pour le scénario sur deux ans et **10 975 000 \$** pour le scénario sur cinq ans, en tenant compte des coûts de transport des matériaux vers un site de disposition finale (1 050 000 \$). Quelle que soit la répartition favorisée, cette option de gestion en fait l'alternative la plus onéreuse de celles analysées.

Tableau 8-1 Synthèse des coûts estimés pour les différents scénarios d'extraction et traitement des sédiments

	Pompage et épandage direct (Scénario 1)		Pompage et traitement par centrifugation (Scénario 2)		Pompage et déshydratation par sacs géotubes (Scénario 3)	
	2 ans	5 ans	Sur 2 ans	Sur 5 ans	Sur 2 ans	Sur 5 ans
Extraction des sédiments						
Godet-pompe sur pelle mécanique amphibie (estimé à 150 m ³ /h)	2 650 000 \$	2 875 000 \$	2 820 000 \$	2 875 000 \$	2 650 000 \$	2 875 000 \$
Traitement des sédiments						
Épandage en champs près du site * (aménagement de fossés (1 000 m) et de bassins (3) de sédimentation)	200 000 \$	200 000 \$				
Déshydratation par centrifugation (3 ou 5 unités)			6 080 000 \$	6 460 000 \$		
Déshydratation en géotubes (Geotube, lit drainant et polymérisation)					8 055 000 \$	7 000 000 \$
Disposition finale						
Nivellement des matériaux sur le site de disposition	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$	50 000 \$
Chargement et transport des matériaux déshydratés (estimé à 700 voyages de fardier)			1 050 000 \$	1 050 000 \$	1 050 000 \$	1 050 000 \$
Durée des travaux	120 jours de 10 h par année, avec 2 dragues	100 jours de 10 h par année avec 1 drague	140 jours de 9 h de pompage par année avec 2 dragues et 5 centrifugeuses	100 jours de 10 h par année avec 1 drague et 3 centrifugeuses	120 jours de 10 h par année, avec 2 dragues	100 jours de 10 h par année avec 1 drague
TOTAL ESTIMÉ	2 900 000 \$	3 125 000 \$	10 000 000 \$	10 435 000 \$	11 805 000 \$	10 975 000 \$

* Un suivi de la qualité de l'eau s'écoulant vers le lac sera nécessaire. Si les concentrations en nutriments et/ou en matières en suspension sont trop élevées, un traitement de l'eau devra être fait.

9 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

9.1 Conclusion

L'analyse de la faisabilité technique, économique et environnementale des technologies évaluées pour l'extraction et le traitement de sédiments lacustres indique que ces travaux sont réalisables au lac Saint-Augustin.

Toutefois, en fonction des informations obtenues d'entrepreneurs spécialisés dans ce domaine, les coûts de réalisation sont relativement élevés. De plus, le volume de sédiments à extraire étant important, les travaux d'extraction et de traitement des sédiments doivent s'étaler sur plus d'une année et idéalement sur cinq ans afin de tenir compte des contraintes d'usage du plan d'eau, du milieu aquatique et du volume d'eau extrait du lac, de la température et des perturbations possibles de la qualité de vie des citoyens qui en découlent. Par contre, à moyen terme, l'amélioration significative de la qualité de l'eau et le « rajeunissement » de l'écosystème du lac Saint-Augustin permettront une récupération des usages liés au plan d'eau. La qualité de vie des riverains s'en verra donc augmentée, ce qui aura également des répercussions positives sur la valeur des propriétés environnantes. De plus, en fonction de la concentration de phosphore contenue dans les couches profondes, la quantité de sédiments à extraire pourrait être plus faible que les 700 000 m³, ce qui aura pour effet de réduire les coûts et la période de réalisation des travaux. Par exemple, si les analyses de laboratoire démontrent que seule la couche récente de sédiments⁴ est fortement chargée en phosphore, le coût des travaux pourrait être réduit à 1 025 000 \$ (épendage en champs) et être réalisés sur une seule année (140 jours).

En regard des coûts d'extraction, de traitement et de disposition des sédiments qui ont été évalués, le scénario de pompage des sédiments à l'aide d'une drague munie d'un godet-pompe et l'épandage des sédiments directement dans les champs du site 2 s'avère l'alternative la plus économique et la plus facilement réalisable. Si la déshydratation des sédiments s'avère nécessaire, le scénario 2 (drague amphibie et centrifugation) serait l'avenue à privilégier.

9.2 Recommandations

Pour préciser l'évaluation des coûts d'extraction et de traitement des sédiments du lac Saint-Augustin, plusieurs points devraient être caractérisés plus en détail dans les prochaines étapes du projet-pilote :

⁴ L'accumulation de sédiments des 100 dernières années représente environ 30% du volume total de sédiments accumulés dans le lac Saint-Augustin (M. Marin, comm. pers.)

1. Caractérisation détaillée des sédiments, incluant les métaux lourds et les hydrocarbures, pour s'assurer que les matériaux extraits ne nécessitent pas de traitement particulier.
2. Caractérisation précise de la granulométrie des sédiments et essai de floculation / sédimentation afin de pouvoir déterminer le type de polymère à utiliser, au besoin, et le temps de décantation des sédiments pompés.
3. Évaluation des apports d'eau (de surface et souterraine) au lac Saint-Augustin, et de la qualité, à l'aide d'une étude hydrogéologique, sur une base saisonnière, et identification, au besoin, de sources d'approvisionnement complémentaire afin de maintenir le niveau du lac durant les travaux.
4. Évaluation de la qualité de l'eau sortante des sacs Geotubes ou des centrifugeuses décanteuses lors de la réalisation des travaux de déshydratation, le cas échéant.

10 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'eau Artois-Picardie. 2004. *Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués*. Rapport développé par l'Agence de l'eau Artois-Picardie, In Vivo inc. et le Pôle de compétence des sites et sédiments pollués.
- Bouchard-Valentine, M., W.F. Vincent et S. Arsenault. 2002. *Écologie des cyanobactéries*. Document préparé pour le Conseil de bassin du lac Saint-Augustin, par EXXEP Environnement. Québec. 23 p.
- Consortium DDM – Pro Faune. 2005. *Développement d'un outil de gestion in situ du phosphore provenant des sédiments du lac Saint-Augustin*. Rapport technique présenté à la Ville de Québec. 49 p. + 5 annexes.
- Corbeil, C., N. Juneau et S. Arsenault. Mai 2002a. *Portrait des sites potentiellement contaminés dans le bassin versant du lac Saint-Augustin*. Présenté au Conseil de bassins du lac Saint-Augustin. Préparé par EXXEP Environnement. 36 p. + 1 annexe.
- Corbeil, C. N. Juneau, M.-E. Brin, G. Dominguez, R. Galvez-Cloutier, S. Arsenault. 2002b. *Portrait de la contamination des sédiments au lac Saint-Augustin*. Présenté au Conseil de bassin du lac Saint-Augustin. Préparé par EXXEP Environnement en collaboration avec le Département de génie civil de l'Université Laval. 31 p. + 3 annexes.
- Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec. 1992. *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent*. Centre Saint-Laurent et ministère de l'Environnement du Québec. 28 p.
- EXXEP. 2003. *Plan directeur 2003-2005 du lac Saint-Augustin*. Document préparé pour le Conseil de bassin du lac Saint-Augustin par EXXEP Environnement. 32 p. + 1 annexe.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). 2002. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Disponible [en ligne] : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/index.htm> Page consultée le 12 mars 2009.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP). 2008. *Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes – Critères de référence et normes réglementaires*. Bibliothèque nationale du Québec. 157 p.
- Pilote. R. E. Buon et S. Arsenault. 2002a. *Portrait agroenvironnemental du bassin versant du lac Saint-Augustin*. Préparé pour le Conseil de bassin du lac Saint-Augustin. Préparé par EXXEP Environnement. 20 p. + 1 annexe.
- Pilote, R. C. Corbeil et S. Arsenault. 2002b. *Gestion des apports en phosphore pour améliorer la qualité de l'eau du lac Saint-Augustin*. Préparé pour la Grande Corvée par EXXEP Environnement. 38 p.
- Pro Faune. 2008. *Projet de restauration du lac Saint-Augustin : évaluation de certaines techniques de contrôle du phosphore in situ*. *Revue de littérature*. Rapport technique présenté à la Ville de Québec. 25 p.
- Roberge, K., R. Pienitz, N. Juneau et S. Arsenault. 2002. *Eutrophisation rapide du lac Saint-Augustin : étude paléolimnologique*. Travail présenté au Comité de restauration du lac Saint-Augustin, La Grande Corvée. Réalisé par EXXEP Environnement. 20 p. + 4 annexes.

11 PERSONNES CONSULTÉES

Nom	Organisme	Coordonnées
Jocelyn Douheret	Terratube	(819) 846-3642
Eugène Rousselle	Consolidated Giroux Environnement Inc.	(506) 684-5821
Paul Laplante	Eco Technologies	(506) 729-6073
Martine Lanoie, tech. environnement	Ville de Saint-Augustin-de-Desmaures	(418) 878-2955
Michel Therrien, tech. environnement	Ville de Québec, arrondissement Laurentien	(418) 641-6411 #3880
Richard Drolet	Excavation Drolet Inc.	(418) 872-9242
Stéphane Lavoie	MAPAQ	(418) 286-3375 # 259
Jean-Michel Guoin	MDDEP	(418) 644-8844 # 247