



Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Atténuation du risque à la sécurité publique lié
aux munitions explosives non explosées (UXO)

au lac Saint-Pierre

Rapport principal

Dossier 3211-02-314

Ministère de la Défense nationale

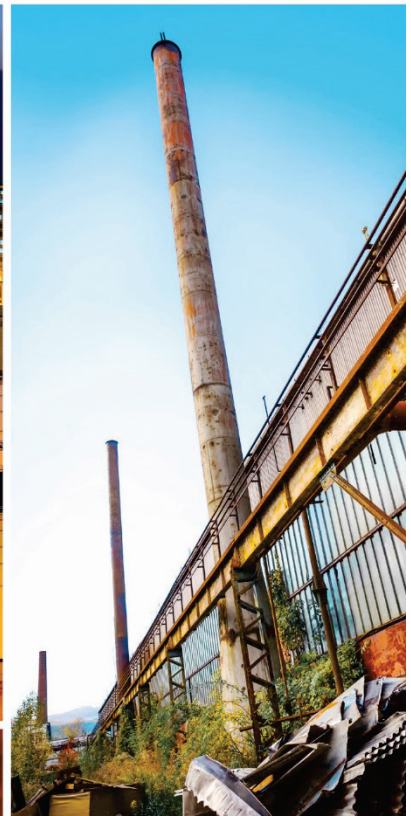




Table des matières

1.	Mise en contexte et description du projet.....	1
1.1	Présentation de l'initiateur.....	1
1.2	Contexte et raison d'être du projet.....	1
1.2.1	Historique.....	1
1.2.2	État de la situation	2
1.2.3	Objectif du projet.....	4
1.3	Description du projet	5
1.3.1	Investigation et identification des anomalies géophysiques et enlèvement des objets créant les anomalies	5
1.3.2	Détonation <i>in situ</i> des projectiles non sécuritaires à déplacer	8
1.3.3	Transport des projectiles sécuritaires à déplacer vers le site de détonation terrestre	8
1.3.4	Détonation sur propriété fédérale des projectiles sécuritaires à déplacer	9
1.3.5	Réalisation de levés géophysiques	9
1.3.6	Entretien d'un chemin d'accès menant au site de détonation terrestre	10
1.4	Principales contraintes environnementales et sociales	10
1.5	Exigences techniques et économiques	11
1.5.1	Normes et exigences relatives aux activités impliquant des UXO	11
1.5.2	Exigences économiques.....	11
1.6	Analyse des solutions de rechange au projet.....	11
1.7	Description des variantes de réalisation du projet.....	14
1.7.1	Détermination des variantes.....	14
1.7.2	Sélection des variantes	14
1.8	Aménagements et projets connexes	15
1.8.1	Entreposage temporaire des projectiles sécuritaires à déplacer	16
1.8.2	Transport des projectiles sécuritaires à déplacer	16
1.8.3	Construction et démolition de la structure temporaire de détonation.....	16
1.8.4	Détonation sur terre des projectiles sécuritaires à déplacer	16
1.8.5	Entretien du chemin d'accès menant au site de détonation terrestre sur propriété fédérale.....	17
1.9	Contexte légal	17
1.9.1	Contexte légal provincial	17
1.9.2	Contexte légal fédéral.....	18
2.	Consultations.....	20
2.1	Intérêts et préoccupations des parties concernées	20
2.2	Démarche de consultation	20
2.3	Résultats des consultations	21
2.3.1	Préoccupations soulevées par le Grand Conseil de la Nation Waban-Aki	21
2.3.2	Préoccupations soulevées lors des rencontres du groupe d'intérêt sur la gestion des UXO au lac Saint-Pierre	22



2.4	Ententes avec les communautés autochtones	22
3.	Description du milieu récepteur	23
3.1	Délimitation de la zone d'étude	23
3.2	Description des milieux biophysique et humain	23
3.2.1	Milieu physique	23
3.2.2	Milieu biologique	27
3.2.3	Milieu humain	41
4.	Analyse des impacts du projet	50
4.1	Détermination et évaluation des impacts	50
4.1.1	Composantes	50
4.1.2	Éléments du milieu	51
4.1.3	Identification des impacts	52
4.1.4	Évaluation des impacts	52
4.1.5	Gaz à effets de serre	54
4.1.6	Description des impacts du projet	55
4.2	Atténuation des impacts	79
4.2.1	Mesures d'atténuation s'appliquant à toutes les composantes du projet	79
4.2.2	Mesures d'atténuation spécifiques visant la détonation in situ des munitions jugées non sécuritaires à déplacer	80
4.2.3	Mesures d'atténuation spécifiques visant le transport des projectiles	83
4.2.4	Mesures d'atténuation spécifiques visant les travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4	83
4.3	Plan de mesures d'urgence	83
4.4	Choix de la variante optimale	83
4.5	Compensation des impacts résiduels	84
4.6	Synthèse du projet	84
4.6.1	Modalités de réalisation du projet	84
4.6.2	Principaux impacts	86
4.6.3	Conclusion	87
5.	Surveillance environnementale	87
5.1	Rôle du surveillant	87
5.2	Surveillance des mesures d'atténuation	88
5.3	Surveillance des impacts sur le poisson et son habitat	88
5.4	Surveillance des émissions des gaz à effet de serre	89
6.	Suivi environnemental	89
7.	Références	89
8.	Personnes consultées	97
9.	Limites de l'étude	98



Liste des figures

Figure 1	Localisation générale de la zone d'étude et de la zone des travaux
Figure 2	Localisation des aires des travaux
Figure 3	Localisation des anomalies géophysiques au sein de la ZPI
Figure 4	Trajets de transport des UXO vers le CEEM Nicolet
Figure 5	Localisation des espèces floristiques à statut particulier – Rivière des Frères, rivière Brielle et extrémité ouest du CEEM Nicolet
Figure 6	Localisation des EEE – Rivière des Frères, rivière Brielle et extrémité ouest du CEEM Nicolet
Figure 7	Localisation des espèces fauniques à statut particulier – Rivière des Frères, rivière Brielle et extrémité ouest du CEEM Nicolet
Figure 8	Aires protégées
Figure 9	Zones inondables
Figure 10	Mentions d'occurrence fauniques du CDPNQ

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Coordonnées de l'initiateur, du mandataire et du consultant	1
Tableau 1.2	Projectiles récupérés au cours des campagnes pilotes	4
Tableau 1.3	Statistiques sur les détonations <i>in situ</i>	4
Tableau 1.4	Distribution attendue de la nature des anomalies	7
Tableau 1.5	Distribution attendue de chaque calibre de projectiles	7
Tableau 1.6	Distribution attendue de chaque calibre de projectiles devant être détoné <i>in situ</i>	8
Tableau 1.7	Comparaison des différentes solutions identifiées en fonction de certains grands principes de la Loi sur le développement durable	13
Tableau 3.1	Espèces floristiques protégées par la LEP ou la LEMV rapportées par le CDPNQ	29
Tableau 3.2	Espèces de poissons présentes dans le lac Saint-Pierre	32
Tableau 3.3	Espèces pêchées par le MFFP dans le lac Saint-Pierre	34
Tableau 3.4	Espèces fauniques rapportées par le CDPNQ	37
Tableau 3.5	Sous-zones de pêche qui recoupent les aires n ^{os} 1 et 2 des travaux	43
Tableau 3.6	Statistiques de captures par la pêche commerciale en 2017 pour l'ensemble du lac Saint-Pierre	44
Tableau 3.7	Aires protégées inscrites au Registre du MELCC qui recoupent la ZPI	46
Tableau 4.1	Détermination du degré de perturbation	53
Tableau 4.2	Détermination de l'importance de l'impact	53
Tableau 4.3	Mesures d'atténuation à mettre en place pour les détonations <i>in situ</i>	81



Tableaux à la suite du texte

Tableau 1	Détermination de la valeur des éléments du milieu
Tableau 2	Matrice d'interrelations entre les composantes du projet et les éléments du milieu
Tableau 3	Émissions annuelles estimées des équipements et véhicules
Tableau 4	Émissions annuelles estimées de l'explosion <i>in situ</i> des projectiles non sécuritaires à déplacer
Tableau 5	Synthèse de l'évaluation des impacts

Liste des annexes

Annexe A	Plan de zonage de la Municipalité de Baie-du-Febvre
Annexe B	Périodes d'incubation des œufs et d'élevage des jeunes des oiseaux observés au CEEM Nicolet
Annexe C	Rapport QETE 2009. <i>Lac Saint-Pierre Environmental Report – An Intensive, Multi-year Study of Sediment and Water Quality in the Southern Portion of the Lake</i>
Annexe D	Le Ndakinna au Québec



1. Mise en contexte et description du projet

1.1 Présentation de l'initiateur

La présence de munitions explosives non explosées (UXO – *Unexploded Explosive Ordnance*) dans le lac Saint-Pierre est le résultat d'activités menées de 1952 à 1999 au Centre d'essais et d'expérimentation en munitions (CEEM) Nicolet, un site appartenant au ministère de la Défense nationale (MDN). Le MDN est donc l'initiateur du projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre. Construction de Défense Canada (CDC), société d'état, fournit du soutien au MDN dans la réalisation de ses projets et agit à titre d'autorité contractante. CDC a été mandatée par le MDN pour la préparation des demandes de certificats d'autorisation. Dans ce cadre, CDC a octroyé un mandat à GHD pour la préparation de la présente étude d'impact sur l'environnement.

Tableau 1.1 Coordonnées de l'initiateur, du mandataire et du consultant

Coordonnées	Initiateur	Mandataire	Consultant externe
Nom	Ministère de la Défense nationale	Construction de Défense Canada	GHD Consultants Ltée
Adresse	101, promenade Colonel By, Ottawa, Ontario, K1A 0K2	6560, rue Hochelaga, Montréal, Québec, H1N 1X9	445, avenue Saint-Jean-Baptiste, bureau 390, Québec, Québec, G2E 5N7
Téléphone	613 943-7851	514 252-2777 poste 6332	418 658-0112
Télécopieur			418 658-2144
Courriel	Anne-Marie.Coutu@forces.gc.ca	Josee.Gagnon@dcc-cdc.gc.ca	jonathan.olson@ghd.com
Responsable du projet	Anne-Marie Coutu, M. ing., ing., B. Sc., PMP	Josée Gagnon, ing., M. Sc.	Jonathan M. Olson, biol., M. Sc.

1.2 Contexte et raison d'être du projet

1.2.1 Historique

Situé au Québec, entre les municipalités de Sorel-Tracy et Trois-Rivières, le lac Saint-Pierre, plus précisément l'ancienne zone de tir CYR 606 située au sud de la voie maritime, a été l'hôte d'essais de tir effectués par le CEEM Nicolet de 1952 à 1999. La figure 1 présente la localisation générale de la zone CYR 606. L'objectif était de tester le fonctionnement de munitions d'artillerie conventionnelle de calibre minimal de 20 mm et maximal de 155 mm.

Dans la plupart des cas, les projectiles testés étaient inertes ou ont fonctionné correctement et ont détoné. Cependant, une partie des projectiles qui contenaient de la matière explosive n'a pas fonctionné tel que prévu. Il s'agit alors de UXO. Ces projectiles inertes et ces UXO se retrouvent aujourd'hui au fond du lac.

C'est à la suite de pressions importantes réalisées par la population locale que le MDN a pris la décision de cesser ses tirs dans le lac Saint-Pierre. Une pétition visant l'arrêt des tirs et signée par



3 000 personnes a été présentée au Comité parlementaire permanent sur l'environnement et le développement durable du parlement canadien en 1999. Le comité a alors demandé au MDN de cesser les tirs dans le lac, ce qui a été réalisé le 1^{er} janvier 2000.

Lors de l'arrêt des tirs dans le lac, selon le registre des UXO du MDN, près de 8 000 UXO se retrouvaient dans le lac, parmi environ 300 000 projectiles inertes. Ce nombre de projectiles inertes n'est par contre qu'une estimation et n'est pas appuyé par des registres officiels. Par ailleurs, le registre des UXO fait état de localisation approximative des UXO à plus ou moins 400 m. Ces données ne sont pas suffisamment précises pour permettre la planification d'éventuels travaux de nettoyage du lac.

Dès 1999, le Comité parlementaire canadien sur l'environnement et le développement durable a demandé au MDN d'allouer des fonds pour le nettoyage des UXO de l'ancienne zone de tir et d'être informé des progrès de ces demandes. Selon le mandat du Comité de contrôle interne du lac Saint-Pierre, M. Eggleton et différents ministres successifs du MDN ont communiqué au public, aux élus locaux et au Comité parlementaire permanent sur l'environnement et le développement durable que le MDN allait nettoyer les effets des activités du CEEM Nicolet au lac Saint-Pierre.

À la suite du rapport de 2003 du Vérificateur général du Canada, le Comité permanent des comptes publics a pris certains engagements, dont celui de développer un plan exhaustif visant à identifier les sites potentiellement aux prises avec des UXO et à mettre en œuvre des mesures de mitigation et de réhabilitation. Le Comité a accepté cet engagement de façon spécifique pour le site du lac Saint-Pierre, alors appelé « Nicolet ».

En 2005, en réponse à une demande du Conseil d'administration de la ville de Sorel-Tracy soutenant les démarches du député fédéral de la circonscription de Berthier-Maskinongé pour exiger la récupération d'obus dans le lac Saint-Pierre, le MDN a assuré la ville de son travail assidu à cette fin, et s'engageait à établir le plan de réalisation d'un projet de récupération de projectiles.

Une seconde pétition a été présentée en 2006 à la Chambre des communes. Cette pétition demandait le retrait des obus du lac Saint-Pierre. Dans sa réponse à la pétition, le MDN réitère son engagement à planifier la remise en état du lit du lac.

De 2006 à 2015, plusieurs études ont été réalisées dans le but de bien cerner la problématique et de définir la portée d'un éventuel projet : des levés géophysiques permettant d'identifier la localisation des projectiles, une étude sur la qualité des sédiments et de l'eau de surface, des évaluations du risque, une étude sur le mouvement des sédiments et une étude sur la migration potentielle des projectiles par le mouvement des glaces. De plus, des travaux *ad hoc* de nettoyage ont eu lieu, tel du ratissage de surface sur les plages et de l'enlèvement de projectiles en soutien à des travaux réalisés par des tiers (dragage du chenal Landroche).

1.2.2 État de la situation

La portion sud du lac Saint-Pierre, qui inclut l'ancienne zone de tir, est largement utilisée par le public, que ce soit pour des activités récréatives ou commerciales telles que la navigation de plaisance, la chasse ou la pêche, et ce, tout au long de l'année. À titre d'information, plus de 10 400 sorties de pêche (en été et en hiver) ont eu lieu au lac Saint-Pierre en 2006, et plus de 1 000 chasseurs à la sauvagine y pratiquent leur sport annuellement, dont la moitié ne proviennent



pas de la région (Groupe SM, 2008). Pendant la pêche sur glace, jusqu'à 600 personnes peuvent se retrouver à la pourvoirie de Baie-du-Febvre située dans une zone de forte densité d'UXO.

La présence d'UXO au lac Saint-Pierre a déjà été la cause d'un accident survenu en juin 1982. Lors de cet événement, un homme a été tué et neuf personnes ont été blessées à la suite de l'explosion d'un projectile trouvé sur la berge du lac et déposé dans un feu de camp. En 2003, une étude mandatée par le MDN visant l'évaluation des risques pour la sécurité publique liés à la présence de munitions au lac Saint-Pierre concluait qu'il existe un risque réel et significatif d'accident potentiellement mortel lié à la présence des projectiles. Une seconde analyse de risque a été réalisée en 2008 dans le but d'évaluer l'indice de risque lié à la présence d'UXO au fond du lac pour chaque hectare (ha) sur l'ensemble de la zone CYR 606. Les résultats de cette étude ont permis d'identifier 2 449 ha à risque élevé au cœur de la zone CYR 606. En 2015, le niveau de risque pour la sécurité publique lié à la présence d'UXO au lac Saint-Pierre a été réévalué selon le processus du MDN. Ce processus évalue d'une part la conséquence du danger et d'autre part sa probabilité et catégorise le risque en trois niveaux soit : faible, moyen ou élevé. Cette analyse a permis d'établir une zone prioritaire d'intervention (ZPI) à l'intérieur de laquelle le niveau de risque est « élevé ». Cette zone prioritaire englobe les zones présentant une densité de projectiles élevée (selon les données historiques), une profondeur d'eau de 2 mètres (m) et moins, et les zones situées de part et d'autre du chenal Landroche, qui est l'accès principal au lac. La ZPI couvre une superficie de 525 ha. Elle correspond à 3 % de la superficie de l'ancienne zone de tir, mais contiendrait 40 % (2 739) des UXO répertoriées (figures 1 et 2).

Afin d'identifier la localisation précise des projectiles dans la ZPI, des levés géophysiques ont été réalisés entre 2015 et 2017, et ont conduit à la localisation d'anomalies géophysiques potentiellement créées par des UXO. Ces données réelles ont donc remplacé les données historiques imprécises disponibles jusqu'alors pour la planification du projet. Ces levés géophysiques ont permis d'identifier 21 778 anomalies géophysiques potentiellement créées par des UXO au sein de la ZPI. Selon les données historiques, environ 14 000 de ces anomalies devraient être des projectiles, les autres pouvant être des débris de munitions ou d'autres débris ne provenant pas de munitions. La figure 3 présente la localisation des anomalies géophysiques au sein de la ZPI. On peut y constater une variation importante de densité selon les endroits, allant d'environ 10 anomalies par hectare jusqu'à près de 200 anomalies par hectare.

Entre 2016 et 2018, une fois la portée du projet établie, des travaux d'enlèvement et de disposition de projectiles ont été réalisés à titre de campagnes pilotes. En effet, aucun projet d'enlèvement d'UXO de cette envergure n'a jamais eu lieu au Québec ou au Canada, encore moins en milieu lacustre, et les méthodes de travail de même que les impacts appréhendés n'étaient pas clairement connus. Ces campagnes pilotes visaient donc à mieux comprendre les méthodologies de terrain, à identifier les impacts et à vérifier l'efficacité des mesures d'atténuation développées de pair avec les autorités environnementales. En 2016, 2017 et 2018, 505, 1 500 et 228 anomalies magnétiques ont été enlevées respectivement. Le tableau suivant présente le nombre d'anomalies identifiées dans la ZPI et, pour chaque campagne pilote le nombre d'anomalies récupérées, le nombre d'anomalies s'étant avérées être des projectiles et le nombre de projectiles qui contenaient effectivement de la matière explosive (UXO). La différence entre le nombre d'anomalies identifiées et le nombre d'anomalies récupérées correspond au nombre d'items à aller récupérer au sein de la ZPI au cours du projet.

Tableau 1.2 Projectiles récupérés au cours des campagnes pilotes

	Anomalies géophysiques	Projectiles	Projectiles confirmés comme contenant de la matière énergétique (UXO)
À enlever au sein de la ZPI	21 778	14 373*	2 739*
Enlevés en 2016	505	307	56
Enlevés en 2017	1 500	1 055	159
Enlevés en 2018	228	151	25
Enlevés au total	2 233	1 513	240
Différence	19 545	12 860*	2 499*

* Données estimées

Des 1 513 projectiles récupérés de 2016 à 2018, 174 ont été soumis à des détonations *in situ* puisqu'ils ne pouvaient être déclarés sécuritaires à déplacer. Les 1 339 autres projectiles ont été déclarés sécuritaires à déplacer et ont été soumis à une détonation sur la propriété du MDN (CEEM de Nicolet). Des 174 projectiles soumis à une détonation *in situ*, 114 ont explosé et 60 ont été confirmés inertes. En résumé, 114 des 240 projectiles confirmés comme contenant de la matière énergétique (UXO) ont été détonés *in situ*.

Le tableau suivant présente les statistiques annuelles relatives aux détonations *in situ*.

Tableau 1.3 Statistiques sur les détonations *in situ*

	Anomalies géophysiques	Projectiles	Projectiles soumis à une détonation <i>in situ</i>	
			Contenant de la matière énergétique	Inerte
Récupérés en 2016	505	307	29	13
Récupérés en 2017	1 500	1 055	79	42
Récupérés en 2018	228	151	6	5
Récupérés au total	2 233	1 513	114	60

1.2.3 Objectif du projet

L'objectif du projet est de réduire le niveau de risque à la sécurité publique de la ZPI de « élevé » à « faible » en retirant les UXO qui y sont présentes dans les 30 premiers centimètres (cm). En effet, le risque de contact avec une UXO enfouie à plus de 30 cm dans les sédiments est considéré faible.

Selon les estimations actuelles, environ 2 400 anomalies seront enlevées annuellement. Après un horizon de 9 ans, le risque à la sécurité publique sur l'ensemble de la ZPI, qui est actuellement élevé, passerait donc à faible.



1.3 Description du projet

Les activités devant être mises en œuvre pour permettre l'atteinte de l'objectif du projet sont les suivantes et sont décrites dans les sous-sections suivantes :

1. L'investigation et l'identification des anomalies géophysiques et l'enlèvement des objets créant les anomalies du fond du lac.
2. La détonation *in situ* des projectiles non sécuritaires à déplacer.
3. Le transport des projectiles sécuritaires à déplacer vers le site de détonation terrestre.
4. La détonation sur propriété fédérale (CEEM de Nicolet) des projectiles sécuritaires à déplacer (activité connexe non visée par la présente étude d'impact).
5. La réalisation de levés géophysiques.
6. L'entretien d'un chemin d'accès menant au site de détonation terrestre sur la propriété fédérale (CEEM de Nicolet).

1.3.1 Investigation et identification des anomalies géophysiques et enlèvement des objets créant les anomalies

Les levés géophysiques fournissent les coordonnées exactes d'objets métalliques dont la signature magnétique est similaire à celle d'un projectile. Ces levés ne permettent pas de savoir à priori la nature de l'objet métallique. À l'heure actuelle, la seule méthode possible pour récupérer les projectiles est la récupération manuelle par du personnel UXO détenant les qualifications requises. Ce personnel doit se rendre à la position définie par le levé géophysique et identifier la pièce métallique correspondant à l'anomalie. S'il s'agit d'un projectile, il doit identifier si le projectile est sécuritaire à déplacer ou non. Pour être déclaré sécuritaire à déplacer, un projectile ne doit pas être muni d'une fusée (mécanisme d'initiation). Si l'état du projectile ne permet pas l'identification formelle (rouille, nez enfoncé trop profondément dans les sédiments), le projectile est considéré comme non sécuritaire à déplacer et devra être détruit sur place.

L'investigation, l'identification des anomalies géophysiques et l'enlèvement des objets créant les anomalies comprennent les étapes suivantes :

- Déplacement jusqu'à l'anomalie. Les déplacements se font par chaloupe, bateau ou Argo.
- Localisation de la position de l'anomalie à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) et des coordonnées tirées des résultats des levés géophysiques.
- Réacquisition de l'anomalie (la retrouver physiquement) à l'aide du système géophysique ou par l'utilisation d'un détecteur de métal dans un rayon de 2 m.

- Si l'objet créant l'anomalie n'est pas visible en surface, les sédiments devraient être creusés jusqu'au dégagement de l'objet, jusqu'à une profondeur maximale de 75 cm. Cette activité implique soit un dégagement manuel pour les anomalies peu profondes (<30 cm) ou l'utilisation d'une pompe à suction hydraulique de faible capacité (< 5 HP) pour permettre d'atteindre l'item à une profondeur maximale de 75 cm dans les sédiments.
 - L'objectif du projet est de retirer tous les projectiles se situant dans les 30 premiers centimètres de sédiments. Afin de pouvoir s'assurer du respect de cet objectif, une marge de manœuvre est essentielle, entre autres en raison du fait qu'il est possible que le mouvement des sédiments réduise l'épaisseur des sédiments recouvrant les projectiles. Par ailleurs, une fois que les efforts logistiques ont été déployés pour détecter et retrouver les anomalies, il devient contre-productif de laisser l'objet en place s'il est accessible. Dans ce contexte, une recherche jusqu'à une profondeur de 75 cm sera imposée pendant les travaux. Une recherche plus en profondeur devient techniquement très difficile.
- Si le contact est fait avec l'anomalie à l'intérieur du premier 75 cm des sédiments :
 - La nature de l'anomalie sera identifiée : rebuts ne provenant pas de munitions, roches magnétiques, rebuts de munitions, projectiles.
 - Si l'objet est sécuritaire à déplacer, il sera récupéré manuellement et transporté sur la propriété fédérale (CEEM de Nicolet) pour gestion ultérieure.
- Si aucun contact n'est fait avec l'anomalie après avoir creusé à 75 cm de profondeur dans les sédiments, cette information sera validée par un deuxième technicien UXO. Si la deuxième investigation confirme que l'anomalie est plus profonde que 75 cm, l'investigation sera terminée.

Chaque objet identifié lors des investigations des anomalies sera géré selon sa nature :

- Les projectiles jugés non sécuritaires à déplacer, soit les projectiles munis d'une fusée ou ne pouvant être identifiés, seront détonés sur place, dans le lac Saint-Pierre (détonations *in situ*).
- Les projectiles jugés sécuritaires à déplacer seront transportés vers un site d'entreposage temporaire dans le secteur de l'OP-6 sur la propriété du CEEM. La détonation des projectiles aura ensuite lieu dans le secteur de l'OP-4. Puisque ces activités se déroulent sur les terres fédérales du CEEM Nicolet, elles ne sont pas incluses dans la présente évaluation des impacts sur l'environnement.
- Les rebuts de munitions et rebuts non liés à des munitions seront apportés au CEEM Nicolet pour être disposés selon la réglementation.
- Les roches magnétiques seront retirées à l'exception de celles dont la taille ne permet pas leur manipulation par les travailleurs.



Selon les informations recueillies pendant les campagnes pilotes d'enlèvement et de disposition, la distribution attendue de la nature des anomalies est la suivante.

Tableau 1.4 Distribution attendue de la nature des anomalies

Description de l'anomalie	%	nombre
Projectiles non sécuritaires à déplacer	~ 8	~ 1 742
Projectiles sécuritaires à déplacer – suspectés explosifs	~ 23	~ 5 009
Projectiles sécuritaires à déplacer – suspectés inertes	~ 19	~ 4 138
Projectiles sécuritaires à déplacer - confirmés inertes par des marquages spécifiques	~ 16	~ 3 484
Débris de munitions, débris de non-munitions, autres	~ 34	~ 7 405
Total	100	21 778

Les registres historiques du CEEM de Nicolet sur les UXO fournissent des données sur les pourcentages des différents calibres des UXO ayant été répertoriés. Ces pourcentages peuvent être utilisés à titre indicatif afin de prévoir le nombre de projectiles de chaque calibre qu'il est attendu de retrouver. Le projet prévoit l'enlèvement, sur 9 ans, d'environ 21 778 anomalies. Environ 66 % de ces anomalies devraient être des projectiles, pour un total de 14 373 projectiles. Le tableau suivant présente la distribution attendue selon le calibre de projectile.

Tableau 1.5 Distribution attendue de chaque calibre de projectiles

Calibre du projectile en ordre décroissant du nombre répertorié	Masse d'explosif potentiellement présente (kg)	% de chaque calibre	Nombre total d'anomalies	% d'anomalies qui sont des projectiles	Nombre attendu de projectiles par calibre
155 mm	6,95	40	21 778	66	5 749
105 mm	2,1	25			3 593
3"50 cal	0,449	25			3 593
90 mm	0,975	4			575
3"70 cal	0,75	3			431
4 po	3,6	2			288
76 mm	0,989	1			144
Total	s. o.	100	21 778	14 373	14 373

Lors des campagnes de 2016 à 2018, une équipe d'une dizaine de travailleurs était déployée quotidiennement. Selon le nombre de techniciens UXO déployés, jusqu'à cinq embarcations pouvaient être requises. Les travaux à venir devraient être réalisés avec le même nombre de travailleurs, sur un plus grand nombre de journées de travail. Les taux d'identification et d'enlèvement varient en fonction des conditions climatiques, de la profondeur d'eau, de la densité d'anomalies et de leur profondeur dans les sédiments. Le taux peut passer de moins de 10 anomalies par jour à plus de 75. En considérant une moyenne de 35 anomalies par jour, il

faudrait environ 70 jours de travail pour retirer environ 2 400 anomalies annuellement. Les plages de travail visées vont de juin à octobre.

1.3.2 Détonation *in situ* des projectiles non sécuritaires à déplacer

Tous les projectiles qui ne peuvent être identifiés sécuritaires à déplacer doivent être détruits à l'endroit même où ils ont été retrouvés et sans qu'ils ne soient manipulés. Ces cas sont les seuls justifiant la détonation de projectiles dans le lac, puisque celle-ci pourrait potentiellement entraîner des impacts environnementaux. Le tableau suivant présente les différents calibres de projectiles qui, selon les données disponibles, devraient devoir être détonés *in situ* sur toute la durée du projet.

Tableau 1.6 Distribution attendue de chaque calibre de projectiles devant être détoné *in situ*

Calibre du projectile en ordre décroissant du nombre répertorié	Masse d'explosif potentiellement présente (kg)	Nombre attendu de projectiles par calibre	Nombre attendu de projectiles devant être détonés <i>in situ</i>	Nombre de projectiles détonés <i>in situ</i> qui devraient contenir de la matière explosive et exploser
155 mm	6,95	5 749	697	460
105 mm	2,1	3 593	436	287
3"50 cal	0,449	3 593	436	287
90 mm	0,975	575	70	46
3"70 cal	0,75	431	52	34
4 po	3,6	288	35	23
76 mm	0,989	144	17	11
Total	s. o.	14 373	1 743	1 148

La détonation *in situ* se fait par la détonation volontaire d'une charge explosive complémentaire (explosif donneur) déposée à proximité du projectile. Le type de charge explosive à utiliser a fait l'objet d'une analyse présentée à la section 1.7.1 « Détermination des variantes ».

À la fin de chaque détonation *in situ*, les rebuts de munitions provenant de la détonation de l'UXO sont récupérés manuellement dans un rayon de 5 m autour du point de détonation à l'aide d'un détecteur de métal.

Par ailleurs, les campagnes pilotes de 2016 à 2018 ont permis d'identifier des mesures d'atténuation qui sont présentées à la section 4.2 « Atténuation des impacts ».

1.3.3 Transport des projectiles sécuritaires à déplacer vers le site de détonation terrestre

Les projectiles jugés sécuritaires à déplacer seront entreposés dans la région du poste d'observation n° 6 (ci-après OP-6) sur la propriété du CEEM jusqu'au moment de leur détonation. Le jour de leur détonation, ils seront transportés vers le site de détonation qui se trouve dans la région

de l'ancien poste d'observation n° 4 (ci-après OP-4) (figure 4). Le transport de projectiles doit se faire en respectant les procédures et règles de sécurité du MDN, et le *Manuel de sécurité sur les munitions et les explosifs*. Le transport doit, entre autres, respecter des distances de sécurité entre les projectiles et les habitations. Ces distances varient selon la masse d'explosifs potentiellement transportée. À ce stade, tous les projectiles sont considérés comme contenant de la matière explosive, jusqu'à confirmation après détonation.

Selon les niveaux d'eau, les projectiles seront transportés par bateau, ou par véhicules (Argos, véhicules tout terrain [VTT], véhicules de transport chenillés (BV) et motoneiges). La figure 4 présente les sentiers de transport potentiels. Si les niveaux d'eau sont suffisamment élevés, les projectiles seront transportés par bateau entre la zone d'entreposage et l'embouchure de la rivière Brielle. Si les niveaux d'eau ne permettent pas le transport par bateau, les projectiles seront transportés par sentier terrestre. Le sentier principal de transport terrestre vise un trajet le plus direct possible vers le site de détonation, et ne s'approche pas des zones habitées localisées à l'ouest de la propriété du MDN. Ce sentier traverse des marais riverains. Une fois arrivé sur la propriété du MDN, ce sentier emprunte des chemins existants qui permettent de relier les différents postes d'observation du CEEM Nicolet entre eux.

Si les niveaux d'eau devaient être trop élevés pour permettre d'utiliser le sentier terrestre principal, mais trop faibles pour permettre le transport par bateau, un sentier secondaire, qui longe l'extrémité ouest de la propriété fédérale, pourrait être utilisé. Cependant, puisque ce sentier passe à moins de 100 mètres d'un chalet, l'usage de ce sentier limiterait grandement le nombre de projectiles pouvant être transportés par voyage, ce qui augmenterait le nombre de voyages nécessaires.

1.3.4 Détonation sur propriété fédérale des projectiles sécuritaires à déplacer

La détonation des projectiles sécuritaires à déplacer aura lieu dans la région de l'OP-4. Puisque cette activité se déroule sur les terres fédérales du CEEM Nicolet, elle n'est pas incluse dans la présente évaluation des impacts sur l'environnement et est présentée à la section 1.8 « Aménagements et projets connexes ».

1.3.5 Réalisation de levés géophysiques

En complément aux levés géophysiques de la ZPI réalisés entre 2015 et 2017, des levés géophysiques supplémentaires ont débuté en 2018 et se poursuivront jusqu'en 2021 afin de confirmer les limites de la ZPI. En effet, tel qu'on peut le constater à la figure 3, les densités retrouvées à la frontière sud de la ZPI sont extrêmement faibles alors que les densités retrouvées à l'est et au nord sont élevées. Il est donc possible que les frontières de la ZPI soient légèrement déplacées de façon à mieux répondre à l'objectif de réduction du risque.

De plus, à la suite de l'enlèvement des objets créant les anomalies, des levés géophysiques de contrôle seront réalisés dans le but de confirmer que les objets qui créaient les anomalies magnétiques ont bel et bien été retirés.

Les levés géophysiques sont entièrement passifs. Deux types de systèmes peuvent être utilisés, soit les systèmes magnétiques et électromagnétiques. Les systèmes magnétiques mesurent le champ magnétique ambiant. Les systèmes électromagnétiques induisent un champ magnétique mesurable par un récepteur. Ces levés sont réalisés sur l'eau à partir d'embarcations ou sur les



glaces l'hiver à l'aide de motoneiges ou VTT. Les levés géophysiques de contrôle pourront être réalisés en toute saison, sans restriction.

1.3.6 Entretien d'un chemin d'accès menant au site de détonation terrestre

Le site de détonation terrestre est situé dans la zone de l'OP-4, sur la propriété du MDN. On peut accéder à ce site via la route 132 en empruntant un chemin d'accès recouvert de gravier. Ce chemin est localisé à environ 8 km à l'ouest du secteur administratif du CEEM Nicolet (figure 2). La rivière Brielle longe ce dernier à l'ouest.

Ce chemin d'accès ne possède pas d'assise solide (pas de fondation de route) et est sensible aux cycles de gel et peut devenir pratiquement impraticable. Pour cette raison, des travaux d'entretien du chemin d'accès menant au site de détonation terrestre sont prévus. Les travaux consisteront à épandre et à compacter du matériau granulaire sur les sections du chemin les plus abimées. L'entretien du chemin d'accès sera effectué selon les besoins, soit environ aux deux à trois ans. Ces travaux pourraient nécessiter l'utilisation de camions, d'une niveleuse et d'un compacteur.

La portion du chemin d'accès visée par la présente étude d'impact sur l'environnement est la portion traversant les terres agricoles privées entre la route 132 et la barrière du CEEM Nicolet. Les travaux sur la portion du chemin à l'intérieur du CEEM Nicolet ont lieu sous juridiction fédérale et sont exclus de l'étude d'impact.

Ces travaux sont d'une durée de quelques jours.

1.4 Principales contraintes environnementales et sociales

Les principales contraintes environnementales sont le climat et les conditions météorologiques qui peuvent créer des limitations à la progression des travaux. Notamment, la présence de glace sur le lac et l'augmentation des niveaux d'eau limitent le calendrier potentiel des travaux et créent des contraintes de niveau technique et de sécurité. En effet, il est beaucoup plus difficile de procéder à la récupération d'un projectile en plongée ou lorsqu'un technicien a de l'eau jusqu'au cou que lorsqu'il a de l'eau aux genoux. De plus, les conditions climatiques retrouvées au lac Saint-Pierre peuvent être assez difficiles. Dans certaines conditions, il est impossible de déployer les équipes de travail en raison du risque à la santé et sécurité des travailleurs. Des vagues importantes sont créées par l'effet combiné des vents et de la faible profondeur d'eau, et des courants importants peuvent être ressentis par endroits. Ces conditions variables contraignent les méthodes de travail et de transport.

Au niveau social, la présence des différents usagers du lac, qu'il s'agisse de plaisanciers, de pêcheurs ou de chasseurs entraîne de faibles contraintes en termes de calendrier et en termes de méthodologie de travail. Lors des campagnes pilotes, de façon à ne pas nuire à la chasse à la sauvagine, les travaux ont été interdits au cours de la première semaine de la chasse à la sauvagine. Ces contraintes sont facilement gérables et n'ont que peu d'impact sur la portée, le calendrier ou le budget du projet.

Une autre contrainte sociale provient du fait que la détonation des projectiles entraîne du bruit et des vibrations qui peuvent inquiéter ou incommoder la population. Des mesures d'atténuation ont été



mis en place lors des campagnes pilotes de façon à réduire le bruit et les vibrations. Elles sont présentées à la section 4.2 « Atténuation des impacts ».

Les principales contraintes environnementales et sociales se traduisent donc notamment par des limitations au calendrier de réalisation dans le but d'atténuer ou d'éliminer les impacts que pourrait entraîner le projet. La limitation des périodes de travail a peu d'impact sur la portée du projet, mais a un impact potentiellement important sur sa durée globale et donc sur ses coûts.

1.5 Exigences techniques et économiques

La raison d'être du projet est de diminuer le risque à la sécurité publique par le retrait des UXO dans l'aire du lac où les risques sont les plus élevés. Les méthodes utilisées doivent permettre la gestion sécuritaire de toutes ces munitions.

1.5.1 Normes et exigences relatives aux activités impliquant des UXO

Les méthodes de travail visant les UXO sont régies par de nombreuses normes du MDN visant à assurer la sécurité du personnel et de la population, par exemple le *Manuel sur le nettoyage des champs de tir et les munitions explosives non explosées*, et le *Manuel de sécurité sur les munitions et les explosifs*. Ainsi, les entrepreneurs ne sont pas libres d'utiliser d'autres méthodes que celles ayant été testées et utilisées par le MDN et les forces armées canadiennes.

À titre d'exemples, les exigences suivantes doivent être rencontrées pendant l'exécution des travaux :

- Chacune des différentes tâches liées à l'investigation, l'identification, l'enlèvement, le transport et la détonation d'UXO requiert des qualifications et expériences spécifiques. Par exemple, il faut plus de qualifications et d'années d'expérience pour pouvoir déclarer un projectile sécuritaire à déplacer que pour le manipuler.
- Des rayons d'exclusion (zones au sein desquelles seul le personnel nécessaire a le droit d'être présent) doivent être maintenus en tout temps pendant des travaux UXO. La dimension de ces rayons d'exclusion varie en fonction du type d'activité (investigation, transport, détonation, etc.) et de la masse d'explosif. Ces zones d'exclusion doivent être maintenues à l'aide de sentinelles.
- Lors de tout travail impliquant des UXO, un spécialiste en contrôle qualité UXO et un officier de sécurité UXO doivent être présents.

1.5.2 Exigences économiques

Un projet de cette envergure exige un engagement financier important de la part du gouvernement fédéral. Le projet global depuis les études préalables, permettant la définition de la portée du projet jusqu'à sa complétion, nécessitera un budget de plusieurs dizaines de millions de dollars.

1.6 Analyse des solutions de rechange au projet

Puisque le risque à la sécurité publique résulte de la possibilité qu'une explosion survienne si un citoyen entre en contact avec une UXO et puisqu'il n'est pas envisageable d'interdire l'accès au lac aux citoyens, la seule façon de réduire le risque à la sécurité publique est de retirer les UXO. Trois

options de gestion ont été évaluées selon différents critères, dont leur capacité à diminuer le niveau de risque au lac Saint-Pierre :

1. Le statu quo, c'est-à-dire ne pas procéder à l'enlèvement des UXO et continuer de mettre en place des mesures d'information et de sensibilisation.
2. L'enlèvement des UXO de l'ensemble de l'ancienne zone de tir (zone CYR 606). La zone CYR 606 couvre une superficie d'environ 160 km², soit l'équivalent de près de 15 000 terrains de soccer.
3. L'enlèvement des UXO d'une ZPI correspondant aux secteurs où le niveau de risque à la sécurité publique a été établi à « élevé » en raison du fait qu'ils combinent une densité élevée d'UXO, à de faibles profondeurs d'eau, et qu'ils sont largement fréquentés par le public.

L'option 1, soit le statu quo, donc le fait de laisser les UXO en place, laisserait le risque à la sécurité publique à un niveau qui n'est pas jugé acceptable. En effet, les consultations juridiques réalisées dans le cadre de l'élaboration du projet suggèrent que le MDN a deux obligations, soit d'agir comme une personne prudente et diligente, et de prendre des mesures raisonnables afin d'éviter un risque à la sécurité publique en lien avec une UXO.

Le danger en lien avec une UXO augmente lorsque la population a un accès direct. Le lac Saint-Pierre est un endroit dangereux où gisent en son fond des UXO recouvertes de quelques mètres d'eau, parfois moins, favorisant ainsi un risque de contact plus élevé pour la population y pratiquant des activités récréatives et commerciales.

Les mesures de sécurité prises par le MDN avant la mise en place du projet étaient les suivantes : l'installation de 57 bouées identifiant le périmètre de l'ancien champ de tir; la distribution de dépliants dans les marinas des environs; l'installation d'un panneau d'avertissement à l'entrée du chenal Landroche et des campagnes de sensibilisation dans les écoles primaires et secondaires. Ces mesures sont bonnes et doivent continuer; toutefois, elles ne sont pas suffisantes. Dans ces circonstances, le MDN doit aller encore plus loin que la simple communication du danger et doit également entreprendre des mesures de nettoyage de la zone CYR 606, afin de réduire les risques à la sécurité publique.

Pour pouvoir répondre à l'obligation de « la personne prudente et diligente », le MDN doit non seulement avoir et mettre en œuvre un plan de communication du danger adéquat, mais également poser des actions concrètes en vue de l'enlèvement des UXO dans les zones à risque élevé de la zone CYR 606 du lac Saint-Pierre.

L'option 2, soit l'enlèvement des UXO de toute l'ancienne zone de tir, n'est pas réaliste en termes de durée (plus de 20 ans) et de coûts (plus de 100 M\$). De plus, l'enlèvement des UXO de toute l'ancienne zone de tir implique d'investir des fonds publics dans des zones où le risque est déjà faible ou moyen. Selon les données historiques, plus de 300 000 projectiles se retrouvent dans cette zone et ne sont pas répartis uniformément sur toute sa superficie. C'est pourquoi le risque varie de « faible » à « élevé » à l'intérieur de l'ancienne zone de tir et que la réalisation de cette option ferait en sorte de déployer des efforts et des ressources même dans les zones à risque faible et moyen.

L'option 3, soit l'enlèvement des UXO d'une ZPI, a été sélectionnée puisqu'elle est la seule qui permet à la fois d'atteindre l'objectif de réduction du risque, de répondre aux obligations légales du

MDN, de répondre aux engagements pris par le gouvernement fédéral au cours des années et qu'elle est réaliste en termes de durée et de coûts.

Le Tableau 1.7 permet de comparer les différentes solutions envisagées pour répondre à la problématique sur la base de certains principes tirés de la *Loi sur le développement durable*. Cette comparaison montre que le retrait et la détonation des UXO dans une ZPI est la meilleure solution qui permet d'atténuer le risque à la sécurité publique en respectant les principes de la *Loi sur le développement durable*.

Tableau 1.7 Comparaison des différentes solutions identifiées en fonction de certains grands principes de la *Loi sur le développement durable*

Solution	Principes de développement durable		
	Efficacité économique	Santé et qualité de vie/Prévention	Pollueur-payeur/ Internalisation des coûts
Statu quo : Laisser les UXO en place	• Aucun coût direct. • Risque de poursuites et de paiement d'indemnisation en cas d'incidents	• Les risques à la sécurité publique ne seraient pas atténués.	• L'entité responsable de la présence des UXO ne paie pas les coûts de la réduction des risques à la sécurité publique et des mesures d'atténuation environnementales. La pollution reste en place et les coûts d'éventuels travaux sont reportés aux générations futures.
Enlèvement des UXO de la zone CYR 606	• Coûts très élevés. • Engage des fonds publics dans des actions non justifiées	• Permet de réduire de façon permanente les impacts causés par les activités passées au CEEM Nicolet.	• Les coûts de la réduction des risques à la sécurité publique et des mesures d'atténuation environnementales sont payés par l'entité responsable de la présence des UXO.
Enlèvement des UXO de la ZPI	• Coûts élevés	• Permet de réduire de façon permanente les impacts causés par les activités passées au CEEM Nicolet.	• Les coûts de la réduction des risques à la sécurité publique et des mesures d'atténuation environnementales sont payés par l'entité responsable de la présence des UXO.

1.7 Description des variantes de réalisation du projet

1.7.1 Détermination des variantes

La nature des travaux du projet ne présente que peu de variantes possibles. En effet, la localisation des projectiles dicte la localisation des travaux d'investigation, d'enlèvement et de détonation des projectiles non sécuritaires à déplacer. De plus, les variantes du projet doivent respecter les exigences techniques liées à la sécurité des explosifs et minimiser les impacts sur l'environnement. Les variantes suivantes ont été étudiées :

- le site de détonation des projectiles sécuritaires à déplacer;
- le type de charge explosive.

1.7.2 Sélection des variantes

1.7.2.1 Sélection du site de détonation des projectiles sécuritaires à déplacer

La détonation sur place (*in situ*) présente des impacts potentiels sur la faune et la flore puisque la détonation se fait à l'intérieur de milieux naturels de bonne qualité. Pour cette raison, seuls les projectiles qui ne peuvent être déplacés pour des raisons de sécurité sont détruits *in situ*. Les autres sont retirés du lit du lac pour être détonés sur terre.

Avant la mise en œuvre du projet, des travaux *ad hoc* de récupération de projectiles ont eu lieu sur les berges du lac en période de niveaux d'eau très bas, alors que les plages exondées permettaient de voir les corps des projectiles et que des citoyens risquaient d'entrer en contact avec ces projectiles. Ces travaux ont fait l'objet de non-assujettissement d'obtention de certificat d'autorisation de la part du MDDELCC (2012 et 2013). Au cours de ces travaux, les projectiles sécuritaires à déplacer ont été détruits au nord de la Longue-Pointe (figure 2). Ce point de détonation était idéal du point de vue de la visibilité de la zone d'exclusion de sécurité. En effet, lors de détonations, il est impératif que le boute-feu (celui qui fait la mise à feu) s'assure de l'absence de tout individu à l'intérieur d'une zone d'exclusion dont le rayon dépend du calibre du projectile à détoner. Par exemple, le plus gros calibre tiré au CEEM Nicolet correspond à un 155 mm, dont le rayon d'exclusion est établi à 1 250 m. Le rayon d'exclusion doit être protégé par des sentinelles.

Cependant, ce point de détonation se situait dans le littoral (c.-à-d. limites de la zone inondable de récurrence 2 ans). De plus, lors de détonations ayant eu lieu en 2013 à cet endroit, une dizaine d'appels ont été faits au CEEM Nicolet concernant les vibrations ressenties. Les vibrations étaient majoritairement ressenties par des citoyens de l'arrondissement de Pointe-du-Lac de la ville de Trois-Rivières, situé sur la rive nord du lac Saint-Pierre. En planification du projet, une analyse a donc été réalisée afin de déterminer un point de détonation qui répondrait aux critères suivants :

1. être sur la propriété du MDN;
2. être en dehors du littoral (c.-à-d. limites du 0-2 ans);
3. permettre une zone d'exclusion de 1 250 m;
4. être en dehors de l'habitat du petit blongios (espèce vulnérable identifiée lors d'inventaires au CEEM de Nicolet indépendants du présent projet).

Le site terrestre sélectionné pour la détonation des projectiles sécuritaires à déplacer est situé dans un milieu ouvert relativement peu diversifié (prairie de roseau *Phalaris*) sur le site du CEEM et éloigné des autres activités humaines, soit la région de l'OP-4 (figure 4). Une inspection du site a été réalisée par un biologiste afin de s'assurer de l'absence de noyers cendrés (identifiés lors d'inventaires antérieurs) et afin de vérifier la présence potentielle d'oiseaux nicheurs dans la zone des travaux. Les résultats de la visite indiquaient qu'aucune espèce en péril n'était présente et qu'aucun nid d'oiseau nicheur n'avait été observé.

L'utilisation du site terrestre au CEEM Nicolet permet la mise en place d'une structure de détonation réduisant les impacts sur le milieu sonore et les vibrations. Le fait de concentrer les détonations à un endroit contrôlé facilite le suivi des impacts sur la qualité du milieu et réduit la possibilité de contamination du milieu par la perte de fragments ou d'explosifs non complètement brûlés. Les désavantages de l'utilisation du site terrestre sont principalement liés au transport des munitions, activités non requises pour les détonations *in situ*. Le déplacement de véhicules motorisés entre la ZPI et le site de détonation peut occasionner des effets sur la faune et la flore se trouvant le long du trajet. De plus, le déplacement d'UXO doit se faire en respectant les procédures du MDN dans le but d'assurer la santé et la sécurité des travailleurs et du public.

En conclusion, afin de réduire les impacts sur les habitats du lac Saint-Pierre, la détonation sur un site terrestre aménagé au CEEM Nicolet est retenue pour tous les UXO qui peuvent y être transportés de façon sécuritaire.

1.7.2.2 Sélection de l'explosif donneur

La détonation des projectiles peut se faire avec des blocs de C4 ou avec des charges creuses.

Les blocs de C4 sont utilisés par les militaires pour leurs opérations de détonation de projectiles. Ils contiennent 567 g d'explosif, principalement (91 %) du RDX. Le bloc de C4 est utilisé comme explosif « donneur » dans l'objectif de faire détoner le projectile. Or, il arrive que la détonation du bloc de C4 ne fasse que déplacer le projectile sans le faire exploser et il est possible qu'une partie de la matière énergétique contenue dans le bloc de C4 ne soit pas entièrement brûlée et soit diffusée dans l'environnement.

Les charges creuses sont des charges métalliques coniques ne contenant que quelques grammes de matières explosives (RDX), mais conçues pour perforer la paroi des projectiles. Elles conduisent pratiquement à 100 % à des détonations complètes des projectiles.

Les charges creuses ont donc été sélectionnées, car elles conduisent en une détonation complète, évitant que de la matière explosive ne se retrouve dans l'environnement. De plus, elles réduisent la masse d'explosif et donc la taille des cratères, le bruit et l'onde de choc. Au lac Saint-Pierre, deux charges creuses de 30 g seront utilisées pour la détonation d'un projectile.

1.8 Aménagements et projets connexes

Les activités visées par la présente étude d'impact sur l'environnement se limitent à celles ayant lieu dans les aires sous juridiction provinciale, spécifiquement le lac Saint-Pierre. L'étude ne couvre donc pas les activités connexes ayant lieu sur le territoire du CEEM Nicolet, qui est exclusivement sous juridiction fédérale. Ces activités connexes sont présentées dans les sections suivantes.

1.8.1 Entreposage temporaire des projectiles sécuritaires à déplacer

Les projectiles sécuritaires à déplacer seront apportés du lac à un site d'entreposage temporaire situé près de l'OP-6 sur la propriété du CEEM Nicolet pour y être entreposés jusqu'à leur détonation. L'entreposage de projectile est régi par des procédures du MDN et se fait sous licence émise par le MDN. Cette licence stipule les quantités maximales d'explosifs pouvant être entreposés et les modalités de sécurité à respecter. Le site d'entreposage temporaire doit se situer à des distances minimales d'équipes de travail, de structures bâties, etc. Les projectiles peuvent être entreposés dans des caissons de contre-plaqué scellés et mis sous surveillance 24 heures par jour, 7 jours par semaine, ou être entreposés dans des magasins scellés répondant aux exigences techniques du MDN.

1.8.2 Transport des projectiles sécuritaires à déplacer

Tel que discuté à la section 1.3.3, les projectiles sécuritaires à déplacer et entreposés à l'OP-6 seront transférés au site de détonation le jour même de leur détonation. Une partie du trajet emprunté se situe sur la propriété fédérale (figure 4).

1.8.3 Construction et démolition de la structure temporaire de détonation

Une structure temporaire de détonation sera érigée dans la région de l'OP-4 (figure 4). La structure de détonation temporaire devra être construite en utilisant des gabions protecteurs de type « Hesco Bastion ». Il s'agit de caissons en treillis métalliques doublés d'une toile et remplis de sable. Ces caissons sont empilés jusqu'à une hauteur de 4 m et mis côte à côte de façon à créer une enceinte permettant de confiner les explosions (réduire l'onde de choc et la dispersion des fragments). Les caissons sont déposés directement sur le sol, aucune fondation n'est érigée. Cette structure est perméable et elle n'est pas fermée.

L'état de cette structure sera évalué annuellement. Selon son état, elle sera conservée ou reconstruite. À la fin des travaux, la structure sera démantelée.

La construction de la structure temporaire de détonation devrait se faire à l'extérieur de la période de nidification des oiseaux pouvant nicher dans l'habitat en question (prairie humide dominée par le phalaris roseau [*Phalaris arundinacea*]). Notamment, le bruant des marais (*Melospiza georgiana*) commence sa ponte vers le 7 avril et la période d'élevage des jeunes du bruant chanteur (*Melospiza melodia*) peut s'étendre jusqu'au 7 septembre (voir annexe B).

1.8.4 Détonation sur terre des projectiles sécuritaires à déplacer

La détonation des projectiles sécuritaires à déplacer pourra se faire à l'extérieur de la période de nidification des oiseaux pouvant nicher dans les habitats potentiellement affectés, dont la prairie humide présente au site de détonation et les aires boisées à proximité. Puisque cette période vise à protéger un grand nombre d'espèces pouvant nicher dans les arbres, dont la tourterelle triste, la détonation des projectiles sécuritaires à déplacer pourra se dérouler entre le 7 octobre et le mois de février des années 2018 à 2027. Toutefois, cette date pourrait être devancée au 21 septembre si l'absence de jeunes au nid de tourterelle triste est confirmée.



1.8.5 Entretien du chemin d'accès menant au site de détonation terrestre sur propriété fédérale

Tel que mentionné à la section 1.3.6, le chemin d'accès menant au site terrestre de détonation devra probablement faire l'objet d'un entretien périodique. Une partie de ce chemin, environ 2,6 km, se trouve sur la propriété fédérale et les travaux sur cette partie, bien que similaires à ceux réalisés sur celle hors propriété fédérale, ne sont pas couverts par le présent rapport. Les travaux consisteront à épandre et à compacter du matériau granulaire sur les sections du chemin les plus abimées.

1.9 Contexte légal

1.9.1 Contexte légal provincial

1.9.1.1 Loi sur la qualité de l'environnement

1.9.1.1.1 Procédure d'évaluation environnementale du Québec

La présente étude d'impact sur l'environnement est réalisée dans le cadre du processus d'évaluation environnementale du Québec, en vertu de l'article 31.1 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2) (LQE).

En effet, le projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO est assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement puisqu'il peut être considéré que la longueur totale des cratères créés par la détonation *in situ* des UXO excède le seuil d'assujettissement fixé à 500 m en vertu de l'annexe 1 du *Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets* (Annexe I, Partie II, article 2) :

« 1° des travaux de dragage, de déblai, de remblai ou de redressement, à quelque fin que ce soit, à l'intérieur de la limite des inondations de récurrence de 2 ans d'une rivière ou d'un lac, sur une distance cumulative égale ou supérieure à 500 m ou sur une superficie cumulative égale ou supérieure à 5 000 m², pour une même rivière ou un même lac ».

Au terme du processus, un décret gouvernemental encadrant le projet devrait être émis.

1.9.1.1.2 Autorisations ministérielles

L'article 22 de la LQE stipule que l'on doit obtenir une autorisation ministérielle (anciennement certificat d'autorisation [CA]) préalablement à la réalisation de certains travaux ou activités.

Les campagnes pilotes d'enlèvement de projectiles menées en 2016, 2017 et 2018 ont été encadrées par des CA. Une fois le décret gouvernemental obtenu, de nouvelles autorisations ministérielles seront requises.

1.9.1.2 Loi sur les espèces menacées ou vulnérables

L'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO dans le lac Saint-Pierre a lieu dans un territoire utilisé par une grande diversité d'organismes vivants, dont des espèces bénéficiant d'une protection légale. Au Québec, les espèces considérées désignées menacées ou vulnérables en



vertu de la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* (chapitre E-12.01) (LEMV) doivent être prises en compte.

La LEMV s'applique aux espèces fauniques et floristiques menacées ou vulnérables désignées qui vivent au Québec ou qui sont importées au Québec. Le cadre légal entourant la gestion et la protection des habitats de ces espèces y est aussi défini.

1.9.1.3 Loi sur la conservation et mise en valeur de la faune

Les aires des travaux du projet (figure 2) recoupent trois habitats fauniques désignés au Québec en vertu de la *Loi sur la conservation et mise en valeur de la faune* (LCMVF) : deux aires de concentration d'oiseaux aquatiques et un habitat du rat musqué. De plus, le lac Saint-Pierre est un habitat du poisson tel que défini dans le *Règlement sur les habitats fauniques*. En vertu de l'article 128.6 de la LCMVF, « nul ne peut, dans un habitat faunique, faire une activité susceptible de modifier un élément biologique, physique ou chimique propre à l'habitat de l'animal ou du poisson visé par cet habitat ».

Les campagnes pilotes d'enlèvement de projectiles menées en 2016, 2017 et 2018 ont été encadrées par des autorisations du ministère de la Faune, des Forêts et des Parcs (MFFP) délivrées en vertu de la LCMVF. Par contre, une fois le décret gouvernemental obtenu, il n'y aura plus lieu d'obtenir de telles autorisations.

1.9.1.4 Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables

Puisque les activités auront lieu près de la rive du lac Saint-Pierre, celles-ci doivent respecter la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* du Québec.

C'est en vertu de cette politique qu'une variante au projet a été établie pour la détonation des projectiles sécuritaires à déplacer (voir la section 1.7 « Description des variantes de réalisation du projet »).

1.9.2 Contexte légal fédéral

1.9.2.1 Procédure d'évaluation environnementale du Canada

L'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO dans le lac Saint-Pierre ne correspond pas à une activité désignée inscrite au *Règlement désignant les activités concrètes* (DORS/2012-147) et ne nécessite pas une évaluation environnementale en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* 2012 (L.C. 2012, ch. 19, art. 52) (LCÉE 2012).

Cependant, conformément à l'article 66 de la LCÉE 2012, l'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO respecte la définition d'un projet parce qu'il s'agit d'une activité physique qui est réalisée sur un territoire fédéral, et qui est liée à un ouvrage. Selon l'article 67 de la LCÉE 2012 :

« L'autorité ne peut réaliser un projet sur un territoire domanial ou exercer les attributions qui lui sont conférées sous le régime d'une loi fédérale autre que la présente loi et qui pourraient permettre la réalisation en tout ou en partie du projet sur un tel territoire que si, selon le cas :



- a) elle décide que la réalisation du projet n'est pas susceptible d'entraîner des effets environnementaux négatifs importants ;
- b) elle décide que la réalisation du projet est susceptible d'entraîner des effets environnementaux négatifs importants et le gouverneur en conseil décide, au titre du paragraphe 69(3), que ces effets sont justifiables dans les circonstances. »

Par conséquent, une détermination des effets environnementaux (DEE) est requise en vertu de l'article 67 avant la mise en œuvre du projet. Une DEE couvrant le projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre a donc été produite (GHD, 2019).

1.9.2.2 Loi sur les espèces en péril

Au Canada, les espèces sauvages en péril protégées en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (L.C. 2002, ch. 29) (LEP) doivent être prises en compte. La LEP compte trois annexes établissant le statut des différentes espèces. L'Annexe 1 est celle qui constitue la liste officielle des « espèces sauvages en péril du Canada », alors que les deux autres regroupent les espèces en attente d'étude de leur situation. Les espèces sont classées en fonction qu'elles sont considérées comme disparues du pays (DDP), en voie de disparition (EVD), menacées (ME) ou préoccupantes (PR), d'après les recommandations du Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC). Sur le territoire domaniale, les protections prévues à la LEP sont accordées à toutes les espèces de l'Annexe 1. Sur le reste du territoire de la province, elles ne s'appliquent qu'aux espèces aquatiques et aux oiseaux migrateurs protégés par la *Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs* (L.C. 1994, ch. 22).

Les campagnes pilotes d'enlèvement de projectiles menées en 2016 et 2017 ont été encadrées par des permis émis par Pêches et Océans Canada (MPO) en vertu de la LEP. En 2018, MPO a émis un avis indiquant que les travaux tels que planifiés ne nécessitaient pas de permis. Pour les années à venir, les activités du projet pourraient devoir être encadrées par un permis en vertu de la LEP.

1.9.2.3 Loi sur les pêches

Des demandes d'examen ont été soumises à MPO en 2016, 2017 et 2018 afin de vérifier si les activités prévues étaient susceptibles de causer des dommages sérieux aux poissons. MPO a considéré que les activités n'étaient pas susceptibles de causer de dommages sérieux aux poissons, pourvu que les mesures d'atténuation établies de pair avec eux soient mises en œuvre. Dans ce contexte, aucune approbation officielle du Programme de protection des pêches de MPO en vertu du paragraphe 35(1) de la *Loi sur les pêches* n'est requise, mais cette décision sera revue par MPO à la fréquence que ce dernier établira.

1.9.2.4 Règlement sur les oiseaux migrateurs

Au Canada, le *Règlement sur les oiseaux migrateurs* (C.R.C., ch. 1035) met en place plusieurs restrictions protégeant les oiseaux migrateurs visés par la *Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs*. Notamment, il est interdit de chasser un oiseau migrateur, de déranger ou de détruire des nids et des œufs d'un oiseau migrateur, ou d'avoir en sa possession un oiseau migrateur vivant, ou la carcasse, la peau, le nid ou les œufs d'un oiseau migrateur, à moins d'être le titulaire d'un permis délivré à cette fin.



1.9.2.5 Règlement sur les refuges d'oiseaux migrants

La zone des travaux recoupe une partie du Refuge d'oiseaux de Nicolet, qui est régi par le *Règlement sur les refuges d'oiseaux migrants* (C.R.C., ch. 1036). Par conséquent, les activités du projet pourraient devoir être encadrées par un permis assujéti à la *Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrants* (L.C. 1994, ch. 22) et délivré en vertu du *Règlement sur les refuges d'oiseaux migrants* (C.R.C., ch. 1036), émis par le Service canadien de la faune (SCF) d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC).

1.9.2.6 Politique fédérale sur la conservation des terres humides

Puisque les activités auront lieu près de la rive du lac Saint-Pierre, celles-ci doivent respecter la *Politique fédérale sur la conservation des terres humides*.

1.9.2.7 Politique de gestion de l'habitat du poisson

Lorsqu'une destruction de l'habitat du poisson est anticipée, la *Politique de gestion de l'habitat du poisson* du MPO encourage l'examen de solutions pour éviter ou réduire les effets négatifs sur l'habitat du poisson.

2. Consultations

2.1 Intérêts et préoccupations des parties concernées

Les principales parties concernées sont les municipalités avoisinantes, la nation autochtone Waban-Aki, les pêcheurs commerciaux, le regroupement des sauvagiers, le comité ZIP du lac Saint-Pierre et des groupes environnementaux tels que la Réserve de la biosphère du lac Saint-Pierre et le Groupe d'action pour la restauration du lac Saint-Pierre.

Tel que mentionné dans la section historique, les municipalités avoisinantes ont, dès 2005, fait part de leurs préoccupations liées à la présence d'UXO au lac Saint-Pierre et ont demandé au MDN d'intervenir. Le Groupe d'action pour la restauration du lac Saint-Pierre a été à l'origine d'une pétition demandant le retrait des obus du lac Saint-Pierre en 2006.

2.2 Démarche de consultation

Le MDN a favorisé la participation du public bien avant la mise en œuvre du projet, dès 2006, aux étapes d'initiation et de planification, par le biais d'un comité de concertation. Ce comité regroupait les maires des trois municipalités avoisinantes (Nicolet, Baie-du-Febvre et Pierreville), les représentants du Grand Conseil de la Nation Waban-Aki (GCNWA), de la pêche commerciale, de la chasse à la sauvagine et des groupes environnementaux. Les membres du comité de concertation ont été conviés, entre 2006 et 2012, à neuf rencontres d'information au cours desquelles les actions du MDN étaient présentées, et les demandes ou préoccupations des intervenants étaient reçues. Depuis 2016, le comité de concertation est devenu le Groupe d'intérêt sur la gestion des UXO au lac Saint-Pierre, en conservant les mêmes membres et le même fonctionnement. Entre 2016 et 2018, une fois la portée du projet établie, des travaux de levés géophysiques, d'investigation, d'enlèvement et de disposition de projectiles ont été réalisés à titre de campagnes pilotes, dans le



but de mieux comprendre les méthodologies de terrain et de vérifier l'efficacité des mesures d'atténuation développées de pair avec les autorités environnementales. Ces travaux ont également été présentés aux membres.

Par ailleurs, le public général a été tenu informé de la tenue des travaux par le biais d'avis publiés dans les journaux locaux.

La nation Waban-Aki a été spécifiquement consultée en 2017 lors de la préparation du rapport de détermination des effets environnementaux et en 2018 lors de la préparation du présent rapport d'étude d'impacts.

2.3 Résultats des consultations

2.3.1 Préoccupations soulevées par le Grand Conseil de la Nation Waban-Aki

Le GCNWA a transmis ses enjeux et préoccupations sur le projet dans deux lettres envoyées au MDN, le 25 juillet 2017 et le 15 juin 2018. Les préoccupations listées dans la lettre du 25 juillet 2017 sont les suivantes :

- Le GCNWA souhaite consulter un rapport d'analyse ou un document d'évaluation plus global permettant de bien cerner les impacts généraux des activités sur les composantes de l'environnement autres que les espèces en péril.
- Le GCNWA souhaite continuer à participer au Groupe d'intérêt sur la gestion des UXO du lac Saint-Pierre.
- Le GCNWA souhaite obtenir une localisation de la zone où la récupération sera effectuée et un échéancier des travaux afin de pouvoir prévenir leurs membres. De plus, ils veulent connaître les modalités de communication prévues pour avertir le public en général de la période de la réalisation des travaux.

Dans la lettre du 15 juin 2018, le GCNWA a mentionné les préoccupations suivantes :

- Le GCNWA souhaite être impliqué dans l'élaboration de la section de l'étude d'impact sur la Nation Wabanaki (Abénakis), son utilisation et son occupation du territoire de la zone d'étude, les impacts positifs et négatifs du projet sur celle-ci, ainsi que les mesures prises pour maximiser les premiers et atténuer les seconds.
- Le GCNWA considère que les enjeux suivants sont importants et devraient figurer dans l'étude d'impact :
 - les effets sur les espèces de poisson d'intérêt pour la Nation et leur habitat;
 - les oiseaux migrateurs;
 - la qualité de l'eau;
 - les activités des Wabanakis dans la zone d'étude;
 - les retombées positives que le projet pourrait avoir sur la Nation.
- Le GCNWA demande qu'une attention particulière soit portée à la perchaude dans le lac Saint-Pierre en raison de la situation de sa population et du moratoire qui en découle.



- Le GCNWA estime que le potentiel archéologique des terrains du MDN est élevé et demande que la question de la préservation du patrimoine archéologique soit considérée si des opérations risquent d'avoir des répercussions terrestres (chemins d'accès, sites de détonation, etc.) à des endroits où les sols n'ont pas été perturbés significativement dans le passé.

Une rencontre entre des représentants du GCNWA, du MDN, de CDC et de GHD a eu lieu le 22 octobre 2018 pour discuter des préoccupations de la Nation. Cette rencontre a permis de confirmer les préoccupations de la Nation et d'obtenir des précisions et de nouvelles informations sur l'utilisation du milieu qui ont été intégrées dans la présente étude.

2.3.2 Préoccupations soulevées lors des rencontres du groupe d'intérêt sur la gestion des UXO au lac Saint-Pierre

De 2006 à 2012, les progrès concernant le projet ont été présentés aux rencontres du Comité de concertation impliquant les citoyens concernés par le projet. Le MDN s'y est engagé à entreprendre les actions nécessaires afin de réduire le risque. Lors de ces rencontres, les membres ont soulevé les préoccupations suivantes :

- Il existe des inquiétudes sur la possibilité que les projectiles puissent migrer d'une zone à l'autre et que des sections nettoyées puissent à nouveau présenter un risque.
- La présence de projectiles est un irritant et il est prioritaire de les enlever, mais cela ne doit pas se faire au détriment des habitats.
- Il est important d'arrimer les travaux avec les activités des pêcheurs de façon à perturber leurs activités le moins possible.
- Il est important d'arrimer les travaux avec les activités des chasseurs de façon à perturber leurs activités le moins possible.
- Les risques en lien avec les pieds de moteurs et les ancres.

En 2007, les maires des municipalités de Baie-du-Febvre et Pierreville et de la ville de Nicolet remettaient une lettre au MDN pour leur indiquer leur satisfaction quant aux résultats obtenus depuis la création du Comité de concertation, et quant à la stratégie annoncée par le MDN, soit l'identification des zones à haut risque et l'enlèvement des UXO de ces zones. Cette lettre mettait également de l'emphasis sur le constat commun indiquant que la non-intervention dans ce dossier n'était pas une solution envisageable et que la cadence des travaux proposés ne devait pas être diminuée.

2.4 Ententes avec les communautés autochtones

Une entente concernant la pratique des activités de chasse et de piégeage à des fins alimentaires, rituelles ou sociales entre les Conseils des Abénakis de Wôlinak et d'Odanak et le Gouvernement du Québec a été signée en 2001. Un permis de pêche communautaire a également été délivré par le MFFP au Conseil de bande d'Odanak et au Conseil de bande de Wôlinak.

Le projet sera réalisé en prenant en considération cette entente et ce permis.

3. Description du milieu récepteur

3.1 Délimitation de la zone d'étude

La zone des travaux comprend trois aires distinctes délimitées comme suit :

- Aire des travaux n° 1 : ZPI et la zone d'intervention potentielle plus large établie autour de la ZPI. La zone d'intervention potentielle est une zone où le risque est moins élevé, mais où des interventions pourraient être requises. L'aire des travaux pourrait donc s'étendre jusqu'aux limites de cette zone.
- Aire des travaux n° 2 : Aire localisée entre l'OP-6 et le CEEM Nicolet au sein de laquelle se retrouvent les sentiers servant au transport des projectiles.
- Aire des travaux n° 3 : Chemin d'accès menant à l'OP-4, entre la route 132 et le CEEM Nicolet.

Les aires de travaux n°s 1 et 2 sont situées dans le lac Saint-Pierre, qui n'est pas une propriété du MDN, mais qui est de tenure publique. Les travaux de géophysique, d'identification, d'investigation et de détonation *in situ* seront réalisés dans l'aire des travaux n° 1. Le site du CEEM Nicolet, qui est la propriété du MDN, sera utilisé pour les travaux de détonation de tous les projectiles sécuritaires à déplacer. Par contre, le CEEM Nicolet est de juridiction fédérale et les activités ayant lieu à l'intérieur de ces limites ne sont pas incluses dans la portée de la présente étude d'impact sur l'environnement.

Afin d'incorporer tous les récepteurs pouvant être affectés par les activités du projet, la zone d'étude incorpore tout le lac Saint-Pierre, ainsi que les communautés riveraines de Pointe-du-Lac, Baie-du-Febvre et Nicolet ainsi que le CEEM Nicolet. Malgré la distance entre la zone des travaux et Pointe-du-Lac, cette communauté a été retenue à l'intérieur de la zone d'étude puisque les plaintes passées qui ont été faites lors de détonations dans un site ouvert sur la pointe de l'OP-6 provenaient de Pointe-du-Lac. Les localisations de la zone d'étude et des aires des travaux sont illustrées aux figures 1 et 2.

3.2 Description des milieux biophysique et humain

3.2.1 Milieu physique

3.2.1.1 Relief, drainage et zones sensibles à l'érosion et aux mouvements de terrain

Les aires des travaux n°s 1 et 2 se trouvent dans une grande étendue du lac Saint-Pierre qui est peu profonde et présente peu de variation topographique. La profondeur de l'aire augmente graduellement en direction du centre du lac. La végétation présente dans les marais et marécages riverains dans ce secteur a comme effet de réduire les processus d'érosion et le faible dénivelé limite les possibilités de mouvements de terrain.

3.2.1.2 Nature des sols et des dépôts de surface

La région du lac Saint-Pierre fait partie de l'unité physiographique des basses terres de la vallée du Saint-Laurent. Les rives du lac et la presque totalité des terres du MDN se composent d'alluvions



sablonneuses et vaseuses récentes d'origine fluviale, qui reposent sur des argiles de la mer de Champlain (Cusson et Latreille, 2003).

3.2.1.3 Lithologie

Le sous-sol dans la région du lac Saint-Pierre est formé de roches sédimentaires d'âge cambro-ordovicien. Le secteur contient des roches du groupe de Lorraine, constituées de *shale* gris, de grès et de calcaire, et des roches du groupe de Queenston, comprenant des *shales* rouges et verdâtres avec des entrelits de grès vert (Cusson et Latreille, 2003).

3.2.1.4 Réseau hydrographique

Les bassins hydrographiques se déversant dans le lac Saint-Pierre couvrent une superficie de 46 075 km². Le bassin hydrographique de la rive sud contribue à 91 % de l'apport d'eau (Cusson et Latreille, 2003).

Il y a 14 cours d'eau qui se déversent dans le lac, dont trois cours d'eau majeurs du côté sud du lac : la rivière Yamaska, la rivière Saint-François et la rivière Nicolet. Le lac est entouré par une plaine d'inondation de 180 km². Au moins 70 km² de prairies, zones arbustives, bois et terres cultivées sont inondés pendant la crue printanière (QETE, 2009).

La zone des travaux se retrouve entre la rivière Saint-François à l'ouest et la rivière Nicolet à l'est. Deux petits cours d'eau, la rivière des Frères et la rivière Brielle, traversent le CEEM Nicolet pour se jeter dans le lac Saint-Pierre près de l'aire des travaux n° 2. La rivière Brielle longe le chemin d'accès de l'OP-4 qui est utilisé pour accéder au site de détonation terrestre au CEEM Nicolet.

3.2.1.5 Régime hydrologique

Dans le fleuve Saint-Laurent, le phénomène de la marée commence à se faire sentir dans le lac Saint-Pierre et devient de plus en plus important vers l'aval. Au lac Saint-Pierre, l'amplitude de la marée varie de 10 à 40 cm (Les Consultants René Gervais et Procéan, 2007).

La fluctuation annuelle du niveau de l'eau est de l'ordre de 3 m avec un maximum durant la fonte printanière et un minimum à la fin de l'été (Les Consultants René Gervais et Procéan, 2007).

Le débit annuel moyen est de 10 900 m³/s à l'entrée du lac Saint-Pierre et 11 600 m³/s à sa sortie (Cusson et Latreille, 2003). La vitesse du courant est de 0,6 à 1 m/s dans le chenal de navigation du fleuve Saint-Laurent et inférieure à 0,3 m/s de part et d'autre de celui-ci (Sylvestre et coll., 1992). Généralement, le niveau d'eau au lac Saint-Pierre est relativement plus élevé au printemps par rapport aux autres périodes de l'année. Le lac Saint-Pierre est aussi très sensible à la formation d'embâcles en hiver.

3.2.1.6 Bathymétrie et conditions hydrauliques

La profondeur du lac Saint-Pierre est généralement inférieure à 3 m, à l'exception de la voie navigable où elle atteint environ 11 m (Cusson et Latreille, 2003). Dans la ZPI, la profondeur d'eau varie, selon les endroits, de 0 m à environ 1,35 m lorsque le niveau d'eau à la station lac Saint-Pierre (#15975 de Pêches et Océans Canada) est au zéro des cartes (Josée Potvin, CDC, comm. pers. janvier 2019). Considérant qu'en crue printanière le niveau d'eau de la station Lac Saint-Pierre

peut attendre 3,5 m au-dessus du zéro des cartes, les profondeurs d'eau de la ZPI peuvent alors atteindre jusqu'à 4,8 m selon l'endroit précis.

La figure 9 présente les cotes de récurrence des inondations dans le secteur immédiat de la zone des travaux. Les aires des travaux n^{os} 1 et 2 se retrouvent dans le milieu hydrique du lac Saint-Pierre, à l'exception d'une petite partie de la zone d'inondation de récurrence 0-2 ans à la pointe de l'OP-6 qui touche à l'aire des travaux n^o 1. En ce qui concerne l'aire des travaux n^o 3, elle se trouve en bonne partie dans la zone d'inondation de récurrence 2-20 ans, ce qui indique que le chemin d'accès à l'OP-4 est inondé lors des années de grandes crues.

3.2.1.7 Régime sédimentologique

Les tributaires majeurs de la rive sud du fleuve Saint-Laurent, tels que le Richelieu, la Yamaska et le Saint-François, apportent, en plus du fleuve lui-même, une grande quantité de sédiments en suspension et en charriage. Les sables transportés par ces rivières sont ensuite repris par l'écoulement principal du chenal du fleuve Saint-Laurent qui traverse le lac Saint-Pierre. La réduction de la vitesse de l'écoulement à l'aval des îles de Sorel se traduit par un dépôt de sable dans cette partie du lac.

Dans le secteur au sud de la voie navigable, où sont localisées les aires des travaux n^{os} 1 et 2, les sédiments de surface sont principalement composés de silt, d'argile et de sable à des proportions variables (QETE, 2009). Près de l'embouchure de la rivière Nicolet, la proportion de sable est la plus importante (>80 %).

3.2.1.8 Qualité des sédiments

La qualité des sédiments est évaluée en fonction des *Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application : prévention, dragage et restauration* (EC et MDDEP, 2007). Lorsque les teneurs excèdent la concentration d'effets occasionnels (CEO), la probabilité de mesurer des effets biologiques néfastes est relativement élevée, et elle augmente avec la concentration.

Le MDN a fait réaliser une étude de la qualité des sédiments et de l'eau de surface de la portion sud du lac Saint-Pierre (QETE, 2009) (annexe C). Au cours de cette étude, 25 échantillons d'eau de surface et 196 échantillons de sédiments ont été prélevés aux fins d'analyse, répartis sur l'ensemble de l'ancienne zone de tir CYR 606. Les échantillons ont été analysés pour en déterminer leur contenu en matériaux énergétiques, métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), pesticides, herbicides et/ou biphényles polychlorés (BPC).

Les teneurs en métaux dans les sédiments de surface (0-15 cm) de plusieurs secteurs au sud du lac Saint-Pierre sont supérieures à la CEO, incluant les métaux retrouvés dans le corps des projectiles (Cr, Cu, Ni) (Cusson et Latreille, 2003; QETE, 2009; Saint-Laurent et coll., 2010). Par contre, selon ces études, les échantillons présentant les concentrations les plus élevées en métaux seraient liés à la présence d'argile marine. Cusson et Latreille (2003) avaient conclu que « les activités de tir et la présence des projectiles dans les sédiments n'ont, au moment de l'étude, peu ou pas d'impacts sur la qualité chimique de ces derniers ni de répercussions sur les organismes qui y vivent. »

QETE (2009) a mesuré de faibles concentrations de matériaux énergétiques (HMX et RDX) dans certains sous-échantillons de quatre des 99 échantillons de sédiments de surface soumis à une analyse de matériaux énergétiques. Trois de ces échantillons avaient été prélevés à l'est de l'aire des travaux n° 1 et un à l'intérieur de la ZPI. Aucun matériel énergétique n'a été détecté dans les sédiments de profondeur (15-50 cm) (QETE, 2009). L'explosion de dizaines de milliers de projectiles entre 1952 et 1999 et la présence de milliers d'UXO ne semblent donc pas avoir conduit en une contamination notable des sédiments en matériaux énergétiques. Aucune norme ni aucun critère fédéral ou provincial n'existe pour le HMX ou le RDX dans les sédiments.

Des BPC et des HAP présentaient des dépassements de la CEO. Des HAP ont été détectés, mais seul un échantillon excédait la CEO (QETE, 2009). Cusson et Latreille (2003) indiquent que la répartition des valeurs détectées en BPC et HAP ne montre pas de relation entre l'exposition aux tirs et la contamination organique.

3.2.1.9 Régime des glaces

Le couvert de glace dans le secteur du lac Saint-Pierre est présent du début décembre à la mi-avril. L'épaisseur de glace peut atteindre 1 m (QETE, 2009).

La Garde côtière canadienne procède à des opérations pour briser les glaces au début du mois de mars. Les glaces affectent le régime sédimentologique par leurs effets mécaniques sur les berges et le fond (Cusson et Latreille, 2003).

3.2.1.10 Caractéristiques physico-chimiques de l'eau

La qualité des eaux du lac Saint-Pierre varie beaucoup d'un secteur à l'autre en raison des différentes masses d'eau qui s'y trouvent et puisque le lac Saint-Pierre est une zone à faible mélange. Les principales masses d'eau sont une masse d'eau provenant majoritairement de la rivière des Outaouais qui contribue en moyenne à 16 % du débit du fleuve à la hauteur de Sorel et une masse prenant source dans les Grands Lacs qui contribue en moyenne à 80 % du débit du fleuve à la hauteur de Sorel (Hébert et Belley, 2005). En plus de ces deux masses d'eau principales du fleuve, la zone des travaux est influencée par les masses d'eau des principaux tributaires de la rive sud en amont de cette zone, soit les rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François.

Tel que rapporté par Hébert (2010), les rejets non désinfectés de la région de Montréal, provenant des stations d'épuration des eaux usées de Montréal, de Longueuil et de Repentigny, compromettent les usages récréatifs sur une grande partie du fleuve, essentiellement dans la voie navigable et au nord immédiat de celui-ci. Cette contamination est perceptible jusque dans le lac Saint-Pierre, puis peu à peu la qualité s'améliore. Selon l'indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau compilé pour les différentes stations situées entre Montréal et la pointe ouest de l'île d'Orléans (Hébert, 2013), une détérioration de la qualité de l'eau était observée entre Varennes et Sorel toutefois, et une légère amélioration était visible au niveau du lac Saint-Pierre, bien que les eaux demeuraient dans la catégorie « douteuse » jusqu'au secteur de Bécancour, 30 km en aval de la ZPI.

QETE (2009) et Cusson et Latreille (2003) ont mesuré des dépassements en aluminium du critère pour la protection de la vie aquatique chronique (CVAC) du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) à tous les sites échantillonnés, tant en amont

hydraulique de la zone d'étude qu'en aval hydraulique. QETE (2009) a également observé des dépassements du CVAC pour l'argent, l'antimoine, le fer et le zinc à des stations dans la partie ouest du lac Saint-Pierre, incluant des stations à proximité de la zone des travaux. Il a été conclu que les dépassements étaient liés à des sources en amont dans le fleuve Saint-Laurent et la rivière Nicolet et non aux activités du CEEM Nicolet (QETE, 2009). Les matériaux énergétiques n'ont pas été détectés dans l'eau de surface (QETE, 2009).

3.2.1.11 Milieu sonore

L'aire des travaux n° 1 se situe à plus de 1,2 km des chalets les plus proches qui sont localisés en rive du lac, juste à l'ouest du CEEM Nicolet, tandis que la limite ouest de l'aire des travaux n° 2 se trouve à environ 200 m de ces mêmes chalets. Le niveau de bruit du site des travaux est généralement bas. Certaines des activités pratiquées par la population peuvent faire légèrement augmenter le niveau de bruit ambiant de façon temporaire, telles la chasse à la sauvagine (coups de feu), la pêche et la navigation (moteurs). Les tirs d'homologation réalisés au CEEM Nicolet (à environ 8 km à l'est de la zone des travaux) produisent des impacts ponctuels de bruit plus importants. Ces activités sont réalisées sous certificat d'autorisation du MELCC et les tirs doivent respecter des limites de bruit. La somme de l'énergie produite par les tirs, une fois transformée en décibels (dB), ne doit pas dépasser 48 dB par période de 4 heures à Pointe-du-Lac. De plus, le MDN applique une limite de 55 dB sur 4 heures au sonomètre de Nicolet.

Le niveau de bruit à l'aire des travaux n° 3 est affecté par la présence de la route 132 et de la circulation routière qui y est associée. Le chemin d'accès traversant l'aire des travaux n° 3 fait également l'objet d'une utilisation relativement faible par des véhicules accédant au CEEM. L'accès au chemin est restreint aux personnes autorisées et contrôlé par une barrière cadénassée.

3.2.2 Milieu biologique

3.2.2.1 Végétation

La partie la moins profonde de l'aire des travaux n° 1, qui se trouve entièrement dans le milieu hydrique du lac Saint-Pierre, est recouverte d'un marais de végétation émergente dominé par le scirpe fluviatile (*Bolboschoenus fluviatilis*) (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2007). La prochaine portion plus au large de l'aire des travaux n° 1 contient des marais profonds caractérisés par la présence du scirpe aigu (*Schoenoplectus lacustris*) (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005).

La partie la plus profonde de l'aire des travaux n° 1 contient des herbiers de végétation submergée. Les herbiers aquatiques submergés riverains et d'eaux libres du lac Saint-Pierre sont caractérisés par trois groupements végétaux distincts (Fortin et coll., 1993, cité dans René Gervais Groupe Conseil et Procean 2005). Le premier groupement est dominé par le potamogeton de Richardson (*Potamogeton richardsonii*) et couvre une superficie de 53 km² s'étalant jusqu'à des profondeurs de 1,5 m. Cette espèce semble importante dans les endroits à courants moins forts et substrats moins durs. Elle forme des herbiers denses à très denses dans les secteurs nord-est et sud-ouest du milieu lacustre du lac (Saint-Cyr et coll., 1992, cité dans René Gervais Groupe Conseil et Procean 2005). La vallisnérie américaine (*Vallisneria americana*) est prédominante dans le lac Saint-Pierre et caractérise le deuxième groupement végétal. Ce dernier couvre une surface de



113 km² et occupe des profondeurs variant entre 1 et 4,5 m. La vallisnérie peut être trouvée de chaque côté de la voie navigable et le long des chenaux nord et sud où les courants sont forts et le substrat dur. Elle est parfois accompagnée d'espèces secondaires, tels le potamot ou la nitella (*Nitella* sp.) (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005).

Le troisième groupement est dominé par la macrophyte (*Nitella* sp.). Ce type de groupement est cependant plus rare. Quelques unités sont situées à l'est des îles de Berthier-Sorel, ou encore dans les dépressions qui longent le chenal de navigation du fleuve Saint-Laurent et qui comportent des tapis de vallisnérie de densité plus faible (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005).

L'aire des travaux n° 2 hors propriété fédérale est caractérisée par un marais de végétation émergente semblable à celui des parties moins profondes de l'aire de travaux n° 1 et qui peut se trouver à sec lors de l'étiage. La portion du sentier de transport des projectiles vers le site de détonation terrestre qui se trouve à l'intérieur de la propriété de juridiction fédérale du CEEM Nicolet est caractérisée par des prairies humides et des marécages boisés.

Les habitats retrouvés à proximité de l'aire des travaux n° 2, soit entre l'OP-6 et l'OP-4, sont des prairies humides à phalaris roseau, des prairies humides à scirpe fluviatile, des prairies humides à phalaris roseau avec bosquets, une prairie à asclépiade commune, des prairies humides à calamagrostide du Canada, des prairies humides à carex lacustre, des marais à carex lacustre avec bosquets de saules, des marais à quenouilles, des marécages à frênes rouges, des marécages à saules, des marécages à aulnes rugueux, des marécages à peupliers faux-trembles et des marécages à érables rouges (GHD, 2018).

Les secteurs du CEEM entre l'OP-4 et le secteur administratif sont également presque entièrement recouverts de milieux humides. Globalement, les herbiers aquatiques, milieux humides, marais, marécages et prairies humides présents dans les aires des travaux n°s 1 et 2, ainsi que sur la majorité du territoire du CEEM de Nicolet forment donc une mosaïque de milieux humides naturels continue couvrant une grande superficie et qui ont tous une valeur écologique importante puisque cette valeur est amplifiée du fait qu'ils sont tous adjacents et interconnectés (GHD, 2018).

Les herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre ont subi une détérioration importante depuis les années 1950. Cette détérioration serait liée à divers facteurs, dont l'intensification des activités anthropiques, comme l'agriculture intensive, le rejet des eaux usées municipales, l'artificialisation des rives, les empiètements dans la plaine inondable, le transport maritime, le dépôt des sédiments dragués, l'opération de ports et la régularisation du débit, la perte de connectivité entre le lac et la zone littorale et l'implantation d'espèces exotiques (De la Chenelière et coll., 2014; Mingelbier et coll., 2016). Notamment, la modification des pratiques agricoles et l'expansion de cette activité dans certains milieux naturels ont causé la perte d'environ 5 000 ha de milieux hydriques pouvant servir à la reproduction de la perchaude dans la zone littorale du lac (Magnan et coll., 2017).

Une caractérisation plus détaillée de la végétation aquatique émergente et submergée des aires des travaux n°s 1 et 2 est prévue à l'été 2019. Le protocole de caractérisation sera préparé en collaboration avec le MFFP et le MELCC.

L'aire des travaux n° 3 est constituée d'un chemin de gravier traversant des champs agricoles. Cette aire possède peu de couvert végétal. Les champs agricoles à proximité du CEEM sont principalement utilisés pour la culture de maïs.

3.2.2.1.1 *Peuplements fragiles ou exceptionnels*

Le lac Saint-Pierre représente la plus grande étendue de marais et marécages de tout le Saint-Laurent (Gouvernement du Québec, 2013). Il a d'ailleurs été désigné site Ramsar en 1998 et est ainsi reconnu comme un milieu humide d'importance internationale (Gouvernement du Québec, 2013). En 2000, le CEEM Nicolet a été considéré comme zone protégée du patrimoine naturel international et reconnue comme Réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO.

La présence de vastes marécages en bordure des marais riverains retrouvés dans les aires de travaux n^{os} 1 et 2 crée une grande hétérogénéité de l'habitat qui contribue à soutenir un plus grand nombre d'espèces (Environnement Canada, 2013).

En plus de fournir un habitat pour plusieurs espèces fauniques et floristiques, ces milieux humides offrent une protection contre les inondations pour la région du lac Saint-Pierre ainsi que les régions en aval de celui-ci le long du fleuve Saint-Laurent. De plus, en filtrant les eaux arrivant de l'amont, les milieux humides peuvent également jouer un rôle important dans l'épuration de l'eau en ralentissant l'écoulement, ce qui laisse les particules se déposer, et en filtrant l'eau qui traverse le sol et les herbiers. Cependant, cette fonction est affaiblie au CEEM Nicolet par le fait que les rivières traversant le site ont été canalisées. En période d'étiage, l'eau des rivières traverse donc le site en empruntant les canalisations, sans s'infiltrer dans les milieux humides.

3.2.2.1.2 *Espèces menacées ou vulnérables*

3.2.2.1.2.1 *Consultation du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ)*

Les seules espèces floristiques rapportées par le CDPNQ dans un rayon de 8 km ou moins du CEEM Nicolet et qui sont protégées par la LEP ou la LEMV sont présentées au Tableau 3.1. Ces espèces n'ont aucun potentiel de présence dans les marais à scirpe et herbiers aquatiques retrouvés dans les aires des travaux n^{os} 1 et 2.

Tableau 3.1 *Espèces floristiques protégées par la LEP ou la LEMV rapportées par le CDPNQ*

Espèce	Nom scientifique	Statut LEP (annexe)	Statut LEMV
Ail des bois (colonie historique, maintenant extirpée)	<i>Allium tricoccum</i>	-	vulnérable
Arisème dragon	<i>Arisaema dracontium</i>	préoccupante (3)	menacée
Goodyérie pubescente	<i>Goodyera pubescens</i>	-	vulnérable
Aster à feuilles de lin	<i>Ionactis linariifolia</i>	-	vulnérable
Noyer cendré	<i>Juglans cinerea</i>	en voie de disparition (1)	susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable

Les autres espèces floristiques rapportées par le CDPNQ sont des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables et qui n'ont pas de statut fédéral : ail du Canada (*Allium canadense* var. *canadense*), amélanchier gracieux (*Amelanchier amabilis*), bartonie de Virginie

(*Bartonia virginica*), bident d'Eaton (*Bidens eatonii*), arabette lisse (*Borodinia laevigata*), carex folliculé (*Carex folliculata*), caryer ovale (*Carya ovata* var. *ovata*), souchet de Houghton (*Cyperus houghtonii*), cyripède royal (*Cypripedium reginae*), gratiole dorée (*Gratiola aurea*), iris de Shreve (*Iris virginica* var. *shrevei*), lycoper de Virginie (*Lycopus virginicus*), lysimaque hybride (*Lysimachia hybrida*), peltandre de Virginie (*Peltandra virginica*), renouée à feuilles d'arum (*Persicaria arifolia*), platanthère petite-herbe (*Platanthera flava* var. *herbiola*), renoncule à éventails (*Ranunculus flabellaris*), scirpe à soies inégales (*Schoenoplectus heterochaetus*) et wolffie boréale (*Wolffia borealis*).

Parmi ces dernières, seules les espèces suivantes sont susceptibles d'être présentes dans les marais à scirpe et herbiers aquatiques visés par le projet : bident d'Eaton, gratiole dorée, lysimaque hybride, scirpe à soies inégales et wolffie boréale.

3.2.2.1.2.2 **Espèces répertoriées lors des inventaires réalisés au CEEM Nicolet**

En 2017, GHD a réalisé des inventaires floristiques sur l'ensemble du territoire du CEEM qui ont mis l'accent sur la recherche des espèces à statut particulier en fonction de la LEP et de la LEMV. Les résultats de ces travaux ainsi que les efforts de recherche réalisés sont présentés dans le rapport d'*Inventaires des terres humides et mise à jour des données d'inventaires fauniques et floristiques au Centre d'essais et d'expérimentation des munitions (CEEM) de Nicolet* (GHD, 2018). Les inventaires de 2017 ne couvraient toutefois pas les milieux humides et hydriques touchés par les activités visées par la présente étude d'impact sur l'environnement.

Les observations d'espèces floristiques à statut particulier dans la portion ouest du CEEM Nicolet, entre l'aire des travaux n° 2 et l'aire des travaux n° 3, sont illustrées à la figure 5. Les espèces floristiques à statut particulier recensées dans cette portion du territoire en 2017, soit l'arisème dragon et le lis du Canada (*Lilium canadense*), une espèce vulnérable à la récolte selon la LEMV, n'ont aucun potentiel de présence dans la zone des travaux.

Les deux autres espèces floristiques à statut particulier répertoriées au CEEM Nicolet en 2017, soit le noyer cendré et la matteuccie fougère-à-l'autruche (*Matteuccia struthiopteris*), une espèce vulnérable à la récolte selon la LEMV, n'ont aucun potentiel non plus dans ces habitats.

Lors de la caractérisation plus détaillée de la végétation aquatique émergente et submergée des aires des travaux n°s 1 et 2 prévue pour l'été 2019, toute observation d'espèces menacées ou vulnérables sera notée et cartographiée.

3.2.2.1.3 **Espèces exotiques envahissantes floristiques**

En 2017, GHD a réalisé des inventaires d'espèces exotiques envahissantes floristiques sur l'ensemble du territoire du CEEM. Les résultats de ces travaux ainsi que les efforts de recherche réalisés sont présentés dans le rapport d'*Inventaires des espèces exotiques envahissantes prioritaires au Centre d'essais et d'expérimentation des munitions (CEEM) de Nicolet* (GHD, 2017). Neuf espèces végétales exotiques envahissantes ont été répertoriées sur le site du CEEM au cours des travaux réalisés en 2017. Ces espèces sont, par ordre décroissant d'abondance : le phalaris roseau (*Phalaris arundinacea*), la salicaire pourpre (*Lythrum salicaria*), l'hydrocharide grenouillette (*Hydrocharis morsus-ranae*), le butome à ombelle (*Butomus umbellatus*), le roseau commun

(*Phragmites australis*), le chèvrefeuille de Morrow (*Lonicera morrowii*), l'alliaire officinale (*AGllaria petiolata*), l'épinette de Norvège (*Picea abies*) et le myriophylle à épis (*Myriophyllum spicatum*).

Les observations de ces espèces dans la portion ouest du CEEM Nicolet, entre l'aire des travaux n° 2 et l'aire des travaux n° 3, sont illustrées à la figure 6. Une mention d'occurrence peut compter plusieurs individus.

Parmi les espèces observées en 2017, le phalaris roseau, la salicaire pourpre, l'hydrocharide grenouillette, le butome à ombelle et le myriophylle à épis sont susceptibles d'être présentes dans les marais à scirpe et herbiers aquatiques visés par le projet à l'étude. En effet, la présence de grandes aires dominées par le phalaris roseau en bordure des aires des travaux n°s 2 et 3 indique qu'il y a une forte chance de retrouver cette espèce dans ces deux aires. Des mentions de salicaire pourpre, d'hydrocharide grenouillette et de butome à ombelle sont présentes à moins de 250 m de l'aire des travaux n° 2. De plus, une forte concentration de myriophylle à épis serait d'ailleurs présente dans une zone d'environ 2 km² au large de la pointe aux Pois (Amyot, 2002 cité dans Lalonde et coll., 2003) soit près de l'embouchure de la rivière Lemire. Ceci correspond à la partie est de l'aire des travaux n° 1.

Bien qu'elle n'ait pas été observée lors des inventaires de GHD (2017), la châtaigne d'eau (*Trapa natans*) est également susceptible d'être présente dans ces habitats. En effet, cette espèce retrouvée dans les eaux peu profondes a été répertoriée en 2015, à environ 11 km au sud-est du territoire du CEEM, dans la rivière Saint-François en face de l'île Saint-Joseph (MDDELCC, 2014).

Lors de la caractérisation plus détaillée de la végétation aquatique émergente et submergée des aires des travaux n°s 1 et 2 prévue pour l'été 2019, toute observation d'espèces exotiques envahissantes sera notée et cartographiée.

3.2.2.2 Faune

3.2.2.2.1 Oiseaux

La plaine de débordement du lac Saint-Pierre constitue la plus importante halte migratoire pour la sauvagine au Québec. Au sommet de la migration printanière, qui a lieu du début d'avril jusqu'à la mi-mai, la sauvagine comprend quelques 100 000 oies blanches, de 50 000 à 70 000 bernaches du Canada (*Branta canadensis*) et 15 000 canards barboteurs (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2007). En effet, la majorité de l'aire des travaux n° 1 et toute l'aire des travaux n° 2 se retrouvent à l'intérieur d'aires de concentration d'oiseaux aquatiques (voir figure 8).

En 2017, GHD a réalisé des inventaires fauniques et floristiques sur l'ensemble du territoire du CEEM (GHD, 2018). Au cours de ces inventaires, différentes espèces d'oiseaux aquatiques et riverains ont été observées dans la portion ouest du territoire du CEEM au large de laquelle se situent les aires de travaux n°s 1 et 2. Les observations réalisées près de l'OP-6 incluent : le butor d'Amérique (*Botaurus lentiginosus*), le grèbe à bec bigarré (*Podilymbus podiceps*), la gallinule poule d'eau (*Gallinula chloropus*), le grand héron (*Ardea herodias*) et des canards. Près de l'embouchure de la rivière Brielle (à 1,5 km de l'aire des travaux n° 1 et en bordure de l'aire des travaux n° 2), les espèces suivantes ont été observées : le butor d'Amérique, le grand héron, le grèbe à bec bigarré, le canard chipeau (*Anas strepera*), la gallinule poule d'eau et le martin-pêcheur d'Amérique (*Megaceryle alcyon*). Finalement, le long de la rivière Brielle, près de l'aire des travaux n° 3, des

observations ont été notées pour le petit blongios (*Ixobrychus exilis*), la bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), le canard souchet (*Anas clypeata*), le grand héron, le grèbe à bec bigarré, la guifette noire (*Chlidonias niger*), le butor d'Amérique et le martin-pêcheur.

De plus, le pluvier kildir, une espèce qui niche au sol dans des milieux ouverts et qui peut nicher sur des chemins de terre ou de gravier, a été observé à partir de stations d'observation placées sur le chemin d'accès de l'OP-4 (aire des travaux n° 3) (GHD, 2018).

3.2.2.2 Poissons

Selon Langlois et coll. (1992, cité dans René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005), quelque 80 espèces de poissons sont présentes dans le lac Saint-Pierre, dont 22 utilisent la plaine inondable. Lors des crues printanières, la plaine inondable est un site important de fraie et d'alevinage pour de nombreuses espèces de poissons, tels la perchaude et le grand brochet. Le Tableau 3.2 énumère les espèces présentes dans le lac Saint-Pierre et ses affluents, selon le MELCC (MDDELCC, 2018d).

Tableau 3.2 Espèces de poissons présentes dans le lac Saint-Pierre

Nom français*	Nom scientifique	Nom français*	Nom scientifique
Achigan à grande bouche	<i>Micropterus salmoides</i>	Laquaiche argentée	<i>Hiodon tergisus</i>
Achigan à petite bouche	<i>Micropterus dolomieu</i>	Lépisosté osseux	<i>Lepisosteus osseus</i>
Alose à gésier	<i>Dorosoma cepedianum</i>	Lotte	<i>Lota lota</i>
<u>Alose savoureuse*</u> (vulnérable)	<i>Alosa sapidissima</i>	Malachigan	<i>Aplodinotus grunniens</i>
Barbotte brune	<i>Ameiurus nebulosus</i>	Marigane noire	<i>Pomoxis nigromaculatus</i>
Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>	Maskinongé	<i>Esox masquinongy</i>
Baret	<i>Morone americana</i>	Méné à grosse tête	<i>Pimephales promelas</i>
Bar rayé (Annexe 1 – disparu)	<i>Morone saxatilis</i>	Méné à menton noir	<i>Notropis heterodon</i>
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>	Méné à museau arrondi	<i>Pimephales notatus</i>
Chat-fou brun	<i>Noturus gyrinus</i>	Méné à museau noir	<i>Notropis heterolepis</i>
Chevalier cuivré (Annexe 1 – En voie de disparition) (menacé)	<i>Moxostoma hubbsi</i>	Méné à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>
Chevalier blanc	<i>Moxostoma anisurum</i>	Méné à tête rose	<i>Notropis rubellus</i>
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>	Méné bleu	<i>Cyprinella spiloptera</i>
Couette	<i>Carpionides cyprinus</i>	Méné d'argent	<i>Hybognathus regius</i>

Tableau 3.2 Espèces de poissons présentes dans le lac Saint-Pierre

Nom français*	Nom scientifique	Nom français*	Nom scientifique
Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>	<u>Méné d'herbe</u> (Annexe 1- préoccupante) (vulnérable)	<i>Notropis bifrenatus</i>
Crapet-soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>
Crayon-d'argent	<i>Labidesthes sicculus</i>	Méné jaune	<i>Notemigonus crysoleucas</i>
Dard à ventre jaune	<i>Etheostoma exile</i>	Méné paille	<i>Notropis stramineus</i>
<u>Dard de sable</u> (Annexe 1 - menacée) (menacé)	<i>Ammocrypta pellucida</i>	Méné pâle	<i>Notropis volucellus</i>
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>	Meunier noir	<i>Catostomus commersonii</i>
Doré noir	<i>Stizostedion canadense</i>	Meunier rouge	<i>Catostomus catostomu</i>
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>	Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>	Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>
Fondule barré	<i>Fundulus diaphanus</i>	Ouitouche	<i>Semotilus corporalis</i>
<u>Fouille-roche gris</u> (Annexe 1- menacée) (vulnérable)	<i>Percina copelandi</i>	Perchaude	<i>Perca flavescens</i>
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes</i>	Poisson-castor	<i>Amia calva</i>
Gaspareau	<i>Alosa pseudoharengus</i>	Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmstedii</i>
Gobie à taches noires	<i>Neogobius melanostomus</i>	Raseux-de-terre noir	<i>Etheostoma nigrum</i>
Grand brochet	<i>Esox lucius</i>	Saumon chinook	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>
Grand corégone	<i>Coregonus clupeaformis</i>	Umbre de vase	<i>Umbra limi</i>
Lamproie argentée	<i>Ichthyomyzon unicuspis</i>		

Source : MDDELCC, 2018d et Registre public des espèces en péril

* Les espèces en **gris** sont protégées par la LEP du Canada et les espèces soulignées sont protégées par la LEMV du Québec

Par ailleurs, des pêches ont été effectuées par le MFFP et autres collaborateurs à proximité du secteur où sont projetés les travaux dans le lac Saint-Pierre. Le Tableau 3.3 rapporte la liste d'espèces capturées lors de ces pêches (courriel de Émilie Paquin [MFFP] à Josée Gagnon [CDC], octobre 2018, FW : 20181003_reponse_infos_Enlevement UXO lac Saint-Pierre).

Tableau 3.3 Espèces pêchées par le MFFP dans le lac Saint-Pierre

Espèce			
Achigan à grande bouche	Dard de sable³	Marigane noire	Méné jaune
Anguille d'Amérique¹	Doré jaune	Maskinongé	Méné paille
Barbotte brune	Doré noir	Méné à menton noir	Méné pâle
Baret	Esturgeon jaune¹	Méné à museau arrondi	Meunier ventre rouge
Brochet d'Amérique	Fondule barré	Méné à museau noir	Meunier noir
Carpe	Fouille-roche gris²	Méné à nageoires rouges	Omisco
Chat-fou brun	Fouille-roche zébré	Méné à tache noire	Perchaude⁵
Chevalier blanc	Gaspereau	Méné à tête rose¹	Poisson-castor
Chevalier rouge	Gobie à taches noires⁴	Méné bleu	Raseux-de-terre noir
Crapet de roche	Grand brochet⁶	Méné d'argent	Raseux-de-terre gris
Crapet-soleil	Lamproie argentée	Méné d'herbe²	Tanche⁴
Crayon-d'argent	Laquaiche argentée	Méné émeraude	Umbre de vase
Dard à ventre jaune			

Source : MFFP, 2018i.

¹ Espèce **susceptible** d'être désignée comme menacée ou vulnérable en vertu de la LEMV du Québec.

² Espèce **vulnérable** en vertu de la LEMV du Québec.

³ Espèce **menacée** en vertu de la LEMV du Québec.

⁴ **Espèce exotique envahissante.**

⁵ **Moratoire** interdisant la pêche commerciale et sportive à cette espèce depuis 2012 dans le lac Saint-Pierre.

⁶ L'état de santé du stock de grand brochet du lac Saint-Pierre est considéré **en déclin** potentiellement en raison de la perte et de la dégradation des herbiers aquatiques.

Dans ce même courriel (MFFP, 2018i), le MFFP mentionne que la zone d'intervention potentielle est susceptible d'être utilisée comme site de frai (reproduction) par plusieurs espèces de poissons et principalement par les trois espèces d'intérêt sportif suivantes : perchaude, grand brochet et maskinongé. De la Chenelière et coll. (2014) identifie un habitat propice à la reproduction de la perchaude couvrant l'aire des travaux n° 2 et une petite partie du sud de l'aire des travaux n° 1.

De plus, la zone d'intervention potentielle ainsi que les habitats peu profonds qui l'entourent contiennent des zones d'alevinage confirmées pour les espèces suivantes : achigan à grande bouche, barbotte brune, crapet-soleil, doré jaune (*Sander vitreus*), grand brochet, marigane noire, méné d'argent, méné jaune, perchaude et tanche (*Tinca tinca*) (MFFP, 2018i).

Dans le secteur ouest du CEEM, des pêches ont été réalisées dans la rivière des Frères et dans la rivière Brielle en 2017 (GHD, 2018), deux rivières qui se déversent dans l'aire des travaux n° 2. Les espèces suivantes ont été observées dans la rivière des Frères : achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*), carpe commune (*Cyprinus carpio*), crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), méné à museau noir (*Notropis heterolepis*), méné à tache noire (*Notropis hudsonius*), méné émeraude (*Notropis atherinoides*), méné jaune (*Notemigonus crysoleucas*), tanche (*Tinca tinca*) et ombre de vase (*Umbra limi*). Au niveau de la rivière Brielle, les pêches ont rapporté la présence de la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*), la carpe commune, le crapet-soleil, le doré jaune (*Sander vitreus*), le

grand brochet (*Esox lucius*), le méné à museau noir, le méné à nageoires rouges (*Luxilus cornutus*), le méné à tache noire, le méné d'argent (*Hybognathus regius*), le méné émeraude, le méné ventre rouge (*Phoxinus eos*), le meunier noir (*Catostomus commersonii*), la perchaude (*Perca flavescens*) et l'ombre de vase.

La caractérisation plus détaillée de la végétation aquatique émergente et submergée des aires des travaux n^{os} 1 et 2 prévue pour l'été 2019 permettra d'identifier les zones ayant des caractéristiques propices à la reproduction des poissons.

3.2.2.2.3 Organismes benthiques

Savage et coll. (2013) ont montré que l'écosystème du lac Saint-Pierre abrite une faune benthique diversifiée et abondante comptant plus de 60 familles. Toutefois, un peu plus de 75 % des organismes se classent dans les cinq mêmes familles, soit les crustacés amphipodes (*Gammaridea*), les vers aquatiques (*Oligochaeta*), les larves de moucheron (*Chironomidea*), les crustacés isopodes (*Asellidae*) et les larves d'éphémères (*Caenidae*).

Les tubificidés, une famille d'oligochètes indicatrice d'un milieu dégradé, ont une densité qui peut atteindre 540 680 individus/m² (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005). Malgré leur abondance, les oligochètes représentent une faible portion de la biomasse totale du lac Saint-Pierre par rapport aux mollusques, dont la biomasse est importante jusqu'en juin, et par rapport aux insectes et crustacés plus tard dans la saison (René Gervais Groupe Conseil et Procean, 2005).

Les taxons dominants sur la rive sud du lac sont généralement les mollusques (*Sphaerium* sp., *Pisidium* sp. et *Bithynia tentaculata*) ainsi que les oligochètes tubificidés (Langlois et coll., 1992). À la station juste au large de la pointe de l'OP-6, près des aires des travaux n^{os} 1 et 2, la diversité benthique est relativement élevée avec un indice de 3,41 par rapport à une moyenne de 2,05 pour les stations de la rive sud du lac Saint-Pierre (Langlois et coll., 1992). Ceci est une indication que les aires des travaux ne sont pas dans un milieu dégradé.

Genovese (2015) a observé une plus grande richesse spécifique de mollusques sur la rive sud que sur la rive nord. De plus, cette étude a démontré un lien entre la dégradation de la qualité de l'eau dans le panache des rivières tributaires et la composition des communautés de mollusques. Les bivalves les plus fréquemment observés (70 % et plus des stations d'échantillonnage) étaient *Sphaerium* sp., *Pisidium* sp. et *Elliptio complanata* (Genovese, 2015).

Cusson et Latreille (2003) ont comparé les communautés benthiques dans une zone exposée aux activités du CEEM Nicolet (zone d'impact), localisée près du secteur administratif du CEEM et donc en aval de la zone des travaux, à ceux dans une zone de référence placée à environ 10 km en amont de la zone des travaux. Dans les deux zones, les arthropodes dominaient, suivis par les annélides et les mollusques. Malgré certaines différences entre les communautés des deux zones, la communauté de la zone d'impact n'apparaissait pas plus perturbée que celle de la zone de comparaison et les différences semblaient être liées à des différences dans le type de substrat (Cusson et Latreille, 2003).

Les inventaires réalisés au CEEM Nicolet et 2017 ne visaient pas la faune benthique, mais une écrevisse a été observée lors des inventaires des poissons dans la rivière Brielle (GHD, 2018).

3.2.2.2.4 Amphibiens

Des amphibiens ont également été répertoriés dans la partie ouest du CEEM Nicolet, à proximité de la zone des travaux, au cours des inventaires de 2017 (GHD, 2018). Dans le secteur OP-6, à proximité des aires des travaux n^{os} 1 et 2, les espèces rapportées incluent le crapaud d'Amérique (*Anaxyrus americanus*), la grenouille verte (*Lithobates clamitans*), la rainette versicolore (*Dryophytes versicolor*) et le ouaouaron (*Lithobates catesbeianus*). Près de l'embouchure de la rivière Brielle, soit en bordure de l'aire des travaux n^o 2, le crapaud d'Amérique, la grenouille verte, le ouaouaron, la rainette versicolore et la grenouille léopard (*Lithobates pipiens*) ont été notés. Ces mêmes espèces ont été rapportées le long de la rivière Brielle, qui longe l'aire des travaux n^o 3.

Par ailleurs, quatre espèces de salamandres ont été observées dans le secteur administratif du CEEM Nicolet et de l'île Moras (à l'extrémité est du CEEM, voir figure 1) : la salamandre cendrée (*Plethodon cinereus*), le triton vert (*Notophthalmus viridescens viridescens*), la salamandre à points bleus (*Ambystoma laterale*) et la salamandre maculée (*Ambystoma maculatum*). Aucune salamandre n'a été notée dans les marécages des secteurs ouest du CEEM.

3.2.2.2.5 Reptiles

Parmi les reptiles observés sur le site du CEEM en 2017 (GHD, 2018), la couleuvre rayée (*Thamnophis sirtalis*) est très commune et utilise une grande variété d'habitats. En effet, elle a été observée dans les prairies humides, les forêts de feuillus secs, les friches et les marécages. À l'exception d'une mention dans le secteur de l'OP-6 (GHD, 2018), toutes les observations notées étaient dans le secteur administratif du CEEM Nicolet ou sur l'île Moras. Cependant, les activités d'inventaires en 2017 étaient plutôt concentrées dans le secteur administratif et à l'île Moras à cause des conditions d'inondation dans les secteurs à l'ouest.

Un grand nombre de tortues peintes (*Chrysemys picta*) a été observé dans les fossés du secteur administratif lors des inventaires de 2017 (GHD, 2018). Cette espèce a également été observée sur les rives de l'île Moras, ainsi que sur la route longeant la rivière Brielle à la limite de l'aire des travaux n^o 3. Cette espèce est très commune au Québec. La présence ainsi que la reproduction de la tortue serpentine (*Chelydra serpentina serpentina*) ont été confirmées dans le passé à proximité des fossés du secteur administratif (CDC, 2012, cité dans GHD, 2018), mais l'espèce n'a pas été observée en 2017. La tortue peinte et la tortue serpentine fréquentent une grande variété de milieux aquatiques (AARQ, 2018) et font partie des espèces associées au lac Saint-Pierre (Gouvernement du Québec, 2013). Elles pourraient se retrouver dans les marais à scirpe et herbiers aquatiques visés par le projet. En effet, la tortue serpentine vit notamment dans les zones peu profondes des lacs et la tortue peinte s'observe notamment dans les étangs peu profonds et les petites baies tranquilles (AARQ, 2018).

3.2.2.2.6 Mammifères

Dans le cadre des inventaires de 2017 (GHD, 2018), bien que les observations aient été concentrées dans le secteur administratif du CEEM de Nicolet, à titre informel, ces dernières sont tout de même rapportées dans la présente étude d'impact sur l'environnement.

Six espèces de micromammifères terrestres ont été capturées dans les pièges placés sur le site : grande musaraigne (*Blarina brevicauda*), musaraigne cendrée (*Sorex cinereus*), campagnol des

prés (*Microtus pennsylvaticus*), campagnol à dos roux de Gapper (*Myodes gapperi*), souris sauteuse des champs (*Zapus hudsonius*) et souris du genre *Peromyscus*.

Des renards roux (*Vulpes vulpes*) ont été observés dans le secteur administratif ainsi que des cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur l'ensemble de la propriété. Des loutres de rivière (*Lontra canadensis*) ont été observées en bordure de l'aire des travaux n° 2, juste au large de la rive du lac Saint-Pierre. De plus, la présence de castors (*Castor canadensis*) a été notée dans un marécage arbustif à myrique baumier entre la rivière Lemire et le ruisseau David-Houle.

Huit espèces de chauves-souris ont été détectées sur le site : chauve-souris cendrée (*Lasiurus cinereus*), chauve-souris argentée (*Lasionycteris noctivagans*), chauve-souris rousse (*Lasiurus borealis*), sérotine brune (*Eptesicus fuscus*), petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*), vespertilion nordique (*Myotis septentrionalis*), vespertilion pygmée de l'Est (*Myotis leibii*) et pipistrelle de l'Est (*Perimyotis subflavus*).

Les aires des travaux n°s 1 et 2 recoupent un habitat de rat musqué (*Ondatra zibethicus*) désigné (voir section 3.2.3.3.6). Cette espèce fréquente les marécages, les étangs, les rivières, les ruisseaux et les lacs (Prescott et Richard, 1996) et est donc susceptible de fréquenter ces aires de travaux. Puisqu'il construit ses terriers en rive (Prescott et Richard, 1996), il est plus probable que ceux-ci se trouvent sur le terrain du CEEM Nicolet ou dans les parties moins profondes du marais. Lors de la caractérisation plus détaillée de la végétation aquatique émergente et submergée des aires des travaux n°s 1 et 2 prévue pour l'été 2019, les signes d'occupation de ces habitats par le rat musqué, telle la présence de huttes, seront notés et cartographiés.

3.2.2.2.7 Espèces menacées ou vulnérables

3.2.2.2.7.1 Consultation du CDPNQ

Les espèces fauniques rapportées par le CDPNQ, à la suite d'une demande d'information visant la zone d'intervention potentielle, sont indiquées au Tableau 3.4.

Tableau 3.4 Espèces fauniques rapportées par le CDPNQ

Espèce	Nom scientifique	Statut LEP (annexe)	Statut LEMV
Dard de sable	<i>Ammocrypta pellucida</i>	menacée (1)	menacée
Chevalier cuivré	<i>Moxostoma hubbsi</i>	en voie de disparition (1)	menacée
Mené d'herbe	<i>Notropis bifrenatus</i>	préoccupante (1)	vulnérable
Fouille-roche gris	<i>Percina copelandi</i>	menacée (1)	vulnérable
Hibou des marais	<i>Asio flammeus</i>	préoccupante (1)	susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable
Petit blongios	<i>Ixobrychus exilis</i>	menacée (1)	vulnérable

Plusieurs de ces espèces seraient susceptibles de fréquenter les marais à scirpe et herbiers aquatiques des aires de travaux n°s 1 et 2. Le chevalier cuivré, le mené d'herbe et le fouille-roche gris sont des espèces recensées dans le lac Saint-Pierre qui pourraient utiliser ces habitats. Le CDPNQ rapporte des mentions de ces espèces dans les aires de travaux n°s 1 et 2 (figure 10). En

effet, le chevalier cuirré fréquente les herbiers aquatiques submergés, autant dans ses jeunes stades de vie que dans sa vie d'adulte, afin de s'alimenter des mollusques qui y sont associés (MFFP, 2018a). Pour sa part, le méné d'herbe vit dans les zones calmes des ruisseaux et parfois dans les lacs avec présence d'une végétation aquatique submergée abondante (MFFP, 2017). Le fouille-roche gris favorise les vitesses de courant modérées, les eaux de moins de 60 cm de profondeur et les substrats grossiers composés de galets en association avec d'autres types de matériaux (MFFP, 2010a).

Le petit blongios est également une espèce susceptible de se retrouver dans les habitats visés et il y a une mention dans la base de données du CDPNQ pour cette espèce à l'OP-6 (figure 10). Toutefois, selon le suivi des habitats riverains du lac Saint-Pierre en 2004 et 2005, le potentiel de ces rives pour la nidification du petit blongios était nul, car les hauts niveaux du fleuve au printemps empêchaient la construction de nid par cette espèce qui requiert la présence de tiges mortes dressées de l'année précédente (Jobin et coll., 2007). Ces travaux n'ont pas permis de déterminer si l'espèce fréquente ces marais pour l'alimentation (Jobin et coll., 2007).

Le dard de sable est une espèce principalement associée aux rivières, ruisseaux et lacs à fond sablonneux. En lac, il habite des plages sablonneuses à l'abri des vagues ou des hautfonds de sable (Équipe de rétablissement des cyprinidés et des petits percidés du Québec, 2008). Il n'est pas associé aux habitats de marais ou d'herbiers aquatiques qui caractérisent les aires des travaux n^{os} 1 et 2. En effet, les captures de cette espèce se font habituellement dans des sites où il y a une faible quantité ou une absence de végétation aquatique (Équipe de rétablissement des cyprinidés et des petits percidés du Québec, 2008). On peut cependant noter une mention de cette espèce dans le coin nord-ouest de la zone d'intervention potentielle (figure 10).

Le hibou des marais est retrouvé dans plusieurs habitats ouverts d'origine naturelle, dont les marais et milieux humides (ECCC, 2018). Il pourrait donc utiliser les marais retrouvés dans les aires de travaux n^{os} 1 et 2, particulièrement comme aire d'alimentation. Cependant, il requiert des milieux secs pour installer son nid (ECCC, 2018). Les aires de travaux n^{os} 1 et 2, qui sont inondées sur de longues périodes, ne sont donc pas des habitats de reproduction pour cette espèce. Les prairies humides du CEEM Nicolet entre l'aire des travaux n^o 2 et l'aire des travaux n^o 3, ainsi que les champs agricoles autour de l'aire des travaux n^o 3 ont cependant un certain potentiel comme aire de reproduction et d'alimentation. En effet, le CDPNQ rapporte des mentions de cette espèce dans la partie ouest du CEEM Nicolet, mais pas dans la partie hydrique du lac Saint-Pierre (figure 10).

D'autres espèces rapportées par le CDPNQ dans la zone d'étude, mais à l'extérieur de la zone des travaux, sont le chevalier de rivière (*Moxostoma carinatum*), une espèce vulnérable selon la LEMV, l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*), une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, l'elliptio à dents fortes (*Elliptio crassidens*), une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable, le pygargue à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*), une espèce vulnérable selon la LEMV, et la tortue mouchetée (*Emydoidea blandingii*), une espèce menacée selon la LEMV (figure 10). De ces espèces, seul le pygargue a été observé à proximité de l'aire des travaux (voir section 3.2.2.2.7.2).

Le chevalier de rivière est associé aux eaux profondes des rivières et fraie dans les secteurs d'eaux vives sur des fonds de roches calcaires (MFFP, 2010b), ce qui ne correspond pas aux habitats retrouvés dans la zone des travaux.

L'obovarie olivâtre vit surtout sur les fonds sablonneux des grandes rivières à des profondeurs de 2 à 3 m (MPO, 2016). L'espèce pourrait donc se retrouver dans l'aire des travaux n° 1. Cependant, puisque la profondeur d'eau de cette aire inférieure atteint seulement des profondeurs de plus de 2 m en période de crue, son potentiel de présence est faible.

La tortue mouchetée est surtout aquatique et fréquente les milieux humides, tels que les marécages, les lacs peu profonds et les terrains inondés (MFFP, 2018i). En ce qui concerne l'elliptio à dents fortes, il habite principalement les grandes rivières et peut se retrouver sur des fonds de boue, de sable ou de gravier fin (Minnesota Department of Natural Resources, 2019). Ces espèces pourraient donc potentiellement utiliser les aires de travaux n^{os} 1 et 2.

Le bruant de Nelson, une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable et qui n'a pas de statut fédéral, serait aussi susceptible de fréquenter les habitats visés. Cette espèce, qui a déjà été recensée dans les îles de Sorel, fréquente les marais salés ou saumâtres le long des côtes ou des îles et plus rarement les marais d'eau douce (MFFP, 2001).

3.2.2.2.7.2 *Espèces répertoriées lors des inventaires réalisés au CEEM Nicolet*

Un inventaire des sites de ponte de la tortue serpentine dans le secteur administratif du CEEM Nicolet a été réalisé en 2011 par CDC (CDC, 2012). En 2014 et en 2015, l'engoulevent bois-pourri (*Antrastomus vociferus*) et l'engoulevent d'Amérique (*Chordeiles minor*) ont fait l'objet d'inventaires par WSP à des stations situées à l'intérieur et en périphérie du CEEM Nicolet (>1 km des limites de propriété) (WSP, 2015). En 2017, GHD a réalisé des inventaires fauniques sur l'ensemble du territoire du CEEM qui ont mis l'accent sur la recherche des espèces à statut particulier en fonction de la LEP et de la LEMV (GHD, 2018). Les inventaires de 2017 ne couvraient toutefois pas les milieux humides et hydriques touchés par les activités visées par la présente étude d'impact sur l'environnement.

Les observations d'espèces fauniques à statut particulier en 2017 dans la portion ouest du CEEM Nicolet sont illustrées à la figure 7. Parmi les espèces d'oiseaux à statut particulier répertoriées, le petit blongios serait susceptible de se retrouver dans les marais à scirpe et herbiers aquatiques visés par le projet. Toutefois, tel que mentionné à la section 3.2.2.2.7.1, le potentiel de ces rives pour la nidification est nul en raison des hauts niveaux d'eau au printemps (Jobin et coll., 2007). Les travaux de Jobin et coll. (2017) n'ont pas permis de déterminer si l'espèce fréquente ces marais pour l'alimentation. De plus, le pygargue à tête blanche peut utiliser la zone des travaux comme aire d'alimentation. En effet, le pygargue à tête blanche a été observé à plusieurs reprises lors des inventaires de 2017 (GHD, 2018). Il était principalement retrouvé dans les aires boisées à proximité du lac Saint-Pierre. Malgré la présence constante de l'espèce, aucune preuve de nidification n'a été observée. En effet, la majorité des individus observés étaient des juvéniles n'ayant pas encore développé leur plumage adulte noir et blanc. Le site semble donc être un endroit de rassemblement et d'alimentation pour des individus non reproducteurs.

Au niveau des espèces de chauves-souris détectées en 2017 au CEEM Nicolet, trois sont listées comme étant en voie de disparition dans l'annexe 1 de la LEP, soit la petite chauve-souris brune, le vespertilion nordique et la pipistrelle de l'Est (GHD, 2018). Seule la petite chauve-souris brune a été répertoriée dans la portion ouest du CEEM Nicolet, près de l'embouchure de la rivière des Frères et de la rivière Brielle plus précisément. Toutefois, ces trois espèces pourraient être présentes dans les

marais à scirpe et herbiers aquatiques puisqu'elles chassent habituellement au-dessus des plans d'eau dormants et des cours d'eau, dans les trouées forestières, à l'orée des bois ou le long des sentiers (COSEPAC, 2013).

Aucun engoulement n'a été répertorié sur le territoire du CEEM Nicolet en 2014 ni en 2015, cependant huit engoulements d'Amérique ont été entendus aux stations situées en périphérie du CEEM Nicolet en 2014 (WSP, 2015).

La présence de la tortue serpentine a été confirmée dans le passé à proximité des fossés du secteur administratif (CDC, 2012). Cette espèce pourrait fréquenter les habitats visés par les activités du projet.

3.2.2.2.8 Espèces exotiques envahissantes fauniques

Les pêches réalisées dans le cadre des travaux d'inventaires fauniques sur le territoire du CEEM Nicolet en 2017 ont rapporté la présence de tanches à plusieurs endroits, incluant la rivière Camille-Roy, le ruisseau David-Houle, la rivière Lemire et la rivière des Frères (GHD, 2018) (figure 2). Cette espèce envahissante est susceptible d'être présente dans la zone de marais à scirpe et d'herbiers aquatiques retrouvée dans les aires des travaux n^{os} 1 et 2 puisqu'elle préfère les milieux envahis par la végétation où l'eau est stagnante (MFFP, 2018b).

Le gobie à taches noires (*Neogobius melanostomus*), le gardon rouge (*Scardinius erythrophthalmus*) et la carpe de roseau (*Ctenopharyngodon idella*) sont d'autres espèces de poissons envahissants pouvant potentiellement se retrouver dans les habitats retrouvés dans les aires des travaux n^{os} 1 et 2. En effet, le gobie à taches noires a été répertorié dans la rivière Bécancour en 2017 (MDDELCC, 2014) et dans le fleuve Saint-Laurent depuis plus de 10 ans (MFFP, 2018c). Cette espèce tolère diverses profondeurs, mais fréquente de préférence les berges (MFFP, 2018c). Pour sa part, le gardon rouge fréquente des eaux calmes comprenant une proportion importante de végétation et cette espèce a déjà été répertoriée dans le fleuve Saint-Laurent (MFFP, 2018d). La présence de carpes asiatiques dans le fleuve Saint-Laurent fait l'objet d'une surveillance accrue et une de ces espèces, la carpe de roseau, a été observée dans le fleuve en aval de Contrecoeur en 2016 (MDDELCC, 2014). Les herbiers de lacs font partie des composantes d'habitat recherchées par cette espèce (MFFP, 2018e).

De plus, la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*) et la moule quagga (*Dreissena bugensis*) sont deux espèces de mollusques exotiques envahissantes présentes dans la portion d'eau douce du fleuve Saint-Laurent (MFFP, 2018f et 2018g). Ces deux espèces se fixent sur les surfaces solides, mais aussi sur des substrats meubles comme le sable et la vase (MFFP, 2018g). Toutefois, la moule zébrée colonise surtout les zones peu profondes des lacs, alors que la moule quagga est souvent présente en profondeur (MFFP, 2018f).

Finalement, la tortue à oreilles rouges (*Trachemys scripta elegans*) est une espèce jugée potentiellement envahissante (MFFP, 2018h) qui pourrait fréquenter la zone de marais à scirpe et d'herbiers aquatiques visée par le projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre. Cette espèce fréquente les cours d'eau calmes et lents, les étangs, les lacs et les marais et hiberne au fond des étangs en hiver au Québec (MFFP, 2018h).



3.2.3 Milieu humain

3.2.3.1 Caractéristiques sociales

3.2.3.1.1 Profil démographique

La MRC de Nicolet-Yamaska a connu une croissance démographique de 2011 à 2016 avec une augmentation de 1,6 % de la population pour s'établir à 23 159. Les gens âgés de 15 à 64 ans représentent le plus grand groupe avec 62 % de la population. Le deuxième plus grand groupe est ensuite les gens de 65 à 84 ans avec 19 % de la population. La population est âgée en moyenne de 45 ans. Les femmes représentent 50 % de la population, tout groupe d'âge confondu (Statistique Canada, 2018).

3.2.3.1.2 Situation économique et perspective de développement

En 2016, le taux de chômage dans la MRC de Nicolet-Yamaska était de 5,5 %. Le taux d'activité était de 61,6 % et le taux d'emploi était de 58,2 %. Parmi la population qui a travaillé durant l'année, 50 % avaient un emploi à temps plein. Les catégories d'industries les plus importantes dans la MRC de Nicolet-Yamaska sont la fabrication (15 %), les soins de santé et assistance sociale (12 %), l'agriculture, la foresterie, la pêche et la chasse (11 %) et le commerce de détail (10 %). Pour la population de plus de 15 ans dans la MRC de Nicolet-Yamaska, 74 % ont un diplôme d'études, un certificat ou un grade (Statistique Canada, 2016).

Dans le Centre-du-Québec, on estime que 18 800 postes seront à pourvoir entre 2015 et 2019 en raison des départs à la retraite et la création d'emplois (Emploi Québec, 2017).

3.2.3.2 Préoccupations, opinions et réactions des individus et des groupes

Un processus de consultation a été mis sur pied par l'initiateur du projet afin de prendre en compte les préoccupations, opinions et réactions des individus et des groupes. Cet élément est discuté à la section 2.

3.2.3.3 Utilisation du territoire

3.2.3.3.1 Aménagement du territoire et zonage

Dans la MRC de Nicolet-Yamaska, selon le schéma d'aménagement et de développement révisé, 97 % du territoire est en zone agricole. Les terres agricoles occupent 64 % de la superficie (sans eau), 25 % sont forestiers, 8 % sont composés de milieux humides et 3 % sont urbains (MRC de Nicolet-Yamaska, 2011).

Les aires des travaux nos 1 et 2 sont entièrement localisées dans le lac Saint-Pierre, qui fait partie du domaine hydrique de l'État.

La portion ouest du CEEM Nicolet recoupe le territoire de la municipalité de Baie-du-Febvre. Selon le plan de zonage de cette municipalité, le territoire du CEEM est classé dans le type de zone « Gouvernemental » tel que présenté à l'annexe A. À proximité de la zone des travaux, la majorité du territoire est dédiée au type « Agriculture-Récréation ». C'est également le cas pour l'aire de



travaux n° 3, située sur les lots entre la route 132 et le CEEM Nicolet traversés par le chemin d'accès menant à l'OP-4.

De plus, un petit secteur de type « Villégiature » est également présent en bordure du lac Saint-Pierre, à l'ouest de la Longue-Pointe près de l'OP-6.

3.2.3.3.2 Zones de pêche commerciale

Le lac Saint-Pierre est divisé en plusieurs sous-zones de pêche commerciale qui sont définies à l'article 14 du *Plan de gestion de la pêche* publié dans la Gazette officielle du Québec (année 2017-2018¹). Ce plan précise également les périodes de pêche et les engins autorisés qui varient en fonction de l'espèce de poisson et de la sous-zone.

En 2017, un total de 21 permis de pêche commerciale, comportant des autorisations dans une des sous-zones, ont été délivrés pour l'ensemble du lac Saint-Pierre. Ils étaient détenus par 18 pêcheurs. Les engins servant à capturer les poissons sont le filet maillant et le verveux. La localisation précise de l'installation de chaque engin n'est pas connue et change au fil des saisons et des niveaux d'eau. Le Tableau 3.5 rapporte les sous-zones qui recoupent les aires des travaux n°s 1 et 2 et où des activités de pêche sont susceptibles de s'y dérouler.

¹ <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=1&file=67157.pdf>



Tableau 3.5 Sous-zones de pêche qui recoupent les aires n^{os} 1 et 2 des travaux

Article du plan de gestion	Sous-zone	Espèces	Périodes	Engin	Permis dans ce secteur (n ^{bre})	Pêcheur dans ce secteur (n ^{bre})
14-01-a	Les eaux du lac Saint-Pierre.	Barbue de rivière, carpe et esturgeon jaune de 45 cm et plus et de 80 cm et moins.	Du 14 juin à 12 h au 31 juillet et du 14 septembre à 12 h au 15 octobre pour barbue de rivière et carpe. Du 14 juin à 12 h au 31 juillet et du 14 septembre à 12 h au 31 octobre pour l'esturgeon jaune.	filet maillant	18	18
14-01-c	Les eaux riveraines du lac Saint-Pierre comprises dans le secteur 4, de la Longue-Pointe au quai de la Défense nationale (batterie numéro cinq).	Barbue de rivière et carpe.	Du 1 ^{er} avril au 15 juillet.	filet maillant	18	16
14-02-0	Les eaux du lac Saint-Pierre.	Anguille d'Amérique de 20 cm et plus, barbotte brune, barbue de rivière, carpe, crapet, écrevisse, grand corégone, lotte, marigane noire, meunier noir, meunier rouge, perchaude (pêche sous moratoire), poisson-castor, chevalier blanc et chevalier rouge, tanche (expérimental).	Du 1 ^{er} mai au 30 novembre	verveux	6	6

Source : Comm. pers. Rémys Morrisette, MAPAQ, septembre 2018

Le Tableau 3.6 présente les espèces capturées en 2017 dans le lac Saint-Pierre et leur quantité. En 2012, un moratoire de 5 ans interdisant la pêche commerciale et sportive à la perchaude dans le lac Saint-Pierre a été émis afin de limiter le déclin de la population. Le moratoire a été reconduit jusqu'en 2023 puisque les études des dernières années démontrent que le rétablissement de l'espèce n'est pas suffisant pour permettre la reprise de la pêche sur le lac Saint-Pierre (Gouvernement du Québec, 2018).

Tableau 3.6 Statistiques de captures par la pêche commerciale en 2017 pour l'ensemble du lac Saint-Pierre

Espèce	Quantité (kg)	Espèce	Quantité (kg)
Barbotte	100 235	Tanche	5 190
Carpe allemande	65 723	Crapet	4 985
Esturgeon jaune	36 629	Chevalier blanc	4 073
Barbue de rivière	31 926	Chevalier rouge	2 103
Meunier	6 282	Marigane noire	1 794
Lotte	6 054	Écrevisse	1 052
Poisson-castor	5 616	Alose	295
Anguille	5 308	Grand corégone	135

Source : Comm. pers. Rémys Morrisette, MAPAQ, septembre 2018

3.2.3.3 Milieu forestier

Le couvert forestier de la MRC de Nicolet-Yamaska représente 25 % de la superficie de son territoire.

Le couvert forestier de la MRC de Nicolet-Yamaska est jeune et composé principalement de feuillus. Il n'y a aucun revenu tiré du bois pour la majorité des propriétés forestières (MRC de Nicolet-Yamaska, 2017). Une fragmentation du milieu forestier a été faite au profit de l'agriculture au cours des années. Entre 1988 et 2002, environ 1 250 ha de forêt ont été perdus au profit de l'agriculture (MRC de Nicolet-Yamaska, 2011).

Aucun milieu forestier n'est présent à l'intérieur de la zone des travaux. Les milieux boisés les plus rapprochés de cette zone sont les marécages forestiers retrouvés au CEEM Nicolet en bordure du lac Saint-Pierre.

3.2.3.3.4 Zones de villégiature

Tel que mentionné à la section 3.2.3.3.1, une petite zone de villégiature est présente en bordure du lac Saint-Pierre, à l'ouest de la Longue-Pointe près de l'OP-6 (Municipalité de Baie-du-Febvre, 2017) (voir figure 2). Le Club de la Landroche situé dans ce secteur est un club d'activités de plein air (chasse, pêche, navigation de plaisance, etc.). Une rampe de mise à l'eau publique est présente à proximité du Club de la Landroche, ainsi que des quais privés et le chenal Landroche, qui permet aux embarcations de traverser le marais riverain et d'atteindre l'eau libre plus au large.

3.2.3.3.5 Aires d'intérêts récréatifs, esthétiques, éducatifs, historiques et culturels

De nombreuses activités sont offertes dans la MRC de Nicolet-Yamaska, dont la randonnée pédestre, le camping, la pêche, la chasse, le kayak, le vélo, etc. Des centres d'interprétation, des théâtres et des musées sont également présents (Office de tourisme de Nicolet-Yamaska, 2018).

Les attraits naturels du lac Saint-Pierre ont permis le développement d'installations récréotouristiques (MRC de Maskinongé, 2018). Notamment, le lac Saint Pierre se trouve sur la *Liste des zones humides d'importance internationale* (Sites Ramsar). De plus, les zones d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) de Nicolet et Baie-du-Febvre et du Centre-du-lac-Saint-Pierre qui recoupent la zone des travaux et le CEEM Nicolet ont été reconnues comme Réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO.

Par ailleurs, au printemps, les terres inondées par le lac Saint-Pierre le long de la route 132 ou de la route Janelle à Baie-du-Febvre sont un lieu privilégié pour l'observation de l'oie des neiges (*Chen caerulescens*) en migration (Municipalité de Baie-du-Febvre, 2018). Le Centre d'interprétation de Baie-du-Febvre, situé près de l'intersection de la route 132 et de la route Janelle menant à l'OP-6, a pour mission l'éducation de la population face au milieu qui l'entoure et la sensibilisation des visiteurs sur la nécessité de protéger les terres humides (Municipalité de Baie-du-Febvre, 2018). Ce centre offre notamment l'accès à des structures en bois permettant d'observer diverses variétés de canards dans les bassins d'eau situés en bordure de la route Janelle (voir figure 9).

Dans le secteur à l'étude, et notamment dans l'aire des travaux n° 1, la chasse à la sauvagine, la pêche sportive et la navigation de plaisance sont pratiquées. Plus de 10 400 sorties de pêche ont eu lieu au lac Saint-Pierre en 2006, et plus de 1 000 chasseurs à la sauvagine y pratiquent leur sport annuellement, dont la moitié ne proviennent pas de la région (Groupe SM, 2008). Jusqu'en 2014, pendant la pêche sur glace, jusqu'à 600 personnes pouvaient se retrouver à la pourvoirie de Baie-du-Febvre située dans une zone de forte densité d'UXO. Cette pourvoirie a toutefois cessé ses activités dans le contexte du moratoire sur la pêche à la perchaude. Les terrains appartenant au CEEM ne sont pour leur part pas ouverts au public.

3.2.3.3.6 Aires protégées du patrimoine naturel

De nombreuses aires de concentration d'oiseaux aquatiques, désignées au registre des aires protégées du MELCC, sont présentes en bordure du lac Saint-Pierre. Sur la rive sud, on retrouve entre autres celles de l'Anse du Fort, de la Pointe Fer à Cheval-Longue-Pointe et du Refuge de Nicolet. Ces deux dernières recoupent les aires des travaux n°s 1 et 2. Un refuge d'oiseaux migrateurs est également présent sur cette rive ainsi qu'un habitat du rat musqué. Ces aires sont présentées à la figure 8 et décrites au Tableau 3.7.

Sur la rive nord, on retrouve la Forêt rare du lac Saint-Pierre, l'aire de concentration d'oiseaux aquatiques de Pointe-du-Lac-Rivière Yamachiche et le refuge faunique de Pointe-du-Lac (MDDELCC, 2018a).

De plus, le projet à l'étude se déroule dans le lac Saint-Pierre, qui correspond à l'habitat du poisson et est donc protégé en vertu du *Règlement sur les habitats fauniques*.

Tableau 3.7 Aires protégées inscrites au Registre du MELCC qui recoupent la ZPI

Nom	Superficie (ha)	Désignation
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques Pointe Fer à cheval-Longue-Pointe	1 455,91	Habitat faunique
Aire de concentration d'oiseaux aquatiques du Refuge de Nicolet	2 820,78	Habitat faunique
Habitat du rat musqué du lac Saint-Pierre S.-E.	1 953,86	Habitat faunique
Refuge d'oiseaux migrateurs de Nicolet	3 008,66	Refuge d'oiseaux migrateurs

3.2.3.3.7 Infrastructures de transport et de services publics

La MRC de Nicolet-Yamaska est traversée par les autoroutes 20, 55 et 955, les routes 132, 143, 255, 155, 161, 226, 259 et de quelques routes non numérotées. L'accès au CEEM de Nicolet et plus spécifiquement à la zone des travaux se fait par la route 132 et la route Janelle.

La MRC possède également un réseau de transport ferroviaire du Canadien National (CN). Aucune voie ferrée ne se trouve à proximité de la zone des travaux.

Les infrastructures maritimes sont quasi inexistantes, à l'exception de la présence de trois marinas, une située à Nicolet et deux sur les rives de la rivière Saint-François (MRC de Nicolet-Yamaska, 2011). Au niveau du transport en commun, un transport collectif Bécancour-Nicolet-Yamaska dessert la région en direction de Trois-Rivières (Ville de Nicolet, 2018).

3.2.3.3.8 Infrastructures communautaires et institutionnelles

Les infrastructures sociosanitaires se retrouvent principalement à Nicolet avec le Centre Christ-Roi, des services de réadaptation en dépendance, un centre d'activités de jour, une clinique médicale et un centre administratif (CIUSSSMCQ, 2018).

La Commission scolaire de la Riveraine dessert la MRC de Nicolet-Yamaska. On y retrouve des écoles primaires et secondaires, ainsi que l'École nationale de police, l'École d'agriculture et le Grand Séminaire (MRC de Nicolet-Yamaska, 2018b).

Toutes ces infrastructures se trouvent à plusieurs kilomètres de la zone des travaux.

3.2.3.3.9 Sources d'eau potable

À proximité de la zone des travaux, le système d'information hydrogéologique du MELCC rapporte le forage de 27 puits dans la municipalité de Baie-du-Febvre (MDDELCC, 2015b). Certains de ces puits se trouvent sur la pointe du OP-6 au CEEM Nicolet. Il s'agit de puits d'observation qui ne servent pas à l'alimentation en eau potable. Aucun puits et aucune prise d'eau potable n'ont été identifiés à proximité de la zone des travaux.

3.2.3.3.10 Navigation

La navigation commerciale est une activité importante sur le fleuve Saint-Laurent. Ce corridor de commerce Saint-Laurent-Grands Lacs représente le 4^e espace économique en Amérique du Nord



après la Californie, le Texas et New York (SODES, 2015). L'industrie maritime québécoise est un important moteur de développement économique et représente près de 45 % du trafic international au Canada (SODES, 2015).

Dans la voie navigable qui traverse le lac Saint-Pierre, à environ 4 km au nord de l'aire de travaux n° 1, 5 000 passages de navires commerciaux sont recensés annuellement (Gouvernement du Québec, 2013).

Les gens de la municipalité de Baie-du-Febvre ainsi que les utilisateurs provenant d'autres régions utilisent le chenal Landroche pour accéder au lac Saint-Pierre (Les Consultants René Gervais et Procean, 2005). Ce chenal dessert uniquement les petites embarcations.

3.2.3.3.11 Communautés autochtones

3.2.3.3.11.1 Historique des communautés autochtones de la région

Avant l'arrivée des Européens, la MRC de Nicolet-Yamaska était habitée par des Mohicans et des W8banakiak. Toutefois, les Mohicans ont disparu du secteur vers 1660. Des villages W8banakiak sont repérés dès 1653, notamment à l'embouchure de la rivière Bécancour et près de la rivière Saint-François (SNC-Lavalin, 2017). En 1671, il y avait environ 700 W8banakiak dans le village d'Odanak, établis le long de la rivière Saint-François. La mission de Wôlinak est fondée en 1708 sur la rivière Bécancour (GCNWA, 2019). Durant cette période, les W8banakiak sont alliés aux Français. Les missions d'Odonak et de Wôlinak permettront « aux Abénakis de se maintenir en tant que Nation au cœur même du développement colonial » (Conseil des Abénakis de Wôlinak, 2016a, cité dans SNC-Lavalin, 2017).

3.2.3.3.11.2 Territoire et activités traditionnelles

Le territoire ancestral de la nation W8banaki, appelé Ndakinna, est situé principalement sur la rive sud du Saint-Laurent, entre Sorel et Montmagny. La zone de pratique d'activités de chasse, de pêche et de piégeage, dont les limites ont été fixées à la suite d'une entente entre les Conseils des Abénakis de Wôlinak et d'Odanak et le Gouvernement du Québec en 2001, couvre la moitié sud du territoire ancestral. La zone à l'étude fait donc partie de ce territoire (voir carte à l'annexe D).

À l'heure actuelle, la Nation W8banaki a choisi de ne pas démarrer un processus de revendication territoriale pour l'ensemble de son territoire. Elle préconise une approche d'affirmation territoriale qui définit l'étendue du Ndakinna sur laquelle elle défend ses droits et intérêts (SNC-Lavalin, 2017). Dans ce cadre, les W8banakiak ont déposé des revendications particulières au ministère des Relations Couronne-Autochtones et Affaires du Nord Canada. Les revendications actuellement déposées ne visent pas la zone des travaux du projet.

Traditionnellement, les W8banakiak pratiquaient la chasse, la pêche, la trappe, la cueillette et l'agriculture. Ils vivaient de manière semi-sédentaire et cultivaient la terre pour le maïs, les courges, les haricots, et le tabac, mais se retiraient en forêt pour les grandes chasses hivernales (SNC-Lavalin, 2017).

3.2.3.3.11.3 Communautés autochtones actuelles

Aujourd'hui, la Nation W8banaki compte plus de 3 081 membres dont 634 sont issus de la communauté de Wôlinak et 2 447 de la communauté d'Odanak (GCNWA, 2019). Toutefois, une bonne partie de la population habite à l'extérieur des réserves. Un peu moins de 400 W8banakiak vivent dans les communautés d'Odanak et de Wôlinak (Conseil des Abénakis d'Odonak, 2018).

La communauté d'Odanak compte une trentaine d'entreprises, dont des commerces, des entreprises de construction, un centre de santé, un corps policier, une maison de jeunes, un musée et un cégep. Le musée d'Odonak a été un des premiers musées autochtones au Québec et a reçu un prix d'excellence de la Société des musées du Québec en 2014 et un grand prix au niveau canadien (Conseil des Abénakis d'Odanak, 2016, cité dans SNC-Lavalin, 2017). Le Conseil des Abénakis d'Odanak est le plus important employeur de la communauté. Plusieurs W8banakiak se sont tournés vers la vente de produits d'artisanat comme la vannerie.

La communauté de Wôlinak a plus d'une dizaine d'entreprises, dont une carrosserie, une ébénisterie et une coopérative de solidarité. La communauté possède également une salle communautaire, une piste cyclable, un parc récréatif et un centre de santé (Englobe, 2018a).

La Nation W8banaki « assume avec fierté son héritage culturel et affirme avec diligence son territoire ancestral dans le respect des traditions, mais aussi dans une perspective de développement durable » (GCNWA, 2016, cité dans SNC-Lavalin, 2017). La communauté de Wôlinak est d'ailleurs dotée d'une politique sur le développement durable (Conseil des Abénakis de Wôlinak, 2016).

Les deux communautés comptent plus de femmes que d'hommes avec 53 % de femmes à Odanak et 56 % de femmes à Wôlinak. L'âge médian de la population des deux réserves est similaire avec une valeur d'environ 39 ans (Statistique Canada, 2011, cité dans SNC-Lavalin, 2018).

En comparaison avec la moyenne provinciale du Québec, un plus faible pourcentage des W8banakiaks possède un diplôme d'études secondaires, mais une proportion plus grande possède un certificat ou un diplôme d'apprenti (SNC-Lavalin, 2017).

3.2.3.3.11.4 Activités des communautés autochtones dans la zone d'étude

Les W8banakiak exercent encore des activités de chasse, de pêche, de trappe et de cueillette de végétaux. Le lac Saint-Pierre, incluant les aires des travaux nos 1 et 2, est un milieu d'importance pour la pratique de ces activités par cette communauté. Il fait partie de l'aire de pratique de l'Entente entre le Gouvernement du Québec et les conseils de bande d'Odonak et de Wôlinak concernant la pratique des activités de chasse et de piégeage à des fins alimentaires, rituelles ou sociales et du permis de pêche communautaire délivré par le MFFP à ses deux conseils de bande.

Les espèces recherchées lors de la pêche sont la perchaude, la barbotte brune, la barbrue de rivière, le grand brochet, le doré, l'esturgeon jaune et l'achigan (comm. pers., Hugo Mailhot-Couture, GCNWA, octobre 2018). La pêche a lieu à longueur d'année à l'aide de verveux, nasses et lignes (en eau libre et sur la glace) (Englobe, 2018a). Certains produits d'artisanat des W8banakiak intègrent des parties d'esturgeons pêchés dans le fleuve (Englobe, 2018a).

La zone à l'étude est susceptible d'être utilisée par les W8banakiak pour la navigation, puisque ceux-ci naviguent entre le lac Saint-Pierre et Montmagny. La navigation est considérée comme une



activité culturelle et traditionnelle pour les W8banakiak et est d'une grande importance pour la Nation W8banaki (Englobe, 2018a; SNC-Lavalin, 2017).

Les W8banakiak chassent des oiseaux migrateurs dans les environs du lac Saint-Pierre, dont la bernache du Canada, l'oie blanche ainsi que plusieurs espèces de canards. Il s'agit d'une activité plus accessible que la chasse au gros gibier en raison des enjeux de tenure des terres (comm. pers., Suzie O'Bomsawin, GCNWA, octobre 2018).

3.2.3.3.12 Utilisation des ressources et des terres

Comme mentionné à la section 3.2.3.3.1, les terres agricoles occupent 64 % de la superficie de la MRC de Nicolet-Yamaska. L'agriculture occupe donc une place importante dans la région. Les terres adjacentes à la zone des travaux sont principalement utilisées pour les activités du CEEM. La chasse à la sauvagine et la pêche commerciale sont également pratiquées dans le secteur.

De plus, la pêche sportive, incluant la pêche sur glace, est une activité récréative importante dans le lac Saint-Pierre. Les espèces recherchées sont l'achigan, la barbotte brune, le grand brochet, le crapet-soleil, le doré jaune, le doré noir, la lotte, le maskinongé et la perchaude (bien qu'il y ait moratoire actuellement) (Mingelbier et coll. 2016).

3.2.3.4 Patrimoine archéologique

Six sites archéologiques sont répertoriés dans la MRC de Nicolet-Yamaska comme étant d'intérêt pour le ministère de la Culture et des Communications (MCC). Quatre d'entre eux sont situés le long de la rivière Saint-François et sont associés à la présence autochtone : deux sites Odanak, le Fort Abénakis et le Fort Crevier. Le cinquième site est situé à Baie-du-Febvre et contient des vestiges d'un atelier du potier Orille Joubert, et le sixième site est près de l'île Saint-Jean dans la rivière Yamaska et est identifié comme un site d'inhumation (MRC de Nicolet-Yamaska, 2011). Aucun de ces sites ne se trouve dans la zone des travaux.

De plus, selon le GCNWA, les terrains du CEEM Nicolet présenteraient un potentiel archéologique élevé. Le GCNWA demande que la question de la préservation du patrimoine archéologique soit considérée lors d'opérations ayant des répercussions terrestres (chemins d'accès, sites de détonation, etc.) à des endroits où les sols n'ont pas été perturbés significativement dans le passé. Pour leur part, les milieux subaquatiques présentent peu d'intérêt archéologique pour les premières nations (comm. pers., Hugo Mailhot-Couture, GCNWA, octobre 2018).

3.2.3.5 Patrimoine culturel, bâti et paysager

Le MCC (2013) documente la présence de plusieurs bâtiments patrimoniaux dans la région du lac Saint-Pierre. Les bâtiments patrimoniaux les plus près de la zone des travaux sont situés dans la ville de Nicolet et la municipalité de Saint-François-du-Lac et sont situés à environ 13 km de cette zone.

3.2.3.6 Paysages

Le paysage du lac Saint-Pierre et de ses rives a été modifié par les activités humaines. La coupe de bois, l'agriculture en zone littorale ou le remblaiement des rives ont modifié les milieux naturels au bord du lac (Gouvernement du Québec, 2013). À proximité de la zone des travaux, la présence du



chenal Landroche, des installations de villégiature, et des installations du CEEM a également modifié le paysage. Par contre, ces modifications sont relativement mineures en comparaison avec d'autres secteurs du lac. En effet, le CEEM présente plusieurs kilomètres continus de rives constituées de marais et marécages, formant ainsi un paysage naturel de grande qualité.

4. Analyse des impacts du projet

L'analyse des impacts du projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre a pour but d'identifier, de décrire et d'évaluer les effets du projet sur le milieu récepteur.

Pour ce faire, le projet est d'abord morcelé en composantes principales, lesquelles sont ensuite confrontées aux différents éléments du milieu récepteur dans une grille de contrôle permettant d'identifier toutes les interrelations prévisibles. Il faut noter cependant que, afin d'éviter d'alourdir les tableaux et les textes subséquents, ne sont intégrés à cet exercice que les éléments du milieu susceptibles d'être affectés par l'une des composantes du projet. L'identification des éléments retenus est présentée à la section 4.1.2.

Les interrelations identifiées par cet exercice sont ensuite décrites et analysées de manière à évaluer l'importance relative au moyen de critères qualitatifs. Des mesures d'atténuation appropriées sont identifiées pour réduire l'ampleur des impacts négatifs du projet et l'évaluation finale du projet porte sur les impacts résiduels, c'est-à-dire sur les impacts qui subsistent après l'application des mesures d'atténuation. Un tableau synthèse présente finalement les principaux impacts et mesures, ainsi que l'évaluation des impacts résiduels.

4.1 Détermination et évaluation des impacts

Compte tenu de ses caractéristiques et des impacts prévisibles sur le milieu récepteur, le projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre est scindé en cinq composantes principales :

1. Investigation des anomalies et identification et enlèvement des objets créant ces anomalies.
2. Détonation *in situ* des munitions jugées non sécuritaires à déplacer.
3. Transport des projectiles sécuritaires à déplacer.
4. Levés géophysiques de contrôle.
5. Entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4.

Les activités comprises dans chacune de ces composantes sont présentées ci-après. Une description détaillée des travaux est donnée à la section 1.3.

4.1.1 Composantes

4.1.1.1 Investigation des anomalies et identification et enlèvement des objets créant les anomalies

Cette composante inclut toutes les activités liées à l'investigation des anomalies et à l'identification et l'enlèvement des objets créant les anomalies incluant : les déplacements à l'intérieur de la zone



d'intervention potentielle, la détection de l'anomalie, au besoin le creusage dans les sédiments pour retrouver l'anomalie et son retrait du lit du lac sauf si l'objet ne peut être identifié sécuritaire à déplacer (voir section 1.3.1).

4.1.1.2 Détonation *in situ* des munitions jugées non sécuritaires à déplacer

Cette composante se limite à la détonation des UXO ne pouvant pas être déplacées de façon sécuritaire (voir section 1.3.2) et à la mise en place des mesures visant à réduire les impacts des explosions.

4.1.1.3 Transport des projectiles sécuritaires à déplacer

Cette composante couvre tous les déplacements réalisés entre la ZPI et le CEEM Nicolet, notamment pour le transport des UXO pouvant être transportées de façon sécuritaire au site d'entreposage temporaire et ensuite jusqu'au site de détonation terrestre.

4.1.1.4 Levés géophysiques de contrôle

Les levés géophysiques de contrôle visent à confirmer que les objets qui créaient l'anomalie magnétique ont bel et bien été retirés.

4.1.1.5 Entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4

Cette composante inclut toutes les activités liées à l'entretien de la partie du chemin d'accès menant à l'OP-4 se trouvant entre la route 132 et la limite du CEEM Nicolet.

4.1.2 Éléments du milieu

Les éléments du milieu susceptibles d'être affectés par l'une ou l'autre des composantes du projet sont décrits de façon détaillée à la section 3.2 traitant de la description des composantes des milieux physique, biologique et humain.

L'évaluation des impacts tient compte de la valeur des ressources affectées. La valeur de chaque composante a été estimée par l'équipe de rédaction de l'évaluation environnementale en tenant compte, sur la base de ses connaissances et de son expérience, de la valeur intrinsèque de la ressource (valeur au sein de l'écosystème, sensibilité aux perturbations, rareté, unicité, capacité d'absorber une modification ou un stress) ainsi qu'en considérant la valeur que lui accorde généralement la société sur les plans culturel, économique ou esthétique, incluant une reconnaissance formelle concrétisée par une loi ou un règlement. Cette évaluation de la valeur des ressources s'appuie, entre autres, sur les échanges avec les intervenants lors des démarches de consultation. Il faut souligner ici que, étant donné une distribution des valeurs limitée à trois classes (faible, moyenne et grande), certains choix peuvent être plus subjectifs.

La valeur des éléments du milieu est déterminée pour chacun des éléments du milieu sur la base des arguments présentés au tableau 1 à la suite du texte. Il importe de noter que cette évaluation est déterminée spécifiquement pour la zone à l'étude et qu'elle pourrait être différente dans un autre contexte.

4.1.3 Identification des impacts

Les composantes du projet et les éléments du milieu sont confrontés deux à deux dans une matrice, laquelle permet d'identifier tous les points d'interrelations potentielles entre le projet et les éléments du milieu récepteur (tableau 2 à la suite du texte). Cette matrice sert ensuite de base à l'analyse et à l'évaluation des impacts, puisque chacune des interrelations potentielles identifiées dans cette grille est ensuite décrite, analysée et évaluée selon les effets sur l'environnement.

4.1.4 Évaluation des impacts

L'évaluation et la description de chacune des interrelations identifiées à l'aide de la grille d'identification s'effectuent en considérant le type d'impact, l'importance de l'impact et la possibilité de corriger les impacts négatifs. L'évaluation proprement dite de chacune des interrelations entre les composantes du projet et les éléments du milieu a été menée en considérant, d'une part, le degré de perturbation (Tableau 4.1) et, d'autre part, la valeur accordée à la ressource affectée (tableau 1 à la suite du texte), ces deux concepts étant fondus ensemble au Tableau 4.2 pour déterminer la valeur de l'impact.

Le degré de perturbation est évalué à l'aide d'un abaque développé par GHD permettant de combiner l'intensité de la perturbation, sa durée et son étendue (Tableau 4.1). Les valeurs attribuées à chacune des combinaisons présentées dans le Tableau 4.1 ont été établies sur la base de notre expérience en évaluation environnementale de projets en milieu aquatique, en tentant de couvrir de façon uniforme la gamme des degrés de perturbation qui s'étend de négligeable à très forte. Les paragraphes qui suivent précisent la signification de chacun de ces paramètres.

- L'intensité de la perturbation : une ressource ou un processus peut être modifié légèrement ou de manière importante. L'intensité de l'intervention peut être nulle, faible, moyenne, forte ou très forte.
- La durée de la perturbation : ce facteur permet de distinguer les perturbations temporaires (limitées à une période de temps donnée, par exemple la durée des travaux), les perturbations récurrentes (ou occasionnelles, qui se répètent sans être permanentes) et les perturbations permanentes et définitives.
- L'étendue de la perturbation : ce facteur fait la distinction entre perturbation ponctuelle, locale ou régionale. On entend ici par ponctuel un impact limité au site même des travaux, par local celui qui affecte l'ensemble de la zone des travaux et un périmètre restreint de quelques centaines de mètres autour de celui-ci, et par régional tout impact qui toucherait une zone plus étendue que le périmètre local.

Par la suite, l'analyse combinée du degré de perturbation et de la valeur de la ressource permet d'évaluer l'importance de l'impact (Tableau 4.2). Ici encore, la distribution des valeurs, qui varient de négligeable à majeure, a été établie de façon à couvrir la gamme des intermédiaires sur une distribution uniforme. De plus, cette évaluation tient compte de la probabilité des perturbations, considérant que certains impacts ne sont en réalité que des risques qui ne se concrétiseront pas nécessairement.

Tableau 4.1 Détermination du degré de perturbation

Intensité	Durée	Degré de perturbation		
		Étendue ponctuelle	Étendue locale	Étendue régionale
Nulle	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
Faible	Temporaire	Très faible	Très faible	Très faible
	Occasionnelle	Très faible	Très faible	Faible
	Permanente	Très faible	Faible	Faible
Moyenne	Temporaire	Faible	Faible	Faible
	Occasionnelle	Faible	Faible	Moyen
	Permanente	Faible	Moyen	Moyen
Forte	Temporaire	Moyen	Moyen	Moyen
	Occasionnelle	Moyen	Moyen	For
	Permanente	Moyen	Fort	Fort
Très forte	Temporaire	Fort	Fort	Fort
	Occasionnelle	Fort	Fort	Très fort
	Permanente	Fort	Très fort	Très fort

Tableau 4.2 Détermination de l'importance de l'impact

Valeur de la ressource	Degré de perturbation				
	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Faible	Négligeable	Négligeable	Mineure	Moyenne	Moyenne
Moyenne	Négligeable	Mineure	Moyenne	Moyenne	Majeure
Grande	Mineure	Mineure	Moyenne	Majeure	Majeure

Le rôle des abaques n'est pas de statuer avec précision et hors de tout doute sur la valeur d'un impact donné. En effet, l'évaluation d'un impact constituera toujours une appréciation comportant des aspects subjectifs et, en ceci, l'appréciation d'un impact donné par deux personnes différentes risquera d'être divergente dans certains cas. La méthode par abaques vise plutôt à soumettre une évaluation la plus uniforme possible des impacts d'un projet donné. En étant parfaitement transparente, c'est-à-dire en exposant tous ses mécanismes, elle permet de bien suivre le cheminement méthodologique de l'évaluateur et de comprendre l'appréciation proposée par celui-ci. Comprendre ne signifiant pas forcément approuver, elle permet même à quiconque, qui serait en désaccord avec la distribution des valeurs accordées aux ressources, de procéder à un test de sensibilité, par exemple en vérifiant l'effet sur l'impact final d'une modification de la valeur d'un élément ou de l'intensité de la perturbation, ou à une revue des résultats en modifiant à sa guise les différentes valeurs fournies dans les abaques.

Quelles que soient la méthode et la répartition des éléments dans les différentes classes de valeur, nous croyons que la méthode par abaques atteint les objectifs d'une évaluation environnementale en permettant, d'une part, de dégager les extrêmes, soit les impacts négligeables et les impacts majeurs d'un projet. D'autre part, même si elle peut paraître imprécise en ce qui concerne le départage des impacts intermédiaires, elle permet de placer les différents impacts dans un gradient

qui peut ensuite servir de base à une gradation des efforts d'atténuation et de correction selon les priorités.

Enfin, nonobstant tout ce qui précède, il faut souligner que l'analyse et l'évaluation des impacts dépassent souvent le cadre imposé par une méthode ou par une série d'abaques et qu'elles doivent demeurer un exercice d'évaluation faisant intervenir le jugement de professionnels expérimentés. L'analyse par abaque est donc appuyée dans chaque cas d'une discussion mettant en évidence les interactions prévisibles et les arguments conduisant à l'appréciation présentée, le tout devant mener à une identification des efforts d'atténuation requis ou envisageables pour chacune de ces interactions et, finalement, à la conception d'un projet qui soit respectueux de l'environnement dans toute la mesure du possible.

4.1.5 Gaz à effets de serre

Le projet à l'étude présente deux sources principales de gaz à effet de serre (GES) : la combustion de carburant par les équipements et véhicules et les émissions liées à la détonation des explosifs.

Le calcul des émissions liées aux équipements et véhicules est basé sur les méthodes présentées dans l'avis du MELCC (M. Sergio Cassanaz, N°/Réf. SCW-1117158) daté du 31 octobre 2018 et transmis à CDC le 1^{er} novembre 2018. Le scénario d'utilisation des équipements est basé sur l'expérience des campagnes pilotes de 2016, 2017 et 2018 et correspond à l'utilisation totale pour les activités d'investigation des anomalies, leur identification et leur enlèvement, le transport des projectiles sécuritaires à déplacer, les détonations *in situ* et les levées géophysiques de contrôle. Le tableau 3 présente les émissions annuelles estimées en fonction de ce scénario. Les émissions annuelles liées aux équipements sont estimées à 20,2 t éq. CO₂, pour un total estimé à 182 t éq. CO₂ sur la durée de neuf ans du projet.

Les produits gazeux de la combustion des matériaux énergétiques lors de la détonation de munition varient en fonction de la substance explosive et des conditions précises de l'explosion, telle que la température (Furman et coll., 2014). Pour évaluer la quantité de GES produite, il a été supposé que chaque explosion correspond à la combustion complète en présence d'oxygène d'une quantité de TNT (C₇H₅N₃O₆) égale à la masse de la charge de la munition. Dans de telles conditions, tout le carbone présent dans le TNT est transformé en CO₂. Ceci donne sept molécules de CO₂ pour chaque molécule de TNT (Akhavan, 2004). En prenant les masses moléculaires du TNT (227,13 g/mol) et du CO₂ (44,01 g/mol), il est possible de calculer la quantité de CO₂ produit en fonction des kg de TNT explosés (voir tableau 4). Ce calcul correspond au principe indiqué dans l'avis du MELCC (M. Sergio Cassanaz, N°/Réf. SCW-1117158) indiquant que « les émissions résultant de l'usage d'explosifs sont attribuables à la teneur en carbone du combustible utilisé ». Cette méthode donne un résultat plus conservateur que l'utilisation du coefficient d'émission (CE) donné pour le TNT par USEPA (1980) (voir tableau 4). Malgré l'utilisation de cette approche conservatrice, la quantité prédite de GES qui serait émise annuellement lors des détonations serait de 0,618 t éq. CO₂ et contribuerait à environ 3 % des émissions totales liées au projet.

Notons par ailleurs que l'atténuation potentielle liée à la détonation sous l'eau n'a pas été considérée, puisqu'elle ne peut être calculée selon les modèles standards d'émissions atmosphériques, mais il est probable que la colonne d'eau absorbe une portion du CO₂ produit et atténue les émissions de gaz vers l'atmosphère.



En combinant les deux sources, les émissions totales du projet sont estimées à 20,8 t éq. CO₂ par année et 188 t éq. CO₂ sur la durée du projet. Les émissions annuelles du projet correspondent donc à 0,0000267 % des émissions annuelles de GES du Québec (78 600 000 t éq. CO₂; MELCC, 2018). La contribution du projet aux émissions de la province est donc considérée comme marginale.

4.1.6 Description des impacts du projet

La description des impacts porte sur les interrelations identifiées au tableau 2 à la suite du texte. Pour chacune d'elles, les sections qui suivent décrivent la perturbation anticipée, le degré de perturbation et, en considérant la valeur de la ressource affectée, présentent une discussion sur l'évaluation de l'impact. Dans certains cas évidents, la discussion est relativement sommaire. Dans les cas moins clairs ou dans le cas d'impacts jugés importants, la discussion est plus élaborée et étaye la position soutenue par les professionnels ayant effectué l'analyse.

Les impacts sont évalués successivement pour chacune des cinq grandes composantes du projet pouvant avoir des impacts, soit l'investigation des anomalies géophysiques et l'identification et l'enlèvement des objets créant ces anomalies, la détonation *in situ* des munitions jugées non sécuritaires à déplacer, le transport des projectiles sécuritaires à déplacer, les levés géophysiques de contrôle ainsi que l'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4. L'évaluation des impacts est résumée au tableau 5 à la suite du texte.

4.1.6.1 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement

4.1.6.1.1 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur le milieu physique

4.1.6.1.1.1 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur le climat

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer sur le lac implique l'émission de GES qui peuvent contribuer aux changements climatiques. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés (voir section 4.1.5), l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents, la durée de l'effet est occasionnelle. Les changements climatiques étant un enjeu de grande envergure, l'étendue est régionale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la valeur faible accordée à la ressource.

4.1.6.1.1.2 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la qualité de l'air

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer sur le lac est susceptible d'affecter la qualité de l'air par les émissions atmosphériques des engins. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.1.3 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la bathymétrie*

Si l'anomalie n'est pas visible en surface, le dégagement se fera soit de façon manuelle ou à l'aide d'une pompe. Selon les données présentement disponibles, obtenues lors des travaux de 2016, le dégagement d'anomalies enfouies à moins de 15 cm (59 %), entre 15 cm et 60 cm (29 %) et entre 60 cm et 75 cm (12 %) produirait des trous de rayons d'environ 50 cm, 75 cm et 1 m respectivement. Si l'anomalie se situe à la profondeur maximale de 75 cm, un trou d'un rayon maximal de 1,0 m sera creusé, ce qui représente une surface maximale de 3 m² par trou pour un volume conique de 0,8 m³

Le nombre total d'anomalies à étudier dans le cadre du projet est d'environ 21 778. Étant donné la grosseur maximale des trous et le fait qu'ils seront espacés, l'intensité de l'impact sur la bathymétrie de l'aire des travaux est jugée faible. Puisque les trous seront répartis sur l'ensemble de la ZPI et pourraient s'étendre, au maximum, à l'intérieur de la zone d'intervention potentielle, l'étendue de l'impact sera locale. Avec le temps, les effets de sédimentation feront en sorte que les trous se rempliront, mais la période requise est indéterminée. La détermination de la durée et de l'intensité de cet impact fera l'objet d'un suivi en 2019. En effet, les impacts des détonations des années antérieures seront quantifiés. Indépendamment de la durée de la perturbation, ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la faible valeur accordée à la ressource.

4.1.6.1.1.4 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la qualité et la nature des sédiments*

Les travaux d'investigation des anomalies et d'identification et d'enlèvement des objets créant les anomalies causent un remaniement des sédiments, mais ne devraient pas avoir d'incidence sur leur nature ou leur qualité. L'impact est donc considéré comme nul.

Cependant, afin de s'assurer de ne pas créer de contamination et d'éviter tout impact sur la qualité des sédiments, les mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1) devront être mises en œuvre.

4.1.6.1.1.5 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la qualité de l'eau de surface*

Le creusage dans les sédiments par dégagement manuel ou par pompe à succion hydraulique aura comme effet d'augmenter la turbidité dans l'eau dans l'aire immédiate des travaux. L'étendue de l'impact est considérée comme ponctuelle. Il est jugé que l'intensité de cet impact sera moyenne puisque la concentration en matières en suspension (MES) pourrait devenir élevée, mais que cette concentration varie beaucoup de façon naturelle sous l'effet des vagues dans les zones peu profondes du lac Saint-Pierre. Par exemple, la turbidité était élevée lors des travaux de détonation *in situ* en 2018 (GHD, 2019b). Puisque les travaux sont de courte durée, mais sont récurrents, la durée de l'impact est occasionnelle. Le degré de perturbation est donc faible et l'impact a une importance mineure étant donné la valeur moyenne attribuée à cet élément du milieu. Une vérification du degré de perturbation des travaux sur la qualité de l'eau est prévue dans le cadre du programme de surveillance environnementale (voir section 5.3).

Il faut noter que les mesures présentées à la section 4.1.6.1.1.4 visant à éviter le rejet de contaminants dans le milieu permettront d'éviter des impacts plus importants sur la qualité de l'eau.

4.1.6.1.1.6 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur l'environnement sonore*

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer sur le lac occasionne l'émission de bruit. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.2 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur le milieu biologique*

4.1.6.1.2.1 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la végétation*

Les déplacements pourront causer des dommages mineurs aux plantes. De plus, le creusage pour l'investigation et l'enlèvement des projectiles aura comme effet de déraciner et donc de causer la mortalité de certaines plantes présentes à l'endroit du trou ainsi créé. Ce dernier effet est considéré comme ayant une intensité moyenne et une étendue ponctuelle. La durée est jugée temporaire puisque les plantes pourront recoloniser les aires affectées. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.2.2 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la faune benthique*

Le creusage pour l'investigation et l'enlèvement des projectiles auront comme effet de déranger et déplacer les organismes benthiques présents à l'endroit du trou créé. Il pourrait également y avoir une certaine mortalité d'individus d'organismes plus fragiles. Cet effet est considéré comme ayant une intensité moyenne et une étendue ponctuelle. La durée est jugée temporaire puisque les organismes pourront recoloniser les aires affectées. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.2.3 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les poissons*

La présence des travailleurs et de leurs équipements créera un léger dérangement des poissons. De plus, l'impact mineur sur la qualité de l'eau lié à l'augmentation de la turbidité de l'eau durant le creusage (section 4.1.6.1.1.5) peut affecter les poissons dans l'aire immédiate des travaux. Puisque le lac Saint-Pierre subit des fluctuations naturelles de la turbidité de l'eau, qui est élevée en période de vents et de vagues, comme observé lors des travaux de détonation *in situ* en 2018 (GHD, 2019b), l'intensité de la perturbation est considérée comme moyenne. Le degré de perturbation est donc considéré comme faible, ce qui a pour résultat un impact d'importance mineure étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.2.4 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les oiseaux*

La présence des travailleurs et de leurs équipements à l'intérieur des marais et herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre lors des travaux d'investigation et d'enlèvement des UXO peut déranger la faune avienne présente dans ce milieu. Pour la plupart des espèces, ces dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction. Par contre, le grèbe à bec bigarré place son nid sur la végétation aquatique flottante et pourrait donc nicher dans l'aire visée et les dérangements pourraient affecter la reproduction d'un faible nombre de nids. Il est jugé que l'intensité de l'impact est moyenne. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.1.2.5 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les mammifères*

La présence des travailleurs et de leurs équipements lors des travaux d'investigation et d'enlèvement des UXO peut déranger les mammifères présents dans ce milieu, tel le rat musqué. Étant donné que ces dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction des espèces, il est jugé que l'intensité de l'impact est faible. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.1.2.6 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les amphibiens et reptiles*

La présence des travailleurs et de leurs équipements créera un léger dérangement des amphibiens et reptiles. De plus, l'impact mineur sur la qualité de l'eau lié à l'augmentation de la turbidité de l'eau durant le creusage (section 4.1.6.1.1.5) peut affecter les espèces aquatiques dans l'aire immédiate des travaux. L'intensité de la perturbation est considérée comme faible, sa durée comme occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents et son étendue est considérée comme ponctuelle. Le degré de perturbation est donc jugé très faible, ce qui a pour résultat un impact d'importance négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.1.2.7 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les espèces à statut précaire*

Diverses espèces fauniques à statut précaire ont un potentiel de présence à l'intérieur des aires visées par les travaux d'investigation et d'enlèvement, tels que la tortue serpentine et des poissons comme le mené d'herbe, le chevalier cuirré, le fouille-roche gris, le dard de sable et le bar rayé. Comme dans le cas des impacts sur ces groupes fauniques (sections 4.1.6.1.2.3, 4.1.6.1.2.4 et 4.1.6.1.2.6), le degré de perturbation sur ces espèces lié à ces travaux est considéré comme très faible à faible. Ceci a pour résultat un impact d'importance mineure étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.1.3 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur le milieu humain

4.1.6.1.3.1 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur le patrimoine naturel

L'aire des travaux n° 1 recoupe des habitats fauniques désignés visant les oiseaux et les mammifères. La désignation d'habitats par la société est une reconnaissance de ce patrimoine naturel et indique qu'elle lui accorde une grande valeur. Un impact à ces espèces fauniques aura donc un impact sur le milieu humain. Le degré de perturbation est très faible et l'importance de l'impact est négligeable dans le cas des mammifères (section 4.1.6.1.2.5), tandis que le degré de perturbation est jugé faible et l'importance de l'impact mineure dans le cas des oiseaux (section 4.1.6.1.2.4). Étant donné la grande valeur attribuée au patrimoine naturel, l'importance de l'impact sur le patrimoine naturel est mineure.

4.1.6.1.3.2 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la navigation

Étant donné que l'aire visée par les travaux est à l'extérieur du chenal de navigation du fleuve et est seulement utilisée par de petites embarcations de plaisance ou de pêche, il est considéré que les travaux causeront peu d'interférence sur la navigation, même durant les périodes de plus grande utilisation du lac Saint-Pierre. L'intensité de l'impact est donc considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.1.3.3 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la pêche commerciale

Étant donné les impacts mineurs des travaux d'investigation et d'enlèvement sur les poissons (section 4.1.6.1.2.3) et les impacts négligeables sur la navigation (section 4.1.6.1.3.1), l'intensité de l'impact de ces travaux sur la pêche commerciale est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.1.3.4 Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive

Étant donné les impacts mineurs des travaux sur les poissons (section 4.1.6.1.2.3) et les oiseaux (section 4.1.6.1.2.4) et les impacts négligeables sur la navigation (section 4.1.6.1.3.1), l'intensité de l'impact de ces travaux sur les activités récréotouristiques, incluant la chasse et la pêche sportive, est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

Par contre, il y a une possibilité d'un impact plus grand sur la chasse lors du pic d'activités à l'ouverture de la chasse à la sauvagine puisque cette chasse vise particulièrement les marais riverains comme ceux retrouvés dans l'aire des travaux n° 1. Les mesures d'atténuation présentées à la section 4.1.1.2 visent à réduire cet impact potentiel.

4.1.6.1.3.5 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la qualité de vie*

Étant donné le degré de perturbation très faible sur la qualité de l'air (section 4.1.6.1.1.2) et l'environnement sonore (section 4.1.6.1.1.6) ainsi que la distance (environ 1 km) entre l'aire des travaux, les résidences et les zones de villégiature les plus rapprochées, l'intensité des travaux sur la qualité de vie est jugée faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.1.3.6 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur les communautés autochtones*

Les effets du projet sur la navigation, la chasse, la pêche et la qualité de vie peuvent tous avoir une incidence sur les communautés w8banakiaks de la région. Puisque l'importance des impacts des travaux d'investigation des anomalies et d'enlèvement des objets créant les anomalies sur ces éléments du milieu est négligeable ou mineure, l'intensité de la perturbation sur les communautés autochtones est considérée comme faible. L'étendue de ces impacts est locale et leur durée est occasionnelle. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée aux communautés autochtones.

4.1.6.1.3.7 *Impacts des travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement sur la santé et la sécurité*

L'investigation et la manipulation d'UXO posent des risques à la santé et sécurité des travailleurs et de la population liés au risque d'explosions non contrôlées de ces munitions. Pour éviter ces risques, ces travaux sont réalisés en conformité avec les normes énoncées à la section 1.5.1. Avec la mise en place de ces normes, les blessures devraient être évitées et l'intensité de la perturbation associée à ce risque est jugée faible. L'étendue est ponctuelle, car le risque serait limité à l'aire des travaux et la durée permanente, car il s'agit d'un risque de blessure grave ou de mortalité. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à la santé et sécurité. De plus, l'enlèvement des UXO du lac Saint-Pierre aura un effet positif et permanent sur la santé et sécurité qui est l'objectif premier du projet à l'étude.

4.1.6.2 Impacts des travaux de détonation in situ des munitions jugées non sécuritaires à déplacer

4.1.6.2.1 Impacts des travaux de détonation in situ sur le milieu physique

4.1.6.2.1.1 Impacts des travaux de détonation in situ sur le climat

Les impacts de la détonation *in situ* sur le climat sont limités aux faibles émissions de GES, tels que le CO et le CO₂, libérés par la combustion des explosifs lors des explosions. L'explosif contenu dans les projectiles est soit du TNT, soit un mélange nommé « composition B », composé de 60 % de RDX (C₃H₆N₆O₆), 39 % de TNT (C₇H₅N₃O₆) et 1 % de cire. Le RDX se décompose en CO, H₂O et N₂ tandis que le TNT (C₇H₅N₃O₆) se dégrade en proportions variables de H₂O, CO₂, CO et N₂ selon la température de l'explosion (Furman et coll., 2014). Comme indiqué à la section 4.1.5, en supposant que tout le carbone de l'explosif est transformé en CO₂, la quantité prédite de GES qui serait émise annuellement lors des détonations serait de 0,618 t éq. CO₂ et contribuerait à environ 3 % des émissions totales liées au projet. L'intensité de la perturbation est donc jugée faible. Puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents, la durée de l'effet est occasionnelle. Les changements climatiques étant un enjeu de grande envergure, l'étendue est régionale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la valeur faible accordée à la ressource.

4.1.6.2.1.2 Impacts des travaux de détonation in situ sur la qualité de l'air

Les impacts de la détonation *in situ* sur la qualité de l'air sont limités aux émissions de gaz et de particules fines par les explosions. Lors de la détonation de munitions, 98 % du carbone est converti en CO₂ et CO, moins de 2 % de l'azote est converti en oxydes d'azote (la majorité étant converti en N₂) et une très faible quantité de métaux provenant de l'enveloppe du projectile entre dans le panache de la détonation (SEESAC, 2004). Des particules fines (PM_{2,5}) sont émises lors de la détonation des munitions et une faible quantité de composés organiques volatils, tels que le benzène et le toluène, peut également être produite (SEESAC, 2004). L'intensité de cette perturbation est jugée moyenne à une échelle ponctuelle. Puisque les travaux sont d'une courte durée, mais qu'ils sont récurrents, la durée de l'effet est occasionnelle. Pour ces raisons, le degré de perturbation est faible et l'importance de l'impact est mineure étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.2.1.3 Impacts des travaux de détonation in situ sur la bathymétrie

La mise en œuvre du projet prévoit l'enlèvement d'environ 2 400 anomalies par année. Selon les données des campagnes pilotes, environ 8 % des items créant les anomalies seraient soumis à une détonation *in situ*, soit environ 200 par année. De ces 200 détonations, environ 130 pourraient contenir de la matière explosive et détoner. Sur l'ensemble du projet, environ 1 150 projectiles pourraient détoner dans le lac, sur une période de neuf ans et sur une superficie de 525 ha, soit en moyenne deux détonations par hectare.

Un cratère sera produit à l'emplacement de chacune des détonations contenant de la matière énergétique. Afin d'identifier les impacts créés par les détonations *in situ*, des mesures de dimensions des cratères ont été prises lors des campagnes pilotes de 2016 et 2017. Un technicien UXO mesurait les dimensions à l'aide d'une règle d'arpentage. En 2016, des cratères de diamètre

moyen de 1 m ont été mesurés tant pour les détonations de projectiles de calibres 3,50 po (0,449 kg de matière explosive) que 90 mm (0,975 kg de matière explosive) (CDC, 2017). Lors des détonations *in situ* réalisées en 2017, les diamètres des cratères ont varié de 1 à 2 m pour des calibres de projectiles de 105 mm (CDC, 2018). En considérant des cratères de 1,5 m de diamètre pour les calibres 105 mm et 155 mm et des cratères de 1,0 m de diamètre pour les plus petits calibres, une distance linéaire totale d'environ 1 500 m serait perturbée au cours des neuf prochaines années, sur une superficie de 525 ha, alors que le seuil d'assujettissement à la procédure d'évaluation des impacts est de 500 m. La superficie totale des cratères créés sur une période de neuf ans par la détonation des 1 150 projectiles non sécuritaires à déplacer et suspectés contenant de la matière énergétique est estimée à environ 1 650 m² ou 0,16 ha, soit 0,03 % des 525 ha de la ZPI.

Étant donné la faible superficie des cratères, l'intensité de l'impact sur la bathymétrie de l'aire des travaux est jugée faible. Puisque les cratères seront répartis sur l'ensemble de la ZPI et se limiteront à la zone d'intervention potentielle, l'étendue de l'impact sera locale. Avec le temps, les processus de sédimentation feront en sorte que les trous se rempliront, mais la période requise est indéterminée. La détermination de la durée et de l'intensité de cet impact fera l'objet d'un suivi en 2019. En effet, les impacts des détonations des années antérieures seront quantifiés. Indépendamment de la durée de la perturbation, ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la faible valeur accordée à la ressource.

4.1.6.2.1.4 Impacts des travaux de détonation *in situ* sur la qualité et la nature des sédiments

La détonation de munitions peut émettre divers contaminants dans le milieu, notamment des métaux provenant du corps des projectiles et des contaminants organiques dans le cas où la combustion du produit explosif ne serait pas complète lors de l'explosion (Clausen 2014). Cependant, lors d'une détonation complète la quantité de ces substances est minime (Munroe et Howell, 1920; SEESAC, 2004). Dans ces conditions, la détonation est donc une méthode ayant peu d'impacts environnementaux (SEESAC, 2004).

Des travaux de caractérisation des sols au droit de la structure temporaire de détonation au CEEM Nicolet ont eu lieu en 2016, 2017 et 2018 à la suite des détonations de 276, 598 et 79 projectiles sécuritaires à déplacer, respectivement. Les échantillons ont été analysés pour en déterminer leur contenu en métaux, HAP, matériaux énergétiques et perchlorate. Les résultats indiquent que les travaux de détonation des projectiles n'ont pas affecté la qualité environnementale des sols du secteur à l'étude au-delà des recommandations, des critères et des standards applicables sur les sols (CIMA+/Arcadis Canada Inc., 2016). Puisque le site terrestre subit une concentration beaucoup plus grande d'explosions, et plusieurs explosions consécutives à un même endroit, les impacts sur la qualité des sols à ce site devraient théoriquement être plus importants qu'aux endroits des explosions *in situ*.

L'intensité de l'impact sur la qualité des sédiments est donc jugée faible. Puisque les détonations seront réparties sur l'ensemble de la ZPI et pourraient avoir lieu dans la zone d'intervention potentielle, l'étendue de l'impact sera locale. Puisque les métaux ne se dégradent pas dans l'environnement, la durée de l'impact est considérée comme permanente. Ceci a pour résultat un



degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

En prenant en compte la mesure d'atténuation présentée à la section 4.2.2.3 et le fait que les travaux résultent au retrait de sources potentielles de contaminant du milieu, l'impact résiduel de la détonation *in situ* sur la nature et la qualité des sédiments est considéré comme négligeable.

4.1.6.2.1.5 Impacts des travaux de détonation *in situ* sur la qualité de l'eau de surface

L'effet des détonations causera une mise en suspension de particules dans la colonne d'eau, mais cet effet sera de courte durée, car il est limité au temps de sédimentation des particules. Puisque les sédiments de l'aire de travaux n° 1 ne présentent pas de contamination (section 3.2.1.8) et que les sédiments se déposeront à proximité du site de chaque détonation, aucun impact sur la qualité chimique de l'eau ni des sédiments n'est appréhendé en lien avec la mise en suspension des sédiments. L'intensité de l'impact sur la qualité de l'eau de surface est donc jugée faible. Puisque les détonations seront réparties sur l'ensemble de la ZPI et se limiteront, au plus, à la zone d'intervention potentielle, l'étendue de l'impact sera locale. Étant donné le pouvoir de dilution du lac Saint-Pierre et la mobilité des contaminants dans l'eau, mais que les travaux sont récurrents, la durée de l'impact est considérée comme occasionnelle. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.2.1.6 Impacts des travaux de détonation *in situ* sur l'environnement sonore

Les impacts des détonations *in situ* sur l'environnement sonore causés par le bruit propagé dans l'air sont réduits par le fait que les munitions sont localisées sous l'eau. Le CEEM de Nicolet fait le suivi du bruit généré par ses activités d'homologation de munitions à l'aide de deux sonomètres installés un à Nicolet et un à Pointe-du-Lac. Les représentants du CEEM de Nicolet ont mesuré les valeurs de bruits mesurées par ces sonomètres lors des détonations *in situ* de 2017. Lors des sept journées pendant lesquelles des mesures ont été prises, les bruits de fond mesurés aux sonomètres variaient de 45 à 65 dB. Au sonomètre de Nicolet, les détonations *in situ* ont généré des mesures allant de 0 à 11 dB de plus que la valeur du bruit de fond pour un maximum de 60 dB, alors qu'au sonomètre de Pointe-du-Lac, les détonations *in situ* ont généré des mesures allant de 0 à 21 dB de plus que la valeur du bruit de fond, pour un maximum de 76 dB. Puisque le bruit est certainement perceptible et capable de déranger la faune, les utilisateurs du milieu et les résidents riverains, l'intensité de la perturbation est jugée moyenne à l'échelle locale. Puisque les travaux ont une durée occasionnelle, le degré de perturbation est faible et l'importance de l'impact est mineure étant donné la valeur moyenne attribuée à cet élément du milieu.

Certaines des mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.2 ont comme effet de réduire l'impact sur le milieu sonore. En prenant en compte ces mesures, l'importance de l'impact est considérée comme négligeable.

4.1.6.2.2 Impacts des travaux de détonation in situ sur le milieu biologique

4.1.6.2.2.1 Impacts des travaux de détonation in situ sur la végétation

La détonation de munitions à l'intérieur des marais riverains et herbiers aquatiques aura comme effet de tuer toutes les plantes dans un rayon relativement restreint autour de chaque détonation, minimalement à l'intérieur des cratères de 1 à 2 m de diamètre.

Cet effet est donc considéré comme ayant une intensité forte et une étendue ponctuelle. La durée est jugée temporaire puisque les plantes pourront recoloniser les aires affectées. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.2.2.2 Impacts des travaux de détonation in situ sur la faune benthique

La détonation de munitions à l'intérieur des marais riverains et herbiers aquatiques aura comme effet de tuer tous les invertébrés benthiques dans un rayon relativement restreint autour de chaque détonation, minimalement à l'intérieur des cratères de 1 à 2 m de diamètre. En effet, la mortalité causée par l'onde de choc de l'explosion pourrait s'étendre sur un rayon plus grand et qui est variable selon le calibre de la munition.

Cet effet est donc considéré comme ayant une intensité forte et une étendue ponctuelle. La durée est jugée temporaire puisque les organismes benthiques pourront recoloniser les aires affectées. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.2.2.3 Impacts des travaux de détonation in situ sur les poissons

La détonation *in situ* de projectiles crée une onde de surpression. Selon le MPO, la pression létale pour les poissons est de 100 kPa (courriel envoyé par le MPO à CDC le 23 novembre 2015). Ce seuil est basé sur les pressions pouvant causer des dommages aux organes des poissons, particulièrement à la vessie natatoire (Wright et Hopky, 1998). Par contre, selon Kolden et Aimone-Martin (2013), la pression la plus faible ayant blessé un poisson salmonidé est de 69 kPa (Goddard et coll., 2008, cité dans Kolden et Aimone-Martin, 2013), mais d'autres études ont observé une absence de blessure ou de mortalité à des valeurs de pression s'élevant jusqu'à 883 et 1 999 kPa (Yverton et coll., 1975 et Fernet, 1982, cités dans Kolden et Aimone-Martin, 2013).

Si les travaux de détonation étaient réalisés sans l'application de mesures d'atténuation, il y aurait une possibilité de causer la mortalité de tous les poissons à l'intérieur d'un rayon léthal autour de chaque UXO visée. Selon les résultats du suivi des pressions subaquatiques réalisé à l'automne 2018, le rayon autour de chaque détonation équivalant à une pression de 100 kPa varie de 26 m à 62 m selon le calibre du projectile (GHD, 2019b).

De plus, si les travaux se réalisaient durant les périodes de frai, le dérangement pourrait affecter le succès reproducteur des poissons à l'intérieur de la zone d'intervention potentielle. Dans ce pire cas, l'intensité de la perturbation serait très forte, sa durée occasionnelle et son étendue locale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation fort et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

Afin de réduire les impacts sur les poissons, plusieurs mesures d'atténuation sont proposées (voir section 4.2.2). Ces mesures ont comme effet d'éviter les périodes sensibles pour la faune ichthyenne et d'exclure les poissons de l'aire autour de chaque détonation. Lors de l'application de ces mesures en 2017 et 2018, aucune mortalité de poisson n'a été notée. En effet, les travaux de détonation *in situ* durant ces deux années ont eu lieu tard en saison et peu, voire pas, de poissons ont été aperçus (CDC, 2018; GDH, 2019b). En 2016, les travaux ont également eu lieu tard en saison et un seul poisson mort a été observé, soit un méné pâle (*Notropis volucellus*).

Ceci est une démonstration qu'avec la mise en place de mesures d'atténuation, l'intensité de la perturbation sur les poissons est faible. L'impact résiduel sur les poissons est donc considéré comme négligeable.

Cependant, une incertitude existe en lien avec les observations de mortalité de poissons en 2016, 2017 et 2018, car la méthode utilisée, soit l'observation passive, a possiblement conduit en une sous-estimation de la mortalité. En effet, la visibilité dans l'eau étant faible, il est possible que des mortalités aient eu lieu sans être détectées. D'autres méthodes sont donc proposées pour les prochains travaux de surveillance (voir section 5.3).

4.1.6.2.2.4 Impacts des travaux de détonation *in situ* sur les oiseaux

Le grèbe à bec bigarré place son nid sur la végétation aquatique flottante et pourrait donc nicher à l'intérieur des marais riverains de la zone d'intervention potentielle. La période de ponte et d'incubation des œufs de cette espèce est du début avril à la fin août (voir annexe B). Une détonation à proximité d'un nid pourrait le détruire. Les détonations sont également une source de dérangement pour tous les oiseaux utilisant la zone comme aire d'alimentation.

Sans l'application de mesures d'atténuation, l'intensité de la perturbation serait forte, sa durée occasionnelle et son étendue locale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

En prenant en compte les mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.2, l'intensité de la perturbation sur les oiseaux est faible. L'impact résiduel sur les oiseaux est donc considéré comme négligeable.

4.1.6.2.2.5 Impacts des travaux de détonation *in situ* sur les mammifères

L'aire des travaux n° 1 peut être utilisée comme aire d'alimentation pour certains mammifères, comme la loutre de rivière. Peu de mammifères sont susceptibles d'utiliser l'aire des travaux n° 1 comme site de reproduction. Il est prévisible que tout mammifère susceptible de se trouver dans ce milieu s'éloignerait du site de détonation à l'arrivée des travailleurs. Le principal impact sur les mammifères est donc le dérangement produit par la présence des travailleurs et par le bruit des détonations. La seule exception serait la possibilité d'avoir des huttes de rat musqué à l'intérieur de l'habitat faunique du rat musqué qui recoupe la partie sud de la ZPI et de la zone d'intervention potentielle. Une détonation près d'une hutte pourrait perturber ou endommager celle-ci et potentiellement causer la mort d'un individu. Dans un tel cas, il est jugé que l'intensité de l'impact sur la population de cette espèce commune est faible. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont

récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.2.2.6 *Impacts des travaux de détonation in situ sur les amphibiens et reptiles*

Les amphibiens et reptiles susceptibles de se trouver dans l'aire des travaux n° 1 sont des espèces aquatiques telles que les grenouilles et leur têtard, le necture tacheté (*Necturus maculosus*) et des tortues. Les impacts potentiels sur ces espèces sont donc essentiellement identiques aux impacts potentiels sur les poissons, c'est-à-dire un risque de mortalité des individus dans le rayon létal de la détonation et un dérangement à l'échelle locale.

Dans le pire des cas, l'intensité de la perturbation serait donc très forte, sa durée occasionnelle et son étendue locale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation fort et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource. À la suite de la mise en place des mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.2, l'intensité de la perturbation sur les amphibiens et reptiles est jugée faible. L'impact résiduel sur l'herpétofaune est donc considéré comme négligeable.

4.1.6.2.2.7 *Impacts des travaux de détonation in situ sur les espèces à statut précaire*

Diverses espèces fauniques à statut précaire ont un potentiel de présence à l'intérieur des aires visées par les travaux de détonation *in situ*, tels que la tortue serpentine et des poissons comme le mené d'herbe, le chevalier cuivré, le fouille-roche gris, le dard de sable et le bar rayé.

Dans le cas des poissons et de la tortue serpentine, sans la mise en place des mesures d'atténuation, le degré de perturbation est fort (voir sections 4.1.6.2.2.3 et 4.1.6.2.2.6). Dans le cas des espèces de poissons à statut précaire, l'importance de l'impact serait donc majeure. Cependant, à la suite de la mise en place des mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.2, l'intensité de la perturbation est faible et l'importance de l'impact est mineure.

Aucune espèce d'oiseau à statut précaire ne présente un potentiel de nidification à l'intérieur de la zone d'intervention potentielle. L'impact potentiel sur ces espèces est donc limité au dérangement à l'intérieur d'une aire d'alimentation ou de déplacement. L'impact sur ces espèces est donc considéré comme négligeable.

4.1.6.2.3 *Impacts des travaux de détonation in situ sur le milieu humain*

4.1.6.2.3.1 *Impacts des travaux de détonation in situ sur le patrimoine naturel*

L'aire des travaux n° 1 recoupe des habitats fauniques désignés visant les oiseaux et les mammifères. La désignation d'habitats par la société est une reconnaissance de ce patrimoine naturel et indique qu'elle lui accorde une grande valeur. Un impact à ces espèces fauniques aura donc un impact sur le milieu humain. Dans le cas des mammifères, l'impact est négligeable (section 4.1.6.2.2.5). Cependant, dans le cas des oiseaux, le degré de perturbation est jugé moyen sans la mise en place de mesures d'atténuation (section 4.1.6.2.2.4). Étant donné la grande valeur attribuée au patrimoine naturel, l'importance de cet impact est moyenne. Cependant, à la suite de la mise en place des mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.2, l'intensité de la perturbation est faible et l'importance de l'impact est mineure.

4.1.6.2.3.2 *Impacts des travaux de détonation in situ sur la navigation*

Afin d'assurer la sécurité des travaux, une zone d'exclusion de 1 240 m est mise en place autour du projectile à faire détoner. Par ce fait, la navigation n'est pas possible à l'intérieur de cette zone durant les travaux. Étant donné la grande superficie du lac Saint-Pierre, il est jugé que ceci représente une perturbation d'intensité moyenne, d'étendue locale et de durée occasionnelle. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible. L'importance de l'impact est donc mineure étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.2.3.3 *Impacts des travaux de détonation in situ sur la pêche commerciale*

Étant donné les impacts négligeables des travaux de détonation *in situ* sur les poissons à la suite de la mise en place des mesures d'atténuation (section 4.1.6.2.2.3) et l'impact mineur sur la navigation (section 4.1.6.2.3.2), l'intensité de l'impact de ces travaux sur la pêche commerciale est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.2.3.4 *Impacts des travaux de détonation in situ sur les activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive*

Étant donné les impacts négligeables des travaux de détonation *in situ* sur les poissons et les oiseaux à la suite de la mise en place des mesures d'atténuation (sections 4.1.6.2.2.3 et 4.1.6.2.2.4) et l'impact moyen sur la navigation (section 4.1.6.2.3.2), l'intensité de l'impact de ces travaux sur la pratique d'activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive est considérée comme moyenne. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

Par contre, il y a une possibilité d'un impact plus grand sur la chasse lors du pic d'activités à l'ouverture de la chasse à la sauvagine puisque cette chasse vise particulièrement les marais riverains comme ceux retrouvés dans la zone d'intervention potentielle. Les mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.1.2 visent à réduire cet impact potentiel.

4.1.6.2.3.5 *Impacts des travaux de détonation in situ sur la qualité de vie*

Le principal effet de la détonation *in situ* sur la qualité de vie de la population résulte des vibrations causées par les explosions qui sont potentiellement perceptibles sur de bonnes distances et peuvent être une source de dérangement pour la population. Historiquement, la population de Pointe-du-Lac à Trois-Rivières est généralement celle qui est la plus affectée par les activités de détonations. De plus, le secteur de villégiature se trouvant juste à l'ouest du CEEM Nicolet se trouve à environ 1 km de la zone d'intervention potentielle et à environ 1,5 km de la ZPI. Cependant, il faut noter qu'il n'y a pas eu de plaintes liées aux détonations *in situ* lors des travaux antérieurs. En effet, les seules plaintes liées aux détonations passées étaient à la suite de détonations dans un site ouvert sur la pointe de l'OP-6.

Dans le cas des détonations *in situ*, l'intensité de la perturbation est donc considérée de niveau faible sur une échelle régionale. La durée est occasionnelle, car les travaux sont d'une durée



relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact d'importance mineure étant donné la grande valeur attribuée à la qualité de vie.

À la suite de l'application des mesures présentées à la section 4.2.2, il est jugé que l'impact résiduel sera négligeable.

4.1.6.2.3.6 *Impacts des travaux de détonation in situ sur les communautés autochtones*

Les effets des activités liées au projet sur la navigation, la chasse, la pêche et la qualité de vie peuvent tous avoir une incidence sur les communautés w8banakiaks de la région. Puisque l'importance des impacts du transport sur la navigation est moyenne (section 4.1.6.3.3.2), tandis que l'importance des impacts sur la chasse, la pêche et la qualité de vie est mineure, l'intensité de la perturbation sur les communautés autochtones est considérée comme moyenne. L'étendue de ces impacts est locale et leur durée est occasionnelle. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée aux communautés autochtones.

4.1.6.2.3.7 *Impacts des travaux de détonation in situ sur la santé et la sécurité*

La détonation *in situ* d'UXO pose des risques à la santé et sécurité des travailleurs et de la population liés au risque d'explosions non contrôlées de ces munitions. Pour éviter ces risques, ces travaux sont réalisés en conformité avec les normes énoncées à la section 1.5.1. Avec la mise en place de ces normes, les blessures devraient être évitées et l'intensité de la perturbation associée à ce risque est jugée faible. L'étendue est ponctuelle, car les risques seraient limités à l'aire des travaux et la durée permanente, car il s'agit de risques de blessure grave ou de mortalité. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à la santé et sécurité. De plus, l'enlèvement des UXO du lac Saint-Pierre aura un effet positif et permanent sur la santé et sécurité qui est l'objectif premier du projet à l'étude.

4.1.6.3 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer*

4.1.6.3.1 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur le milieu physique*

4.1.6.3.1.1 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur le climat*

L'utilisation de véhicules motorisés implique l'émission de GES qui peuvent contribuer aux changements climatiques. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés (voir section 4.1.5), l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents, la durée de l'effet est occasionnelle. Les changements climatiques étant un enjeu de grande envergure, l'étendue est régionale. Pour ces raisons, le degré de perturbation est faible et l'importance de l'impact est jugée négligeable étant donné la faible valeur attribuée à cet élément du milieu.

4.1.6.3.1.2 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la qualité de l'air*

L'utilisation de véhicules motorisés est susceptible d'affecter la qualité de l'air par les émissions atmosphériques des engins. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont



récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.3.1.3 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la nature et la qualité des sédiments*

Les déplacements en BV, VTT ou Argo, peuvent causer un remaniement et une compaction des sédiments sur le trajet du chemin traversant le marais riverain, mais ne devraient pas avoir d'incidence sur leur nature ou leur qualité. L'intensité de la perturbation est donc considérée comme nulle.

Cependant, afin de s'assurer de ne pas créer de contamination et d'éviter tout impact sur la qualité des sédiments, les mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1) devront être mises en œuvre.

4.1.6.3.1.4 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la qualité de l'eau de surface*

Le passage des BV, VTT ou Argo entre l'OP-6 et l'OP-4 en périodes de niveau d'eau moyen ou élevé pourrait avoir comme effet d'augmenter la turbidité dans l'eau le long du trajet emprunté. L'étendue de l'impact est considérée comme ponctuelle puisqu'il est limité aux abords de ce trajet. Il est jugé que l'intensité de cet impact sera moyenne puisque la concentration en MES pourrait devenir élevée, mais que cette concentration varie beaucoup de façon naturelle sous l'effet des vagues dans les zones peu profondes du lac Saint-Pierre, comme observé lors des travaux de détonation *in situ* en 2018 (GHD, 2019b). Il faut noter qu'en période d'eau basse les chemins les plus utilisés, tel le sentier principal pour le transport des projectiles (voir figure 4), ne présentent pas d'eau libre et que dans ces conditions le transport n'aura aucun impact sur la qualité de l'eau.

Puisque les travaux sont de courte durée, mais sont récurrents, la durée de l'impact est occasionnelle. Le degré de perturbation est donc faible et l'impact a une importance mineure étant donné la valeur moyenne attribuée à cet élément du milieu.

De plus, afin de s'assurer de ne pas créer de contamination et d'éviter des impacts additionnels sur la qualité de l'eau, les mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1) devront être mises en œuvre.

4.1.6.3.1.5 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur l'environnement sonore*

L'utilisation de véhicules motorisés occasionne l'émission de bruit. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.3.2 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur le milieu biologique

4.1.6.3.2.1 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la végétation

Le transport par BV, VTT ou Argo à l'intérieur des marais aura comme effet d'aplatir et d'abimer la végétation au passage des véhicules. Ceci sera notamment vrai lors de l'utilisation du chemin traversant le marais riverain du lac Saint-Pierre entre la zone temporaire d'entreposage des projectiles et le site de détonation terrestre au CEEM Nicolet (sentier principal, figure 4), puisqu'il y aura plusieurs passages consécutifs pendant le projet. Par contre, le fait de concentrer les mouvements sur un sentier réduira la superficie affectée. Les déplacements en embarcation en période de haut niveau d'eau causeront moins d'impacts sur les plantes.

Globalement, il est jugé que l'intensité de l'impact sera moyenne dans l'emprise du sentier principal. L'étendue de cet impact est donc ponctuelle. La durée est occasionnelle puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.3.2.2 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la faune benthique

Le transport par BV, VTT ou Argo à l'intérieur des marais pourrait avoir comme effet d'endommager les organismes benthiques lors de leur passage. Ceci sera notamment vrai lors de l'utilisation du chemin traversant le marais riverain du lac Saint-Pierre entre la zone temporaire d'entreposage des projectiles et le site de détonation terrestre au CEEM Nicolet, puisqu'il y aura plusieurs passages consécutifs au courant du projet. Par contre, le fait de concentrer les mouvements sur un sentier réduira la superficie affectée. Les déplacements en embarcation en période de haut niveau d'eau ne causeront aucun impact sur la faune benthique.

Il est jugé que l'intensité de l'impact sera faible dans l'emprise du sentier principal. L'étendue de cet impact est ponctuelle. La durée est occasionnelle puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.3.2.3 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les poissons

Les déplacements vers le CEEM Nicolet peuvent déranger les poissons présents dans les milieux hydriques traversés. L'impact mineur sur la qualité de l'eau (section 4.1.6.3.1.4) affectera également les poissons à proximité du chemin emprunté. Étant donné que ces dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction des espèces, il est jugé que l'intensité de l'impact est faible. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à ces ressources.

4.1.6.3.2.4 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les oiseaux

Le transport en véhicule motorisé pourra déranger la faune avienne présente dans ce milieu. Si ces déplacements ont lieu durant la période de reproduction des oiseaux pouvant nicher à l'intérieur des

marais riverains, tels que le grèbe à bec bigarré et la gallinule poule d'eau, le dérangement pourrait affecter le succès des nids à proximité du sentier principal. Par contre, le fait de concentrer les mouvements sur un sentier unique réduira le nombre de nids potentiellement affectés.

L'intensité de cette perturbation est considérée comme moyenne. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.3.2.5 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les mammifères*

Le transport en véhicules motorisés pourra déranger les mammifères présents dans ce milieu. Ces dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction de la plupart des espèces pouvant utiliser le milieu visé. Cependant, il est possible que les déplacements perturbent ou endommagent des huttes de rat musqué à l'intérieur du marais riverain de lac Saint-Pierre, qui est identifié comme habitat faunique pour cette espèce (voir figure 8). Dans un tel cas, l'intensité de la perturbation sur la population de cette espèce serait faible. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.3.2.6 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les amphibiens et reptiles*

Les déplacements vers le CEEM Nicolet peuvent déranger les amphibiens et reptiles aquatiques présents dans les milieux hydriques traversés. L'impact mineur sur la qualité de l'eau (section 4.1.6.3.1.4) peut également affecter les individus à proximité du chemin emprunté. Il y a également un risque de mortalité à cause de la possibilité de collisions avec les véhicules. Globalement, l'intensité de cette perturbation est considérée comme moyenne. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à ces ressources.

4.1.6.3.2.7 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les espèces à statut précaire*

Diverses espèces fauniques à statut précaire ont un potentiel de présence à l'intérieur des aires traversées lors du transport entre la ZPI et le CEEM Nicolet, telles que le petit blongios, la tortue serpentine et des poissons comme le mené d'herbe, le chevalier cuivré, le fouille-roche gris, le dard de sable et le bar rayé. Comme dans le cas des impacts sur ces groupes fauniques (sections 4.1.6.3.2.3, 4.1.6.3.2.4 et 4.1.6.3.2.6), le degré de perturbation sur ces espèces lié à ces travaux est considéré comme très faible à faible. Ceci a pour résultat un impact d'importance mineure étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.3.3 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur le milieu humain

4.1.6.3.3.1 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur le patrimoine naturel

La zone d'intervention potentielle recoupe des habitats fauniques désignés visant les oiseaux et les mammifères. La désignation d'habitats par la société est une reconnaissance de ce patrimoine naturel et indique qu'elle lui accorde une grande valeur. Un impact à ces espèces fauniques aura donc un impact sur le milieu humain. Dans le cas des mammifères, le degré de perturbation est très faible et l'importance de l'impact est négligeable (section 4.1.6.3.2.5). Cependant, dans le cas des oiseaux, le degré de perturbation est jugé faible (section 4.1.6.3.2.4). Étant donné la grande valeur attribuée au patrimoine naturel, l'importance de cet impact est mineure.

4.1.6.3.3.2 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la navigation

Afin d'assurer la sécurité des travaux, une zone d'exclusion pouvant atteindre 151 m est mise en place autour des trajets utilisés. Puisque l'aire visée par les travaux est à l'extérieur du chenal de navigation du fleuve et est seulement utilisée par des petites embarcations de plaisance ou de pêche et que la zone d'exclusion est petite par rapport à la superficie du lac Saint-Pierre, l'intensité de l'impact est donc considérée comme faible et d'étendue locale. La durée est occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible. L'importance de l'impact est donc négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.3.3.3 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la pêche commerciale

Étant donné les impacts négligeables des travaux de transport sur les poissons (section 4.1.6.3.2.3) et la navigation (section 4.1.6.3.3.2) l'intensité de l'impact de ces travaux sur la pêche commerciale est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.3.3.4 Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive

Étant donné les impacts négligeables liés au transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les poissons (section 4.1.6.3.2.3), l'impact mineur sur les oiseaux (section 4.1.6.3.2.4) et l'impact négligeable sur la navigation (section 4.1.6.3.3.2) l'intensité de l'impact de ces travaux sur les activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

Par contre, il y a une possibilité d'un impact plus grand sur la chasse lors du pic d'activités à l'ouverture de la chasse à la sauvagine puisque cette chasse vise particulièrement les marais



riverains comme ceux retrouvés en bordure du CEEM Nicolet. Les mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.1.2 visent à réduire cet impact potentiel.

4.1.6.3.3.5 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la qualité de vie*

Étant donné le degré de perturbation très faible sur la qualité de l'air (section 4.1.6.3.1.2) et l'environnement sonore (section 4.1.6.3.1.5) ainsi que la distance (environ 1 km) entre l'aire des travaux, les résidences et les zones de villégiature les plus rapprochées, l'intensité de la perturbation des travaux sur la qualité de vie est jugée faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.3.3.6 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur les communautés autochtones*

Les effets du transport de projectiles sur la navigation, la chasse, la pêche et la qualité de vie peuvent tous avoir une incidence sur les communautés w8banakiaks de la région. Puisque l'importance des impacts du transport sur la navigation est négligeable (section 4.1.6.3.3.2), tandis que l'importance des impacts sur la chasse, la pêche et la qualité de vie est mineure, l'intensité de la perturbation sur les communautés autochtones est considérée comme faible. L'étendue de ces impacts est locale et leur durée est occasionnelle. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée aux communautés autochtones.

4.1.6.3.3.7 *Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer sur la santé et sécurité*

Le transport d'UXO pose des risques à la santé et sécurité des travailleurs et de la population liés au risque d'explosions non contrôlées de ces munitions. Pour éviter ces risques, ces travaux sont réalisés en conformité avec les normes énoncées à la section 1.5.1. Avec la mise en place de ces normes, les blessures devraient être évitées et l'intensité de la perturbation associée à ces risques est jugée faible. L'étendue est ponctuelle, car les risques seraient limités à l'aire des travaux et la durée permanente, car il s'agit de risques de blessure grave ou de mortalité. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à la santé et sécurité. De plus, l'enlèvement des UXO du lac Saint-Pierre aura un effet positif et permanent sur la santé et sécurité qui est l'objectif premier du projet à l'étude.

4.1.6.4 Impacts des travaux de levés géophysiques

4.1.6.4.1 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur le milieu physique*

4.1.6.4.1.1 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur le climat*

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer implique l'émission de GES qui peuvent contribuer aux changements climatiques. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés (voir section 4.1.5), l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents, la

durée de l'effet est occasionnelle. Les changements climatiques étant un enjeu de grande envergure, l'étendue est régionale. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la valeur faible accordée à la ressource. Pour ces raisons, l'importance de l'impact est jugée négligeable.

4.1.6.4.1.2 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur la qualité de l'air*

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer est susceptible d'affecter la qualité de l'air par les émissions atmosphériques des engins. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.4.1.3 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur l'environnement sonore*

L'utilisation de véhicules motorisés pour se déplacer occasionne l'émission de bruit. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.4.2 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur le milieu biologique*

4.1.6.4.2.1 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur la faune (poissons, oiseaux, mammifères, amphibiens et reptiles)*

Les déplacements à l'intérieur des marais et herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre lors des levés géophysiques peuvent déranger la faune présente dans ce milieu. Pour la plupart des espèces, ces dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction. Par contre, le grèbe à bec bigarré place son nid sur la végétation aquatique flottante et pourrait donc nicher dans l'aire visée et les dérangements pourraient affecter la reproduction d'un faible nombre de nids. Il est jugé que l'intensité de l'impact est moyenne. Cet impact est jugé d'étendue ponctuelle et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à cette ressource.

4.1.6.4.2.2 *Impacts des travaux de levés géophysiques sur les espèces à statut précaire*

Diverses espèces fauniques à statut précaire ont un potentiel de présence à l'intérieur des aires visées par les levés géophysiques, tels que la tortue serpentine et des poissons comme le mené d'herbe, le chevalier cuivré, le fouille-roche gris, le dard de sable et le bar rayé. Pour ces espèces, les dérangements ne devraient pas causer de mortalité ou d'effets notables sur la reproduction. L'intensité de l'impact des travaux de levés géophysiques sur ces espèces est donc considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de

perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.4.3 Impacts des travaux de levés géophysiques sur le milieu humain

4.1.6.4.3.1 Impacts des travaux de levés géophysiques sur le patrimoine naturel

La zone d'intervention potentielle recoupe des habitats fauniques désignés visant les oiseaux et les mammifères. La reconnaissance du patrimoine naturel par la société indique qu'elle lui accorde une grande valeur. Tout impact au patrimoine naturel aura donc un impact sur le milieu humain. Les effets des travaux sur ces espèces fauniques ont un degré de perturbation faible (section 4.1.6.4.2.1). Étant donné la grande valeur attribuée au patrimoine naturel, l'importance de cet impact est mineure.

4.1.6.4.3.2 Impacts des travaux de levés géophysiques sur la navigation

Étant donné que l'aire visée par les levés géophysiques est à l'extérieur du chenal de navigation du fleuve et est seulement utilisée par des petites embarcations de plaisance ou de pêche et que les équipements utilisés pour les levés sont également de petite envergure, nous considérons qu'il devrait y avoir très peu d'interférence entre eux, même durant les périodes de plus grande utilisation du lac Saint-Pierre. L'intensité de l'impact est donc considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.4.3.3 Impacts des travaux de levés géophysiques sur la pêche commerciale

Étant donné les impacts mineurs des travaux de levés géophysiques sur les poissons (section 4.1.6.4.2.1) et les impacts négligeables sur la navigation (section 4.1.6.4.3.1), l'intensité de l'impact de ces travaux sur la pêche commerciale est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.4.3.4 Impacts des travaux de levés géophysiques sur les activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive

Étant donné les impacts mineurs des travaux de levés géophysiques sur la faune (section 4.1.6.4.2.1) et les impacts négligeables sur la navigation (section 4.1.6.4.3.1), l'intensité de l'impact de ces travaux sur les activités récréotouristiques, incluant la chasse et la pêche sportive, est considérée comme faible. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux sont d'une durée relativement courte, mais ils sont récurrents. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donné la grande valeur accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.5 Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4

4.1.6.5.1 Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur le milieu physique

4.1.6.5.1.1 Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur le climat

L'utilisation de véhicules motorisés pour le transport et la mise en place du matériel pour l'entretien du chemin d'accès implique l'émission de GES qui peuvent contribuer aux changements climatiques. Étant donné la quantité limitée et la nature des équipements utilisés, l'intensité de cette perturbation est considérée comme faible. Puisque les travaux sont d'une durée relativement courte, mais qu'ils sont récurrents, la durée de l'effet est occasionnelle. Les changements climatiques étant un enjeu de grande envergure, l'étendue est régionale. Pour ces raisons, l'importance de l'impact est jugée négligeable.

4.1.6.5.1.2 Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur la qualité de l'air

L'utilisation de véhicules et équipements motorisés pour le transport et la mise en place du matériel pour l'entretien du chemin d'accès est susceptible d'affecter la qualité de l'air par les émissions atmosphériques des engins. De plus, le déplacement des camions sur le chemin soulèvera de la poussière. Sans la mise en œuvre de mesures d'atténuation, il est jugé que cet impact pourrait être d'une intensité forte dans l'aire immédiate des travaux. L'étendue est donc considérée comme ponctuelle. La durée de la perturbation est occasionnelle, puisqu'elle sera de courte durée, mais pourrait se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

Les mesures d'atténuation décrites aux sections 4.2.1.1 et 4.2.4 et visant notamment à réduire la production de poussières réduiront le degré de perturbation à un niveau moyen. L'impact résiduel est donc mineur.

4.1.6.5.1.3 Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur la qualité de l'eau de surface

Puisque le chemin d'accès longe la rivière Brielle, les particules fines soulevées dans l'air pourraient se déposer dans le cours d'eau. De plus, les déversements accidentels de produits pétroliers provenant de la machinerie pourraient porter atteinte à la qualité de l'eau de la rivière. Sans la mise en place de mesures pour réduire ces effets, il y a un potentiel de perturbation forte sur la qualité de l'eau. Étant donné la faible ampleur des travaux, cette perturbation serait d'étendue ponctuelle. La durée de la perturbation sera occasionnelle, puisqu'elle sera de courte durée, mais pourrait se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

Les mesures d'atténuation décrites aux sections 4.2.1.1 et 4.2.4 réduiront le degré de perturbation à un niveau moyen en réduisant la mise en suspension de poussières et le risque de fuites. L'impact résiduel est donc mineur.

4.1.6.5.1.4 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur la qualité et la nature des sols*

La mise en place de matériel se limitera à l'emprise du chemin d'accès existant et aura comme objectif l'entretien de celui-ci. Ces travaux n'auront donc aucun impact sur la nature et la qualité des sols. Cependant, les déversements accidentels de produits pétroliers provenant de la machinerie pourraient porter atteinte à la qualité des sols. Étant donné la faible ampleur des travaux, cette perturbation sera d'étendue ponctuelle. La durée de la perturbation sera occasionnelle, puisqu'elle sera de courte durée, mais pourrait se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation moyen et un impact moyen étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

Les mesures d'atténuation décrites aux sections 4.2.1.1 et 4.2.4 réduiront le degré de perturbation à un niveau moyen étant donné le risque de fuites. L'impact résiduel est donc mineur.

4.1.6.5.1.5 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur l'environnement sonore*

L'utilisation de camions et d'équipements motorisés pour réaliser les travaux d'entretien du chemin d'accès occasionne l'émission de bruit. Étant donné la petite ampleur de ces travaux, mais qu'ils nécessitent l'utilisation d'équipements lourds, l'intensité de cette perturbation est considérée comme moyenne. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact négligeable étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.5.2 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur le milieu biologique*

4.1.6.5.2.1 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur les oiseaux*

Le bruit produit par les travaux peut être une source de dérangement pour les oiseaux. De plus, le déplacement des camions pose un risque de collision et donc de mortalité pour ceux-ci. Puisque la section du chemin visée par les travaux à l'étude traverse des champs de maïs cultivés, il ne s'agit pas d'un habitat préférentiel pour les oiseaux, ce qui réduit la probabilité d'effets sur ceux-ci. L'intensité de la perturbation est donc jugée moyenne. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.5.2.2 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur les mammifères*

Le bruit produit par les travaux peut être une source de dérangement pour les mammifères. De plus, le déplacement des camions pose un risque de collision et donc de mortalité pour ceux-ci. Puisque la section du chemin visée par les travaux à l'étude traverse des champs agricoles cultivés, il ne s'agit pas d'un habitat préférentiel pour la faune, ce qui réduit la probabilité d'effets sur les mammifères. L'intensité de la perturbation est donc jugée moyenne. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter



aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.5.2.3 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur les amphibiens et reptiles*

Le bruit produit par les travaux peut être une source de dérangement pour les amphibiens et reptiles. De plus, le déplacement des camions pose un risque de collision et donc de mortalité pour ceux-ci. En effet, plusieurs grenouilles et une tortue peinte ont été observées sur la partie du chemin traversant le CEEM Nicolet lors des travaux d'inventaire en 2017 (GHD, 2018). Leur présence peut être expliquée par le fait que sur la propriété du CEEM Nicolet, le chemin longe la rivière Brielle. Cependant, la partie du chemin à l'extérieur du CEEM Nicolet visée par cette étude d'impact traverse des champs agricoles cultivés. L'intensité de la perturbation est donc jugée moyenne. Cet impact est jugé d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.5.3 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur le milieu humain*

4.1.6.5.3.1 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur le transport routier*

Le transport des matériaux et des équipements vers le site des travaux engendrera une très légère augmentation de l'utilisation du système routier pour la durée des travaux. Étant donné la petite envergure des travaux, la perturbation est jugée d'intensité faible sur le réseau routier régional. Cet impact sera de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation faible et un impact mineur étant donné la valeur moyenne accordée à cet élément du milieu.

4.1.6.5.3.2 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur les infrastructures*

L'objectif des travaux d'entretien est la réparation et le maintien du chemin d'accès afin d'assurer le transport vers le CEEM Nicolet lors de la détonation des UXO sur le site. Ces travaux n'auront pas d'impact négatif sur les autres infrastructures du site ou de la région, telle la route 132. L'effet est considéré d'étendue locale et de durée occasionnelle, puisqu'ils sont à refaire aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un impact positif mineur étant donnée la valeur moyenne accordée à la ressource.

4.1.6.5.3.3 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur l'agriculture*

Le chemin d'accès traverse des propriétés privées agricoles. Les travaux pourraient donc potentiellement interférer avec les activités agricoles du propriétaire. Puisque les travaux sont restreints à un chemin existant et ne devraient pas avoir d'impact sur les terres agricoles elles-mêmes, l'intensité de cet impact est considérée comme faible et l'étendue comme ponctuelle. Cet impact sera de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se

répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donnée la grande valeur accordée à la ressource.

En prenant en compte les mesures d'atténuation présentées à la section 4.2.4, l'impact résiduel des travaux sur l'agriculture sera négligeable.

4.1.6.5.3.4 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur la qualité de vie*

Les impacts des travaux sur l'environnement sonore et la qualité de l'air sont susceptibles d'affecter la qualité de vie des personnes vivant à proximité de l'aire des travaux. La résidence la plus rapprochée du chemin d'accès se trouve à moins de 200 m, de l'autre côté de la route 132. Il est jugé que l'intensité de la perturbation sera faible étant donné que l'impact résiduel sur la qualité de l'air est mineur et que l'impact résiduel sur l'environnement sonore est négligeable. Cet impact sera d'étendue locale et de durée occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donnée la grande valeur accordée à la qualité de vie.

4.1.6.5.3.5 *Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sur la santé et sécurité*

Le déplacement des camions et autres équipements est à l'origine de risques pour la santé et sécurité des travailleurs ou pour toute autre personne à l'intérieur de l'aire des travaux. Étant donnée la faible ampleur des travaux ainsi que leur emplacement sur un chemin d'accès qui n'est pas ouvert au public, l'intensité de la perturbation est jugée faible et son étendue ponctuelle. La durée est considérée comme occasionnelle, car les travaux seront de courte durée, mais pourraient se répéter aux deux à trois ans. Ceci a pour résultat un degré de perturbation très faible et un impact mineur étant donnée la grande valeur accordée à la santé et sécurité.

4.2 Atténuation des impacts

Afin d'éviter ou de réduire les impacts sur l'environnement, les mesures d'atténuation présentées dans les sections qui suivent seront mises en œuvre.

4.2.1 Mesures d'atténuation s'appliquant à toutes les composantes du projet

4.2.1.1 Mesures visant l'utilisation de véhicules et de machinerie

- S'assurer que la machinerie, l'outillage et les équipements qui seront utilisés à l'exécution des travaux sont sécuritaires, propres, en bon état de fonctionnement et, si possible, munis de silencieux adéquats.
- Éviter que le moteur des véhicules « tourne au ralenti ».
- Effectuer le transvidage de carburant dans des récipients adéquats afin d'éviter les fuites. Interdire le transvidage ou remplissage de nourrices (*jerrycans*) à bord des embarcations sauf en cas d'urgence. Interdire la présence de ces récipients à bord des embarcations.

4.2.1.2 Mesures visant la chasse sportive

- Interdire les travaux pendant la première semaine de la chasse à la sauvagine en raison de l'intensité des activités de chasse durant cette période. Maintenir l'interdiction après la première semaine si le travail perturbe les chasseurs ou crée des conditions dangereuses ou défavorables.

4.2.2 Mesures d'atténuation spécifiques visant la détonation in situ des munitions jugées non sécuritaires à déplacer

4.2.2.1 Période des travaux

- Afin de réduire les risques de mortalité de poissons, d'éviter des impacts sur les activités de montaison, de reproduction, d'incubation des œufs et d'alevinage des espèces de poissons présentes dans le lac Saint-Pierre, ainsi que sur le pic de migration des oiseaux, réaliser les détonations *in situ* entre le 1^{er} août et le 31 décembre ou la prise des glaces (selon la première alternative rencontrée) et en appliquant les mesures présentées au Tableau 4.3, selon la date et le calibre de la munition.
 - Lors des travaux de 2016, les autorités environnementales ont restreint les périodes autorisées pour procéder aux détonations *in situ* entre le 15 septembre et la prise des glaces. En 2017 et 2018, la période autorisée a été étendue, passant du 1^{er} août à la prise des glaces.
- Réaliser les détonations les jours de semaine et entre 7 h 00 et 16 h 00.

4.2.2.2 Travaux préparatoires et détonations

Lors de la planification des campagnes pilotes de 2016, 2017 et 2018, des discussions ont eu lieu avec les autorités environnementales provinciales et fédérales et des mesures d'atténuation ont été identifiées :

- Mettre en place un plan de communication : publier des avis publics avant les travaux de détonation, afin d'informer la population. Informer les membres du Groupe d'intérêt sur la gestion des UXO au lac Saint-Pierre, dont le GCNWA, avant les travaux de détonation.
- Respecter la quantité nette maximale d'explosifs acceptée par détonation, soit 8 kg (1 seul projectile du plus gros calibre).
- Confiner les détonations à l'aide d'une dizaine de sacs de sable déposés sur et autour du projectile afin de réduire l'onde de choc. Utiliser un minimum de 15 sacs de sable pour les projectiles de calibre de 155 mm. L'ajout de sacs de sable sur le projectile vise à atténuer la pression générée par la détonation dans le milieu aquatique et à limiter la dispersion des fragments de munitions.
- Installer des seines de rivage autour des plus gros calibres d'UXO à être détonées. Les seines de rivage visent à créer une enceinte non accessible aux poissons autour du projectile à faire détoner. Cette procédure est techniquement faisable jusqu'à des niveaux d'eau d'environ 2 m, et jusqu'à un diamètre d'environ 15 à 20 m.
 - Des rideaux de bulle devraient être utilisés si les niveaux d'eau devaient être supérieurs à 2 m lors des périodes de détonation *in situ*. Cependant, l'efficacité des rideaux de bulles

n'est pas confirmée, et il est même considéré possible que les murs de bulles attirent les poissons plutôt que de les effaroucher. Lors des campagnes de 2016, 2017 et 2018, les niveaux d'eau ont toujours permis l'usage des seines de rivage.

- Vérifier la présence d'oiseaux ou de mammifères à l'intérieur de la seine de rivage avant la détonation et ne pas déclencher la détonation si un individu se présente dans ce rayon.
 - Entre le 1^{er} août et le 1^{er} septembre, ne pas réaliser de détonation si un nid d'oiseau est présent dans un rayon de 50 m de la munition visée. Si un nid est observé, déplacer les opérations vers un autre secteur.
- Utiliser un cordon détonant visant à faire fuir des poissons qui pourraient être présents dans les environs du site de détonation *in situ* (pour les cas où il n'y a pas de seine de rivage ou de rideau de bulle). En effet, il est attendu que la présence des techniciens UXO lors de la préparation des détonations fasse fuir les poissons, mais le fait de faire détoner une très petite quantité d'explosif (5 g) juste avant la détonation du projectile pourrait faire fuir des poissons qui auraient pu revenir près du projectile pendant que les techniciens se seraient dirigés hors de la zone d'exclusion.

Le Tableau 4.3 résume ces mesures d'atténuation à mettre en place pour les détonations *in situ* en fonction de la date et du calibre de la munition. En effet, les autorités environnementales ont considéré des exigences plus sévères pour le mois d'août (plus de calibres nécessitant la mise en place de seines de rivage), et moins sévères à partir du 1^{er} septembre.

Tableau 4.3 Mesures d'atténuation à mettre en place pour les détonations *in situ*

Calibre	1 ^{er} août - 1 ^{er} septembre			1 ^{er} septembre - 31 décembre ou couvert de glace (première alternative rencontrée)		
	Rayon de la seine de rivage (m) (ou rideau de bulles d'un rayon de 2 m)	Sacs de sable	Cordon détonant	Rayon de la seine de rivage (m) ou rideau de bulles (rayon de 2 m) avec cordon détonant	Sacs de sable	Cordon détonant
155 mm	17	15	Non requis ¹	17	15	Non requis ¹
4,2 pouces	17	10	Non requis ¹	17	10	Non requis ¹
105 mm	13	10	Non requis ¹	13	10	Non requis ¹
4 pouces	13	10	Non requis ¹	13	10	Non requis ¹
155 mm ERFB	12	10	Non requis ¹	12	10	Non requis ¹
76 mm	9	10	Non requis ¹	Non requis	10	Requis
90 mm	9	10	Non requis ¹	Non requis	10	Requis
81 mm	8,5	10	Non requis ¹	Non requis	10	Requis
3"70 cal	Non requis	10	Requis	Non requis	10	Requis
75 mm	Non requis	10	Requis	Non requis	10	Requis
3"50 cal	Non requis	10	Requis	Non requis	10	Requis
Grenades	Non requis	10	Requis	Non requis	10	Requis

Tableau 4.3 Mesures d'atténuation à mettre en place pour les détonations *in situ*

Calibre	1 ^{er} août - 1 ^{er} septembre			1 ^{er} septembre - 31 décembre ou couvert de glace (première alternative rencontrée)		
	Rayon de la seine de rivage (m) (ou rideau de bulles d'un rayon de 2 m)	Sacs de sable	Cordon détonant	Rayon de la seine de rivage (m) ou rideau de bulles (rayon de 2 m) avec cordon détonant	Sacs de sable	Cordon détonant
20 mm	Non requis	10	Requis	Non requis	10	Requis

Note : 1 : non requis si seine de rivage, mais requis si rideau de bulles.

Les rayons ont été calculés par le MPO pour chaque calibre en considérant leur masse d'explosifs.

Ces mesures ont été développées de pair avec MPO et MFFP.

- Pour les cinq plus gros calibres (155 mm, 4,2 pouces, 105 mm, 4 pouces et 155 mm ERFB) en tout temps et également pour les trois prochains plus gros calibres (76 mm, 90 mm et 81 mm) du 1^{er} août au 1^{er} septembre, utiliser une seine de rivage ou un rideau de bulles avec cordon détonant (selon les profondeurs d'eau) pour chaque détonation dans le but de créer une barrière permettant d'assurer qu'aucun poisson ne se retrouve dans le rayon léthal de l'explosion :
 - Installer une seine de rivage autour de projectiles dans le cas où la profondeur de l'eau est de moins de 2 m.
 - S'assurer que le rayon de la seine de rivage soit égal ou supérieur au rayon calculé pour le calibre de projectile à être détoné. Déployer la seine de rivage de manière à limiter l'emprisonnement des poissons à l'intérieur de l'enceinte. Vérifier l'absence de poissons dans l'enceinte de la seine de rivage avant chaque détonation. Récupérer délicatement tous les poissons captifs dans l'enceinte de la seine de rivage, le cas échéant et les remettre immédiatement dans le milieu aquatique, dans un secteur favorisant leur survie, afin d'éviter toute mortalité de poisson.
 - Réaliser, dans la mesure du possible, les activités de façon à ce que les individus des espèces ciblées (chevalier cuirré, fouille-roche gris, dard de sable et bar rayé) soient uniquement manipulés dans les circonstances autorisées aux termes du permis émis en vertu de la LEP, le cas échéant, aux termes du permis SEG émis par le MFFP et avec le moins de préjudices possible.
 - Installer un rideau de bulles à une distance approximative de 2 m par rapport à l'explosif à détoner dans le cas où la mise en place d'une seine de rivage ne serait pas praticable (par ex. profondeur d'eau trop haute). Utiliser un compresseur de force suffisante afin d'assurer l'efficacité de cette mesure, principalement pour réduire la surpression causée par la détonation. Jumeler l'usage du rideau de bulles avec l'utilisation de cordons détonants. Utiliser ces derniers pour effaroucher le poisson, et ce, dans le rayon d'impact correspondant au type de projectile à détoner. Limiter la durée entre les détonations d'effarouchement et la détonation complète de l'UXO, tout en permettant aux plus petits poissons de quitter le secteur (environ une dizaine de secondes).

- Pour les cinq plus petits calibres de projectiles (3"70 cal, 75 mm, 3"50 cal, grenade et 20 mm) en tout temps et pour les calibres de 76 mm, 90 mm et 81 mm du 1^{er} septembre au 31 décembre, activer un cordon détonant avant chaque détonation pour effaroucher les poissons susceptibles de se trouver à proximité du projectile à être détoné en milieu aquatique.

4.2.2.3 Mesures après les détonations

- Récupérer les rebuts, à la fin de chaque détonation *in situ*, dans un rayon de 5 m autour du point de détonation à l'aide d'un détecteur de métal.

4.2.3 Mesures d'atténuation spécifiques visant le transport des projectiles

- Lorsque possible, effectuer les déplacements dans les sentiers existants.
- Établir et baliser le sentier en évitant les individus d'espèces végétales menacées ou vulnérables, les huttes de rat musqué et les nids d'oiseaux observés.
- Limiter les déplacements en maximisant le nombre de projectiles déplacés à la fois, tout en respectant les limites imposées par les exigences du MDN en matière de travaux UXO.

4.2.4 Mesures d'atténuation spécifiques visant les travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4

- Adopter des méthodes de travail qui minimisent l'émission de particules fines :
 - Réaliser les travaux dans des délais brefs, pour minimiser l'entraînement de particules fines vers l'extérieur de la zone des travaux.
 - Éviter de procéder aux travaux de régalement durant une journée venteuse ou après une longue période de sécheresse.
 - Éviter de circuler sur le site à grande vitesse, pour minimiser le soulèvement de poussières.
- Éviter de circuler hors du chemin.
- Réaliser les travaux à partir de la mi-août, en s'assurant qu'aucun œuf de pluvier kildir ne se trouve sur le chemin.
- Réaliser les travaux les jours de semaine et entre 7 h 00 et 16 h 00.
- Obtenir l'approbation des propriétaires des terrains traversés par le chemin et coordonner les travaux avec eux afin de ne pas nuire à leurs activités agricoles ou autres.

4.3 Plan de mesures d'urgence

Le MDN s'engage à déposer un plan de mesure d'urgence au plus tard lors de la demande d'autorisation ministérielle.

4.4 Choix de la variante optimale

Comme décrit à la section 1.7, le choix des variantes pour le site de détonation et le type d'explosif donneur a été fait de façon à limiter les impacts sur le milieu naturel. De plus, les impacts sur la population et la santé et sécurité des travailleurs et du public ont été considérés dans le choix des

variantes. Puisque les variantes sélectionnées sont considérées comme optimales dans les circonstances, l'évaluation des impacts a uniquement porté sur celles-ci et aucun bilan comparatif des impacts selon différentes variantes n'a donc été réalisé.

4.5 Compensation des impacts résiduels

À l'exception des impacts des détonations *in situ* sur la végétation et la faune benthique, les impacts résiduels du projet sont tous négligeables ou mineurs et ne nécessitent aucune compensation.

En ce qui concerne les impacts moyens sur la végétation et la faune benthique des milieux humides et hydriques, ils seront temporaires, car les plantes et la faune pourront recoloniser les superficies ponctuelles affectées. De plus, en retirant les munitions présentes, qui sont une source potentielle de contamination et présentent un risque à la sécurité du public et à la santé et sécurité des autres espèces vivantes, le projet contribue à améliorer les fonctions écologiques des milieux humides et hydriques touchés. Il est donc considéré, au bout du compte, que le projet ne porte pas atteinte à ces milieux et qu'aucune compensation n'est requise.

4.6 Synthèse du projet

Le lac Saint-Pierre, plus précisément l'ancienne zone de tir CYR 606 située au sud de la voie maritime, a été l'hôte d'essais de tir effectués par le CEEM Nicolet de 1952 à 1999. Dans la plupart des cas, les projectiles testés étaient inertes ou ont fonctionné correctement et ont détoné. Cependant, une partie des projectiles qui contenaient de la matière explosive n'a pas fonctionné tel que prévu, créant ainsi des UXO. Ces projectiles inertes et ces UXO se retrouvent aujourd'hui au fond du lac.

La portion sud du lac Saint-Pierre, qui inclut l'ancienne zone de tir, est largement utilisée par le public que ce soit pour des activités récréatives ou commerciales telles que la navigation de plaisance, la chasse ou la pêche, et ce, tout au long de l'année. À la suite d'une série d'analyses de risques à la sécurité publique, une ZPI a été définie qui englobe les zones présentant une densité de projectiles élevée, une profondeur d'eau de 2 m et moins et les zones situées de part et d'autre du chenal Landroche, qui est l'accès principal au lac. La ZPI couvre une superficie de 525 ha. Elle correspond à 3 % de la superficie de l'ancienne zone de tir, mais contient 40 % des UXO répertoriées selon les données historiques. L'objectif du projet est de réduire, dans la ZPI, le niveau de risque à la sécurité publique de « élevé » à « faible » en retirant les UXO.

De plus, une zone d'intervention potentielle plus large a été établie autour de la ZPI, où le risque est moins élevé, mais où des interventions pourraient être requises. L'aire des travaux pourrait donc s'étendre jusqu'aux limites de la zone d'intervention potentielle.

4.6.1 Modalités de réalisation du projet

Au cours des neuf prochaines années, environ 21 778 anomalies géophysiques représentatives de projectiles feront l'objet d'investigation, d'identification et d'enlèvement.



L'investigation des anomalies nécessite les étapes suivantes :

- Se déplacer jusqu'à l'anomalie. La méthode de transport sera déterminée selon les profondeurs de l'eau et pourrait inclure l'utilisation de chaloupes, bateaux, ou Argos.
- Localiser la position de l'anomalie à l'aide d'un GPS et des coordonnées tirées des résultats des levés géophysiques.
- Réacquisition de l'anomalie à l'aide du système géophysique ou par l'utilisation d'un détecteur de métal dans un rayon de 2 m autour de la balise.
- Si l'anomalie n'est pas visible en surface, les sédiments devraient être creusés jusqu'au dégagement de l'anomalie, jusqu'à une profondeur maximale de 75 cm. Cette activité implique soit un dégagement manuel pour les anomalies peu profondes (<30 cm) ou l'utilisation d'une pompe à succion hydraulique de faible capacité (< 5 HP) pour permettre d'atteindre l'item à une profondeur maximale de 75 cm dans les sédiments. Le dégagement avec ce système permet d'enlever les sédiments recouvrant l'anomalie. Si l'anomalie se situe à la profondeur maximale de 75 cm, un trou d'un rayon maximal de 1,0 m sera creusé, ce qui représente une surface maximale de 3 m² par trou pour un volume conique de 0,8 m³.
- Si le contact est fait avec l'anomalie à l'intérieur du premier 75 cm de sédiments, la nature de l'anomalie sera identifiée : rebuts ne provenant pas de munitions, roches magnétiques, rebuts de munitions, projectiles.
- Si aucun contact n'est fait avec l'anomalie après avoir creusé à 75 cm de profondeur dans les sédiments, cette information sera validée par un deuxième technicien UXO. Si la deuxième investigation confirme que l'anomalie est plus profonde que 75 cm, l'investigation sera terminée.
- Chaque objet identifié lors des investigations des anomalies sera géré selon sa nature.
 - Les projectiles jugés non sécuritaires à déplacer, soit les projectiles munis d'une fusée ou ne pouvant être identifiés, seront détonés sur place, dans le lac Saint-Pierre (détonations *in situ*).
 - Les projectiles jugés sécuritaires à déplacer seront transportés vers un site d'entreposage temporaire dans la région de l'OP-6 sur la propriété du CEEM. La détonation des projectiles aura ensuite lieu dans la région de l'OP-4. Puisque ces activités se déroulent sur les terres fédérales du CEEM Nicolet, elles ne sont pas incluses dans la présente évaluation des impacts sur l'environnement.
 - Les rebuts de munitions et rebuts non liés à des munitions seront apportés au CEEM Nicolet pour être disposés selon la réglementation.
 - Les roches magnétiques seront retirées à l'exception de celles dont la taille ne permet pas leur manipulation par les travailleurs.

Les détonations *in situ* auront lieu à l'endroit où l'anomalie aura été identifiée et sans qu'elle ne soit manipulée. La détonation des projectiles se fera avec deux charges creuses de 30 g. Chaque détonation respectera une quantité nette d'explosifs (QNE) maximale de 8 kg pour une détonation complète, incluant l'explosif donneur et le dispositif de mise à feu. Par leur nature, les détonations



in situ présentent le plus grand potentiel d'impacts sur l'environnement. Pour réduire ces impacts, les mesures d'atténuation décrites à la section 4.2.2 seront mises en place.

Les projectiles jugés sécuritaires à déplacer seront transférés à un site d'entreposage temporaire localisé sur la propriété du MDN près de l'OP-6. Les projectiles sécuritaires à déplacer et entreposés à l'OP-6 seront transférés au site de détonation le jour même de leur détonation. Selon les conditions du site et les niveaux d'eau, différents moyens de transport pourront être utilisés pour le déplacement de ces projectiles. En période de hautes eaux, le transport peut se faire par bateau entre la zone d'entreposage et l'embouchure de la rivière Brielle. En période de basses eaux, le marais riverain peut être traversé à l'aide d'un VTT ou d'un Argo. En période intermédiaire, lorsque le sentier direct traversant le marais est inondé, mais que l'eau est insuffisante pour un bateau, un sentier secondaire sur les terres du CEEM Nicolet peut être emprunté par VTT or Argo. La figure 4 illustre les sentiers qui seront utilisés selon les différents moyens de transport possibles. Les projectiles ne seront pas transportés sur les voies publiques.

En complément aux levés géophysiques de la ZPI réalisés entre 2015 et 2017, des levés géophysiques supplémentaires ont débuté en 2018 et se poursuivront jusqu'en 2021 afin de confirmer les limites de la ZPI. De plus, à la suite de l'enlèvement des objets créant les anomalies, des levés géophysiques de contrôle seront réalisés dans le but de confirmer que l'objet qui créait l'anomalie magnétique a bel et bien été retiré. Les levés géophysiques de contrôle auront lieu à l'endroit même où l'anomalie aura été identifiée, après que celle-ci ait été retirée. Ces levés sont réalisés sur l'eau à partir d'embarcations ou sur les glaces l'hiver à l'aide de motoneiges ou de VTT.

Des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4 sont prévus. Ils consisteront à épandre et à compacter du matériau granulaire sur les sections du chemin les plus abimées. Ces travaux seront effectués selon les besoins, soit environ aux deux à trois ans. La portion du chemin d'accès visée par la présente étude d'impact sur l'environnement est la portion traversant les terres agricoles privées entre la route 132 et la barrière du CEEM Nicolet. Les travaux sur la portion du chemin à l'intérieur du CEEM Nicolet, tout comme les travaux de détonation des UXO sur le site terrestre à l'intérieur du CEEM Nicolet ont lieu sous juridiction fédérale et sont exclus de la présente étude.

4.6.2 Principaux impacts

Les impacts du projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre sont présentés en détail à la section 4.1.5 et résumés au tableau 5 à la suite du texte. La grande majorité des impacts sont négligeables à mineurs, même sans prendre en compte l'application des mesures d'atténuation présentées à la section 4.2. En effet, tous les impacts liés aux travaux d'investigation, d'identification et d'enlèvement, au transport des projectiles sécuritaires à déplacer et à la réalisation des levés géophysiques sont nuls, négligeables ou mineurs.

Dans le cas des travaux de détonation *in situ*, plusieurs impacts sur les éléments du milieu biologique et l'impact sur le patrimoine naturel sont considérés de niveau moyen. À la suite de la mise en place des mesures d'atténuation, les impacts résiduels sur les oiseaux, les poissons, les amphibiens et les reptiles sont réduits à un niveau négligeable et les impacts résiduels sur les espèces à statut précaire et le patrimoine naturel sont réduits à mineurs. Ces mesures permettent également de réduire les impacts sur les espèces à statut précaire de majeurs à mineurs. Par contre, l'impossibilité d'éviter la mortalité de plantes et de la faune benthique à l'endroit des détonations fait en sorte que les impacts résiduels demeurent moyens pour ces ressources.



Sans la mise en place des mesures d'atténuation, les impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès de l'OP-4 sur la qualité de l'air, la qualité de l'eau de surface et la qualité des sols sont jugés moyens. Ces impacts sont principalement liés à la mise en suspension de poussière dans l'air et au risque de déversements de produits pétroliers par les équipements. En prenant en compte les mesures d'atténuation proposées pour réduire ces impacts, les impacts résiduels sur ces éléments du milieu sont considérés comme mineurs.

4.6.3 Conclusion

Le projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre a comme objectif de réduire le niveau de risque à la sécurité publique dans un secteur où la densité des munitions, la faible profondeur de l'eau et l'utilisation de l'aire par le public résultent un niveau de risque considéré élevé. Le niveau de risque de ce secteur appelé ZPI passera de « élevé » à « faible » en retirant les UXO qui y sont présentes.

Étant donné que le projet nécessite la manipulation et la gestion d'explosifs dangereux, les variantes techniques sélectionnées ainsi que certaines des mesures d'atténuation retenues sont dictées par l'importance de rendre les travaux le plus sécuritaires possible.

Cependant, étant donné la grande valeur écologique du milieu et l'importance des activités humaines dépendantes de la faune vivant dans les milieux visés, comme la chasse et la pêche, plusieurs mesures d'atténuation ont été identifiées pour réduire les impacts sur le milieu naturel à un niveau acceptable. Ces mesures permettent de réduire la grande majorité des impacts à un niveau négligeable ou mineur. Les quelques impacts de niveau moyen qui ne peuvent être évités sont, quant à eux, justifiés par les bénéfices du projet qui incluent l'atteinte de son objectif premier, une amélioration importante à la sécurité de la population.

5. Surveillance environnementale

Tous les travaux liés au projet feront l'objet d'une surveillance et d'un contrôle qui viseront à s'assurer que les travaux respectent les modalités du décret ministériel et des permis et autorisations provinciaux et fédéraux nécessaires et qu'ils soient bien conformes aux exigences contractuelles.

5.1 Rôle du surveillant

Le respect de l'application du programme de surveillance sera assuré par un surveillant ou des surveillants du MDN ou par une personne déléguée par le MDN. Le surveillant devra s'assurer que toutes les mesures d'atténuation recommandées soient appliquées et respectées.

Une fiche de surveillance devra être dûment complétée pour chacune des principales activités afin d'assurer le respect des mesures d'atténuation. Un rapport photographique pourra également accompagner la fiche de surveillance afin de représenter les étapes clés des travaux.

5.2 Surveillance des mesures d'atténuation

Outre la surveillance des impacts des travaux sur les poissons et leurs habitats décrite à la section 5.3, des inspections seront réalisées pour vérifier le respect des mesures décrites à la section 4.2, dont :

- les mesures visant la santé et sécurité;
- les mesures visant l'utilisation de véhicules et de machinerie;
- les mesures visant la détonation *in situ* des munitions jugées non sécuritaires à déplacer;
- les mesures visant le transport des projectiles sécuritaires à déplacer;
- les mesures visant les travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4.

5.3 Surveillance des impacts sur le poisson et son habitat

Afin de réduire les incertitudes en ce qui concerne l'évaluation des impacts sur les poissons et leurs habitats, le programme de surveillance inclura des mesures de la qualité de l'eau, des pressions subaquatiques et de la mortalité des poissons jusqu'à l'obtention de mesures suffisantes :

1. Un protocole de surveillance de la qualité de l'eau durant les travaux d'investigation et d'enlèvement et les travaux de détonation *in situ* sera préparé et mis en œuvre. Ce protocole visera à mesurer les effets de ces travaux sur la turbidité de l'eau du lac Saint-Pierre.
2. Jusqu'à l'obtention de mesures suffisantes (en particulier pour les projectiles de calibre 155 mm), les pressions maximales instantanées générées par la détonation seront mesurées à l'aide d'hydrophones.
3. Après chaque détonation *in situ*, tout poisson mort retrouvé dans un rayon de 15 m sera récupéré et préservé pour identification. Afin d'améliorer les probabilités d'observation et de récupération de poissons tués par les détonations, le cas échéant, une méthode d'échantillonnage à l'aide de filets sera élaborée en coordination avec les ministères visés (MFFP et MPO). De plus, le diamètre (m) et la profondeur (m) du cratère créé par la détonation seront mesurés à l'aide d'une règle d'arpentage.

Le protocole détaillé du programme de surveillance sera présenté au MELCC, au plus tard lors de la demande d'autorisation ministérielle. Les résultats de ces travaux de surveillance seront utilisés pour évaluer les mesures d'atténuation, et des modifications à ces mesures seront proposées si les résultats le justifient. Ces mesures de surveillance seront discontinuées une fois que le MDN et les autorités réglementaires sont satisfaits que les impacts réels des travaux soient bien compris et documentés et que les mesures d'atténuation sont confirmées comme étant adéquates.

5.4 Surveillance des émissions des gaz à effet de serre

L'évaluation des émissions de GES (section 4.1.5) a été réalisée en se basant sur l'utilisation des équipements lors des campagnes pilotes de 2016, 2017 et 2018 et sur une prévision du nombre d'UXO qui devra être détoné *in situ* pour la durée du projet. Ces prévisions seront vérifiées en tenant un registre des informations suivantes :

- le nombre, le calibre et la charge des projectiles explosés *in situ*;
- l'identification et le nombre d'heures d'utilisation des équipements et véhicules motorisés.

6. Suivi environnemental

Des impacts résiduels moyens sont appréhendés en lien avec la mortalité de plantes et de faune benthique causée par les explosions des UXO à la suite des détonations *in situ*. Afin de vérifier les effets à moyen et à long termes liés à ces impacts, un suivi des habitats affectés par cette composante des travaux est prévu. Un premier suivi est prévu en 2019 durant la période de croissance maximale des herbiers aquatiques, soit au mois d'août, dans les zones ayant subi des détonations lors des campagnes pilotes en 2016, 2017 et 2018. Le protocole de ce suivi sera élaboré en collaboration avec le MFFP et visera à évaluer si la qualité des habitats dans les aires précises ayant subi des détonations est détériorée par rapport à des aires adjacentes n'ayant pas été touchées par des détonations *in situ*. Une caractérisation des habitats dans les zones de haute densité d'UXO avant les travaux dans ces zones est également prévue afin de permettre une comparaison avec la qualité de ces mêmes zones après la réalisation des travaux d'enlèvement et de détonation *in situ*.

De plus, afin de confirmer que les plantes se régénèrent et que le degré de perturbation du transport sur la végétation est faible, un suivi de la densité et de la diversité des plantes sera réalisé le long des sentiers empruntés pour le transport des projectiles sécuritaires à déplacer chaque printemps suivant des travaux, lorsque la croissance des végétaux aura débuté. Dans le cas où les sentiers présenteraient toujours des zones perturbées, ces dernières seront restaurées avec l'ensemencement d'espèces indigènes.

Comme dans le cas du programme de surveillance des impacts sur le poisson et son habitat, le suivi sera discontinué une fois que le MDN et les autorités réglementaires sont satisfaits que les impacts réels des travaux soient bien compris et documentés.

7. Références

AKHAVAN, J. (2004). *The Chemistry of Explosives*, Royal Society of Chemistry, 192 pages.

ATLAS DES AMPHIBIENS ET REPTILES DU QUÉBEC (AARQ) (2018). *Tortues*. En ligne.
[http://www.atlasamphibiensreptiles.qc.ca/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=35]. Site consulté le 6 septembre 2018.

- CDC (Construction de Défense Canada) (2018). *Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre. Enlèvement et disposition d'UXO. Suivi des travaux de détonation in situ 2017 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place*, rapport préparé pour le compte du ministère de la Défense nationale, 26 février 2018, 7 pages + annexes.
- CDC (Construction de Défense Canada) (2017). *Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre. Levé géophysique, enlèvement et disposition d'UXO. Suivi des travaux de détonation in situ 2017 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place*, rapport préparé pour le compte du ministère de la Défense nationale, 2 mars 2017, 9 pages + annexes.
- CIMA+/Arcadis Canada Inc. (2016). *Caractérisation environnementale des sols pré et postdétonation de projectiles à l'endroit de la structure Hesco-Bastion du secteur de l'OP-4 localisé sur le CEEM Nicolet, route 132, Baie-du-Febvre, QC*.
- CIUSSSMCQ (Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Mauricie-et-du-Centre-du-Québec) (2018). *Coordonnées des installations*. En ligne [<https://ciusssmcq.ca/nous-joindre/installations-hopitaux-clsc-etc/coordonnees-des-installations/>]. Site consulté le 16 août 2018.
- CLAUSEN, J. (2014). *The fate of munition constituents (MC) on military ranges*, Military Munitions Support Services-Munitions Constituents seminar, U.S. Environmental Protection agency, Technology Innovation and Field Services Division, December 2014.
- CONSEIL DES ABÉNAKIS D'ODANAK (2018). *Histoire*. En ligne [<https://caodanak.com/histoire/>]. Site consulté le 17 août 2018.
- CUSSON ET LATREILLE (2003). *Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le CEEM de Nicolet*, Environnement Canada.
- DE LA CHENELIÈRE, V., P. BRODEUR et M. MINGELBIER (2014). *Restauration des habitats du lac Saint-Pierre : un prérequis au rétablissement de la perchaude*, Le Naturaliste canadien, 138(2) : 50-61.
- EC et MDDEP (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.
- ECCC (Environnement et Changement climatique Canada) (2018). *Plan de gestion du Hibou des marais (Asio flammeus) au Canada*, Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril, Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa, v + 42 p. [En ligne] [https://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/plans/mp_short_eared_owl_f_final.pdf]. Site consulté le 14 février 2019.
- EMPLOI-QUÉBEC (2017b). *Perspective d'emploi*. En ligne [<http://www.emploiuebec.gouv.qc.ca/regions/centre-du-quebec/portrait-de-lemploi-et-du-marche-du-travail/perspectives-demploi/>]. Site consulté le 15 août 2018.



- ENGLOBE (2018a). *Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) – Caractérisation environnementale des sols post-travaux de détonation*, rapport présenté à Construction de Défense Canada, février 2018, 8 p. + annexes.
- ENGLOBE (2018b). *Terminal de conteneurs en eau profonde – Beauport 2020 - Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017*, avril 2018.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2013). *Quand l'habitat est-il suffisant?* Troisième édition. Environnement Canada, Toronto (Ontario), 138 p.
- ÉQUIPE DE RÉTABLISSEMENT DES CYPRINIDÉS ET DES PETITS PERCIDÉS DU QUÉBEC (2008). *Plan de rétablissement du dard de sable (Ammocrypta pellucida) au Québec 2007-2012*, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Faune Québec. 29 p. [En ligne] [<https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/retablissement-dard-sable.pdf>]. Site consulté le 14 février 2019.
- FRENETTE, R. et M. FENETTE (1992). *Modélisation des bilans sédimentaires du Saint-Laurent Tronçon amont : Grands Lacs – Montréal*, Congrès annuel de la SCGC, Québec.
- FURMAN, D., R. KOSLOFF, F. DUBNIKOVA, S. V. ZYBIN, W. A. GODDARD III, N. ROM, B. HIRSHBERG et Y. ZEIRI (2014). *Decomposition of condensed phase energetic materials: Interplay between uni- and bimolecular mechanisms*, Journal of the American Chemical Society, 136(11) : 4192-4200.
- GCNWA (Grand conseil de la nation Waban-Aki) (2019). *Historique*. Site Internet du GCNWA [En ligne] [<https://gcnwa.com/historique/>]. Site consulté le 14 février 2019.
- GHD (2019). *Rapport de détermination des effets environnementaux (DEE) – Enlèvement et disposition d'UXO, Lac Saint-Pierre, Québec*, 19 mars 2019. 49 p. + annexes.
- GHD (2019b). *Suivi des travaux de détonation in situ 2018 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place – Enlèvement et détonations des UXO au lac Saint-Pierre en 2018*, 16 avril 2019, 18 p, + annexes.
- GHD (2018). *Rapport d'inventaires – Inventaires des terres humides et mise à jour des données d'inventaires fauniques et floristiques au centre d'essais et d'expérimentation des munitions (CEEM) de Nicolet*, 2 mars 2018, 63 p. + annexes.
- GHD (2017). *Rapport d'inventaires – Inventaires des espèces exotiques envahissantes prioritaires au centre d'essais et d'expérimentation des munitions (CEEM) de Nicolet*, 22 décembre 2017, 10 p. + annexes.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2018). *Prolongation de 5 ans du moratoire sur la pêche à la perchaude au lac Saint-Pierre*. En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/peche/prolongation-moratoire-perchaude/>]. Site consulté le 31 août 2018.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC (2013). *Le lac Saint-Pierre – Un joyau à restaurer*, 28 p.
- GROUPE SM (2008). *Évaluation de l'indice de risque associé à la munition explosive non explosée (UXO), lac Saint-Pierre (Québec)*

- HÉBERT, S. (2013). *La qualité de l'eau du secteur fluvial – Paramètres physico-chimiques et bactériologiques - 3e édition*. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, Fiche d'information de la collection « Suivi de l'état du Saint-Laurent », 5 p.
- HÉBERT, S. (2010). *Qualité bactériologique de sites potentiels de baignade dans le Saint-Laurent, été 2009, Québec*, ministère du Développement durable, Environnement et Parcs. Direction du suivi de l'état de l'environnement, 8 p.
- HÉBERT, S. et J. BELLEY (2005). *Le Saint-Laurent — La qualité des eaux du fleuve 1990-2003*, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq no ENV/2005/0095, collection no QE/156, 25 p. et 3 annexes. [En ligne] [http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/fleuve/qualite90-03/index.htm]. Site consulté le 13 février 2019.
- JOBIN, B., C. LATENDRESSE et L. ROBILLARD (2007). *Habitats et inventaires du petit blongios sur les terres du ministère de la Défense nationale à Nicolet, Québec, étés 2004, 2005 et 2006*, série de rapports techniques n° 482, Service canadien de la faune, région du Québec, Environnement Canada, Sainte-Foy, Québec, 85 p. + annexes.
- KOLDEN, K. D. et C. AIMONE-MARTIN (2013). *Blasting Effects on Salmonids*, Alaska Department of Fish & Game, Division of Habitat, Southeast Region, Douglas, Alaska, juin 2013, 31 p.
- KUBOTA, N. et S. SAKAMOTO (1989). *Combustion mechanism of HMX. Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 14 : 6-11.
- LALONDE, S., B. CUSSON et D. LONGPRÉ (2003). *État des connaissances sur la végétation de la rive sud du lac Saint-Pierre*, Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada – Région du Québec, 119 p. + annexes.
- LANGLOIS, C., L. LAPIERRE, M. LÉVEILLÉ, P. TURGEON et C. MÉNARD. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Pierre*, rapport technique, Zone d'intérêt prioritaire n° 11. Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, 212 p. + annexes.
- LE COURRIER SUD (2018). *Relance des investissements dans les entreprises de Nicolet-Yamaska*. En ligne [<https://www.lecourriersud.com/relance-investissements-entreprises-de-nicolet-yamaska/>]. Site consulté le 15 août 2018.
- LES CONSULTANTS RENÉ GERVAIS INC. et PROCEAN ENVIRONNEMENT INC. (René Gervais Groupe Conseil et Procean) (2007). *Reprofilage du chenal Landroche, Baie-du-Febvre – Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – Résumé*, 15 août 2007, 24 p.
- LES CONSULTANTS RENÉ GERVAIS INC. et PROCEAN ENVIRONNEMENT INC. (René Gervais Groupe Conseil et Procean) (2005). *Reprofilage du chenal Landroche, Baie-du-Febvre – Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement du Québec – Rapport principal*, février 2005, 88 p. + annexes.

- MAGNAN, P., P. BRODEUR, É. PAQUIN, N. VACHON, Y. PARADIS, P. DUMONT et Y. MAILHOT (2017). *État du stock de perchaudes du lac Saint-Pierre en 2016*, Comité scientifique sur la gestion de la perchaude du lac Saint-Pierre, Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces, Université du Québec à Trois-Rivières et ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. vii + 34 pages + annexes.
- MCC (Ministère de la Culture et des Communications) (2016). *Bibliothèque numérique en archéologie*. En ligne [https://biblioisq.mcc.gouv.qc.ca/solr-search?q=&facet=55_s%3A%22Maskinong%C3%A9%22]. Site consulté le 17 août 2018.
- MCC (Ministère de la Culture et des Communications) (2013). *Répertoire du patrimoine culturel du Québec*. En ligne [<http://www.patrimoine-culturel.gouv.qc.ca/rpcq/accueil.do?methode=afficher>]. Site consulté le 17 août 2018.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018a). *Aires protégées du Québec* – carte interactive. En ligne [<https://services-mdelcc.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=8e624ac767b04c0989a9229224b91334>]. Site consulté le 23 juillet 2018.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018b). *Atlas interactif de la qualité des eaux de surface et des écosystèmes aquatiques*. En ligne [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_iqbp.asp]. Site consulté le 4 septembre 2018.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018c). *Portrait régional de l'eau. Centre-du-Québec*. En ligne [[http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region17/17-centre-du-qc\(suite\).htm#5](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region17/17-centre-du-qc(suite).htm#5)]. Site consulté le 16 août 2018.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018d). *La diversité des poissons*. [En ligne] [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/poissons/section_fleuve.asp?bassin=Saint-Laurent&plan_eau=Saint-Pierre%20et%20son%20archipel#]. Site consulté en juillet 2018.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2015a). *Atlas interactif de la qualité des eaux de surface et des écosystèmes aquatiques*. En ligne [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/donnees_recentes/donnees_iqbp.asp], Site consulté en décembre 2015.
- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2015b). *Système d'information hydrogéologique (SIH) – Résultats de la recherche*. En ligne [<http://www.sih.mddep.gouv.qc.ca/carte.php?q=http://www.sih.mddep.gouv.qc.ca/tmpfile/kml30332.xml>]. Site Internet consulté le 7 septembre 2018.

- MDDELCC (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2014). *SENTINELLE - Outil de détection des espèces exotiques envahissantes*. En ligne [<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/especes-exotiques-envahissantes/sentinelle.htm>]. Site Internet consulté le 4 septembre 2018.
- MELCC (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques) (2018). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990*, Québec, MELCC, Direction générale de la réglementation carbone et des données d'émission, 40 p. En ligne. [<http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2016/inventaire1990-2016.pdf>]. Site consulté le 3 avril 2019.
- MDN (Ministère de la Défense nationale) (2017). *Rapport de détermination des effets environnementaux (DEE) - Enlèvement et disposition d'UXO, lac Saint-Pierre, Québec*, 24 p. + annexes.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018a). *Chevalier cuivré*. En ligne [<http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=5>]. Site consulté le 5 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018b). *La tanche* (*Tinca tinca*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/tanche/>]. Site consulté le 5 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018c). *Le gobie à taches noires* (*Neogobius melanostomus*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/gobie-taches-noires/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018d). *Le gardon rouge ou rotengle* (*Scardinius erythrophthalmus*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/gardon-rouge-rotengle/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018e). *Carpes asiatiques : carpe à grosse tête, carpe argentée, carpe noire, carpe de roseau*. En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/carpes-asiatiques/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018f). *La moule zébrée* (*Dreissena polymorpha*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/moule-zebre/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018g). *La moule quagga* (*Dreissena bugensis*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/moule-quagga/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018h). *Tortue à oreilles rouges* (*Trachemys scripta elegans*). En ligne [<https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/especes/envahissantes/tortue-oreille-rouge/>]. Site consulté le 6 septembre 2018.

- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2018i). *Tortue mouchetée*. En ligne [http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=74]. Dernière modification mai 2018. Site consulté le 26 février 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2017). *Méné d'herbe*. En ligne [http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=80]. Site consulté le 5 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2010a). *Fouille-roche gris*. En ligne [http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=18]. Site consulté le 5 septembre 2018.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2010b). *Chevalier de rivière*. En ligne [http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=15]. Dernière modification août 2010. Site consulté le 26 février 2019.
- MFFP (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs) (2001). *Bruant de Nelson*. En ligne [http://www3.mffp.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/fiche.asp?noEsp=29]. Site consulté le 5 septembre 2018.
- MINGELBIER, M., Y. PARADIS, P. BRODEUR, V. DE LA CHENELIÈRE, F. LECOMTE, D. HATIN, et G. VERREAULT (2016). *Gestion des poissons d'eau douce et migrants dans le Saint-Laurent : mandats, enjeux et perspectives*, Le Naturaliste canadien, 140(2) : 74-90.
- MINNESOTA DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES (2019). *Elliptio crassidens - Elephant Ear*. En ligne [https://www.dnr.state.mn.us/rsg/profile.html?action=elementDetail&selectedElement=IMBIV14080]. Site consulté le 26 février 2019.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2016). *Obovarie olivâtre*. En ligne [http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profil/hickorynut-obovarie-02-fra.html]. Dernière modification le 19 décembre 2016. Site consulté le 26 février 2019.
- MPO (Pêches et Océans Canada) (2009). *Instructions nautiques, ATL 112 3e édition, Fleuve Saint-Laurent – Cap-Rouge à Montréal et rivière Richelieu*, 63 p. + annexes.
- MRC DE MASKINONGÉ (2018a). *Écoles*. En ligne [https://www.maski.quebec/setablir/services/ecoles/#commissions-scolaires]. Site consulté le 16 août 2018.
- MRC DE MASKINONGÉ (2018b). *Portrait du récréotourisme*. En ligne [http://www.mrc-maskinonge.qc.ca/tourisme/portrait-recreotourisme.html]. Site consulté le 16 août 2018.
- MRC DE MASKINONGÉ (2008). *Schéma d'aménagement et de développement révisé*, Règlement de modification numéro 204-08 harmonisant et intégrant les trois schémas d'aménagement en vigueur sur le territoire de la MRC de Maskinongé, juillet 2008.
- MRC DE MASKINONGÉ (2005). *Politique culturelle*, août 2005, 19 pages. En ligne [http://www.mrc-maskinonge.qc.ca/mrc/portrait.html]. Site consulté le 15 août 2018.



- MRC DE NICOLET-YAMASKA (2018a). *Historique*. En ligne [<http://www.mrcnicolet-yamaska.qc.ca/decouvrir-la-mrc/presentation/>]. Site consulté le 17 août 2018.
- MRC DE NICOLET-YAMASKA (2018b). *Nicolet*. En ligne [<http://www.mrcnicolet-yamaska.qc.ca/decouvrir-la-mrc/nicolet/>]. Site consulté le 16 août 2018.
- MRC DE NICOLET-YAMASKA (2017). *Plan de développement de la zone agricole de la MRC de Nicolet-Yamaska*, Nicolet, 128 p.
- MRC DE NICOLET-YAMASKA (2011). *Schéma d'aménagement et de développement révisé de la MRC de Nicolet-Yamaska (SADR)*, janvier 2011. 238p.
- MRC DE NICOLET-YAMASKA (2001). *Politique culturelle*, 17 pages. En ligne [http://www.mrcnicolet-yamaska.qc.ca/wp-content/uploads/2012/09/politique-culturelle_web.pdf]. Site consulté le 16 août 2018.
- MUNICIPALITÉ DE BAIE-DU-FEBVRE (2018). *La migration des oies blanches*. Site Internet de la municipalité de Baie-du-Febvre. En ligne [<http://www.baie-du-febvre.net/la-migration-des-oies-blanches>]. Site consulté le 19 septembre 2018.
- MUNICIPALITÉ DE BAIE-DU-FEBVRE (2017). *Plan de zonage (Plan No 2)*. Règlement no 270-01-17 adopté le 30-05-2017. 1 p.
- MUNROE, C. E. et S. P. HOWELL (1920). Products of detonation of TNT. *Proceedings of the American Philosophical Society* 59(3) : 194-223.
- OFFICE DE TOURISME DE NICOLET-YAMASKA (2018). *Quoi faire*. En ligne [<http://www.tourismenicoletyamaska.com/fr/quoi-faire>]. Site consulté le 16 août 2018.
- PRESCOTT, J. et P. RICHARD (1996). *Mammifères du Québec et de l'est du Canada*. Éditions Michel Quintin, Waterloo, Québec, 399 p.
- QETE (Quality engineering test establishment) (2009). *Lac Saint-Pierre Environmental Report. An Intensive, Multi-year Study of Sediment and Water Quality in the Southern Portion of the Lake*, technical report prepared for Assistant Deputy Minister (Infrastructure and Environment), Director Realty and Facilities Management (ADM(IE)/DRFM) and UXO and Legacy Sites Program, octobre 2009.
- SAVAGE, C., A. ARMELLIN et M. JEAN (2013). *Les communautés de macro-invertébrés benthiques, un indicateur de la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques appliqué au fleuve Saint-Laurent*, 2e édition, Suivi de l'état du Saint-Laurent, 10 p.
- SEESAC (South Eastern Europe Clearinghouse for the Control of Small Arms and Light Weapons) (2004). *SALW ammunition destruction – environmental releases from open burning (OB) and open detonation (OD) events*. 2004-05-30. En ligne [<http://www.seesac.org/f/tmp/files/publication/304.pdf>]. Site consulté le 21 février 2019.
- STATISTIQUE CANADA (2018). *Profil du recensement, Recensement de 2016*. En ligne [<http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F>]. Site diffusé le 8 février 2017 et mise à jour le 30 mai 2018.



- SAINT-LAURENT, D., M. HÄHNI et S. A. BARRETT (2010). *Analyse des sédiments contaminés de la portion sud-ouest du Lac Saint-Pierre (Québec, Canada)*, Revue des sciences de l'eau, 23 (2) : 119-131. Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement.
- SNC-LAVALIN (2017). *Agrandissement du terminal portuaire de Contrecoeur*. Étude d'impact environnementale – Volume 1 – Rapport principal. Préparé pour le compte de l'Administration portuaire de Montréal. [En ligne] [<https://www.ceaa-acee.gc.ca/050/documents/p80116/121433F.pdf>]
- SODES (2015). *Retombées économiques*. En ligne : [<http://www.st-laurent.org/bim/connaître-industrie-maritime/economie/retombees-economiques/>]. Site consulté le 31 août 2018.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1980). *Chapitre 13.3 Explosives Detonation dans AP-42 : Compilation of Air Emissions Factors*. En ligne [<https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s03.pdf>]. Site consulté le 18 mars 2019.
- WRIGHT, D. G. et G. E. HOPKY (1998). *Guidelines for the use of explosives in or near Canadian fisheries waters*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2107: iv + 34 p.

8. Personnes consultées

Monsieur Rémys Morrisette
Responsable des permis de pêche commerciale en eau douce
Direction régionale de l'Estuaire et des eaux intérieures
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
5195, boulevard des Forges, bureau 106
Trois-Rivières (Québec) G8Y 4Z3
Tél. : 819 371-3971, poste 4690
Courriel : remys.morrisette@mapaq.gouv.qc.ca

Madame Suzie O'Bomsawin
Directrice du Bureau du Ndakinna
Grand Conseil de la Nation Waban-Aki
10175, rue Kolipaïo
Wôlinak (Québec) G0X 1B0
Tél. : 819 294-1686, poste 1220
Courriel : sobomsawin@gcnwa.com

Monsieur Hugo Mailhot-Couture
Adjoint de direction du Bureau du Ndakinna
Grand Conseil de la Nation Waban-Aki
10175, rue Kolipaïo
Wôlinak (Québec) G0X 1B0



Madame Émilie Paquin
Biologiste
Direction de la gestion de la faune Mauricie – Centre-du-Québec
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
100, rue Laviolette, bureau 207
Trois-Rivières (Québec) G9A 5S9
Tél. : 819 371-6151, poste 327
Courriel : emilie.paquin@mffp.gouv.qc.ca

9. Limites de l'étude

Le présent rapport a été préparé et les travaux cités dans ce dernier ont été entrepris par **GHD** pour **Construction de Défense Canada et pour le ministère de la Défense nationale (Client)**. Ce rapport est destiné à l'usage exclusif du **Client**. Toute utilisation, interprétation ou décision prise par une tierce partie autre que le **Client** basée sur ce rapport est la responsabilité seule de cette tierce partie. **GHD** ne fait aucune déclaration ou garantie à toute tierce partie en regard de ce rapport et des travaux cités dans ce dernier, et n'accepte aucun devoir de diligence envers une tierce partie ni aucune responsabilité pour toute perte, dépense, dommage, poursuite, pénalité, ou tout autre préjudice subi ou causé par toute tierce partie qui découle de l'utilisation, de l'interprétation, d'une décision prise ou d'une action entreprise basée sur ce rapport ou les travaux qui y sont cités. Sauf par le **Client**, copier ou distribuer ce rapport, l'utiliser ou s'en remettre à l'information contenue dans le présent rapport, en tout ou en partie, n'est pas permis sans l'autorisation dûment écrite de **GHD** et se fera aux risques et périls de toute personne n'ayant pas obtenu cette autorisation.

L'interprétation des résultats présentés dans ce rapport et les conclusions qui en découlent sont basées sur les données recueillies lors du programme de travail réalisé dans le cadre de cette étude. Elles réfèrent également aux critères, normes, politiques, lois et règlements environnementaux en vigueur au moment de l'étude et applicables au site étudié. Les informations qui y sont contenues sont présentées au meilleur de notre connaissance et à la lumière des données disponibles à **GHD** au moment de sa rédaction. **GHD** base son analyse sur les données ou informations recueillies au cours d'études réalisées par des tiers, qui ont pu notamment être fournies par le **Client**, et sur les conclusions formulées par ces tiers. **GHD** ne se porte aucunement garante des conclusions formulées par ces tiers et ne peut être tenue responsable d'erreurs ou d'omissions commises par des tiers. Rien dans le présent rapport ne vise à constituer ou fournir une opinion légale.



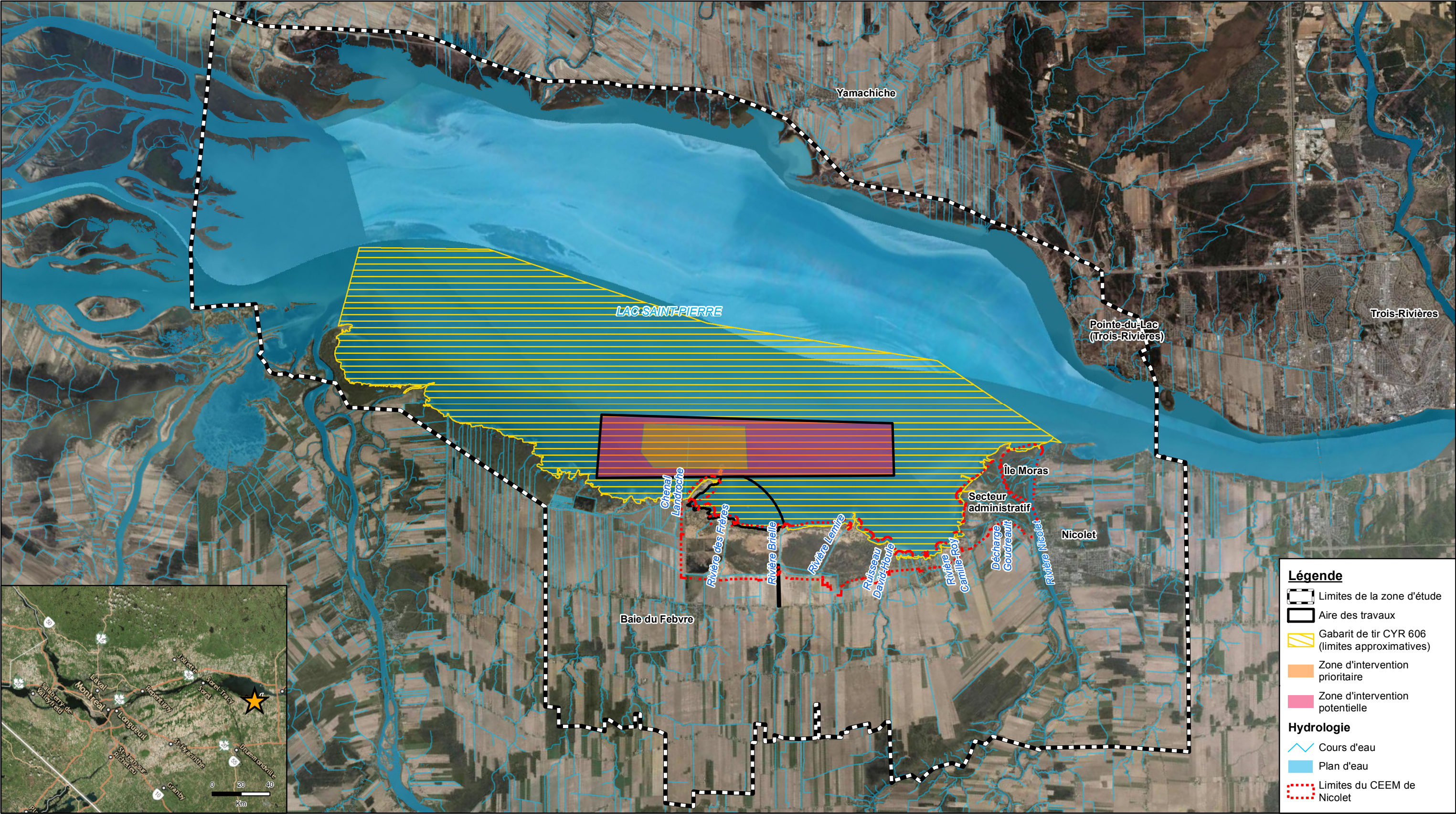
Veuillez agréer nos salutations distinguées.

GHD

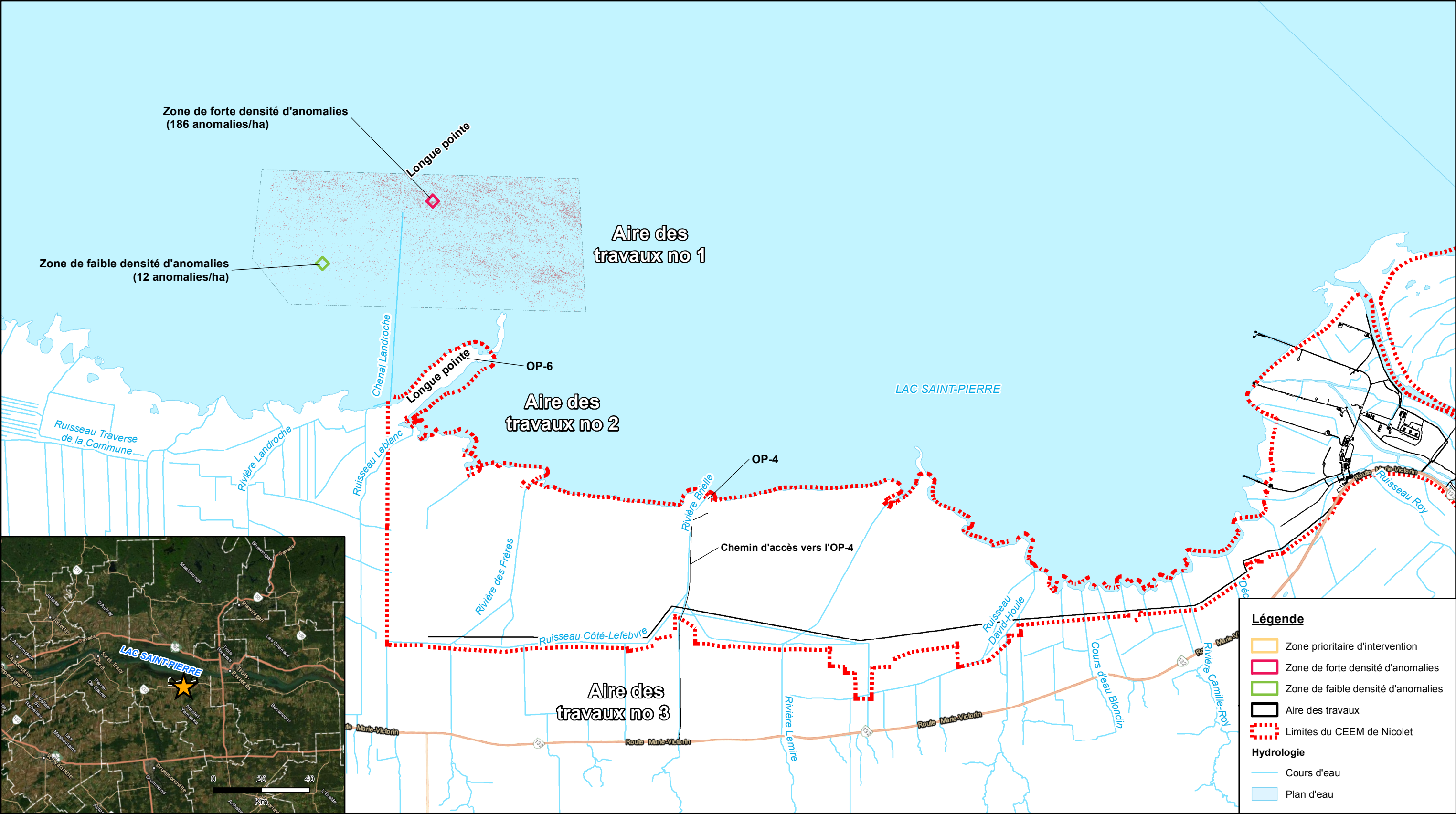
Jonathan M. Olson, biol., M. Sc.

Bruno Dupré, biol., M. Sc.

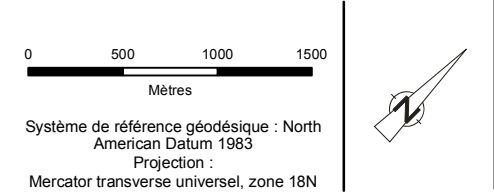
Figures



Source : Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.



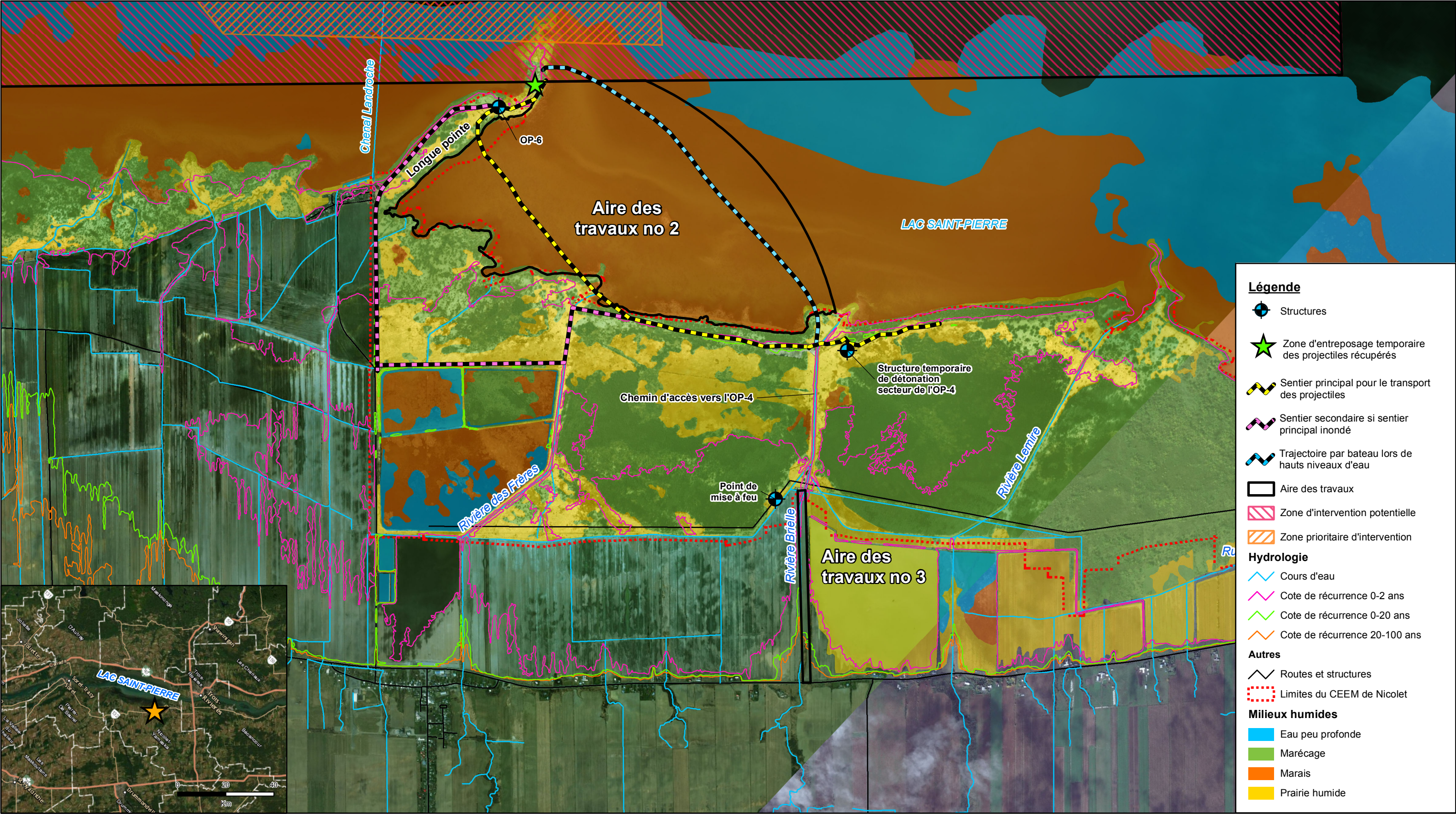
Source : Anomalies géophysiques : CDC, 2019. Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.



CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA (CDC)
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE
LOCALISATION DES ANOMALIES GÉOPHYSIQUES AU SEIN DE LA ZPI

11179956-E1
2 juillet 2019

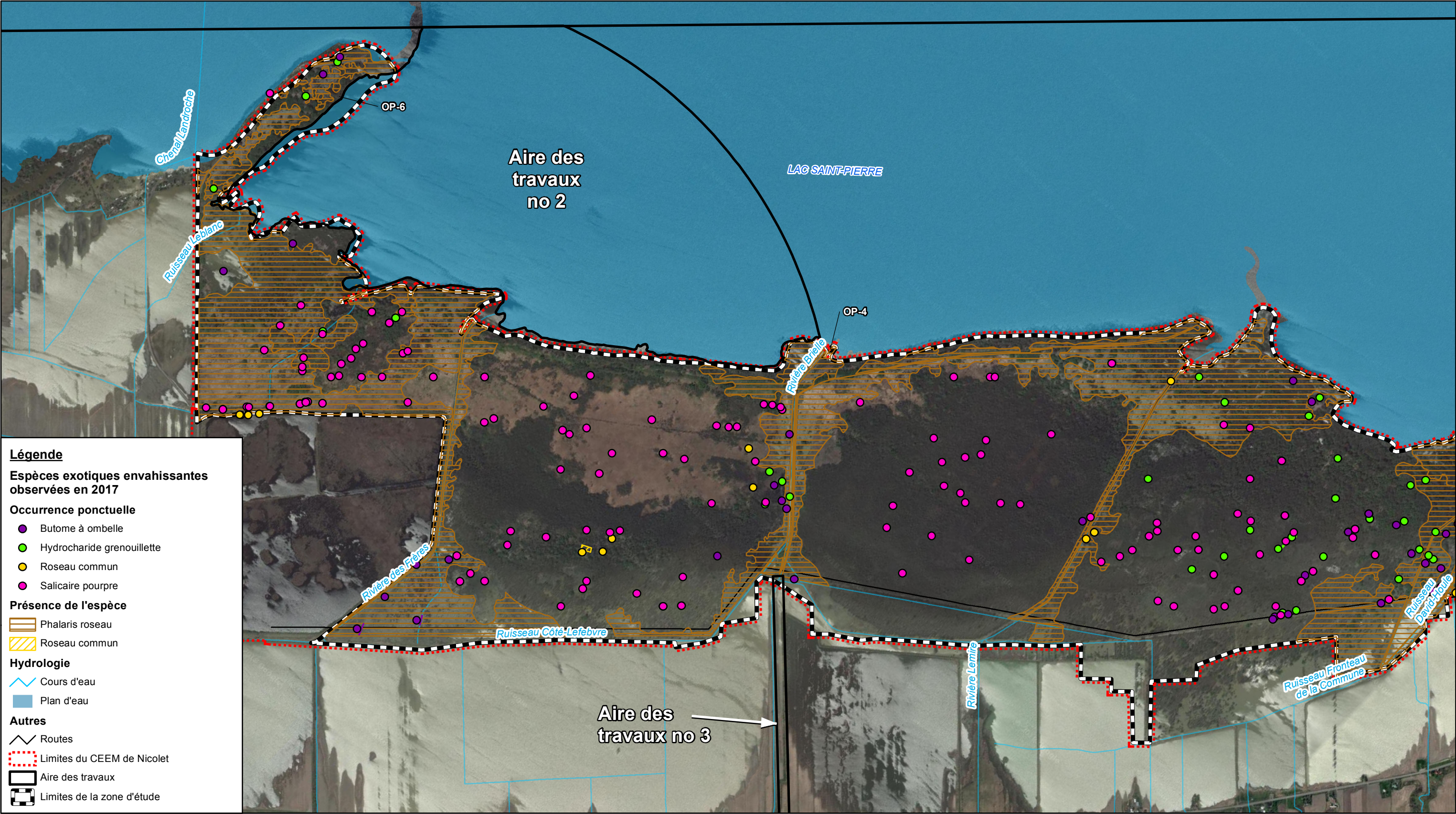
FIGURE 3



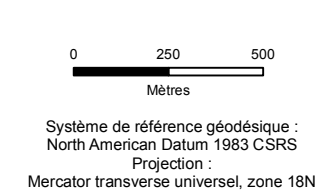
Source : Limites de la zone d'étude, Cotes de récurrence 0-2 ans, 0-20 ans et 20-100 ans : MRC Nicolet-Yamaska, 2019. Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2016. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.



Source : Limites de la zone d'étude, relevés terrain : GHD, 2017. Limites du CEEM de Nicolet : MDN, 2017 (Adapté de Nicolet_Plan de site_0.dwg). Hydrographie : RHN, 2017. Routes : RRN, 2017. Base cartographique : Googlemaps-Satellite, 2016.



Source : Limites de la zone d'étude, relevés terrain : GHD, 2017. Limites du CEEM de Nicolet : MDN, 2017 (Adapté de Nicolet_Plan de site_0.dwg). Hydrographie : RHN, 2017. Routes : RRN, 2017. Base cartographique : Googlemaps-Satellite, 2016.



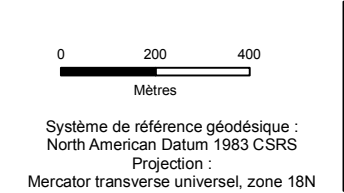
CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES AU LAC SAINT-PIERRE
LOCALISATION DES EEE – RIVIÈRE DES FRÈRES, RIVIÈRE BRIELLE ET
EXTRÉMITÉ OUEST DU CEEM NICOLET

11179956-E1
18 février 2019

FIGURE 6



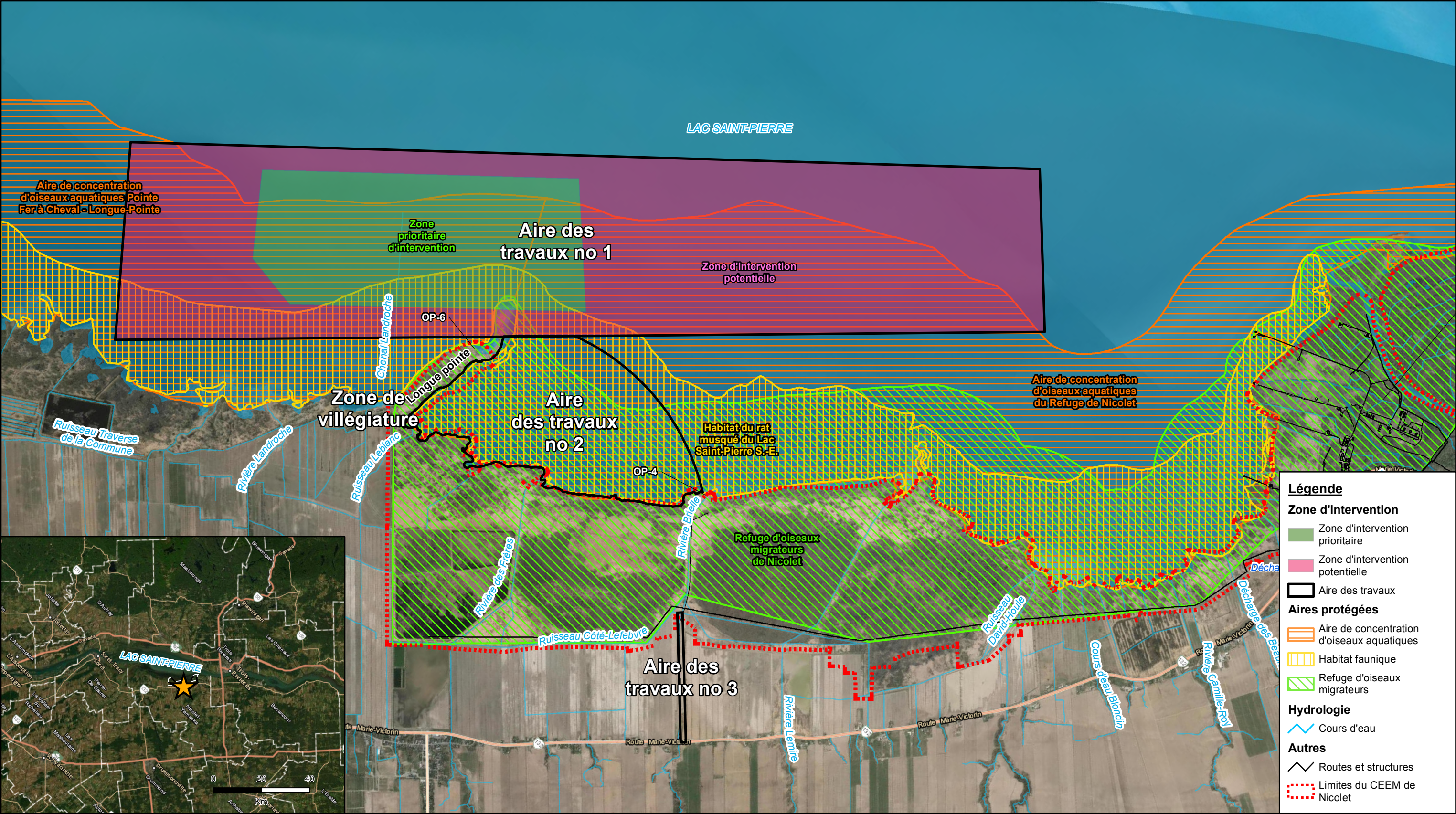
Source : Limites de la zone d'étude, relevés terrain : GHD, 2017. Limites du CEEM de Nicolet : MDN, 2017 (Adapté de Nicolet_Plan de site_0.dwg). Hydrographie : RHN, 2017. Routes : RRN, 2017. Base cartographique : Googlemaps-Satellite, 2016.



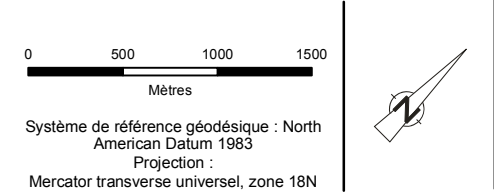
CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA (CDC)
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES
NON EXPLOSÉES AU LAC SAINT-PIERRE
LOCALISATION DES ESPÈCES FAUNIQUES À STATUT PRÉCAIRE
RIVIÈRE DES FRÈRES, RIVIÈRE BRIELLE ET EXTRÉMITÉ OUEST DU CEEM NICOLET

11179956-E1
18 février 2019

FIGURE 7



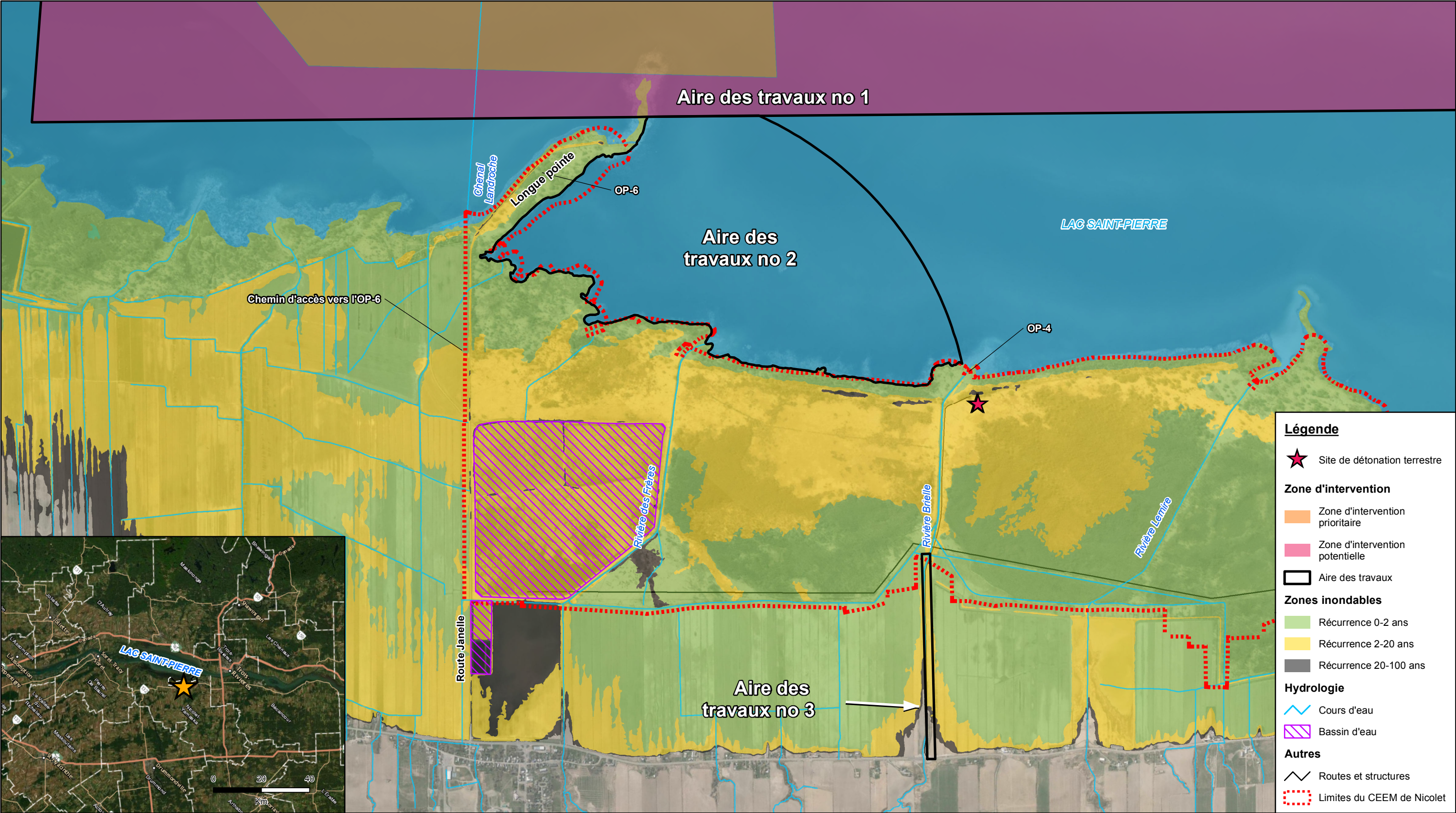
Source : Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Aires Protégées : MDDELCC, 2018. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2017.



CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA (CDC)
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES
NON EXPLOSÉES AU LAC SAINT-PIERRE
AIRES PROTÉGÉES

11179956-E1
2 juillet 2019

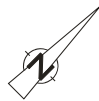
FIGURE 8



Source : Zones associées aux cotes de récurrence : MRC Nicolet-Yamaska, 2019. Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.

0 250 500 750
Mètres

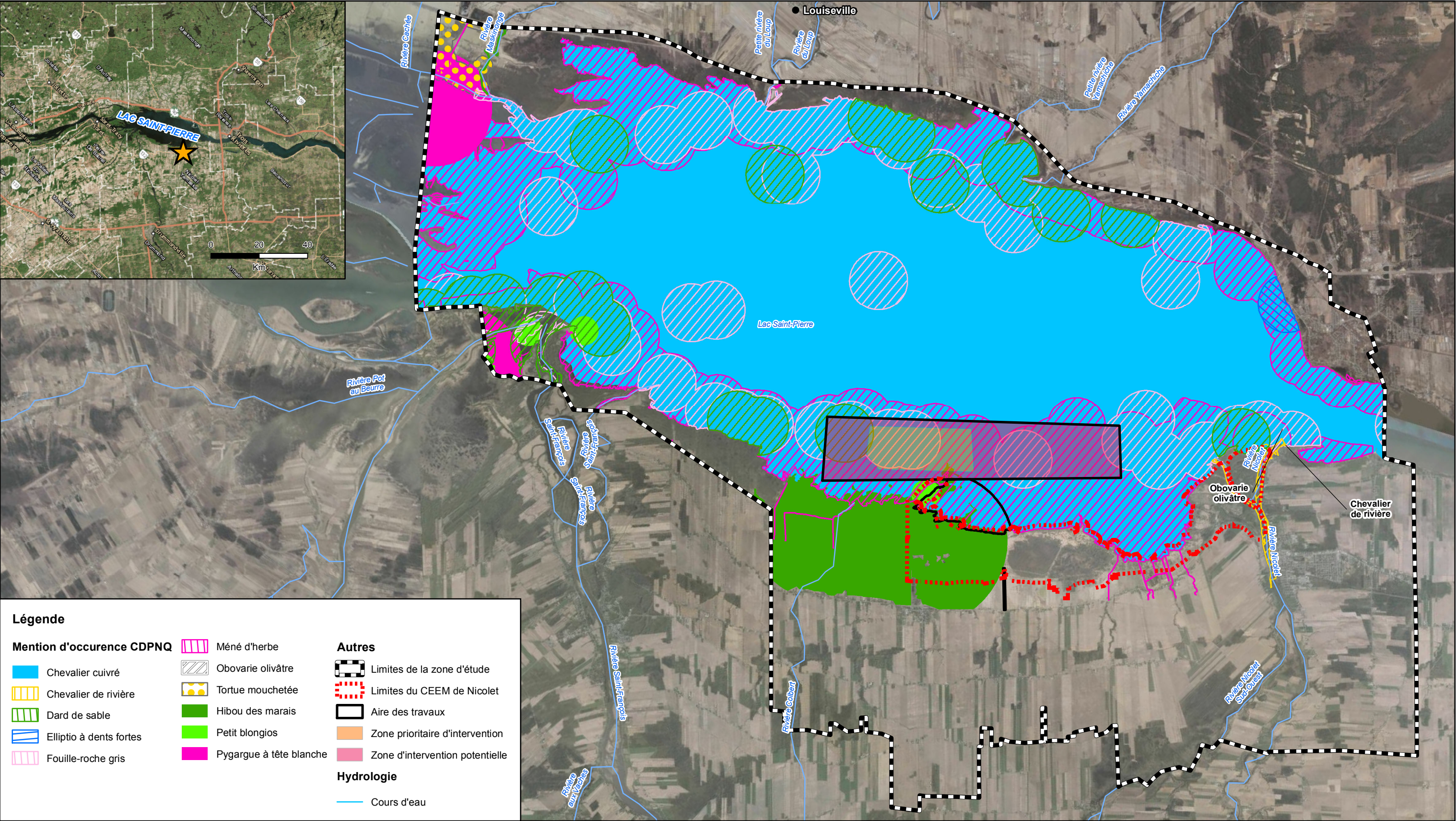
Système de référence géodésique : North American Datum 1983
Projection : Mercator transverse universel, zone 18N



CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA (CDC)
ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE
ZONES INONDABLES

11179956-E1
2 juillet 2019

FIGURE 9



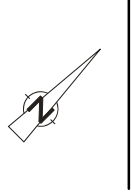
Source : Mentions d'occurrence : CDPNQ, 2019. Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.

01234

Kilomètres

Système de référence géodésique : North American Datum 1983

Projection : Mercator transverse universel, zone 18N



CONSTRUCTION DE DÉFENSE CANADA (CDC)

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT – RAPPORT PRINCIPAL

ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES

AU LAC SAINT-PIERRE

MENTIONS D'OCCURENCE FAUNIQUE DU CDPNQ

11179956-E1
26 février 2019

FIGURE 10

Tableaux

Tableau 1 Détermination de la valeur des éléments du milieu

Valeur	Élément	Valeur intrinsèque	Valeur sociétale
Faible	Climat	Les éléments du milieu physique ont à proprement parler peu de valeur. Leur importance est plutôt liée à leur participation dans la définition des habitats ou des conditions de vie.	La population n'attribue pas une valeur importante à ces éléments pour eux-mêmes.
	Glaces		
	Hydrodynamique		
	Lithologie		
	Bathymétrie		
	Sédimentologie		
	Relief et érosion		
Moyenne	Qualité de l'eau de surface	En soi, la qualité l'eau, des sols et des sédiments ne présente pas des valeurs importantes. C'est au niveau de l'utilisation et de la qualité des milieux que ces éléments sont importants. Ces éléments ont toutefois une valeur intrinsèque qui dépasse celle des éléments biophysiques précédents.	En soi, la qualité de l'eau, du sol et des sédiments ne présente pas une priorité de la population. La qualité de l'eau potable, la qualité de l'eau de baignade (récréotouristique), et la qualité des milieux naturels constituent les aspects les plus valorisés aux yeux de la population.
	Qualité et nature des sédiments		
	Qualité et nature des sols		
	Qualité de l'air	En soi, ces éléments n'ont pas beaucoup d'importance. C'est au niveau de la qualité de vie que cette importance se manifeste.	
	Environnement sonore		
	Végétation	Ces éléments revêtent une importance intrinsèque plus grande que les facteurs biophysiques sur lesquels ils s'appuient, mais ils apparaissent moins importants que les aspects humains qui suivent. Leur importance intermédiaire leur confère une valeur moyenne.	La population confère une importance à la qualité de l'environnement naturel en général, mais cette importance est généralement moins élevée que celle qu'elle accorde à sa qualité de vie (sécurité, santé, etc.)
	Faune benthique		
	Poissons		
	Oiseaux		
	Mammifères		
	Amphibiens et reptiles		
	Navigation	Ces éléments ont peu de valeur en soi, mais contribuent à l'ensemble des activités économiques de la région.	La population confère une importance à ces éléments en fonction de l'utilisation qu'elle en fait, mais pas au même niveau que les questions de sécurité et de qualité de vie.
	Transport routier		
	Infrastructures		
	Contexte social	La valeur de cet élément est principalement liée à celle attribuée par la société.	La population accorde généralement une importance à cet élément.

Tableau 1 Détermination de la valeur des éléments du milieu

Valeur	Élément	Valeur intrinsèque	Valeur sociétale
	Marché du travail	L'activité économique locale et régionale a une valeur importante.	
	Paysage	L'importance de cet élément relève surtout de la perception de la population. En soi, le paysage dans le site à l'étude ne revêt pas une grande importance.	La population confère une certaine importance au paysage, mais pas une importance majeure.
	Utilisation du territoire	Il s'agit d'un élément de développement et d'harmonisation important	La population accorde généralement une importance à cet élément.
Grande	Espèces à statut précaire	Cet élément a une importance très élevée.	Une grande valeur est attribuée par la société aux espèces menacées et vulnérables.
	Patrimoine naturel	Les aires protégées établies pour la conservation du patrimoine naturel sont généralement placées à des endroits ayant une grande valeur écologique.	Une grande valeur est attribuée par la société au patrimoine.
	Patrimoine archéologique	La valeur du patrimoine archéologique et bâti est principalement liée à celle attribuée par la société.	Une grande valeur est attribuée par la société au patrimoine.
	Patrimoine bâti		
	Eau potable	La valeur de cet élément découle entièrement de son utilisation humaine.	L'eau potable est une ressource très importante pour la société.
	Agriculture	Ces éléments sont importants sur le plan économique.	Ces éléments sont valorisés par la population.
	Pêche commerciale		
	Activités récréotouristiques	Les diverses activités récréatives et touristiques sont importantes sur le plan économique.	Ces éléments sont valorisés par la population.
	Chasse et pêche sportive		
	Communautés autochtones	Cet élément a une valeur intrinsèque très grande.	Les activités et connaissances des peuples autochtones sont valorisées par la société.
	Qualité de vie	Ces éléments ont une importance prioritaire.	
	Santé et sécurité		

Tableau 2 Matrice d'interrelations entre les composantes du projet et les éléments du milieu

Élément du milieu	Composantes du projet				
	Investigation et identification des anomalies et enlèvement des objets les créant	Détonation <i>in situ</i>	Transport des munitions	Levées géophysiques de contrôle	Entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4
Milieu physique					
Climat	X	X	X	X	X
Qualité de l'air	X	X	X	X	X
Glaces	-	-	-	-	-
Hydrodynamique	-	-	-	-	-
Lithologie	-	-	-	-	-
Bathymétrie	X	X	-	-	-
Sédimentologie	-	-	-	-	-
Qualité et nature des sédiments	X	X	X	-	-
Qualité de l'eau de surface	X	X	X	-	X
Relief et érosion	-	-	-	-	-
Qualité et nature des sols	-	-	-	-	X
Environnement sonore	X	X	X	X	X
Milieu biologique					
Végétation	X	X	X	-	-
Faune benthique	X	X	X	-	-
Poissons	X	X	X	X	-
Oiseaux	X	X	X	X	X
Mammifères	X	X	X	X	X
Amphibiens et reptiles	X	X	X	X	X
Espèces à statut précaire	X	X	X	X	-

Tableau 2 Matrice d'interrelations entre les composantes du projet et les éléments du milieu

Élément du milieu	Composantes du projet				
	Investigation et identification des anomalies et enlèvement des objets les créant	Détonation <i>in situ</i>	Transport des munitions	Levées géophysiques de contrôle	Entretien du chemin d'accès menant à l'OP-4
Milieu humain					
Contexte social	-	-	-	-	-
Utilisation du territoire	-	-	-	-	-
Patrimoine naturel	X	X	X	X	-
Patrimoine archéologique	-	-	-	-	-
Patrimoine bâti	-	-	-	-	-
Paysage	-	-	-	-	-
Transport routier	-	-	-	-	X
Navigation	X	X	X	X	-
Infrastructures	-	-	-	-	X
Eau potable	-	-	-	-	-
Agriculture	-	-	-	-	X
Pêche commerciale	X	X	X	X	-
Activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive	X	X	X	X	-
Qualité de vie	X	X	X	-	X
Communautés autochtones	X	X	X	-	-
Santé et sécurité	X	X	X	-	X

Tableau 3 Émissions annuelles estimées des équipements et véhicules

Nom de l'équipement	Catégorie	Moteur	Carburant	Temps d'utilisation	Consommation par heure	Consommation Comb.	Dioxyde de carbone	Méthane	Oxyde nitreux	t éq. CO ₂
				h/an	L/h	L/an	t CO ₂	t CH ₄	t N ₂ O	
BV-1	Véhicule hors route	136 HP	Diesel	120	14	1680	4,50E+00	1,23E-04	3,70E-05	4,518
BV-2	Véhicule hors route	136 HP	Diesel	120	14	1680	4,50E+00	1,23E-04	3,70E-05	4,518
Argo-1	Véhicule hors route	30 HP	Essence	180	0,5	90	2,08E-01	9,55E-04	1,17E-06	0,228
Argo-2	Véhicule hors route	30 HP	Essence	180	0,5	90	2,08E-01	9,55E-04	1,17E-06	0,228
Rhino ATV	Véhicule hors route	640 cc	Essence	50	0,5	25	5,77E-02	2,65E-04	3,25E-07	0,063
Kymco	Véhicule hors route	450 cc	Essence	50	0,5	25	5,77E-02	2,65E-04	3,25E-07	0,063
Ponton	Bateau	150 HP	Essence	1600	1,5	2400	5,54E+00	5,28E-04	1,51E-04	5,595
Barge	Bateau	300 HP	Essence	50	1,5	75	1,73E-01	1,65E-05	4,73E-06	0,175
Mud-buddy	Bateau	37 HP	Essence	1000	1,5	1500	3,46E+00	3,30E-04	9,45E-05	3,497
Zodiac-1	Bateau	25 HP	Essence	200	0,75	150	3,46E-01	3,30E-05	9,45E-06	0,350
Zodiac-2	Bateau	25 HP	Essence	200	0,75	150	3,46E-01	3,30E-05	9,45E-06	0,350
Zodiac-3	Bateau	25 HP	Essence	200	0,75	150	3,46E-01	3,30E-05	9,45E-06	0,350
Pompe à eau 1 (Dredge)	Équipement	118 cc	Essence	125	0,25	31,25	7,13E-02	8,41E-05	1,56E-06	0,074
Pompe à eau 2 (Dredge)	Équipement	118 cc	Essence	125	0,25	31,25	7,13E-02	8,41E-05	1,56E-06	0,074
Pompe à eau 3 (Dredge)	Équipement	118 cc	Essence	125	0,25	31,25	7,13E-02	8,41E-05	1,56E-06	0,074
Pompe à eau 4 (Dredge)	Équipement	118 cc	Essence	125	0,25	31,25	7,13E-02	8,41E-05	1,56E-06	0,074
Total										20,228

Tableau 4 Émissions annuelles estimées de l'explosion *in situ* des projectiles non sécuritaires à déplacer

Calibre de l'UXO	Masse de la charge (équivalent TNT)	N ^{bre} d'explosifs par an	Calcul selon une combustion complète	Calcul selon le coefficient d'émission (CE) du USEPA (1980)		
	kg		éq. CO ₂ (t)	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	éq. CO ₂ (t)
3"50	0,449	32	1,95E-02	5,72E-03	1,03E-04	7,89E-03
3"70	0,75	4	4,07E-03	1,19E-03	2,16E-05	1,65E-03
4 po	3,6	3	1,46E-02	4,30E-03	7,78E-05	5,93E-03
90 mm	0,975	5	6,61E-03	1,94E-03	3,51E-05	2,68E-03
76 mm	0,989	1	1,34E-03	3,94E-04	7,12E-06	5,43E-04
105 mm	2,1	32	9,11E-02	2,67E-02	4,84E-04	3,69E-02
155 mm	6,95	51	4,81E-01	1,41E-01	2,55E-03	1,95E-01
Total			0,618			0,250

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Impacts des travaux d'investigation et d'identification des anomalies et d'enlèvement								
Climat	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Faible	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Qualité de l'air	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Bathymétrie	Faible	Locale	Indéterminée	Faible	Faible	Négligeable		Négligeable
Qualité et nature des sédiments	Nulle	-	-	-	Moyenne	Nulle	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Nul
Qualité de l'eau de surface	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Environnement sonore	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Végétation	Moyenne	Ponctuelle	Temporaire	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Faune benthique	Moyenne	Ponctuelle	Temporaire	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Poissons	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Oiseaux	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Mammifères	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Amphibiens et reptiles	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Espèces à statut précaire	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure		Mineur
Patrimoine naturel	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure		Mineur
Navigation	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Pêche commerciale	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure	Voir les mesures à la section 4.2.1.2.	Mineur
Qualité de vie	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Communauté autochtone	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Santé et sécurité	Faible	Ponctuelle	Permanente	Très faible	Grande	Mineure	Réalisation des travaux par des travailleurs spécialisés. Application des normes présentées à la section 1.5.1.	Mineure durant les travaux et positif à long terme
Impacts des travaux de détonation <i>in situ</i>								
Climat	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Faible	Négligeable		Négligeable
Qualité de l'air	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Bathymétrie	Faible	Locale	Indéterminée	Faible	Faible	Négligeable		Négligeable
Qualité et nature des sédiments	Faible	Locale	Permanente	Faible	Moyenne	Mineure	Voir la mesure à la section 4.2.2.3.	Négligeable
Qualité de l'eau de surface	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Environnement sonore	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Végétation	Forte	Ponctuelle	Temporaire	Moyen	Moyenne	Moyenne		Moyen

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Faune benthique	Forte	Ponctuelle	Temporaire	Moyen	Moyenne	Moyenne		Moyen
Poissons	Très forte	Locale	Occasionnelle	Fort	Moyenne	Moyenne	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Oiseaux	Forte	Locale	Occasionnelle	Moyen	Moyenne	Moyenne	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Mammifères	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Amphibiens et reptiles	Très forte	Locale	Occasionnelle	Fort	Moyenne	Moyenne	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Espèces à statut précaire	Très forte	Locale	Occasionnelle	Fort	Grande	Majeure	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Mineur
Patrimoine naturel	Forte	Locale	Occasionnelle	Moyen	Grande	Moyenne	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Mineur
Navigation	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Pêche commerciale	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive	Moyen	Locale	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure	Voir les mesures à la section 4.2.1.2.	Mineur
Qualité de vie	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure	Voir les mesures à la section 4.2.2.	Négligeable
Communautés autochtones	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure		Mineur

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Santé et sécurité	Faible	Ponctuelle	Permanente	Très faible	Grande	Mineure	Réalisation des travaux par des travailleurs spécialisés. Application des normes présentées à la section 1.5.1.	Mineur durant les travaux et positif à long terme
Impacts du transport des projectiles sécuritaires à déplacer								
Climat	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Faible	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Qualité de l'air	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Qualité et nature des sédiments	Nulle	-	-	-	Moyenne	Nulle		Nul
Qualité de l'eau de surface	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Environnement sonore	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Végétation	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure	Mesures visant le transport des projectiles (section 4.2.3).	Mineur
Faune benthique	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Poissons	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Oiseaux	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure	Mesures visant le transport des projectiles (section 4.2.3).	Mineur
Mammifères	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable	Mesures visant le transport des projectiles (section 4.2.3).	Négligeable

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Amphibiens et reptiles	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Espèces à statut précaire	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure	Mesures visant le transport des projectiles (section 4.2.3).	Mineur
Patrimoine naturel	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure		Mineur
Navigation	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Pêche commerciale	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure	Voir les mesures à la section 4.2.1.2.	Mineur
Qualité de vie	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Communautés autochtones	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Santé et sécurité	Faible	Ponctuelle	Permanente	Très faible	Grande	Mineure	Réalisation des travaux par des travailleurs spécialisés. Application des normes présentées à la section 1.5.1.	Mineur durant les travaux et positif à long terme

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Impacts des relevés géophysiques								
Climat	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Faible	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Qualité de l'air	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Environnement sonore	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Faune (poissons, oiseaux, mammifères, amphibiens et reptiles)	Moyen	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Espèces à statut précaire	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Patrimoine naturel	Moyenne	Ponctuelle	Occasionnelle	Faible	Grande	Mineure		Mineur
Navigation	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Moyenne	Négligeable		Négligeable
Pêche commerciale	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Activités récréotouristiques, la chasse et la pêche sportive	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur
Impacts des travaux d'entretien du chemin d'accès menant à l'op-4								
Climat	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Faible	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Qualité de l'air	Forte	Ponctuelle	Occasionnelle	Moyen	Moyenne	Moyenne		Mineur

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Qualité de l'eau de surface	Forte	Ponctuelle	Occasionnelle	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1) et mesures visant les travaux d'entretien du chemin d'accès (section 4.2.4)	Mineur
Qualité et nature des sols	Forte	Ponctuelle	Occasionnelle	Moyenne	Moyenne	Moyenne		Mineur
Environnement sonore	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Négligeable	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1).	Négligeable
Oiseaux	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Mammifères	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Amphibiens et reptiles	Moyenne	Locale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Transport routier	Faible	Régionale	Occasionnelle	Faible	Moyenne	Mineure		Mineur
Infrastructures	Faible positive	Locale	Occasionnelle	Faible positif	Moyenne	Mineure positive		Mineur positif
Agriculture	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure	Mesures spécifiques aux travaux sur le chemin d'accès (section 4.2.4).	Négligeable

Tableau 5 Synthèse de l'évaluation des impacts

Élément du milieu	Perturbation				Valeur de la ressource affectée	Importance de l'impact	Mesures d'atténuation recommandées	Impact résiduel
	Intensité	Étendue	Durée	Degré				
Qualité de vie	Faible	Locale	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure	Mesures visant l'utilisation de véhicules et de la machinerie (section 4.2.1.1) et les mesures spécifiques aux travaux sur le chemin d'accès (section 4.2.4).	Mineur
Santé et sécurité	Faible	Ponctuelle	Occasionnelle	Très faible	Grande	Mineure		Mineur

Annexes

Annexe A

Plan de zonage de la Municipalité de Baie-du-Febvre

Annexe B

Périodes d'incubation des œufs et d'élevage des jeunes des oiseaux observés au CEEM Nicolet

Espèce	Ponte et incubation (PI) / Jeunes au nid (JN)	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Références
Canard branchu	PI													1
Canard branchu	JN													1
Canard chipeau	PI													1
Canard chipeau	JN													1
Canard colvert	PI													1
Canard colvert	JN													1
Canard souchet	PI													1
Canard souchet	JN													1
Gélinotte huppée	PI													1
Gélinotte huppée	JN													1
Dindon sauvage	PI													1
Dindon sauvage	JN													1
Grèbe à bec bigarré	PI													1
Grèbe à bec bigarré	JN													1
Cormoran à aigrettes	PI													1
Cormoran à aigrettes	JN													1
Butor d'Amérique	PI													1
Butor d'Amérique	JN													1
Petit Blongios	PI													1
Petit Blongios	JN													1
Grand Héron	PI													1
Grand Héron	JN													1
Héron vert	PI													1
Héron vert	JN													1
Bihoreau gris	PI													1
Bihoreau gris	JN													1
Urubu à tête rouge	PI													1
Urubu à tête rouge	JN													1
Balbusard pêcheur	PI													1
Balbusard pêcheur	JN													1
Pygargue à tête blanche	PI													1
Pygargue à tête blanche	JN													1
Buse à queue rousse	PI													1
Buse à queue rousse	JN													1
Râle de Virginie	PI													1
Râle de Virginie	JN													1
Marouette de Caroline	PI													1
Marouette de Caroline	JN													1
Pluvier kildir	PI													1
Pluvier kildir	JN													1
Chevalier grivelé	PI													1
Chevalier grivelé	JN													1
Chevalier solitaire	PI													1
Chevalier solitaire	JN													1
Goéland à bec cerclé	PI													1
Goéland à bec cerclé	JN													1
Goéland argenté	PI													1
Goéland argenté	JN													1
Guifette noire	PI													1
Guifette noire	JN													1
Tourterelle triste	PI													1
Tourterelle triste	JN													1
Coulicou à bec noir	PI													1
Coulicou à bec noir	JN													1
Hibou des marais	PI													1
Hibou des marais	JN													1
Colibri à gorge rubis	PI													1
Colibri à gorge rubis	JN													1
Martin-pêcheur d'Amérique	PI													1
Martin-pêcheur d'Amérique	JN													1
Pic maculé	PI													1
Pic maculé	JN													1
Pic mineur	PI													1
Pic mineur	JN													1
Pic chevelu	PI													1
Pic chevelu	JN													1
Pic flamboyant	PI													1
Pic flamboyant	JN													1
Moucherolle à côtés olive	PI													1
Moucherolle à côtés olive	JN													1
Pioui de l'Est	PI													1
Pioui de l'Est	JN													1
Moucherolle des aulnes	PI													1
Moucherolle des aulnes	JN													1
Moucherolle des saules	PI													1
Moucherolle des saules	JN													1
Moucherolle tchébec	PI													1
Moucherolle tchébec	JN													1
Moucherolle phébi	PI													1
Moucherolle phébi	JN													1
Tyran huppé	PI													1
Tyran huppé	JN													1
Tyran tritri	PI													1
Tyran tritri	JN													1

Espèce	Ponte et incubation (PI) / Jeunes au nid (JN)	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Références
Viréo mélodieux	PI													1
Viréo mélodieux	JN													1
Viréo aux yeux rouges	PI													1
Viréo aux yeux rouges	JN													1
Geai bleu	PI													1
Geai bleu	JN													1
Corneille d'Amérique	PI													1
Corneille d'Amérique	JN													1
Hirondelle bicolor	PI													1
Hirondelle bicolor	JN													1
Hirondelle à ailes hérissées	PI													1
Hirondelle à ailes hérissées	JN													1
Hirondelle rustique	PI													1
Hirondelle rustique	JN													1
Mésange à tête noire	PI													1
Mésange à tête noire	JN													1
Sittelle à poitrine blanche	PI													1
Sittelle à poitrine blanche	JN													1
Grimpereau brun	PI													1
Grimpereau brun	JN													1
Troglodyte familial	PI													1
Troglodyte familial	JN													1
Troglodyte des forêts	PI													1
Troglodyte des forêts	JN													1
Troglodyte des marais	PI													1
Troglodyte des marais	JN													1
Grive fauve	PI													1
Grive fauve	JN													1
Grive solitaire	PI													1
Grive solitaire	JN													1
Grive des bois	PI													1
Grive des bois	JN													1
Merle d'Amérique	PI													1
Merle d'Amérique	JN													1
Moqueur chat	PI													1
Moqueur chat	JN													1
Étourneau sansonnet	PI													1
Étourneau sansonnet	JN													1
Jaseur d'Amérique	PI													1
Jaseur d'Amérique	JN													1
Paruline à joues grises	PI													1
Paruline à joues grises	JN													1
Paruline jaune	PI													1
Paruline jaune	JN													1
Paruline à flancs marron	PI													1
Paruline à flancs marron	JN													1
Paruline à croupion jaune	PI													1
Paruline à croupion jaune	JN													1
Paruline flamboyante	PI													1
Paruline flamboyante	JN													1
Paruline couronnée	PI													1
Paruline couronnée	JN													1
Paruline des ruisseaux	PI													1
Paruline des ruisseaux	JN													1
Paruline masquée	PI													1
Paruline masquée	JN													1
Paruline à calotte noire	PI													1
Paruline à calotte noire	JN													1
Bruant familial	PI													1
Bruant familial	JN													1
Bruant des prés	PI													1
Bruant des prés	JN													1
Bruant chanteur	PI													1
Bruant chanteur	JN													1
Bruant des marais	PI													1
Bruant des marais	JN													1
Bruant à gorge blanche	PI													1
Bruant à gorge blanche	JN													1
Junco ardoisé	PI													1
Junco ardoisé	JN													1
Piranga écarlate	PI													1
Piranga écarlate	JN													1
Cardinal à poitrine rose	PI													1
Cardinal à poitrine rose	JN													1
Goglu des prés	PI													1
Goglu des prés	JN													1
Carouge à épaulettes	PI													1
Carouge à épaulettes	JN													1
Quiscale rouilleux	PI													1
Quiscale rouilleux	JN													1
Quiscale bronzé	PI													1
Quiscale bronzé	JN													1
Vacher à tête brune	PI													1
Vacher à tête brune	JN													1

Espèce	Ponte et incubation (PI) / Jeunes au nid (JN)	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Références
Oriole de Baltimore	PI													1
Oriole de Baltimore	JN													1
Chardonneret jaune	PI													1
Chardonneret jaune	JN													1
Bécassine des marais	PI													2
Bécassine des marais	JN													2
Gallinule poule d'eau	PI													2
Gallinule poule d'eau	JN													2
Oie des neiges	PI													2
Oie des neiges	JN													2

Références

1- Atlas des oiseaux nicheurs du Québec. <https://www.atlas-oiseaux.qc.ca/donneesqc/calendrier.jsp?lang=fr>

2 - Gauthier, J. et Aubry, Y. 1995. Les oiseaux nicheurs du Québec. Atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional. Service canadien de la faune et Environnement Canada. Montréal. 1302 pages

Annexe C

Rapport QETE 2009. *Lac Saint-Pierre*
Environmental Report – An Intensive, Multi-year
Study of Sediment and Water Quality in the
Southern Portion of the Lake

QUALITY ENGINEERING TEST ESTABLISHMENT

QETE TECHNICAL REPORT

PROJECT NUMBER: C024005

Lac Saint-Pierre Environmental Report

An Intensive, Multi-year Study of Sediment and Water Quality in the Southern Portion of the Lake.

Prepared for:

Assistant Deputy Minister (Infrastructure and Environment)
Director Realty and Facilities Management (ADM(IE)/DRFM)
UXO and Legacy Sites Program

Project Manager:

Dr. Hany Fanous

Reviewed by:

John Rebiniczak

Approved By:

Dr. Hany Fanous
for Superintendent

October 9, 2009

UNCLASSIFIED

Acknowledgements

DND-QETE

Iris Young
John Rebiniczak
Stephen Barrett
Kent Brady
Benoit Patry
Gayle Dunlop
Angus Fairgrieve
Michael McLoughlin
Jade Puddington
Lloyd Harris

DCC

Daniel Normandin (UXO Safety)
Jonathon Preston (now with DND)
Austin Baird

METC-Nicolet

Marc Leblanc
Denis Sanschagrin
Capt. Roger Blanchard
Raymond Gagnon

Zajdlik & Associates

Barry Zajdlik

BRI Applied Ecotoxicology Group

Pierre Yves Robidoux
Geoffrey Sunahara
Virginie Bérubé
Chantal Fournier
Pierre-Michel Bergeron
Kirgiakoula Kalomiris
Marie-Claude Tardif
Sylvie Rocheleau
Manon Sarrazin
Sabine Dodard

Karine Ménard-Cloutier
Annie Laflamme

BRI Analytical Chemistry group

Jalal Hawari
Fanny Monteil-Rivera
Louise Paquet

CEAEQ/ MDDEP Biology and microbiology group

Christian Bastien
Gaëlle Triffault-Bouchet
Réjean Lemire

CEAEQ/ MDDEP Inorganic chemistry group

Nathalie Dassylva
Alain Tremblay

Stantec

Gladys Stephenson

U. of QTR

Dianne St. Laurent

Mine EOD

Raynald Tremblay
Jeannot Morneau
Marc Pelletier
Paul Blais
Roger Philippon
Robin Saunders

Notra

Wolfgang Preske

Contractor and Collaborative Support

Although QETE co-ordinated the overall sampling and analyses, the study was assisted by additional expertise. Explosive Ordnance Disposal (EOD) support was contracted to conduct UXO avoidance and sediment sampling. Notra was the EOD contractor for the first sampling event. Mine EOD provided UXO support for the remaining sampling events and adaptation of sampling methods. Philips Inc. conducted physicochemical analyses of the sediment and water samples obtained in the first sampling event. Stantec conducted the analytical work and standard toxicity studies on the samples collected in the subsequent sampling events. Zajdlík and Associates Inc. supported QETE in designing this study, conducted statistical analyses, interpretation of all data and contributed to the writing of the Report. Contracting of EOD companies, Zajdlík and Associates Inc and analytical laboratories were conducted by QETE, DND and facilitated by DND and Defence Construction Canada (DCC).

National Research Council-Biotechnology Research Institute (NRC-BRI), as part of their collaboration with QETE, provided significant support in the study. This included assistance with the development of the testing program and with optimising the methodology for the analyses of EM in LSP sediment samples. BRI also conducted other ASTM and EPA (non-commercial) toxicity testing, tissue extractions for AOPC measurements (i.e. EM and metals) and the bioaccumulation studies, and provided support in the field with sediment sampling and processing.

Keywords

Lac Saint-Pierre, Sediment Quality, Depth Sediments, Toxicity, Bioaccumulation, Porewater, Elutriate, Unexploded Explosive Ordinance (UXO), METC-Nicolet, Energetic Material (EM)

THE CONTENTS OF THIS REPORT ARE THE EXCLUSIVE PROPERTY OF THE GOVERNMENT OF CANADA AND ARE NOT TO BE DISCLOSED IN WHOLE OR IN PART WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF QETE AND ITS CLIENT.

LE CONTENU DE CE RAPPORT APPARTIENT EXCLUSIVEMENT AU GOUVERNEMENT DU CANADA ET IL EST INTERDIT DE LE DIVULGUER SOIT EN TOTALITÉ OU EN PARTIE SANS L'AUTORISATION ÉCRITE DU CETQ ET SON CLIENT.

THIS REPORT CONTAINS
CE RAPPORT CONTIENT 346 PAGES

LA VERSION FRANÇAISE DE CE RAPPORT ~~EST~~ DISPONIBLE SUR DEMANDE ÉCRITE.

Executive Summary

This report presents the findings of a comprehensive study of water and sediment quality in the southern portion of Lac Saint-Pierre (LSP), a biologically and culturally significant area in the Fleuve Saint Laurent system, with regard to potential effects of Unexploded Explosive Ordnance (UXO). The study found that sediment quality is generally “good” to “excellent” and that UXO-related analytes such as energetic material (EM), EM products and UXO-associated metals are negligible in the Lac Saint-Pierre environment and did not exceed guideline. There are, however, local exceedences of guidelines such that significant disturbance of sediment might adversely impact local flora and fauna.

Munitions Experimental Test Center, Nicolet, Quebec (METC-Nicolet) of the Department of National Defence (DND) utilized the southern portion of LSP for a firing range from 1952 to 1999. It is estimated that there are 300,000 legacy projectiles in the LSP lakebed, approximately 8,000 of which are UXO, with up to 30,000 kg of Energetic Materials. The southern portion of Lac Saint-Pierre and adjoining shoreline encompasses a bird sanctuary, and is the site of an important local commercial fishing industry. In 1998, it was recognized as a wetland of international significance under the Ramsar Convention. LSP was designated a biosphere reserve by UNESCO in 2000.

The physical, chemical and biological aspects of water, surficial sediment and depth sediment were investigated to determine the concentration and distribution of Analytes of Potential Concern (AOPC) and their potential effect. AOPC were those related to UXO as well as legacy AOPC, principally other metals, PCBs, PAHs and pesticides in the sediment that might be resuspended into the water column following disturbance. These investigations considered historical background, hydrology, and sedimentary geology. Physical and chemistry findings were complemented by bioaccumulation and ecotoxicity investigations.

Water, surficial and depth sediment samples were analysed for EM and EM degradation and transformation products, metals, pesticides, polychlorinated biphenyls (PCBs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), and anions. Standard methods and Detection Limits were employed. Water results were compared to the Chronic Effect Criterion (CVAC) and the Terrestrial Piscivores criterion (CFTP). Surficial and depth sediments were compared to the Occasional Effect Level (OEL) of the Environment Canada and Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (EC-MDDEP) Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.

For the water samples, no EM, EM degradation or EM transformation products were found. The metals aluminum, antimony, iron, silver and zinc were found in exceedence of criterion at some sites. These metals likely derive from upstream sources in the Fleuve Saint Laurent and local agricultural, industrial and community sources within the LSP watershed or from the underlying geology. PCB's PAH's and pesticides were negligible. Of the anions, Bromine exceeded the Terrestrial Piscivores criterion at a concentration 77 times criterion at one site and at a concentration 14 times criterion at another.

For surficial sediments, EM or EM products were detected at very low levels in very few sub-samples. Pesticides, insecticides and herbicides were not found. PCBs were found near the shipping channel but at low levels. PAHs were ubiquitous, with highest concentrations along the south shore and at the river deltas, tributary outfalls, or channel mouths. Of the metals in surficial

sediment, Cr, Ni and Cu were found at levels exceeding criterion. The highest levels were generally within a 2-km radius of Longue Pointe on the south shore; in the south-eastern basin; in the south-western part of the south shore, within the deposition zones of inputs from the Tardiff and St. Francois Rivers. The sources are likely agricultural, industrial or geological.

In general, the majority of surficial sediments in the Lac Saint-Pierre region, particularly offshore and downstream of Lac Saint Pierre, are “excellent”. Those in areas of the southern shore are “good” and “fair”; those offshore of the St. Francois River are “good.”

With regard to LSP depth sediments, no EM or EM products were found in any sample. Of the other organics, only PAHs were detected and in a few samples from the outfall of the chenall Tardiff, most frequently close to the surface but also in two deeper horizons of sediments. The PAH phenanthrene, was found in exceedence of guideline in one sample. Of the metals, Ni and Cr exceeded guideline at most sites along the primary firing axis and at the outfall of Chenal Tardif, with Cr exceeding Probable Effect Level at some sites along the shoreline of Chenal Tardif. Cr and Ni exceeded OEL; Ni, Sb, Co, Cu, Fe, V, Zn, and Mg were above ambient level in samples identified as postglacial clay. It is likely that Cr and Ni are associated with postglacial clays.

Bioaccumulation tests were included, using lower trophic level organisms (freshwater worm and mussel) and high trophic level organism (fish) to further explore the possibility that any AOPC related to UXO, even if not found at significant concentrations in the LSP environment, might yet be present in the LSP organisms. No EM, EM degradation or EM transformation products were found to have bioaccumulated. Significant bioaccumulation of some metals was found, indicating a substantial potential for bioaccumulation but with no environmentl distribution pattern. The bioaccumulation investigation found no significant difference between different areas of LSP, supporting the overall finding that UXO is not a significant source of AOPC in the lake.

Ecotoxicity tests were conducted on organisms exposed to water, surficial and depth sediment, sediment porewater and sediment elutriate, with one or more of the endpoints survival, growth, reproduction, emergence, bioluminescence, genotoxicity and mutagenicity. Additionally, laboratory and *in situ* tests for the biomarkers for toxic metal exposure and cell stress were conducted. LSP water had little adverse effect upon test organisms and in general is supportive of aquatic life. Sediments, sediment porewater and sediment elutriate results resulted in some adverse effects for several endpoints but there was no correlation with AOPC. Integration of ecotoxicity tests shows that the effects, which range from “none” to “severe”, have no evident distribution pattern. The two westernmost sites most distant from DND activities show results similar to those of other locations.

Overall, it was found that analytes exceedencing guidelines are not related to UXO but are mainly metals that likely originate from agricultural and industrial inputs from local tributaries draining into the lake, from the Fleuve Saint Laurent system and from exposure of postglacial clay prominent in the underlying geology

Table of Contents

Acknowledgements.....	1
Contractor and Collaborative Support	2
Executive Summary	4
Glossary.....	18
Chapter 1 - Introduction and Background.....	25
1.1. Introduction	25
1.1.1. Study Objectives	25
1.1.2. Report Overview	25
1.2. Background.....	25
Chapter 2 - Study Area	27
2.1. Introduction	27
2.2. Physical Environment	27
2.2.1. Location and Description	27
2.2.2. Watershed	30
2.2.3. Hydrology	30
2.2.4. Ice Regime and Wave Action.....	30
2.2.5. Sediment and Sedimentation	31
2.3. Biological Environment	31
2.3.1. Flora	32
2.3.2. Fauna	32
2.3.3. Designations.....	33
2.4. Anthropogenic Activities and Impacts on LSP.....	33
2.4.1. Non-DND Activities	33
2.4.2. DND Activities	34
Chapter 3 - Study Design.....	36
3.1. Introduction	36
3.2. Water and Sediment Quality	36
3.2.1. Analytes of Potential Concern (AOPC)	36
3.2.2. Physical and Chemical	37
3.2.3. Exposure Pathways and Receptors.....	37
3.2.4. Measurement Endpoints	39
3.2.5. Bioaccumulation	39
3.2.6. Ecotoxicity	39
3.2.7. Sampling Design.....	40
3.2.7.1. Measurement of AOPC.....	40
Water.....	40
Reference Sediment	40
Surficial Sediment.....	40
Depth Sediment.....	40
3.2.7.2. Bioaccumulation	41
3.2.7.3. Ecotoxicity.....	41

3.2.8.	Evaluation of Water and Sediment Quality.....	41
3.3.	<i>EM Degradation and Transformation Study</i>	41
3.4.	<i>Utility of Bioaccumulation and Ecotoxicity test</i>	41
Chapter 4 -	Methodology	42
4.1.	<i>Introduction</i>	42
4.2.	<i>Field work</i>	42
4.2.1.	Logistics	42
4.2.2.	Safety and Security	43
4.2.3.	Observation, Measurement and Sampling.....	43
4.2.3.1.	Site Location and Clearance	43
4.2.3.2.	Observation and Measurement	43
4.2.3.3.	Sampling.....	43
4.2.4.	Collection, Field Processing, Storage and Shipment of Samples.....	50
4.2.4.1.	Collection.....	50
	Water.....	50
	Surficial Sediment.....	50
	Depth Sediment.....	50
4.2.4.2.	Field Processing.....	51
4.2.4.3.	Storage and Shipment.....	51
4.3.	<i>Preliminary Laboratory Processing of Samples</i>	51
4.4.	<i>Physical and Chemical Analyses</i>	51
4.4.1.	Water Properties and Chemistry	51
4.4.2.	Sediment Properties and Chemistry	52
4.5.	<i>Bioaccumulation</i>	55
4.5.1.	Introduction.....	55
4.5.2.	Bioaccumulation Study	55
4.5.2.1.	Laboratory Exposure.....	55
4.5.2.2.	Field Exposure	55
4.5.3.	Fish Tissue Study.....	56
4.6.	<i>Ecotoxicity testing</i>	56
4.6.1.	Introduction.....	56
4.6.2.	Water Column Ecotoxicity Testing.....	59
4.6.3.	Sediment, Sediment Porewater and Sediment Elutriate Ecotoxicity Testing.....	59
4.7.	<i>Quality Assurance Program</i>	60
4.8.	<i>Data Analyses</i>	60
Chapter 5 -	Results and Discussion	61
5.1.	<i>Introduction</i>	61
5.2.	<i>Field Observations and Measurements</i>	62
5.3.	<i>Water Properties and Chemistry</i>	62
5.3.1.	Introduction.....	62
5.3.2.	Energetic Materials (EM).....	63
5.3.3.	Other Organic Compounds	64
5.3.4.	Anions	64
5.3.5.	Metals.....	64
5.3.6.	Change over Time.....	65
5.3.7.	Summary and Conclusions.....	73
5.3.7.1.	General.....	73

5.4.	<i>Surficial Sediment Properties and Chemistry</i>	74
5.4.1.	Introduction	74
5.4.2.	Physical Characteristics	75
5.4.2.1.	Particle Size and Distribution	75
5.4.2.2.	Total Organic Carbon (TOC).....	76
5.4.3.	Energetic Material (EM)	80
5.4.4.	Other Organic Compounds	81
5.4.5.	Metals.....	83
5.4.5.1.	Concentrations, Guidelines and Ambient Levels.....	84
5.4.5.2.	Distribution	87
	Sources of Spatial Variability	97
5.4.5.3.	Sediment Quality Index	120
5.4.5.4.	Change over Time.....	120
5.4.6.	Summary and Conclusions.....	126
5.5.	<i>Depth Sediment Properties and Chemistry</i>	128
5.5.1.	Introduction	128
5.5.2.	Physical Characteristics	128
5.5.2.1.	Particle Size and Distribution	128
5.5.2.2.	Total Organic Carbon (TOC).....	129
5.5.3.	Energetic Material (EM)	129
5.5.4.	Other Organic Compounds	129
5.5.5.	Metals.....	133
5.5.5.1.	Concentrations, Guidelines and Ambient Levels.....	133
5.5.5.2.	Distribution	136
5.5.6.	Summary and Conclusions.....	151
5.5.6.1.	Effect of Resuspension	152
5.6.	<i>Bioaccumulation</i>	154
5.6.1.	Introduction	154
5.6.2.	Lower Trophic Level.....	154
5.6.2.1.	<i>Lumbriculus variegatus</i>	154
	Concentrations and BAF	154
	Distribution	155
	BAFs and Sediment Physical Characteristics	166
5.6.2.2.	<i>Elliptio complanata</i>	167
	Laboratory.....	167
	<i>In situ</i>	167
	BAFs.....	167
	Effects on Tissue Concentrations.....	168
5.6.3.	High Trophic Level: Fish Tissue Study	175
5.6.3.1.	Metal Concentrations.....	175
5.6.3.2.	Investigation of Gender as Factor	175
	<i>Perca flavescens</i>	175
	<i>Esox lucius</i>	184
	Exposure Pathway Effect.....	191
5.6.4.	Summary and Conclusions.....	191
5.7.	<i>Ecotoxicity</i>	192
5.7.1.	Introduction	192
5.7.2.	Water Column	192
5.7.2.1.	Survival.....	193
5.7.2.2.	Growth.....	193
5.7.2.3.	Reproduction.....	193
5.7.2.4.	Bioluminescence.....	193
5.7.3.	Sediment	195
5.7.3.1.	Endpoints	195

Survival.....	195
Growth.....	195
Reproduction.....	197
Emergence	197
Bioluminescence.....	197
5.7.3.2. Biomarkers.....	197
MTLP.....	199
Lipid Peroxidation	199
Immune Activity	199
5.7.3.3. Sediment Porewater.....	201
Survival and Reproduction	201
FronD Production and Growth	201
Growth.....	201
Bioluminescence.....	202
5.7.3.4. Sediment Elutriate	205
FronD Production and Growth	205
Bioluminescence.....	205
Mutagenicity	205
Genotoxicity	206
5.7.4. Integration of Ecotoxicity Test Results.....	212
5.7.5. Summary and Conclusions.....	217
Summary and Conclusions	219
5.7.6. Organic Compounds in Lac Saint-Pierre.....	220
5.7.6.1. Energetic Material	220
5.7.6.2. PCBs and PAHs	220
5.7.6.3. Miscellaneous Organic Compounds	221
5.7.7. Metals.....	221
5.7.7.1. Metals Exceeding SQGs and Related to UXO.....	222
5.7.7.2. Metals Exceeding SQGs and Not Related to UXO.....	223
5.7.7.3. Metals that Bioaccumulate and are Related to UXO	223
5.7.7.4. Metals that Bioaccumulate and are not Related to UXO	223
5.7.8. Integration of SQGs, Bioaccumulation and UXO.....	224
Annex A: Background.....	227
A1 - Energetic Material Transformation Pathways.....	228
A2- Shell Casing Analyses by QETE.....	233
Annex B: Study Design	237
ANNEX B1 – PROBLEM FORMULATION QUESTIONS.....	237
ANNEX B2 – SAMPLING DESIGN.....	238
Identification of a Reference Area.....	238
Temporal Sediment and Water Sampling Sites	238
Core Site Selection Rationalization	239
Selection of Sampling Sites for Ecotoxicity Testing	242
Annex C: Field Methods	244
References:.....	244
C1: FIELD LOGISTICS.....	244
Introduction	244
Communication	244
Site Access and Navigation	245

Location of Sampling Sites.....	247
UXO Safety	247
EOD Oversight and Contracting.....	247
Safety Briefings	247
Equipment Checks.....	248
Safety Zones	248
UXO Avoidance and Clearance.....	248
C2 - FIELD WATER MEASUREMENTS.....	249
Temperature/pH/Conductivity	249
Dissolved Oxygen	249
Current Measurements.....	249
Turbidity Measurements.....	249
C3 - WATER SAMPLING	251
C4 - SURFICIAL SEDIMENT SAMPLING (FALL 2004, 2005, 2006).....	252
C5 - CORE SEDIMENT SAMPLING.....	253
Winter 2006 (Ice) Coring Method	253
Barge Coring Method	254
C6 - SAMPLE PROCESSING AND HOMOGENIZATION	257
Sample Homogenization of Small (~3L) and Large (~70 L) Sediment Samples	257
C7 - EQUIPMENT CLEANING.....	262
Sediment Sample Collection.....	262
Water Sample Collection.....	262
C8 - Mussel Caged Field Study.....	263
Collection and depuration of mussels.....	263
Selection of sites.....	263
Installation of cages	265
Annex D- Laboratory Methods	266
D1-1 METHODOLOGIES FOR PHYSIOCHEMICAL CHARACTERIZATION	267
D-2 METHODOLOGIES FOR ECOTOXICOLOGICAL CHARACTERIZATION.....	268
D3 - QUALITY ASSURANCE AND DATA ANALYSIS OF ECOTOXICITY TESTS	270
D-4 Pêche scientifique au Lac St-Pierre.....	271
Mise en contexte.....	271
Méthodologie.....	271
Annex E: Quality Assurance Program	274
References:.....	275
Introduction	275
Quality Control Procedures.....	275
Documentation and Records.....	275
Training	275
Equipment calibration.....	275
Chain of Custody.....	276
Quality Control (QC) Samples	279
Annex F: Data.....	282
F1 - Field data	283
F2 - Bore Hole Logs	287

Annex G: Data Analyses	315
<i>G1 Summary Statistics for Sediment Measurements.....</i>	<i>315</i>
<i>Quality Assurance Analyses.....</i>	<i>321</i>
Sediment Core Split Samples	321
Statistical Analysis on Equipment Water Blanks	322
Methods	322
Results	323
Water Split Samples	324
Surficial Sediment Split Samples	326
Statistical Analysis on Effect of Steel Containers	329
Calculation of BAF's for In-Situ Elliptio Bioaccumulation Study.....	331
Fish Tissue.....	333
Ecotoxicity Test Codes.....	333
Quality Assurance for Data Analyses.....	339
Annex H – Supporting Documents	340
REFERENCES	341

List of Tables

Table 1: Summary of Water and Sediment Samples from Lac Saint Pierre	44
Table 2 Physical and Chemical Tests Conducted on Lac Saint-Pierre Samples	53
Table 3. Bioaccumulation Tests.	56
Table 4: Fish Sample Sizes at Exposre and Reference Sites	56
Table 5. Water and Sediment Ecotoxicity Tests.....	58
112. Table 6. Quality Assurance and Sampling.....	60
Table 7: EM and EM Degradation Transformation Product and Detection Limits for Water Samples	64
Table 8: Metals in Lac Saint-Pierre Water column.	66
Table 9: Summary of Comparison Metals in Waters at W1 and W2	66
Table 10:EM, EM Degradation and EM Transformation Products Analysed for in Sediment Including Method Detection Limits.....	80
Table 11: DL and Criteria for PCBs and PAHs.....	82
Table 12: Metals Measured in LSP Sediment Samples with Respective Detection Limits (DLs), EC-MDDEP (2008) Criteria for the Assessment of Sediment Quality and LSP Ambient Levels [45]	85
Table 13. Metals in Lac Saint Pierre Surficial Sediments and Samples in Exceedances of EC-MDDEP Criterion.....	86
Table 14: Summary of PCA Applied to the Sediment Chemistry and Physical Data	104
Table 15: Metals Identified by First Principal Component and EQGs	104
Table 16. Temporal Surficial Sediment Sites	123
230. Table 17: Summary of Depth Sediment Metals (by Site) Exceeding EC-MDDEP (2008) Sediment Quality Criteria and LSP Ambient Levels.....	134
Table 18: Summary of Depth sediment Metals (by Sample) Exceeding EC-MDDEP (2008) Sediment Quality Criteria and LSP Ambient Levels.....	135
Table 19: Localized Exceedences	153
Table 20: Percentage of Bioaccumulation Factors (BAF) within Selected Ranges for <i>Lumbriculus variegates</i>	155
Table 21: Summary Statistics for Selected <i>Lumbriculus</i> Tissue BAFs	166
Table 22: Partial Correlations between <i>Lumbriculus</i> BAFs and Sediment Variables	167
Table 23: Percentage of Bioaccumulation Factors (BAF) within Selected Ranges for <i>Elliptio</i> Digestive Gland	169
Table 24: Partial Correlations between <i>Elliptio</i> Digestive Gland BAFs and Sediment Variables	169
Table 25: Summary of Random Effects Modelling of Tissue Residues in <i>Elliptio complanata</i>	174
Table 26: Fish Bioaccumulation Sample Sizes	175
Table 27: Gender and Bioaccumulation in Perch	183
Table 28: Hypothesis Test Summaries for Bioaccumulation in Pike	190
Table 29: ANOVA Table for Assessing Species Effect on As Accumulation	191
Table 30: Summary of Biological Responses of Organisms Exposed to LSP Water Samples.	194
Table 31: Ecotoxicity Results for Whole Sediment Samples Obtained from Lac Saint-Pierre.	196
Table 32: Summary of Biological Responses for Organisms Exposed to Sediment Pore Water	203
Table 33: Summary of Biological Response for Organisms Exposed to Porewater from the Upper Horizon (0-50cm) of Depth Sediment	204
Table 34: Sumary of Biological Response of Organiss Exposed to Elutriate from Suficial Sediment Sample	207
Table 35: Summary of Biological Response for Organanisms Exposed to Elutriates from 0-50cm depth Sediment Samples.....	208
Table 36 Summary of Toxicity Test Responses used in 2004 Toxicity Mapping	213
Table 37 Summary of Toxicity Test Responses used in 2005 Toxicity Mapping (for data analysis methods or Annex).....	214
Table 38. Comparison of Selected Metals in Surficial Sediments and Post-glacial Clays	225
Table 39: Metals by mass in samples	235
Table 40: Metals (by % mass) in samples	235
Table 41 EC sites Repeated for Temporal Assessment	238
Table 42: Sites Selected for Collection of Sediment Cores.....	241

Table 43: Site Selection and Rationalization for Large Sample Ecotoxicity Testing.....	243
Table 44: EM Standards Utilized by QETE for Sediment Spiking	280
Table 45: Field Observations for Fall 2004 Sampling Event	283
Table 46: Field Water Measurements for Fall 2005 Sampling Event	284
Table 47: Field Water Measurements for Fall 2006 Sampling Event	286
Table 48: Physical measurements sediment	315
Table 49: PCBs sediment	315
Table 50: Organochloride pesticides sediment.....	316
Table 51: Miscellaneous pesticides sediment.....	317
Table 52: Miscellaneous metals sediment.....	318
Table 53: CCME PAHs sediment.....	320
Table 54: Summary of sediment core quality assurance analysis.....	322
Table 55: Summary of equipment wash quality assurance analyses	323
Table 56: Summary of water sample quality assurance analyses	326
Table 57: Summary of sediment quality assurance analyses.....	328
Table 58: Assessing the effect of steel containers	329
Table 59: Geostatistical Models Used to Predict Surficial Sediment Concentrations of Selected Analytes	331
Table 60: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 1	335
Table 61: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 2.....	336
Table 62: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 3.....	337
Table 63: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 4.....	338

List of Figures

Figure 1: Location of Lac Saint-Pierre along the Fleuve Saint Laurent [].	28
Figure 2: Map of Lac Saint-Pierre illustrating the study area boundary.	29
Figure 3: Lines of fire and approximate concentrations of projectiles in Lac Saint-Pierre [].	35
Figure 4 General conceptual Model for Ecological exposure pathways, modified from Cura et al, 1999 [29].	38
Figure 5. All water sampling sites.	45
Figure 6. Surficial Sediment sampling sites 2004	46
Figure 7. Surficial sediment sampling sites 2005-2007.	47
Figure 8: Depth sediment sampling sites. WC, WCA are from Sampling Event 3 and FC are from Sampling Event 4.	48
Figure 9. Sampling Event 5 (February 2007) surficial sediment sites along the Fleuve Saint Laurent towards Trois-Rivieres.	49
Figure 10: Flowchart Illustrating Steps for Processing Sediment and Water Samples for EM Analyses [3]	54
Figure 11: Temporal Patterns in Al, Ba, B and Cd, Outfall of LSP	67
Figure 12: Temporal Patterns in Ca, Cr, Cu and Fe, Outfall of LSP	68
Figure 13: Temporal Patterns in Mg, Mn, Ni and P, Outfall of LSP	69
Figure 14: Temporal Patterns in K, Si, Na and Sr, Outfall of LSP	70
Figure 15: Temporal Patterns in Sn, Ti, V and Zn, Outfall of LSP	71
Figure 16. Silt/clay (%) in surficial sediment of the southern portion of Lac Saint-Pierre.	77
Figure 17: Sand (%) in Surficial Sediment of the Southern Portion of Lac Saint-Pierre.	78
Figure 18. Total organic carbon (%) in surficial sediment of the southern portion of Lac Saint-Pierre.	79
Figure 19. Magnesium(Mg) in surficial sediment of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, non-trended, anisotropic spherical variogram.	88
Figure 20. Chromium (Cr) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.	89
Figure 21. Copper (Cu) in Surficial Sediments of Lac Sainte Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.	90
Figure 22. Antimony (Sb) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, linear trend, anisotropic spherical variogram.	91
Figure 23. Cobalt (Co) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend and an anisotropic exponential variogram.	92
Figure 24. Zinc (Zn) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend anisotropic spherical variogram.	93
Figure 25. Nickel (Ni) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend and an isotropic spherical variogram.	94
Figure 26. Iron (Fe) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, exponential anisotropic variogram.	95
Figure 27. Arsenic (As) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, and an isotropic exponential variogram.	96
Figure 28. Number of Metals Exceeding the EC-MDDEP OELs for surficial sediments from Lac Saint-Pierre.	98
Figure 29. Number of Metals above EC-MDDEP Ambient Levels for Lac Saint-Pierre.	99
Figure 30. Relationship between silt clay composition (%) of LSP sediment and Ni concentration.	100
Figure 31. Relationship between silt clay composition (%) of LSP sediment and Cr concentration.	101
Figure 32. Relationship between silt/clay composition (%) and Cu concentration in LSP.	102
Figure 33. First Principal Component Loadings Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination.	105
Figure 34. Second Principal Component Loadings Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination.	106
Figure 35. Component 1 versus 2 Scores Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination	107
Figure 36. Vanadium (V) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend	108

Figure 37: Titanium (Ti) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.....	109
Figure 38. Strontium (Sr) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. No trend, spherical anisotropic variogram but non-anisotropic variogram fits equally well.....	110
Figure 39: Pb in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre.....	111
Figure 40. Phosphorous (P) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, and an isotropic spherical variogram.....	112
Figure 41 Boron (B) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend, isotropic exponential variogram.....	113
Figure 42. Potassium in (K) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, non-trended, anisotropic spherical variogram.....	114
Figure 43. Sodium (Na) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre.....	115
Figure 44. P in sediments of River Mouth versus Lac Saint Pierre.....	116
Figure 45: Pb in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region.....	117
Figure 46: As in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region.....	118
Figure 47: Zn in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region.....	119
Figure 48. LSP Regional SQI Using EC-MDDEP OEL. Ordinary kriging using global polynomial interpolation, an exponential anisotropic variogram.....	121
Figure 49. P (SQI Marginal or Worse) using EC-MDDEP OEL, LSP Region. Ordinary kriging using global polynomial interpolation, an exponential anisotropic variogram.....	122
Figure 50. Surficial sediment sites for which repeat samples were collected for temporal analyses.....	123
Figure 51. Temporal Patterns of Hg, As, Ba and Cr levels in Surficial Sediment of Lac Saint-Pierre.....	124
Figure 52. Temporal Patterns of Co, Cu, Ni and Zn in Surficial Sediment of Lac Saint-Pierre.....	125
Figure 53. Depth profiles for sediment physical parameters at eastern coring sites. Site labels should be WC22, WCET5, WCET3, F3.....	130
Figure 54. Depth sediment particle size at site along the Firing Axis.. Classified according to Shepard 1954 [16]. Samples with aluminum concentrations greater than 26,900mg/kg are identified Postglacial clay [16].....	131
Figure 55: Depth particle size at sites at the outfall of the Chenal Tardif. Classified according to Shepard 1954 [59]. Samples with aluminum concentrations greater than 26,900mg/kg are identified as Postglacial clay [16]......	132
Figure 56: Al Concentration by Depth (add OEL where applicable).....	137
Figure 57: As Concentration by Depth.....	138
Figure 58 Ca Concentrations at depth.....	139
Figure 59: Cr Concentration by Depth.....	140
Figure 60: Ni Concentration by Depth.....	141
Figure 61: Cu Concentration by Depth.....	142
Figure 62: Hg Concentration by Depth.....	143
Figure 63: Pb Concentration by Depth.....	144
Figure 64: Zn Concentration by Depth.....	145
Figure 65: Depth profiles for selected analytes and sites. site names.....	147
Figure 66: Depth Profiles for Selected Analytes and Sites from Mouth of Rivière St. Francois. Site labels should be FC1, FC5, FC2, FC4, W60, WC61.....	148
Figure 67: Depth profiles for selected analytes and sites near Longue pointe. Site labels should be WCA1, WCA2, WCA4.....	149
Figure 68: Depth profiles for selected analytes at eastern coring sites. Site labels should be WCET5, WC22, WC16, WC14, WCET3 and FC3.....	150
Figure 69: BAF of As in <i>Lumbriculus</i>	157
Figure 70: BAF of Ba in <i>Lumbriculus</i>	158
Figure 71: BAF of Cd in <i>Lumbriculus</i>	159
Figure 72: BAF of Cu in <i>Lumbriculus</i>	160
Figure 73: BAF of Mn in <i>Lumbriculus</i>	161
Figure 74: BAF of Se in <i>Lumbriculus</i>	162
Figure 75: BAF of Zn in <i>Lumbriculus</i>	163
Figure 76: Boxplot of Metal BAFs in <i>Lumbriculus</i>	164
Figure 77: Boxplot of Metal BAFs ≥ 5 in <i>Lumbriculus</i>	165

Figure 78: Ag, Al, As, Ba, Bi and Ca in Digestive Gland Tissues of <i>Elliptio</i> . Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.	170
Figure 79: Cd, Co, Cr, Cu, Fe and Hg in Digestive Gland Tissues of <i>Elliptio</i> . Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.	171
Figure 80: K, Mg, Mn, Na, Ni and P in Digestive Gland Tissues of <i>Elliptio</i> . Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.	172
Figure 81: Pb, Se, Sr, Tl and Zn in Digestive Gland Tissues of <i>Elliptio</i> . Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.	173
Figure 82: As, Ba and Be in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	177
Figure 83: Cd, Co and Cr in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	178
Figure 84: Cu, Fe and Hg in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	179
Figure 85: Mn, Mo and Ni in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	180
Figure 86: Pb, Sb and Se in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	181
Figure 87: Sr, V and Zn in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	182
Figure 88: As, Ba and Fe in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	184
Figure 89: Cd, Co and Cr in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	185
Figure 90: Cu, Fe and Hg in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	186
Figure 91: Mn, Mo and Ni in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	187
Figure 92: Pb, Sb and Se in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	188
Figure 93: Sr, V and Zn in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)	189
Figure 94: 2005 <i>V. Fischeri</i> (Microtox Solid Phase) Test Results	198
Figure 95: 2005 <i>E. Coli</i> Genotoxicity Test Results	211
Figure 96 2004 Integrated Toxicity Test Results	215
Figure 97 2005 Integrated Toxicity Test Results	216
Figure 98. Abiotic transformation routes of TNT. A) Under photolytic conditions; B) in the presence of Fe(0) or Fe (II); C) under alkaline conditions.	228
Figure 99. Biotransformation of TNT under aerobic and anaerobic conditions. TAT is only produced under strict anaerobic conditions.	229
Figure 100. Abiotic degradation pathways of RDX: A) initiated by denitration (hydrolysis, photolysis, electrolysis, Fe(II), zero valent metals) or B) initiated by reduction to the corresponding nitroso derivatives (2e-transfer) (photolysis, electrolysis, zero valent metals).	230
Figure 101. Biodegradation of RDX initiated by denitration under aerobic (path A) and anaerobic (path B) conditions.	231
Figure 102. Biodegradation of RDX initiated by reduction to the nitroso derivatives followed by hydroxylation (path A), denitration (path B) or reduction (path C).	232
Figure 103: Communication flow diagram identifying OPI and corresponding responsibilities during sampling events.	245
Figure 104: Seanlander (24 ft) boat.	246
Figure 105: Zodiac (14 ft) boat	246
Figure 106: Secchi disc	250
Figure 107: Posthole digger	252
Figure 108: Sled Mounted Drill Rig with Shelby sampling tube to the left of the rig.	253
Figure 109: Setting up remote control drill and example of sediment before clearing by UXO technician	254
Figure 110: Barge for the Drill Rig	255
Figure 111: Drilling Rig (modified from an hydraulic wood splitter)	256
Figure 112: Mixing a 3L sample using a stainless steel mixer in an electric drill	258
Figure 113 Sample processing small samples	259
Figure 114 Sample processing large samples	260
Figure 115: Large mixer for toxicity samples and cleaning coring equipment	261
Figure 116 Potential zones <i>in-situ</i> bioassays with caged mussels	264
Figure 117 Sites for <i>in-situ</i> bioassays with caged mussels (september 2007)	264
Figure 118: Chain of Custody form.	277
Figure 119 Responsibilities and requirements, processing and analysis METC samples	278

Glossary

A

ADNT 2-amino-4,6-dinitrotoluene

Airborne Geophysical Survey Collection of geophysical data using an airborne platform (fixed-wing or rotary).

Ag Silver

Al Aluminum

Ammunition An item containing one or more projectiles together with propellant needed to impart velocity to the projectile(s) which are propelled from a reusable launcher. The projectiles may be inert or contain a high explosive, smoke generator, or other energetic composition. The launcher may be a gun. The NATO and US term “ammunition” covers “munition” as defined in this glossary. Ammunition is a sub-set of munitions. See Munitions.

Anomaly An irregularity different from the background that has been detected. In geophysical terms, it is normally a result of detecting a target of interest.

AOPC(s) Analyte(s) of potential concern

Area/Region of UXO Interest Suspected or known impact areas, target areas, or any region in a contaminated area where the level of UXO contamination is considerably greater than in neighbouring regions.

As Arsenic

ASTM...American Standard Test Method

B

B Boron

Ba Barium

BAF Bioaccumulation factor

BCF Bioconcentration factor

Be Beryllium

Bi Bismuth

Bioaccumulation (BA) the accumulation of chemical substances in an organism or part of an organism, through respiration, food intake, epidermal contact with the substance, and/or other means. BA level depends on various rates of uptake, ingestion etc and rates of elimination or transformation of the chemicals, & other environmental and physicochemical factors.

Bioavailability Bioavailability of sediment associated contaminants is defined as the fraction of the total contaminant in the interstitial water and on the sediment particles that is available for bioaccumulation.

BIP Blow in place - To destroy an item of ordnance by explosives without moving the item from where it is found, normally by placing an explosive charge alongside. Others may refer to it as blow in situ, or destruction in situ.

BRI Biotechnology Research Institute

C

C Carbon

Ca Calcium

Cd Cadmium

CEQG refers to Canadian Environmental Quality Guidelines. (2003) for sediment i.e. Canadian Sediment Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), Winnipeg, ON.

Characterization (site) Spatial distribution of targets of interest for a given site (depth, orientation, distribution density, etc.). Normally included as a part of the Conceptual Site Model.

Cl Chlorine

Co Cobalt

Conceptual Site Model All data, information and interpretations (historical and current) that may impact the detection and discrimination of EO. It describes sources and receptors, and the interactions that link these. It assists the planning, data interpretation, and communication. Usually portrayed in a GIS/graphic format by a combination of descriptive narration, GIS compilation and chart(s).

Cr Chromium

Cu Copper

D

DANT 2,4- diaminonitrotoluene

Danger Area A specified area above, below, or within which there may exist a potential danger for personnel and/or equipment. (AOP-38-4)

DAPM Directorate Ammunition Program Management

Data Quality Objectives (DQO) Qualitative and quantitative statements that specify the tolerable levels of potential decision errors that will be used as the basis for establishing the quality and quantity of data needed to support decisions.

DCC Defence Construction Canada

Depth Distance from the surface to a buried anomaly. For geophysical purposes this is usually measured to the centre of the anomaly. For clearance or intrusive investigation of UXO, this is usually given to the top of the suspected UXO. Care must be taken to clearly state in the SOW where on the anomaly the depth measurement is to be taken from.

Depth of Investigation/Penetration Refers to depth to which the sensor system is capable of detecting an object in its present configuration; depends on the size of the object and its depth; contrast between the nature of the object being detected and its surroundings.

DNB 1,3-Dinitrobenzene

DNT 2,4 or 2,6-Dinitrotoluene

DL Detection limit

Discrimination Positive identification of an anomaly.

DRFM Directorate Realty and Facilities Management

Dud See UXO

E

EC Environment Canada

EC-ICSLRS (1992) refers to EC St. Lawrence Centre and Ministère de l'Environnement du Québec Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment

EC-MDDEP EC and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec

EC-MDDEP (2008) refers to EC-MDDEP Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation, Table 1 and 4

ECx Effect concentration at x% level

Elutriate is an aqueous solution obtained after adding 4 parts water to 1 parts solid material (e.g. sediment), shaking the mixture, then centrifuging it, or filtering it, or decanting the supernatant.

EM Energetic Material A substance or mixture of substances which, by chemical reaction, is capable of rapidly releasing energy.

EPA Environmental Protection Agency

Exclusion Zone The area associated with a UXO clearance activity from which unauthorized ships, personnel, equipment, vehicles and aircraft are excluded for reasons of safety because of actual or suspected presence of UXO. May also be referred to as a Danger Zone or Area.

Explosive A substance (or a mixture of substances) which is capable by chemical reaction of producing gas at such a temperature and pressure as to cause damage to the surroundings. Included are pyrotechnic substances even when they do not evolve gases. The term “explosive” thus includes all high explosives and propellants together with igniter, primer, initiatory and pyrotechnic (e.g. illuminants, smoke, delay, decoy, flare and incendiary) compositions.

Explosive Ordnance (EO) All munitions containing explosives, nuclear fission or fusion materials and biological and chemical agents. This includes bombs and warheads; guided and ballistic missiles; artillery, mortar, rocket and small arms ammunition; all mines torpedoes and depth charges; pyrotechnics; clusters and dispensers; cartridge and propellant actuated devices; and all explosive devices; clandestine and improvised explosive devices; and all similar or related items or components containing explosives or explosive in nature.

Explosive Ordnance Disposal (EOD) The detection, identification, on-site evaluation, rendering safe, recovery and final disposal of unexploded explosive ordnance. It may also include explosive ordnance which has become hazardous by damage or deterioration.

F

Fe Iron

FEL Frequent effect level in Table 1 of EC-MDDEP (2008) Criteria

Fragment Any metal portion of the ammunition or its package, which is propelled from the site of an explosion.

Free-From Explosive (FFE) Items declared FFE have been suitably inspected and certified that they no longer contain energetic material

FY Fiscal year

G

Geophysical System Consists of project specific geophysical operators, hardware, software, processing and interpretation methods and geophysicist(s).

Geophysical Data Analysis Process of transforming geophysical measurements obtained during data acquisition into something meaningful (i.e. maps, anomaly/targets of interest list, etc.) prior to geophysical interpretation.

GPS Global Positioning System A navigational system using satellite signals to fix the location of a radio receiver on or above the earth's surface

H

Hazard A condition that is a prerequisite to a mishap. A phenomenon – environmental force or intrinsic effect – having the potential to induce an adverse effect in the munition compromising its safety or its suitability for service. It is characterized by its nature, severity or probability of occurrence.

HDPE High density polyethylene

Hg Mercury

HMX High melting explosive or 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraazacyclooctane

I

ICP Inductively coupled plasma

Impact Area An area having designated boundaries outside of which no fall of shot or air burst is permitted.

In Infill site

K

K Potassium

L

Li Lithium

LOEC Lowest observed effect concentration

LSP Lac Saint-Pierre

M

MET Minimal effect threshold concentration in EC Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment (1992)

METC Munitions Experimental Test Center

Mg Magnesium

Mn Manganese

Mo Molybdenum

MTLP metallothionein like protein

Munitions A complete device (e.g. missile, mine, demolition store, etc.) charged with explosive, propellants, pyrotechnics, initiating compositions or nuclear, biological or chemical material, for use in military operations, including demolitions. Certain suitably modified munitions may be used for training, ceremonial or non-operational purposes.

N

n or N Sample size

Na Sodium

NB Nitrobenzene

NET No effect threshold concentration in EC Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment (1992)

Ni Nickel

NOAEL No observed adverse effect level

NOEC No observed effect concentration

NRC National Research Council of Canada

NT Nitrotoluene

O

OEL Occasional effect level in Table 1 of EC-MDDEP (2008) Criteria

Ordnance A weapons system with its associated munitions and auxiliary equipment needed to fire the munition. (AOP-38-4)

P

PCDD and PCDFs polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans

P Phosphorus

PAHs Polyaromatic hydrocarbons

Pb Lead

PCBs Total polychlorinated biphenyls

PEL Probable effect level in Table 1 of EC-MDDEP (2008) Criteria

PGC Postglacial clays

Porewater is the water which occupies the space between the sediment particles, which can be extracted from the sediment, and tested for toxicity.

Q

QA Quality assurance

QC Quality control

Quality Control Plan (QCP) Plan that addresses all quality control systems used for each task of a project.

QETE Quality Engineering Test Establishment

R

RDX Royal Demolition Explosive or 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine

REL Rare effect level in Table 1 of EC-MDDEP (2008) Criteria

RSP Render Safe Procedures is the application of special EOD methods and tools to provide for the interruption or separation of essential components of UXO to prevent an unacceptable detonation.

S

S Sulphur

Safe The absence of risk. Normally the term tolerable risk is more appropriate and accurate.

Safe Distances General. The applicable safe distance is the minimum distance that personnel or specified equipment, installations or objects must be separated from the intended point of impact, point of burst, point of detonation or planned trajectory.a. Normal Safe Distance. The distance from point of impact beyond which, on an average, one fragment per shell fired may be expected to travel.b. Positive Safe Distance. The distance from point of impact beyond which, on an average, no fragment is expected to travel.c. Minimum Safe Distance. The result of calculations for DANGER CLOSE procedures for artillery and mortar.

Se Selenium

Si Silicon

Sn Tin

SQI Sediment quality index or indices

SQG Sediment quality triad

SQT Sediment quality triad

Sr Strontium

T

Target of Interest (Geophysical term) Causative body or physical entity delineated through quantitative analysis and/or interpretation of geophysical data. Reported in geo-referenced space (X, Y and Z) with associated geophysical parameters.

TEL Threshold effect level in Table 1 of EC-MDDEP (2008) Criteria

TET Toxic effect threshold concentration in EC Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment (1992)

Tl Thallium

Ti Titanium

TNB Trinitrobenzene

TNT 2,4,6-Trinitrotoluene

TOC Total organic carbon

U

U Uranium

US EPA United States Environmental Protection Agency

UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

UXO Unexploded Explosive Ordnance EO which has been primed, fused, armed or otherwise prepared for action and which has been fired, dropped, launched, projected or placed in such a manner as to constitute a hazard to operations, installations, personnel or material and remains unexploded either by malfunction or design or for any other causes. (NATO AAP-6). For UXO related work, UXO includes explosive residue. Others may refer to it as Duds, or Blinds

UXO Clearance The process of detection, identification and disposal, by removal or detonation, of foreign objects, explosive or non-explosive, deposited on or under the surface of an area of land.

UXO Clearance Activity Range/UXO clearance activities include UXO avoidance tasks, range/UXO surveys, range/UXO clearance tasks/projects/operations and residual risk audits/assessments.

UXO Site A property where UXO is present or there is a likelihood of UXO based on past military operations and/or accidents. Includes DND Active/Inactive, Special Status and Legacy Sites.

UTM Universal Transverse Mercator The UTM coordinate map projection system is a grid-based method of specifying locations on the surface of the Earth as Eastings and Northings.

V

V Vanadium

W

W Tungsten

Wide Area Assessment Process to provide generic characterization of the UXO risk over a large area or the entire site. It may include any or all combinations of historical/anecdotal research, Aerial Geophysical Survey (AGS), ground (vehicle/foot borne) and water (surface/sub-surface) geophysical surveys and visual or other types of searches.

Z

Zn Zinc

Zr Zirconium

Chapter 1 - Introduction and Background

1.1. INTRODUCTION

1. In 2003 the Quality Engineering Test Establishment (QETE) was tasked by the Assistant Deputy Minister (Material), Director Ammunition Program Management (ADM(Mat)/DAPM) to investigate sediment and water quality in the southern portion of Lac Saint-Pierre (LSP), particularly with respect to substances associated with unexploded explosive ordnance (UXO). [1] The project continued under a tasking from the Assistant Deputy Minister (Infrastructure and Environment), Director Realty and Facilities Management (ADM(IE)/DRFM) starting in the year 2005. [2]

1.1.1. Study Objectives

2. The study objectives were to:
 - a. Assess the water and sediment quality in the southern portion of Lac Saint-Pierre with regard to UXO-associated analytes of potential concern (AOPC), particularly energetic material (EM);
 - b. Determine the degradation and transformation of EM in LSP sediment; and
 - c. Assess the utility of toxicity and bioaccumulation tests as analytical tools for sediments containing UXO.

1.1.2. Report Overview

3. This report presents the study and study results regarding the first objective. EM degradation and transformation is discussed in a supplementary report that is included in Annex H [3]. Although some toxicity test results are presented herein, a systematic assessment of the utility of the toxicity tests studied is not included.

1.2. BACKGROUND

4. The Munitions Experimental Test Center, Nicolet, Quebec (METC-Nicolet) of the Department of National Defence (DND) was established in 1952. The centre is located in the South eastern section of LSP, a widening of the Fleuve Saint Laurent between Sorel and Trois-Rivieres, east of Montreal. Until 1999, munitions were fired into the southern portion of LSP. It is estimated that there are 300,000 projectiles in the LSP lakebed, including approximately 8,000 UXO, containing up to 30,000 kg of EM [1,4].
5. Concerns over the safety, security, human health and environmental risks of leaving the UXO in their current state have been expressed. The southern portion of Lac Saint-Pierre and adjoining shoreline encompasses a bird sanctuary, and is the site of an important local commercial fishing industry. In 1998, it was recognized as a wetland of international significance under the Ramsar Convention [5]. LSP was designated a biosphere reserve by UNESCO in 2000 [6].

6. The only previous substantive study on the southern portion of LSP, by Environment Canada in 2003, did not detect EM in surficial sediment and concluded that the firing activities and the presence of shells in the sediments had little or no impact on sediment quality or on the benthos [4].
7. This project continued the earlier investigation into the effects of UXO on the LSP environment. The initial objective was to determine the fate and ecological effect of any EM in LSP. The project evolved in light of a exposure pathway model chosen to identify pathways of Analytes of Potential Concern (AOPCs), particularly AOPC related to UXO; concerns of stakeholders and the findings of Environment Canada' study of LSP [4]. This led to a broader investigation of water and surficial and in-depth sediments. It included measurement of AOPCs and assessment of bioaccumulation and ecotoxicity. The discovery of AOPC not attributable to DND activities led to further investigation of surficial and at-depth sediments inside the boundaries of Lac Saint-Pierre and investigation of surficial sediments outside the boundaries to broaden understanding of inputs to the lake and of the movement of AOPC downstream.

Chapter 2 - Study Area

2.1. INTRODUCTION

8. Water and sediment quality in the study area, comprising the southern portion of Lac St. Pierre, is determined by physical, biological and anthropogenic factors that are local to regional in scale.
9. With respect to the physical environment, the most important influence upon Lac St. Pierre is the St. Lawrence River system, of which the lake is an integral part. The watershed, hydrology, ice and water movement, sediment source and sediment characteristics also interact in complex ways to influences water and sediment quality.
10. With respect to the biological environment, certain Lac St. Pierre flora and fauna have been identified as being vulnerable or at risk, and therefore have been given protected status. Several protected species, particularly migratory birds, have local habitat and Lac St. Pierre has been designated under international protocols.
11. Anthropogenic activities of importance to the Lac St. Pierre environment are both non-DND and DND. Non-DND activities, primarily agricultural and industrial, have long been a source of significant contaminant loadings. DND activities, specifically test range firing and legacy UXO, are much less significant with regard to contaminant loadings.

2.2. PHYSICAL ENVIRONMENT

12. The physical environment of the study area includes its location within the region, the surrounding watershed, hydrology, ice regime, wave action, sedimentation and sediment characteristics. These control the distribution of water and sediment and therefore of the contaminants that largely determine water and sediment quality.

2.2.1. Location and Description

13. The study area encompasses much of the southern portion of Lac Saint-Pierre, which is a widening of the Fleuve Saint-Laurent between Sorel and Trois-Fleuves, 65 km east of Montreal (Figure 1; Figure 2). The lake is at the centre of the most densely inhabited region of the province of Québec, with major urban concentrations within a 100 km radius.
14. Lac Saint-Pierre (LSP) is the most easterly of the three fluvial lakes of the Fleuve Saint Laurent, which becomes an estuary at Quebec City. The lake is 28 km long by 11 km wide, and has a surface area of 480 km² [7]. The basin is oriented from Southwest to Northeast. LSP includes an archipelago of about 100 islands at the upstream entrance, several large bays and, to the North East, a large area of open water. LSP is the shallowest of the three fluvial lakes, with an average depth of 2.7 metres; the central shipping channel is dredged to a minimum depth of 11.0 metres [4, 8].

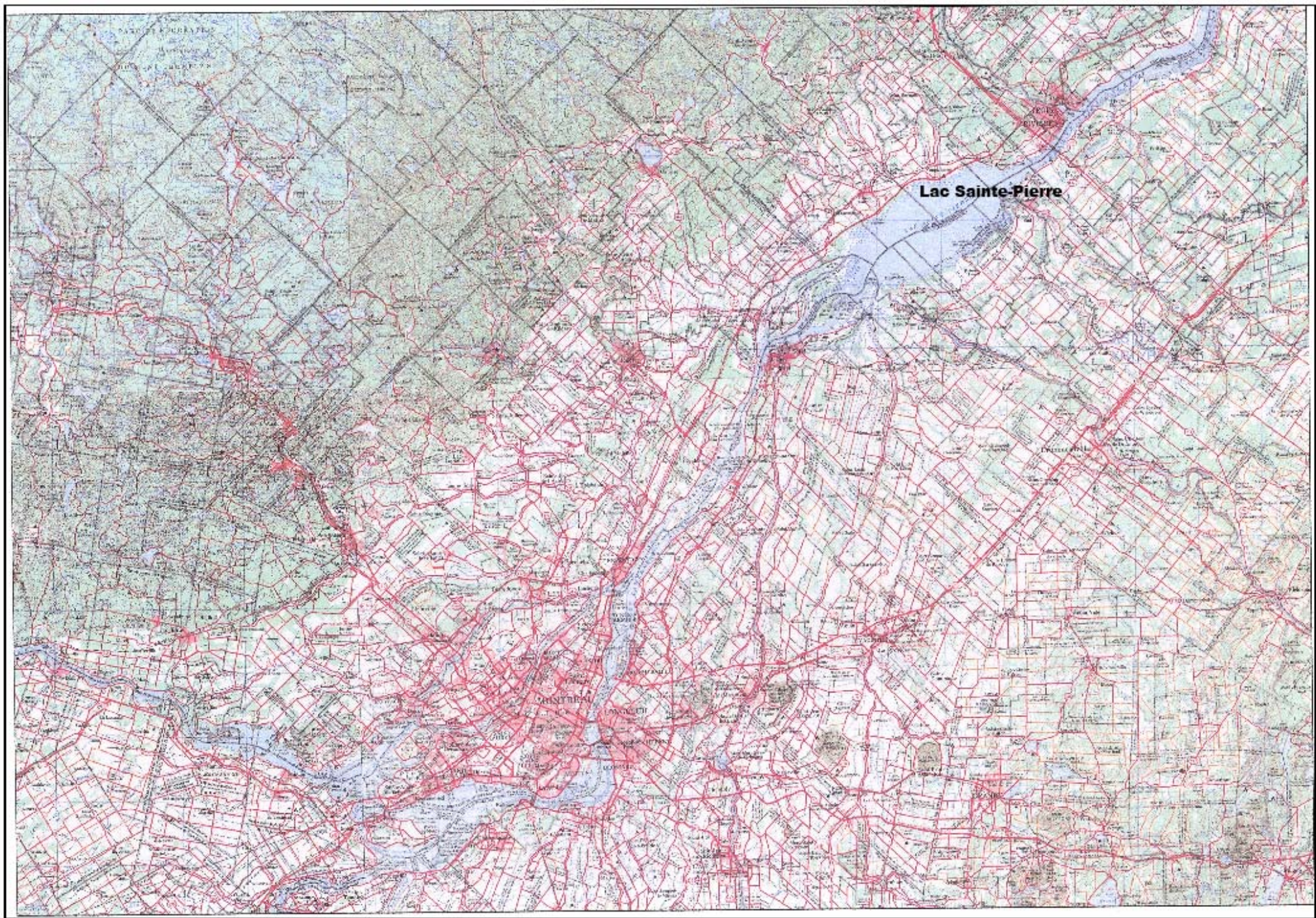


Figure 1: Location of Lac Saint-Pierre along the Fleuve Saint Laurent [7].

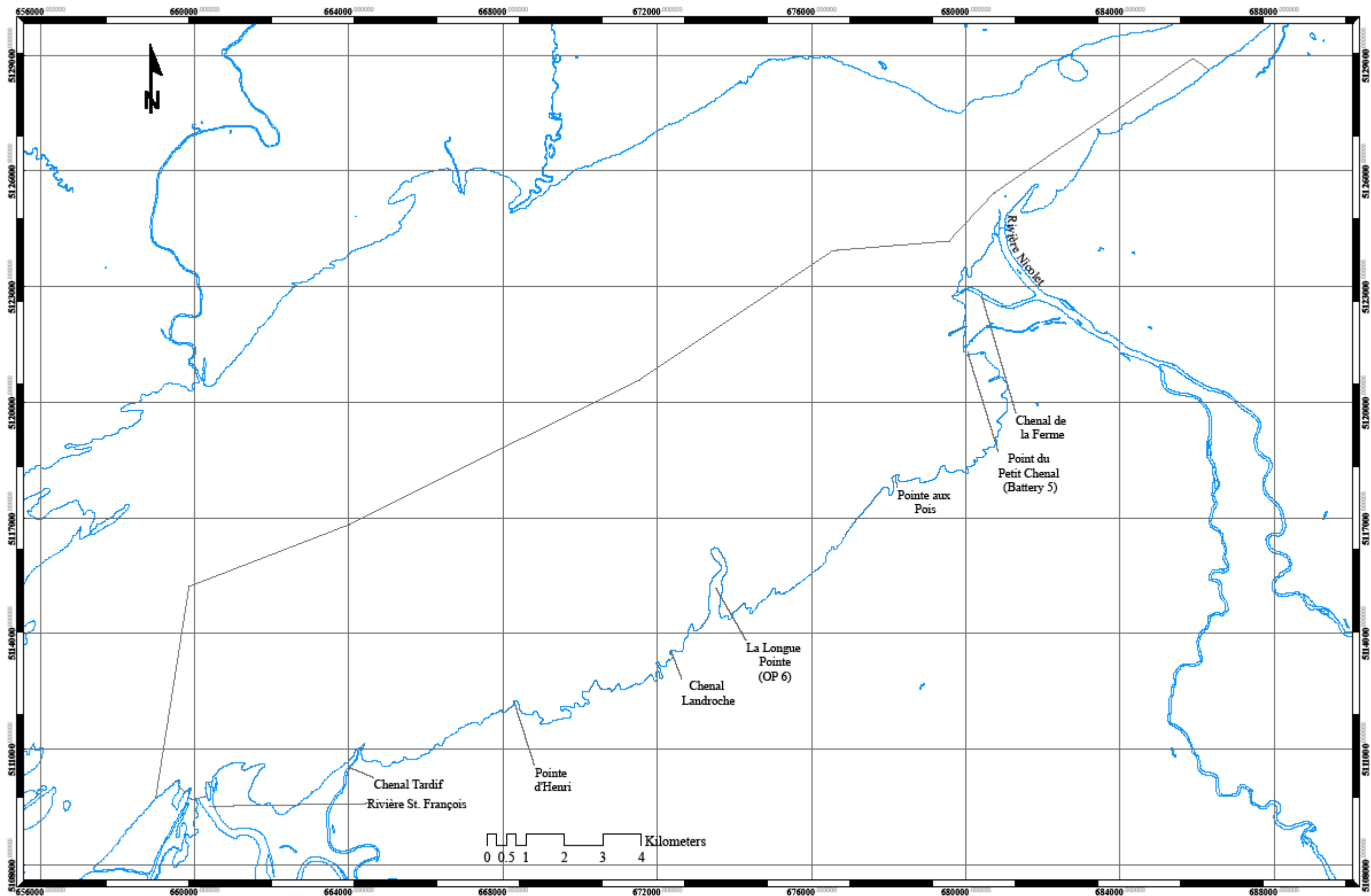


Figure 2: Map of Lac Saint-Pierre illustrating the study area boundary.

2.2.2. Watershed

15. The Watershed drained by LSP covers a total area of 46,075 km², the vast majority (91%) is drained into the Southern boundary of the lake. There are 14 water courses flowing into the lake; three major watercourses enter the Southern portion of the lake, from West to East: the Yamaska, the Fleuve St.-François and the Fleuve Nicolet [8]. The lake is bounded on the South by gently rolling farmland used primarily for the production of cereal crops and livestock. To the North, the land rises more abruptly through agricultural zones to a heavily forested low mountainous region (Laurentians). This latter area was subject to intensive forestry and had several paper mills. There is generally more intensive agricultural and commercial activity along the Northern shore. The lake is surrounded by the largest freshwater floodplain in Quebec (18,000 ha), representing 20% of the wetland habitats of the Fleuve Saint Laurent. Each year at least 7,000 ha of meadows, shrub areas, woods and cultivated land are flooded during the spring freshet. Several vegetation types are flooded, including meadows, shrub areas, riparian forests, as well as cultivated land. Aquatic plants cover more than 6,200 ha [4, 8].

2.2.3. Hydrology

16. Three distinct water masses flow into LSP. The northern water mass consists of brown waters, rich in dissolved organic carbon (DOC), from the Ottawa River inflow and other Canadian Shield tributaries of des Prairies, Milles Isles and L'Assomption. The central channel of lake consists of clear waters from Lake Ontario via the Fleuve Saint Laurent. It is artificially dredged and prevents the mixing of the north and south water masses. The southern water mass is from tributaries draining extensively farmed lands bringing turbid waters from the Appalachian region [10, 11].
17. LSP hydrology is dominated by the Fleuve St. Laurent. LSP inflow was measured at 9,725 cubic m³ /sec. and the outflow was measured at 10,500 m³/s. Lake water level is dynamic and changes of 10 or 15 cm within a 24-hour period are routinely observed [12].
18. Water currents are significantly higher in the shipping channel than in the shallow areas of the Northern and Southern portions of the basin, where flows are generally less than 0.3 m³/ sec.

2.2.4. Ice Regime and Wave Action

19. Historically, the ice regime in LSP was characterized by ice formation in early January and ice break-up in mid-to-late March. This has changed in recent years, possibly due to climate change, and now the ice generally does not form fully until mid to late February and is generally broken up by mid-March. The ice thickness appears to be unaffected by this change and routinely reaches a thickness of 1 metre. The ice is broken up along the channel areas beginning in early March to lessen ice jams at the Laviolette Bridge.

20. The ice and ice movement influences sediment erosion, transport and deposition. Waves, currents and river flow are diverted and intensified in the vicinity of ice masses, which enhances sediment erosion and transport. Effects are especially pronounced where ice is in close proximity to the sediment bed, such as in much of LSP. The movement of ice in contact with the bed physically scours the sediment bed, mixing and moving material.
21. Wave action of LSP is influenced by topography and weather systems. LSP is located in a broad valley between the Laurentian Mountains to the North and the Appalachian Mountains to the South. This topography creates a wind tunnel effect, which is exacerbated when weather systems arrive from the North West, the prevailing wind direction. This subjects the basin to violent winds and frequent severe storms, which gives rise to frequent re-suspension of sediments into the water column and to erosion of the shoreline.

2.2.5. Sediment and Sedimentation

22. Sediments in LSP comprise surface sediments, which are from active sedimentation, and ancient marine clays of the Champlain Sea.
23. Surface sediments largely derive from deposits of the Fleuves Richelieu, Saint-François, Yamaska, Nicolet and Riviere St Laurent. There is a net sedimentation of 190,300 tonnes annually, a small portion of the 4 million tonnes suspended solids exiting the lake [13]. Sedimentation generally occurs where water flows are less than 0.3 m³/sec. Sediments include sand, silt and clays. During periods of high water, sand accumulation predominates. During periods of low water, silt and clay accumulation predominates. Much of the sediment is deposited in and around the extensive beds of vegetation. These sediments are subject to ice scour and erosion during the spring and fall freshets [14]. Zones of sedimentation are principally along the Southern shore. There are three major zones of sedimentation. Two are dominated by silt and clay while the third is dominated by sand. A recent study suggests that surface sediments might include Champlain clays brought to the surface by upwelling [15].
24. Sediments at depth are primarily postglacial marine clays of the Champlain sea [16]. In the deltas and outfalls, they are superimposed by layers of sand, silt and clays from upstream sources [17].

2.3. BIOLOGICAL ENVIRONMENT

25. Lac St. Pierre includes a large wetland component, forming a significant proportion of shoreline wetlands within the Great Lakes-St. Lawrence Basin. As wetlands are extremely biologically productive, and as seasonal changes give rise to a variety of ecological niches, LSP is habitat to many species of flora and fauna. Several species are identified as vulnerable or at risk. LSP habitat is recognized as important for migratory wildfowl, including endangered species, and Lac St. Pierre is designated under

international convention. Environment Canada, 2003 provides a detailed description of LSP biology [4].

26. LSP is dynamic, subject to major water-level fluctuations. At low water, open water is reduced to about 387 km² and there is extensive marshland. At high water, open water enlarges to about 501 km², and marshland is substantially reduced [18]. Some of distinguishing features of LSP are:
 - a. Being the largest archipelago in the St. Lawrence, with 103 islands
 - b. Having 27 rare plant species
 - c. Having 79 fish species
 - d. Having 288 bird species
 - e. Having the largest heron habitat in North America
 - f. Being a major migratory stop for St. Lawrence wildfowl.

2.3.1. Flora

27. Lac St. Pierre wetlands comprise 18% of total Canadian shoreline wetlands within the Great Lakes-St. Lawrence Basin, the largest proportion of any lake or river in the basin [19]. Aquatic plants in LSP, while seasonally and annually variable, have been observed to cover more than 6,200 ha, with the southern shore containing large areas of shallow and deep marsh, wet meadows, aquatic grass beds and treed and shrub swamp, each with characteristic dominant species [4].
28. Shallow and deep marshes are composed of submergent, floating leaf and emergent aquatic plants. In LSP, submergents are dominated by eel grass (*Vallisneria americana*) and water stargrass (*Heteranthera dubia*). Floating-leaved plants or free-floating plants are dominated by tuberous water-lily (*Nymphaea tuberosa*) and common duckweed (*Lemna minor*). Emergent plants are dominated by tule (*Scirpus lacustris*), American bulrush (*Scirpus americanus*) and river bulrush (*Scirpus fluviatilis*), and to a lesser extent by the narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia*), pickerelweed (*Pontederia cordata*) and Small's spike-rush (*Eleocharis americanus*) [4].
29. The wet meadows consist mainly of reed canary grass and bluejoint and other accompanying species but may include emergent plants such as Small's spike-rush, swamp horsetail, river bulrush and broad-leaved cattail (*Typha latifolia*) [4].
30. Twenty-seven plant species threatened or vulnerable in Quebec are present in the wetlands of LSP [20].

2.3.2. Fauna

31. Zooplankton was found in two LSP habitats: flood plain and open water. The dominate species in the flood plain are the cyclopoid copepods *Diacyclops bicuspidatus thomasi* and genera *Acanthocyclops*, *Mesocyclops*, *Macrocyclops*, and *Eucyclops*. Other

organisms in abundance are *Cladocera Simocephalus expinosus*, *Daphnia spp.* and Rotifera. In open water, the dominate species is *Diacyclops bicuspidatus thomasi*. Also present in significant numbers are Cladocera (*Bosmina longirostris* and *Chydorus sphaericus*), *Calaniod copepoda*, *Diaptomus*, *Limnocalanus* and *Eurytemora*) [4].

32. LSP is a species-rich habitat for fish due to the diversity of habitat, the spring freshet, the large flood plain and the fact that it is a fluvial lake. Twenty-three families of fish are represented and 79 species of fish have been identified, with a majority of the species reproducing in LSP. The more populous species include *Cyprinidae*, the *Percidae*, the *Catostomidae*, the *Centrachidae*, and the *Salmonidae*. [4, 8]. Two species are on the list of endangered species.
33. LSP is significant bird habitat, with 288 species observed, including 116 nesting species. It is a major migratory waterfowl stopover and contains the Nicolet Bird Sanctuary. The seasonally flooded area of about 4,000 ha is used each spring by 350,000 ducks and geese, including more than 70,000 Canada Geese. During the autumn migration, more than 8,000 dabbling ducks and 5,000 Common Goldeneyes, as well as Canada Geese, use the lake. Breeding species include the Wood Duck, the American Black Duck, the Mallard, the Northern Pintail, and the Northern Shoveler. The Killdeer, the Spotted Sandpiper, the Common Snipe and Wilson's Phalarope can be seen in LSP. Ten species are considered to be vulnerable, threatened or endangered at the Canadian level [21].

2.3.3. Designations

34. A portion of the study area was designated a bird sanctuary by the Canadian Wildlife Service in 1982. A Ducks Unlimited project adjacent to Longue Pointe was created to increase nesting habitat for migratory waterfowl. In 1998 the site was identified as “a Wetland of International Importance” as defined under the Ramsar Convention [8]. In 2000 the site was designated a Unesco “World Biosphere Reserve” [6].

2.4. ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AND IMPACTS ON LSP

35. Contaminants typically accumulate in the basins of fluvial lakes such as LSP. Lac St. Pierre, being integral to Canada's most important waterway, has long been subject to a wide range of regional and local anthropogenic activities, most of which were non-DND in origin. Legacy contaminant loading of Lac St. Pierre sediment is largely the result of non-DND activities that go back more than a century.

2.4.1. Non-DND Activities

36. Numerous non-DND activities in the Fleuve Saint Laurent system, particularly industrial and agricultural, have impacted the LSP environment and contaminants have been linked to many sources.

37. From the mid- 1800's to the mid-1900's, the disposal of industrial and agricultural waste was unregulated. Industrial activities therefore left a legacy of contamination. The types of industries that include munitions manufacture, pulp and paper, tanneries, mining, textiles, chemical and foundries [22]. Contaminants of concern include Arsenic, Cadmium, Copper, Nickel, Mercury, Lead, Zinc, PAH's, and PCB's [23].
38. Agriculture has been recognized as a contributor to contamination in the Fleuve Saint Laurent and its tributaries; moreover, the land surrounding the lake has been used extensively for crop and livestock production since the early 1900's. [24] The fluvial channels that drain into LSP, including the Nicolet, St.-François, and Yamaska Rivers, as well as local drainage, contribute agricultural pollutants such as suspended solids, chemical fertilizers, nitrogen-based fertilizers, manure, nutrients, pesticides and microbial contamination. Since the 1970's, the Federal and Provincial governments have adopted various programs aimed at monitoring and reducing pollutants in the Great Lakes and in the Fleuve Saint Laurent. Centre Saint Laurent and Environment Canada have done extensive work to determine the state of the environment in and around the Fleuve Saint Laurent. However, due to restricted access, little environmental monitoring has been done in the Southern portion of LSP.

2.4.2. DND Activities

39. From 1952 to 1999, METC fired more than 500,000 projectiles into the LSP or, in winter, onto the ice. Shells of various calibre were fired up to a distance of 22 km over approximately 160 square kilometres of the lake, comprising most of the southern portion of LSP. Environment Canada, 2003 provides a comprehensive history regarding the types and numbers of munitions fired into LSP [4]. Firing was along several axes, with the primary firing axis being parallel to the southern shore. The lines of fire and approximate areas of projectile concentration are presented in Figure 3. Since 2000, the testing has been conducted only on land, with the munitions being fired into stop-butts.
40. While firing into LSP ceased in 1999, approximately 300,000 projectiles, including 8,000 UXO, remain in the lakebed [4]. It is estimated that the UXO contain up to 30,000 kg of energetic materials [1]. Shoreline sweeps are conducted annually to remove visible projectiles. A magnetometric geophysical survey conducted in 2000 identified areas where there was a concentration of metallic objects [4]. Although the scan did not discriminate between projectiles and other metal objects, it illustrates the extent of metal debris in LSP and identifies the areas where projectiles or shell fragments are likely to be found.

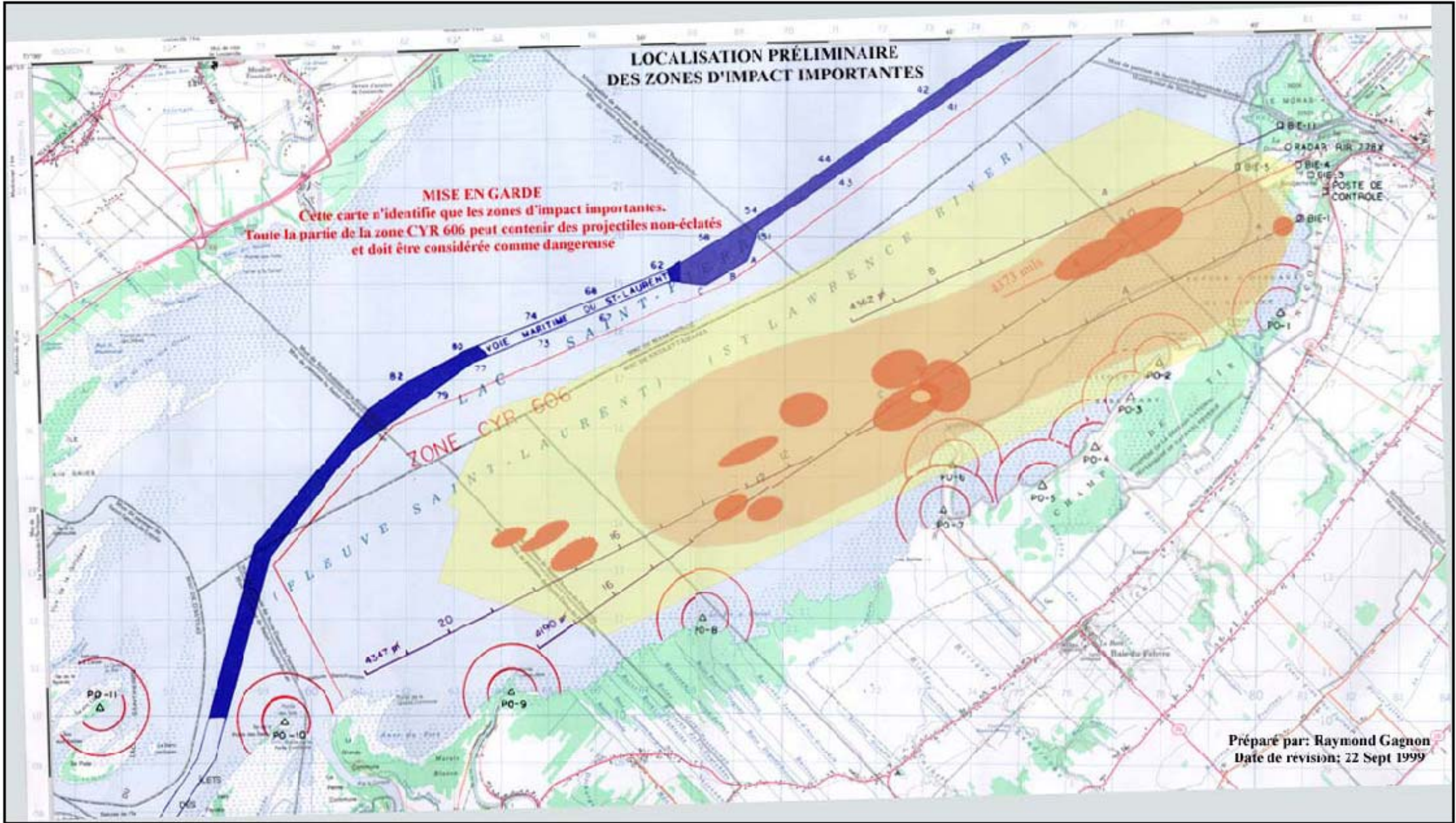


Figure 3: Lines of fire and approximate concentrations of projectiles in Lac Saint-Pierre [25].

Chapter 3 - Study Design

3.1. INTRODUCTION

41. To meet the primary objective of assessing the water and sediment water quality in the southern portion of Lac Saint-Pierre, particularly with regard to UXO, a study plan was designed to identify related analytes of potential concern (AOPC), determine their distribution in the water, surficial sediments and in depth sediments and to assess their biological effects. UXO-related AOPC, particularly EM and their transformation and degradation products and metals, were the main concern. However, AOPC from industrial and agricultural sources were also considered. These assessments took into account the physical and chemical properties of the water and of sediments, potential exposure pathways and receptors, bioaccumulation of AOPC, ecotoxicological effects of AOPC, temporal changes and the release of AOPC following resuspension of sediment during clearance activities. The sampling plan would evolve to incorporate interim findings. Water and sediment quality assessment was to be based on guidelines; sediment quality was also to be assessed by the CCME Sediment Quality Index.
42. To meet the secondary objective of determining the fate of EM in the LSP environment, a laboratory study of EM degradation and transformation in LSP sediments was included.
43. The study was also designed to meet the third objective of assessing the utility of ecotoxicity and bioaccumulation tests with regard to sediments containing UXO.

3.2. WATER AND SEDIMENT QUALITY

3.2.1. Analytes of Potential Concern (AOPC)

44. Selection of the AOPC's was based on historical activities, reported presence in LSP sediment and in the water column, toxicological importance, persistence and propensity to bio-accumulate.
45. The primary AOPC were those associated with UXO, which included EM (TNT, RDX and HMX) and their transformation and degradation products and metals from shell casings (e.g. lead, copper, nickel, mercury, cadmium, and chromium) and filler materials (Annex A) [26, 27,28]. EM and filler materials would be introduced to the environment by rupture of UXO casings. Other AOPC, such as metals, would be introduced by corrosion.
46. Secondary AOPC were those that might be released from disturbance of sediment by UXO clearance and become bioavailable. Therefore, based on previous studies on the LSP watershed and on the Saint Lawrence River basin generally, other metals, PAHs, total PCBs, pesticides (organochlorines and organophosphates, and herbicides), and other analytes (nitrate, nitrite, phosphates) were identified as AOPC [4, 23].

3.2.2. Physical and Chemical

47. Water is the vector for contaminants to aquatic organisms, controlled by parameters such as pH and ammonia content; these parameters, in addition to AOPC were measured.
48. Sediments are source and sink for contaminants, and therefore physical and chemical characterization of the sediment was the primary focus of this study. Physical properties of interest were particle size, type and distribution and total organic carbon (TOC). Chemical characterization was for AOPC, particularly those related to UXO. Additional parameters were % water content and certain anions and cations. Characterization of sediment porewater and elutriates was to be made for soluble AOPC, pH and ammonia.

3.2.3. Exposure Pathways and Receptors

49. The likely exposure pathways for AOPC and receptors in LSP organisms were identified with the aid of a general conceptual model (Figure 4) [29]. Links between AOPC and ecological receptors were identified as:
 - a. Water column to pelagic organisms via direct contact, bio-concentration and ingestion of primary and secondary receptor organisms, listed below;
 - b. Suspended sediments to forage fish, zooplankton and phytoplankton via bio-concentration, leading to ingestion by ground or pelagic fishes and then by humans.
 - c. Sediment to the benthos via ingestion or direct contact; and
 - d. Benthic organisms to pelagic or demersal organisms via ingestion;
50. Examples of primary receptor species in LSP are:
 - a. Surface sediment amphipods: (*Hyalella azteca*); depth dwellers: midges (*Chironomus riparius*) and benthic worm (*Lumbriculus variegatus*);
 - b. Forage fish: fathead minnow (*Pimephales promelas*) and small yellow perch (*Perca flavescens*);
 - c. Zooplankton: water flea (*Ceriodaphnia dubia*); and
 - d. Phytoplankton: microphytes e.g. algae (*Selanastrum capricornutum* renamed *P. Subcapitata*; macrophytes e.g. duckweed (*Lemna minor*).

Examples of secondary receptor species of concern in LSP are:

- a. Groundfish including the brown bullhead (*Ictalurus nebulosus*), pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*), lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*), white sucker (*Castostomus commersoni*); and
- b. Pelagic fish including the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), large yellow perch (*Perca flavescens*), northern pike (*Esox lucius*) [4].

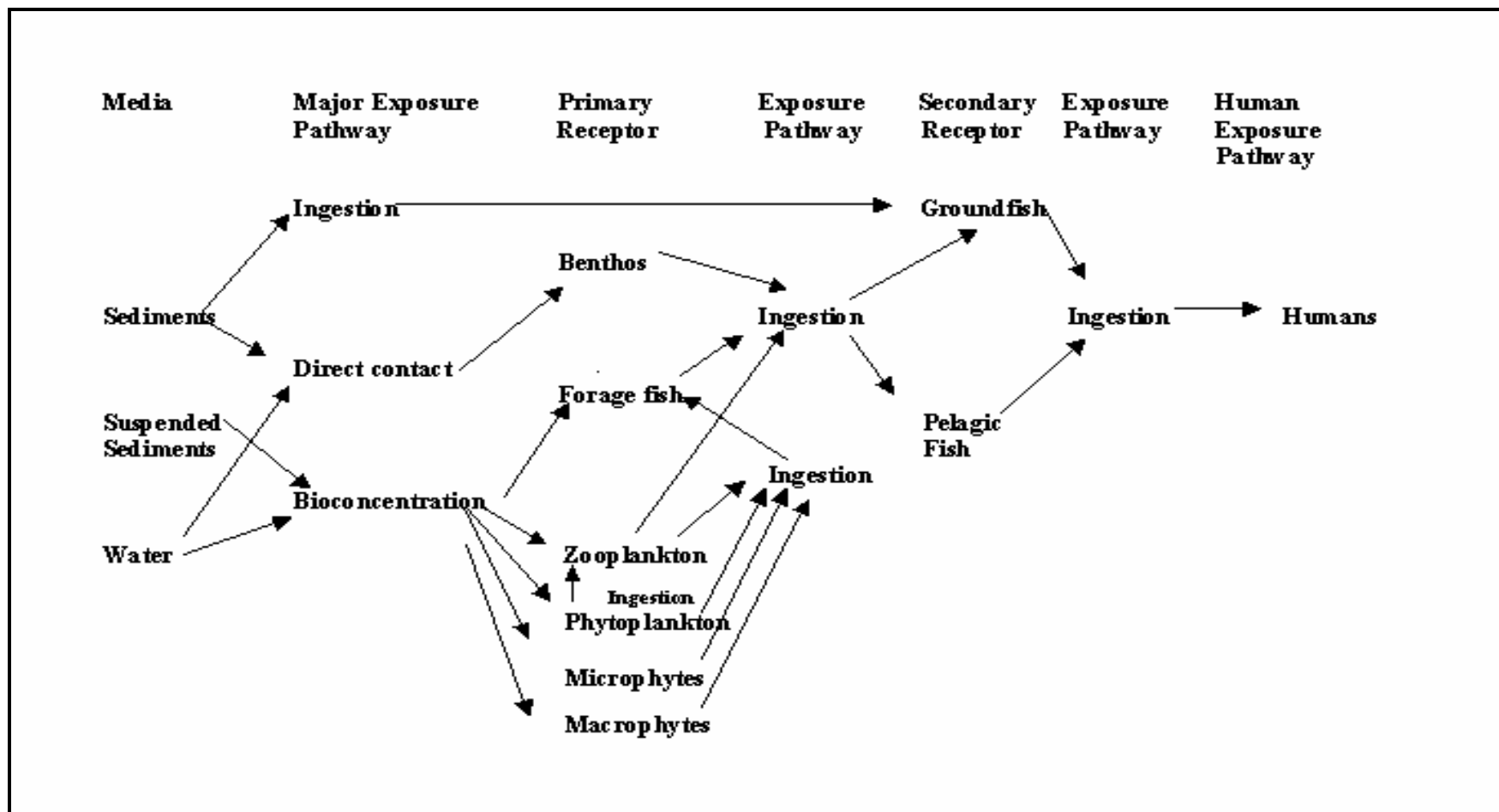


Figure 4 General conceptual Model for Ecological exposure pathways, modified from Cura et al, 1999 [29].

3.2.4. Measurement Endpoints

51. Measurement endpoints were selected on the basis of maximum exposure to water, sediment, sediment porewater and sediment elutriates and on sensitivity to the AOPC.
52. The cellular level measurement endpoints were:
 - a. Biomarkers: Metallothionein-like proteins (MTLP), lipid peroxidase and immune activity (phagocytic activity, phagocytic efficiency); and
 - b. Genotoxic and mutagenic effects.
53. The organism level measurement endpoints were:
 - a. Survival;
 - b. Sub-lethal effects: growth, reproduction and emergence of juveniles;
 - c. Concentration of EM and metals in tissues; and
 - d. Bioaccumulation of EM and of metals.

3.2.5. Bioaccumulation

54. Bioavailability is a function of diverse factors, including the nature of the contaminant, its concentration, the organism and the tissue concerned, the trophic level of the organism, as well as factors such as temperature, pH and exposure period.
55. A bioavailable contaminant will bioaccumulate and the resultant concentration in an organism is a valuable indicator of environmental health. However, the concentration is more informative when it is related to the concentration in the environment. The Biological Accumulation Factor (BAF) is the ratio of the tissue concentration to the sample concentration of an AOPC. As such, the BAF is a measure of bioavailability and therefore of environmental risk.
56. For the purpose of assessing the potential risk to the LSP environment, an *in situ* and two laboratory bioaccumulation studies, as well as a preliminary fish bioaccumulation study, were conducted. The analytes chosen for investigation comprised EM, EM degradation and EM transformation products, well metals associated with UXO legacy, as well as metals left by historical activities in the St. Laurent watershed and by the underlying sedimentary geology. The studies employed organisms at higher and lower trophic levels.

3.2.6. Ecotoxicity

57. Ecotoxicity testing provides a single integrated index of the effects of a chemically complex sample on an organism. Susceptibility to a particular AOPC is dependent on the species, its life cycle and on the exposure pathway.
58. Ecotoxicity test comprised aquatic, sediment, sediment porewater, and sediment elutriate bioassay on select species and measurement endpoints as identified above. In addition,

non-routine ASTM and EPA ecotoxicity tests, including genotoxic and mutagenic bioassays, sublethal bioassays on amphipods were conducted.

59. Measurement of biomarkers (MTLP, lipid peridoxation, immune activity) were included to extend the investigation of ecotoxicity.

3.2.7. Sampling Design

60. The sampling design extended that of the Environment Canada's (EC) study, which was limited to surficial sediment and water and was based upon one-time samples [4]. The extension comprised additional sites, additional sample types, and repeat samples. The site selection process is presented in Annex B.
61. The objectives of the sampling design were to:
- a. Select sites to obtain water, surficial sediment and depth sediment samples for measurement of AOPC and for repeat sampling to measure AOPC over time
 - b. Select sites to obtain water and sediment samples for ecotoxicity testing;
 - c. Select sites to obtain sediment and tissue samples for bioaccumulation test;
 - d. Assess sediment resuspension and associated ecotoxicological effects.

3.2.7.1. Measurement of AOPC

Water

62. Water sampling sites were selected to measure ingress and egress of AOPC to and from the study area and to determine temporal change.

Reference Sediment

63. Initially, reference sites were sought in LSP upstream of UXO exposure areas for comparison with test sites.

Surficial Sediment

64. Surficial sediment sampling sites were selected to measure AOPC in areas of high exposure, in areas that had not been investigated by EC and for temporal change. Sites in areas of high exposure were selected on the basis of physicochemistry and ecotoxicity data. Sites in areas not previously investigated by EC were selected to measure AOPC migration. Additional sampling sites in the Chenal Tardiff, at the Chenal Tardiff outfall and in Fleuve Saint Laurent east of LSP were selected to measure ingress and egress of AOPC to and from the study area.

Depth Sediment

65. Sampling sites in areas of high exposure to UXO, the primary firing axis, were selected to measure AOPCs up to the depth potentially disturbed by clearance activities. The sites were selected on the basis of physicochemistry and ecotoxicity data. Additionally, sites

were selected at the Chenal Tardiff outfall to determine if there was ingress of AOPC to the study area.

3.2.7.2. Bioaccumulation

66. For investigation of bioaccumulation at the lower trophic level, laboratory and *in-situ* sites were selected. In the laboratory test, select organisms would be exposed to select LSP sediment samples. For the *in-situ* test, an organism would be exposed in a “reference zone” and in a “potentially contaminated zone”. The samples and zones were selected on the basis of chemistry and ecotoxicity data.
67. For investigation of bioaccumulation at the higher trophic level, fish from select species would be collected in a “reference zone” and in a “potentially contaminated zone”. The zones were selected on the basis of chemistry and ecotoxicity data.

3.2.7.3. Ecotoxicity

68. Water and sediment sites were selected for ecotoxicity testing on the basis of the Environment Canada study and on interim data of the present study, particularly with regard to metals and EM. [4]. Tests for Ecotoxicity tests included Biomarker sites were the same as those for bioaccumulation.

3.2.8. Evaluation of Water and Sediment Quality

69. To assess water quality, Quebec Surface Water Criteria were employed [30]. Water results were compared to the Chronic Effect Criterion (CVAC) and the Terrestrial Piscivores criterion (CFTP). To assess sediment quality the Occasional Effect Level (OEL) and LSP ambient levels of the Environment Canada and Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (EC-MDDEP) Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation were employed. Sediment quality would be further evaluated by the by employing a Sediement Quality Index (SQI) using OEL's [31].

3.3. EM DEGRADATION AND TRANSFORMATION STUDY

70. Environment Canada did not detect EM in LSP [4]. Therefore, to explore the fate of EM in the LSP environment, this study included a preliminary laboratory assessment of degradation and transformation of EM (HMX and RDX) in LSP sediment.

3.4. UTILITY OF BIOACCUMULATION AND ECOTOXICITY TEST

71. To meet the third objective of determining the utility of bioaccumulation and ecotoxicity test for UXO sites, the study incorporated an expanded suite of such tests.

Chapter 4 - Methodology

4.1. INTRODUCTION

72. The methodologies employed in the study met the unique demands posed by fieldwork in UXO-exposed environments as well as the usual demands of an extensive, multi-year environmental survey. Fieldwork logistics and operations required the coordinated effort of more than one agency and the sharing of equipment. Because of the possible presence of UXO at sample sites, safety and security protocols and procedures were rigorously followed. The collection, field processing, storage and shipment of samples, water, surficial sediment and depth sediment were complicated by the need for the range of equipment and methods utilized. Sampling methods are described in Annex C. Samples were pre-processed in the laboratory. The analytical portion of the study began with physical and chemical observations of water, surficial sediment and depth sediment samples, based upon selected AOPC, particularly EM. This was followed by analyses of bioaccumulation, select biomarkers and ecotoxicity. Test methods are described in Annex D. For robustness, standard methods were followed throughout and measures for quality assurance (QA) were taken. QA methods are detailed in Annexes B, C and F.

4.2. FIELD WORK

73. The fieldwork component of the study was made exceptionally complex by the logistic and safety requirements inherent to working in UXO-exposed environments. During sampling, observations and measurements of weather and of water conditions were taken. It was recognized that the weather and ice conditions would constrain sampling, which had to extend over three years. Because of the safety aspect of field activities, it was essential that sample sites and UXO-cleared areas be precisely located and mapped. Collection, storage and processing of samples followed standard protocols particular to the water, surficial sediment and depth sediment matrices sampled.

4.2.1. Logistics

74. Field logistics were coordinated and performed by QETE. The METC-Nicolet facility was utilized as the base camp for all field operations. METC-Nicolet provided housing for equipment and facilities for sample processing and storage. Additional support from METC-Nicolet included provision of site maps, supplementary communication and global positioning devices. QETE provided all the equipment for surficial water and sediment sampling along with the instrumentation for field measurements, and supplies for sample processing and storage.

75. For the first sampling event (2004), METC-Nicolet provided support vehicles and boats. In the subsequent sampling events, DND provided its own transport, while the contractors provided the boats, off-road vehicles and the core sampling equipment.

4.2.2. Safety and Security

76. Given the inherent explosive risk of UXO, sampling that could potentially disturb UXO was conducted by certified Explosive Ordnance Disposal (EOD) personnel. Water sampling did not require site clearance for UXO but security and safety oversight was still necessary. Oversight was provided by QETE for the first sampling event and by DCC for subsequent sampling events. Safety and Security Plans were established for each sampling event, specific to the sampling methodologies and season.
77. The METC-Nicolet facility manager provided logistical support and coordinated daily access to the Range. At the commencement of each sampling day, a security template was provided, identifying zones that were accessible and zones that were off-limits because of munitions testing. METC/EOD personnel also provided a security briefing which identified the security and safety protocol to be followed while in the field. This included a description of the types of UXO that might be present in the range, precautionary measures to be taken in the event of coming across a UXO, and safety zones for clearance and sampling. Emergency procedures, in the event of injury or inclement weather, were reviewed each day prior to mobilization.

4.2.3. Observation, Measurement and Sampling

4.2.3.1. Site Location and Clearance

78. Sampling sites were located utilizing Wide Area Augmentation System (WAAS) enabled Global Positioning System (GPS) units (accuracy +/- 3.5 m average) and the Fugawi™ digital mapping system. For surficial sediment sampling, UXO avoidance was conducted by EOD personnel. Each sampling site was scanned with a Schoenstadt or Forrester™ metal detector. For depth sediment sampling this was done prior to the sampling of each 50cm horizon. Sites for water sampling did not require UXO avoidance.

4.2.3.2. Observation and Measurement

79. Observations of surficial sediment characteristics, depth sediment bore-hole logs, and the parameters of water depth, air temperature, weather, water pH, conductivity, velocity, temperature and dissolved oxygen (DO) were made.

4.2.3.3. Sampling

80. Sampling was conducted over a four-year period (2004-2007), with a total of five sampling events. Sampling events were scheduled around seasonal restrictions (including breeding seasons, fishing and hunting seasons), water level, ice thickness and weather condition. Access to some sites was prevented at times by low water level, diving conditions, ice conditions and location of

ice fishing villages. If a site was not accessible an alternate was sought. Sampling sites and type of sample are given in Table 1; site locations are presented in Figure 5 to Figure 9. Site coordinates are given in Annex F.

81. Samples were taken for quality assurance (QA). The QA program and procedures are presented in 4.7. Quality Assurance Program and Annex E.

Table 1: Summary of Water and Sediment Samples from Lac Saint Pierre.

Sample Matrix	Designations	Event ¹	Sites	Samples
Water	W(n).04	1	2	2
	T(n), BF(n), W(n).05	2	14	14
	W(n), P(n), W(n).06	4	9	9
Surficial Sediment	R(n), In(n), ET(n), ETR(n),	1	27	27
	S(n), WS(n), SET(n),	2	74	74
	L(n), LT(n), LHS(n), P(n)	4	19	19
	RS(n)	5	63	63
	WC(n), WCA(n), WCET(n)	3	12	37
Depth Sediment	FC(n)	4	7	31

¹ Sampling Event Dates: 1 - Oct 18 to Nov 1, 2004;; 2 - Oct 22 to Nov 11, 2005; 3- Feb 16 to Mar 3, 2006; 4- Sep 24 to Oct 19, 2006; 5- Feb 18-26, 2007

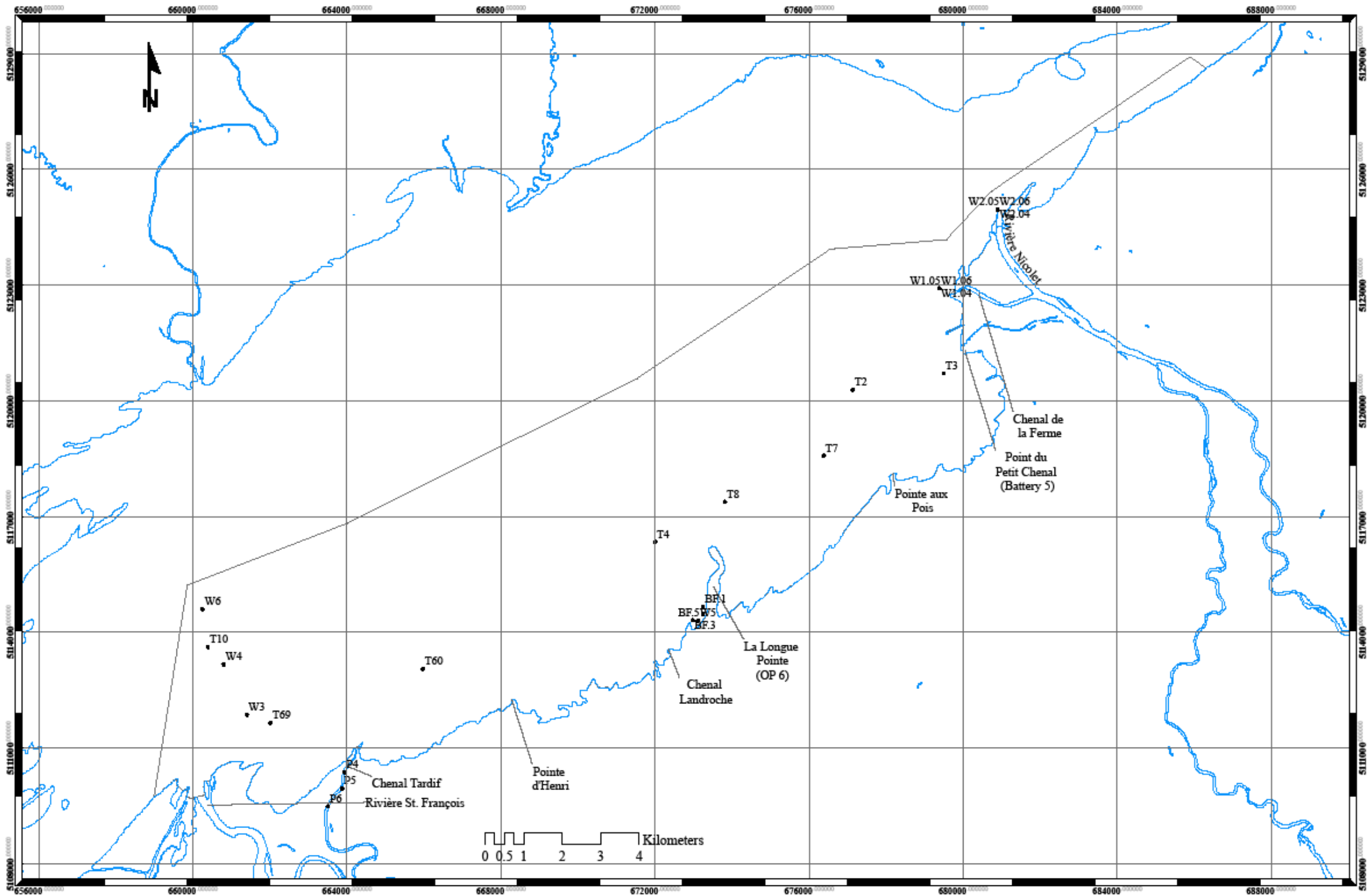


Figure 5. All water sampling sites

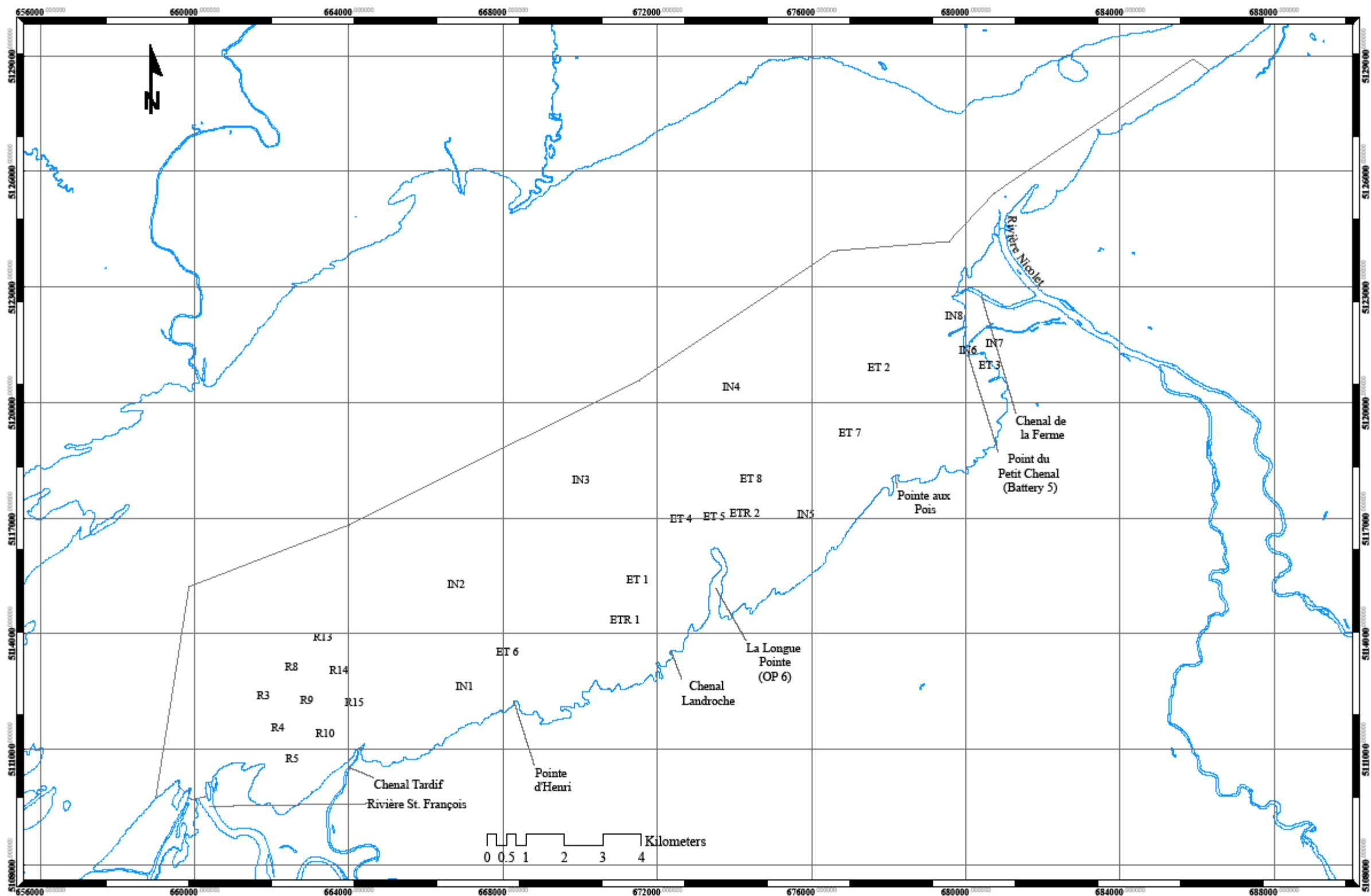


Figure 6. Surficial Sediment sampling sites 2004

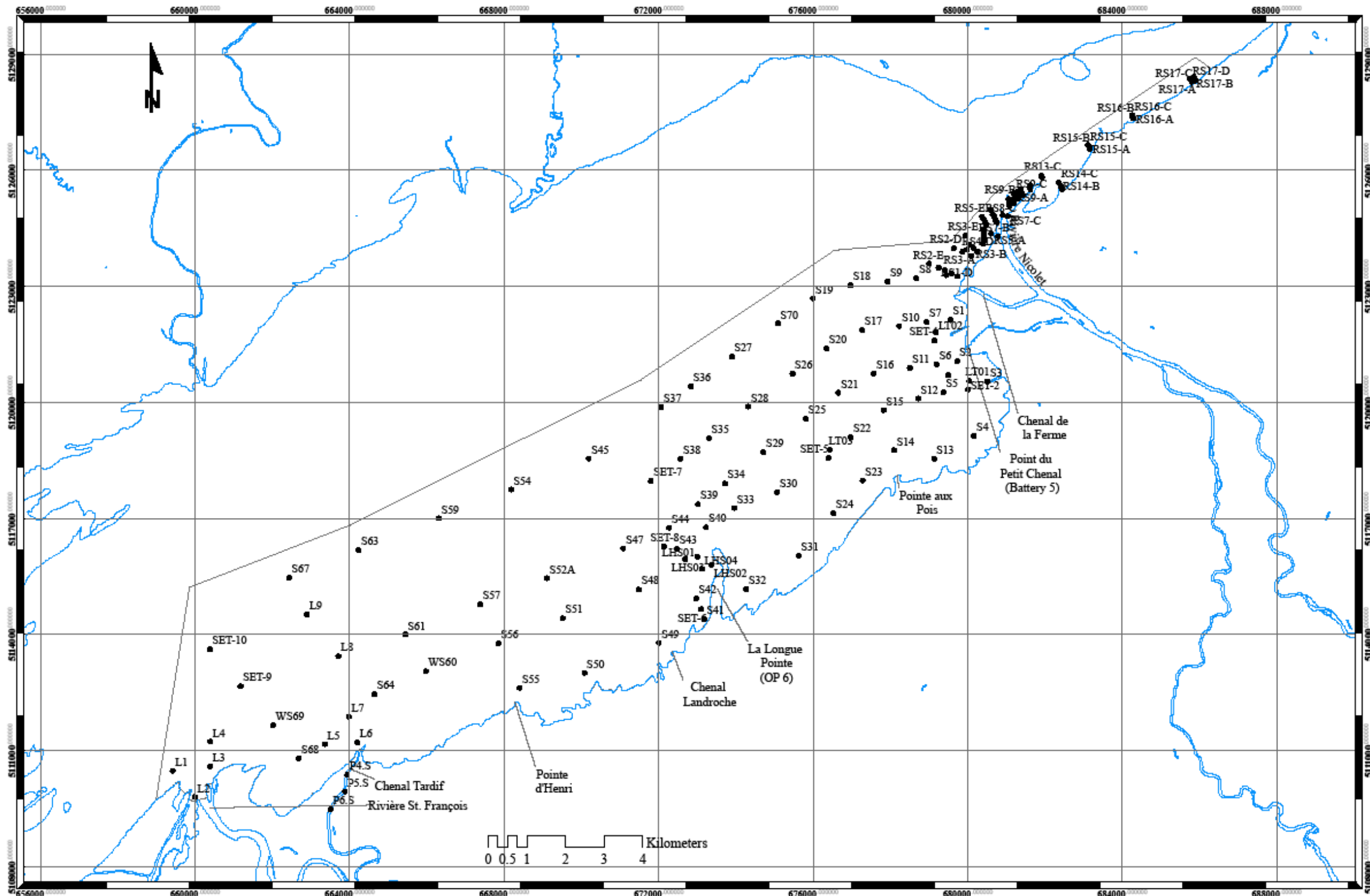


Figure 7. Surficial sediment sampling sites 2005-2007

UNCLASSIFIED

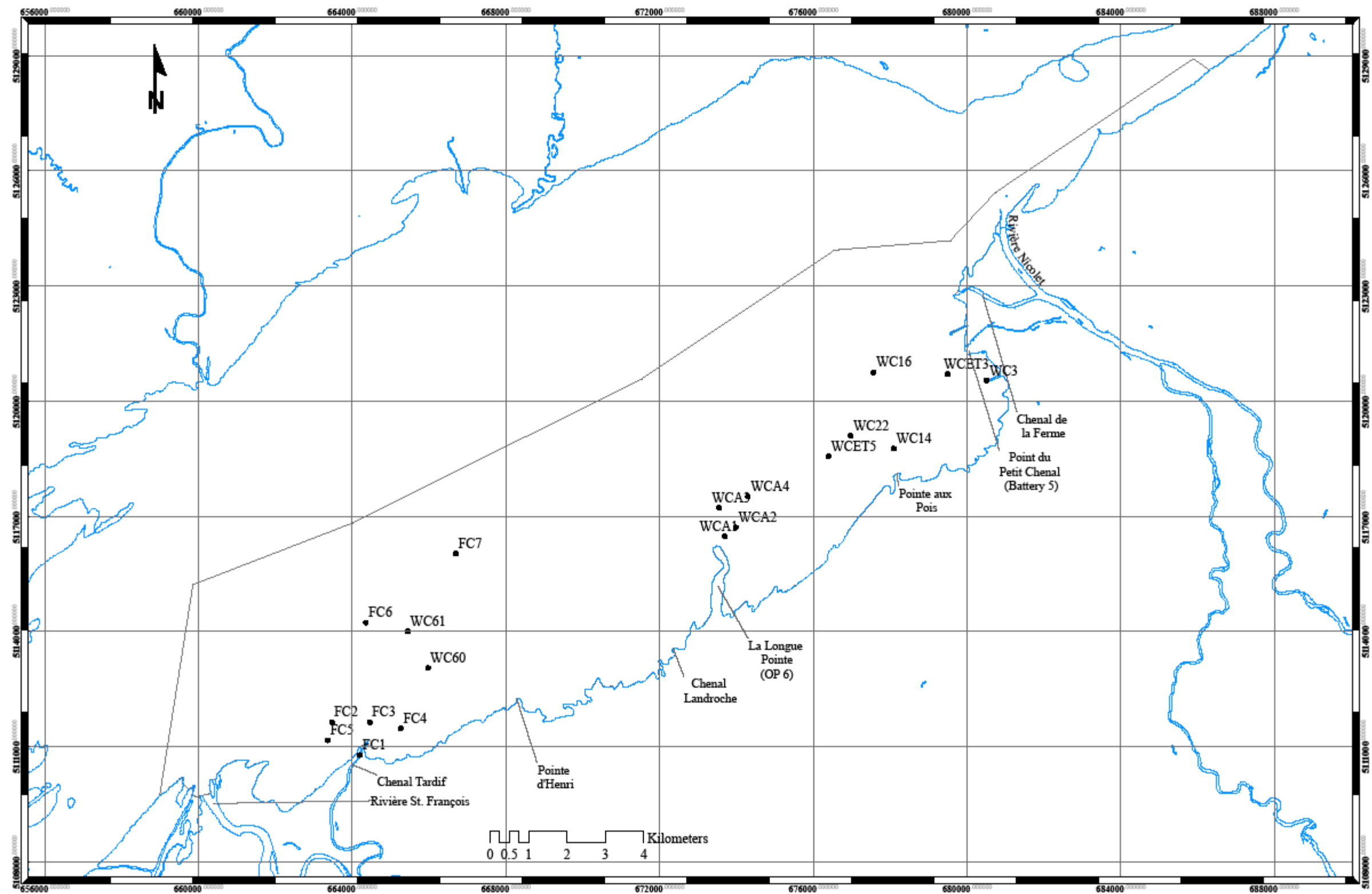


Figure 8: Depth sediment sampling sites. WC, WCA are from Sampling Event 3 and FC are from Sampling Event 4.

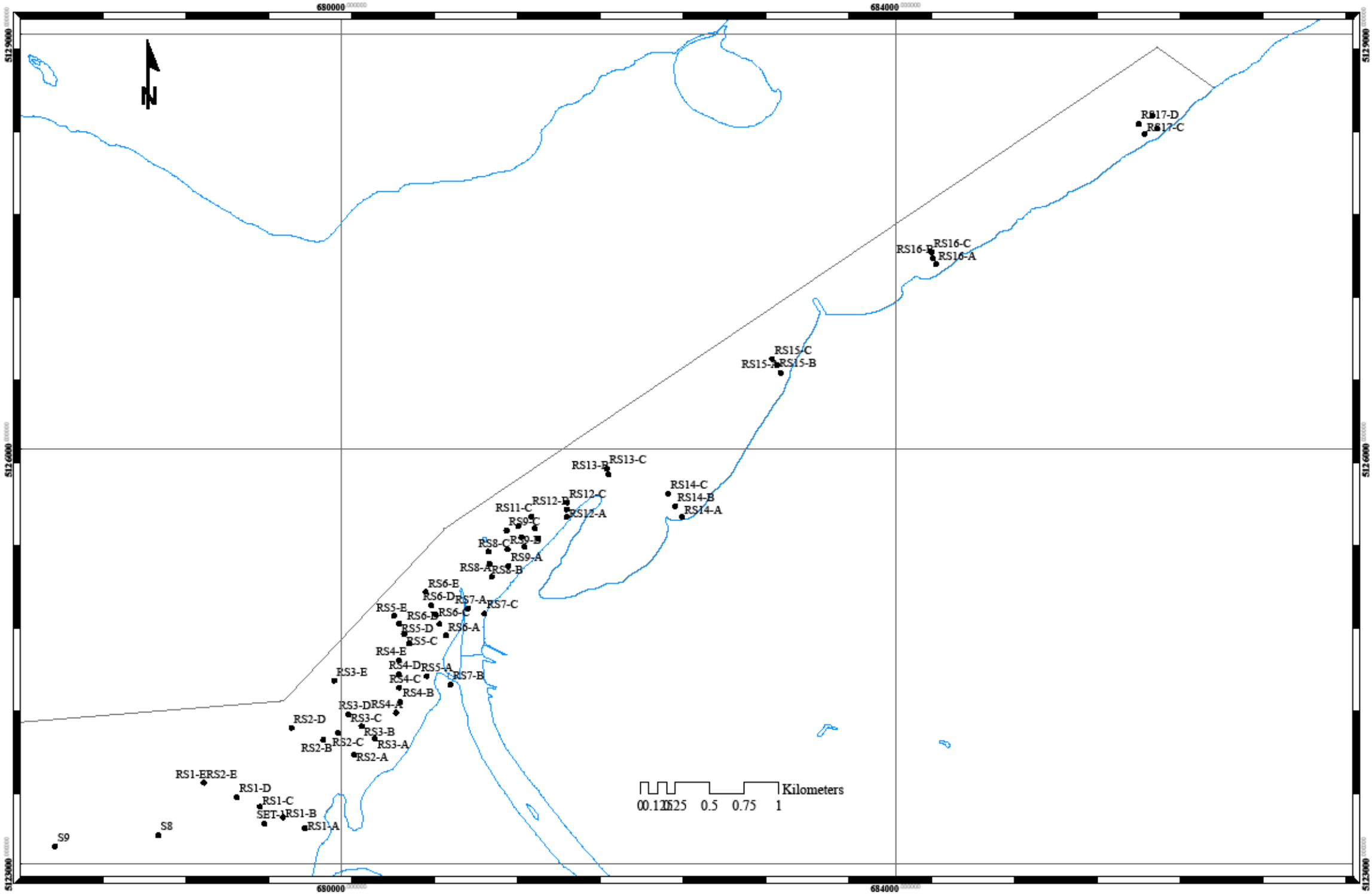


Figure 9. Sampling Event 5 (February 2007) surficial sediment sites along the Fleuve Saint Laurent towards Trois-Rivieres.

4.2.4. Collection, Field Processing, Storage and Shipment of Samples

82. Samples were collected and processed according to the protocols given in Principles of Environmental Sampling and Standard Methods [32,33]. Sampling methods are presented in Annex C.

4.2.4.1. Collection

Water

83. Surficial water samples were collected with a Van Dorn bottle and placed in 20 L pails with non-toxic HDPE liners.

Surficial Sediment

84. Surficial sediment samples were taken from the top 15cm layer of sediment by EOD personnel, using a 2 L stainless steel petit ponar, stainless steel spade or posthole digger, as described in Annex D4. The method for obtaining the sediment sample depended on the type of sediment, depth of water or the presence of aquatic vegetation. The number of sediment grabs per sample varied with the sediment type and the sample size. Sample sites with large amounts of vegetation required more grabs to obtain the required volume. Typically, 2-4 grabs were necessary for the small samples (4 L) and 40-60 grabs for the large sediment samples (50-70 L). Each sediment grab was placed in a stainless steel container for clearance by the EOD personnel for sub-munitions, and transported to QETE personnel for further processing.

Depth Sediment

85. Depth sediment samples were obtained in 50 cm horizons utilizing two methods, specific to the sampling season. Core sampling in February 2006 was conducted through the ice, with a Longyear™ drill rig with a 50 cm long, 10 cm diameter stainless steel Shelby tube, or a rotary sand point, depending on the substrate. Core sampling in Fall, 2006 was utilized a modified hydraulic ram from a commercial log splitter mounted on an anchored barge, with either a sand point core or Shelby. For safety, the coring equipment was operated remotely from a distance of 200m. Each depth sample was placed in a stainless steel container. Photographs and bore-hole logs were prepared by the on-site geologist. Samples were cleared for submunitions by EOD personnel and transported to QETE personnel for processing. Coring equipment was cleaned between samples according to the protocol described in Annex C. Equipment water blanks were taken at select sites for QA.

4.2.4.2. Field Processing

86. Processing of water, surficial sediment and depth sediment samples included homogenization, dividing into subsamples and addition of preservatives specific to subsequent analyses. Processing equipment was cleaned between each sample.

4.2.4.3. Storage and Shipment

87. While on the boat, water and sediment samples were stored in coolers. Upon landing, samples, except sediments for EM analyses, were stored in a refrigeration unit at standard conditions. Samples for EM analysis were stored in pre-cleaned brown glass bottles with Teflon®-lined caps at -18°C. All samples were shipped to laboratories by refrigerated truck with same-day delivery.

4.3. PRELIMINARY LABORATORY PROCESSING OF SAMPLES

88. Upon receipt of water and sediment samples, further laboratory processing, including homogenization and subsampling, was conducted prior to analyses. Porewater and elutriate samples were also prepared from select sediment samples and stored according to guidance documents by Environment Canada and Stantec Consulting Ltd [34, 35].

4.4. PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSES

89. Physical and chemical analyses were of physical and chemical properties of water, surficial sediment and depth sediment that would influence the distribution or impact of AOPC in the study area. For specific tests conducted see Table 2.
90. ISO/IEC 17025-accredited analytical chemistry laboratories were employed for physicochemical analyses of water and sediment. Philips and Biotechnology Research Institute - National Research Council (BRI-NRC) conducted testing for physical properties and chemistry for the first sampling event; Stantec did so for subsequent sampling events. Particle sizing was conducted according to ASTM [36]. Test methods are listed in Annex D.

4.4.1. Water Properties and Chemistry

91. Properties and analytes measured in water were alkalinity, ammonia, anions, cations, pH, TOC, DOC, EM, EM degradation and EM transformation products, metals, mercury, phosphorus, tungsten (by Neutron Activation Analysis), total polychlorinated biphenyls (PCBs), polyaromatic hydrocarbons (PAHs), triazines, organochlorine pesticides and organophosphate pesticides and herbicides. Water analysis was conducted in accordance with Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [33].

4.4.2. Sediment Properties and Chemistry

92. Measurement and analysis was performed on sediment samples for particle size, water content, TOC, DOC, pH, sulphur, cations, EM, EM degradation and EM transformation products, Metals, mercury, phosphorus, tungsten, ammonia, PAHs, pesticides, herbicides, and PCBs. In addition, a degradation study was conducted using radioactive labelled C14 RDX and C14 HMX spiked sediment samples.
93. Properties and analytes measured in porewater and elutriate were pH, ammonia, EM and metals including mercury.
94. Analysis for PAHs, Herbicides, Organochlorine Pesticides and Organophosphate Pesticides were conducted according to EPA methods SW846 8270 [37]; analysis for PCBs was conducted according to EPA 8082 [38]. All EM testing was conducted NRC-BRI according to a modified US EPA Method 8330 (Figure 10) and US EPA 3535A [3, 39, 40, 41]. The suite of analytes evolved with results.

Table 2 Physical and Chemical Tests Conducted on Lac Saint-Pierre Samples

Matrix	Designation	Samples (n)	Physicochemical Tests ¹
Water	W(n).04	2	C, D, E, F,G
	W(n).05, W(n).06, W(n), T(n), BF(n)	20	B, C, D, E, F,G
	P(n)	3	C
Sediment- surficial	R(n)	9	A
	IN(n), SET(n)	18	A, B, C, D, E, F,G, H, I
	ET(n), ETR(n), LT(n), LHS(n),	23	A, B, C, D, E, F,G, H
	C(n), L(n), P(n)	15	A, C, D, E, F, G
	S(n), WS(n)	64	A, C, D, E, F,
Sediment - depth	RS(n)	63	A, C, D
	WC(n), WCA(n), FC(n)	68	A, B, C, D, E, F,G
Sediment porewater	ET(n), SET(n), LT(n), LHS(n), WC14(0-50),	30	C, D
	WC22(0-50), WC61(0-50cm), WCET5(0-50), WCA14(0-500		
sediment elutriate	SET(n), LT(n), LHS(n), WC14(0-50),	22	C, D
	WC22(0-50), WC61(0-50cm), WCET5(0-50), WCA14(0-50)		

¹ Test: **A** – Particle Size, **B** – Energetic Material, **C** – Metals (including Hg), **D**– Other (total organic carbon (TOC), % water, ammonia, cations), **E** – Polyaromatic hydrocarbons (PAH's), **F** – Polychlorinated biphenyls (PCB's), **G** – Pesticides (organochlorine and organophosphate pesticides), **H** - herbicides , **I** – Insecticides

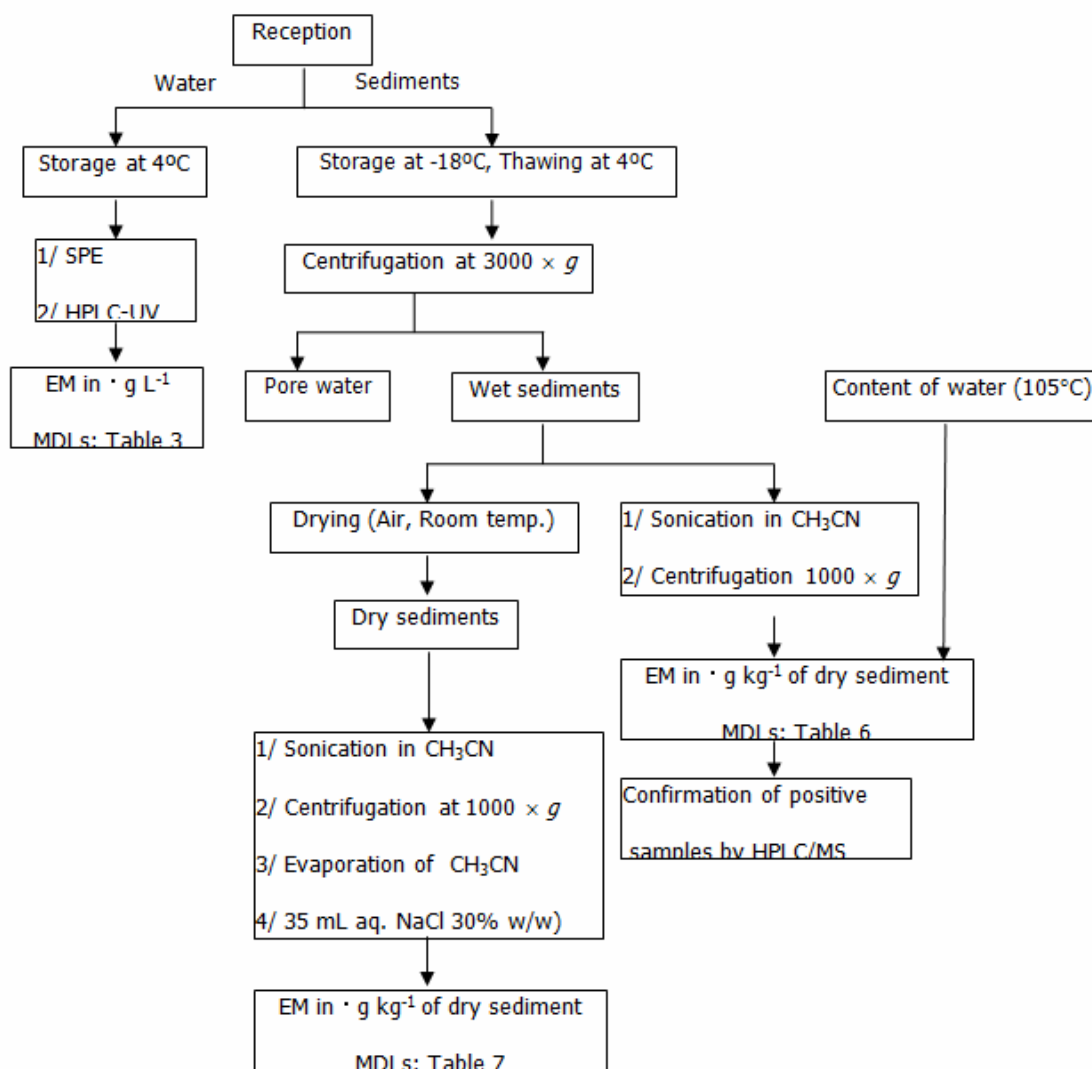


Figure 10: Flowchart Illustrating Steps for Processing Sediment and Water Samples for EM Analyses [3]

4.5. BIOACCUMULATION

4.5.1. Introduction

95. The bioaccumulation of select metals, employing lower and high trophic-level organisms, was studied. Only metals were considered because the other AOPC, i.e. PAH's, PCB's and pesticides, were detected in only a minimal number of samples. The metals are legacy agricultural or industrial, characteristic of postglacial clays or are associated with UXO. They comprised Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr and Zn. Details of methods are presented in Annex D and in Annex H [42,43].
96. The studies employed organisms at a lower and at a higher trophic-level. In the lower trophic-level laboratory studies, the freshwater worm *Lumbriculus variegates* and the freshwater mussel *Elliptio complenata* were exposed to surficial sediment samples for 28 days. In the lower trophic-level *in-situ* study, caged *Elliptio complenata* were exposed to for 83 days. With *Lumbriculus variegates*, analysis was performed on the whole organism. With *Elliptio complenata*, analysis was conducted on select tissues (Table 3).
97. At the higher trophic-level, a preliminary study employing the fish *Esox lucius* and *Perca flavescens* was conducted. Tissue and sediment concentrations were compared to determine BAF's, which were correlated with sediment physical characteristics. Some BAF values were mapped.

4.5.2. Bioaccumulation Study

4.5.2.1. Laboratory Exposure

98. The organisms *Lumbriculus variegates* and *Elliptio complenata* were exposed to LSP surficial sediment samples. For *Lumbriculus variegates*, whole organisms were analysed for select EM and EM degradation and transformation products, and metals a. For *Elliptio complenata*, gills, digestive glands and gonads were analyzed for metals as per ASTM E2122-02. For detailed methods see the NRC-BRI report [42]

4.5.2.2. Field Exposure

99. An *in-situ* study was conducted with *Elliptio complenata*. The organisms were deployed in a reference zone and in a AOPC-affected zone, selected according to chemistry and ecotoxicity data.
100. The whole organism was analysed for EM and EM degradation and EM transformation products. Gills, digestive glands and gonads were analyzed for metals. See Annex C and D and the NRC-BRI Report in Annex H for methods [43].

Table 3. Bioaccumulation Tests.

Matrix	Sample/Site Exposed	Number of Samples/Sites (n)	Tests
Sediment-surficial	In(n), ET(n), ETR(n)	18	A, B
	SET(n)	10	A, B
	LET(n), LHS(n)	4	A, B
	L(n)	2	A, B
Water (<i>In-situ</i>)		2	B, C
Bioaccumulation Test			
A	Benthic Worm (<i>L. variegates</i>) Lab study	Exposure 28 days	Endpoint(s) Metals in whole organism
B	Mussels (<i>E. complenata</i>) Lab Study	42 days	Metal in tissues (digestive gland, gills, gonads)
C	Mussels (<i>E. complenata</i>) Field Study	13 and 83 days	EM, EM degradation and EM transformation products in whole organism, and Metals in tissues

4.5.3. Fish Tissue Study

101. Two species of fish (perch *Perca flavescens* and pike *Esox lucius*) were collected from a “potentially contaminated zone” close to LHS03 and a “reference zone” close to L8. Details of fish collection, processing and tissue analyses are presented in NRC-BRI report (Annex H) [42]. The sample sizes achieved are presented in Table 4. Some of the sample sizes are quite low and samples sizes vary across factor (exposure area, gender and species) levels Fish were weighed, measured, sexed and aged. Tissue samples, comprising dorsal muscle, gills, liver and kidney, were weighed and analyzed for AOPC.

Table 4: Fish Sample Sizes at Exposre and Reference Sites

	<i>Female</i>		<i>Male</i>		Totals
	Exposure	Reference	Exposure	Reference	
<i>Esox lucius</i>	6	8	5	2	21
<i>Perca flavescens</i>	10	2	7	4	23
Totals	16	10	12	6	46

4.6. ECOTOXICITY TESTING

4.6.1. Introduction

102. Ecotoxicity testing was conducted on select LSP water and sediment samples to assess biological effects. Samples and sites were selected according to the physicochemistry and ecotoxicity results of Environment Canada’s study and those generated over the course of this study [4].

103. Ecotoxicity tests were conducted according to Canada Environmental Protection Series (EPS) Reference Methods (RM) and ASTM Methods (listed in Annex D). Ecotoxicity test evolved with the results generated during the study. The following sections and Annex D provide a summary of the ecotoxicity test methods, including aquatic ecotoxicity testing, bulk sediment, sediment porewater, and sediment elutriate ecotoxicity testing. Biomarkers were measured in whole organisms and tissues. Testing for the first sampling event was conducted by NRC-BRI; testing for subsequent sampling events were conducted by NRC-BRI and Stantec .
104. Bioluminescence (Microtox) and genotoxicity (SOS Chromotest) tests were used to select sediment sites for further single-species ecotoxicity testing.

Table 5. Water and Sediment Ecotoxicity Tests

Matrix	Sample Designations	Number of Samples (n)	Ecotoxicity Tests
Water	T(n)	6	A-2, D, E-1, I, M, N
	W(n).06, W(n)	6	A-2, D, E-1, I, M,N
Sediment-surficial	ET(n), ETR(n)	10	B-1, C-1
	SET(n), LT(n), LHS(n)	14	A-1, B-1, C-1, C-2
	S(n), WS(n)	64	A-1
Depth Sediment	WC(n) (horizon), WCA(n), WCET(n)	37	A-1
Sediment porewater	ET(n), ETR(n),	10	A-2, D
	SET(n), LT(n), LHS(n)	14	A-2, D, E-1, H-1, H-2
	WC14 (0-50), WCA2(0-50), WCET5(0-50), WC22 (0-50), WC61(0-50)	5	A2, E-1
Sediment elutriate	ET(n), ETR(n)	10	A-2, D, F, G-1, G-2
	SET(n)	10	A-2, D, E-1, F, G-1, G2
	LT(n), LHS(n)	4	A-2, D, E-1, H-1, H-2
	WC(n) (horizon), WCA(n), WCET(n)	37	F
	WC14 (0-50), WCA2(0-50), WCET5(0-50), WC22 (0-50), WC61(0-50)	5	A2, E-1
In-situ	1A,B,C; 2A,B,C	6	L

	Ecotoxicity Test	Exposure	Endpoint (s)
A-1	Microtox-Solid Phase	20 min	Bioluminescence
A-2	Microtox - Acute (<i>V. fischeri</i>)	15 min	Bioluminescence
B-1	Benthic Midge (<i>Chironomus riparius</i>)	10 day	Survival, growth
B-2	Benthic Midge (<i>Chironomus riparius</i>)	50 days	Growth, emergence & reproduction
C-1	Benthic Amphipod (<i>Hyaella azteca</i>)	14 days	Survival and growth
C-2	Benthic Amphipod (<i>Hyaella azteca</i>)	28 or 42 days	Survival (28d), Growth (42d) & reproduction (42 d)
D	Algae (<i>P. subcapitata</i>)	4 days	Growth
E-1	Duck weed (<i>L. minor</i>)	7 days	Frond production, growth
E-2	Duck weed (<i>L. minor</i>)	chronic	Growth, LP, enzyme activities
F	SOS Chromotest (<i>E. coli</i>) -S9, +S9	2 hr	Genotoxicity
G-1	Fluctuation (<i>S. tephimurium</i> , TA98), -S9, +S9	5 days	Mutagenicity
G-2	Fluctuation (<i>S. tephimurium</i> , TA100), -S9, +S9	6 days	Mutagenicity
H-1	Nematode (<i>C. elegans</i>)	24 hr	Survival
H-2	Nematode (<i>C. elegans</i>)	72 hr	Reproduction
I	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	7 days	Survival and Growth
J	Worm (<i>L. variegates</i>)	28 days	MTLP in whole organism
K	Mussel (<i>E. complamata</i>)	28 days	MTLP in tissues, peroxidised lipids
L	Mussel (<i>E. complamata</i>)	13 and 83	MTLP in tissues, peroxidised lipids, immune activity (cell viability, phagocytic activity and phagocytic efficiency)
M	Fathead minnow	in-situ	Survival and Growth
N	Rainbow Trout	7 days	Survival
		4 days	Survival

4.6.2. Water Column Ecotoxicity Testing

105. Tests were on full strength (100%) samples and employed the following species and endpoints:

- a. algae (*P. supcapitata*); growth, reproduction;
- b. bacteria, (*Vibrio fisheri*); bioluminescence;
- c. Duckweed (*Lemna minor*); growth, reproduction;
- d. Waterflea (*C. dubia*); survival, growth, reproduction;
- e. Fathead minnow; survival, growth, reproduction; and
- f. Rainbow trout; survival

4.6.3. Sediment, Sediment Porewater and Sediment Elutriate Ecotoxicity Testing

106. Ecotoxicity testing was conducted on whole sediment, sediment porewater and on sediment elutriate samples.

107. Tests conducted on whole sediment samples employed the following species and endpoints:

- a. bacteria (*Vibrio fisheri*); bioluminescence;
- b. amphipods (*Hyalella azteca*); survival, growth, reproduction;
- c. midges (*Chironomus riparius*); survival, growth, reproduction, emergence;
- d. freshwater worm (*Lumbriculus variegatus*); biomarker (MTLP); and
- e. freshwater mussel (*E. complanata*) tissues (digestive gland and gonad); biomarkers (MTLP, lipid peroxidation);

108. Tests conducted on porewater employed the following species and endpoints:

- a. algae (*P. subcapitata*); growth;
- b. bacteria (*Vibrio fisheri*); bioluminescence;
- c. duckweed (*Lemna minor*); frond production and growth; and
- d. nematode (*Caenorhabditis elegans*); survival.

109. Tests conducted on elutriates employed the following species:

- a. algae (*P. subcapitata*); growth;
- b. bacteria (*Vibrio fisheri*); bioluminescence;
- c. duckweed (*Lemna minor*); frond production and growth;
- d. nematode (*Caenorhabditis elegans*); survival, reproduction;
- e. bacteria (*Escherichia coli* PQ37; genotoxic effects; and
- f. bacteria (*Salmonella typhimurium*); mutagenic effects;

4.7. QUALITY ASSURANCE PROGRAM

110. To ensure the integrity of the sampling and analyses conducted by the contracted laboratories, a quality assurance (QA) program was developed which included duplicate samples, equipment blanks and spiked sample analysis. A summary of QA sample type is presented in Table 6. QA methods are presented in Annex E.

Table 6. Quality Assurance and Sampling

Matrix Sampling	Samples (n)	QA Type	QA samples
Water	25	Duplicate	3
Sediment-	173	Duplicate	18
surficial	2	Spiked	2
Depth	68	Duplicate	3
Sediment	-	Equipment Water	18
		Blank (after washing)	

4.8. DATA ANALYSES

111. Data analyses consisted of summary stats for all chemistry data, analyses of trends and variability, which included principle component analyses (PCA), kriging (contour mapping) and toxicity data integration; calculation of a sediment quality index (SQI); and quality assurance (QA).

Chapter 5 - Results and Discussion

5.1. INTRODUCTION

112. The primary study objective was to assess the water and sediment quality in the southern portion of Lac Saint-Pierre with regard to UXO. The AOPC included energetic material (EM), EM degradation and transformation products and legacy AOPC that might be resuspended into the water column by disturbance from UXO clearance activities.
113. Secondary study objectives were to determine the fate of EM in LSP sediment and to assess the utility of toxicity and bioaccumulation tests as analytical tools for sediments containing UXO.
114. Sites for water, surficial sediment and depth sediment sampling, as well as for in-situ bioaccumulation exposure and fish tissue sampling, were selected on the basis of previous studies, interim results of this study and on UXO distribution. Details of site selection and sampling methods are presented in Chapter 4-Methodology.
115. Analyses included water chemistry, surficial and depth sediment physicochemistry, bioaccumulation and ecotoxicity. There was also a preliminary fish study. Detailed testing methods are presented in Chapter 4-Methodology.
116. Quality assessments of water, surficial sediment and depth sediment was made by reference to the following guidelines:
- a. Water

Levels of analytes were compared to two of the Quebec Surface Water Criteria 2008 [44]. The first, CVAC, was to assess long-term exposure of fauna. The second, CFTP, for the protection of piscivorous terrestrial fauna, was to assess the impact on high trophic-level organisms.
 - b. Surficial sediment and Depth sediment

Levels of analytes were compared to the occasional effect level (OEL) of the EC-MDDEP Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. In addition, PCBs, and PAHs were compared to LSP ambient levels of the EC-MDDEP [45].
117. To assess the effect of UXO-related analytes upon the LSP environment, the bioaccumulation potential of select AOPC was studied in lower trophic-level organisms, in the laboratory and in situ, and in higher trophic-level organisms *in situ*. At the lower trophic-level, laboratory studies were conducted on *Lumbriculus verigates* and on *Ellipito compenata*; an *in-situ* study was conducted on *Ellipito complenta*. At the higher trophic-level, a preliminary study was conducted on the fish *Esox lucius* and *Perca flavescens*.

118. This chapter presents results, evaluation and summary as follows:

- a. Field observations and measurements;
- b. Water Chemistry;
- c. Surficial Sediment Physicochemistry;
- d. Depth Sediment Physicochemistry;
- e. Ecotoxicity; and
- f. Bioaccumulation.

5.2. FIELD OBSERVATIONS AND MEASUREMENTS

119. Observations were made at time of sampling of weather, water depth, vegetation abundance and sediment characteristics. For depth sediment sampling, cores were logged. Field observation data are presented in Annex F.

120. Measurements were taken at a depth of 0.5 metres of pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen (DO) and current speed. Measurement data are presented in Annex F.

121. Water pH at the second sampling event, in the Fall of 2005, ranged from 7.20 to 8.20. At the third sampling event, pH ranged from 6.70 to 8.92. Higher pH was generally found at shallow sites and near the Yamaska and Nicolet river tributaries.

122. Conductivity readings were highly variable and ranged from $97\mu\text{S cm}^{-1}$ to $651\mu\text{S cm}^{-1}$ at 25C° . Water temperature ranged from 6.0C° to 9.3C° (mean 7.9C°) for the second sampling event and from 10.8C° to 16.4C° (mean of 13.5C°) for the fourth sampling event

123. Dissolved Oxygen (DO) concentrations ranged from a hypoxic level of 1.60 mg/L near the shore to 12.30 mgL^{-1} , with a mean of 8.7 mgL^{-1} , near the shipping channel. As expected, DO concentrations were generally higher in the second sampling event, which had lower temperatures, than in the fourth sampling event.

124. Current speed was highly variable, ranging from 0.16 to $8.9\text{ m}^3\text{s}^{-1}$, and higher nearer the shipping channel. Zones of slower current extended to a kilometer or more from the shoreline and corresponded to the presence of abundant emergent vegetation.

5.3. WATER PROPERTIES AND CHEMISTRY

5.3.1. Introduction

125. Water samples were obtained from twenty-two sites throughout the Southern basin of LSP (Figure 5). Sites on the West were included to assess ingress of AOPC from the Fleuve Ste. Laurent and from the Ste. Francois and Yamaska river systems.

Sites across the Southern basin were included to determine the distribution of analytes. Additionally, samples were taken at sites near the outfall of LSP, at the confluence of the Nicolet River, to assess temporal trends and to assess egress of AOPC. The methods for the collection, transport and analyses of samples are described in Chapter 4 and Annex C. Detection Limits and raw data are presented in Annex F.

126. The samples were analysed for EM and EM degradation and transformation products, other organics including, pesticides, anions, PAHs and PCBs. Details of methodologies can be found in Chapter 4 and Annex D. Levels of analytes were compared to two of the Quebec Surface Water Criteria 2008 [44]. The first, Chronic Effect, was to assess long-term exposure of fauna. The second, for the protection of piscivorous terrestrial fauna, was to assess the impact on high trophic-level organisms.

127. A limited number of split water samples were taken for quality assurance. For the 2004 and 2005 sampling events, split samples showed data equivalence. For the 2006 sampling event, a split sample showed differences in the concentration of calcium, iron, titanium, phosphorus and zinc. For the details of QA procedures and results see Annexes E and G.

5.3.2. Energetic Materials (EM)

128. Water samples were analysed for EM (TNT, HMX, RDX, and tetryl) and for EM degradation and transformation products. EM-related analytes and detection limits are presented in Table 7. No EM or degradation or transformation products were found.

Table 7: EM and EM Degradation Transformation Product and Detection Limits for Water Samples

Energetic Material	DL (µg/Kg)
1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraazacyclooctane (HMX)	0.07
1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX)	0.16
TNB	0.07
1,3-dinitrobenzene (1,3-DNB)	0.09
nitrobenzene (NB)	0.1
Tetryl	0.17
2,4,6-trinitrotoluene (TNT)	0.08
4-amino-2,6-dinitrotoluene (4-ADNT)	0.07
2-amino-4,6-dinitrotoluene (2-ADNT)	0.14
2,6-dinitrotoluene (2,6-DNT)	0.16
2,4-dinitrotoluene (2,4-DNT)	0.07
2-nitrotoluene (2-NT)	0.19
3-nitrotoluene (3-NT)	0.29
4-nitrotoluene (4-NT)	0.29

5.3.3. Other Organic Compounds

129. Water samples, for all sites but one, were analysed for PCB's, pesticides, and PAH's (only metals were considered at P6). PCB's and pesticides were not detected. One PAH, Napthalene, was found in three samples, at levels exceeding aquatic life criterion (0.015 µg/l⁻¹). At T5, in the Western end of LSP, Napthalene was found at 0.03 µg/l⁻¹. At sites LSP- TW- 1 and LSP- TW- 1 2), at the Eastern end of the basin, Naphthalene was found at 0.04 µg/l⁻¹.

5.3.4. Anions

130. Of the anions, only bromide exceeded a guideline, aquatic life criterion (0.00027 mg/l⁻¹), at two sites. At BF3, in the inshore area near La Longue Pointe, the concentration was 0.02 mg/l⁻¹. At BF5, also in the inshore area near La Longue Pointe, the concentration was 0.03 mg/l⁻¹.

5.3.5. Metals

131. Samples were analysed for the metals Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Tl, Sn, Ti, W, U, V, Zn and Zr, as well as for P. Several of these analytes were not detected. The following analytes exceeded criterion;

- a. Al exceeded a CVAC (0.087 mg/l) at every site, with concentrations of 0.16 mg/l to 1.21 mg/l.
- b. Ag exceeded CVAC (0.0001 mg/l) at seven sites in the Western basin and in the near-shore areas around La Longue Pointe, with concentrations of 0.002 to 0.0015 mg/l.

- c. Zn exceeded CVAC (0.180 mg/l) at five sites: in the Eastern basin near Isle Moras; W.05-1, with a concentration of 0.318 mg/l; off shore near Longue Point, and T3, with a concentration of 0.299 mg/l and T4 at 0.256mg/L; and at P6 in the Chenal Tardif with a concentration of 0.49 mg/L.
- d. Sb exceeded CVAC (0.24mg/l) in the inshore area around Longue Pointe, at BF1, with a concentration of 0.61 mg/l.
- e. Fe exceeded CVAC (1.3 mg/l) at the three sites in the area west of Longue Pointe; at W3, with a concentration of 1.47 mg/l; T60, with a value of 1.92mg/l; and W5 (inshore area near Longue Pointe), with a value of 1.70mg/l.
- f. Hg exceeded the CFPT (0.0000013 mg/L) at two sites in the area of Longue Pointe; at BF5 with a value of 0.0003 mg/L and W5 with a value of 0.0002mg/L'

132. Concentrations of metals detected at W1 and W2 at least once in the three-year period were compared within year. Results are presented below For the 20 metals, concentrations were higher at W2 in two of the three years. This suggests that the Nicolet River rather than the St. Lawrence River is the source

5.3.6. Change over Time

133. Water at two sites, W(year).01 and W(year).02, was sampled over three years to identify temporal trends.

134. Of the analytes considered, only metals were at levels to detect trends. Figure 11 through Figure 15 show that, with the exception of Ni in 2005, the concentrations at W1 and W2 change in common. The following observations apply to both W1 and W2 over 2004 to 2006:

135. Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, P, Si, Sr, Sn, Ti and V generally decreased three-fold ;

- a. Mn generally increased three-fold;
- b. Ba, B, Ca, K, and Zn were higher in 2005 than in 2004 and 2006; and,
- c. Na concentration decreased in 2005 to one-third of the concentrations in 2004 and 2006.

Table 8: Metals in Lac Saint-Pierre Water column.

	Al	Ag	Cr	Cu	Co	Fe	Hg	Pb	Mg	Mn	Sb	Zn
Units												
Guideline :												
CFTP (le critère faune terrestre piscivore)- terrestrial piscivores	-	-	-	-	-	-	0.0000013	-	-	-	-	-
CVAC (critère de vie aquatique chronique) -aquatic life	0.087	0.0001	0.127937	0.1	0.022055	1.3	0.00091	0.00588	NV	2.947889	0.24	0.180318
# of samples	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
# of detects in samples	25	7	14	19	4	25	2	2	25	25	3	24
Mean of all detections	0.54	0.0004	0.003	0.003	0.0028	0.74	0.00025	0.0025	12.2	0.15	0.25	0.133
Maximum	1.21	0.0015	0.005	0.006	0.008	1.92	0.0003	0.003	51.2	0.676	0.61	0.47
Minimum	0.14	0.0002	0.002	0.002	0.0006	0.28	0.0002	0.002	3.5	0.011	0.006	0.024
Standard Deviation	0.36	0.0005	0.0009	0.001	0.0035	0.46	7.071E-05	0.0007	12.9	0.23	0.32	0.125
# detects > CFPT	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
# detects > CVAC	25	7	-	-	-	3	-	-	-	-	1	5

Table 9: Summary of Comparison Metals in Waters at W1 and W2

Year	# of Times [W1] is Greater Than [W2]	Number of Analytes	Estimated Proportion ($\hat{p}$)	$p(\hat{p} > 0.05)$
2004	0	20	0	< 0.00001
2005	11	20	0.55	0.7483
2006	4	20	0.2	0.005909

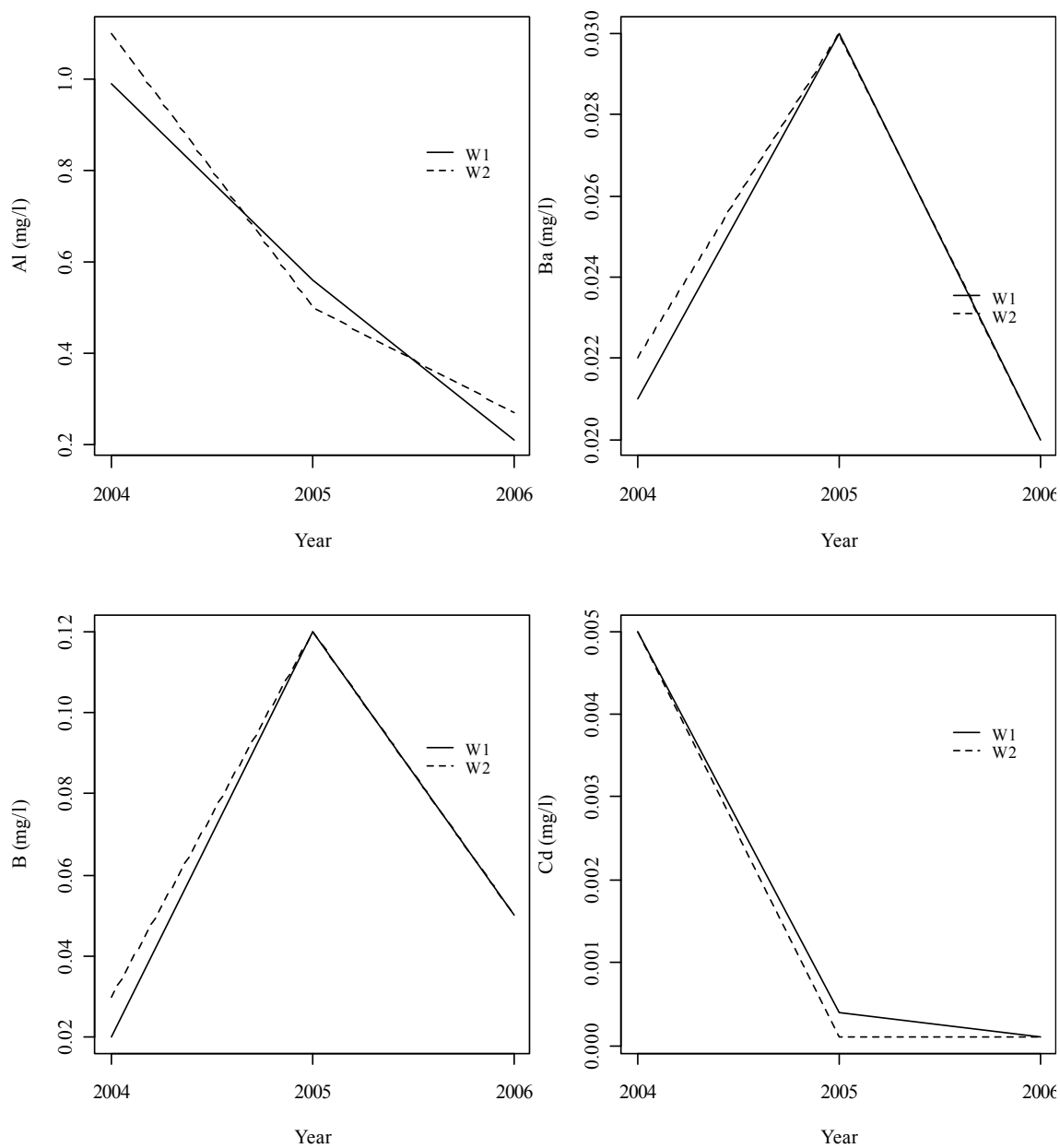


Figure 11: Temporal Patterns in Al, Ba, B and Cd, Outfall of LSP

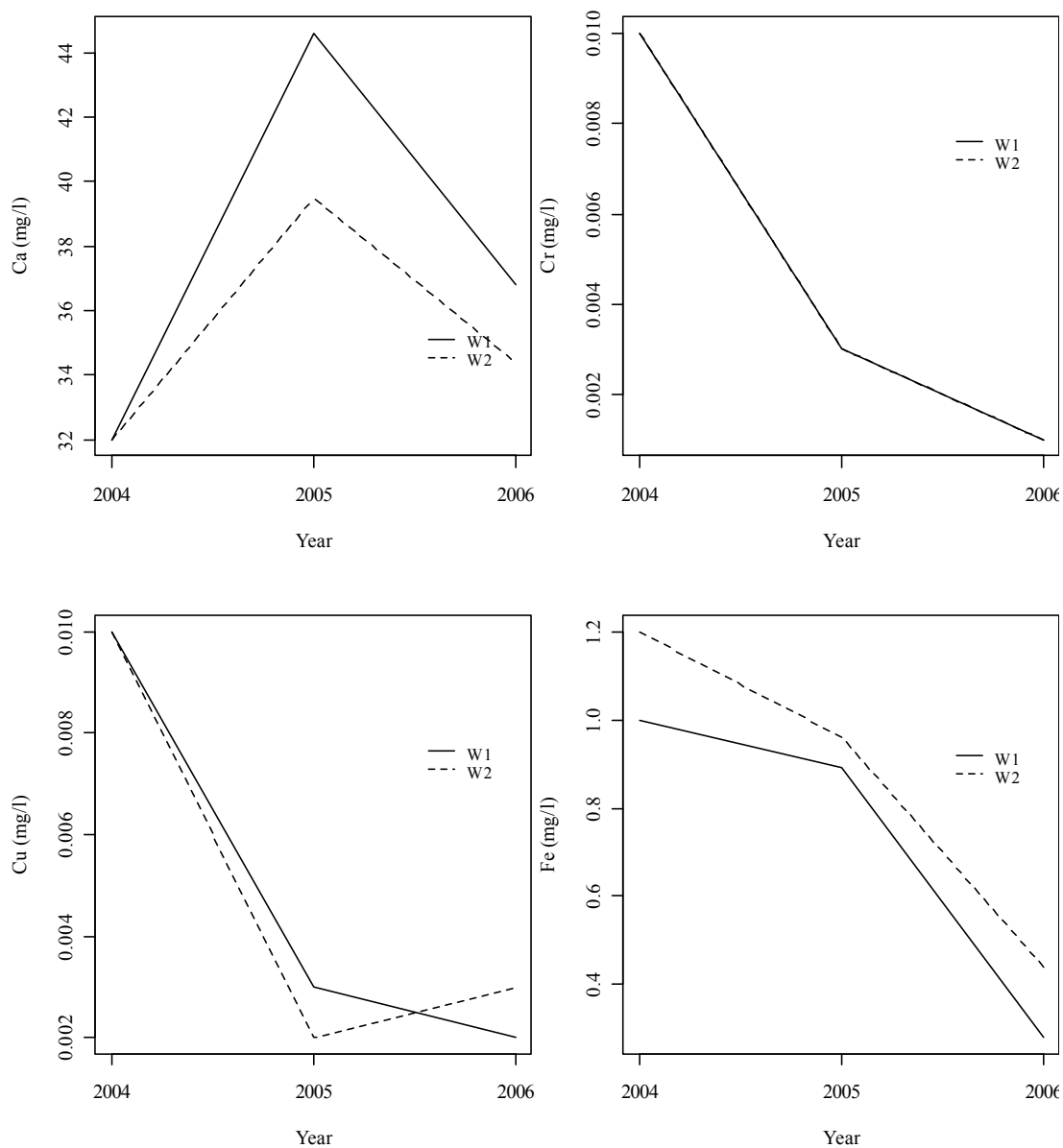


Figure 12: Temporal Patterns in Ca, Cr, Cu and Fe, Outfall of LSP

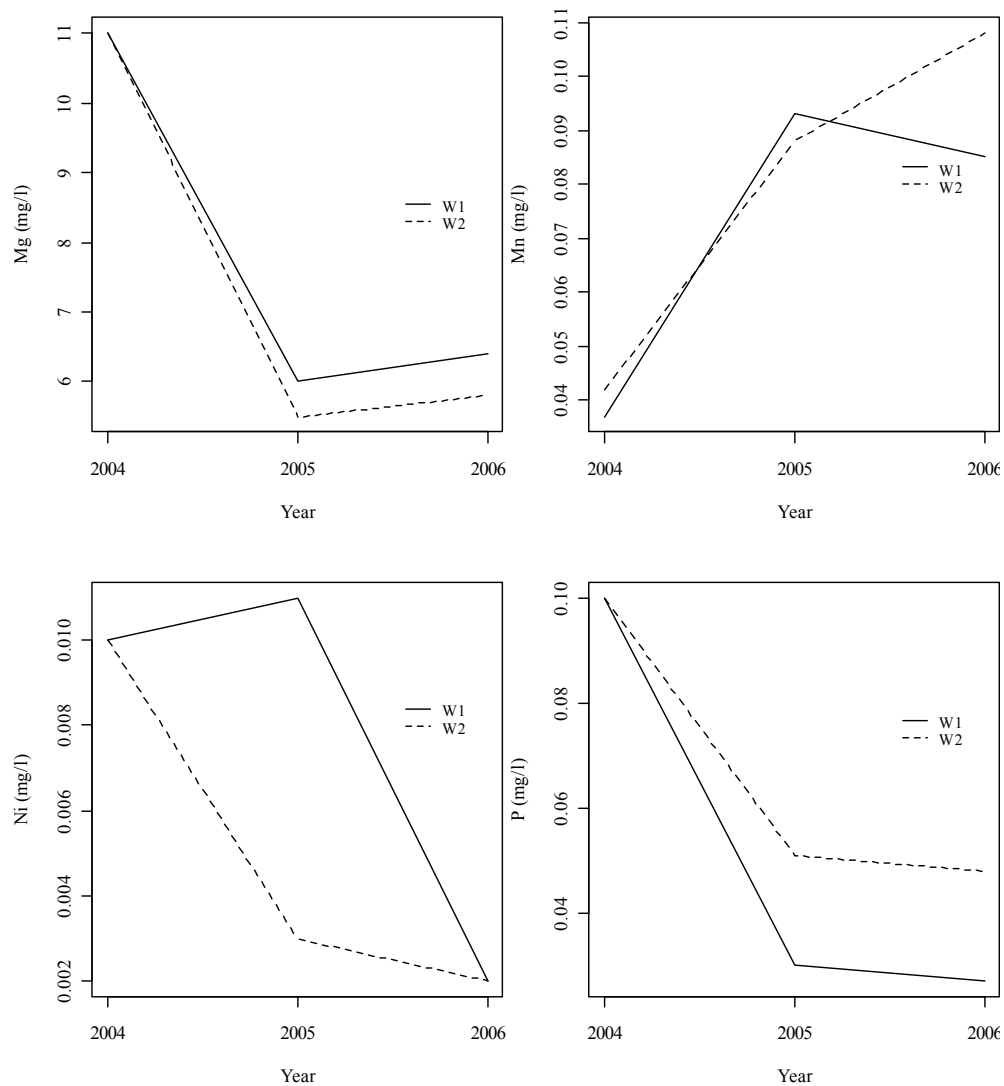


Figure 13: Temporal Patterns in Mg, Mn, Ni and P, Outfall of LSP

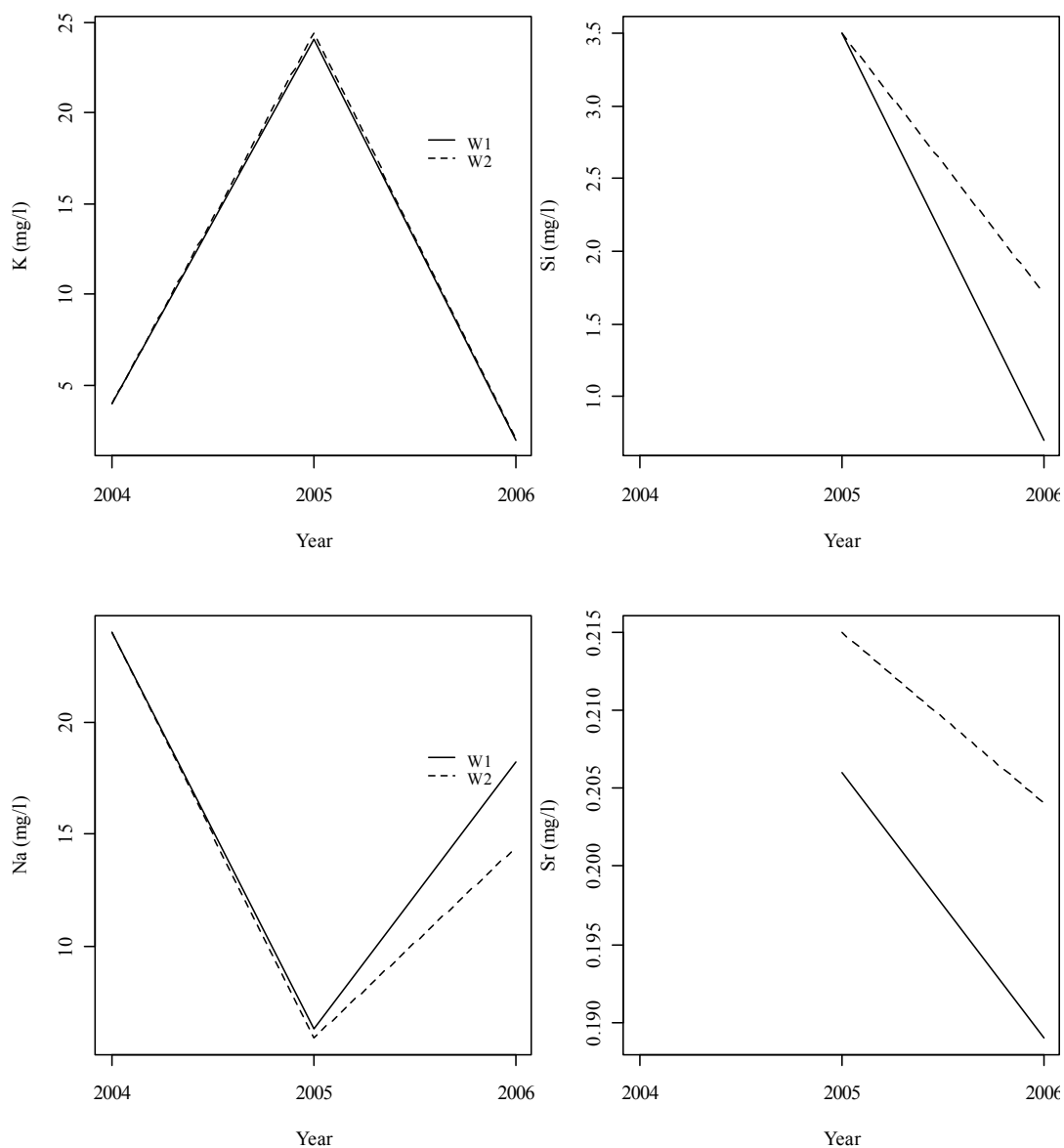


Figure 14: Temporal Patterns in K, Si, Na and Sr, Outfall of LSP

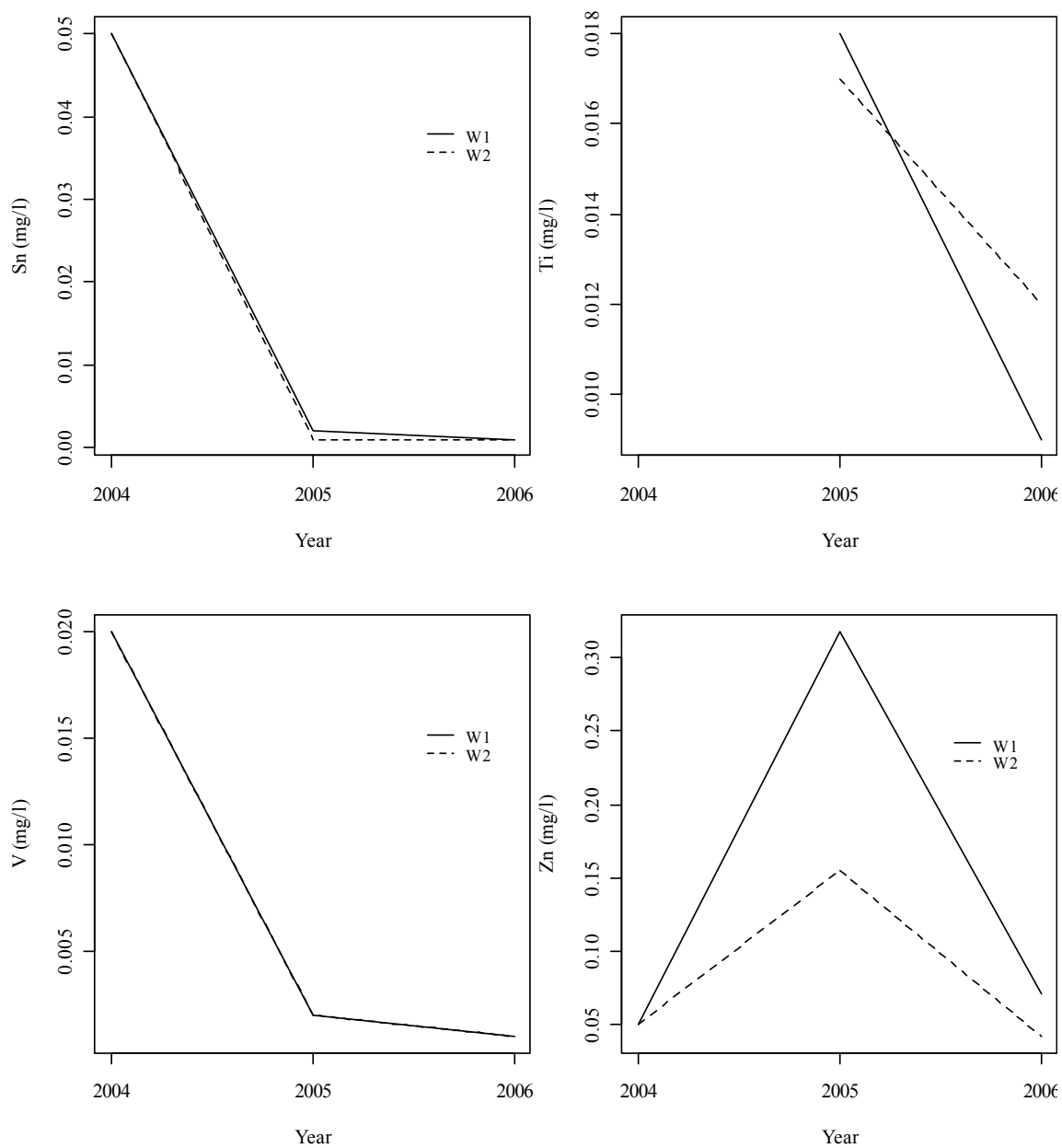


Figure 15: Temporal Patterns in Sn, Ti, V and Zn, Outfall of LSP

5.3.7. Summary and Conclusions

5.3.7.1. General

136. Water samples were taken at 22 sites in the LSP basin. Samples were analysed for EM and EM degradation and transformation products, metals, pesticides, anions, PAHs and PCBs and the results were compared to two of the Quebec Surface Water Criteria (CEQG) 2008 [30]. Additionally, three sites in the Chenal Tardiff were sampled. The CVAC was used to assess long-term exposure to fauna. The CFTP Terrestrial Piscivores criterion of the CEQG was used to assess the impact of bioaccumulated analytes upon organisms at a high trophic-level.
137. EM and EM degradation or transformation products were not detected in any water sample.
138. Of the metals, Aluminium, Antimony, Iron, Silver, Zinc exceeded CVAC and Hg exceeded CFTP criterion. Aluminium concentrations exceeded criterion at every site, at levels 2 to 14 times criterion, with the higher levels in the Western basin and the inshore area around Longue Pointe. A previous study determined that Al originates from local geological material and enters the basin from the South Shore tributaries [46]. The other metal exceedences were also at sites in the western part of the basin and near Longue Point, while zinc was also found at exceedence levels at five sites, two in the Eastern portion of the basin, two at Longue Pointe and one in the Chancel Tardiff. Silver levels were elevated, generally in the Southwestern section of the basin. The majority of silver in the Fleuve Saint Laurent is likely sourced from municipal wastewater and not from underlying sediment [47].
139. Of the anions, Bromine exceeded the Terrestrial Piscivores criterion at a concentration 77 times criterion at one site and at a concentration 14 times criterion at another.
140. There are elevated levels of a variety of analytes of unknown source in the near-shore area around La Longue Pointe. There is also decreased dissolved oxygen in this area, which might be due to the presence of nutrients from agricultural runoff or septic waste.
141. There were temporal changes with individual analytes at two sites (W(year).01 and W(year).02) but no overall temporal trends were evident.
142. It is concluded that the Fleuve Saint Laurent and the Nicolet River are likely the primary sources of analytes found in the LSP water samples.

5.4. SURFICIAL SEDIMENT PROPERTIES AND CHEMISTRY

5.4.1. Introduction

143. Surficial sediments were investigated to assess their quality with regard to analytes related to UXO and to analytes that might be resuspended into the water column during clearance activities
144. Samples were collected over a four-year period (2004-2007) from sites within LSP, in the Tardiff channel and in the St. Lawrence River immediately downstream of LSP. Sites and analytes (AOPC) were selected as site knowledge and project goals evolved. Site locations are presented in Figure 6, Figure 7 and Figure 9. The rationale for site and AOPC selection are presented in Chapter 3 and Annex B
145. Physical characterization of sediments was by particle size composition and TOC. Chemical characterization of sediments was by EM, of certain other organic compounds (pesticides, PCBs, PAHs) and of certain metals. Analytes are listed in Chapter 4 – Methodology and in Annex D.
146. Results are summarized in the following sections and raw data is presented in Annex F. Results are presented and evaluated according to select standards and criteria. Particle size is categorized according to ASTM standard. The quality of sediment is evaluated by comparing analyte concentrations to EC-MDDEP (2008) Occasional Effect Levels (OEL) and to LSP ambient levels, and employing the CCME Sediment quality index (SQI). [Error! Bookmark not defined.,45]. Porewater and elutriate metal concentrations were compared to CVAC and to the CFTP [30]
147. The distribution of the physico-chemical observations as well as EC-MDDEP sediment quality criteria and LSP ambient levels where applicable, are shown in contour maps. Sources of variability in distribution are examined spatially and temporally.

5.4.2. Physical Characteristics

5.4.2.1. Particle Size and Distribution

148. LSP sediments range from predominantly fine clay to coarse sand and are distributed in three major zones. Two of the zones are predominately fine silt and clay, as shown in Figure 16. The first of these encompasses a large region at the western section of the basin, fanning out from the St. Francois River delta toward the shipping channel. The second of these extends along the southern near-shore. The highest sand and silt levels, 80% or more, are found in small areas within the second zone, at the southeastern basin and immediately east and west of Longue Pointe. These zones are characterized by loose, fine, grey to greyblack sediments. In summer and fall the southern near-shore zone is typically covered with dense mats of emergent vegetation.
149. In contrast, sand predominates in the third zone, which is finger-shaped, parallel to and 3 kilometres from the southern shore (Figure 17). This is within the northeastern end of the study area, where percentages of silt and clay are moderate (20-40%) to low (<20%). It is relatively free of vegetation, in contrast with areas dominated by silt and clay. Sand is especially predominant in the north-eastern end, where LSP narrows. The third zone encompasses the main firing axis for large calibre shells.
150. The findings of this study with regard to sediment particle size distribution are consistent with those of Environment Canada and of a recent sediment trend analysis of LSP. [4,13] Although the majority of sediment samples collected by Environment Canada were sandy, their sampling was concentrated along the firing axis, which is within the sandy zone. The only samples from the Environment Canada study with finer silt and clay sediments were from the south-eastern basin which corresponds to a region in this study observed to have high (>80%) silt or clay.
151. The surficial sediments in LSP and their distribution are attributal to their sources and to various transport and disturbance mechanisms. In general, sediment retention is low, occurring mainly in summer and fall because of the lower currents brought by lower water depth and increased vegetation [11]. Earlier studies show sediment accumulation to be higher in the southern half of LSP, the western basin north of the St. Francois River, and in the south-eastern basin, at the delta of the Nicolet River. These areas correspond to silt and clay zones observed in this study [17]. The high percentages of silt and clay in the sediments suggest that they derive from recent pre-industrial deposits and from postglacial materials [45]. It has been observed that erosion of beds and banks, some of which are of marine clays, of the St. Lawrence River and associated tributaries on the south shore between Montreal and Quebec City are major contributors to the sediment

load of the St. Lawrence River [48]. Therefore, the St. Francois, Richelieu, Yamaska, Nicolet and St. Lawrence Rivers and the Chenal de la Ferme likely contribute pre-industrial and postglacial deposits to LSP sedimentation zones [11, 49]. Moreover, Lac Saint-Pierre is surrounded by extensive wetlands and the tributaries drain cultivated and industrialized watersheds, therefore contributing substantially to sediment loadings [50]. Other likely sources of finer sediments are terrestrial run-off, spring floods, or disturbance of postglacial materials underlying the LSP lakebed by ice movement or by wave action [51, 52, 53]. Similarly, sandy sediments in LSP might have been transported by rivers, either in suspension or as bed load. They might also be remnants of glacial deposits, with silt and clay fractions having been resuspended and abstracted by turbulence [54].

5.4.2.2. Total Organic Carbon (TOC)

152. Total organic carbon (TOC) content of surficial sediment samples study ranged from 0.09 to 3.91 % with a mean of 0.82%. TOC content of the sediment was uniform throughout most of LSP with a small zone of elevated levels nearshore of the south-eastern basin and a larger zone at the most westerly end of LSP north of the St. Francois River outfall/delta (Figure 18). Although TOC was elevated in these localized areas, overall the levels are very consistent with ambient percent TOC (0.81 %) for LSP.
153. While TOC levels can be extremely variable due to anthropogenic and natural factors, the levels observed in this study were comparable to those found in previous studies on LSP and on other fluvial lakes of the St. Lawrence River. [4, 11,13]. In general, it was observed that higher levels of TOC are associated with higher levels of silt or clay.

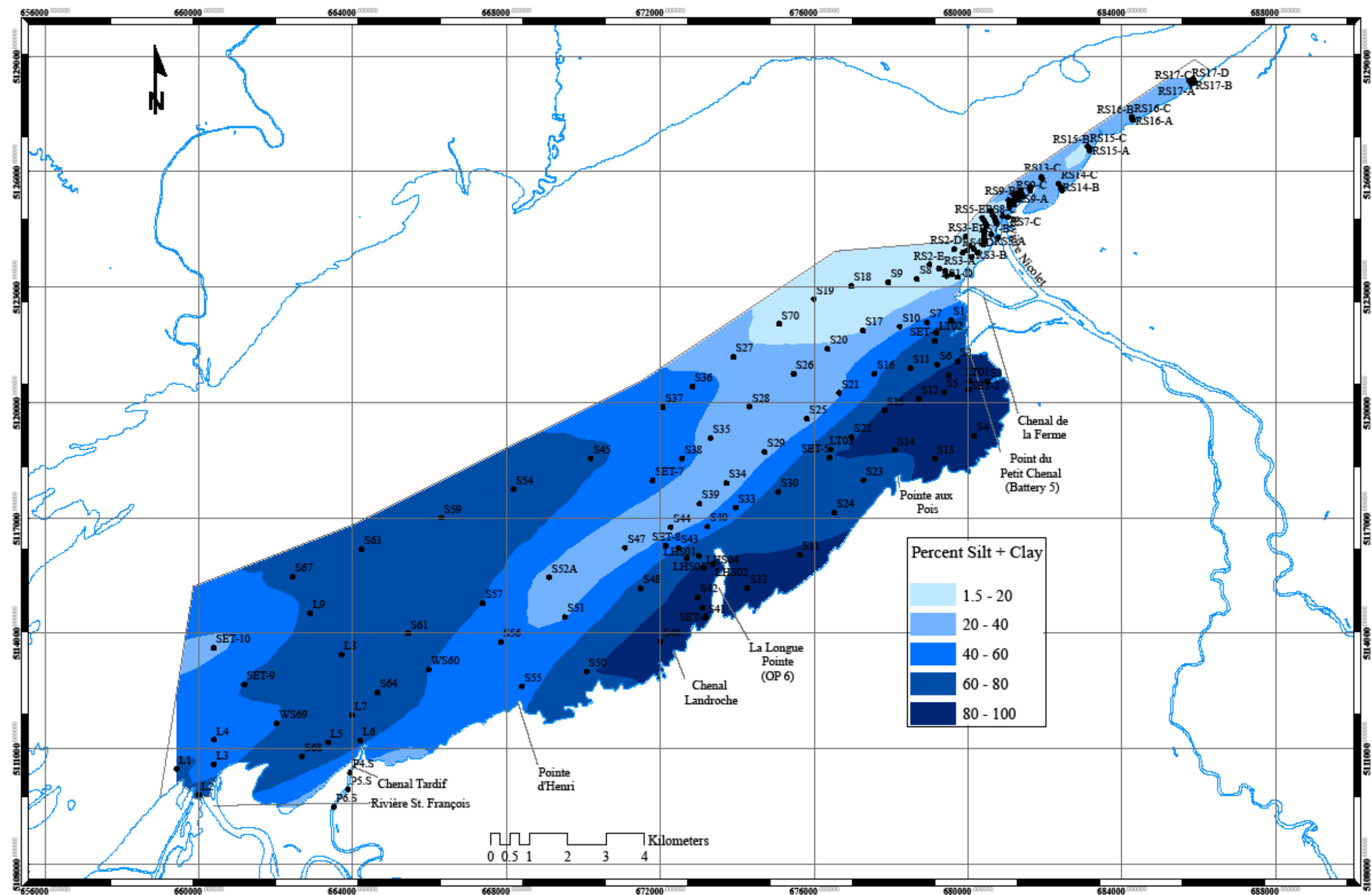


Figure 16. Silt/clay (%) in surficial sediment of the southern portion of Lac Saint-Pierre.

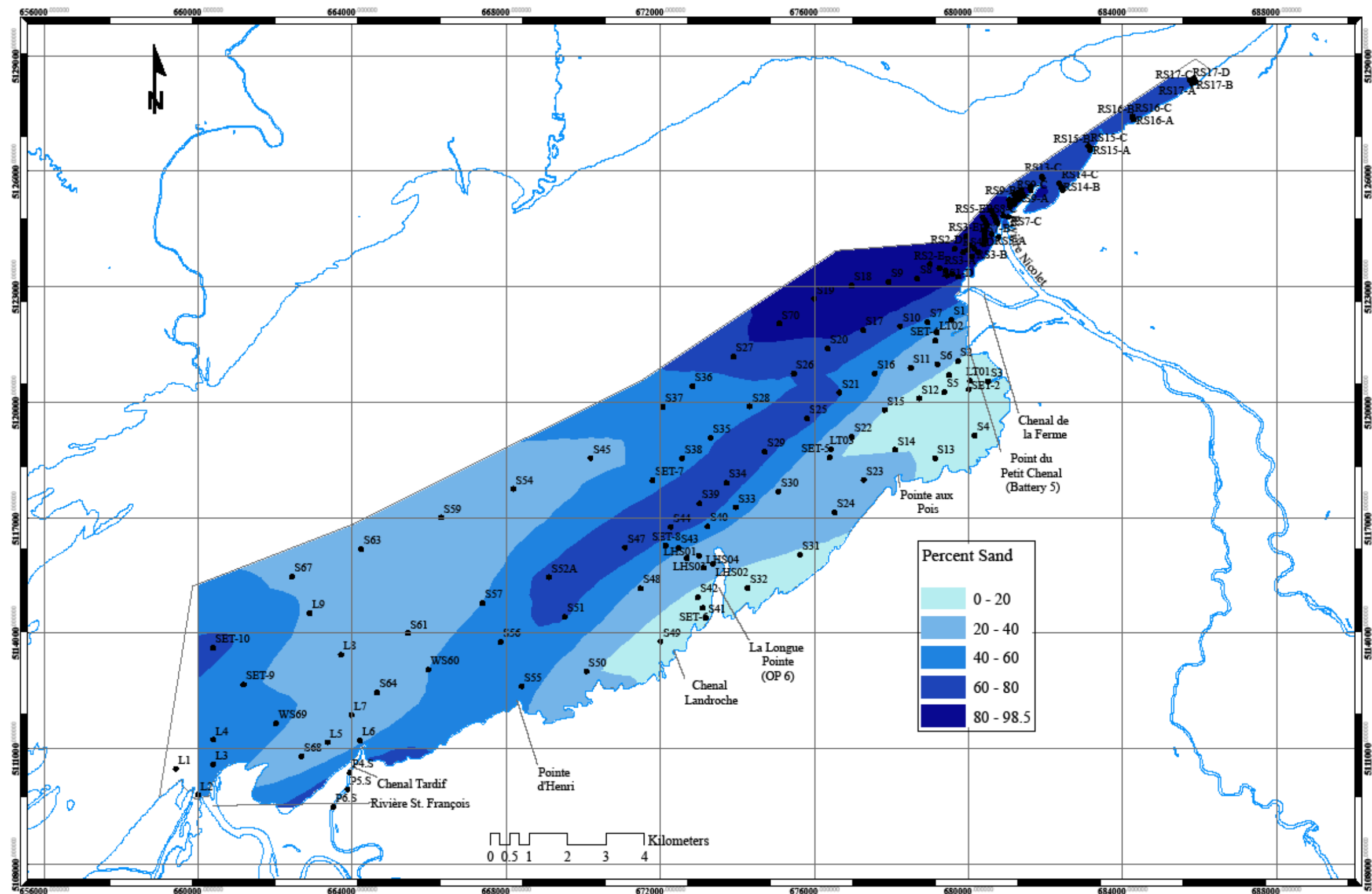


Figure 17: Sand (%) in Surficial Sediment of the Southern Portion of Lac Saint-Pierre.

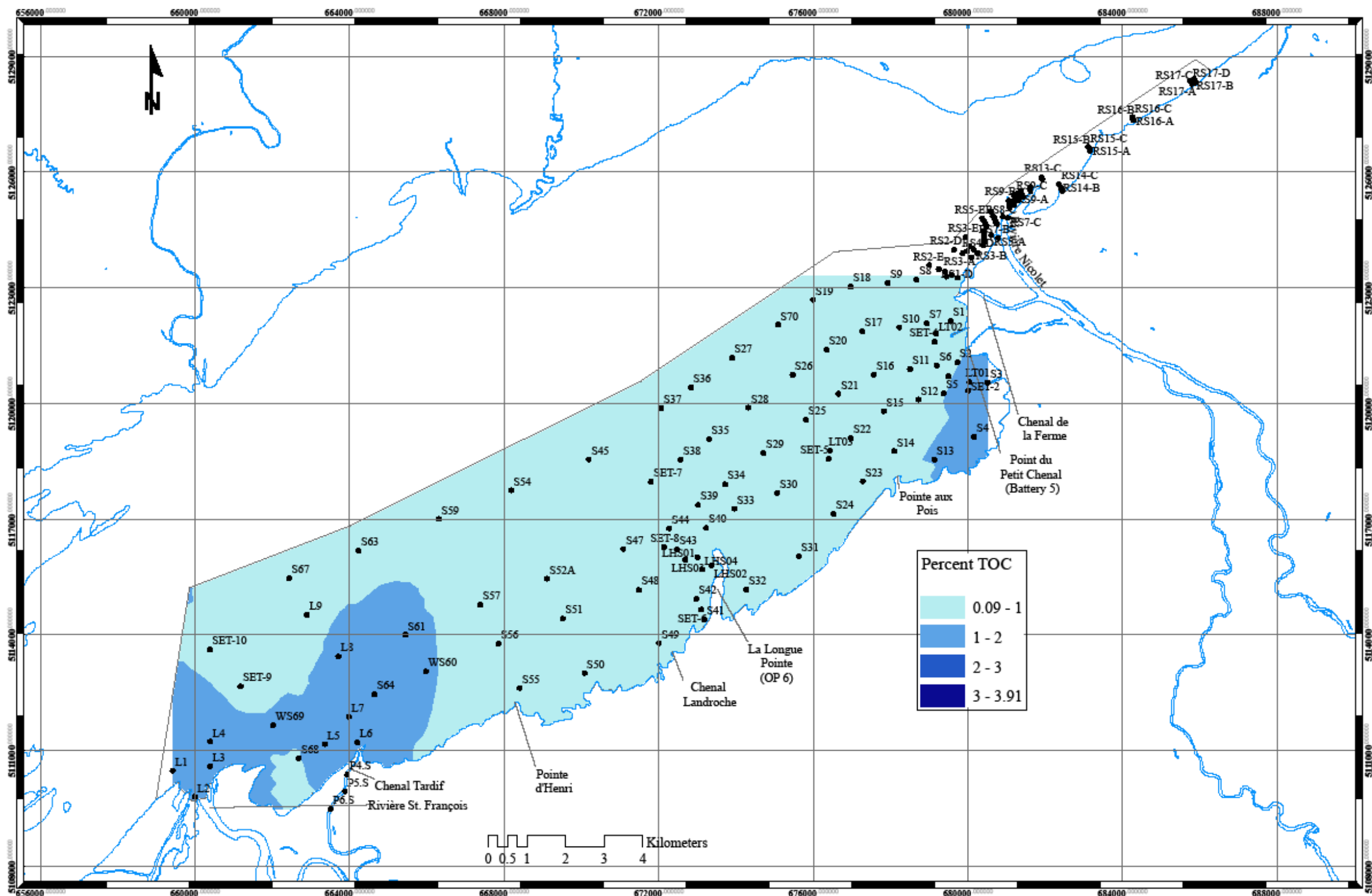


Figure 18. Total organic carbon (%) in surficial sediment of the southern portion of Lac Saint-Pierre.

UNCLASSIFIED

5.4.3. Energetic Material (EM)

154. Selected surficial sediment samples were analysed for EM, EM degradation and EM transformation products. The EM and detection limits can be found in Table 10. Raw data are presented in Annex F. Control samples were spiked with standard solutions of RDX and HMX. Percent recoveries (73% and 77% for RDX; 75% and 50% for HMX) were reasonable as degradation products were also observed. Details of the QA analyses are presented in Annexes E and G.

Table 10: EM, EM Degradation and EM Transformation Products Analysed for in Sediment Including Method Detection Limits

Energetic Material	Matrix	
	Clay (µg/Kg)	Sand (µg/Kg)
1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraazacyclooctane (HMX)	23.4	17.3
1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX)	27.3	22.7
TNB	22.7	13.9
1,3-dinitrobenzene (1,3-DNB)	5.3	15.5
nitrobenzene (NB)	9.9	14.2
Tetryl	18.5	22.2
2,4,6-trinitrotoluene (TNT)	12.4	6.9
4-amino-2,6-dinitrotoluene (4-ADNT)	16.3	20.6
2-amino-4,6-dinitrotoluene (2-ADNT)	10.1	23
2,6-dinitrotoluene (2,6-DNT)	18.8	17.6
2,4-dinitrotoluene (2,4-DNT)	15.6	16.4
2-nitrotoluene (2-NT)	17.5	12.2
3-nitrotoluene (3-NT)	17.5	19.5
4-nitrotoluene (4-NT)	25.2	18.7

155. Only HMX and RDX were found, at low levels and in some subsamples of 4 of 99 surficial sediment samples. That low levels were found is given emphasis by the fact that the more sensitive US EPA Method 8330, modified for wet samples, was employed. HMX was detected in two of three subsamples from site IN 8, in one of three subsamples from site ET3, and in one subsample from site S14. RDX was found in one subsample from site S54. EM was not detected in the pore water. Detailed results are presented in Annex F.
156. All three sites where HMX was found are at the south-eastern near-shore end of LSP, near Chenal de la Ferme. The site where RDX was detected is near the shipping channel, approximately 6km northwest of Longue Pointe. The earlier Environment Canada study did not detect EM or EM transformation products, which suggests that the limited findings of the current study might be attributed to the greater sensitivity of the extraction methodology employed. [4,55].

157. In summary, HMX and RDX were found in only a few sub-samples from few sites and at very low levels.

158. Results of a follow-up degradation and mineralization study conducted by BRI, which demonstrated that LSP sediments can rapidly degrade and mineralize RDX and HMX, may have relevance to these findings [3].

5.4.4. Other Organic Compounds

159. Assays were made for an extensive suite of organic compounds, including PCBs, pesticides and PAHs. PCBs and PAHs were measured for half of the sites; pesticides were measured in certain sites. Detection limits (DLs) and EC-MDDEP (2008) guidelines for PCBs and PAHs are presented in Table 11 and in Annex D; those for pesticides, insecticides and herbicides are presented in Annex F.

160. Pesticides, insecticides and herbicides were not detected.

161. The PCBs Arochlor 1248 and 1260 were detected at site In3, approximately 3.5 km northwest of Longue Pointe, near the shipping channel. The consequent total PCB concentration, at 0.09 mg kg⁻¹, was more than double the ambient level and above the OEL. However, as the detection limit (0.2 mg kg⁻¹) for total PCB analyses of some samples (L and LT series) was greater than the OEL (0.079 mg kg⁻¹), a conclusion cannot be made on exceedance for these samples.

162. PAHs were found at sites In2, In3; C1, C2, C3; ET2; L1-L2; L6; SET9. The only site with exceedences of OEL was L6, at the mouth of the Tardiff Channel. Of the 9 exceedences, 5 were only above OEL (anthracene, benzo(a)pyrene, chrysene, fluoranthene and fluorine); 4 were also above PEL (acenaphthene, benzo(a)anthracene, phenanthrene and pyrene).

Table 11: DL and Criteria for PCBs and PAHs

Compound	DL			EC-MDDEP (2008) ³			LSP
	Preliminary (mg/kg)	Main (mg/kg)	Supplementary (mg/kg)	OEL (mg/kg)	PEL (mg/kg)	FEL (mg/kg)	Ambient (mg/kg)
PCBs							
Aroclor 1016	0.02	0.01					
Aroclor 1242	0.02	0.01	0.05				
Aroclor 1248	0.02	0.01	0.05				
Aroclor 1254	0.02	0.01	0.05				
Aroclor 1260	0.006	0.01	0.05				
Total PCBs	0.02	0.04	0.2	0.079	0.28	0.78	0.034
PAHs							
1-Methylnaphthalene			0.05				
2-Methylnaphthalene	0.01		0.05	0.0630	0.2000	0.3800	< 0.004
Acenaphthene	0.009		0.05	0.0210	0.0890	0.9400	< 0.0050
Acenaphthylene	0.009		0.05	0.0300	0.1300	0.3400	0.0068
Acridine			0.8				
Anthracene	0.01		0.05	0.1100	0.2400	1.1000	0.01
Benzo(a)anthracene	0.01		0.05	0.1200	0.3900	0.7600	0.021
Benzo(a)pyrene	0.008		0.02	0.1500	0.7800	3.2000	0.023
Benzo(b)fluoranthene	0.04		0.05				
Benzo(g,h,i)perylene	0.02		0.05				
Benzo(k)fluoranthene	0.04		0.05				
Chrysene	0.01		0.05	0.2400	0.8600	1.6000	0.026
Dibenzo(ah)anthracene	0.005		0.05	0.0430	0.1400	0.2000	0.004
Fluoranthene	0.01		0.05	0.4500	2.4000	4.9000	0.045
Fluorene	0.01		0.05	0.0610	0.1400	1.2000	0.005
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.02		0.05				
Naphthalene	0.02		0.05	0.1200	0.3900	1.2000	0.01
Phenanthrene	0.01		0.05	0.1300	0.5200	1.1000	0.023
Pyrene	0.01		0.05	0.2300	0.8800	1.5000	0.037
Quinoline			0.05				
Benzo(b+k+i)fluoranthene	0.04						

Measured with respective Detection Limits (DLs) , EC-MDDEP (2008) Guidelines and LSP Ambient Levels.

163. The types and levels of PAHs observed are comparable to those found in other studies on LSP and elsewhere on the St. Lawrence River, including other fluvial lakes. The PAHs probably originate from Lake Ontario and point sources along the St. Lawrence River. Environment Canada detected many of the same PAHs (phenanthrene, fluoranthene and pyrene) with the overall frequency of PAH detections (32/84) slightly greater than that reported for this study (12/47). The Environment Canada study detected PAHs over almost all of the southern portion of LSP, with the largest number of detections at the south-east, near Battery 5 and in the comparison zone [4]. This current study suggest that outflow of the St. Francois River and associated Tardiff Channel, along with local currents and sediment distribution, influence the distribution of PAHs.
164. The St. Francois River was heavily industrialized from late the 1800s to the mid 1900s with many possible sources of PAHs, including foundries, tanneries and textile mills [22]. PAHs near the outfall of the St. Francois River and Tardiff Channel might originate from these tributaries. An investigation of the net sediment accumulation and mixing patterns in Lac Saint-Pierre and other regions on the St. Lawrence River shows that sedimentation has increased markedly over the last century [13]. A 2004 study on the Tardiff Channel reported numerous PAHs at levels exceeding the St. Lawrence River criteria; of these, fluorene, anthracene, pyrene and chrysene also observed in the LSP samples obtained from sites near the tributary [56]. However, PAHs were not detected in the Tardiff sediment samples (P4-P6) analysed in this study. This study did not include any sediment samples from the main St. Francois River, so further comparisons cannot be made. Sediment depth samples though limited in number (n=4) collected within the influence of the St. Francois River and Tardiff Channel (see Section 5.4 Depth Sediment) had PAH levels (benzo(a)pyrene, fluoranthene, and pyrene) above the detection limits in the surface layer (0-50 cm); however, the PAH's were most prominent (i.e., the number of PAHs detected and their concentrations) was found at core depths of 50-100 cm (n=2).
165. Sediment particle size and sediment dynamics are likely factors contributing to the spatial distribution of PAHs in sediments of LSP. Typically, PAH desorption rates are slower for the finer clay/silt particles than for the coarser sands. Similarly, sediment TOC may contribute to the distribution and concentration of PAHs [57]. Concentrations of PAHs in sediments analyzed for this study were correlated with higher silt/clay (>50%) and TOC (>1 %) content, although not all samples with high TOC contained PAHs. It is possible that the sedimentation zone in the south-western basin of LSP near the St. Francois River and Tardiff Channel outfalls results from the deposition of sediments that originate from further up the St. Lawrence River.

5.4.5. Metals

166. Analysis was made for 35 metals (see ANNEX C), 8 of which have EC-MDDEP (2008) sediment quality guidelines (SQGs) and 27 of which have LSP ambient levels [45]. The detection limits (DLs), sediment quality guidelines, and ambient levels are presented in Table 12. The metals were mapped and the sediment quality was determined according to

the sediment quality index (SQI). For certain sites, repeat sampling was done to detect temporal trends. The raw data can be found in ANNEX F.

5.4.5.1. Concentrations, Guidelines and Ambient Levels

167. Of the metals with EC-MDDEP OEL's, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni and Zn, all but Cd was detected; they were consistently above ambient. Cr, Ni and Cu exceeded the Occasional Effect Level (OEL). This is in contrast with samples from outside LSP, in which concentrations were low, with no exceedances of criterion. Only Cu was above the Fleve Saint Laurent ambient level.
168. Cr was ambient LSP ambient at 38 sites, exceed OEL at 29 sites, PEL at 12 sites and FEL at one site (S25). Ni and Cu exceeded sediment quality criteria at several sites. Ni exceeded the OEL at 30 sites and Cu exceeded OEL at 2 sites (IN3, S61). Cr was above was ambient LSP ambient at 38 sites; Ni at 41 sites and Cu at and 56 sites.
169. Sb and As were detected at most sites, often above ambient level. Co and Mg were above ambient at 40 sites. Other metals were detected above ambient for a few samples.
170. For porewater, CVAC exceedences were as follows: Al and Fe at almost all of the 25 sites; Mg (8 sites), Zn (8), V (5), Pb (4) and Ag (3); and Ba, Cd, Cr, Cu, and Ni (1). Several metals were in exceedence at sites SET1 and SET10.
171. For elutriate samples, CVAC exceedences were as follows: Al at all 18 sites; Fe at sites SET-SET6, SET8-SET10 and LHS04; Ag at LT2 and LHS01-LHS04; and Zn at SET1, SET2, LT2, LHS01 and LHS02

Table 12: Metals Measured in LSP Sediment Samples with Respective Detection Limits (DLs), EC-MDDEP (2008) Criteria for the Assessment of Sediment Quality and LSP Ambient Levels [45]

Metal	DL		EC-MDDEP (2008)			LSP Ambient (mg/kg)
	Sampling Event 1 ¹ (mg/kg)	Sampling Events 2-5 ² (mg/kg)	OEL (mg/kg)	PEL (mg/kg)	FEL (mg/kg)	
Aluminum, Al	20	5				71000
Antimony, Sb	not measured	1				0.2
Arsenic, As	0.1 (<6 ET samples)	1	7.6	17	23	2
Barium, Ba	10	1				820
Beryllium, Be	2	0.5				1.8
Bismuth, Bi	20	1				< 0.10
Boron, B	2	5				
Cadmium, Cd	0.5	1	1.7	3.5	12	0.4
Calcium, Ca	50	20				24000
Chromium, Cr	5	1	57	90	120	66
Cobalt, Co	2	1				13
Copper, Cu	5	1	63	200	700	24
Iron, Fe	50	5				34000
Lead, Pb	5	1	52	91	150	19
Lithium	10	not measured				21
Magnesium, Mg	10	20				12000
Manganese, Mn	20	1				720
Mercury, Hg	0.02	0.05	0.25	0.49	0.87	0.044
Molybdenum, Mo	1 (<2ET)	1				0.7
Nickel, Ni	5	1	47	ND ³	ND	26
Phosphorous, P	20	10				1 000
Potassium, K	100	10				22 000
Selenium, Se	0.5	1				
Silver, Ag	2	0.2				
Sodium, Na	50	20				24 000
Strontium, Sr	not measured	1				400
Thallium, Tl	20	1				0.38
Tin, Sn	2	1				
Titanium, Ti	not measured	5				
Tungsten	1	1				
Uranium, U	50	1				1.5
Vanadium, V	10	1				78
Zinc, Zn	5	1	170	310	770	100
Zirconium, Zr	not measured	1				

¹ Analyses conducted by Philips. Analyses of ET samples of the first sampling event conducted by and Biotechnology Research Institute-National Research Council (BRI-NRC). DL noted if different than that of Philips.

² Analyses conducted by Stantec Consulting Limited. Tungsten not measured in the 4th sampling event

³ OEL -Occasional effect level, PEL – Probable effect level, FEL - Frequent effect level. ND – Not Determined.

Table 13. Metals in Lac Saint Pierre Surficial Sediments and Samples in Exceedances of EC-MDDEP Criterion.

	Sb	As	Cr	Cu	Co	Fe	Li	Pb	Mg	Mn	Ni	Zn
Units (dry weights):	mg/kg											
# of sites (samples)	93	120 (114)	120 (114)	120 (114)	120 (114)	110 (104)	17 (11)	120 (114)	110 (104)	120 (114)	120 (114)	120 (114)
# of detects in samples	71	103	114	113	114	104	9	112	104	114	114	114
Mean of all detections	3.08	3.15	48.9	26.3	12.4	21920	20.6	8.49	10093	518	33.9	70.1
Maximum	6	6	208	70	25	45300	37	25	25000	6100	65	153
Minimum	2	1.5	8	3	3	5720	10	2	250	86	6	15
Standard Deviation	1.05	0.98	33.5	16.0	6.2	100017	11.2	3.7	7109	799	15.4	25.3
# detects > OEL	-	-	29	2	-	-	-	-	-	-	30	-
# detects > PEL	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
# detects > FEL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
# detects > Ambient	75	30	38	57	48	17	4	2	40	3	71	7

5.4.5.2. Distribution

172. The distribution of metals exceeding ambient or OEL levels are shown in Figure 19 through to Figure 27.
173. Elevated levels were generally observed in two major zones: firstly, a band approximately 2km wide along the southern shore of LSP, between Pointe d'Henri and Chenal de la Ferme; secondly, an extensive region beginning just north of the St. Francois River and fanning out several kilometres north-east towards the shipping channel. Lower levels were observed in a narrow band extending from immediately east of Chenal Tardiff to the mouth of the Nicolet River and into the St. Lawrence River immediately east of LSP.
174. Mg, Cr, Cu, Sb, and Co are prominent in the elevated zones, with metal-specific differences. Mg (Figure 19) was observed throughout LSP, with elevations in both zones. Mg levels were above LSP ambient mainly in the zone along the southern shore, with the highest levels occurring just west of Longue Pointe and in pockets within the south-eastern basin. Cr distribution (Figure 20) was similar, with elevated levels, exceeding sediment quality criteria, in both zones, with the highest levels (exceeding PEL and FEL) midway between Longue Pointe and the south-eastern basin. Elevated Cu levels were more uniformly distributed in both zones, at levels consistently greater than ambient (Figure 21).
175. Sb was ubiquitous, with levels above ambient throughout the study area (Figure 22). The highest levels were observed in the south-eastern basin of LSP. The distribution of Co was more complex (Figure 23). Co exceeded ambient in the elevated zones discussed above and in other localized zones further north of Longue Pointe. The distribution of Co did not encompass the band of low level concentrations that was observed for other metals.
176. Zn (Figure 24), Ni (Figure 25) and Fe (Figure 26) were at elevated levels only in more localized regions of LSP. Zn was more predominant in the north-western zone, including levels greater than LSP ambient. However, Zn distribution along the southern portion of LSP was restricted to the near-shore. Ni was detected throughout LSP, with levels exceeding sediment quality criteria observed mainly in the southern area near Longue Pointe and in the south-eastern basin. Similarly, Fe was observed throughout most of the study area, with elevated levels restricted to the south. Arsenic (As) was fairly evenly distributed, with levels slightly elevated in a zone between Pointe D'Henri and the Tardiff Channel (Figure 27).

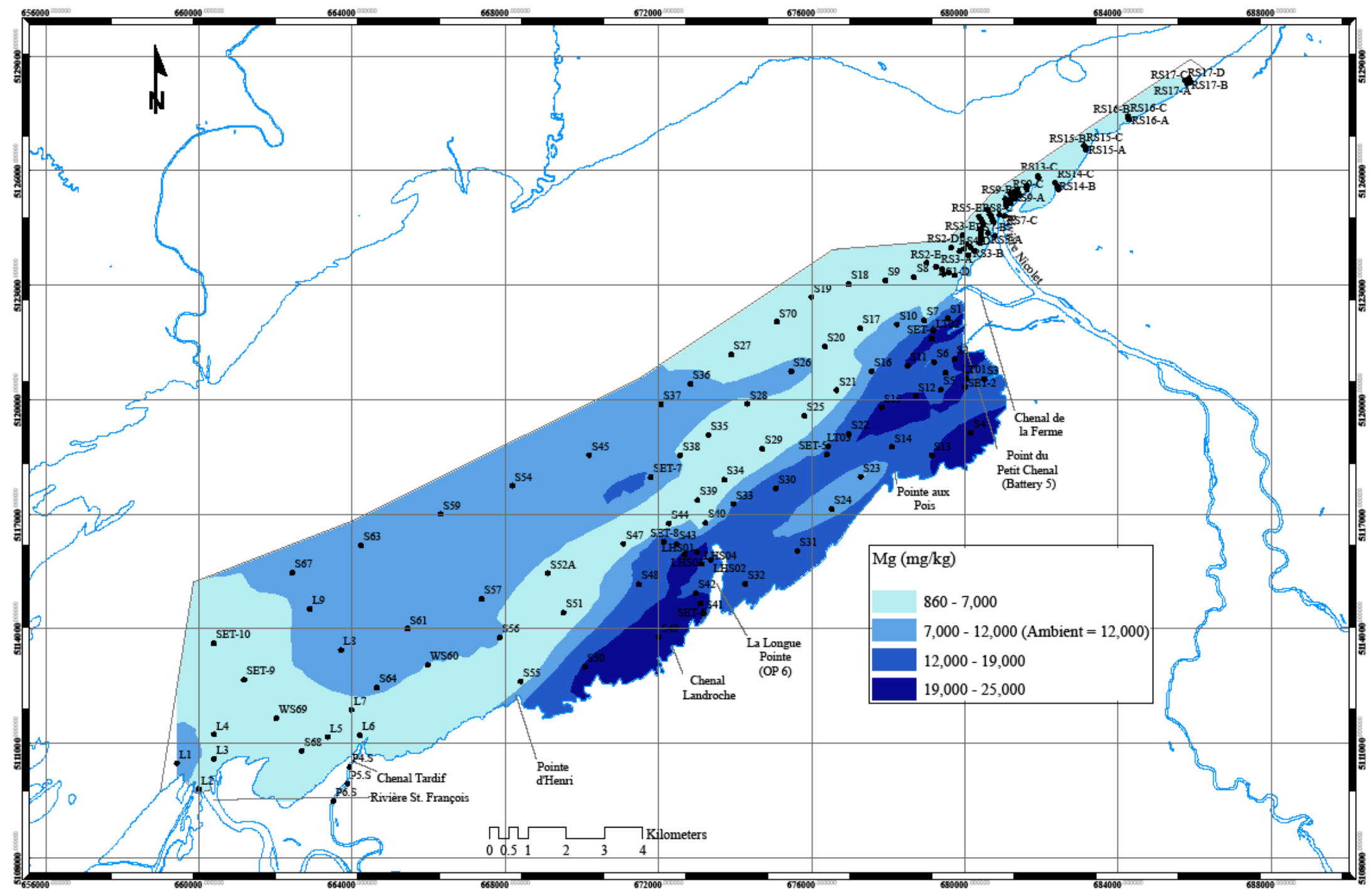


Figure 19. Magnesium (Mg) in surficial sediment of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, non-trended, anisotropic spherical variogram.

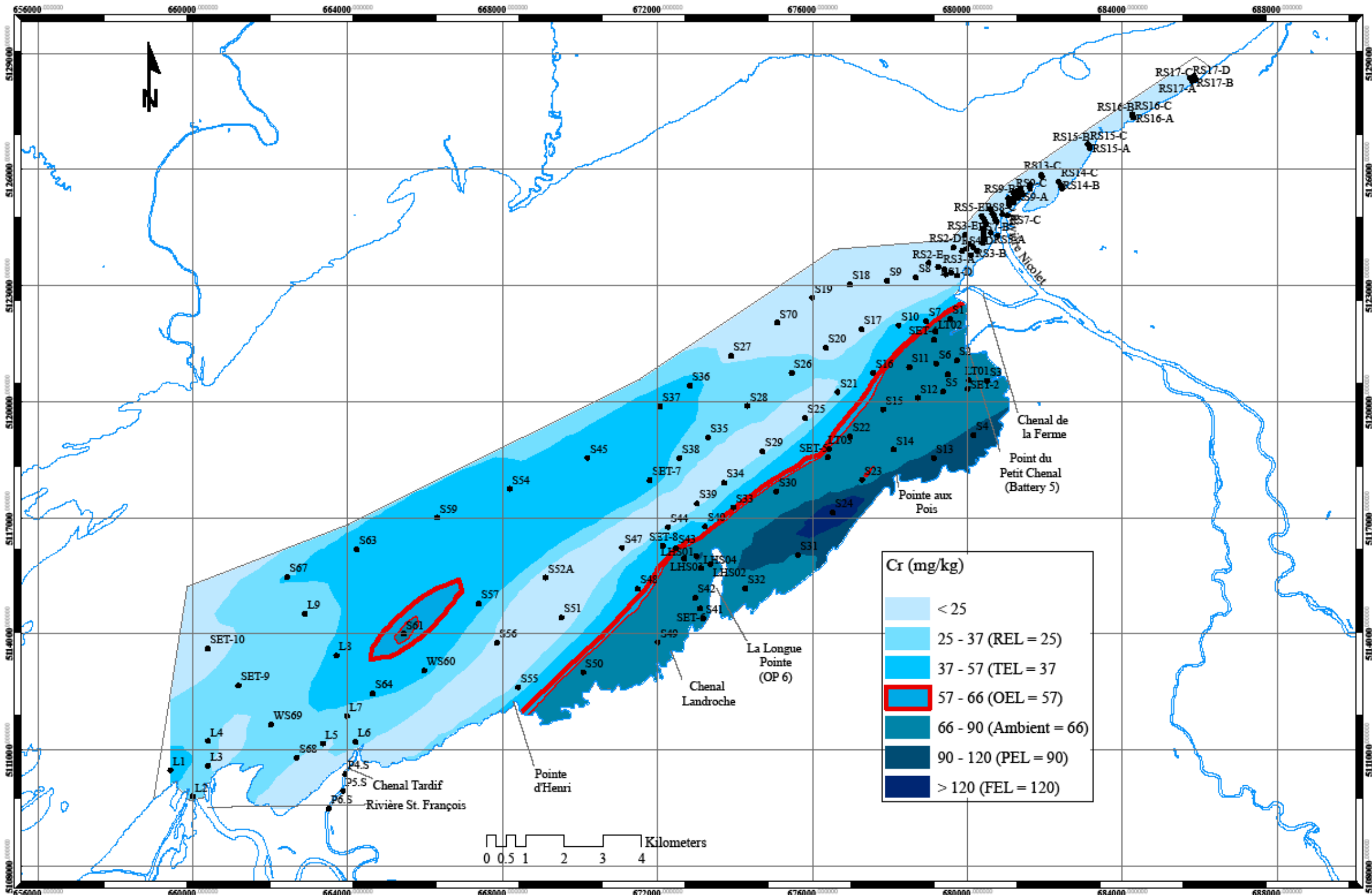


Figure 20. Chromium (Cr) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.

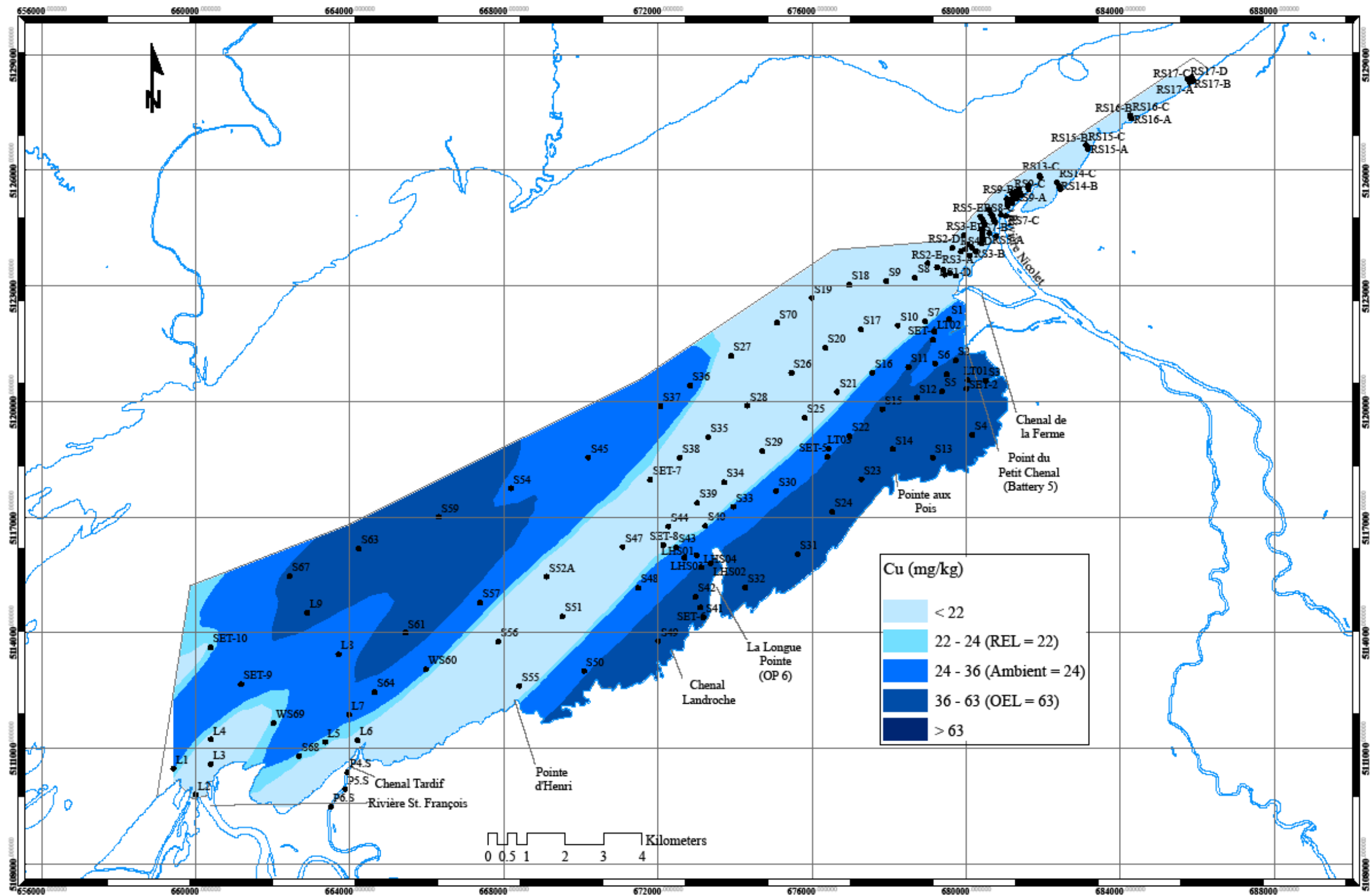


Figure 21. Copper (Cu) in Surficial Sediments of Lac Sainte Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.

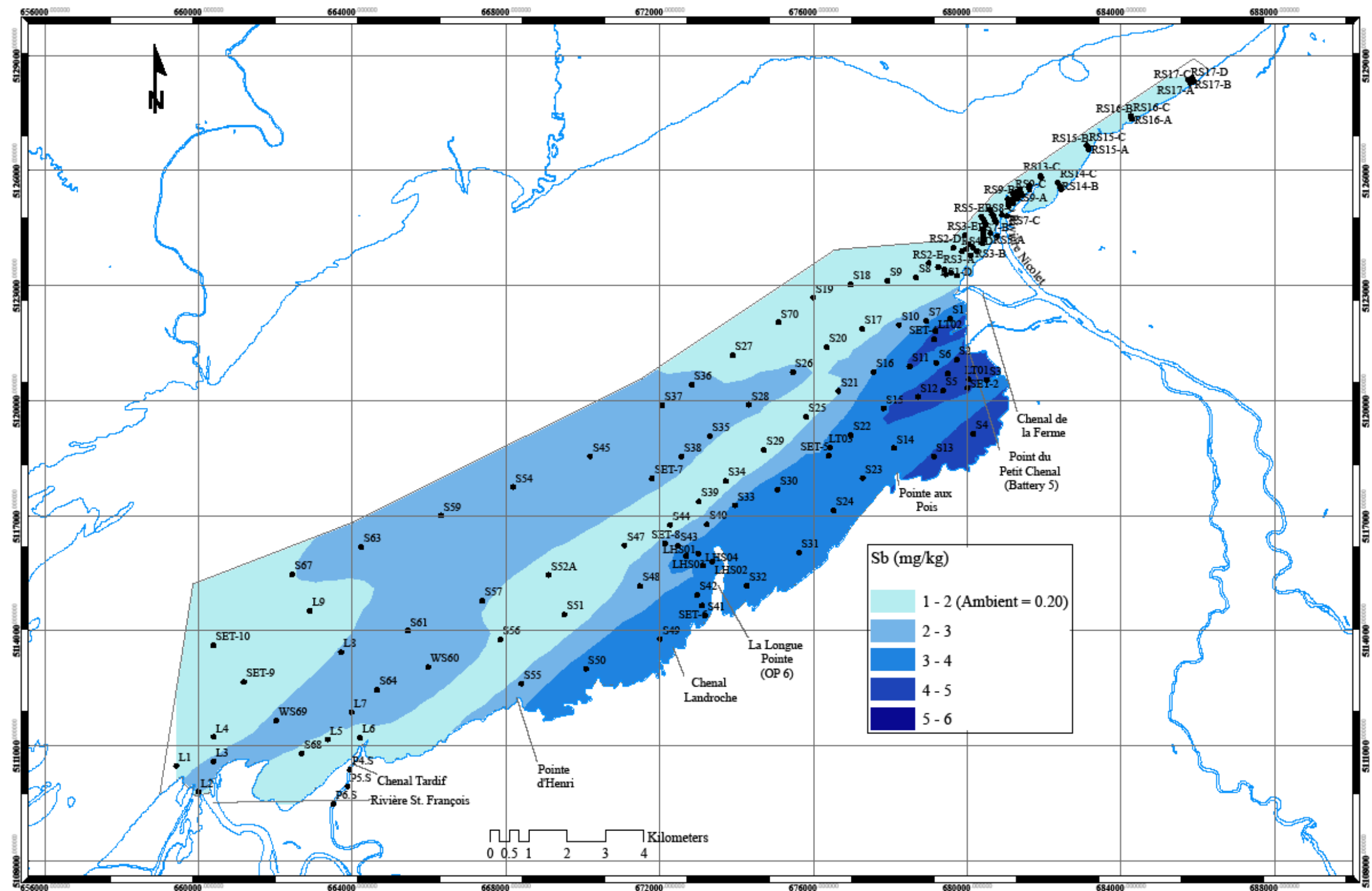


Figure 22. Antimony (Sb) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, linear trend, anisotropic spherical variogram.

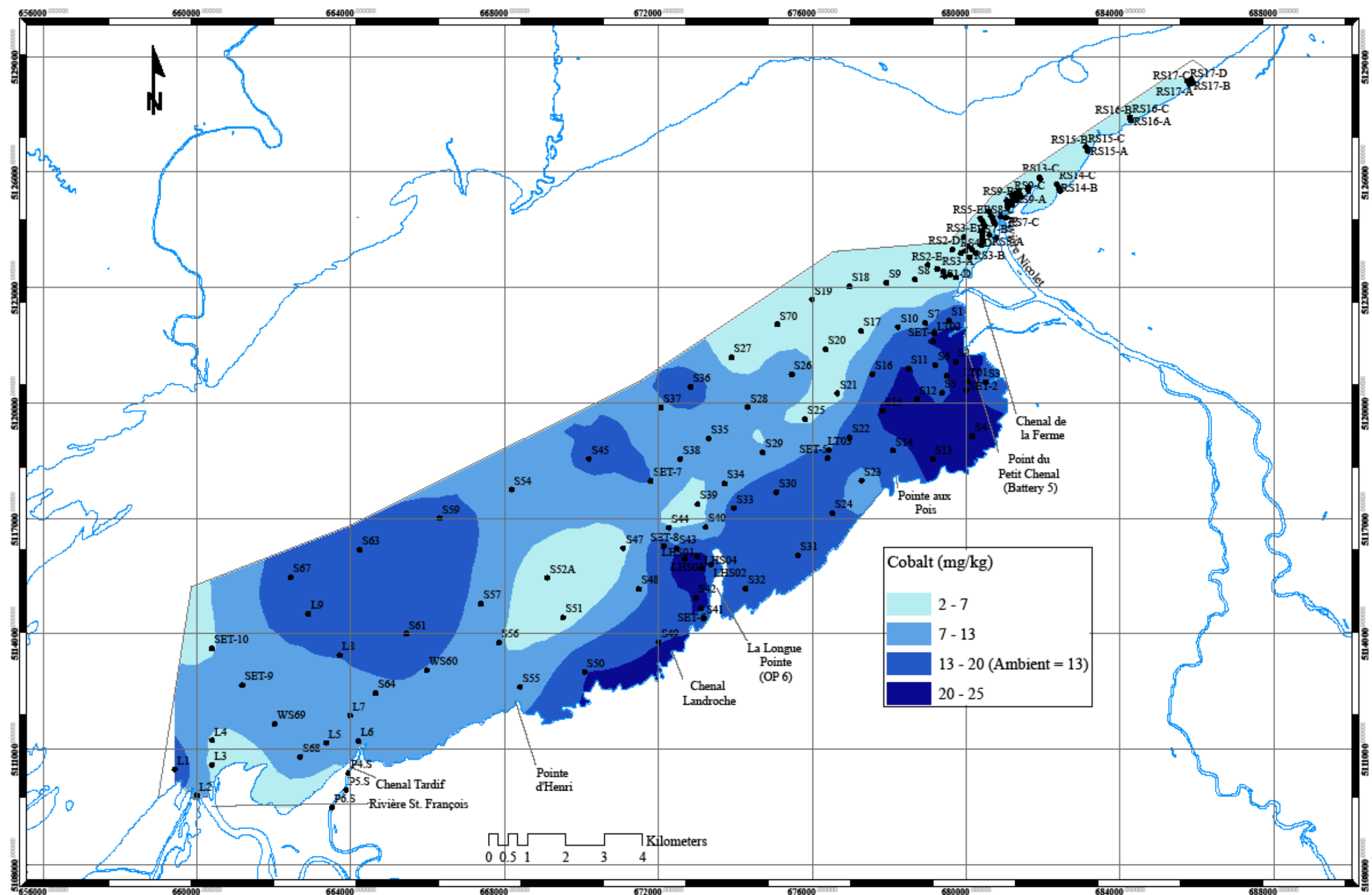


Figure 23. Cobalt (Co) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend and an anisotropic exponential variogram.

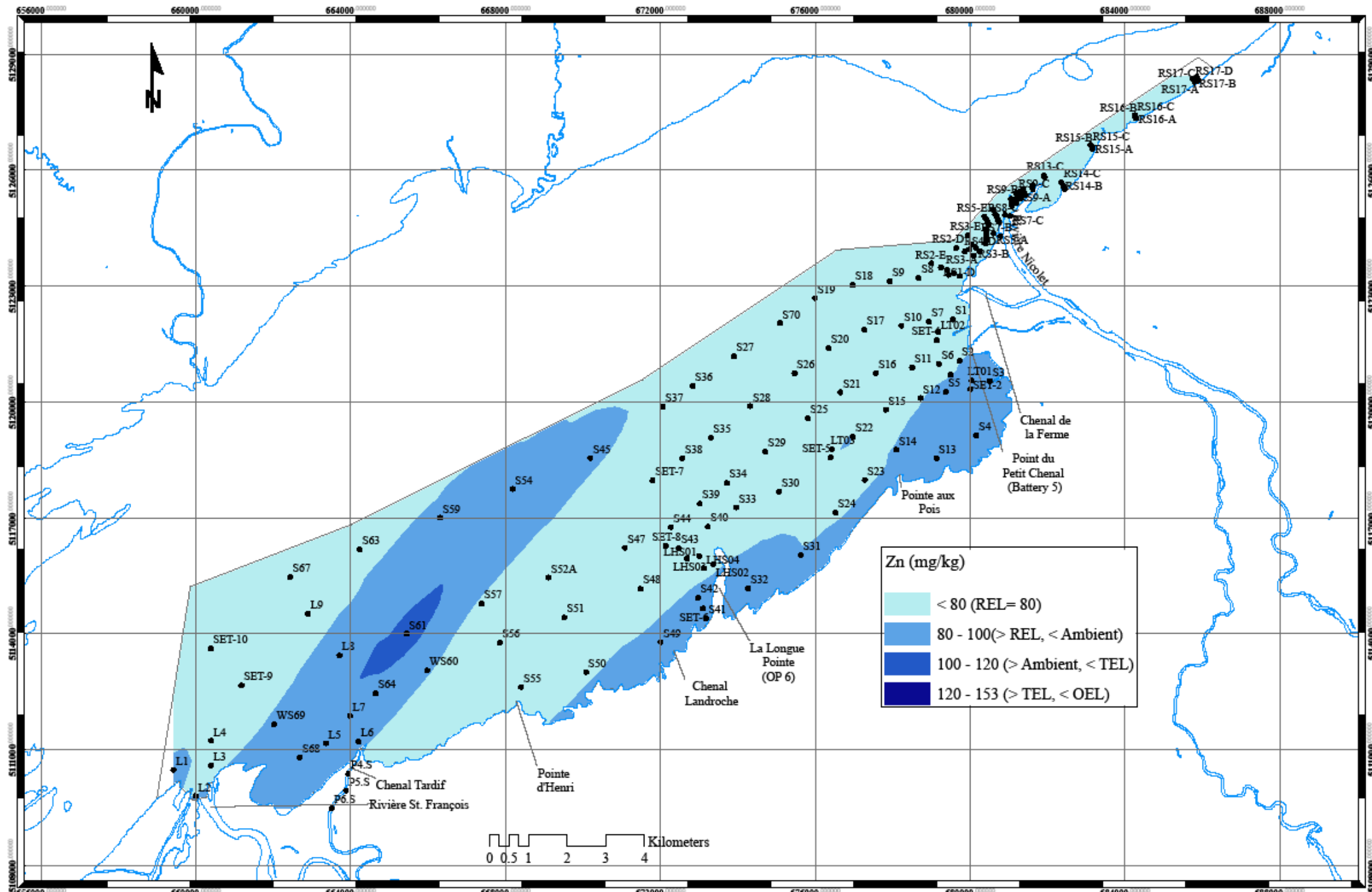


Figure 24. Zinc (Zn) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend anisotropic spherical variogram.

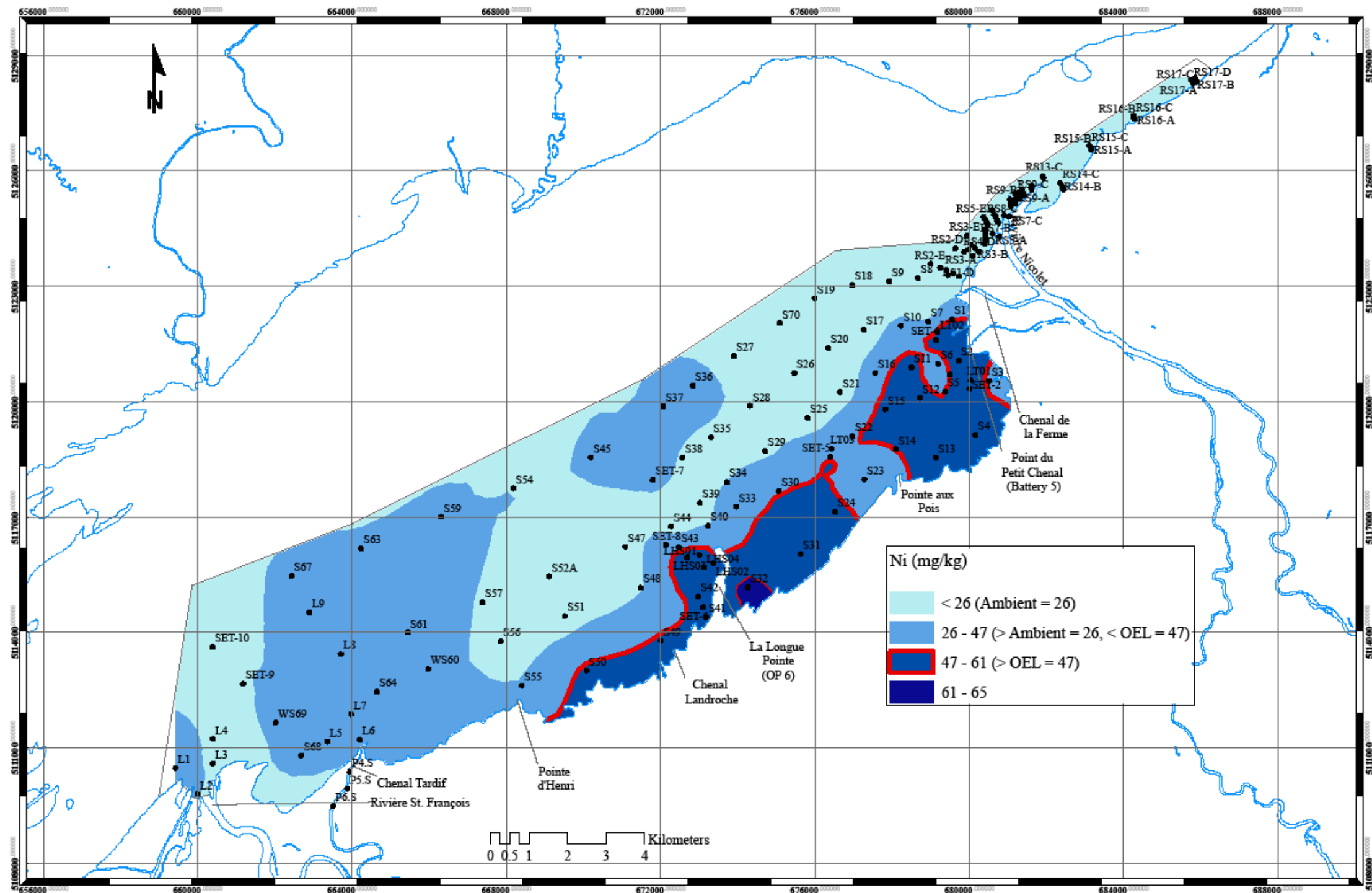


Figure 25. Nickel (Ni) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend and an isotropic spherical variogram.

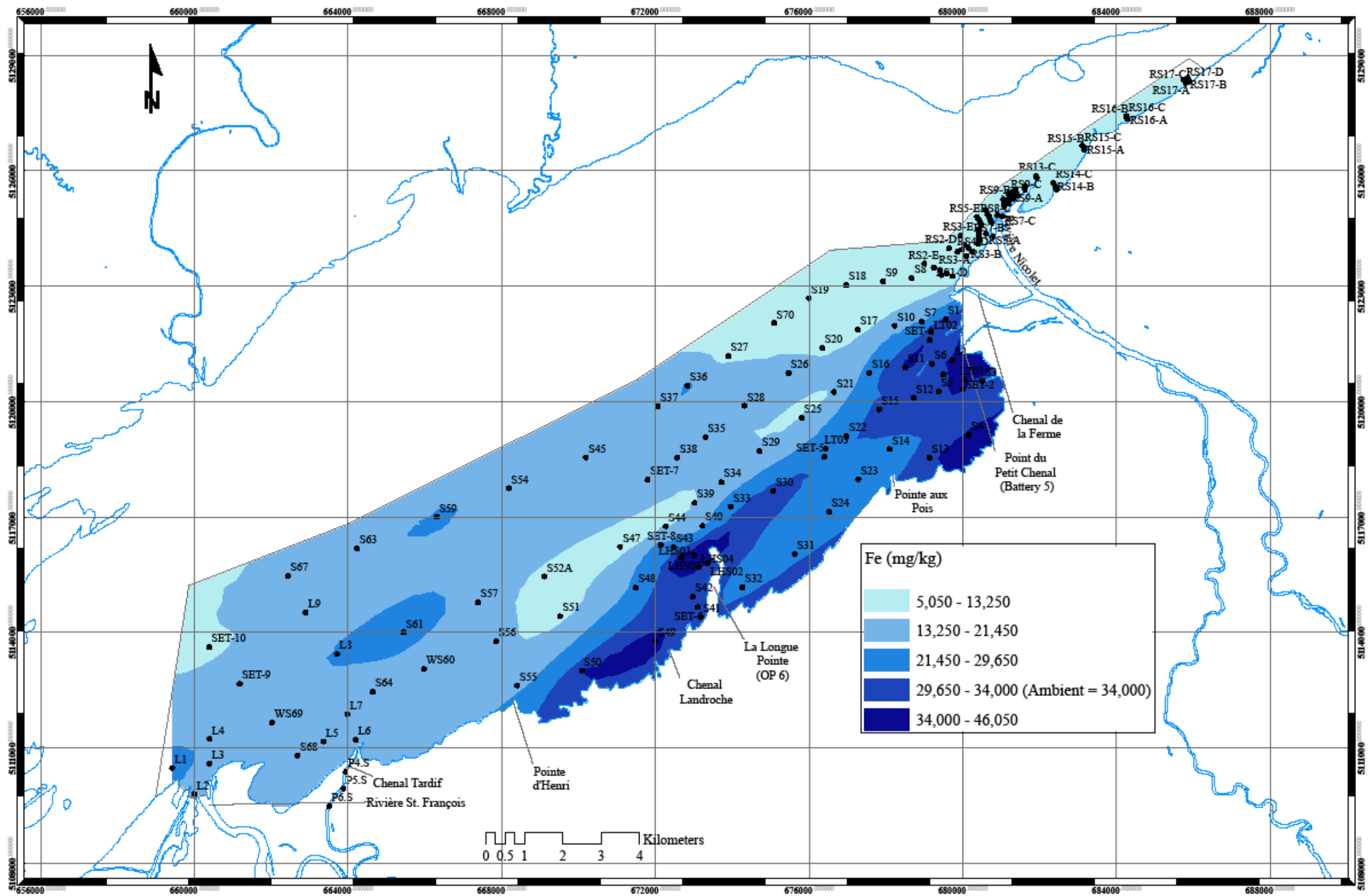


Figure 26. Iron (Fe) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, exponential anisotropic variogram.

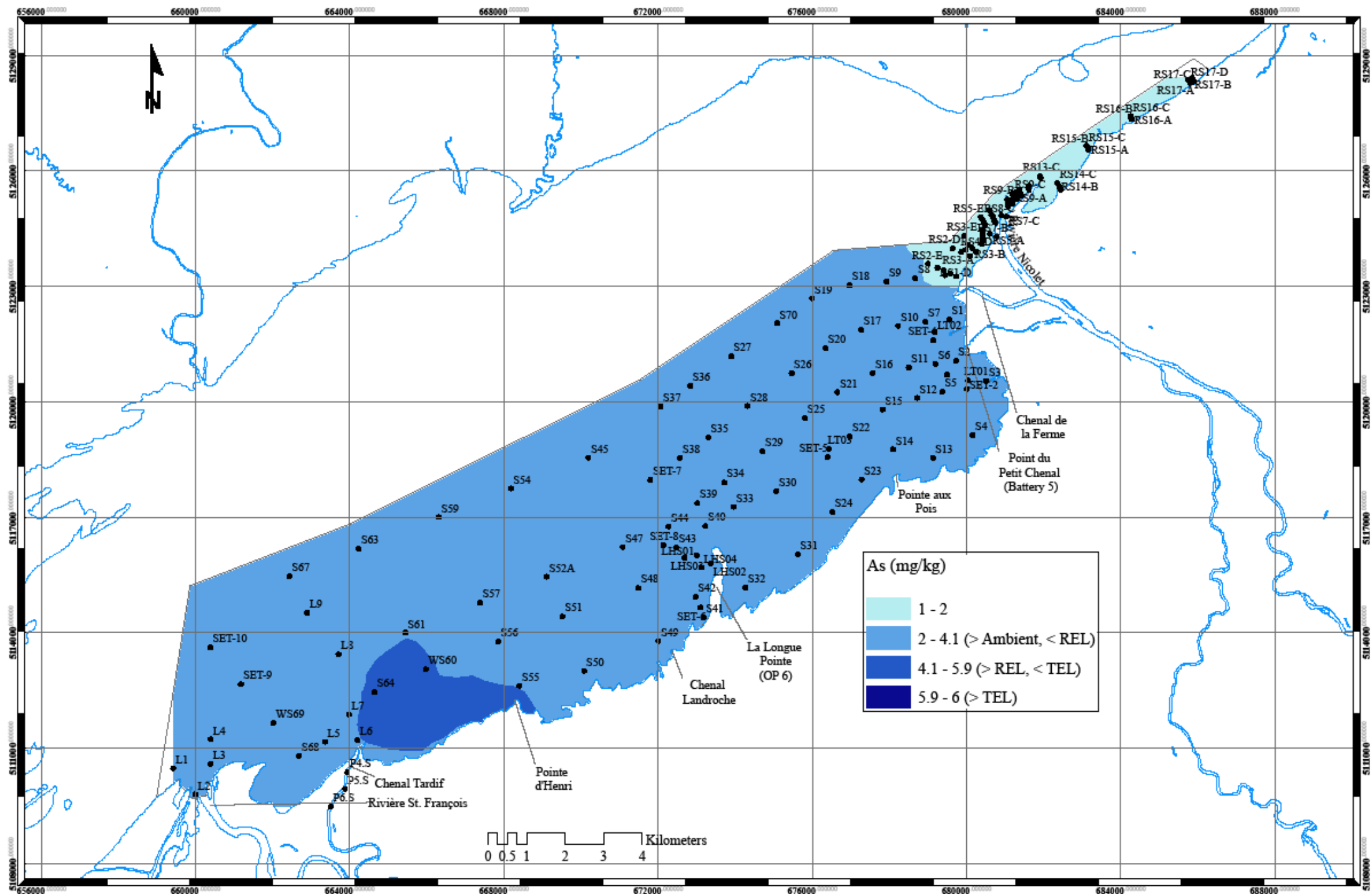


Figure 27. Arsenic (As) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, and an isotropic exponential variogram.

177. Number of metals exceeding OEL at sites is presented in Figure 28. Number of metals above LSP ambient at sites is presented in Figure 29. The maximum number of exceedances of the OEL, for three metals, was at site S61. Numerous sites had exceedances for two metals. The maximum number of exceedances of ambient, at nine, at S1 and L1. Sites with exceedances of sediment quality criteria also had many metals above ambient.

Sources of Spatial Variability

178. As expected, metal distributions correlate positively with fine silt or clay fraction, as shown in Figure 30, Figure 31 and Figure 32. This explains elevated metal concentrations along the southern shore and northwest of the St. Francois River, which have higher proportions of finer silt or clay (Figure 16). Sites with high levels of Cr, Cu and Ni, generally have high levels of clay, more than 60%, which suggests that these metals are associated with postglacial materials. Similarly, zones with lower metal concentrations, i.e., within the narrow zone from the Tardiff channel to the Nicolet River, correspond to regions with sediments with higher sand content (Figure 17).
179. To further examine the sources of spatial variability in the surficial data, ordination was conducted on the metals Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, K, Sb, Sr, Ti, V and Zn. Hg was excluded because it was not measured in 2007. The variables are % gravel, sand and combined silt and clay. Silt and clay were measured separately for most sediment samples and combined for the remaining samples.
180. Principal component analysis (PCA) indicates a large amount of structure in the data, with the first two components describing more than 77 % of total variability and subsequent components individually describing less than 5% of total variability (Table 14). Therefore, only the first 2 components are explored here. The first principal component loadings show a contrast between coarse sediments and fine sediments and metals such as Co, V, Fe, Sr, Al etc. (Figure 33). P, Pb, As and Zn are contrasted with B, K and Na by the second principal component loadings (Figure 34).

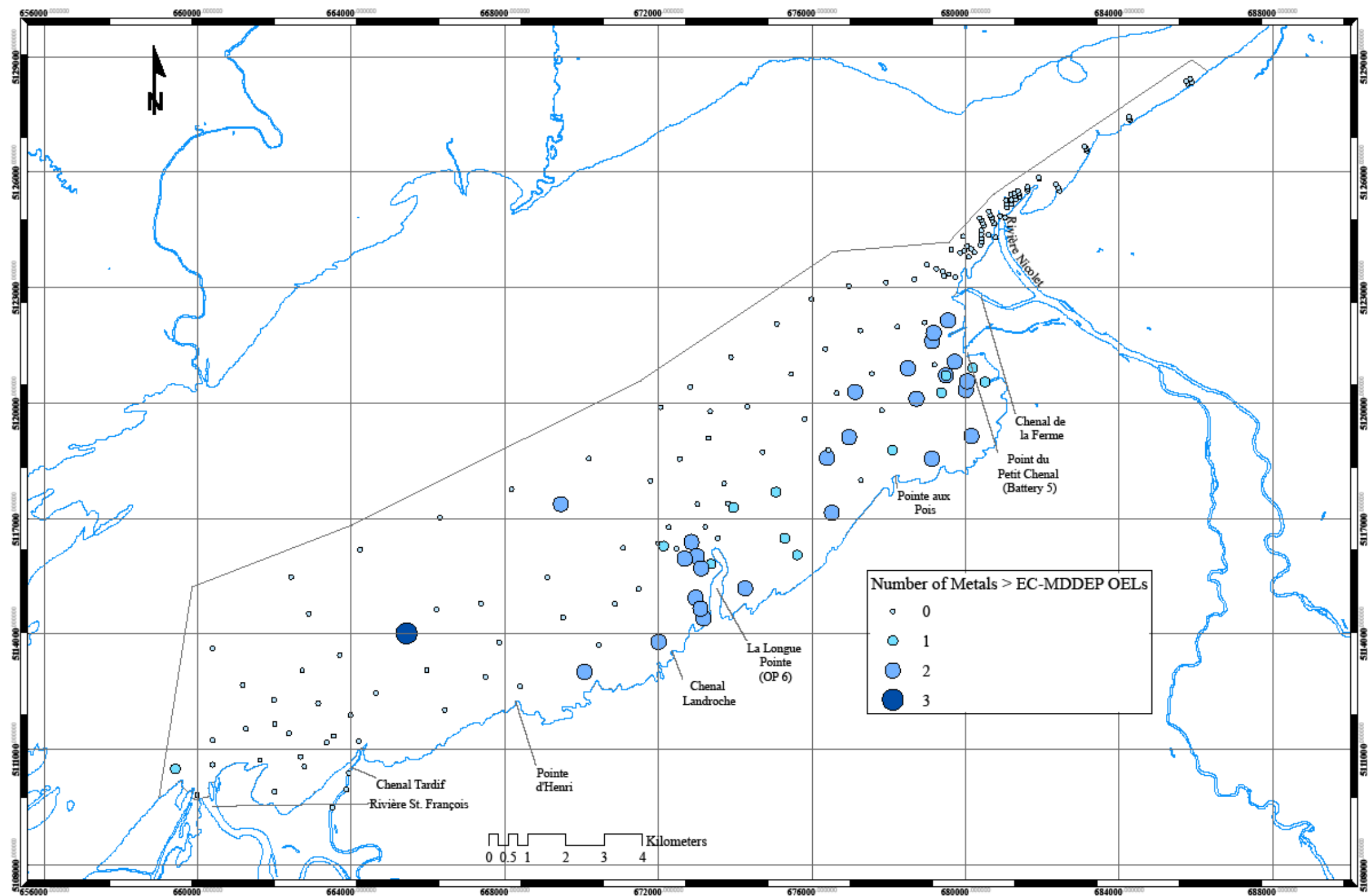


Figure 28. Number of Metals Exceeding the EC-MDDEP OELs for surficial sediments from Lac Saint-Pierre.

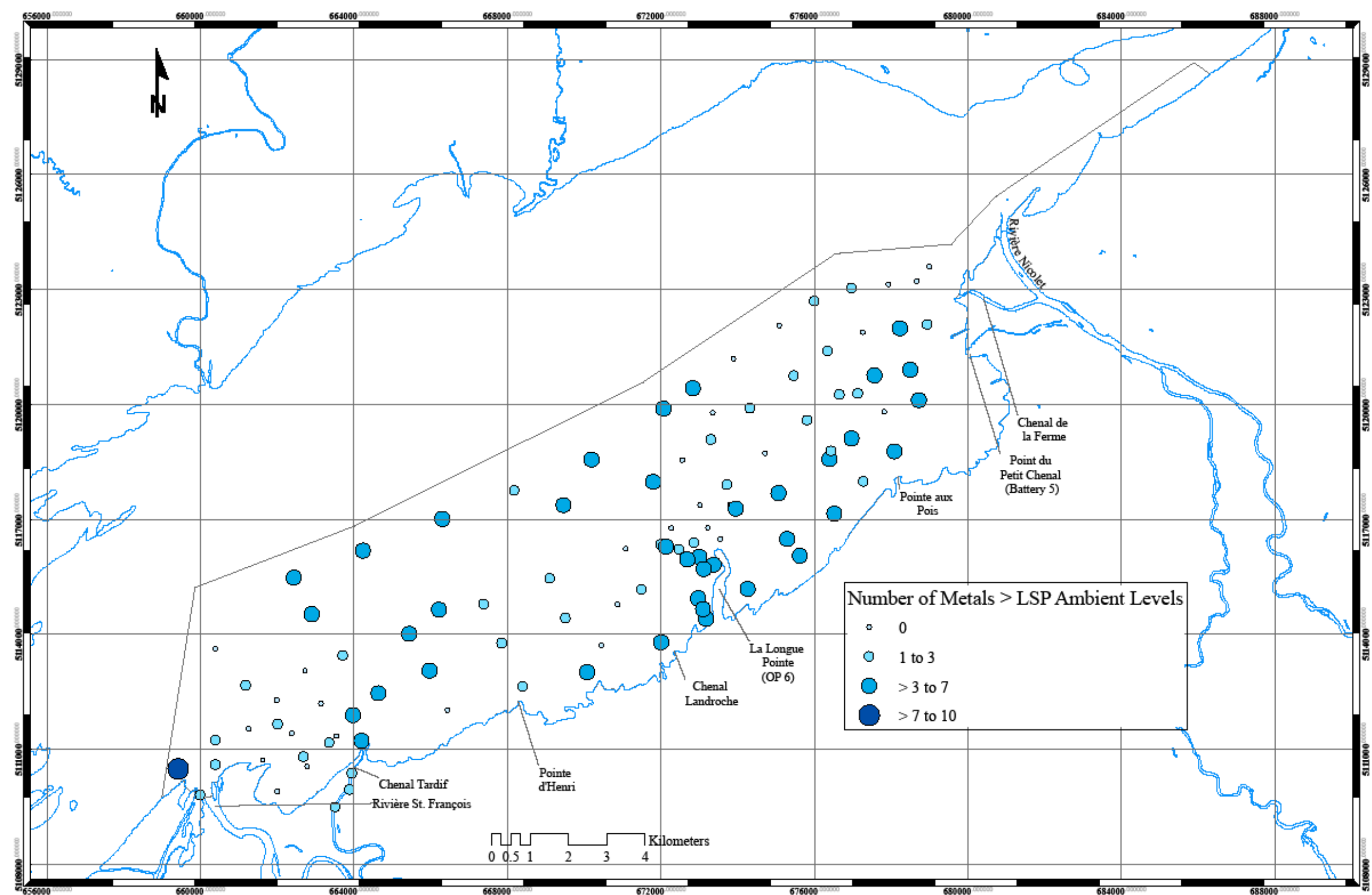


Figure 29. Number of Metals above EC-MDDEP Ambient Levels for Lac Saint-Pierre

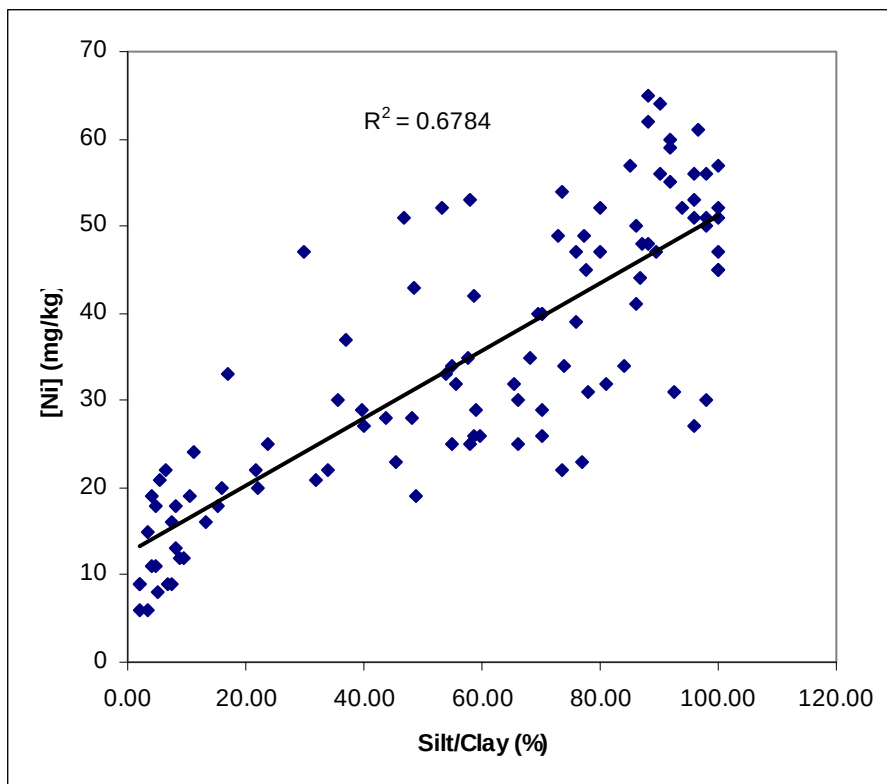


Figure 30. Relationship between silt clay composition (%) of LSP sediment and Ni concentration.

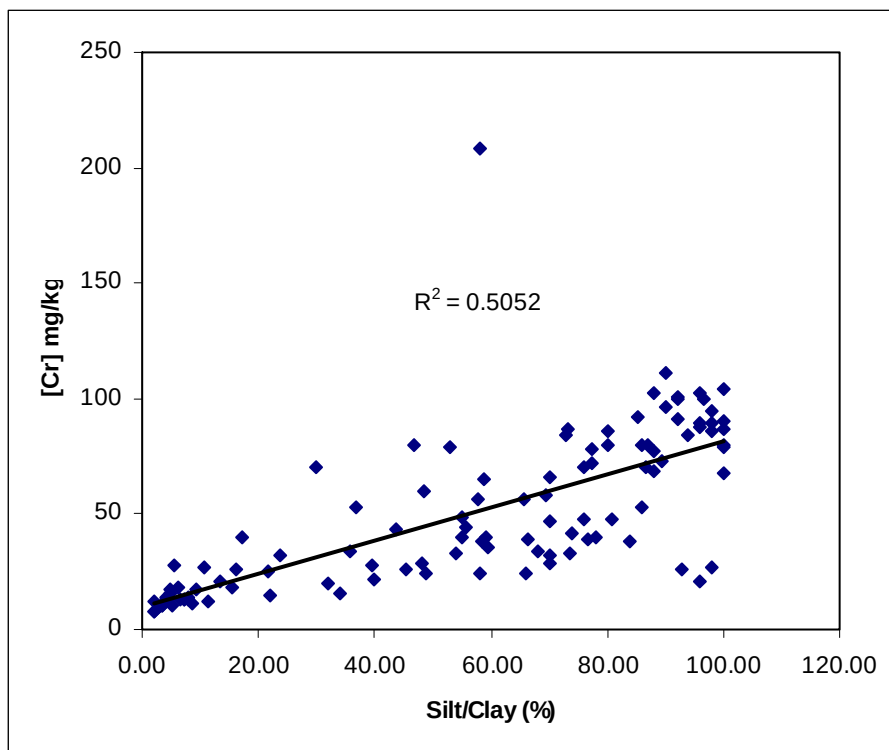


Figure 31. Relationship between silt clay composition (%) of LSP sediment and Cr concentration.

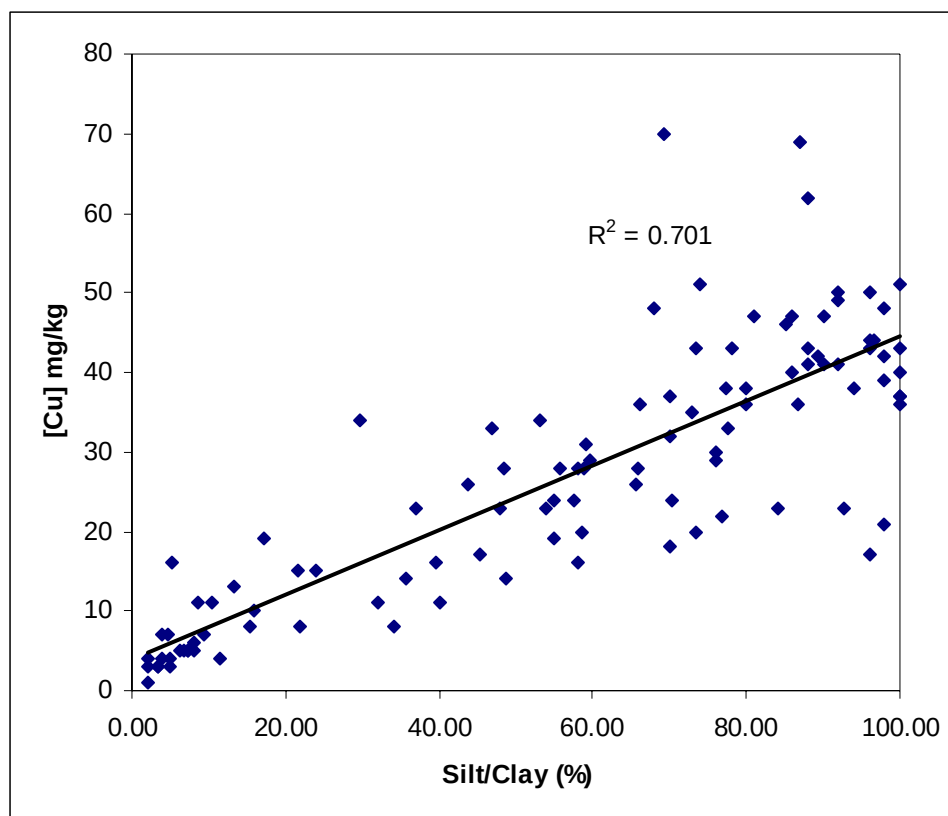


Figure 32. Relationship between silt/clay composition (%) and Cu concentration in LSP.

181. Site principal component scores shown in Figure 35 separate stations on various bases. The first principal component primarily separates the St. Lawrence River from sites in the southeastern near-shore area of Lac Saint-Pierre. This separation is on the basis of higher concentrations of Co (Figure 23), V (Figure 36), Fe (Figure 26), Ti (Figure 37), Sr (Figure 38) and Ni (Figure 25) in the south-eastern, near-shore area of Lac Saint-Pierre contrasted with relatively low percent sand. The primary source of variability is the contrast between coarse sediments and fine sediments.
182. Separation of these stations is on the basis of the suite of analytes measured, not SQGs. When the concentrations of these metals are compared with the EC-MDDEP (2008) sediment quality guidelines, only three exceed any criteria (Ni exceeds both ambient and OEL, Fe and V are above ambient) (Table 15).
183. The second principal component describes an additional 7.2% of total variability and separates sites S61 L1, S64, L6, WS60, S45, S36, RSL7C, and S59 from the other stations. Examination of these stations shows that all are situated immediately adjacent to a river mouth (L1 at the mouth of the St. Francois River, L6 at mouth of the Tardiff Channel, R7C at mouth of Nicolet River with the remaining sites along the mouth of the channel of the St. Francois River). However, not all stations at river mouths fall into this group. Further, the reason for this grouping is not clear.
184. One partial explanation is the relatively elevated levels of Pb (Figure 39), P (Figure 40), As (Figure 27) and Zn (Figure 24). Comparison of P, Pb, As and Zn in sediment samples for the entire dataset show that, despite the small number of “river mouth” samples (10), the median level of analytes exceeds the median for the entire surficial sediment dataset (Figure 44, Figure 45, Figure 46, and Figure 47). This trend is evident despite including some stations located off shore but along the likely discharge route of the St. Francois River. These results suggest that the St. Francois River is a likely source of some substances, such as P, Pb, Zn, and As, to Lac Saint-Pierre.
185. Desrosiers et al. sampled 58 stations within the three fluvial lakes of the St. Lawrence River and Montreal Harbour [58]. Using cluster analysis they identified two principal clusters were identified. One comprised As, Cd, Cu, Pb and Zn. This cluster is very similar to the group of analytes comprising the PCA-identified “river mouth” stations. The other comprised P, Pb, As with Zn, Cd and Cu, following but not explicitly included in the 2nd principal component. Desrosiers et al. suggest that this group of metals is likely anthropogenic in origin, further supporting the possibility of the St. Francois River being the source.

Table 14: Summary of PCA Applied to the Sediment Chemistry and Physical Data

Component	Standard deviation	Proportion of Variance	Cumulative Proportion
1	4.448356	0.70671	0.70671
2	1.424691	0.072491	0.779201
3	1.105747	0.043667	0.822868
4	1.040959	0.0387	0.861567
5	0.99631	0.035451	0.897019
6	0.892443	0.028445	0.925463
7	0.755425	0.020381	0.945844
8	0.623733	0.013894	0.959739
9	0.5816	0.012081	0.971819
10	0.431414	0.006647	0.978467

Table 15: Metals Identified by First Principal Component and EQGs

Metals	Comment	Guideline (EC-MDDEP, 2008)
Co	Does not exceed ambient level	LSP ambient level = 27 mg/kg
V	Exceeds ambient level at S2	LSP ambient level = 78 mg/kg
Fe	Exceeds ambient levels at many locations.	LSP ambient level = 34,000 mg/kg
Sr	Does not exceed ambient level	LSP ambient level = 400 mg/kg
Al	Does not exceed ambient level	LSP ambient level = 71,000 mg/kg
Ti	Not presented	None Available
Ni	Exceeds ambient level and OEL	LSP ambient level = 26 mg/kg and OEL = 47 mg/kg

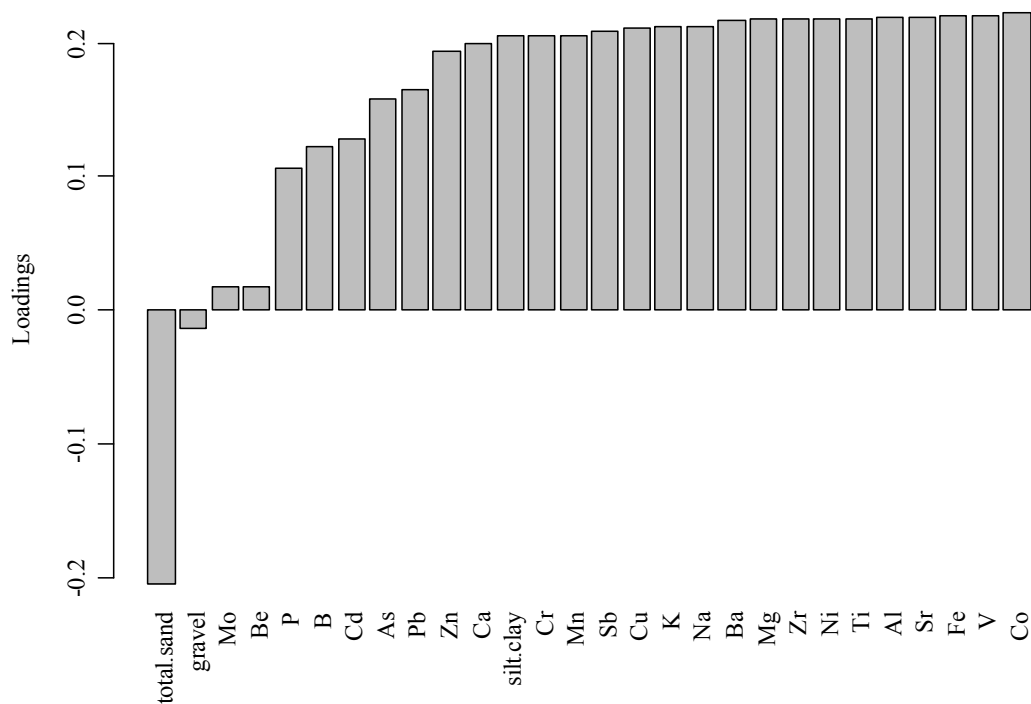


Figure 33. First Principal Component Loadings Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination

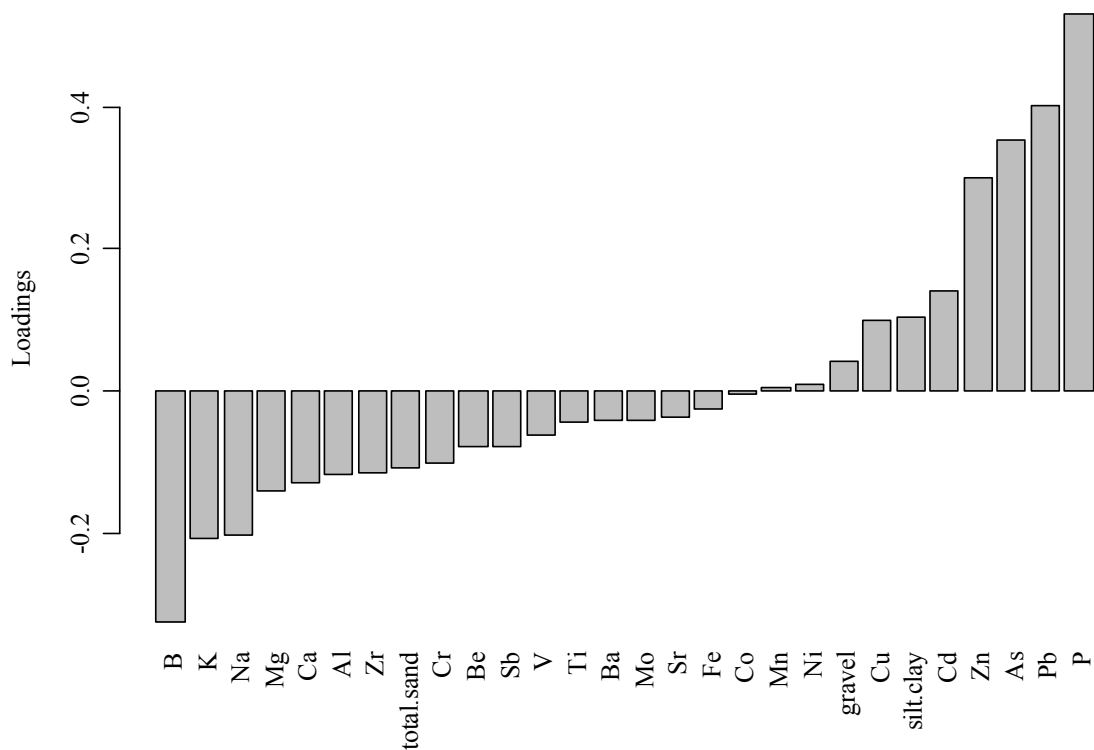


Figure 34. Second Principal Component Loadings Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination

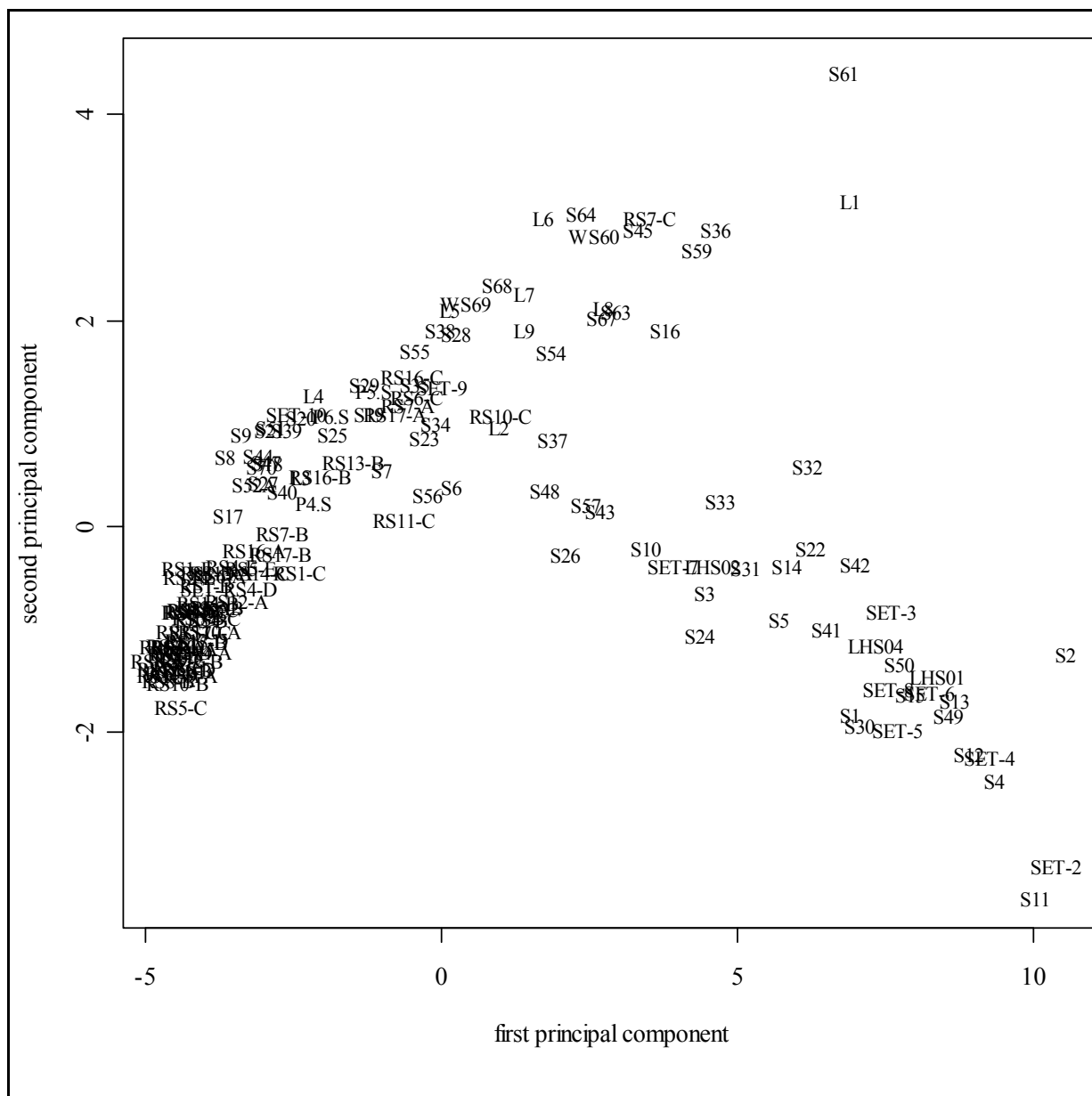


Figure 35. Component 1 versus 2 Scores Plot for Sediment Chemistry and Physical Variables Ordination

UNCLASSIFIED

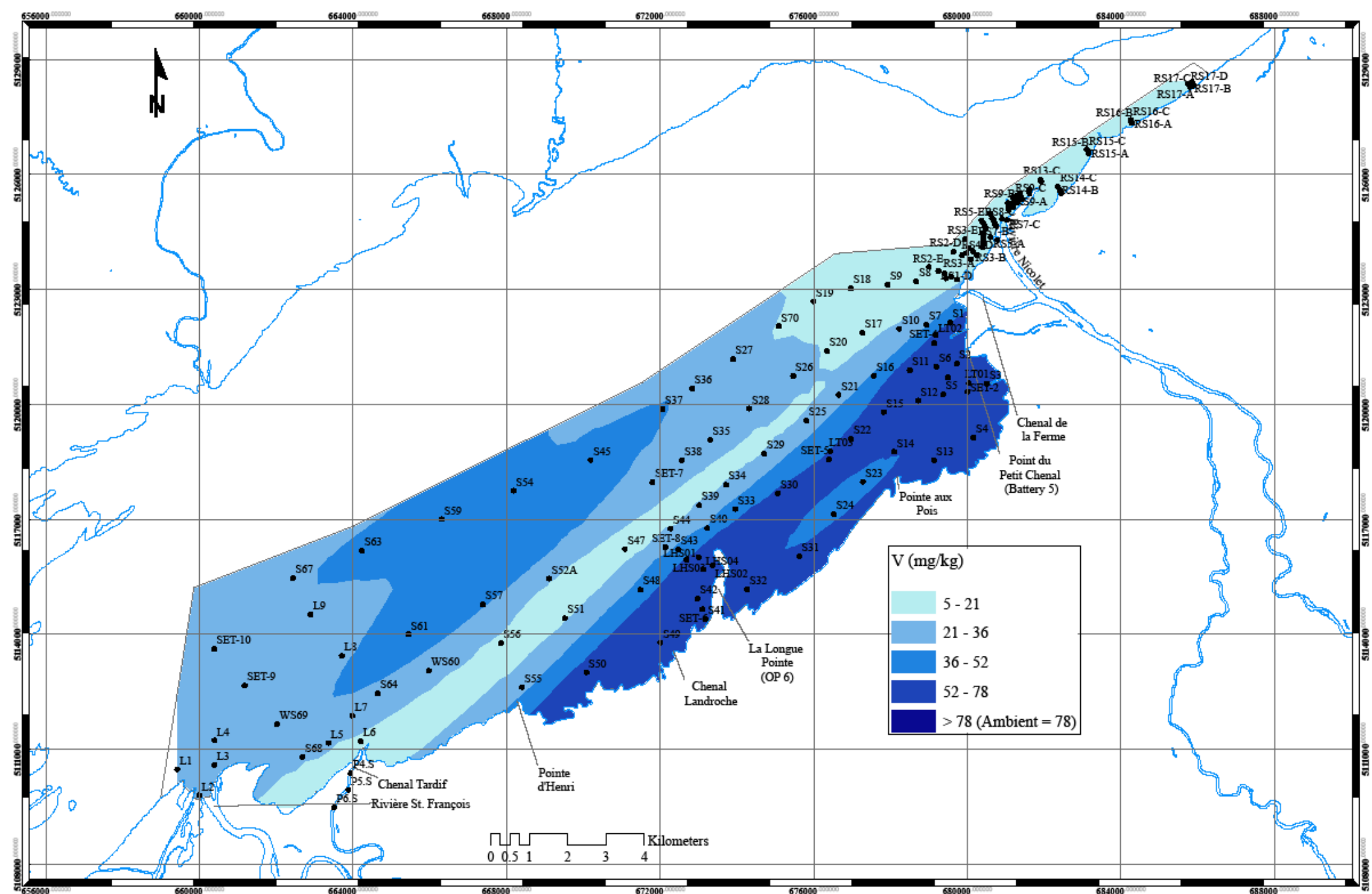


Figure 36. Vanadium (V) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend

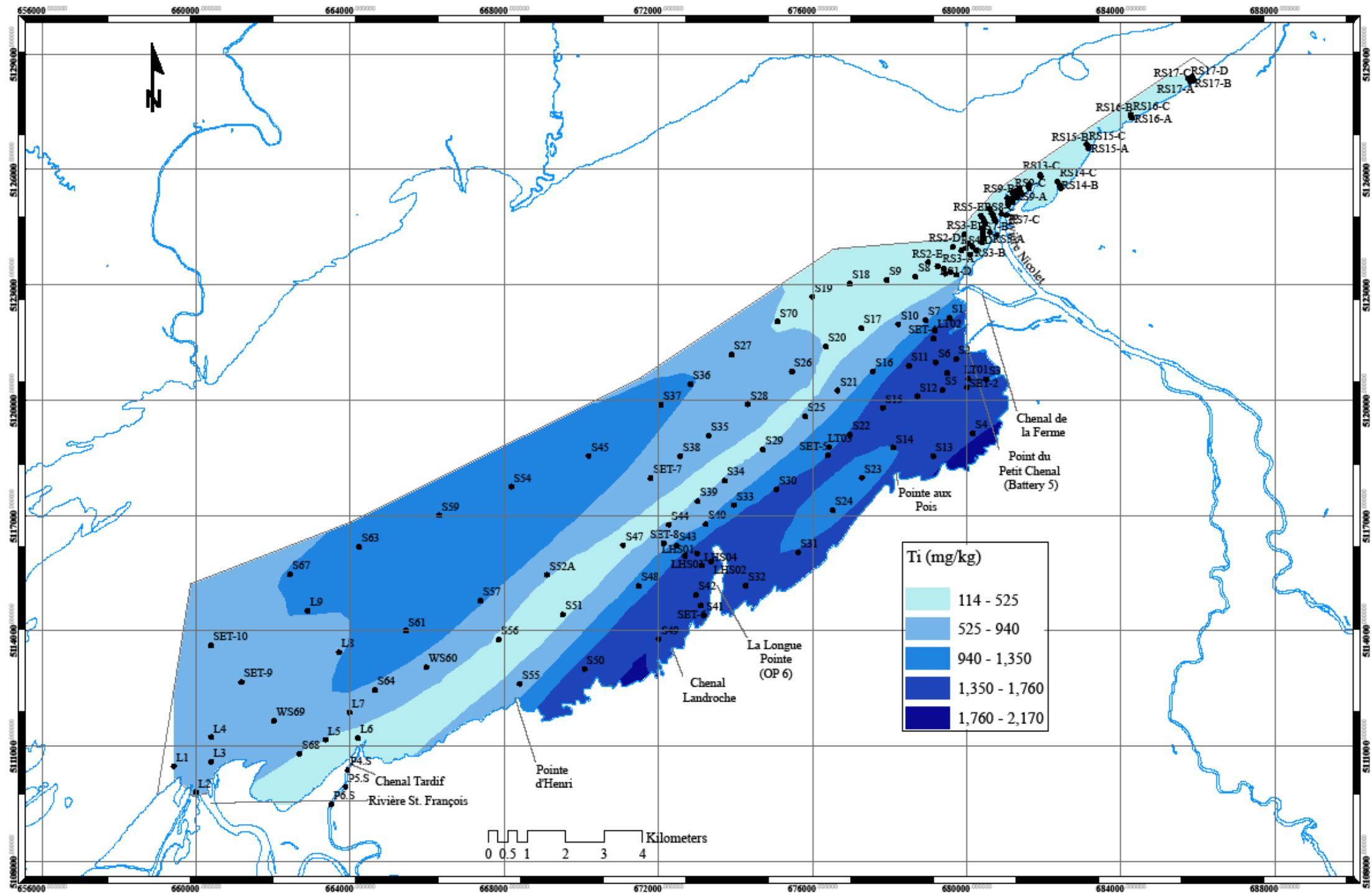


Figure 37: Titanium (Ti) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. Linear trend, spherical anisotropic variogram.

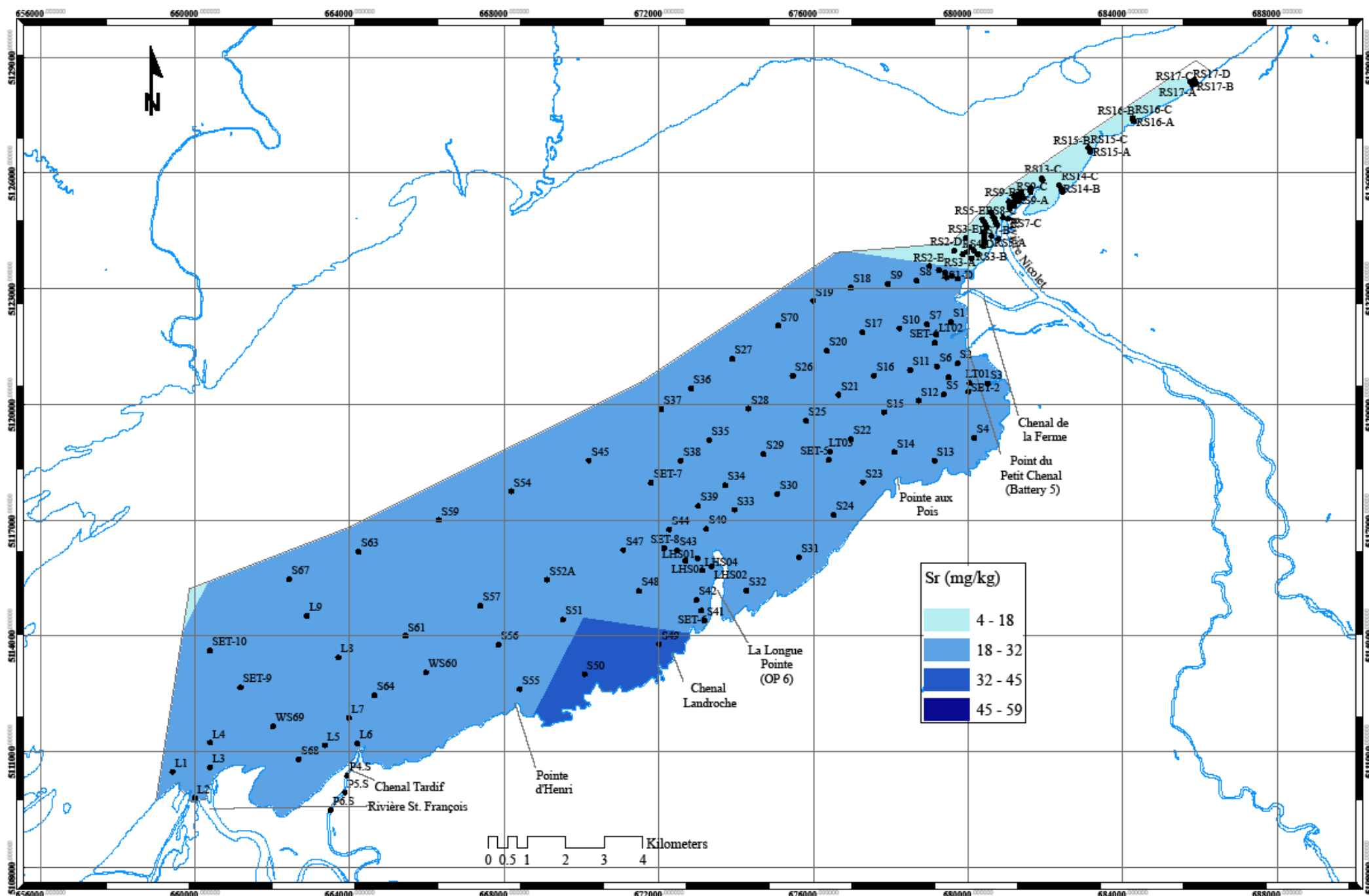


Figure 38. Strontium (Sr) in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre. No trend, spherical anisotropic variogram but non-anisotropic variogram fits equally well.

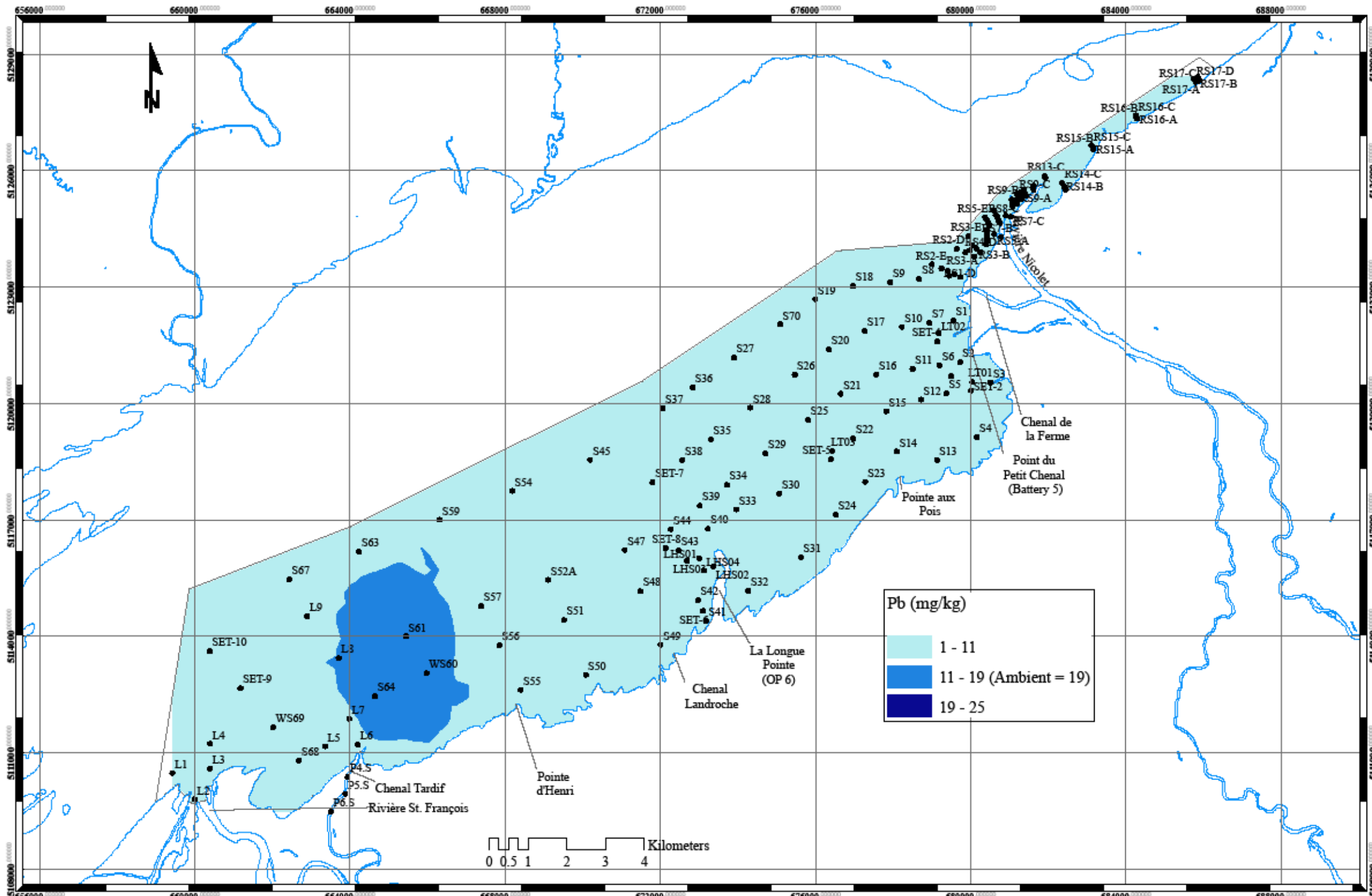


Figure 39: Pb in Surficial Sediments of Lac Saint-Pierre

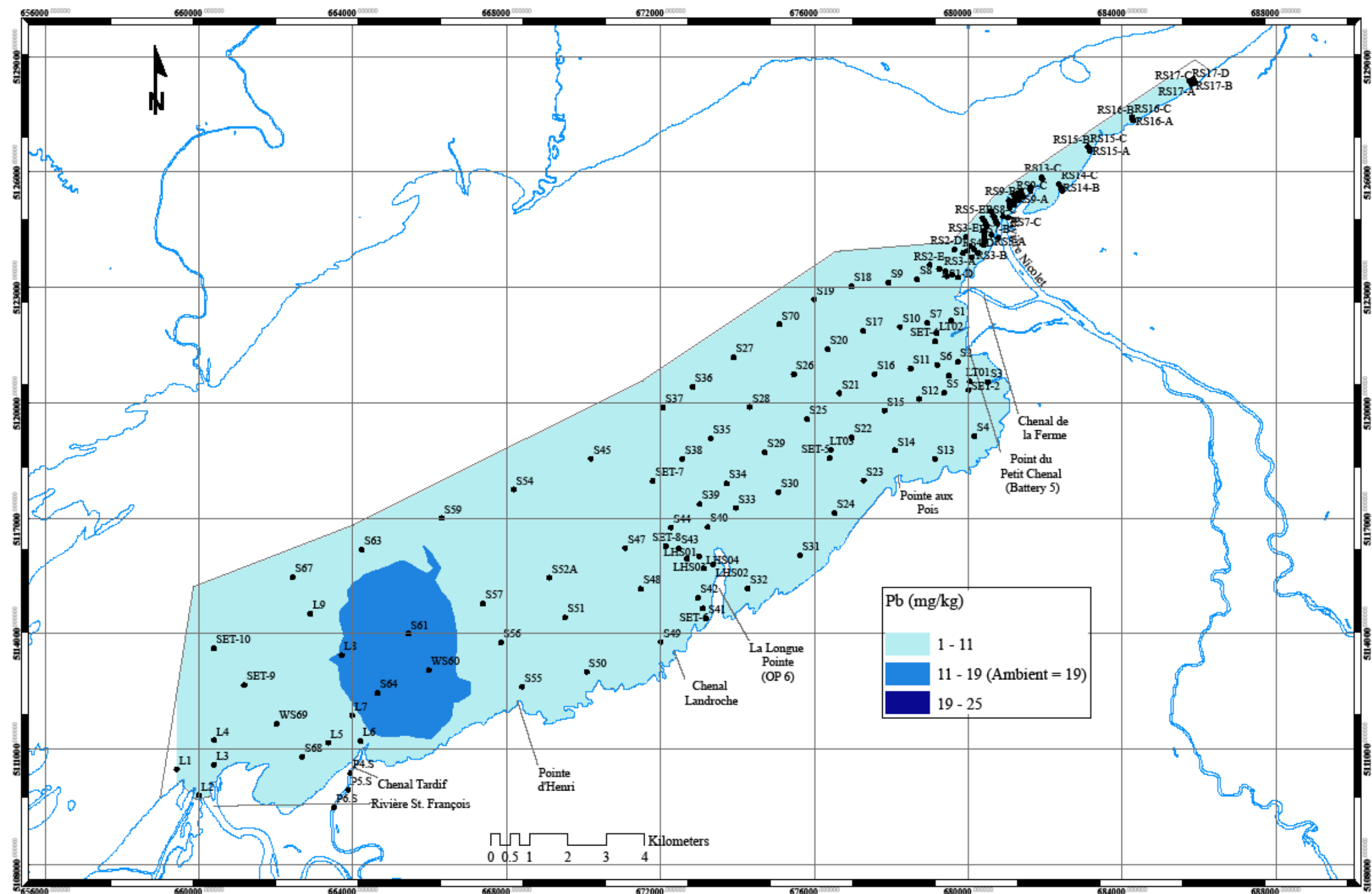


Figure 40. Phosphorous (P) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, and an isotropic spherical variogram.

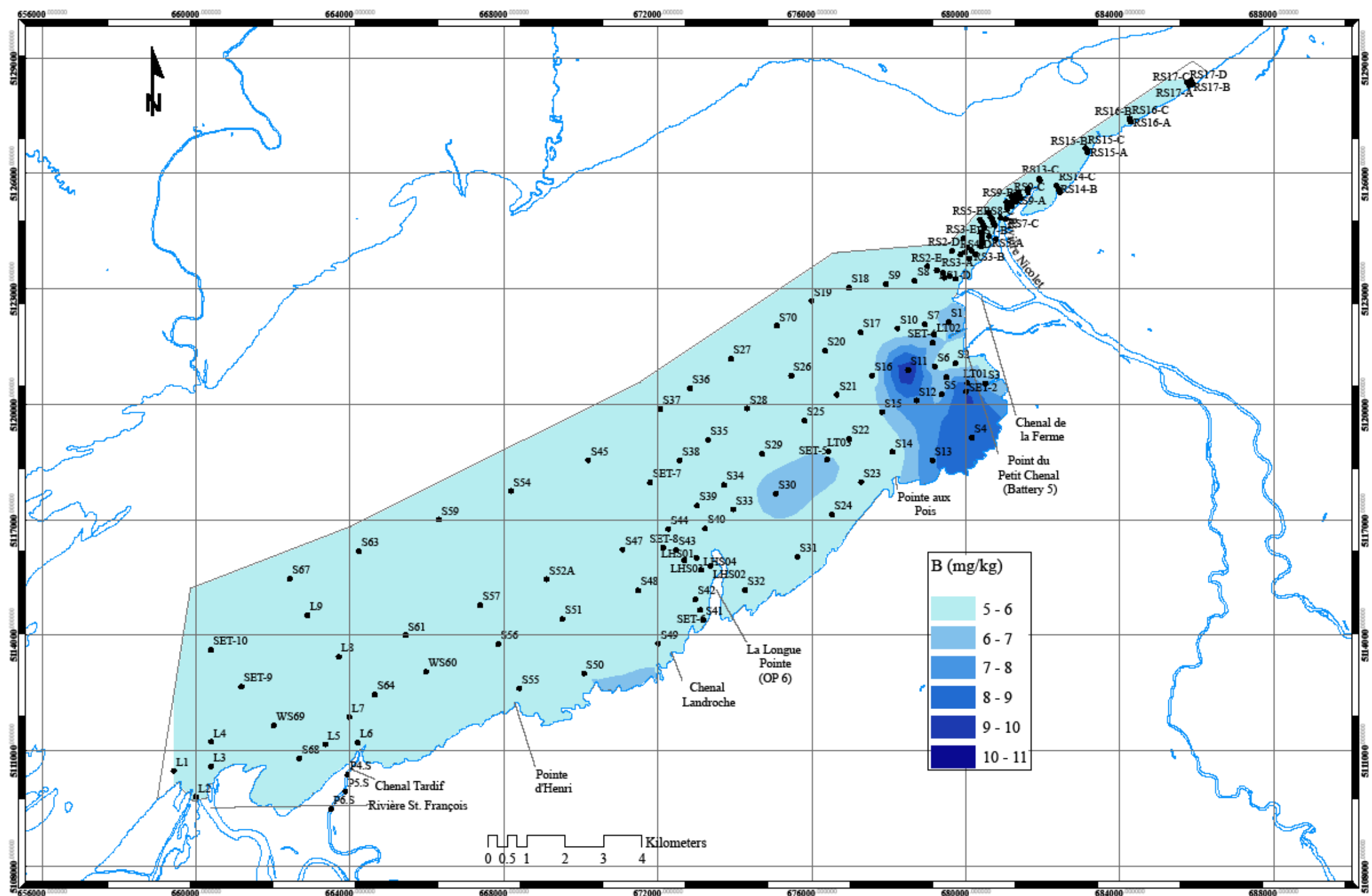


Figure 41 Boron (B) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, local linear trend, isotropic exponential variogram.

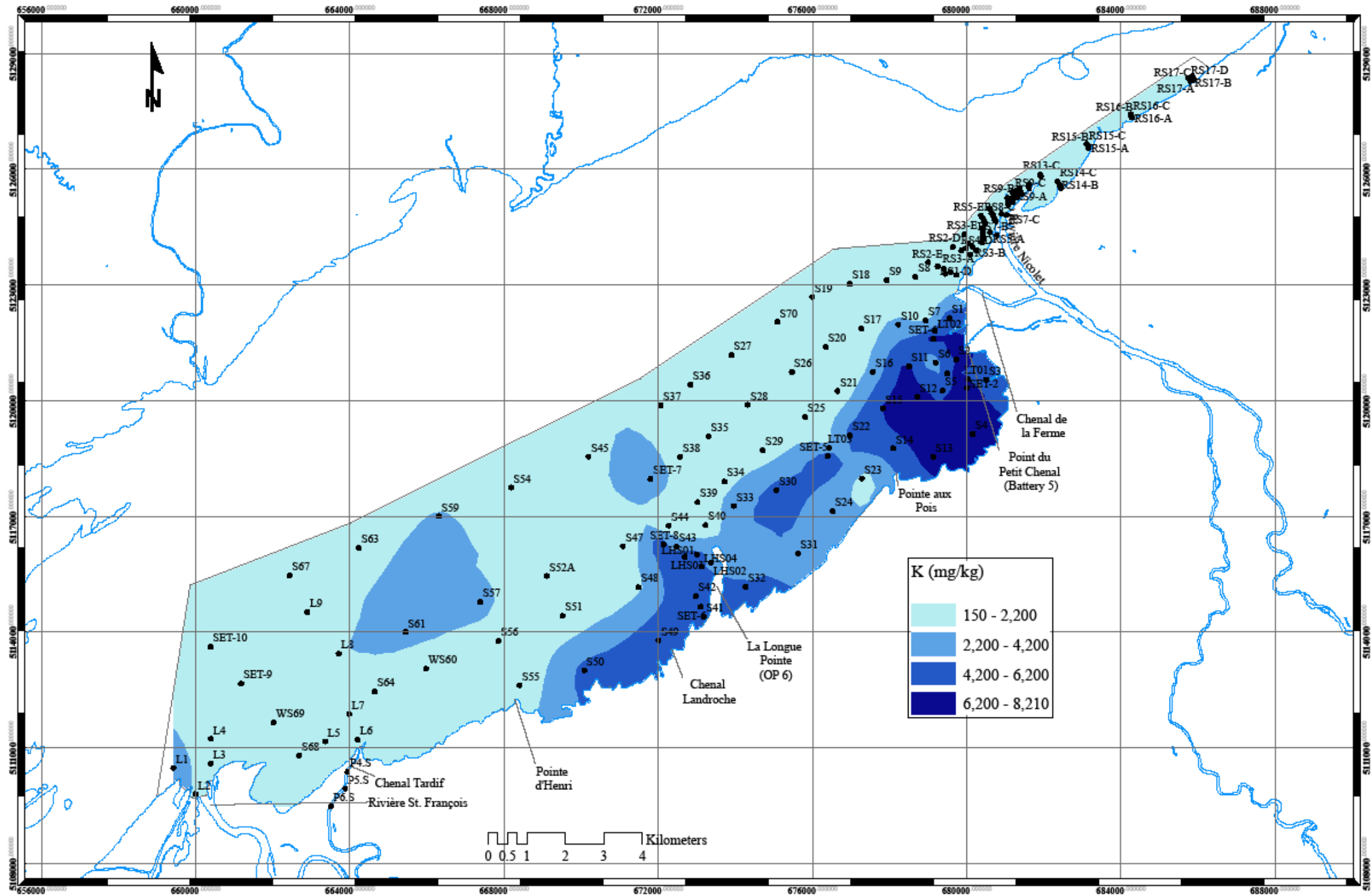


Figure 42. Potassium in (K) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre. Model fitted using ordinary kriging, non-trended, anisotropic spherical variogram.

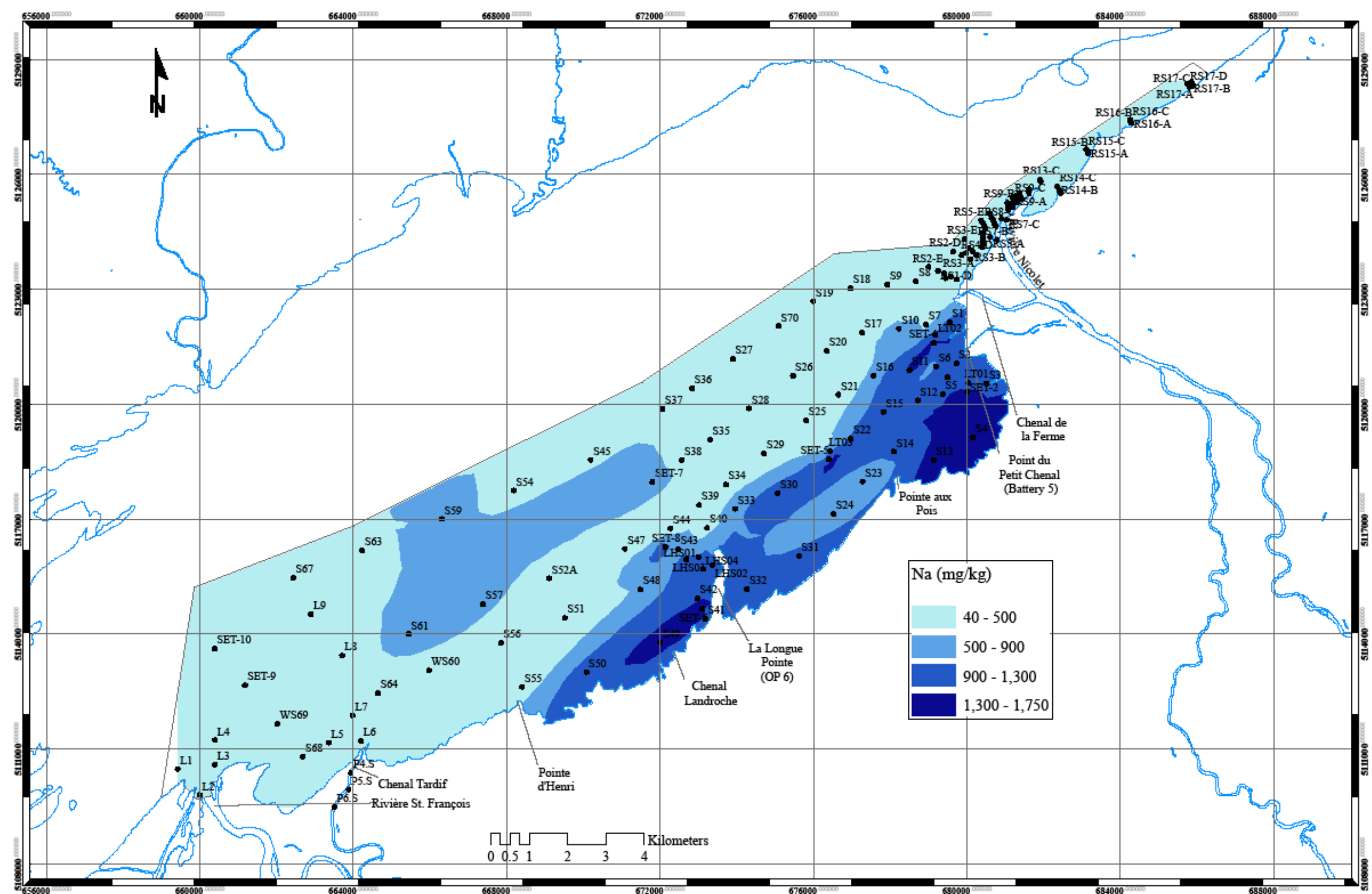
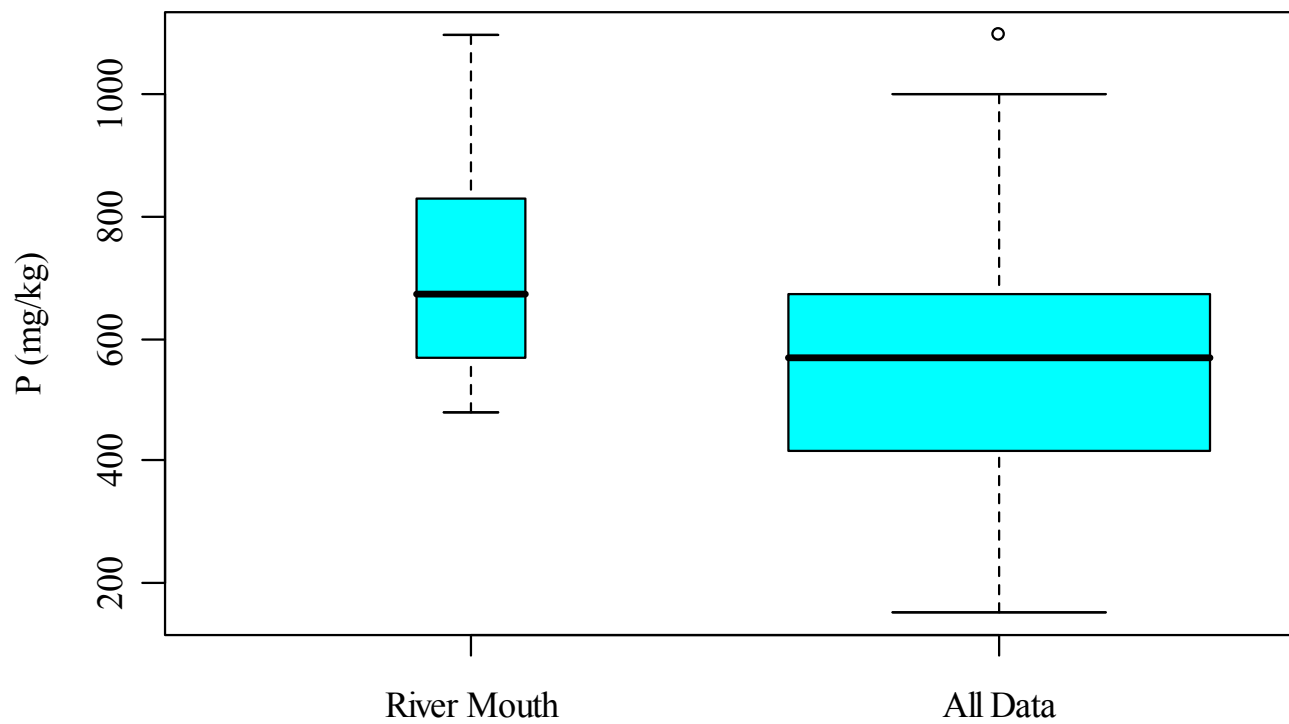
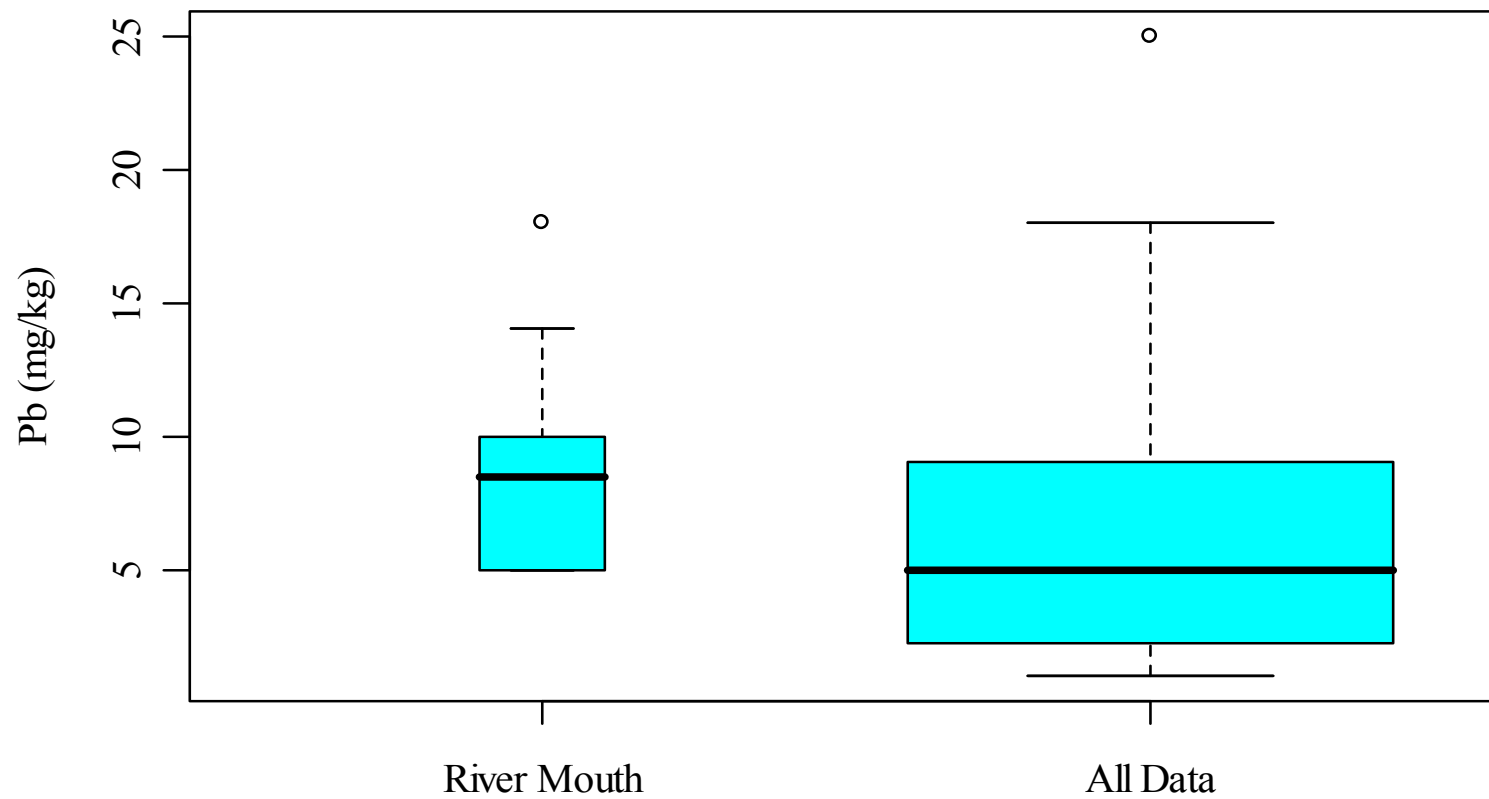


Figure 43. Sodium (Na) in surficial sediments of Lac Saint-Pierre.



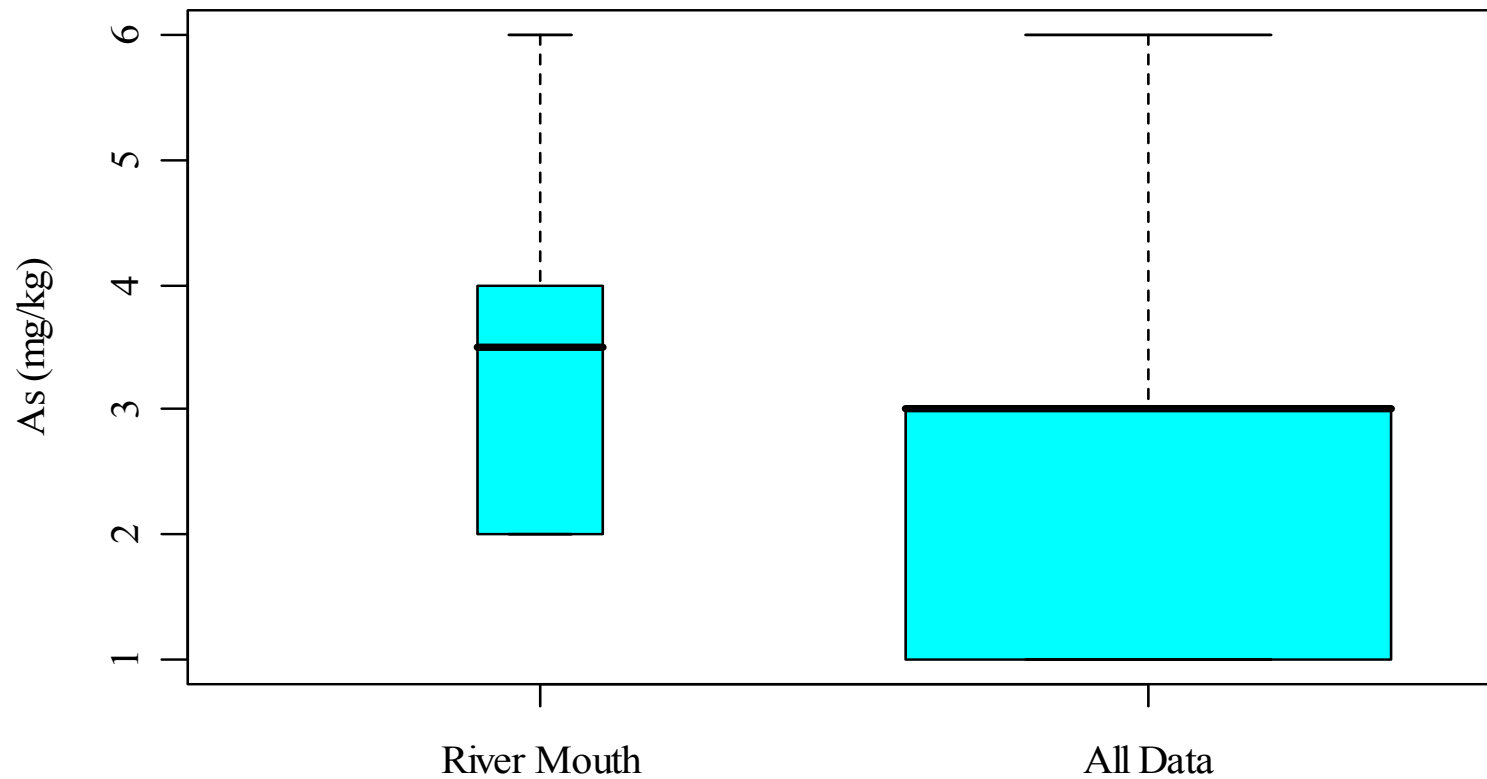
(box width proportional to sample size)

Figure 44. P in sediments of River Mouth versus Lac Saint Pierre.



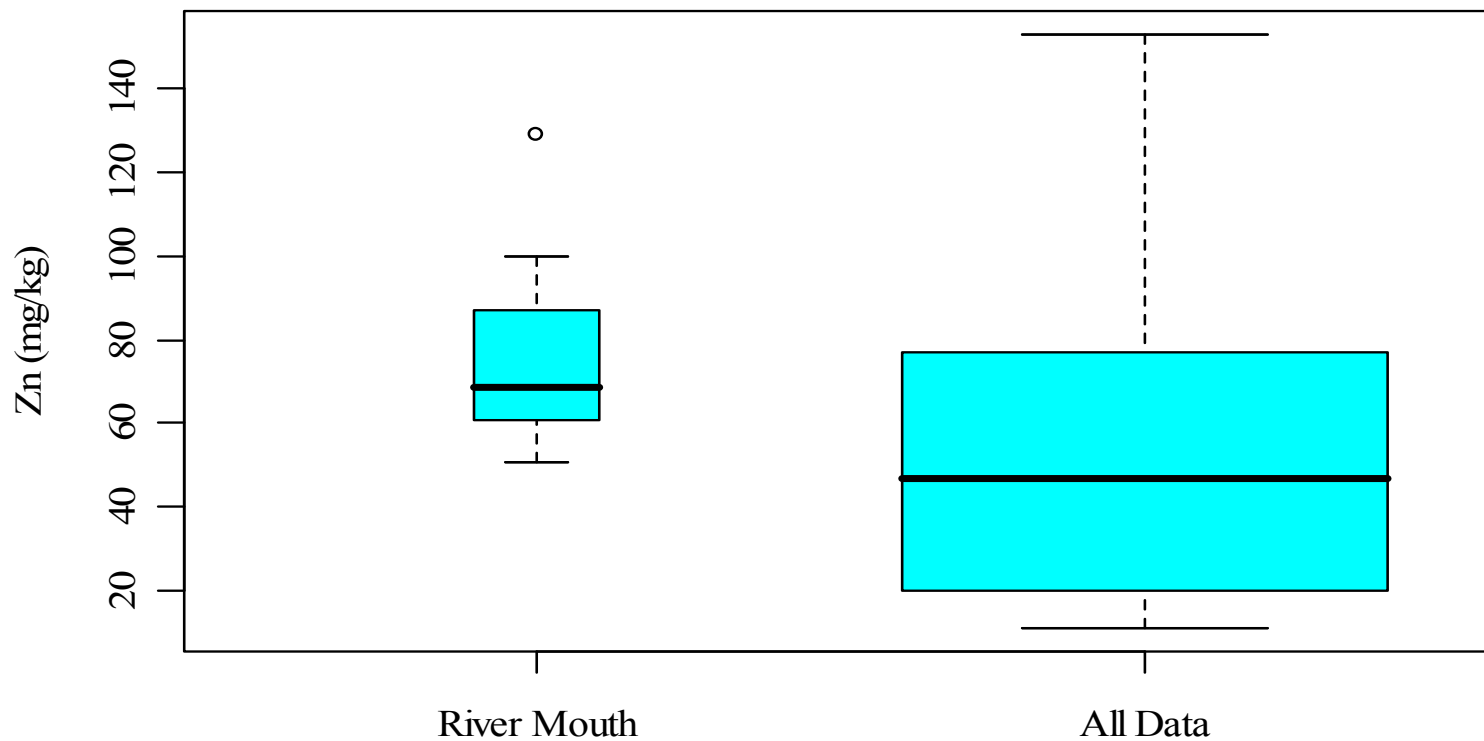
(box width proportional to sample size)

Figure 45: Pb in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region



(box width proportional to sample size)

Figure 46: As in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region



(box width proportional to sample size)

Figure 47: Zn in River Mouth versus Lac Saint-Pierre Region

5.4.5.3. Sediment Quality Index

186. A Sediment Quality Index (SQI) using EC-MDDEP OEL's, based on levels of Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se and Zn, was applied to all surficial sediment sites to determine sediment quality across the southern portion of Lac Saint-Pierre. Hg was not included as an analyte because it was not measured in 2007.
187. The majority of sediment in the Lac Saint-Pierre region is classified as "excellent" (Figure 48). Portions of the southern shore are labelled as "good" or "fair". The area offshore of the St. Francois River is designated as "good". There is little marginal or poor sediment in LSP (Figure 49).

5.4.5.4. Change over Time

188. Repeat sampling of surficial sediments was done at the sites shown in Table 16, and Figure 50 to assess temporal distribution of metals. Site selection was according to the rationale discussed in Annex 2 and to some of the sites sampled by Environment Canada in 2000 [4]. Detailed results and analyses are presented in Annex F.
189. Only the metals presented in Figure 51 and Figure 52 exceeded the SQG minimum. No temporal trends were evident. Many of the observations were at detection limits (notably Hg, Figure 51). Variability was greatest at site S3, furthest from the shore. Site S3 had lower concentrations of many analytes relative to those inshore.

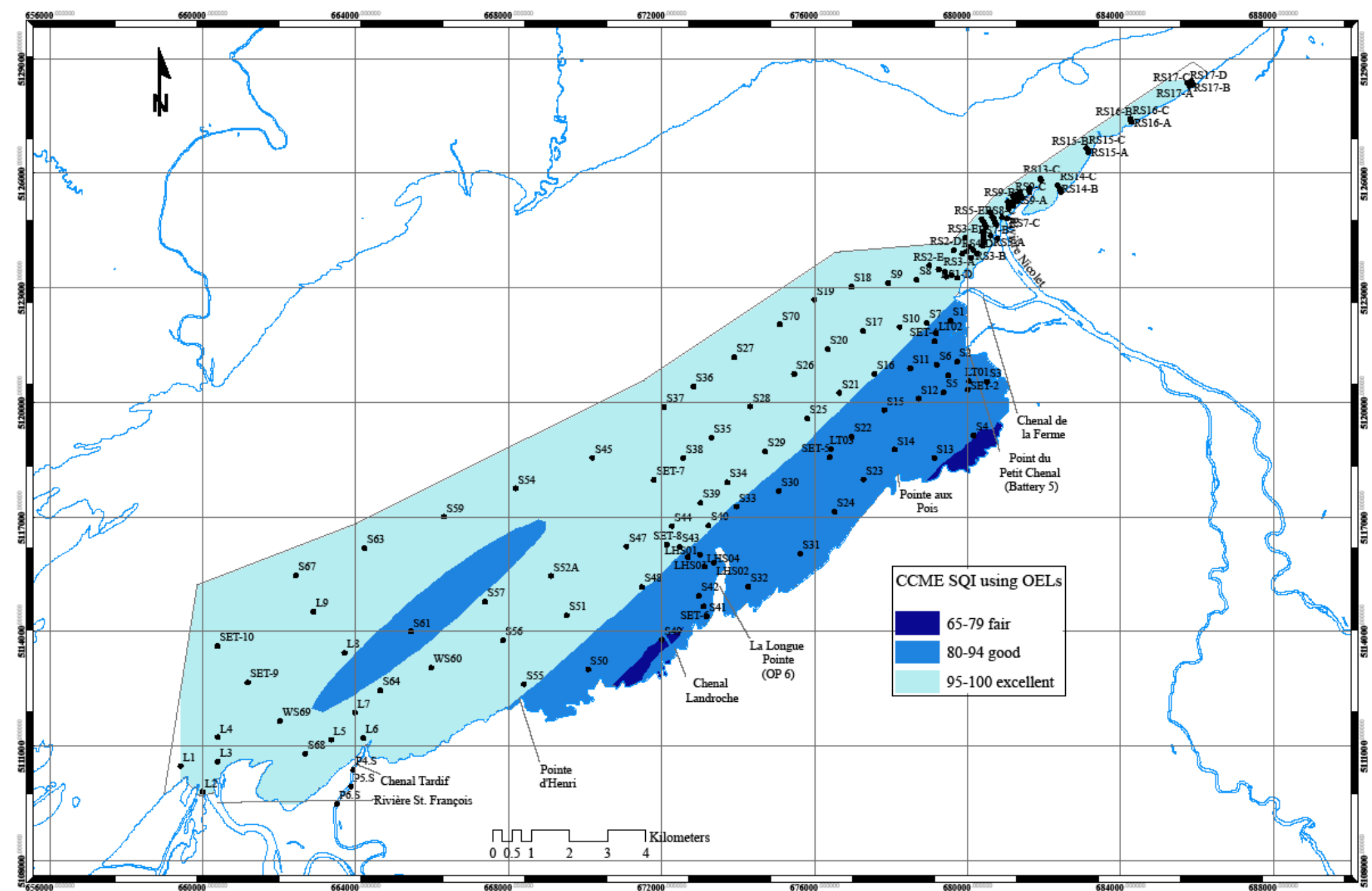


Figure 48. LSP Regional SQI Using EC-MDDEP OEL. Ordinary kriging using global polynomial interpolation, an exponential anisotropic variogram.

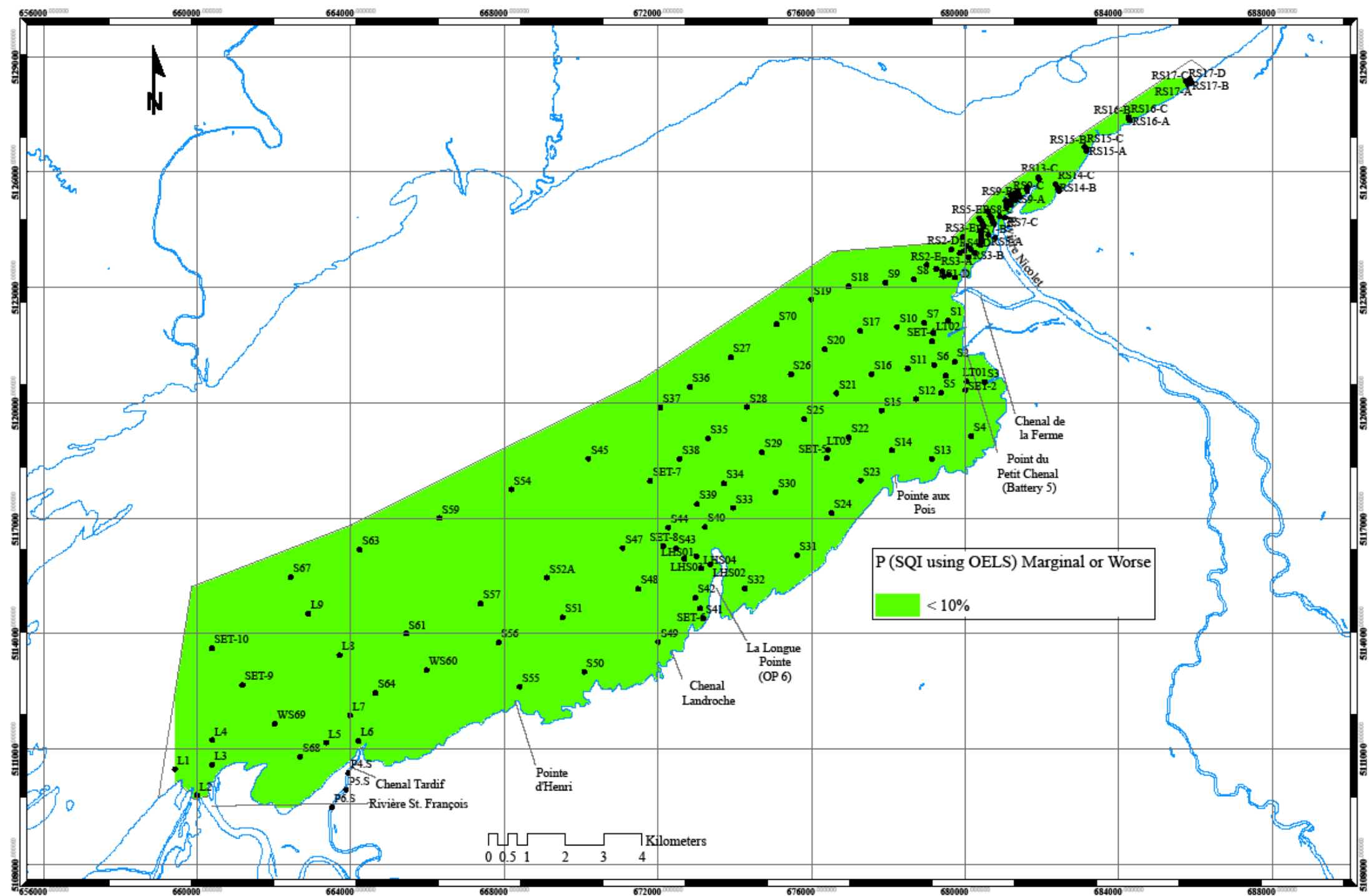


Figure 49. P (SQI Marginal or Worse) using EC-MDDEP OEL, LSP Region. Ordinary kriging using global polynomial interpolation, an exponential anisotropic variogram.

Table 16. Temporal Surficial Sediment Sites

Sediment	Easting	Northing	EC [4]	2004	2005	2006
1	680015	5120344	A1	ET3	S.ET2	LT01
2	676395.3	5118569.13	C4	ET7	SET5	LT03
3	679142.5	5121608		IN8	S.ET4	LT02
4	679499	5120715		IN6	S.ET3	Not sampled

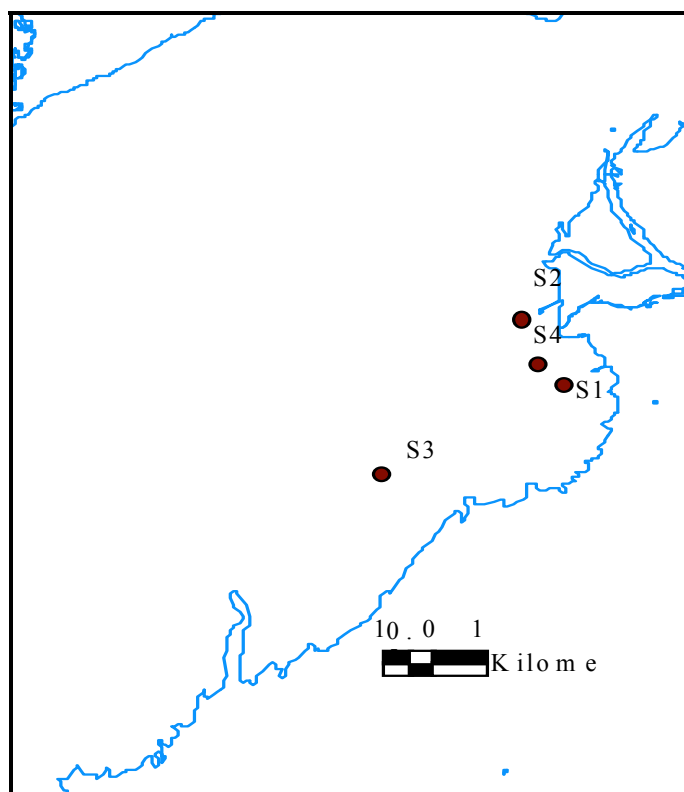


Figure 50. Surficial sediment sites for which repeat samples were collected for temporal analyses.

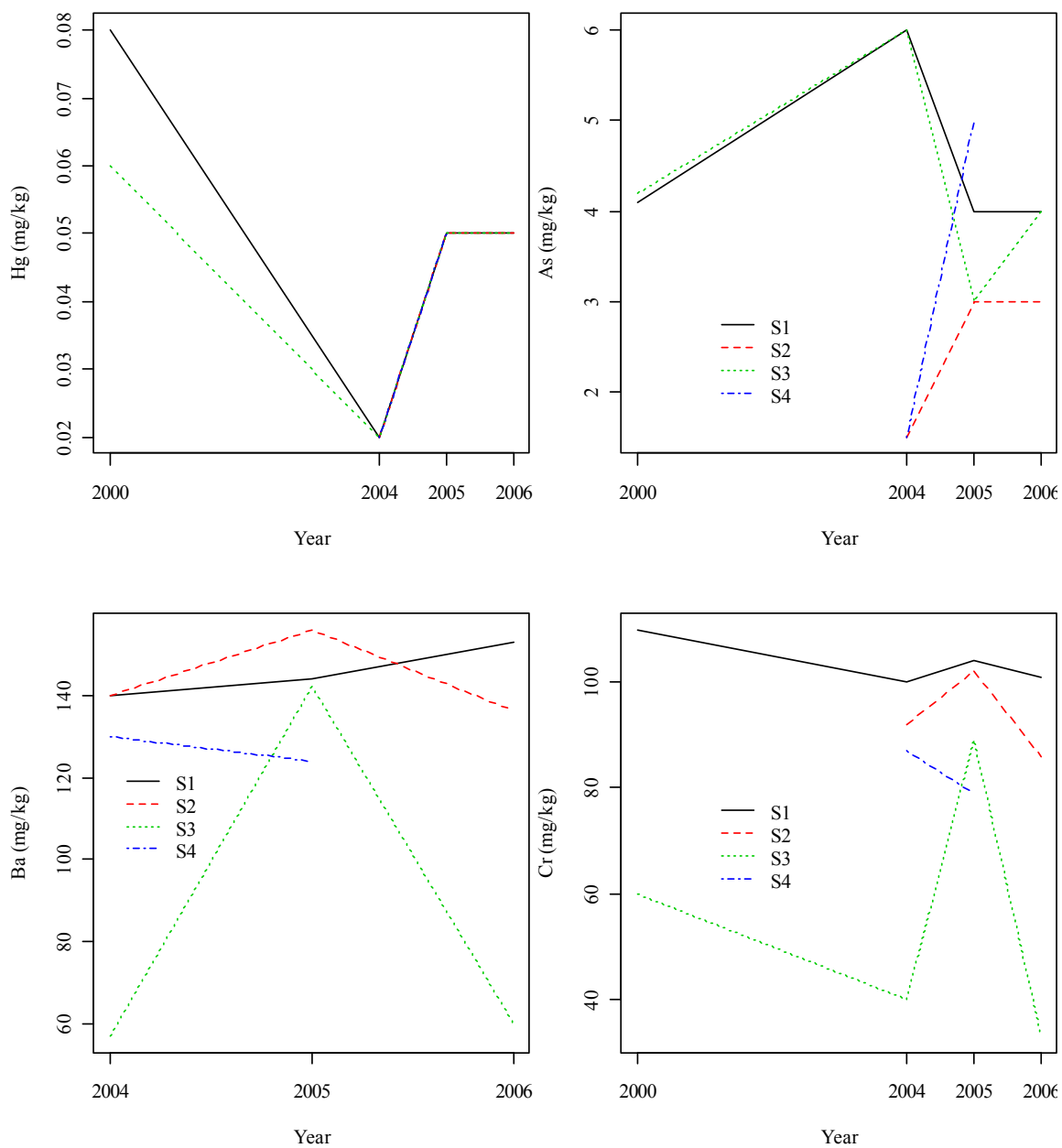


Figure 51. Temporal Patterns of Hg, As, Ba and Cr levels in Surficial Sediment of Lac Saint-Pierre.

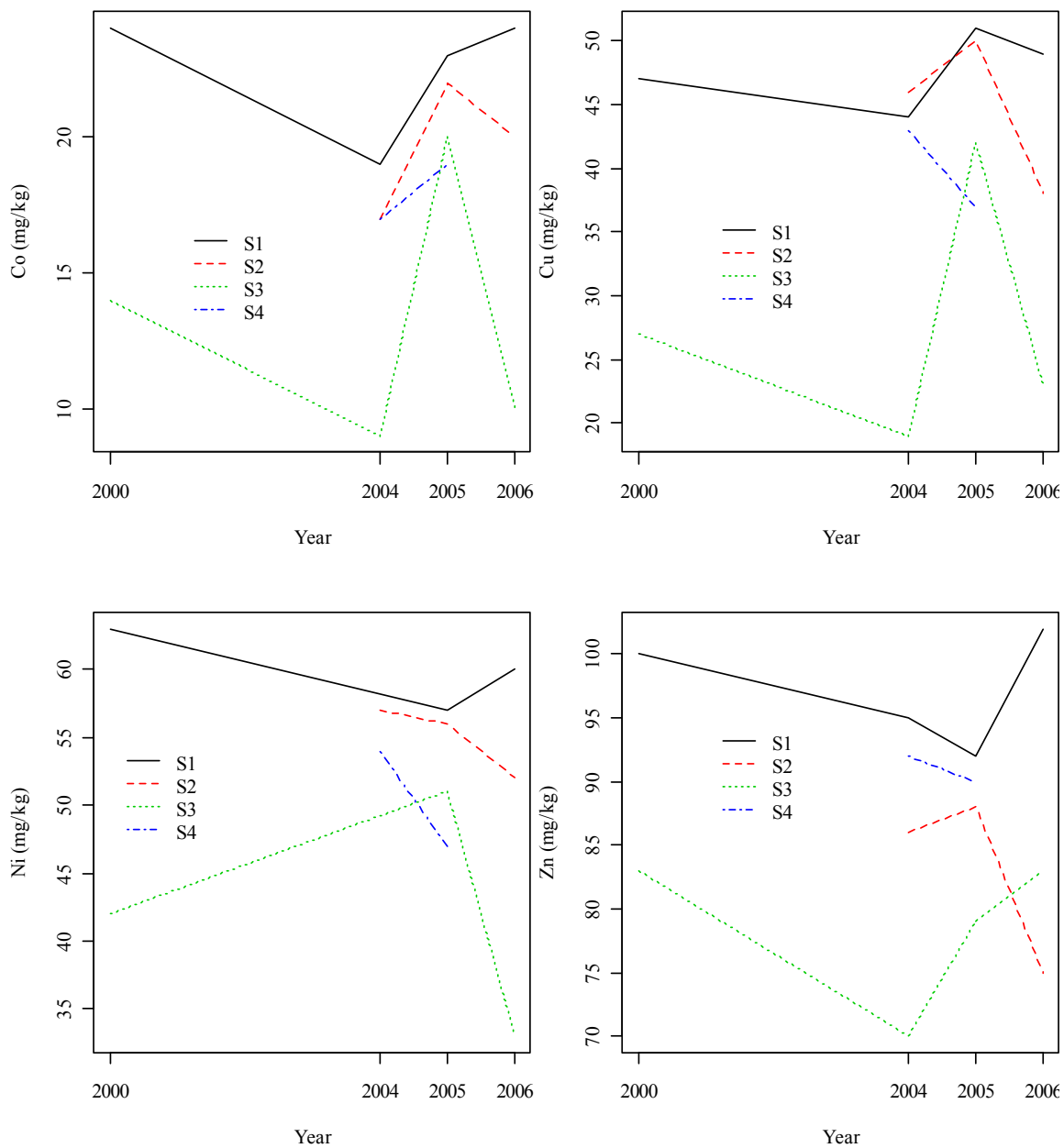


Figure 52. Temporal Patterns of Co, Cu, Ni and Zn in Surficial Sediment of Lac Saint-Pierre.

5.4.6. Summary and Conclusions

190. Samples were from sites within LSP, in the Tardiff channel and in the St. Lawrence River immediately downstream of LSP. These were analysed for particle size and TOC for the concentrations of EM and EM degradation and transformation products, metals, pesticides, anions, PAHs and PCBs. Quality was assessed by comparing results to EC-MDDEP (2007) Occasional Effect Levels (OEL) and by employing the CCME Sediment quality index (SQI).
191. The distributions of coarse and fine materials were mapped and assessed with respect to source, transport and fluvial disturbance. The relationships among particle-size distribution, TOC, and the spatial distribution of contaminants were examined along with historical information and data from other studies of the region.
192. Sediments in LSP are heterogeneous mixtures of pre-industrial and post-glacial alluvial and fluvial deposits and deposits from run-off, tributary or channel inputs, bank erosion and spring flooding;
193. Sedimentation is low in the deeper zones of LSP; sedimentation in the inshore zone occurs in the summer months as a result of reduced water depth, reduced current and increased vegetation. Three zones were identified: one predominantly sand; two predominantly silt or clay.
194. TOC in LSP sediments ranges from 0.09 to 3.91 % with a mean of 0.82%; levels were elevated at river outfalls and at deltas where finer silt or clay is present. Organic compounds such as pesticides were negligible in the study area; PCBs were found at only one site and at a level consistent with other previous findings on the St. Lawrence River where no local point source was identified.
195. Energetic materials were detected at very low levels in some sediment sub-samples. A follow-up study on EM spiked samples found that LSP sediments have the potential to rapidly degrade and mineralize RDX and HMX.
196. PCB's and pesticides were negligible. PAHs are ubiquitous in surficial sediments. The highest concentrations are found along the south shore of LSP and at the river deltas, tributary outfalls, or channel mouths where sedimentation of fine particles occurs. The sources are thought to be diffuse (atmospheric deposition, water flowing from Lake Ontario; inputs from the Tardiff and St. Francois Rivers);
197. Metals were ubiquitous in LSP sediments but only Sb, As, Cr, Co, Cu, Mg, and Ni were at concentrations above ambient levels; of these, only Cr, Ni and Cu exceeded OEL. Although Cr, Ni and Cu exceeded the OEL and are associated with munitions activities, the sources are likely historical or geological;

198. The highest metals levels were generally restricted to a 2-km radius of Longue Pointe on the south shore and to the south-eastern basin and the south-western part of the south shore within the deposition zones for suspended particulate inputs from the mouth of the Tardiff and St. Francois Rivers and extending northeast toward the channel.
199. There were no temporal trends evident in metal concentrations at sites S1, S2, S3, S4, between 2000 and 2006.
200. Based on the SQI using EC-MDDEP OEL's, the majority of sediments in the Lac Saint-Pierre region, particularly offshore and downstream of Lac Saint Pierre, are "excellent". Those in areas of the southern shore are "good" or "fair"; those offshore of the St. Francois River are "good".
201. For porewater, CVAC exceedences were as follows: Al and Fe at almost all of the 25 sites; Mg (8 sites), Zn (8), V (5), Pb (4) and Ag (3); and Ba, Cd, Cr, Cu, and Ni (1 site). Several metals were in exceedence at sites SET1 and SET10. These are predominantly sandy.
202. For elutriate samples, CVAC exceedences were as follows: Al at all 18 sites; Fe at sites SET2-SET6, SET8-SET10 and LHS04; Ag at LT2 and LHS01-LHS04; and Zn at SET1, SET2, LT2, LHS01 and LHS02.
203. Porewater and elutriate results suggest that although variable with analyte, loadings of some metals would increase with disturbance of sediment.

5.5. DEPTH SEDIMENT PROPERTIES AND CHEMISTRY

5.5.1. Introduction

204. Depth sediments were investigated to assess their quality with regard to analytes related to UXO and to legacy contaminants from the St. Lawrence River system or the local watershed that might be resuspended into the water column during clearance activities.
205. Samples were collected over a two-year period (2005-2007) from sites along the principle firing axis and from an area at the outfall of the Chenal Tardiff. Site locations are presented in Figure 8. The rationale for site selection is presented in Annex B. Details of the methods used to collect, process, analyze and QA samples are presented in Chapter 4 – Methodology and in Annexes D and E.
206. Physical characterization of sediments was by particle size composition and TOC. Chemical characterization was by concentrations of EM, EM degradation or transformation products, other organic compounds (PCBs, PAHs and pesticides) and of metals. Analytes are listed in Chapter 4 – Methodology and in Annex D. This chapter presents the results of the physical and chemical analysis of depth sediments in the study area. Raw data can be found in Annex F.
207. The results are grouped by sites, those within the primary firing axis from Chenal de la Ferme to Longue Pointe and those at the outlet of the Rivière St. Francois through the Tardiff Channel. Particle size is categorized according to ASTM standard. Concentrations of analytes were assessed by reference to EC-MDDEP (2008) Occasional Effect Levels (OEL) and to LSP ambient levels [30]. Concentration of metals in porewater and elutriate samples were compared to the CVAC and CFTP [30]. The distribution of properties and analytes are presented.

5.5.2. Physical Characteristics

208. Particle size and TOC were determined for each sediment horizon to provide an historical overview of sedimentation and insight into the sources of AOPC.

5.5.2.1. Particle Size and Distribution

209. Depth sediments ranged from fine silt and clay to coarse sand. Depth sediment along the primary firing axis were predominately clayey (Figure 54). Two samples at two sites, both at the near-surface horizon (WCA2 (0-50), WCA4 (0-50) had a major sand component. Sediments at the outfall of Chenal Tardiff varied with depth, with inter-layered silt, sand and clay (Figure 55).
210. Following Saulnier and Gagnon, 2006 [16], sediments with more than 26,900 mg/kg Al or that were below a postglacial clay horizon were identified as postglacial clay (Figure 54, Figure 55). For depth sediment samples along the firing axis, 30% contained

significant amounts of postglacial clays. For those at the outfall of the Chenal Tardif, less than 10% contained significant amounts of postglacial clays.

5.5.2.2. Total Organic Carbon (TOC)

211. Total organic carbon (TOC) of depth sediment ranged from 0.3 to 0.69 %. Along the primary firing axis, from Chenal de la Ferme to Longue Point, TOC ranged from 0.27 to 0.69%, with a mean of 0.54%. At the outfall of the Chenal Tardiff, TOC was more variable and ranged from 0.3% to 2.7%, with a mean of 1.2%.

212. There was no correlation evident between particle size and TOC. Higher TOC in the 0-50 cm horizon at site FC1 likely reflects recent seasonal inputs.

5.5.3. Energetic Material (EM)

213. Depth sediments were analysed for EM, EM degradation and transformation products. No EM or EM degradation or transformation products were found.

5.5.4. Other Organic Compounds

214. Depth sediments were analysed for other organics including PCBs, PAHs, pesticides and triazine herbicides. They were evaluated for exceedances of the occasional effect level (OEL) of the EC-MDDEP Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation [44]. In addition, total PCBs, and PAHs were compared to LSP ambient levels of the EC-MDDEP.

215. No PCBs, pesticides or herbicides were found. PAH's did not exceed OEL in any sample from the primary firing axis; levels were below LSP ambient for all samples. However, one sample from the outfall of the Chenal Tardiff, at site FC1 (50-100 cm), was found to have the PAH phenanthrene at 0.17 mg/kg, exceeding the OEL of 0.13 mg/kg. The PAHs Benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, chrysene, fluoranthene, and pyrene were also found in this sample, but levels were below the OEL. The PAHs benzo(a)pyrene, fluoranthene, and pyrene were found in the upper horizons of sites FC2 (0-50 cm horizon), WC61(0-50 cm horizon) and FC6 (0-50 cm 50-100 cm horizons) at levels below OEL.

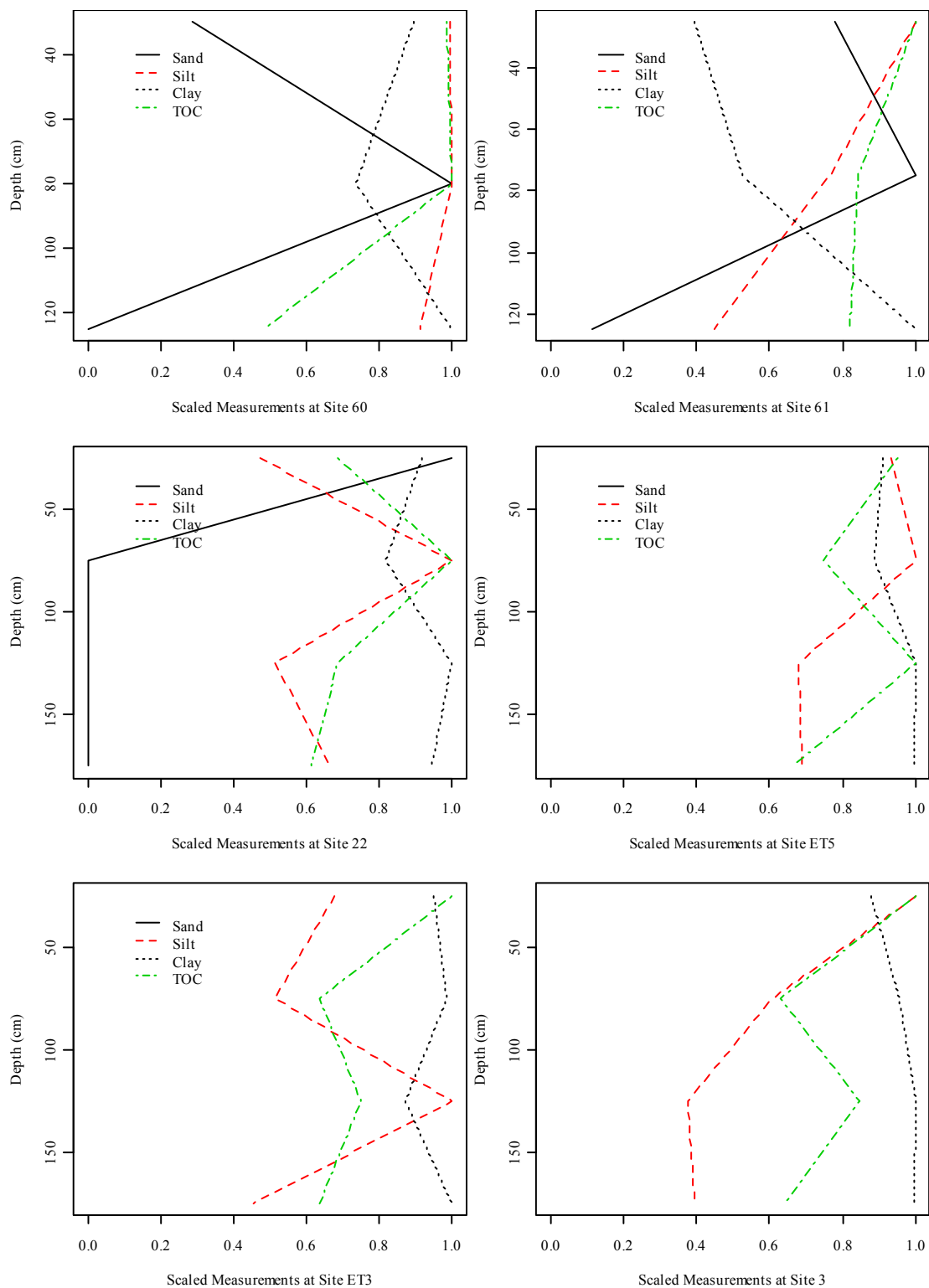


Figure 53. Depth profiles for sediment physical parameters at eastern coring sites. Site labels should be WC 22, WCET5, WCET3, F3.

216.

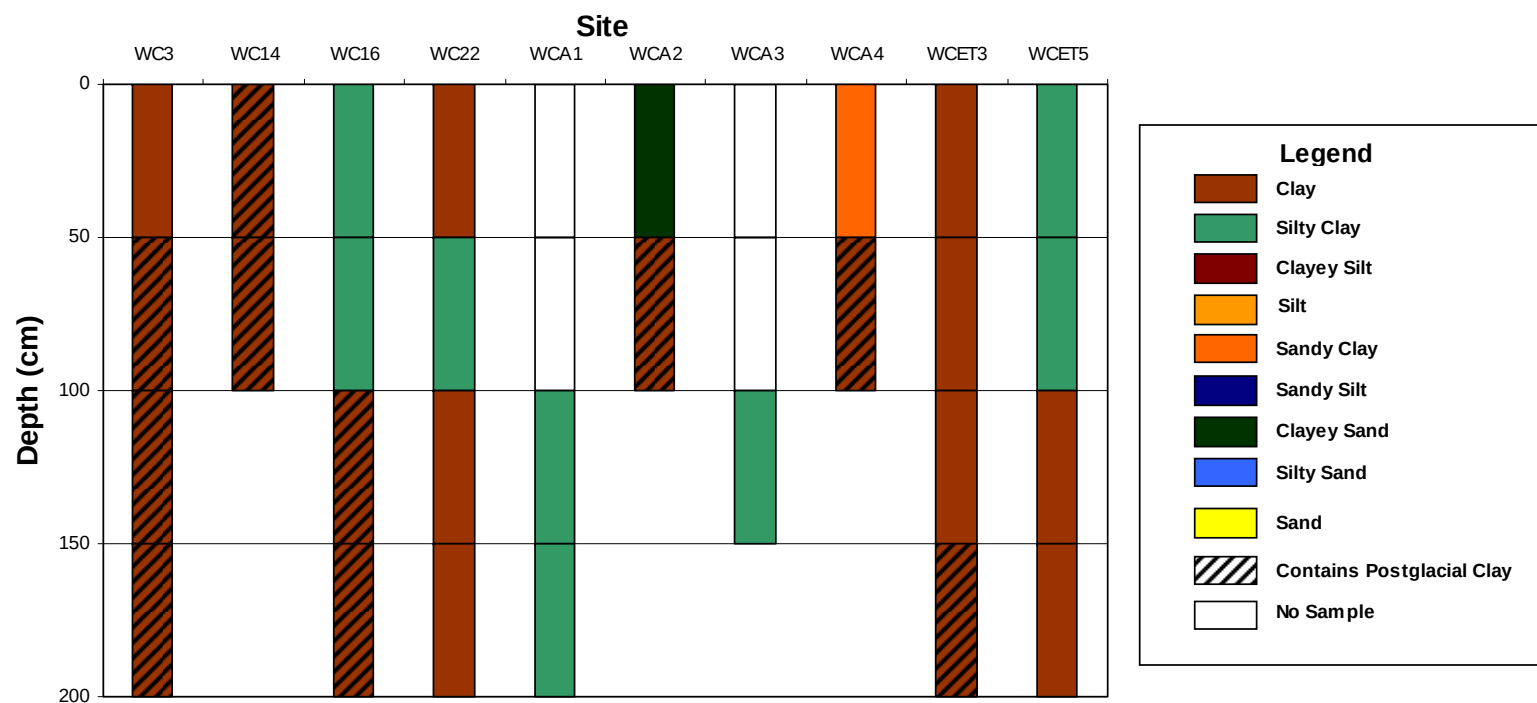


Figure 54. Depth sediment particle size at site along the Firing Axis.. Classified according to Shepard 1954 [59]. Samples with aluminum concentrations greater than 26,900mg/kg are identified Postglacial clay [16]

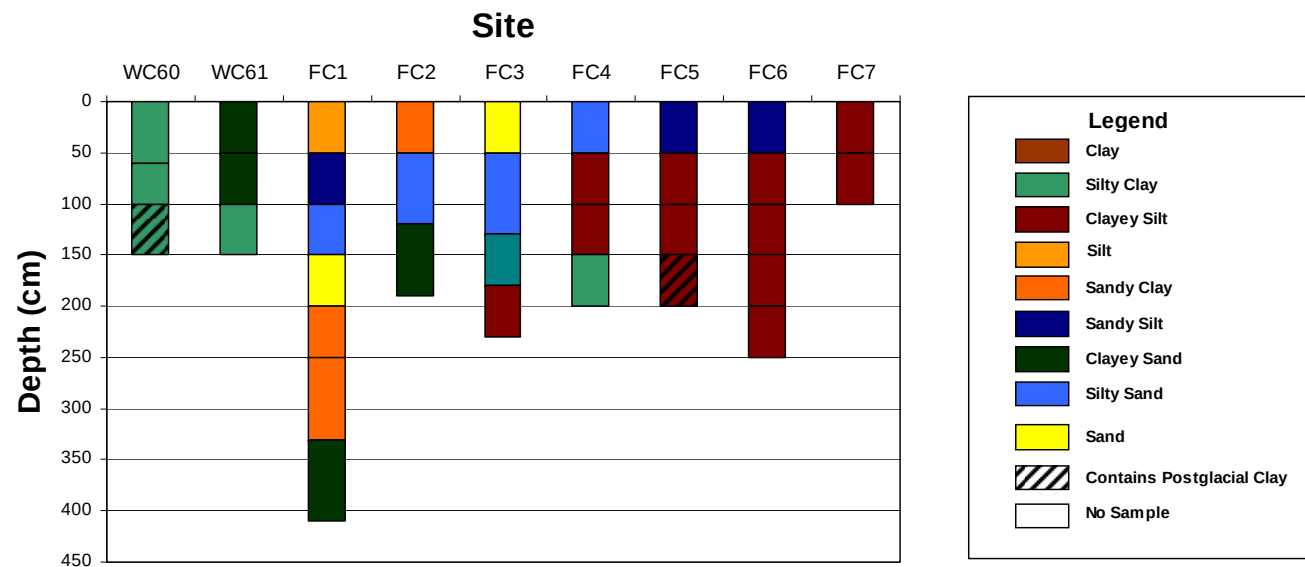


Figure 55: Depth particle size at sites at the outfall of the Chenal Tardif. Classified according to Shepard 1954 [59]. Samples with aluminum concentrations greater than 26,900mg/kg are identified as Postglacial clay [16].

5.5.5. Metals

217. Depth sediments, porewater and elutriate samples were analyzed for a suite of metals. Metal levels were compared to EC-MDDP sediment quality criteria and LSP ambient levels. Metal levels in porewater and elutriates were compared to the CVAV and CFTP. Vertical distribution sediment metal levels is presented

5.5.5.1. Concentrations, Guidelines and Ambient Levels

218. Table 17 and Table 18 summarize exceedances for metals at concentrations exceeding OEL and for those above ambient. For sites along the primary firing axis, Cr exceeded the OEL at 10 sites and in 27 samples, with Cr exceeding the PEL in almost half of the samples. Ni exceeded the OEL at 9 sites and in 17 samples.

219. For sites at the outfall of Chenal Tardiff, Cr exceeded the OEL at 6 sites and in 10 samples. Ni exceeded the OEL at 3 sites and in 3 samples. As exceeded OEL in 1 sample.

220. As, Cr, Cu, Ni and Sb were consistently above LSP Ambient Levels.

221. For porewater, the following CVAC exceedences were observed: Al at all sites (5 samples (0-50 cm)), Cd at WC61(0-50cm), Vd and Zn at WC 14 (0-50cm).

222. For elutriate, the following CVAC exceedences were observed: Al at all sites (5 samples (0-50 cm)) and Zn at WCET5 (0-50cm).

223. In summary:

- a. Exceedances for Ni and Cr in depth sediments occurred in samples collected along the primary firing axis from Chenal de la Ferme to Longue Pointe, and at the outfall of the Tardif Channel;
- b. Cr in depth sediments exceeded the OEL at 80% of the sites (n=20) and in 60% of the depth samples (n=65)
- c. Ni in depth sediments exceeded the OEL at 60% of the sites (n=20) and in 31% of the samples (n=65)
- d. Generally, the distributional pattern for both Ni and Cr concentrations in depth sediments is similar to that of the depth samples identified as postglacial clays.

224. For samples with postglacial clays, Cr exceeded OEL in all samples. Sb, Co, Cu, and Mg were above ambient levels in all samples. Fe and Ca were above ambient in a majority of samples; V, and Zn were above ambient in some samples.

**Table 17: Summary of Depth Sediment Metals (by Site) Exceeding EC-MDDEP (2008)
Sediment Quality Criteria and LSP Ambient Levels**

Analyte	Criteria				Number of Core Sites in Exceedance					
	OEL ^β	PEL ^β	Ambient Levels ^β (AL)	Post-Glacial Clays (PGC)	Primary Firing Axis		Outfall of Tardif Channel		Primary Firing Axis + Outfall Tardif C.	
					Total # of Core sites = 10	%	Total # of Core sites = 9	%	Total # of Core sites = 19	%
Aluminum Al	-	-	71,000	26,900	>AL PGC ^γ	0 6	0 2	0 8	0 8	0 94.7
Arsenic As	7.6	17	2	NA	>AL >OEL PGC	9 0 6	90.0 0.0 100.0	9 1 2	100.0 11.1 100.0	18 1 8
Chromium Cr	57	90	66	NA	>AL >PEL >OEL PGC	10 6 10 6	100.0 60.0 100.0 100.0	4 0 6 2	44.4 0.0 66.7 100.0	14 6 16 8
Copper Cu	63	200	24	NA	>AL >OEL PGC	10 0 6	100.0 0.0 100.0	7 0 2	77.8 0.0 100.0	17 0 8
Mercury Hg	0.25	-	0.044	NA	>AL >OEL PGC	0 0 0	0.0 0.0 0.0	4 0 0	44.4 0.0 0.0	4 0 0
Nickel Ni	47	-	26	NA	>AL >OEL PGC	10 9 6	100.0 90.0 100.0	9 3 2	100.0 33.3 100.0	19 12 8
Zinc Zn	170	310	100	NA	>AL >OEL PGC	0 0 0	0.0 0.0 0.0	5 0 2	55.6 0.0 100.0	5 0 2
Barium Ba	-	-	820	NA	>AL >OEL PGC	0 NA 0	0.0 NA 0.0	0 NA 0	0.0 NA 0.0	0 NA 0
Calcium Ca	-	-	24000	NA	>AL >OEL PGC	9 NA 4	90.0 NA 66.7	0 NA 0	0.0 NA 0.0	9 NA 4
Strontium Sr	-	-	400	NA	>AL >OEL PGC	0 NA 0	0.0 NA 0.0	0 NA 0	0.0 NA 0.0	0 NA 0
Titanium Ti	-	-	-	NA	PGC	6	100.0	2	100.0	8
Antimony Sb	-	-	0.2	NA	>AL >OEL PGC	10 NA 6	100.0 NA 100.0	9 NA 2	100.0 NA 100.0	19 NA 8
Magnesium Mg	-	-	12,000	NA	>AL >OEL PGC	6 NA 6	60.0 NA 100.0	6 NA 2	66.7 NA 100.0	12 NA 8

**Table 18: Summary of Depth sediment Metals (by Sample) Exceeding EC-MDDEP
(2008) Sediment Quality Criteria and LSP Ambient Levels**

Criteria					Number of Core Samples in Exceedance						
Analyte	OEL ^β	PEL ^β	Ambient Levels ^β (AL)	Post-Glacial I Clays (PGC)		Primary Firing Axis		Outfall of Tardif Channel		Primary Firing Axis + Outfall Tardif C.	
						Total # of Core sample s = 29	%	Total # of Core samples =35	%	Total # of Core samples = 64	%
Aluminum Al	-	-	71,000	26,900	>AL PGC ^γ	0 10		0 2		0 12	
Arsenic As	7.6	17	2	NA	> AL	28	96.6	34	97.1	62	96.9
					>OEL	0	0.0	1	2.9	1	1.6
					PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
Chromium Cr	57	90	66	NA	> AL	27	93.1	5	14.3	32	50.0
					>PEL	13	44.8	0	0.0	13	20.3
					>OEL	27	93.1	10	28.6	37	57.8
Copper Cu	63	200	24	NA	PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
					> AL	27	93.1	12	34.3	39	60.9
					>OEL	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Mercury Hg	0.25	-	0.044	NA	PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
					> AL	0	0.0	7	20.0	7	10.9
					>OEL	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Nickel Ni	47	-	26	NA	PGC	0	0.0	0	0.0	0	0.0
					> AL	29	100.0	23	65.7	52	81.3
					>OEL	17	58.6	3	8.6	20	31.3
Zinc Zn	170	310	100	NA	PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
					> AL	0	0.0	7	20.0	7	10.9
					>OEL	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Barium Ba	-	-	820	NA	PGC	0	0.0	2	100.0	2	16.7
					> AL	0	0.0	0	0.0	0	0.0
					>OEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Calcium Ca	-	-	24000	NA	PGC	0	0.0	0	0.0	0	0.0
					> AL	19	65.5	0	0.0	19	29.7
					>OEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Strontium Sr	-	-	400	NA	PGC	6	60.0	0	0.0	6	50.0
					> AL	0	0.0	0	0.0	0	0.0
					>OEL	0	0.0	NA	NA	NA	NA
Titanium Ti	-	-	-	NA	PGC	0	0.0	0	0.0	0	0.0
					> AL	29	100.0	35	100.0	64	100.0
					>OEL	0	0.0	NA	NA	NA	NA
Antimony Sb	-	-	0.2	NA	PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
					> AL	27	93.1	9	25.7	36	56.3
					>OEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Magnesium Mg	-	-	12,000	NA	PGC	10	100.0	2	100.0	12	100.0
					> AL	27	93.1	9	25.7	36	56.3

5.5.5.2. Distribution

225. The vertical distributions of analytes in all LSP depth sediment samples that exceeded one or more of the environmental quality guidelines are presented in Figure 56 through Figure 64. As expected, metal concentrations vary more in the upper horizon surficial sediments than in deeper sediments.
226. Al concentrations increase with depth, reflecting the presence at depth of postglacial clays. Arsenic (As) concentrations were more variable in the 50-100cm and in the 100-150 cm horizons. As exceeded the OEL at one site (FC4) (50-100 cm horizon) at the outfall of Tardiff Channel.
227. Cr concentration increases with depth, with more variation in median concentrations in the upper horizons. Resuspension of sediments along the firing axis will likely lead to local exceedance of the Cr OEL. Ca concentrations in the surficial horizon were less than ambient. Ca were above ambient in the lower horizons of several sites along the primary firing axis and at two sites near the mouth of the Tardif Channel.
228. Ni concentrations increase with depth (Figure 60). Below the surface horizon the median concentration remains relatively constant. Along the primary firing axis, Ni exceeded the OEL criteria at 90% of the sites and in 59% of the samples.
229. Although the Cu concentration increased with depth (Figure 61, Cu concentration is relatively constant below the 50-100 cm horizon. The observed pattern among medians mimics that of Al, but there is considerable variation within horizons for 0-50 cm and 50-100 cm.
230. Hg median concentration are constant with depth (**Error! Reference source not found.**). Most of the Hg detects were in the shallowest horizons at the outfall of the Chenal Tardif. The median concentrations of Pb remain constant with depth. Concentrations were more variable in the upper horizons (Figure 63). Zn concentrations are relatively constant with depth; the most variability is in the surface horizon (Figure 64). There were no exceedances of OEL.

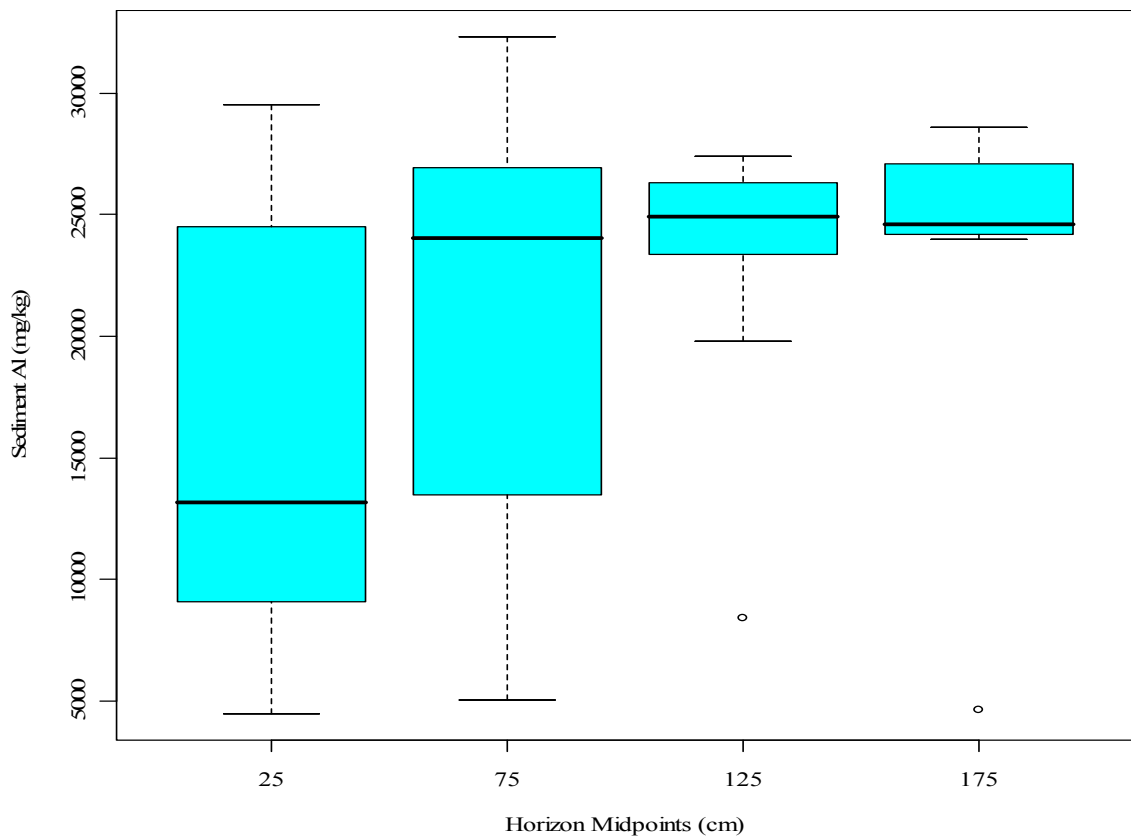


Figure 56: Al Concentration by Depth (add OEL where applicable)

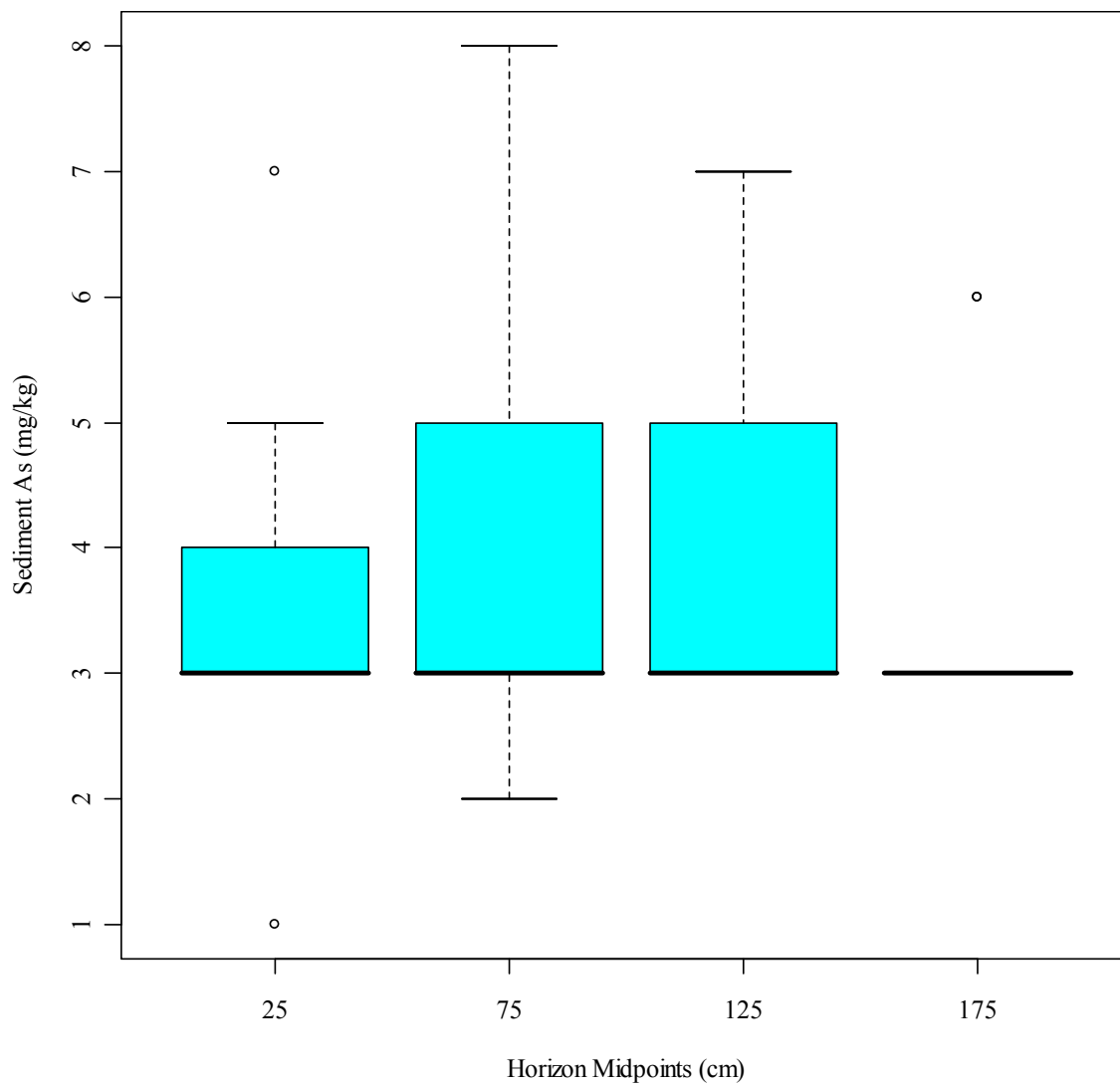


Figure 57: As Concentration by Depth

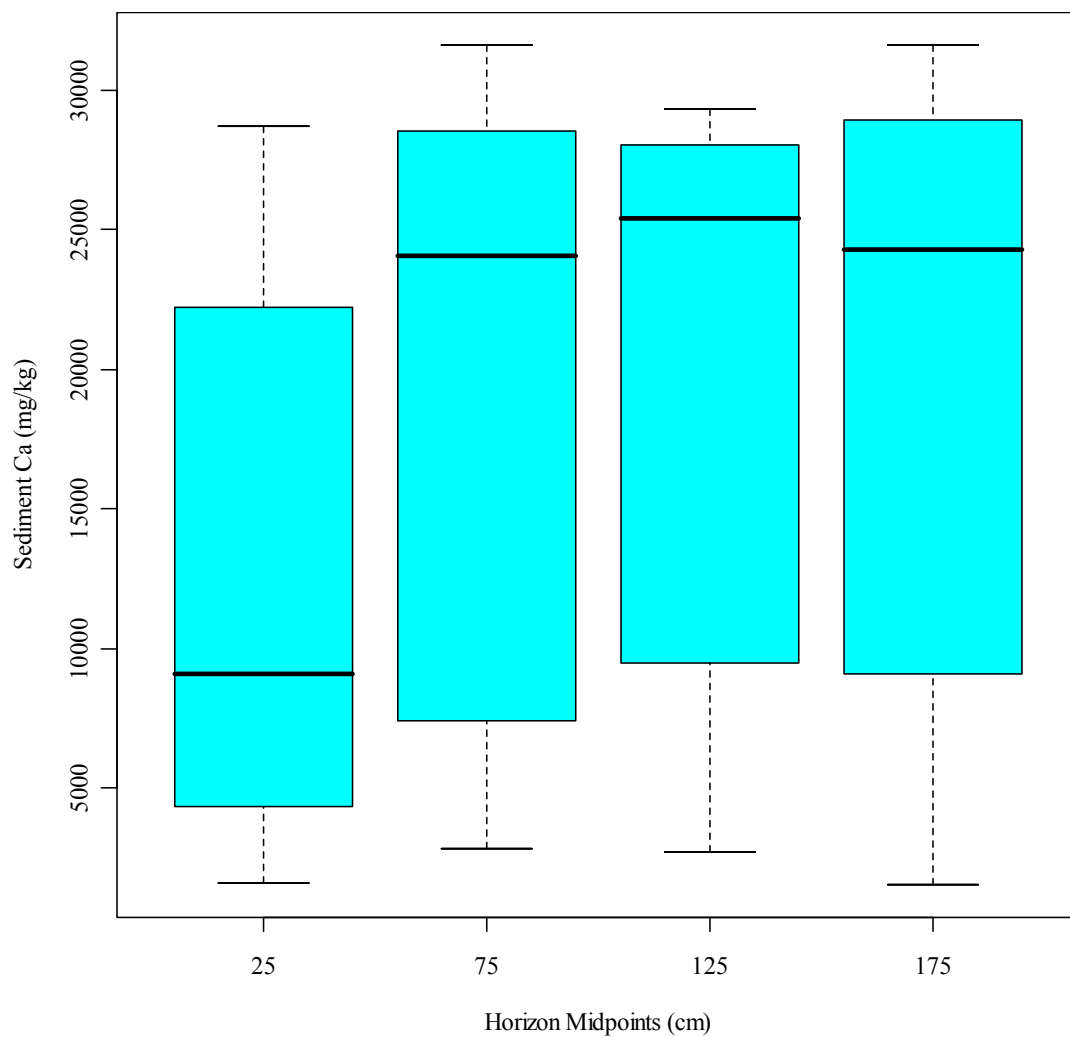


Figure 58 Ca Concentrations at depth.

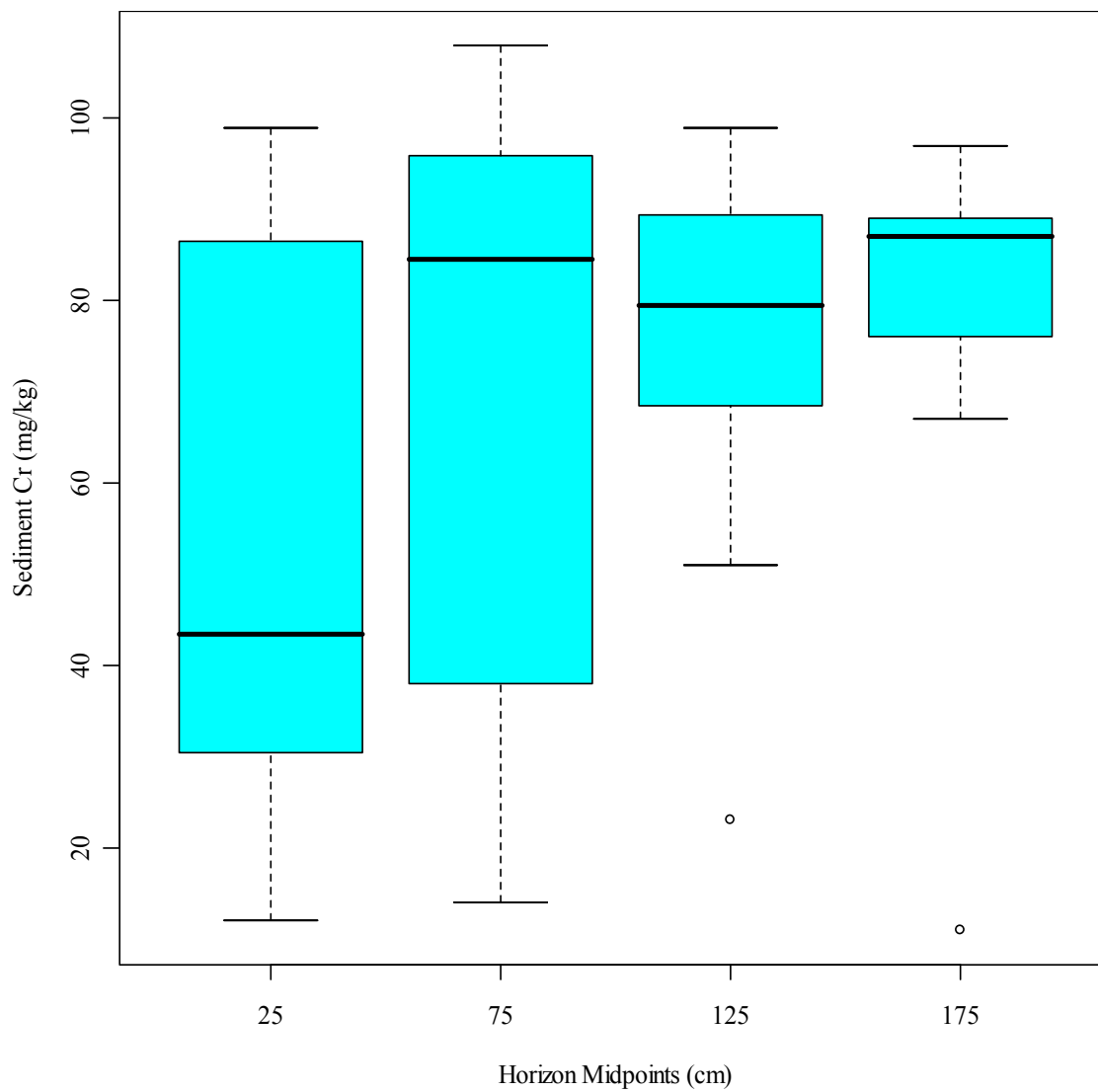


Figure 59: Cr Concentration by Depth

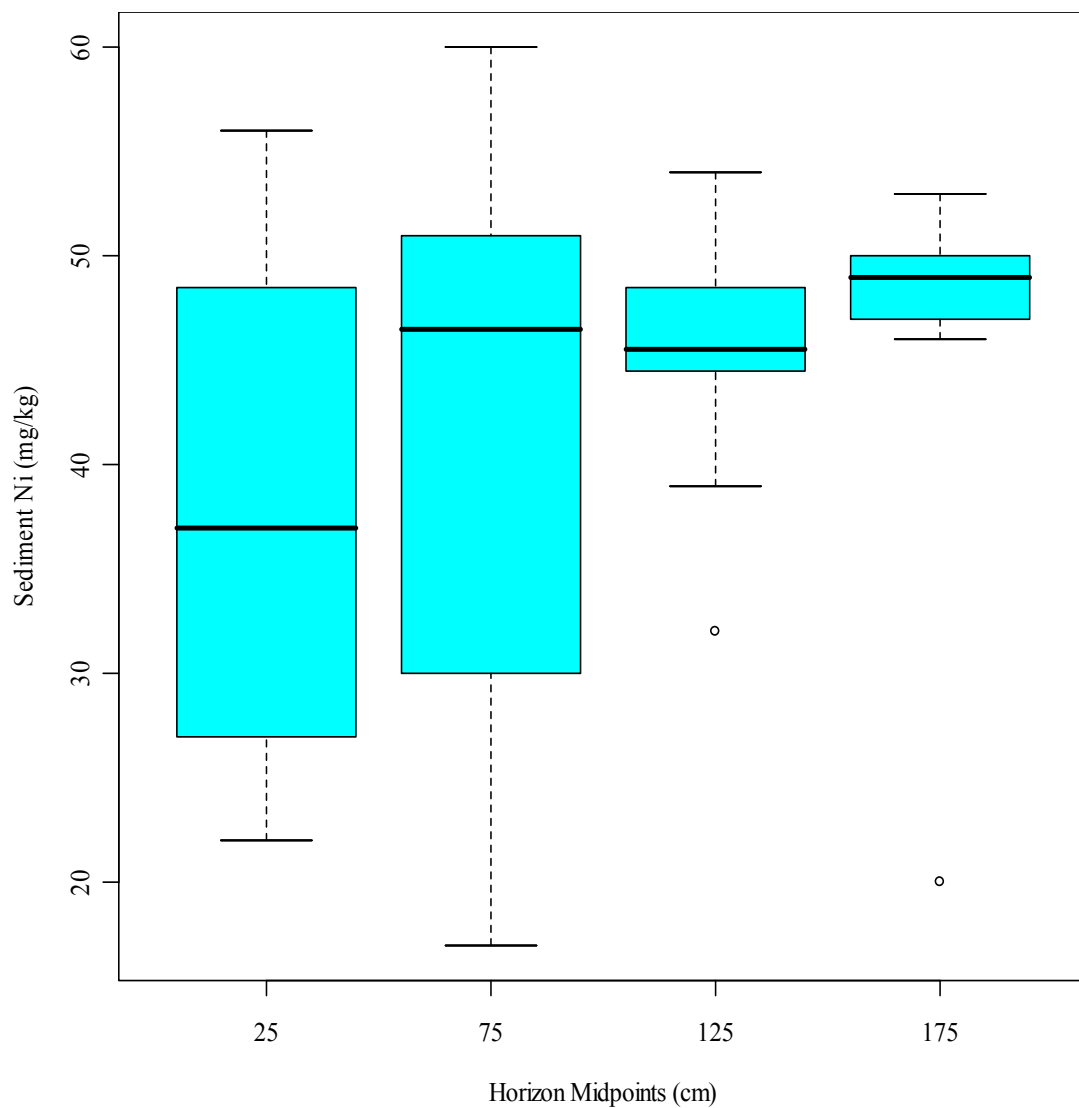


Figure 60: Ni Concentration by Depth

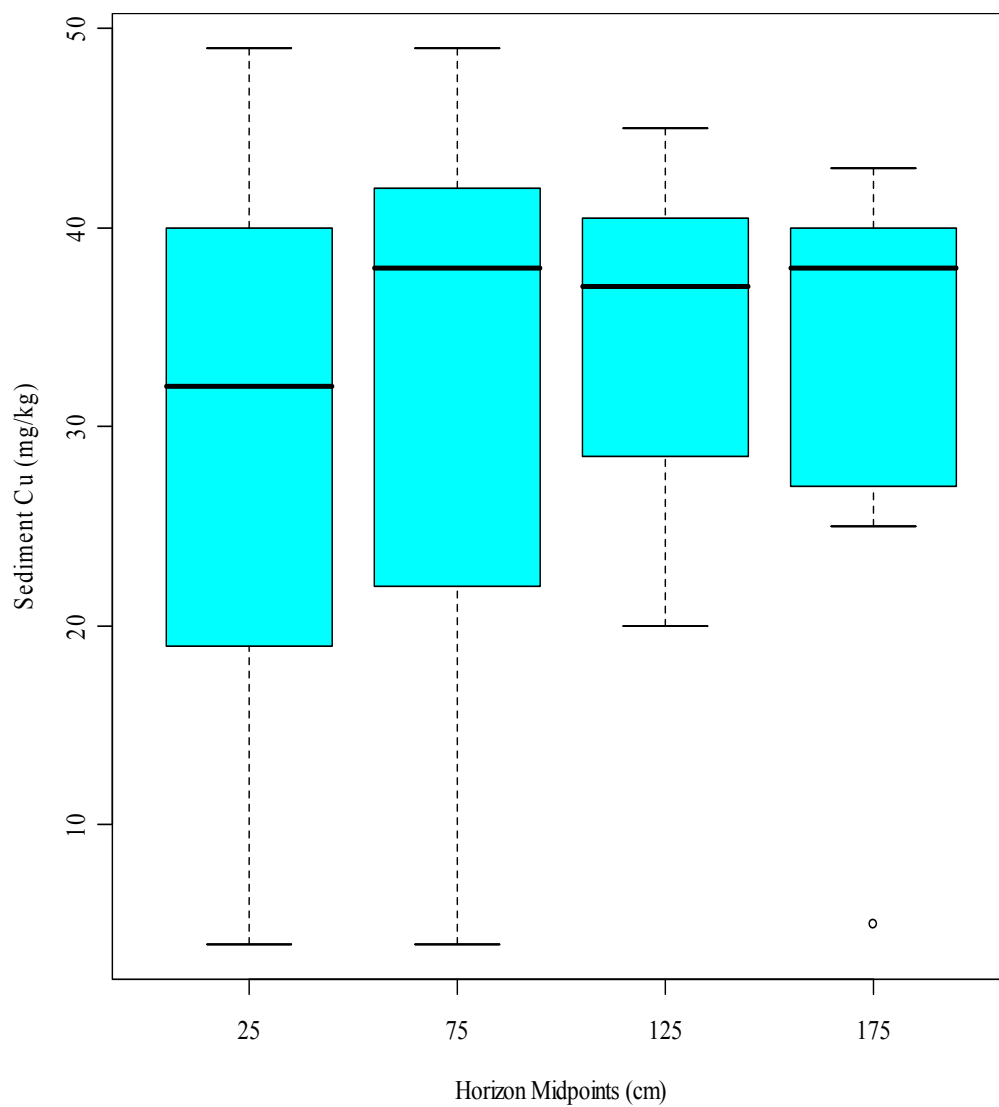


Figure 61: Cu Concentration by Depth

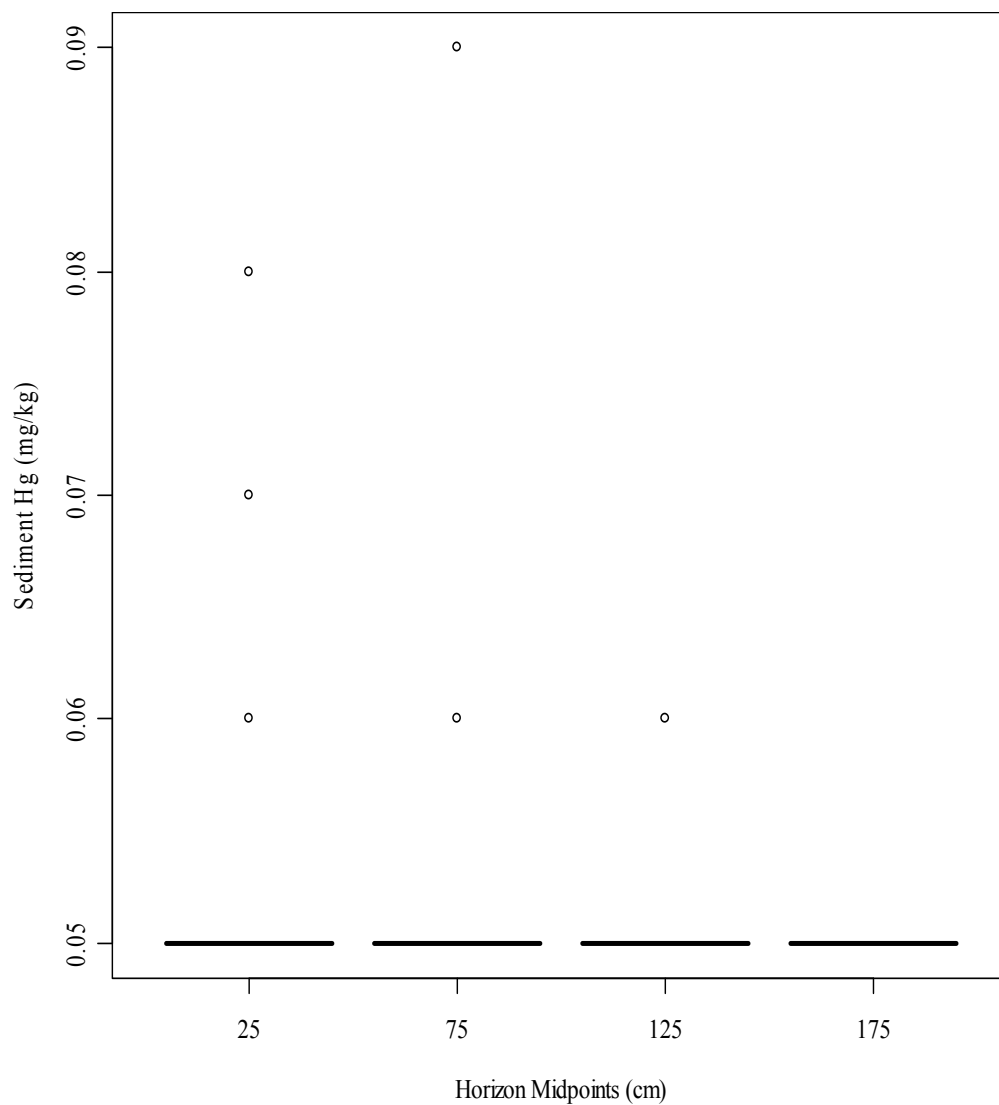


Figure 62: Hg Concentration by Depth

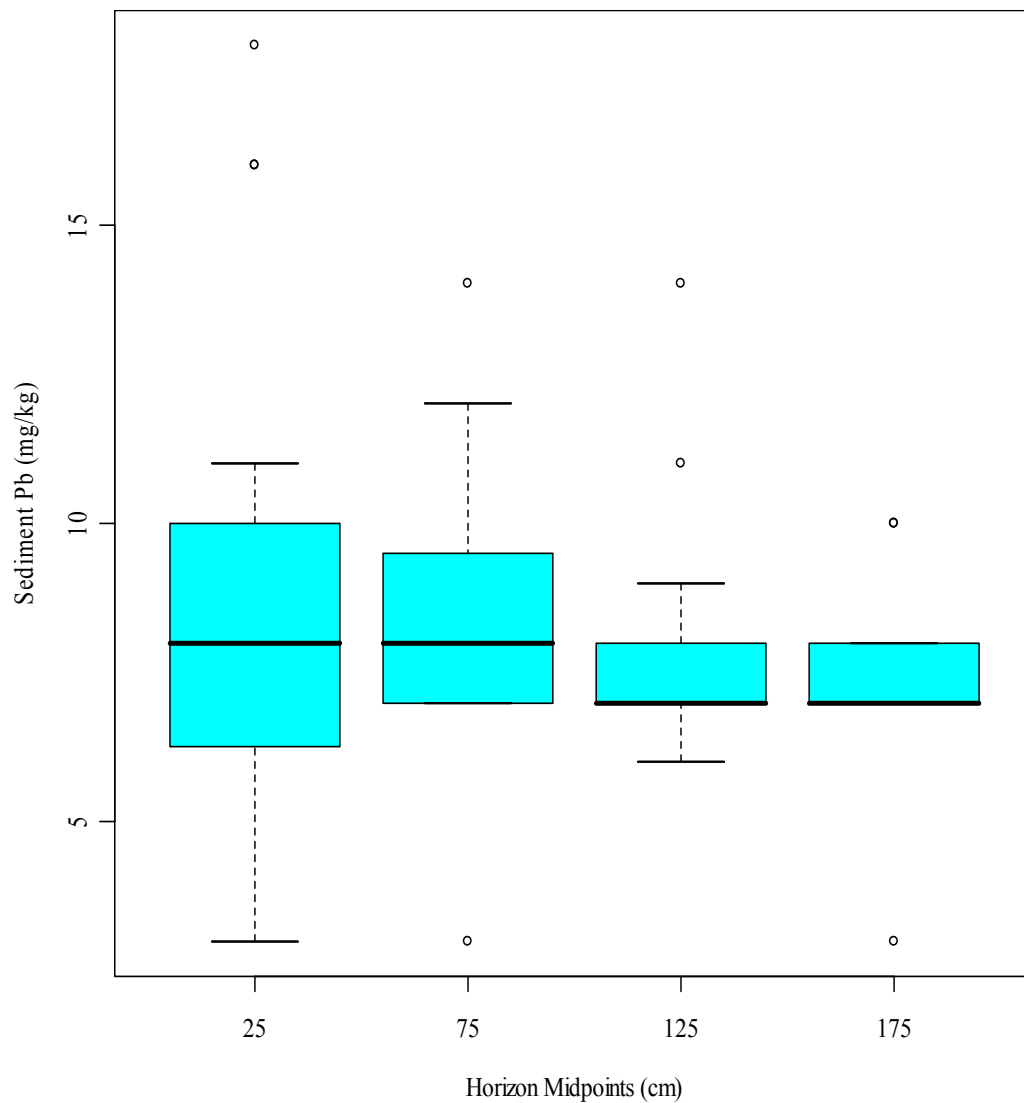


Figure 63: Pb Concentration by Depth

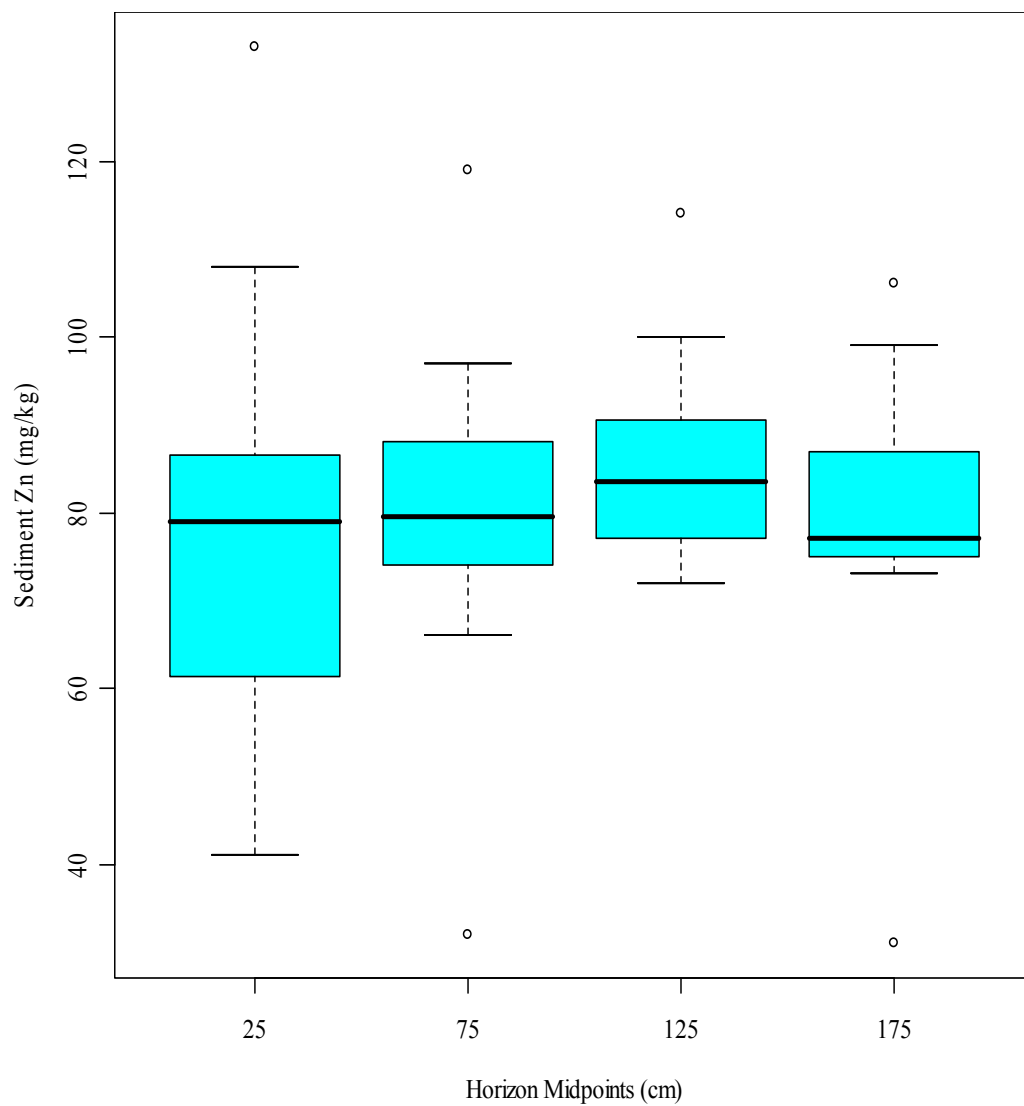


Figure 64: Zn Concentration by Depth

231. Figure 65 to Figure 68 show metal concentrations at depth for sites for which there is OEL exceedance.
232. The profile with the greatest change over depth is at site FC1, at the mouth of the Rivière St. Francois and Chenal Tardif (Figure 66). Sites slightly off the mouth of the Rivière St. Francois or Chenal Tardif show increasing concentrations with depth, while site WC60, which is well away from the mouth of the Rivière St. Francois or Chenal Tardif, does not.
233. Variability of concentration with depth is greater at the westernmost sites. This may reflect scouring of surficial sediments by the Rivière St. Francois.
234. The highest concentrations of analytes in both the surface horizon and at depth are at site FC1. This pattern is also found at site FC2, offshore of the river mouth and further out from the river than station FC5, which does not exhibit this pattern. Sites FC5 and FC4 show increasing concentrations with depth (Figure 66).
235. The depth profiles for sediments at 4 of the 6 eastern most stations indicate that the distribution of Ca differs from that of the other analytes Figure 68. Ca may have a unique origin.

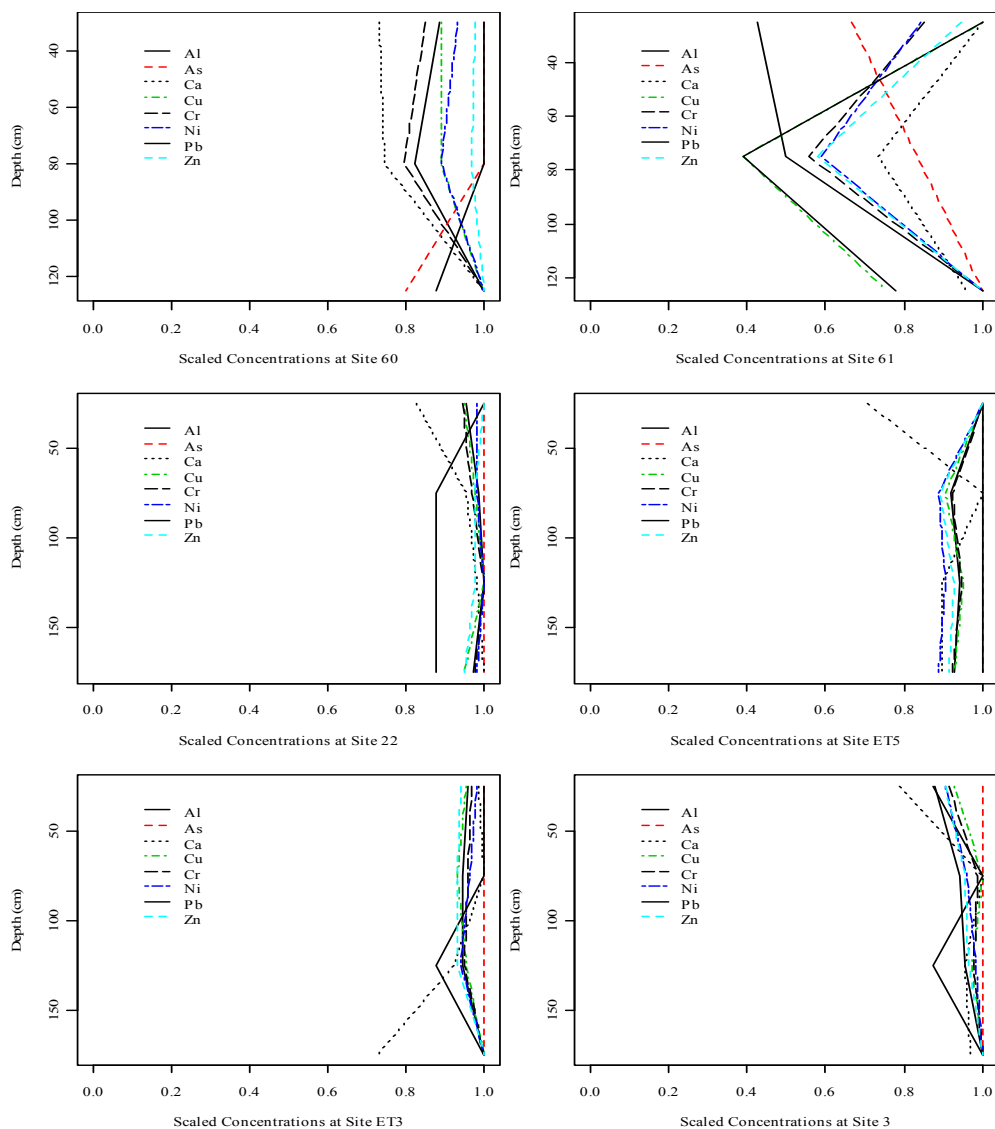


Figure 65: Depth profiles for selected analytes and sites. site names

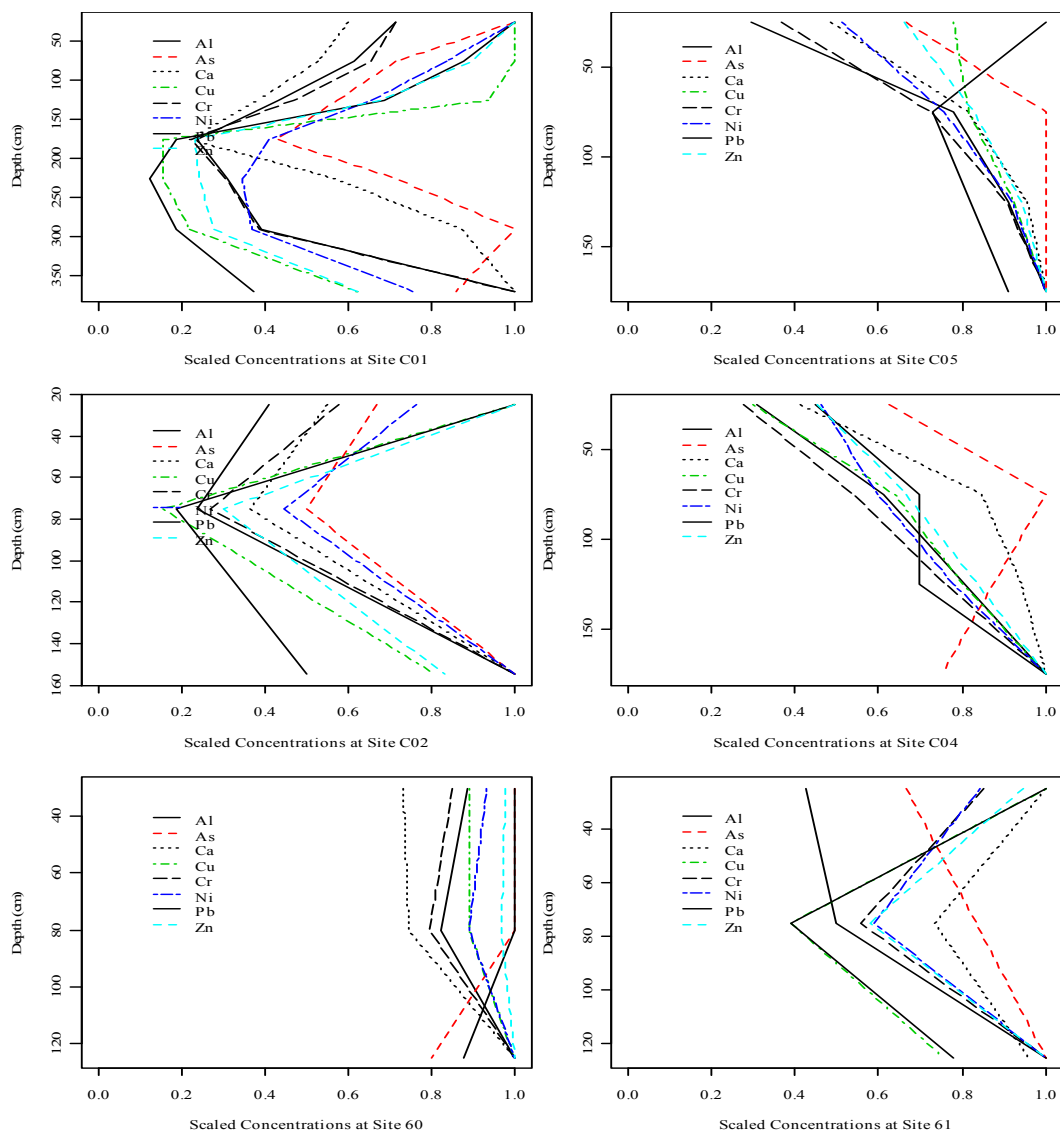


Figure 66: Depth Profiles for Selected Analytes and Sites from Mouth of Rivière St. Francois. Site labels should be FC1, FC5, FC2, FC4, W60, WC61

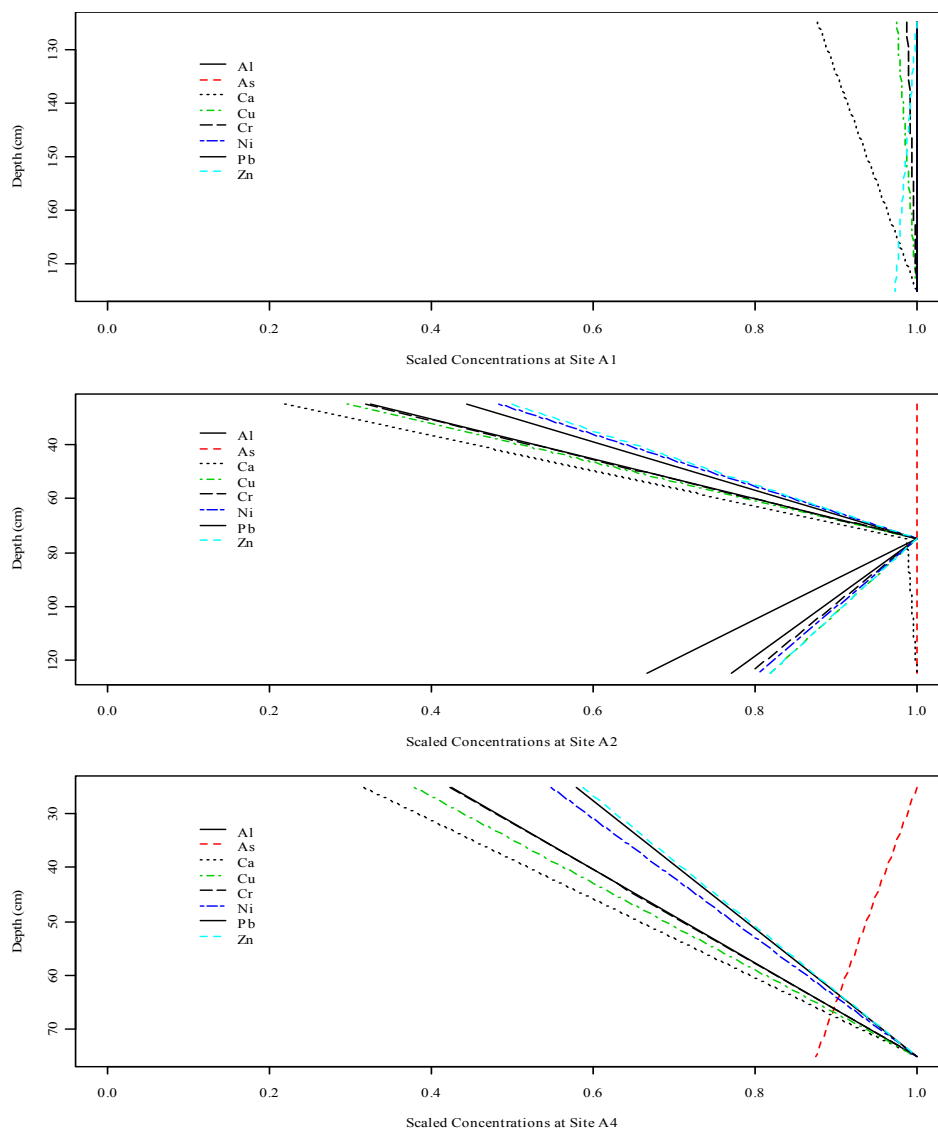


Figure 67: Depth profiles for selected analytes and sites near Longue pointe. Site labels should be WCA1, WCA2, WCA4

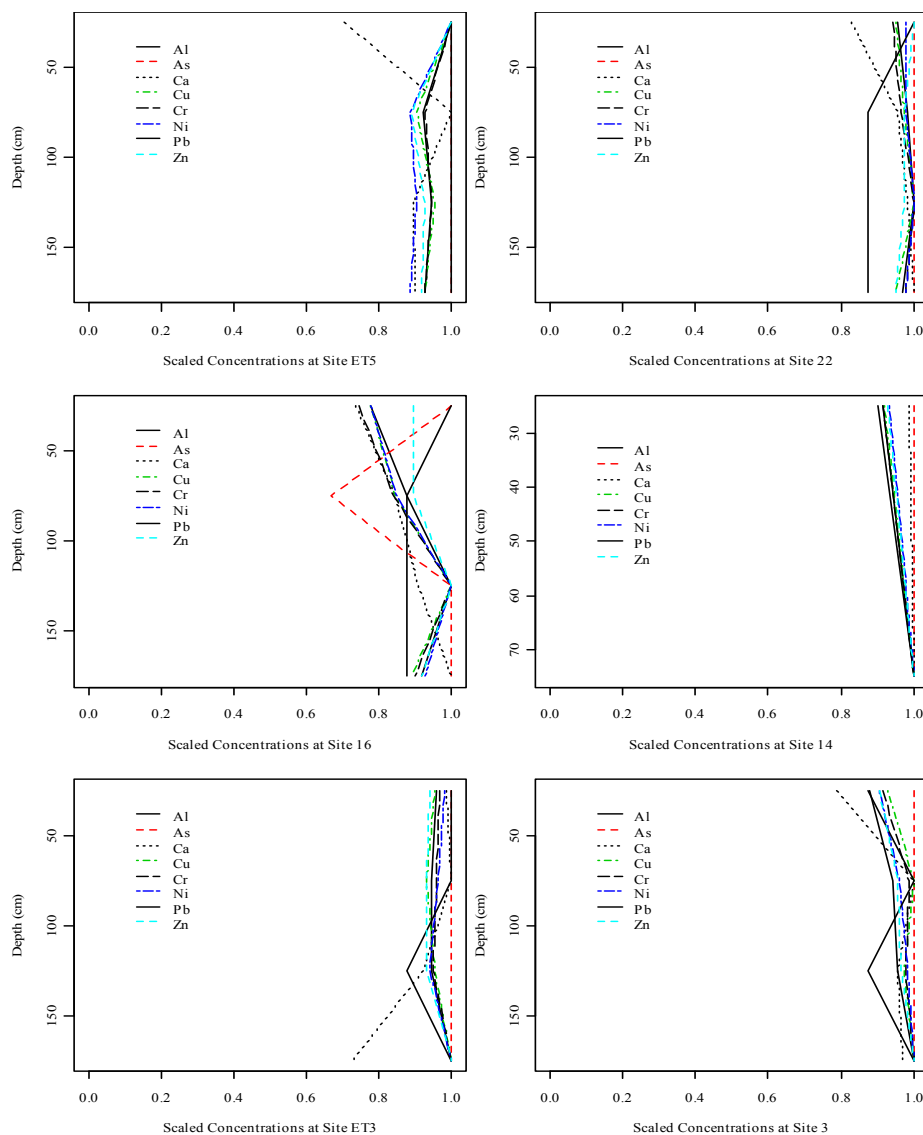


Figure 68: Depth profiles for selected analytes at eastern coring sites. Site labels should be WCET5, WC22, WC16, WC14, WCET3 and FC3.

5.5.6. Summary and Conclusions

236. Samples were collected over a two-year period (2005-2007) from sites along the principle firing axis and from an area at the outfall of the Chanel Tardiff. As for surficial sediment, depth sediment samples were analysed for particle size and TOC and for the concentrations of EM and EM degradation and transformation products, metals, pesticides, anions, PAHs and PCBs. Quality was assessed by comparing results to EC-MDDEP (2007) Occasional Effect Levels (OEL) and by employing the CCME Sediment quality index (SQI).
237. In general, sediments along the primary firing axis were clayey, whereas those in the vicinity of the mouth of the St. Francois River and the Tardiff Channel were more heterogeneous, comprised of coarse sand interspersed with layers of silt and clay; however, clay content generally increases with depth there.
238. TOC was relatively constant among horizons along the primary firing axis, ranging from 0.27 and 0.69%. At the outfall of the Tardiff channel levels the range was broader, from 0.3 to 2.7%.
239. Although there was no clear relationship between particle size and TOC, higher TOC levels were generally observed in the surface horizons, likely from decomposition of aquatic vegetation, which is prolific in the inshore areas along the south shore.
240. Sediments in the lower horizons along the primary firing axis largely comprise postglacial clays.
241. EM, EM degradation and EM transformation products were not found.
242. Of the other organics, only a PAHs were found, in a few samples, most frequently in the surficial horizons (0-50 cm), in two of the 50-100 cm horizons, and in one of the 100-150 cm horizons at the outfall of the chenall Tardiff. Only phenanthrene exceeded the OEL, in one horizon at one site.
243. Of the metals, Ni and Cr exceeded OEL at most sites along the primary firing axis and at the outfall of Chenal Tardif. Cr exceeded PEL at some sites further south along the shoreline. Cr and Ni exceeded OEL; Ni, Sb, Co, Cu, Fe, V, Zn, and Mg were above ambient level in samples identified as postglacial clay. Given that Cr concentrations were above ambient in all horizons, it is likely that subsurface sediments along the firing axis are exposed. While Ni and Cr are associated with military ordinance, geological or other anthropogenic sources greatly predominate in LSP and are their likely source. This is supported by the fact that As, which is used extensively in agriculture and in the tanning industry, exceeded OEL at 10% of the depth sites at the outfall of the Chenal Tardiff.

244. There is significant variability in the depth profiles of different areas of Lac Saint Pierre. The most marked change in vertical profile is at site FC1, at the outfall of the Chenal Tardiff. Sites slightly further from outfall of the Chenal Tardiff show increasing concentrations of analytes with depth. Site WC60, well away from the outfall of Chenal Tardif, shows little change in analyte concentrations with depth.
245. Overall, sediments along the primary firing axis are more vertically consistent than those at the outfall of the Tardiff Channel.

5.5.6.1. Effect of Resuspension

246. Although Al, As, Ca, Cr, Ni, Cu, Hg, Pb, and Zn showed variability in concentrations in the 0-50 cm horizon, possibly from bioturbation, scouring, fluvial dynamics and source variability. There is little depth variation in median concentrations in the sub-surface horizons. If there is substantial sediment re-suspension from UXO clearance activities, the total loadings of the analytes in the sediment may enter the water column and, despite levels being generally less than the ambient level, some of the analytes would likely present a risk to aquatic organisms. There is potential risk to aquatic organisms by UXO clearance operations.
247. The possibility of exceeding a guideline or the Lac Saint Pierre ambient level is presented in Table 19 using qualitative statements. These are made in consideration of the concentrations in subsurface horizons, the surficial contour maps generated and differences in analyte concentrations between subsurface and surficial sediments and guidelines or ambient levels.

Table 19: Localized Exceedences

AOPC	Area	Localized Exceedance of OEL?	Localized Exceedance of Lac Saint Pierre Ambient Level?
Pesticides	both	extremely unlikely	
	Firing axis	extremely unlikely	
PAHS	Outfall of Chenal Tardif	unlikely (applies to phenanthrene only)	
PCBs	both	extremely unlikely	
	Firing axis	unlikely	
As	Outfall of Chenal Tardif	possible	NA (OEL > ambient)
	Firing axis	No OEL	possible
Ca	Outfall of Chenal Tardif	No OEL	unlikely
	Firing axis	Ambient > OEL, already in vicinity of ambient, possibility of exceeding PEL	
Cr	Outfall of Chenal Tardif	likely	likely
	Firing axis	Currently exceeds OEL, change unlikely	NA (OEL > ambient)
Cu	Outfall of Chenal Tardif		possible
	Firing axis	likely	
Ni	Outfall of Chenal Tardif	possible	already exceeds ambient level
	Firing axis		unlikely
Pb	Outfall of Chenal Tardif	extremely unlikely	possible
Zn	Both	extremely unlikely	unlikely

5.6. BIOACCUMULATION

5.6.1. Introduction

248. To further assess the effect of UXO-related AOPC in the LSP environment, an investigation into their bioaccumulation was conducted. At the lower trophic-level, *Lumbriculus variegatus* and on *Elliptio compeana* were exposed in the laboratory to LSP sediments, and *Elliptio complenta* was also exposed to the LSP environment *in-situ*. At the higher trophic-level, a preliminary study was conducted on the fish *Esox lucius* and *Perca flavescens*. The metals Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Ti and Zn were selected for bioaccumulation analysis. Of these, Al, Cu, Cr and Ni are known to be elevated in postglacial clays [16]. Others were highlighted by BRI or were found to be elevated in surficial sediments. Because EM, EM degradation and EM transformation products were negligible in LSP, they were not included in this bioaccumulation analysis. Concentrations of the metals were determined in whole organism or in tissues, and related to concentrations in the sediment to arrive at the Bioaccumulation Factors (BAFs). For some analytes, BAFs were mapped. For details of methods see BRI 2008 [43]

5.6.2. Lower Trophic Level

5.6.2.1. *Lumbriculus variegatus*

249. *Lumbriculus variegatus* was exposed in the laboratory to LSP sediments from select sites. Concentrations of metals were measured in the whole organism and BAFs were calculated. BAFs were correlated with the sediment particle size, moisture content and TOC.

Concentrations and BAF

250. Significant concentrations of Ba, Cd, Cu, K, Na, Se and Zn in the whole organism were observed. The maximum BAFs were As, 5.3; Ba, 18.4; Cd, 9.0; Cu, 18.3; K, 27.3; Na, 55.6; Se, 24.5; Zn, 17.4. For the remaining metals, BAFs were less than 1.

251. The percentages of BAFs within selected ranges, presented in Table 20, show that a substantive proportion of BAFs for As, Ba, Cd, Cu, Se and Zn are greater than 1.

**Table 20: Percentage of Bioaccumulation Factors (BAF) within Selected Ranges for
Lumbriculus variegates.**

Analyte	Ranges of BAF								n
	< 1	(1-2]	(2-3]	(3-4]	(4-5]	(5-10]	(10-50]	>50	
Al	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
As	35.71	28.57	7.14	7.14	14.29	7.14	0.00	0.00	14
B	10.00	20.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10
Ba	7.14	35.71	28.57	0.00	0.00	14.29	14.29	0.00	14
Be	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Ca	90.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10
Cd	0.00	28.57	14.29	7.14	7.14	35.71	0.00	0.00	14
Co	92.86	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Cr	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Cu	7.14	64.29	14.29	0.00	0.00	7.14	7.14	0.00	14
Fe	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
K	0.00	60.00	10.00	0.00	0.00	10.00	20.00	0.00	10
Mg	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10
Mn	85.71	14.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Mo	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Na	0.00	0.00	0.00	20.00	40.00	10.00	20.00	10.00	10
Ni	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10
Sb	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Se	0.00	0.00	0.00	0.00	14.29	14.29	64.29	0.00	14
Sr	75.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4
Ti	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10
V	28.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14
Zn	0.00	0.00	0.00	7.14	14.29	57.14	21.43	0.00	14

Distribution

252. As shown in Figure 69 to Figure 75, *Lumbriculus* BAFs are highest at the westernmost and easternmost sites.

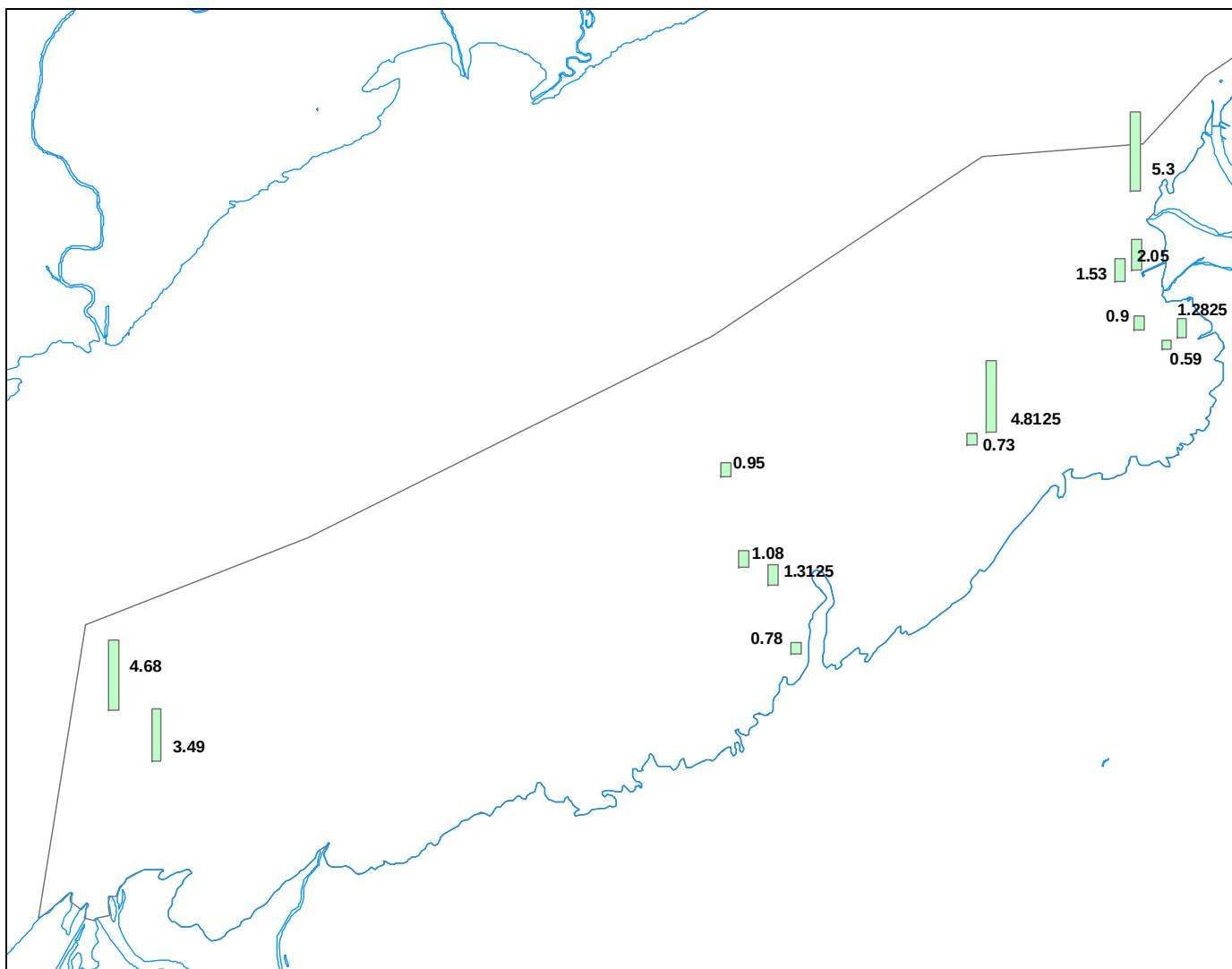


Figure 69: BAF of As in Lumbriculus

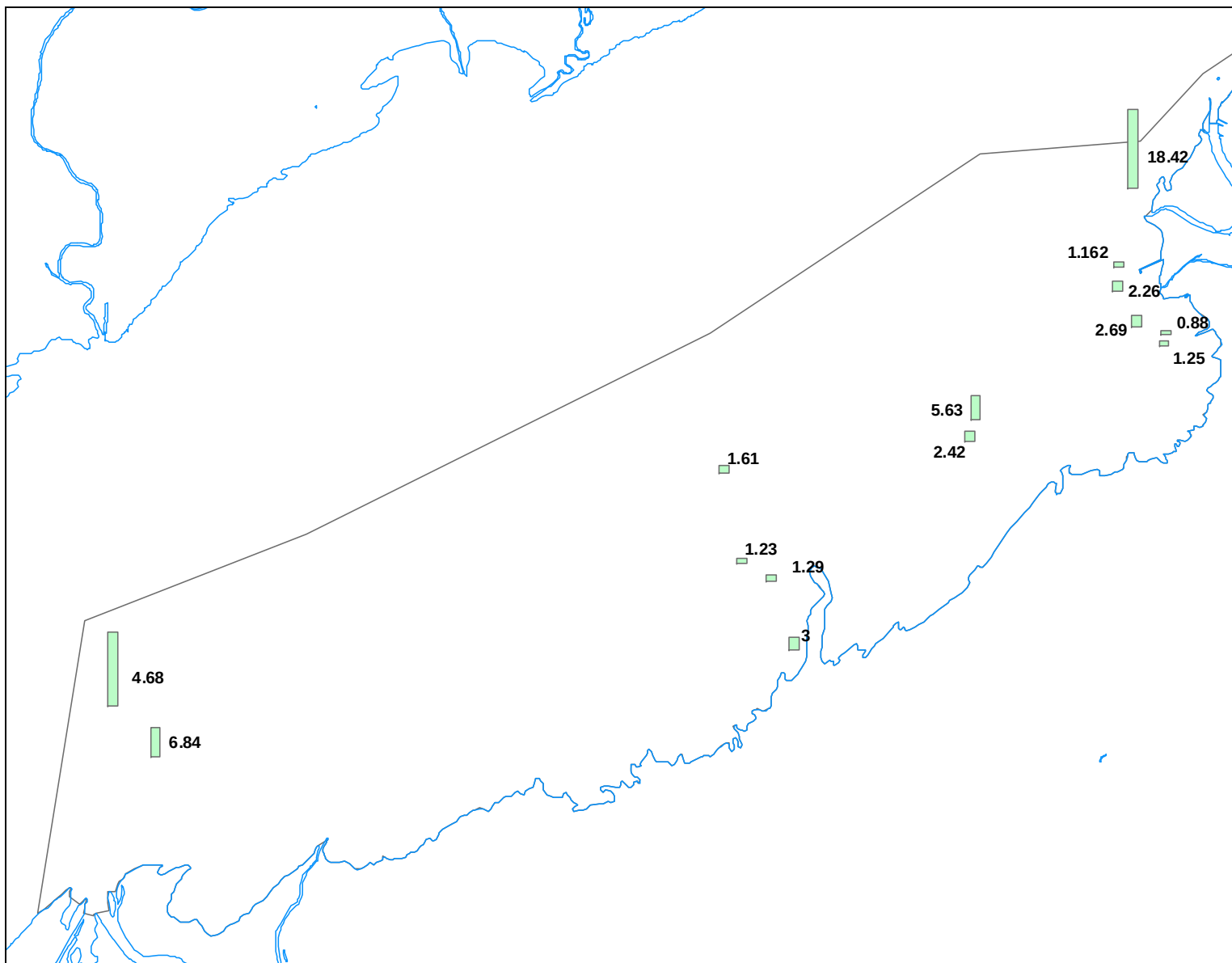


Figure 70: BAF of Ba in *Lumbriculus*

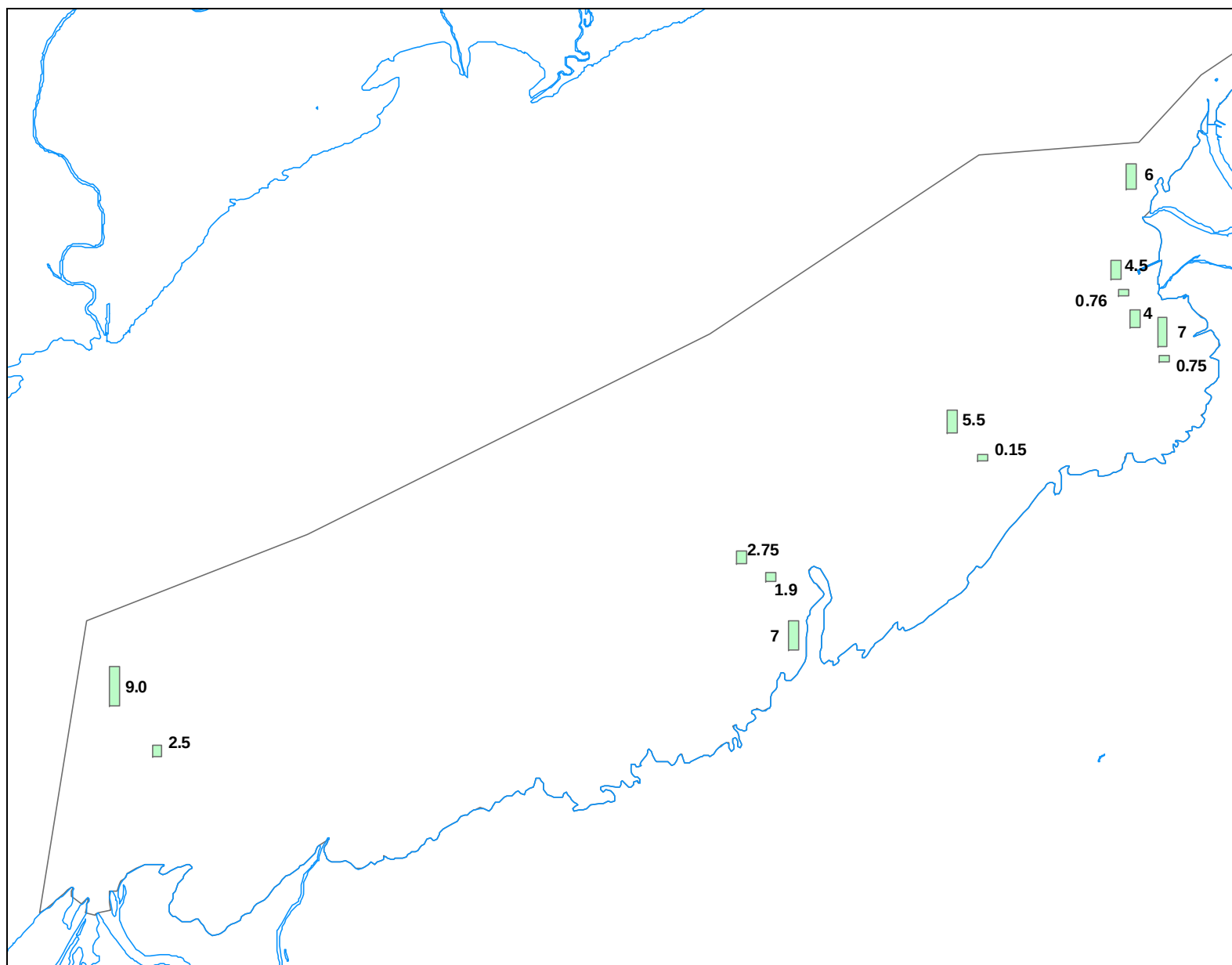


Figure 71: BAF of Cd in *Lumbriculus*

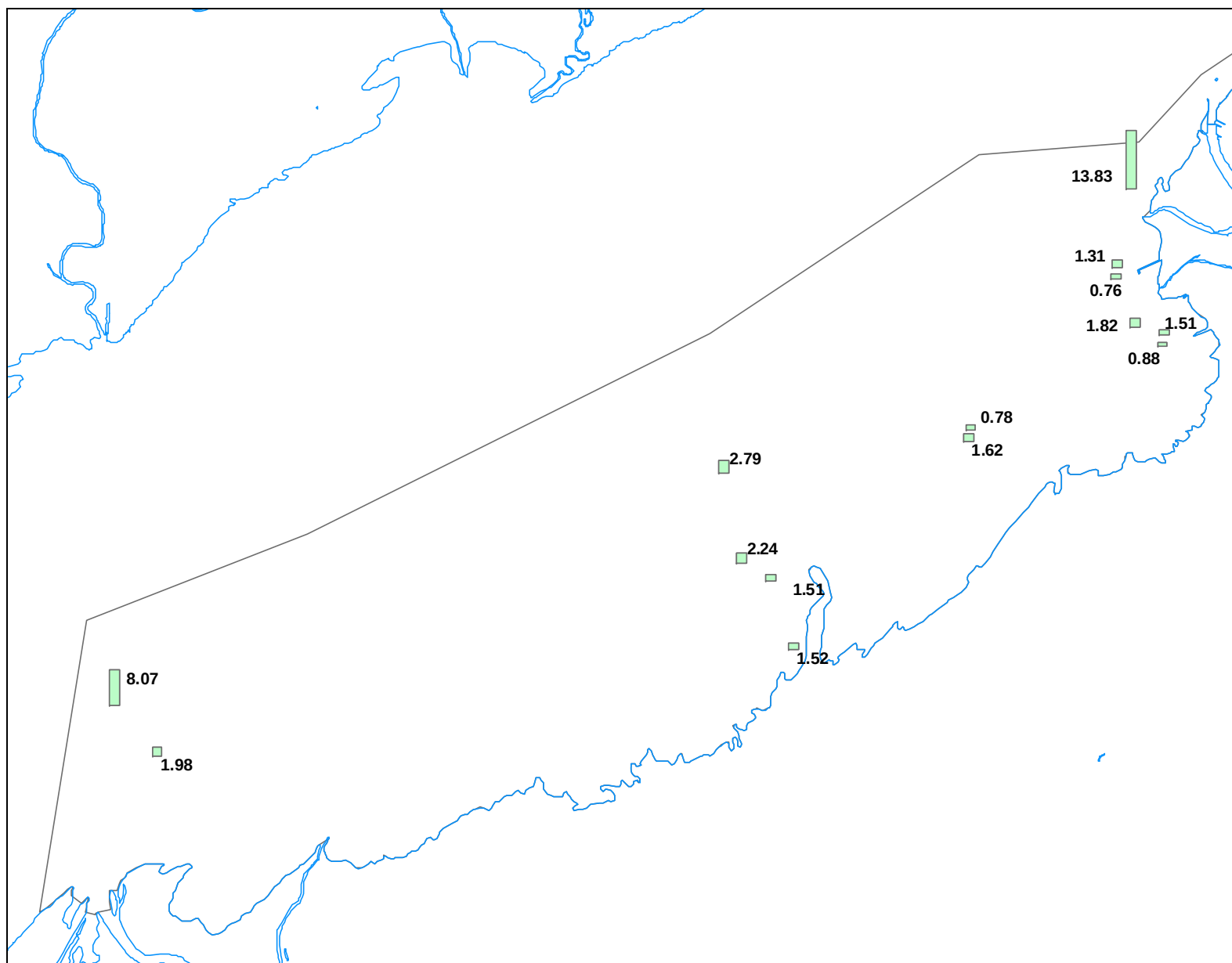


Figure 72: BAF of Cu in *Lumbriculus*

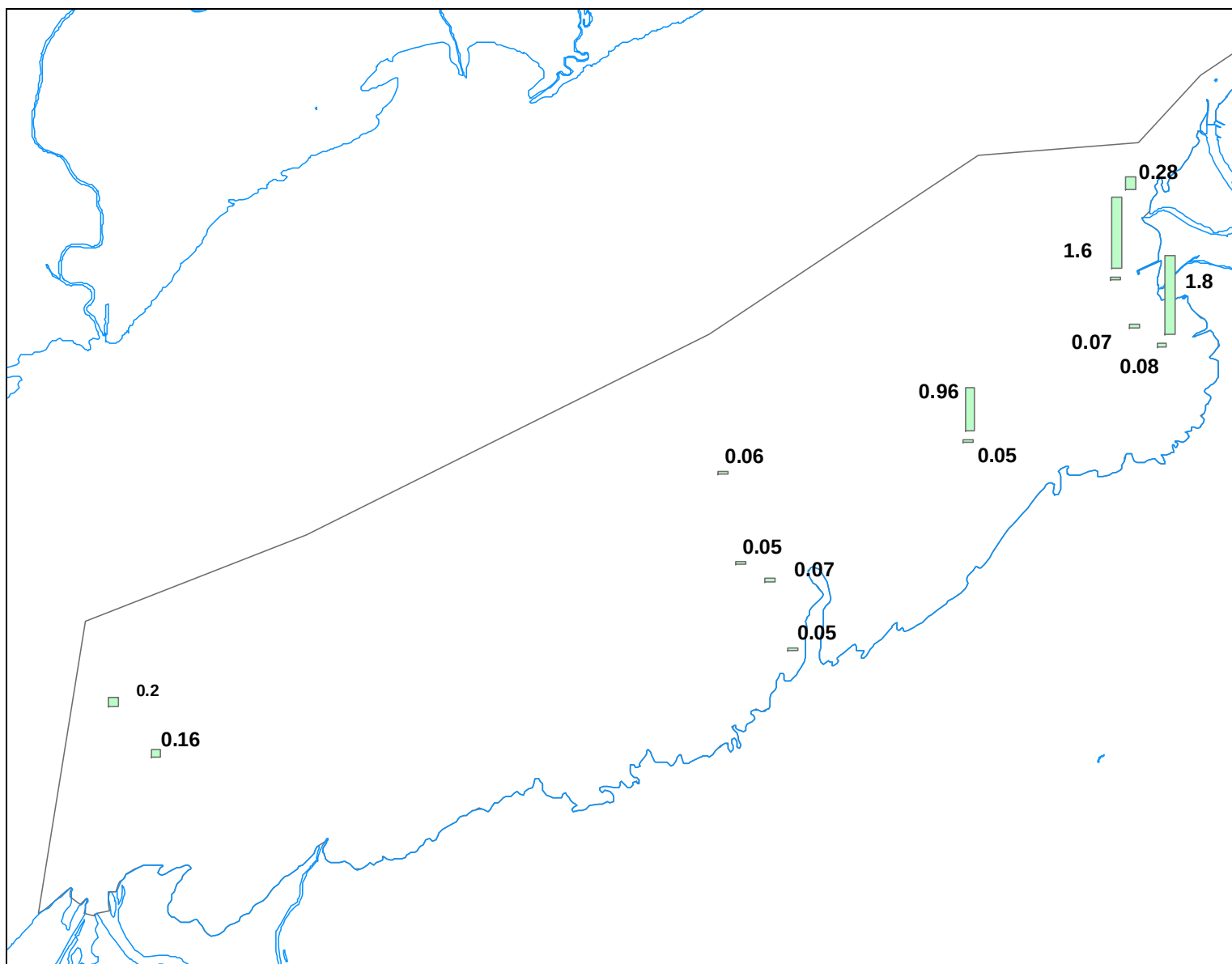


Figure 73: BAF of Mn¹ in *Lumbriculus*

¹ Mn BAFs were examined due to correspondence with % silt and clay discussed in the next section below.

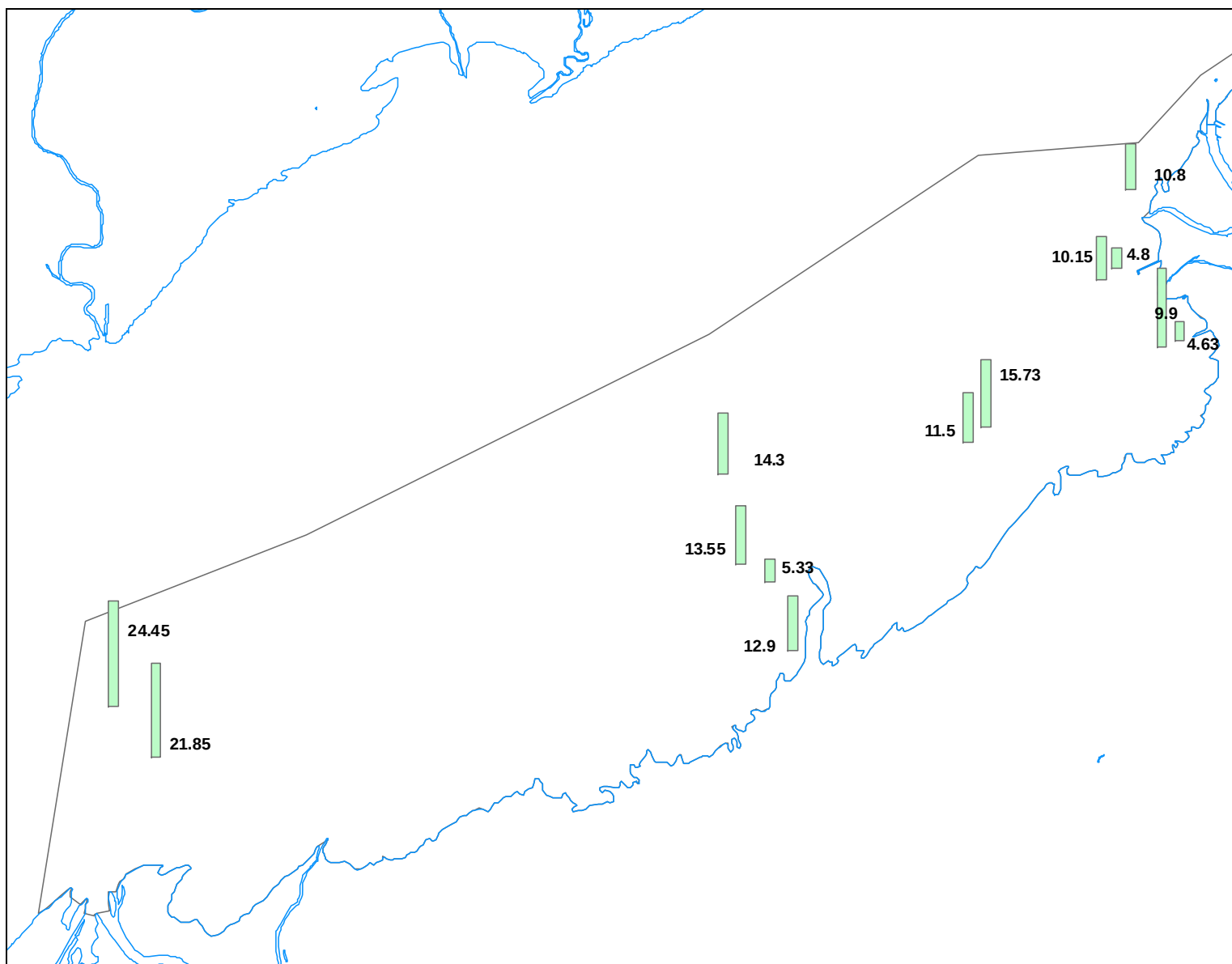


Figure 74: BAF² of Se in *Lumbriculus*

² Note Se was not detected in any sediment locations; DL = 1 mg/kg.

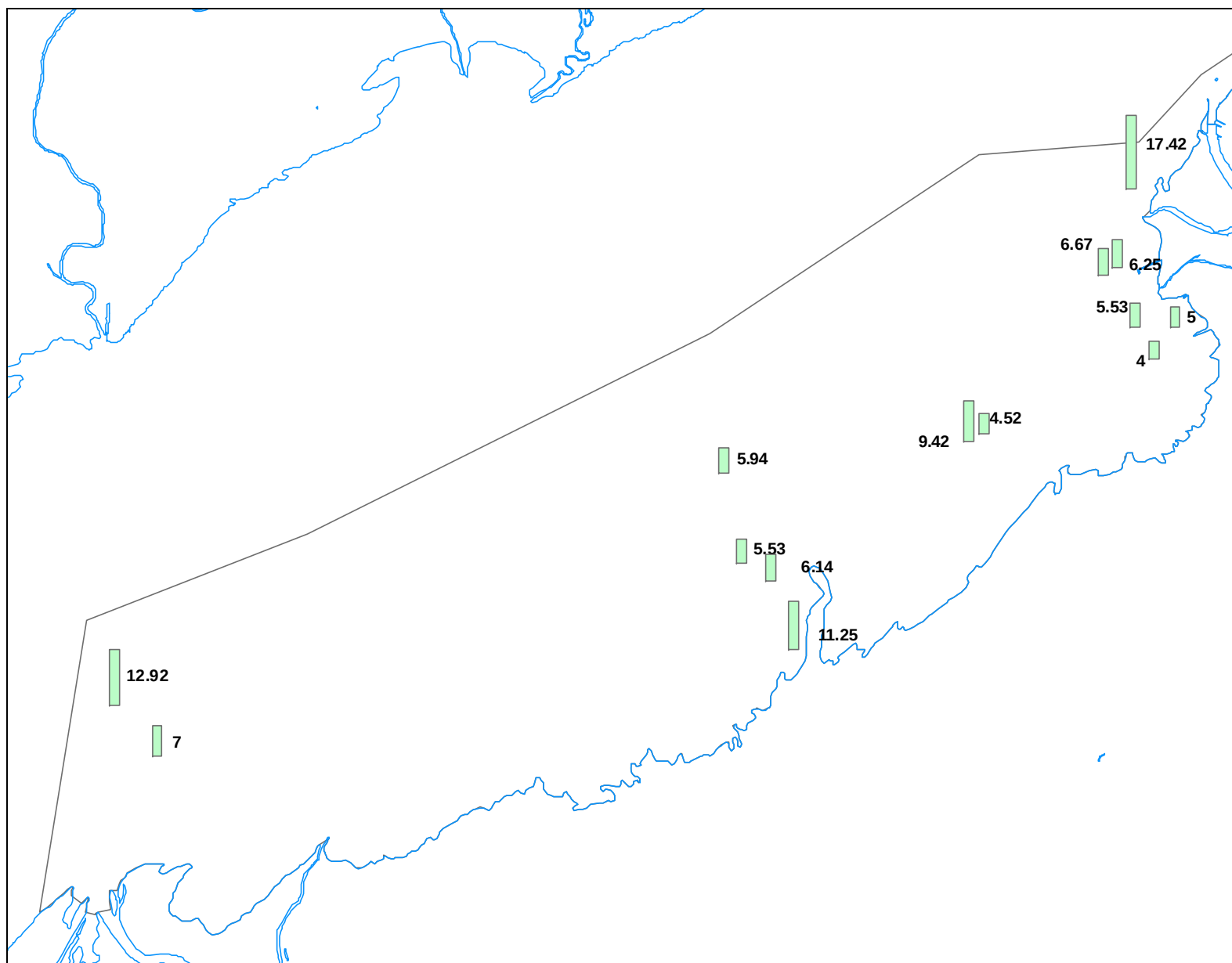


Figure 75: BAF of Zn in *Lumbriculus*

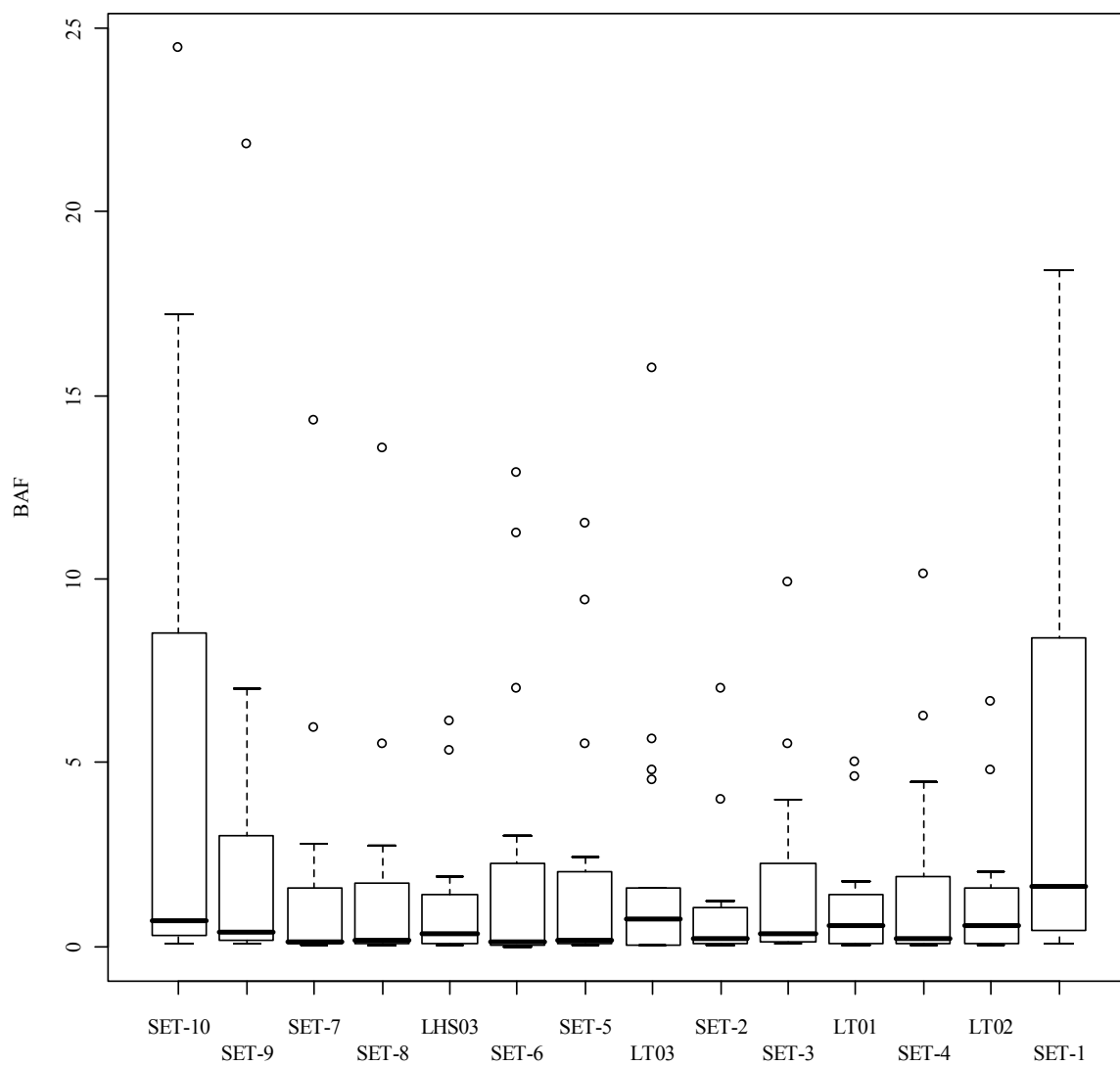


Figure 76: Boxplot of Metal BAFs in *Lumbriculus*.

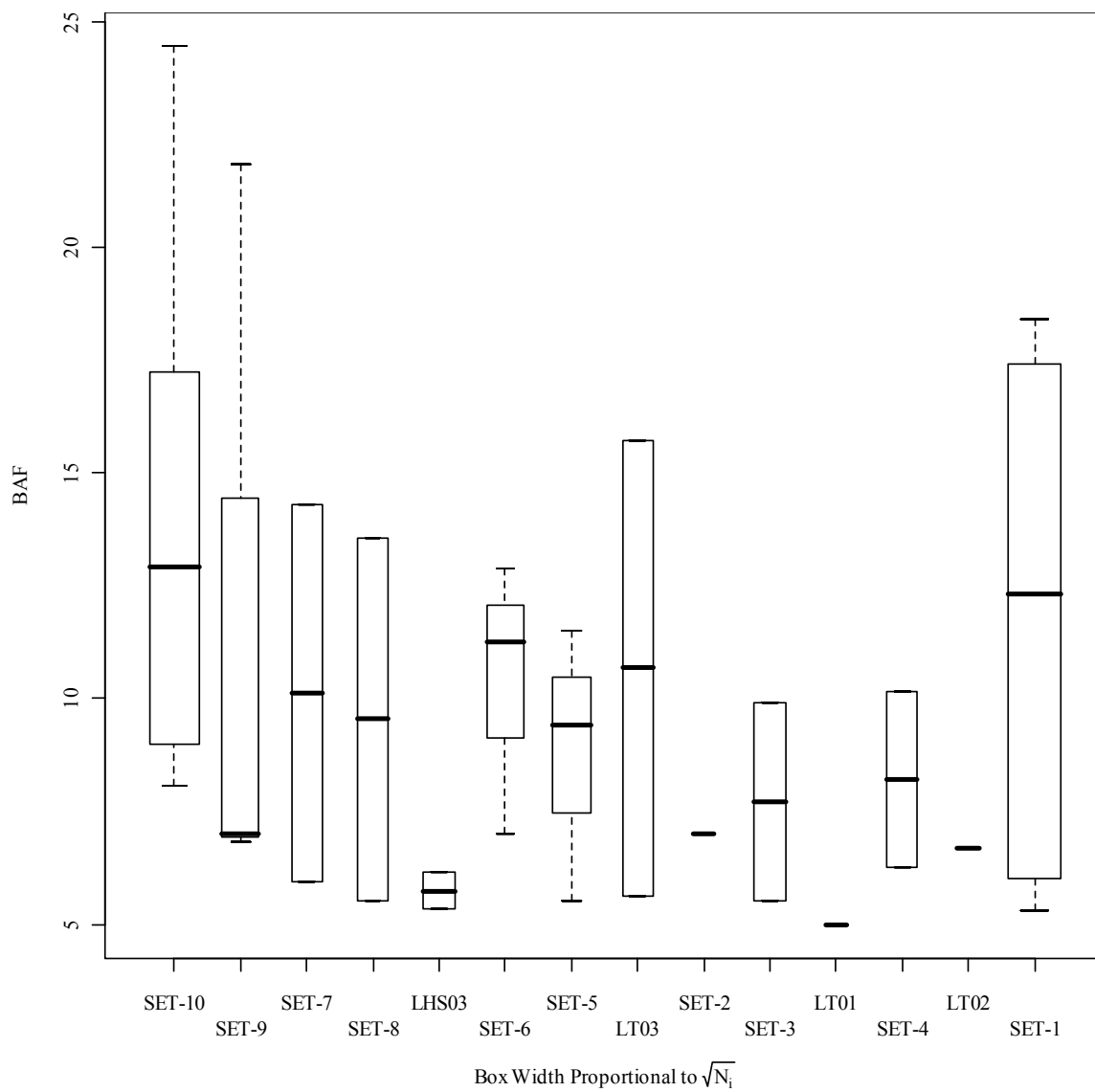


Figure 77: Boxplot of Metal BAFs ≥ 5 in *Lumbriculus*

253. The metals with BAFs greater than or equal to 5 are As (1 site), Ba (4 sites), Cd (5 sites), Cu (2 sites), Se (11 sites) and Zn (12 sites). Zn is responsible for 34.3% and Se is responsible for 31.4%.

254. As previously discussed, concentrations of Ba, Co, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr, Ti, V, and Zr were found to be elevated in the inshore. Zn and Se were not found to be elevated. Of the elevated metals, only Ba has a BAF greater than 5, at SET-1, SET-10, SET-9 and LT03. SET-1 and SET-10 are at the extremes of the LSP study area. The BAFs greater or equal to five are evenly distributed with the exception of those at SET-10 (14.3% ≥ 5) and SET-1 (17.1% ≥ 5).

255. For Co, Fe, Mg, Ni and Ti, the BAFs are low. Only Co, at site SET-1 was found to have a BAF greater than 1. Summary statistics for the *Lumbriculus* tissue BAFs are presented in Table 21.

Table 21: Summary Statistics for Selected *Lumbriculus* Tissue BAFs

Analyte	N	Minimum	Maximum	Range	Mean	Median	Variance
Co	14	0.13	1.42	1.290	0.384	0.240	0.128
Fe	14	0.04	0.26	0.220	0.109	0.095	0.004
Mg	10	0.07	0.79	0.720	0.230	0.125	0.057
Ni	12	0.04	0.68	0.640	0.155	0.113	0.030
Ti	10	0.03	0.25	0.220	0.087	0.060	0.004

256. Of the metals found to be elevated in the inshore, the following were not considered for the reasons given:

- Na and K, because they are strongly regulated;
- Sr, because it was measured only in 2006; and,
- V and Zr, because they were not measured in tissues.

BAFs and Sediment Physical Characteristics

257. The partial correlations between sediment physical characteristics and BAFs are examined in Table 22. The partial correlation of BAFs for As and Mn with % silt and clay are negative indicating that as % silt and clay increase, the respective BAFs decrease and none of the partial correlations are large. Desrosiers et al (2008) found a similar lack of relationship between sediment metal concentrations and tissue residues in a chironomid. This suggests that exposure pathways other than sediment contact are primarily involved [60].

Table 22: Partial Correlations between *Lumbriculus* BAFs and Sediment Variables

	As	Ba	Cd	Cu	Mn	Se	Zn
% sand	-0.0953	0.5715	-0.0047	0.3345	-0.4762	0.3525	0.5121
% silt and clay	-0.6608	0.3214	-0.0453	0.4465	-0.7570	0.5342	-0.1707
% moisture	-0.2102	-0.3453	0.0985	-0.2752	0.2372	-0.6303	0.0669
TOC	-0.0311	0.4552	-0.1372	-0.5266	-0.2557	0.5237	-0.1179
sediment concentration	-0.2932	-0.3578	0.1148	-0.4527	-0.4979	NA	-0.1745
BAF	1	1	1	1	1	1	1

5.6.2.2. *Elliptio complanata*

258. For the laboratory component of the current study, metals, Na and K were measured in gills, gonads and in the digestive gland following exposure to LSP sediments for 28 days. For the *in situ* component, following exposure for T=13 and T=83 days, EM, EM degradation and EM transformation products were measured in whole soft tissue; metals, Na and K were measured in gills, gonads and in the digestive gland.

Laboratory

259. As, Ba, Cd, Cu, Mo, Mn, Se, Sr and Zn were found to have bioaccumulated in the digestive gland, gills and gonads. For As, Ba, Cd, Cu, Se, Sr and Zn, the bioaccumulation was significant. The maximum BAF measured after 28 days of exposure (not necessarily at steady) were 2.3 for As (LT03; gills), 27.6 for Ba (LT03; gills), 4.8 for Cd (LTO2; digestive gland), 5.3 for Cu (LT03; gills), 59.5 for Mn (LT03; gills), 12.0 for Mo (LT02; digestive gland), 13.6 for Se (LHS03; digestive gland), 67.4 for Sr (LT03; gills) and 6.7 for Zn (LHS03; gills). The bioaccumulation factors for other metals were less than 1.

In situ

260. EM, EM degradation or EM transformation products were not detected in the whole soft tissues. Concentrations of metals in tissues were similar in both zones, except for Al and Na. Al was higher in digestive glands and in gonads from mussels exposed in the “potential exposure zone” compared to the “reference zone”. Na was higher in the digestive glands and gills in mussels from the “potential exposure zone”.

261. From the relative difference in median analyte concentrations between mussels from reference and exposure zones, it appears that the number of metals at elevated levels increases from gills (Al) to gonads (Al, As and K) to digestive gland (Al, As, Ba, Cd, Fe and Na). This suggests that primary exposure is via the food chain. Given the evident importance of the digestive gland, digestive gland tissue residues by location are presented in the subsequent section.

BAFs

262. Because metal concentrations at the exposure locations were not measured directly, values were prediction by geostatistical model and employed in calculating BAFs for Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Sr and Zn.. Al, Cr, Cu and Ni were selected in part because they

are associated with Champlain clays and in part because of the high BAFs for *Lumbriculus*. As, Ba, Cd and Zn were selected because of the high BAFs for *Lumbriculus*. Sr was included as its BAF could not be estimated in *Lumbriculus* and as Sr is a component of filler material for artillery shells. Prediction error was ignored in estimating the BAFs.

263. The percentages of BAFs within selected ranges, presented in Table 23, show that:

- a. Al, Cr and Ni do not bioaccumulate in the digestive gland;
- b. As, Cd and Cu do bioaccumulate but not strongly;
- c. Zn bioaccumulates in the digestive gland; and
- d. Ba and Sr are strongly bioaccumulative.

264. Examination of BAF and sediment variables using Spearman rank partial correlations showed no significant association, as shown in Table 24. This might be due to the limited range of sediment variables. As with *Lumbriculus*, there is no correlation between Elliptio digestive gland BAFs and the corresponding sediment metal concentration

Effects on Tissue Concentrations

265. Box and whisker plots of digestive gland residues by exposure zone are presented in Figure 78 to Figure 81. Results for B, Be, Mo, Sb, Sn, Ti, U, V and Zr are not presented as measurements were below DL. Al is the only metal that is elevated at the exposure location relative to the reference location, observed in gonads and gills

266. The possibility of effects of was investigated using likelihood ratio tests; the possibility of effect of zone was investigated by Wald test. No significant effects were found. See Table 25.

Table 23: Percentage of Bioaccumulation Factors (BAF) within Selected Ranges for *Elliptio* Digestive Gland

Analyte	Ranges of BAF								n
	(0-1]	(1-2]	(2-3]	(3-4]	(4-5]	(5-10]	(10-50]	(50-100]	
Al	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24
As	0.08	0.58	0.29	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	24
Ba	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.25	0.58	0.08	24
Cd	0.33	0.63	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24
Cr	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24
Cu	0.08	0.67	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24
Ni	0.96	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24
Sr	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.08	0.71	0.13	24
Zn	0.00	0.25	0.50	0.21	0.00	0.04	0.00	0.00	24

Table 24: Partial Correlations between *Elliptio* Digestive Gland BAFs and Sediment Variables

	Cu	Cd	As	Zn	Sr	Ba
% TOC	0.1971	0.0375	-0.1785	-0.2668	-0.1293	-0.1628
% Sand	-0.1971	-0.0375	0.1785	0.2668	0.1293	0.1628
% Silt and Clay	0.1971	0.0375	-0.1785	-0.2668	-0.1293	-0.1628
Sediment Conc.	-0.5507	0.0885	0.0675	-0.2908	-0.4182	-0.5437

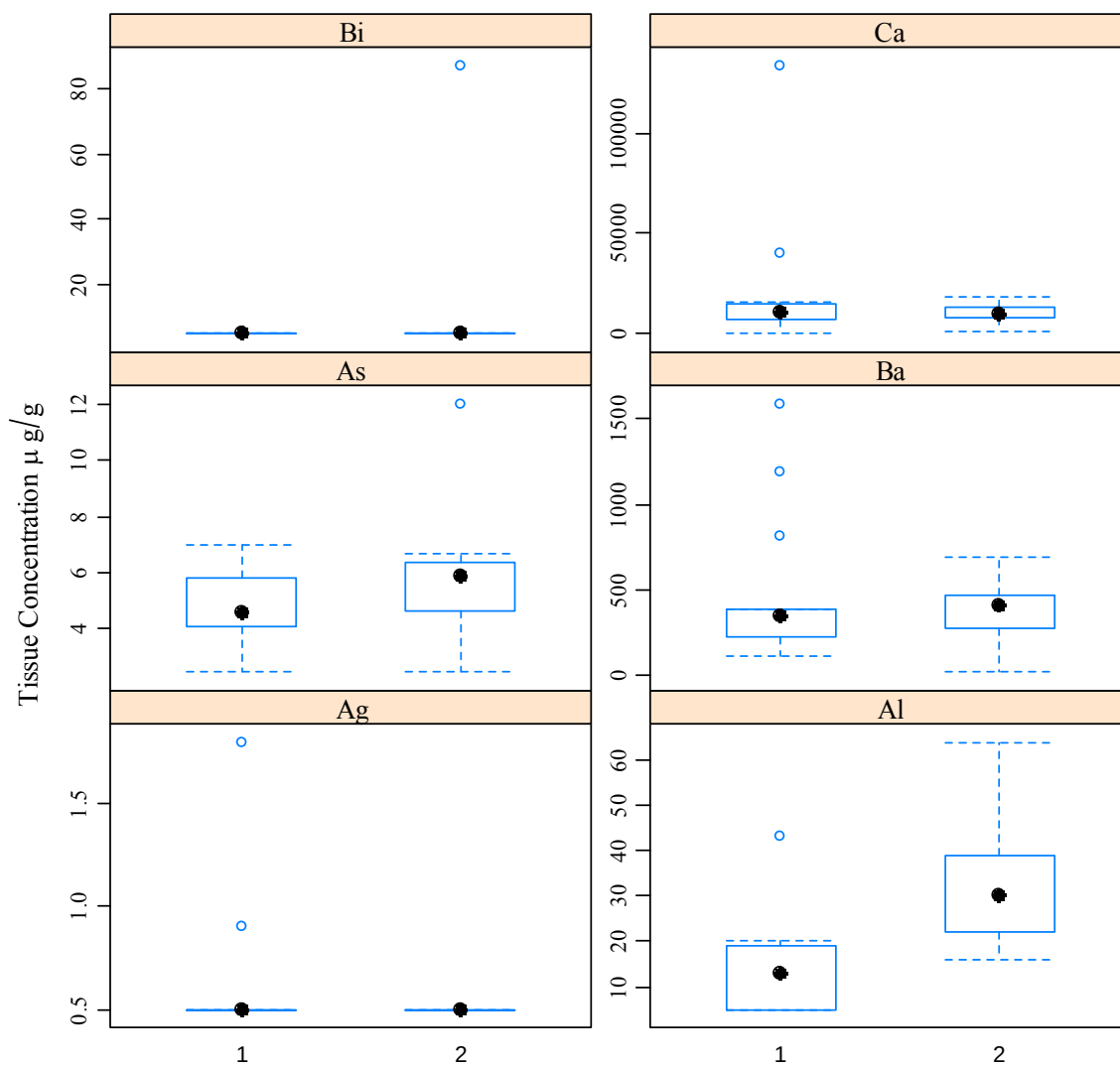


Figure 78: Ag, Al, As, Ba, Bi and Ca in Digestive Gland Tissues of *Elliptio*. Location "1" is the reference zone and location "2" is the exposure zone.

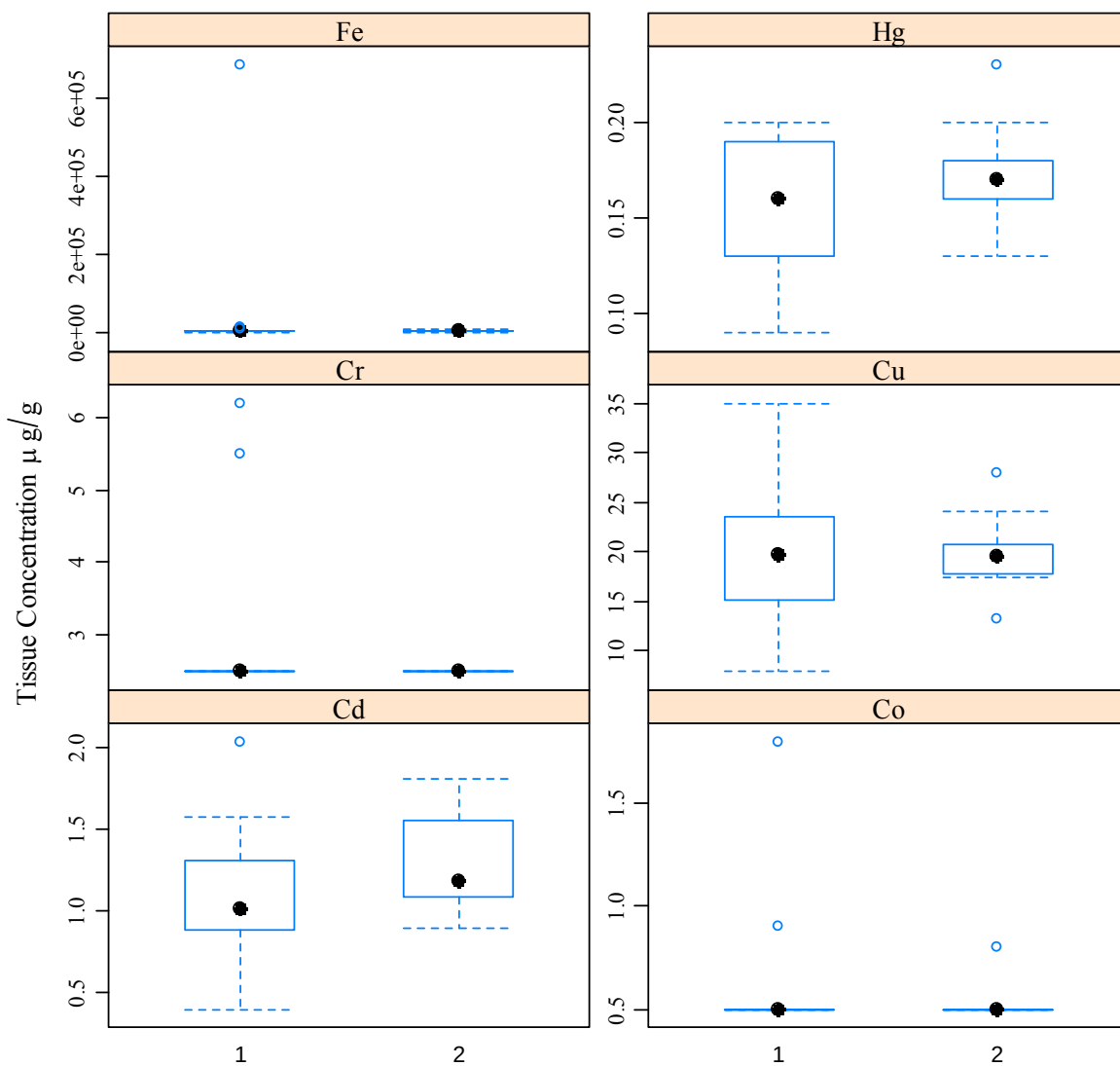


Figure 79: Cd, Co, Cr, Cu, Fe and Hg in Digestive Gland Tissues of *Elliptio*. Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.

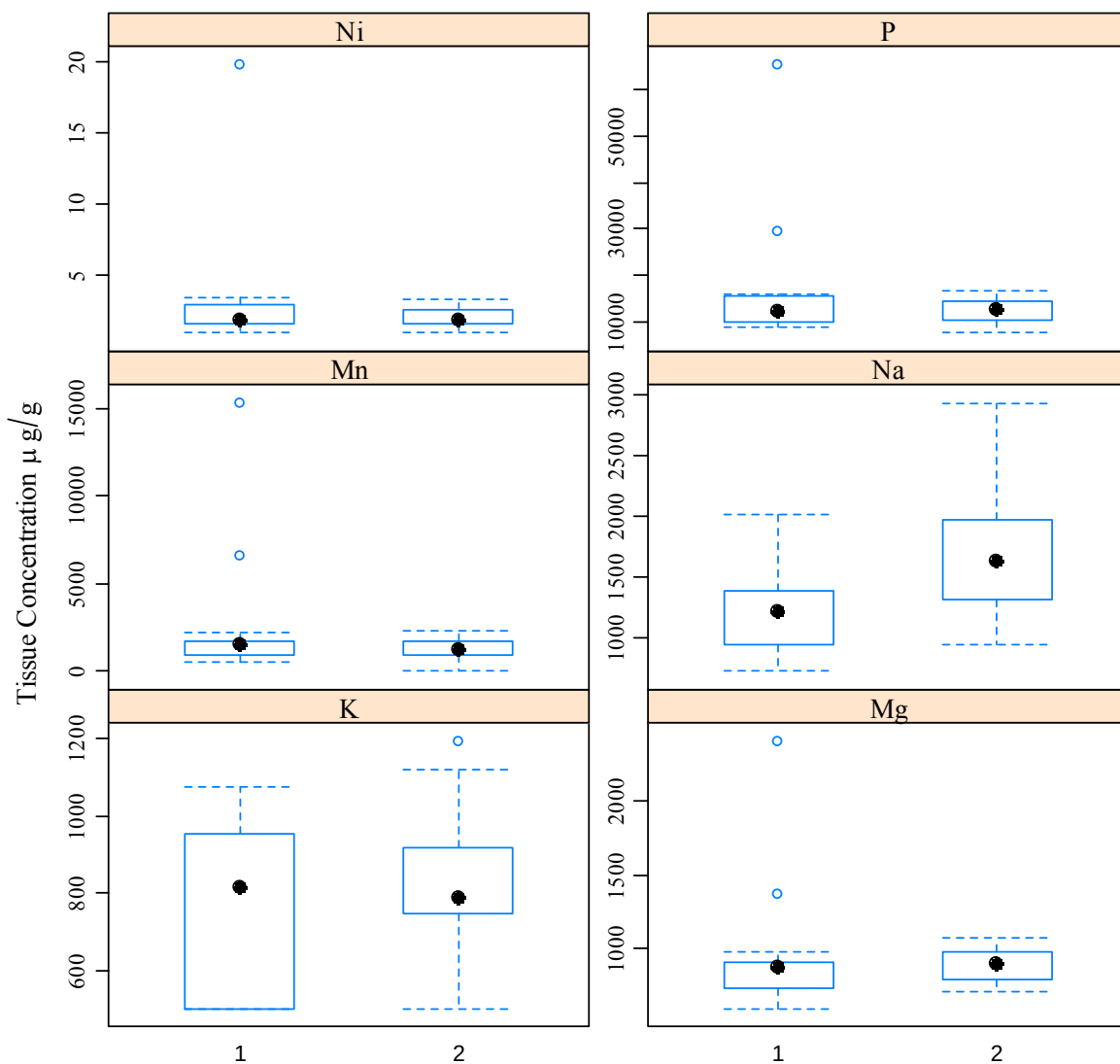


Figure 80: K, Mg, Mn, Na, Ni and P in Digestive Gland Tissues of *Elliptio*. Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.

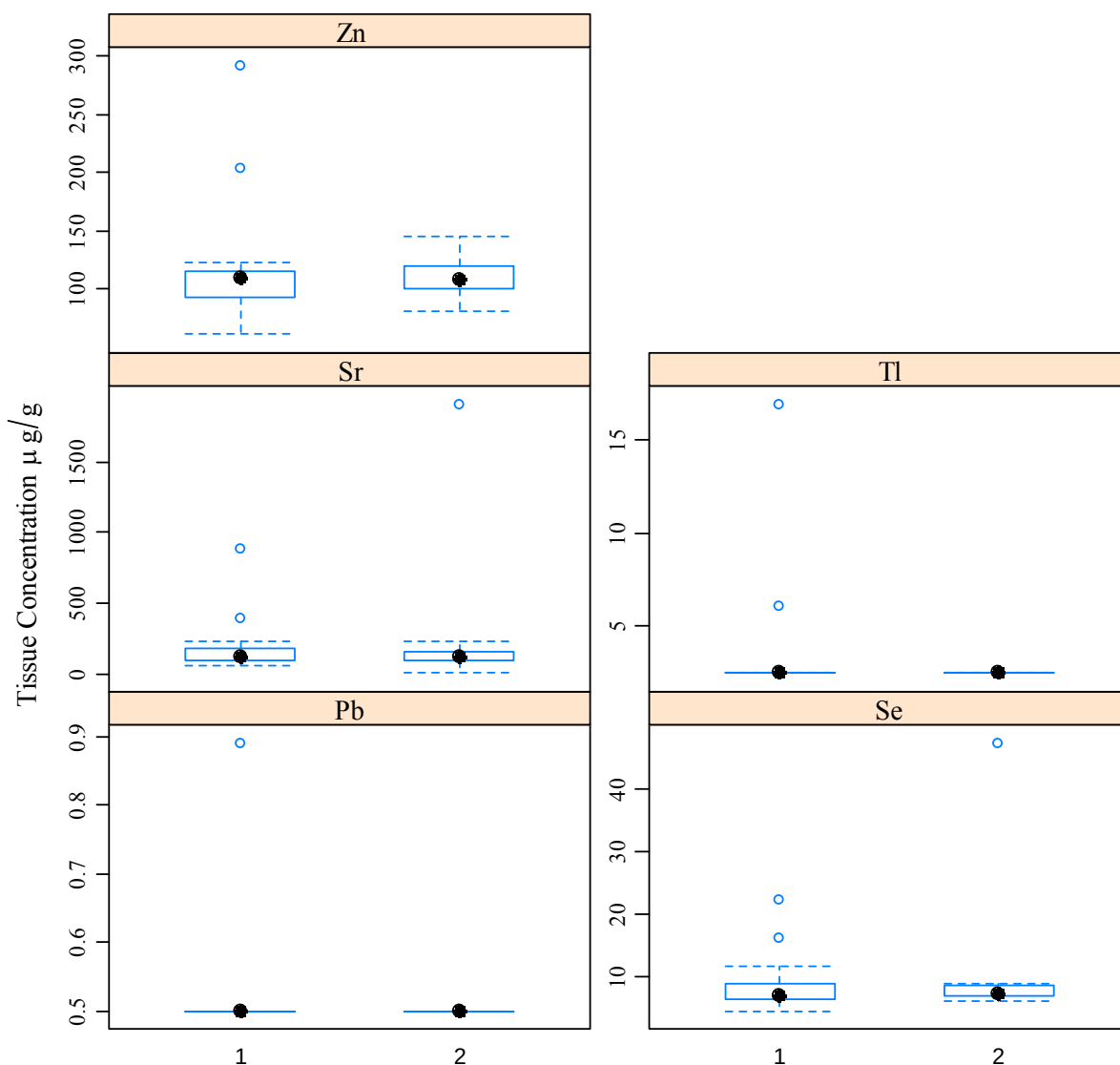


Figure 81: Pb, Se, Sr, Tl and Zn in Digestive Gland Tissues of *Elliptio*. Location “1” is the reference zone and location “2” is the exposure zone.

Table 25: Summary of Random Effects Modelling of Tissue Residues in *Elliptio complanata*

Analyte	Zone Significance	Site Significance	Cage Significance	Comment
Ag	NA	NA	NA	Majority of data at DL
Al	0.001131	0.2588	0.9999	Log transformed data are normal
As	0.2970	1	1	Log transformed data are normal
Ba	0.4307	0.7427	0.9999	Log transformed data are normal
Bi	NA	NA	NA	Only 1 observation > DL
Ca	0.6943	0.6939	0.5475	Log transformed data not normal
Cd	0.2022	0.0501	0.2659	Log transformed data are normal
Co	NA	NA	NA	Only 3 observations > DL
Cr	NA	NA	NA	Only 2 observations > DL
Cu	0.9953	0.5882	0.4474	Raw data are normal
Fe	0.3703	0.6684	0.9999	Log transformed data not normal, possibility of transcription error in one observations
Hg	0.2083	0.9999	0.9999	Raw data are normal
K	0.3650	0.9999	0.9999	Raw data are normal
Mg	0.8364	0.6749	0.4234	Log transformed data not normal
Mn	0.155	0.9999	0.9429	Log transformed data are normal
Na	0.0311	0.9999	0.9999	Raw data are normal
Ni	0.3879	0.9999	0.9999	Log transformed data not normal
P	0.3950	0.4609	0.4081	Log transformed data not normal
Pb	NA	NA	NA	Only 1 observation > DL
Se	0.6544	0.9999	0.9999	Log transformed data not normal
Sr	0.6272	0.9999	0.9999	Log transformed data approximately normal
Tl	NA	NA	NA	Only 2 observations > DL
Zn	0.9140	0.3982	0.1185	Log transformed data not normal

5.6.3. High Trophic Level: Fish Tissue Study

267. Fish were collected from 1) a “potentially contaminated site”, close to L3, labeled “E”, and from 2) a “reference site” site, close to L8, “R” for “reference area” in subsequent graphics. Details of fish collection, processing and tissue analyses are presented in BRI (Annex H) [42].

268. The species collected were *Perca flavescens* (Yellow Perch) and *Esox lucius* (Northern Pike). The sample sizes achieved are presented below. Note that the some of the sample sizes are quite low and samples sizes vary across factor (exposure area, gender and species) levels.

Table 26: Fish Bioaccumulation Sample Sizes

	Female		Male		Totals
	Exposure	Reference	Exposure	Reference	
<i>Esox l.</i>	6	8	5	2	21
<i>Perca f.</i>	10	2	7	4	23
Totals	16	10	12	6	46

5.6.3.1. Metal Concentrations

269. Energetic materials were not detected in *Perca flavescens* and *Esox lucius*, and therefore were not further considered.

270. Concentrations of As, Ba, Co, Mo, Pb and Sr in perch collected from the exposure site were significantly higher in perch collected from the reference site. Concentrations of As, Pb and Hg in perch collected at exposure site were elevated. Mn concentrations were significantly lower in perch from the exposure site than in the reference site. Mercury concentrations were somewhat high in male perch from the exposure site, but were also high in perch fish from the reference site. Mercury concentrations were also high in the pikes at the exposure and reference sites, and higher in pike than in perch. Concentrations of As, Ba, Cu, Cd, Cr, Sr, Pb, Zn were similar in pike collected at the exposure site and collected at the reference site. However, the concentrations of Pb (reference site only) and Hg (both sites) in the pikes were above the guidelines.

5.6.3.2. Investigation of Gender as Factor

271. The effects of gender upon tissue levels of dorsal muscle was investigated using a general linear model that assumed a Normal distribution. A likelihood ratio test was used to test for a gender effect. Where gender was found to be not significant, the effect of exposure alone is assessed using Welch’s test [61].

Perca flavescens

272. Figure 101 through 106 suggest that concentrations of analytes in perch, and their variability, are at the exposure site than at the reference site. The results of the hypothesis

tests are presented in Table 27. When the effect of gender is significant, the p-value is presented.

273. Concentrations of analytes in the female perch were significantly higher than in the male perch, suggesting a gender effect. However, since the female perch tended to be older than the male perch, this is put into question. Where no gender effects are apparent, concentrations of analytes tended to be higher at the exposure site.

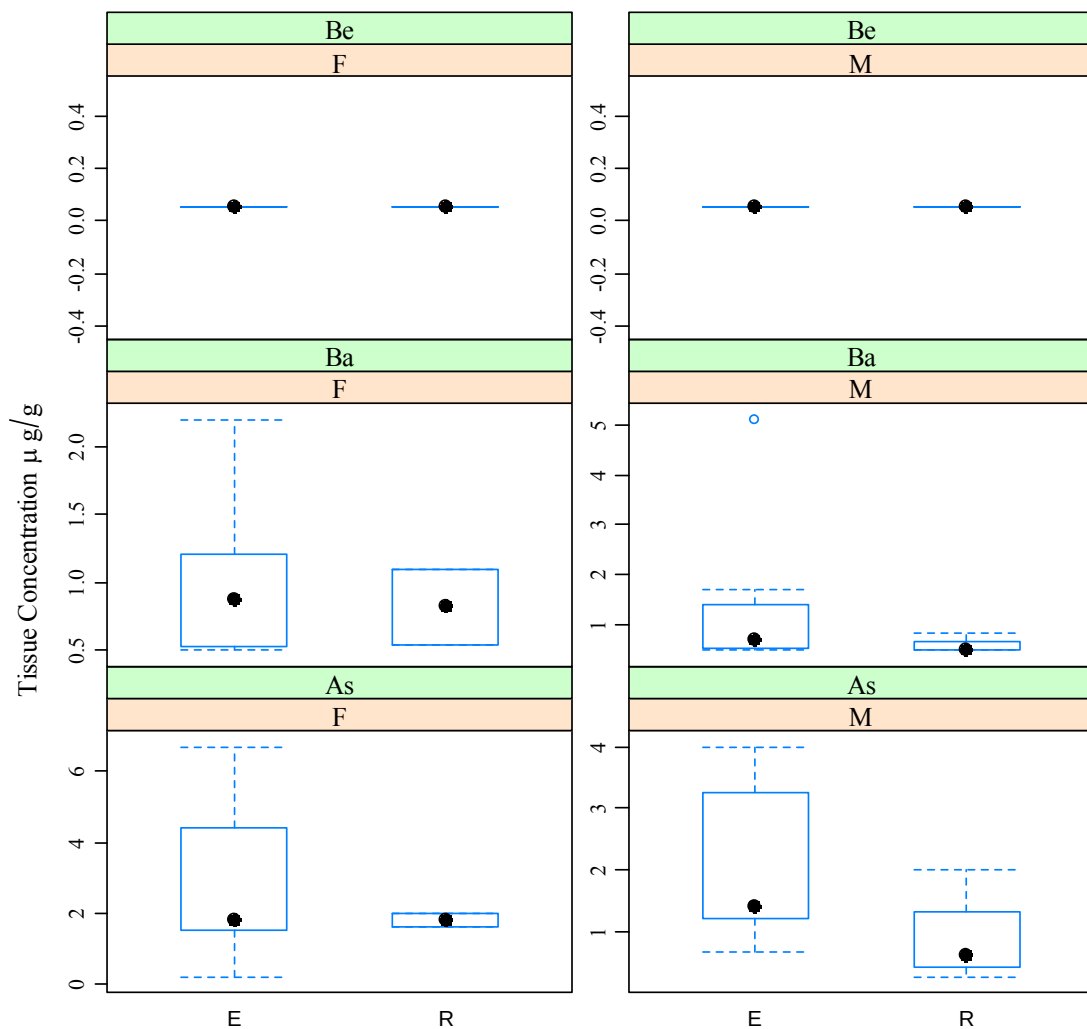


Figure 82: As, Ba and Be in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

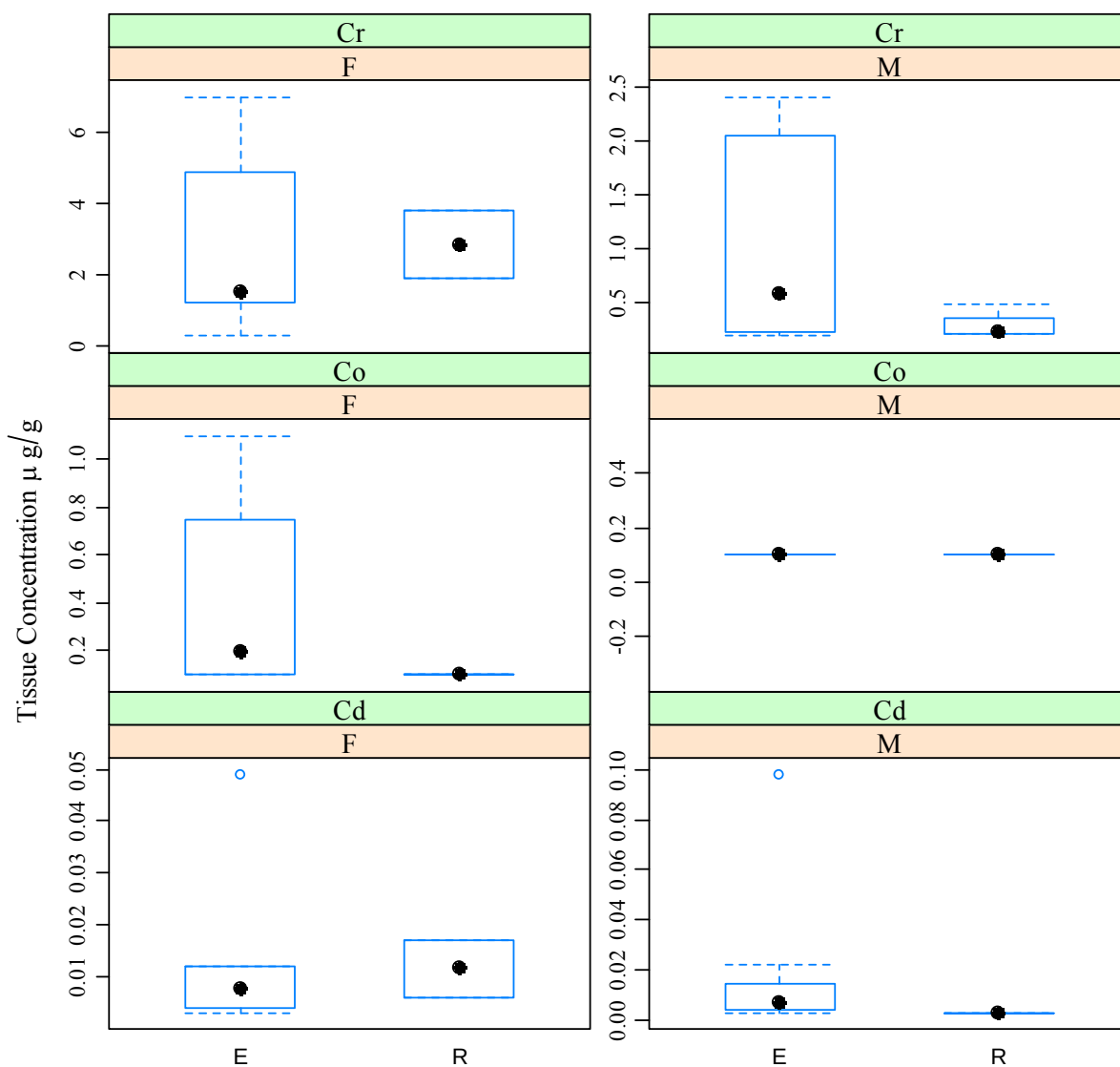


Figure 83: Cd, Co and Cr in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

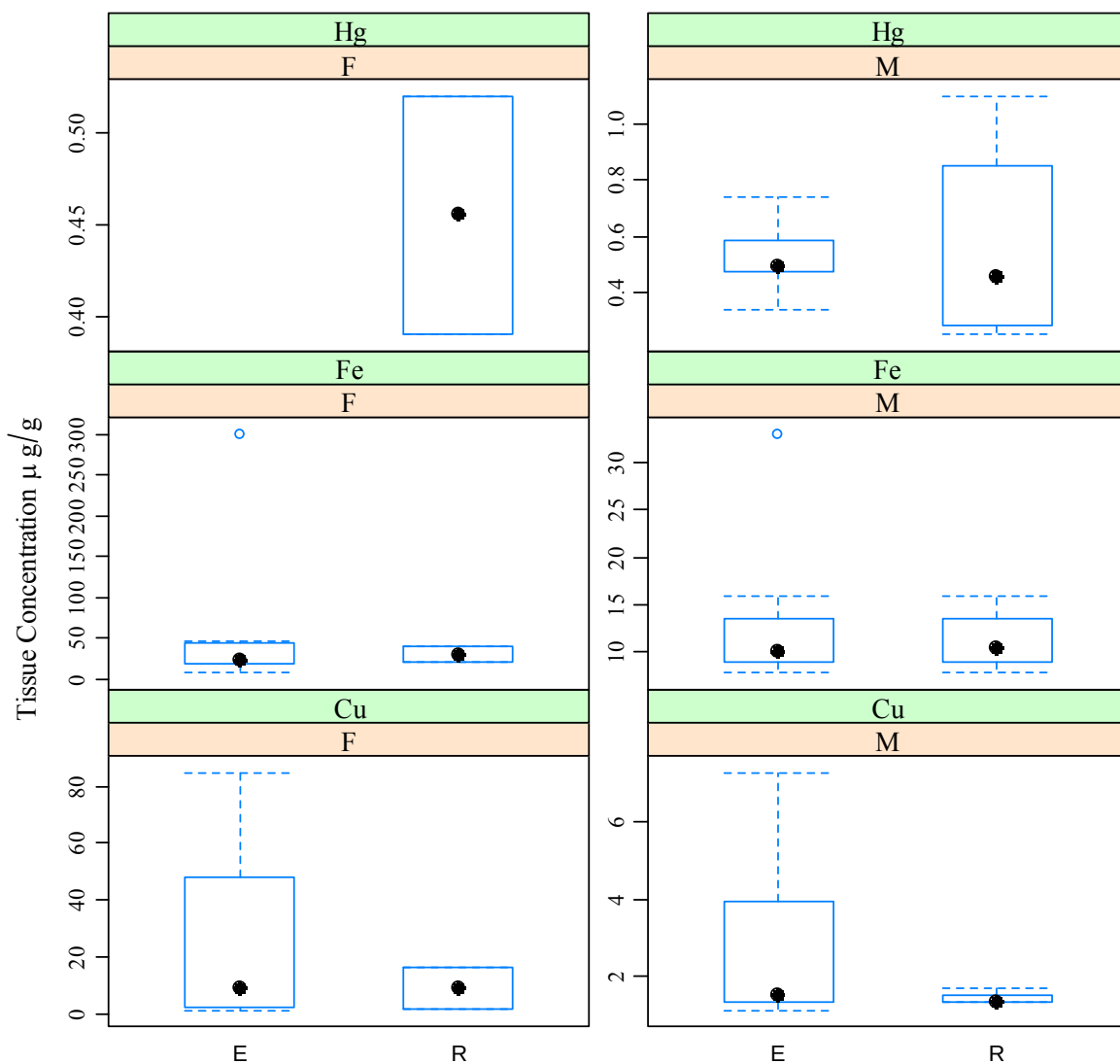


Figure 84: Cu, Fe and Hg in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

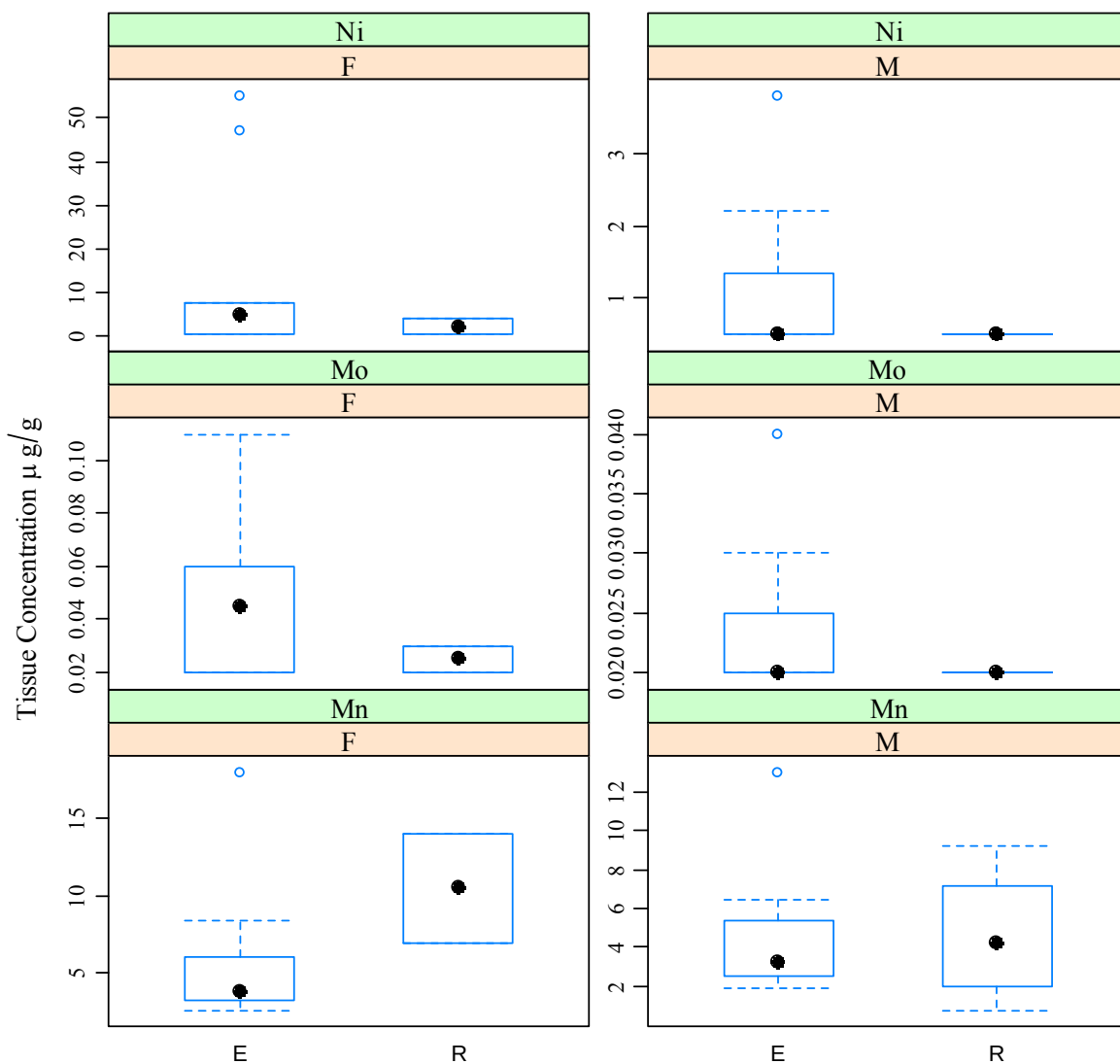


Figure 85: Mn, Mo and Ni in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

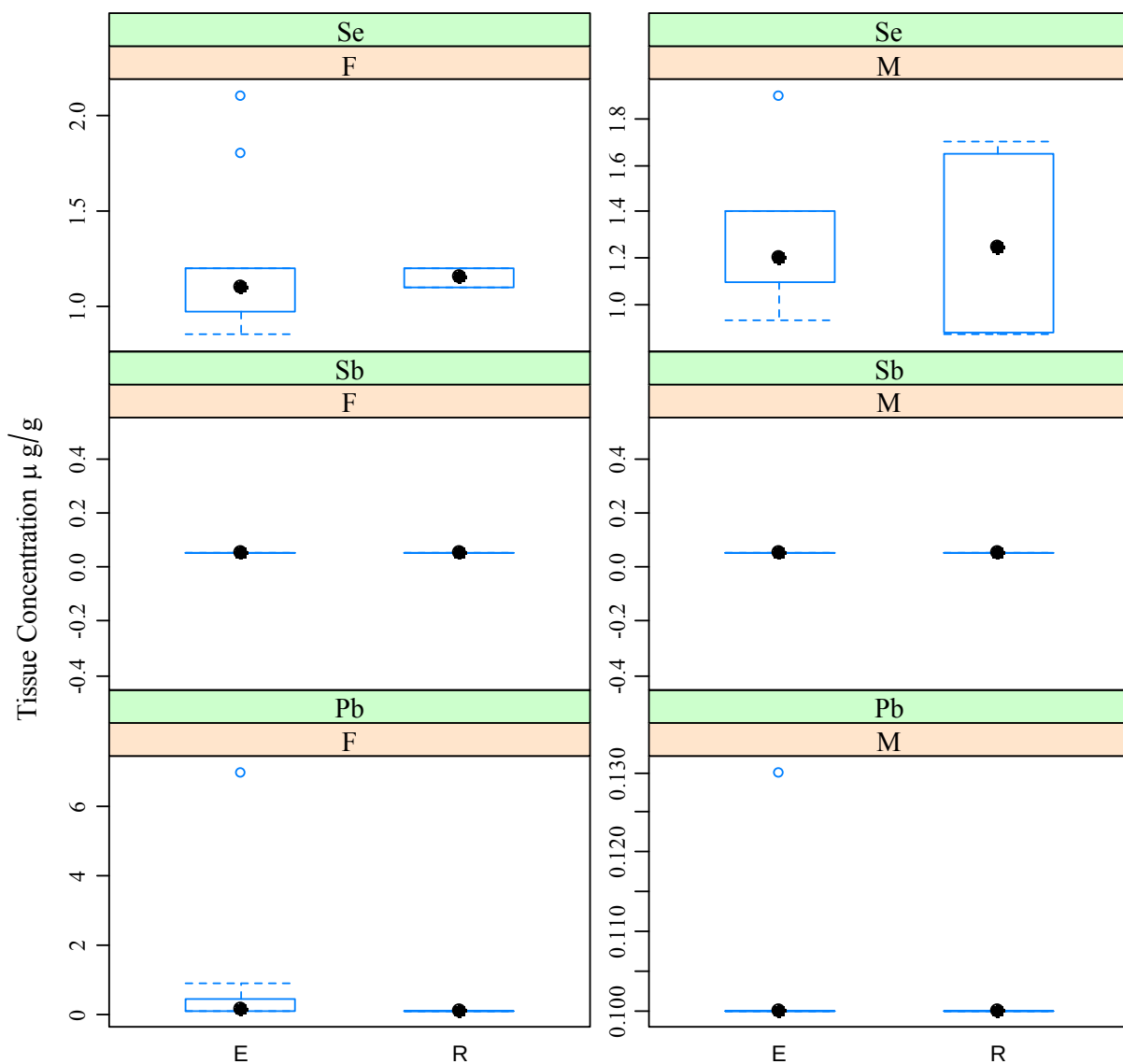


Figure 86: Pb, Sb and Se in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

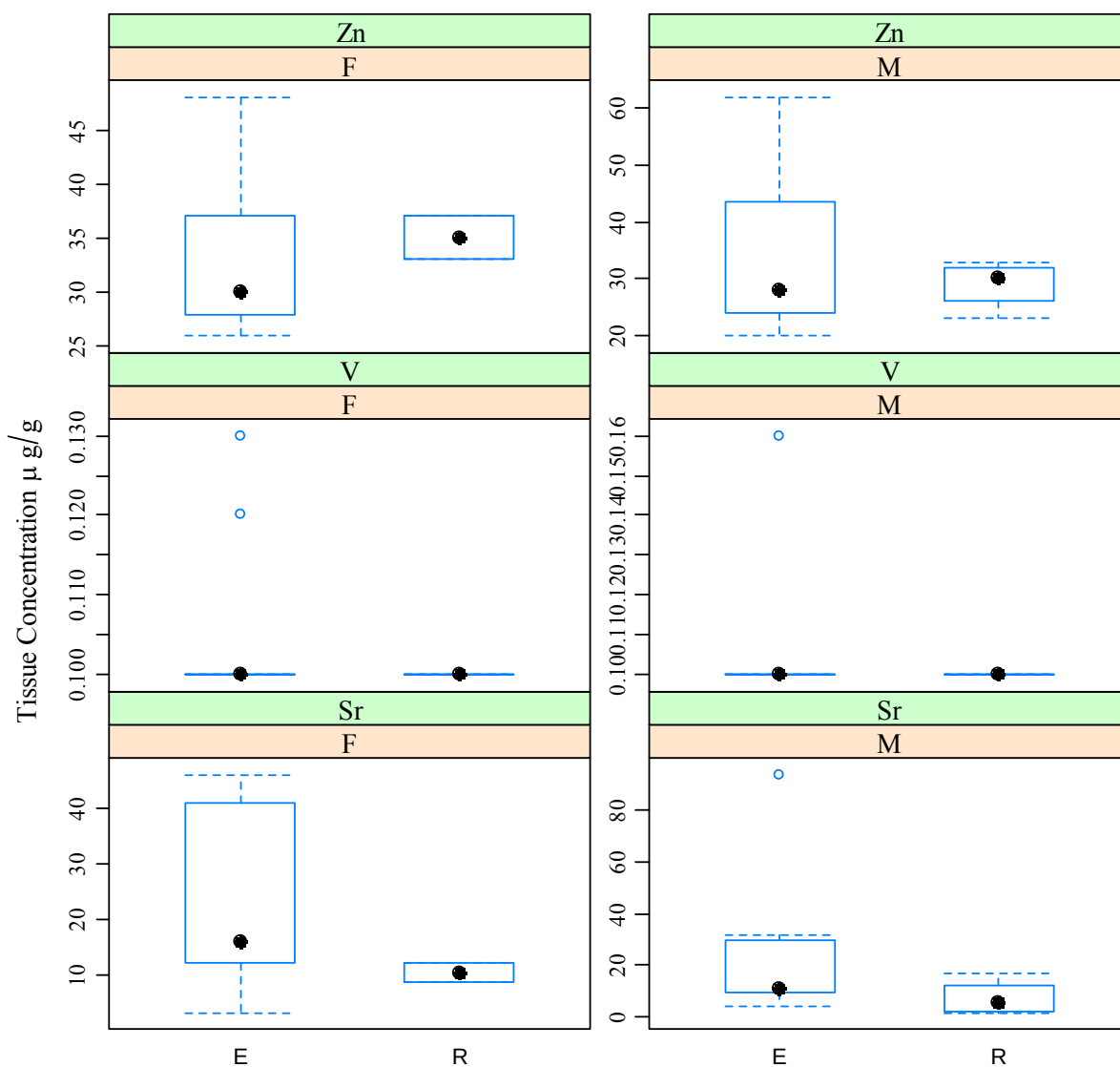


Figure 87: Sr, V and Zn in Perch Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

Table 27: Gender and Bioaccumulation in Perch

Analyte	Gender Significance	P-value	Minimum Detectable Difference [62] (µg/g)	Comment
As	No	0.01334	1.4957	Residuals normal
Ba	No	0.0410	0.9902	Residuals marginally non-normal
Cd	No	0.07324	0.02100	Residuals non-normal
Co	No	NA	NA	All tissue residues in males at DL, All tissue residues in reference area at DL
Cr	0.006589	0.150969	1.8409	Residuals normal after log transformation
Cu	0.01300	0.14103	21.6027	Residuals normal after log transformation
Fe	0.009000	0.3767	60.1526	Residuals non-normal
Hg	NA ¹	0.5697	0.1512	Residuals normal
Mn	0.2201	0.7803	3.7289	Residuals normal
Mo	NA ²	0.02768	0.0860	Residuals normal, results apply to females only. Only two measurements in reference area.
Ni	0.01613	0.0910	14.2630	Residuals normal after log transformation
Pb	0.09777 ³	NA ⁴	NA	Marked non-normality and numerous observations $\leq$ DL led to use of Wilcoxon rank sum test for gender effects in exposure area.
Se	0.5888	0.9006	0.3196	Residuals normal after log transformation
Sr	0.6099	0.0288	19.8323	Residuals normal after log transformation
V	NA	NA ⁵	NA	
Zn	0.7067	0.2116	9.6668	Residuals normal after log transformation

⁰ No female fish measurements available for exposure area

² Only 1 male fish with Mo concentration > DL. Therefore the gender effect was not tested statistically.

³ Test for gender in exposure study only. See comment for additional details.

⁴ All observations (male and female) at reference area $\leq$ DL. Therefore exposure effect will be "significant". Statistical test not conducted as requisite model (nonparametric unbalanced block) is not available as discussed in section

⁵ All V tissue data from reference $\leq$ DL and only 3 of 16 V tissue concentrations from exposure area > DL. Therefore statistical tests not conducted.

Esox lucius

274. The gender effect is less significant for pike than for perch. However, since only two male pike were collected from the reference area, this is put into question. In the following boxplots, When the effect of gender is “significant”, the p-value is presented. Only Mn is significantly elevated at the exposure location; however Cr, Sr and Zn might be considered statistically elevated.

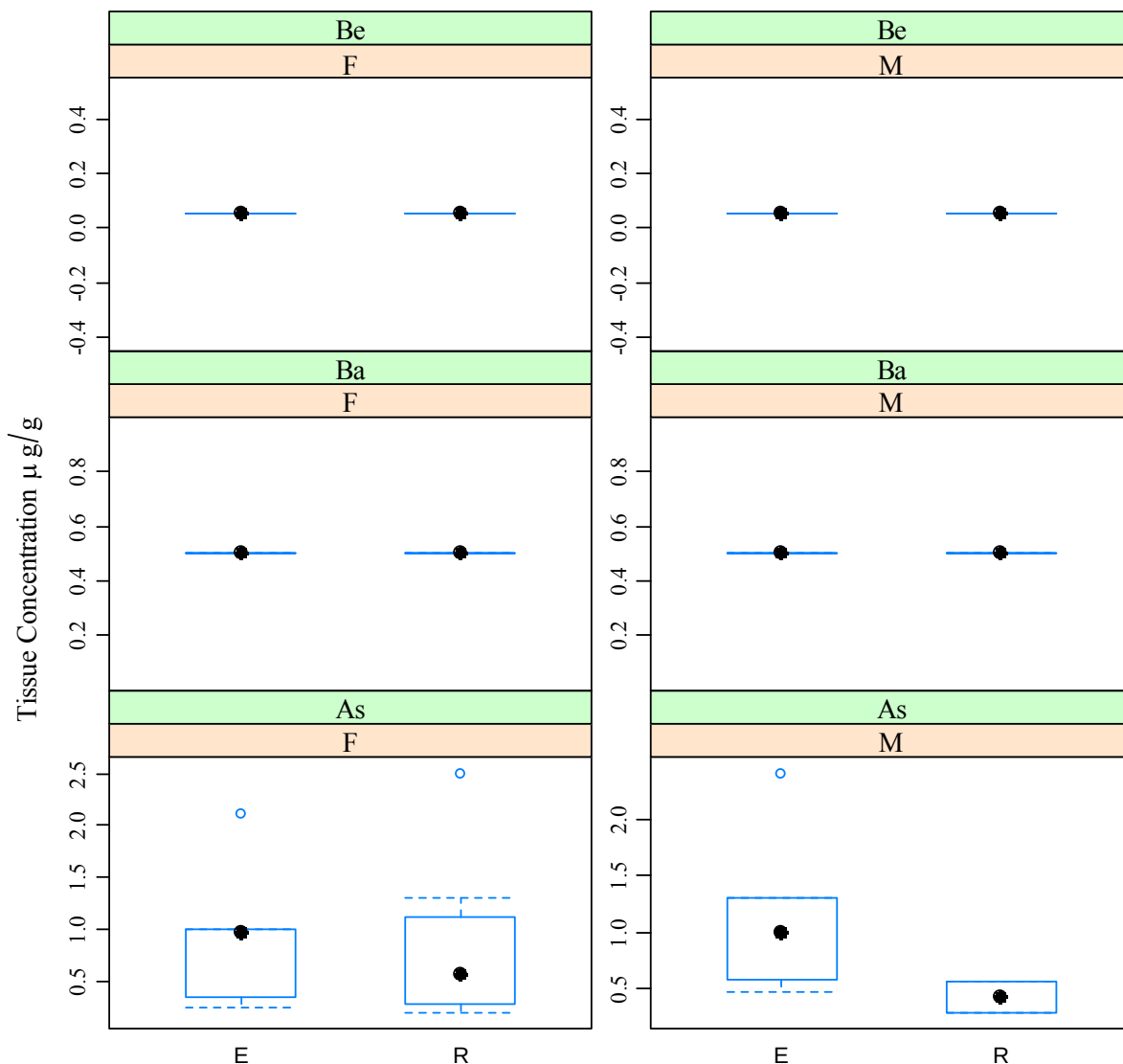


Figure 88: As, Ba and Fe in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

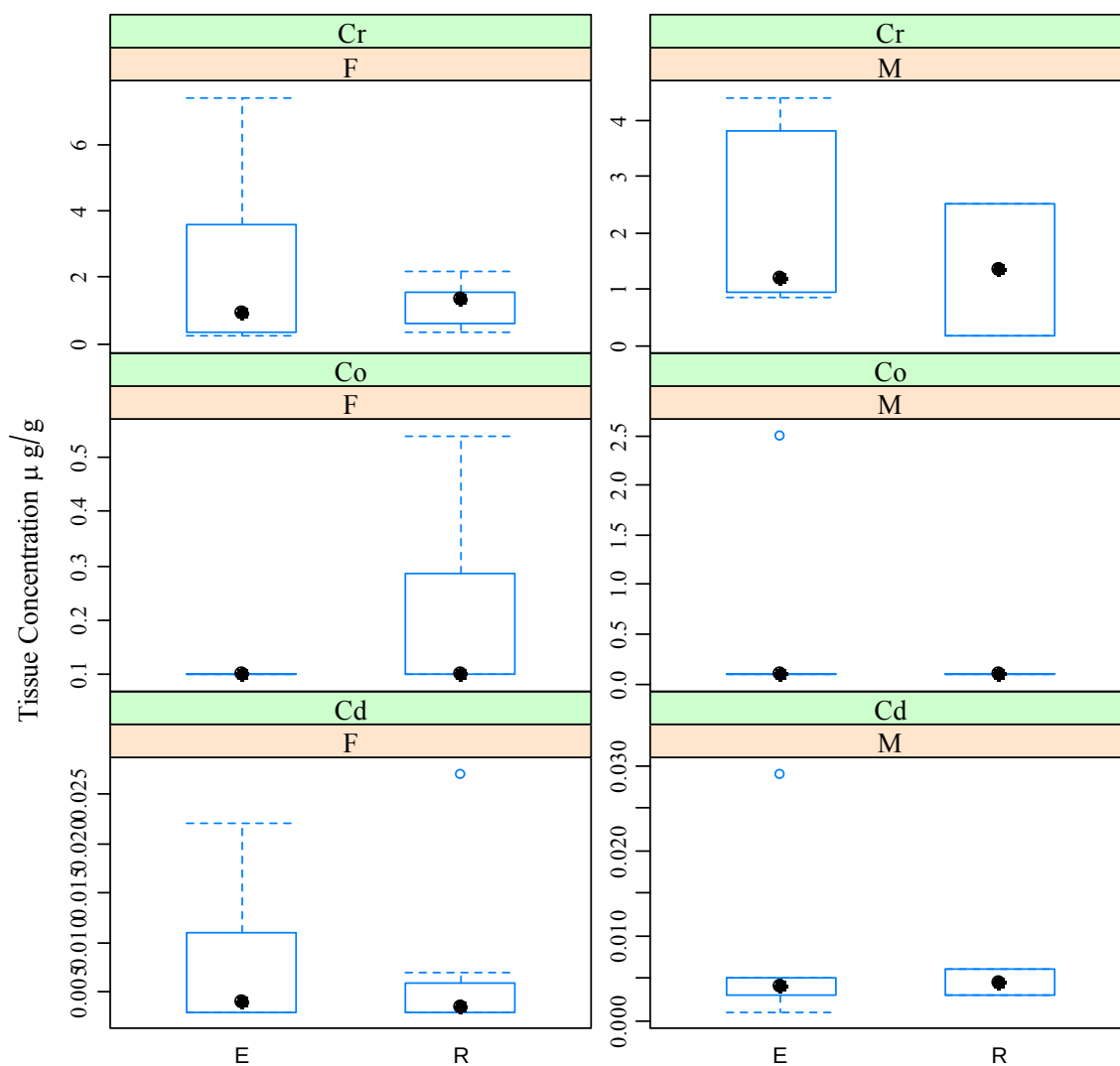


Figure 89: Cd, Co and Cr in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male).

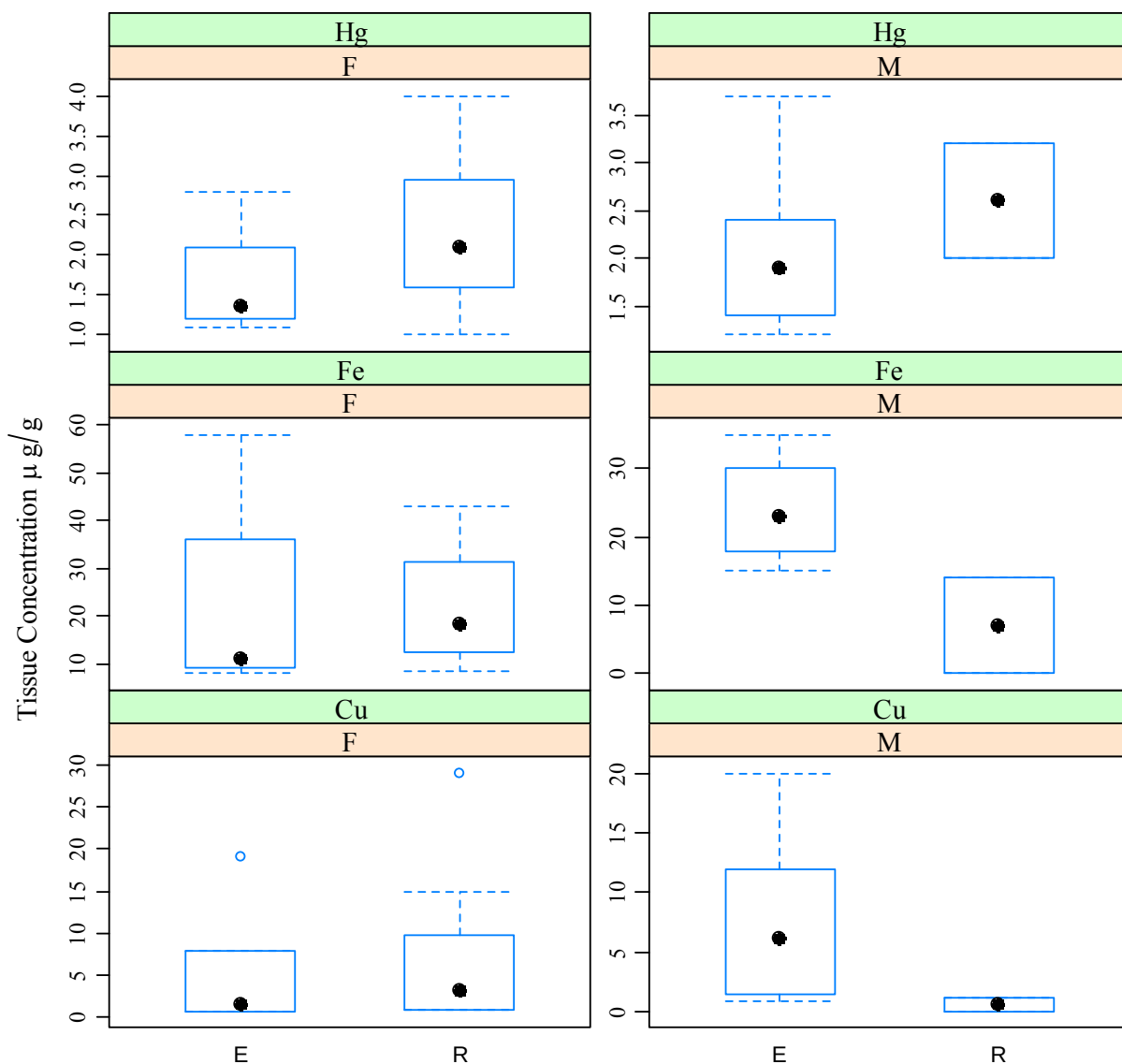


Figure 90: Cu, Fe and Hg in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

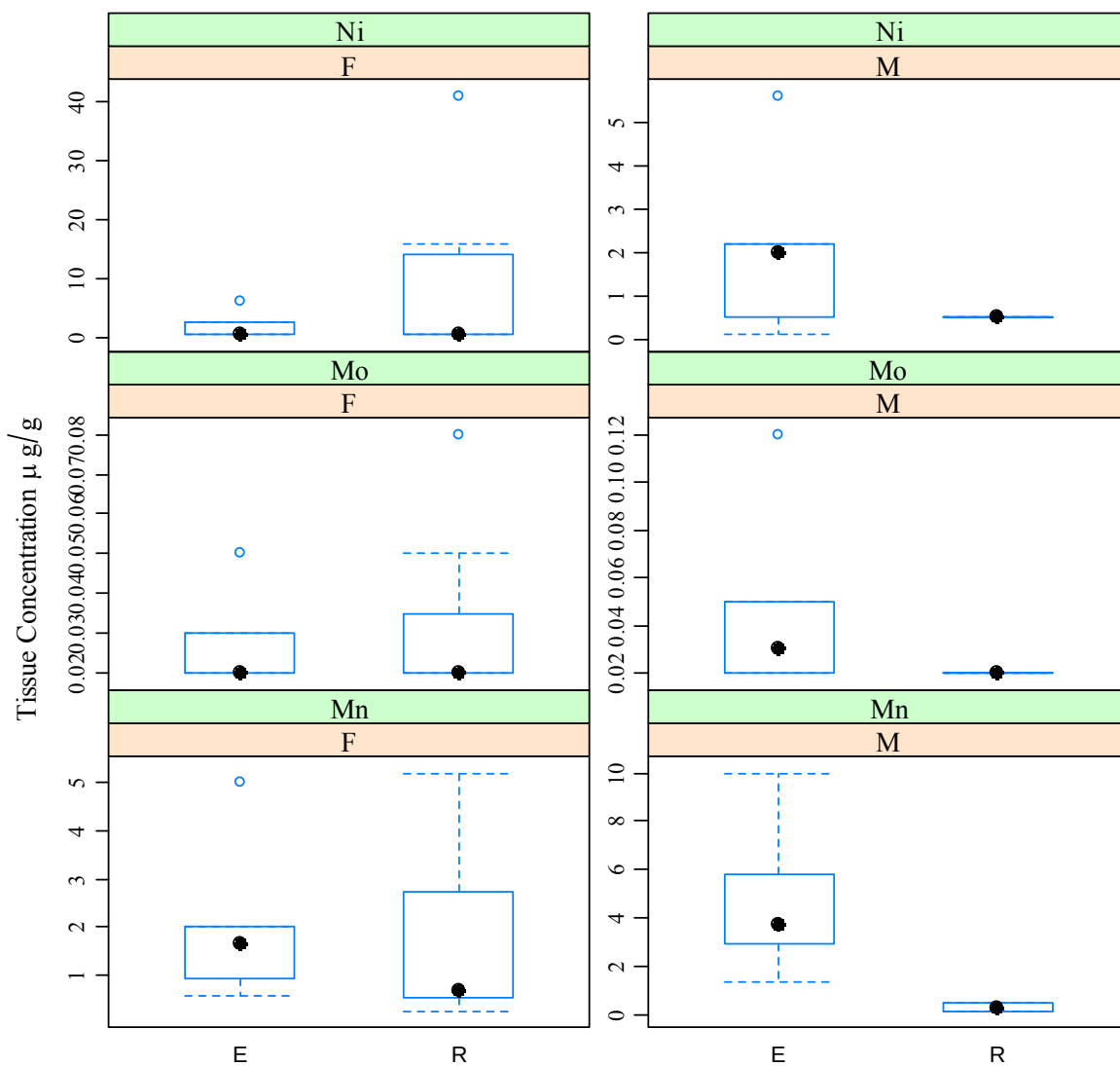


Figure 91: Mn, Mo and Ni in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

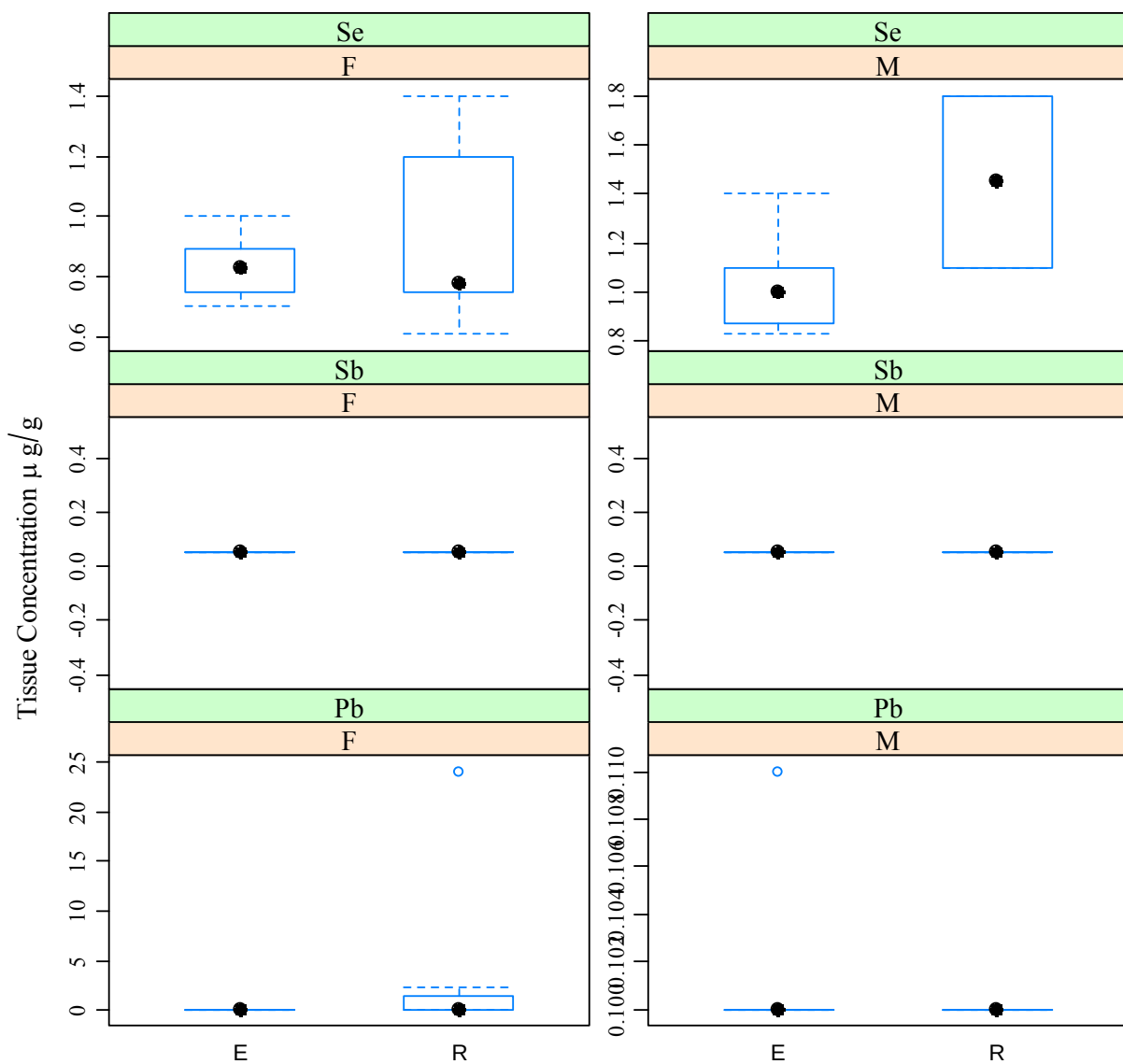


Figure 92: Pb, Sb and Se in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

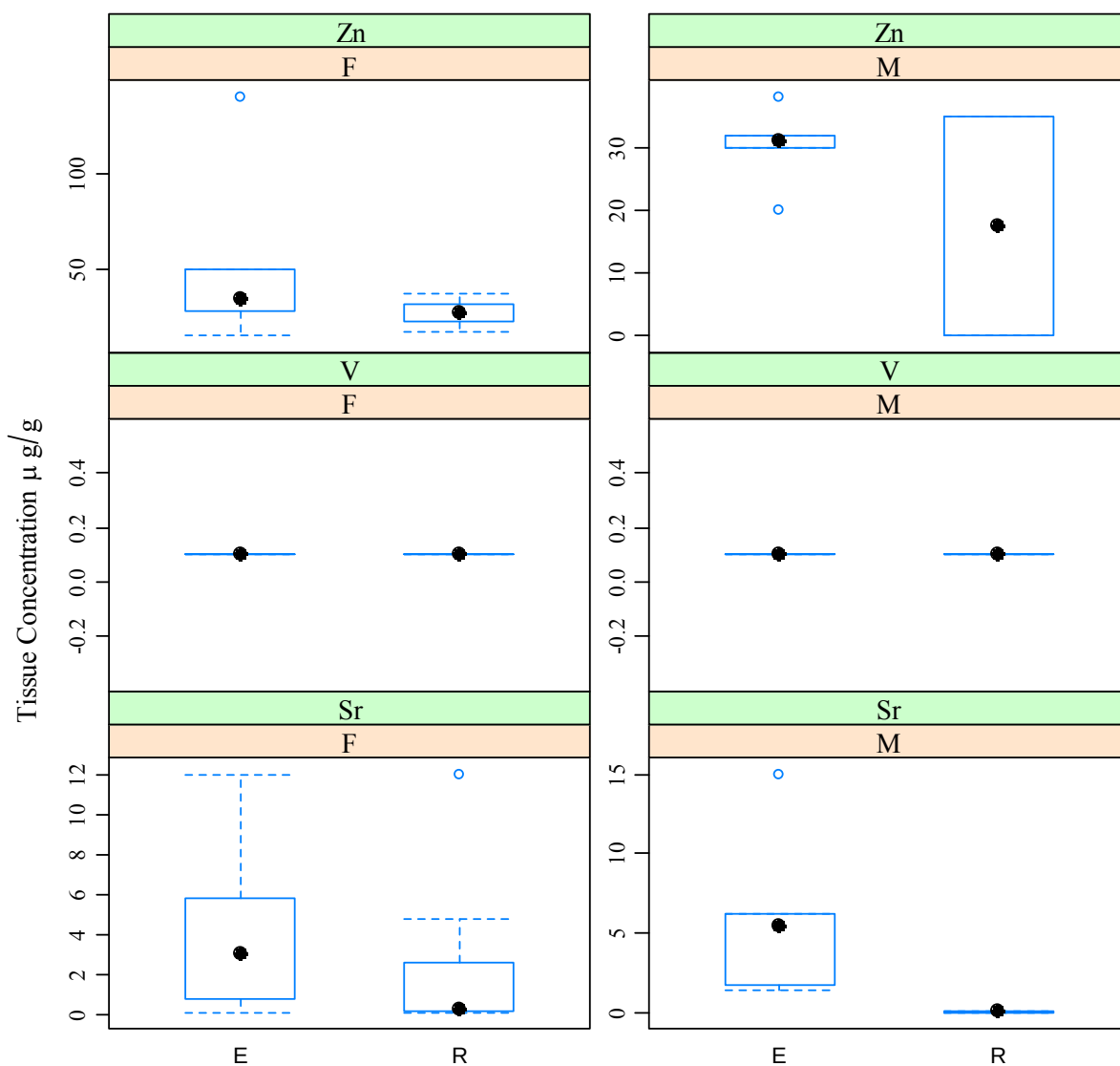


Figure 93: Sr, V and Zn in Pike Tissue (E= Exposure, R= Reference, F= female and M=male)

Table 28: Hypothesis Test Summaries for Bioaccumulation in Pike

Analyte	Gender Significant	Hypothesis Test P-value	Minimum Detectable Difference (µg/g) [62]	Comment
As	0.9425	0.1807	0.5186	Residuals normal after log transformation
Cd	0.6382	0.3221	0.006882	Residuals not normal
Co	NA	NA	NA	Only 3 observations (without patterns) > DL
Cr	0.8013	0.09422	1.7164	Residuals normal after log transformation
Cu	0.4901	0.4310	5.5727	Residuals normal after log transformation
Fe	0.5419	0.2587	11.6383	Residuals normal
Hg	0.3511	0.8362	0.6702	Residuals normal after log transformation
Mn	0.94919	0.04388	2.1192	Residuals normal after log transformation
Mo	NA	NA	NA	Specialized analysis required due to number of observations $\leq$ DL. Effort warranted only if Mo, Ni or Pb are of special interest.
Ni				
Pb				
Se	0.01887	0.7886	0.1477	Residuals normal
Sr	0.5812	0.05705	3.5950	Residuals normal after log transformation
Zn	0.2040	0.08135	25.7395	Marked non-normality. There is a possibility that one observation has been entered incorrectly.

Exposure Pathway Effect

275. The differences in dorsal muscle concentrations in perch and pike were examined to explore exposure pathway as a bioaccumulation factor. Table 29 shows that with regard to As the species effect is as significant as exposure site.

Table 29: ANOVA Table for Assessing Species Effect on As Accumulation

<i>Term</i>	<i>Degrees of Freedom</i>	<i>Mean Square Error</i>	<i>F-Statistic</i>	P-Value
Area	1	5.1648	8.1045	0.006935
Gender	1	0.0638	0.1000	0.75342
Species	1	5.3009	8.3182	0.006292
Error	40	0.6373		

5.6.4. Summary and Conclusions

276. Bioaccumulation tests were included to further explore the possibility that AOPC, even if not found at significant concentrations in the LSP environment, might be present in the LSP organisms. At the lower trophic-level, the worm *Lumbriculus variegates* and the mussel *Elliptio complanata* were exposed in the laboratory to sediment samples for 28 days, and *Elliptio complanata* was exposed in-situ in a “potentially contaminated zone” and in a “reference zone” for 13 and 83 days. At the higher trophic-level, a preliminary study was conducted on the fish perch (*Perca flavescens*) and pike (*Esox lucius*) collected from a “potentially contaminated site” and a “reference site”. Concentrations of select metals were measured in the whole organism or in tissues and Bioaccumulation Factors (BAFs) were calculated and mapped.

277. No EM, EM degradation or EM transformation products were found to have bioaccumulated.

278. In the laboratory study with *Lumbriculus variegates*, significant bioaccumulation of Ba, Cd, Cu, K, Na, Se and Zn was found. In the laboratory study with *Elliptio complanata*, similar results were observed. These results indicate a substantial potential for bioaccumulation of these metals. While Ba is a component of shell filler material, this is not necessarily the source.

279. For the *Elliptio complanata in situ* study, metals also bioaccumulated in tissues and, except for Al and Na, were found to be at similar levels in both zones, except for Al and Na. Al was higher in digestive glands and in gonads, and Na was higher in the digestive glands and gills, in the “potential exposure zone” than in the “reference zone”.

280. In the fish, concentrations of Ba, Co, Mo, Pb, and Sr were higher in perch from the potentially contaminated site than from the reference site. Concentrations of As in perch

was elevated at the potentially contaminated site. Hg concentration was also elevated in potentially contaminated and in the reference site. In pike, metal concentrations from the potentially contaminated site were similar to concentrations from the reference site. Hg concentration in pike at both sites and the concentration of Pb in pike at the potentially contaminated site were elevated. These findings indicate that no firm conclusion can be drawn regarding distribution of metals between the reference site and the potentially contaminated site.

281. In general, the bioaccumulation investigation found no significant difference between different areas of LSP, supporting the overall finding that UXO is not a significant source of AOPC in the lake.

5.7. ECOTOXICITY

5.7.1. Introduction

282. Given the limitations of single chemical guidelines, toxicity testing may be required to fully assess sediment quality.

283. The tests, species, and measurement endpoints were selected primarily to assess different exposure pathways (e.g., water, bulk sediment, sediment pore water and elutriate), and in consideration of their sensitivity to the AOPC. Rapid tests (Microtox, SOS chromotest) with measurement endpoints at low levels of biological integration were to screen for adverse effects of EM; Standard ecotoxicity tests at higher levels of biological integration for the endpoints growth, emergence, reproduction and survival in which species were exposed to a variety of matrices to address different exposure pathways; the biomarkers MTLP and lipid peroxidation were measured in *Lumbriculus variegates* and *Elliptio complanata* following laboratory to surficial sediment samples and in *E. complanata* following *in situ* exposure. Additionally, the immune response biomarkers cell viability, phagocytic activity and phagocytic efficiency were measured in *E. complanata* following *in situ* exposure.

284. This section of the report summarizes major findings taken from more detailed reports in Annex H. Ecotoxicity results are presented by matrix, then endpoint. Results of some ecotoxicity tests on surficial sediment were integrated.

5.7.2. Water Column

285. A series of ecotoxicity tests were conducted on water column samples for one or more of endpoints survival, growth, reproduction and bioluminescence. The following subsections and Table 30 provide an overview of the results emphasizing locations for which adverse effects were observed. For detailed results, see the reports by BRI and Stantec (Annex H).

5.7.2.1. Survival

286. Survival of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), fathead minnow (*P. promelas*) and the waterflea (*Cladocera: Ceriodaphnia dubia*) was not significantly affected.

5.7.2.2. Growth

287. Growth of fathead minnows was not significantly affected; however, algal (*P. subcapitata*) growth was significantly reduced in three samples and was enhanced in six. Dry weight and frond production increased in *L. minor* for all samples but one. The stimulation of growth observed for aquatic plant life is usually associated with nutrient enrichment.

5.7.2.3. Reproduction

288. Reproduction of *C. dubia* was stimulated in most samples and was not adversely affected in any sample. This is expected given that ceriodaphnids feed almost exclusively on detritus and algae.

5.7.2.4. Bioluminescence

289. Bioluminescence of the bacteria *Vibrio fischeri* was not significantly affected.

Table 30: Summary of Biological Responses of Organisms Exposed to LSP Water Samples.

Endpoint		Organism	n	Significant Effects [‡]		Laboratory
				Stimulation	Inhibition	
Survival		<i>O.mykiss</i>	12	None	None	Stantec
		<i>P. promelas</i>	12	None	None	Stantec
		<i>C. dubia</i>	12	None	None	Stantec
Growth	dry weight	<i>P. promelas</i>	12	None	None	Stantec
		<i>L. minor</i>	12	All	None	Stantec
	Frond production cell yield	<i>L. minor</i>	12	All but T8	None	Stantec
		<i>P. subcapitata</i> (previously <i>S. capricornutum</i>)	12	W1.06, W2.06, W3 –W6	T7, T8, T10	Stantec
Reproduction		<i>C. dubia</i>	12	T8	None	Stantec
Bioluminescence		<i>V. fischeri</i>	12	None	None	Stantec

[‡] As determined by Stantec using statistical hypothesis testing tools.

5.7.3. Sediment

290. Ecotoxicity tests were conducted on organisms exposed to surficial and depth sediment, sediment porewater and sediment elutriate. Additionally, laboratory and *in situ* tests for the biomarkers MTLP and lipid peroxidation were conducted. Results are summarized below and in Table 31.

5.7.3.1. Endpoints

291. Tests were conducted on select organisms for one or more of endpoints survival, growth, reproduction, emergence, bioluminescence, genotoxicity and mutagenicity

Survival

292. Survival of larvae of the benthic midge (*Chironomus riparius*) and nymphs of the benthic amphipod (*Hyalella azteca*) was not significantly reduced after acute exposure (7, 10 and 14 days). However, survival of *H. azteca* was significantly reduced after long term exposure (42 days) during a reproduction test with one sediment sample. The increase in survival observed for 2 samples is likely attributable to biological variability.

293. In a previous study of toxicity of postglacial clay sediments of LSP along the shipping channel, the survival of *Chironomus tentans* was unaffected [63]. The survival of *Hyalella azteca* was significantly reduced for one of the five samples tested. The sample that adversely affected survival had neither the highest concentration of a metal nor of total metals in comparison to the four other samples.

Growth

294. Growth of *C. riparius* was significantly reduced when exposed to a sample at 7 d exposure and a sample at 14 d exposure.

295. Similarly, in a previous postglacial clay study, growth of *C. tentans* was significantly reduced when exposed to a sample with the highest copper, mercury and magnesium levels but not with the highest total metals level [63].

Growth of *Hyalella azteca* was significantly reduced in samples SET1-SET8 (14 and 42 day exposure), SET01 and HS03 (14 day exposure) and LT01, LT02 and LHS03 (42 day exposure). Inhibition of less than 20 % may be attributed to biological variability. Differences in body length ranged from 15.2 to 84.1 % and differences in dry mass ranged from 0.164 to 10 %. In the postglacial clay study, which employed five samples from the shipping channel, growth of *H. azteca* was significantly reduced by four and enhanced by one. Differences in growth were attributed to degrees of sediment compaction [63].

Table 31: Ecotoxicity Results for Whole Sediment Samples Obtained from Lac Saint-Pierre.

Endpoint	Organism	Exposure (days)	n	Sites with Significant ¹ Effects		Overall Severity	Laboratory
				Stimulation	Inhibition		
Survival	<i>C. riparius</i>	7	10	none	none	minor to no effect	BRI
		10	14	none	none	No significant effects	Stantec
		7	10	none	none	minor to no effect	BRI
	<i>H. azteca</i>	14	14	none	none	No significant effects	Stantec
		28	14	SET1, SET8	SET10	Significant increase and decrease	BRI
Growth	<i>C. riparius</i>	7	10	none	ET2, ET4	moderate reduction	BRI
		10	14	none	SET2	Significant decrease	Stantec
		7	10	none	none	minor to no effect	BRI
	<i>H. azteca</i>	14	14	none	SET1-SET8, LT01, HS03	Significant decrease	Stantec
		28	12	none	SET1-SET8 NOTE: SET9 and SET10 not tested.LT01LT02, LHS03	Significant decrease	BRI
Reproduction	<i>H. azteca</i>	42	14	none	SET1-SET10	Significant decrease	BRI
Emergence	<i>C. riparius</i>	60	10	ET8	none	none - moderate enhancement	BRI
Bioluminescence (IC 20,IC50) solid phase	<i>V. fischeri</i>		115 (78 surficial and 37 depth)	none	SET8, SET10 LT02, S61, S7, S19, S20, S21, S25, S27, S28, S39, S40, S44, S47, S51, S52, S70 C61 (0-50)	Significant decrease	BRI
MTLP	<i>L. variegatus</i>	28	14	SET2-SET9	LT02, HS03	Significant sublethal effect	BRI
	<i>E. complanata</i>	28	14	SET9, LT02, LT03, LHS03 (gonad)	LT02 (digestive gland) SET7, (gonad)	Significant sublethal effect	BRI
	<i>E. complanata</i>	13 and 83 in-situ	6	NA	NA	NA	BRI
Lipoperoxidase	<i>E. complanata</i>	28	14	NA	NA	NA	BRI
	<i>E. complanata</i>	13 and 83 In-situ	6	NA	NA	NA	BRI
Phagocytosis	<i>E. complanata</i>	13 and 83 in-situ	6	NA	NA	NA	BRI

¹ BRI - Significant difference compared to controls (Mann-Whitney; p< 0.05). Stantec – Significantly different from control (alpha =0.05)

Reproduction

296. Although the relevance of toxicity testing with *H. azteca* has been debated [64], there is general agreement that *Hyalella* spp. comprise one of the most sensitive test species, particularly to metals in sediment and in interstitial water [65,66,67]. Reproduction of *H. azteca* was significantly reduced in organisms exposed to samples T1-T10. Mean reproduction inhibition was about 70 %.

Emergence

297. Emergence of *C. riparius* was stimulated by one surficial sediment sample (T8).

Bioluminescence

298. Bioluminescence using *Vibrio fischeri* (Microtox solid phase) was measured on certain surficial and core sediment samples. Significant inhibition was observed in organisms exposed to 18 surficial samples and to 1 depth sample. Results are presented in Table 31 and Figure 94.

5.7.3.2. Biomarkers

299. The biomarkers metallothionein-like protein (MTLP) and lipid peroxidation, as well as the immune response markers cell viability, phagocytic activity and phagocytic efficiency, were measured to further investigate ecotoxicity. MTLP is involved in the regulation and detoxification of metals, and higher concentrations might indicate metal exposure. Lipid peroxidation indicates cellular stress.

300. To investigate the effect of metals, *Lumbriculus variegates* and *Elliptio complanata* were exposed in the laboratory to 14 sediment samples for 28 days; MTLP concentration was then measured in whole *Lumbriculus variegates* and in *Elliptio complanata* tissues.

301. To investigate cellular injury, *Elliptio complanata* was exposed *in situ* at six sites, three in each of a “potentially contaminated zone” and a “reference zone” for 14 and 83-days; Lipid peroxidation was then measured in tissues.

302. To investigate immune activity, analyses of phagocytosis (phagocytic activity and phagocytic efficiency) was conducted on the *Elliptio complanata* exposed in the two zones mentioned above. Refer to BRI Reports in Annex H for details [68].

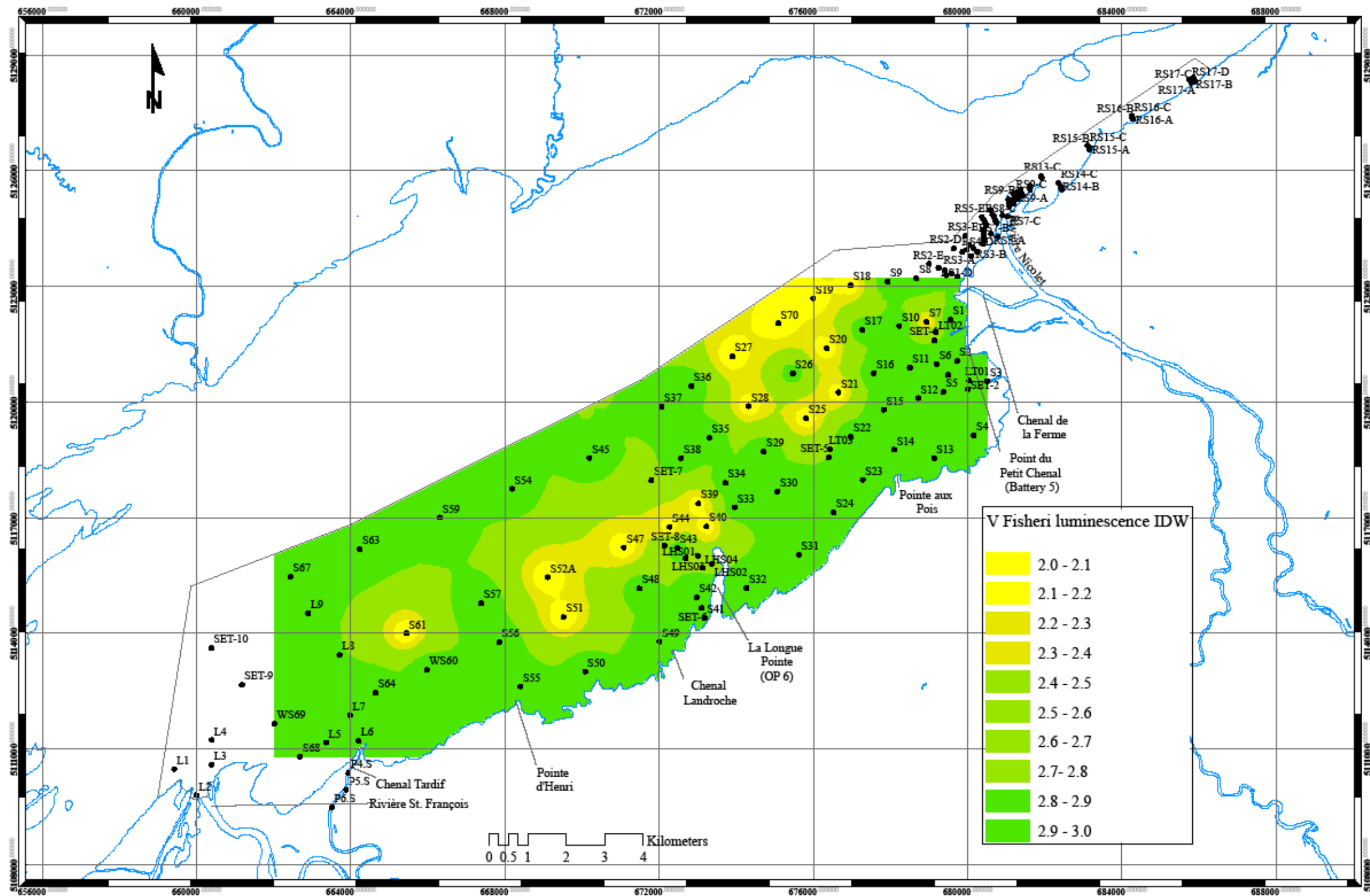


Figure 94: 2005 *V. Fischeri* (Microtox Solid Phase) Test Results

UNCLASSIFIED

MTLP

303. For *Lumbriculus variegates*, concentrations in whole organisms were high relative to non-exposed (T=0) organisms following exposure to sediment samples from 8 sites (SET2 to SET9). Concentrations were significantly lower for sites LT02 and LHS03 than in non-exposed organisms. Concentrations in organisms exposed to sediments from the other sites (SET1, SET10, LT01, LT03) were at no-exposed levels .
304. For the *Elliptio complenata* digestive gland, concentrations were relatively high for organisms exposed to sediments from 8 sites (SET2 to SET9). Concentrations in organisms exposed to sediments from site LT02 were significantly lower than in non-exposed organisms. Concentrations were at the non-exposed level for organisms exposed to sediments from sites SET1, SET10, LT01 and LT03. Gonad concentrations were significantly higher in organisms exposed to sediments from SET9, LT02, and LT03 than in non-exposed organisms. Concentrations were significantly lower in organisms exposed to sediments from SET7. Concentrations were at the non-exposed level for organisms exposed to sediments from site LHS03
305. For *E. complenata in-situ* exposure, digestive gland and in gonad concentrations were higher at T=83 than at T=13 days. The results for the “reference zone” sites and the “potentially contaminated zone” sites were similar.

Lipid Peroxidation

306. For *Elliptio complenata* laboratory exposure, gill concentrations were similar in organisms exposed to surficial sediment samples from LT01, LT02, LT03 and LHS03.

Immune Activity

307. The immune activity increased between day 13 and day 83; the response in the two zones was similar. There were differences observed at day 27 and 41 but no systematic pattern can be identified. Phagocytic activity and phagocytic efficiency were higher at the end of the *in situ* exposure [43].

5.7.3.3. Sediment Porewater

308. Toxicity tests were conducted on pore water extracted from select surficial and depth sediment samples. The measurement endpoints were survival and reproduction of the nematode *C. elegans*, frond production and growth of *L. minor*, and growth of *P. subcapitata*. Bioluminescence of *V. fischeri* was measured using the Microtox aqueous-phase test. Results from these toxicity tests are summarized in the following paragraphs and Tables.

Survival and Reproduction

309. The survival of *C. elegans* was not significantly affected by 24-h exposure. However, the total number of juveniles produced was significantly decreased by 72-h exposure to the pore water of samples SET2, LT01, LT02, LT03 and LHS03 and production significantly increased for organisms exposed to porewater samples SET7 and SET10 (Table 32). The results indicate that porewater did not have detrimental effect on the survival of the adult *C. elegans* but did have a significant detrimental effect in five out of 10 samples on the number of progeny. Two samples (SET7 and SET10) had a stimulatory effect and enhanced nematode reproduction. The test with this species was included in the test battery in order to assess its sensitivity relative to other more laborious and costly tests.

Frond Production and Growth

310. Significant effects on frond production and growth (dry weight) of *Lemna minor* were observed for pore water obtained from surficial sediment samples. Five pore water samples (SET1, SET2, SET3, SET7 and SET8) significantly reduced frond production. One of these samples (T1) also reduced both *L. minor* growth and frond production. Significant stimulation of growth was observed for three samples (SET6, SET9, SET10). Although there were exceedences of the CEQGs for several metals, there was no consistent pattern among these samples whereby metal concentrations in porewater could account for the observed effects. Similarly, there was no consistent pattern to the sediment texture that could be used to explain the observed effects.

311. Significant effects on frond production and growth of *L. minor* were observed for some of the pore water samples (n=5) obtained from first horizons (0-50 cm) of select depth sediments. Porewater samples WCET5, WC22, and WC14 had a stimulatory effect on duckweed frond production and growth. Only WC14 had an inhibitory effect on *L. minor* frond production but the level of inhibition was not considered significant..

Growth

312. Three of the sediment porewater samples (LT01, LT03, LHS03) significantly reduced growth of algae *P. subcapitata*, while the remaining samples had a significant stimulatory effect. These results are consistent with Environment Canada findings. [4] The laboratory procedures implemented to extract the pore water from sediments probably promote bioavailability of metals, especially in sandy sediments which are chemically

more reactive and less likely to strongly adsorb contaminants. *P. subcapitata* tests were conducted with pore water extracted from postglacial clay sediment samples collected along the shipping channel of Lac St. Pierre [69]. Algal growth was significantly inhibited when exposed to pore water from all five sediment samples and toxicity could not be attributed any one metal or obvious combination of metals. Although Al (n=4/5), NH₄ (n=2/5), Fe (n=2/5), and Cu (n=1/5) were elevated alone or in some combination of these metals. Tests with these porewater samples were also performed with *Ceriodaphnia dubia* and there were no significant adverse effects observed for either survival or reproduction.

Bioluminescence

313. For the surficial sediment samples, significant inhibitory effects on the bioluminescence of *V. fischeri* were observed for four pore water samples (ETR2, ET7 SET4 and SET5). The remaining samples had a stimulatory effect on the aqueous-phase bioluminescence.
314. For all porewater samples (WCET5, WC22, WC61, WC14, WCA2) from the upper horizon (0-50 cm) of select depth sediments obtained in sampling event 2, a significant stimulatory effect on Microtox bioluminescence was observed

Table 32: Summary of Biological Responses for Organisms Exposed to Sediment Pore Water

Endpoint		Organism	Exposure	n	Sites with Significant Effects		Severity	Laboratory
					Stimulation	Inhibition		
Survival		<i>C. elegans</i>	24 hr	14	none	none	No effect	BRI
Growth	Dry weight	<i>L. minor</i>	7 d	14	SET6, SET9, SET10	SET1	Significant stimulation and inhibition	Stantec
	Frond production	<i>L. minor</i>	7 d	14	T01, HS03	T03 SET1, SET2, SET3, SET7, SET8	Significant inhibition and stimulation	Stantec
	Cell yield	<i>P. subcapitata</i> (previously <i>S. capricornutum</i>)	4 d	24	SET1-SET8, ETR1, ETR2, LT02	LT01, LT03 HS03	Significant stimulation and inhibition	Stantec and BRI
Reproduction		<i>C. elegans</i>	72 hr	14	SET7, SET10	SET2, LT01, LT02, LT03, LHS03,	Significant inhibition and stimulation	BRI
Bioluminescence (EC ₅₀)		<i>V. fisheri</i>	15 min		None	none	No effect	Stantec
			30 min		None	ETR-2, SET7	low	BRI

Table 33: Summary of Biological Response for Organisms Exposed to Porewater from the Upper Horizon (0-50cm) of Depth Sediment

Endpoint		Organism	Exposure	n	Sites with Significant Effects		Severity	Laboratory
					Stimulation	Inhibition		
Growth	Dry Weight	<i>L. minor</i>	7 d	5	CET5(0-50), C22 (0-50), C 14 (0-50)	None	Significant stimulation	Stantec
	Frond production	<i>L. minor</i>	7 d	5	CET5(0-50), C22 (0-50), C14 (0-50)	None	Significant stimulation	Stantec
Bioluminescence (EC ₅₀) Acute		<i>V. fisheri</i>	15 min	5	All	None	Significant stimulation	Stantec

5.7.3.4. Sediment Elutriate

315. The toxicity tests on sediment elutriates employed *L. minor* (measurement endpoints frond production and growth), *P. subcapitata* (growth), *E. coli* (cytotoxicity and genotoxicity), *S. typhimurium* (mutagenic potential) and *V. fischeri* (luminescence). Results are summarized in the following paragraphs, Table 34 and Table 35.

Frond Production and Growth

316. For surficial sediment elutriate, frond production of *L. minor* was significantly inhibited by three samples and significantly stimulated by one sample. Growth of biomass of *L. minor* was significantly stimulated by six samples.

317. For depth sediment (0-50 cm) porewater samples, frond production of *L. minor* was significantly inhibited by one sample (WC61) and stimulated by two samples (WCET5 and WC14). *L. minor* growth was significantly stimulated by three samples (WCET5, WC22, and WC14).

318. Growth of freshwater alga (*Pseudokirchneriella Subcapitata*) was not significantly reduced after exposure to sediment elutriates; however, growth was stimulated by between 140 to 320%.

319. Inhibitory effects for *P. subcapitata* may be due to the unusually high growth that was noted in the control [70]. This is likely due to trace elements in the laboratory dilution water. When comparisons of *P. subcapitata* growth were made, relative to that in Milli-Q control water elutriates from all locations resulted in significant stimulation of algal growth.

Bioluminescence

320. Inhibition of bioluminescence of *V. fischeri* was observed for elutriates of three surficial sediment samples.

321. Stimulation of bioluminescence was observed in elutriate samples WCET5, WC22, WC61, WC14 from the first horizon (0-50cm) of depth sediments.

Mutagenicity

322. Mutagenicity was assessed using *Salmonella typhimurium* (Fluctuation Test). In addition, a comparison was made between the standard (TA98) and the modified (TA100) Environment Canada elutriate extraction processes. Genotoxicity for elutriates extracted from 15 sediment samples was identified using the TA100 strain. However, all but one sample (SET4) had to be activated (+S9) for effect. In general, the TA100 strain was found to be more sensitive than the TA98 strain.

Genotoxicity

323. Tests using *E. coli* were conducted with sediment elutriate samples from surficial and depth sediments collected from LSP and the measurement endpoints included toxicity and genotoxicity (SOS chromotest). These tests were used primarily as a screening tool to identify areas of concern. Results are from the most sensitive assay. For surficial sediment elutriate samples assayed without activation (-S9), genotoxicity was observed for 13 sites of 115 samples. For depth sediment (0-50cm) elutriate samples assayed with activation (+S9), genotoxicity was observed for 27 of 37 samples.

Table 34: Summary of Biological Response of Organisms Exposed to Elutriate from Surface Sediment Sample

Endpoint		Organism	Exposure	n	Sites with Significant Effects				Severity	Laboratory
					Stimulation		Inhibition			
Growth	Dry Weight	<i>L. minor</i>	(7 d)	14	SET4, SET8, LT01	SET5, SET9,	SET7, SET10,	none		Stantec/BRI
	Frond production	<i>L. minor</i>	(7 d)	14	SET5		LT02, LT03 and LHS03.		Significant inhibition and stimulation	Stantec/BRI
	Cell Yield	<i>P. subcapitata</i> (previously <i>S. capricornutum</i>)	(3 d)	24	SET1-SET10 for NOEC. No effects at any locations using LOEC, IC20 or IC50.		LT01, LT02, LT03, LHS03		Significant stimulation and inhibition	Stantec/BRI
Bioluminescence (EC ₅₀)	Acute	<i>V. fischeri</i>	(15 min)	24	none		ET1 ET2, ET5		low	BRI/ Stantec
	Chronic	<i>V. fischeri</i>	(30 min)	24	none		ET1 ET2, ET5		low	BRI/ Stantec
Mutagenic Potential	(without metabolic activation (-S9))	<i>S. typhimurium</i> TA98		20	none		SET2, SET10		Significant inhibition	BRI
	With metabolic activation (+S9)	<i>S. typhimurium</i> TA98		20	none		ET3, SET2, SET3, SET4, SET5, SET6		Significant inhibition	BRI
Mutagenic Potential	-S9	<i>S. typhimurium</i> TA100		20	none		ET1, ET2, SET3, SET4, SET8		Significant inhibition	
	+S9	<i>S. typhimurium</i> TA10		20	none		ETR1, ETR2, ET1, ET2, ET3, ET6, ET7, SET2, SET3, SET4, SET5, SET6, SET7, SET8, SET9		Significant inhibition	
Cytotoxicity and Genotoxicity	(without metabolic activation (-S9))	<i>E. coli</i>		115	none		ET1-ET7, ETR2, SET1, SET3, SET4, SET5, SET6		moderate or low (LOEC = 50%) to Significant inhibition	BRI

Table 35: Summary of Biological Response for Organisms Exposed to Elutriates from 0-50cm depth Sediment Samples.

Endpoint		Organism	Exposure	n	Sites with Significant Effects		Severity	Laboratory
					Stimulation	Inhibition		
Growth	Dry Weight	<i>L. minor</i>	(7 d)	5	WCET5(0-50), WC22 (0-50), WC 14 (0-50)	none	Significant stimulation	Stantec
	Fronnd production	<i>L. minor</i>	(7 d)	5	WCET5(0-50), WC14 (0-50)	C61 (0-50)	Significant stimulation and inhibition	Stantec
Bioluminescence (EC ₅₀) - Microtox Acute		<i>V. fischeri</i>	(15 min)	5	WCET5(0-50), WC22 (0-50), WC14 (0-50), WC61 (0-50)	none	Significant stimulation	Stantec
Cytotoxicity and Genotoxicity (+S9)		<i>E. coli</i>		37		23/37	Significant Inhibition	BRI

324. Sediment elutriates from sampling event 2 were tested for genotoxicity using *E. coli* with S9 added as described in BRI (2006). The most sensitive endpoint was the NOEC. BRI (2006, Table 29) used a three-part colour scale to indicate toxicity. Red designates a significant genotoxic effect and $LOEC > 25\%$ (v/v), yellow designates a significant genotoxic effect and $LOEC \leq 25\%$ (v/v) and green indicates no genotoxic effect. This three-part colour scale is used in Figure 95. Inverse distance weighting is used to interpolate between sample locations. Details of data treatment prior to plotting are presented in the Methods Chapter.
325. Note the following modifications were made to the data prior to plotting:
- E. coli* results for location 52 were averaged. At this location a steel and plastic container were used for sample collection to assess the effect of container.
 - The single observation from sample 57 was used; it is not clear whether this sample corresponds to a sample collected in a steel or plastic container.
 - E. coli* results for 64 corresponding to the unconcentrated split sample are used herein.
 - Duplicate *E. coli* results for location 68 were averaged.
 - The following samples were concentrated and therefore omitted: S2, S14, S45, S54, S59 and S61.
326. Figure 95 shows that genotoxicity is severe as defined by BRI (2006, Tables 26, 27 and 29) just west of Long Point and in the inshore area of the south-eastern portion of Lac Saint Pierre. The relative sensitivity of this assay indicated that many (64%) of the sediments were problematic with respect to their impacts on aquatic organisms at this level of biological organisation; there is discordance between the results of single-species toxicity tests and the results of this assay
327. Potential genotoxicity was also assessed in depth sediment elutriate samples obtained in sampling event 2 using SOS Chromotest. Genotoxicity was detected in 62 % (23 out of 37) of elutriate samples.

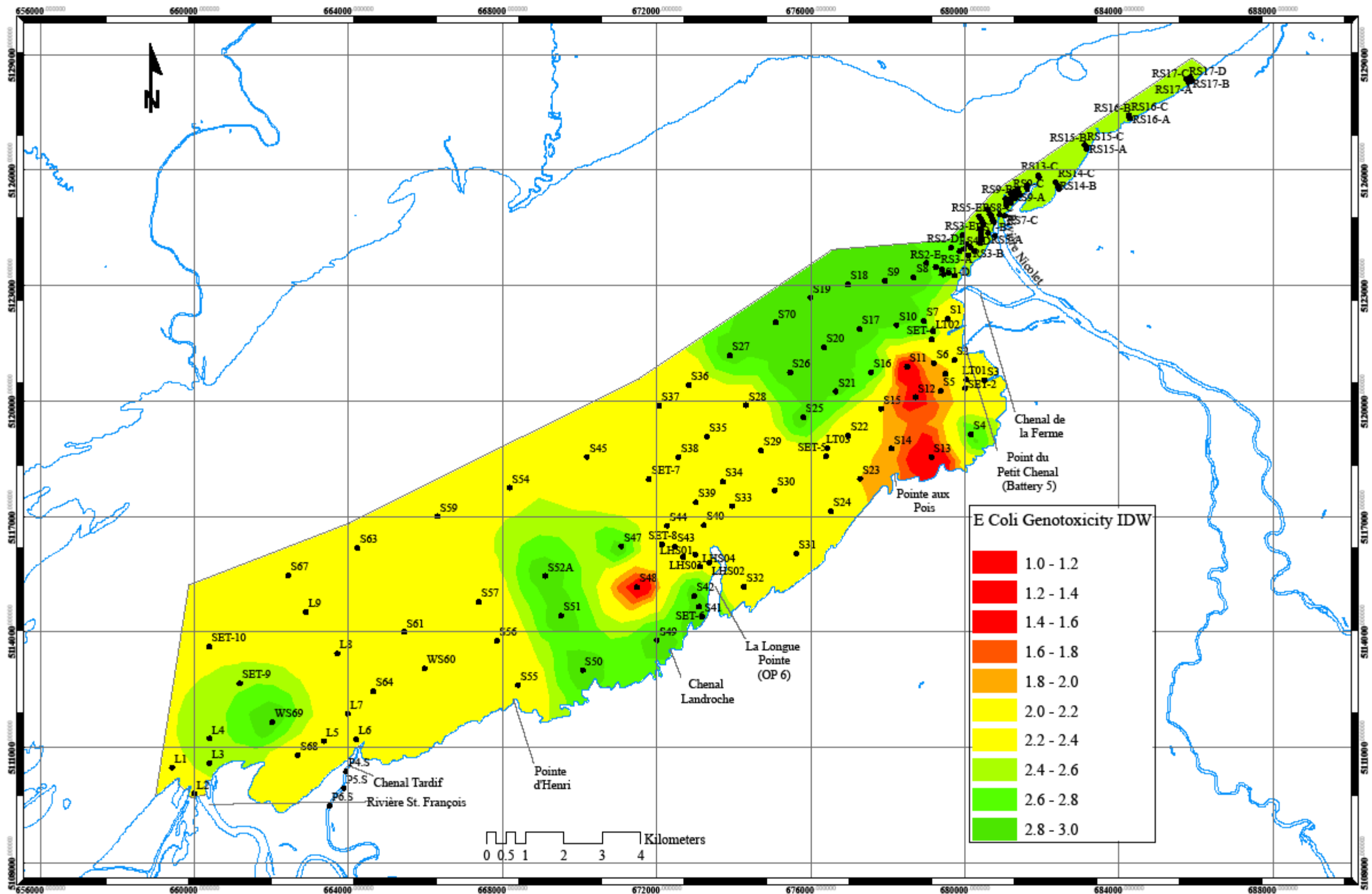


Figure 95: 2005 *E. Coli* Genotoxicity Test Results

5.7.4. Integration of Ecotoxicity Test Results

328. Maps integrating toxicity test results are presented in this section. The toxicity test endpoints used to create maps and reason for exclusion/inclusion are presented below. Sites with highest metal levels within Lac Saint Pierre were deliberately selected for evaluation. Of the toxicity tests conducted, the most sensitive results are used in mapping. These maps should not be used as indicators of general toxicity to organisms living in Lac Saint Pierre.

329. The integrated toxicity maps were created for the following uses:

- a. assess integrated toxicity at one location relative to another
- b. assess spatial trends in toxicity
- c. correlate trends in toxicity with trends in sediment physical or chemical characteristics
- d. a factor in determining the extent of care required if sediments are disturbed during UXO clearance.

330. Table 36 shows that 6 toxicity tests are used in the creation of Figure 96. All sites exhibit a range of toxicity from “none” to “severe”. All sites show similar toxicity and there are no spatial trends in toxicity. Table 37 shows that 18 toxicity tests are used in the creation of Figure 97. Again, all sites exhibit a range of toxicity from “severe” to “none”. All sites show similar toxicity and there are no spatial trends in toxicity. Note that the two westernmost sites that are removed from DND activities, exhibit similar toxicity to other locations. Neither the 2004 (Figure 96) or 2005 (Figure 97) integrated toxicity test maps indicate substantive differences in toxicity between locations or trends among locations.

Table 36 Summary of Toxicity Test Responses used in 2004 Toxicity Mapping

Species	Sample Type	Endpoint or Response Used	Lab	Endpoint Chose and Reason
V. fischeri	elutriate, porewater	15 and 30 minute exposures, NOEC, LOEC and EC20 bioluminescence	BRI	30 minute exposure NOEC for both elutriate and porewater, most sensitive but sensitive to different samples
P. capitata	porewater, elutriate	NOEC, LOEC, EC20 and EC50 96 hour growth	BRI	Porewater NOEC, most sensitive (only endpoint where all endpoints were not censored). Porewater results identical to elutriate results.
C. riparius	sediment	control and exposure survival, % survival inhibition, control and exposure growth, % growth inhibition, control and exposure reproduction, % reproduction inhibition	BRI	% reproduction inhibition, indexed by control reproduction, most sensitive
E. coli	elutriate	SOS chromotest, cytotoxicity/genotoxicity, $\pm$ S9, NOEC, LOEC	BRI	LOEC genotoxicity with S9 added is most sensitive endpoint. Not NOEC?
S. typhimurium	elutriate	NOEC, LOEC, $\pm$ S9, strains TA100, TA98 mutagenicity	BRI	TA100 strain, S9, LOEC, most sensitive Not NOEC?
H. azteca	sediment	% growth and survival inhibition	BRI	% growth inhibition most sensitive

Table 37 Summary of Toxicity Test Responses used in 2005 Toxicity Mapping (for data analysis methods or Annex)

Species	Sample Type	Endpoint or Response Used	Lab	Endpoint Chose and Reason
O. mykiss	water	% mortality	Stantec	only response
V. fischeri	water	% change in luminescence	Stantec	only response
P. promelas	water	growth, % mortality	Stantec	% mortality most sensitive
C. dubia	water	reproduction, % mortality	Stantec	reproduction most sensitive
S. capricornutum	water	growth	Stantec	only response
L. minor	water	growth as frond production, weight change	Stantec	weight change most sensitive
L. minor	porewater	growth as frond production, weight change	Stantec	frond production most sensitive
V. fischeri	porewater	% change in luminescence	Stantec	only response
L. minor	elutriate	growth as frond production, weight change	Stantec	frond production most sensitive
L. minor	elutriate	growth as frond production, dry or fresh weight change, 3 extraction methods	BRI	fresh weight using Environment Canada (19994) extraction method 1
V. fischeri	elutriate	% change in luminescence	Stantec	only response
C. riparius	sediment	% survival, dry weight	Stantec	dry weight, most sensitive
H. azteca	sediment	% survival inhibition, dry weight	Stantec	dry weight, most sensitive
V. fischeri	sediment	IC20, IC50 luminescence	BRI	IC20 most sensitive
H. azteca	sediment	42 day exposure % survival, growth and reproduction inhibition	BRI	reproduction inhibition most sensitive
P. capitata	elutriate	NOEC, LOEC, EC20 for growth	BRI	NOEC most sensitive
E. coli	elutriate	NOEC, LOEC, $\pm$ S9, genotoxicity/toxicity and IFCV $\pm$ S9	BRI	IFCV, no S9
S. typhimurium	elutriate	NOEC, LOEC, $\pm$ S9, strains TA100, TA98 mutagenicity	BRI	TA100 strain, S9, NOEC, most sensitive

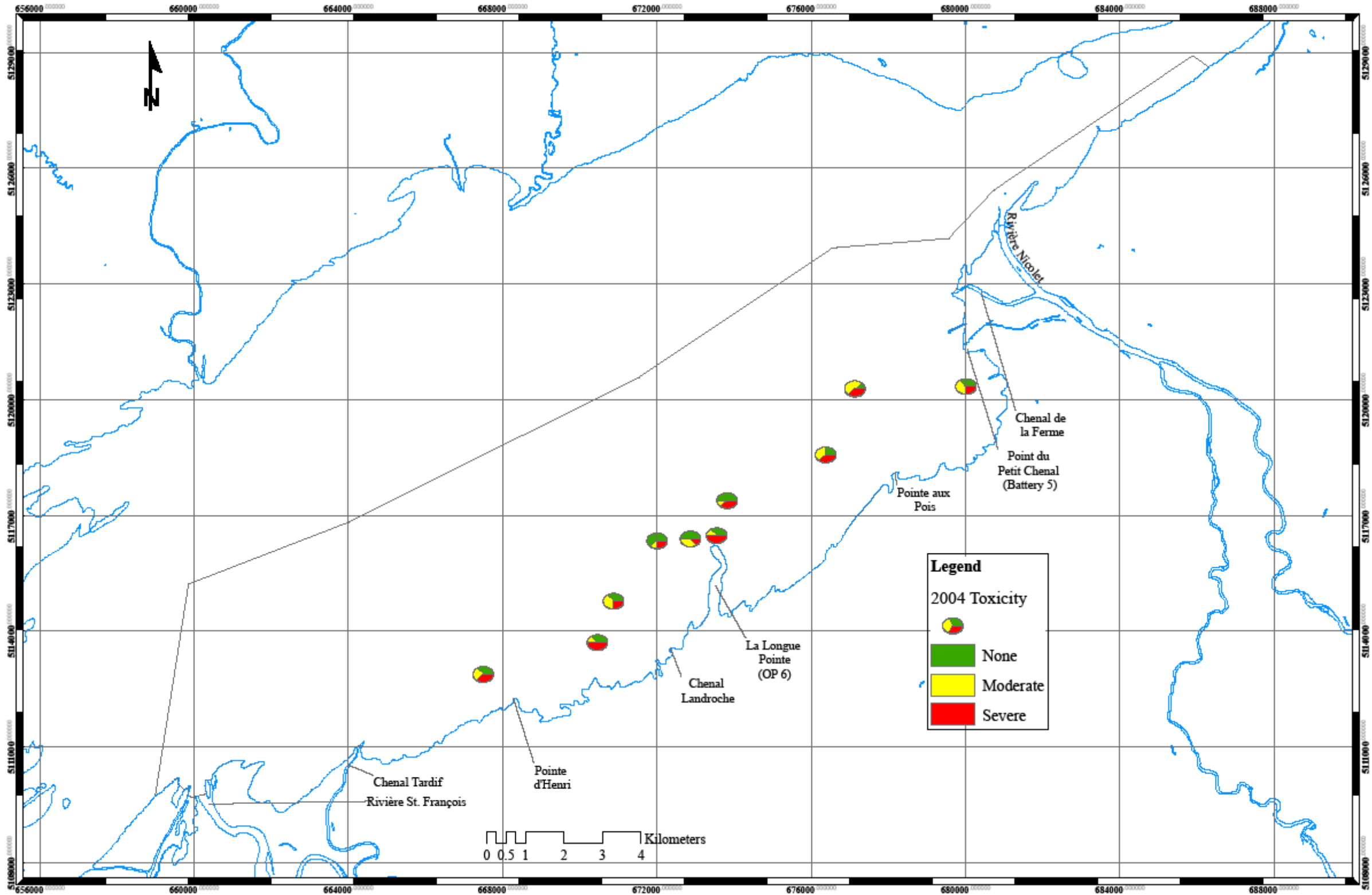


Figure 96 2004 Integrated Toxicity Test Results

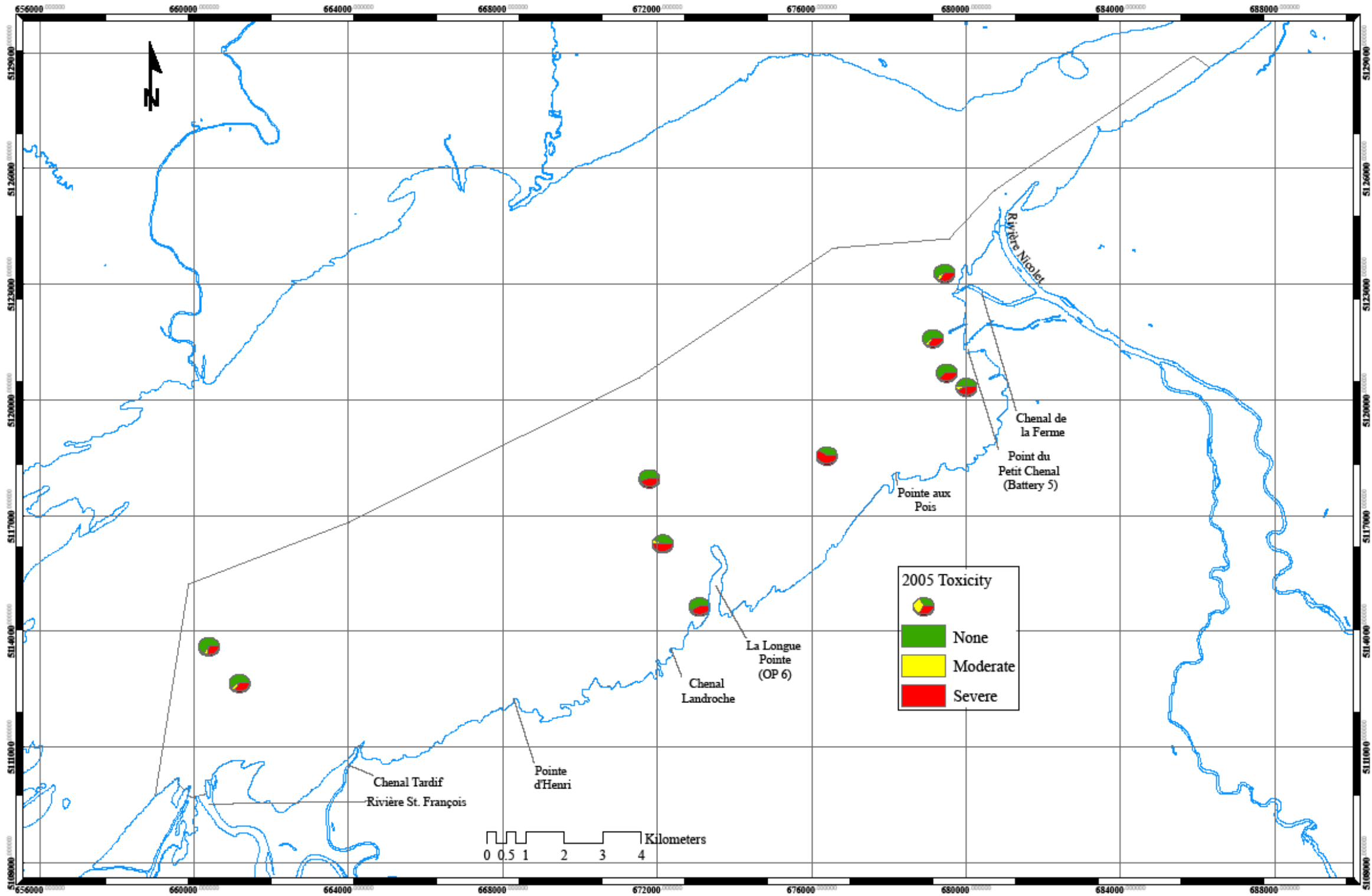


Figure 97 2005 Integrated Toxicity Test Results

5.7.5. Summary and Conclusions

331. Ecotoxicity tests were conducted on organisms exposed to water, surficial and depth sediment, sediment porewater and sediment elutriate, with one or more of the endpoints survival, growth, reproduction, emergence, bioluminescence, genotoxicity and mutagenicity. Additionally, laboratory and *in situ* tests for biomarkers for toxic metal exposure and cell stress were conducted. Finally, the immune response biomarkers cell viability, phagocytic activity and phagocytic efficiency were measured in *Elliptio complanata* following *in situ* exposure.
332. LSP water did not adversely affect daphnid or fish survival or reproduction, duckweed growth (biomass or frond production), or bacterial bioluminescence at any of the sites; however, algal growth was adversely affected at sites T7, T8 and T10. In general, LSP water had little adverse effect upon test organisms and is supportive of aquatic life.
333. For sediments, survival of larvae of the benthic midge (*Chironomus riparius*) and nymphs of the benthic amphipod (*Hyaella azteca*) was not significantly reduced after acute exposure. However, survival of *H. azteca* was significantly reduced after long term exposure to one sediment sample. The increase in survival observed for 2 samples is likely attributable to biological variability.
334. Growth of *Hyaella azteca* was significantly reduced in sediment samples SET1-SET8, LT01, LT02 and LHS03. Inhibition of less than 20 % may be attributed to biological variability. Differences in body length ranged from 15.2 to 84.1 % and differences in dry mass ranged from 0.164 to 10 %. Emergence of *C. riparius* was stimulated by one surficial sediment sample (T8). For bioluminescence using *Vibrio fischeri*, significant inhibition was observed in organisms exposed to 18 surficial samples and to 1 depth sample.
335. For surficial sediment porewater samples, survival of *C. elegans* was not significantly affected by 24-h exposure. However, reproduction was significantly decreased by samples from SET2, LT01, LT02, LT03 and LHS03; reproduction significantly increased for samples from SET7 and SET10. Frond production and growth of *Lemna minor* was significantly reduced by samples from SET1, SET2, SET3, SET7 and SET8. Significant stimulation of growth was observed for three samples (SET6, SET9, SET10). Although there were exceedences of the CEQGs for several metals at these sites, there was no consistent pattern whereby metal concentrations in porewater could account for the observed effects. Three of the sediment porewater samples (LT01, LT03, LHS03) significantly reduced growth of algae *P. subcapitata*, while the remaining samples had a significant stimulatory effect. These results are consistent with Environment Canada findings. [4] Bioluminescence of bacteria was inhibited by pore water collected from ETR2 and ET7

336. For depth sediment porewater, samples from WCET5, WC22, and WC14 stimulated duckweed (*L. minor*) frond production and growth. Only WC14 had an inhibitory effect on frond production but the level of inhibition was not considered significant.
337. For surficial sediment elutriate, samples from LT02, LT03, and LHS03 inhibited duckweed frond production. Although sediment elutriates did not adversely affect bioluminescence of bacteria, the results of the mutagenicity and genotoxicity assays indicated adverse effects at 90% and 64 % of the sites sampled, respectively. For depth sediment elutriate, sample WC61(0-50cm) inhibited duckweed frond production.
338. Inhibition of bioluminescence of *V. fischeri* was observed for elutriates of three surficial sediment samples. Stimulation of bioluminescence was observed in elutriate samples WCET5, WC22, WC61 and WC14 from the first horizon (0-50cm) of depth sediments
339. Mutagenicity for elutriates extracted from 15 sediment samples was observed using the TA100 strain. However, all but one sample (SET4) had to be activated (+S9) for effect. In general, the TA100 strain was found to be more sensitive than the TA98 strain.
340. Genotoxicity tests were used primarily as a screening tool to identify areas of concern.. For surficial sediment elutriate samples assayed without activation (-S9), genotoxicity was observed for 13 sites of 115 samples. For depth sediment (0-50cm) elutriate samples assayed with activation (+S9), genotoxicity was observed for 27 of 37 samples.
341. The biomarkers metallothionein-like protein (MTLP) and lipid peroxidation, as well as the immune response markers cell viability, phagocytic activity and phagocytic efficiency, were measured to further investigate ecotoxicity with respect to metals. MTLP is involved in the regulation and detoxification of metals, and higher concentrations indicate metal exposure. Lipid peroxidation indicates cellular injury. It is concluded from biomarker findings that there is no related difference in effects between exposure zone and reference zone.
342. Based on the ecotoxicity integration discussed above, all sites exhibited a range of effects from “none” to “severe” with regard to several endpoints, with no evident distribution pattern. The two westernmost sites most distant from DND activities show results similar to those of other locations.
343. Comparison of the findings of the current study with the findings of other studies of fluvial lakes in the St. Lawrence River system show that the toxicity observed could not be explained by the metal concentrations in sediments, sediment porewater or sediment elutriate. Other factors, such as sediment compaction, ammonium, sample handling and clay content, might be involved.

Chapter 6 - Summary and Conclusions

5.8. BACKGROUND

344. A comprehensive study of water and sediment quality in Lac Saint-Pierre (LSP), a biologically and culturally significant area in the Fleuve Saint Laurent system, was conducted with regard to potential effects of Unexploded Ordnance (UXO).
345. The physical, chemical and biological aspects of water, surficial sediment and depth sediment were investigated to determine the concentration and distribution of Analytes of Potential Concern (AOPC) and their potential effect. These investigations considered historical background, hydrology, and sedimentary geology. Physical and chemistry findings were complemented by bioaccumulation and ecotoxicity investigations. These investigations developed upon a 2003 study by Environment Canada [4].
346. Some of the Environment Canada sample sites were selected as sites for the current study to investigate change over time. Other sites not previously sampled were selected as possible locations for UXO. Certain ecotoxicity methods that had been used by Environment Canada were employed in the current study, as well as some others. The detection of energetic material in some subsamples, particularly one of the “infill” locations led to more widespread sediment chemical analysis in 2005. Additional toxicity tests were conducted to assess sediment quality and to assess the utility of toxicity testing. Energetic materials were rarely detected in surficial sediments in 2004 and 2005. Additionally, the toxicity test results of 2005 were equivocal. Evaluation of the equivocal toxicity test results and general lack of EM in surficial sediments led to a decision to include additional tests for effects in the benthic macroinvertebrate community and an on bioaccumulation.
347. The bioaccumulation tests were to assess whether EM, EM degradation or EM transformation products, even though not generally detectable in sediment, were bioaccumulating. Benthic macroinvertebrates were not assessed because of the lack of difference in the exposure and reference samples collected by Environment Canada (2003 and because any EM would be in tissues of resident organisms).
348. Because UXO clearance operations would bring significant sediment resuspension, the quality of southern Lac Saint-Pierre sediments became of interest. Sediment quality would require investigation of UXO and projectile-related substances at depth as well as other potentially sequestered anthropogenic substances, such as the Hg, Zn and other metals and analytes, particularly off the mouth of Fleuve Saint François.
349. Depth and surficial samples were collected in 2006 for further evaluation of toxicity and the bioaccumulation. The toxicity test results were equivocal with regard to sediment quality

5.1. ORGANIC COMPOUNDS IN LAC SAINT-PIERRE

5.1.1.1. Energetic Material

350. The main objective of this study was to assess sediment quality with respect to UXO and projectile related analytes, particularly EM..

351. Energetic materials were rarely detected, in surficial sediment, and at low concentrations. Fourteen chemicals were included in the explosives analytic suite. Of these, two are propellants (2,6-DNT, 2,4-DNT), four are explosives (Tetryl, HMX, RDX and TNT) and the remaining eight (8) chemicals are transformation products. All but HMX and RDX were not detected in any of the LSP surficial sediment samples. HMX was detected in surficial sediments at three locations in Lac Saint Pierre; two of three subsamples (932 and 145 $\mu\text{g kg}^{-1}$) of the composite sample collected at IN 8, in one (16 $\mu\text{g kg}^{-1}$) of three subsamples of the composite sample SET3, and in one subsample (51.4 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dry sediment) of sample S14. RDX was detected at one location in Lac Saint Pierre; one subsample (24.7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ dry sediment) of S54. These concentrations range from “at the detection limit” to very low. No energetic material of any type was detected in depth sediments or pore water extracts of any surficial or depth sediment sample.

352. In summary, HMX and RDX were detected at low levels in some subsamples collected from 4 of 99 surficial sediment sample sites. Approximately 25 of these sites were explicitly selected for the purpose of detecting EM. These findings are similar to those of a previous study by Environment Canada on the southern portion of Lac Saint-Pierre where EM suite analytes were not detected in surficial sediment samples, many of which were also selected for the purpose of detecting EM.

353. Energetic materials and transformation products have been shown to bioaccumulate. Given that EM was not detected in the sediments used for laboratory exposures, *L. variegatus* and *E. complanata* tissues were not analysed for EM or EM products. Perch and pike and field exposed *E. complanata* tissues were analyzed for EM and EM products and were not detected in any of the tissues.

354. A preliminary degradation study by BRI found that sediments from Lac Saint Pierre have the potential to rapidly degrade and mineralize RDX and HMX [3]. This may explain the absence of energetic materials in Lac Saint-Pierre and in the organisms examined.

5.1.1.2. PCBS and PAHs

355. PCBs in surficial sediments were detected only once (1 of 47 = 2.1%) in this study and in 4.8% of samples collected by Environment Canada [4]. In this study PCBs did not exceed OELs. PAHs were detected at a variety of surficial locations within the southern portion of Lac Saint-Pierre in this study and that conducted by Environment Canada. PAHs in surficial sediments only exceeded OELs one location at the mouth of the Chenal Tardif.

356. The types of PAHs found and the frequency of detection of both PCBs and PAHs are similar between Environment Canada and this study [4]. The pattern of PAH and PCB detections at depth and surficially in this study and the results of Allaire and Allard [56] are consistent with PAH loadings to Lac Saint-Pierre from the Fleuve Saint Francois and points further upstream [71]. PCBs and PAHs were not detected (DLs presented in **Table 11** along the primary firing axis in surficial sediments or in any depth samples. PAHs were also not detected along the primary firing axis but were detected at levels below OELs at the western end of Lac Saint-Pierre. PAHs exceeding OELs were only detected at the mouth of the Chenal Tardif. Based on the extensive surficial and limited sampling at depth there are negligible environmental concerns with respect to PAHs and PCBs following sediment disturbance due to UXO clearance along the primary firing axis. Sediment disturbance in the vicinity of the Chenal Tardif may expose PAHs that exceed OELs on the surface and phenanthrene which exceeded the OEL at depth at one location.

357. Although PAHs and PCBs can be highly bioaccumulative, the primary focus of sediment quality evaluation was with respect to UXO and projectile related substances. Therefore PAHs and PCBs were not measured in the bioaccumulation experiments conducted (BRI fish, BRI mussel, BRI worm).

5.1.1.3. Miscellaneous Organic Compounds

358. The southern portion of Lac Saint-Pierre receives sediment inputs from a wide variety of sources including tributaries that drain agricultural lands. Therefore carbamate insecticides, triazine herbicides, organophosphorous and organochlorine pesticides were measured in depth samples to assess potential effects of sediment resuspension due to (possible) historic inputs of these contaminants. These substances were also measured in surficial sediments collected from 28 distinct locations.

359. Potential deleterious effects of these substances following sediment resuspension are negligible because: 1) although only a small fraction of the LSP sub-surface sediments were examined none of these substances were detected in depth sediment samples; and, 2) these substances were not detected in any of the 28 surficial sediment sites tested.

5.1.2. Metals

360. A primary objective of this study was to assess sediment quality with respect to UXO and projectile related substances. The spatial distribution of metals was assessed within the southern portion of Lac Saint-Pierre and immediately downstream since: 1) metals comprise a large fraction of UXO and projectile related AOPCs; 2) metals, as elements are not transformed; and; 3) metals can be transported in association with sediments.

361. In this report, sediment metals concentrations are likely biased 10% lower than the total extraction leaching method used to develop the EC-MDDEP (2007) SQGs due to the use of EPA method 3050B [45, 72]. This has minor implications with respect to the following

discussion regarding exceedances of EC-MDDEP (2007) SQGs and Lac Saint-Pierre ambient levels

362. EC-MDDEP (2007) OELS and Lac Saint-Pierre ambient levels are available for 8 and 27, respectively of the 35 metals measured in LSP surficial sediment [45]. Most of the metals concentrations in LSP surficial sediment samples were generally low or below DLs, with the exception of seven metals (e.g., Sb, As, Cr, Co, Cu, Mg and Ni), which were consistently detected in sediment at levels above LSP ambient, and in some instances (Cr, Ni and Cu) exceeded the OEL. Metal concentrations in sediment samples outside Lac Saint-Pierre were also low, with no exceedances of sediment quality criteria and only one exceedance (Cu) of the ambient levels derived for the Fleuve Saint Laurent.

5.1.2.1. Metals Exceeding SQGs and Related to UXO

363. Seven metals (e.g., Sb, As, Cr, Co, Cu, Mg and Ni) exceeded relevant SQGs. Of these, Cr, Cu and Ni are present in the shell casings examined (presented in Annex A - Shell Composition).

364. Cr was detected in all samples collected over the course of this study, concentrations exceeded the OEL at 29 sites, the PEL at 12 sites, and the FEL at one site (S25). Cr levels were above LSP ambient at only 38 sites, as the ambient chromium level (66 mg kg⁻¹) for LSP is higher than the OEL for the Fleuve Saint Laurent. These results are presented in Figure 20. This figure shows that Cr exceeds the Lac Saint-Pierre ambient level throughout the southernmost portion of Lac Saint-Pierre, east of Longue Pointe. There is also an apparent concordance between surficial Cr and per cent surficial silt and clay. When Cr at depth is examined at the depth locations selected, there is little change in Cr concentration once past the first 50 cm horizon.

365. The congruence between surficial Cr and per cent silt and clay together with the invariant Cr concentrations at depth and known transport of Champlain clays containing Cr [16, 45] suggest that one source of Cr in Lac Saint Pierre is Champlain clays. The shell casings tested contain Cr (Annex A2 Shell Composition) and also comprise a Cr source to Lac Saint Pierre.

366. However, the median concentration of Cr in post-glacial clays is more than double that of Cr in surficial sediment. It is unlikely that the Cr in shell casings is responsible for much of the Cr in the surficial sediments of Lac Saint-Pierre.

367. Ni and Cu were also observed in samples from many sites at levels exceeding sediment quality criteria. Ni exceeded the OEL at 30 sites and Cu at 2 sites. Ni and Cu levels were above LSP ambient levels at 41 and 56 sites, respectively. The distribution of Ni in surficial sediments is similar to that of Cr, with the highest concentrations in the inshore portion of southern Lac Saint-Pierre and east of Longue Point (See **Figure 25**-Ni in Surficial Sediments, Lac Saint Pierre Region). Cu, Cr and Ni concentrations are equally

high in the same area, offshore at the western end of southern Lac Saint-Pierre (See **Figure 21** Cu in Surficial Sediments, Lac Saint Pierre Region).

368. Ratios of median Ni and Cu in post-glacial clays relative to surficial sediment samples collected in Lac Saint-Pierre are 1.72 and 1.57, respectively (Table 38). Median Ni and Cu concentrations are constant with depth and higher than surficial concentrations (Ni Concentration by Depth and Cu Concentration by Depth). Ni and Cu were found in the shell casings tested (Annex A2- Shell Composition) but again using the argument put forward regarding Cr and the similar lines of evidence immediately above it is unlikely that Ni or Cu in shell casings could account for a substantive portion of the Ni or Cu in surficial sediments of Lac Saint-Pierre.

5.1.2.2. Metals Exceeding SQGs and Not Related to UXO

369. Other elements exceeding relevant SQGs and not found in artillery shells are Sb, As, Co, Mg, Zn and Fe. Sb and As did not exceed their respective OELs but were above Lac Saint-Pierre ambient levels. Co and Mg also did not exceed sediment quality criteria but were above ambient levels. Other metals, such as Zn and Fe, were above ambient, but for a minimal number of samples. As these metals were not found in the artillery shells or fillers no further investigation was conducted. These analytes, with the possible exception of As, are found in greater concentrations in the post-glacial clay samples examined than in LSP surficial sediments. It is likely that Champlain clays are the primary source of these metals in Lac Saint-Pierre.

5.1.2.3. Metals that Bioaccumulate and are Related to UXO

370. Chapter 5 Results-bioaccumulation discusses why certain metals are flagged as “notably” bioaccumulative. Those metals are As, Ba, Sr and possibly Zn. Of this group of metals Ba and Sr were found in the filler material of the artillery shells examined and are further discussed below.

371. Although patchily distributed, Ba and Sr concentrations are highest in inshore portions of southern Lac Saint Pierre along the primary firing axis and west of Longue Pointe (See Figure Ba in Surficial Sediments, Lac Saint Pierre Region and **Figure 38** Sr in Surficial Sediments, Lac Saint Pierre Region). The spatial patterns of Ba and Sr are somewhat similar to those of known UXO locations but do not exceed the Lac Saint-Pierre ambient levels; there is no Ba or OELs. The ratios of Ba and Sr in post-glacial clay to surficial sediments concentrations are consistent at 1.85 and 1.84, respectively. It is unlikely that the bioaccumulative Ba or Sr is from artillery shell filler materials.

5.1.2.4. Metals that Bioaccumulate and are not Related to UXO

372. Zn and As also bioaccumulate. Zn bioaccumulation is primarily in *E. complanata* and *L. variegatus* although the wider-ranging *E. lucius* also exhibits a somewhat significant level of Zn accumulation. The pattern of Zn in surficial sediments implicates sources outside of Lac Saint-Pierre.

5.1.3. Integration of SQGs, Bioaccumulation and UXO

373. Given:

- a. that energetic materials were rarely detected in surficial sediments and not at all in depth sediments, water, pore water and animal tissues at sites specifically chosen to maximize the probability of detection;
- b. that energetic material degradation products were not detected in any matrices tested (surficial and depth sediments, water, pore water, tissue residues);
- c. the absence of substantive concerns regarding PAHs, and insignificant concerns regarding PCBs; and,
- d. the absence of any concerns regarding carbamate insecticides, triazine herbicides, organophosphorous and organochlorine pesticides effects,

374. The only concern regarding sediment quality within the southern portion of Lac Saint-Pierre is due to a small number of metals. An attempt is made to summarize the lines-of-evidence regarding metals in Lac Saint-Pierre in the following table. The table presents information regarding:

- a. those metals that exceed an OEL or a Lac Saint-Pierre ambient level;
- b. metals that “notably” bioaccumulated;
- c. the ratio of metal in post-glacial clays to surficial sediments in Lac Saint-Pierre to assess potential metal contributions from post-glacial clays;
- d. median metal concentrations in clays and sediments to contextualize the import of a metal flagged as bioaccumulating;
- e. the number of species in which bioaccumulation is noted (presented in Tabulation of Bioaccumulative Metals by Species. A question mark indicates marginally significant bioaccumulation; and,
- f. the presence of a metal in the shell or filler of those shells examined (Annex A – Shell Composition).
- g.

Table 38. Comparison of Selected Metals in Surficial Sediments and Post-glacial Clays

Reason for inclusion of metal in Table.	Metal	Present in UXO?	Post-glacial Clay Concentration (mg kg ⁻¹)	Surficial Sediment Concentration (mg kg ⁻¹)	Post-glacial Clay to Surficial Sediment Ratio	Number of Species in which Bioaccumulation is noted. (maximum is 4 except for Sr)
≥ OEL or LSP Ambient Level	Sb	No	5	2.75	1.82	0
	As	No	3	3	1	3
	Ba	Filler	139.5	75.5	1.85	3
	Co	No	22.5	12	1.88	0
	Cu	Casing	42.5	27	1.57	2
	Cr	Casing	96.5	41	2.35	1?
	Fe	Filler	35,250	20,600	1.71	0
	Mg	No	21,900	9,285	2.36	0
	Ni	Casing	52.5	30.5	1.72	1?*
	Zn	No	87.5	70	1.25	2 or 3?
Bioaccumulated but < OEL or LSP Ambient Level	Cd	No	< DL = 0.5 or 1	< DL = 1	NA	3
	Mn	Casing	615	330	1.86	1
	Mo	No	< DL = 1	< DL = 1	NA	1
	Sr	Filler	53.5	29	1.84	3 of 3

*A question mark indicates marginally significant bioaccumulation

375. It is concluded that the primary source elevated metals in LSP sediment quality or that bioaccumulate to any appreciable degree is likely Champlain clay that underlies Lac Saint-Pierre and much of the Lac Saint-Pierre region.
376. Further, sediment quality in southern Lac Saint-Pierre is high, based on analyte measurements. The equivocal nature of the toxicity tests conducted precludes making generalizations. Although bioaccumulation was shown to occur, bioaccumulation is primarily of metals found at concentrations that, with the exception of Zn, are at least 1.5 times higher in postglacial clays than surficial sediments. This suggests that organisms within Lac Saint-Pierre tolerate this degree of bioaccumulation.

Annex A: Background

References

- a. Monteil-Rivera F, Halasz A, Groom C, Zhao JS, Thiboutot S, Ampleman G, and Hawari J. 2005. Fate and Transport of Explosives in the Environment: A Chemist's View.
- b. Handbook on the Management of Ordnance and Explosives at Closed, Transferring, and Transferred Ranges and Other Sites, 2002. EPA Interim Final Report
- c. Cusson B, Latreille A, 2003. Environmental Study on Sediment Quality in the Southern Portion of Lake Saint-Pierre used by the Nicolet Munitions Experimental Test Centre (METC) – Final Report, Environment Canada – Quebec Region,
- d. Sheremata AW, Halasz A, Paquet L, Thiboutot S, Ampleman G, and Hawari J. 2001. The Fate of the Cyclic Nitramine Explosive RDX in Natural Soil, Environmental Science and Technology, vol. 35, no. 6, p 1037 – 1040.

A1 - ENERGETIC MATERIAL TRANSFORMATION PATHWAYS

377. Energetic material (EM) undergoes various transformation pathways depending on the abiotic and biotic environment. Figures 1 through 5 illustrate the major transformation pathways of the most common EM, namely TNT, RDX and HMX.

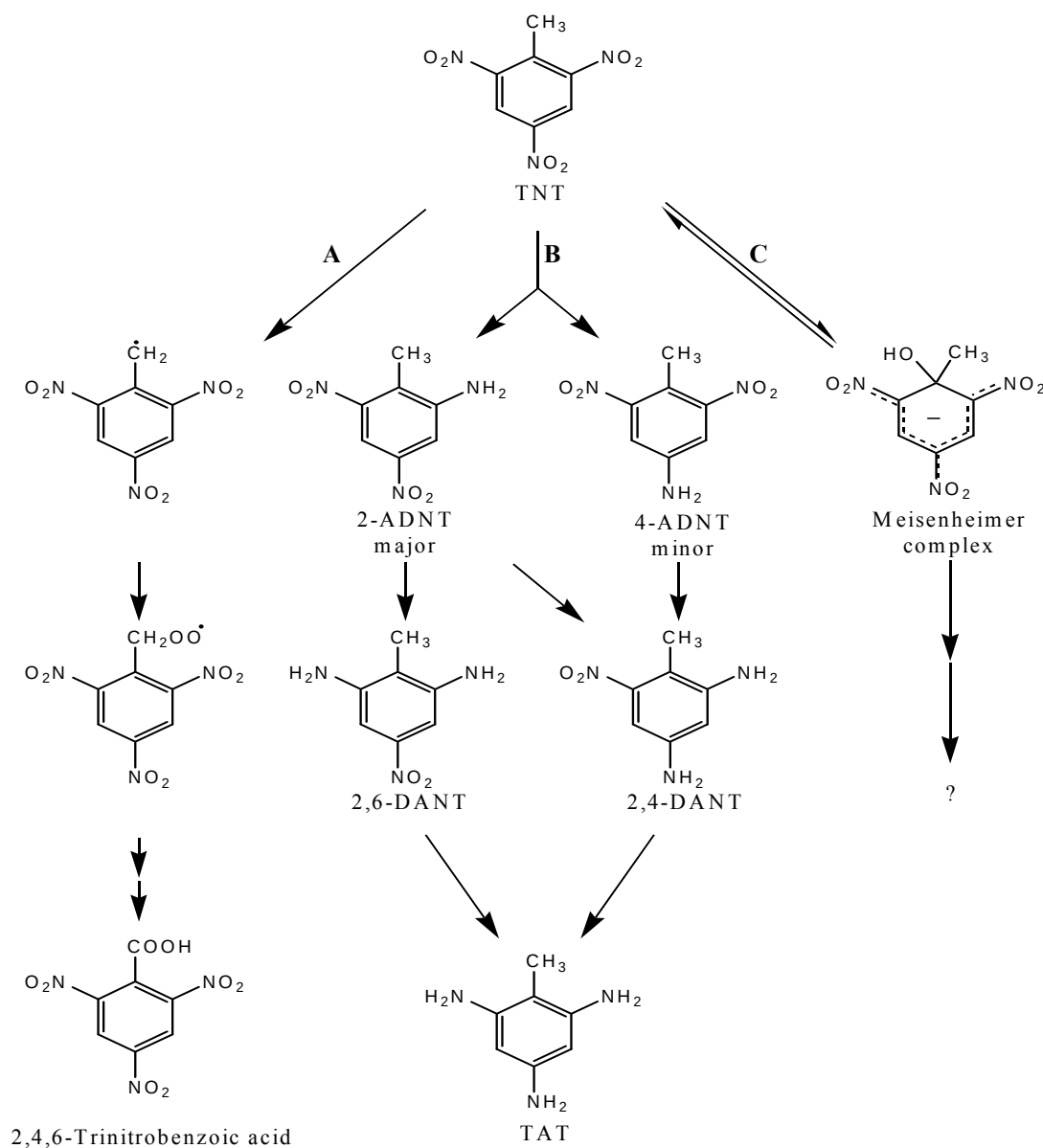


Figure 98. Abiotic transformation routes of TNT. A) Under photolytic conditions; B) in the presence of Fe(0) or Fe (II); C) under alkaline conditions

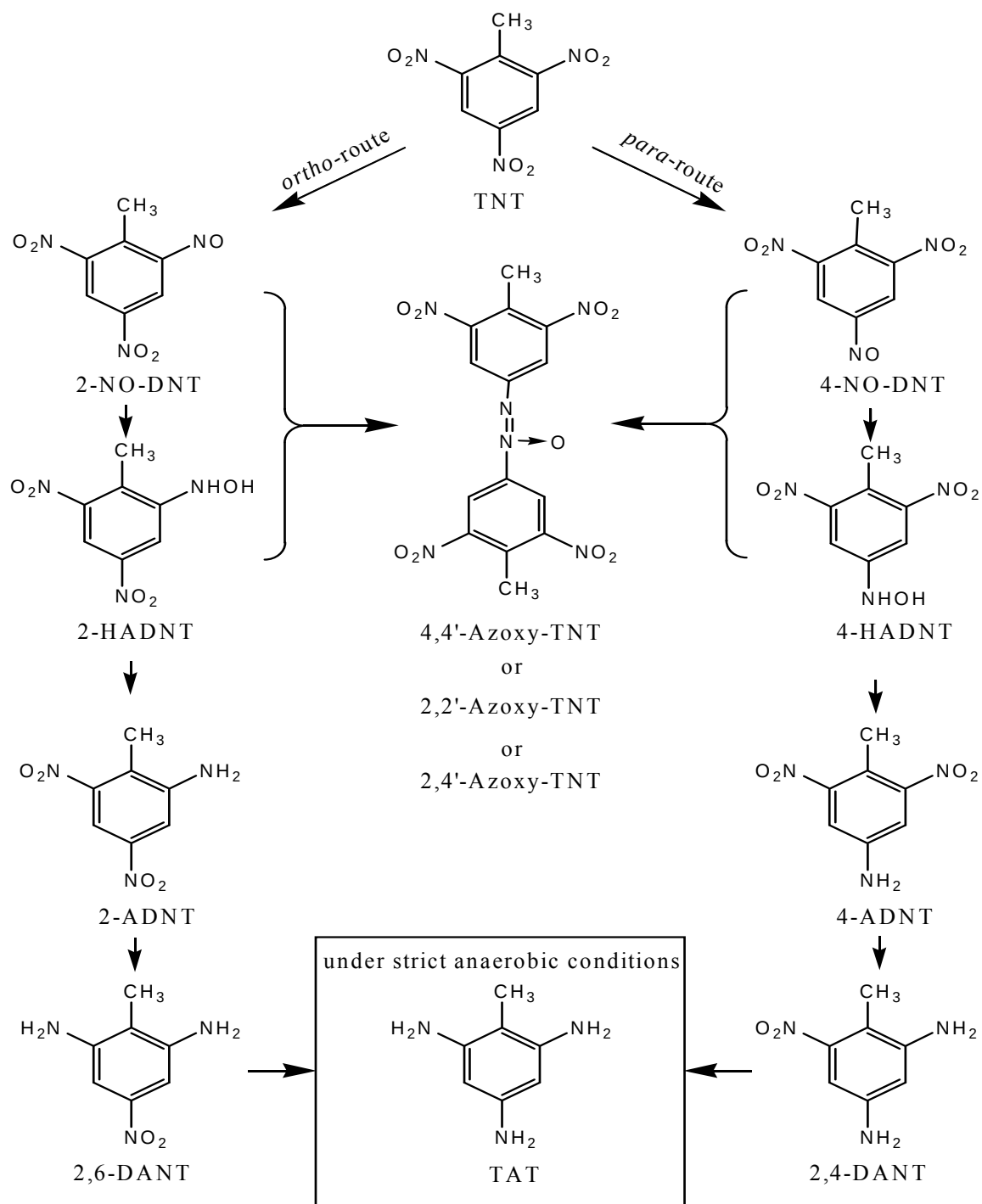


Figure 99. Biotransformation of TNT under aerobic and anaerobic conditions. TAT is only produced under strict anaerobic conditions.

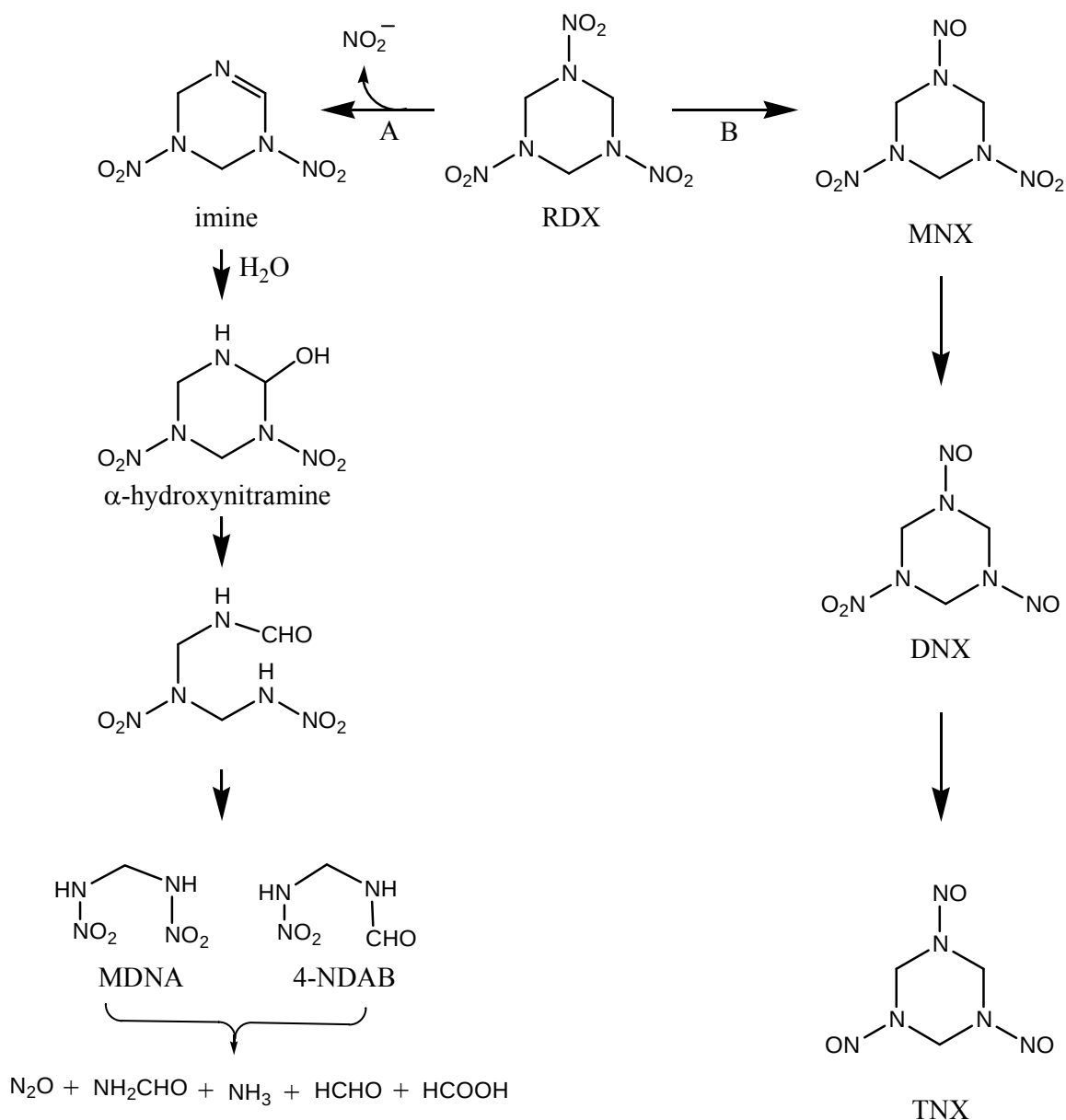


Figure 100. Abiotic degradation pathways of RDX: A) initiated by denitration (hydrolysis, photolysis, electrolysis, Fe(II), zero valent metals) or B) initiated by reduction to the corresponding nitroso derivatives (2e-transfer) (photolysis, electrolysis, zero valent metals).

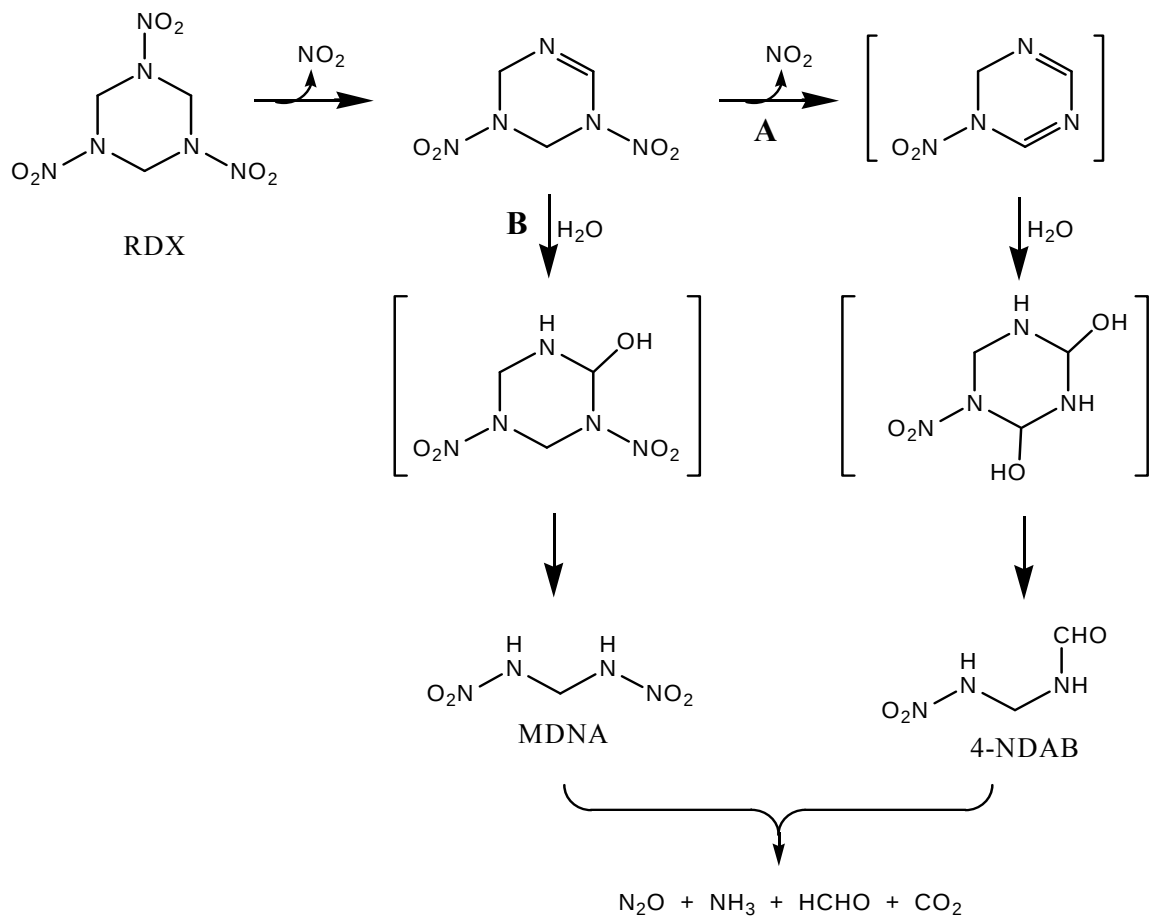


Figure 101. Biodegradation of RDX initiated by denitration under aerobic (path A) and anaerobic (path B) conditions.

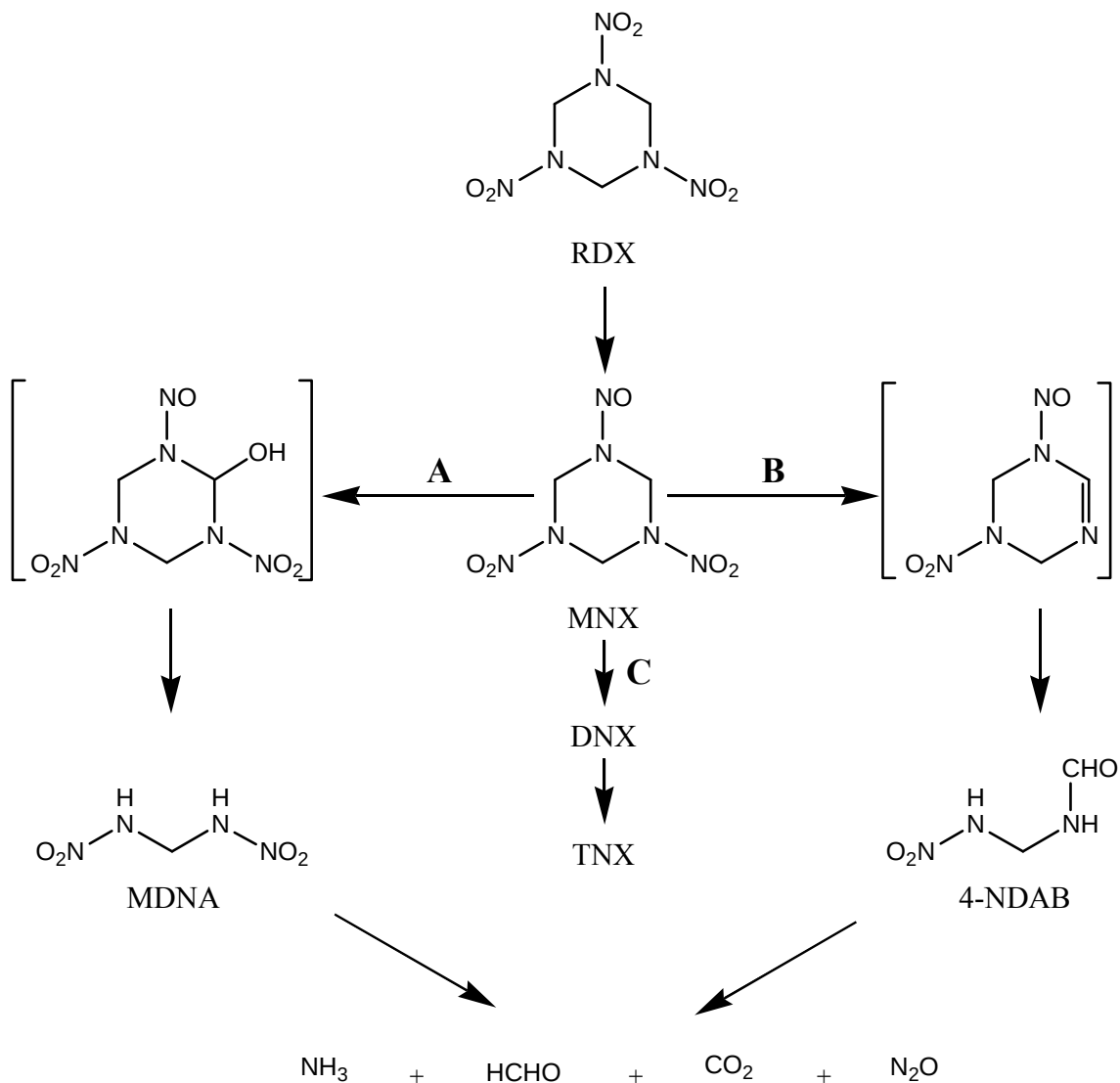


Figure 102. Biodegradation of RDX initiated by reduction to the nitroso derivatives followed by hydroxylation (path A), denitration (path B) or reduction (path C)

A2- SHELL CASING ANALYSES BY QETE

378. From the sample list received from METC, the samples were identified as follows:

Sample 1 – 105 mm Projectile

Sample 2 – 155 mm Projectile

Sample 3 – 3”70 Projectile Removed from the list

Sample 4 – 3”50 Projectile

Sample 5 – 76 mm Projectile

Sample 6 – 105 mm TPDS (Target Practice) Projectile

Sample 7 – 105 mm APDS (Armour Piercing) Projectile

Sample 8 – Not on the list

379. The above shells were sent to the machine shop, and flat metal coupons ($\sim 3 \text{ cm}^2$) were machined from the nose and shank of the seven shells.

380. Spark emission spectroscopy was performed in triplicate on metal recovered from the nose and shank of the seven shells.

381. Two reference steels (NBS 1261A and NBS 1262), one reference aluminum (NBS 1259) and one reference brass (NBS 1118) were also analyzed in conjunction with the samples.

382. The reported results in Tables 1 to 3 are the average of the three trials and are in % by mass.

Table 39: Metals by mass in samples

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Mg	Zr	B	Zn	N
No. 1 Nose	0.26	0.02	1.21	0.018	0.052	0.03	0	0.01	0	0.01	0	0.001	0	0.03	0.002	0	0.001	0.001	0	0	0.095
No. 1 Shank	0.36	0.21	0.72	0.018	0.009	0.15	0.04	0.13	0.022	0.1	0	0.001	0.01	0.03	0	0.007	0.001	0	0	0	0.122
No. 2 Nose	0.26	0.02	1.22	0.018	0.061	0.03	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0.02	0	0	0	0.012	0	0	0.072
No. 2 Shank	0.51	0.28	0.85	0.018	0.023	0.04	0	0.01	0.054	0.01	0	0.012	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0.016
No. 4 Nose	0.13	0.01	0.83	0.076	0.284	0.383	0	0.02	0	0.01	0	0	0	0.02	0.346	0		0.002	0.001		0.009
No. 4 Shank	0.54	0.16	1.17	0.023	0.017	0.07	0.01	0.07	0.024	0.09	0	0	0	0.02	0	0.006	0.001	0.001	0	0	0.022
No. 5 Nose	0.11	0.01	0.28	0.011	0.008	0.04	0	0.01	0.04	0.02	0	0	0	0.03	0	0	0.002	0.001	0	0	0.015
No. 5 Shank	0.53	0.25	0.82	0.013	0.019	0.08	0.01	0.05	0.022	0.06	0	0.002	0	0.03	0	0.002	0.001	0.001	0	0	0.013
No. 6 Shank	0.53	0.26	1.31	0.02	0.36	0.04	0	0.04	0	0.15	0	0	0	0.02	0	0.002		0.002	0.001		0.012
No. 7 Shank	0.46	0.27	0.59	0.029	0.02	1.02	0.28	1.51	0.005	0.09	0.01	0.001	0.01	0.03	0	0.009	0.002	0.002	0	0	0.014
No. 8 Nose	0.52	0.23	0.86	0.033	0.024	0.83	0.14	0.07	0.034	0.07	0	0.003	0	0.02	0	0.007	0.002	0.001	0	0	0.011
No. 8 Shank	0.52	0.24	0.86	0.033	0.023	0.83	0.14	0.08	0.032	0.07	0	0.003	0	0.02	0	0.007	0.002	0.002	0	0	0.012
NBS 1261A	0.48	0.22	0.69	0.017	0.016	0.69	0.18	2.07	0.025	0.03	0.03	0.02	0.01	0.04	0	0.008	0	0.008	0	0	0.149
True Value	0.39	0.228	0.67	0.016	0.015	0.69	0.19	2	0.02	0.042	0.022	0.02	0.011	0.017	0	0.01	0.002	0.009	0.001	N/A	N/A
NBS 1762	0.38	0.33	2.037	0.039	0.03	0.913	0.323	1.123	0.07	0.1	0.08	0.088	0.187	0.02	0	0.04	0.001	0.024	0.004	0	0.064
True Value	0.337	0.35	2	0.033	0.03	0.92	0.35	1.15	0.069	0.12	0.07	0.095	0.2	N/A	N/A	0.046	N/A	0.029	0.005	N/A	0.002

Table 40: Metals (by % mass) in samples

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn	Ti	B	Be	Ca	Li	P	V	Zr	Al
No. 6 Nose	0.17	0.25	1.62	0.04	2.67	5.965	0	0.169	0.003	0	0.059	0.002	0	0	0.001	0	0.016	0.004	89.04
No. 7 Nose	0.21	0.4	1.88	0.29	2.33	7.573	0.01	0.083	0.003	0.002	0.052	0.001	0	0	0.001	0	0.012	0.007	87.15
NBS 1259	0.19	0.23	1.62	0.11	2.47	5.502	0.09	0.165	0	0	0.042	0	0.002	0	0.001	0	0.015	0.007	89.56
True Value	0.18	0.205	1.6	0.079	2.48	5.44	0.063	0.173	N/A	N/A	N/A	N/A	0.003	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	89.778

UNCLASSIFIED

383. The driving band was removed from sample 1 and sample 4, machined flat and analyzed by x-ray fluorescence (XRF) and spark emission spectroscopy. From Table 3, the analysis indicated that the driving bands were brass alloy.
384. Qualitative analysis using the energy dispersive x-ray fluorescence (EDXRF) was performed on the 'inert' filler recovered from the following shells:
- Shell No. 1 from 105 mm Projectile - The filler recovered contained Barium, Iron, Sulfur, Silicone, Aluminum and Strontium.
 - Shell No. 2 from 155 mm Projectile - The filler recovered contained Barium, Iron, Sulfur, Silicone, Aluminum and Strontium.
 - Shell No. 4 from 3"70 Projectile (removed from list) - The filler recovered contained Barium, Iron, Sulfur, Silicone, Aluminum, Strontium and Chlorine.
 - Shell No. 5 from 76 mm Projectile - The filler recovered contained Calcium, Sulfur, Sulfur, Iron, and Strontium.
385. X-ray Diffraction (XRD) analyses were performed on filler recovered from shells 1 and 2. This analysis confirmed the presence of Barium Sulfate.
- 386.9. From Table 1, the nose and shank of projectiles of samples 1, 2, 4, 5 and 8 (i.e. 105mm, 155 mm, 3"50, and 76mm) and the shank of projectiles of samples 6 and 7 (i.e. 105 mm TPDS and 105mm APDS) are mainly steel shell projectiles, with traces of the following metals: C, Si, Mn, P, S, Cr, Mo, Ni, Al, Cu, Nb, Ti, V, Pb, Sn, Mg, Zr, B, Zn and N. (In Table 1, the balance of the metal composition was iron).
- 387.10. From Table 2, the nose of projectiles of samples 6-7 (i.e. 105 mm TPDS and 105mm APDS) are mainly aluminum alloys, containing the following metals -Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, Ti, B, Be, Ca, Li, P, V, and Zr.

Annex B: Study Design

ANNEX B1 – PROBLEM FORMULATION QUESTIONS

388. On Loadings:

- a. Do historical changes in munitions manufacture or type of shell being tested affect the AOPC from a toxicity perspective? - i.e. use of highly bioaccumulative materials at some point in time?
- b. Do historical changes in munitions manufacture or type of shell being tested affect the AOPC from a loadings perspective? - i.e. short term use of a very toxic substance versus longer term use of a less toxic substance, composition of small caliber versus large caliber shells.
- c. Is the rate of UXO generation constant through time?

389. On Spatial Distribution:

- a. What is known about targeting within the firing range? Were all shells fired at the same general target?
- b. What is known about the spatial distribution of UXO?
- c. What is the realistic size of a hotspot?
- d. What is the maximum acceptable probability for not detecting a hot spot?
- e. Is the spatial distribution of UXO time dependent?
- f. Is there information on loss mechanisms? i.e. scouring due to ice exposing spent/leached material to more active layers, transformation to less/more toxic forms (both biological and physical), solubility and general mobility, etc.

390. On Chemical of Potential Concerns (COPC):

- a. What site-specific and background COPC are critical for each stakeholder?
- b. If budget restricts analytical measurement, what is the overall priority for each type of COPC?
- c. Are degradation products important?

391. On Endpoints:

- a. Given the AOPC, what are the most ecologically sensitive ecosystem components?
- b. For each of the preceding endpoints what constitutes as an ecologically significant change?
- c. Referring to standard methods for assessing the chosen ecological endpoints, what surrogates are available? How relevant are the surrogates?
- d. Will we consider non-ecological endpoints? If yes, what are the politically sensitive endpoints? The term politically sensitive refers to the concerns of the surrounding non-scientific communities –i.e. sport fish consumption restrictions, drinking water advisories, etc.

- e. What is the general feeling in regards to tradeoffs between ecological/non-ecological objectives?
- f. How important are hotspots from an ecosystem perspective, -i.e. does a small highly contaminated patch condemn the ecosystem?

ANNEX B2 – SAMPLING DESIGN

Identification of a Reference Area

392. A reference site should have matrix characteristics and environmental conditions e.g. depth, current velocity, particle size distribution and TOC similar to those of the exposure sites within the study area, and not be exposed to site-specific sources of potential contamination. Sediment samples from the reference sites chosen by Environment Canada had different grain sizes compared to samples taken from exposure areas. This was problematic with regard to the eco-toxicity tests because AOPC binding potential (sorption and bio-availability) is affected by sediment grains size and structure and content,
393. Therefore, for the first sampling event, fifteen sites were selected in the upstream or reference area to obtain a suite of suitable reference sites. Sampling sites were selected along 3 transects parallel to the western border, with five equidistant sites along each transect. The three transects divided the area equally between sites Z10/Z11 and Y12/Y13/Y14 sites of the Environment Canada study.⁷³ Two sites were also selected as reference sites for eco-toxicological testing

Temporal Sediment and Water Sampling Sites

394. To investigate temporal trends in sediment AOPC, select sites were chosen for repeat sampling. For the Preliminary phase, Eight (8) sites of the EC study (Table 41) were so selected. These sites were also selected for preliminary eco-toxicity testing. For the Main and Supplementary phase, the suite of temporal surficial sediment sites was reduced to four: three repeats from the EC study and one Infill site from the Preliminary phase. In addition, two water sites were selected at the downstream end of LSP near Isle Moras for repeat sampling.

Table 41 EC sites Repeated for Temporal Assessment.

Environment Canada ⁷⁴	QETE Site ID
F2	*ET1
B1	ET2
A1	ET3
E7	ET4
H7	ET5
F3	ET6
Y16	ET6
C4	ET7
E3	ET8

*ID's are prefixed with the label "ET" because these samples were also used for full suite of eco-toxicity tests.

Core Site Selection Rationalization

395. The collection of sediment core samples in the presence of UXO is challenging and costly. Criteria for core site selection were carefully selected. according to the surficial sediment assessment (see Section 5.4) and are as follows:

- a. Areas with high surficial metal concentrations;
- b. Areas with relatively high concentrations of other contaminants (e.g., AOPC) associated with historical releases to LSP; these high concentrations may have resulted from mass erosion, e.g., ice scouring, or from a depositional site;
- c. Special attention was paid to sites where bioaccumulative substances such as Hg, Pb, organo-chlorinated compounds, PCBs and PAHs were detected in surficial sediment samples.

396. A scoring system was used to objectively select locations best satisfying the criteria above. Scores were chosen in consultation with personnel from QETE and BRI to emphasize the importance of bioaccumulative materials, energetic materials and likely areas of possible UXO based upon magnetometric readings.

397. In order to prioritize the sites, a value of 1 was assigned if a metal (except Hg or Pb) exceeded the lowest currently available criteria⁷⁵ and a value of 2 was assigned, if Hg, Pb, organochlorine pesticides, PCBs or PAHs exceeded the same criteria or if energetic materials were detected. A score of 4 was assigned to sites with high magnetometric readings in order to prioritize sites where UXO might be found. Scores were chosen in consultation with technical experts from DND and BRI to emphasize the importance of bioaccumulative materials, energetic materials and likely areas of possible UXO based upon magnetometric readings. The sum of the values for each station was used to prioritize core sample site selection and those with the largest value were assigned a high priority.

398. This approach was susceptible to potential bias as defined by the following limitations:

- a. Organochlorine pesticides, PCBs, PAHs and energetic materials were not measured at all sites and, where measured, the organochlorine pesticides, PCBs and PAHs never exceeded the lowest guideline available;
- b. Guidelines were not available for all of the measured analytes;
- c. The criterion to only exceed a guideline did not account for the magnitude of the exceedance, which could affect the relative ranking of the core sites selected. The selection of the sites themselves was not influenced by this consideration;
- d. Three of the preferred stations selected were near the St. Lawrence River shipping channel and considered unsafe for coring. Two of the preferred sites were too close to an ice fishing village. This resulted in a large tie in scores for selecting the 7th through 10th coring locations. These four remaining sites were chosen from among those tied for the

7th through 10th scoring positions and were selected to be proximate to the 2 clusters of core sites already selected. This choice was thought to result in a data set with higher information content than if four randomly selected sites were chosen.

399. Based on the scoring system described above, 12 coring sites were selected that corresponded to surficial sediment sites. Additional core sites ($n=7$) were selected near the outfall of the Chenal Tardiff to ascertain if any AOPC are entering LSP from the Riviere St Francois. These sites were selected to obtain adequate spatial coverage of the outfall area. Site coordinates are presented in Table 42

Table 42: Sites Selected for Collection of Sediment Cores

Station	Longitude	Latitude	Inorganic and Organic Contaminants Score	EM Score	Magneto-metric Score	Sum of Scores	Reason for Selecting/Rejecting Sites
S.05.61	665446.43	5114008.05	9			9	sum of scores
S.05.64	664643.59	5112460.55	4.5			8.5	too close to fishing village ³
S.05.22	676977.11	5119104.35	4		4	8	sum of scores
S.05.ET.5	676395.34	5118569.13	4		4	8	sum of scores
S.05.14	678094.1	5118766.93	4	2		6	sum of scores
WS.05.60	665970.02	5113053.95	6			6	sum of scores
S.05.3	680514.27	5120547.15	4			4	sum of scores
S.05.16	677570.51	5120756.58	4			4	sum of scores – may be replaced by A2
S.05.ET.3	679499	5120715	4			4	sum of scores – may be replaced by A3
S.05.24	676523.33	5117137.97	4			4	sum of scores – NOT SAMPLED
A1	673694	5116491					Directed by QETE
A2	673984.9	5116719.9					requested by QETE ⁴
A3	673553.7	5117234.6					requested by QETE
A4	674275.4	5117482.4					additional site to compensate for loss of site 64, March 2 nd .
S.05.ET.8	672138.33	5116284.47	4		4	8	too close to fishing village
S.05.43	672474.21	5116218.78	2		4	6	too close to fishing village
S.05.45	670193.67	5118557.49	6			6	too close to channel
S.05.59	666307.45	5117009.99	6			6	too close to channel
S.05.36	672834.91	5120419.16	5			5	too close to channel
LSP-06-C01	664201	5110791					AOPC from upstream ⁵
LSP-06-C02	663471	5111649					AOPC from upstream ³
LSP-06-C03	664455	5111649					AOPC from upstream ³
LSP-06-C04	665265	5111490					AOPC from upstream ³
LSP-06-C05	663359	5111173					AOPC from upstream ³
LSP-06-C06	664360	5114236					AOPC from upstream ³
LSP-06-C07	666694	5116030					AOPC from upstream ³
LSP-06-C08	667408	5117592					AOPC from upstream ³

³ Information obtained on March 2nd. Attempted to choose new station northeast of stations 61 and 60 to at least triangulate that sub-area. Informed on next morning that a pressure ridge made the new station unsafe.

⁴ Two additional stations to the north and north-east of location (5116491, 673694) were requested by QETE. These stations are to be within one km of this site but outside the firing range as demarcated by R. Gagnon, METC Site Manager, February 20th, 2006.

⁵ Locations were selected near the outfall of the Chenal Tardif to ascertain what AOPCs may have entered DND-LSP site.

Selection of Sampling Sites for Ecotoxicity Testing

400. In addition to obtaining adequate spatial coverage in sampling sites for physicochemical characterization, it was also necessary that the sampling plan include sites from which samples would be collected for toxicity testing. Generally, these sites were selected on the basis of the observed physicochemistry and toxicity results of the Environment Canada study and those generated over the course of this study, including the presence of metals (especially Cr and Cu) and EM. For the Preliminary phase, all sites selected for temporal assessment were also used for eco-toxicity testing. For the Main phase, three eco-toxicity sites were repeats from the Preliminary phase, and seven new sites were selected based on chemistry and eco-toxicity results. A minimal number of eco-toxicity sites were also selected for the Supplementary phase, based on recent information regarding areas with UXO and also included minimal repeat (temporal) sites.

Table 43: Site Selection and Rationalization for Large Sample Ecotoxicity Testing

Sampling Year	Site ID	Rationalization and Description
	ET1	“Low” UXO signature metals
	ET2	“Medium UXO signature metals
	ET3	“High” UXO signature metals
	ET4 and ET5	Proximity to recently identified duds. These sites also represent a “medium” concentration of UXOsignature metals
	ET6	Continues re-sampling gradient to the west
	ET7	
	ET8	Fills in re-sampling gradient
	ET1	Sufficient water depth, north of IN8, close to channel; a 2005 sample site.
	SET2	A temporal station (Repeat of ET3 from Preliminary Phase), only exceedance (Cr) of a CCME PEL occurs at this site
	SET3	Relatively high levels of Cu and Cr and between IN3 and ET8, close to “A” series of observations collected by Environment Canada (2003). The “A” series showed highest metal levels.
	SET4	A temporal station (In8), energetic material detected 2004, close to shoreline and Nicolet.
	SET5	A temporal station (ET7), high levels of metals, elicited biological responses in toxicity test organisms (QETE, 2004)
	SET6	Sufficient water depth due to channel, is also a 2005 sample survey site, addresses B’aie de Febvre resident concerns, is also a 2005 sample survey site.
	SET7	Sufficient water depth, off Long Point with high magnetometric readings, between IN3. IN3 had high Cu and Cr levels, is also a 2005 sample survey site.
	SET8	Sufficient water depth, off Long Point with high magnetometric readings, continues “transect” from Baie de F’ebvre, north, is also a 2005 sample survey site.
	SET9	Sufficient water depth, upstream of site, allows for upstream/downstream discussion, north of QETE 2004 reference sites, is also a 2005 sample survey site, unknown potential for toxicity.
	SET 10	Sufficient water depth, upstream of site, allows for upstream/downstream discussion, north of QETE 2004 reference sites, is also a 2005 sample survey site, unknown potential for toxicity.
	LT01	A temporal station
	LT02	A temporal station
	LT03	A temporal station
	LHS01	Possible UXO location
	LHS02	Possible UXO location
	LHS03	Possible UXO location
	LHS04	Possible UXO location

Annex C: Field Methods

REFERENCES:

Oakton PC10, Instruction Manual PC 10, Rev.5 08/04

YSI 550A, Operation Manual

Gurley Current Meter, Model 662A, following the Gurley Precision Instruments Hydrological Equipment Operation and Maintenance Guide Manual.

Manual of Aquatic Sediment Sampling; Murdoch, Alena (ISBN 1566700299), CRC Press

C1: FIELD LOGISTICS

Introduction

401. The size, complexity and inherent explosive risk of the METC-LSP site necessitated detailed logistical plans for communication, UXO safety and security, site navigation and sampling.

Communication

402. Given the safety and security issues, and the complexity of sampling operations, formal communication flow and assignment of responsibility was necessary. This included communication between field personnel, laboratories, project managers and health and safety resources. Fig. 1 illustrates the communication plan established for sampling conducted in October 2006.

403. Also, the large site required long-distance communication devices. The three systems that were used by field personnel for communications were:

- a. Cellular phones between office and laboratory.
- b. FRMS radio sets between field members
- c. Closed channel military radio sets between crew chief, UXO chief and METC range master.

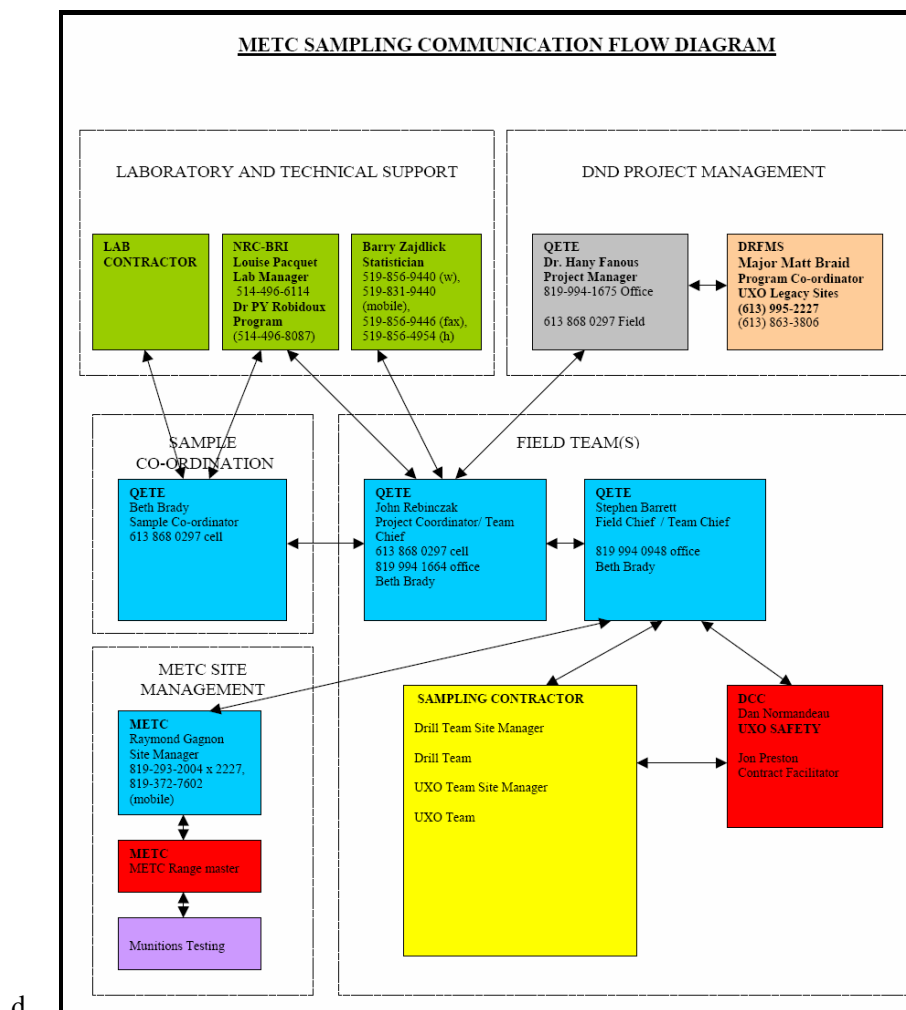


Figure 103: Communication flow diagram identifying OPI and corresponding responsibilities during sampling events.

Site Access and Navigation

404. Access to the METC-LSP site was restricted due to daily munitions testing. At the commencement of each day, METC range personnel briefed the QETE sampling team on daily firing activities and restricted zones/templates. Although munitions testing was no longer conducted in LSP, safety zone templates, specific to the size of munitions, were employed at the eastern end of LSP to account for stray/misfiring munitions. As such, daily sampling had to be adapted to avoid these safety zones.

405. Field personnel accessed and navigated the METC LSP site utilizing a variety of vehicles, depending on the sampling season, type of sampling and distance from the main METC facility. Sampling vessels either departed from the boat launch at METC, the adjacent tributary of the Nicolet River, or, when water levels were very low, from the Nicolet Marina. For surficial sampling in the fall, a 24 ft shallow draft Sealander type vessel (Fig. 2), or fishing boat was for co-ordinating and providing oversight of the

sampling. The Sealander housed the QETE scientific team, was a platform for sample processing, and donning and doffing of dive gear, when necessary. The fishing boats were also used by QETE for water sampling, obtaining sediment samples off-site (e.g. in tributaries), in situ measurements and travelling between the sampling sites and safety zones. Smaller boats (e.g. 14 ft zodiacs, Fig. 3) were used by the EOD dive team for sampling and safety zone perimeter monitoring.



Figure 104: Sealander (24 ft) boat



Figure 105: Zodiac (14 ft) boat

406. For the fall core sampling, the same boats were used in addition to a barge dedicated to the coring operations (Fig. 8). A variety of tracked and wheeled vehicles were used in

winker cosing operations for over ice travel, included Haaglund™ BV-206 tracked military vehicles, Argo™ and Honda™ ATV's four wheel drive trucks and snowmobiles.

Location of Sampling Sites

407. Sampling sites were located using Wide Area Augmentation System (WAAS) capable Global Positioning System (GPS) units (Garmin™ 76 or similar). The sites were either located by the QETE team or the Explosive Ordonance Disposal (EOD) team, who marked the location with a buoy and detected any possible UXO in the area. The exact co-ordinates were recorded.

UXO Safety

408. Given the explosive risk of UXO in LSP sediments, a strict safety protocol was required by DND for any sampling activities that disturbed the sediment. As such, no personnel were allowed to conduct sediment sampling until the sampling site was been deemed clear of projectiles by a qualified UXO/EOD technician. In addition non-essential personnel were required to be at designated safety distances, while UXO clearance and sampling was conducted. Other specific safety requirements included a continuous radio net to inform all members of the procedures; sentries to insure that no members of the public could stray in the safety zone; notification to coast guard, police and ambulance services that UXO procedures were being performed and on-site presence of a qualified paramedic at all times.

EOD Oversight and Contracting

409. A UXO safety officer was assigned to ensure the sampling work was done in a safe manner and as stipulated in the Statement of Work. This safety officer was either a trained military representative or a DCC Site representative with military UXO/EOD (HB/HA certified) training. The contracted UXO/EOD clearance team awarded to do the sampling work was required to have HB/HA Certification. In addition, the EOD team provided a Health, Safety and Emergency Response Plan (HSERP), including notification of local medical emergency facilities. Prior to commencement of field operation, any amendments to the HSERP required approval by DND staff and the DCC Site representative. Other specific stipulations for the Contractors regarding sampling equipment and methodologies were also identified e.g. sampling apparatus proposed by the EOD contractor must not to produce vibration or shock.

Safety Briefings

410. All personnel working on the project were required to attend safety briefings. Prior to sampling each day, a Range Safety Briefing was provided by DND. This briefing included a description of ordnance in the daily firing activities on land, safety template for LSP near the daily firing, health and safety contact information. Strict adherence was required to the rules stipulated at this briefing. The contractor was also required to follow the rules stipulated at this briefing. The UXO/EDD contractor was also required to conduct daily

safety briefings with his team members, and with the UXO safety officer present. Attendance was taken daily; a record of the daily meeting and attendance sheet was given to the Site Representative each morning.

Equipment Checks

411. Critical Equipment (e.g. metal detectors) used for the UXO surveys was tested at the beginning of each day. It was passed over a test pit, which contained metal items similar in size and composition to the UXO that may be encountered and located at various depths up to 1.5m, in soil of the same type and density as that likely to be encountered. This equipment check was overseen by the DCC representative or DND crew chief.

Safety Zones

412. Safety zones were established for each type of sediment sampling. For surficial sampling, non-EOD personnel were required to be at a minimum of 200m from the sampling site during site UXO clearance and sediment sampling. For the core sediment sampling, three safety zones were established. Core sediment sampling was conducted remotely from 200m. During clearance of the site and sampling, all non-essential personnel was kept at minimum 600m from the sampling site and a zone perimeter of 1000m was monitored to prevent non-DND/ sampling personnel from entering the area. If someone did enter the 1000m perimeters, all sampling operations ceased until the zone was clear.

UXO Avoidance and Clearance

413. A contracted EOD team was employed to conduct ordnance avoidance and obtain all sediment samples in LSP-METC, under QETE supervision. Once a sample location was specified, all non-essential personnel withdrew to the specified safety zone/perimeter. The EOD personnel would then sweep the location with metal detectors for the presence of any ordnance. If the location was deemed clear, the sediment sampling was then conducted by the EOD team (see following sections), with non-essential personnel at the designated safety zone. In the case where multiple samples were obtained from the same location, e.g. sediment coring, site clearance was conducted prior to the collection of each sample/core horizon. Sediment samples were then assessed and cleared by EOD personnel for the presence of any sub-munitions, prior to transporting to the QETE scientific team for further processing.

C2 - FIELD WATER MEASUREMENTS

414. In-situ water measurements were taken at selected LSP sampling sites. The following are details of equipment and methodologies utilized by QETE personnel for in-situ measurements taken at sampling sites.

Temperature/pH/Conductivity

Temperature, pH and conductivity measurements of the water were taken at each water and sediment sample site, where possible.

The meter used for pH, temperature, and conductivity measurements was an Oakton PC10.

The pH meter was calibrated before sampling commenced each day and at any time an unexpected reading was encountered. The results were logged contemporaneously in a field log book.

A two-point calibration was done using pH 4 and 7 buffer standard solutions (Fisher Scientific or Canada Wide Scientific) following the instructions in Section 4.4 of the Instruction Manual PC 10, Rev.5 08/04.

A pH calibration check was performed before each group of measurements using pH 7 buffers.

The conductivity calibration was performed daily using a 100us conductivity standard and following the instructions in Section 4.6 of the Instruction Manual PC 10, Rev.5 08/04.

A conductivity calibration check was performed before each use by measuring the standard solution.

For each measurement the probe was placed in the water approximately 1 meter below the surface and the reading was taken once the display value had settled. The meter has an automatic temperature compensation feature.

Dissolved Oxygen

415. The meter used to take the dissolved oxygen measurements was the YSI 550A. The calibration of the meter was conducted before sampling commenced each day, following the Calibration in % Saturation section of the Operations Manual. The altitude used for calibration purposes was 262.5 ft (ALS Mean) and the salinity of the water was set at zero ppt.

Current Measurements

1. Current measurements were taken by a Gurley Current Meter, Model 662A, following the Gurley Precision Instruments Hydrological Equipment Operation and Maintenance Guide Manual.

The current meter was set-up to read in meters per second (m/s)

The current meter was either suspended from a steel tether fixed to the boat in water depth greater than 2 metres or mounted on a wading rod in shallower waters.

The height was adjusted to 1.0 meter below the water surface, in extremely shallow waters the meter was suspended midway in the water column.

The reading was allowed to settle and was recorded contemporaneously in a field log book in meters per second (m/s).

Turbidity Measurements

416. Turbidity measurements were conducted at select locations, to measure the amount of sediment suspended in the water column, by a Secchi Disk. A Secchi disk is a 10" dia

weighted disk, separated into four alternating black and white quadrants on the surface. Readings are taken off the suspending rope when the disk disappears from view. Results are expressed in tenths of a meter.

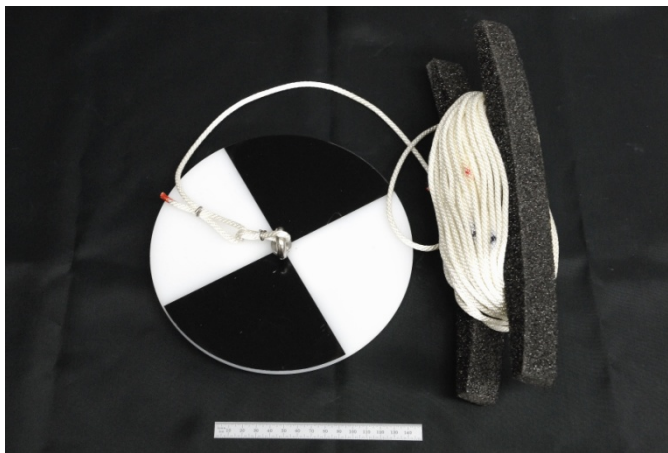


Figure 106: Secchi disc

C3 - WATER SAMPLING

417. Surficial water samples were collected by QETE personnel at select LSP sites for chemical analysis, energetic material and eco-toxicity testing as per ANNEXES B and C. Water samples collected ranged in volume from small (20 L) for chemical and EM analyses in large (80 L) for chemical, EM and eco-toxicity testing as per ANNEXES B and C.

1. Water samples were collected using a 6L Van Dorn Water Sampler, 1 meter from the bottom of the lake where depth allowed. Alternatively if the water was too shallow, the sampler was suspended midway in the water column.
2. If water conditions were too dangerous (waves approaching tolerance of vessel), surface water samples were taken using a pre-cleaned 8L high density polyethylene (HDPE) pail.
3. Water samples (80 L) for toxicity testing were collected in non-toxic, low density polyethylene (LDPE) bags that lined the 20L HDPE pails. The liners were secured with tie-wraps and the pails were then sealed with the appropriate lids.
4. All samples were labelled with the date, time, sample number, UTM location and the name of sampler.
5. The water samples were homogenized and sub-sampled at the main METC site facility or on board the vessel, into a variety of containers, depending on the type of analysis required.
6. Samples were stored onboard the boat in coolers with ice packs to cool and maintain them at 4°C +/-2°C while in the field. Several times during the day, water samples were off-loaded at vehicle access points and conveyed to the METC facility where a temporary processing laboratory was set up to provide secure 4°C walk-in refrigerators and freezers.
7. The samples were processed following the Sample Processing Method in ANNEX D6.

C4 - SURFICIAL SEDIMENT SAMPLING (FALL 2004, 2005, 2006)

1. Surficial sediment sampling was conducted during each of the five sampling events, for the chemical and ecotoxicological characterization, described in ANNEXES B and C.
2. Sediment samples ranged in size from 2-70L, depending on the analyses required.
3. Sediment samples were collected with either a 2L stainless steel Ponar dredge, stainless steel shovel, or in the case of the surficial sediment sampling conducted in Feb. 2007, a modified post hole digger (Fig. 5).
4. Samples were placed in a stainless steel tray and cleared by the EOD team prior to transferring to the QETE team.
5. For sampling conducted with the Ponar dredge, samples were rejected for the following reasons: a. rock caught in the jaws; b. canted with partial sample; and c. washed sample, where there was minimum penetration by the Ponar dredge,.
6. Sampling was repeated until a sufficient quantity was obtained for analyses.
7. Sediment samples were either processed on the boat or at the main METC site facility. If processed on the boat, the samples and sub samples were stored in appropriate containers, labelled/documentated, and stored at 4°C +/-2°C in coolers aboard the vessel, until transferred to the freezers or walk-in refrigerator at METC site facility.
8. Sampling equipment and trays were cleaned as per the protocol in ANNEX D7 at the commencement of each day and between each sampling site.
9. For surficial grab samples obtained through the ice during January / February 2007, sampling equipment employed was a specially constructed variation of a manual posthole digger (see Fig. 5). The tool constructed for the work was a 15 ft model, all steel construction, with the jaws covered with an epoxy coating.
10. Samples obtained through the ice were placed on plastic bags for a screening for small UXO. The samples were then sealed in appropriate containers, identified and placed in coolers for transport to the laboratory.
- 11.



Figure 107: Posthole digger

C5 - CORE SEDIMENT SAMPLING

Winter 2006 (Ice) Coring Method

1. The Longyear™ drill rig was mounted on skis to facilitate travel over the ice. It was towed by a track equipped, 4-wheel drive, all-terrain vehicle. {Figure 108}



Figure 108: Sled Mounted Drill Rig with Shelby sampling tube to the left of the rig.

2. Once the coring team arrived at the pre-set destination or waypoint, preliminary UXO/ordnance detection was conducted (see section 6 for details). The coring equipment, Shelby tubes, sample containers etc. were washed (as per ANNEX D7) and the drill rig was set-up. Note: The rotary and/or hammering actions usually used in sediment/ soil coring was not used in this environment due to the risk of explosion from disturbance of an undetected UXO.
3. The drill rig was operated remotely by means of either radio control or RV cable control. The operator was positioned 200 meters away from the drill rig behind a blast shield (Fig. 6). All non-essential personnel were positioned 600 meters away.
4. The spoon was advanced hydraulically to a depth of 0.5m and recalled remotely. No personnel were present at the drill when sample was taken due to the risk of explosion if the spoon was to push against an undetected UXO.



Figure 109: Setting up remote control drill and example of sediment before clearing by UXO technician

5. Once the spoon was retrieved, the UXO technician went to the drill site and removed the sediment core. The technician then “cleared” or detected and removed anything physically dangerous from the core sample.
6. After the core was cleared, the QETE scientific group was called to the drill site to take possession of the sample.
7. Bore hole logs, including description of the core sample colour (appearance, rough description of type of material etc.) were recorded and digitally photographed (Fig. 7).
8. The core sample was then placed in a stainless steel (316) container, sealed closed, labelled and logged onto chain of custody forms.
9. The core samples were left on the ice (under supervision) to freeze until sampling was completed that day.
10. The core samples were kept frozen until analysis.

Barge Coring Method

Coring Barge

418. Although ice-coring operations were more efficient, there were some circumstances, such as when the current or wave action rendered areas of ice unsafe, coring operations were then accomplished from a barge in Fall 2006. A barge (pontoon boat) was modified by cutting a hole in the deck between the pontoons and affixing legs and winches at each corner. This configuration allowed the barge to become freestanding on the lakebed, while in shallow water. For deeper water (>3m), anchoring the barge from four sides sufficed, though movement made the coring process far more difficult and time consuming.



Figure 110: Barge for the Drill Rig

The Drill Rig

419. A conventional drill rig, as used in the ice coring operations, was too heavy to use on a barge small enough to navigate the shallow waters in the Fall 2006. Therefore, a hydraulic system to push the sampler was fabricated by modifying a large gasoline powered wood splitter.



Figure 111: Drilling Rig (modified from an hydraulic wood splitter)

420. This system was also operated from a distance of 200m, using a radio controlled solenoid valve to control the direction of the piston. The same Shelby tube sampler as used in the previous winter with core catcher was used to obtain the sample.

C6 - SAMPLE PROCESSING AND HOMOGENIZATION

1. Samples arrived at the METC facilities in coolers (4°C +/-2°C) from the lake.
2. A cross check of the sample ID on the container with the ID on the sample processing information table to determine further processing required, the type and size containers to use, and the storage conditions for that sample.
3. Samples were homogenized, if necessary for sub samples following the Homogenization Method below.
4. Containers and labels for the sample were prepared.
5. The containers were filled with the required quantity of sample. Adequate headspace was left in the glass containers that were to be frozen to avoid breakage.
6. The sample information was recorded on the Chain of Custody form (refer to the procedure in ANNEX E1).
7. The samples were stored in the 4°C +/- 2°C walk-in refrigerator or in the freezer.
8. The contract lab responsible for the shipping of samples was contacted to arrange for pick-up.

Sample Homogenization of Small (~3L) and Large (~70 L) Sediment Samples

1. Due to the small numbers and small volume of samples initially taken, samples were homogenized on board the vessel at the time of sampling. The method employed utilized stainless steel containers and spoons. The mixing was performed by hand for 15 minutes, and then sub-sampled to the appropriate labelled containers.
2. The sample was allowed to settle for 24 h at 4°C.
3. The sample was decanted and any supernatant water discarded.
4. Physical characteristics of the sample were documented in a field notebook or data sheet including colour, odour, texture and any organisms present.
5. Unrepresentative substances such as, twigs, shells, stones, or vegetation were removed by hand.
6. For small sediment samples of ~ 3 L, each sample was mixed using an electric drill mixer for 5 minutes and then transferred to pre-labeled bottles using a stainless steel spoon (see Fig. 9).
7. For large sediment samples of ~ 70 L in pails, a stainless steel shovel was used to transfer equal amounts of sediment from each 20 L pail for a specific sampling point into the mixing bowl of the Hobart 40 L mixer (commercial kitchen model with stainless steel bowl and paddle). This was done continuously in sequence from each pail, until Hobart mixer was full. This sample was then mixed for 10 minutes, followed by sub sampling of various physicochemical and ecotoxicity testing as per ANNEXES B&C.
8. The mixer and spoons were cleaned according to the cleaning method in ANNEX D7.
9. The samples were stored at 4°C or frozen as required, until shipment to the various laboratories.



Figure 112: Mixing a 3L sample using a stainless steel mixer in an electric drill

SAMPLE PROCESSING-Small Samples

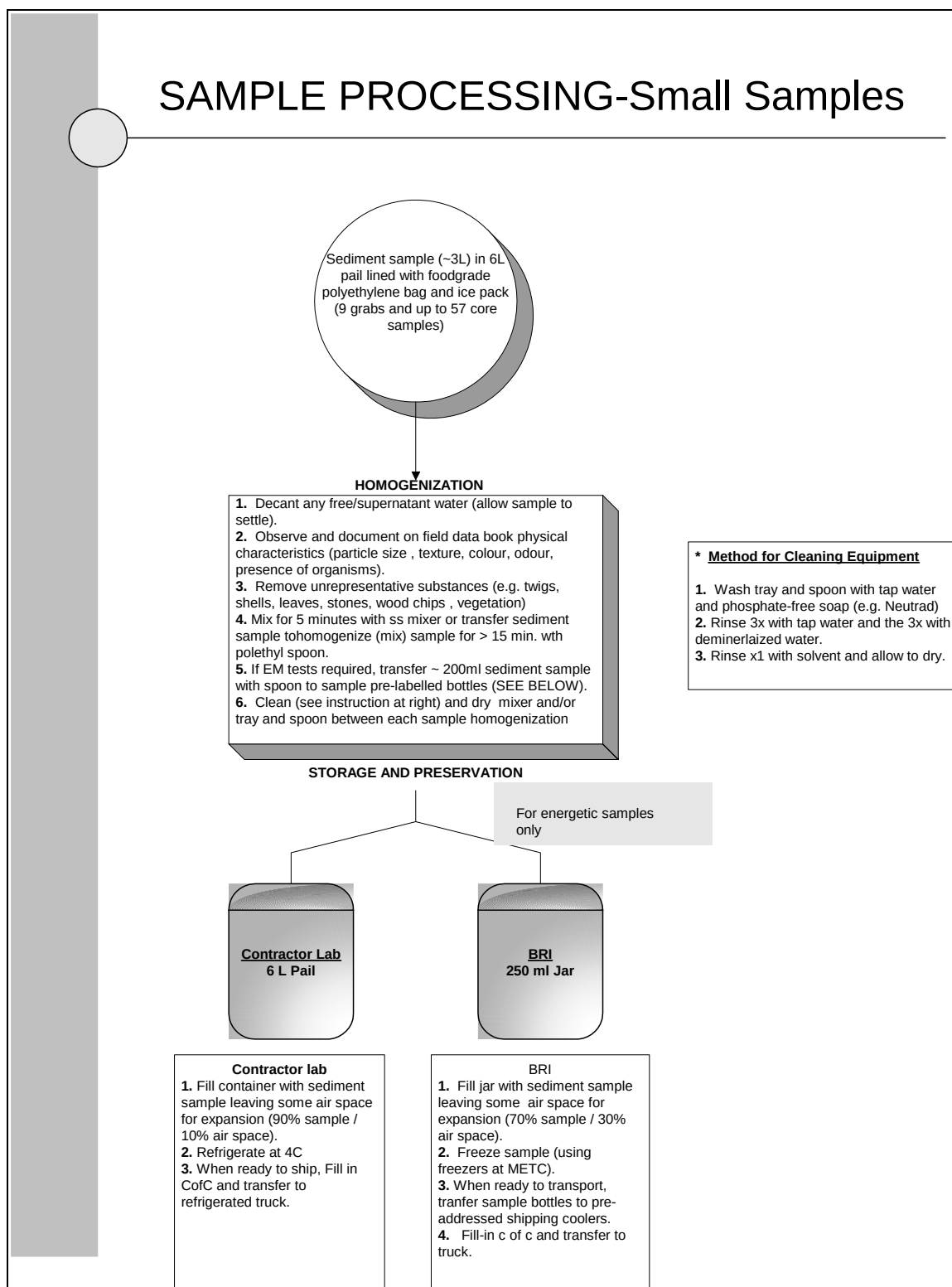


Figure 113 Sample processing small samples

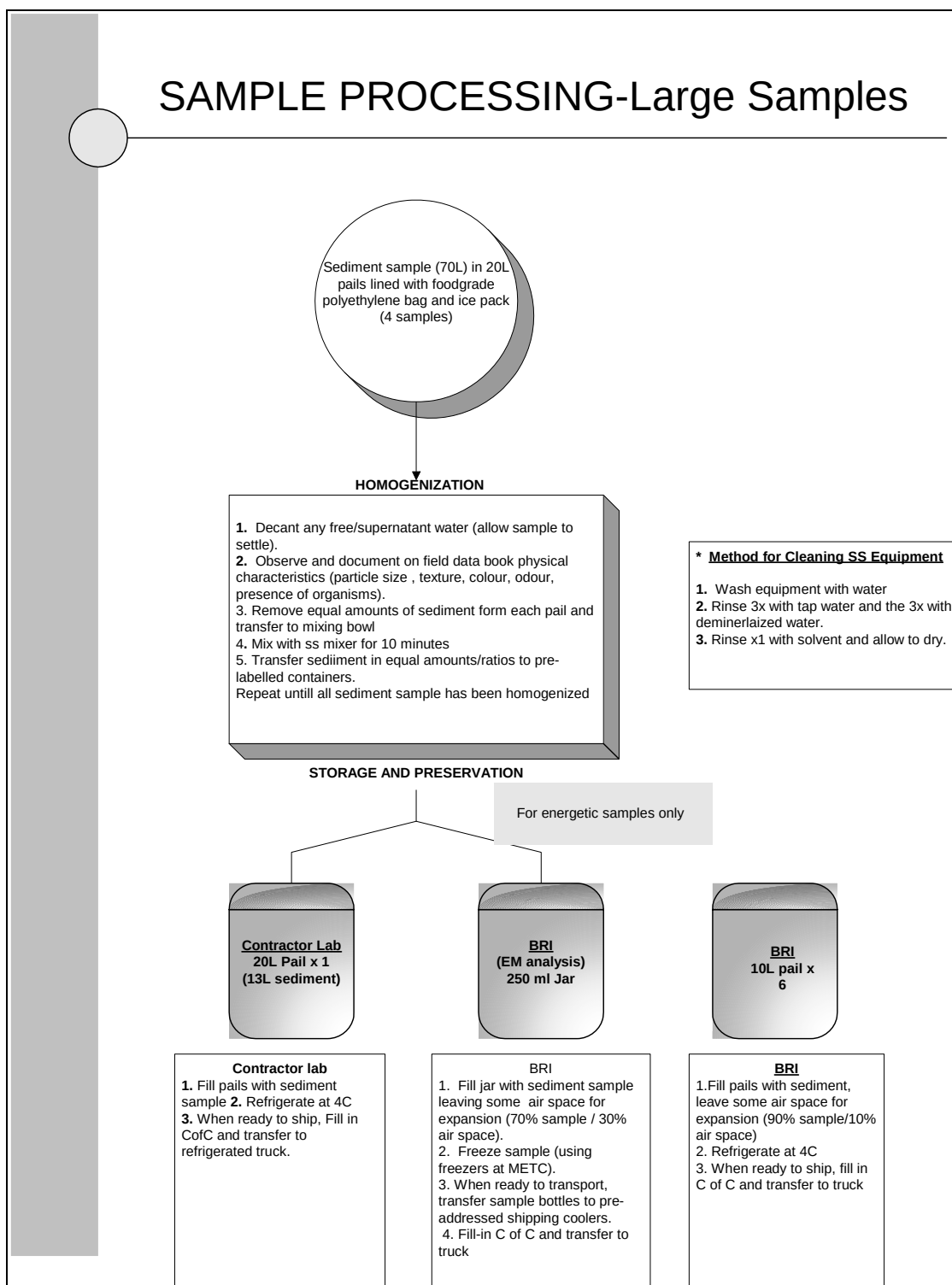


Figure 114 Sample processing large samples



Figure 115: Large mixer for toxicity samples and cleaning coring equipment

C7 - EQUIPMENT CLEANING

Sampling and processing equipment were cleaned, according to the processes described below, between each sample location and each sample processed.

Sediment Sample Collection

Heavy soil was removed.

Equipment was washed with a brush and laboratory grade detergent (Neutrad™).

Triple rinsed with distilled water.

Rinsed with methanol if sampling for organics.

Rinsed with dilute sulphuric acid if sampling for metals.

Equipment wrapped in clean plastic sheeting until required.

Water Sample Collection

Equipment was washed with a brush and laboratory grade detergent

Triple rinsed with distilled water

Rinsed with methanol if sampling for organics

Rinsed with dilute sulphuric acid if sampling for metals

Equipment wrapped in clean plastic sheeting until required.

C8 - MUSSEL CAGED FIELD STUDY

421. To complement the previous studies on sediment from METC-LSP site (Cusson and Latreille, 2003, Robidoux *et al.*, 2005, 2006, 2008), mussels *E. complanata* were exposed in cages at the METC-LSP site to assess the potential for bioaccumulation for metals and EM, and to assess the potential ecotoxicological effects.

Collection and depuration of mussels

422. Mussels *E. complanata* were collected on July 16th 2007 in the Richelieu River (45° 10.340 N; 73° 14.980 O) close to St-Paul-de-l'île-aux-Noix. Mussels length ranged from 61.6 to 92.8 mm (77.5 ± 6.2 mm; $n = 504$) and weight ranged from 23.4 to 107.6 g (55.7 ± 14.7 g). Before exposure in cages, mussels were maintained on a bed of silica at 15°C in a 550 L fiberglass tanks with re-circulating water and aeration. Mussels were feed daily with algae *P. subcapitata* (6 L mL; 10^6 cells/ mL) until the day before the exposure. Water (50% of total) was changed each week by using Labrador spring water. The organisms were then transferred in coolers with water.

Selection of sites

423. Based on chemistry and toxicity data from the recent studies (Stantec, 2006; 2007, Robidoux *et al.* 2005, 2006, 2008), a “reference” and a “potentially contaminated” zone were identified. The two zones are presented in Figure 1. The map was drawn by Zajdlik & Associates (2007). The green areas represent low level of metals whereas the red areas represent higher level of metals. The location of a the “reference” zone (sites 1A 669170E, 5115372N; coordinates are UTM WGS 84 zone 18 T North) and a “potentially contaminated” zone (sites 2A; 678250E, 5119777N) are located on the map (Figure 1). Details regarding the mapping of metal concentrations in sediments can be found in other reports (Zajdlik & Associates Inc., 2007, 2008).

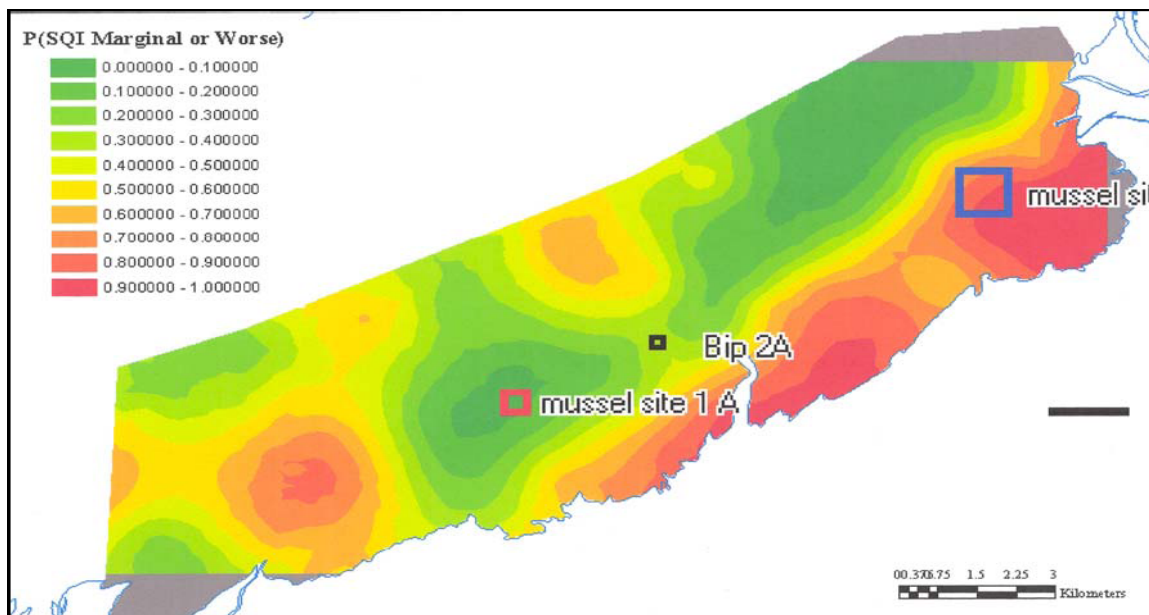


Figure 116 Potential zones *in-situ* bioassays with caged mussels

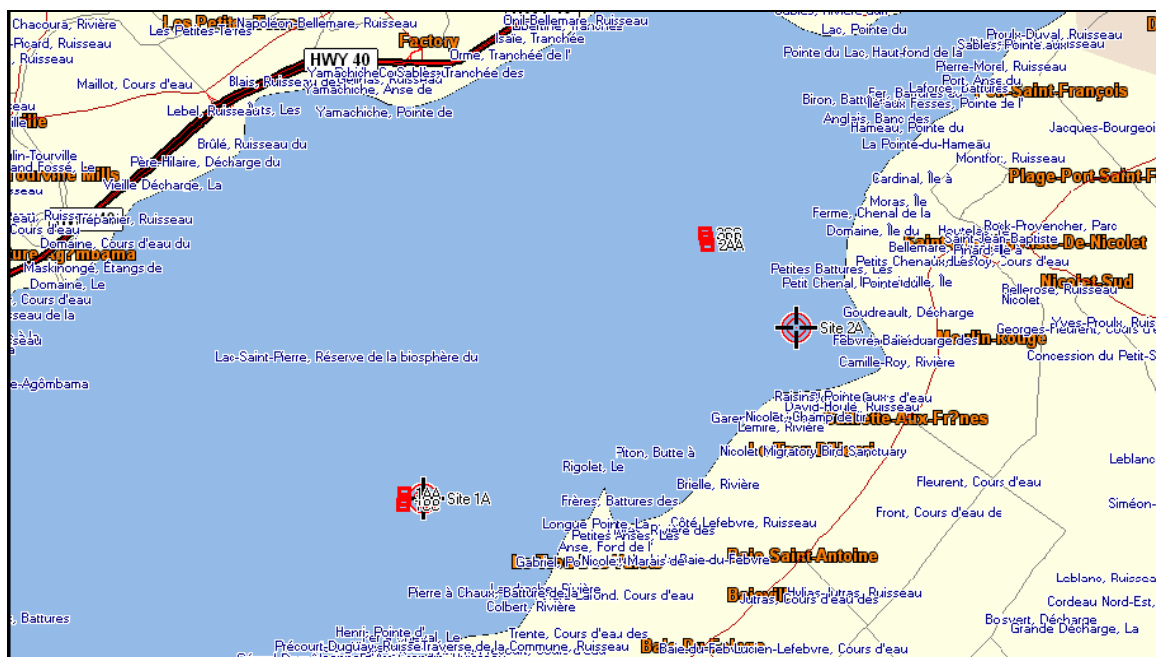


Figure 117 Sites for in-situ bioassays with caged mussels (september 2007)

Installation of cages

424. Caged mussels were placed on September 6th, 2008 at three sites in each zone (reference” and “potentially contaminated”). Each cage was approximately 26” by 42” by 1” and contained 42 mussels distributed in 7 small mesh bags. Figure 3 shows the design of the cage with 42 mussels (6 mussels / socking x 7 socking / cage) whereas Figure 4 present the experimental design of the *in situ* field bioassays with caged mussels. Three set of two cages were placed on sediments from each zone at 100 m from each other giving 252 mussels per zone. Two cages per site, attached together, were used to increase the number of mussels (84 mussels per site).
425. Three set of cages were placed at the “reference” zone and identified 1AA, (669174E, 5115379N), 1BB (669168E, 5115296N) and 1CC (669167E, 5115209N). These sites were at proximity from the target (see section 2.1 and Figure 2). Three other set of cages were placed at the “potentially contaminated” zone and identified 2AA (676030E, 5121153N), 2BB (676063E, 5121453N), 2CC (676030E, 5121613N). Unfortunately these cages were placed at 2.6 km NW from the target site (see section 2.1 and Figure 2). The low level of water (ca 12” depth) does not permit to install the cages closer to the shore. Each sock was identified relative to the site, the cage and the position in the cage. Then, each mussel weighted the day before the exposure ($t = -1$) can be easily identified.

Annex D- Laboratory Methods

D1-1 METHODOLOGIES FOR PHYSIOCHEMICAL CHARACTERIZATION

- ASTM. 2002. Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils, Sediments and Sludge. D422-63. West Conshohocken, PA.
- American Public Health Association (APHA). Standard Method of the Examination of Water and Wastewater (21st Edition). 2005. Eaton A.D., L.S. Clesceri, and A.E. Greenberg, Water Environment Federation, Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency . 1986. Semivolatile Organic Compounds (SVOCs). SW846 Method 8270. U.S EPA, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Polychlorinated Biphenyls from Aqueous Matrices. Method 8082. U.S EPA, Washington, DC.
- U.S Environmental Protection Agency. 2001. Nitroaromatics and Nitramines by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Method 8330. U.S EPA, Washington, DC.
- U.S Environmental Protection Agency. 2000. Solid Phase Extraction (SPE) including Explosives. Method 3535A. U.S EPA, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1998. Solid-phase extraction (SPE). Method 3535A SW-846. Office of Solid Waste, Washington, DC. <http://www.epa.gov/sw-846/pdfs/3535a/pdf>
- Monteil-Rivera F, Beaulieu C, Hawari J. 2005. Use of Solid Phase Microextraction / Gas Chromatography-Electron Capture Detection for the determination of energetic chemicals in marine samples, Journal of Chromatography A. Vol. 1066: 177-187.
- Monteil-Rivera F., Hawari J., Halasz A., Beaulieu C., Deschamps S., and Paquet L. 2006. Fate of Energetic Chemicals in Water and Sediment Samples From METC-Lac St. Pierre Range. November 2006. Biotechnology Research Institute, National Research Council of Canada, Montreal, Quebec.
- Conder MJ and Jason M. 2004. Bioavailability and toxicity of 2,4,6-trinitrotoluene in sediment. Doctor of Philosophy (Environmental Science).
- Coleman N.V., D.R. Nelson, and T.Duxbury. Aerobic degradation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) as nitrogen source by a *Phodococcus* sp., strain DN22, *Soil Biol. Biochem.* 1998, 30:1159-1167.
- Fournier D, Halasz A, Spain JC, Fiurasek P, and Hawari J. 2002. Determination of key metabolites during biodegradation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine with *Rhodococcus* sp. strain DN22. Applied Environmental Microbiology. Vol. 68: 166-172.
- Novak, L. 2007a. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC-Lac St.Pierre Range at Nicolet, Quebec. 2006 Winter Sampling Program. Stantec Consulting Ltd. 38 p. Stantec Consulting Ltd., Guelph, Ontario.
- Novak L. 2007b. Toxicity testing and chemical analysis of artificial sediment samples. Stantec Consulting Ltd., Guelph, Ontario.
- Novak, L. 2007c. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC-Lac St.Pierre range at Nicolet, Quebec. 2006 September Sampling Program. Stantec Consulting Ltd. 21 p. Stantec Consulting Ltd., Guelph, Ontario.
- Novak L . 2006. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC Lac St. Pierre Range at Nicolet, Quebec, 2006 Fall Sampling Program. Stantec Consulting Ltd., Guelph, Ontario.
- Novak L. 2005. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC Lac St. Pierre Range at Nicolet, Quebec, 2005 September Sampling Program. Stantec Consulting Ltd., Guelph, Ontario.

- U.S Environmental Protection Agency. 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Method 3050B. U.S EPA, Washington, DC.
- U.S Environmental Protection Agency. 2007. Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Method 6010B. U.S EPA, Washington, DC.
- Robidoux PY, Fournier C, Bergeron P, Triffault-Bouchet G, Bérubé V, Tardif M and Sunahara GI. 2006. Ecotoxicological Assessment of Sediments from the METC Site at Nicolet: surface and core sediment evaluation – Fall 2005 and Winter 2006 sampling program. Report # NRC 49003. Biotechnology Research Institute, National Research Council of Canada, Montréal, Québec.

D-2 METHODOLOGIES FOR ECOTOXICOLOGICAL CHARACTERIZATION

- Environment Canada. 2000. Guidance Document on Collection and Preparation of Sediments for Physicochemical Characterization and Biological Testing. Method 1/RM/29 2000. Environmental Protection, Conservation, and Protection, Ottawa, Ontario, Canada.
- Daniels, SA, Munawar, M, and Mayfield, CI. 1989. An improved elutriation technique for the bioassessment of sediment contaminants. *Hydrobiologia* 188/189: 619-631.
- Novelli A.A, Losso C., Libralato G., Tagliapietra D., Pantani C., and Volpi Chirardini A. 2006. Is the 1:4 elutriation ratio reliable? Ecotoxicological comparison for four different sediment: water proportions. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 65: 306-313.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1991. Evaluation of Dredged Material Proposed for Ocean Disposal. Method 503/8-91-001. Washington, DC.
- ASTM. 2002. Standard guide for collection, storage, characterisation, and manipulation of sediments for toxicological testing. E 1391-02. West Conshohocken, PA
- U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual. Method 823/B/01/002. U.S. EPA, Washington, DC.
- Environment Canada. 1994. Guidance document on collection and preparation of sediments for physicochemical characterization and biological testing. Environmental protection series, EPS 1/RM/29. Ottawa, ON.
- St. Lawrence Centre and Ministère de l'Environnement du Québec. 1992. Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment. Environment Canada, Conservation and Protection – Quebec Region
- Bridges T. S., and Moore D.W. 1999. Ecological and Human Health Risk Assessment Guidance for Aquatic Environments. Dredging Operation and Environmental Research Program. U.S. Army Corps of Engineers. Washington DC, United States of America.
- Environmental Canada. 2000. Biological Test Method: Control of Toxicity Test Precision Using Reference Toxicants. Method 1/RM/12. Environmental Protection, Conservation And Protection, Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Guidance Document on Application and Interpretation of Single Species Tests in Environmental Toxicology. Method 1/RM/34. Environmental Protection, Conservation, and Protection, Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Reference Method for Determining Acute Lethality of Effluents to Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. Method 1/RM/13. Second Edition. Environmental Protection, Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Laval Growth and Survival Using Fathead minnows, *Pimephales promelas*. Method 1/RM/22. Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.

- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Reproduction and Survival Using Cladoceran *Ceriodaphnia dubia*. Method 1/RM/21. Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Growth Inhibition Test Using Freshwater Alga, *Selenastrum capricornutum*. Method 1/RM/25. Environmental Protection, Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Toxicity Test Using Luminescent Bacteria, *Vibrio fischeri*. Method 1/RM/24. Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2002. Biological Test Method: Reference Method for Determining the Toxicity of Sediment using Luminescent Bacteria in a Solid-Phase Test. Environmental Protection Series, EPS 1/RM/42. Ottawa, ON
- Environment Canada. 1999. Biological Test Method: Test for Measuring the Inhibition of Growth Using the Freshwater Macrophyte *Lemna minor*. Method 1/RM/37. Environmental Protection, Conservation and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Test for Survival and Growth in Sediment Using the Larvae of Freshwater Midges (*Chironomus tentans* or *Chironomus riparius*). Method 1/RM/32. Second Edition. Environmental Protection, Conservation, and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- Environment Canada. 2000. Biological Test Method: Test for Survival and Growth in Sediment using Freshwater Amphipod *Hyalella azteca*. Method 1/RM/33. Environmental Protection, Conservation, and Protection. Ottawa, Ontario, Canada.
- American Society for Testing and Material (ASTM). 2000. Standard guide for determination of the bioaccumulation of sediment-associated contaminants by benthic invertebrates. E 1688-00a. West Conshohocken, PA.
- Lotufo GR, Farrar D, Inouye LS, Bridges TS, Ringelberg DB. 2001. Toxicity of sediment-associated nitroaromatic and cyclonitramine compounds to benthic invertebrates. *Environmental Toxicology and Chemistry*. Aug; vol. 20(8): 1762-1771. (BRI Ref)
- Robidoux PY, Bérubé V, Fournier C, Bergeron P, Kalomiris K, Rocheleau S, Dodard S and Sunahara GI. 2008. Ecotoxicological Assessment of Sediments from the METC Site at Nicolet: surface sediment evaluation – Fall 2006 sampling program. Report # NRC 49036. May 21st 2007, revised March 31st 2008, revised May 8th 2008. Biotechnology Research Institute, National Research Council of Canada, Montréal, Québec.
- Environment Canada. 1997. Test de genotoxite avec E.coli (SOS chromotest). Environment Canada, Centre Saint-laurent, Ecotoxicologie et chimie environnementale. 67 p.
- Quillardet P, Hofnung M. 1985. The SOS-Chromotest, a colorimetric bacterial assay for genotoxins: procedures. *Mutation Res*. 147: 79-95.
- Environmental Bio Detection Products Inc. (EBDPI). 1992. *The SOS Chromotest kit*, version 6.0, instructions for use.
- Asthana RK, Singh SP, Singh RK. 1992. Nickel effects on phosphate uptake, alkaline phosphatase, and ATPase of a cyanobacterium. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. 48: 45-54.
- White PA, Rasmussen JB, Blaise C. 1996. A semi-automated, microplate version of the SOS Chromotest for the analysis of complex environmental extracts. *Mutat Res*. 17: 51-74.
- Environment Canada. 1997. *Test de mutagénicité avec S. typhimurium (test de fluctuation)*. Environnement Canada, Centre Saint-Laurent, Écotoxicologie et chimie environnementale. 65 p.
- Chen G, White PA. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments : a review. *Mutation Research*. 567: 151 – 225.

- Hubbard S.A, Green M.H.L, Gatehouse D., and Bridges J.W. 1984. The fluctuation test in bacteria. Handbook of Mutagenicity Test Procedures. Kilbey B.J., Legator M., Nichols W., Ramel C. (Eds.), 2nd Edition. Elsevier Science Publishers. P141-p160.
- U.S Environmental Protection Agency. 2000. *Methods for Measuring the Toxicity and Bioaccumulation of Sediment-associated Contaminants with Freshwater Invertebrates*. EPA 600/R-99/064. Office of Research and Development, Mid-Continent Ecology Division, U.S. Environmental Protection Agency, Duluth, MN.
- American Society for Testing and Material (ASTM). 2000. Standard guide for determination of the bioaccumulation of sediment-associated contaminants by benthic invertebrates. E 1688-00a. West Conshohocken, PA.
- Dabrio M. Rodriguez A.R., Nordberg M., Bebianno M.J., Bordin G., De Ley M., Sestakova I., and Vasak M. 2002. Recent developments in quantification methods for methallothionein. J. Inorg. Bioche. 88 : 343-355.
- Roseijadi G. 1991. Methallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. Aquat. Toxicol. 22: 81-114.
- Vašák M. Hasler D.W. 2000. Methallothioneins: new functional and structural insights. Cur. Op. Chem. Biol. 4:177-183.
- Hidalgo J., Aschner M., Zatta P., and Vašák M. 2001. Roles of the methallothionein family of proteins in the central nervous system. Brain Res. Bull. 55: 133-145.
- Viarengo A., Burlando B., Cerrato N., and Panfoli I. 2000. Antioxidant roles of methallothionein: A comparative overview. Cell. Mol. Biol. 46: 407-417.
- National Research Council. 1987. Committee on biological markers. Environ. Health Perspect. 74: 3-9.
- Ndayibagira A., Robidoux P.Y., Sunahara G.I. 2007. Rapid isocratic HPLC quantification of methallothionein-like proteins as biomarkers for cadmium exposure in the earthworm *Eisenia andrei*. Soil Biology & Biochemistry 39: 194-201. (BRI ref)
- Robidoux PY, Bérubé V, Bergeron P, Kalomiris and Sunahara GI. 2006. Ecotoxicological Assessment of Sediments from the METC Site at Nicolet: In-Situ Field Bioassays with Caged Mussels – Fall 2007. Report # NRC 499932. Biotechnology Research Institute, National Research Council of Canada, Montréal, Québec.

D3 - QUALITY ASSURANCE AND DATA ANALYSIS OF ECOTOXICITY TESTS

426. Quality Assurance (QA) and Quality Control (QC) practices for toxicity tests included aspects of the test that would affect the accuracy and precision of the data, including sample handling, laboratory conditions, test organisms, reference toxicants, and record keeping and data evaluation.
427. A reference toxicant was used to establish the validity of toxicity data generated during testing. Using reference toxicant materials, a control chart of successive endpoints (eg. LC₅₀, or IC₅₀) was prepared for the reference toxicant/organism combination to ensure results were within the expected limits. A running plot (cumulative-summation chart) was maintained for each endpoint for successive tests with a given reference toxicant. If the endpoint of a reference toxicant did not fall in the expected range for a particular species, a different batch of test organisms was employed to repeat the reference toxicant and chemical toxicity tests. (ref. 29)

428. Data analysis and validation were performed by Stantec under the supervision of the project manager and laboratory supervisor. The laboratory supervisor and project manager were responsible for assessing data quality and advising of any data rated as invalid, unacceptable or unreliable. Detailed records of the chemicals, test organisms, culture maintenance, test conditions, equipment and test results were maintained by the laboratory supervisor. All tests involved an assessment of the full strength (100%) sediment, water, porewater or elutriate sample.

429. For each sample, lethality data was presented as % mortality, while sub-lethality results were presented as % inhibition (or stimulation) relative to the control. With the exception of the acute Microtox tests, statistical analysis involved the use of Student's t-test for comparison of the lab control and sample (ref. 20). The acute Microtox program does not allow for statistical comparisons between the control and sample, and results were presented only as % inhibition (or stimulation) relative to the control.

D-4 PECHE SCIENTIFIQUE AU LAC ST-PIERRE

Mise en contexte

430. La compagnie Écotox inc. a été mandatée par l'Institut de Recherche en Biotechnologie (IRB) pour effectuer une pêche scientifique dans l'objectif de déterminer si la présence d'UXO dans le lac St-Pierre a des effets nocifs sur le milieu aquatique et prédire quels effets auront les activités futures d'élimination de ces UXO. Pour ce faire, une pêche a été effectuée du 16 au 20 octobre 2006.

431. Deux espèces sentinelles ont été sélectionnées en fonction de leur présence commune dans les deux zones d'échantillonnage, soit la zone référence (Notre-Dame-de-Pierreville) et la zone exposée (Baie-du-Febvre). Ce présent rapport décrit la méthodologie suivie lors de la l'échantillonnage, de la prise de mesure et de la récolte des échantillons sur le terrain. Les données brutes recueillies sont aussi présentées dans la section des résultats.

Méthodologie

Pêche scientifique (sur le terrain)

432. Une chaloupe de 16 pieds munie d'un moteur de 30 forces a été utilisée pour la pêche scientifique. Les appareils de pêche utilisés pour cette campagne étaient 3 filets maillants possédant des caractéristiques identiques, soit une hauteur de 2 mètres et 5 sections de 7,5 mètres avec des mailles étirées de 2,5, 3,75, 5,7,7, et 10 cm chacune. Les filets étaient mouillés pour des périodes allant de 2 à 24 heures. La température relativement fraîche pour cette période de l'année permettait aux poissons de demeurer en vie dans les filets sans souffrir d'hypoxie et ainsi de permettre à l'équipe de terrain de récolter des tissus biologiques de qualité scientifique. Tous les poissons disséqués étaient vivants lors de la récolte.

433. La zone exposée a d'abord été pêchée. Les deux seules espèces présentes en assez grand nombre pour obtenir des résultats intéressants étaient le grandbrochet et la perchaude. La pêche a donc été orientée pour récolter un maximum de spécimens de ces deux espèces dans chacune des zones (exposée et référence).
434. À la pose des filets, la date, l'heure et les coordonnées GPS étaient enregistrées afin de pouvoir estimer l'effort et le succès de pêche. Un plongeur artificier accompagnait l'équipe de terrain en tout temps, peu importe la zone échantillonnée.
435. À la levée des filets, l'heure était notée et chacun des poissons récoltés était identifié, puis dénombré. Les poissons autres que les espèces sentinelles étaient réanimés dans certains cas et relâchés immédiatement dans l'eau. Pour les grands brochets et les perchaudes, ils étaient placés dans un contenant en plastique dans lequel était préparée une solution létale à base de MS-222.
436. Après quelques minutes dans le contenant, une prise de sang était pratiquée dans la veine caudale des poissons. Les seringues utilisées contenaient de l'héparine comme anticoagulant. Le sang ainsi récolté était conservé sur glace, comme la carcasse des poissons, jusqu'au retour au campement.

Traitement du sang

437. À l'arrivée au campement, le sang était centrifugé à une vitesse de 400g pendant une période de 5 minutes à l'aide d'une mini centrifugeuse. Le plasma était ensuite divisé en trois parties à peu près égales dans des tubes de polypropylène permettant 3 analyses distinctes en ne décongelant l'échantillon qu'une seule fois. Les tubes de plasma étaient par la suite conservés à une température de -70°C dans la glace sèche (CO₂), puis envoyés à l'IRB par transport pour analyses ultérieures.

Dissections

438. Avant la dissection des poissons, le poids corporel (+/- 0,01g) et la longueur totale (+/- 1mm) étaient mesurés. Des structures d'âges étaient par la suite récoltées : des écailles, un rayon épineux et les opercules pour la perchaude, puis des écailles et le cleithrum pour le grand brochet.
439. Par la suite, les trois premiers arcs branchiaux du côté gauche étaient récoltés dans trois tubes séparément. Une ouverture sur la face ventrale des poissons à partir du cloaque jusqu'aux nageoires pectorales permettait ensuite de sexer le poisson. Les gonades étaient pesées, puis une certaine quantité d'oeufs étaient conservés dans l'éthanol pour dénombrement ultérieur (fécondité). Le foie était pesé et une certaine quantité conservée dans trois tubes pour analyses futures. Les reins étaient aussi récoltés et distribués dans trois tubes en polypropylène. Les branchies, les morceaux de foie et les reins étaient aussitôt conservés dans la glace sèche après dissection.

440. La dernière pièce anatomique disséquée était un morceau du muscle dorsal(chair). Environ 50g de tissu sans la peau était conservé dans des sacs Ziploc etconservé à -20°C. Lorsque les poissons étaient trop petits, ils étaient congelésen entier.

Annex E: Quality Assurance Program

REFERENCES:

1. Manual of Aquatic Sediment Sampling; Murdoch, Alena (ISBN 1566700299), (CRC Press)
2. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st ED. (APHA).

INTRODUCTION

441. To ensure that the results obtained in this study are reliable and meet defined standards, QETE developed a quality assurance (QA) plan for the sampling (collection, processing, preservation and shipping components) and analyses (laboratory component) of METC-LSP sediment and water samples. This plan included specific quality control (QC) procedures such as adherence to written protocols; up-to-date and suitable/qualified/certified training of personnel; the use of reliable, well maintained and properly calibrated equipment; the regular use of QC samples (blanks, reference samples, spikes and replicates); and thorough record keeping.

QUALITY CONTROL PROCEDURES

Documentation and Records

442. Standard methods for water and sediment sampling and analyses (ref. 1 and 2) were utilized in this study. When necessary as in the case of safety requirements, methods were modified and/or new methods were developed to accommodate site-specific or parameter-specific requirements. Plans for site-specific requirements were established and formally documented. Field notebooks and PDA's were utilized to document all field operations, including data gathered, problems encountered, environmental conditions etc.

Training

443. All personnel involved in the environmental sampling process were required to have necessary training and certification. EOD personal had a minimum of HA level training to operate in UXO sites. The scientific team had either the appropriate degree or diploma to accomplish their respective tasks. The drilling team members were licensed under The Quebec Ministry of the Environment. Divers employed in the project had current certification with by The Divers Certification Board of Canada. Boat drivers had the required minimum certification from the Coast Guard.

Equipment calibration

444. All field equipment (pH, dissolved oxygen and conductivity) meters were calibrated as per the manufacturers instructions. Calibration was conducted at the commencement of each day and any time an anomalous reading was observed.

Chain of Custody

445. A chain of custody was maintained for all samples taken at LSP, the procedure was as follows;

1. Flow diagrams (Fig. 2) were developed for each sampling event to identify roles and responsibilities in the collection and management of METC samples.
2. All samples were taken under supervision of the QETE Scientific team or in cases where safety concerns prohibited their presence, the DCC site representative under the teams' instruction.
3. Each sample was identified with nomenclature unique to the sampling event, type of sample and site location. All samples were labelled at the time they were taken. Sub samples were labelled at the time they were processed.
4. Samples were under the direct control of QETE personnel or designates at all times in the field.
5. Samples were stored at the METC site (a fenced DND installation) in a locked building under 24-h guard.
6. Chain of Custody forms (Fig. 1) supplied by the laboratory contractor were utilized for the identification of METC samples, dates and times collected, and subsequent analyses required. (Fig. 2). These forms were filled out at the end of each day, verified at the time of sample shipment and included with the shipment. Photocopies were made of all C of C forms and retained by QETE personnel.
7. Custody was maintained throughout shipping to the contract laboratory.
8. Upon arrival in the laboratory the chain-of-custody information was verified with QETE personnel,
9. The laboratory assigned unique identification numbers to each sample.

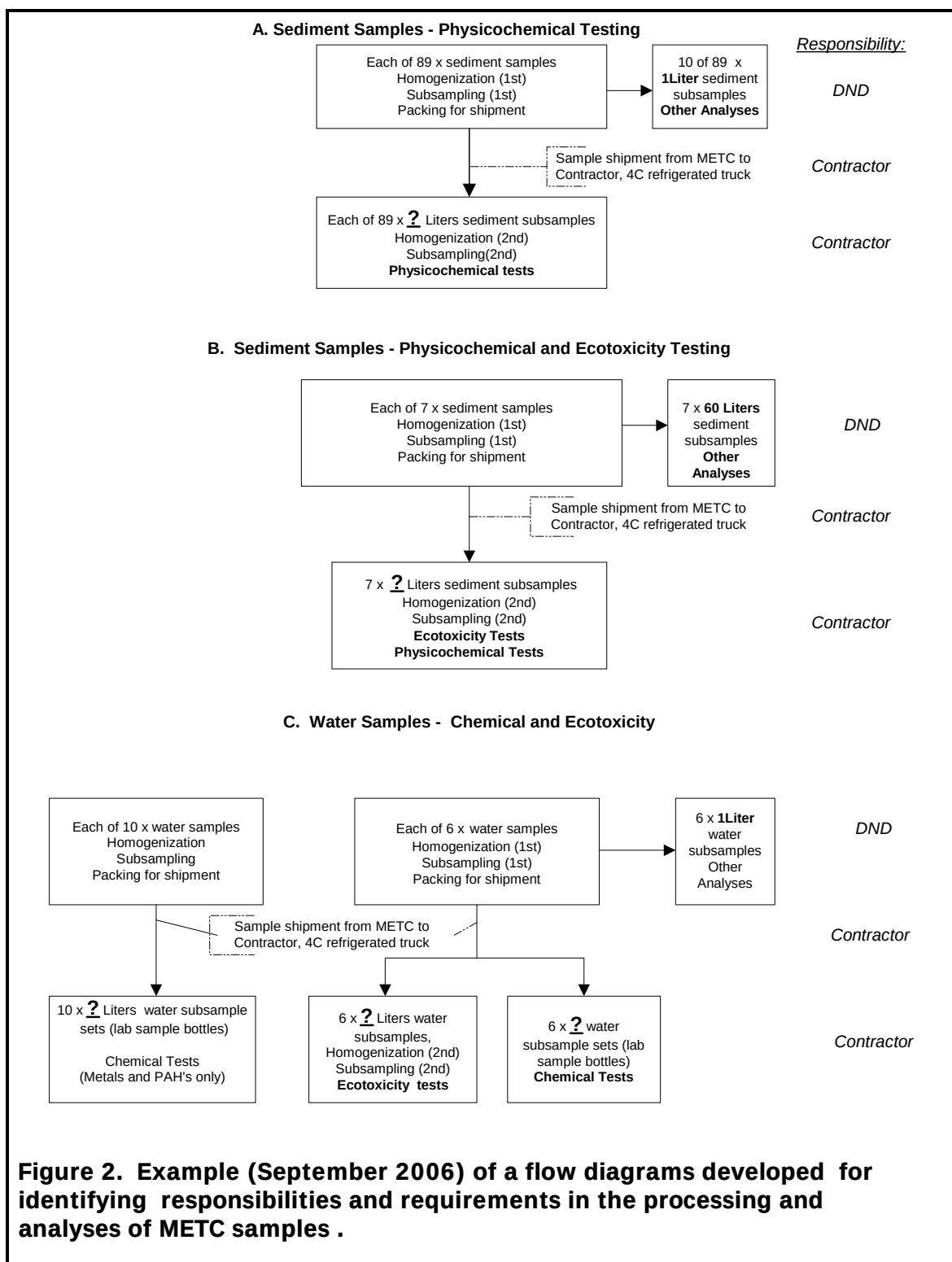


Figure 119 Responsibilities and requirements, processing and analysis METC samples

Quality Control (QC) Samples

Equipment Blanks

1. Equipment blank water samples were taken during the various sampling events and methods to assess the degree of cross-contamination among samples and overall carefulness in carrying out the field procedures.
2. To identify any cross-contamination during sediment coring, water rinses were collected before and after every equipment cleaning. The sampling and mixing equipment was first cleaned (see Annex C7 for particulars) and cleaned between each sample location thereafter. Distilled water was used as a final rinse and was retained for analysis as equipment blank.
3. Water blanks were also taken after the cleaning of the mixer utilized for homogenization of large sediment samples. This was conducted to identify any cross-contamination from the mixing paddle and or/bowl.
4. Blank samples of the distilled and deionized water utilized for the cleaning of equipment were also submitted for analyses to identify background levels of minerals etc.

Duplicate/Replicate Samples

1. Split samples were used to assess site variability and the reproducibility of surficial grabs. Two sets were taken in 2004, four sets in 2005 and one set in 2006. The differing amounts reflect the relative numbers of samples taken in each year. In addition, in 2005, two sets of split samples were taken and stored in stainless steel and plastic (HDPE) containers to ascertain if energetic materials absorbed onto plastic and render them unavailable for analysis.
2. To address the issue of reproducibility in core samples, one split sample from the first (shallowest) 0.5-meter horizon was submitted to the analytical laboratory analysis for each of the 2005 and 2006 events.

Spiked Samples

1. To assure the quality of EM analyses by BRI-NRC, select sediment samples from LSP were spiked by QETE with standard solutions of HMX and RDX. These samples were sent to BRI to be analyzed for energetic materials along with the other samples taken during the September 2006 Sampling campaign.
2. The selected sediment sample was divided and one sub-sample was prepared as a Low Level spike at two times the detection limit, the second sub-sample was prepared as the High Level spike at ten times the detection limit.

3. The EM standards were obtained by Restek and stored at -18°C. Details of the EM standards are in Table 1.

Table 44: EM Standards Utilized by QETE for Sediment Spiking

Restek #	Compound Name	Solvent	Concentration (µg/mL)
RK31665	HMX	Acetonitrile	1000
RK31665	RDX	Acetonitrile	1000

Spiked Sample Preparation

1. Sediment samples, each weighing approximately 250g, were collected and weighed in two separate amber glass sample jars. One sample was for the High Level (0.25 µg/g or 250 ppb) spiking, the other for the Low Level (0.05 µg/g (50 ppb) spiking.
2. For the Low Level spiking 12.5 µl of each standard solution (HMX and RDX) was added to the sediment sample using ___pipettes.
3. For the High Level spiking, 62.5 µl of each standard was added to the sediment sample using pipettes.
4. The samples were homogenized by agitating for 5 minutes.
5. The spiked samples were labelled and immediately stored in the freezer.
6. The frozen samples were shipped to BRI in a refrigerated truck for analysis along with the other samples collected during the campaign

Spiked Sample Concentrations

446.Low Level Spiked Sample - To obtain 50ppb (w/w) of each standard in the sediment sample 25µg of each standard would need to be added to 500g of sample.

- a. Actual sample weight: 255.97g
- b. Volume of STD HMX added: 12.5µL
- c. Volume of STD RDX added: 12.5µL

The total ppb of each standard added to this sample was **231.4901 mg/L.**

447. High Level Spiked Sample - To obtain 250ppb (w/w) of each standard in the sediment sample 125µg of each standard would need to be added to 500g of sample.

Actual sample weight: 269.99g

Volume of STD HMX added: 62.5µL

Volume of STD RDX added: 62.5µL

The total ppb of each standard added to this sample was **48.83385 mg/L.**

Annex F: Data

For physicochemistry raw data please see attached CD file Physicochemistry Raw Data.xls

F1 - FIELD DATA

Table 45: Field Observations for Fall 2004 Sampling Event

Site /Sample #	Sampling Date	Sampling Time	Weather	Water Depth (ft)	Vegetation	# Grabs
ET 1	19-Oct-04	10:05	Sunny, calm (slight breeze) Air temp 2.5°C	3	Wetlands area, tall grasses	50
ET 2	19-Oct-04	12:45	Sunny, slight wind	3.5		44
ET 3	21-Oct-04	13:30	Partly cloudy, windy	3	Tall grasses	80
ET 4	19-Oct-04	11:15	Sunny, clear, slight breeze, air temp 5.20C	5		18
ET 5	19-Oct-04	14:40	Sunny, slight breeze, air temp 8.0C	3		15
ET 6	18-Oct-04	11:00	Overcast, 7.30C	6		20
ET 7	19-Oct-04	15:00	Sunny, slight breeze			20
ET 8	19-Oct-04	11:45	Sunny, calm 50C	4		26
ET 9 (QA)	19-Oct-04	10:05	Sunny, calm, air temp 2.5°C	3	Wetlands area, tall grasses	50
ETR 1	18-Oct-04	13:30-14:10	Overcast, 8.1 0C	3	Wetlands area, thick vegetation	36
ETR 2	19-Oct-04	16:00	Sunny, clear skies, slight breeze	1.5		30
In 1	18-Oct-04	11:30	Overcast 7.3C	5		4
In 2	18-Oct-04	11:50-12:10	Overcast 7.3C	10		4
In 3	18-Oct-04	12:40	Overcast, very windy, ~8 0C	10		3
In 4	19-Oct-04	9:30	sunny, calm, 2.30C	7		4
In 5	19-Oct-04	14:00	sunny. Clear skies, slight breeze	2.5		6
In 6	21-Oct-04	9:30	Overcast, windy	6 "	thick wetlands	4
In 7	21-Oct-04	10:30	Overcast, windy	1	thick wetlands	5
In 8	18-Oct-04	8:20	overcast, windy, 3.20C			4
In 9 (QA)	19-Oct-04	14:00	Sunny, clear skies, slight breeze	2.5		6
R1	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R2	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R3	20-Oct-04	14:00	Partly sunny, very windy	5		
R4	20-Oct-04	12:05	Partly sunny, very windy			
R5	20-Oct-04	12:35	Partly sunny, very windy	3		
R6	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R7	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R8	20-Oct-04	14:30	Partly sunny, very windy	5		
R9	20-Oct-04	1:30	Partly sunny, very windy	4		
R10	20-Oct-04	11:05	Partly sunny, very windy	4		
R11	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R12	Did not complete b/c of weather and lake conditions					
R13	20-Oct-04	9:45	Partly sunny, very windy	4		
R14	20-Oct-04	10:20	Partly sunny, very windy	5		
R15	20-Oct-04	10:35	Partly sunny, very windy	5		
W1.04	03-Nov-04		Light rain, air temp 5°C			
W2.04	03-Nov-04		Light rain, air temp 5°C			

Table 46: Field Water Measurements for Fall 2005 Sampling Event

Site/Sample	DATE	Easting	Northing	pH	DO	Conductivity	Temperature
S1	26-Oct-2005	679549	5122141	7.9	11.2	196	7.7
S2	27-Oct-2005	679723	5121071				
S3	21-Oct-2005	680514	5120547				
S4	21-Oct-2005	680165	5119139	7.8	9.85	531	7.7
S5	21-Oct-2005	679374	5120268	7.8	10.5	194	7.8
S6	21-Oct-2005	679199	5120989	7.4	1.86	651	8.0
S7	26-Oct-2005	678943	5122083				
S8	27-Oct-2005	678676	5123212	8.0	11.9	134	6
S9	27-Oct-2005	677931	5123130	8	11.9	134	6.2
S10	28-Oct-2005	678234	5121978	7.8	12	136	9.2
S11	27-Oct-2005	678501	5120896	8.03	11.3	186	9.2
S12	20-Oct-2005	678722	5120105	8.1	10.2	178	9.2
S13	21-Oct-2005	679130	5118546	7.2	9.19	412	8.1
S14	21-Oct-2005	678094	5118767	7.8	10.5	174	7.8
S15	21-Oct-2005	677826	5119802	7.7	10.9	114	8
S16	27-Oct-2005	677571	5120757	7.7	10.7	97	8.68
S17	27-Oct-2005	677268	5121874	7.6	3.3	1204	8.4
S18	27-Oct-2005	676965	5123037	8.2	11.6	256	7.4
S19	28-Oct-2005	676000	5122688	7.83	11.5	244	6.9
S20	27-Oct-2005	676349	5121397	7.8	10.5	171	7.8
S21	27-Oct-2005	676651	5120256	7.98	11.6	131	6.4
S22	21-Oct-2005	676977	5119104	7.6	10.9	105	8.3
S23	21-Oct-2005	677280	5117987	7.8	10.5	171	7.8
S24	21-Oct-2005	676523	5117138	8.2	11.6	327	7.8
S25	27-Oct-2005	675814	5119581	8.0	11.812.8	130	6.6
S26	28-Oct-2005	675465	5120745	8.05	11.4	156	7.0
S27	28-Oct-2005	673894	5121187	7.83	11.5	283	7.1
S28	27-Oct-2005	674324	5119896	8.07	11.3	160	7.1
S29	27-Oct-2005	674720	5118720	8.0	11.6	129	6.8
S30	31-Oct-2005	675069	5117685				
S31	21-Oct-2005	675627	5116044	8.2	11.5	449	80
S32	21-Oct-2005	674266	5115183	8.1	10.2	420	7.9
S33	31-Oct-2005	673964	5117278				
S34	31-Oct-2005	673719	5117906				
S35	27-Oct-2005	673300	5119081	8.1	12.1	183	7.1
S36	28-Oct-2005	672835	5120419	7.8	11.2	300	7.4
S37	28-Oct-2005	672067	5119884	7.9	11.2	301	7.6
S38	31-Oct-2005	672567	5118546				
S39	31-Oct-2005	673021	5117371				
S40	21-Oct-2005	673231	5116777	7.94	10.8	145	8.6
							9.1
S41	21-Oct-2005	673184	5114404	7.7	6.76	857	
S42	21-Oct-2005	672975	5114939	8.2	10.2	498	9.2
S43	21-Oct-2005	672474	5116219	7.7	10.7	97	8.68

UNCLASSIFIED

Site/Sample	DATE	Easting	Northing	pH	DO	Conductivity	Temperature
S44	31-Oct-2005	672276	5116766				
S45	31-Oct-2005	670194	5118557	8.05	11	299	8.2
S47	31-Oct-2005	671090	5116230				
S48	25-Oct-2005	671485	5115172				
S49	25-Oct-2005	672009	5113787				
S50	25-Oct-2005	670077	5113019				
S51	31-Oct-2005	669519	5114427				
S52	2-Nov-2005	669112	5115462				
S54	28-Oct-2005	668181	5117755	8.06	10.7	299	8.6
S55	25-Oct-2005	668402	5112635				
S56	31-Oct-2005	667855	5113775				
S57	2-Nov-2005	667378	5114788				
S59	28-Oct-2005	666307	5117010	8.08	10.8	302	8.9
WS60	1-Nov-2005	665970	5113054	8.0	11.5	240	7.8
S61	2-Nov-2005	665446	5114008				
S63	28-Oct-2005	664236	5116184	8.08	10.9	303	9
S64	2-Nov-2005	664644	5112461				
S67	2-Nov-2005	662433	5115474	8.02	10.9	306	9.2
S68	2-Nov-2005	662689	5110808				
WS69	1-Nov-2005	662014	5111658	7.8	12.3	142	7.9
S 70	28-Oct-2005	675092	5122048	7.86	11.7	234	6.8
SET-1	26-Oct-2005	679444	5123293				
SET-2	26-Oct-2005	680015	5120344				
SET-3	16-Feb-2006	679499	5120715	7.52	1.6	515	0.3
SET-4	26-Oct-2005	679143	5121608				
SET-5	21-Feb-2006	676395	5118569	7.92	3.1	354	1.1
SET-6	21-Oct-2005	673103	5114660	7.4	5.2	0	7.8
SET-7	26-Oct-2005	671799	5117976				
SET-8	26-Oct-2005	672138	5116284				
SET-9	26-Oct-2005	661176	5112670				
SET-10	26-Oct-2005	660385	5113624	8.16	11.13	294	9.3

Table 47: Field Water Measurements for Fall 2006 Sampling Event

Site	Date	Easting	Northing	Ph	Do	Conductivity	Temperature
L1	29-Sep-2006	659422	5110490	8.13	9.64	293	16
L2	29-Sep-2006	659994	5109807	8.1	9.52	319	16
L3	29-Sep-2006	660391	5110601	8.01	9.64	291	15.1
L4	29-Sep-2006	660391	5111236	7.8	9.33	290	15.4
L5	29-Sep-2006	663359	5111173	7.85	9.85	299	14.4
L6	29-Sep-2006	664201	5111220	8.92	8.92	290	
L7	28-Sep-2006	633978	5111887	8.55	10.30	303	14.5
L8	28-Sep-2006	663709	5113443	6.7	9.94	303	16.1
L9	28-Sep-2006	662899	5114522	8.3	10.20	300	16.4
P6	2-Oct-2006	663506	5109494	8.19	8.97	276	14
P5	2-Oct-2006	663879	5109953	8.08	8.59	285	14.1
P4	2-Oct-2006	663941	5110379	8	9.78	285	14
LHS01	10-Oct-2006	673004	5116018	7.74	10.8	295	11.6
LHS02	10-Oct-2006	673371	5115812	7.27	9.06	349	11.9
LHS03	10-Oct-2006	672686	5115953	7.62	10.95	296	11.9
LHS04	10-Oct-2006	673126	5115701	7.76	10.64	296	11.7
LT01	11-Oct-2006	680050	5120559	7.73	10.6	307	11
LT02	12-Oct-2006	679177	5121823	7.5	10.8	271	10.8
LT03	10-Oct-2006	676430	5118784	7.83	11	182.5	11.9
LT04	12-Oct-2006	660803	5111368	8.15	10.83	297	14
W1.06	12-10-2006	679380	5122920	7.73	10.60	307	11
W2.06	11-10-2006	680900	5124960	8.1	10.7	283	11.70
T3	12-10-2006	661398	5111869	7.92	9.76	279	12.7
T4	12-10-2006	660803	5113168	8.15	10.83	297	14
T5	12-10-2006	660253	5114596				
FC01	06-Oct-06	664201	5110791	7.55	8.63	286	13.7
FC02	03-Oct-06	663471	5111649	7.04	8.54	301	13.4
FC03	04-Oct-06	664455	5111649	7.8	9.09	290	14
FC04	11-Oct-06	665265	5111490	7.91	9.89	284	13.1
FC05	13-Oct-06	663359	5111173	8.01	9.1	317	11
FC06	06-Oct-06	664360	5114236	8.12	9.55	306	14.4
FC07	06-Oct-06	666694	5116030	7.92	9.55	306	14.3
FC08	04-Oct-06	667408	5117592				

F2 - Bore Hole Logs

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C06A1

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 01/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 13:30 fin 15:15	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____			m	Profondeur (m) Tubage Forage
			Profondeur	1,00	1,5	2,0
			Épaisseur	0,51		
			de glace			

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
0-1,00 sable fin à moyen et végétaux 1,00-1,05 argile grise molle 1,05-2,00 argile grise de Champlain	0.00		C1					5/50	C1 végétaux et sable brun
	0.25								
	0.50								
	0.75								
	1.00		C2 CR3					2/50 50/50	C2 végétaux CR3 sable fin à moyen
	1.25								
	1.50		C4					50/50	C4 1,00-1,05 argile grise molle 1,05-1,50 argile grise de Champlain
	1.75		C5					50/50	C5 1,5-2,0 argile grise de Champlain
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
4.50									
4.75									
5.00									

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C06A2-1**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 02/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Cliant : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 13:30 fin 14:20	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques				
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____			m	Profondeur (m)	
			Profondeur	1,52	0,5	Profondeur	1,00
			Épaisseur de glace	0,66			

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
0-0,45 sable fin	0.00		C1						C1 sable fin (0,75l)
0,45-1,00 argile de Champlain	0.25		CR2					5/50	CR2 sable fin et argile au bout de la cuillère
	0.50								
	0.75		C3					50/50	C3 argile de Champlain
	1.00								
	1.25								
	1.50								
	1.75								
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE

FORAGE No. : C06A2-
RÉALISÉ LE: 02/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 13:30 fin 14:20	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
☐ Forage carotté ☐ Intact ☒ Remanié ☐ Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m	Profondeur (m)	
			Profondeur	1,52	0	
			Épaisseur de glace	0,66		

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations	
		état	no. type	Pénétration std "N"					Récup.
				1	2	3	4		
0-0,45 sable fin	0.00	☒	CR1					10/50	CR1 sable fin brun sur argile Champlain CR2 sable fin brun sur argile Champlain CR3 sable fin brun sur argile Champlain
0,45-0,50 argile de Champlain	0.25		CR2					10/50	
	0.50		CR3					10/50	
	0.75								
	1.00								
	1.25								
	1.50								
	1.75								
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0616**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 23/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 10:30 fin 13:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m	Profondeur (m)	
					Tubage	Forage
			Profondeur	1,89	1,5	2,00
			Épaisseur de glace	0,61		

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations	
		état	no. type	Pénétration std "N"					Récup.
				1	2	3	4		
0-0,08 boue noire organique 0,08-2,00 argile de Champlain	0.00		C1					50/50	C1 0-0,08 boue noire organique
	0.25								0,08-0,50 argile de Champlain
	0.50		C2					50/50	C2 0,50-1,00 argile de Champlain
	0.75								
	1.00		C3					50/50	C3 1,00-1,50 argile de Champlain
	1.25								
	1.50								
	1.75		C4					50/50	C4 1,50-2,00 argile de Champlain
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
5.00									
									Note: photo avec flèche inversée

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C06A3

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 01/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques: Vent puis bourrasques, -10C		Heure : début 13:30 fin 15:15	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____			m	Profondeur (m) Tubage Forage
			Profondeur	1,50	1,0	1,5
			Épaisseur	0,56		
			de glace			

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations			
		état	no. type	Pénétration std "N"					Récup.		
				1	2	3	4				
0-0,20 sable fin 0,20-1,50 argile de Champlain	0.00		C1					0/50	C1	traces de sable 0,20-1,00 argile de Champlain	
	0.25		CR3					40/40	CR3		
	0.50										
	0.75		C2					0/50	C2		
	1.00		CR4					40/40	CR4		
	1.25										
	1.50		C5					50/50	C5		
	1.75										
	2.00										
	2.25										
	2.50										
	2.75										
	3.00										
	3.25										
	3.50										
	3.75										
	4.00										
	4.25										
	4.50										
	4.75										
5.00											

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C06A4-1**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 02/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 9:20 fin 10:35	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation		Conditions phréatiques			
	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m		Profondeur (m)	
				Tubage		Forage	
				Profondeur	1,93	0,5	1,00
				Épaisseur de glace	0,63		

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
0-0,20 sable fin	0.00		C1					30/50	C1 0-0,20 sable fin
0,20-1,00 argile de Champlain	0.25								
	0.50		C2					50/50	C2 0,50-1,0 argile de Champlain
	0.75								
	1.00								
	1.25								
	1.50								
	1.75								
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C06A4-2

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 02/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 10:35 fin 11:40	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	m Profondeur (m) Tubage Forage Profondeur 1,90 0 Épaisseur 0,63 de glace			

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
0-0,30 sable fin	0.00	X	C1					10/50	C1 sable fin brun traces d'argile au fond CR2 sable fin brun sur argile Champlain CR3 sable fin brun sur argile Champlain les CR1 et 2 ont été faits à la même profondeur que C1 C4 argile de Champlain
	0.25		CR2					5/50	
0,30-1,00 argile de Champlain	0.50		CR3					5/50	
	0.75	C4					50/50		
	1.00								
	1.25								
	1.50								
	1.75								
	2.00								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C06ET3**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 24/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762						
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:						
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin						
Adresse :		Tél. / fax :						
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24						
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW						
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à						
Conditions climatiques: Soleil, vent 5-10km/h, -3C		Heure : début 13:20 fin 15:20						
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques					
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	m Profondeur (m) Profondeur 1,42 1,5 2,00 Épaisseur 0,59 de glace					
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations		
		état	no. type	Pénétration std "N"				
				1	2	3	4	Récup.
0-0,03 boue (silt et argile)sableuse 0,03-2,00 argile de Champlain	0.00		C1					50/50
	0.25							
	0.50		C2					50/50
	0.75							
	1.00		C3					50/50
	1.25							
	1.50		C4					50/50
	1.75							
	2.00							
	2.25							
	2.50							
	2.75							
	3.00							
	3.25							
	3.50							
	3.75							
	4.00							
	4.25							
	4.50							
	4.75							
	5.00							

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0622-1**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 23/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762													
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:													
Cliant : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin													
Adresse :		Tél. / fax :													
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24													
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW													
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à													
Conditions climatiques: Nuageux, neige, -5C		Heure : début 14:00 fin 16:30													
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques												
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,45</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		m	Profondeur (m)		Tubage	Forage	Profondeur	1,45	1,5	Épaisseur de glace	0,60	
	m	Profondeur (m)													
	Tubage	Forage													
Profondeur	1,45	1,5													
Épaisseur de glace	0,60														
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations									
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.							
				1	2	3	4								
0-0,02 placage de sable 0,02-2,00 argile de Champlain	0.00		C1					50/50							
	0.25														
	0.50		C2					50/50							
	0.75														
	1.00		C3					50/50							
	1.25														
	1.50														
	1.75		C4					50/50							
	2.00														
	2.25														
	2.50														
	2.75														
	3.00														
	3.25														
	3.50														
	3.75														
	4.00														
	4.25														
	4.50														
	4.75														
	5.00														

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0622-2**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 23/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques: Nuageux, neige, -5C		Heure : début 14:00 fin 16:30	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
☐ Forage carotté ☐ Intact ☒ Remanié ☐ Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m	Profondeur (m)	
					Tubage	Forage
			Profondeur	1,45	0	0,50
			Épaisseur de glace	0,60		

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations	
		état	no. type	Pénétration std "N"					Récup.
				1	2	3	4		
0-0,10 boue brune 0,10-0,30 argile de Champlain 0,30 caillou de 8cm de diamètre	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00		C1					38/50	C1 0-0,10 boue brune 0,10-0,30 argile de Champlain 0,30 caillou de 8cm de diamètre

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0660-1**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 27/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762						
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:						
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin						
Adresse :		Tél. / fax :						
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24						
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW						
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à						
Conditions climatiques:		Heure : début 11:30 fin 15:00						
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques					
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	Profondeur Épaisseur de glace m Profondeur (m) Tubage Forage 2,85 1,5 0,46 2,0					
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations		
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.
				1	2	3	4	
0,00-0,20 boue (silt et argile) traces de sable brun à gris	0.00		C1					60/60
0,20-0,55 boue grise traces de sable	0.25							
0,55-0,60 boue plus dense et cohésive	0.50							
0,60-1,00 boue traces de sable	0.75							
1,00-1,50 boue grise traces de sable	1.00		C2					40/40
1,50-2,00 sable fin gris silteux	1.25							
	1.50							
	1.75							
	2.00		C3					50/50
	2.25							
	2.50							
	2.75							
	3.00		C4					10/50
	3.25							
	3.50							
	3.75							
	4.00							
	4.25							
	4.50							
	4.75							
	5.00							

Labo S.M. inc.

BNQ 2501 - 140

RÉALISÉ LE: 27/02/2006

UNCLASSIFIED

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0661-1**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 28/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à	
Conditions climatiques:		Heure : début 10:00 fin 14:30	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m	Profondeur (m) Tubage Forage	
			Profondeur	3,15	1,5	2,0
			Épaisseur	0,60		
			de glace			

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations		
		état	no. type	Pénétration std "N"					Récup.	
				1	2	3	4			
0,00-0,20 boue (silt et argile) traces de sable brun à gris 0,20-0,50 sable 0,50-1,00 boue grise (silt et arg.) assez compacte 1,00-1,35 argile grise compacte 1,35-1,50 argile grise de Champlain	0.00									
	0.25									
	0.50		C1					20/50	C1	0,00-0,20 boue (silt et argile) traces de sable brun à gris 0,20-0,50 perdu traces de sable
	0.75		C2					50/50	C2	0,50-1,00 boue grise (silt et arg.) assez compacte
	1.00									
	1.25		C3					50/50	C3	1,00-1,35 argile grise compacte 1,35-1,50 argile grise de Champlain
	1.50									
	1.75									
	2.00									
	2.25									
	2.50									
	2.75									
	3.00									
	3.25									
	3.50									
	3.75									
	4.00									
	4.25									
	4.50									
	4.75									
5.00										

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C0661-2

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 28/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre	Dossier no. : F062762
Site : CEEM Nicolet	Contrat no.:
Client : Min. Défense Nationale	Chargé de projet : Jean-François Séguin
Adresse :	Tél. / fax :

Élévation de surface :	Équipement de forage : Foreuse Longyear 24
Technicien : Marc Pelletier	Calibre du tubage : PW
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget	Profondeur : de à
Conditions climatiques:	Heure : début 10:00 fin 14:30

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____		m	Profondeur (m)	
			Profondeur	3,15	1,5	2,0
			Épaisseur de glace	0,60		

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE							Description des échantillons et observations
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.	
				1	2	3	4		
0,00-0,20 boue (silt et argile) traces de sable brun à gris 0,20-0,50 sable	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00 <								

UNCLASSIFIED

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C06ET5-2

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 22/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762																	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:																	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin																	
Adresse :		Tél. / fax :																	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24																	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW																	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à																	
Conditions climatiques: Vent 10-15km/h, neige		Heure : début 12:00 fin 15:30																	
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques																
☐ Forage carotté ☐ Intact ☒ Remanié ☐ Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>m</th> <th colspan="2">Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,30</td> <td>0</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,60</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m	Profondeur (m)				Tubage	Forage	Profondeur	1,30	0	0,50	Épaisseur de glace	0,60		
	m	Profondeur (m)																	
		Tubage	Forage																
Profondeur	1,30	0	0,50																
Épaisseur de glace	0,60																		
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations													
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.											
				1	2	3	4												
0-0,20 boue (silt et argile) 0,20-0,50 argile de Champlain grise	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00		C1					50/50 C1											
								0-0,20 boue (silt et argile) 0,20-0,50 argile de Champlain grise											

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : C06ET5-1

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 21-22/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762																	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:																	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin																	
Adresse :		Tél. / fax :																	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24																	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW																	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à																	
Conditions climatiques: Vent 10-15km/h, neige		Heure : début 12:00 fin 15:30																	
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques																
☐ Forage carotté ☐ Intact ☒ Remanié ☐ Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>m</th> <th colspan="2">Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,30</td> <td>1,5</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,60</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m	Profondeur (m)				Tubage	Forage	Profondeur	1,30	1,5	2,00	Épaisseur de glace	0,60		
	m	Profondeur (m)																	
		Tubage	Forage																
Profondeur	1,30	1,5	2,00																
Épaisseur de glace	0,60																		
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations													
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.											
				1	2	3	4												
0-0,20 boue (silt et argile) 0,20-2,00 argile de Champlain	0.00		PS1					30/50											
	0.25																		
	0.50		C2					50/50											
	0.75																		
	1.00		C3					50/50											
	1.25																		
	1.50		C4					50/50											
	1.75																		
	2.00																		
	2.25																		
	2.50																		
	2.75																		
	3.00																		
	3.25																		
	3.50																		
	3.75																		
	4.00																		
	4.25																		
	4.50																		
	4.75																		
	5.00																		

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C0614-2**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 02/03/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762																	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:																	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin																	
Adresse :		Tél. / fax :																	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24																	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW																	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à																	
Conditions climatiques:		Heure : début 14:00 fin 15:00																	
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques																
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>m</th> <th colspan="2">Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,62</td> <td></td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,66</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m	Profondeur (m)				Tubage	Forage	Profondeur	1,62		0,50	Épaisseur de glace	0,66		
	m	Profondeur (m)																	
		Tubage	Forage																
Profondeur	1,62		0,50																
Épaisseur de glace	0,66																		
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations													
		état	no. type	Pénétration std "N"				Récup.											
				1	2	3	4												
0-0,05 boue (silt et argile) passant de brune à grise 0,05-0,15 boue devenant de + en + compact 0,15-0,50 argile de Champlain	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00		C1					50/50											
								C1 0-0,05 boue (silt et argile) passant de brune à grise 0,05-0,15 boue devenant de + en + compact 0,15-0,50 argile de Champlain											

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C063**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 24/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762																	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:																	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin																	
Adresse :		Tél. / fax :																	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24																	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW																	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à																	
Conditions climatiques: Soleil , vent 15km/h		Heure : début 10:30 fin 12:50																	
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques																
 Forage carotté  Intact  Remanié  Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1"> <tr> <th></th> <th>m</th> <th colspan="2">Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,12</td> <td>1,5</td> <td>2,00</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,65</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m	Profondeur (m)				Tubage	Forage	Profondeur	1,12	1,5	2,00	Épaisseur de glace	0,65		
	m	Profondeur (m)																	
		Tubage	Forage																
Profondeur	1,12	1,5	2,00																
Épaisseur de glace	0,65																		
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE					Description des échantillons et observations												
		état	no. type	Pénétration std "N"															
				1	2	3	4	Récup.											
0-0,05 boue molle avec végétaux 0,05-2,00 argile de Champlain	0.00		C1					45/50	C1 0-0,05 boue molle avec végétaux 0,05-0,50 argile de Champlain										
	0.25																		
	0.50		C2					50/50	C2 0,50-1,00 argile de Champlain présence de tube de vers										
	0.75																		
	1.00		C3					50/50	C3 1,00-1,50 argile de Champlain										
	1.25																		
	1.50		C4					50/50	C4 1,50-2,00 argile de Champlain										
	1.75																		
	2.00																		
	2.25																		
	2.50																		
	2.75																		
	3.00																		
	3.25																		
	3.50																		
	3.75																		
	4.00																		
	4.25																		
	4.50																		
	4.75																		
	5.00																		

PAGE 1 DE 1

Labo S.M. inc.

FORAGE No. : **C06ET5-3**

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 22/02/2006

Projet : Forage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : F062762																	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:																	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Jean-François Séguin																	
Adresse :		Tél. / fax :																	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Foreuse Longyear 24																	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW																	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur : N. Bourget		Profondeur : de à																	
Conditions climatiques: Vent 10-15km/h, neige		Heure : début 12:00 fin 15:30																	
État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques																
Forage carotté Intact Remanié Perdu	C : carottier 4 po. CR : carottier à ailettes (rotation) 2 po. PS : tube shelby & piston	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th></th> <th>m</th> <th colspan="2">Profondeur (m)</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th>Tubage</th> <th>Forage</th> </tr> <tr> <td>Profondeur</td> <td>1,30</td> <td>0</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>Épaisseur de glace</td> <td>0,60</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		m	Profondeur (m)				Tubage	Forage	Profondeur	1,30	0	0,50	Épaisseur de glace	0,60		
	m	Profondeur (m)																	
		Tubage	Forage																
Profondeur	1,30	0	0,50																
Épaisseur de glace	0,60																		
STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations													
		état	no. type	Pénétration std "N"															
				1	2	3	4	Récup.											
0-0,10 argile molle 0,10-0,50 argile de Champlain grise	0.00 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25 3.50 3.75 4.00 4.25 4.50 4.75 5.00		C1					50/50 C1											

PAGE 1 DE 1

FORAGE N°LSP-06-C1

RÉALISÉ LE: 06/10/05 et 06

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier : Carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 4.1m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 12:30 fin 17:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques				
			Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m)	
						Tubage	Forage
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier TS : tube shelby PS : tube shelby & piston CA : carottier à ailette	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____					

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				(cm)	Description des échantillons et observations		
		état	no. type	Pénétration std "N"					
				1	2			3	4
	0.00								
	0.25	X	CR1				15	00-50 cm silt traces de sable	
	0.50		B1-B7				6 litres	boue sableuse avec matiere organique	
	0.75		CR2				35	50-112cm boue sableuse avec matiere organique	
	1		CR3				15	80-130cm boue sableuse avec matiere organique	
	1.25		CR4				20	100-150cm boue sableuse avec matiere organique	
	1.5		CR5					130-180cm boue sableuse avec matiere organique sur 10cm de sable	
	1.75	X	CR6					150-200cm morceaux de bois	
	2		CA7				2 litres	3 essais	
	2.25	X	CR8					descente avec piston hydraulique mais refus barge lève	
	2.5		CA9				1 litre	3 essais sable et boue	
	2.75	X	CR10				5	250-300cm mottes de silt et morceaux de bois	
	3.00		SS11				10	250-300cm sable et silt traces d'argile	
	3.25		CA12					250-330cm sable et silt traces d'argile	
	3.50		CR13				50	330-410cm argile	
	3.75								
	4								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

FORAGE N° LSP-06-C2
RÉALISÉ LE: 06/10/03

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier : Carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 2.0m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 12:30 fin 17:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier	Azimut :	Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m)
	TS : tube shelby	Pendage :				Tubage
	PS : tube shelby & piston	Coordonnées:				Forage
	CA : carottier à ailette	N _____				
		E _____				

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE				(cm) Récup.	Description des échantillons et observations		
		état	no. type	Pénétration std "N"					
				1	2			3	4
	0.00								
	0.25	X	CR1A				20 00-50 cm sable fin et silt		
	0.50		CR1B				30 2 essais benne Ponar 00-50 cm sable fin et silt noir		
	0.75	■	CR2				0 50-100 cm trace de sable , bois et coquillage		
	1		CA1				0.5 l 50-100 cm trace sable fin et silt		
	1.25		CA2				1.0 l 50-100 cm trace sable fin et silt		
	1.5		CR3				15 100-150 cm sable sur argile		
	1.75		CR4				75 115-190 cm 10cm de sable et argile sur 65cm d'argile		
	2								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

FORAGE N° LSP-06-C4
RÉALISÉ LE: 06/10/02

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier : Carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 2.0m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 12:30 fin 17:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
			Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m) Tubage Forage
 Forage carotté	CR : carottier	Azimut :				
 Intact	TS : tube shelby	Pendage :				
 Remanié	PS : tube shelby & piston	Coordonnées:				
 Perdu	CA : carottier à ailette	N _____				
		E _____				

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				(cm) Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
	0.00								
	0.25		CR1					0	00-50 cm traces de sable
	0.50		CA1					1litre	sble et argile
	0.75		CR2					50	argile
	1								
	1.25		CR3					50	argile
	1.5								
	1.75		CR4					50	argile
	2								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

FORAGE N° LSP-06-C3
RÉALISÉ LE: 06/10/04

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier : Carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay-	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 2.0m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 12:30 fin 17:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier	Azimut :	Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m)
	TS : tube shelby	Pendage :				Tubage
	PS : tube shelby & piston	Coordonnées:				Forage
	CA : carottier à ailette	N _____				
	B : benne	E _____				

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				(cm) Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
	0.00								
	0.25		B1-B7					6 litres	00-50 cm sable moyen à grossier
	0.50								
	0.75		CR2 CR3 CA1					0 0 6 litres	50-100cm 81-131cm sable et traces d'argile
	1								
	1.25		CR3					50	130-180cm argile
	1.5								
	1.75								
	2		CR4					50	180-230cm argile
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

FORAGE N° LSP-06-C6

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 06/10/06 et 16

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : 2006_18 carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 2,5 m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 15:30 fin 13:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
			Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m) Tubage Forage
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier	Azimut :				
	TS : tube shelby	Pendage :				
	PS : tube shelby & piston	Coordonnées:				
	CA : carottier à ailette	N _____				
	B : benne Ponar	E _____				

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				(cm) Récup.	Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"					
				1	2	3	4		
	0.00								
	0.25		CR1					5	00-10 cm boue avec morceaux d'argile et traces de sable
	0.50		B1 à B3					3 litres	morceaux d'argile, sable et moules zébrées
	0.75		CR2					50	50-90 cm argile grise 90-100 cm sable fin et silt gris
	1								
	1.25		CR3					50	100-120 argile grise molle 120-140 argile 140-150 argile silteuse
	1.5								
	1.75		CR4					50	150-200 argile avec passée de silt
	2								
	2.25		CR5					50	200-250 argile grise
	2.5								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

PAGE _1_ DE 1_

FORAGE NcLSP-06-C5

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 06/10/13

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : 2006_18 carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 2,0 m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 15:30 fin 13:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques			
			Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m) Tubage Forage
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier TS : tube shelby PS : tube shelby & piston CA : carottier à ailette B : benne Ponar	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____				

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	état	no. type	ÉCHANTILLONNAGE				Description des échantillons et observations
				Pénétration std "N"				
				1	2	3	4	
	0.00							
	0.25	X	B1à B5					3 litres
	0.50							
	0.75		CR2					50
	1							
	1.25		CR3					50
	1.5							
	1.75		CR4					50
	2							
	2.25							
	2.5							
	2.75							
	3.00							
	3.25							
	3.50							
	3.75							
	4.00							
	4.25							
	4.50							
	4.75							
	5.00							

FORAGE N° LSP-06-C7

BNQ 2501 - 140

RAPPORT DE FORAGE

RÉALISÉ LE: 06/10/06

Projet : Carottage Lac Saint-Pierre		Dossier no. : 2006_18 carottage Lac Saint-Pierre	
Site : CEEM Nicolet		Contrat no.:	
Client : Min. Défense Nationale		Chargé de projet : Raynald Tremblay- Jeannot Morneau	
Adresse :		Tél. / fax :	
Élévation de surface :		Équipement de forage : Carottier 3.5 po	
Technicien : Marc Pelletier		Calibre du tubage : PW	
Foreur : Daniel Comeau aide-foreur :		Profondeur : de 0 à 1,0m	
Conditions climatiques: Calme		Heure : début 12:30 fin 17:00	

État de l'échantillon	Types d'échantillons	Orientation	Conditions phréatiques				
Forage carotté Intact Remanié Perdu	CR : carottier TS : tube shelby PS : tube shelby & piston CA : carottier à ailette	Azimut : Pendage : Coordonnées: N _____ E _____	Date	Heure	Niveau observé	Profondeur (m) Tubage Forage	

STRATIGRAPHIE	Prof. (m)	ÉCHANTILLONNAGE						Description des échantillons et observations	
		état	no. type	Pénétration std "N"					(cm) Récup.
				1	2	3	4		
	0.00								
	0.25		CR1					50	00-10 cm boue (silt et argile) grise traces de sable
	0.50								10-50 cm argile grise
	0.75		CR2					50	50-100 cm argile grise
	1								
	1.25								
	1.5								
	1.75								
	2								
	2.25								
	2.50								
	2.75								
	3.00								
	3.25								
	3.50								
	3.75								
	4.00								
	4.25								
	4.50								
	4.75								
	5.00								

Annex G: Data Analyses

G1 SUMMARY STATISTICS FOR SEDIMENT MEASUREMENTS

Table 48: Physical measurements sediment

	sample size	min	maxi	range	25th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter-quartile range	skewness	kurtosis
Moisture	74	18	80.6	62.6	26	33.2	42.7	34.61351	116.1217	16.7	8.55E+08	3.57E+12
S	10	100	1100	1000	250	500	725	510	114333.3	475	204686.6	27258806
TOC	74	0.0	3.91	3.82	0.4225	0.615	0.8425	0.707365	0.27391	0.42	7.46E+12	6.42E+17
pH	43	6.7	8.17	1.45	7.445	7.53	7.815	7.584419	0.08182	0.37	7.86E+13	1.24E+19

Table 49: PCBs sediment

	sample size	min	max	range	25th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter-quartile range	skewness	kurtosis
Aroclor 1242	10	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0	NA	NA
Aroclor 1248	10	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0	NA	NA
Aroclor 1254	10	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0	NA	NA
Aroclor 1260	10	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0	NA	NA
Total PCBs	10	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0	NA	NA

Table 50:Organochloride pesticides sediment

	sample size	minimum	maximum	range	25th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter- quartile range	skewness	kurtosis
op-DDT	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
pp-DDD	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
pp-DDE	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
pp-DDT	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Heptachlor	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Heptachlor Epoxide	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
a-chlordane	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
g-chlordane	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Aldrin	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Dieldrin	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Lindane	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Methoxychlor	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
alpha-BHC	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
beta-BHC	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
delta-BHC	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Oxychlordane	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Endrin	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
o,p-DDE	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Endrin Aldehyde	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Endosulfan Sulfate	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Mirex	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
op-DDD	10	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA

Table 51: Miscellaneous pesticides sediment

	sample size	minimum	maximum	range	25 th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter- quartile range	skewness
Alachlor	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Atrazine	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Atrazine Desethyl	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Bendiocarb	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Carbaryl	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Chlorpyrifos	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Cyanazine	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Diazinon	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Diclofop-methyl	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Dimethoate	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Metolachlor	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Metribuzin	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Parathion	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Phorate	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Simazine	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Temephos	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Terbufos	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Triallate	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Trifluralin	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Prometryne	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA
Carbofuran	10	0.05	0.05	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA

Table 52: Miscellaneous metals sediment

	sample size	min	max	range	25th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter-quartile range	skewness	kurtosis
Al	74	2180	32600	30420	6480	11300	21800	13563.11	7.45E+07	15320	1.66E+00	5.69E+00
Sb	74	1	5	4	2	2.75	4	2.614865	1.579091	2	5.39E+11	1.93E+16
As	74	1	6	5	3	3	4	3.209459	0.849361	1	1.37E+12	6.67E+16
Ba	74	11	165	154	37.25	75.5	118.75	78.41892	2300.548	81.5	9691034	9.1E+09
Be	74	0.5	0.6	0.1	0.5	0.5	0.5	0.501351	0.000135	0	6.81E+17	2.64E+24
B	74	5	11	6	5	5	5	5.5	1.40411	0	6.43E+11	2.44E+16
Cd	74	1	1	0	1	1	1	1	0.00	0	NA	NA
Ca	74	1680	35700	34020	4097.5	10650	17350	11748.38	73362411	13252.5	1.701793	5.946923
Cr	74	8	208	200	21.25	41	78.75	49.60811	1255.687	57.5	24032287	3.05E+10
Co	74	3	25	22	7	12	18	12.66892	40.90601	11	4.09E+09	2.88E+13
Cu	74	1	69.5	68.5	11	27	40	26.30405	278.5741	29	2.3E+08	6.2E+11
Fe	74	5720	45300	39580	13650	20600	29450	21388.24	97415900	15800	1.112173	2.074125
Pb	74	2	26	24	5	8	9	7.912162	14.17369	4	2E+10	2.4E+14
Mg	74	1160	25000	23840	3682.5	9285	16875	10273.85	51250970	13192.5	2.914499	15.33229
Mn	74	86	775	689	214.25	330	532.75	370.9392	35643.5	318.5	158908.3	37901830
Hg	74	0.05	0.13	0.08	0.05	0.05	0.05	0.053176	0.000167	0	4.96E+17	1.73E+24
Mo	74	1	5	4	1	1	1	1.054054	0.216216	0	1.06E+13	1.03E+18
Ni	74	6	65	59	20.25	30.5	47.75	32.54054	261.5394	27.5	2.53E+08	7.04E+11
P	74	410	970	560	572.5	620	730	658.2432	19748.24	157.5	385322.6	1.23E+08
K	74	160	8210	8050	715	1750	4920	2792.905	5907225	4205	74.48037	1376.92
Se	74	1	1	0	1	1	1	1	0.00	0	NA	NA
Ag	74	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2	1.40E-16	0	6.46E+35	2.46E+48
Na	74	90	1750	1660	192.5	475	1047.5	637.5	2.46E+05	855	8.77E+03	7.97E+05
Sr	74	6	59	53	16	29	39	29.35811	224.983	23	3.17E+08	9.51E+11
W	74	1	1	0	1	1	1	1	0.00	0	NA	NA
Tl	74	1	1	0	1	1	1	1	0.00	0	NA	NA
Ti	74	168	2095	1927	430.25	992.5	1502.5	998.4595	324424.2	1072.25	5786.917	457500.5

U	74	1	1	0	1	1	1	1	0.00	0	NA	NA
V	74	9	83	74	20	39	59.75	39.19595	479.4303	39.75	1.02E+08	2.09E+11
Zn	74	15	158.5	143.5	45.25	70	84.75	66.41216	735.8929	39.5	53566737	8.89E+10
Zr	74	3	29	26	6	11	20	12.67568	58.85913	14	2.37E+09	1.39E+13

Table 53: CCME PAHs sediment

	sample size	min	max	range	25th percentile	median	75th percentile	mean	variance	inter-quartile range	skewness	kurtosis
1-	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
2-	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Acenaphthene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Acenaphthylene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Acridine	10	0.8	0.8	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.00	0	NA	NA
Anthracene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Benzo(a)anthracene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Benzo(a)pyrene	10	0.0	0.02	0	0.0	0.02	0.02	0.02	0.00	0	NA	NA
Benzo(b)fluoranthene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Benzo(g,h,i)perylene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Benzo(k)fluoranthene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Chrysene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Dibenzo(ah)anthracene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Fluoranthene	10	0.0	0.09	0.0	0.0	0.05	0.05	0.054	1.60E-04	0	3.91E+	1.39E+25
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Naphthalene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Phenanthrene	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA
Pyrene	10	0.0	0.06	0.0	0.0	0.05	0.05	0.051	1.00E-05	0	2.50E+	3.56E+27
Quinoline	10	0.0	0.05	0	0.0	0.05	0.05	0.05	0.00	0	NA	NA

QUALITY ASSURANCE ANALYSES

Sediment Core Split Samples

Methods

2. The RPD (relative percent difference) between an analyte measured in each of the split samples was calculated. All analytes measured were assessed. Therefore observations less than a DL in both samples imply that the samples produced the same signal for that analyte. The presumption here is that a chemical analysis was conducted with the possibility of that analyte being found in one of the two samples. The median relative percent difference was tested for equality with zero using the Wilcoxon signed rank test. If many analytes in one sample are systematically elevated relative to the other, the median will be different than zero. Thus a two-sided test is used.
3. The null hypothesis tested is: The median relative per cent difference = 0 which represents the expectation if there are no systematic differences between the split samples.
4. The following analytes were measured in the 0-50 cm horizon (samples A4 and A5) and 50-100cm horizon (samples A4 and A5): moisture, total organic carbon, op-DDT, pp-DDD, pp-DDE, pp-DDT, heptachlor, heptachlor epoxide, a-chlordane, g-chlordane, aldrin, dieldrin, lindane, methoxychlor, alpha-BHC, beta-BHC, delta-BHC, oxychlordane, endrin, o,p-DDE, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, mirex, op-DDD, aroclor 1242, aroclor 1248, aroclor 1254, aroclor 1260, total PCBs, alachlor, atrazine, atrazine desethyl, bendiocarb, carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, cyanazine, diazinon, diclofop-methyl, dimethoate, metolachlor, metribuzin, parathion, phorate, simazine, temephos, terbufos, triallate, trifluralin, prometryne, Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Se, Ag, W, Hg, S, Na, Sr, Tl, Sn, Ti, U, V, Zn, Zr, 1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, acridine, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(ah)anthracene, fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, phenanthrene, pyrene and quinoline.
5. The same analytes listed above (with the exception of pesticides) were measured in the split sample pair C03-C08 from the 0-50 cm horizon.

Results

Table 54 Summary of sediment core quality assurance analysis

Comparison	Sample Size	Mean RPD	Median RPD	Standard Deviation	Wilcoxon Signed Rank Test Statistic	P-value
A4 - A5 (0-50 cm)	103	0.07160	0	0.1477	300	1.94E-05
A4 - A5 (50-100 cm)	103	0.02111	0	0.06101	305	0.00013303
CO3 - CO8 (0-50 cm)	58	0.2270	0	1.9931	87	0.1245

- Three pairs of split core samples were collected. Two of these were collected at one location in 2005 fiscal year and comprise split samples of the 0-50 cm horizon (samples A4 and A5) and 50-100cm horizon (samples A4 and A5). Sample A4 produces consistently higher results at the 0-50 cm horizon (p-value = 1.94E-05) and the 50-100 cm horizon (0.00013303).
- The third split core sample was collected in 2006 (samples CO6 and CO8). The null hypothesis: median RPD = 0 could not be rejected for the split core samples collected in 2006. Although the power of these comparisons was not estimated the large sample size suggests that there is adequate power to accept that there are no quality assurance issues with respect to the 2006 split sediment core samples.

Statistical Analysis on Equipment Water Blanks

- After a core sample was taken the coring apparatus was washed repeatedly. The final rinse consisted of deionized water (for cores collected in the winter of 2006) and bottled water (described in Annex C) (for cores collected in the fall of 2005).

Methods

- The analytes measured in the final rinse water are compared with unused rinse water to ensure that there is no carry-over from one core sample to another.
- One observation (Co, station C-06-22) was reported as < 0.005 mg/L but the DL was 0.0005 mg/L. This observation was replaced with < 0.0005 mg/L as other Co measurements within this series at 0.0005 mg/L were reported as < 0.0005 mg/L. (J. Rebiniczak, per. comm.)
- The following analytes were measured in wash water collected in the fall of 2006 and compared with unused wash water. The analytes are: aluminum, antimony, arsenic, barium, beryllium, bismuth, boron, cadmium, calcium, chromium (total), cobalt, copper, iron, lead, magnesium, manganese, molybdenum, nickel, phosphorous, potassium, selenium, silicon, silver, sodium, strontium, thallium, tin, titanium, tungsten, uranium, vanadium, zinc, zirconium, miscellaneous pesticides, pesticides, organochlorine PAH's, and PCB's.
- The same list of analytes (with the exception of miscellaneous pesticides, pesticides, organochlorine PAH's, and PCB's) was measured in wash water collected in the winter of 2006 and compared with unused wash water.
- The relative percent difference between an analyte measured in the rinse water and unused rinse water was calculated over the entire sample. All analytes measured and were assessed. Therefore observations less than a DL in both samples imply that the samples produced the same signal for that analyte. The presumption here is that a chemical analysis was conducted with the possibility of that analyte being found in one of the two water samples. The median

relative percent difference was tested for equality with zero using the Wilcoxon signed rank test. If the rinse water is elevated relative to unused water the median will be greater than zero. Thus a one-sided test is used.

12. The null hypothesis tested is: The median relative per cent difference = 0 which represents the expectation if there are no systematic differences between the rinse water and unused water.

Results

448. Comparisons that are significantly different at a Type 1 error rate of 5% are highlighted below.

Table 55: Summary of equipment wash quality assurance analyses

Comparison	Sample Size	Mean RPD	Median RPD	Standard Deviation	Wilcoxon Signed Rank Test Statistic	P-value
C-06-16 - WB1	37	18.9811	1	49.1283	322	0.0001
C-06-A1 - WB1	37	1.6500	0	4.1048	91	0.0085
C-06-A4 - WB1	37	2.9990	0	7.5137	105	0.0057
C-06-ET5 - WB1	37	4.8764	0.6	10.7285	229.5	0.0000
C-06-22 - WB1	37	1.9644	0	5.0895	95	0.0042
HsO3 - WB15	33	3.1311	0	10.6343	82	0.0059
ISP06C01-SP - WB15	33	0.2970	0	1.2404	27	0.1170
ISP06C01 - WB15	33	1.7111	0	5.7900	49	0.0162
LSP-06-CO3 - WB15	33	0.8652	0	2.2785	49	0.0161
LSP-06-CO7 - WB15	33	0.2125	0	0.8396	30	0.0532
WB01 - WB15	33	0.3270	0	1.4711	30	0.0528
WB02 - WB15	33	1.6046	0	3.6203	104	0.0067
WB03 - WB15	33	1.0009	0	2.6402	57	0.0183
WB05-SPCore - WB15	33	0.2028	0	0.9293	22	0.1024
WB06 - WB15	33	0.7364	0	1.9735	49	0.0161
WB11 - WB15	33	0.4046	0	1.4117	30	0.0532
WB12-Ponar - WB15	33	2.6492	0	6.8560	63	0.0043
WB13-Petit Ponar - WB15	33	0.4823	0	1.4876	52	0.0072
WB14 - WB15	33	0.5348	0	1.2886	51	0.0095
WB16 mixing bowl - WB15	33	0.1453	0	0.6124	18	0.0711

449. Table 55 shows that most of the wash samples show significant elevations in analytes relative to the unused wash water (deionised water labelled as “WB1” for cores collected in the winter of 2006 and bottled water labelled as “WB15” for cores collected in the fall of 2005).

Water Split Samples

Methods

450. A limited number of water quality analyses were conducted per year (generally less than 5). Therefore only one of those samples was split for quality assurance purposes. The methods used to assess these data are presented in section 0. The analyte compared varied from year to year and therefore a list is presented for each year.
451. In 2004 the following analytes were compared between split samples W1 and W2: azinphosmethyl, chlorpyrifos, demeton, diazinon, dichlorvos, dimethoate, ethion, fenchlorhos, fenthion, fonofos, malathion, metolachlor, mevinphos, parathion-ethyl, parathion-methyl, phosmet, terbufos, thimet, Al, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Ag, Na, Sn, V, Zn, total organic carbon, total dissolved solids, total suspended solids, alkalinity (as CaCO₃), ammonia (as N), hardness (as CaCO₃), trichlorobiphenyl, tetrachlorobiphenyl, pentachlorobiphenyl, hexachlorobiphenyl, heptachlorobiphenyl, octachlorobiphenyl, nonachlorobiphenyl, decachlorobiphenyl, 1,2-benzathracene-7,12,-dimethyl, 3-methylcholanthrene, acenaphthlene, acenaphthylene, anthracene, benz(a)anthracene, benzo(c)phenanthrene, benzo(a)pyrene, benzo(ab+k+j)fluoranthene, benzo(ghi)perylene, chrysene, dibenzo(a,h)pyrene, dibenzo(a,i)pyrene, dibenzo(a,l)pyrene, fluorine, fluoranthene, indeno(1,2,3,cd) pyrene, naphthalene, phenanthrene, pyrene, BHC- alpha, BHC- beta, BHC- delta, lindane, chlordane- alpha, chlordane- gamma, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, 2,4'-DDT, dieldrin, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulphate, endrin, endrin aldehyde, endrin ketone, heptachlor, heptachlor epoxide, methoxychlor, mirex, toxaphene and total PCB's
452. In 2005 the following analytes were compared between split samples LSP06TW01 and LSP06TW06: alachlor, ametryn, atrazine, atrazine desethyl, azinphos-methyl, bendiocarb, carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, cyanazine, diazinon, diclofop-methyl, dimethoate, malathion, metolachlor, metribuzin, parathion, phorate, prometon, prometryne, propazine, simazine, temephos, terbufos, terbutryn, triallate, trifluralin, op-DDT, pp-DDD, pp-DDE, pp-DDT, heptachlor, heptachlor epoxide, a-chlordane, g-chlordane, aldrin, dieldrin, lindane, methoxychlor, alpha-BHC, beta-BHC, delta-BHC, oxychlordane, endrin, o,p-DDE, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, mirex, op-DDD, alkalinity, ammonia as N, chloride, bromide, fluoride, nitrite as N, nitrate as N, ortho-phosphate, sulphate, 1-methylnaphthalene,
453. 2-methylnaphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, acridine, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(ah)anthracene, fluoranthene, fluorine, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, phenanthrene, pyrene, quinoline, total organic carbon, dissolved organic carbon, hardness, Hg, Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr (total), Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Tl, Sn, Ti, W, U, V, Zn, Zr, aroclor 1242, aroclor 1248, aroclor 1254, aroclor 1260 and total PCBs.

454. In 2006 the following analytes were compared between split samples W.05.60 and W.05.60B: atrazine, atrazine desethyl, bendiocarb, carbaryl, chlorpyrifos, cyanazine, diazinon, diclofop-methyl, dimethoate, metolachlor, metribuzin, parathion, phorate, simazine, temephos, terbufos, triallate, trifluralin, prometryne, alachlor, carbofuran, op-DDT, pp-DDD, pp-DDE, pp-DDT, heptachlor, heptachlor epoxide, a-chlordane, g-chlordane, aldrin, dieldrin, lindane, methoxychlor, alpha-BHC, beta-BHC, delta-BHC, oxychlordane, endrin, o,p-DDE, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, mirex,
455. op-DDD, alkalinity (total as CaCO_3), ammonia as N, chloride, bromide, fluoride, nitrite as N, nitrate as N, ortho-phosphate, sulphate, 1-methylnaphthalene, 2-methylnaphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, acridine, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(ah)anthracene, fluoranthene, fluorine, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, phenanthrene, pyrene, quinoline, total organic carbon, dissolved organic carbon, hardness as CaCO_3 , Hg, W, Al, Sb, As, Ba, Be, Bi, B, Cd, Ca, Cr (total), Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Mo, Ni, P (low level), K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Tl, Sn, Ti, U, V, Zn, Zr, aroclor 1242, aroclor 1248, aroclor 1254, aroclor 1260 and total PCBs.

Results

Table 56: Summary of water sample quality assurance analyses

Comparison	Sample Size	Mean RPD	Median RPD	Standard Deviation	Wilcoxon Signed Rank Test Statistic	P-value
W1-W2 (2004)	121	-0.0055	0	0.07381	12	0.4412
LSP06TW01-LSP06TW06 (2005)	115	0.004594	0	0.06382	68	0.6701
W.05.60-W.05.60B (2006)	98	0.1849	0	0.6437	235	0.003324

456. Above table shows that the null hypothesis: median RPD = 0 could not be rejected for the split water samples collected in 2004-2005. Although the power of these comparisons was not estimated the large sample size suggests that there is adequate power to accept that there are no quality assurance issues with respect to the 2004-2005 water samples.

457. In 2006 the null hypothesis: median RPD = 0 was strongly rejected. Examination of the data shows that this is due to elevation of Ca, Fe, P, Ti and Zn in sample W.05.60 relative to W.05.60B.

Surficial Sediment Split Samples

Methods

458. The methodology described in section 0 was applied to the surficial sediment split samples with the exception of the triplicate split sample collected in 2007 (17D versus 20C versus 20D). This ad hoc comparison used the Kruskal-Wallis test applied to the RPD between an observation for a given sample and the median of all three measurements producing 3 vectors of relative percent differences of length equal to the number of analytes.

459. The following analytes were used for the IN5-IN9 2004 split sample comparison: moisture, TOC, gravel, sand, silt and clay, pp-DDD, pp-DDE, pp-DDT, heptachlor, heptachlor epoxide, a-chlordane, g-chlordane, aldrin, dieldrin, methoxychlor, alpha-BHC, beta-BHC, delta-BHC, endrin, endrin aldehyde, mirex, aroclor 1242, aroclor 1248, aroclor 1254, aroclor 1260, total PCBs, alachlor, atrazine, atrazine desethyl, bendiocarb, carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, cyanazine, diazinon, diclofop-methyl, dimethoate, metolachlor, metribuzin, parathion, phorate, simazine, temephos, terbufos, triallate, trifluralin, prometryne, endosulfan I, endosulfan II, gamma-bhc (lindane), endrin ketone, toxaphene, prometon, propazine, ametryn, 1,3-dimethyl-2-nitrobenzene, dichlorovos, thimet, demeton, fonofos, fenchlorophos, methyl parathion, ethyl parathion, malathion, fenthion, ethion, phosmet, azinphosmethyl, Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Sn, Tl, U, V, Zn, 2-methylnaphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(g,h,i)perylene,

benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(ah)anthracene, fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, phenanthrene and pyrene.

460. The following analytes were used for the ET1-ET9 2004 split sample comparison: moisture, TOC, gravel, sand, silt, clay, pp-DDD, pp-DDE, pp-DDT, heptachlor, heptachlor epoxide, α -chlordane, γ -chlordane, aldrin, dieldrin, lindane (γ -BHC), methoxychlor, α -BHC, β -BHC, δ -BHC, endrin, o,p-DDE, endrin aldehyde, endosulfan sulfate, aroclor 1242, aroclor 1248, aroclor 1254, aroclor 1260, total PCBs, alachlor, atrazine, atrazine desethyl, bendiocarb, carbaryl, carbofuran, chlorpyrifos, cyanazine, diazinon, diclofop-methyl, dimethoate, metolachlor, metribuzin, parathion, phorate, simazine, temephos, terbufos, triallate, trifluralin, prometryne, Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sn, Zn, acenaphthene, anthracene, benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, benzo(k)fluoranthene, chrysene, dibenzo(ah)anthracene, fluoranthene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, naphthalene, phenanthrene and pyrene.

461. The following analytes were used for the 61A-61B, 64A-64B and 68A-68B 2005 split sample comparisons: moisture, TOC, gravel, sand, silt and clay, Ag, Al, As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V and Zn.

462. The following analytes were used for the 2007 split samples. Gravel, total sand, combined silt and clay, Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn,

463. Sr, Tl, Ti, U, V and Zn. Zr The split sample 17B-20A did not include sediment physical particle size comparisons as particle size data was available for only one of the two split samples.

Results

Table 57: Summary of sediment quality assurance analyses

Comparison	Sample Size	Mean RPD	Median RPD	Standard Deviation	Wilcoxon Signed Rank Test Statistic	P-value
IN5-IN9 (2004)	111	-0.0791	0	0.3215	126	0.0285
ET1-ET9 (2004)	86	0.0945	0	0.8056	304.5	0.4499
61A-61B (2005)	35	0.0141	0	0.1159	130.5	0.9095
64A-64B (2005)	35	0.0470	0	0.0995	210.5	0.0067
68A-68B (2005)	35	-0.0064	0	0.1132	40	0.1550
15A-18A (2007)	34	0.1444	0.0000	0.6997	70	0.5895
15B-18B (2007)	34	-0.0168	0.0000	0.1784	47.5	0.9165
15C-18C (2007)	34	0.1742	0.0000	0.3693	68	0.0253
16B-19A (2007)	33	0.1190	0.1484	0.1427	194	0.0010
16C-19B (2007)	33	-0.0313	0.0000	0.0612	32.5	0.0072
17A-19C (2007)	33	-0.1941	-0.3000	0.2720	25	0.0010
17B-20A (2007)	31	-0.3198	-0.4289	0.2407	0	0.0001
17C-20B (2007)	34	-0.1475	-0.1021	0.1686	1	0.0001
17A-20C-20D	34	17A 0.1706	17A 0.0000	17A 0.4444	20.9635	< 0.0001
17A-20C-20D	34	20C 1.8277	20C 0.0000	20C 10.9867		
17A-20C-20D	34	20D 1.8278	20D 0.0000	20D 0.1741		

464. Table 4 highlights significant differences at a Type I error rate of 5% between pairs of split samples. One of these was collected in 2004 and the other in 2005. The majority of split samples collected in 2007 are significantly different from one another. The significant differences between split samples are as high as 43% (median relative percent difference for 17B-20A comparison).

465. The 2007 split sample comparisons are based upon sediment metals and particle sizes only whereas split samples from other years include a large number of organic compounds. Many of the organic compounds, although used in the analyses for reasons discussed in section 0 were equal due to measurements below the detection limit. It is possible that if those observations that are equivalent but at the detection limit are removed, that a larger proportion of the 2004-2005 split samples would exhibit significant differences.

Statistical Analysis on Effect of Steel Containers

Methods

466. The methodology described in section 0 was used to assess the effect of steel containers. The analytes used are those described in section 0 for analytes collected in 2005.

Results

467. Results are presented below.

Table 58: Assessing the effect of steel containers

Comparison	Sample Size	Mean RPD	Median RPD	Standard Deviation	Wilcoxon Signed Rank Test Statistic	P-value
52a-52Steel	35	-0.0228	0	0.0984	44	0.1298
57A-57Steel	35	-0.0067	-0.09302	0.3877	51	0.0049

468. Table 58 shows that there was a significant difference in the plastic – steel split samples before one of the two samples tested. However the difference indicates a decrease in analytes (including metals) in the metal container relative to the plastic container. The median relative percent difference is 9.3%.

Calculation of BAF's for In-Situ Elliptio Bioaccumulation Study

Table 59: Geostatistical Models Used to Predict Surficial Sediment Concentrations of Selected Analytes

Analyte	Sample Size	Major and minor semi-axes of search neighbourhood	Lag Size	Nugget	Model	Trend	Anisotropic ?	Range	Minor Range	Direction	Partial Sill	Sill
Al	154	9144.4074 / 2591.7636	801.21	5915987.9356	Spherical	Linear	Y	9144.4074	2591.7636	56.1662	38607463.9810	NA
As	154	26145.9421 /	2205.8	0.8080	Spherical	N	N	26145.9421	NA	NA	1.8775	NA
Ba	154	5190.7669	1763.2	0	Spherical	N	N	5190.7669	NA	NA	NA	2807.8847
Cd	154	25302.8301 / 22626.7353	2205.8	0.0099434	Exponential	Linear	Y	25302.8301	22626.7353	265.6720	0.065912	NA
Cr	154	15553.5553 / 3812.3740	1369	56.3781	Spherical	Linear	Y	15553.5553	3812.3740	54.0928	807.2784	NA
Cu	154	25045.4770 / 5114.9678	2205.8	44.7818	Spherical	Linear	Y	25045.4770	5114.9678	46.9074	206.4082	NA
Ni	154	3984.0926	1369	0	Spherical	Linear	N	3984.0926	NA	NA	147.2181	NA
Sr	155	15563.1410 / 3836.3281	1369	0	Spherical	N	Y	15563.1410	3836.3281	62.4958	319.1054	NA
Zn	154	25046.4365 / 5108.1638	2205.8	253.6568	Spherical	Linear	Y	25046.4365	5108.1638	41.3447	421.2282	NA
TOC	93	20182.9214 / 12765.1837	1757.7	0.1893	Pentaspheical	N	Y	20182.9214	12765.1837	31.5934	0.2029	NA
% Sand	147	24520.9752 / 7103.7704	2158.2000	353.8003	Pentaspheical	N	Y	24520.9752	7103.7704	63.8490	1193.3552	NA
% Silt and Clay	149	25066.6973 / 7250.0217	2205.8	364.4408	Pentaspheical	N	Y	25066.6973	7250.0217	63.4240	1267.5030	NA

Fish Tissue

469. The effects of gender and exposure on dorsal muscle tissue levels are tested using general linear models using a Gaussian distribution if residuals pass a Shapiro-Wilks test. A likelihood ratio test is used to test for a gender effect; if gender is not “significant” (i.e. gender does not affect tissue residue) at a type 1 error rate of 5%, the effect of exposure alone is assessed using Welch’s test (Welch, 1937) due to the noted heterogeneity of variance across exposure areas. The hypothesis tested is:

Ho: mean concentration of analyte “X” is the same across reference and exposure areas, against:

Ha: mean concentration of analyte “X” is greater in the exposure area than the reference area.

470. For these primary hypothesis tests, the test p-value and minimum detectable difference are reported. All analyses are conducted in R, version 2.5.1 or higher (R Development Core Team, 2007)

471. The modeling procedure is somewhat arbitrary in that non-normality and heterogeneity of variance are ignored in the full general linear model when conducting the likelihood ratio test for gender effect. This is followed by a test (Welch’s) that does acknowledge heterogeneity of variance. A better procedure is to use the Skillings-Mack test (Skillings and Mack, 1981) for this unbalanced block design. However the programming required to implement this test is time/cost-prohibitive. .

Ecotoxicity Test Codes

472. Some of the toxicity tests conducted were experimental in nature and an “effect” was defined using best professional judgement. The standardized toxicity tests have accepted decision rules in place to define an “effect”. In all cases, the effects identified by the toxicologists from the testing laboratory providing the results were used herein.

473. When an effect was defined using best professional judgement, a code was assigned for graphical purposes. Codes of ± 2 correspond to severe stimulation / deleterious effects, respectively; codes of, ± 1 correspond to moderate stimulation / deleterious effects, respectively, and 0 corresponds to no effect.

474. When statistical significance is used to define a “significant” effect a value of -2 is assigned for a deleterious effect and 2 is assigned for an enhanced or stimulatory effect. The effect is to weight a statistically significant effect equally to a “severe” effect in toxicity tests where statistical significance was not the criterion for defining a “significant” effect.

475. The actual values assigned are arbitrary and could equally be replaced by character labels. Given the current use of the codes as inputs to graphics describing toxicity spatially, there is no need to debate the labels. What could be debated is the use of a 5-point or 3-point scale to discretize continuous variables and the choices of breakpoints. A review of the raw data and the graphical presentations suggests that different choices in the number and location of breakpoints are unlikely to change the major conclusions presented. A sensitivity analysis using different choices in the number and location of break points could be conducted to address stakeholder concerns, if necessary.

Table 60: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 1 .

Toxicity Test / Endpoint	Matrix	Explanation	Codes / Comment	Source()
<i>Vibrio fischeri</i> luminescence NOEC, LOEC, IC20, IC50 for 15 and 30 minute exposure conducted in 2004	sediment elutriate pore water	25-49.5	0: no effect	BRI (2005, Tables 14 and 15)
<i>Vibrio fischeri</i> luminescence (solid phase test) IC20, IC50 for 20 minute exposure conducted in 2005	sediment	10 – 20 ≤10 -1 or + 1 if condition 1 is met.	-1: a moderate deleterious effect -2: a severe deleterious effect <u>Guideline 1:</u> A test sediment is judged to have failed this sediment toxicity test if its IC₅₀ is < 1000 mg/L , regardless of grain size characteristics (<i>Environment Canada, 2002, EPS 1/RM/42</i>)	BRI, (2006, Tables 19 and 21)
		- 2 or + 2 if conditions 1 and 2 are met	<u>Guideline 2:</u> A test sediment with <20% fines and an IC50 ≥ 1000 mg/L must be compared against a control sediment; the test sediment have failed the sediment toxicity test if and only if: its IC ₅₀ is more than 50% lower than that of the control sediment, and both values differ significantly (<i>Environment Canada, 2002, EPS 1/RM/42</i>)	
<i>P. capitata</i> NOEC, LOEC, IC20, IC50	sediment pore water elutriate	90.9	1: positive effect	BRI
<i>Chironomus riparius</i> survival	sediment	> 90%	0: no effect	BRI
		80-90%	-1: a moderate deleterious effect	BRI
		≤ 90%	-2: a severe deleterious effect	BRI
<i>Chironomus riparius</i> % survival inhibition	sediment	> 2.5	2: positive effect	BRI
		2.5 to – 2.5	0: no effect	BRI
		≤ -2.5	-2: a moderate deleterious effect	BRI
<i>Chironomus riparius</i> growth	sediment	Significance indicated by BRI	-2: a severe deleterious effect	BRI
<i>Chironomus riparius</i> % growth inhibition, % reproduction inhibition	sediment	≥ 10	2: a severe positive effect	BRI
		<10, ≥ 5	1: a severe positive effect	BRI
		≤ 5, ≥ -5	0: no effect	BRI
		< -5, > -10	-1: a moderate deleterious effect	BRI
		≤ -10	-2: a severe deleterious effect	BRI
<i>Escherichia coli</i> toxicity and genotoxicity for 2004 data	sediment elutriate	effect indicated by BRI	0: no effect -2: deleterious effect	BRI BRI

Table 61: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 2

Toxicity Test / Endpoint	Matrix	Explanation	Codes / Comment	Source
<i>Escherichia coli</i> toxicity and genotoxicity for 2005 data (ET and S.05 series)	sediment elutriate	effect indicated by BRI	0: no effect	BRI (2006, Tables 26, 27 and 29).
Rainbow Trout survival	water	Statistical significance	-1: a moderate deleterious effect -2: a severe deleterious effect 0: no effect	Stantec
<i>Vibrio fischeri</i> luminescence (aqueous test)	water	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Pimephales promelas</i> % mortality	water	Statistical significance	-2: deleterious effect	Stantec
<i>Pimephales promelas</i> growth	water	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Ceriodaphnia dubia</i> % mortality	water	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Ceriodaphnia dubia</i> reproduction	water	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Selenastrum capricornutum</i> growth – cell yield	water	Statistical significance	2: stimulation 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Lemna minor</i> growth – frond production	water	Statistical significance	-2: deleterious effect 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Lemna minor</i> growth – dry weight	water	Statistical significance	2: stimulation 0: no effect	Stantec Stantec
			2: stimulation	Stantec

Table 62: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 3

Toxicity Test / Endpoint	Matrix	Explanation	Codes / Comment	Source()
<i>Lemna minor</i> growth – frond production	porewater	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Lemna minor</i> growth – dry weight	porewater	Statistical significance	-2: deleterious effect 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Vibrio fischeri</i> luminescence	porewater	Statistical significance	2: stimulation 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Lemna minor</i> growth – frond production	elutriate	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Lemna minor</i> growth – dry weight	elutriate	Statistical significance	2: stimulation 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Chironomus riparius</i> % survival inhibition	sediment	Statistical significance	2: stimulation 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Chironomus riparius</i> growth	sediment	Statistical significance	-2: deleterious effect	Stantec
<i>Hyalella azteca</i> % survival	sediment	Statistical significance	0: no effect 0: no effect	Stantec Stantec
<i>Hyalella azteca</i> dry weight	sediment	Statistical significance	0: no effect	Stantec
<i>Hyalella azteca</i> survival (BRI, 2004 data)	sediment	> 2.5	-2: deleterious effect 2: positive effect	Stantec BRI (2005, Table 23)
<i>Hyalella azteca</i> growth (BRI, 2004 data)	sediment	2.5 to – 2.5 ≤ -2.5 ≥ 10 <10, ≥ 5	0: no effect -2: a moderate deleterious effect 2: a severe positive effect	BRI (2005, Table 24)
		≤ 5, ≥ -5 < -5, > -10	1: a severe positive effect 0: no effect -1: a moderate deleterious effect	

Table 63: Summary of Codes Used to Represent Toxicity Test Results Part 4

Toxicity Test / Endpoint	Matrix	Explanation	Codes / Comment	Source()
		≤ -10	-2: a severe deleterious effect	
<i>H. azteca</i> 42 day survival	sediment	Criterion Table 22		BRI
<i>H. azteca</i> 42 day reproduction	sediment	Criterion Table 22		BRI
<i>H. azteca</i> 42 day growth	sediment	Criterion Table 22		BRI
<i>P. capitata</i> growth (NOEC, LOEC, IC20, IC50)	sediment elutriate	Criterion Table 22 (BRI, 2006)	2: stimulation	BRI (2006)
<i>S. typhimurium</i> mutagenic potential (Preliminary data)	sediment elutriate	Table 19 (BRI, 2005)	0: no effect 0: no effect	
<i>S. typhimurium</i> mutagenic potential (Main data)		Criterion Table 32 (BRI, 2006)	-2: inhibition -1,2: inhibition	BRI (2006)
<i>Caenorhabditis elegans</i> Survival (Main and Supplementary Phase)	sediment		0: no effect	BRI
<i>Caenorhabditis elegans</i> Reproduction (Main and Supplementary Phase)	sediment		•	BRI
<i>L. variegatus</i> -Metallothionein-like protein	tissue			BRI
<i>E. complanata</i> -Metallothionein-like protein	tissue			BRI

Quality Assurance for Data Analyses

476. Quality control of the statistical analyses conducted is comprised of data validation, algorithmic validity/stability and model validation. The process of data validation involved:
477. Comparison of data provided with amount of data expected as stated in sub-reports. This was accomplished using tabulations and cross-tabulations. Missing records were detected and correct.
478. Screening of data to check for missing and incorrect data using box-and-whisker plots and estimation of the first four sample moments (mean, variance, skewness and kurtosis). Typographic errors and missing data were detected using these techniques and corrected.
479. Algorithmic validity and stability was validated against published examples or with simulated data of known properties. In no cases was algorithmic instability of concern for the analyses conducted herein.
480. Model validation involves testing assumptions of tests required for valid interpretation and the more esoteric practice of determining which model best describes a dataset. Validation in this latter context is often a subjective process depending upon the intended use of the model. In models used for prediction, the optimality of the fit is of prime importance and used as the primary criterion for validating the model. Models used for testing hypotheses generally stress parsimony and interpretability whereas models.
481. In all parametric models, the distribution of the response is tested using the empirical cumulative density plotted against the hypothesized order statistics. Residual diagnostics are routinely employed to test model assumptions and the adequacy of fit. Residual diagnostics are not reported but are usually included in appendices. An electronic copy of all statistical procedures used may be provided to the client. Relevant portions may be reproduced in the final report.

Annex H – Supporting Documents

REFERENCES

-
- ¹ ADM(MAT)/DAPM (Mr. B. Smith) Tasking Request to QETE (Dr.H. Fanous), 2001.
- ² ADM(IE)/DRFM (Major M. Braid) Tasking Request to QETE (Dr. H. Fanous), 2005.
- ³ National Research Council of Canada. Biotechnology Research Institute, Montreal, QC. Characterization of energetic materials at METC-Lake Saint-Pierre: Evidence for in-situ natural attenuation. 2007. By Fanny Monteil-Rivera. Final Report NRC # 49033.
- ⁴ Environment Canada -Quebec Region, Environmental Protection Branch, Montreal, Quebec. Environmental Study on Sediment Quality in the Southern Portion of Lake Saint-Pierre used by Nicolet Munitions Experimental Test Centre (METC) Final Report, 2003 (English Translation). Cusson B., Latreille A.
- ⁵The Secretariat of the Convention on Wetlands (2008). List of Wetlands of International Importance. Retrieved January 07,2009 from website: www.ramsar.org/sitelist.pdf.
- ⁶ UNESCO-MAB Secretariat (February,2008). Biosphere Reserves- World Network. Retrieved January 07, 2009, from the UNESCO Organization Web site: www.unesco.org/mab/doc/brs/BRlist2008.pdf.
- ⁷Environment Canada, Conservation and Protection, St. Lawrence Centre. Technical Report, Priority Area No. 11, 236 p. Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Pierre, Langlois, C., L. Lapierre, M. Léveillé, P. Turgeon and C. Ménard 1992.
- ⁸ Ramsar Convention, Information Sheet 4CA-036, Ramsar Convention Secretariat, Rue Mauverney 28, CH-1196 Gland, Switzerland (tel +41 22 999 0170, fax +41 22 999 0169, e-mail ramsar@ramsar.org).
- ⁹ Fugawi digital maps Quebec zone 18 South.
- ¹⁰ Frenette, J.-J., M. T. Arts and J. Morin. 2003. Spectral gradients of downwelling light in a fluvial lake (Lake Saint-Pierre, St-Lawrence River. *Aquatic Ecology* 37: 77–85.
- ¹¹ Frenette J, -J., M. T. Arts, J. Morin, D. Gratton and C. Martin. 2006. Hydrodynamic control of the underwater light climate in fluvial Lac Saint-Pierre. *Limnol. Oceanogr.*, 51(6): 2632–2645
- ¹²Lessard, M. (1991). Analyse multidimensionnelle et discontinuités spatiales des communautés de poissons du lac Saint-Pierre et de l'archipel de Sorel, 135 p.
- ¹³ Carignan, R and Stephane Lorrain. 2000 Sediment dynamics in the fluvial lakes of the St. Lawrence River: accumulation rates and characterization of the mixed sediment layer..*Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(Suppl. 1): 63–77
- ¹⁴ Frenette, M., C. Barbeau and J.-L. Verrette (1989). Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent. Hydrotech inc., 185 pp.
- ¹⁵ McLaren, P., and M. Braid. 2009. Sediment Trend Analysis in Support of Unexploded Explosive Ordnance Risk Assessment. *J. of ASTM Intern.* 6(7).
- ¹⁶ Saulnier I. and C. Gagnon. 2006. [Background levels of metals in St. Lawrence River sediments: Implications for sediment quality criteria and environmental management](http://www.gc.ca/csl/inf/inf051_e.html). *Integr. Environ. Assess. Manag.* 2: 126-141.
- ¹⁷ The Sedimentary History of Lake Saint-Pierre. St Lawrence Centre, http://www.gc.ca/csl/inf/inf051_e.html /(April 4, 2007).
- ¹⁸ Hudon, C. .1997. Impact of water level fluctuations on St. Lawrence River aquatic vegetation *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2853–2865

- ¹⁹ The St Lawrence Centre. 1996. *State of the Environment Report on the St Lawrence River. Volume 1: The St Lawrence Ecosystem*. Environment Canada – Quebec Region, Environmental Conservation, and Éditions MultiMondes, Montreal. “St Lawrence UPDATE” Series
- ²⁰ Jacques, D. 1986. Cartographie des terres humides et des milieux environnants du lac Saint-Pierre. Corporation pour la mise en valeur du lac Saint-Pierre and Quebec Department of Recreation, Fish and Game, Trois-Fleuves.
- ²¹ Nicolet Migratory Bird sanctuary. *Canadian Wildlife Service, Quebec Region* http://www.qc.ec.gc.ca/faune/faune/html/mbs_nicolet.html (September 28, 2009)
- ²² Department of National Defence, Quality Engineering Test Establishment (QETE). 2006. Historical Survey of Point Contamination of Ste. Francois and Yamaska Rivers. Barrett, S. and Brady, B. (Unpublished).
- ²³ The St. Lawrence Centre. Dynamics and Contamination of St. Lawrence River Sediment Dec 1997. Environment Canada - Quebec Region, Environmental Conservation., Montreal. St. Lawrence UPDATE Series
- ²⁴ Presence of Pesticides in the St. Lawrence River and Its Tributaries. *Environment Canada, Quebec Region, St. Lawrence Centre*. Available at: http://www.qc.ec.gc.ca/csl/pro/pro028br_e.html (Jan 2009)
- ²⁵ Munitions Experimental Test Centre (METC). 1999. Department of National Defence. Raymond Gagnon.
- ²⁶ Thiboutot, S., G. Ampleman, P. Dube, J. Hawari, B. Spencer, L. Paquet, T.F. Jenkins, and M.E. Walsh (1998) Protocol for the characterization of explosives-contaminated sites. Defence Research Establishment Valcartier, Quebec, Canada. DREV-R-9809.
- ²⁷ Thiboutot, S., G. Ampleman, and A.D. Hewitt (2002) Characterization of sites contaminated with energetic materials. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Technical Report ERDC/CRREL TR-02-1.
- ²⁸ Lotufo GR, Nipper M, Carr SR, Conder JM. Fate and Toxicity of Explosives in Sediments. Chapter 6. in *Ecotoxicology of Explosives and Unexploded Ordnance*. Sunahara, G.I., Hawari, J., Lotufo, G., Kuperman, R. (Eds). CRC Press. Boca Raton, FL. 2008.
- ²⁹ United States. US ACE/ Engineering Research and Development Center (ERDC)/ Dredging Operations and Environmental Research Program. Ecological and Human Health Risk Assessment Guidance for Aquatic Environments. TR-DOER-4. 1999 By Cura, JJ., W. Heiger-Bernays, TS Bridges, and DW Moore.
- ³⁰ Canada, Quebec, Développement Durable Environnement et Parcs, Critères de qualité de l’eau de surface 2008.
- ³¹ E-mail from MDDEP (Quebec) requiring the use of OEL as criteria for this study.
- ³² Keith, LH 1996. Principles of Environmental Sampling, 2nd ED. American Chemical Society
- ³³ American Public Health Association (APHA). Standard Method of the Examination of Water and Wastewater (21st Edition). 2005. Eaton A.D., L.S. Clesceri, and A.E Greenberg, Water Environment Federation, Washington D.C.
- ³⁴ Environment Canada. Guidance document on collection and preparation of sediments for physicochemical characterization and biological testing. Environmental protection series, EPS 1/RM/29, 1994. Ottawa, ON.
- ³⁵ Stantec Consulting Ltd., 2005. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC Lac Saint Pierre Range at Nicolet, Quebec, 2005 September Sampling Program Novak L.. Guelph, Ontario.
- ³⁶ ASTM. 2002. Standard Test method for Particle Size Analysis of Soils, Sediments and Sludge. D422-63. West Conshohocken, PA.

-
- ³⁷ U.S. Environmental Protection Agency. 1986. Semivolatile Organic Compounds (SVOC's) SW846 Method 8270. U.S. EPA, Washington, D.C.
- ³⁸ U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Polychlorinated Biphenyls from Aqueous matrices. Method 8082. U.S. EPA, Washington, D.C.
- ³⁹ U.S. Environmental Protection Agency. 2001. Nitroaromatics and Nitramines by High performance Liquid Chromatography (HPLC). Method 8330. U.S. EPA, Washington, D.C.
- ⁴⁰ U.S. Environmental Protection Agency. 2000. Solid Phase Extraction (SPE) including Explosives. U.S. EPA, Washington, D.C.
- ⁴¹ Conder JM, LaPoint TW, Steevens JA, Lotufo GR. 2004. Recommendation for the assessment of TNT toxicity in sediment. *Environ Toxicol Chem* 23 141-149.
- ⁴² National Research Council Canada, Applied Ecotoxicology Group Biotechnology Research Institute, Montreal. 2008. *Ecotoxicological Assessment of Sediments from the METC Site at Nicolet: surface sediment evaluation – Fall 2006 sampling program*. P.-Y. Robidoux, V. Bérubé, C. Fournier, P.-M. Bergeron, K. Kalomiris, S. Rocheleau, S. Dodard and G. I. Sunahara.. NRC # 49036.
- ⁴³ National Research Council Canada, Applied Ecotoxicology Group Biotechnology Research Institute, Montreal. 2008. *Ecotoxicological Assessment of Sediments from the METC Site at Nicolet: In-Situ Field Bioassays with Caged Mussels – Fall 2007*. P.-Y. Robidoux, V. Bérubé, P.-M. Bergeron, K. Kalomiris and G. I. Sunahara. NRC# 49932.
- ⁴⁴ Canada, Quebec, Développement Durable Environnement et Parcs, Critères de qualité de l'eau de surface 2008.
- ⁴⁵ Environment Canada and Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec (EC-MDDEP). 2007. Criteria for the assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. 39 pp.
- ⁴⁶ Rondeau, Bernard and Daniel Cossa, Pierre Gagnon, Thanh T Pham, Charlen Surette, Hydrological and biogeochemical dynamics of the minor and trace elements in the St. Lawrence River, *Applied Geochemistry* # 20 2005
- ⁴⁷ Environment Canada, St. Lawrence Centre, Information Bulletin on the St. Lawrence # 049 (2007 revision)
- ⁴⁸ Gaskin, S.J., J. Pieterse. A. A Sharfie, and S. Lepage. 2003. Erosion of undisturbed clay samples from the banks of the St. Lawrence River. *Can. J. Civ. Eng.* 30:585-595.
- ⁴⁹ Rondeau, B, D Cossa, P Gagnon and L. Bilodeau. 2000. Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrol. Proc.*, 14(1): 21-36
- ⁵⁰ Caron, S. and M. Lucotte. 2008. Regional and season inputs of Mercury into Lake St. Pierre (St. Lawrence River), a major commercial and sports fisheries in Canada. *Water Air Soil Pollut.* 195:85-97.
- ⁵¹ Milburn D. and T.D. Prowse. 1996. The effect of ice break-up on suspended sediment and select trace element fluxes. *Nordic Hydrology*. 27:69-84.
- ⁵² Milburn D. and T.D. Prowse. 2000. Observations on some physical characteristics of river-ice break-up. *J. Cold Regions Engineering*. 14: 214-223.
- ⁵³ Milburn D. and T.D. Prowse. 2000. Under ice movement of cohesive sediments before river-ice break-up. *Hydrologic Processes*. 16: 823-834.
- ⁵⁴ Gadd, N.R. 1987. Glacial stratigraphy of the central St. Lawrence Lowland near Lac Saint Pierre, Quebec. *Geological Society of America Centennial Field Guide – Northeastern Section*, pp. 353-356

-
- ⁵⁵ Conder JM, LaPoint TW, Steevens JA, Lotufo GR. 2004. Recommendation for the assessment of TNT toxicity in sediment. *Environ Toxicol Chem* 23 141-149.
- ⁵⁶ Allaire, Simon and B. Allard. 2004. Dragage du chenal Tardiff à Notre-Dame-de PierrevilleMunicipalité de Pierreville : Étude de impact sur l'environnement
- ⁵⁷ Evans, K. M.¹, R. A. Gill¹ and P. W. J. Robotham¹ 1996. The PAH and organic content of sediment particle size fractions
- ⁵⁸ Desrosiers, M., C. Gagnon, S. Masson, L. Martel and M. P. Babuta. 2008. Relationships among total recoverable and reactive metals and metalloid in St. Lawrence River sediment: Bioaccumulation by chironomids and implications for ecological risk assessment. *Sci Total Environ.* 389:101-114.
- ⁵⁹ Shepard, F.P., 1954, Nomenclature based on sand-silt-clay ratios: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 24, p. 151-158
- ⁶⁰ Desrosiers, M., C. Gagnon, S. Masson, L. Martel and M. P. Babuta. 2008. Relationships among total recoverable and reactive metals and metalloid in St. Lawrence River sediment: Bioaccumulation by chironomids and implications for ecological risk assessment. *Sci Total Environ.* 389:101-114
- ⁶¹ Welch, B.L. 1937. The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. *Biometrika.* 29:350-362.
- ⁶² Barkauskas, D. 2008. MDD: Minimum Detectable Difference Calculations. R package version 0.5.
- ⁶³ Procean Environmental Inc. 2003. Vérification de la toxicité des argiles postglaciaires présentes dans le fleuve Saint-Laurent. A report for the Direction de la protection de l'environnement Environnement Canada. 89 p.
- ⁶⁴ Wang, F., R.R. Goulet, P.M. Chapman. 2004. Testing sediment biological effects with the freshwater amphipod *Hyaella azteca*: The gap between laboratory and nature. *Chemosphere* 57, 1713-1724.
- ⁶⁵ Borgmann, U., L. Grapentine, and W.P. Norwood. 2005. Sediment toxicity testing with the freshwater amphipod *Hyaella azteca*: Relevance and application. *Chemosphere* 61, 1740-1743.
- ⁶⁶ Milani, D., T.B. Reynoldson, U. Borgmann, and J. Kolasa. 2003. The relative sensitivity of four benthic invertebrates to metals in spiked-sediment exposures and application to contaminated field sediment. *Environ. Toxicol. Chem.* 22, 846-854.
- ⁶⁷ Phipps, G.L., V.R. Mattson, and G.T. Ankley. 1995. Relative sensitivity of three freshwater benthic macroinvertebrates to ten contaminants. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 28, 281-286.
- ⁶⁸ NRC Biotechnology Research Institute, Ecotoxicological Assessments of Sediments from the METC Site at Nicolet: In-Situ Field Bioassays with Caged Mussels- Fall 2007
- ⁶⁹ Procean Environmental Inc. 2003. Vérification de la toxicité des argiles postglaciaires présentes dans le fleuve Saint-Laurent. A report for the Direction de la protection de l'environnement Environnement Canada. 89 p.
- ⁷⁰ Stantec. 2005. Ecotoxicological and Physicochemical Characterization of Samples from METC-Lac Saint Pierre at Nicolet Quebec, Fall 2005 Sampling Program.
- ⁷¹ Allaire, Simon and B. Allard. 2004. Dragage du chenal Tardiff à Notre-Dame-de Pierreville-Municipalité de Pierreville : Étude de impact sur l'environnement (Tardiff report)
- ⁷² U.S Environmental Protection Agency. 1996. Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Method 3050B. U.S EPA, Washington, DC.
- Chapter 1 - ⁷³ Environment Canada , 2003.
- Chapter 2 - ⁷⁴ Environment Canada, 2003.
- Chapter 3 - ⁷⁵ Canadian Environmental Quality Guidelines, (2003). Summary table of Existing Environmental Quality Guidelines. Interim Sediment (Freshwater) Quality Guideline.

Chapter 4 - The Interim Criteria for Quality Assessment of St. Lawrence River Sediment, Environment Canada St. Lawrence Centre and Ministère de l'Environnement du Québec, (1992) preferentially using the no effect threshold, minimal effect threshold or toxic effect threshold in that order.

Annexe D

Le Ndakkina au Québec

LE NDAKINNA AU QUÉBEC

Cette carte illustre les frontières du Nda Kinna, territoire sur lequel les Abénakis affirment détenir des droits ancestraux et issus de traités. Elle représente la perspective des Abénakis et ne constitue pas une reconnaissance par le Canada du territoire sur lequel les Abénakis détiennent des droits ancestraux ou issus de traités. Cette carte peut faire l'objet de modification de temps à autre par le Bureau du Nda Kinna

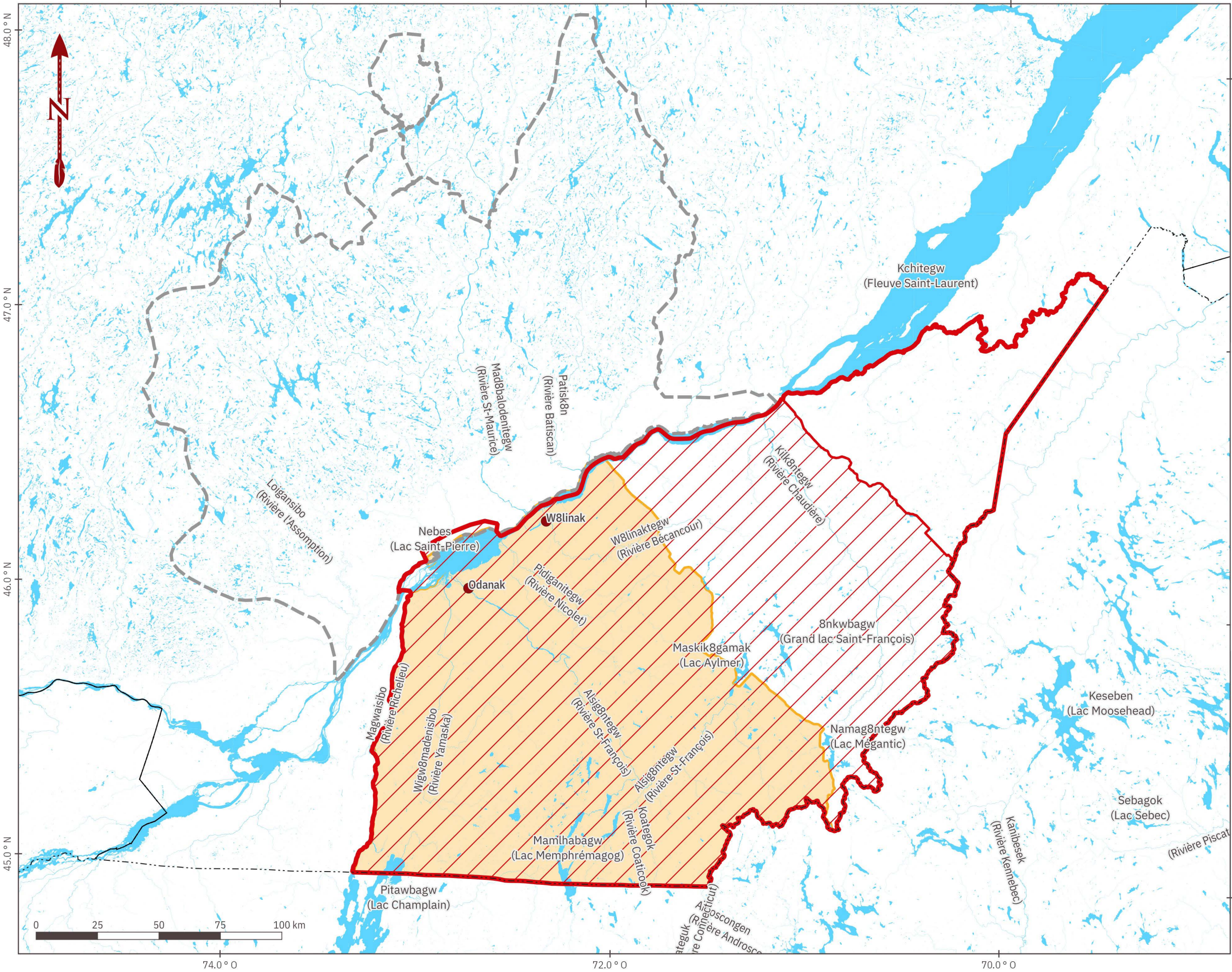
Légende

- Communautés d'Odanak et de Wôlinak
- Entente provinciale de chasse et pêche
- ▨ Zone prioritaire de consultations territoriales
- ▭ Territoire ancestral
- ▭ Territoires de chasse familiaux au 18e siècle
- Rivières et lacs
- Frontières inter-provinciales
- - - Frontière Canada - États-Unis



Sources:
Entente de chasse et pêche: Bureau du Nda Kinna
Zone prioritaire de consultations territoriales: Bureau du Nda Kinna
Tracé du Nda Kinna: Grand Conseil de la Nation Waban-Aki
Tracé des voies navigables: Bureau du Nda Kinna
Toponymie: Grand Conseil de la Nation Waban-Aki, Conseil des Abénakis d'Odanak et Conseil des Abénakis de Wôlinak
Hydrographie: USGS et Gouvernement ouvert - Canada

Échelle 1 : 1 500 000
Projection UTM zone 19
Cartographie: Hadrien Bois-Von Kursk au Bureau du Nda Kinna





à propos de GHD

GHD est l'une des principales entreprises de services professionnels au monde offrant ses services dans les marchés mondiaux de l'eau, de l'énergie et des ressources, de l'environnement, des bâtiments et propriétés, ainsi que du transport. Nous offrons des services en ingénierie, en environnement et en construction à des clients des secteurs privé et public.

Jonathan M. Olson

Jonathan.olson@ghd.com
418.425.0821

Bruno Dupré

Bruno.dupre@ghd.com
418.425.0816

www.ghd.com