



Estimation du taux de sédimentation du lac Saint-Alexis, 2013-2014

Rapport final

Municipalité de Saint-Alexis-des-Monts

Avril 2015



ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction

Yann Boissonneault, biologiste, *M.Sc.*¹

Travaux terrain

Yann Boissonneault, biologiste, *M.Sc.*¹

Guillaume Hubert, biologiste, *B.Sc.*²

Benoît Lavallée, technologue en géomatique²

Analyse sédimentologique

Francis Clément, géographe, *M.Sc.*¹

Dany Bouchard, professionnel de recherche³

Cartographie et analyses géomatiques

Sophie Savard, géographe, *B.Sc.*²

Patrice Ferron, géographe, *B.Sc.*²

Révision

Nathalie Sarault, directrice, *B.Sc.*⁴

Cindy Provencher, responsable PDE, *M.Sc.*⁴

¹ Consultant : *Boissonneault, Sciences, eaux et environnement*, www.boissonneault.ca

² Firme de consultants *Groupe Synergis*, www.groupesynergis.com

³ Laboratoire analytique en écologie et en sédimentologie du Centre de recherche sur les interactions bassins versants – écosystèmes aquatiques (RIVE) de l'Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR)

⁴ Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY)

Nous tenons à remercier M. Luc Guillemette, président, et M. Philip Courchesne, vice-président de la firme Groupe Synergis pour leur contribution en ressources humaines et matérielles obtenues dans le cadre du programme de recherche et développement de l'entreprise, ainsi que les employés ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

CE RAPPORT A ÉTÉ RÉALISÉ POUR L'ORGANISME DE BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES DU LOUP ET DES YAMACHICHE (OBVRLY)



BOISSONNEAULT
Sciences, eaux et environnement



Dans le sens de l'eau !

3

Pour nous joindre :

Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY)

143, rue Notre-Dame

Yamachiche, Québec

G0X 3L0

Tél. : (819) 296-2330

Fax : (819) 296-2331

Adresse de courrier électronique : info@obvrly.ca

Adresse Web : www.obvrly.ca

Référence à citer

BOISSONNEAULT, Y. 2015. *Estimation du taux de sédimentation du lac Saint-Alexis, 2013-2014, rapport final*, rapport réalisé pour l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, 28 pages et 2 annexes.

© OBVRLY, 2015

Autorisation de reproduction

La reproduction de ce document, en partie ou en totalité, est autorisée à la condition que la source et les auteurs soient mentionnés comme indiqué dans **Référence à citer**.



Présentation de l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY)

Qu'est-ce qu'un bassin versant?

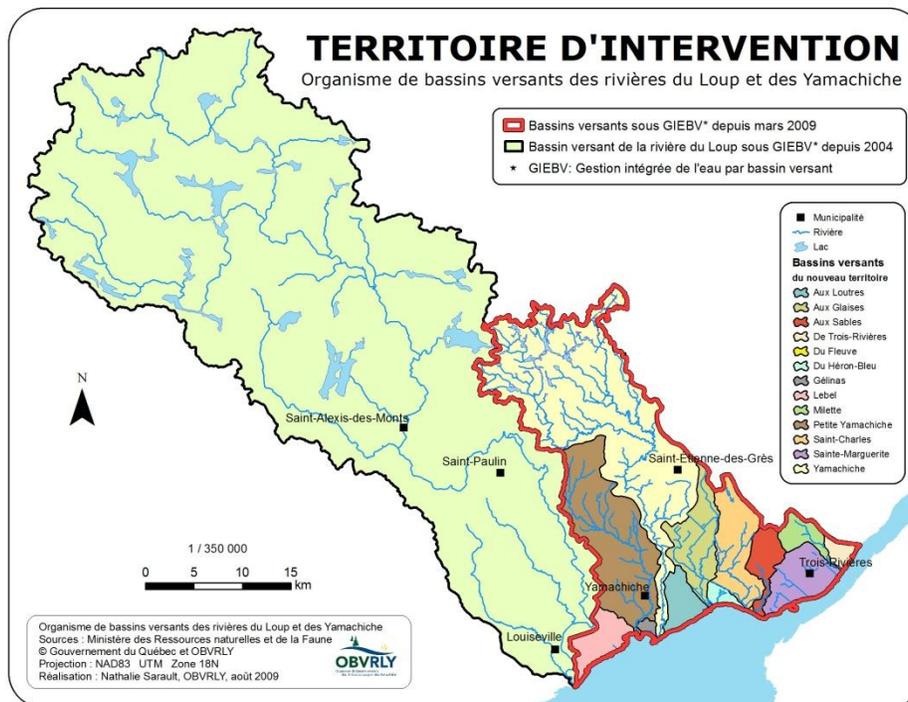
Un bassin versant constitue un territoire où l'eau reçue par précipitation s'écoule et s'infiltré pour former un réseau hydrographique alimentant un exutoire commun, le cours d'eau principal.

Source : MDDEP



Qu'est-ce que l'OBVRLY?

L'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY) est une table de concertation où siègent tous les acteurs et usagers de l'eau qui œuvrent à l'intérieur de mêmes bassins versants. L'OBVRLY n'est pas un groupe environnemental, mais plutôt un organisme de planification et de coordination des actions en matière de gestion intégrée de l'eau par bassin versant (GIEBV). C'est donc par la documentation de l'état de la situation sur son territoire d'intervention que l'organisme peut recommander des solutions aux acteurs et usagers afin de maintenir ou d'améliorer la qualité de l'eau et des écosystèmes associés.



Dans le sens de l'eau !

TABLE DES MATIÈRES

Équipe de réalisation	3
Table des matières	6
Introduction	7
Méthodes et aire d'étude	8
Bathymétrie : comparaison 2013 - 2014	9
Méthode bathymétrique (courbes de niveau)	9
Résultats : comparaison bathymétrie 2013 - 2014.....	10
Sondage - 2013	12
Méthode de mesure directe de l'épaisseur des sédiments (sondage)	12
Résultats : sondage - 2013.....	13
Analyses sédimentologiques - 2014	14
Méthode paléolimnologique : carottes de sédiments - 2014	14
Résultats : analyses sédimentologiques - 2014.....	18
Synthèses des résultats des trois méthodes d'estimation du taux de sédimentation	22
Estimation du volume de sédiments accumulés en 2014	23
Discussions et conclusion	24
Origine des apports en sédiments au lac Saint-Alexis	24
Limites et perspectives	26
Références	27
Annexe 1 : Plan d'échantillonnage, 2013-2014	29
Annexe 2 : Carte bathymétrique du lac Saint-Alexis - 2013	31



INTRODUCTION

Situé au cœur du village de Saint-Alexis-des-Monts, le lac Saint-Alexis, un lac artificiel, représente un centre d'intérêt pour la population et pour le tourisme. Comme beaucoup de lacs artificiels dans la région, ce lac présente des problèmes d'ensablement depuis plusieurs années. La municipalité de Saint-Alexis-des-Monts a donc mandaté en 2013 l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY) afin d'estimer le taux annuel de sédimentation du lac Saint-Alexis.

Depuis 2010, le lac Saint-Alexis a fait l'objet de trois études réalisées dans le cadre du programme de caractérisation des plans d'eau de l'OBVRLY. Les deux premières études avaient pour objectif l'évaluation des symptômes d'eutrophisation du lac Saint-Alexis (voir Boissonneault 2011a et 2011b). Alors que la dernière étude visait à déterminer les causes de perturbations du bassin versant du lac Saint-Alexis (voir Boissonneault et Brien, 2014). Ces trois études réalisées depuis 2010 correspondent aux trois phases du programme de caractérisation des plans d'eau de l'OBVRLY. Il est à noter que cette étude spécifique aux problèmes d'ensablement auxquels fait face le lac Saint-Alexis ne s'inscrit pas dans le programme de caractérisation des plans d'eau de l'OBVRLY.

Il existe plusieurs avenues pour estimer le taux annuel de sédimentation des lacs. De ce fait, différentes méthodes sont évaluées simultanément dans cette étude pour estimer avec précision et exactitude le taux annuel de sédimentation du lac Saint-Alexis, ce qui confère un caractère expérimental à cette étude.

Ce document est le rapport final de cette étude qui s'est déroulée sur une période de deux ans (2013-2014). Différents travaux et sorties sur le terrain ont eu lieu en 2013 et en 2014 pendant la saison estivale. Vous trouverez dans ce rapport les aspects méthodologiques des trois méthodes retenues, les résultats des mesures du taux de sédimentation réalisées en 2013 et 2014, ainsi que les discussions et une conclusion appuyées sur la littérature scientifique portant sur ce sujet.



MÉTHODES ET AIRE D'ÉTUDE

Situé en milieu urbanisé au cœur du village de Saint-Alexis-des-Monts, le lac St-Alexis est un lac artificiel. Il résulte de l'inondation des plaines inondables de la rivière Sacacomie suite à la mise en place d'un barrage en 1948 (CEHQ, 2013). Ce barrage est situé près de l'exutoire de l'ancienne rivière Sacacomie qui se jette dans la rivière du Loup. Nous pouvons observer sur plusieurs orthophotos l'ancien lit de la rivière Sacacomie à l'intérieur du lac Saint-Alexis. Soulignons que le lac Saint-Alexis est aux prises avec d'importants problèmes d'ensablement et qu'il offre les conditions propices à l'évaluation du taux de sédimentation.

Pour estimer le taux annuel de sédimentation du lac Saint-Alexis, trois méthodes ont été utilisées simultanément en 2013 et 2014 :

1. Méthode bathymétrique, comparaison des courbes de niveau, 2013 - 2014
2. Mesures directes de l'épaisseur des sédiments (sondage) - 2013
3. Méthode paléolimnologique, analyses sédimentologiques (carottage) - 2014

Les détails des trois méthodes utilisées pour estimer le taux de sédimentation du lac Saint-Alexis sont présentés dans chacun des chapitres correspondant aux trois méthodes utilisées, suivis des résultats obtenus à partir de ces dernières. Les cartes présentant les plans d'échantillonnage et les résultats de cette étude (ex. : carte bathymétrique) sont présentées en annexe de ce document.



BATHYMÉTRIE : COMPARAISON 2013 - 2014

La méthode bathymétrique* (méthode des courbes de niveau, isobathes ou carte des profondeurs) constitue une des principales méthodes de relevés topographiques des plans d'eau nécessaires à l'estimation du taux de sédimentation. À partir de la comparaison des courbes de niveau obtenues pour une année de référence et les courbes de niveau actuelles, le volume du dépôt solide accumulé dans un plan d'eau est calculé à partir de la différence entre le volume total d'origine (année de référence) et le volume calculé par une nouvelle étude topographique (actuel). La principale méthode utilisée pour calculer le volume de sédiments d'un plan d'eau à partir de courbes de niveau est une adaptation de la méthode des surfaces moyennes, méthode fréquemment employée pour les métrés de travaux de terrassement. Quand on utilise la méthode des courbes de niveau, on mesure les surfaces délimitées par chaque courbe et on calcule les volumes de sédiments entre les courbes successives (Jobson, 1986).

Au lac Saint-Alexis, la comparaison des courbes de niveau a été effectuée pour les mesures bathymétriques réalisées en 2013 (année de référence) et en 2014, car aucune étude bathymétrique n'avait été réalisée dans le passé. Généralement, l'utilisation de cette méthode consiste à comparer les courbes de niveaux d'études bathymétriques distancées de plusieurs années, afin d'obtenir des accumulations sédimentaires assez importantes pour qu'elles soient mesurables à partir des appareils de mesure (échosondeurs). Afin d'obtenir des mesures précises, l'accumulation sédimentaire doit être plus importante que la précision des appareils de mesure. La détection d'une différence d'épaisseur de sédiments à l'aide de cette méthode dépend de l'importance des dépôts annuels de sédiments au fond du lac, car la précision de l'échosondeur utilisé est de 1 cm, alors que les taux annuels de sédimentation peuvent être inférieurs à 1 cm. Comme le lac Saint-Alexis et son bassin versant présentent des caractéristiques propices à d'importants taux de sédimentation (ratio superficie bassin versant / superficie du lac qui est élevé, lac artificiel de faible profondeur), la comparaison des études bathymétriques de 2013 et de 2014 a quand même été réalisée afin de vérifier si cette méthode permet d'observer une différence d'épaisseur des sédiments pour une période d'un an.

Méthode bathymétrique (courbes de niveau)

En 2013 (le 6 juin) et en 2014 (le 20 juin), des relevés bathymétriques ont été réalisés au lac Saint-Alexis à partir d'une embarcation. Pour l'ensemble de la superficie du lac, les lignes des relevés bathymétriques étaient espacées de 25 mètres. Cinq zones d'une

* Bathymétrie : mesure des profondeurs marines dans le but de déterminer la topographie des fonds marins (OQLF, 2003). La même méthode est utilisée pour mesurer les profondeurs d'un plan d'eau douce.



superficie approximative de 800 m² chacune ont fait l'objet de mesures plus précises (carte, annexe 1), l'espacement des lignes de relevés bathymétriques était plutôt de quatre mètres, pour les besoins d'analyses statistiques. L'échosondeur utilisé est de marque *ODOM hydrographic systems inc.*, modèle *Hydrotrac HT-100* muni d'un système à simple faisceau.

Afin de vérifier s'il y avait une différence significative entre les profondeurs obtenues à partir des études bathymétriques réalisées en 2013 et 2014, un test statistique (test de *Student*) a été réalisé pour chacune des cinq zones qui ont fait l'objet de relevés bathymétriques plus précis.

Résultats : bathymétrie, comparaison 2013 - 2014

La première étape d'analyse des études bathymétriques réalisées en 2013 et 2014 au lac Saint-Alexis consistait à vérifier à l'aide de tests statistiques s'il y avait une accumulation sédimentaire assez importante pour une période d'un an pour qu'elle soit détectable avec la précision des appareils de mesure (échosondeur, précision ± 1 cm). Rappelons que ces analyses ont été effectuées pour chacune des cinq zones qui ont fait l'objet de relevés bathymétriques plus précis.

La différence moyenne des profondeurs obtenues entre 2013 et 2014 pour les cinq zones qui ont fait l'objet de mesures bathymétriques plus précises est de 1,2 cm (tableau 1). Pour quatre des cinq zones, les tests statistiques ont toutefois révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les profondeurs moyennes mesurées en 2013 et 2014. Ces tests statistiques révèlent qu'il n'y avait pas d'accumulation sédimentaire au lac Saint-Alexis détectable à partir de la méthode bathymétrique pour une période d'un an.

Tableau 1 : Comparaisons des profondeurs moyennes obtenues à partir de la méthode bathymétrique en 2013 et 2014 pour les 5 zones du lac Saint-Alexis qui ont fait l'objet de mesures plus précises (4 m).

Zones – relevés bathymétriques plus précis	Profondeur moyenne en 2013	Profondeur moyenne en 2014	Différence des profondeurs 2013-2014	Différence statistiquement significative ($p \leq 0,05$)
Zone 1	2,29 m	2,30 m	+ 0,01 m (1 cm)	Non
Zone 2	1,68 m	1,67 m	- 0,01 m (1 cm)	Non
Zone 3	1,25 m	1,26 m	+ 0,01 m (1 cm)	Non
Zone 4	0,96 m	0,94 m	- 0,02 m (2 cm)	Oui
Zone 5	0,77 m	0,78 m	+ 0,01 m (1 cm)	Non
Moyenne des différences des profondeurs obtenues pour les 5 zones entre 2013 et 2014			0,012 m (1,2 cm)	-



De plus, la différence des profondeurs observées entre 2013 et 2014 était pour certaines zones du lac Saint-Alexis positive (zones 1, 3 et 5), correspondant à une accumulation sédimentaire, et parfois négative (zone 2 et 4), correspondant à un enlèvement de sédiments (tableau 1). Il est fort probable que ces différences soient attribuables à l'erreur de l'appareil, car la précision de l'échosondeur utilisé est de ± 1 cm.

Pour la différence des profondeurs obtenue pour la zone 4, qui était négative (- 2 cm) entre 2013 et 2014 (tableau 1), les tests statistiques ont démontré qu'il y avait une différence significative, présument qu'il y avait enlèvement de sédiments sur une période d'un an. Cependant, au cours de cette étude, il a été démontré à partir de la comparaison de la méthode bathymétrique et de la méthode d'arpentage (profils) (résultats non présentés dans ce document) que la précision de l'échosondeur diminuait lorsque les profondeurs étaient inférieures à 1 m. Cette perte de précision de l'échosondeur a été observée pour les zones 4 et 5, zones peu profondes (moins de 1 m, tableau 1) situées près de l'exutoire de la rivière Sacacomie au nord (carte, annexe 1).

Les résultats obtenus à l'aide de tests statistiques ont permis d'expliquer qu'il n'y avait pas d'accumulations sédimentaires assez importantes pour qu'elles soient détectables avec la précision des appareils de mesure (échosondeur), et ce, pour une période d'un an. Ces mesures bathymétriques réalisées en 2013 et 2014 n'ont pas été réalisées en vain, car elles pourront servir de mesures de références lorsque l'on voudra évaluer le taux de sédimentation pour effectuer le suivi de l'accumulation sédimentaire ultérieurement, suivi qui pourra être réalisé au lac Saint-Alexis dans plusieurs années (5 ou 10 ans).

Les relevés bathymétriques (isobathes) réalisés en 2013 ont été cartographiés afin de les présenter visuellement et sont présentés à l'annexe 2.



SONDAGE - 2013

Mesure directe de l'épaisseur des sédiments (sondage)

La méthode précédente traite des méthodes bathymétriques à effectuer pour déterminer le taux de sédimentation d'un plan d'eau. La précision de cette méthode laisse à désirer, sauf s'il y a une très forte accumulation, car la quantité est calculée à partir de la différence entre deux valeurs élevées et inexactes. Lors de la mesure des plans d'eau caractérisés par de faibles taux de sédimentation, l'erreur peut être particulièrement grande, car une petite modification de la position du bateau peut entraîner une modification importante de la cote mesurée du fond. L'*U.S. Soil Conservation Service* (1973) recommande une mesure directe de la profondeur des sédiments quand elle est inférieure à 0,3 m (30 cm). Dans le cas où un bon levé bathymétrique d'origine n'existe pas, la mesure directe de la profondeur des sédiments est la seule technique possible (Jobson, 1986).

On utilise habituellement des perches de sondage, des cannes racleuses ou des échantillons carottés pour mesurer la quantité de sédiments accumulés. Si l'eau est peu profonde et si les autres conditions sont favorables, la perche de sondage constitue la méthode la plus simple. Quand des sédiments meubles reposent sur un fond dur, on peut d'abord enfoncer le poteau dans l'eau jusqu'à la surface du dépôt, relever la profondeur, puis enfoncer le poteau jusqu'au fond plus dur, et relever la profondeur de nouveau pour calculer la profondeur du dépôt (Jobson, 1986).

Le 14 juin 2013, des mesures de l'épaisseur des sédiments ont été effectuées, à titre exploratoire, dans une seule des cinq zones (la zone 1, carte, annexe 1) à six endroits à l'aide de la méthode d'arpentage (version sondage). Une station totale de marque *Leica*, modèle *TCR803* (précision ± 1 cm) a permis les relevés d'arpentage. La canne d'arpentage a dû être modifiée à sa base pour éviter qu'elle pénètre dans les sédiments lors des relevés à la surface des sédiments. Une plaque de contre-plaqué d'une dimension de 43,2 cm x 43,2 cm (17 X 17 po) et d'une épaisseur de 1,3 cm (1/2 po) a été fixée à la base de la canne d'arpentage à l'aide d'une tige de métal mesurant 22,9 cm (9 po) de long munie d'une plaque de métal à sa base servant à fixer la plaque de contre-plaqué (photo de droite).



Afin de mesurer l'épaisseur (la profondeur) des sédiments lacustres (vaseux et meubles), un relevé a été pris à la surface des sédiments, avec la plaque de contre-plaqué, et un deuxième relevé a été pris au même endroit après avoir enfoncé la canne d'arpentage dans les sédiments, sans la plaque de contre-plaqué. Cette opération a été effectuée pour les six points dans la zone 1 (carte, annexe 1).



Résultats : sondage - 2013

Les résultats de ce sondage exploratoire visant à estimer la profondeur des sédiments meubles au lac Saint-Alexis à l'aide la méthode d'arpentage montrent une accumulation moyenne des sédiments de 49 cm depuis la mise en place du barrage du lac Saint-Alexis, il y a 66 ans (tableau 2). L'épaisseur des sédiments meubles a été obtenue en estimant la différence de profondeur entre la mesure géodésique (altitude) de la surface des sédiments et la mesure géodésique des sédiments durs (fond dur) après avoir enfoncé la canne d'arpentage. L'analyse statistique des valeurs moyennes[†] géodésiques de la surface des sédiments et des valeurs géodésiques lorsque le fond dur a été atteint (canne enfoncée) montre qu'il y a une différence significative entre ces deux mesures ($p < 0,05$).

Tableau 2 : Épaisseurs des sédiments obtenues à partir de la méthode de sondage (arpentage) pour six points dans la zone 1 au lac Saint-Alexis en 2013.

Points de la mesure directe de l'épaisseur des sédiments	Mesure géodésique* de la surface des sédiments (avec contre-plaqué)	Mesure géodésique* fond dur (canne enfoncée)	Épaisseur des sédiments (Différence surface et fond dur)
n° 1	153,76 m	153,20 m	0,56 m (56 cm)
n° 2	154,00 m	153,72 m	0,28 m (28 cm)
n° 3	153,81 m	153,37 m	0,44 m (44 cm)
n° 4	153,38 m	152,66 m	0,72 m (72 cm)
n° 5	153,21 m	152,65 m	0,56 m (56 cm)
n° 6	154,25 m	153,89 m	0,36 m (36 cm)
Moyenne	153,73 m	153,25 m	0,49 m (49 cm)

* Mesure géodésique : valeur d'altitude établie à partir de bornes géodésiques. La borne géodésique de référence est située sur le quai du lac Saint-Alexis près de l'église.

L'estimation du taux annuel de sédimentation, à partir de la méthode exploratoire de sondage, a été effectuée en divisant la profondeur des sédiments meubles, 49 cm, par le nombre d'années passées en 2013 depuis la mise en eau du lac en 1948, soit depuis 65 ans. Le taux annuel moyen de sédimentation estimé au lac Saint-Alexis à partir de la méthode exploratoire de sondage est de **0,75 cm/an**, soit entre 0,43 cm/an et 1,12 cm/an en tenant compte de l'épaisseur minimale des sédiments obtenue au point n° 2 et de l'épaisseur maximale obtenue au point n° 4 (tableau 2).

[†] Test non paramétrique de comparaison des moyennes en raison d'un faible effectif, seulement six points mesurés ($n = 6$).



ANALYSES SÉDIMENTOLOGIQUES - 2014

Un plan d'eau reçoit des apports liquides et des apports solides de son bassin versant, et la plupart des sédiments s'accumulent sur le fond. Puisque tous les phénomènes hydrologiques sont, dans une certaine mesure, interdépendants, les sédiments témoignent des conditions physiques, chimiques et climatiques qui règnent dans le bassin versant. Toute modification importante de ces conditions laissera sa trace dans le dépôt solide accumulé au fond du lac. Si on parvient à identifier et à dater ces modifications en prélevant des carottes de sédiment au fond du plan d'eau, on peut calculer le taux de sédimentation. Des traceurs naturels de divers types (granulométriques, chimiques, biologiques) peuvent être utilisés pour calculer les taux de sédimentation, sur des périodes allant d'une décennie à plusieurs milliers d'années (Winter et Wright, 1977 dans Jobson, 1986). L'analyse granulométrique des sédiments prélevés à partir de carottes de sédiments a été privilégiée dans cette étude. Cette avenue a été préconisée, car moins coûteuse que l'approche de datation à partir d'analyses isotopiques, Césium - 137 (^{137}Cs) ou Plomb -210 (^{210}Pb), ou d'analyses de restes biologiques (ex. : diatomées, kystes) et parce que la période de perturbation de la dynamique sédimentaire depuis la mise en place du barrage sur la rivière Sacacomie afin de créer un lac artificiel, le lac Saint-Alexis, était connue.

L'analyse des sédiments contenus dans les carottes aux différentes profondeurs a donc permis d'identifier les charges d'origine fluviale (charges provenant de l'érosion dans le bassin versant) et d'origine lacustre (charges en matière organique provenant de la décomposition des organismes vivants, tels les algues et les végétaux aquatiques) responsables de l'accumulation sédimentaire en milieu lacustre.

Méthode paléolimnologique : carottes de sédiments - 2014

Les prélèvements carottés fournissent des échantillons de sédiments à partir desquels il est possible de situer l'interface entre le dépôt d'origine et les sédiments accumulés (Jobson, 1986). Dans le cas de lacs artificiels, tel le lac Saint-Alexis, il suffit de mesurer l'épaisseur des sédiments accumulés depuis la mise en place de la retenue (barrage). Il faut cependant connaître la date de construction du barrage, soit 1948 pour le lac Saint-Alexis.

En 2014 (le 3 juillet), des carottages ont été effectués à partir d'une embarcation dans trois zones du lac Saint-Alexis : les zones n° 1, n° 3 et n° 5 (carte, annexe 1). Trois carottes de sédiments ont donc été prélevées, soit une carotte par zone, aux endroits les plus profonds, mais en dehors de l'ancien lit de la rivière Sacacomie qui est encore apparent au fond du lac. L'écoulement préférentiel de l'eau dans l'ancien lit de la rivière Sacacomie (chenaux dans le fond du lac) risquait de biaiser l'estimation du taux de sédimentation, car ce sont des secteurs d'enlèvement potentiel des sédiments plutôt que



des secteurs de dépôts sédimentaires. La carotteuse utilisée permet de prélever des carottes de 2 pouces de diamètre (5,08 cm), d'une longueur de 48 pouces (1,219 m) ou de 96 pouces (2,438 m).

L'analyse des carottes de sédiments en laboratoire – L'analyse granulométrique des profils de sédiments a été effectuée pour les sous-échantillons de sédiments de la carotte correspondant à différentes profondeurs, soit aux 4 cm (tableau 3). Ces sous-échantillons ont été préalablement séchés et digérés à l'aide de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) afin d'éliminer la matière organique présente.

Tableau 3 : Profondeur des sous-échantillons des carottes de sédiments des zones 3 et 5 échantillonnées au lac Saint-Alexis en 2014

Zone 5	Profondeur	Zone 3	Profondeur
CA3a	0-4 cm	CA1a	0-4 cm
CA3b	4-8 cm	CA1b	4-8 cm
CA3c	8-12 cm	CA1c	8-12 cm
CA3d	12-16 cm	CA1d	12-16 cm
CA3e	16-20 cm	CA1e	16-20 cm
CA3f	20-24 cm	CA1f	20-24 cm
CA3g	24-28 cm	CA1g	24-28 cm
CA3h	28-32 cm	CA1h	28-32 cm
CA3i	32-36 cm	CA1i	32-36 cm
CA3j	36-40 cm	CA1j	36-40 cm
CA3k	40-44 cm	CA1k	40-44 cm
CA3l	44-48 cm	CA1l	44-48 cm
CA3m	48-52 cm	CA1m	48-52 cm
CA3n	52-56 cm	CA1n	52-56 cm
CA3o	56-60 cm		
CA3p	60-64 cm		

Note : L'échantillonnage de la carotte de la zone 1 du lac Saint-Alexis(en aval, carte, annexe 1), à partir d'une embarcation, n'a pu être réalisé en raison de la profondeur trop importante de cette zone. La carotte a plutôt été prélevée en zone littorale et la profondeur correspondant à l'interface entre les dépôts fluviaux et lacustres n'a pu être atteinte. Cette carotte a donc été éliminée de nos analyses.

Par la suite, les différents sous-échantillons de sédiments des deux carottes échantillonnées ont été analysés à l'aide d'une technique de granulométrie laser au Laboratoire d'analyse en écologie aquatique et sédimentologie de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Le Système canadien de classification des sols (1987) a été utilisé pour



distinguer les différentes classes granulométriques des différents sous-échantillons de carottes de sédiments (tableau 4).

Tableau 4 : Classification granulométrique des sédiments à partir du Système canadien de classification des sols (CEPPAC, 1987).

Granulométrie (classes)	Diamètres particules
Argile	2 µm
Limon	50 µm
Sable très fin	100 µm
Sable fin	250 µm
Sable moyen	500 µm
Sable grossier	1000 µm
Sable très grossier	2000 µm
Matière organique	Digestible (H ₂ O ₂)

Les carottes de sédiments ont donc permis d'estimer l'épaisseur des sédiments depuis la mise en place du barrage du lac Saint-Alexis à partir des dépôts fluviaux d'origine (avant la construction du barrage en 1948) constitués de sédiments plus grossiers (sable). Les dépôts sédimentaires accumulés depuis la mise en place du barrage en 1948 jusqu'en 2014 sont caractérisés par des sédiments lacustres plus fins (limons) et par la présence de matière organique accumulée provenant de la décomposition de matériel biologique aquatique d'origine lacustre (figure 1).



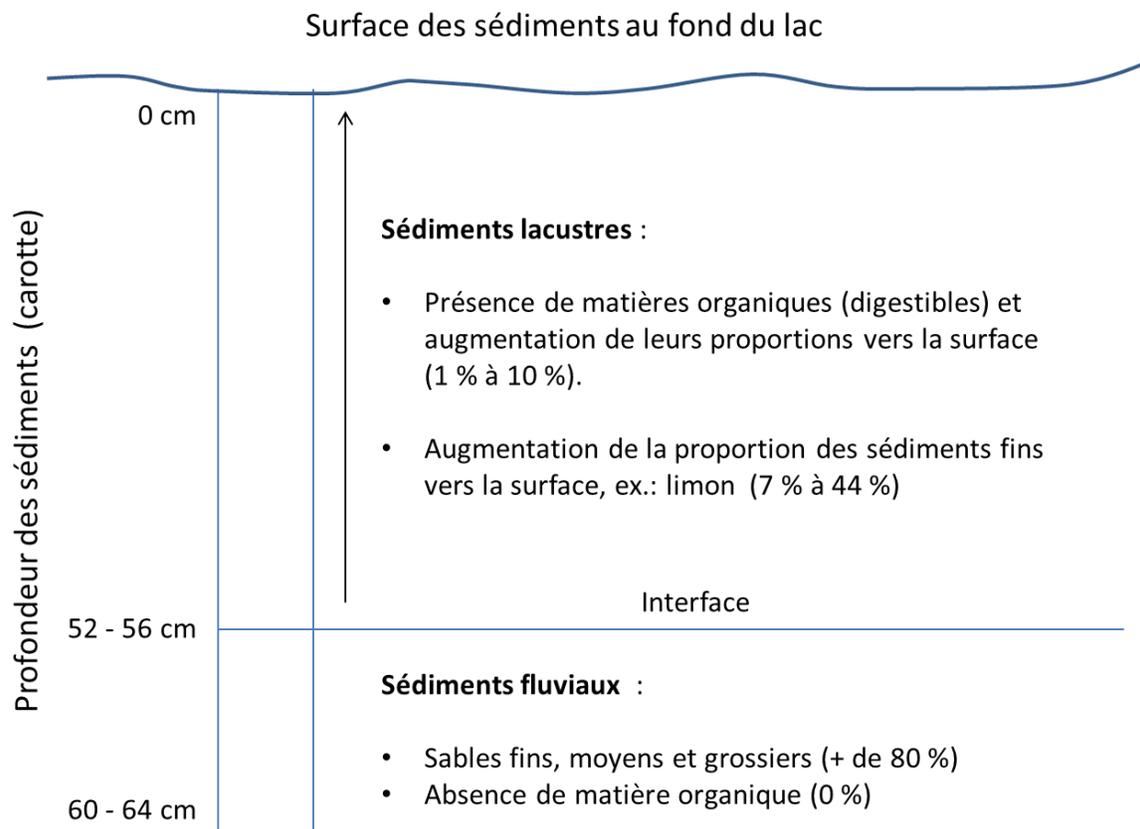


Figure 1 : Schéma de l'historique sédimentologique du lac Saint-Alexis avant et après la mise en place du barrage en 1948. Exemple de la zone 5 en amont, interface des sédiments lacustres et fluviaux = 52 à 56 cm de profondeur des sédiments.



Résultats : analyses sédimentologiques - 2014

Secteur amont, zone 5

L'analyse granulométrique des sous-échantillons des sédiments prélevés dans la zone 5 située en amont (carte, annexe 1) a permis de déterminer l'interface entre les sédiments d'origine fluviale (avant la mise en place du barrage du lac Saint-Alexis) et d'origine lacustre résultant de la création du lac artificiel en 1948. L'interface entre les sédiments lacustres et fluviaux qui correspond à la période de mise en place du barrage se situe à une profondeur approximative de 52 cm \pm 2 cm. La composition granulométrique des sédiments située en dessous de cette profondeur (interface) est dominée par les sables fins, moyens et grossiers (entre 88 % et 93 %) et par l'absence de matières organiques et d'argiles (figure 2). Ces sédiments dominés par les sables sont typiques des sédiments fluviaux provenant de l'érosion des sols en amont dans le bassin versant. Le bassin versant de la rivière Sacacomie, principal tributaire alimentant le lac Saint-Alexis, est d'ailleurs caractérisé par des sols sableux et des dépôts de surface de type fluviaux et morainiques (OBVRLY, 2013).

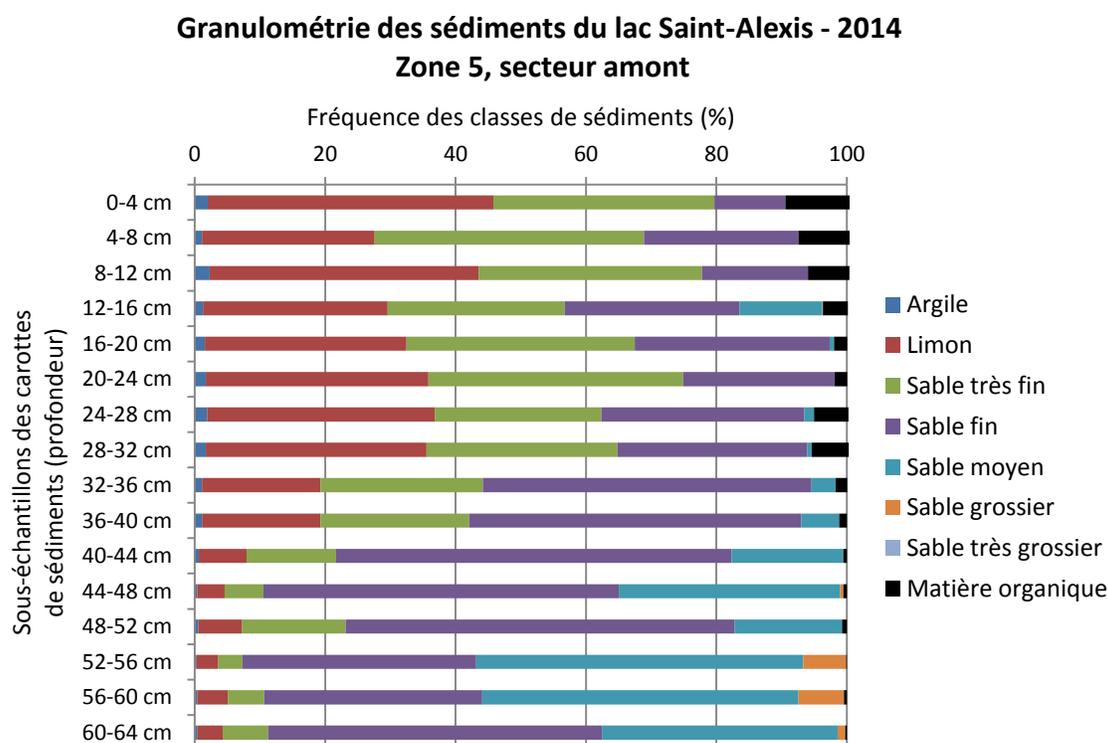


Figure 2 : Granulométrie des sédiments du lac Saint-Alexis obtenue à partir de l'analyse d'une carotte de sédiments prélevée en 2014 dans la zone 5, secteur amont.

La composition granulométrique des sédiments situés au-dessus de 52 cm de profondeur (interface) est plutôt dominée par des sables très fins à moyens et par la présence de limons, dont la proportion augmente vers la surface (figure 2). De plus, les



sédiments au-dessus de cette interface sont caractérisés par la présence de matières organiques et d'argiles, sédiments typiques des milieux lacustres.

Secteur centre, zone 3

L'analyse granulométrique des sous-échantillons des sédiments prélevés dans la zone 3 située au centre du lac Saint-Alexis (carte, annexe 1) a permis de déterminer l'interface entre les sédiments d'origine fluviale et d'origine lacustre résultant de la création du lac artificiel en 1948. L'interface entre les sédiments lacustres et fluviaux qui correspond à la période de mise en place du barrage se situe aussi à une profondeur approximative de 52 cm, comme pour la carotte prélevée dans la zone 5 située en amont du lac.

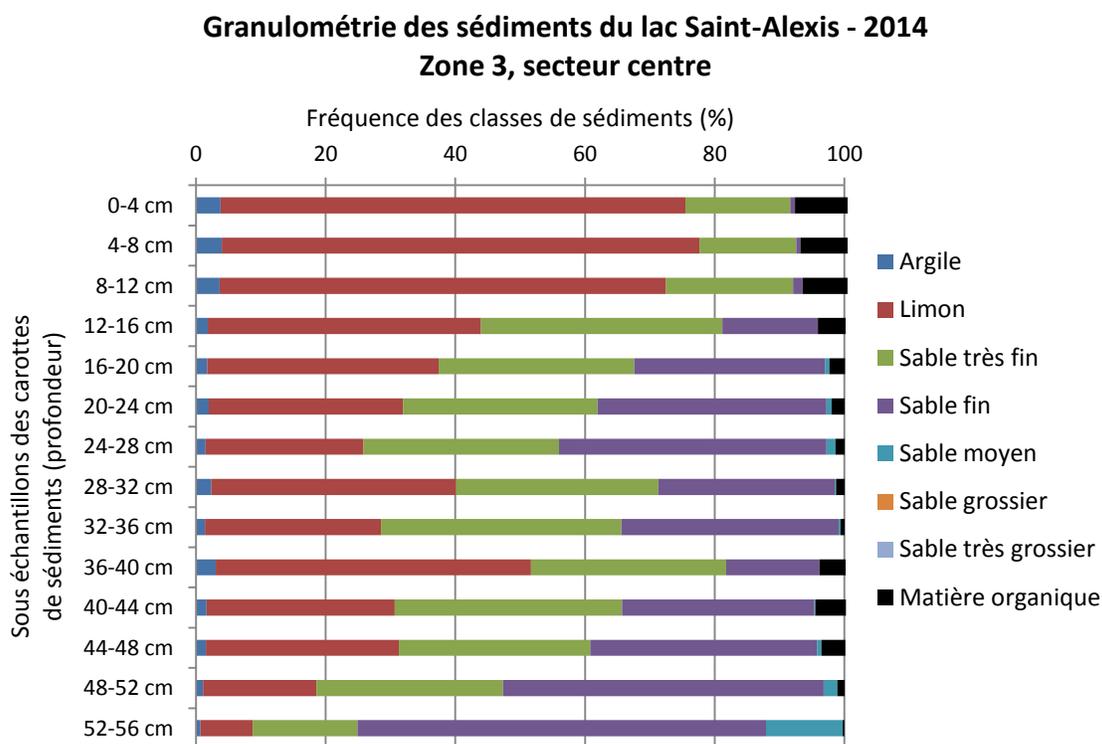


Figure 3 : Granulométrie des sédiments du lac Saint-Alexis obtenue à partir de l'analyse d'une carotte de sédiments prélevée en 2014 dans la zone 3, secteur centre.

La composition granulométrique des sédiments situés en dessous de cette profondeur (interface, 52 cm) est dominée par les sables fins et moyens (75 %) et par l'absence de matières organiques (figure 3). Ces sédiments dominés par les sables sont typiques des sédiments fluviaux provenant de l'érosion des sols en amont dans le bassin versant. La profondeur de l'eau qui était plus importante dans cette zone située au centre du lac et le carottage qui a été effectué à partir d'une embarcation explique que la profondeur



maximale de la carotte obtenue dans le secteur amont du lac (zone 5), qui était de 64 cm (figure 3), n'ait pas été atteinte au centre du lac (zone 3). C'est ce qui peut en partie expliquer que l'on ne retrouve pas de sables grossiers dans les dépôts sédimentaires d'origines fluviales en dessous de 52 cm de profondeur pour cette carotte prélevée au centre du lac (zone 3).

La composition granulométrique des sédiments situés au-dessus de 52 cm de profondeur (interface) est aussi dominée par des sables très fins à moyens et par la présence de limons, dont la proportion augmente vers la surface (figure 3). Comme pour la carotte échantillonnée en amont du lac (zone 5), on retrouve dans les sédiments au-dessus de cette interface des matières organiques et des argiles, sédiments typiques des milieux lacustres.

Deux processus expliquent les différences observées entre les sédiments lacustres et fluviaux présents dans les différentes strates sédimentaires au fond du lac Saint-Alexis :

1- Dynamique sédimentaire fluviale : Le processus de sédimentation fait partie des processus liés à la charge sédimentaire des cours d'eau. Cette dernière comprend les phénomènes d'érosion, de transport des particules et de sédimentation. Le transport, l'érosion et la sédimentation des particules sont déterminés par la vitesse du courant et le diamètre des particules. Le diagramme proposé par Hjulström (1935) montre qu'une vitesse élevée du courant provoque de l'érosion et permet le transport de particules de fort diamètre (sables, graviers) tandis qu'une faible vitesse de courant permet le dépôt des particules plus fines (argiles, limons).

Avant la mise en place, en 1948, du barrage qui a été érigé sur la rivière Sacacomie afin de créer le lac Saint-Alexis, un lac artificiel, la dynamique sédimentaire était plutôt d'origine fluviale. Les sédiments, surtout sableux, étaient transportés de l'amont du bassin versant de ce cours d'eau jusqu'à la rivière du Loup un peu plus en aval de l'actuel barrage du lac Saint-Alexis, pour s'y déposer ou y être emportés. C'est ce qui explique que les sédiments fluviaux sableux ont été retrouvés sous les 52 cm dans les deux carottes échantillonnées.

Après la construction du barrage, le lac Saint-Alexis présentait des conditions plutôt lacustres qui avaient pour effet de ralentir les vitesses de courant lorsque les eaux de la rivière Sacacomie se jetaient dans le lac. Ce ralentissement de courant a permis progressivement le dépôt de sédiments de plus faibles diamètres au fond du lac, tels les limons retrouvés dans les sédiments au-dessus des 52 cm.

2- Productivité biologique lacustre : Les lacs sont généralement caractérisés par de faibles vitesses de courant, lorsque comparés aux cours d'eau. Ces faibles vitesses de courant, les apports en nutriments (ex. : phosphore), le faible renouvellement du volume d'eau du lac combiné au réchauffement de l'eau favorisent la productivité biologique des lacs (algues phytoplanctoniques, macrophytes, invertébrés). Sous nos latitudes, le cycle



des saisons conduit à l'accumulation de matières organiques issue de la décomposition de matériel biologique à l'automne.

La construction du barrage en 1948 a conduit à la formation d'un lac artificiel de faible profondeur (le lac Saint-Alexis) avec une profondeur maximale de 4,1 mètres et une profondeur moyenne de 1,57 mètre (voir carte bathymétrique à l'annexe 2). Ces conditions ont favorisé la prolifération de végétaux aquatiques (voir Boissonneault, 2011b) qui contribue à l'accumulation progressive de matière organique depuis sa création. La productivité biologique typique des milieux lacustres explique que la présence de matières organiques soit présente dans les sédiments au fond du lac au-dessus de 52 cm de profondeur.

Estimation du taux annuel de sédimentation

L'estimation du taux annuel de sédimentation depuis la création du lac Saint-Alexis en 1948 a été effectuée en divisant la profondeur des sédiments lacustres jusqu'à l'interface (lacustre/fluviatile), 52 cm, par le nombre d'années passées en 2014 depuis sa création en 1948, soit depuis 66 ans.

Voici les détails des calculs :

Interface sédiments lacustres/fluviatiles mesurée = 52 cm

$$52 \text{ cm} \div 66 \text{ ans} = 0,79 \text{ cm/an}$$

Interface sédiments lacustres/fluviatiles corrigée à la baisse de 2 cm = 50 cm

$$50 \text{ cm} \div 66 \text{ ans} = 0,76 \text{ cm/an}$$

Interface sédiments lacustres/fluviatiles corrigée à la hausse de 2 cm = 54 cm

$$54 \text{ cm} \div 66 \text{ ans} = 0,82 \text{ cm/an}$$

Ainsi, le taux annuel de sédimentation estimé au lac Saint-Alexis à partir de l'analyse granulométrique des sédiments est de **0,79 cm/an** \pm 0,03 cm/an (entre 0,76 cm/an et 0,82 cm/an), en tenant compte de l'erreur provenant des sous-échantillons des carottes de sédiments qui ont été prélevés aux quatre centimètres plutôt qu'à tous les centimètres.



SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DES TROIS MÉTHODES D'ESTIMATION DU TAUX DE SÉDIMENTATION

Afin d'obtenir une estimation du taux annuel de sédimentation du lac Saint-Alexis depuis sa création par l'érection d'un barrage en 1948, trois méthodes distinctes ont été utilisées afin de tenir compte des limites de chacune d'elle.

La méthode bathymétrique (comparaison des courbes de niveau en 2013 et 2014) a permis d'estimer un taux annuel moyen de sédimentation qui était de 1,20 cm par an (tableau 5). Par contre, cette méthode présente des limites lorsque des données bathymétriques historiques ne sont pas disponibles. Pour quatre des cinq zones étudiées en 2013 et 2014, les tests statistiques ont révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les profondeurs moyennes mesurées pour une période d'un an. Ces tests statistiques révèlent qu'il n'y avait pas d'accumulation sédimentaire au lac Saint-Alexis détectable à partir de la méthode bathymétrique pour une période d'un an, en raison des limites de la précision des appareils de mesure.

Tableau 5 : Taux annuels de sédimentation estimés au lac Saint-Alexis obtenus à l'aide de trois méthodes de mesures distinctes en 2013 et 2014

Méthodes	Taux annuels de sédimentation estimés
Bathymétrie, comparaison des courbes de niveau en 2013 et 2014	1,20 cm/an*
Sondage (arpentage) en 2013	0,75 cm/an
Analyses sédimentologiques (carottes) en 2014	0,79 cm/an

* Différences non significatives entre les profondeurs moyennes mesurées à l'aide de la méthode bathymétrique en 2013 et 2014.

Le taux annuel de sédimentation estimé au lac Saint-Alexis à partir de la méthode exploratoire de sondage est de 0,75 cm/an (tableau 5). Les analyses statistiques démontrent que cette méthode était appropriée, car il y avait une différence significative entre les mesures de la surface des sédiments meubles et le fond dur. Cependant, un nombre plus important de mesures (plus de 30 mesures) aurait permis d'obtenir plus de robustesse dans l'estimation du taux annuel de sédimentation à partir de la méthode de sondage.

Le taux annuel de sédimentation estimé au lac Saint-Alexis à partir de la méthode sédimentologique (carottage) est de 0,79 cm/an (tableau 5). Cette méthode a permis de caractériser les dépôts sédimentaires accumulés depuis la mise en place du barrage en



1948 jusqu'en 2014. Ces derniers sont caractérisés par des sédiments lacustres plus fins (limons) et par la présence de matière organique accumulée provenant de la décomposition de matériel biologique aquatique d'origine lacustre. Puisque la période de perturbation de la dynamique sédimentaire du lac Saint-Alexis était connue depuis la mise en place du barrage sur la rivière Sacacomie, cette méthode était adéquate pour estimer le taux annuel de sédimentation du lac Saint-Alexis.

En ne considérant pas la méthode bathymétrique, car l'étude a révélé qu'elle présentait des limites, les deux méthodes (sondage et sédimentologique) présentent des taux annuels de sédimentation estimés similaires avec une différence entre les deux méthodes de seulement 0,04 cm (0,4 mm).

Estimation du volume de sédiments accumulés en 2014

À partir des estimations du taux annuel de sédimentation obtenues à partir de la méthode sédimentologique (carottes) présentée dans ce document, il a été possible d'estimer le volume de sédiments accumulés au lac Saint-Alexis depuis la mise en place du barrage en 1948 (tableau 6).

Tableau 6 : Calculs du volume de sédiments accumulés au lac Saint-Alexis obtenus à partir de l'estimation du taux de sédimentation avec la méthode sédimentologique (carottes) en 2014.

Superficie du lac Saint-Alexis	250 000 m ² (0,25 km ²)
Calcul du volume de sédiments accumulés depuis la construction du barrage en 1948	
Accumulation de sédiments (épaisseur)	0,52 m (52 cm)
Volume accumulé entre 1948 et 2014 (66 ans)	130 000 m ³
Équivalent– nombre de camions à benne (10 roues*)	8 667 camions
Calcul du volume de sédiments accumulés annuellement	
Accumulation annuelle de sédiments (épaisseur)	0,0079 m/an (0,79 cm/an)
Volume accumulé annuellement	1975 m ³ /an
Équivalent– nombre de camions à benne (10 roues*)	131 camions/an

* Le volume de transport d'un camion à benne (10 roues) est de 15 m³ approximativement.

Une accumulation moyenne de sédiments de 52 cm a été estimée depuis la création du lac Saint-Alexis par la construction du barrage en 1948. Le volume de sédiments accumulés entre 1948 et 2014 correspond à 130 000 m³, l'équivalent de plus de 8 000 camions à benne (10 roues) et correspondant à plus du quart (28 %) du volume d'eau d'origine du lac Saint-Alexis. Le volume de sédiments accumulés annuellement correspond à 1 975 m³, soit l'équivalent de 131 camions à benne (10 roues) par an, selon les estimations.



DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Les deux méthodes retenues (sondage et carottage) ont permis d'estimer le taux annuel moyen de sédimentation du lac Saint-Alexis depuis sa création en 1948, taux qui étaient de 0,79 cm/an (carottage) et de 0,75 cm/an (sondage). La différence obtenue pour les taux annuels de sédimentation entre ces deux méthodes était de seulement 0,04 cm/an (0,4 mm/an). Ces taux annuels de sédimentation au lac Saint-Alexis semblent bien représenter les taux réels, car plusieurs études semblables réalisées au Québec et en France présentent des taux annuels de sédimentation qui se rapprochent des taux de sédimentation estimés au lac Saint-Alexis dans le cadre de cette étude. Par exemple, Pelletier et Lepage (2002) ont observé au lac Saint-François (lac fluvial du fleuve Saint-Laurent) des taux annuels de sédimentation qui variaient de 0,2 cm à 1,9 cm. Maleval et Jigorel (2002) ont observé au lac de Saint-Pardoux (lac artificiel en France) des taux annuels de sédimentation qui fluctuaient de 0,9 cm en amont à 0,3 cm en aval. Plus près dans la région, l'étude de Bondues et coll. (2006) démontre par la datation des sédiments du delta de la rivière Yamachiche, dans le lac Saint-Pierre, des taux d'accumulation sédimentaire moyens compris entre 0,5 et 1,5 cm/an.

Les taux d'accumulation sédimentaire estimés au lac Saint-Alexis se situent à l'intérieur des valeurs observées pour d'autres études similaires, ce qui permet de valider la représentativité des méthodes utilisées dans cette étude. Cependant, les études citées au paragraphe précédent ont été réalisées pour des lacs dont la superficie des bassins versants est beaucoup plus importante que pour le bassin versant du lac Saint-Alexis (ex. : fleuve Saint-Laurent pour le lac Saint-François, rivière Yamachiche pour son delta au lac Saint-Pierre). Les apports sédimentaires provenant des bassins versants des lacs des études cités sont présumés plus importants en raison de leurs superficies plus importantes. À partir de ce constat, le taux annuel de sédimentation observé au lac Saint-Alexis peut être considéré comme étant important.

Origine des apports sédimentaires au lac Saint-Alexis

Les analyses granulométriques ont permis de constater que la composition des sédiments lacustres (accumulé depuis la création du lac en 1948) était principalement composée à la fois de sables, de limons et de matières organiques.

Les apports en sédiments sableux (origine fluviale) proviendraient du bassin versant de la rivière Sacacomie, des processus naturels et anthropiques d'érosion qui ont lieu dans son bassin versant en amont. À ce sujet, il est probable que depuis quelques années et dans le futur, le taux d'accumulation sédimentaire d'origine fluviale augmente au fur et à mesure du développement urbain et de la villégiature qui a lieu dans le bassin versant de la rivière Sacacomie. D'ailleurs, une étude effectuée en 2013 (Boissonneault et Brien, 2014) dans le bassin versant du lac Saint-Alexis a permis d'identifier les problématiques



d'érosion en amont près de la rivière Sacacomie et dans le secteur urbanisé autour du lac Saint-Alexis. On mentionne dans cette étude : « La présence de nombreux chemins et entrées de résidences gravelés où des problématiques de ruissellement de surface ont été identifiées à proximité de la rivière Sacacomie et du lac Saint-Alexis (dont la route du Moulin) semble être en cause pour une partie des apports sédimentaires qui atteignent le lac Saint-Alexis. La présence de nombreux ponceaux très et moyennement détériorés (29 % des 114 ponceaux caractérisés) contribue aussi aux apports sédimentaires qui peuvent atteindre la rivière Sacacomie et le lac Saint-Alexis. Les pentes du bassin versant sont relativement abruptes dans ce secteur. Or, lors de la fonte des neiges ou de fortes précipitations, ces pentes fortes favorisent l'accélération de la vitesse de l'eau qui s'écoule et entraînent l'arrachement des particules de sol et le transport des sédiments vers le point le plus bas du secteur : la rivière Sacacomie et le lac Saint-Alexis ».

Les analyses ont aussi permis de constater que, vers la surface, la composition granulométrique des sédiments présentait une augmentation des matières organiques et des limons, et une diminution des sédiments sableux. Les conditions lacustres qui se sont établies progressivement au lac Saint-Alexis depuis sa mise en eau en 1948 et la faible profondeur du lac ont contribué à l'augmentation de la productivité biologique du lac, caractérisée par la présence importante de plantes aquatiques et d'algues sur l'ensemble de la superficie du lac. Une étude réalisée en 2011 (Boissonneault 2011b) au lac Saint-Alexis et qui portait sur l'inventaire des plantes aquatiques et des algues (macrophytes) a permis de constater que « le recouvrement moyen de la zone littorale du lac Saint-Alexis par les macrophytes était de 69 % en 2011, ce qui traduit une abondance importante des végétaux aquatiques. Par ailleurs, plus de la moitié de la superficie totale de la zone littorale du lac Saint-Alexis affichait entre 76 et 100 % de recouvrement par les macrophytes ». La montée progressive du fond du lac causée par l'accumulation sédimentaire combinée aux apports en nutriments (ex. : phosphore) a graduellement permis l'implantation des communautés de végétaux aquatiques. Ceci est corroboré par les différents témoignages de riverains recueillis lors des différentes études réalisées depuis 2011. Les riverains du lac Saint-Alexis, pour certains présents depuis plus de 25 ans, affirment tous que la dégradation et la perte d'usages (ex. : baignade, etc.) du lac Saint-Alexis causées par l'envasement et l'ensablement du fond du lac et la présence importante de plantes aquatiques gagnent en importance depuis plusieurs années. Rappelons que les apports en nutriments, le faible renouvellement du volume d'eau du lac combiné au réchauffement de l'eau favorisent la productivité biologique des lacs (algues phytoplanctoniques et macrophytes) et qu'à nos latitudes, le cycle des saisons conduit à l'accumulation de matières organiques issue de la décomposition de matériel biologique à l'automne.

Il est à retenir que l'estimation du taux de sédimentation du lac Saint-Alexis a permis de déterminer que le volume de sédiments accumulés entre 1948 et 2014, depuis 66 ans, correspond à plus du quart (28 %) du volume d'origine du lac Saint-Alexis.



Limites et perspectives

D'abord, cette étude conduit au constat que l'approche bathymétrique pour évaluer le taux de sédimentation du lac Saint-Alexis était inappropriée en l'absence de données bathymétriques historiques, de référence. Les tests statistiques ont révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les profondeurs moyennes mesurées pour une période d'un an. Cependant, les mesures bathymétriques réalisées dans le cadre de cette étude pourront servir de références dans plusieurs années afin d'évaluer l'accumulation sédimentaire dans le futur. Il suffira de reprendre des mesures bathymétriques et de les comparer aux mesures effectuées dans le cadre de cette étude.

La méthode des sondages exploratoires réalisés à l'aide des techniques d'arpentage a été utilisée pour seulement six points de mesures. Bien que cette méthode exploratoire présente des résultats très similaires, lorsque comparée aux résultats obtenus à partir de la méthode de carottage, un nombre plus élevé (plus de 30 points) de mesures permettrait de vérifier la robustesse de la méthode des sondages pour estimer les taux d'accumulation sédimentaire.

La méthode sédimentologique, de carottage (analyse granulométrique des profils de sédiments), est la plus adéquate des trois méthodes utilisées pour estimer le taux de sédimentation du lac Saint-Alexis, puisque l'historique de la mise en eau de ce lac artificiel était connu. Par contre, l'utilisation de techniques de datation des sédiments plus coûteuses, par exemple la datation à partir d'analyses isotopiques (Césium - 137 ou Plomb - 210) ou à partir d'analyses de restes biologiques (ex. : diatomées, kystes zooplanctoniques, etc.), aurait permis d'établir avec plus de précision la profondeur des sédiments correspondant à la période de mise en eau du lac Saint-Alexis lors de sa création.



RÉFÉRENCES

- BOISSONNEAULT, Y., 2011a. *Évaluation des symptômes d'eutrophisation (phase 2) du lac Saint-Alexis - 2010, municipalité de Saint-Alexis-des-Monts*, Rapport réalisé pour l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, 48 pages et 2 annexes.
- BOISSONNEAULT, Y., 2011 b. *Caractérisation du littoral du lac Saint-Alexis – 2011, municipalité de Saint-Alexis-des-Monts*, rapport réalisé pour l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, 28 pages et 1 annexe.
- BOISSONNEAULT, Y. et M. BRIEN, 2014. *Détermination des causes de perturbation du bassin versant du lac Saint-Alexis - 2013*, rapport réalisé pour l'Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, 29 pages et 3 annexes.
- BONDUES, V., BOYER, C., LAMOTHE, M., ROY, G. A. et B. GHALEB, 2006. *Évolution récente du delta de la Yamachiche (Québec) : Processus naturels et impacts anthropiques*. Géographie physique et Quaternaire, vol. 60, n°3, p. 289-306.
- CEHQ. 2003. *Répertoire des barrages*. Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), [en ligne]. [<http://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages>] [consulté le 30 juillet 2013].
- COMITÉ D'EXPERTS SUR LA PROSPECTION PÉDOLOGIQUE D'AGRICULTURE CANADA (CEPPAC), 1987. *Le système canadien de classification des sols, 2^e édition*. Direction générale de la recherche, Ministère de l'Agriculture du Canada. Publication 1646. Ottawa (ON). 170p.
- HJULSTROM, F. 1935. *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris*. Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala, 25, 221-527.
- JOBSON, E.H., 1986. *Mesures in situ, chapitre 3* (pages 45 à 62), U.S. Geological Survey, Mississipi, U.S.A. dans : *Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs*. Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI – II Project, A.2.6.1 Panel. UNESCO, Paris, janvier 1986, 221 pages et 1 annexe.
- MALEVAL, V. et A. JIGOREL. 2002. *La sédimentation dans un lac artificiel. Exemple du lac de Saint-Pardoux, massif d'Ambazac, Limousin, France / Sedimentation in an artificial lake at Saint-Pardoux, massif d'Ambazac (Limousin, France)*. Géomorphologie : relief, processus, environnement. Octobre-décembre, vol. 8, n°4. pp. 307-319.



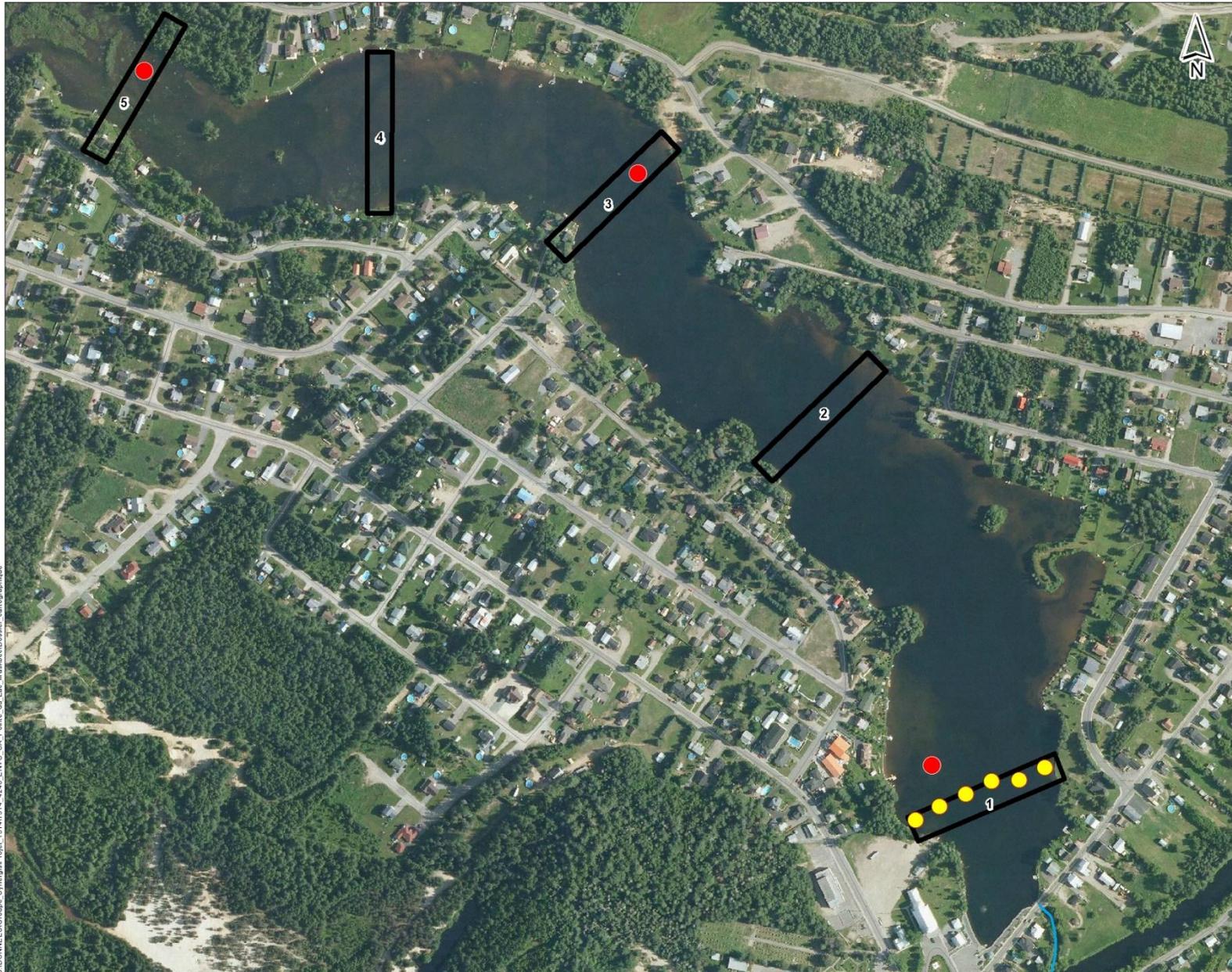
OBVRLY, 2013. *Plan directeur de l'eau des bassins versants de la zone du Loup-Yamachiche (Mauricie)*, Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche (OBVRLY), Yamachiche, 455 pages et 7 annexes.

PELLETIER, M. et S. LEPAGE. 2002. *Évolution spatiale et temporelle des processus sédimentaires et de la géochimie des sédiments du lac Saint-François au 20e siècle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-225, 150 pages.



ANNEXE 1 : PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE, 2013-2014



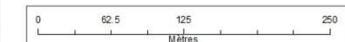


PLAN
D'ÉCHANTILLONNAGE
DE L'ÉTUDE
SÉDIMENTOLOGIQUE
DU LAC SAINT-ALEXIS

ANNÉE 2013/2014

Municipalité
SAINT-ALEXIS-DES-MONTS

- Points de sondage (arpentage), 2013
- Échantillons de sédiments (carottes), 2014
- Zone de relevés bathymétriques plus précis (4m), 2013-2014



No. de projet 1314-4068 Vérifié par Yann Boissonneault	Centroïde de la carte X: 331 839 Y: 5 147 639 Projection MTM 8, Nad83
Date 30 avril 2015 Réalisation Patrice Ferron	Source BDTQ 1:20 000 (MRNF) Cartes Illimités Canada Image - CRE Maurice, 2009



5582, boulevard des Hêtres
Shawinigan, Québec, G9N 4W1
Téléphone: 819 530-0513
www.groupe-synergis.com

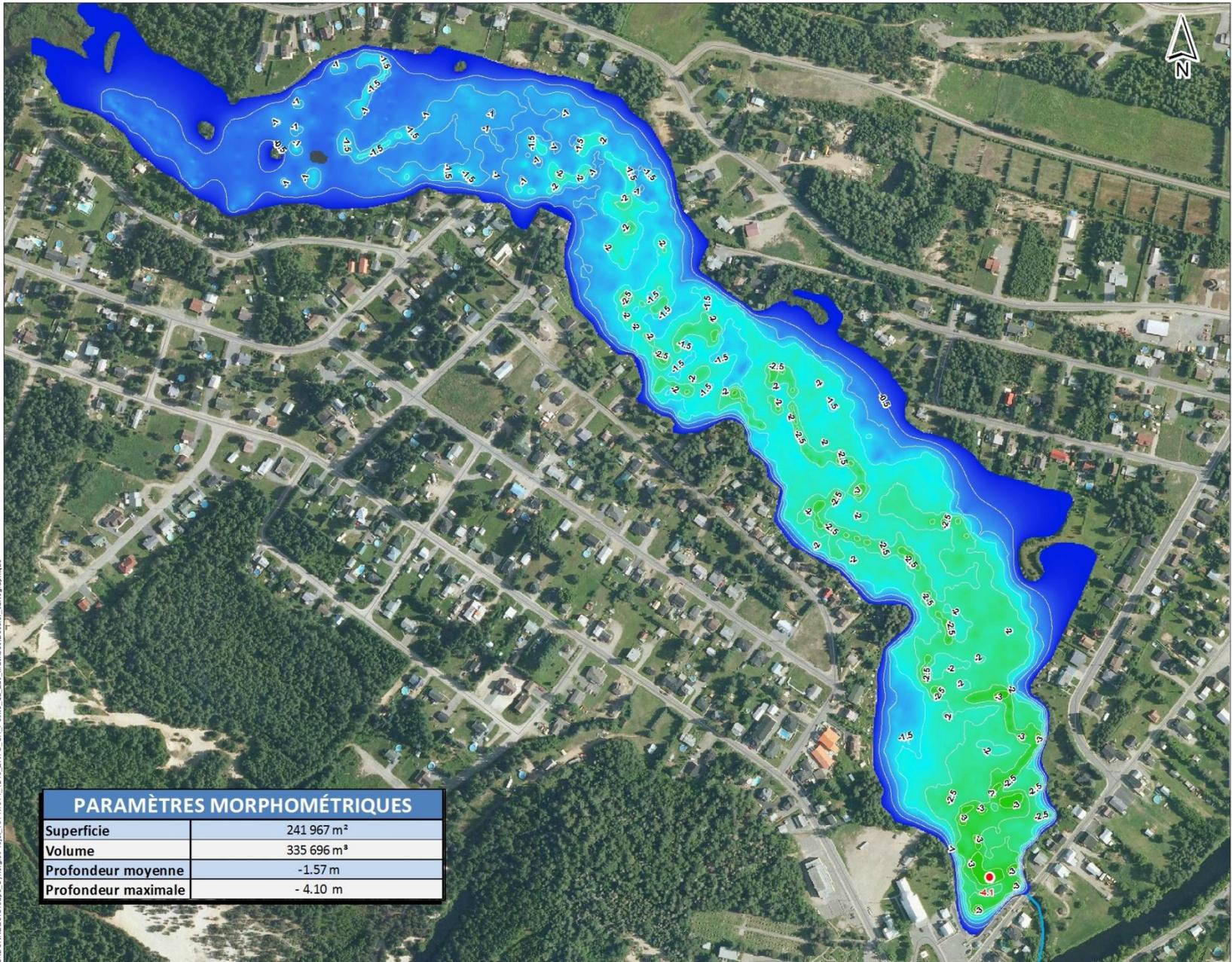
S:\DOSSIER\Groupe_Synergis\Projet_1314\1314_4248_ENVC_CA_Points du Lac_SaintAlexis\Cartier_cartographie



ANNEXE 2 : CARTE BATHYMÉTRIQUE DU LAC SAINT-ALEXIS - 2013



Dans le sens de l'eau !



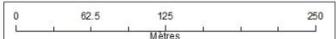
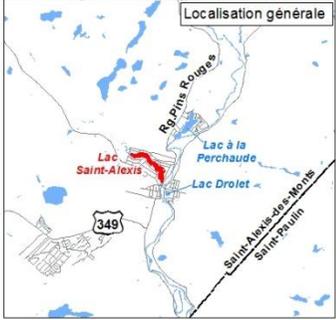
BATHYMÉTRIE DU LAC SAINT-ALEXIS

ANNÉE 2013

Municipalité
SAINT-ALEXIS-DES-MONTS

- Profondeur maximale (-4.1m)
 - Cours d'eau BDTQ*
 - Cours d'eau permanent
- Profondeur en mètre**
- Valeur**
- 0m
4.1m

*BDTQ : Données numériques provenant du MDDEP
**CIC : Données numériques provenant de Canards Illimités Canada



No. de projet 1314-4068 Vérifié par Yann Boissonneault	Centre de la carte X: 331 839 Y: 5 147 639 Projection MTM 8, Nad83
Date 30 avril 2015 Réalisation Patrice Ferron	Source BDTQ 1:20 000 (M.RNF) Canards Illimités Canada Image : CRE Maurice, 2009



5582, boulevard des Hêtres
Shawinigan, Québec, G9N 4W1
Téléphone: 819 536-0513
www.groupeSynergis.com

PARAMÈTRES MORPHOMÉTRIQUES	
Superficie	241 967 m ²
Volume	335 696 m ³
Profondeur moyenne	-1.57 m
Profondeur maximale	- 4.10 m

S:\DONNEES\Groupe_Synergis\Projet_1314\1314_4248_EN/C_CA_Porte_du_Lac_Masséet/Dossier_cartographique

Estimation du taux de sédimentation du lac Saint-Alexis, 2013-2014