

Lasalle|NHC N° réf.08000118

18 août 2016

RIO TINTO ALCAN

Programme des stabilisation des berges du lac Saint-Jean
100, St-Joseph, bureau 104
Alma (Québec)
G8B 7A6

Attention: **Mme Caroline Jollette**
Chargée de projet

Via email: Caroline.Jollette@riotinto.com

Objet : **Sommaires exécutifs du rapport R.0024, volumes 1 à 3**

Bonjour,

Tel que convenu, vous trouverez dans le présent document les sommaires exécutifs des trois premiers volumes du rapport d'étude R.0024 préparé par Lasalle|NHC dans le cadre de son mandat portant sur l'étude et la modélisation de l'érosion des berges du lac Saint-Jean. Le quatrième et dernier volume du rapport d'étude n'inclut pas de sommaire exécutif, celui-ci étant un recueil des rapports des sous-traitants ayant participé à l'étude :

- Le Clainche, Y. (2015). *Étude et modélisation de l'érosion des berges du lac Saint-Jean – Campagne automnale de mesure de vagues - Rapport de campagne*. Rapport d'Environnement Illimité réf. 2313 préparé pour Lasalle|NHC, pour le compte de Rio Tinto Alcan, janvier 2015.
- Ropars Y. (2015). *Érosion des berges du lac Saint-Jean – Étude des vents*. Rapport technique préparé par les Consultants Ropars pour Lasalle|NHC, pour le compte de Rio Tinto Alcan, mars 2015.
- Ropars Y. (2016). *Érosion des berges du lac Saint-Jean – Étude des tempêtes*. Rapport technique préparé par les Consultants Ropars pour Lasalle|NHC, pour le compte de Rio Tinto Alcan, février 2016.

Les sections 1 à 3 du présent document reprennent intégralement les sommaires exécutifs des volumes 1 à 3 du rapport d'étude .

1 VOLUME 1 – ÉTUDE D'ENSEMBLE - SOMMAIRE EXÉCUTIF

Rio Tinto Alcan procède actuellement à la réalisation de différentes études dans le but de poursuivre son Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ).

Dans ce contexte, Lasalle|NHC a procédé à l'étude et la modélisation de l'érosion des berges du lac Saint-Jean. Basée sur une analyse approfondie des données disponibles et l'utilisation de différents outils de modélisation de la suite logicielle MIKE, l'étude a permis de dresser un portrait complet des problématiques d'érosion affectant les huit principaux secteurs actuellement suivis par le PSBLSJ. Cette connaissance, et l'utilisation de modèles calibrés, a ensuite permis d'évaluer l'influence du mode de gestion du niveau d'eau du lac, l'impact potentiel des changements climatiques et l'efficacité de différents ouvrages sur les conditions érosives des plages.

Le rapport d'étude est divisé en quatre volumes. Le présent document constitue le volume principal de l'étude, avec une description détaillée des données, de la méthodologie et des modèles numériques mis en œuvre pour simuler les vagues et les niveaux d'eau du lac selon une approche bidimensionnelle, et les conditions érosives des plages de façon unidimensionnelle.

Deux secteurs présentant des composantes bidimensionnelles non-négligeables, l'embouchure de la rivière Belle-Rivière et le secteur de Pointe Langevin à Dolbeau-Mistassini, ont fait l'objet de travaux séparés, présentés dans les volumes 2 et 3 du rapport. Finalement, les rapports produits par les différents consultants ayant participé à l'étude sont regroupés dans un quatrième volume.

L'étude et la modélisation des berges du lac Saint-Jean a permis de dégager les conclusions principales suivantes :

Analyse des changements climatiques

L'augmentation future des températures de l'air prédite par la plupart des modèles climatiques aura pour effet de retarder la prise des glaces des lacs à l'automne et de devancer leur départ au printemps, augmentant ainsi la période d'eau libre et la durée pendant laquelle les berges seront exposées aux vagues de tempêtes.

Suivant ce raisonnement, la période d'eau libre, liée aux températures de l'air, a été choisie comme indicateur (ou proxy) pour quantifier l'impact des changements climatiques sur l'érosion des berges.

La comparaison des températures de l'air simulées par des modèles climatiques en conditions actuelles et futures a permis d'établir que la période d'eau libre serait allongée en moyenne de 17 jours à l'horizon 2035. Ce changement (ou delta) a été utilisé pour ajuster les séries temporelles des simulations de vagues en conditions futures.

Analyse des niveaux d'eau (surcotes et décotes)

L'analyse des niveaux d'eau historiques mesurés aux trois jauges de mesures du lac Saint-Jean a permis d'évaluer les gammes de surcotes et décotes dues aux vents actuellement observées sur le lac. Pour près

de 98% du temps, celles-ci sont de l'ordre de +/- 10 cm. Pour les tempêtes très fortes, les écarts de niveaux entre les trois jauges peuvent parfois atteindre des maximums de l'ordre de 25-30 cm, avec quelques rares extrêmes supérieurs à 40 cm.

Pour élargir l'étude des surcotes à l'ensemble du lac, un modèle numérique hydrodynamique a été mis en œuvre pour simuler le soulèvement de la masse d'eau sous différentes tempêtes de vents, historiques et synthétiques.

Cette analyse a d'abord permis de constater que, selon la direction des vents, les surcotes maximales ne sont pas forcément capturées par les mesures de niveau d'eau des trois jauges installées sur le lac.

Elle a également permis d'établir une nouvelle pondération des mesures de niveau pour calculer un niveau moyen reflétant mieux le niveau moyen réel du lac.

Modélisation des vagues

Un modèle numérique de simulation des vagues générées par le vent a été mis en œuvre pour simuler différents régimes de vagues sur le lac. Calibré sur des mesures effectuées à l'automne 2014, ce modèle a été utilisé pour simuler le régime actuel (1992-2014) et différents régimes futurs (2015-2037).

Le régime actuel a été simulé avec les données historiques des niveaux du lac, les données historiques de vents mesurées à la station météorologique de Mistook et les périodes d'eau libre déterminées à partir des températures de l'air historiques mesurées à la station météorologique de Roberval. En conditions futures, cinq scénarios de niveaux d'eau ont été testés, en maintenant les vents constants mais en modifiant les périodes d'eau libre par un delta de 17 jours.

Les changements apportés par les différents scénarios de gestion du niveau d'eau et l'allongement de la période d'eau libre ont par la suite été évalués en utilisant les différents régimes de vagues pour modéliser l'érosion des berges à long terme.

Analyse des problèmes d'érosion

La simulation de l'érosion des berges à l'aide de deux principaux modèles numériques a permis de mettre en évidence les mécanismes donnant lieu au développement de zones d'érosion problématiques, se traduisant par un recul important du trait de côte. L'analyse de l'évolution du trait de côte par transport longitudinal donne le portrait érosif à long terme (23 ans) alors que l'étude du transport transversal permet d'évaluer la réponse aux événements de tempêtes se produisant à court terme (72 heures).

Parmi les huit grands secteurs de plage, trois ont fait l'objet d'une étude détaillée d'interventions potentielles visant à contrôler l'érosion à long terme due aux gradients de transport longitudinal. Ces trois secteurs sont les sites spécifiques identifiés par Rio Tinto Alcan, soit Dolbeau-Mistassini, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et Saint-Henri-de-Taillon Nord. Les conclusions présentées ci-après rendent compte uniquement de la comparaison des variantes entre elles et de leur efficacité quant à corriger la problématique identifiée à chaque secteur :

- Dolbeau-Mistassini : les résultats montrent que la mise en place de champs d'épis dans les zones des bornes 40 et 100 permet de protéger les tronçons de plage en érosion. Parmi les variantes testées, la variante présentant des épis plus courts (45 à 60 m), mais plus nombreux et plus rapprochés, s'est révélée être la plus performante. Des simulations avec un rechargement sans épis dans ces deux secteurs montrent qu'il est possible de protéger localement la ligne de côte à long terme de cette façon. Cette avenue pourrait donc s'avérer moins coûteuse que la mise en place d'épis. Quant à la zone de la borne 60, les résultats montrent qu'à volume donné, un rechargement plus étalé offre de meilleures performances;
- Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, zone de la borne 3 : les résultats de simulation indiquent que les épis construits durant l'hiver 2014 dans la zone de la borne 3 permettent une protection de la plage en érosion. Le troisième épi contribue à réduire considérablement l'apport de sédiments vers l'embouchure de la rivière Belle-Rivière, auparavant soumise à un ensablement notable.
- Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, zone de la borne 19 : dans la zone de la borne 19, les variantes de rechargement suffiraient à protéger le tronçon de plage contre l'érosion longitudinale. La variante présentant des épis, elle-même accompagnée de rechargements, est également efficace mais semble plus complexe à mettre en œuvre;
- Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, zone de la borne 35 : les résultats des simulations indiquent que les épis construits en 2012 dans la zone de la borne 35 permettent une protection de la plage en érosion vis-à-vis de la borne et plus à l'est. À la borne 36, la situation connaît une certaine amélioration mais cette zone demeure exposée;
- Saint-Henri-de-Taillon Nord : les résultats montrent que les deux principales zones en érosion peuvent être adéquatement protégées à l'aide d'épis permettant une forte réduction de la dérive littorale vers le nord-ouest.

Dans le cas des autres sites présentant des ouvrages de contrôle, des simulations à partir d'un état initial pré-construction des ouvrages ont permis d'évaluer l'efficacité des ouvrages ainsi que les éventuels impacts associés.

L'analyse du transport transversal a permis de classer les différents sites en fonction de leur indice d'érosion traduisant leur propension à l'érosion en période de tempête. Ainsi, d'une manière générale, les secteurs situés dans l'ouest du lac (Dolbeau-Mistassini, Saint-Félicien) présentent un indice d'érosion relativement faible par rapport aux sites de l'est du lac (Métabetchouan-Lac-à-la-Croix, Saint-Henri-de-Taillon Nord, Saint-Gédéon Sud ou Chambord (pointe et Domaine du Marais)) du fait de leur morphologie, impliquant une pente douce du profil, combinée à des tempêtes moins fréquentes.

Impact des scénarios de gestion du niveau d'eau sur l'érosion des berges

L'analyse des mécanismes de transport sédimentaire selon différentes échelles de temps (transport longitudinal à long terme et transport transversal à court terme) permet de montrer qu'à cause de la spécificité de chacun des sites de plage du lac Saint-Jean, la réponse à un abaissement du niveau du lac en

termes de volumes d'érosion est variable. En réponse à une tempête, donc à court terme, la tendance est généralement à la réduction des volumes d'érosion. Toutefois, ce sont les secteurs les plus sensibles à l'érosion transversale (pente raide du profil) qui conduisent aux variations de volumes les plus faibles alors que les sites les moins sensibles conduisent à une réduction plus marquée des volumes érodés. À long terme, selon les sites, la tendance peut être soit à la baisse, soit à la hausse, notamment dans les zones présentant des épis dont l'efficacité est réduite pour des niveaux d'eau inférieurs au niveau de conception. Ainsi, intervenir à l'échelle globale du lac par un abaissement du niveau d'eau n'apporte pas une solution systématique à tous les sites présentant une problématique d'érosion.

De plus, outre l'aspect d'érosion des berges et des plages du lac, un abaissement important du niveau d'eau du lac pourrait conduire à des problématiques connexes liées aux modifications de la dynamique sédimentaire et de la morphologie des embouchures et deltas de rivières dans le lac. Ces aspects n'ont pas été traités ici puisqu'ils font l'objet d'une étude d'impact réalisée par la firme WSP pour le compte de Rio Tinto Alcan dans le cadre du PSBSJ (réf. [17]).

Les interventions locales développées spécifiquement en fonction du comportement des différents sites semblent donc être une approche à privilégier afin d'optimiser l'effet local sur l'érosion et de minimiser d'éventuels impacts par ailleurs. Les résultats de l'analyse des variantes d'aménagement dans les sous-secteurs en érosion des sites spécifiques montrent qu'une étude ciblée avec les outils adéquats permet d'évaluer et d'optimiser l'efficacité de scénarios d'intervention locale.

Impact du prolongement de la période d'eau libre sur l'érosion des berges

L'analyse de l'impact du prolongement de 17 jours de la période d'eau libre susceptible de se produire sur la période de 2015 à 2037 (fonte des glaces 7 jours plus tôt au printemps et prise des glaces 10 jours plus tard à la fin de l'automne) sur l'érosion des plages du lac Saint-Jean montre que l'accroissement des volumes d'érosion s'établit à environ 7% en moyenne à long terme (période de 23 ans). Cette augmentation équivaut globalement à l'érosion générée par 1,5 année moyenne, pour les deux modes de transport sédimentaires étudiés (longitudinal et transversal).

Distribution saisonnière de l'érosion

Les volumes érodés sont les plus élevés durant la saison d'automne (octobre et novembre) avec plus de 50% du volume total. Aux mois d'octobre et de novembre, les volumes érodés sont environ 2 à 3 fois supérieurs aux volumes érodés durant les mois d'été. L'importance relative des volumes érodés en automne s'explique principalement par la fréquence accrue des tempêtes durant cette saison. La distribution saisonnière de l'érosion est directement liée à la distribution saisonnière des vagues.

Recommandations

L'ensemble des résultats présentés au cours de cette étude ont été obtenus à l'aide de modèles numériques calibrés sur la base de données caractérisant le milieu physique du lac Saint-Jean. Toutefois, ces données, bien que d'une utilité précieuse, se sont révélées incomplètes pour un exercice optimal de validation des modèles et de caractérisation quantitative des sites étudiés (en particulier l'absence de

relevés bathymétriques systématiques et fréquents dans certains secteurs). Il apparaît alors important de mettre en place un protocole de suivi détaillé, qui pourrait s'en tenir dans un premier temps aux trois sites spécifiques identifiés par Rio Tinto Alcan (Dolbeau-Mistassini, Métabetchouan-Lac-à-la-Croix et Saint-Henri-de-Taillon Nord), qui forment un échantillon représentatif des différents secteurs du lac.

Les grandes lignes d'un tel protocole se traduiraient par des relevés bathymétriques et topographiques des plages réalisés sur une base régulière au cours de l'année avec des relevés supplémentaires immédiatement avant et après un épisode de tempête significatif. Ces relevés permettraient alors d'effectuer des bilans des volumes d'érosion pour différentes échelles de temps (court, moyen et long termes). Il est bien entendu recommandé de poursuivre ce suivi sur plusieurs années afin de pouvoir établir des tendances d'une année à l'autre mais aussi d'identifier les mécanismes saisonniers récurrents.

Un tel suivi effectué sur une zone faisant l'objet d'un rechargement permettrait également d'évaluer le comportement du massif de rechargement et d'éventuellement procéder à des ajustements visant à en augmenter l'efficacité (pente plus douce, mise en place de butée en pied de plage, etc.).

Finalement, une campagne d'échantillonnage granulométrique permettrait d'éliminer, sinon de réduire, les incertitudes reliées à ce paramètre.

L'ensemble des données collectées lors de ces campagnes de suivi constituerait une base beaucoup plus complète pour interpréter l'évolution des secteurs de plage du lac, raffiner le choix des paramètres de calibrage des modèles utilisés et mettre au point des interventions de stabilisation optimales.

2 VOLUME 2 – SECTEUR BELLE-RIVIÈRE – SOMMAIRE EXÉCUTIF

Rio Tinto Alcan procède actuellement à différentes études en vue de poursuivre son Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ) pour la période 2017-2026. Lasalle|NHC s'est ainsi vue confier un mandat visant à étudier et modéliser l'érosion des berges du lac. Réalisée en trois principaux volets, faisant chacun l'objet d'un volume de rapport distinct, l'étude s'est d'abord penchée sur la dynamique sédimentaire du lac dans son ensemble (volume 1), puis s'est attardée sur deux secteurs plus complexes, l'embouchure de la rivière Belle-Rivière (volume 2) et la Pointe Langevin (volume 3). Un quatrième volume du rapport réunit les rapports des consultants ayant participé à l'étude.

L'embouchure de la rivière Belle-Rivière et les berges adjacentes dans les secteurs de St-Gédéon et de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix sont soumises depuis plusieurs années à une dynamique hydrosédimentaire particulière. Au fil des ans, les rechargements successifs dans le secteur de Métabetchouan-Lac-à-la-Croix ont mené à la formation d'une vaste pointe sableuse du côté sud de l'embouchure, repoussant progressivement le chenal de la rivière Belle-Rivière vers le nord. Autrefois rectiligne, le chenal de la rivière décrit maintenant un virage prononcé et longe une partie des plages de St-Gédéon. Ce changement de trajectoire de la rivière a conduit à une érosion de la zone d'avant-plage, rendant les berges plus vulnérables à l'action directe des vagues de tempête et au transport longitudinal des sédiments. Dans les sept dernières années, les plages entre les bornes inamovibles 28 et 32 ont dû être rechargées cinq fois.

Pour réduire les problèmes d'érosion et la fréquence des rechargements de plage dans ce secteur, Rio Tinto Alcan a mis au point six scénarios de réaménagement de l'embouchure de la rivière Belle-Rivière et du secteur de St-Gédéon¹. Outre le statu quo (variante 1), ces variantes proposent différents niveaux de remplissage du chenal creusé par la rivière et la mise en place d'un ou deux épis perpendiculaires au rivage :

- Variante 2 : Remplissage du chenal à l'élévation 99,0 m;
- Variante 3 : Remplissage du chenal à l'élévation 100,0 m sans épis;
- Variante 4 : Remplissage du chenal à l'élévation 100,0 m avec un épi au chaînage 2+200 (épi 2.3);
- Variante 5 : Remplissage du chenal à l'élévation 100,0 m avec un épi au chaînage 2+200 (épi 2.3) et un épi au chaînage 1+875 (épi 2.1);
- Variante 6 : Remplissage du chenal à l'élévation 100,5 m sans épis.

Les variantes d'aménagement incluent également le creusage des accumulations de sable de part et d'autre de l'embouchure, la mise en place d'un perré de protection et d'une digue de pierres en rive droite (côté est) de la rivière, l'excavation d'un nouveau canal à l'embouchure de la rivière, et le rechargement de la plage sur 500 m entre les bornes 28 et 32.

Pour vérifier l'efficacité des variantes proposées, Lasalle|NHC a mis en œuvre un modèle hydrosédimentologique de l'embouchure de la rivière Belle-Rivière. Réalisé à l'aide de la suite logicielle MIKE 21 FM développée par la firme *DHI Water & Environment*, le modèle a permis de simuler les vagues, les courants et le transport sédimentaire dans le secteur.

Pour différents épisodes synthétiques de tempêtes permettant de maximiser les principales tendances hydrosédimentaires du secteur, les volumes d'érosion de la plage entre les bornes inamovibles 28 et 32 ont été calculés. Exprimés en fonction du volume d'érosion obtenu en conditions actuelles, ces résultats ont permis la comparaison des différentes variantes d'aménagement en terme de pourcentage de réduction des volumes d'érosion. À l'issue de cette première analyse, en tenant compte des différentes contraintes de construction, la variante 3 est ressortie comme étant la variante à privilégier.

En deuxième analyse, l'érosion escomptée dans le nouveau canal pour permettre le passage de la crue printanière de façon rectiligne dans l'embouchure de la rivière a été vérifiée en présence de la variante 3. Une gamme variée de crues printanières a été testée pour trois sections de canal différentes : (1) largeur de 5 m avec radier à 98,5 m (concept initial), (2) largeur de 10 m avec radier à 98,5 m et (3) largeur de 10 m avec radier à 98,0 m.

Dans chaque cas, le passage complet de la crue, incluant la montée des débits de la rivière et du niveau moyen du lac St-Jean, sur des fonds constitués de sables uniformes de 0,6 mm, a été simulé. Les résultats ont ensuite été interprétés en termes de risques de débordement de la digue de pierres prévue à l'amont

¹ Suite aux consultations publiques, Rio Tinto Alcan a retenu un concept de base nommé « variante 3B ». Les variantes analysées dans cette étude sont dérivées de ce concept.

du canal et de vitesses d'écoulement, potentiellement érosives, dans la zone d'avant-plage du tronçon étudié.

Les résultats ont montré qu'une section d'écoulement présentant une largeur initiale de 5 mètres ne parvenait pas à s'éroder suffisamment pour permettre le passage du pic de la crue sans risque significatif d'érosion de la zone d'avant-plage de St-Gédéon. Les simulations avec une largeur initiale de 10 m ont montré de meilleurs résultats.

Au final, la variante 3, avec un canal large de 10 m, constitue la variante à privilégier. Le concept d'aménagement et la modélisation des processus hydrosédimentaires s'appuyant sur différentes hypothèses, les recommandations suivantes sont émises :

- Planification, si possible, des travaux en fonction des prévisions hydrologiques;
- Mise en place d'un remblai en gravillon sur la digue en pierres, ou radier initial du nouveau canal à 98,0 m ;
- Suivi régulier du site par des mesures et observations pour vérifier les conditions érosives de même que la nécessité d'implanter des épis ou non;
- Échantillonnage granulométrique des sédiments.

3 VOLUME 3 – SECTEUR POINTE LANGEVIN SOMMAIRE EXÉCUTIF

Rio Tinto Alcan procède actuellement à différentes études en vue de poursuivre son Programme de stabilisation des berges du lac Saint-Jean (PSBLSJ) pour la période 2017-2026. Lasalle | NHC s'est ainsi vue confier le mandat d'étudier et de modéliser l'érosion des berges du lac. Réalisée en trois principaux volets, faisant chacun l'objet d'un volume de rapport distinct, l'étude s'est d'abord penchée sur la dynamique sédimentaire du lac dans son ensemble (volume 1), puis s'est attardée à deux secteurs plus complexes, l'embouchure de la rivière Belle-Rivière (volume 2) et la Pointe Langevin (présent volume). Un quatrième volume du rapport réunit les rapports des sous-traitants ayant participé à l'étude.

Le secteur de Pointe Langevin à Dolbeau-Mistassini présente une dynamique sédimentaire particulière par rapport aux autres secteurs faisant l'objet d'un suivi autour du lac Saint-Jean, qui se manifeste par une alternance de zones d'accrétion et d'érosion le long du rivage. Ces formations sont caractéristiques de milieux côtiers instables, exposés à des vagues de forte obliquité.

L'examen des photos historiques du site montre que les figures sédimentaires du site migrent et évoluent depuis plusieurs décennies, avec des changements plus marqués ces trente dernières années. Une revue de littérature portant sur les vagues ayant un angle d'incidence élevé a permis d'identifier plusieurs mécanismes pouvant être à l'origine de ces formes. Ceux se prêtant à une représentation bidimensionnelle ont ensuite été vérifiés par modélisation numérique.

Les résultats de modélisation numérique ont permis de confirmer que le climat de vagues et les courants littoraux générés par celles-ci sont effectivement favorables au transport sédimentaire le long du rivage de Pointe Langevin et à la formation de cordons littoraux et/ou de zones localisées d'érosion (*erosional hot spots*). Ils n'ont pu par contre mettre en évidence des forces érosives suffisamment importantes pour expliquer les érosions sévères observées à certains endroits ces dernières années. L'approche de modélisation bidimensionnelle, la représentation limitée des effets de vagues, et la complexité des phénomènes en jeu expliquent probablement ce résultat moins concluant.

Sur la base des informations trouvées dans la littérature, des interventions passées et de la compréhension globale de la dynamique sédimentaire du secteur, l'ajout d'ouvrages de contrôle ne semble pas bénéfique pour contrer l'érosion. Les rechargements apparaissent comme étant une solution mieux adaptée, si placés de façon à créer une plage davantage rectiligne.

Un suivi régulier du secteur est recommandé pour bien identifier les épisodes érosifs et pouvoir ainsi documenter les conditions menant aux problèmes d'érosion affectant le site (vents, vagues, débit en rivière, niveau d'eau du lac, etc.). Une meilleure compréhension des phénomènes en jeu et de leur échelle de temps permettra de mieux orienter les interventions futures, tout en évitant des réactions en chaîne indésirables pouvant réinitialiser les mécanismes d'érosion ciblés à la base.

4 CONCLUSION

N'hésitez pas à nous contacter pour tout complément d'informations,

Meilleures salutations,



Catherine Denault, ing., M.Sc.
Ingénieure de projet, associée
N° OIQ: 129802



Tristan Aubel, ing., M. ing.
Ingénieur de projet, associé
N° OIQ : 129611