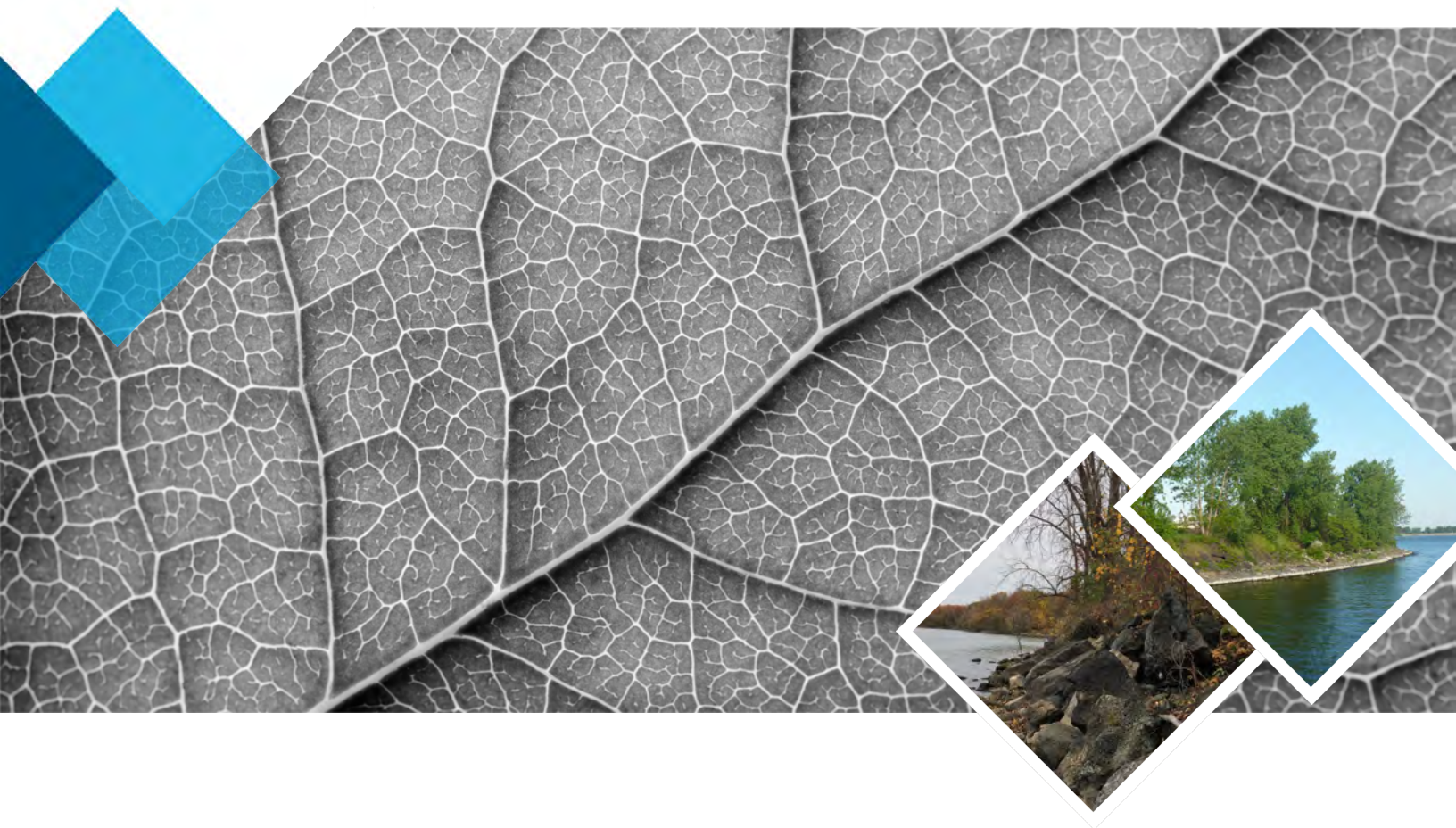




Plan de restauration de la berge

Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse
61, boulevard de Melocheville
Beauharnois (Québec)

Elkem Métal Canada inc.



Environnement et géosciences

septembre | 2019

Rapport
Ref. Interne N/Dossier n° : 607871 - N/rapport n° : 607871 _Plan Rest_env_berge_00-2019

Plan de restauration de la berge

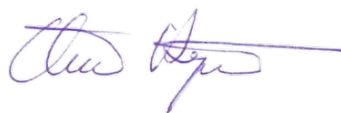
Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse
61, boulevard de Melocheville
Beauharnois (Québec)

Elkem Métal Canada inc.
2020, chemin de la Réserve
Chicoutimi (Québec) G7J 0E1

Préparé par :

Mélanie Bourque, ing., M.ing.
Chargée de projets

Révisé par :



Martin Duquette, Ph.D.
Directeur de projets

N/Dossier n° : 607871
N/rapport n° : 607871_Plan Rest_env_berge_00-2019

Septembre 2019

Distribution : M. Jean Villeneuve et M. Pierre Gauthier – Elkem Métal Canada (version électronique et 5 copies papier incluant les copies pour le MELCC)
M. Yvan Loubier - Le Cabinet de relations publiques NATIONAL (version électronique et 1 copie papier)



Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Mise en contexte	1
1.2	Historique du projet de restauration de la berge	1
1.3	Conclusions du BAPE et dispositions du projet	3
2	Description du site à l'étude	6
2.1	Localisation et délimitation de la berge	6
2.2	Document foncier	6
2.3	Caractérisation de la berge	6
2.3.1	Topographie	6
2.3.2	Caractérisation environnementale	7
2.4	Localisation et identification des arbres	8
3	Éléments du plan de restauration	9
3.1	Maintien en place des matériaux	9
3.2	Profilage et stabilisation de la berge	9
3.2.1	Protection contre les vagues et les glaces	9
3.2.2	Détermination de la pente optimale	10
3.2.3	Enrochement	10
3.3	Mise en place de matériaux de recouvrement	11
3.3.1	Recouvrement par du matériel propre	11
3.3.2	Recouvrement par un tapis de béton-câble	12
3.4	Évaluation des scénarios de restauration	12
3.4.1	Scénario A : Mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 25,9 m	13
3.4.2	Scénario B : Mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 24,0 m, suivi par la mise en place d'un tapis de béton-câble sur une pente profilée	13
3.5	Gestion des matériaux excavés (déblais)	13
3.6	Renaturalisation de la berge	14
3.6.1	Plantation	14
3.6.2	Ensemencement	15
4	Surveillance environnementale des travaux	16
4.1	Prévention des affaissements et éboulements vers le lac Saint-Louis	16
4.2	Mesures d'atténuation	16
4.3	Protection de la faune	17

5	Suivi environnemental consécutif aux travaux	18
6	Restriction d'utilisation	19
7	Échéancier global des travaux	20

Liste des annexes

Annexe 1

Portée du rapport

Annexe 2

Figures

Annexe 3

Document foncier

Annexe 4

Reportage photographique

Annexe 5

Inventaire des arbres de la berge

Annexe 6

Description du tapis de béton-câble

Annexe 7

Synthèse des scénarios de restauration de la berge

Annexe 8

Mémo géotechnique et études vagues et glace

Ce rapport est composé de 167 pages incluant les annexes et ne peut être reproduit en tout ou en partie sans l'autorisation de SNC-Lavalin GEM Québec inc.

1 Introduction

1.1 Mise en contexte

La propriété faisant l'objet du présent document est sise au 61, boulevard de Melocheville à Beauharnois (Québec).

Entre avril 1972 et septembre 1973, Union Carbide Canada inc. a construit, sur ce site, une usine de ferromanganèse. En juillet 1984, la compagnie Elkem Canada inc. (Elkem) a fait l'acquisition de la division des métaux de la compagnie Union Carbide, dont l'usine de ferromanganèse de Beauharnois. Elkem s'est servi de l'usine pour produire du silicomanganèse, en alternance avec du ferromanganèse, jusqu'à sa fermeture en mai 1991. Au cours des années d'opération de l'usine, des scories ont été utilisées pour solidifier le fond du terrain à certains endroits et des dalles de béton ont été installées pour la manutention de produits. En septembre 1995, le terrain a été vendu à Centre de Recyclage Beauharnois inc. et à Excavation René St-Pierre inc. qui opèrent toujours le site jusqu'à présent.

Elkem prend en charge la conduite du présent plan de restauration de la berge dans un souci de collaboration avec les différents acteurs impliqués, sans aucune admission de responsabilité de sa part ni renonciation à invoquer la responsabilité de tiers quant à la présence des matières en cause sur son ancienne propriété.

Les services professionnels de SNC-Lavalin Environnement et géosciences opérant sous l'entité SNC-Lavalin GEM Québec inc. (SNC-Lavalin) ont été retenus par Elkem Métal Canada inc. pour élaborer le plan de restauration de la berge.

Le présent document est une nouvelle version du « Plan de restauration environnementale de la berge – Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse, Beauharnois, Québec » (SNC-Lavalin, novembre 2018) présenté en novembre 2018, et mis à jour suite à l'avis technique¹ du MELCC datée du 15 février 2019.

La portée du rapport est présentée à l'annexe 1.

1.2 Historique du projet de restauration de la berge

En décembre 2004, Elkem Métal Canada inc. (ci-après Elkem) a déposé un avis de projet de restauration de la berge de son ancien site industriel à Beauharnois (HDS Environnement, 2004) à la direction des évaluations environnementale du ministère de l'Environnement. Cela a constitué la première étape de la Procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement dans le cadre de ce projet de restauration. Une brève description des travaux de restauration y était donnée.

¹ AVIS TECHNIQUE – Demande d'avis – Restauration de la berge en maintenant des contaminants sur place – Terrain situé au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois – (3211-02-231), Référence n° SCW-1125390, MELCC, 15 février 2019.

En réponse, la direction des évaluations environnementales du ministère de l'Environnement, du Développement durable et des Parcs (MDDEP) a fourni en avril 2005 des directives pour mener à bien l'évaluation de ce projet (MDDEP, 2005).

Une description détaillée des travaux de restauration envisagés (un projet principal et une alternative) a ensuite été présentée dans une première version de l'étude d'impact du projet soumis au MDDEP en juin 2008 (HDS Environnement, 2008). Le projet principal prévoyait l'enlèvement sur 3 ans de 5 305 m³ de remblais de scories au niveau de la rive et du littoral principalement dans la partie est du terrain. Des questions et commentaires concernant ces travaux de restauration ont été formulés par le MDDEP ainsi que par certains autres ministères et organismes dans un document daté du 30 octobre 2008 (MDDEP, 2008).

Une description révisée des travaux de restauration tenant compte des questions et commentaires précédents a été présentée dans une seconde version de l'étude d'impact du projet soumis au MDDEP en juin 2009. Des précisions quant à la localisation et la profondeur de l'enlèvement des remblais de scories ont notamment été apportées. L'enlèvement des remblais ne concernait à ce moment que la partie est de la berge. Les remblais présents dans la partie ouest, de plus faible épaisseur et sans contact avec l'eau de surface, ne devaient qu'être confinés sous une couche de 25 cm de terre végétale. Une seconde série de questions et commentaires des ministères et organismes concernés (MDDEP, 2009) a alors été émise par le MDDEP le 8 octobre 2009.

Un document de réponses à la seconde série de questions et commentaires incluant les ajustements aux travaux de restauration prévus (HDS Environnement, 2009) a été soumis au MDDEP sous forme d'addenda à l'étude d'impact du projet en décembre 2009. Des précisions concernant le réenrochement et la végétalisation de la berge ainsi que concernant les niveaux d'eau pris en compte ont notamment été données. Une troisième série de questions et commentaires des ministères et organismes concernés (MDDEP, 2010) a alors été émise par le MDDEP le 12 février 2010.

Un document de réponses à la troisième série de questions et commentaires incluant les ajustements aux travaux de restauration prévus (HDS Environnement, 2010) a été soumis au MDDEP sous forme d'un second addenda à l'étude d'impact du projet en avril 2010. Des précisions sur les mesures d'atténuation prévues pour la protection de la faune ont notamment été données.

Un avis sur la recevabilité de l'étude d'impact du projet (MDDEP, 2010) a finalement été émis par le MDDEP le 5 mai 2010 recommandant que l'étude d'impact soit rendue publique et que soit entreprise l'étape d'information et de consultation publique.

Un plan de restauration environnementale de la berge basé sur les conclusions du BAPE prévoyant l'enlèvement complet des remblais au niveau de la berge a dans un premier temps été élaboré. Ce plan de restauration était basé sur la prémisse que les matériaux excavés pouvaient posséder une certaine valeur économique qui permettrait la faisabilité économique du projet. Ce plan de restauration a été déposé au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC) en février 2014.

Devant l'impossibilité de trouver une filière de valorisation des matériaux et considérant que le plan de réhabilitation approuvé par le MELCC pour le reste du terrain prévoyait le maintien en place des matériaux, il a été convenu avec les représentants du MELCC d'élaborer un nouveau plan de restauration pour la berge incluant le maintien en place des matériaux.

Les représentants du MELCC ont toutefois demandé à ce qu'une évaluation de plusieurs scénarios de restauration soit réalisée afin de déterminer l'impact de plusieurs éléments du plan de restauration (ex. profilage de la pente, préservation des arbres) sur la bonification ou la faisabilité du projet. Ce plan de restauration prévoyant le maintien des matériaux et incluant plusieurs scénarios a été présenté au MELCC en novembre 2018 (SNC-Lavalin, 2018).

Le MELCC a ensuite transmis un avis technique de la Direction du Programme de réduction des rejets industriels et des Lieux contaminés (DPRRILC) mentionnant que, dans le cas actuel, il est possible de présenter un plan de restauration prévoyant le maintien des matériaux, mais que le MELCC ne peut se prononcer avant d'avoir reçu et étudié les études nécessaires à une telle restauration. Les documents demandés sont notamment le plan de restauration, les études de caractérisation du site, l'évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques ainsi que des impacts sur l'eau souterraine, et un projet d'avis de restriction d'utilisation. Le présent document correspond au plan de restauration modifié en fonction des commentaires de l'avis technique du 15 février 2019. Les autres documents font l'objet de rapports distincts. Le présent document doit être lu conjointement avec les autres documents.

1.3 Conclusions du BAPE et dispositions du projet

Cette section reprend chacune des conclusions formulées par le BAPE à la suite de son évaluation du projet de restauration de la berge et indique de quelle manière elles ont été prises en compte dans cette version du projet de restauration.

« ... nécessité d'enlever tous les remblais et blocs de scories de la berge, en plus de la végétation qui s'y trouve. »

« ... restauration complète du site de l'ancienne usine (...) afin de garantir la durabilité de la restauration de la berge située en aval hydraulique (...) la restauration du site et de la berge ne constitue qu'un seul et même projet (...) celle du site doit logiquement procéder avant celle de la berge ou, à tout le moins, en même temps et selon les mêmes modalités et conditions. »

Le plan de restauration est désormais prévu être réalisé selon les mêmes modalités et conditions que le reste du terrain, à savoir le maintien en place des matériaux et la mise en place de mesures de mitigation.

« ... remise à l'état naturel de la berge afin d'assurer les conditions les plus favorables au rétablissement de la biodiversité... »

À la suite des travaux de reprofilage, d'excavation et d'enrochement de la berge, une végétalisation de celle-ci à l'aide d'espèces indigènes est prévue afin de lui redonner un état naturel et ainsi de favoriser le rétablissement de la biodiversité.

« ... compte tenu des trois dimensions du développement durable (...), la portée de la restauration de la berge et du site de l'ancienne usine ne doit pas être déterminée exclusivement ou principalement par des considérations de coût. (...) essentiel que cette restauration soit déterminée en fonction des meilleures connaissances et pratiques établit dans le domaine... »

En se conformant aux conclusions du BAPE, l'élaboration finale du projet intègre pleinement la dimension sociale.

L'évaluation et la gestion des risques reliés aux remblais de matières résiduelles/sols qui seront maintenus en place font en sorte que la dimension environnementale est pleinement considérée.

De plus, la consultation de spécialistes dans le domaine de l'océanographie (impact des glaces et des vagues sur la berge), dans le domaine de la géotechnique (protection de la berge contre les glaces et les vagues, et stabilisation de la berge) et dans le domaine de la biologie (végétalisation), permet de répondre à la demande que la berge soit restaurer en fonction des meilleures connaissances et pratiques établies dans le domaine.

« ... réalisée dans le respect des exigences de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés... »

Le projet de réhabilitation sera réalisé dans le respect des exigences du *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* (MELCC, juillet 2016)².

« ... et de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. »

Le projet de réhabilitation sera réalisé dans le respect des exigences de cette Politique.

La rive s'étend de la ligne des hautes eaux vers l'intérieur des terres sur un minimum de 10 m lorsque la pente est supérieure à 30 % et présente un talus de moins de 5 m de hauteur (a. 2.1 et a. 2.2).

Tous les travaux qui sont susceptibles de détruire la couverture végétale des rives doivent faire l'objet d'une autorisation préalable (a. 3.1).

Dans la rive, sont en principe interdits tous les travaux. Peuvent toutefois être permis les travaux à des fins industrielles s'ils sont assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la LQE (a. 3.2.b).

« ... la restauration doit tenir compte des valeurs de référence retenues par les autorités publiques en matière de protection de la santé du public ainsi que des travailleurs, eu égard à l'exposition au manganèse par voie aérienne. »

² Le *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* remplace la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*.

Durant la période des travaux, des mesures de protection seront mises en place afin de limiter les émissions de poussières contaminées en deçà des limites acceptables tant en termes de protection de la santé du public que pour les travailleurs assignés à la réhabilitation.

Le projet prévoit qu'une fois restauré, le site ne sera plus une source significative d'exposition au manganèse tant pour le public que pour les travailleurs sur le site.

« ... nécessaire que les sédiments lacustres fortement contaminés au manganèse près du site soient retirés, afin de rendre le secteur compatible avec les plans de développement récréatif de la Ville. »

Lors des travaux du BAPE, un usage récréatif futur du terrain était envisagé et cette conclusion en découlait naturellement. Selon la volonté du propriétaire actuel ainsi que du comité interministériel (dont notamment le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques (MELCC) et le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), le terrain devra cependant demeurer un site industriel.

La problématique des sédiments ne relève pas du projet de restauration de la berge.

« ... la Ville de Beauharnois doit être associée aux délibérations entre les ministères concernés et Elkem en vue de restaurer le site... »

Elkem a participé à 9 sessions de travail à Beauharnois avec le maire, Claude Haineault, et/ou son directeur général, Alain Gravel, entre le 31 mars 2011 et le 19 septembre 2012 et a assuré un suivi téléphonique hebdomadaire (70 appels) du 31 mars 2011 au 19 octobre 2012, soit aussi longtemps qu'il a été envisagé que le site puisse changer d'usage pour devenir un site récréatif.

Le refus de changement d'usage par le comité interministériel couplé à la découverte de l'existence de deux précédents refus de changement d'usage par ce même comité ont mis fin aux discussions avec la Ville de Beauharnois.

Le site ne fait plus partie du plan stratégique de la Ville de Beauharnois qui prévalait au moment des travaux du BAPE.

De plus, un nouveau maire est entré en fonction aux élections municipales d'automne 2017, selon des discussions qui ont été tenues avec ce dernier, aucun changement qu'en à la position de la Ville n'est à prévoir.

« ... pour ce qui est de la propriété résidentielle avoisinant le site (...) la restauration de cette propriété conserve pleinement sa pertinence, indépendamment de l'éventuelle réalisation du projet. (...) cette propriété doit être restaurée à brève échéance conformément aux dispositions de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. (...) effectuée conformément aux usages actuels et futurs propres à un milieu bâti à vocation résidentielle. »

Des discussions ont cours avec le propriétaire, sans admission de responsabilité.

2 Description du site à l'étude

2.1 Localisation et délimitation de la berge

Le site de l'ancienne usine de ferromanganèse est localisé sur le boulevard de Melocheville à Beauharnois, à l'est du canal de Beauharnois et correspond à une partie du lot 4 714 988 du cadastre du Québec, dans la circonscription foncière de Beauharnois. Les coordonnées géographiques approximatives au centre du site sont : 45,3166 N et -73,8924 O.

La berge de ce site consiste en une bande de terrain de 10 m de large sur environ 800 m de long, longeant le lac Saint-Louis. Conformément à la définition édictée dans la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, la délimitation de la zone d'étude a été définie comme la portion de terrain comprise entre la ligne des hautes eaux et une ligne distante horizontalement de 10 m vers l'intérieur du terrain. Dans le contexte d'une berge artificialisée avec présence d'enrochement, la ligne des hautes eaux a été définie sur la base de la ligne d'inondation de récurrence 2 ans. Celle-ci a été déterminée à une élévation de 22,17 m. La délimitation de la berge est illustrée aux figures 607871-2019-PR-01 et 607871-2019-PR-02, à l'annexe 2. Tels que présentés sur ces figures, trois principaux axes y ont été définis en fonction des caractéristiques topographiques et physiques de la berge.

2.2 Document foncier

En 2014, un avis de contamination a été inscrit sur le lot à l'étude, soit le lot 4 714 988. L'annexe 3 présente une copie de cet avis.

2.3 Caractérisation de la berge

2.3.1 Topographie

La topographie de la berge est assez abrupte sur presque toute sa longueur, une zone d'accès à l'eau faisant exception dans la partie ouest. De manière générale, le dessus de la berge est relativement plat puis s'incline vers le fleuve selon une pente plus ou moins forte, le dénivelé étant plus important à l'est (3 à 4 m) qu'à l'ouest (2 à 3 m). Un replat est présent au niveau du littoral en bas de la pente, à l'exception du secteur du quai fédéral où la bathymétrie est plus profonde.

Un relevé Lidar (2017) a été effectué tout au long de la berge permettant d'établir un profil topographique actuel précis sur la totalité de son emprise. De plus, les relevés bathymétriques ont été obtenus de Pêches et Océans Canada ce qui a permis d'élaborer un profil topographique complet s'étendant du dessus de la berge jusque dans le littoral, à l'exception de l'axe 3 où aucune donnée bathymétrique ne se trouvait à proximité de la berge. Un relevé bathymétrique sommaire, à proximité de la berge, a été effectué à l'hiver 2019. Une figure illustrant l'inclinaison des pentes de la berge, pour chaque axe, est présentée aux figures 607871-2019-PR-03, tandis que le relevé topographique de la berge et la bathymétrie à proximité est présenté sur les figures 607871-2019-PR-04a à 04d.

Un reportage photographique effectué au long de la berge est présenté à l'annexe 4.

2.3.2 Caractérisation environnementale

Le site à l'étude est la partie nord de ce lot 4 714 988, soit la berge, d'une longueur d'environ 800 m, d'une largeur de 10 m et bordant le fleuve Saint-Laurent.

L'écoulement de l'eau souterraine est orienté vers le nord, soit le fleuve Saint-Laurent, avec des vitesses d'écoulement pouvant varier pour les dépôts meubles situés à l'extrémité est du site serait de l'ordre de 30 m/an tandis que la vitesse d'écoulement pour l'unité du roc serait de l'ordre de 40 m/an (extrémité ouest) à 100 m/an (au centre). La profondeur de l'eau souterraine à partir de la surface varie de 1,2 m à 4,4 m.

La stratigraphie du site est caractérisée par la présence d'un remblai de matières résiduelles/sols, assimilable à un sol, sur une épaisseur variant de 0,25 m à 5,5 m. Ce remblai repose à quelques endroits sur le terrain naturel, mais dans la majeure partie du site directement sur le roc à des profondeurs de 0,6 m à 5,5 m.

L'étude de caractérisation complémentaire a comporté la réalisation de 16 sondages additionnels en plus des 49 sondages déjà présents, ce qui représente une densité de sondage d'un sondage par 123 m².

Les résultats de la caractérisation environnementale complémentaire indiquent que les concentrations des paramètres mesurés dans les sols provenant du terrain naturel respectent les valeurs limites de l'annexe I du *Règlement sur la protection et réhabilitation des terrains* (RPRT). Cependant, certains échantillons provenant des études antérieures ont montré des concentrations excédant les valeurs limites de l'annexe II du RPRT pour soit le manganèse, et cuivre, sans jamais dépasser les valeurs limites de l'annexe I du *Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés* (RESC). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été mesurés dans un échantillon à des concentrations entre les valeurs limites de l'annexe I et celles de l'annexe II du RPRT. Par contre, le type d'HAP identifié dans ces échantillons laisse présager que les sols composant ces échantillons ne sont pas d'origine naturelle.

Les remblais du site sont composés de matières résiduelles/sols assimilables à des sols. Ils sont composés en divers pourcentage de scories, mâchefers et débris provenant des activités industrielles antérieures.

Les analyses effectuées sur les lixiviats respectent les valeurs de l'article 3 du *Règlement sur les matières dangereuses* (RMD). À titre indicatif, principalement pour les fins de l'*Évaluation des risques toxicologique et écotoxicologique et impacts sur l'eau souterraine*, des analyses en teneurs totales ont été réalisées sur les remblais. Les résultats ont montré une contamination en HAP, teneurs excédant par endroit les critères B et C du *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains* (le Guide d'intervention), une contamination en hydrocarbures pétroliers (HP C₁₀-C₅₀), teneurs excédant par endroit le critère B du Guide d'intervention, ainsi qu'une contamination en métaux, teneurs excédant sur la majorité du site à l'étude le critère C et les valeurs de l'annexe I du RESC. Ces dépassements sont essentiellement associés au manganèse.

Aucune fibre d'amiante n'a été détectée dans les remblais et aucune émission radioactive n'a été détectée dans les échantillons.

La superficie et le volume de sols contaminés identifiés au terrain naturel ne peuvent être calculés puisque leur présence est discontinue sur le site. Par contre, le volume de remblai de matières résiduelles/sols est réparti sur une superficie de 8 000 m² et a été calculé à environ 11 120 m³. Cette évaluation des volumes de remblais diffère des évaluations passées en raison des relevés beaucoup plus précis d'arpentage réalisés en 2019.

Tous les échantillons d'eau souterraine analysés ont présenté des concentrations inférieures aux valeurs du critère de *Résurgence dans l'eau de surface* (RES) du Guide d'intervention et aux seuils d'alerte, à l'exception d'une concentration en manganèse qui excède les seuils d'alerte de 50 % et de 70 % pour l'échantillon prélevé dans les puits d'observation PO-209 et P-112, et d'une concentration en manganèse qui excède le seuil d'alerte de 50 % pour l'échantillon prélevé dans les puits d'observation PO-108 et P-106.

Selon les documents du MELCC, « *un impact réel est défini comme une situation effective au lieu d'impact alors qu'un impact appréhendé est défini comme un impact prévisible, considérant la nature dynamique de la contamination des eaux souterraines* ». En considérant cette définition et les concentrations mesurées des différents paramètres chimiques dans l'eau souterraine principalement pour le manganèse, pour le lot 4 714 988, tel que décrit dans l'étude de Sanexen (2014), il est considéré qu'un impact appréhendé existe. En effet, il peut y avoir une résurgence dans les eaux de surface d'une eau souterraine contaminée au-delà des critères fixés pour la protection des eaux de surface. Par contre, pour le secteur de la berge, en fonction des résultats analytiques obtenues en 2019, il n'y a aucun impact appréhendé.

L'emplacement des sondages effectués sur le site ainsi que les résultats analytiques sont présentés aux figures 607871-2019-PR-05a à 05c.

Le rapport *Caractérisation environnementale complémentaire* (SNC-Lavalin, septembre 2019) doit être lu conjointement avec le présent document.

2.4 Localisation et identification des arbres

Un certain nombre d'arbres matures sont présents dans l'emprise de la berge. En prévision des travaux de restauration et en vue de l'éventuelle préservation de ces arbres, un inventaire exhaustif a été réalisé en 2017. Des aires de protection autour des arbres peuvent en effet être définies de manière à ce que les recouvrements à mettre en place y soient d'une épaisseur moindre afin de ne pas compromettre leur survie. Pour cela, la norme NQ 0605-100/2001 sur l'aménagement paysager à l'aide de végétaux prévoit une méthodologie afin d'établir des rayons de protection autour des arbres en fonction de l'âge et des espèces, et présente les épaisseurs de recouvrement recommandées dans ce rayon de protection.

L'inventaire complet est présenté sous forme de fiches à l'annexe 5. La figure 607871-2019-PR-06 localise l'emplacement des arbres et leurs espèces.

3 Éléments du plan de restauration

3.1 Maintien en place des matériaux

La restauration de la berge prévoit le maintien en place des remblais de matières résiduelles assimilables à un sol qui s'y trouvent. Cette orientation est cohérente avec le plan de réhabilitation environnementale élaboré pour le reste de la propriété et qui prévoit également le maintien en place des mêmes matériaux en s'appuyant sur une évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques et de l'impact sur l'eau souterraine.

Tous les matériaux présents dans la berge, non contaminés en produits pétroliers ou composés volatils, seront conservés sur le site et gérés sur la base de l'évaluation des risques préparée par SNC-Lavalin (septembre 2019). En effet, l'évaluation des risques a permis d'identifier que le potentiel de risque associé à ces matériaux peut être réduit à un niveau sécuritaire pour les personnes fréquentant la berge et ses environs ainsi que pour la faune et la flore locales par des mesures de recouvrement pérennes.

Les mesures de recouvrement de la berge prévues aux fins de stabilisation et décrites aux sections suivantes (enrochement, géotextile, remblai de sol propre, tapis de béton-câble) sont adéquates pour servir de mesures de mitigation et assurer une protection suffisante et pérenne. Le rapport *Évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques et impacts sur l'eau souterraine* (SNC-Lavalin, septembre 2019) doit être lu conjointement avec le présent document.

3.2 Profilage et stabilisation de la berge

Bien qu'il soit prévu de maintenir les matériaux en place, la nécessité d'assurer une stabilité géotechnique à la berge une fois restaurée et en prévision du recouvrement de matériaux propres à mettre en place, l'excavation de matériaux et le reprofilage de la berge sont nécessaires. Dans cette optique, plusieurs éléments du plan de restauration présentés dans les sections suivantes ont été évalués. Les travaux décrits par la suite concernent exclusivement l'emprise de la berge, soit la bande de terrain de 10 m à partir de la ligne des hautes eaux à récurrence de 2 ans (LHE₂). Aucun matériau de remblai ne sera mis en place en bas de la LHE₂. Localement, aux fins de stabilisation de la berge, des éléments nécessaires au support de la berge (enrochement, clé d'enrochement) pourraient toutefois déborder sur le littoral.

3.2.1 Protection contre les vagues et les glaces

Afin de permettre la conception préliminaire de l'enrochement de la berge, et tel que recommandé dans l'*Analyse de stabilité géotechnique pour la réhabilitation des berges* (SNC-Lavalin, mai 2018) inclus dans le dernier rapport *Plan de restauration environnementale de la berge* transmis au MELCC (SNC-Lavalin, novembre 2018), la description du régime des glaces et des vagues a été réalisé.

Cette étude descriptive conclut que :

- › La vague significative critique provient du NE (40°N) et a une hauteur de 1,74 m ($T_p=2,94$ s). Cette hauteur de vague implique que l'enrochement ait un diamètre moyen (D_{50}) entre 796 mm et 944 mm pour une pente passant de 2,5 H/1V à 1,5 H/1V;
- › L'épaisseur de glace maximale estimée varie de 0,84 m (1 : 2 ans) et 1,01 m (1 : 100 ans) suivant la période de récurrence considérée. En considérant l'épaisseur maximale et le cas extrême d'un rehaussement du niveau d'eau, le diamètre moyen (D_{50}) de l'enrochement est de 1 010 mm, et ce, peu importe la pente. Si l'on prend en compte les risques liés aux impacts par les glaces dérivantes au printemps, le D_{50} varie alors de 725 mm à 935 mm pour une pente passant de 2,5 H/1V à 1,5H/1V.

Le rapport *Estimation de la vague critique et de l'épaisseur de glace pour la restauration de berges* (SNC-Lavalin, août 2019) est joint à l'annexe 8.

3.2.2 Détermination de la pente optimale

Tel que présenté au rapport *Plan de restauration environnementale de la berge* (SNC-Lavalin, novembre 2018), le profilage selon une pente de 2H : 1V a été retenu. En effet, les analyses avaient conclu qu'une pente de 3H : 1V n'était pas réaliste dans le cadre du projet de restauration et qu'une pente 1,5 H : 1V n'était pas suffisamment stable.

3.2.3 Enrochement

À la suite des travaux de profilage et préalablement à la mise en place du recouvrement, un enrochement devra être installé afin d'assurer une protection adéquate de la rive contre l'érosion causée par l'eau et les glaces et d'assurer la stabilité géotechnique de la berge. Cet enrochement devra être installé sur toute la longueur de la berge à l'exception de la zone d'accès à l'eau dont la pente est toutefois plus douce.

Les recommandations géotechniques stipulent que :

- › La pente la plus intéressante à considérer afin de stabiliser la berge devrait être inclinée à 1,75 h : 1V;
- › Le diamètre moyen (D_{50}) de l'enrochement devra être de 900 mm. Le diamètre minimal (D_{min}) devra être de 675 mm et le diamètre maximal (D_{max}) devra être de 1 150 mm;
- › L'enrochement devra avoir une épaisseur minimale de 1,8 m mesurée perpendiculairement à la pente;
- › Un géotextile de gros calibre devra être sur la berge, avant la mise en place de l'enrochement. Ce géotextile permettra notamment d'empêcher l'érosion des matériaux présents dans la berge;
- › Les pierres du perré devront être constituées de roc dur, dense et durable;
- › La mise en place d'une clé d'enrochement pourrait être nécessaire dans les cas où le roc est situé plus en profondeur que la base de la berge;
- › Deux options de protection de la berge ont été retenues :
 - 1) mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 25,9 m (pente 1,75 H : 1V) (Scénario A, voir la section 3.4.1);

- 2) mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 24,0 m (pente 1,75 H : 1V), suivi par la mise en place d'un tapis de béton-câble sur une pente profilée à une inclinaison de 2H : 1V. Le tapis de béton-câble protégera la berge de l'action de la remontée des vagues, permettra une végétalisation de la berge et une protection permanente des mesures de mitigation (Scénario B, voir section 3.4.2).

Mentionnons que les observations effectuées sur le terrain ont montré que parmi les blocs de pierre présents sur l'ensemble de la berge, un grand nombre d'entre eux étaient des blocs de grès quartzitique, typiques du roc sous-jacent aux remblais. La réutilisation de ces blocs de pierre sera préconisée. Tel que convenu avec les représentants du MELCC lors de la visite du site, les gros blocs de scories, aussi présents au pied de la berge, pourront également être réutilisés sans toutefois qu'ils ne soient visibles au moment de l'aménagement final.

Le mémorandum *Stabilisation des berges – Conception géotechnique préliminaire* (SNC-Lavalin, août 2019) est joint à l'annexe 8.

3.3 Mise en place de matériaux de recouvrement

Tel que mentionné précédemment, il est prévu qu'un recouvrement de matériaux exempt de contaminants soit requis sur une épaisseur de 0,40 m au niveau de tout aménagement paysager, dont notamment au niveau du rayon de protection d'arbres qui seront préservés, ainsi qu'au niveau des structures permanentes (ex. : zone d'accès à l'eau, matelas de béton-câble).

Le recouvrement sera présent aux élévations supérieures à l'enrochement qui sera installé sur 1,8 m d'épaisseur, perpendiculairement à la berge, telle que mentionnée à la section 3.2.3 précédente.

3.3.1 Recouvrement par du matériel propre

Le recouvrement des remblais maintenus en place dans la berge sera réalisé à l'aide d'un matériau d'emprunt externe classe « B » ou d'un autre matériau de qualité géotechnique équivalente ou supérieure. Ce matériel sera érigé par une couche de 250 mm d'épaisseur compactée. Les matériaux de remblai présenteront des caractéristiques (granulométrie et teneur en eau) permettant une densification facile et efficace. De plus, le matériel de recouvrement proviendra de source naturelle (exempt de débris et d'odeurs de produits pétroliers) et présentera une qualité environnementale respectant le critère « B » en ce qui a trait au paramètre des métaux et le critère « A » en ce qui a trait aux paramètres des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des hydrocarbures pétroliers (HP C₁₀-C₅₀) et des composés organiques volatils (COV), critères provenant du *Guide d'intervention* du MELCC. Le remblayage se fera en conformité avec l'article 4 du *Règlement sur le stockage et les centres de transfert de sols contaminés*.

Une couche de terre végétale sera par la suite mise en place sur une épaisseur 0,15 m, jusqu'à l'atteinte de la cote finale. Il est à noter que dans le cas de la présence d'enrochement au-delà de l'élévation 23,25 m, de la terre végétale sera également mise en place dans ces structures afin de permettre leur végétalisation.

Tel que spécifié dans la norme NQ 0605-100/2001 sur l'aménagement paysager à l'aide de végétaux, à l'intérieur des rayons de protection des arbres, le recouvrement sera composé, à partir de la surface :

- › D'une couche de terre végétale (terre arabe) de 0,15 m.
- › D'une couche de sable lavé de 0,05 m;
- › D'un géotextile perméable à l'air et à l'eau;
- › D'une pierre concassée nette de 20 mm à 50 mm de diamètre, sur une épaisseur de 0,2 m;

Au niveau de la zone d'accès à l'eau, l'épaisseur de recouvrement sera de 0,40 m de pierre concassée 10–20 mm (pierre nette ¾ po).

Un géotextile sera mis en place préalablement à toute mise en place de recouvrement.

3.3.2 Recouvrement par un tapis de béton-câble

En surface, au-dessus des matériaux propres, un tapis de béton-câble sera mis en place. Tel que spécifié à la section 3.2.3, le tapis de béton-câble protégera la berge de l'action de la remontée des vagues, permettra une végétalisation de la berge et une protection permanente des mesures de mitigation. Ce tapis permettra également la conservation des arbres actuellement présents sur la berge.

De plus, le tapis de béton-câble sera installé par-dessus la pierre concassée dans la zone d'accès à l'eau comme protection permanente.

Une description de ce tapis de béton-câble est présentée à l'annexe 6.

3.4 Évaluation des scénarios de restauration

Basées sur les exigences géotechniques minimales requises en termes de pente et de stabilisation par enrochement, deux scénarios ont été élaborés afin d'évaluer différentes options de restauration possible. Pour chacun des scénarios, les volumes de déblais, de remblais, de sols de recouvrement et d'enrochement ont été déterminés. Le nombre d'arbres qui pourront être préservés ou devront être abattus a également été pris en compte.

Chacun des deux scénarios est présenté brièvement aux sections suivantes. Une présentation plus détaillée ainsi que des illustrations en plan et en coupes sont présentées à l'annexe 7. Les quantités associées aux différents éléments du plan de restauration sont également présentées dans l'annexe 7.

3.4.1 Scénario A : Mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 25,9 m

Le premier scénario applique les recommandations géotechniques, soit la mise en place d'un enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 25,9 m. Préalablement à la mise en place de l'enrochement, la berge a été profilée selon une pente de 1,75 H : 1V, à l'exception des secteurs où des arbres peuvent être conservés. Un recouvrement de 0,40 m de matériaux propres est ensuite prévu depuis l'enrochement jusqu'à la limite entre la berge et le reste du terrain, afin d'appliquer les mesures de mitigation recommandées dans l'Évaluation des risques.

3.4.2 Scénario B : Mise en place d'enrochement de la base de la berge jusqu'à l'élévation 24,0 m, suivi par la mise en place d'un tapis de béton-câble sur une pente profilée

Selon ce second scénario et dans l'optique de conserver le plus d'arbres actuellement présents, aucun profilage de la berge n'est prévu dans les secteurs de conservation des arbres. Dans les autres secteurs, la berge sera seulement profilée selon une pente 2H : 1V à partir de l'élévation 24,0 m jusqu'au sommet de la berge. Sous le niveau 24,0 m, et ce, tout au long de la berge, un enrochement additionnel sera mis en place suivant une pente de 1,75 H : 1V afin de permettre le soutènement de la berge et de la protéger de l'effet des glaces et des vagues. L'excavation de remblai de matières résiduelles/sols sur une épaisseur de 0,40 m suivi par la mise en place de 0,40 m de matériau propre est ensuite prévu comme recouvrement afin d'appliquer les mesures de mitigation recommandées dans l'Évaluation des risques. Finalement, par-dessus le recouvrement de matériel propre, un tapis de béton-câble, de type Flexamat® sera mis en place comme protection permanente de la berge et des mesures de mitigation mises en place.

Scénario retenu

Le scénario B a été retenu afin de végétaliser la berge au maximum et afin de conserver le plus d'arbres possible. En effet, ce scénario permettra de conserver 55 arbres et limitera l'accès aux remblais de scories/manganèse par la faune et les travailleurs, stabilisera et renaturalisera la berge dans son ensemble. Cette solution satisfait davantage les demandes du MELCC en ce qui concerne la restauration de la berge.

3.5 Gestion des matériaux excavés (déblais)

La caractérisation des matériaux de remblai les ayant identifiés comme un mélange de matières résiduelles non dangereuses et de sols, tout surplus de matériaux excavés et non utilisés comme remblai lors des opérations de profilage de la berge, sera éliminé hors site en conformité avec la réglementation.

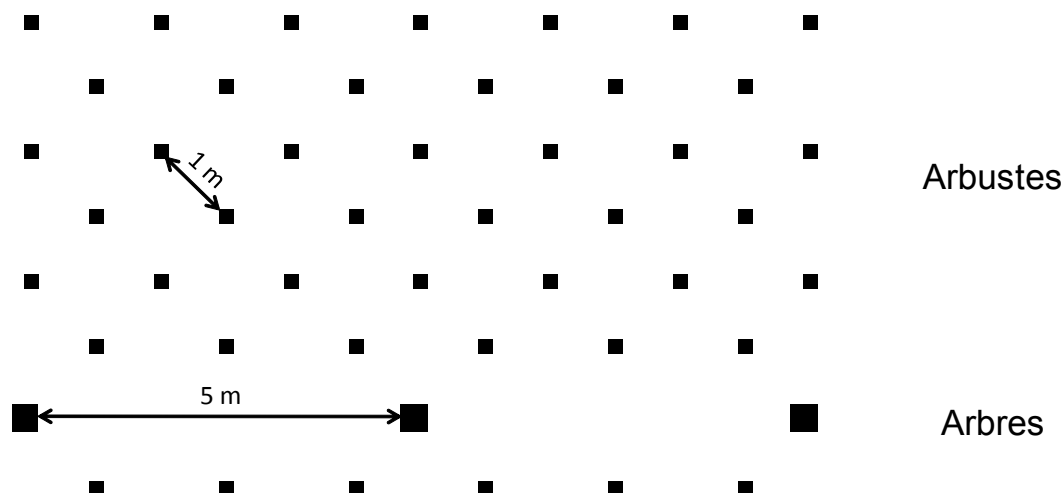
3.6 Renaturalisation de la berge

À la suite des travaux de recouvrement, la zone de la berge, dont la surface finale sera constituée de terre végétale, sera végétalisée afin de permettre d'une part sa stabilisation et d'autre part de faciliter l'implantation éventuelle de la végétation naturelle et de favoriser la présence de la faune. Deux types de techniques de génie végétal seront utilisés : l'ensemencement et la plantation. Des espèces herbacées indigènes ainsi que des espèces arbustives seront ensemencées à partir de la limite de l'enrochement alors que des espèces arborescentes indigènes seront plantées dans le replat en haut de la berge.

La végétalisation de la berge décrite plus en détail ci-dessous reprend les modalités révisées par la direction des évaluations environnementales dans le document d'étude d'impact du projet de réhabilitation de la berge déposé par HDS en 2009 pour le compte d'Elkem.

3.6.1 Plantation

Les plants seront répartis en quinconce et la distance entre les arbustes sera d'un mètre tandis qu'elle sera de 5 mètres entre les arbres. Des trous seront creusés suffisamment larges et profonds pour permettre l'étalement des racines, mais sans excéder la profondeur des mesures de mitigation. Les espèces d'arbustes et d'arbres seront de hauteurs différentes et seront implantées en commençant par le milieu du talus jusqu'au replat. Les arbustes seront plantés dans les premiers 4 m à partir du haut du talus, tandis que les arbres seront plantés dans les derniers mètres de la bande riveraine, suivie d'une dernière rangée d'arbustes près du 10 m. Un patron de plantation est présenté ci-après.



Une fois les arbustes et les arbres plantés, le sol sera légèrement tassé pour éviter la formation de poches d'air et la plantation sera suivie d'un arrosage. Un paillis des copeaux de bois de 50 millimètres d'épaisseur sera placé autour des arbres pour éliminer la compétition herbacée et pour conserver l'humidité du sol, en prenant bien soin de dégager les troncs de 15 à 20 millimètres. Les plants auront les caractéristiques des espèces indigènes déjà présentes sur le site et certaines seront adaptées aux terrains secs. Ces critères ont influencé le choix des végétaux suivants :

Arbustes d'une hauteur inférieure à 2 mètres

- › La Potentille frutescente (*Dasiphora fruticosa*);
- › Le Rosier inerme (*Rosa blanda*);
- › La Shepherdie du Canada (*Shepherdia canadensis*);
- › La Vigne vierge (*Parthenocissus quinquefolia*).

Arbustes d'une hauteur variant de 2 à 5 mètres

- › L'Amélanchier du Canada (*Amelanchier canadensis*);
- › L'Amélanchier glabre (*Amelanchier laevis*);
- › L'Aulne crispé (*Alnus alnobetula ssp. crispa*);
- › Le Sureau du Canada (*Sambucus canadensis*).

Arbustes d'une hauteur inférieure à 10 mètres

- › Le Cerisier de Virginie (*Prunus virginiana*);
- › Le Saule brillant (*Salix lucida*);
- › Le Sumac vinaigrier (*Rhus typhina*).

Arbres d'une hauteur supérieure à 10 mètres

- › Le Cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*);
- › Le Frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*);
- › L'Orme d'Amérique (*Ulmus americana*);
- › Le Peuplier deltoïde (*Populus deltoides*).

3.6.2 Ensemencement

L'ensemencement se fera avec un mélange de graines de plantes herbacées adapté pour les terrains secs. Il renfermera 40 % de Fétuque rouge traçante (*Festuca rubra*), 20 % de Pâturin des prés (*Poa pratensis*), 20 % d'Ivraie vivace (*Lolium perenne*), 10 % d'Agrostide blanche (*Agrostis gigantea*) et 10 % de Trèfle blanc (*Trifolium repens*). Outre le paillis de graines dont la période de germination est de 2 à 3 semaines, l'ensemencement comprendra un accélérateur de croissance et des fixatifs de paillis.

La figure 607871-2019-PR-10, à l'annexe 2, montre une coupe du scénario de restauration choisi avec une configuration de la végétalisation qui sera effectué.

4 Surveillance environnementale des travaux

Une surveillance environnementale sera effectuée à temps plein lors des travaux de restauration. Elle sera assurée par l'initiateur du projet et son consultant en environnement. Elle concernera les différents volets des travaux des entrepreneurs, notamment ceux liés au profilage de la berge, à l'excavation et à l'élimination des matériaux, à la mise en place des mesures de recouvrement, à l'enrochement de la berge et à la stabilisation de la rive par la végétation.

Le surveillant s'assurera que ces travaux soient réalisés en conformité avec les spécifications présentées précédemment ainsi que celles détaillées ci-après.

4.1 Prévention des affaissements et éboulements vers le lac Saint-Louis

Conformément à ce qui a été prévu dans la documentation déposée précédemment, une marge de recul d'au moins 2 m de la machinerie par rapport au haut du talus sera maintenue en tout temps, et ce afin de contrer les conséquences pouvant découler de l'affaissement du talus. La marge de recul est réalisable et suffisamment importante pour assurer la sécurité de l'opérateur et la stabilité du talus tout en offrant la possibilité de travailler jusqu'au pied du talus.

Non prévu initialement dans la documentation déposée à la direction des évaluations environnementales, un rideau de confinement sera mis en place le long de la rive. Une toile de géotextile sera accrochée à des boudins flottants et tendue jusqu'au fond à l'aide de poches de lest. Les travaux dans les berges se dérouleront par secteur, ainsi la longueur de cette barrière correspondra minimalement à celle d'un secteur. Cette barrière sera réutilisable et déplacée le long de la rive pour suivre l'avancement des travaux.

Si des travaux au bas de la berge sont nécessaires, un accès sera aménagé à même la berge. Cet accès sera démantelé à la fin des travaux et les mesures de recouvrement y seront appliquées.

4.2 Mesures d'atténuation

La proscription des travaux en dehors des périodes prescrites par la réglementation municipale, soit entre 7h00 et 21h00, constitue une mesure d'atténuation. Elle permettra de restreindre le bruit, diminuant l'ampleur des impacts anticipés sur la population et les adeptes de plein air locaux.

En tout temps pendant les travaux, un contrôle de l'émission de poussières sera assuré afin que celle-ci soit minimale et il sera prévu l'utilisation d'abat-poussières si cette condition n'est pas respectée.

L'interdiction pour les différents entrepreneurs de procéder à des changements d'huile ou des remplissages de carburant en bordure du lac Saint-Louis constitue une autre mesure d'atténuation. De plus, toutes les précautions nécessaires pour respecter les directives et/ou les réglementations municipales, provinciales et fédérales relativement à des travaux en bordure de berge seront prises.

Les camions transportant les remblais seront munis de bennes étanches et de bâches de transport. Aucun camion chargé ne franchira le site et ne circulera sur les voies publiques sans avoir préalablement procédé au nettoyage des pneus dans l'aire de lavage aménagée sur le site.

Une attention sera portée à ce que les chemins publics empruntés pour le transport des matériaux de déblai et de remblai au cours des opérations de transport des matériaux soient maintenus propres. Tout déversement d'eau, de remblai ou de matériaux sur les chemins publics sera enlevé et le chemin nettoyé le cas échéant.

Par ailleurs, advenant des plaintes des citoyens du voisinage, des mesures de bruit et de poussière dans l'air pourront être effectuées.

Toutes les actions de surveillance environnementale seront consignées dans un rapport.

4.3 Protection de la faune

Contrairement à un engagement pris dans la documentation déposée précédemment, il semble irréalisable d'arrêter les travaux de restauration à chaque fois qu'un cormoran à aigrette s'approchera à moins de 100 m de la zone des travaux en fonction des survols réguliers observés lors des travaux de caractérisation.

Les travaux de restauration de la berge seront effectués entre l'été et l'automne 2020. Les travaux de restauration devraient ainsi se faire en majorité après la période de nidification et ne devraient pas représenter une perturbation de la faune aviaire locale telle qu'elle justifierait leur arrêt à chaque observation d'un individu à proximité.

Conformément à l'engagement pris dans la documentation déposée précédemment, advenant le cas où des espèces d'amphibiens et de reptiles seraient rencontrées lors des travaux, l'interruption des travaux sera immédiate afin de leur donner la chance de s'éloigner ou sinon, les personnes assurant la surveillance prendront soin de déplacer les espèces en lieu sûr.

5 Suivi environnemental consécutif aux travaux

Un suivi environnemental de la qualité de la restauration de la berge portera sur les trois éléments suivants :

- 1) Des arrosages, si des périodes de sécheresse surviennent, et une fertilisation printanière pour éviter la perte des végétaux qui n'auront pas encore développé de réseau racinaire adéquat;
- 2) Dans l'éventualité où des dommages seraient constatés, en particulier après le premier hiver, les correctifs requis et le remplacement des végétaux qui dépériront;
- 3) La vérification de l'intégrité de l'enrochement et du tapis de béton-câble, le cas échéant, le rétablissement des pierres et des blocs en saillie ou en surplomb qui pourraient facilement déboiler ou être arrachés par les glaces ou les matériaux transportés par l'eau et menacer la stabilité de l'enrochement.

Un rapport de suivi annuel sera produit par l'initiateur sur la reprise de la végétation, les activités effectuées et les observations notées tout au long des trois années à la suite de l'exécution des travaux.

6 Restriction d'utilisation

Une fois les travaux de construction complétés et de façon à contrôler l'intégrité des mesures de recouvrement visées au présent plan de restauration, toute personne ayant la garde de l'immeuble ou toute personne nommée par elle devra tenir un registre relatif à tous travaux d'aménagement et d'entretien impliquant des travaux d'excavation ou de recouvrement.

Si l'usage du terrain implique des excavations dans le futur, la gestion des sols excavés devra être conforme aux normes législatives et réglementaires alors en vigueur.

Les activités de quiconque ayant accès au terrain ne peuvent porter atteinte à l'intégrité du sol tel que décrit dans la présente demande.

Les futurs travaux d'aménagement effectués sur le terrain, le cas échéant, doivent respecter l'intégrité des mesures, telles que définies dans la présente demande.

Quiconque ayant accès au terrain doit respecter l'ensemble des conditions et restrictions relatives à l'utilisation du terrain.

7 Échéancier global des travaux

Les travaux de restauration de la berge sont prévus débiter au printemps 2020 pour se finir à l'automne de la même année.

Annexe 1

Portée du rapport

1. Utilisation du rapport

a. Utilisation du rapport

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés par SNC-Lavalin GEM Québec inc. (SNC-Lavalin) exclusivement à l'intention du client (le Client) auquel le rapport est adressé, qui a pris part à l'élaboration de l'énoncé des travaux et en comprend les limites. La méthodologie, les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'énoncé des travaux et assujettis aux exigences en matière de temps et de budget, telles que décrites dans l'offre de services et/ou dans le contrat en vertu duquel le présent rapport a été émis. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers est la responsabilité exclusive de ce dernier. SNC-Lavalin n'est aucunement responsable de tout dommage subi par un tiers du fait de l'utilisation de ce rapport ou de toute décision fondée sur son contenu. Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport (i) ont été élaborés conformément au niveau de compétence normalement démontré par des professionnels exerçant des activités dans des conditions similaires de ce secteur, et (ii) sont déterminés selon le meilleur jugement de SNC-Lavalin en tenant compte de l'information disponible au moment de la préparation du présent rapport. Les services professionnels fournis au Client et les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport ne font l'objet d'aucune autre garantie, explicite ou implicite. Les conclusions et les résultats cités au présent rapport sont valides uniquement à la date du rapport et peuvent être fondés, en partie, sur de l'information fournie par des tiers. En cas d'information inexacte, de la découverte de nouveaux renseignements ou de changements aux paramètres du projet, des modifications au présent rapport pourraient s'avérer nécessaires. Les résultats de cette étude ne constituent en aucune façon une garantie que le terrain à l'étude est exempt de toute contamination. Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble, et ses sections ou ses parties ne doivent pas être vues ou comprises hors contexte. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, cette dernière prévaudrait. Rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique. Le contenu du présent rapport est de nature confidentielle et exclusive. Il est interdit à toute personne, autre que le Client, de reproduire ou de distribuer ce rapport, de l'utiliser ou de prendre une décision fondée sur son contenu, en tout ou en partie, sans la permission écrite expresse du Client et de SNC-Lavalin.

b. Modifications au projet

Les données factuelles, les interprétations et les recommandations contenues dans ce rapport ont trait au projet spécifique tel que décrit dans le rapport et ne s'appliquent à aucun autre projet ni autre site. Si le projet est modifié du point de vue conception, dimensionnement, emplacement ou niveau, SNC-Lavalin devra être consulté de façon à confirmer que les recommandations déjà données demeurent valides et applicables.

c. Nombre de sondages

Les recommandations données dans ce rapport n'ont pour but que de servir de guide à l'ingénieur en conception. Le nombre de sondages pour déterminer toutes les conditions souterraines qui peuvent affecter les travaux de construction (coûts, techniques, matériel, échancier), devrait normalement être plus élevé que celui pour les besoins du dimensionnement. Le nombre de points d'échantillonnage et d'analyses chimiques ainsi que la fréquence d'échantillonnage et le choix des paramètres peuvent influencer la nature et l'envergure des actions correctives ainsi que les techniques et les coûts de traitement ou de disposition. Les entrepreneurs qui soumissionnent ou qui sous-traitent le travail, devraient compter sur leurs propres études ainsi que sur leurs propres interprétations des résultats factuels des sondages pour apprécier de quelle façon les conditions souterraines peuvent affecter leur travail et les coûts des travaux.

d. Interprétation des données, commentaires et recommandations

À moins d'avis contraire, l'interprétation des données et des résultats, les commentaires et les recommandations contenus dans ce rapport sont fondés, au mieux de notre connaissance, sur les politiques, les critères et les règlements environnementaux en vigueur à l'emplacement du projet et à la date de production du rapport. Si ces politiques, critères et règlements font l'objet de modifications après la soumission du rapport, SNC-Lavalin devra être consulté pour réviser les recommandations à la lumière de ces changements. Lorsqu'aucune politique, critère ou réglementation n'est disponible pour permettre l'interprétation des données et des résultats analytiques, les commentaires ou recommandations exprimés par SNC-Lavalin sont basés sur la meilleure connaissance possible des règles acceptées dans la pratique professionnelle. Les analyses, commentaires et recommandations contenus dans ce rapport sont fondés sur les données et observations recueillies sur le site, lesquelles proviennent de travaux d'échantillonnage effectués sur le site. Il est entendu que seules les données directement recueillies à l'endroit des sondages, des sites d'échantillonnage et à la date de l'échantillonnage sont exactes et que toute interpolation ou extrapolation de ces résultats à l'ensemble ou à une partie du site comporte des risques d'erreurs qui peuvent elles-mêmes influencer la nature et l'ampleur des actions requises sur le site.

2. Rapports de sondage et interprétation des conditions souterraines

a. Description des sols et du roc

Les descriptions des sols et du roc données dans ce rapport proviennent de méthodes de classification et d'identification communément acceptées et utilisées dans la pratique de la géotechnique. La classification et l'identification du sol et du roc font appel à un jugement. SNC-Lavalin ne garantit pas que les descriptions seront identiques en tout point à celles faites par un autre géotechnicien possédant les mêmes connaissances des règles de l'art en géotechnique, mais assure une exactitude seulement à ce qui est communément utilisé dans la pratique de la géotechnique.

b. Conditions des sols et du roc à l'emplacement des sondages

Les rapports de sondage ne fournissent que des conditions du sous-sol à l'emplacement des sondages seulement. Les limites entre les différentes couches sur les rapports de sondage sont souvent approximatives, correspondant plutôt à des zones de transition, et ont donc fait l'objet d'une interprétation. La précision avec laquelle les conditions souterraines sont indiquées, dépend de la méthode de sondage, de la fréquence et de la méthode d'échantillonnage ainsi que de l'uniformité du terrain rencontré. L'espacement entre les sondages, la fréquence d'échantillonnage et le type de sondage sont également le reflet de considérations budgétaires et de délais d'exécution qui sont hors du contrôle de SNC-Lavalin.

c. Conditions des sols et du roc entre les sondages

Les formations de sol et de roc sont variables sur une plus ou moins grande étendue. Les conditions souterraines entre les sondages sont interpolées et peuvent varier de façon significative autant en plan qu'en profondeur des conditions rencontrées à l'endroit des sondages. SNC-Lavalin ne peut en effet garantir les résultats qu'à l'endroit des sondages effectués. Toute interprétation des conditions présentées entre les sondages comporte des risques. Ces interprétations peuvent conduire à la découverte de conditions différentes de celles qui étaient prévues. SNC-Lavalin ne peut être tenu responsable de la découverte de conditions de sol et de roc différentes de celles décrites ailleurs qu'à l'endroit des sondages effectués.

d. Niveaux de l'eau souterraine

Les niveaux de l'eau souterraine donnés dans ce rapport correspondent seulement à ceux observés à l'endroit et à la date indiqués dans le rapport ainsi qu'en fonction du type d'installation piézométrique utilisé. Ces conditions peuvent varier de façon saisonnière ou suite à des travaux de construction sur le site ou sur des sites adjacents. Ces variations sont hors du contrôle de SNC-Lavalin.

3. Niveaux de contamination

Les niveaux de contamination décrits dans ce rapport correspondent à ceux détectés à l'endroit et à la date indiqués dans le rapport. Ces niveaux peuvent varier selon les saisons ou par suite d'activités sur le site à l'étude ou sur des sites adjacents. Ces variations sont hors de notre contrôle. Les niveaux de contamination sont déterminés à partir des résultats des analyses chimiques effectuées sur un nombre limité d'échantillons de sol, d'eau de surface ou d'eau souterraine. La nature et le degré de contamination entre les points d'échantillonnage peuvent varier de façon importante de ceux à ces points. La composition chimique des eaux souterraines à chaque point d'échantillonnage est susceptible de changer en raison de l'écoulement souterrain, des conditions de recharge par la surface, de la sollicitation de la formation investiguée (i.e. puits de pompage ou d'injection à proximité du site) ainsi que de la variabilité saisonnière naturelle. La précision des niveaux de contamination de l'eau souterraine dépend de la fréquence et du nombre d'analyses effectuées. La liste des paramètres analysés est basée sur notre meilleure connaissance de l'historique du site et des contaminants susceptibles d'être trouvés sur le site et est également le reflet de considérations budgétaires et de délais d'exécution. Le fait qu'un paramètre n'ait pas été analysé n'exclut pas qu'il soit présent à une concentration supérieure au bruit de fond ou à la limite de détection de ce paramètre.

4. Suivi de l'étude et des travaux

a. Vérification en phase finale

Tous les détails de conception et de construction ne sont pas connus au moment de l'émission du rapport. Il est donc recommandé que les services de SNC-Lavalin soient retenus pour apporter toute la lumière sur les conséquences que pourraient avoir les travaux de construction sur l'ouvrage final.

b. Inspection durant l'exécution

Il est recommandé que les services de SNC-Lavalin soient retenus pendant la construction, pour vérifier et confirmer d'une part que les conditions souterraines sur toute l'étendue du site ne diffèrent pas de celles données dans le rapport et d'autre part, que les travaux de construction n'auront pas un effet défavorable sur les conditions du site.

5. Changement des conditions

Les conditions de sol décrites dans ce rapport sont celles observées au moment de l'étude. À moins d'indication contraire, ces conditions forment la base des recommandations du rapport. Les conditions de sol peuvent être modifiées de façon significative par les travaux de construction (trafic, excavation, etc.) sur le site ou sur les sites adjacents. Une excavation peut exposer les sols à des changements dus à l'humidité, au séchage ou au gel. Sauf indication contraire, le sol doit être protégé de ces changements ou remaniements pendant la construction. Lorsque les conditions rencontrées sur le site diffèrent de façon significative de celles prévues dans ce rapport, dues à la nature hétérogène du sous-sol ou encore à des travaux de construction, il est du ressort du Client et de l'utilisateur de ce rapport de prévenir SNC-Lavalin des changements et de fournir à SNC-Lavalin l'opportunité de réviser les recommandations de ce rapport. Reconnaître un changement des conditions de sol demande une certaine expérience. Il est donc recommandé qu'un ingénieur géotechnicien expérimenté soit dépêché sur le site afin de vérifier si les conditions ont changé de façon significative.

6. Drainage

Le drainage de l'eau souterraine est souvent requis aussi bien pour des installations temporaires que permanentes du projet. Une conception ou exécution impropre du drainage peut avoir de sérieuses conséquences. SNC-Lavalin ne peut en aucun cas prendre la responsabilité des effets du drainage à moins que SNC-Lavalin ne soit spécifiquement impliqué dans la conception détaillée et le suivi des travaux de construction du système de drainage.

7. Caractérisation environnementale – Phase I (Phase I)

Ce rapport a été rédigé suite à des activités de recherche diligentes et à partir d'une évaluation de sources de données ponctuelles ou des renseignements obtenus auprès de tiers et qui peuvent comporter des incertitudes, lacunes ou omissions. Ces sources d'informations sont sujettes à des modifications au fil du temps, par exemple, selon l'évolution des activités sur le terrain à l'étude et ceux environnants. La Phase I n'inclut aucun essai, échantillonnage ou analyse de caractérisation par un laboratoire. Sauf exception, la Phase I s'appuie sur l'observation des composantes visibles et accessibles sur la propriété et celles voisines et qui pourraient porter un préjudice environnemental à la qualité du terrain à l'étude. Les titres de propriété mentionnés dans ce rapport sont utilisés pour identifier les anciens propriétaires du site à l'étude et ils ne peuvent en aucun cas être considérés comme document officiel pour reproduction ou d'autres types d'usages. Enfin, tout croquis, vue en plan ou schéma apparaissant dans le rapport ou tout énoncé spécifiant des dimensions, capacités, quantités ou distances sont approximatifs et sont inclus afin d'assister le lecteur à visualiser la propriété.

Annexe 2

Figures



Fleuve Saint-Laurent

AXE 2

AXE 3

AXE 1

Route 132

- Lot 4 714 988
- Limite des hautes eaux à récurrence 2 ans (LHE2)
- - - Limite à 10 mètres de la LHE2
- Ancien site d'Elkem
- Zone des travaux, limite de la berge
- Portion de la berge exclue des travaux
- Zone d'accès à l'eau

Note:
Ce dessin doit être lu conjointement avec le rapport qui l'accompagne.

Référence:
GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018

CLIENT :



SNC • LAVALIN

PROJET :

PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

ENDROIT :

61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)

TITRE :

LOCALISATION DES TRAVAUX
DE RESTAURATION

ÉCHELLE :
1/2,000

20 0 20 40 m

DATE :

2019-08-27

DOSSIER :

607871-2019-PR

RÉV.

00

DESSIN :



01



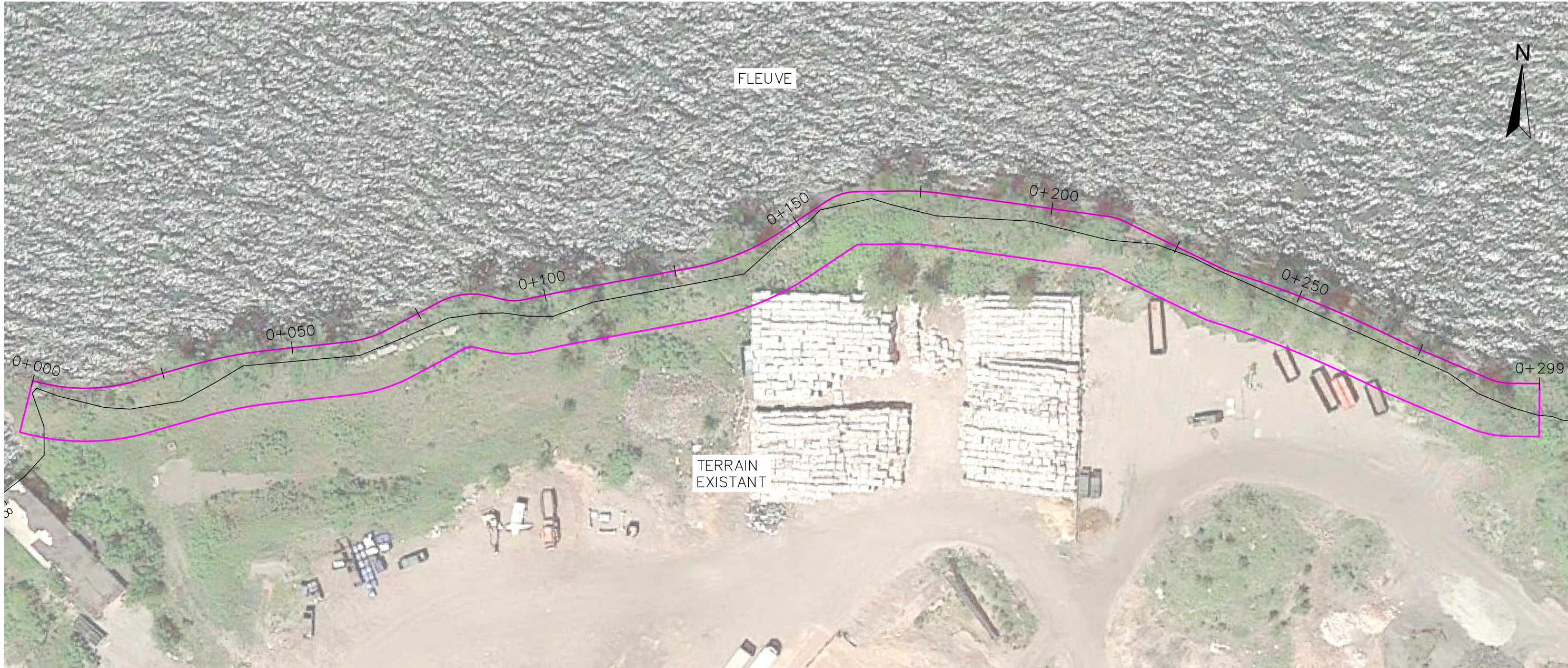
LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ — LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- ▭ LIMITE DES TRAVAUX

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :				 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE					
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)					
TITRE : LIMITE DE L'AXE 1					
ÉCHELLE : AUCUNE					
DATE :		DOSSIER :		RÉV.	DESSIN :
2019-09-05		607871-2019-PR		00	02a



\\Envir01\public\Proj\607871 - ELKEM\DAO\2019\4-Plan\1-Berge\607871-2019-PR-02.dwg

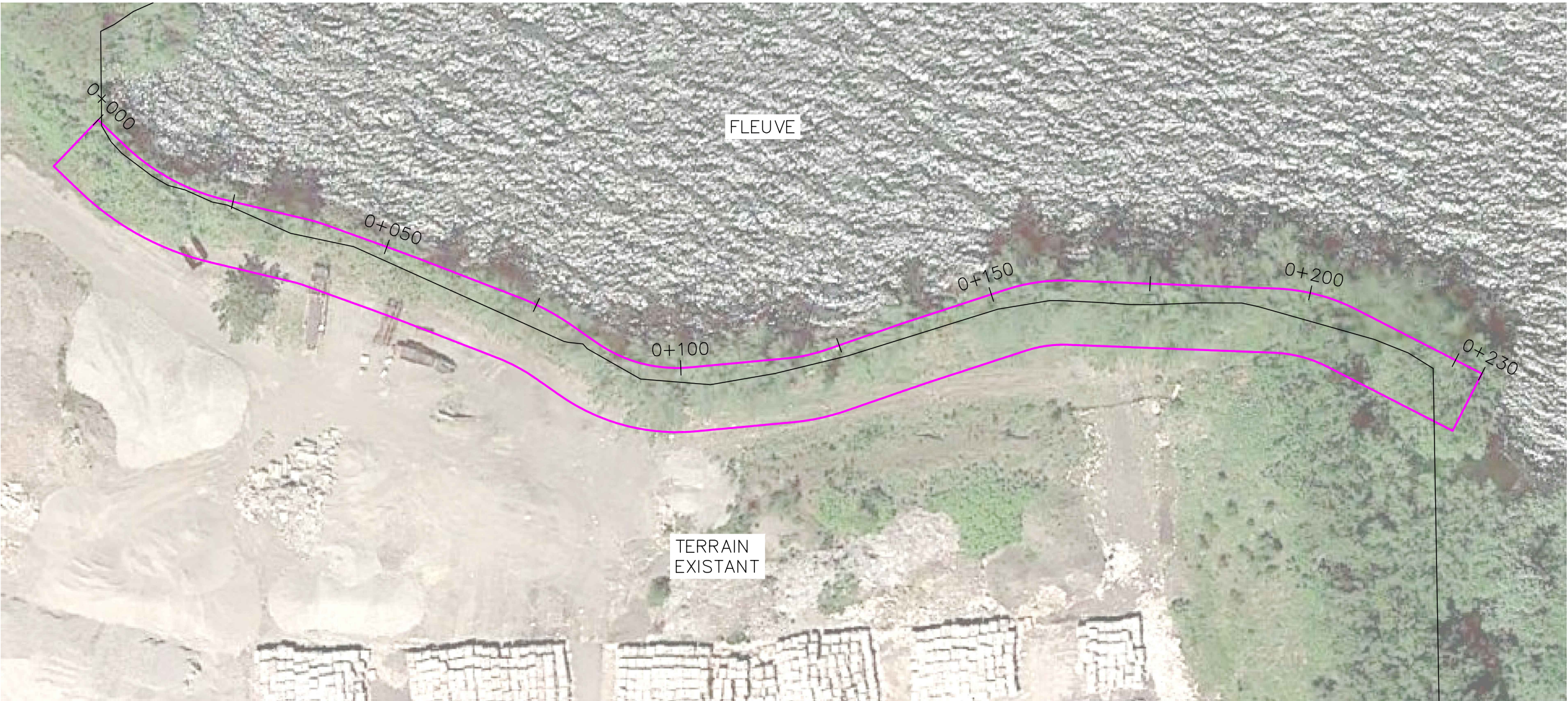


LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ — LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- LIMITE DES TRAVAUX

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.



CLIENT :									
		Elkem		SNC • LAVALIN					
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : LIMITE DE L'AXE 2									
ÉCHELLE : AUCUNE									
DATE :		DOSSIER :		RÉV.	DESSIN :				
2019-09-05		607871-2019-PR		00	02b				

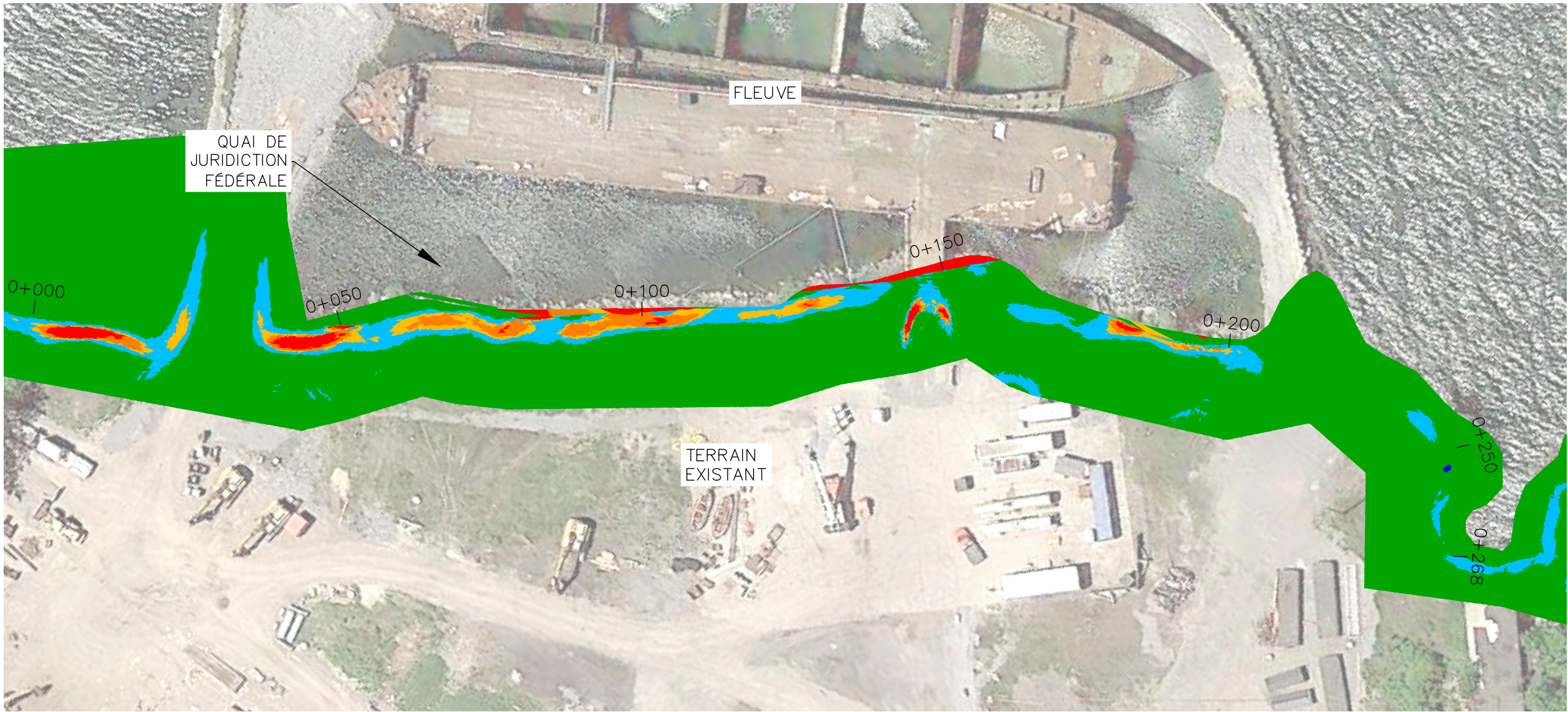


LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ — LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- ▭ LIMITE DES TRAVAUX

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.



CLIENT :									
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : LIMITE DE L'AXE 3									
ÉCHELLE : AUCUNE									
DATE :	DOSSIER :	RÉV.	DESSIN :						
2019-09-05	607871-2019-PR	00	02c						

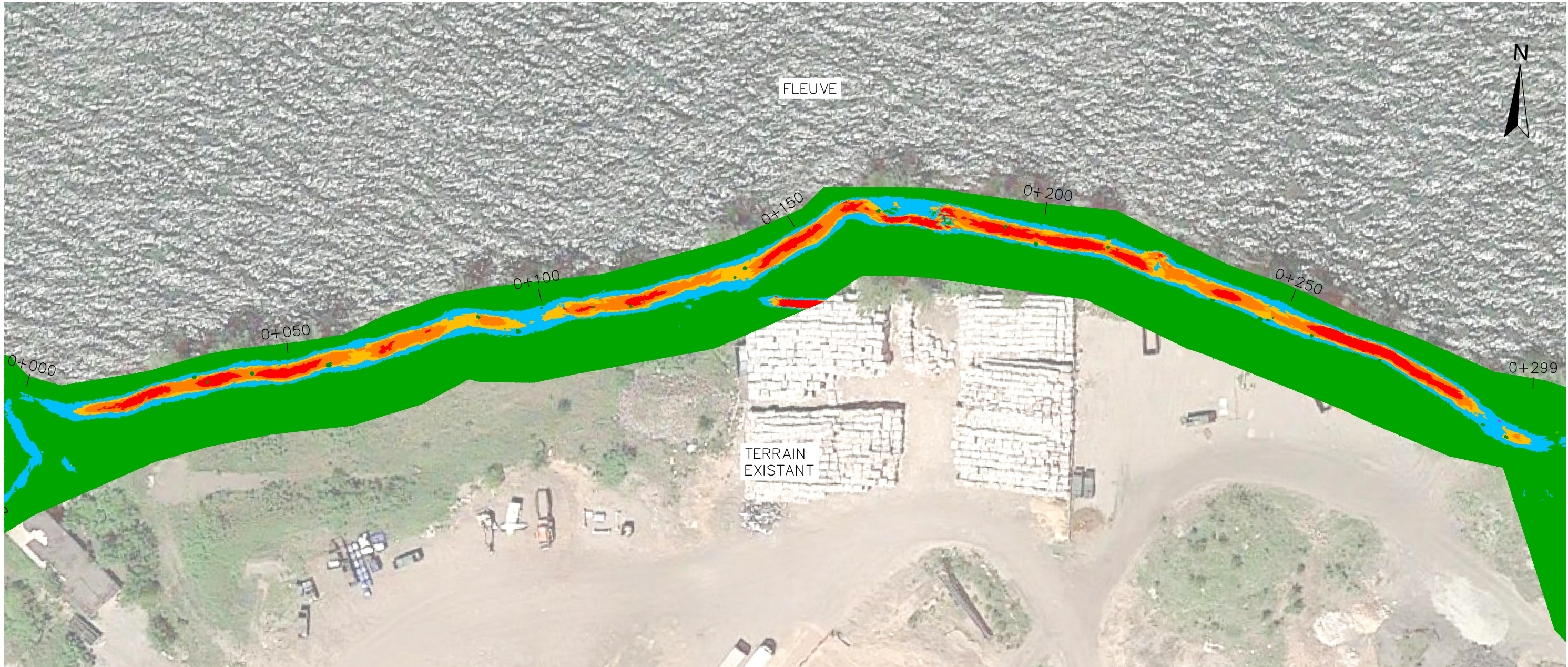


LÉGENDE

- | | | | | | |
|---|----------------|---|---------------|---|-------|
|  | PENTE 3H:1V |  | PENTE 1,5H:1V |  | SAULE |
|  | PENTE 2H:1V |  | PENTE 1H:1V | | |
|  | PENTE 1,75H:1V | | | | |

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :									
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : VUE EN PLAN DE LA BERGE EXISTANTE (AXE 1)									
ÉCHELLE : AUCUNE									
DATE :	DOSSIER :	RÉV.	DESSIN :						
2018-11-15	607871-2019-PR	00	03a						



LÉGENDE



PENTE 3H:1V
PENTE 2H:1V
PENTE 1,75H:1V





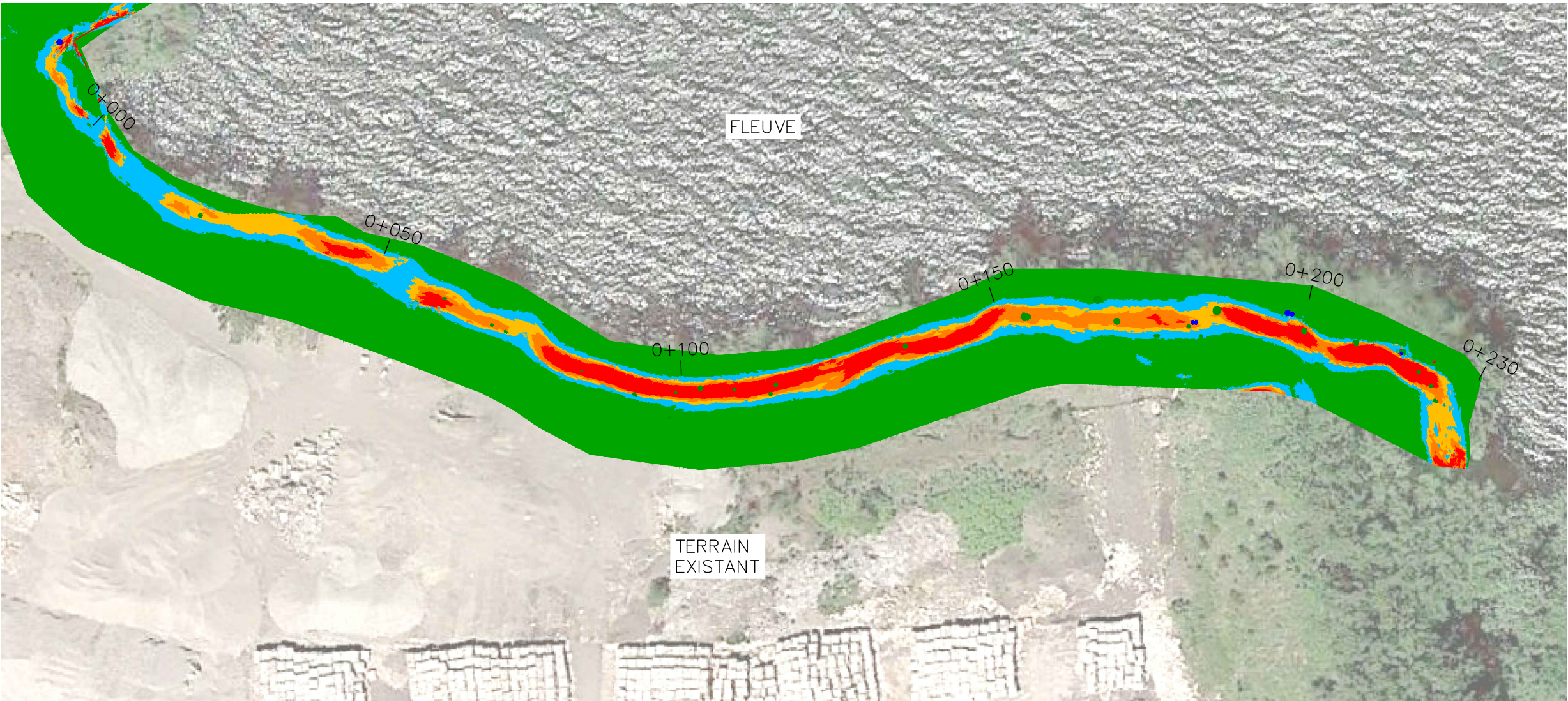
PENTE 1,5H:1V
PENTE 1H:1V



PEUPLIER
SORBIER
INCONNU

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :									
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : VUE EN PLAN DE LA BERGE EXISTANTE (AXE 2)									
ÉCHELLE : AUCUNE									
DATE :		DOSSIER :		RÉV.	DESSIN :				
2018-11-15		607871-2019-PR		00	03b				



LÉGENDE



PENTE 3H:1V
PENTE 2H:1V
PENTE 1,75H:1V



PENTE 1,5H:1V
PENTE 1H:1V





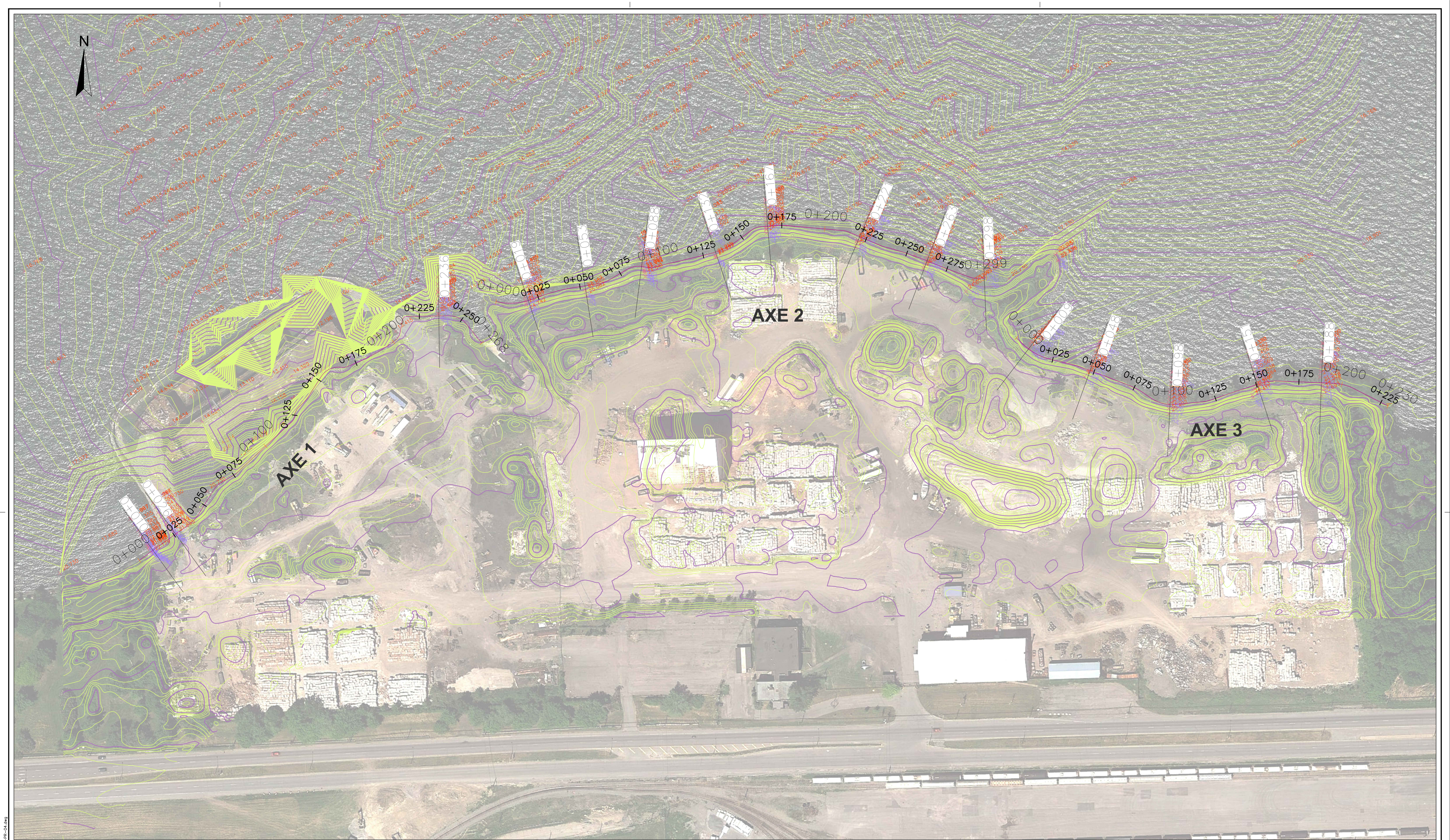
PEUPLIER
SAULE
ORME



FRÊNE

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :									
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : VUE EN PLAN DE LA BERGE EXISTANTE (AXE 3)									
ÉCHELLE : AUCUNE									
DATE :		DOSSIER :		RÉV.	DESSIN :				
2018-11-15		607871-2019-PR		00	03c				



LÉGENDE

CONTOUR BATHYMETRIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

- COURBE MAÎTRESSE
- COURBE SECONDAIRE

CLIENT :



SNC-LAVALIN

PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)

TITRE : TOPOGRAPHIE ET BATHYMETRIE
VUE EN PLAN DES AXES ET DES SECTIONS

ÉCHELLE :

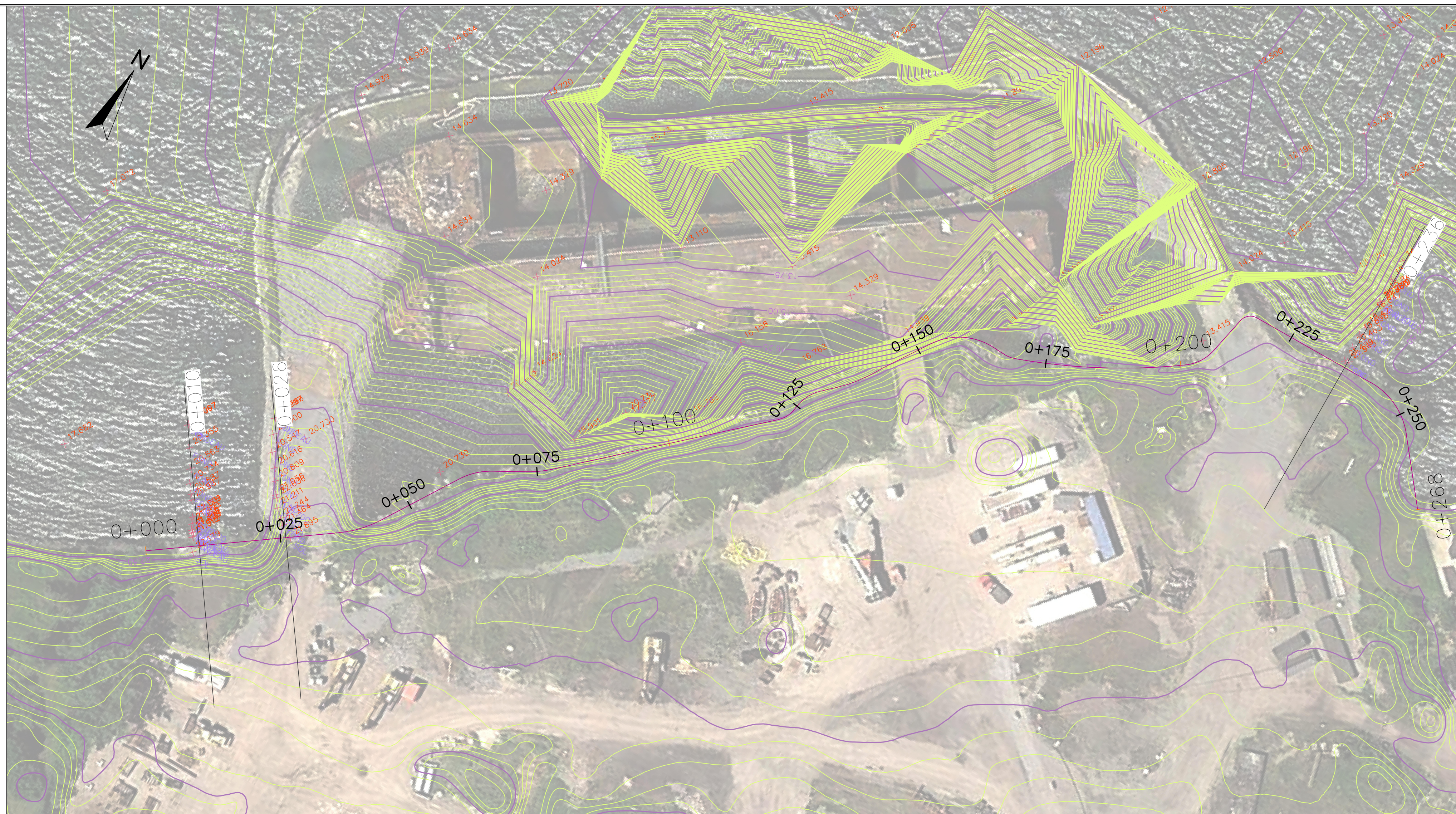
1:1000 10 0 10 30 50m

DATE :
2019-03-18

DOSSIER :
607871-2019-PR

RÉV. :
00
04a

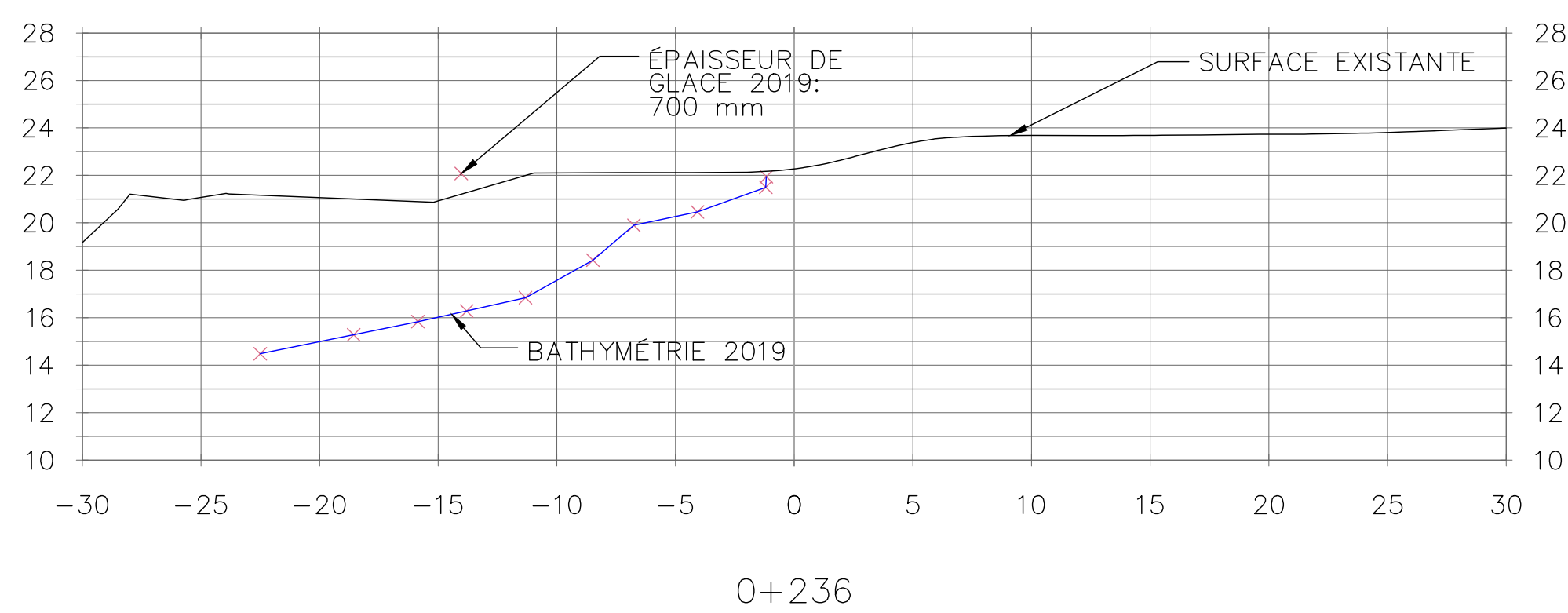
Référence :
GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.



VUE EN PLAN

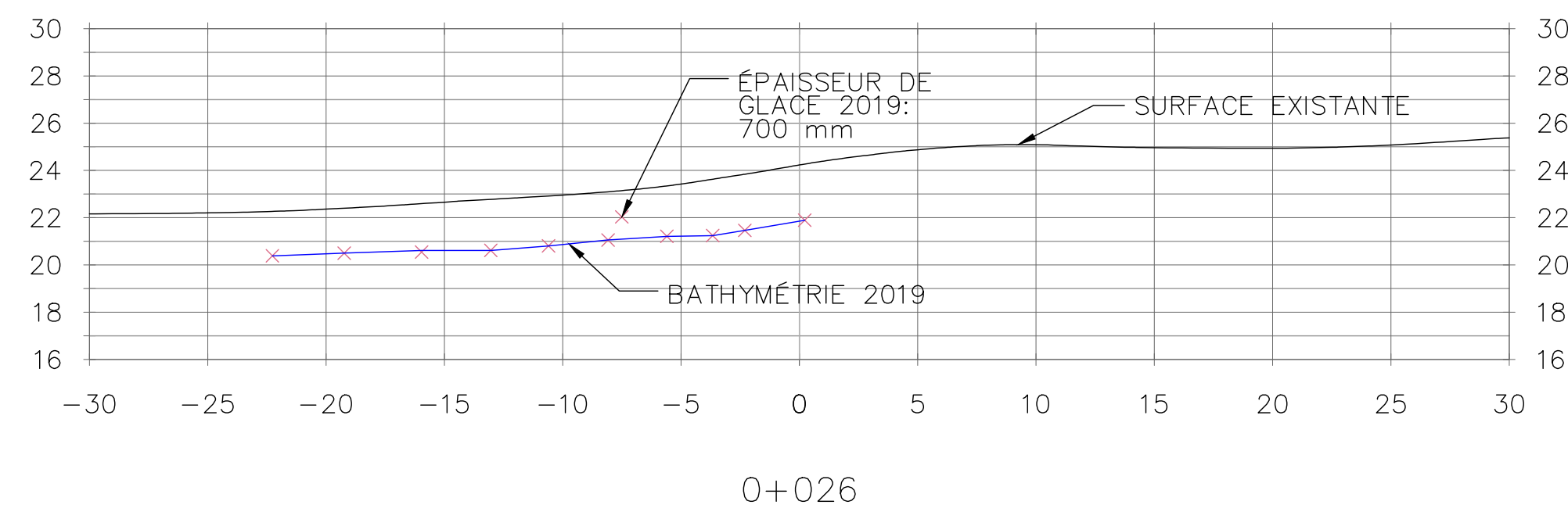
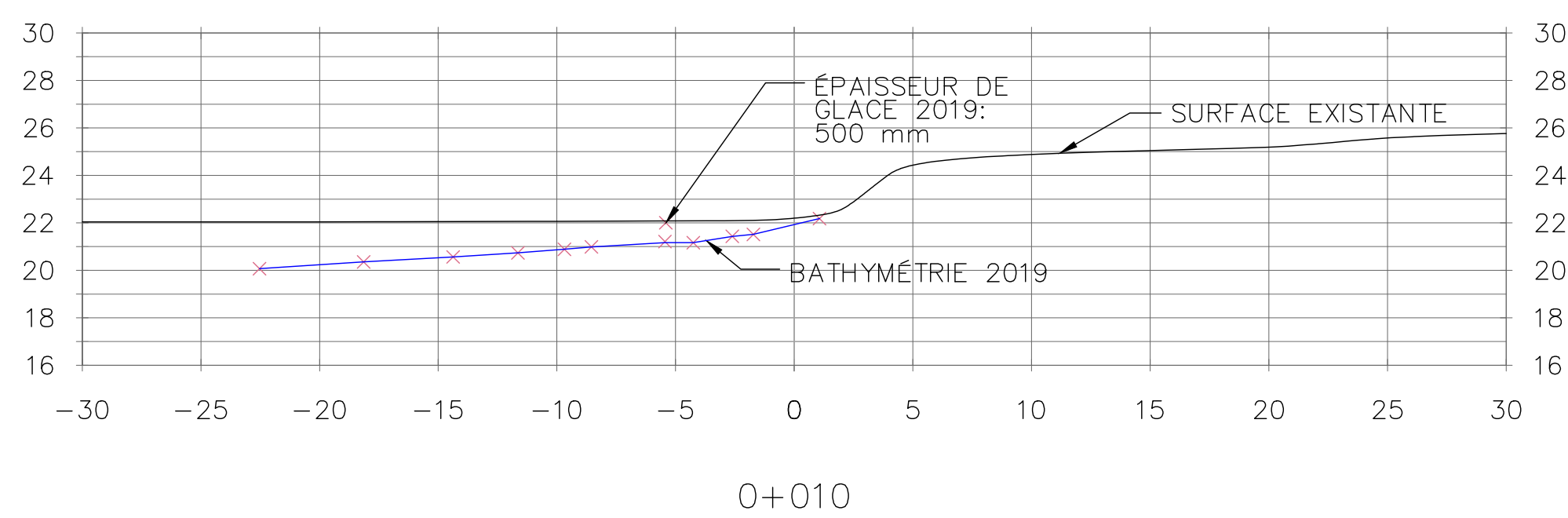
AXE 1

ÉCHELLE: 1:500



COUPES

ÉCHELLE: 1:250



Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT:



PROJET :	PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE
----------	----------------------------------

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)

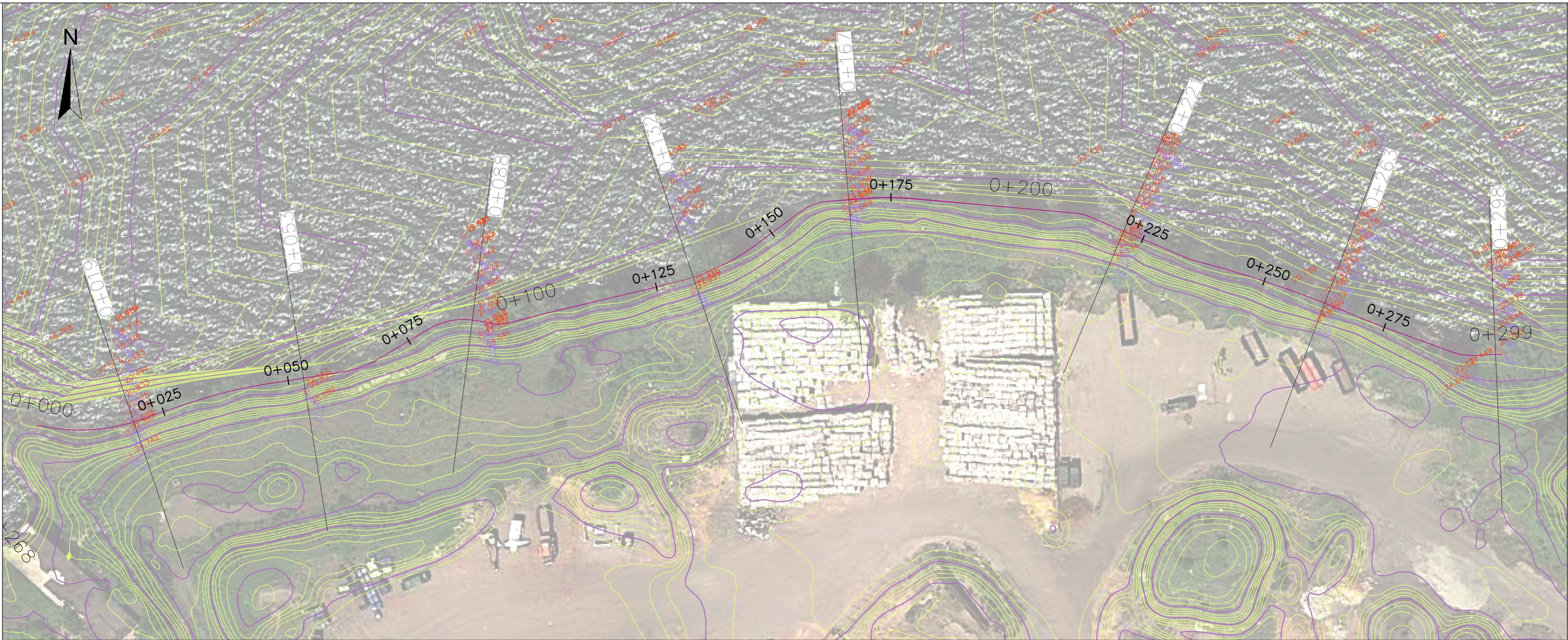
TITRE : TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE
VUE EN PLAN ET COUPES - AXE 1

ÉCHELLE : TEL QU'INDIQUÉ

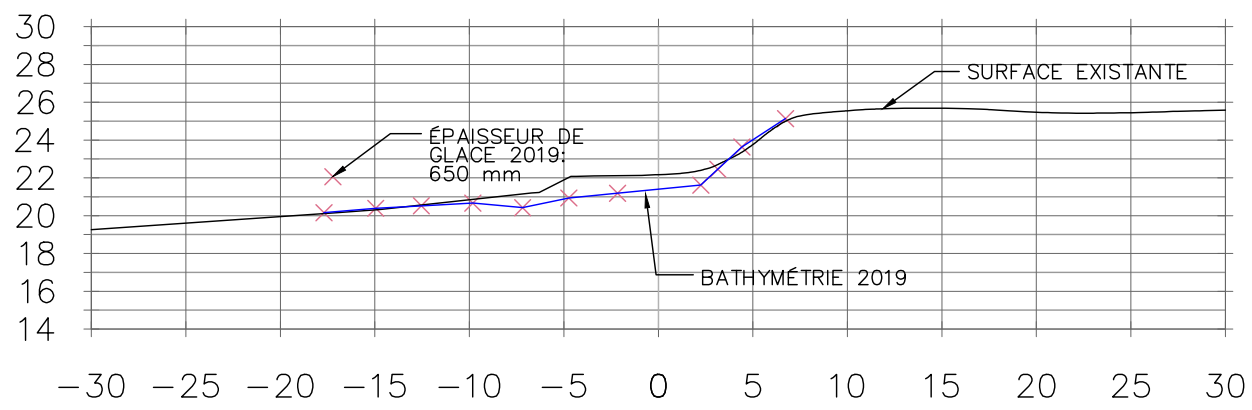
DATE :
2019-03-18

DOSSIER :	607871-2019-PR
-----------	----------------

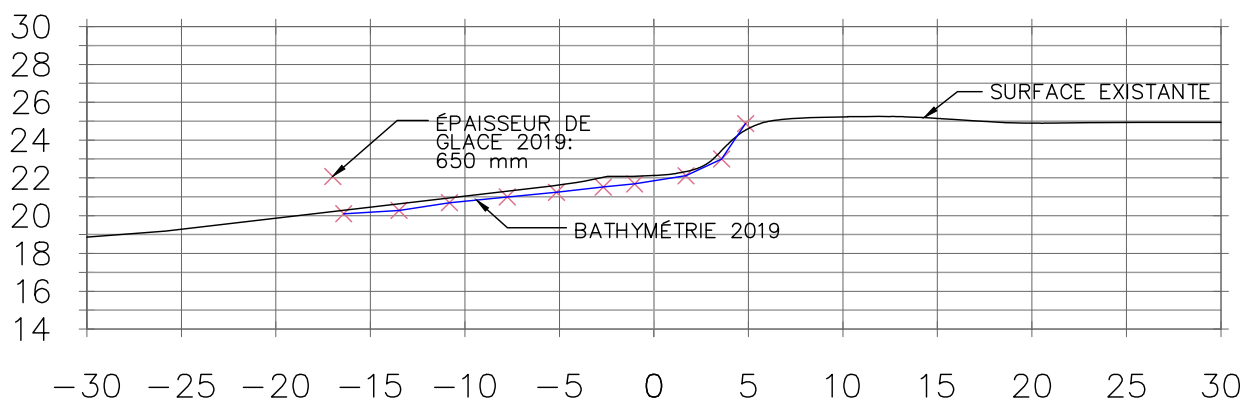
RÉV.	DESSIN :
00	04b



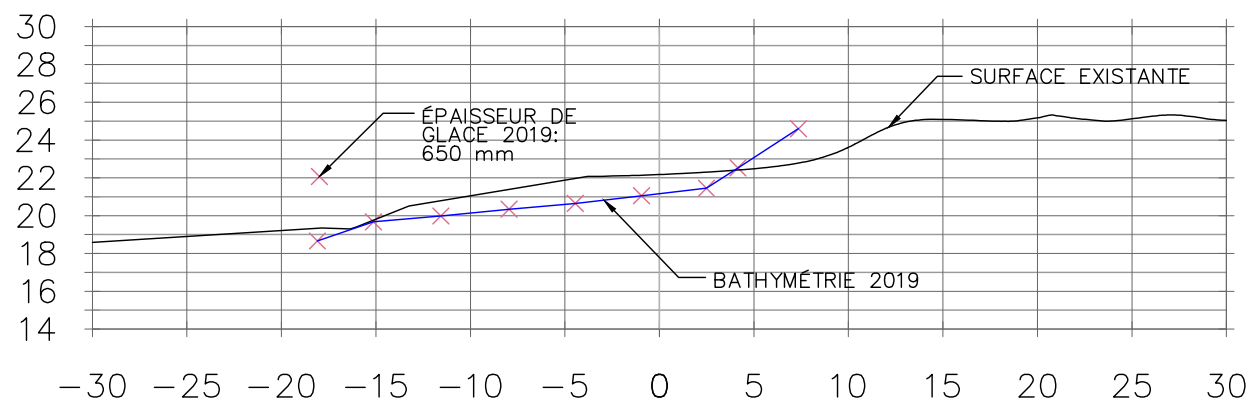
VUE EN PLAN
AXE 2
ÉCHELLE: 1:500



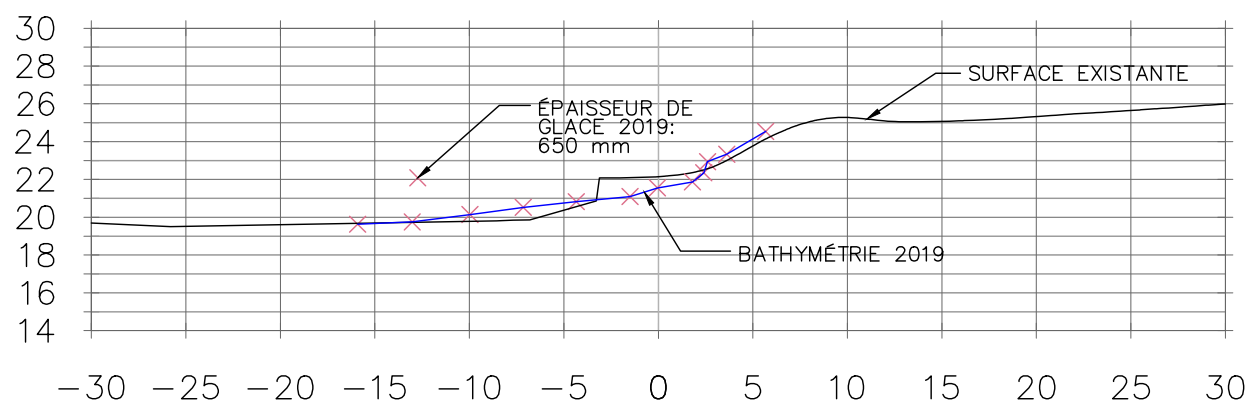
0+221



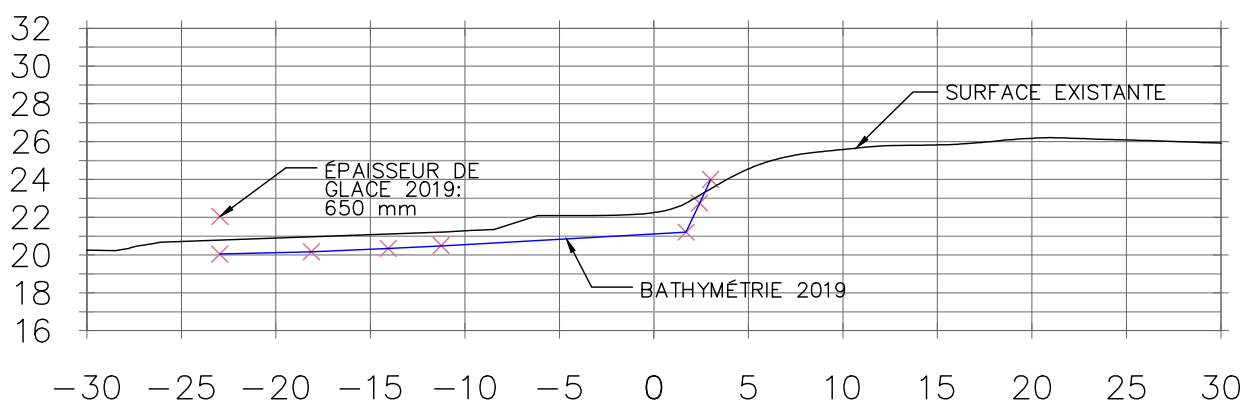
0+263



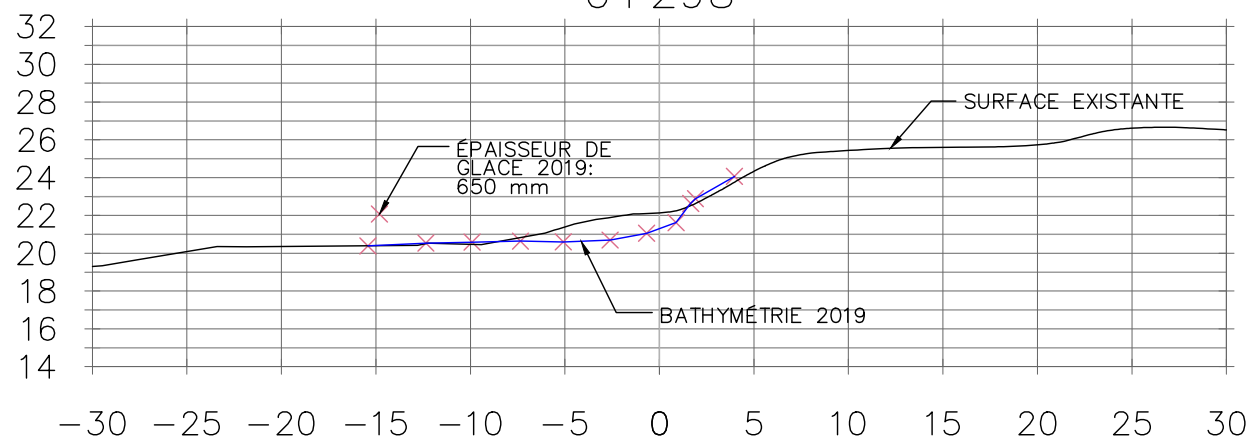
0+298



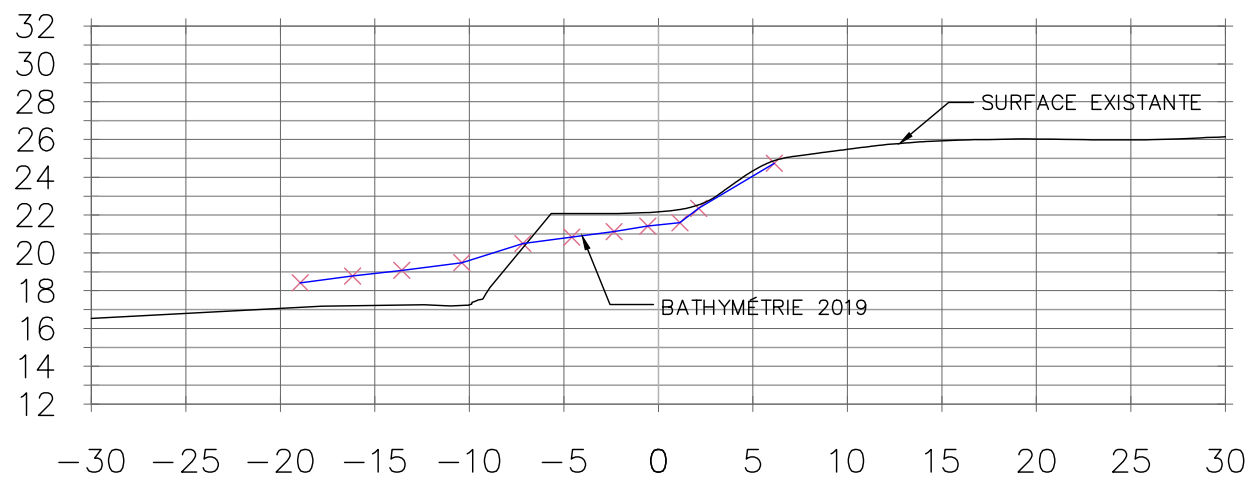
0+088



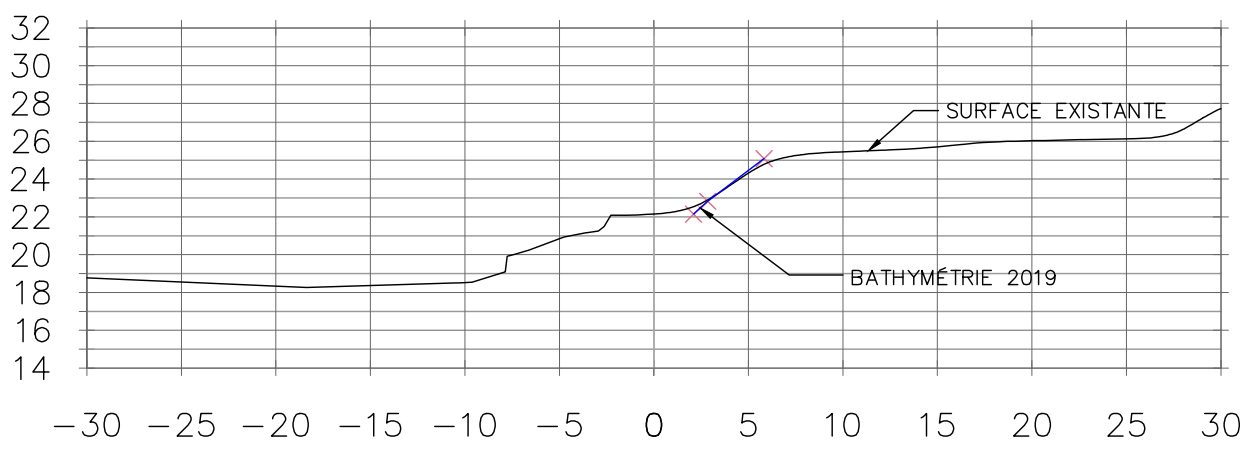
0+132



0+167



0+019

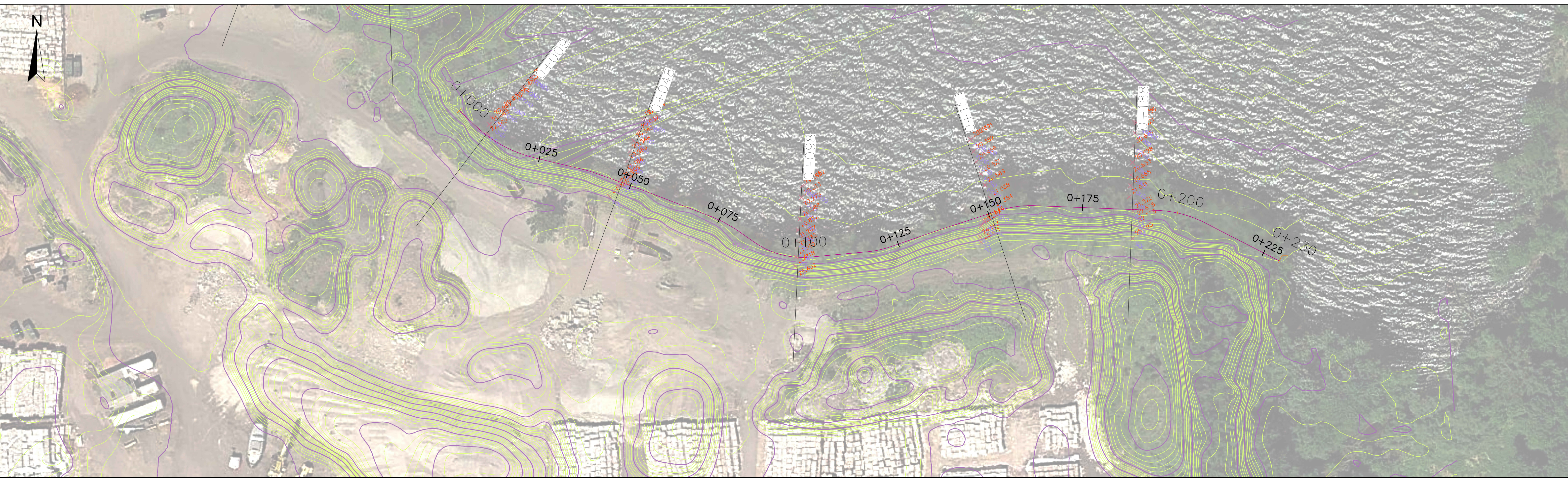


0+053

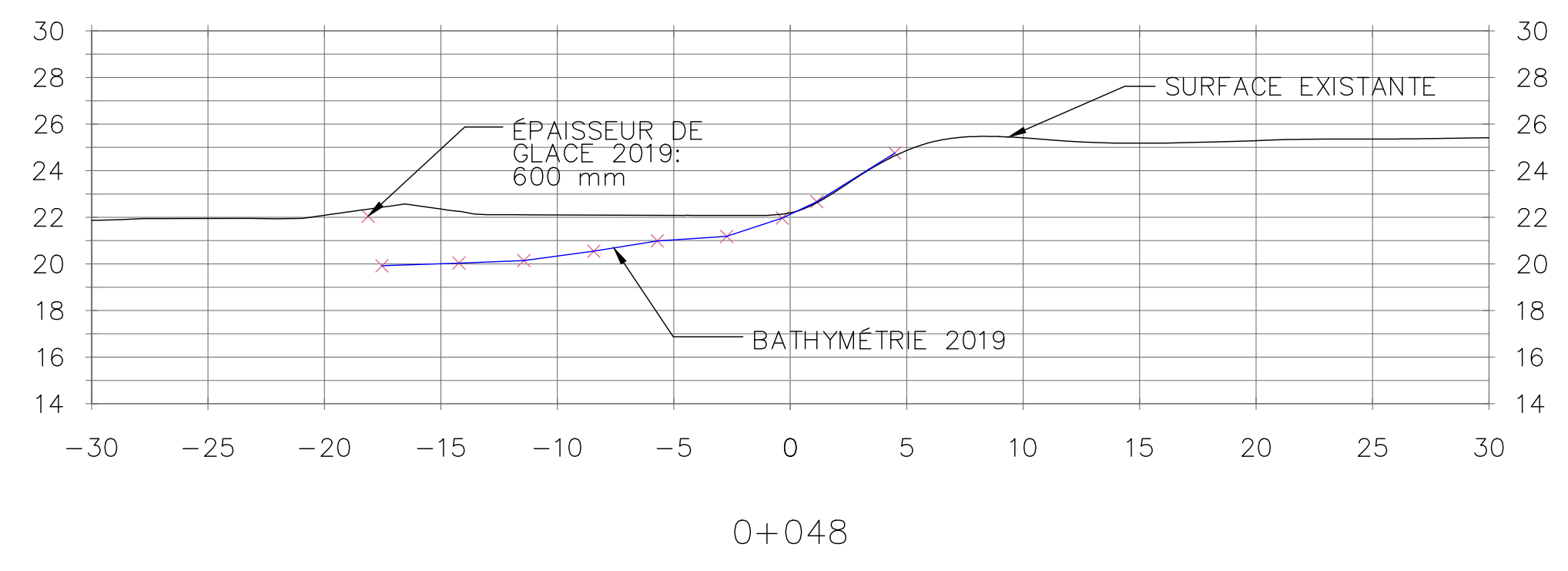
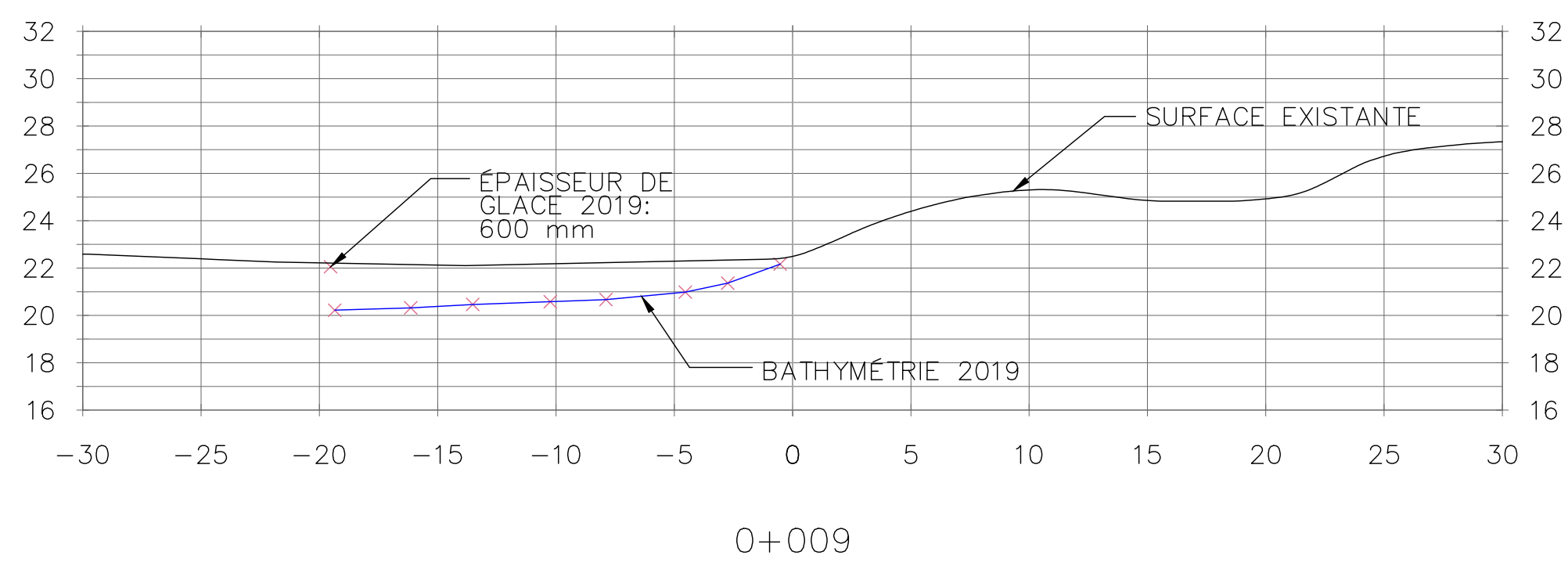
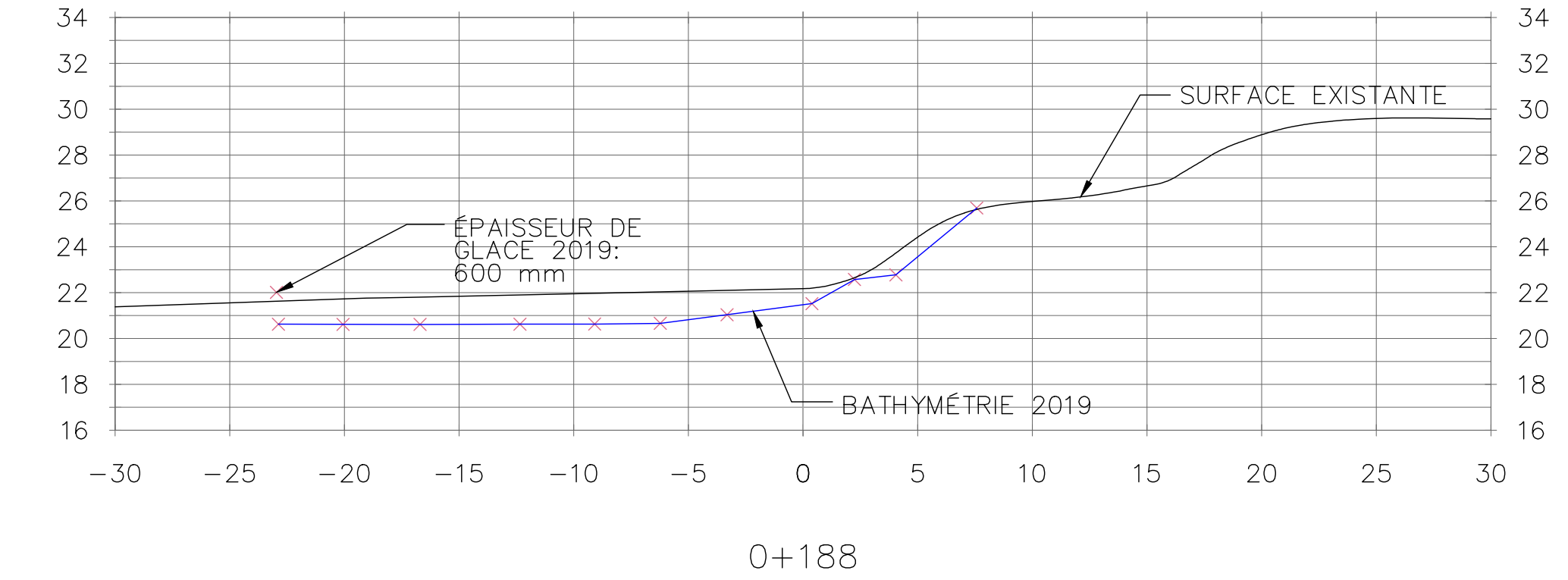
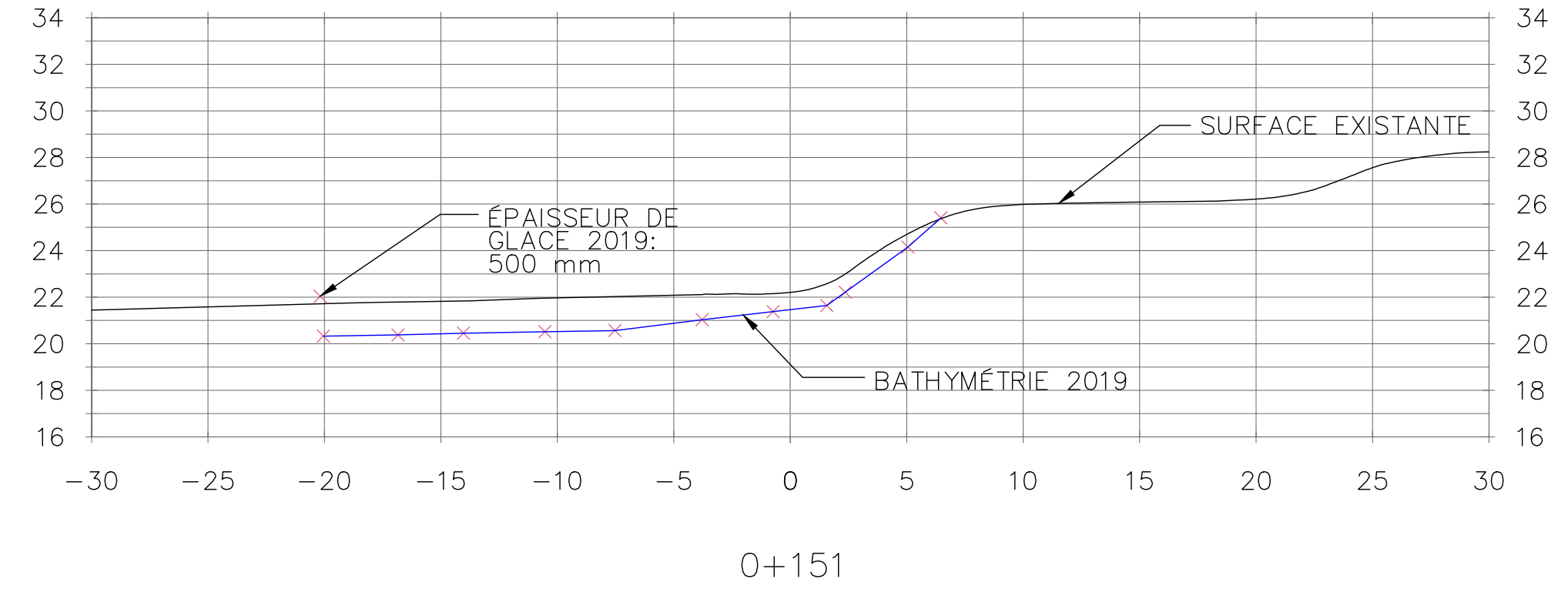
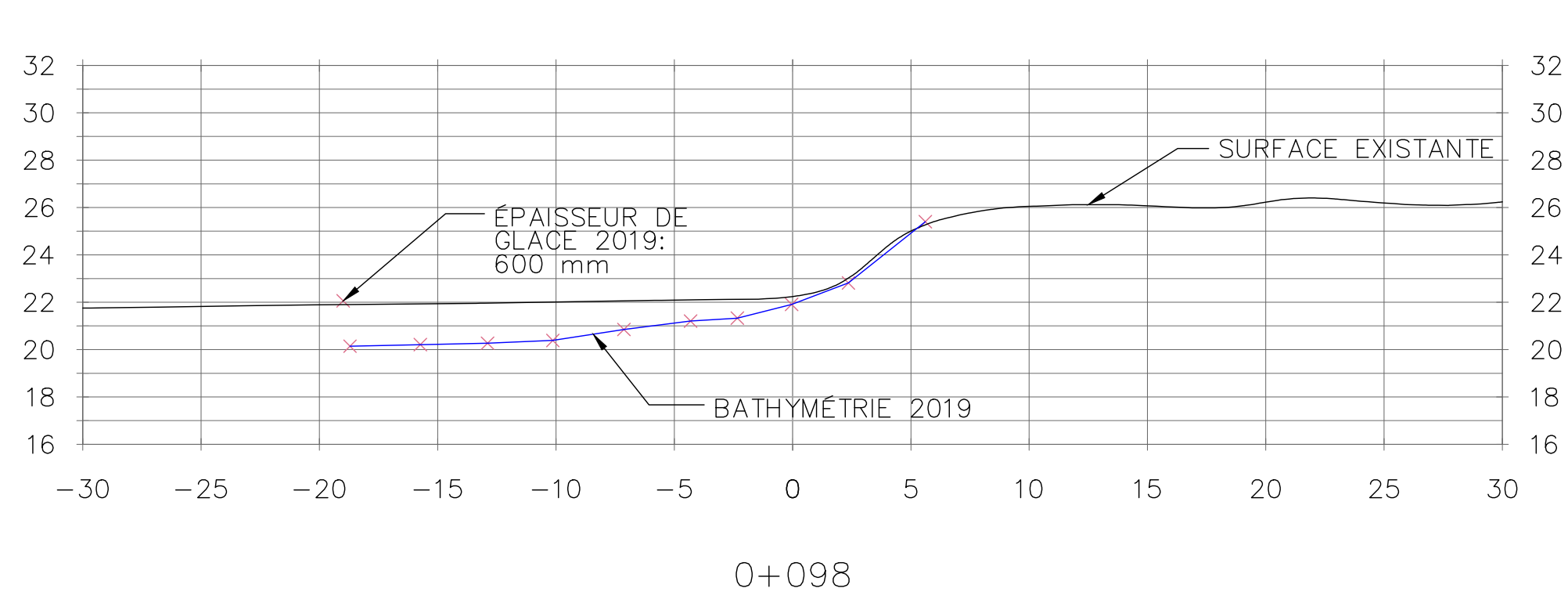
COUPES
ÉCHELLE: 1:400

Référence :
- GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018.
Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :									
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE									
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)									
TITRE : TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE VUE EN PLAN ET COUPES - AXE 2									
ÉCHELLE : TEL QU'INDIQUÉ									
DATE : 2019-03-18	DOSSIER : 607871-2019-PR			RÉV. 00	DESSIN : 04c				



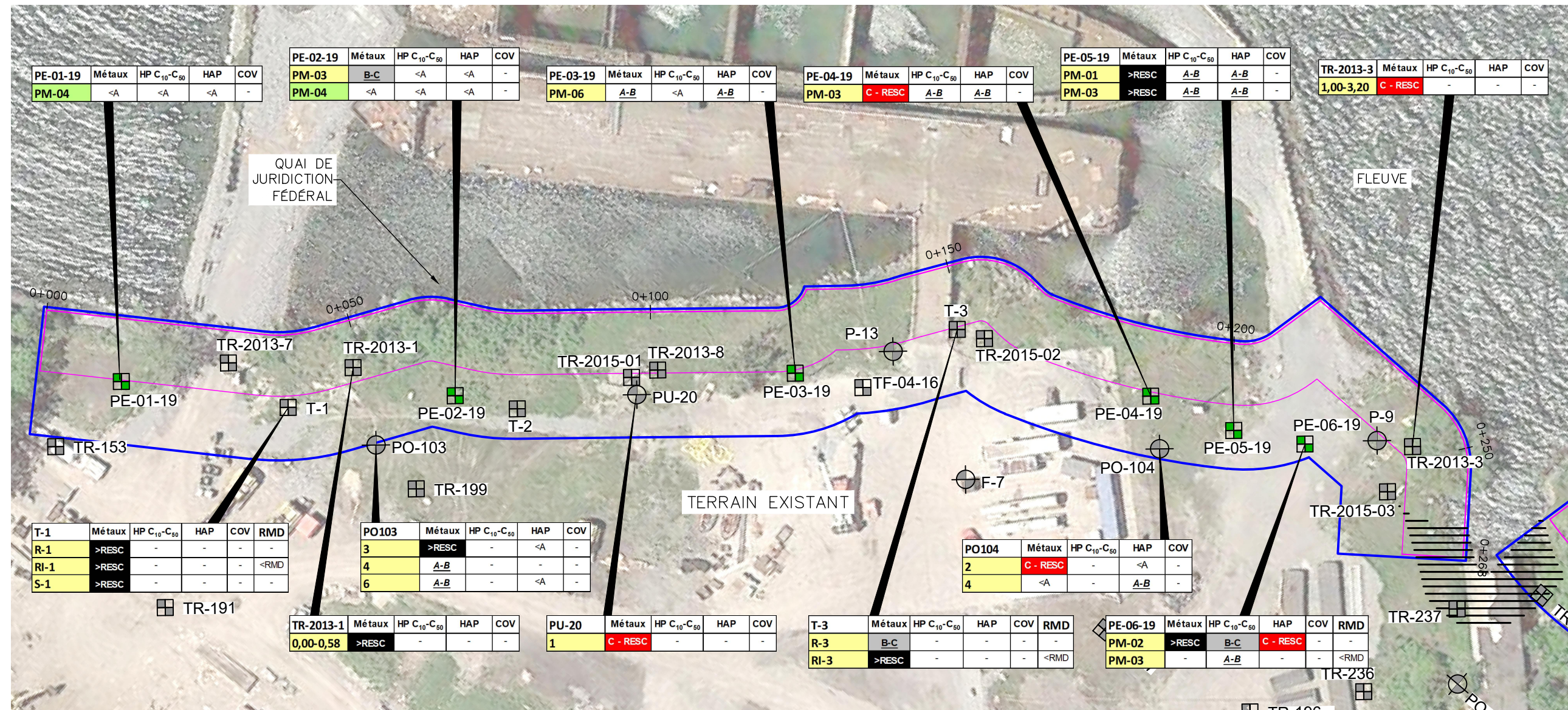
VUE EN PLAN
AXE 3
ÉCHELLE: 1:500



COUPES
ÉCHELLE: 1:250

<div>Référence : - GoogleEarthPro, prise de vue du 02-06-2018. Note: 1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.</div>			
CLIENT :		<div><div> Elkem</div><div> SNC • LAVALIN</div></div>	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : TOPOGRAPHIE ET BATHYMÉTRIE VUE EN PLAN ET COUPES - AXE 3			
ÉCHELLE : TEL QU'INDIQUÉ			
DATE : 2019-03-18	DOSSIER : 607871-2019-PR	RÉV. : 00	DESSIN : 04d

T:\proj\607871 - ELKEM\DAO_2019\4-Plan\1-Berge\607871-2019-PR-04.dwg
FORMAT A1



LÉGENDE

- PE-01-19 Puits d'exploration (SNC-Lavalin, 2019)
- TR-191 Tranchée d'exploration antérieure
- F-000 Forage antérieur
- PO-000 ou PU-00 ou P-00 Forage avec puits d'observation antérieur
- Limite considérée dans le cadre de la présente étude
- Portion de la berge exclue des travaux
- Limites de la berge

Identification des valeurs des résultats analytiques




- < A Concentration inférieure ou égale au critère A des critères du Guide d'intervention du MELCC ¹.
- A-B Concentration dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention du MELCC et inférieure ou égale aux normes de l'annexe I du RPRT ².
- B-C Concentration dans la plage B-C des critères du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe I et inférieure ou égale aux normes de l'annexe II du RPRT ².
- C-RESC Concentration supérieure aux critères C du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe II du RPRT ² et inférieure aux normes de l'annexe I du RESC ³.
- > RESC Concentration supérieure ou égale aux normes de l'annexe I du RESC ³.
- < RMD <RMD: Concentrations inférieures aux valeurs de l'article 3 du RMD ⁶.

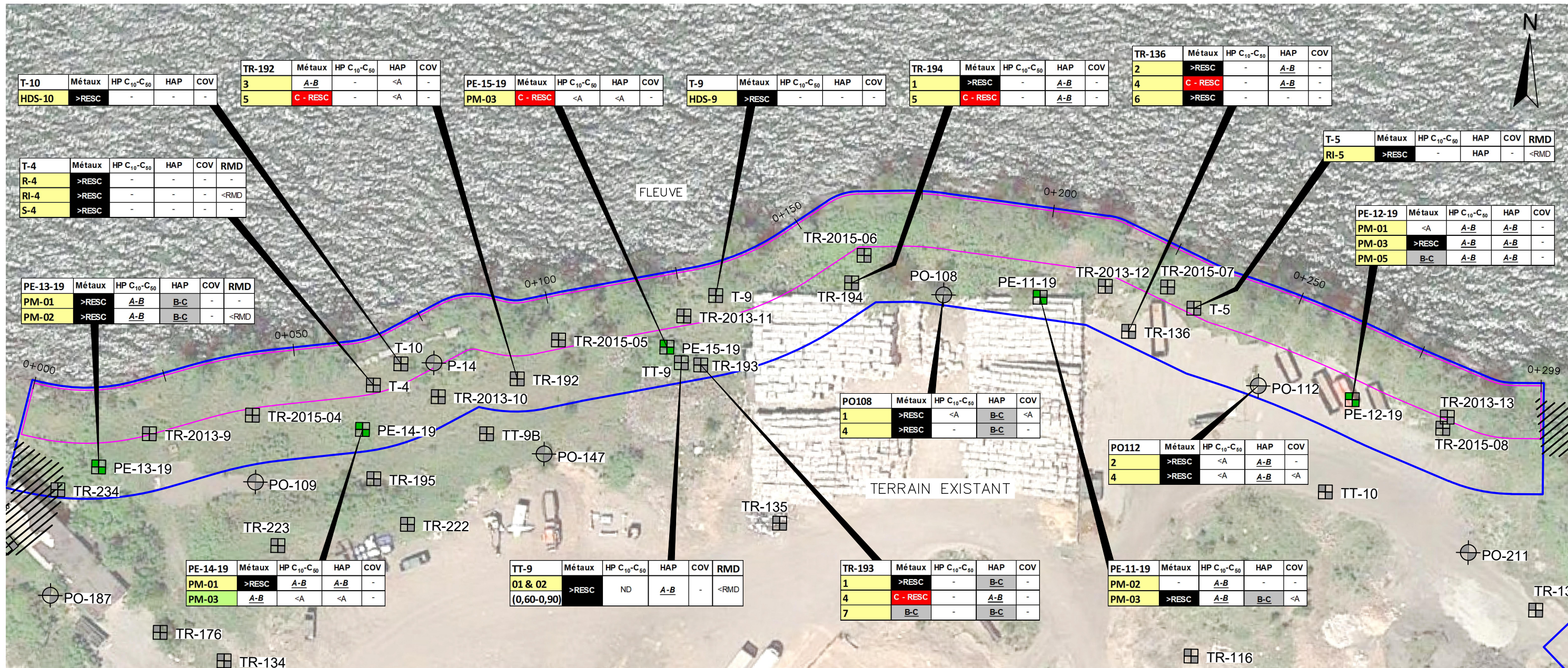
Identification du sol de l'échantillon ⁴

- PM-03 Remblai
- PM-04 Sol naturel

Notes:

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.
- Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains.
- Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.
- La couleur des cases du nom de l'échantillon distingue entre un échantillon de remblai (jaune) et de sol naturel (vert). Les résultats analytiques de concentration totale pour les différents paramètres chimiques présentés pour les remblais et comparés aux normes du RESC et RPRT ou aux critères ABC, le sont à titre indicatif et pour les besoins de l'évaluation de risque toxicologique et écotoxicologique. Les échantillons de remblai sont considérés comme des matières résiduelles assimilables à un sol.
- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.
- Règlement sur les matières dangereuses.

CLIENT :  Elkem		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : SOMMAIRE DES RÉSULTATS ANALYTIQUES POUR LES ÉCHANTILLONS DE SOLS ET DE MATIÈRES RÉSIDUELLES (AXE 1)			
ÉCHELLE : 1:750			
DATE : 2019-08-22	DOSSIER : 607871-2019-PR	DESSIN : 05a	RÉV.: 00



LÉGENDE

- PE-01-19 Puits d'exploration (SNC-Lavalin, 2019)
- TR-191 Tranchée d'exploration antérieure
- F-000 Forage antérieur
- PO-000 ou PU-00 ou P-00 Forage avec puits d'observation antérieur
- Limite considérée dans le cadre de la présente étude
- Portion de la berge exclue des travaux
- Limites de la berge

Identification des valeurs des résultats analytiques

- < A Concentration inférieure ou égale au critère A des critères du Guide d'intervention du MELCC ¹.
- A-B Concentration dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention du MELCC et inférieure ou égale aux normes de l'annexe I du RPRT².
- B-C Concentration dans la plage B-C des critères du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe I et inférieure ou égale aux normes de l'annexe II du RPRT².
- C-RESC Concentration supérieure aux critères C du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe II du RPRT² et inférieure aux normes de l'annexe I du RESC³.
- > RESC Concentration supérieure ou égale aux normes de l'annexe I du RESC³.
- < RMD <RMD: Concentrations inférieures aux valeurs de l'article 3 du RMD⁶.

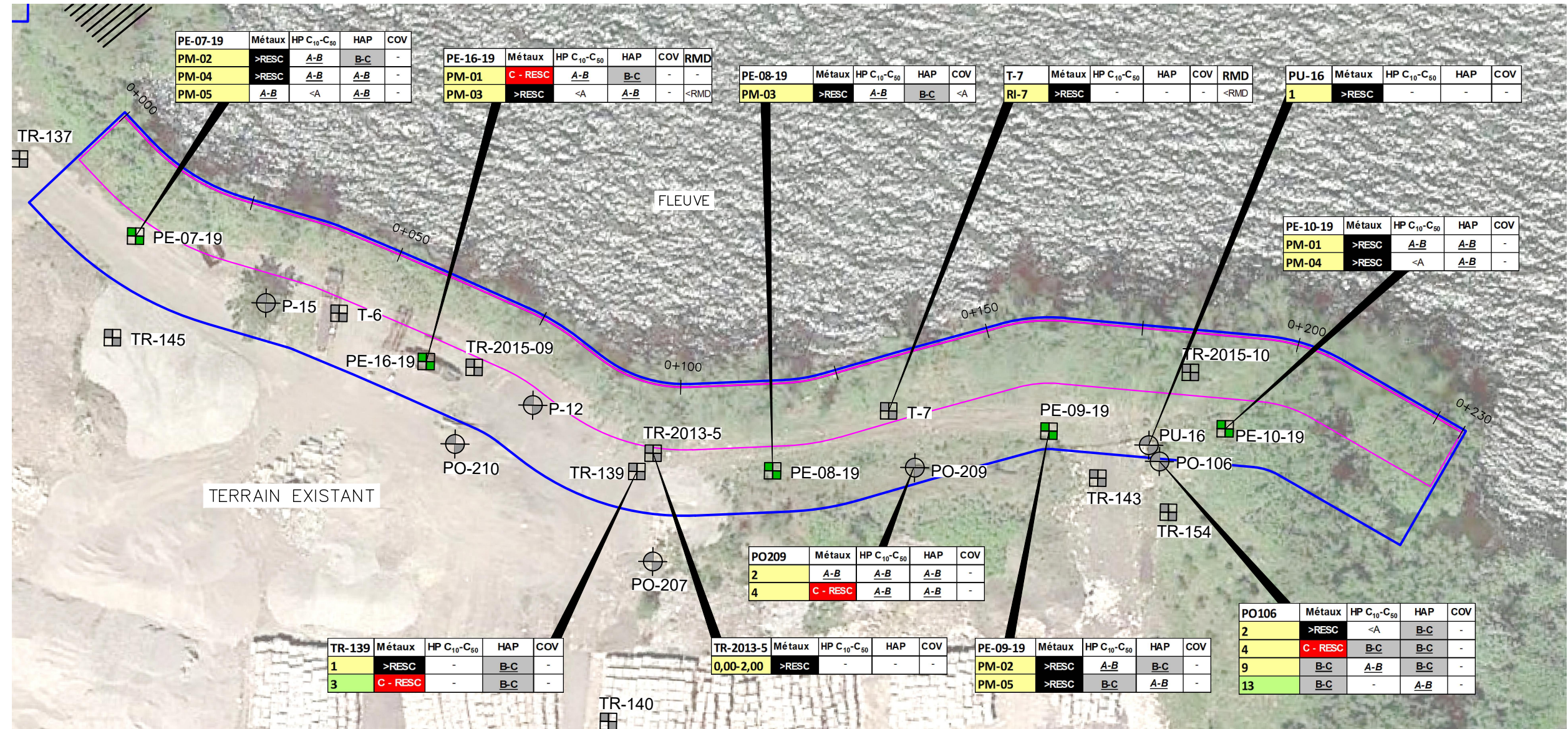
Identification du sol de l'échantillon⁴

- PM-03 Remblai
- PM-04 Sol naturel

Notes:

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.
- Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains.
- Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.
- La couleur des cases du nom de l'échantillon distingue entre un échantillon de remblai (jaune) et de sol naturel (vert). Les résultats analytiques de concentration totale pour les différents paramètres chimiques présentés pour les remblais et comparés aux normes du RESC et RPRT ou aux critères ABC, le sont à titre indicatif et pour les besoins de l'évaluation de risque toxicologique et écotoxicologique. Les échantillons de remblai sont considérés comme des matières résiduelles assimilables à un sol.
- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.
- Règlement sur les matières dangereuses.

CLIENT :  Elkem		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : SOMMAIRE DES RÉSULTATS ANALYTIQUES POUR LES ÉCHANTILLONS DE SOLS ET DE MATIÈRES RÉSIDUELLES (AXE 2)			
ÉCHELLE : 1:750			
DATE : 2019-08-22	DOSSIER : 607871-2019-PR	DESSIN : 05b	RÉV. : 00



LÉGENDE

- PE-01-19 Puits d'exploration (SNC-Lavalin, 2019)
- TR-191 Tranchée d'exploration antérieure
- F-000 Forage antérieur
- PO-000 ou PU-00 ou P-00 Forage avec puits d'observation antérieur
- Limite considérée dans le cadre de la présente étude
- Portion de la berge exclue des travaux
- Limites de la berge




Identification des valeurs des résultats analytiques

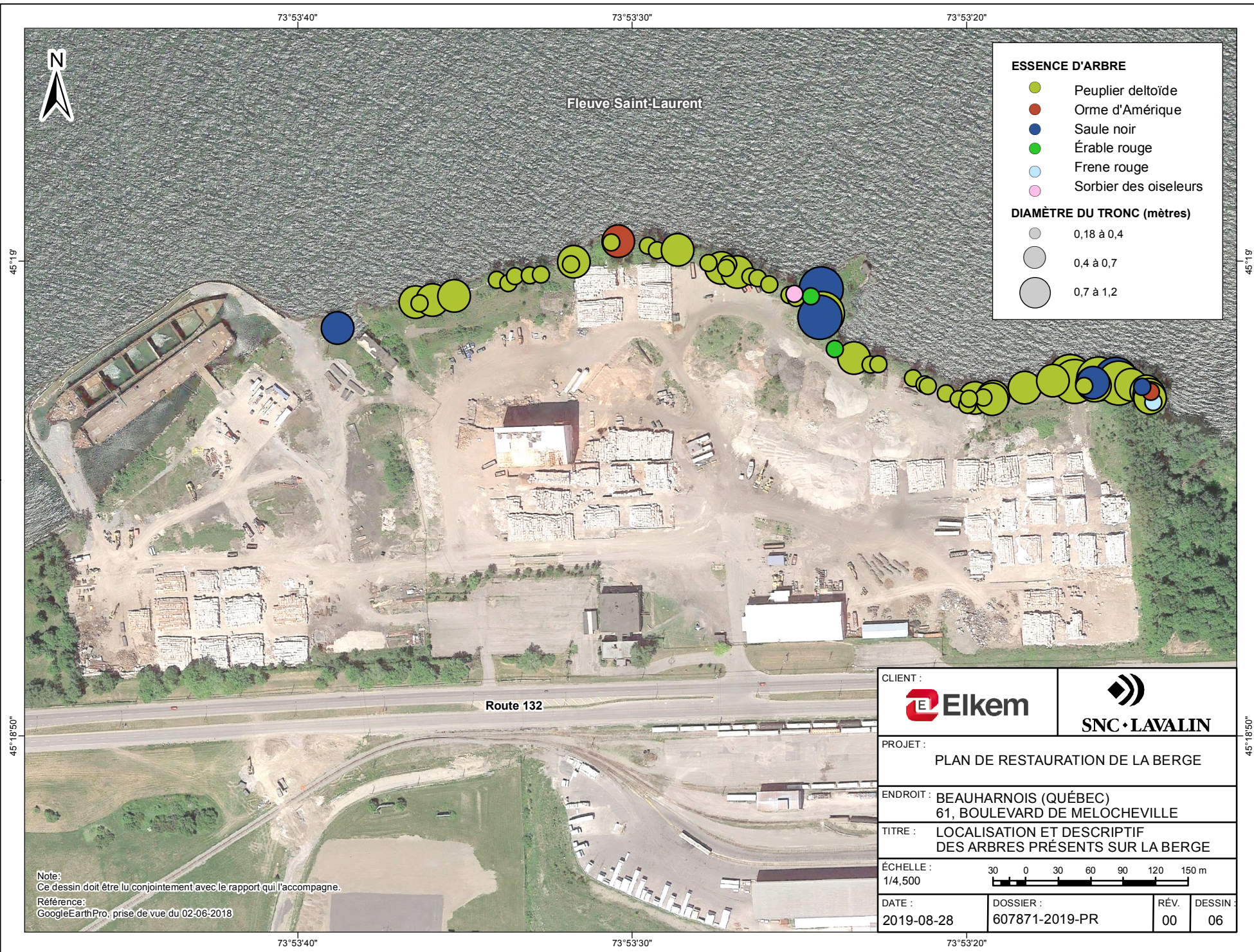
- < A Concentration inférieure ou égale au critère A des critères du Guide d'intervention du MELCC¹.
- A-B Concentration dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention du MELCC et inférieure ou égale aux normes de l'annexe I du RPRT².
- B-C Concentration dans la plage B-C des critères du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe I et inférieure ou égale aux normes de l'annexe II du RPRT².
- C-RESC Concentration supérieure aux critères C du Guide d'intervention du MELCC, supérieure aux normes de l'annexe II du RPRT² et inférieure aux normes de l'annexe I du RESC³.
- > RESC Concentration supérieure ou égale aux normes de l'annexe I du RESC³.
- < RMD <RMD: Concentrations inférieures aux valeurs de l'article 3 du RMD⁶.

Identification du sol de l'échantillon⁴

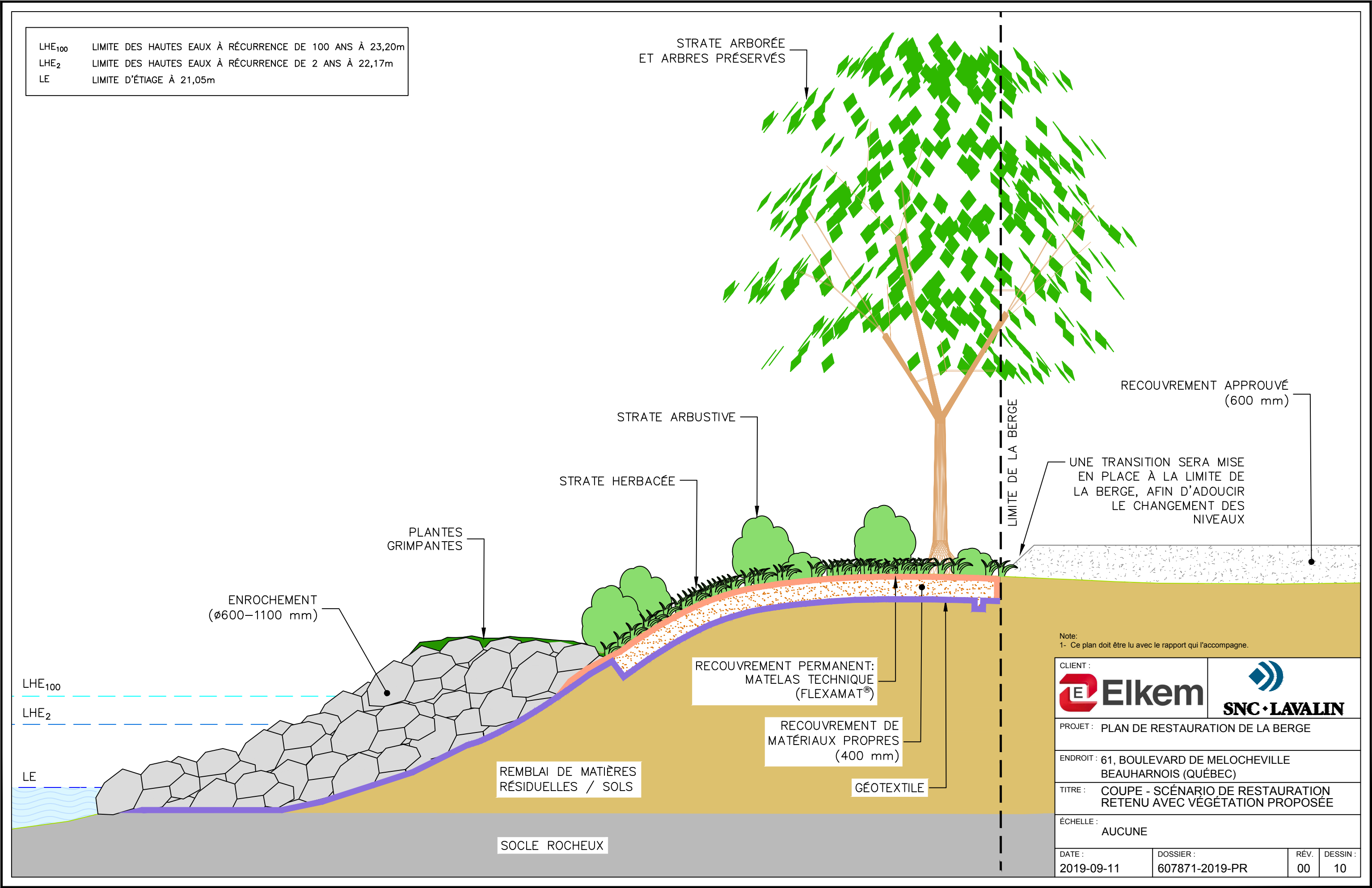
- PM-03 Remblai
- PM-04 Sol naturel

- Notes:
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques.
 - Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains.
 - Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés.
 - La couleur des cases du nom de l'échantillon distingue entre un échantillon de remblai (jaune) et de sol naturel (vert). Les résultats analytiques de concentration totale pour les différents paramètres chimiques présentés pour les remblais et comparés aux normes du RESC et RPRT ou aux critères ABC, le sont à titre indicatif et pour les besoins de l'évaluation de risque toxicologique et écotoxicologique. Les échantillons de remblai sont considérés comme des matières résiduelles assimilables à un sol.
 - Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.
 - Règlement sur les matières dangereuses.



CLIENT :  Elkem		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : SOMMAIRE DES RÉSULTATS ANALYTIQUES POUR LES ÉCHANTILLONS DE SOLS ET DE MATIÈRES RÉSIDUELLES (AXE 3)			
ÉCHELLE : 1 : 750			
DATE : 2019-08-22	DOSSIER : 607871-2019-PR	DESSIN : 05c	RÉV. 00



LHE₁₀₀ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 100 ANS À 23,20m
LHE₂ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 2 ANS À 22,17m
LE LIMITE D'ÉTIAGE À 21,05m



Note:
1- Ce plan doit être lu avec le rapport qui l'accompagne.

CLIENT :					
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE					
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)					
TITRE : COUPE - SCÉNARIO DE RESTAURATION RETENU AVEC VÉGÉTATION PROPOSÉE					
ÉCHELLE : AUCUNE					
DATE :	DOSSIER :	RÉV.	DESSIN :		
2019-09-11	607871-2019-PR	00	10		

\\enviro1\public\Proj\607871 - ELKEM\DAO\2019\4-Plan\1-Berge\607871-2019-PR-10.dwg

Annexe 3

Document foncier

Dossier notaire :14L04780096

AVIS DE CONTAMINATION
(Article 31.58 de la *Loi sur la qualité de l'environnement*, L.R.Q. c. Q-2)

**CIRCONSCRIPTION FONCIÈRE
DE BEAUHARNOIS**

Ville de Sherbrooke, ce quatorzième.(14^e) jour d' octobre de l'an deux mille quatorze (2014).

COMPARAÎT :

Les Investissement René St-Pierre Ltée,
personne morale de droit privé constituée en vertu
de la *Loi canadienne sur les sociétés par actions*,
ayant son siège social situé au 3055, boulevard
Queen Victoria, Sherbrooke (Québec) J1J 4N8,
représentée par Monsieur Bernard St-Pierre,
représentant spécial dûment autorisé à l'effet des
présentes tel qu'il le déclare;

(ci-après le « Comparant »)

LEQUEL DONNE LE PRÉSENT AVIS et demande à l'officier du bureau de la
publicité des droits de la circonscription foncière de Beauharnois d'inscrire sur le
registre le présent avis de contamination concernant le terrain désigné ci-après, soit
l'exposé de la nature des contaminants présents dans le terrain au-delà des valeurs
limites de l'annexe 1 du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains
(chapitre Q-2, r.37) réglementaires, tel qu'il apparaît dans le résumé de l'étude de
caractérisation présenté ci-dessous et attesté par un expert visé par l'article 31.65 de
la *Loi sur la qualité de l'environnement*, L.R.Q. c. Q-2.

1. DÉSIGNATION DU TERRAIN

1.1 Un terrain ou emplacement connu et désigné comme étant:

Le lot QUATRE MILLIONS SEPT CENT QUATORZE MILLE NEUF CENT
QUATRE-VINGT-HUIT (4 714 988) du cadastre du Québec, circonscription
foncière de Beauharnois.

Le lot 4 714 988 a remplacé par rénovation cadastrale différents lots
appartenant au comparant étant une partie des lots 268 et 269, lot Bloc1 du
cadastre de la Paroisse de Saint-Clément ainsi qu'une partie du lot 562 du
cadastre de la Ville de Beauharnois et qui est l'emplacement spécifiquement
concerné par le présent avis de contamination.

1.2 L'Immeuble porte l'adresse 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois
(Québec) **J0S 1J0**.

(ci-après « l'Immeuble »)

2. IDENTIFICATION DU PROPRIÉTAIRE ET PERSONNE VISÉE PAR L'AVIS

Les Investissement René St-Pierre Ltée est propriétaire de l'Immeuble en vertu d'un
titre de propriété publié au bureau de la publicité des droits de la circonscription
foncière de Beauharnois sous le numéro 262211 et l'adresse du propriétaire est le
3055, boulevard Queen Victoria, Sherbrooke (Québec) J1J 4N8.

3. DÉSIGNATION DE LA MUNICIPALITÉ ET DE LA VILLE ET DE L'UTILISATION AUTORISÉE

Le terrain est situé dans la ville de Beauharnois et l'utilisation suivante
« majoritairement industrielle » est autorisée sur ce terrain en vertu de la
réglementation de zonage de cette ville.

4. RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DE CARACTÉRISATION

Le résumé ci-joint de l'étude de caractérisation (caractérisation environnementale (Phase II), propriété située au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois, Sanexen Services Environnementaux Inc., RA13-206-6, 16 juin 2014, contresigné par le Comparant, fait partie intégrante du présent avis et contient :

- 4.1 un énoncé de la nature des contaminants présents dans le terrain et dont la concentration excède les valeurs limites de l'annexe 1 *du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains*;
- 4.2 Un énoncé des catégories d'usages permis sur le terrain, le cas échéant, en fonction des valeurs limites réglementaires applicables;
- 4.3 un bref historique des activités qui ont eu lieu sur l'Immeuble;
- 4.4 la superficie du terrain occupée par les sols contaminés ainsi que la localisation et les volumes de ces sols en surface et en profondeur;
- 4.5 un énoncé de la nature et de l'importance des contaminants présents dans l'eau souterraine, s'il en est;
- 4.6 une indication de la présence d'une installation de captage d'eau destinée à la consommation humaine à moins d'un kilomètre ainsi que la proximité d'un cours ou un plan d'eau de surface, le cas échéant.

Ce résumé est attesté par Monsieur Jean HALDE, ing., M. Sc., Directeur – Projets spéciaux, Expert inscrit sur la liste du MDDELCC, en date du 16 juin 2014, dont copie conforme du formulaire d'attestation est annexée.

5. MODALITÉ PARTICULIÈRE À L'AVIS DE CONTAMINATION

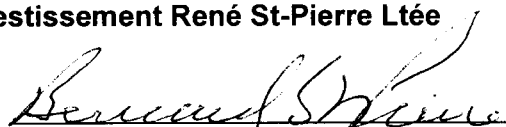
Le présent avis demeure en vigueur tant et aussi longtemps qu'un avis de décontamination n'a pas été inscrit sur le registre contre l'Immeuble, ou partie de celui-ci.

EN FOI DE QUOI, LE COMPARANT A SIGNÉ

Signature du Comparant :

Les Investissement René St-Pierre Ltée

Par :


Bernard St-Pierre, représentant spécial

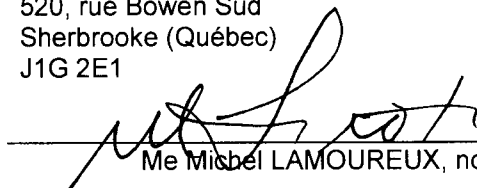
DÉCLARATION D'ATTESTATION

Je, soussigné, Me Michel LAMOUREUX, notaire, atteste que :

- 1. J'ai vérifié l'identité, la qualité et la capacité du **Comparant**;
- 2. Le document traduit la volonté exprimée par le **Comparant**;
- 3. Le document est valide quant à sa forme.

Attesté à Sherbrooke, province de Québec, le **quatorze octobre deux mille quatorze.**

Nom : Michel LAMOUREUX
Qualité : Notaire
Adresse : 520, rue Bowen Sud
Sherbrooke (Québec)
J1G 2E1


Me Michel LAMOUREUX, notaire



FORMULAIRE D'ATTESTATION

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DE CARACTÉRISATION

1. LOCALISATION DU TERRAIN	
Adresse : 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois (Québec)	
N ^{os} de lots : Une partie du lot 268, une partie du lot 269 et Bloc 1 du cadastre de la paroisse de Saint-Clément ainsi qu'une partie du lot 562 du cadastre de la Ville de Beauharnois.	Coordonnées : DEG.DEC.NAD83 Latitude : 45,315377 Longitude : -73,891991
Nom du cadastre : Cadastre de la paroisse de Saint-Clément et cadastre de la Ville de Beauharnois	
2. IDENTIFICATION DU PROPRIÉTAIRE <input checked="" type="checkbox"/> OU DU LOCATAIRE <input type="checkbox"/>	
Nom : Bernard St-Pierre	
Nom de l'entreprise : Les Investissements René St-Pierre Ltée	
Adresse : 3055, boulevard Queen-Victoria, Sherbrooke	Code postal : J1J 4N8
N ^o de téléphone : 819 565-1494	N ^o de télécopieur : 819 822-1403
3. IDENTIFICATION DU DOCUMENT ATTESTÉ	
Titre : Résumé de l'étude « Caractérisation environnementale (Phase II) – Propriété située au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois (Québec) »	
Firme : Sanexen Services Environnementaux inc.	
Auteur : Véronique Cyr	Date : 16 juin 2014

Après vérification, j'atteste que le résumé représente bien le contenu de l'étude de caractérisation et est conforme aux exigences du *Guide de caractérisation des terrains* du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

JEAN HALDE

161

Nom de l'expert (en lettres moulées)

Numéro d'identification
de l'expert

Signature de l'expert

Date

p. j. Résumé de l'étude de caractérisation

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE

« *Caractérisation environnementale (Phase II) – Propriété située au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois (Québec)* », Sanexen Services Environnementaux inc., réf. : RA13-206-6, 16 juin 2014.

Sanexen Services Environnementaux inc. (Sanexen) a été mandatée par la compagnie Les Investissements René St-Pierre Ltée (St-Pierre) afin de procéder à une caractérisation environnementale (Phase II) de la propriété située au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois (Québec). La propriété correspond à une partie du lot 268, une partie du lot 269 et au Bloc 1 du cadastre de la paroisse de Saint-Clément ainsi qu'une partie du lot 562 du cadastre de la Ville de Beauharnois.

Le site à l'étude a supporté une usine de production de ferromanganèse ayant été construite en 1972 par la compagnie Union Carbide Canada Ltd. (Union Carbide), anciennement St-Lawrence Alloys & Metals Ltd. La production a débuté en 1974. En 1984, Elkem Metal Canada Ltd (Elkem) s'est portée acquéreur du site et a produit du ferromanganèse et du silicomanganèse en alternance pendant une certaine période jusqu'en 1991, date de fermeture de l'usine. En 1995, St-Pierre acquiert le site à l'étude.

Le site est présentement occupé par le Centre de recyclage Beauharnois inc. qui y exploite le centre de valorisation de matériaux de démolition. Des équipements de chantier appartenant à Excavation René St-Pierre sont aussi entreposés sur le site et les activités de maintenance de sa machinerie (pelles mécaniques et autres équipements) y sont également effectuées. Des espaces intérieurs et extérieurs sont aussi loués par la firme Kruger inc. pour de l'entreposage de papier et de carton. CSX Intermodal inc. loue également une partie du site (portion sud-ouest) pour l'entreposage de conteneurs.

Cette étude s'inscrit dans un contexte particulier impliquant le propriétaire antérieur (Elkem), le propriétaire actuel (St-Pierre) et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). En effet, bien que la berge¹ du site soit contiguë au lac Saint-Louis, celle-ci n'a pas été considérée dans cette étude puisqu'elle fera ultérieurement l'objet de travaux distincts de réhabilitation qui seront effectués sous la responsabilité d'Elkem.

Le propriétaire du site désire réhabiliter la propriété sur la base d'une analyse de risques, en considérant que les activités en cours sur la propriété se poursuivront dans le futur. La présente étude est donc assujettie au processus réglementaire en vertu de l'article 31.57 (réhabilitation volontaire avec maintien de contamination où une analyse de risques est nécessaire) de la section IV.2.1 de la LQE².

...2

1. Bande de 10 m à partir de la limite des hautes eaux de récurrence de 2 ans (correspondant à une élévation géodésique de 22,17 m).
2. Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2).

9935, avenue de Catania
Entrée 1 – Bureau 200
Brossard (Québec) J4Z 3V4
CANADA

T. : 450 466-2123 • F. : 450 466-2240

Courriel : info@sanexen.com
<http://www.sanexen.com>

Le site est actuellement zoné majoritairement industriel (de type I-8), à l'exception d'une petite bande de terrain à l'est sur le site qui est zonée résidentielle (H-20) (section boisée non utilisée par St-Pierre). Le zonage des terrains avoisinants est résidentiel à l'est, industriel au sud et récréatif à l'ouest. Aucun changement d'usage n'est projeté par le propriétaire actuel.

Le terrain de forme irrégulière est bordé par le lac Saint-Louis (fleuve Saint-Laurent). Selon le certificat de localisation, la superficie totale du site est de 153 771 m² et la superficie sans la berge est estimée à environ 150 000 m² (après clarification de certaines limites). Le terrain supporte 7 bâtiments qui occupent environ 10 % de sa superficie totale. Le revêtement est composé de béton bitumineux (environ 10 %), de béton de ciment (environ 15 %), de pierre concassée et de béton concassé (environ 55 %), de pelouse (environ 5 %) et d'une portion en friche (environ 5 %).

La recherche historique effectuée dans le cadre de l'évaluation environnementale (Phase I)¹ a indiqué la présence d'éléments pouvant affecter la qualité environnementale du site. Le lourd passé industriel du secteur en général et les activités passées et actuelles ayant eu cours sur le site comprenant la présence de remblai (principalement des scories), de réservoirs de carburants divers (passés et présents), d'anciens transformateurs, d'anciennes voies ferrées, d'entreposage de matières résiduelles sur le sol, d'une aire de lavage de véhicules lourds à l'extérieur, d'entreposage et de conditionnement de métaux et de débris de démolition à l'extérieur, de la présence possible d'un séparateur dans un atelier d'entretien mécanique, de taches notées au sol et de déversements accidentels survenus par le passé et de dalles tachées. Également, les études ont montré la présence de sols et d'eau contaminés sur le site, principalement en métaux.

➤ ***Étendue de la contamination des sols et des matières résiduelles associées***

Les résultats analytiques des échantillons prélevés des sondages ainsi que les observations notées sur le terrain indiquent la présence de sols comportant des concentrations supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT (valeurs limites acceptables pour un site industriel) ainsi que des matières résiduelles non dangereuses. Sur la base des hypothèses mentionnées à la section 6.1.1, les volumes de sols contaminés et de matières résiduelles, répartis sur l'ensemble de la superficie du site, sont estimés de façon très approximative et à titre indicatif seulement à :

- Environ 140 000 m³ de sols présentant des concentrations inférieures aux valeurs limites de l'annexe I du RPRT (< B);
- Environ 52 000 m³ de sols présentant des concentrations supérieures aux valeurs limites de l'annexe I du RPRT et inférieures à celles de l'annexe II du RPRT (plage B-C);

1. « Évaluation environnementale de site (Phase I) – Propriété située au 61, boulevard Edgar-Hébert à Beauharnois », Sanexen Services Environnementaux inc., réf. : RA13-206-1, 13 janvier 2014.

- Environ 47 000 m³ de sols présentant des concentrations supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT et inférieures aux valeurs limites de l'annexe I du RESC¹ (plage C-D);
- Environ 55 000 m³ de sols supérieurs à l'annexe I du RESC (> D);
- Environ 107 000 m³ de matières résiduelles non dangereuses.

Dans le cadre d'une réhabilitation du site par analyse de risques (impliquant le maintien des contaminants sur le site), comme privilégié par le client, certains secteurs de sols présentant des concentrations en HP (C₁₀₋₅₀)² et en HAP³ (naphtalènes⁴) supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT devront tout de même être excavés. Ces sols ont été rencontrés dans 3 différents secteurs, soit à l'ouest du bâtiment C, dans le secteur des anciens réservoirs de carburant, d'essence et de diesel souterrains (secteurs 9 et 10 de la Phase I), ainsi que dans le secteur du bâtiment B (secteur 34 de la Phase I). Sur la base de l'ensemble des hypothèses énoncées à la section 6.1.2, les volumes approximatifs suivants devront être excavés :

- Environ 1 600 m³ de sols contenant des concentrations en hydrocarbures pétroliers et en composés de la famille des naphtalènes supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT et inférieures aux valeurs limites de l'annexe I du RESC (plage C-D). Une superficie approximative de 2 100 m² a été estimée pour ces secteurs;
- Environ 200 m³ de matières résiduelles non dangereuses contenant des concentrations en hydrocarbures pétroliers et en naphtalènes supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT, dont environ 150 m³ supérieures à l'annexe I du RESC (> D). Ces secteurs couvrent une superficie approximative de 200 m².

➤ **Qualité des empilements**

Les résultats analytiques des échantillons prélevés des talus permanents démontrent que ceux-ci sont constitués d'environ :

- 1 020 m³ de sols indiquant des concentrations en manganèse supérieures aux valeurs limites de l'annexe II du RPRT et inférieures aux valeurs limites de l'annexe I du RESC;
- 6 530 m³ de sols indiquant des concentrations en manganèse supérieures aux valeurs limites de l'annexe I du RESC;
- 950 m³ de matières résiduelles indiquant des concentrations en manganèse supérieures à l'annexe I du RESC et des concentrations en arsenic, en baryum, en sélénium et en zinc supérieures à l'annexe II du RPRT. Il est à noter que les échantillons de cette pile ont été analysés en concentration totale parce que les matériaux qui la composent sont similaires à ceux qui sont en place sur le site, lesquels ont également été analysés en concentration totale.

1. Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (Q-2, r.18), 2001.
2. Hydrocarbures pétroliers (C₁₀ à C₅₀)
3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques
4. Méthyl-1 naphtalène, méthyl-2 naphtalène, diméthyl-1,2 naphtalène, triméthyl-2,3,5 naphtalène et naphtalène.

➤ **Qualité des autres substances**

Les résultats analytiques de l'échantillon prélevé de la pile de béton indiquent des concentrations inférieures aux critères A pour les métaux visés par les *Lignes directrices*¹, pour les hydrocarbures pétroliers, les COSV², les cyanures totaux et disponibles ainsi que pour le fluorure. Certains paramètres des HAP excèdent les critères A et sont inférieurs aux critères B.

➤ **Hydrogéologie**

Lors du relevé du 5 décembre 2013, l'élévation de l'eau souterraine variait entre 27,260 m (PO100) et 21,119 m (PO104). La profondeur de l'eau mesurée par rapport à la surface du terrain varie entre 1,107m (PO100) et 4,447 m (PO106). L'eau souterraine de l'aquifère de surface s'écoulerait en direction radiale à la limite de propriété nord, soit vers le lac Saint-Louis. Les résultats des essais de perméabilité en place indiquaient une conductivité hydraulique variant entre $2,16 \times 10^{-6}$ m/s et $3,23 \times 10^{-5}$ m/s.

La vitesse moyenne d'écoulement horizontal (V) de l'eau souterraine sur le site serait de 31,2 m/année. Toutefois, celle-ci est très variable selon les secteurs.

Au total, 2 puits sont situés à moins de 1 km du site à l'étude. Cependant, un des puits étant en amont hydraulique et le second puits étant en parallèle hydraulique à plus de 800 m du centre du site, ceux-ci n'ont pas été retenus comme récepteurs potentiels. L'eau souterraine de l'aquifère de surface ne constitue pas une source actuelle ou future d'approvisionnement en eau. Ainsi, il est possible de conclure que l'unité considérée est de classe III. Les récepteurs potentiels de l'eau souterraine sont le lac Saint-Louis et les conduites d'égouts unitaire de la Ville.

➤ **Qualité de l'eau souterraine et impacts associés**

Au cours des 2 campagnes d'échantillonnage, la majorité des résultats analytiques de l'eau souterraine a montré des concentrations inférieures aux critères *RESIE*³. Les concentrations obtenues au niveau du manganèse dans l'eau souterraine respectent majoritairement le critère calculé, à l'exception d'une valeur jugée non représentative obtenue lors du deuxième relevé effectué dans le puits PO160. Des dépassements ponctuels du critère *RESIE* en cuivre, en aluminium, en HAP (fluoranthène) et en mercure ont été mesurés dans certains puits.

Aucun produit en phase libre n'a été détecté dans les puits d'observation.

-
1. *Lignes directrices relatives à la gestion de béton, de brique et d'asphalte issus des travaux de construction et de démolition et des résidus de la pierre de taille*, MDDEP, juin 2009.
 2. Composés organiques semi-volatils
 3. *Critères d'eau souterraine résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts, Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, ministère de l'Environnement du Québec, 1998, mise à jour en 2001.

SANEXEN

En considérant les puits situés en aval hydraulique du site, un impact est appréhendé sur le lac Saint-Louis dans le cas de certains métaux et des HAP retrouvés en excès des critères *RESIE* dans certains puits. Aucun impact n'est appréhendé sur le réseau d'égout municipal.

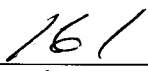
Ainsi, l'impact appréhendé sur le lac Saint-Louis en HAP serait possiblement associé au site, compte tenu de la présence de sols contaminés par des HAP à divers endroits sur le site. En ce qui a trait aux métaux, l'impact appréhendé sur le lac Saint-Louis pourrait provenir du site, mais aussi du secteur industriel situé en amont, puisque les concentrations rencontrées pour les paramètres visés sont aussi élevées en amont qu'en aval du site.


Étant donné qu'un cours d'eau (lac Saint-Louis) est localisé en aval hydraulique du site et que l'eau souterraine dépasse le seuil d'alerte pour l'aluminium, le manganèse, le mercure et le zinc dans 7 puits en 2013 (première campagne) et pour le cuivre, le manganèse, le mercure, les HAP et les fluorures totaux dans 4 puits en 2014, tous localisés en aval de la propriété, un impact potentiel sur le lac Saint-Louis est donc identifié.

Compte tenu des impacts décrits, il y aurait possiblement un risque de migration hors site de l'eau souterraine contaminée par des HAP et des métaux à partir de la limite nord du terrain et en direction du lac Saint-Louis. Toutefois, en considérant les variations obtenues dans les résultats analytiques entre les 2 campagnes d'échantillonnage, un suivi de l'eau souterraine est recommandé afin de valider les impacts appréhendés relevés et les risques de migration hors site.


Signature de l'expert

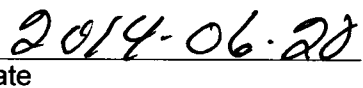
Jean Halde, ing., M. Sc.
Directeur – Projets spéciaux
Expert inscrit sur la liste du MDDELCC
(section IV.2.1 de la LQE)


Numéro
d'identification
de l'expert


Date


Signature du comparant

Bernard St-Pierre
Président
Les Investissements René St-Pierre Ltée


Date

SANEXEN

Annexe 4

Reportage photographique



Photo n° 1 : Axe 1 de la berge. Partie ouest, vue en direction ouest. Présence d'un muret de béton. (2017-10-26)



Photo n° 2 : Axe 1 de la berge. Vue en direction est. Quai de juridiction fédérale. Présence d'un muret de béton. (2013-05-27)



Photo n° 3 : Axe 1 de la berge. Vue en direction ouest. Quai de juridiction fédérale. (2017-10-26)



Photo n° 4 : Limite entre l'axe 1 et l'axe 2 de la berge. Vue en direction est. Ancienne station de pompage. (2017-06-27)



Photo n° 5 : Axe 2 de la berge. Vue en direction est. (2013-06-21)



Photo n° 6 : Axe 2 de la berge. Vue en direction est. (2013-06-21)



Photo n° 7 : Axe 2 de la berge. Partie est, vue en direction ouest. (2013-06-21)



Photo n° 8 : Limite de l'axe 2 et de l'axe 3 de la berge. Vue en direction nord. Station de pompage. (2013-02-20)



Photo n° 9 : Axe 3 de la berge. Partie ouest, vue en direction ouest. (2013-06-21)



Photo n° 10 : Axe 3 de la berge. Vue en direction ouest. (2017-10-26)







Photo n° 11 : Axe 3 de la berge. Vue en direction est. (2017-10-26)



Annexe 5

Inventaire des arbres de la berge

Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
White elm	Red maple
<i>Ulmus americana</i> L.	<i>Acer rubrum</i> L.

Localisation

Répartition	Indigène	Indigène
Aire de distribution naturelle		
Rameaux en hiver		

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Feuille		
Sous-domaine bioclimatique où	1, 2, 3	Tous les domaines bioclimatiques du Québec excepté le domaine 6
Statut hydrique	Facultative des milieux humides	Facultative des milieux humides
Climat régional		
Température annuelle moyenne par sous-domaine bioclimatique (°C)	- 1 : 6,2	- 1 : 5,9
Précipitations totales annuelles par	- 1 : 1 000 (830 - 1 169)	- 1 : 994 (813 - 1 175)
Durée de la saison de croissance par	- 1 : 182 (169 - 195)	- 1 : 180 (166 - 194)
Principales classes de drainage par sous-	- 1 : 50 > 60 = 40 = 30	- 1 : 60 = 40 = 50 > 30
Fertilité du sol	- Besoins très élevés pour satisfaire sa croissance - Exige un milieu riche en calcaire	Peu exigeante en ce qui a trait à la fertilité du sol : l'érable rouge est l'espèce de feuillu tolérant la moins exigeante de toutes les autres

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Meilleures conditions de croissance	<ul style="list-style-type: none"> - Dépôts d'alluvions en bordure des ruisseaux, des rivières et des lacs, bords de champ, dépressions humides et ouvertes, vallées encaissées - Basses terres argileuses, le bas des pentes enrichies par les eaux minéralisées, les sols riches et moyennement profonds, de nature calcaire surtout à sa limite nord de distribution - Texture moyenne à fine avec un drainage bon à modéré ou texture grossière avec un drainage modéré à imparfait - L'humidité du sol influence beaucoup sa croissance : en été, une nappe phréatique en deçà de 2,4 m de la surface donne une bonne croissance et une nappe entre 1,2 à 2,4 m une croissance moyenne. Sur sol sablonneux avec horizon argileux sous-jacent, bonne croissance lorsque la nappe est à plus de 0,6 m de la surface - pH optimal : 5,5 à 8 	Basse altitude sur des sols de drainage modéré

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Dynamique		
Sociologie	<ul style="list-style-type: none"> - Généralement en association avec d'autres feuillus qui tolèrent les sites argileux et mal drainés - Croît parfois en petits peuplement presque purs 	En peuplement pur ou en mélange avec des conifères surtout sur les stations humides ou sèches ou en mélange avec d'autres espèces de feuillus tolérants sur les stations mésiques
Tolérance à l'ombre	<ul style="list-style-type: none"> - Stade semis. semi tolérante : 6/9 sur l'échelle de Humbert (1 : très tolérant ; 9 : très intolérant) - Tolérant pour les stades ultérieurs en milieu riverain humide (souvent en concurrence avec les essences pionnières PED, PET, SAL) - semi tolérante pour les stades ultérieurs sur les sites bien drainés 	<ul style="list-style-type: none"> - Tolérant en jeune âge - Stade semis : 5/9 sur l'échelle de Humbert (1 : très tolérant et 9 : très intolérant). - Stade futaie : 5,9 /10 sur l'échelle de Graham. 10 : très tolérant, 0 : très intolérant. - Les besoins en lumière augmentent avec l'âge : semi tolérant à partir du stade de perchis - Nettement plus tolérant que d'autres espèces pionnières comme le cerisier de Pensylvanie et le tremble
Facteurs limitatifs ou favorables à l'aménagement de l'essence	<p>Facteurs limitants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sa susceptibilité élevée à la maladie hollandaise de l'orme demeure le principal facteur qui limite l'aménagement durable de cette espèce aux milieux périurbains. - Une nappe phréatique trop élevée ou un sol trop sec nuisent à sa croissance. 	<p>Facteurs limitatifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un couvert dense et le manque de lumière - Espèce peu exigeante, adaptée à diverses conditions de drainage et qui a une meilleure croissance que les espèces qui lui sont habituellement associées, surtout dans des conditions marginales (tourbière, sol sec sur un terrain en pente, crête rocheuse)

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Morphologie		
Port du tronc	Tronc droit avec présence de contreforts imposants à sa base	Tronc généralement dégarni sur la moitié de sa longueur
Taille	Atteint 35 m de haut, 175 cm de diamètre et 200 ans.	Atteint 25 m de haut, 60 cm de diamètre et 100 ans.
Port de la cime	Cime étalée et évasée (plus marqué en milieu ouvert)	Cime pyramidale devenant ovoïde ou arrondie, irrégulière
Largeur de la cime	10 à 15 m	15 m en conditions ornementales
Densité de la cime	Modérément dense	Non disponible
Type de ramification	Sympodiale	Monopodiale
Élagage naturel	Bon	L'espèce présente une meilleure aptitude à s'élaguer sur les stations riches, comparativement aux stations pauvres, surtout chez les arbres dominants
Branches adventives et gourmands	Faible	<ul style="list-style-type: none"> - Production faible de branches adventives chez les dominants après une éclaircie, sauf si l'ouverture du couvert est importante - Nombreux rejets à la suite d'une perturbation, comme un feu, un verglas ou une forte éclaircie, surtout chez les intermédiaires et les codominants qui poussent sur les stations pauvres - La majorité des gourmands produits disparaissent au cours des 20 ans qui suivent une éclaircie pour ne laisser majoritairement que des noeuds renflés

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Système racinaire	<ul style="list-style-type: none"> - Système racinaire superficiel et très étalé dans du sol lourd et humide - Les racines atteignent de 1,5 m à 3 m de profondeur dans du sol au drainage modéré 	<ul style="list-style-type: none"> - Le système racinaire s'adapte à des conditions extrêmes, tolérant tant les sols tourbeux que ceux très secs - Les racines occupent généralement les premiers 25 cm du sol, mais elles peuvent parfois atteindre de 2 m à 3 m de profondeur - Les racines principales peuvent mesurer jusqu'à 25 m de longueur
Croissance (stades perchis et futaie)		
Période de débournement	Non disponible	Au printemps quelques jours après l'ERS
Période d'aoûtement	Non disponible	Non disponible
Croissance relative	<ul style="list-style-type: none"> - Croissance habituellement plus rapide que chez ses compétiteurs - L'espèce est capable de maintenir sa position dominante dans le peuplement à long terme 	<ul style="list-style-type: none"> - Croissance diminuant lorsque le couvert se referme à cause de la concurrence pour la lumière - La croissance ralentit au stade de perchis, si la densité est élevée
Longévité naturelle	Jusqu'à 200 ans et parfois plus	<ul style="list-style-type: none"> - habituellement 80 ans - Elle peut parfois atteindre 200 ans ou un peu plus
Hauteur à maturité physiologique	35 m	18 à 27 m
Hauteur maximale potentielle	Non disponible	26,4 m
Diamètre à maturité physiologique	Maximum : 175 cm et parfois plus	46 à 76 cm

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Reproduction		
Modes de reproduction		
Mode de reproduction privilégié	Sexuée et végétative	Sexuée et végétative
Stratégie de régénération sexuée	Production semencière cyclique et abondante	Régénération de semis et de gaules préétablis sous le couvert et accessoirement, d'une réserve limitée de samares enfouies
Mode de reproduction végétative	<ul style="list-style-type: none"> - Production de rejets de souche : abondante - Drageonnement est plutôt rare chez-nous, bien qu'en Europe il soit fréquent 	<ul style="list-style-type: none"> - Rrejets de souche : production abondante - Marcottage : rare
Vigueur de la reproduction végétative	Production vigoureuse de rejets en jeune âge	<ul style="list-style-type: none"> - Production abondante de rejets après une forte coupe ou un feu - La production augmente proportionnellement avec le diamètre jusqu'à concurrence de 23 à 30 cm de diamètre au dhp, puis elle décroît par la suite - La croissance en hauteur des rejets est comparable à celle des peupliers à grandes dents dans les peuplements pionniers - Les arbres issus de rejets sont de piètre qualité: ils sont davantage touchés par la carie et ont une mauvaise forme, comparativement à ceux issus de semis.
Floraison		
Période de floraison	<ul style="list-style-type: none"> - Avril à mai - 2 à 3 semaines avant le débourrement 	D'avril à mai: plusieurs semaines avant le débourrement et la feuillaison
Agent de pollinisation	Vent	Insectes

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Production semencière		
Type de fruit	Samare	Disamare
Âge de début de production régulière	15 ans	de 4 à 10 ans
Âge de production optimale	40 à 150 ans	Non disponible
Fréquence des bonnes années	Bonnes tous les ans	Bonnes tous les 2 ans, voire tous les ans
Période de maturité	Mi-mai à début juin	Mai à juin
Quantité produite	Fructification abondante : 275 820 semences/arbre	Fructification abondante : 608 930 semences/arbre
Dispersion des semences		
Durée de rétention des semences sur l'arbre	Quelques semaines	< 1 an
Saison de dispersion	Mai à juin	Été: Juin à juillet
Mode de dispersion	- Vent - Eau de ruissellement	- Vent - Eau
Distance de dispersion commune	- Jusqu'à 450 m par le vent - Plusieurs kilomètres par l'eau	> 100 m
Durée de viabilité des semences en milieu naturel	1 an dans le sol	1 an, parfois 2 ans dans le sol

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Facteurs de stress		
Aspects phytosanitaire		
Principaux insectes et maladies à surveiller	<p>- Insectes : La chenille épineuse de l'orme (<i>Nymphalis antiopa</i>) et la chenille à tente estivale (<i>Hyphantria cunea</i>) affectionnent surtout les jeunes ormes en bordure des routes, dans les villes et les parcs. La spongieuse (<i>Lymantria dispar</i>) cause parfois de graves dommages. Les scolytes de l'orme (<i>Hylurgopinus rufipes</i>, <i>Scolytus multistriatus</i>) véhiculent le pathogène responsable de la maladie hollandaise; la saperde de l'orme (<i>Saperda tridentata</i>) et le tremex (<i>Tremex columba</i>) s'ajoutent à la liste des perceurs du bois des arbres dépérissants.</p> <p>- Maladies : La maladie hollandaise de l'orme (<i>Ceratocystis novo-ulmi</i>) tue les ormes de toutes dimensions. Les ormes des villes et des parcs sont vulnérables à la verticilliose (<i>Verticillium albo-atrum</i>) et aux infections causant l'exsudation bactérienne, ou le "wetwood", souvent à l'origine de gélivures. Le pourridié-agaric (<i>Armillaria</i> ssp.) touche surtout les arbres en état de stress hydrique. Les ormes de 100 ans ou plus sont atteints de la coloration brune du coeur, de la carie blanche du tronc (<i>Polyporus squamosus</i>, <i>Pleurotus ulmarius</i>) et de la carie brune madrée (<i>Pholiota aurivella</i>). La sécheresse augmente les risques d'infection de la maladie hollandaise de l'orme et la propagation de la carie des racines causée par l'armillaire, surtout chez les arbres malades.</p> <p>- Animaux : Broutage par l'écureuil (écorces, bourgeons), le cerf de Virginie et le lièvre, parfois (feuilles et rameaux). Les oiseaux mangent les bourgeons et les chatons.</p>	<p>- Insectes : anisote de l'érable (<i>Dryocampa rubicunda</i>) et autres défoliateurs tardifs de moindre importance (<i>Heterocampa guttivita</i>, <i>Symmerista leucitys</i>); les arpenteuses printanières (<i>Alsophila pometaria</i>, <i>Erannis tilaria</i>, <i>Operophtera bruceata</i>); le perceur de l'érable (<i>Glycobius speciosus</i>) est dommageable, car les tiges attaquées sont vulnérables à la carie blanche spongieuse. Résistance élevée aux attaques de la livrée des forêts et de la spongieuse en raison des alcaloïdes présents dans le feuillage: lors d'épidémie, cette aptitude contribue à l'envahissement de l'érable rouge au détriments des autres feuillus associés</p> <p>- Maladies : le pourridié-agaric (<i>Armillaria ostoyae</i>) cause le plus souvent la carie du pied et des racines. Les chancres en cible (<i>E. parasitica</i>, <i>N. galligena</i>) et le dépérissement nectrien (<i>N. cinnabarina</i>) sont aussi fréquents; la carie chancreuse (<i>Inonotus glomeratus</i>) s'introduit dans le tronc dès l'âge de 30 ans, surtout par les mauvais noeuds; d'autres champignons de carie sont également présents : <i>Oxyporus populinus</i> est associé surtout à une fente creuse, un vieux chancre ou aux dégâts de perceur de l'érable; <i>Cerrena unicolor</i> dégrade les souches, puis les rejets à l'origine des érables en bouquet qui sont toujours de mauvaise qualité.</p> <p>- Animaux : broutage par le cerf de Virginie et le lièvre surtout; le rongement des écureuils est parfois une source d'infection à l'origine de chancres en cible.</p>

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Tolérance et résistance aux stress		
Résistance au vent	<ul style="list-style-type: none"> - Élevée en général - Le risque de chablis diminue chez les grands ormes dotés de longues racines - Risques plus élevés chez les ormes de taille moyenne, établis sur un sol mince - Risques accrus dans les ormaies à la suite d'une forte éclaircie 	Élevé ou modérée, en raison de ses racines qui s'étendent en surface, surtout dans les stations mal drainées ou sur les sols minces
Résistance au verglas, à la glace et la neige	<ul style="list-style-type: none"> - Très faible : les fines branches formant une cime étalée sont propices à l'accumulation de glace et à des bris importants lors d'un verglas. - Faible en milieu ouvert 	<ul style="list-style-type: none"> - Modérée - Les tiges ont souvent des défauts d'embranchement, comme de mauvaises fourches qui les rendent très vulnérables au verglas, mais l'érable rouge a néanmoins une grande aptitude à reconstruire sa cime au cours des années suivant la tempête.
Tolérance au gel	<ul style="list-style-type: none"> - Le gel affecte plus souvent les racines que les parties aériennes de l'arbre. - Les gels printanniers tardifs intenses peuvent détruire les fruits, les bourgeons et les fleurs. - Risque faible de gélivure sur le tronc, sauf chez les arbres infectés par le "wetwood". - Tolérance aux basses températures: 3,9 / 5 sur l'échelle de Bakusis: 1 : très résistant, 5 :peu résistant. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible au gel printanier tardif (fleurs), surtout à la limite nord de son aire de distribution. - Faible au gel printanier tardif (pousses annuelles), surtout en milieu ouvert et sur les sommets de moyenne altitude. - Tolérance aux basses températures: 2,6 / 5 sur l'échelle de Bakusis: 1 : très résistant, 5 :peu résistant.

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Tolérance à la sécheresse	Modérée	Modérée
Tolérance aux inondations et à la remontée de la nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> - Modérée - Des inondation fréquentes et prolongées provoquent la flétrissure des feuilles, stimulent la production d'éthylène (une hormone de croissance responsable de la formation de racines aériennes) et causent parfois l'asphyxie des racines et la mort des ormes. 	Modérée : Il bénéficie des ouvertures créées dans les sites humides souvent inondés où les ormes ont été décimés par la maladie hollandaise
Tolérance à la compaction du sol	<ul style="list-style-type: none"> - Modérée - Les arbres en bordure des routes ou de sentiers très fréquentés sont sujets au dépérissement en cime. 	Très faible
Sensibilité aux dommages causés par le feu	<ul style="list-style-type: none"> - L'écorce épaisse protège bien les grands ormes, mais les jeunes sujets y sont davantage exposés. - Les ormes dont le tronc est endommagé par le feu offrent une très faible résistance à la pourriture du bois. 	<ul style="list-style-type: none"> - Élevée, même lors de feux d'intensité modérée : l'espèce est la plus sensible de toutes les essences forestières - La production de rejets est fortement stimulée après un feu de sorte qu'Québec, il ne réussit pas à mettre en échec la prolifération de l'espèce comme ce fut le cas dans le nord-est des États-Unis au cours du 19^e siècle.
Sensibilité aux polluants atmosphériques	<ul style="list-style-type: none"> - Effet combiné de SO₂ et O₃ : très élevée - SO₂, sylvicides (2,4-D, 2,4,5-T) : élevée, surtout chez les jeunes ormes - O₃ : information contradictoire selon les auteurs - Sel : modérée ou élevée - HFI : faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Sel : très élevée. - SO₂ : modérée. - HCl, Cl : faible ou modérée - Ozone : élevée

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Autres stress	<ul style="list-style-type: none"> - Tolérance élevée aux conditions urbaines: froids intenses (- 40°C), sel de déglçage, compaction du sol et taille des racines - Les grands ormes isolés sont très exposés au froudriement - L'espèce est apte à revitaliser les sites contaminés par les résidus miniers 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance élevée au dépérissement consécutif à l'ouverture du couvert, mais production abondante de rejets de pied sur les sujets en situation de stress. - Faible résistance à l'insolation du cambium à l'origine des infections causées par la carie blanche spongieuse et la rupture soudaine de la tige. - Résistance faible à nulle du bois de cœur à la pourriture. - Espèce très sujette aux défauts d'embranchement qui diminuent la qualité des tiges et qui entraînent la coloration précoce et la carie du cœur, surtout sur les stations mal drainées.
Principaux dommages causés pas les animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Dommages causés par les pics sur le tronc - Broutage par le cerf de Virginie 	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance élevée au dépérissement consécutif à l'ouverture du couvert, mais production abondante de rejets de pied sur les sujets en situation de stress. - Faible résistance à l'insolation du cambium à l'origine des infections causées par la carie blanche spongieuse et la rupture soudaine de la tige. - Résistance faible à nulle du bois de cœur à la pourriture. - Espèce très sujette aux défauts d'embranchement qui diminuent la qualité des tiges et qui entraînent la coloration précoce et la carie du cœur, surtout sur les stations mal drainées.

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Utilisations		
Autres utilisations	<p>- Arbre ornemental par excellence, qui a conservé ses lettres de noblesse dans la région de Québec, grâce à un programme énergique de prévention contre la maladie hollandaise- L'espèce était jadis utilisée pour la constructuon navale et la fabrication de moyeux- Ses cendres sont riches en potasse</p>	<p>- Production de sirop: la teneur en sucre de la sève est néanmoins inférieure à celle de l'érable à sucre</p> <p>- L'espèce contribue à l'esthétisme des paysages en raison de son feuillage automnal qui devient jaune, voire écarlate dans la partie septentrionale de son aire de distribution</p>
Divers		
Enjeux de biodiversité	<p>- L'espèce a pratiquement disparu du couvert forestier: depuis les années 1930, près de 90% des grands ormes ont été décimés par la maladie hollandaise de l'orme. Elle se maintient néanmoins par endroits dans la régénération et les strates subordonnées de même que dans les anciennes terres agricoles: la maladie réduit donc les possibilités de l'aménager de façon durable, sauf dans les villes et les parcs</p> <p>- Certains phénotypes montrent une résistance partielle à la maladie, mais les sujets sont souvent trop épars pour être pollinisés efficacement et produire des samares viables et abondantes</p>	<p>L'érable rouge est une espèce peu exigeante, opportuniste et "super-généraliste" : elle est difficile à déloger un fois bien établie ; son importance grandissante au sein des écosystèmes forestiers depuis le début des années 1900 est non seulement attribuable aux perturbations (coupes, brûlis, défrichement, chablis, verglas, épidémies d'insectes, dépérissement de l'érable à sucre), mais aussi à l'abandon de l'agriculture, à la lutte contre les feux de forêt ainsi qu'à l'augmentation substantielle du CO2 dans l'atmosphère : son abondance relative dans un peuplement est d'ailleurs concomittante à un déclin de la biodiversité et de la production</p>

	Orme d'Amérique (ORA)	Érable rouge (ERR)
Valeur générale pour la faune	Intermédiaire	Très élevée : la production régulière et abondante de samares fait en sorte qu'elles sont une assez bonne source de nourriture pour les oiseaux chanteurs, les écureuils et autres petits rongeurs ; les bourgeons sont aussi dévorés par les écureuils ; les arbres matures sont souvent attifés des cavités qui servent de refuge aux animaux
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> - L'espèce améliore la fertilité du sol et stabilise le pH grâce à un apport important et régulier de calcium et de potassium en provenance des feuilles mortes qui se décomposent au sol - Certains hybrides au port similaire à l'espèce indigène (Ulmus accolade (jap. x Wils. ('Morton')) et un clone issu d'une sélection d'ormes sains (American Liberty) sont résistants à la maladie hollandaise de l'orme - Un vaccin injectable dans le tronc (Dutch Trig®) mis au point à partir d'un champignon (Verticillium albo-atrum) a été homologué pour prévenir la maladie dans les villes et les parcs : il induit une réaction de défense chez l'hôte (info@dutchtrig.com; www.dutchtrig.com) 	<ul style="list-style-type: none"> - L'espèce possède une grande diversité génétique et peut s'hybrider naturellement avec l'érable argenté- L'espèce possède un large spectre écologique, ce qui lui confère les attributs à la fois d'espèce pionnière et climacique

Tiré de :

<http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/essences/essence.php?e=commerciale>



<https://www.ccdmd.qc.ca/catalogue/description-ecologique-des-forets-du-quebec>



<http://www.repertoirequebecnature.com/index.html>



<https://afsq.org>

Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Green Ash	Eastern cottonwood, Southern cottonwood
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.	<i>Populus deltoides</i> Bartr. ex Marsh. var. <i>deltoides</i>

Localisation

Répartition	Indigène	Indigène
Aire de distribution naturelle		

Rameaux en hiver		
------------------	--	--

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Feuille		
Sous-domaine bioclimatique où	- 1, 2 est, 3 est, marginal : 2 ouest, 3 ouest	- 1, 2 est, marginal : 2 ouest, 3
Statut hydrique	Facultative des milieux humides	Facultative des milieux humides
Climat régional		
Température annuelle moyenne par sous-domaine bioclimatique (°C)	- 1 : 6,3	- 1 : 6,3
Précipitations totales annuelles par	- 1 : 997 (873 - 1 122)	- 1 : 1 023 (907 - 1 139)
Durée de la saison de croissance par	- 1 : 183 (170 - 196)	- 1 : 184 (174 - 194)
Principales classes de drainage par sous-	- 1 : 50 = 40 = 60	- 1 : 30 = 40 = 50 = 20
Fertilité du sol	Besoins élevés en éléments nutritifs	Besoins élevés pour satisfaire une croissance optimale

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Meilleures conditions de croissance	<ul style="list-style-type: none"> - Sols riches des plaines basses, contrairement au frêne blanc, bords des marais et des rivières - Textures moyennes-fines avec un drainage 3 à 4 - Textures moyennes avec un drainage 3 à 5 - pH optimal de 5,5 à 8 	<ul style="list-style-type: none"> - Milieux riches et humides des basses-terres où les mouchetures sont absentes des 46 premiers cm, et la nappe phréatique à une profondeur de 60 à 180 cm de la surface - Texture moyenne à fine

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Dynamique		
Sociologie	En association avec d'autres feuillus nobles des milieux humides: micocoulier, ormes, noyer cendré, érables rouge et argenté	- Généralement en association avec d'autres feuillus associés à la forêt riveraine ou insulaire : ormes, saules, érable rouge, érable argenté, frêne rouge, micocoulier et chêne à gros fruits - En peuplements purs, parfois, surtout en bordure des cours d'eau
Tolérance à l'ombre	Régénération : tolérant, puis semi tolérant avec l'âge	Très intolérant
Facteurs limitatifs ou favorables à l'aménagement de l'essence	<ul style="list-style-type: none"> - En plantation, adaptation rapide suite à la mise en terre, ce qui lui permet de croître en présence d'une compétition herbacée. - Espèce qui domine souvent les premiers stades de succession, de par une production semencière prolifique et régulière, une croissance dynamique et l'atteinte rapide de sa maturité. - Peut avoir des difficultés à maintenir sa place comme codominant, en présence d'essences à croissance plus rapide comme l'érable argenté et l'orme d'Amérique. - Bonne dominance apicale en milieu ouvert mais peut développer une mauvaise architecture lorsqu'il est sous un couvert trop dense, en combinaison avec le broutage du cerf de Virginie 	Facteurs limitants : Réagit mal au dégagement en conditions de cohorte dense, à moins que les arbres aient développé de bonnes cimes

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Morphologie		
Port du tronc	Tronc rectiligne, souvent dégarni sur toute sa longueur	- Milieu ouvert : tronc court et massif, se ramifiant souvent près du sol en quelques branches maîtresses très étalées - Milieu fermé : tronc long et rectiligne
Taille	Atteint 25 m de haut, 60 cm de diamètre et 100 ans.	Atteint 30 m de haut, 100 cm de diamètre et 50 ans.
Port de la cime	Cime ovale, à branches basses descendantes et aux extrémités redressées	- Milieu ouvert : cime de forme irrégulière avec de grosses branches charpentières - Milieu fermé : cime courte, symétrique et arrondie
Largeur de la cime	10 à 15 m	20 m en conditions ornementales
Densité de la cime	Cime modérément dense	Clairsemée
Type de ramification	- Monopodiale - Développe des fourches à angle aigu surtout en milieu ouvert	Non disponible
Élagage naturel	Bon	Bon
Branches adventives et gourmands	Production faible à nulle	Non disponible

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Système racinaire	- Système racinaire latéral et profond	- Système racinaire superficiel avec racines puissantes - Système racinaire profond lorsque les conditions sont favorables
Croissance (stades p		
Période de débournement	Non disponible	Non disponible
Période d'aoûtement	Non disponible	Non disponible
Croissance relative	Croissance rapide	- C'est l'espèce commerciale à croissance la plus rapide en Amérique du Nord - En condition dégagée, croissance tellement rapide qu'aucune autre espèce ne peut la dépasser - De 1,2 à 1,5 m par an
Longévité naturelle	- Habituellement 65 ans - Maximum 150 ans	- Habituellement 60 à 75 ans en peuplement - Maximum : 100 ans en milieu ouvert, voire plus où le sol est profond
Hauteur à maturité physiologique	18 à 25 m	30 à 35 m
Hauteur maximale potentielle	Non disponible	Non disponible
Diamètre à maturité physiologique	30 à 60 cm	100 à 150 cm

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Reproduction		
Modes de reproduct		
Mode de reproduction privilégié	Sexuée et végétative	Sexuée et végétative
Stratégie de régénération sexuée	Production cyclique de semences, assistée à une réserve limitée de semences enfouies sol et d'une régénération préétablie sous le couvert	Production semencière cyclique et abondante
Mode de reproduction végétative	Rejets de souche	<ul style="list-style-type: none"> - Production de rejets de souche : abondante - Drageonnement : secondaire - Le drageonnement à partir des billes coupées obligent le sylviculteur à les transformer sans attendre
Vigueur de la reproduction végétative	Croissance rapide des rejets émis chez les gaules et les perches, une fois la tige principale morte ou coupée	<ul style="list-style-type: none"> - Les rejets sur des tiges de moins de 25 ans sont une alternative très souhaitable pour la régénération de l'espèce - La production de rejets diminue significativement avec l'âge - La survie des rejets est meilleure dans les sites où la nappe phréatique est élevée
Floraison		
Période de floraison	<ul style="list-style-type: none"> - Avril à mai - Avant la feuillaison 	Février à avril, soir de 1 à 2 semaines avant l'ouverture des bourgeons de feuilles
Agent de pollinisation	Vent	Vent

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Production semencière		
Type de fruit	Samare	Capsule
Âge de début de production régulière	20 ans	- 5 à 10 ans - de 10 à 15 ans
Âge de production optimale	40 ans	La production s'accroît rapidement au fur et à mesure que l'arbre devient plus vieux et plus large
Fréquence des bonnes années	Bonne tous les 3 à 5 ans	Bonnes tous les ans
Période de maturité	Fin septembre à début octobre	Début juin
Quantité produite	Fructification abondante : 139 770 semences/arbre	- 48 millions de semences/arbre - De 25 à 28 millions de semences / arbre
Dispersion des semences		
Durée de rétention des semences sur l'arbre	? De quelques semaines à quelques mois	Quelques semaines
Saison de dispersion	Octobre jusqu'au printemps suivant	Juin à juillet
Mode de dispersion	- Vent - Eau	- Vent - Eau de ruissellement
Distance de dispersion commune	- Près du semencier en général - 200 m si transporté par le vent	Plusieurs kilomètres
Durée de viabilité des semences en milieu naturel	Plusieurs années dans le sol	- 2 semaines à 1 mois sur la litière - Plusieurs semaines dans l'eau

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Facteurs de stress		
Aspects phytosanitaires		
Principaux insectes et maladies à surveiller	<p>- Insectes : la livrée d'Amérique affectionne les frênes situés en lisière ou sur le bord des routes; les attaques des vers charpentiers (<i>Prionoxystus robiniae</i>) et des sésies du frêne (<i>Podosesia syringae fraxini</i>) ouvrent la voie à la carie du pied et des racines; récemment introduite dans le sud du Québec, l'agrile du frêne (<i>Agrilus planipennis</i>) constitue une menace d'épidémie.</p> <p>- Maladies : assez résistant en général, sauf à la carie du pied et des racines causée par <i>Ganoderma resinaceum</i> et <i>Perenniporia fraxinea</i>, chez les arbres établis sur les terres régulièrement inondées; les fentes sont à l'origine de la coloration et de la carie du tronc causée surtout par <i>Kretzschmaria deusta</i> et <i>Phellinus conchatus</i>.</p> <p>- Animaux : broutage par le cerf de Virginie.</p>	<p>- Insectes : Le papillon satiné (<i>Leucoma salicis</i>), la noctuelle décolorée (<i>Enargia decolor</i>), les chrysomèles (<i>Zeugophora</i> sp.), la saperde du peuplier (<i>S. calcarata</i>), l'agrile du peuplier (<i>A. liragus</i>).</p> <p>- Maladies : Le chancre septorien (<i>Septoria musiva</i>), la rouille des feuilles (<i>Melampsora</i> sp.) causent des chancres qui entraînent le bris de la tige principale; la carie blanche du tronc causée par le ganoderme plat (<i>Ganoderma applanatum</i>) et le polypore du peuplier (<i>Phellinus tremulae</i>) est responsable du déclin des vieux peupliers.</p> <p>- Animaux : Broutage des pousses par le cerf de Virginie, l'original et rongement de l'écorce en hiver par le lièvre.</p>

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Tolérance et résistai		
Résistance au vent	Élevée	Modérée
Résistance au verglas, à la glace et la neige	<ul style="list-style-type: none"> - Modérée à élevée - Modérée aux bris causés par la glace, particulièrement les frênes qui poussent à découvert : ceux qui sont encore porteurs de samares, ceux infestés par le phytopte des fleurs, de même que ceux dont la structure est affaiblie par de mauvaises fourches sont les sujets les plus vulnérables. 	Faible
Tolérance au gel	<ul style="list-style-type: none"> - Faible (fleurs et fruits) - Tolérance supérieure chez les bourgeons et les feuilles. - Tolérance aux basses températures: 4,4 / 5 sur l'échelle de Bakusis: 1 : très résistant, 5 :peu résistant. - Faible Tolérance au gel des racines qui survient après un redoux hivernal, surtout lorsque la couverture nivale est mince et que le sol est gorgé d'eau, ce qui augmente la conductivité du gel en profondeur. 	Faible tolérance aux basses températures: 5 / 5 sur l'échelle de Bakusis: 1 : très résistant, 5 :peu résistant.

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Tolérance à la sécheresse	<ul style="list-style-type: none"> - Modérée - Le plus résistant des frênes 	Élevée
Tolérance aux inondations et à la remontée de la nappe phréatique	<ul style="list-style-type: none"> - Élevée - Peut supporter plusieurs semaines d'inondation pendant la période de dormance - Diminution de la tolérance avec l'âge 	<ul style="list-style-type: none"> - Élevée - Une inondation durant la saison de dormance ou une courte inondation durant la saison de croissance peut être bénéfique, permettant un certain contrôle de la végétation concurrente. - Une inondation prolongée est nuisible pour les arbres établis et les rejets.
Tolérance à la compaction du sol	Élevée	Élevée
Sensibilité aux dommages causés par le feu	Non disponible	<ul style="list-style-type: none"> - Moyenne chez les gros individus dont l'écorce est très épaisse : les arbres qui survivent sont atteints de la carie des racines et du pied - Faible production de drageons sur les tiges qui ont survécu à un feu - Les grands arbres sont susceptibles aux dégâts causés par la foudre.
Sensibilité aux polluants atmosphériques	<ul style="list-style-type: none"> - Supporte plus ou moins les conditions urbaines - SO2, Ozone : élevée 	<ul style="list-style-type: none"> - O3 : élevée - SO2, sel : faible

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Autres stress	<ul style="list-style-type: none"> - Résistance élevée au dépérissement consécutif à l'ouverture du couvert - Résistance très faible du bois de cœur à la pourriture - Résistance élevée aux grands écarts de température - L'espèce est apte à revitaliser les sites contaminés par les résidus miniers 	<ul style="list-style-type: none"> - Tolérance élevée aux froids intenses (- 45°C) - Faible résistance du bois de cœur à la pourriture - L'espèce est apte à revitaliser les sites contaminés par les résidus miniers
Principaux dommages causés pas les animaux	- Ramilles : cerf de Virginie	Rongements de l'écorce par le castor

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Utilisations		
Autres utilisations	Non disponible	<ul style="list-style-type: none"> - Brise-vent - Stabilisation du sol, le long des cours d'eau par exemple - Bioénergie - Nourriture pour le bétail du fait de l'absence de tannins et de la richesse des nouvelles pousses en protéines et en minéraux
Divers		
Enjeux de biodiversité	L'espèce est relativement plus abondante qu'il y a 40 ans, surtout dans le sous-domaine de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest, alors que dans l'Est elle a régressé	Aucun

	Frêne rouge (Frêne de Pennsylvanie) (FRP)	Peuplier deltoïde (PED)
Valeur générale pour la faune	Faible	Élevée
Remarques	Espèce qui colonise les champs agricoles abandonnés des basses terres	<ul style="list-style-type: none"> - Nombreux hybrides producteurs de bois : hybridation naturelle avec le peuplier faux-tremble - L'espèce se prête bien à la culture intensive en plantation

Tiré de :

<http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/essences/essence.php?e=commerciale>

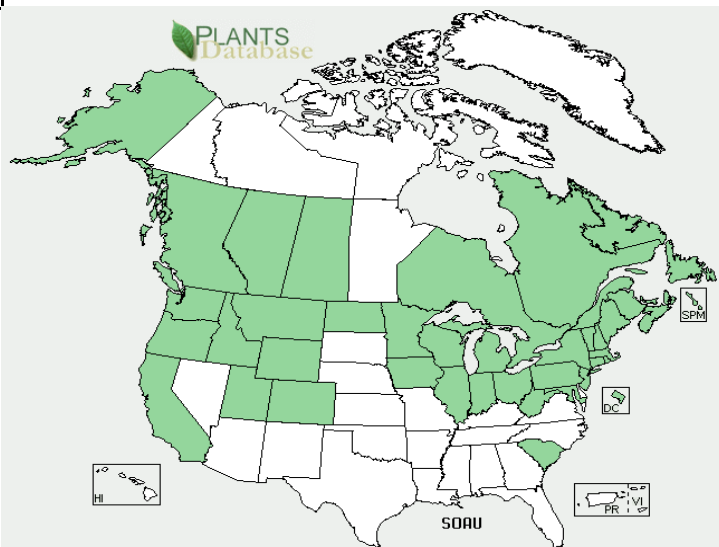
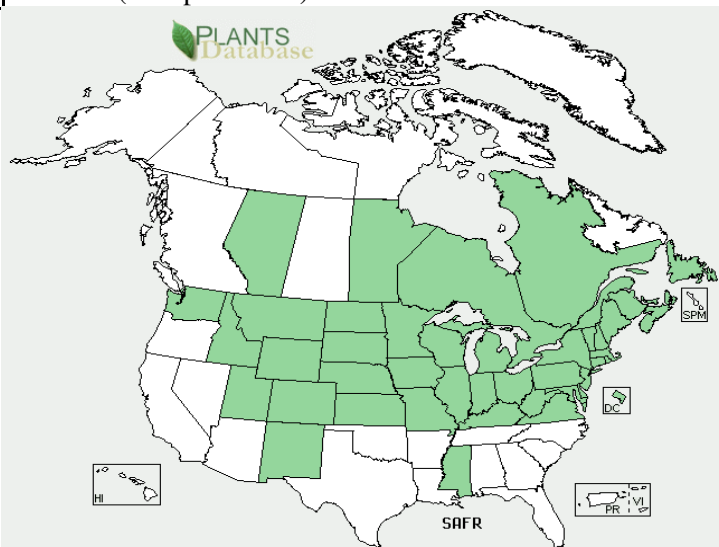
<https://www.ccdmd.qc.ca/catalogue/description-ecologique-des-forets-du-quebec>

<http://www.repertoirequebecnature.com/index.html>

<https://afsq.org>

Sorbier des oiseleurs	Saule fragile
European mountain-ash	Crack willow
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	<i>Salix fragilis</i> L.

Localisation

Répartition	Introduit	Introduit (Europe et Asie)
Aire de distribution		
Rameaux en hiver	Rameaux pubescents à l'état jeune.	Rameaux rigides, cassants, vert jaunâtre à rouge foncé, luisant.
Feuille	Feuilles portant 9 à 17 folioles de 3 à 5 cm de longueur, très brièvement acuminées, à peine atténuées, grossièrement dentées, sauf près de la base, généralement pubescentes des deux côtés, blanchâtres en dessous. Bourgeons non collant, couvert d'une pubescence blanche laineuse.	Feuilles elliptiques de 7 à 15 cm de longueur, aiguës, allongées; bord garni de grosses dents irrégulières à pointe glanduleuse; dessus vert, dessous blanchâtre; pétiole glanduleux à la jonction du limbe. Stipules petites ou absentes. Bourgeons gommeux.
Sous-domaine bioclimatique où l'essence est représentée	Rustique jusque dans les zones C3	Rustique jusque dans les zones C3
Statut hydrique	Aucun	Facultatif des milieux humides
Climat régional		
Fertilité du sol	Peut croître dans un sol pauvre	
Meilleures conditions de croissance	Sol légèrement acide, argileux et pauvre	Sol légèrement basique, humide et riche

Sorbier des oiseleurs	Saule fragile
European mountain-ash	Crack willow
Sorbus aucuparia L.	Salix fragilis L.

Dynamique		
Tolérance à l'ombre	Peu tolérant	Peu tolérant
Facteurs limitatifs ou favorables à l'aménagement de l'essence	Nécessite beaucoup de lumière	Nécessite beaucoup de lumière, de matière organique et d'humidité
Morphologie		
Port du tronc	Arbre isolé	Arbre isolé
Hauteur de l'arbre	Atteins 15 m de haut et 25 cm de diamètre.	Atteins 30 m de haut et 100 cm de diamètre.
Port de la cime		Large et arrondie
Croissance		
Croissance relative		Rapide
Longévité naturelle		
Hauteur maximale potentielle	15 m	30 m
Reproduction		
Modes de reproduction		
Mode de reproduction privilégié	Sexuée	Sexuée
Mode de reproduction végétative	inconnue	Très utilisé
Vigueur de la reproduction végétative		Très forte
Floraison		
Période de floraison	Printanière, fructification à la fin de l'été	Printanière
Production semencière		
Type de fruit	Gros, de 10 à 12 mm de diamètre, orangés à rouges, en infrutescences à sommet arrondi.	Chatons sur de courtes pousses feuillées. Capsules à court pédicelle.
Dispersion des semences		
Saison de dispersion	Automne, hivers et printemps.	Automne
Mode de dispersion	Oiseaux, animaux	Par le vent et par l'eau.
Facteurs de stress		
Aspects phytosanitaire		
Principaux insectes et maladies à surveiller		Depuis 1928, un champignon parasite, le Fusicladium salici peridum, a complètement détruit tous les grands saules plantés, depuis Gaspé jusqu'à la vallée de la Matapédia.

	Sorbier des oiseleurs	Saule fragile
	European mountain-ash	Crack willow
	Sorbus aucuparia L.	Salix fragilis L.
Tolérance et résistance aux stress		
Résistance au vent		Très fragile, branches très cassantes.
Résistance au verglas, à la glace et la neige		Fragile
Tolérance à la sécheresse		Peu tolérant à la sécheresse
Tolérance aux inondations et à la remontée de la nappe phréatique		Tolérant aux inondations
Tolérance à la compaction du sol		Tolérant à la compaction
Sensibilité aux polluants atmosphériques		Tolérant à la pollution
Autres stress	Très peu tolérant aux sels de déglacage	Tolérant aux sels de déglacage
Utilisations		
Autres utilisations		Stabilise les rives, empêche l'érosion en rive, utilisé comme écran. Utilisé comme bois de chauffage. Sonorité du feuillage, vertus médicinales
Divers		
Valeur générale pour la faune	Très utilisée par la faune, notamment comme nourriture pour les oiseaux.	Attire les oiseaux, attire les petits animaux.
Remarques		On s'en sert en Europe comme bois d'œuvre. L'arbre est remarquable par la facilité à laquelle il se multiplie par bouturage naturel ou artificiel; un piquet de ce saule planté au maillet peut donner un arbre; une branche cassée et tombée sur un sol humide s'enracine bientôt.

Tiré de :

<http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/essences/essence.php?e=commerciale>

<https://www.ccdmd.qc.ca/catalogue/description-ecologique-des-forets-du-quebec>

<http://www.repertoirequebecnature.com/index.html>

<https://afsq.org>

Sorbier des oiseleurs	Saule fragile
European mountain-ash	Crack willow
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	<i>Salix fragilis</i> L.

<http://irapl.altervista.org/schedenam/fnam2.php?taxon=Sorbus+aucuparia+L.+var.+xanthocarpa+Hartwig+&+R%B3mpler>

Flore Marie-Victorin

Les arbres du Canada

Annexe 6

Description du tapis de béton-câble

Description du tapis de béton-câble Flexamat®

Description de la structure de recouvrement de berge

Selon l'information d'un fournisseur « Innovex », le Flexamat® est décrit comme suit :

« Le **Flexamat®** est un matelas permettant d'enrayer l'érosion de façon permanente. On l'utilise pour la stabilisation des pentes, les canaux, l'aménagement de gués, la protection des canaux de prise et des exutoires, ainsi que le renforcement du littoral. Le produit **Flexamat®** est constitué d'un treillis de blocs de béton. Ces blocs carrés de 6 po 1/2 de côté et d'une épaisseur de 2 po 1/4 sont intégrés à même une géogrille haute résistance. Les blocs sont espacés de 1 po 1/2 les uns des autres, ce qui donne sa flexibilité au treillis et permet une croissance optimale des végétaux. Le treillis **Flexamat®** est emballé en rouleaux, ce qui facilite son transport et son installation. »

« **Flexamat®** offre une solution d'armature rigide permanente, végétalisée. »

« Outre le gazon, de nombreuses autres plantes indigènes peuvent être plantées et pousser dans le treillis. Par exemple, il est possible de planter des pousses de saules dans le treillis **Flexamat®**. »

Les figures suivantes proviennent du site internet www.flexamat.com :





Utilisation pour le projet

Dans le cadre du présent projet de restauration de la berge, un tapis de béton-câble sera utilisé comme recouvrement permanent des matériaux propres sur la totalité de la berge, au-dessus de l'enrochement. Selon le fournisseur, le tapis peut être installé sur les pentes de la berge sans problème.

Avantages

L'avantage d'un tapis de béton-câble est ainsi qu'il permet, en complément avec un soutènement par l'enrochement, une protection de la berge contre l'érosion par les vagues, la conservation d'arbres tout en constituant une mesure conforme aux exigences de recouvrement associées aux recommandations de gestion de risque pour le maintien des matériaux dans la berge.

Un autre avantage du tapis de béton-câble découle du fait qu'il est possible de le végétaliser et s'intègre bien au paysage.

La brochure du produit ainsi que les détails d'installation (en anglais) sont joints à l'annexe.



SOLUTIONS PERMANENTES CONTRE L'ÉROSION

Systèmes de prévention et de protection pour contrer l'érosion



Flexamat® offre des solutions de contrôle de l'érosion pour une vaste gamme d'applications :

AÉROPORTS

HALTES ROUTIÈRES

SURFACES CARROSSABLES

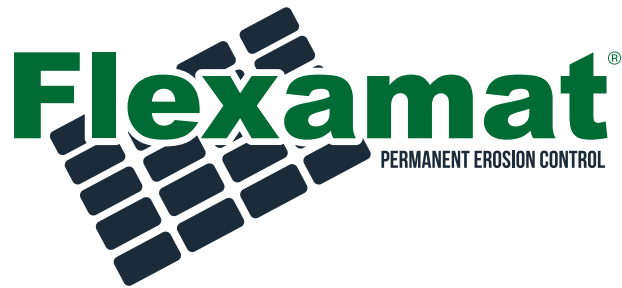
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE

CANAUX DE PRISE/EXUTOIRES

DÉCHARGES/RESTAURATION MINIÈRE

LITTORAL

BERGES DES FLEUVES ET RIVIÈRES



SOLUTIONS PERMANENTES CONTRE L'ÉROSION

Systèmes de prévention et de protection pour contrer l'érosion

Le manufacturier

Flexamat® est fabriqué par Motz Enterprises, Inc. L'entreprise, dont le siège social est situé à Cincinnati, Ohio, est en affaires depuis plus de 30 ans.

Flexamat® est disponible partout au États-Unis et au Canada. On peut se le procurer localement dans la plupart des régions.

Notre performance fait notre fierté, de même que notre capacité à recommander le bon produit pour la bonne application. **Flexamat®** est une solution à long terme efficace. Nous nous ferons un plaisir de travailler en collaboration avec vous.



South Platte River, CO



Flexamat®

Qu'est-ce qui fait de Flexamat® la meilleure solution permanente contre l'érosion?



À PROPOS DE Flexamat®

Solution permanente contre l'érosion

Flexamat® est un matelas permettant d'enrayer l'érosion de façon permanente. On l'utilise pour la stabilisation des pentes, les canaux, l'aménagement de gués, la protection des canaux de prise et des exutoires, ainsi que le renforcement du littoral. Le produit **Flexamat®** est constitué d'un treillis de blocs de béton. Ces blocs carrés de 6 po 1/2 de côté et d'une épaisseur de 2 po 1/4 sont intégrés à même une géogridde haute résistance. Les blocs sont espacés de 1 po 1/2 les uns des autres, ce qui donne sa flexibilité au treillis et permet une croissance optimale des végétaux. Le treillis **Flexamat®** est emballé en rouleaux, ce qui facilite son transport et son installation. Plusieurs types de sous-couches sont disponibles, dont la sélection dépend des conditions du site.

Une solution végétalisée

Flexamat® offre une solution d'armature rigide permanente, végétalisée. On peut tondre les végétaux qui poussent dans les interstices du système **Flexamat®** au moyen de tondeuses commerciales ou les laisser croître librement. Outre le gazon, de nombreuses autres plantes indigènes peuvent être plantées et pousser dans le treillis. Par exemple, il est possible de planter des pousses de saules dans le treillis **Flexamat®**.

Travailler en harmonie avec la nature, pas contre elle.

L'intégration de végétaux vivaces dans les plans de traitement des eaux de ruissellement favorise la phytoremédiation, c'est-à-dire l'extraction, la destruction ou le confinement des contaminants au moyen de plantations vertes. La plantation ou le semis de végétaux vivaces améliore la pénétration des eaux pluviales dans le sol et favorise l'extraction des polluants des eaux qui ruissellent des routes et des stationnements (huiles et graisses, métaux, poussière de frein, déchets, sels nutritifs) grâce à l'action filtrante de ces plantes et à la phytoremédiation. Les plantes vivaces, en protégeant les blocs de béton des rayons du soleil, permettent aussi de réduire ou même d'éliminer l'impact de la chaleur sur les eaux de ruissellement, et favorisent la filtration de l'eau et son absorption par le sol, contrairement aux ripraps et autres systèmes de blindages contre l'érosion.



LES AVANTAGES DE Flexamat®

HAUTE PERFORMANCE

Résistance sans végétalisation : 30 pi/s et 24+ lb/pi²

ENTRETIEN FACILE

L'utilisation de tondeuses est sécuritaire.

INSTALLATION RAPIDE

La livraison en rouleaux facilite l'installation.

SIMPLE À INSTALLER

Les installateurs peuvent utiliser leur propre équipement.

ESTHÉTIQUE

S'intègre au paysage.

AMÉLIORE LA SÉCURITÉ

Sécuritaire pour la circulation automobile

ÉCOLOGIQUE

Sécuritaire pour les piétons et les animaux

RÉDUIT LES COÛTS DE CONSTRUCTION

Faible coût des matériaux, main d'œuvre réduite et achèvement plus rapide du projet

DÉCOURAGE LE GRAFFITAGE

Solution végétalisée plutôt que coulage de béton

AMÉLIORE LA QUALITÉ DE L'EAU

Offre à la fois la phytoremédiation et la réduction de l'impact thermique.

DÉVELOPPEMENT À FAIBLES IMPACTS

Aide à satisfaire aux critères d'émission d'un permis d'aménagement d'un système d'évacuation des eaux de pluie.





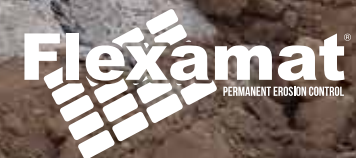
Trois mois après l'installation



Un an après l'installation







Protection des ponceaux



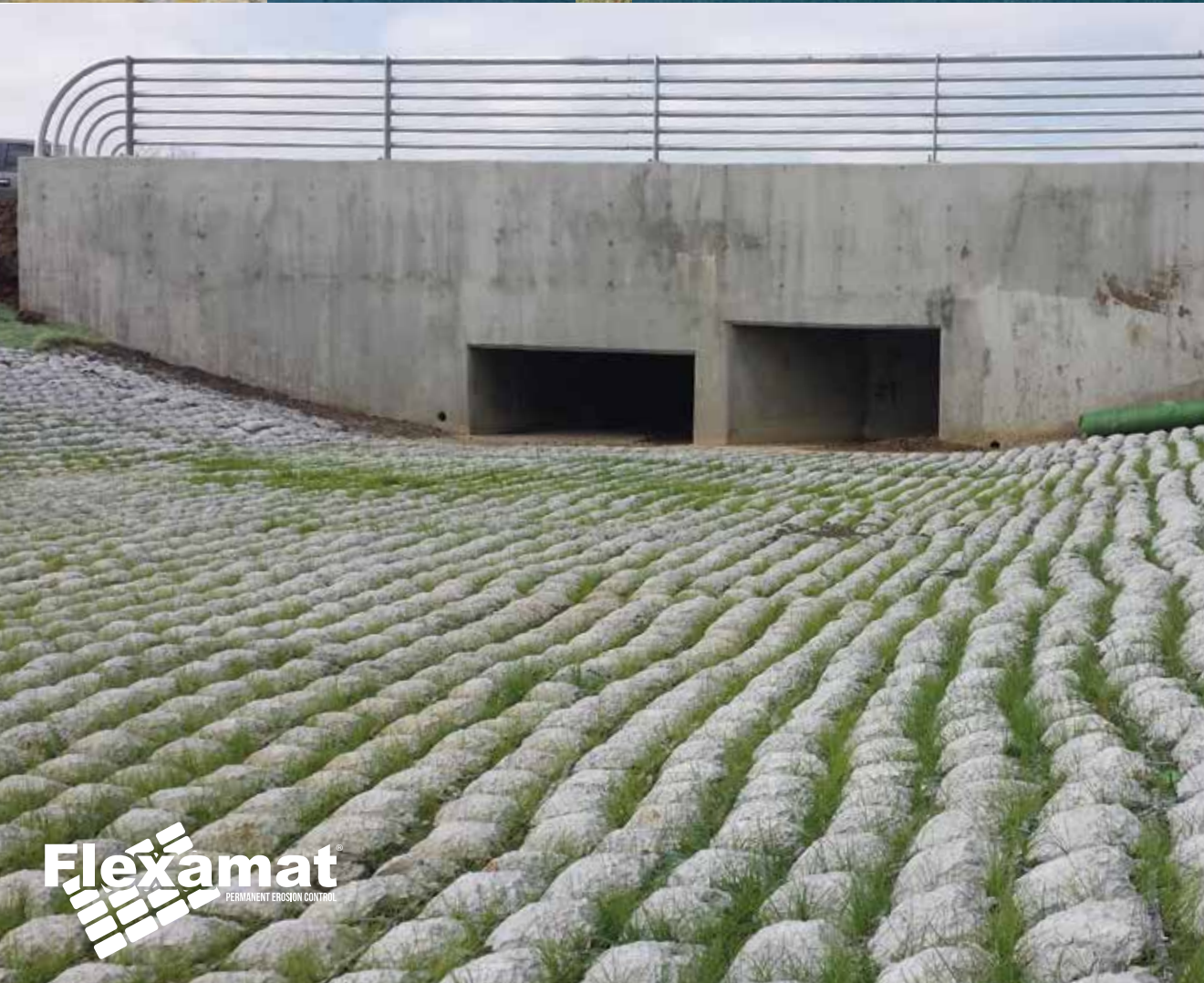
Exutoire avec riprap déficient



Exutoire protégé avec Flexamat®, 3 ans après l'installation.



Avaloir à grille avec protection



Griffin, GA - Érosion d'une décharge



Griffin, GA - Décharge réparée





Descente d'une largeur de 60 pi venant d'être installée.



Même descente 4 ans après l'installation



Flexamat
PERMANENT EROSION CONTROL





Gazoduc haute-pression à nu





Un an après l'installation



Flexamat
PERMANENT EROSION CONTROL





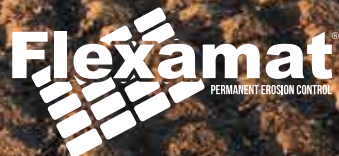
Installation à l'aide d'un outil de fonçage à essence.



Fixation de l'ancrage avec l'outil Jack Jaw®



L'excédent de câble est coupé.









Flexamat
PERMANENT EROSION CONTROL





Flexamat
PERMANENT EROSION CONTROL

Protection des surfaces carrossables contre l'érosion



Rampe de mise à l'eau



Entrée résidentielle avec remplissage en gravier



Chemin d'accès au stade d'un collège.





Flexamat® Liste de contrôle de projet



Flexamat® Standard avec doublure en Curlex II®



Flexamat® Plus avec doublure en Curlex II®
et en Recyclex



Flexamat® avec doublure en textile non tissé

Flexamat® Liste de contrôle de projet :

Voici quelques conseils pour que votre installation du produit **Flexamat®** soit un succès :

Déterminez quelle option **Flexamat®** est la mieux adaptée au site.

1. Curlex II® 2. **Flexamat®** PLUS 3. Géotextile (10 oz.)

- ☐ Commander le produit **Flexamat®** de votre choix (tenir compte d'une perte de 5 à 7 %)
- ☐ Faire visionner par votre équipe d'installateurs les vidéos sur l'installation du produit sur le chaîne YouTube de **Flexamat®**.
- ☐ Prévoir une aire d'entreposage temporaire pour le produit **Flexamat®**.
- ☐ Préparer l'aire de travail avant le début des travaux d'installation – enlever les souches, les pierres, la terre, etc – afin de créer une surface plane.
- ☐ Semer et fertiliser avant l'installation du produit **Flexamat®**
- ☐ Manille conçue pour le poids nominal approprié (pour raccordement à l'anneau en D du godet)
- ☐ Pivot et système d'attaches avec crochets de levage d'une capacité nominale adéquate.
- ☐ 3 ou 4 crochets de traction (utilisés pour l'ajustement du produit **Flexamat®** en cours d'installation).
- ☐ Sangles de levage pour les grands rouleaux.
- ☐ Godet lisse (sans dents) monté sur l'excavatrice (se reporter aux vidéos d'installation).
- ☐ Des barres d'armature à crochets en U no 3 de 18 po ou des tiges d'ancrage en croix à fongage par percussion peuvent être requises.
- ☐ Une doublure Curlex II® ou Recyclex® TRM peut être requise sous les coutures et les bords.
- ☐ Gants
- ☐ Râteaux et pelles
- ☐ Manille
- ☐ Pivot et système d'attaches avec crochets de levage
- ☐ Une scie à tronçonner si des coupes sont nécessaires.





DONNÉES HYDRAULIQUES

Essais en canal jaugeur

Essai sans végétaux sur sol limoneux-sableux; pente de 30 % : Force tractrice admissible = 24+ lb/pi²

Essai sans végétaux sur sol argileux-sableux; pente de 20 % : vitesse = 30+ pi/s



Canal rectangulaire



Débit par gravité dans le canal jaugeur



Mesure de la vitesse de débit dans le canal (typique)



Débit faible



Débit moyen



Débit élevé



Canal rectangulaire après un écoulement à débit élevé



Canal après retrait du treillis (aucune perturbation apparente du sol)

ROULEAUX

AVEC OU SANS ÂME

Flexamat® Standard est livré en rouleaux sans âme. Toutefois, une âme peut être placée au centre du rouleau.



Flexamat® standard (sans âme)



Flexamat® (âme placée au centre du rouleau)

COMPOSITION GÉNÉRALE DES MATÉRIAUX

Blocs	Ciment Portland 5000 psi (35 mPa)
Géogrille biaxiale entrelacée	Géogrille en polypropylène Fornit 30/30 avec une résistance biaxiale de 2 055 lb/pi.
Options de sous-couche	Standard : Curlex® II ECB Plus : Recyclex® TRM-V, Curlex® II ECB Tissu : non-tissé de 10 oz/sqyd * D'autres options sont disponibles sur demande.

PARAMÈTRES DE FABRICATION

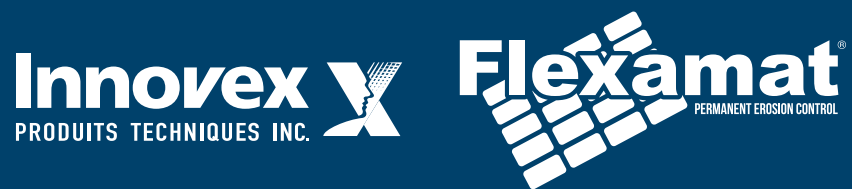
Flexamat® Propriétés	Paramètres
Largeur de rouleau	4 pi 5 pi 1/2 8 pi 10 pi 12 pi 16 pi
Longueur de rouleau	30 pi 40 pi 50 pi /sur mesure
Poids du matériau	10 lb/pi ²
Dimensions des blocs	6 po 1/2 x 6 po 1/2 x 2 po 1/4
Proportion des vides	30 % minimum

PERFORMANCES

Test	Valeur testée	Pente du fond	Type de sol	Valeur limite
ASTM 6460	Force tractrice	30 %	Sol limoneux-sableux (USDA)	24+ lb/pi ²
ASTM 6460	Vitesse	20 %	Sol argileux-sableux (USDA)	30+ pi/s



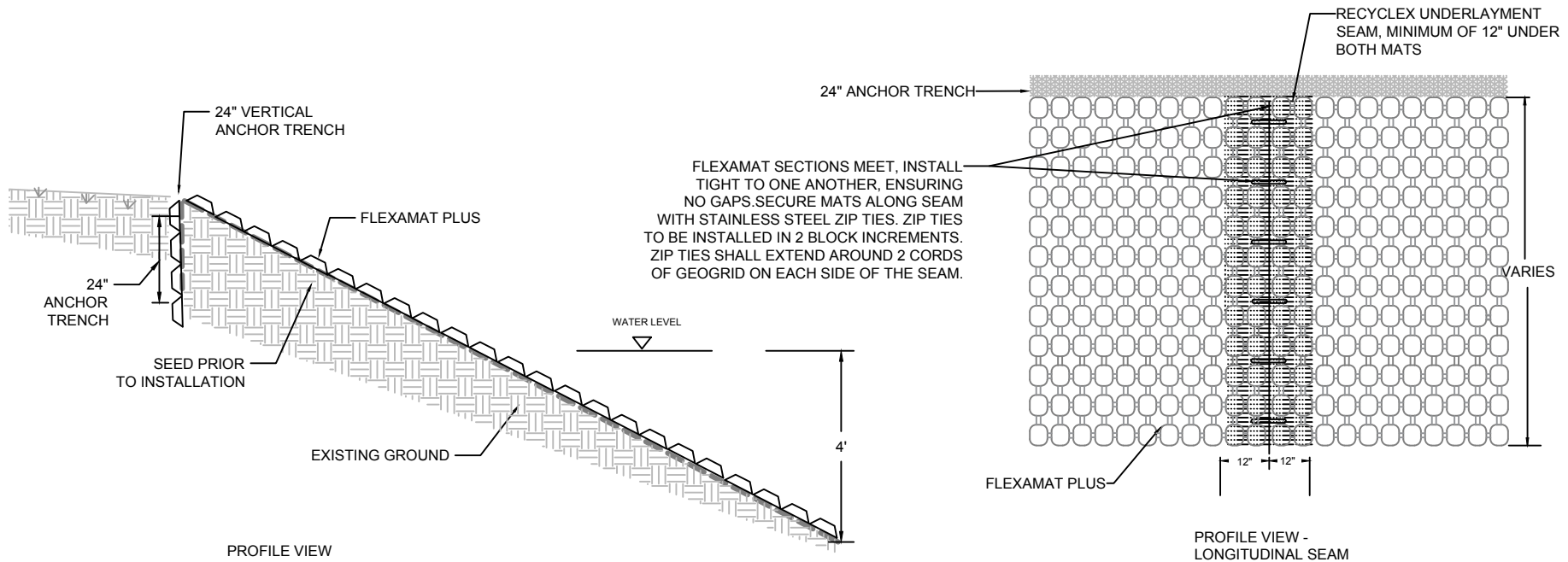
Il est possible de transporter jusqu'à 4 800 pi² de matériau en un seul chargement.



Motz Enterprises, Inc.
3153 Madison Road
Cincinnati, Ohio 45209

Site Web: innovex.ca
Courriel : info@innovex.ca
Téléphone : 418 836-1333





CONSTRUCTION NOTES:

1. GRADE A UNIFORM SUBGRADE. ALL SUBGRADE SURFACES PREPARED FOR PLACEMENT OF MATS SHALL BE SMOOTH AND FREE OF ALL ROCKS, STICKS, ROOTS, OTHER PROTRUSIONS, OR DEBRIS OF ANY KIND. THE PREPARED SURFACE SHALL PROVIDE A FIRM UNYIELDING FOUNDATION FOR THE MATS.
2. APPLY SEED DIRECTLY TO THE PREPARED SOIL PRIOR TO INSTALLATION OF MATS. USE SEED AND /OR TOPSOIL PER PROJECT SPECIFICATIONS.
3. INSTALL FLEXAMAT PLUS TO THE LINE AND GRADE SHOWN ON THE PLANS. ROLL WIDTHS ARE 8', 10', 12', & 16' OF VARIOUS LENGTHS. MATS SHALL BE INSTALLED SO THAT THE FLEXAMAT EXTENDS 4-0" BELOW ANTICIPATED LOW WATER ELEVATION.
4. AT ANY SEAMS IN THE MAT, THE FLEXAMAT SHALL BE MANUALLY FLIPPED BACK 3' THE LENGTH OF THE SEAM ON BOTH ADJACENT MATS. RECYCLEX TRM UNDERLAYMENT SHALL BE INSTALLED UNDER THE SEAM, WITH A MINIMUM OF 12" OF THE UNDERLAYMENT UNDER EITHER MAT. MAT SHALL THEN BE MANUALLY FLIPPED BACK INTO PLACE SO THAT THE FLEXAMAT SECTIONS FIT TIGHTLY. A CONCRETE SAW MAY BE NECESSARY TO CUT MAT TO FIT TIGHTLY TO ADJACENT SECTION OF MAT.
5. SECURE SEAMS WITH STAINLESS STEEL ZIP TIES IN TWO BLOCK INCREMENTS. ZIP TIES SHALL PENETRATE BOTH MATS AND EXTEND AROUND TWO CORDS OF GRID ON EACH MAT.
6. SECURE INITIAL LEADING EDGE OF THE TOP OF MAT IN 24" DEEP ANCHOR TRENCH.

FLEXAMAT[®] INFORMATION

Manufacturer: Motz Enterprises, Inc.
 Product Name: Flexamat
 Address: 3153 Madison Road
 Cincinnati, Ohio 45209
 Telephone: 513-772-6689
 Email: Info@Flexamat.com
 Website: www.Flexamat.com

FLEXAMAT[®] **SHORELINE ARMORING WAVE ACTION** **INSTALLATION DETAIL**



Annexe 7

Synthèse des scénarios de restauration de la berge

Scénarios de restauration

Les sections suivantes présentent les paramètres définis pour différents éléments du plan de restauration pour chacun des scénarios.

Profilage de la pente

Scénario A :

Une pente de 1,75H : 1V est profilée aux endroits dépourvus d'arbres, là où ils ne sont pas conservés. La pente actuelle est maintenue telle quelle à l'intérieur des secteurs de conservation des arbres.

Scénario B :

La pente actuelle est maintenue à la base de la berge, jusqu'à l'élévation 24,0 m, puis une pente de 2H : 1V est profilée aux endroits dépourvus d'arbres, là où ils ne sont pas conservés, jusqu'au sommet de la berge. La pente actuelle est maintenue telle quelle à l'intérieur des secteurs de conservation des arbres.

Aménagements

Scénario A :

Selon les recommandations géotechniques (Section 3.2.3), un enrochement mit en place en bas de talus et selon une pente 1,75H : 1V jusqu'à une élévation de 25,9 m est prévu afin d'obtenir une stabilité adéquate à long terme et de protéger la berge de l'effet des glaces et des vagues. Par ailleurs, l'ancrage de l'enrochement doit se faire soit dans le roc soit jusqu'à une élévation d'au moins 0,3 m en bas de la ligne d'étiage.

Un recouvrement de 1,0 m de sol propre est ensuite prévu être mis en place à partir du haut de l'enrochement jusqu'à la limite entre la berge et le reste du terrain, sur un géotextile qui sera situé au contact du remblai en place, à l'exception des secteurs de conservation d'arbres où l'épaisseur du recouvrement sera de 0,40 m. La composition du recouvrement sera différente s'il est situé dans un rayon de protection d'un arbre à conserver ou non (voir section 3.3.1).

Scénario B :

Un enrochement est prévu à la base du talus selon une pente 1,75H : 1V jusqu'à une élévation de 24,0 m, selon les recommandations géotechniques (Section 3.2.3), afin d'obtenir une stabilité adéquate à long terme et de protéger la berge de l'effet des glaces et des vagues. Par ailleurs, l'ancrage de l'enrochement doit se faire soit dans le roc soit jusqu'à une élévation d'au moins 0,3 m en bas de la ligne d'étiage.

À partir de l'élévation 24,0 m, les remblais en place seront excavés sur une épaisseur de 0,40 m. Un géotextile sera installé suivi par un recouvrement de matériel propre. La composition du recouvrement sera différente s'il est situé dans un rayon de protection d'un arbre à conserver ou non (voir section 3.3.1).

Par-dessus le recouvrement de matériel propre, un tapis de béton-câble, de type Flexamat® sera mis en place comme protection permanente de la berge et des mesures de mitigation mises en place.

Arbres

Scénario A :

La mise en place d'un enrochement de plus de 1,8 m d'épaisseur perpendiculaire à la pente, sur la quasi-totalité de la berge, fait en sorte que tous les arbres situés dans la pente devront être abattus. Seuls 12 arbres en crête de la berge pourront être sauvés.

Scénario B :

La mise en place d'un enrochement de plus de 1,8 m d'épaisseur perpendiculaire à la pente, jusqu'à l'élévation 24,0 m, fait en sorte que tous les arbres situés dans la partie inférieure de la berge devront être abattus. Par contre, la mise en place d'une protection permanente et de sols de recouvrement d'une épaisseur de 0,40 m permettra la conservation de la majorité des arbres. En effet, ce scénario permet la préservation de 55 arbres présents, et ce malgré l'excavation des remblais en place sur une épaisseur de 0,40 m. Lors de l'excavation des remblais en place dans les rayons de protection des arbres, les troncs des arbres seront protégés ainsi qu'un rayon adjacent d'environ 1 m. De plus, les grosses racines qui seront rencontrées en cours d'excavation seront le plus possible préservées, afin de ne pas nuire à la stabilité de l'arbre et à sa survie. Dans les cas où la coupe de racines est nécessaire, les recommandations de la norme NQ 0605-100/2001 sur l'aménagement paysager à l'aide de végétaux seront respectées.

Pour tous les arbres qui seront conservés, des rayons de protection ont été établis, sur la base de la norme mentionnée précédemment. Par conséquent, les mesures de protection appliquées dans le secteur des arbres à conserver seront appliquées au rayon de protection présent à l'intérieur des limites de la berge.

Quantités estimées pour les éléments des scénarios de restauration

Pour chacune des simulations, une estimation des volumes associés à chacun des éléments du plan de restauration a été réalisée. Ces volumes sont présentés au tableau 1.

Tableau 1 Volumes estimés pour les éléments des scénarios de restauration (m³)

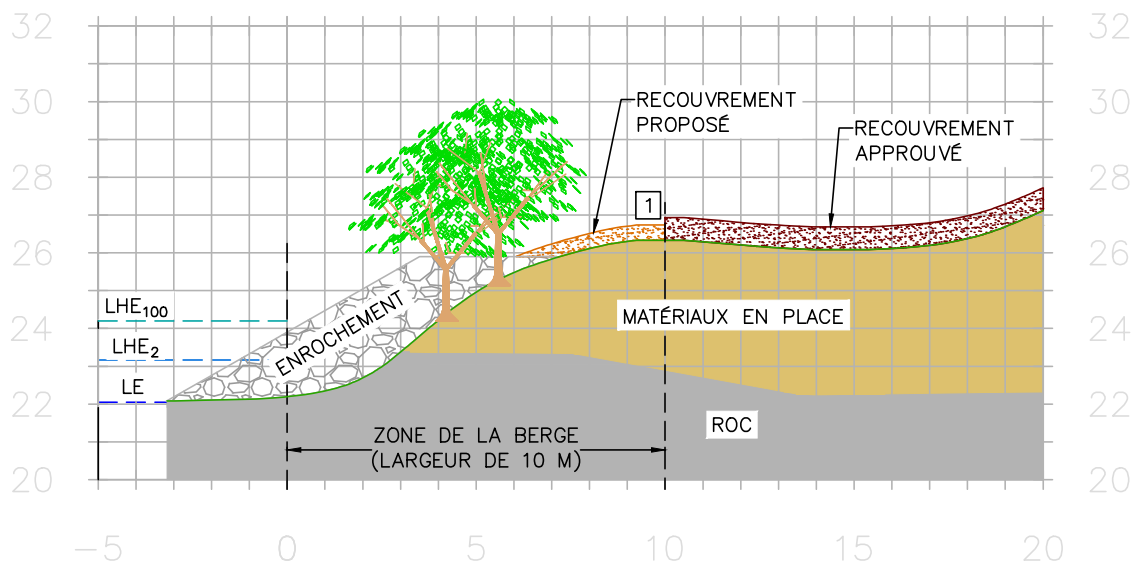
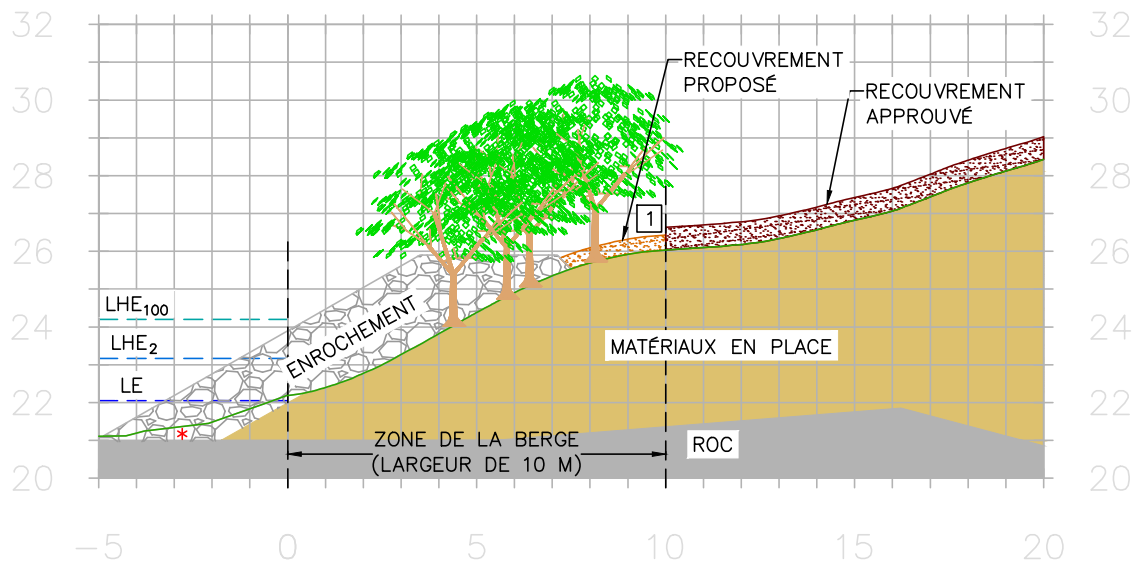
Pente	Sols de recouvrement	Enrochement
Scénario A	2 300	11 200
Scénario B	1 600	8 000

Illustrations

Les simulations de profilage sont globales pour la berge et figurent un aménagement régulier en suivant le tracé de la LHE₂. Selon la topographie, les vues en coupe peuvent ainsi varier d'un endroit à l'autre. Des vues en coupe typiques sont présentées aux pages suivantes pour illustrer chacun des deux scénarios.

Les plans 607871-2019-PR-07 à 607871-2019-PR-09 présentés aux pages suivantes ont été réalisés afin de visualiser les portions de la berge où déblai et remblai sont nécessaires pour profiler le terrain selon le scénario retenu.

Vues en coupe Scénario A



LÉGENDE

- SURFACE ACTUELLE DE LA BERGE
- LHE₁₀₀ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 100 ANS À 23,20m
- LHE₂ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 2 ANS À 22,17m
- LE LIMITE D'ÉTIAGE À 21,05m
- * CLÉ D'ENROCHEMENT PRÉLIMINAIRE. CONCEPTION À VENIR SI NÉCESSAIRE

NOTE

1. UN SURPLUS DE SOL SERA MIS EN PLACE À LA LIMITE DE LA BERGE AFIN D'ÉVITER LE CHANGEMENT DE NIVEAU.

PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

CLIENT :

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)



TITRE : SCÉNARIO A - ÎLOTS D'ARBRES
VUE EN COUPE

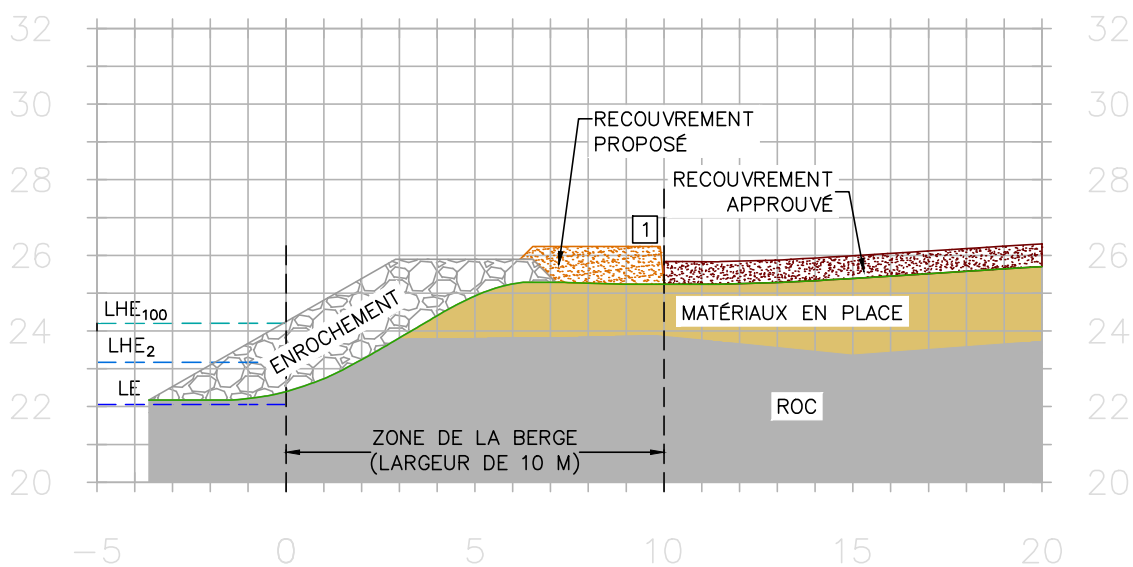
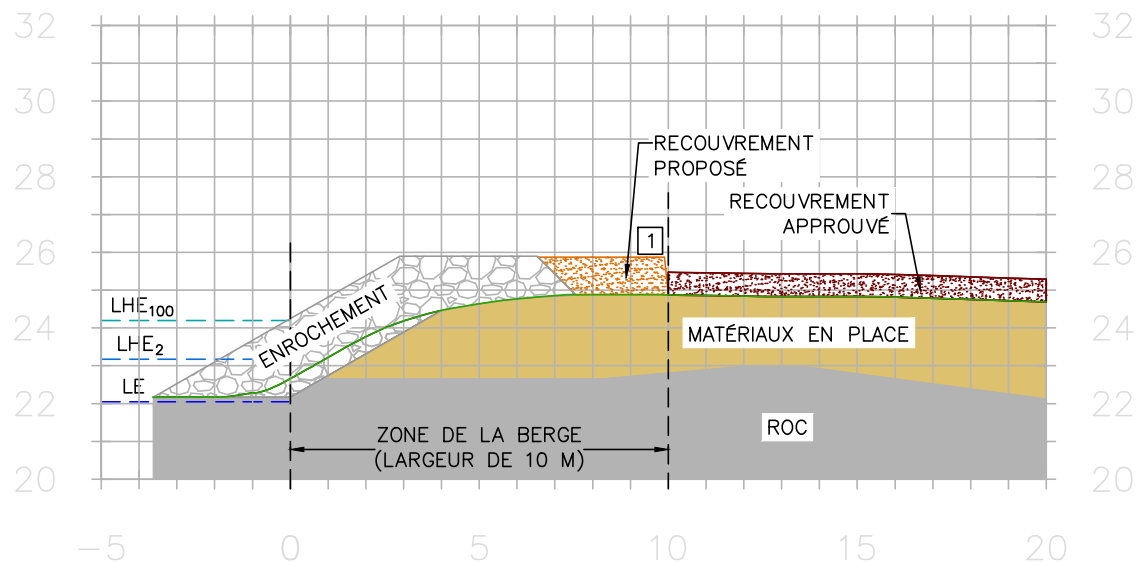
ÉCHELLE :
AUCUNE

DATE :
2019-08-26

DOSSIER :
607871-19-PR

RÉV.
00

DESSIN :
07a



LÉGENDE

- SURFACE ACTUELLE DE LA BERGE
- LHE₁₀₀ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 100 ANS À 23,20m
- LHE₂ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 2 ANS À 22,17m
- LE LIMITE D'ÉTIAGE À 21,05m

NOTE

1. UNE TRANSITION SERA MISE EN PLACE À LA LIMITE DE LA BERGE AFIN D'ADOUCIR LE CHANGEMENT DE NIVEAU.

PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)

TITRE : SCÉNARIO A
VUE EN COUPE

CLIENT :



SNC • LAVALIN

ÉCHELLE :
AUCUNE

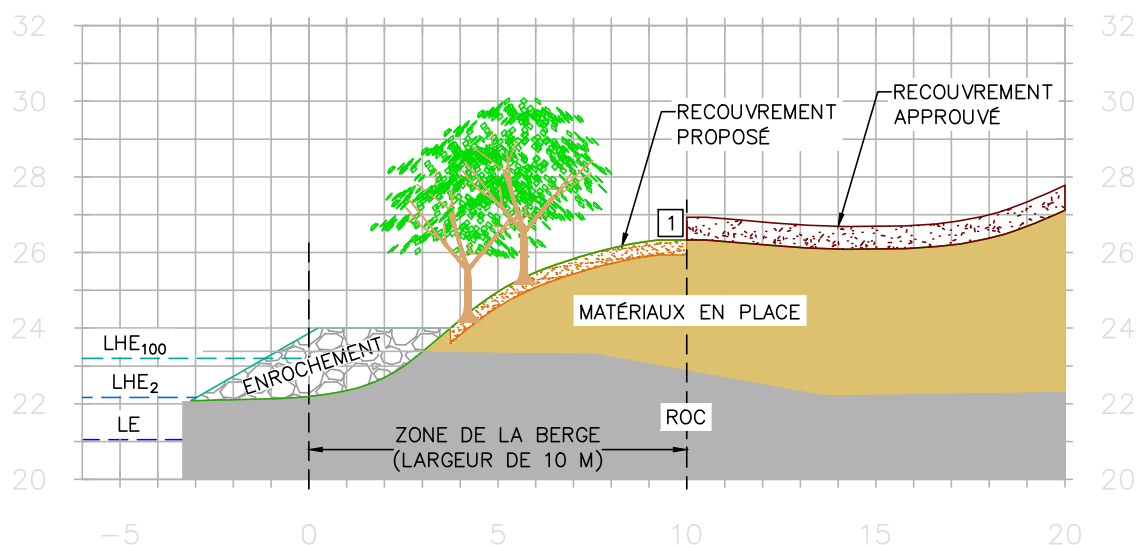
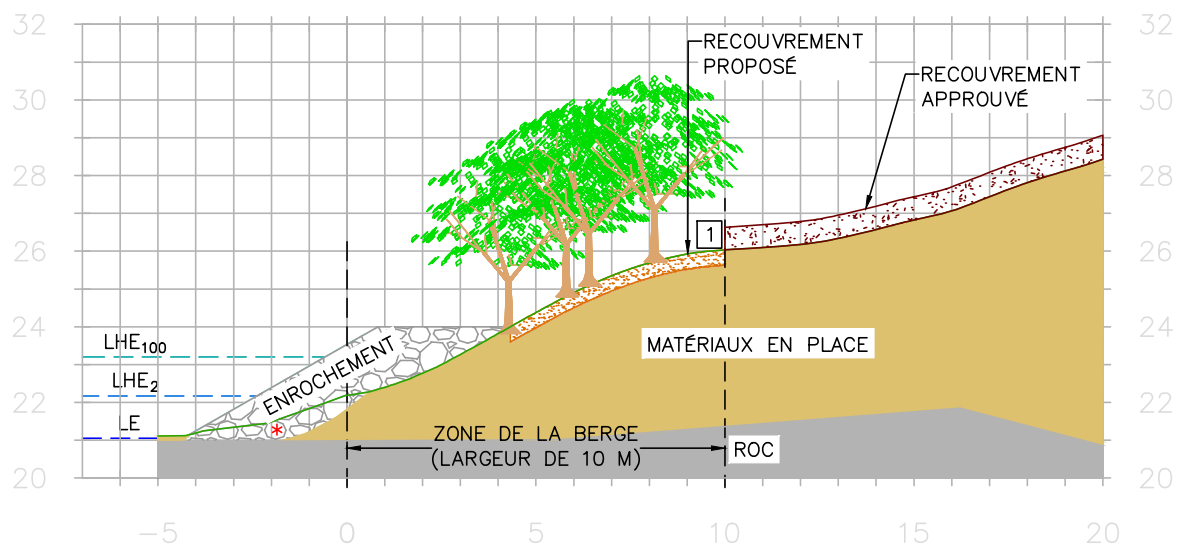
DATE :
2019-09-11

DOSSIER :
607871-19-PR

RÉV.
00

DESSIN :
07b

Vues en coupe Scénario B



LÉGENDE

- SURFACE ACTUELLE DE LA BERGE
- LHE₁₀₀ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 100 ANS À 23,20m
- LHE₂ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 2 ANS À 22,17m
- LE LIMITE D'ÉTIAGE À 21,05m
- * CLÉ D'ENROCHEMENT PRÉLIMINAIRE. CONCEPTION À VENIR

NOTE

1. UNE TRANSITION SERA MISE EN PLACE À LA LIMITE DE LA BERGE AFIN D'ADOUCIR LE CHANGEMENT DE NIVEAU.

PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

CLIENT :

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)



TITRE : SCÉNARIO B - ÎLOTS D'ARBRES
VUE EN COUPE

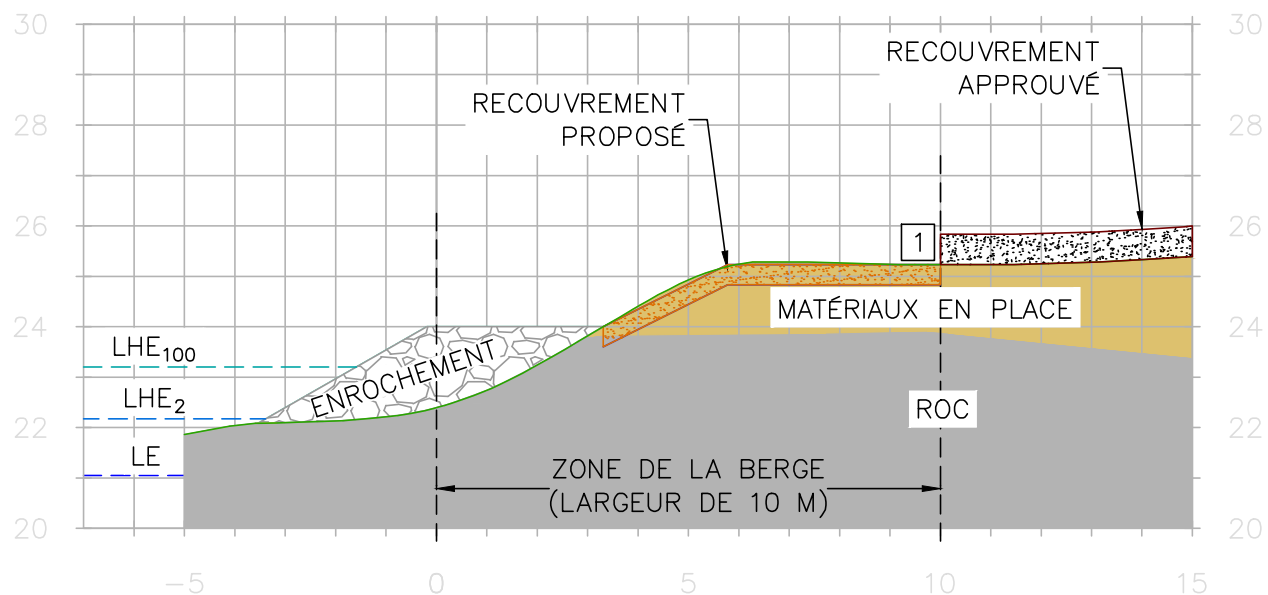
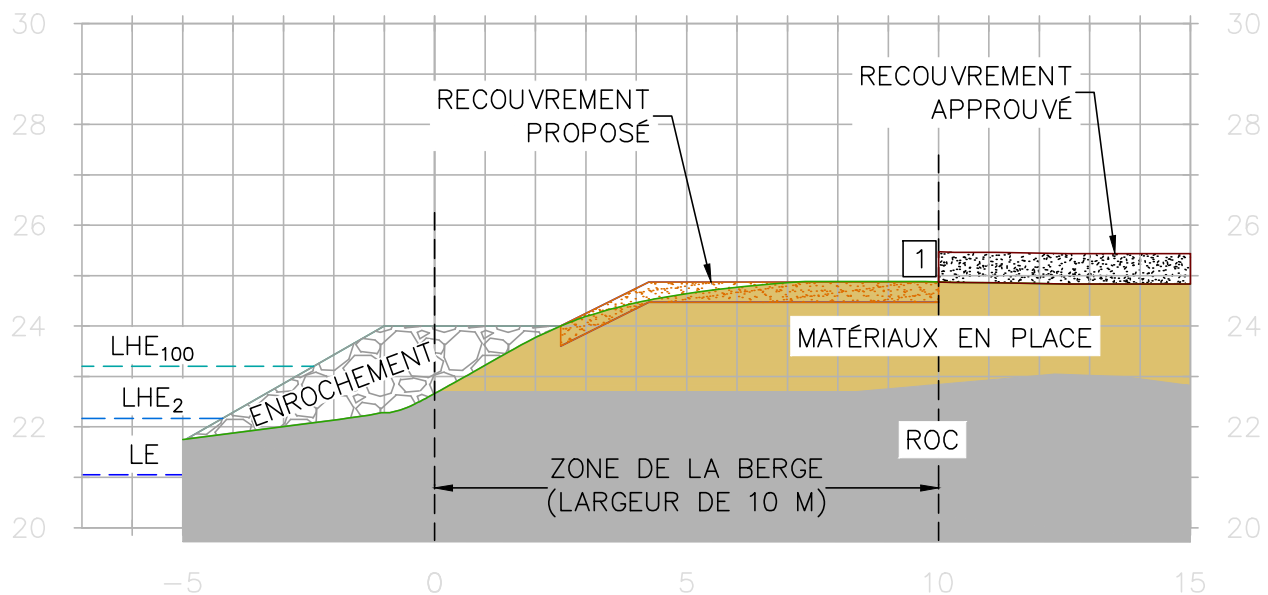
ÉCHELLE :
AUCUNE

DATE :
2019-09-11

DOSSIER :
607871-19-PR

RÉV.
00

DESSIN :
08a



LÉGENDE

- SURFACE ACTUELLE DE LA BERGE
- LHE₁₀₀ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 100 ANS À 23,20m
- LHE₂ LIMITE DES HAUTES EAUX À RÉCURRENCE DE 2 ANS À 22,17m
- LE LIMITE D'ÉTIAGE À 21,05m

NOTE

1. UNE TRANSITION SERA MISE EN PLACE À LA LIMITE DE LA BERGE AFIN D'ADOUCCIR LE CHANGEMENT DE NIVEAU.

PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE

ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE
BEAUHARNOIS (QUÉBEC)

TITRE : SCÉNARIO B
VUE EN COUPE

CLIENT :



ÉCHELLE :
AUCUNE

DATE :
2019-09-05

DOSSIER :
607871-19-PR

RÉV. :
00

DESSIN :
08b

Plans des secteurs de conservation des arbres


Scénario B

E:\4_Realisation\Drawings\Civil_3D\Simulation B\607871 1000 4ZDD 0001 PA_4-Simulation B_V1-PLAN-SECTEURS-ILOTS.dwg

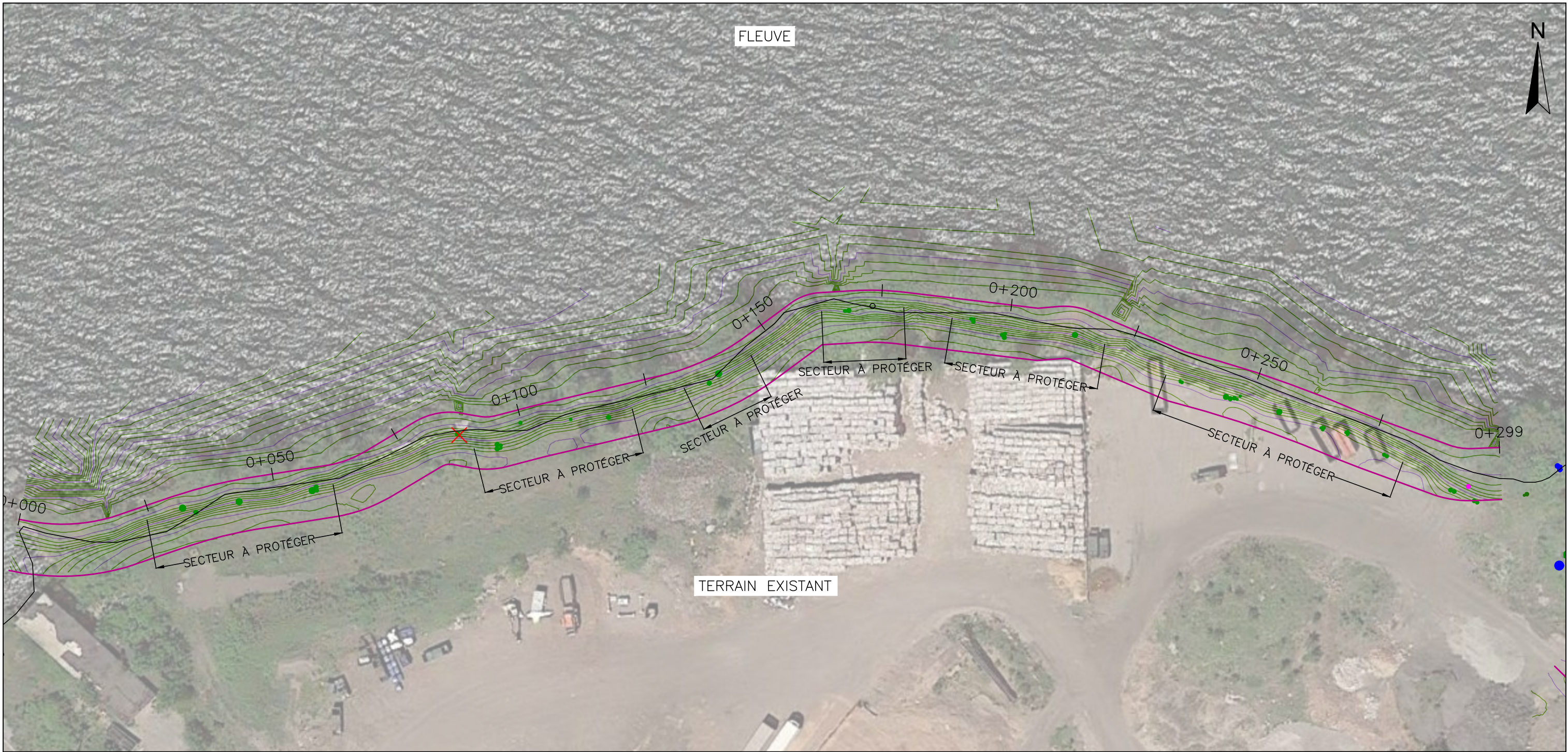


LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ – LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- SAULE
- ARBRE POSSIBLEMENT DÉTRUIT

CLIENT :		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : SECTEURS DE CONSERVATION DES ARBRES (AXE 1)			
ÉCHELLE :			
DATE :	DOSSIER :	RÉV.	DESSIN :
2019-09-10	607871-2019-PR	00	09a



E:\4_Réalisation\Drawings\CIVIL_3D\SIMULATION B\607871 1000 4ZDD 0001 PA_4-SIMULATION B_V1-PLAN-SECTEURS-LOTS.dwg



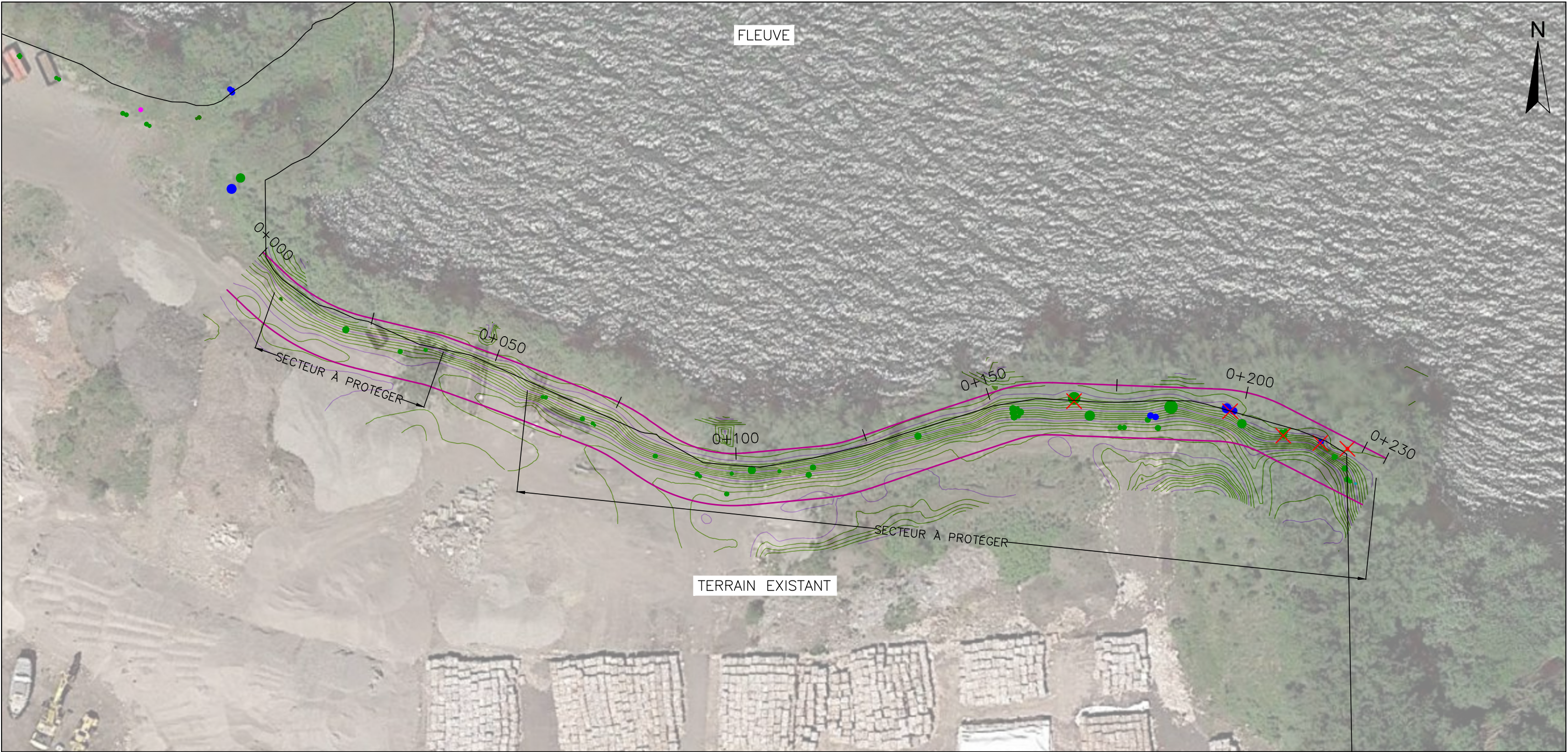
LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ — LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- ✗ ARBRE POSSIBLEMENT DÉTRUIT

- PEUPLIER
- SORBIER
- SAULE
- INCONNU

CLIENT :		 Elkem A Bluestar Company		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE					
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)					
TITRE : SECTEURS DE CONSERVATION DES ARBRES (AXE 2)					
ÉCHELLE : AUCUNE					
DATE :		DOSSIER :		RÉV.	DESSIN :
2019-09-10		607871-2019-PR		00	09b



E:\4_Realisation\Drawings\CIVIL 3D\SIMULATION B\607871 1000 4ZDD 0001 PA_4-SIMULATION B_V1-PLAN-SECTEURS-ILOTS.dwg



LÉGENDE

- LIMITE DE PROPRIÉTÉ – LOT 4 714 988 AU CADASTRE DU QUÉBEC
- ARBRE POSSIBLEMENT DÉTRUIT

- PEUPLIER
- SORBIER
- ORME
- SAULE

CLIENT :			
 Elkem A Bluestar Company		 SNC • LAVALIN	
PROJET : PLAN DE RESTAURATION DE LA BERGE			
ENDROIT : 61, BOULEVARD DE MELOCHEVILLE BEAUHARNOIS (QUÉBEC)			
TITRE : SECTEURS DE CONSERVATION DES ARBRES (AXE 3)			
ÉCHELLE : AUCUNE			
DATE :	DOSSIER :	RÉV.	DESSIN :
2019-09-10	607871-2019-PR	00	09c

Annexe 8

Mémo géotechnique et études vagues et glace



	Page
1 INTRODUCTION	2
2 DONNÉES DE RÉFÉRENCE	2
3 STABILITE DES PENTES.....	2
4 ENROCHEMENTS	5
5 SOMMAIRE - CONCLUSIONS.....	5



1 INTRODUCTION

Nous avons effectué des analyses dans le but de faire une conception préliminaire afin de stabiliser les pentes par la mise en place d'enrochements sur le site d'Elkem, à Beauharnois. Ces analyses s'inscrivent dans le cadre de la restauration de la berge de l'ancien site d'Elkem Métal Canada, à Beauharnois, au Québec.

2 DONNÉES DE RÉFÉRENCE

Les analyses et la conception préliminaire ont été faites sur la base de plusieurs données tirées notamment de :

- › Étude intitulée : « Estimation de la vague critique et de l'épaisseur de glace pour la restauration des berges », Août 2019 par SNC-Lavalin de laquelle les informations suivantes ont été tirées :
 - Hauteur significative des vagues (H_s) de 1,74 m;
 - Dimension de l'enrochement (D_{50}) requis pour résister aux vagues en fonction de plusieurs inclinaisons de la pente ;
 - Épaisseur de la glace maximale et moyenne (1:100 ans) de 1,01 et 0,87 m, respectivement;
 - Dimension de l'enrochement (D_{50}) requis pour résister à la glace (glace dérivante) en fonction de plusieurs conditions et inclinaison des pentes ;
- › le niveau d'eau de référence = hautes eaux 1 :2 ans = 22,17 m ;
- › Le niveau d'eau 1 :100 ans = 23,20 m ;
- › Le niveau d'étiage 1 :2ans = 21,05 m ;
- › relevé d'arpentage de la berge – Plan daté du 18 mars 2019;
- › informations sur les sols et le niveau du roc déjà disponible dans le dossier de projet, et;
- › lettre avec analyses de stabilité pour la réhabilitation des berges par SNC-Lavalin, daté du 26 avril 2018.

3 STABILITE DES PENTES

La stabilité des pentes a été évaluée en fonction des relevés d'arpentages qui ont été utilisés afin de modéliser la stratigraphie et l'inclinaison de la pente existante. Pour les analyses, les éléments suivants ont été considérés :

- › le coefficient de sécurité minimal à atteindre est de 1,5 en condition statique ;
- › le coefficient de sécurité minimal à atteindre est de 1,0 en condition pseudo-statique (1 :2475 ans) ;
- › une pente final d'enrochement uniforme a été considérée sur toute la hauteur du talus où l'enrochement est requis;
- › un recouvrement sera mis en place, ce qui aura pour effet de rehausser le niveau moyen du site d'environ 0,4 m par rapport à son niveau actuel.



Le profil stratigraphique et le niveau de l'eau dans les sols ont été établis sur la base des données déjà disponibles sur le site, lesquelles indiquent des matériaux de remblai contenant des quantités variables de résidus et de sols. Le remblai repose directement sur le roc et, occasionnellement, sur une mince couche de terrain naturel, laquelle repose sur le roc.

Les propriétés géotechniques indiquées au tableau suivant ont été utilisées pour les analyses de stabilité. Le roc est considéré comme impénétrable par les cercles de rupture.

Unité stratigraphique	Poids volumique (kN/m ³)	Cohésion effective (kPa)	Angle de frottement effectif
Sols de recouvrement et/ou Remblai	19 kN/m ³	0	31°
Enrochement	18 kN/m ³	0	45°

Les analyses ont été réalisées en deux dimensions, au moyen du module SLOPE/W de GEOSTUDIO 2018 (version 9.0.4.15639) de Geo-Slope International. Les résultats ont été obtenus selon la méthode de Morgenstern – Price. Un cercle de rupture pénétrant d'au moins 0,5 m dans les sols a été considéré

Des analyses de stabilité ont été effectuées au niveau de la pente aux coupes 0+151 et 0+221. Ces dernières montraient le relevé du terrain existant, base qui a servi à évaluer l'impact stabilisateur de la mise en place d'enrochements. Le processus d'analyse a évalué l'impact stabilisateur de la mise en place d'un enrochement incliné avec plusieurs pentes (i.e. 2H :1V, 1,5H :1V et 1,75H :1V) en tenant compte que plus la pente est abrupte, plus les enrochements doivent être gros et épais tout en arrivant à respecter les critères de stabilité requis.

Ce processus a permis d'identifier qu'une inclinaison de l'enrochement de 1,75H :1V est optimale car elle permet d'atteindre les critères de stabilité tout en minimisant les travaux de reprofilage / quantité de matériaux requis. En effet, une pente de 1,5H :1V ne permet pas de rencontrer les critères de stabilité alors que la pente de 2H :1V requiert plus de matériau et/ou de reprofilage.

Les Figures 1 et 2 de la page suivante présentent les résultats d'analyse de stabilité statique avec enrochements inclinés à une pente de 1,75H :1V où l'on peut constater les géométries, stratigraphie, paramètres des matériaux, niveau de la nappe phréatique ainsi que le fait que le critère de stabilité requis (statique) est respecté. Il doit être noté que bien que les résultats des analyses pseudo-statiques ne sont pas illustrés, ils rencontrent eux aussi le critère de stabilité (i.e. F.S. >1.0) avec les géométries montrées aux figures ci-dessous.

La Figure 3 (ci-dessous) présente les résultats de l'évaluation d'une deuxième option où les enrochements toujours inclinés à 1,75H :1V arrête à l'élévation 24 m. Au-dessus de l'élévation 24 m, le sol est reprofilé à une inclinaison de 2H :1V, sur-excavé de 40 cm et puis recouvert de 40 cm puis d'un tapis protecteur en béton qui sera éventuellement ensemencé. D'un point de vue géotechnique, comme le processus d'excavation remblayage n'a pas d'impact pratique sur la stabilité de la pente, le modèle montre simplement la pente finale reprofilé à 2H :1V. Le résultat de l'analyse présenté à la Figure 3, indique que la stabilité de cette seconde option est encore meilleur que celle où l'enrochement est prolongé plus haut (Figures 1 et 2).

Figure 1 : Évaluation de la stabilité statique à la Station 0+151

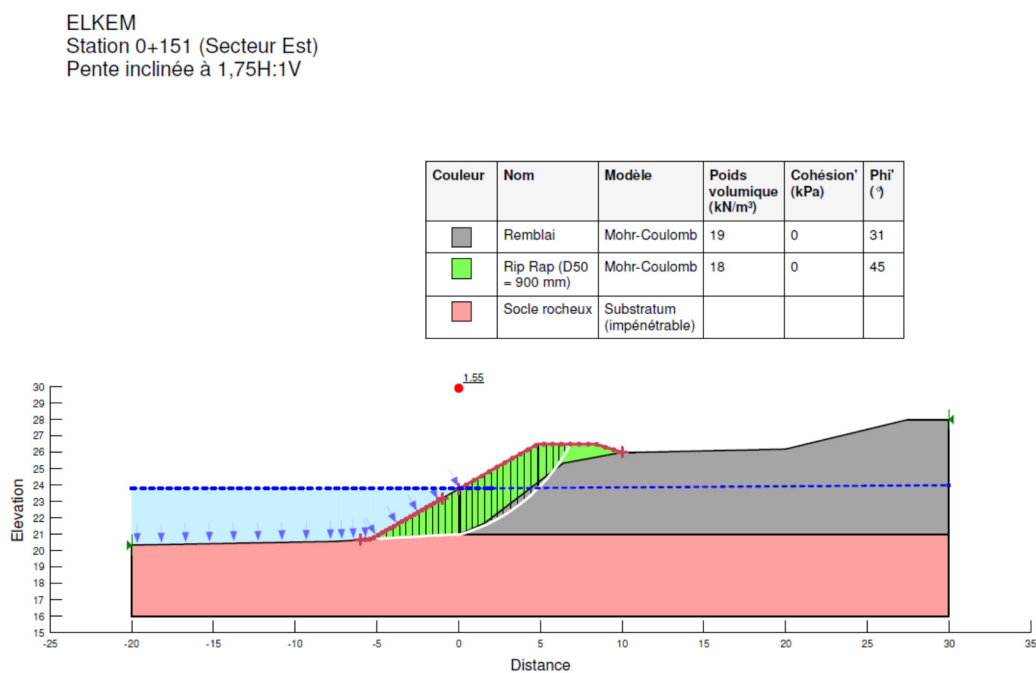


Figure 2 : Évaluation de la stabilité statique à la Station 0+221

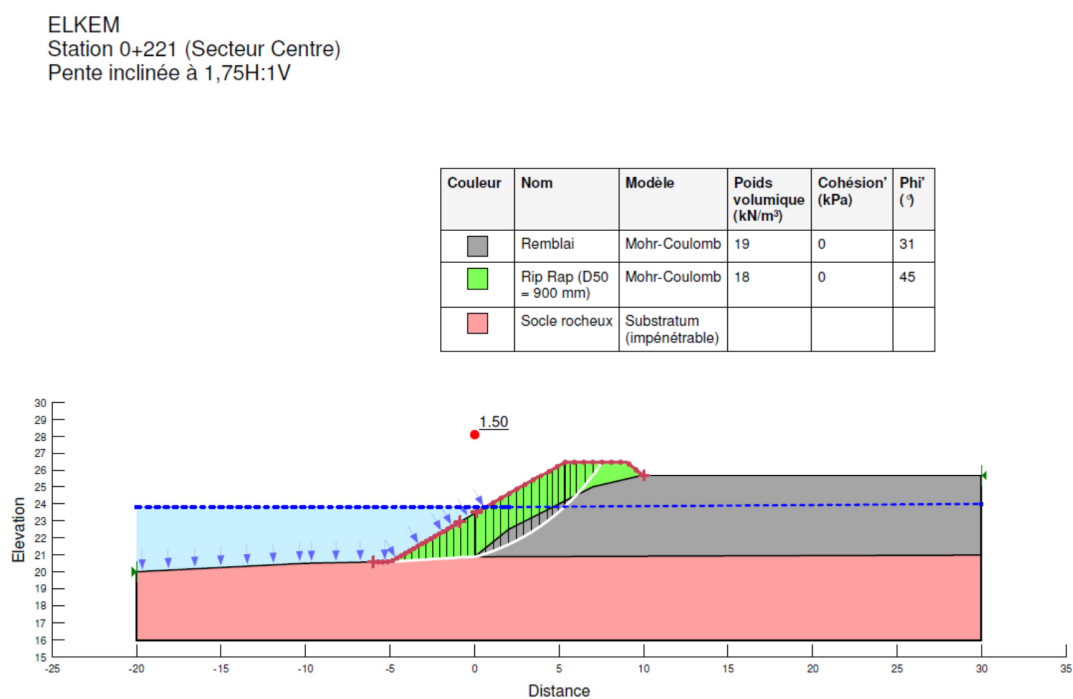
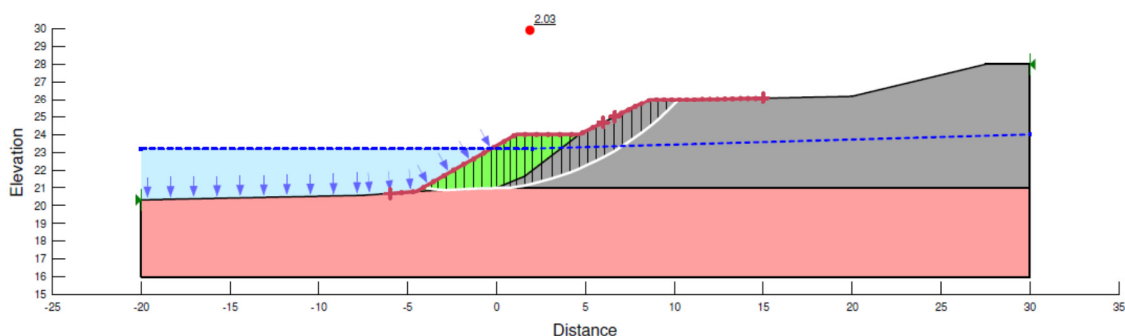




Figure 3 : Évaluation de la stabilité statique à la Station 0+151 avec tapis

ELKEM
Station 0+151 (Secteur Est)
Pente inclinée à 1,75H:1V

Couleur	Nom	Modèle	Poids volumique (kN/m ³)	Cohésion' (kPa)	Phi' (°)
■	Remblai	Mohr-Coulomb	19	0	31
■	Rip Rap (D ₅₀ = 900 mm)	Mohr-Coulomb	18	0	45
■	Socle rocheux	Substratum (impénétrable)			



4 ENROCHEMENTS

Sur la base des informations contenue dans l'étude hydraulique sur les vagues et la glace, le diamètre moyen de requis pour stabiliser la berge avec des enrochements inclinés à 1,75H :1V a été établi à $D_{50} = 900$ mm. Dans les faits, il est anticipé que cet enrochement aura un $D_{min} = 675$ mm et un $D_{max} = 1150$ mm et que l'épaisseur minimale de l'enrochement devra être de 1,8 m. L'enrochement devra aussi être constitué de roc dur, dense et durable.

5 SOMMAIRE - CONCLUSIONS

Des analyses de stabilités ont été effectués afin d'évaluer l'inclinaison des enrochements requis afin de protéger le littoral contre l'action érosif des vagues et des glaces. Ces analyses, en conjonction avec l'étude hydraulique sur les vagues et les glaces a permis d'établir que la pente la plus intéressante à considérer afin de stabiliser la berge devrait être inclinée à 1,75H :1V.

Avec une telle pente, il est possible de rencontrer les critères de stabilité statique ($FS = 1.5$) et pseudo-statique ($FS = 1.0$). Pour ce faire, l'enrochement devra avoir un diamètre moyen (D_{50}) de 900 mm un diamètre minimal (D_{min}) de 675 mm et un diamètre maximal (D_{max}) de 1150 mm. Un tel enrochement devra aussi avoir une épaisseur



minimale de 1,8 m mesuré perpendiculairement à la pente. Il faudra prévoir la mise en place d'un géotextile de gros calibre sur la berge avant la mise en place des enrochements. De plus, les pierres du perré devront être constituées de roc dur, dense et durable.

Étant donné l'impact visuel que peuvent avoir des enrochements, deux options ont été considérées afin de protéger la berge. La première option consiste à simplement utiliser des enrochements de la base jusqu'à une élévation de 25,9 m pour stabiliser la berge.

La seconde option utilise les enrochements de la base jusqu'à l'élévation 24,0 m là où des gros enrochements sont absolument nécessaires pour contrer l'action érosive des vagues et de la glace et au-dessus les sols sont protégés de l'action de la remontée des vagues à l'aide d'un tapis en béton-câble qui peut éventuellement être végétalisé. Enfin, il est important de noter que pour cette seconde option, le tapis sera installé sur une pente profilée à une inclinaison de 2H :1V avec un matériau de recouvrement requis pour des raisons environnementales. Il ne devra y avoir de sols placés au-dessus des enrochements du perré.

Enfin, tel que déjà indiqué dans la lettre du 26 avril, il pourrait être nécessaire, là où les enrochements ne seront pas placés sur le roc, de devoir faire une clé à la base du perré de protection.

Estimation de la vague critique et de l'épaisseur de glace pour la restauration de berges

Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse
Beauharnois (Québec)

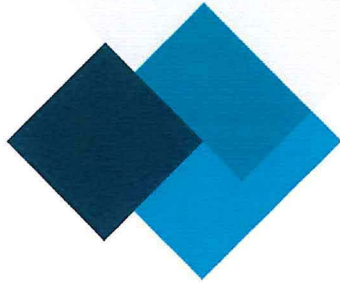
Elkem



Environnement et géosciences

27 | 08 | 2019

Rapport
Ref. Interne 607781 - Final

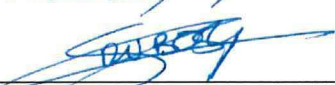


Estimation de la vague critique et de l'épaisseur de glace pour la restauration de berges

Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse
Beauharnois (Québec)

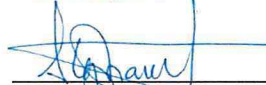
Elkem

Préparé par :



Sara Dubosq, Ing. Jr.
Ingénieure en Océanographie (PRT en génie)
Environnement et géosciences
Ingénierie, conception et gestion de projet

Vérifié par :



Stéphane Lorrain, M.Sc.
Directeur de projet
Environnement et géosciences
Ingénierie, conception et gestion de projet

N/Dossier n° : 607871 - Final
N/Document n° : 607871_EG_L01_00

Août 2019

SNC-LAVALIN Environnement et géosciences. 2019. Estimation de la vague critique et de l'épaisseur de glace pour la restauration de berges.



Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés, par SNC-Lavalin GEM Québec inc. (SNC-Lavalin) exclusivement à l'intention de **Elkem**, qui fut partie prenante à l'élaboration de l'énoncé des travaux et en comprend les limites. La méthodologie, les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'énoncé des travaux et assujettis aux exigences en matière de temps et de budget, telles que décrites dans l'offre de services et/ou dans le contrat en vertu duquel le présent rapport a été émis. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers est la responsabilité exclusive de ce dernier. SNC-Lavalin n'est aucunement responsable de tout dommage subi par un tiers du fait de l'utilisation de ce rapport ou de toute décision fondée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport (i) ont été élaborés conformément au niveau de compétence normalement démontré par des professionnels exerçant des activités dans des conditions similaires de ce secteur, et (ii) sont déterminés selon le meilleur jugement de SNC-Lavalin en tenant compte de l'information disponible au moment de la préparation du présent rapport. Les services professionnels fournis au Client et les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport ne font l'objet d'aucune autre garantie, explicite ou implicite. Les conclusions et les résultats cités au présent rapport sont valides uniquement à la date du rapport et peuvent être fondés, en partie, sur de l'information fournie par des tiers. En cas d'information inexacte, de la découverte de nouveaux renseignements ou de changements aux paramètres du projet, des modifications au présent rapport pourraient s'avérer nécessaires.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble, et ses sections ou ses parties ne doivent pas être vues ou comprises hors contexte. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, cette dernière prévaudrait. Rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique.

Le contenu du présent rapport est de nature confidentielle et exclusive. Il est interdit à toute personne, autre que le Client, de reproduire ou de distribuer ce rapport, de l'utiliser ou de prendre une décision fondée sur son contenu, en tout ou en partie, sans la permission écrite expresse du Client et de SNC-Lavalin.

Équipe de réalisation

SNC-Lavalin GEM Québec inc.

Mélanie Bourque
Stéphane Lorrain
Sara Dubosq
Charlaine Gingras

Chargée de projet
Directeur de projet
Océanographe
Édition

Table des matières

1	Introduction	1-1
1.1	Prémisses	1-1
2	Données météorologiques utilisées.....	2-1
1.1	Données de vent.....	2-1
2.1	Données de température	2-2
3	Régime des vagues	3-4
3.1	Vagues significatives	3-4
3.2	Dimensionnement de l'enrochement en considérant le régime des vagues.....	3-2
4	Régime des glaces.....	4-1
4.1	Degrés Gel-Jour (DGJ).....	4-1
4.2	Épaisseur de glace	4-2
4.3	Niveau d'eau	4-3
4.4	Dimensionnement de l'enrochement en considérant le régime des glaces.....	4-3
5	Conclusion	5-5
6	Référence.....	6-1

Liste des tableaux

Tableau 3.1	Hauteur significative la plus critique calculée à partir du manuel SPM (REF 1)	3-5
Tableau 3.2	Dimensionnement de l'enrochement en fonction de la pente de l'enrochement pour une hauteur significative des vagues de 1,74m	3-2
Tableau 4.1	Bilan des épaisseurs de glace annuelles pour les années 1953 à 2019	4-2
Tableau 4.2	Dimensionnement de l'enrochement en fonction de la pente de l'enrochement pour une épaisseur de glace de 1,01m (récurrence 100 ans).....	4-4

Liste des figures

Figure 2.1	Comparaison des données synchrones entre les stations de l'aéroport de Montréal (max 78 km/h) et de Beauharnois (max 69 km/h) – Distribution du vent en fonction de leurs provenances	2-1
Figure 2.2	Vitesse et provenance du vent de la station de l'aéroport de Montréal	2-2
Figure 2.3	Corrélation de la station de l'aéroport de Montréal et de la station de Beauharnois pour les données synchrones.....	2-3
Figure 3.1	Bathymétrie de la zone	3-5
Figure 3.2	Distribution des vents en fonction de sa provenance [km/h] à Montréal.....	3-1
Figure 3.3	Distribution du fetch effectif [km] au site à l'étude.....	3-1
Figure 3.4	Distribution de la hauteur significative des vagues [m] à partir de la formulation SPM (REF 1) au large du site à l'étude.....	3-1

1 Introduction

Jusqu'en 1991, Elkem Métal Canada inc, opérait une usine de ferromanganèse à Beauharnois. Dans le cadre du projet de restauration de la berge bordant le site, une étude du régime des vagues et des glaces est requise pour définir les critères de conception des ouvrages de stabilisation de la rive. Les résultats de l'étude présentés ci-après proviennent d'une analyse des données disponibles (voir section 2) et aucune mesure au terrain n'a été effectuée dans le cadre de ce mandat.

1.1 Prémisses

La description du régime des vagues et des glaces se limite à une analyse paramétrique (application de formules) en utilisant les données disponibles (notamment issues des stations météorologiques d'Environnement Canada). Les formulations paramétriques donnent des résultats conservateurs, ainsi une interprétation qualitative des résultats permet de mettre en contexte les valeurs de D_{50} calculées. Cette approche descriptive se justifie par :

- › Le fait que la rive actuelle est stable et montre peu ou pas de signe d'érosion,
- › La configuration du site montrant une rive relativement rectiligne,
- › La bathymétrie simple montrant une pente régulière,
- › La présence d'un courant unidirectionnel permanent vers l'aval favorise le déferlement des vagues avant d'arriver en rive.

2 Données météorologiques utilisées

Deux stations météorologiques d'Environnement Canada ont été considérées :

- › La station de Beauharnois (n° 42007) très proche du site étudié, mais avec une courte série temporelle (en service d'octobre 2004 à juillet 2006).
- › La station de l'aéroport de Montréal (n° 51157 et 5415) plus éloignée et moins représentative, mais avec une série temporelle plus longue et permettant d'établir des statistiques plus rigoureuses (en service de janvier 1953 à nos jours).

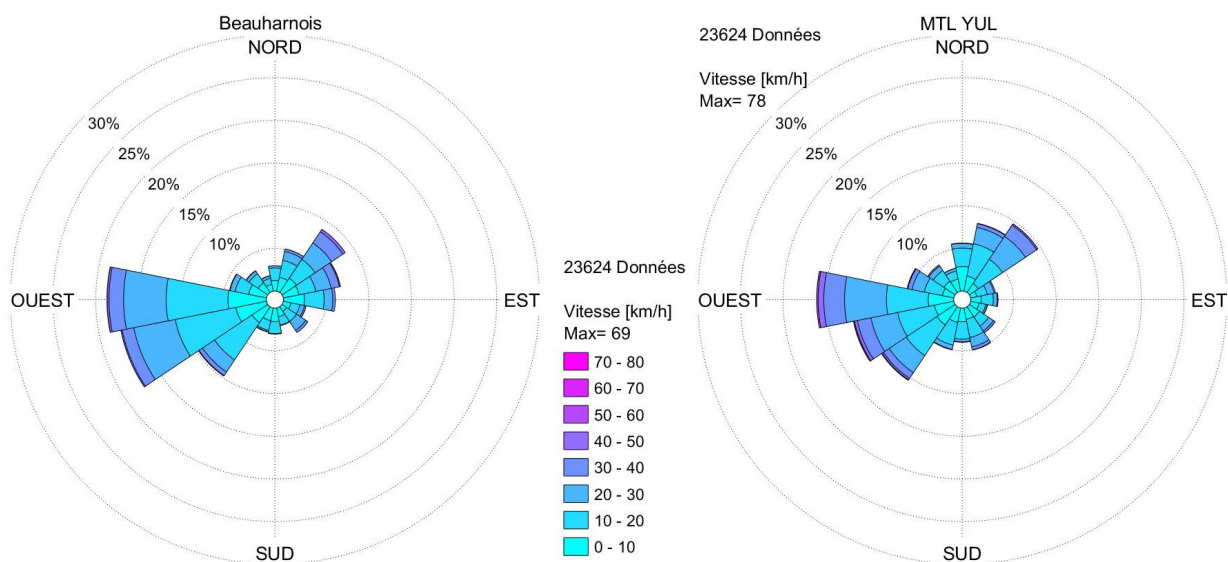
Les données des deux stations ont été comparées afin de valider la représentativité de la station de l'aéroport de Montréal.

1.1 Données de vent

La comparaison des données synchrones (pour des périodes de durée équivalente) aux deux stations (figure 2.1) montre que les roses des vents sont comparables dans l'ensemble.

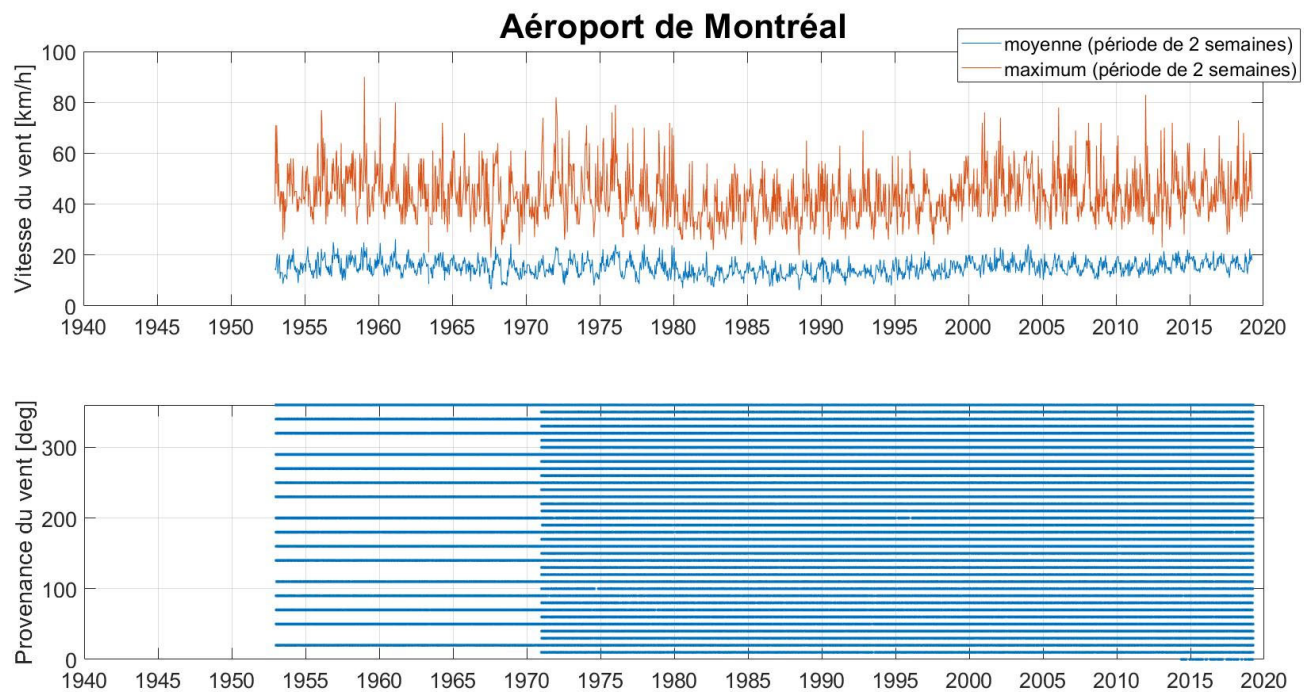
- › Les vents mesurés à l'aéroport de Montréal sont légèrement plus forts que ceux observés à Beauharnois.
- › À l'aéroport de Montréal, les vents qui proviennent du secteur nord-est ont tendance à tourner légèrement vers l'est à la station de Beauharnois.

Figure 2.1 Comparaison des données synchrones entre les stations de l'aéroport de Montréal (max 78 km/h) et de Beauharnois (max 69 km/h) – Distribution du vent en fonction de leurs provenances



L'observation de la série temporelle des vents à Montréal montre que la résolution des mesures de la direction du vent est meilleure à partir de 1971 (figure 2.2). Les vents de la station de Montréal seront donc utilisés pour le calcul des vagues en considérant la période de 1971 à 2019.

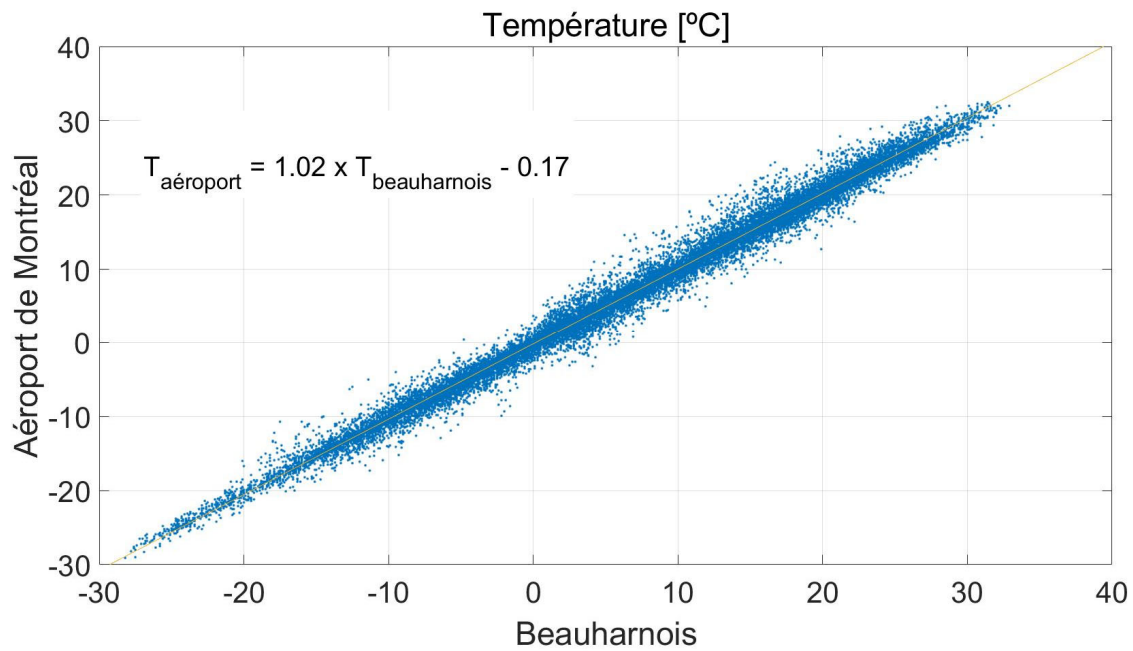
Figure 2.2 Vitesse et provenance du vent de la station de l'aéroport de Montréal



1.2 Données de température

La figure 2.3 montre que les données de température sont très bien corrélées entre les stations de l'Aéroport de Montréal et de Beauharnois. Les données de température de la station de Montréal seront utilisées pour le calcul de l'épaisseur des glaces.

Figure 2.3 Corrélation de la station de l'aéroport de Montréal et de la station de Beauharnois pour les données synchrones



3 Régime des vagues

3.1 Vagues significatives

Le calcul des vagues de conception se fait en considérant la hauteur significative¹ des vagues (H_{m0}) selon la méthode de Hasselmann («Shore protection manual », USACE (REF 1)):

$$H_{mo} = 5112 \times 10^{-4} U_A F^{\frac{1}{2}}$$

$$T_m = 6238 \times 10^{-2} [U_A F]^{\frac{1}{3}}$$

Avec le facteur de stress U_A et la vitesse du vent U :

$$U_A = 0,71 * U^{1.23}$$

$$U = R_L U_{10}$$

Où

H_{mo} Hauteur significative [m];

T_m Période de la vague significative [s] ;

F Fetch effectif [m];

U_{10} Vitesse du vent à 10 m [m/s];

R_L Facteur de correction (pour période de retour) choisi égal à 1 ce qui correspond à une période de retour de 1000 ans (REF 1). Le choix du facteur de correction $R_L = 1$ permet d'être conservateur

La distribution des vents selon leur provenance (figure 3.1), montre que les vents les plus forts proviennent du quadrat SO. En revanche, la distribution du fetch effectif² (figure 3.2), dont le point focal a été placé légèrement au large du site à réaménager, montre que le fetch le plus long est orienté vers le quadrat NE. Ainsi, les vagues générées par les vents du NE sont les plus hautes (figure 3.3) même si les vents du NE sont moins fort que ceux du secteur SO.

Le calcul des hauteurs de la vague significative est fait en supposant que la propagation des vagues se fait sans interaction avec le fond (vague d'eau profonde) ou avec les courants. Ainsi, la vague significative la plus critique provient du NE (40°N) avec une hauteur de 1,74 m (Tableau 3.1)

¹ H_{m0} : Hauteur significative, valeur moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues

² Fetch effectif : Le fetch est la distance d'eau libre sur laquelle le vent peut soulever les vagues dans une direction donnée. Le fetch effectif dans une direction donnée est la moyenne des 9 radiales (espacées de 3°) autour de cette direction.

Tableau 3.1 Hauteur significative la plus critique calculée à partir du manuel SPM (REF 1)

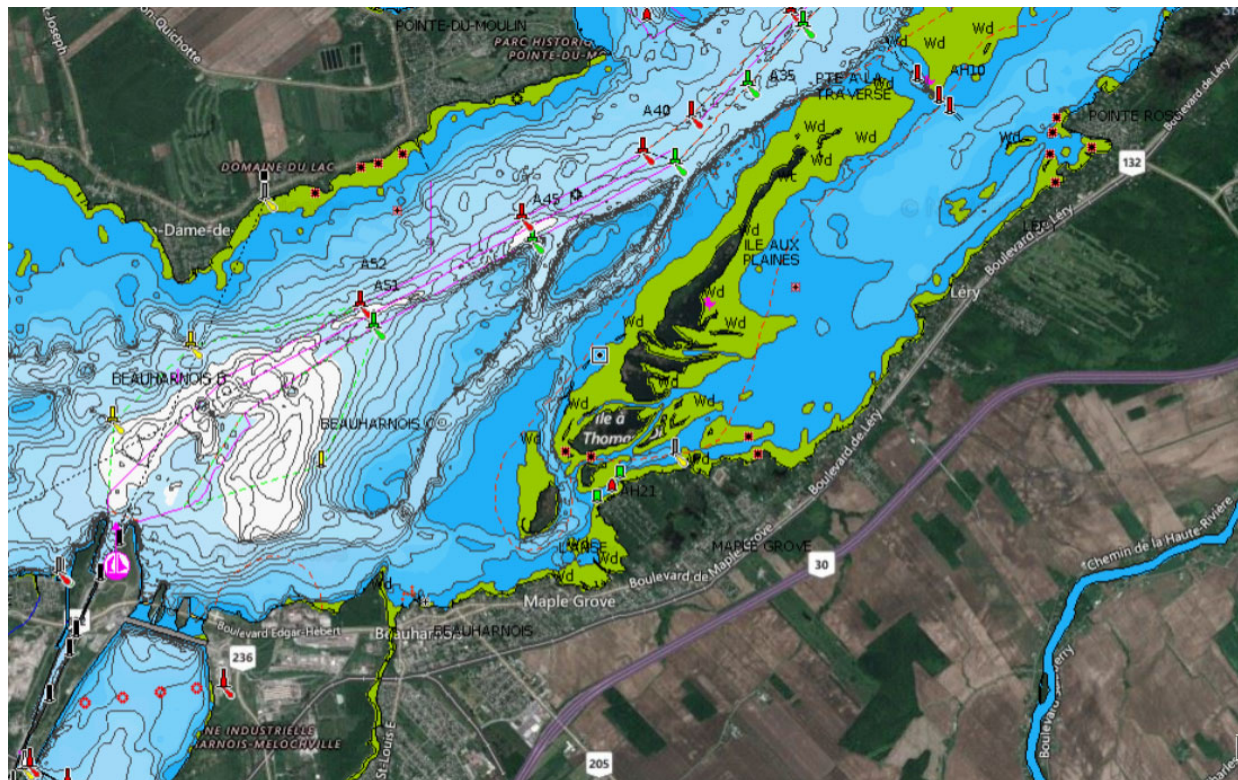
Période de retour	Provenance du vent	Fetch effectif	Vitesse du vent	Durée	Facteur de stress du vent	Hs	Tp
[an]	[°N]	[m]	[m/s]	[s]		[s]	[s]
1:1000	40	13 542	20,6	5928	29,3	1,74	2,94

Cependant, durant leur propagation, les vagues seront modifiées par leur interaction avec les courants et la remontée du fond en s'approchant du rivage. Les données disponibles de bathymétrie et des courants nous permettent d'évaluer qualitativement le comportement des vagues au cours de leur propagation vers la rive au site étudié.

La figure 3.1 montre la partie ouest de la bathymétrie du lac Saint-Louis. On y observe la présence des hauts fonds à l'ouest des îles de la Paix (île aux plaines, île à Thomas, etc.). Ceux-ci auront pour effet de faire déferler les vagues les plus hautes provenant du NE et d'atténuer l'énergie des vagues qui se propageront jusqu'au site étudié.

Par ailleurs, l'interaction des vagues venant du NE avec le courant contraire du fleuve devrait avoir l'effet contraire et permettre l'augmentation de l'amplitude des vagues, mais tout en ralentissant les vagues qui se propageront jusqu'au site étudié.

Figure 3.1 Bathymétrie de la zone



Source des données : <https://webapp.navionics.com/?lang=fr#boating/search@10&key=omtsGh%7B%7CaM>

Figure 3.2 Distribution des vents en fonction de sa provenance [km/h] à Montréal

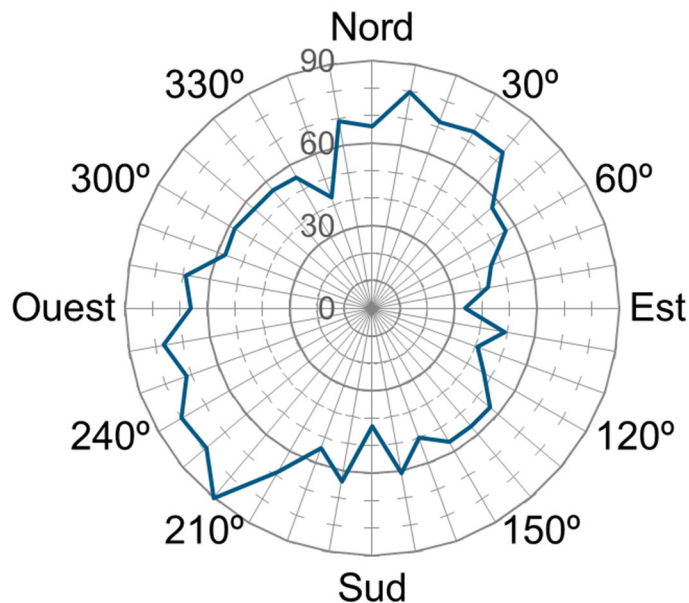


Figure 3.3 Distribution du fetch effectif [km] au site à l'étude

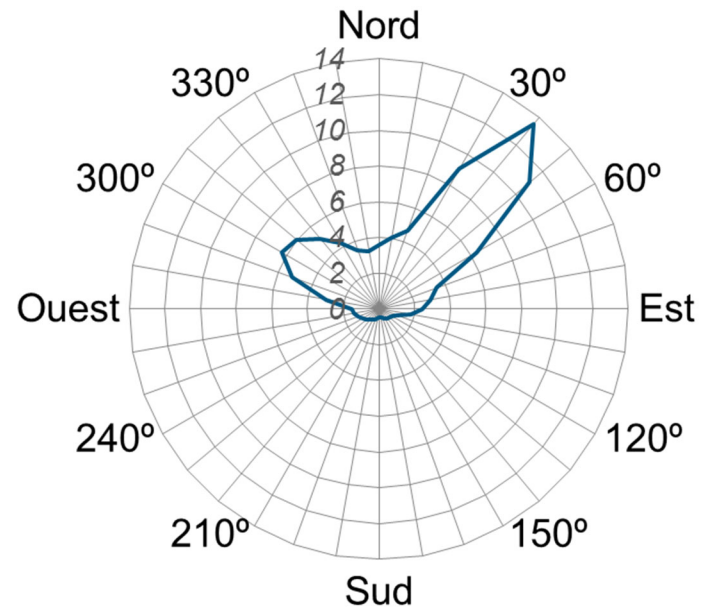
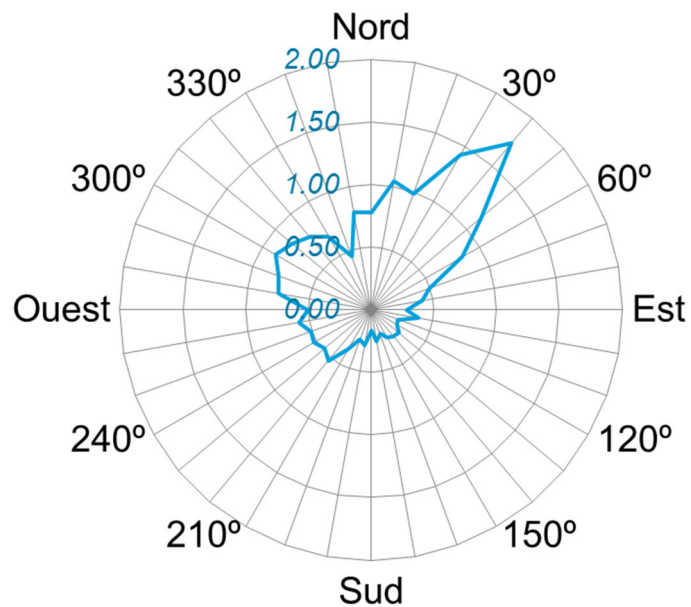


Figure 3.4 Distribution de la hauteur significative des vagues [m] à partir de la formulation SPM (REF 1) au large du site à l'étude



3.2 Dimensionnement de l'enrochement en considérant le régime des vagues

Le design de l'enrochement doit tenir compte de la climatologie des vagues. Pour cela les procédures de l'USACE (U.S. Army Corps of Engineers) (REF 1) et de Levay et al. (REF 2) ont été suivies. La masse minimale de l'enrochement afin de résister à la vague significative (voir section 3.1) critique est calculée grâce à la formule d'Hudson (REF 2):

$$M_{min} = \frac{\rho_s H_s^3}{K_d \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha}$$

Avec :

M_{min}	La masse minimale d'un bloc (kg)
H_s	La hauteur de la vague significative (m)
α	L'angle de la pente avec l'horizontal
ρ_s	La masse volumique des blocs (2 650 kg/m³)
ρ_w	La masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³)
K_d	Le coefficient de stabilité

Selon Levay et al. (REF 2), il est recommandé pour les structures permanentes d'utiliser la vague significative ayant une période de retour de 1 sur 1000 ans (telle que calculée dans cette étude) avec un coefficient de stabilité $K_d = 3.5$ (degré de dommage acceptable).

De plus, les ouvrages d'enrochements sont caractérisés par la masse minimale et maximale des blocs. Le ratio théorique de 3, mais en pratique il est compris entre 4 et 6. On choisit donc :

$$M_{max} = 5M_{min}$$

La dimension des roches peut alors être estimée en utilisant l'équation suivante (REF 2):

$$D = \sqrt[3]{\frac{M}{C_f \rho_s}}$$

Avec :

D	La dimension de l'enrochement (m)
M	La masse minimale d'une roche (kg)
$C_f = 0.66$	Le coefficient de forme
ρ_s	La masse volumique des roches (2 650 kg/m³)

Le D_{50} est alors estimé comme étant la moyenne du D_{min} et du D_{max} . on trouve suivant la pente de l'enrochement :

Tableau 3.2 Dimensionnement de l'enrochement en fonction de la pente de l'enrochement pour une hauteur significative des vagues de 1,74m

Pente		Hauteur de la vague significative [m]	Masse [kg]		Dimension [mm]		
Horizontal	Vertical		Min	Max	Min	Max	D ₅₀
1,50	1	1,74	592	2960	697	1192	944
1,75	1	1,74	507	2537	662	1132	897
2,00	1	1,74	444	2220	633	1083	858
2,25	1	1,74	395	1973	609	1041	825
2,50	1	1,74	355	1776	588	1005	796

4 Régime des glaces

L'effet des glaces sur la stabilité du rivage selon différents mécanismes que l'on peut grouper en deux catégories : statique et dynamique.

Au cours de la saison hivernale, un couvert de glace se forme sur le lac St-Louis. Au printemps, généralement en mars ou au début d'avril, la glace commence à se briser et à s'écouler en aval. Les radeaux de glace peuvent avoir un impact sur la digue (mécanisme dynamique), entraînés par les courants et/ou les vents. Compte tenu de la configuration du site (orientation de la rive, direction du courant vers l'aval), on considère que les impacts des radeaux de glace sur la rive sont négligeables.

L'adhérence de glace est un autre type de mécanisme de contrainte (mécanisme statique), où une force verticale est exercée sur la digue (à partir d'un couvert de glace qui gèle sur la digue) en raison des fluctuations du niveau de l'eau sous la glace. Lorsque le niveau de l'eau baisse, le couvert de glace adhère à la digue ou au fond ; lorsque le niveau de l'eau monte, le couvert de glace est poussé vers le haut jusqu'à la rupture par flexion, entraînant par la même occasion les blocs selon leur taille.

Il y a peu de données disponibles sur le régime des glaces sur le lac Saint-Louis, à l'exception de quelques mesures prises en mars 2019 par l'équipe de SNC-Lavalin et les cartes de suivi de l'ouverture de la voie maritime en 2019 indiquent que les glaces se forment tardivement dans la zone³. Le secteur ne faisant pas l'objet d'une navigation commerciale, aucune donnée d'épaisseur n'est disponible du Service canadien des glaces. Par conséquent, l'épaisseur des glaces est obtenue par calcul en considérant le régime thermique hivernal décrit par les données de la station météorologique de l'aéroport de Montréal.

4.1 Degrés Gel-Jour (DGJ)

Le nombre de degrés gel jour (DGJ), tels que définis par convention, est la somme de la température quotidienne moyenne consécutive inférieure au point de congélation (0°C) au cours d'une saison hivernale. Le cumul commence le premier jour où la température moyenne a été négative et termine le jour de la dernière valeur négative. Le nombre de DGJ peut être utilisé comme un proxy pour estimer l'épaisseur de la glace. Le calcul se fait selon la méthode proposée par Carter et coll. (REF 3) à partir du nombre de degrés jour gel.

Pour calculer les DGJ, la température moyenne quotidienne a d'abord été calculée. Puis pour chaque hiver, le premier jour et le dernier jour ont été déterminés ainsi que la valeur du cumul.

Ainsi entre 1953 et 2019, les premières journées où la température moyenne est négative commencent entre le 18 octobre et le 30 novembre et se terminent entre le 19 mars et le 1^{er} mai. Les valeurs du DGJ varient de 456 °C (hiver 2001-2002) et 1173 °C (hiver 1993-1994) pour un hiver clément et rude respectivement.

³ <http://www.greatlakes-seaway.com/fr/commerciale/opening.html>

4.2 Épaisseur de glace

D'après Carter et coll. (REF 3), l'épaisseur de la glace est donnée par la formulation suivante :

$$h = 0,035 * \alpha * \beta \sqrt{DGJ}$$

Avec :

$$\alpha = \begin{cases} 0,9 & \text{aux endroits venteux et peu enneigés} \\ 0,7 & \text{aux endroits venteux et peu enneigés} \\ 0,5 & \text{aux endroits abrités et enneigés} \end{cases}$$

β = Un facteur variant suivant la période de récurrence voulue (tableau 4.1)

Les résultats du calcul de l'épaisseur du couvert de glace pour l'ensemble des hivers de 1953 à 2019 sont présentés au tableau 4.1 pour différentes périodes de retour. Le calcul de l'épaisseur de glace considère que le plan d'eau est normalement exposé au vent et aux précipitations de neige ($\alpha = 0,7$) . Si l'on considère un endroit plus exposé, le facteur α serait égal à 0,9 ce qui augmente légèrement les valeurs d'épaisseur estimée de la glace qui se forme.

Les résultats sont probablement représentatifs compte tenu des faibles courants dans la zone d'étude, ce qui favorisera la formation et la croissance du couvert de glace.

Tableau 4.1 Bilan des épaisseurs de glace annuelles pour les années 1953 à 2019

	Épaisseurs annuelles de la glace [m] Cas d'une zone venteuse et peu enneigée ($\alpha=0,7$)					
Récurrence [ans]	2	5	10	20	50	100
Valeur de β	1,00	1,07	1,11	1,14	1,17	1,20
Maximum	0,84	0,90	0,93	0,96	0,98	1,01
Moyenne	0,72	0,77	0,80	0,83	0,85	0,87
Minimum	0,52	0,56	0,58	0,60	0,61	0,63

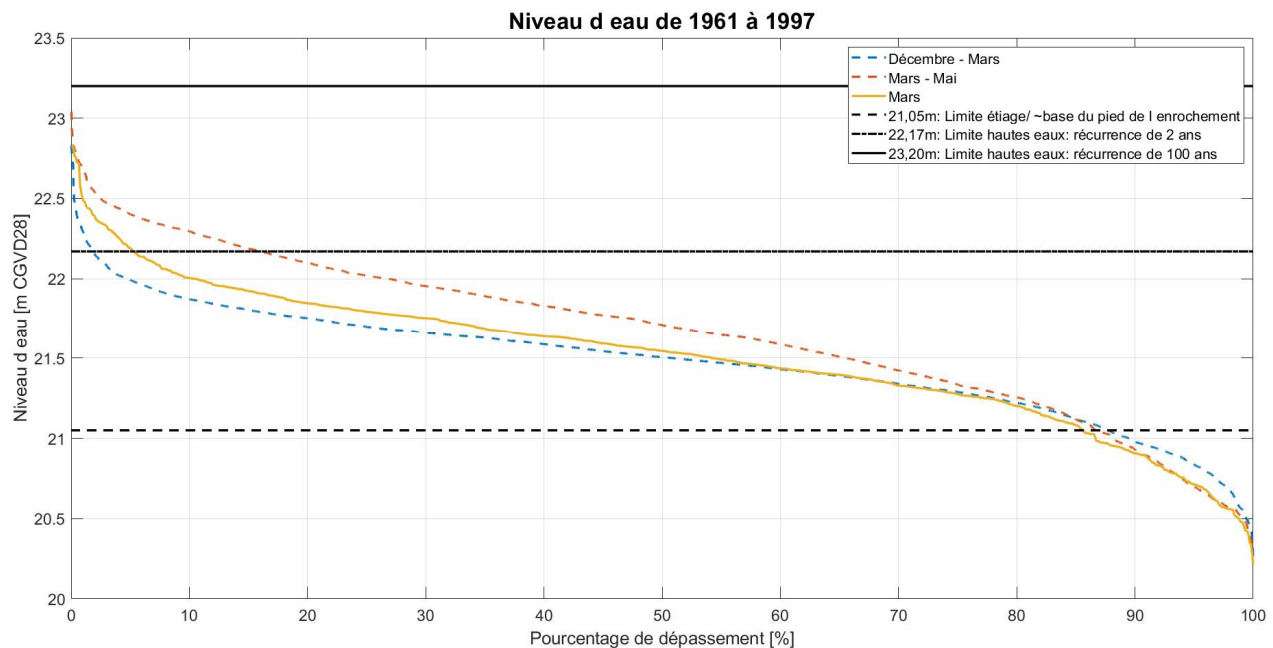
Les quelques données d'épaisseurs de glace qui ont pu être recueillies en mars 2019 (comprises entre 0,5 et 0,7 m) sont en adéquation avec ces résultats.

4.3 Niveau d'eau

Une station limnimétrique (MPO : #15262) située juste à l'aval du barrage de Beauharnois, a enregistré les valeurs de niveau d'eau de 1961 à 1997.

Selon les dessins préliminaires de l'ouvrage (REF 4), le pied de l'enrochement débute généralement approximativement au niveau de la limite d'étiage (21,05m) et se termine à une élévation entre environ 23,20m et 25m dépendamment de l'endroit. La courbe de fréquence de dépassement (figure 4.1) montre que dans environ 85% du temps de l'hiver (décembre à mars), le niveau d'eau est suffisant pour que les glaces puissent se fixer à l'enrochement. De plus, le mois de mars montre les plus grands écarts de niveaux d'eau (environ 2,6 m entre 20,22m (28 mars 1965) et 22,83m⁴ (19 mars 1973)). Ainsi au mois de mars où les épaisseurs de glace ont atteint leurs maximums, les niveaux d'eau dépassent le pied de l'enrochement de 0,87 m et de 1,01m (récurrence 100ans de l'épaisseur des glaces moyenne et maximale) dans respectivement 15,4% et 8% du mois de mars, permettant ainsi aux glaces formées de s'élever en déstabilisant l'enrochement.

Au moment de la débâcle (mars à mai), les niveaux d'eau sont généralement beaucoup plus haut favorisant ainsi l'impact des glaces sur les enrochements au grès des vents.



4.4 Dimensionnement de l'enrochement en considérant le régime des glaces

Selon Carter (REF 3), le D_{50} des blocs de l'enrochement est estimé en prenant en considération l'épaisseur des glaces, la pente de l'enrochement, et les conditions hydrauliques de la zone.

⁴ https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?stn=02MC020

Quatre conditions sont identifiées :

- Plan d'eau avec des débâcles hivernales possibles (rivières ou canaux)

$$D_{50} \geq 1,9\sqrt{Sh}$$

- Plan d'eau avec champs de glace dérivants au gré des vents au printemps (lacs ou réservoirs)

$$D_{50} \geq 1,14\sqrt{Sh}$$

- Plan d'eau susceptible de subir un brusque rehaussement durant l'hiver :

$$D_{50} \geq h$$

- Plan d'eau avec une baisse du niveau d'eau (réservoirs)

$$D_{50} \geq 0,75h$$

Avec :

h : L'épaisseur de la glace

S : La pente de l'enrochement

En considérant des épaisseurs de glace maximale de récurrence 100ans, les quatre conditions hydrauliques et différentes pentes d'enrochement, la valeur du D_{50} a été calculée selon les formules précédentes (tableau 4.2).

Cependant, lorsqu'on considère la configuration du site, il est peu probable que le cas des débâcles hivernales puisse se produire dans la zone d'étude car les courants dans la zone sont faibles.

En revanche, les valeurs de niveaux d'eau généralement suffisant haut et les faibles courants dans la zone (section 4.3), indiquent que l'enrochement pourrait subir l'impact des glaces dérivantes au mois de mars à mai.

Tableau 4.2 Dimensionnement de l'enrochement en fonction de la pente de l'enrochement pour une épaisseur de glace de 1,01m (récurrence 100 ans)

Pente		Dimensionnement D_{50} (récurrence 100ans) [mm]			
Horizontal	Vertical	Débâcle	Glace dérivante	Rehaussement	Baisse
1,50	1	1559	935	1010	758
1,75	1	1443	866	1010	758
2,00	1	1350	810	1010	758
2,25	1	1273	764	1010	758
2,50	1	1208	725	1010	758

Les valeurs du D_{50} les plus importantes correspondent aux cas de variations rapides des niveaux d'eau. D'après les données de niveau d'eau à Beauharnois (section 4.3) peuvent varier de manière importante particulièrement au mois de mars. Ceci implique que la base de l'aménagement pourrait être impactée par le mouvement vertical du couvert de glace. Mais pour cela il faudrait que la glace ait pu se former et adhérer suffisamment à l'enrochement avant de subir une élévation du niveau d'eau. La probabilité d'occurrence que la combinaison épaisseur de glace puis augmentation du niveau ait lieu est faible.

Ainsi le site semble généralement sujet aux impacts des glaces dérivantes au printemps, mais bien que le risque de dommages liés de la variation rapide du niveau d'eau semble plus rare, il devrait tout de même être considéré.

5 Conclusion

Régime des vagues : Une approche empirique a été utilisée pour calculer la vague significative critique se propageant jusqu'à l'ouvrage. La vague significative critique provient du NE (40°N) et a une hauteur de 1,74 m ($T_p=2,94$ s). Cette hauteur de vague implique que l'enrochement ait un D_{50} de 796mm à 944mm pour une pente passant de 2,5H /1V à 1,5H/1V.

Le calcul des vagues ne prend en compte que la valeur maximale du vent de chacune des directions et considère que les vagues se propagent sur un plan d'eau en eau profonde. D'après la théorie des vagues linéaire en eau peu profonde, cette hauteur de vagues est possible lorsque les niveaux d'eau atteignent la récurrence de 100ans (2,15m). Mais ce calcul ne prend pas en compte l'interaction de ces vagues avec le courant, ni l'interaction avec le fond qui devrait probablement faire déferler les vagues les plus hautes avant d'atteindre l'enrochement. Une modélisation numérique de la génération et la propagation des vagues permettrait d'estimer ces interactions de manière quantitative et ainsi identifier les zones de pertes d'énergie (déferlement) avant d'atteindre l'ouvrage.

Régime des glaces : Une formule empirique a été utilisée pour calculer l'épaisseur de glace se formant dans la zone d'étude à partir des données de température couvrant la période 1953 à 2019. L'épaisseur de glace maximale estimée durant cette période varie de 0,84 m (1 :2 ans) et 1,01 m (1 :100 ans) suivant la période de récurrence considérée ce qui est en adéquation avec les quelques mesures à notre disposition. En considérant l'épaisseur maximale et le cas extrême d'un rehaussement du niveau d'eau, le D_{50} de l'enrochement est de 1010 mm quelle que soit la pente de l'enrochement choisie. Si l'on prend en compte les risques liés aux impacts par les glaces dérivantes au printemps, le D_{50} varie alors de 725 mm à 935 mm pour une pente passant de 2,5H /1V à 1,5H/1V.

L'évaluation du D_{50} prend en compte un cas extrême d'épaisseur de glace qui subirait un rehaussement soudain du niveau d'eau et les scénarios préliminaires de l'enrochement ayant une clé d'enrochement au niveau de la limite d'étiage (21,05m) (REF 4). En effet, la probabilité que l'enrochement puisse être pris dans des glaces suffisamment épaisses et que le niveau d'eau augmente déstabilisant ainsi le pied de l'enrochement représente une faible probabilité.

6 Référence

- 1-USACE, 1984, Shore Protection Manual – Volume I, Fourth Edition, US Department of the Army, Coastal Engineering Research Center, 1984
- 2-Jerry Levay, Jean-Pierre Tournier, Pierre Depuis and Thach Tran Van, SEBJ, 1997, *Riprap Design: An Improved Method*, Proceedings of CDSA/CANCOLD Joint Dam Safety Conference, Montreal, Canada, 22-25 September 1997.
- 3-Carter Consultants, Guide pratique pour le calcul des forces exercées par la glace (Practical guidelines for the computation of ice forces), Study Report Prepared for Hydro-Quebec, Direction Ingénierie Hydraulique et Géotechnique, December 2003 (In French).
- 4-*Plan de restauration environnementale de la berge – Site de l'ancienne usine d'alliage de ferromanganèse, Beauharnois, Québec*, SNC-Lavalin, novembre 2018.



SNC • LAVALIN

360, Saint-Jacques 16e étage
Montréal Québec Canada H2Y 1P5
514.393.1000 - 514.392.4758
www.snclavalin.com





SNC • LAVALIN

360, rue Saint-Jacques Ouest, 16e étage
Montréal (Québec) Canada H2Y 1P5
514.393.8000 - 514.392.4758

