Stantec

Étude d'impact sur l'environnement - Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier

Addenda - Réponses aux questions du MELCC du 26 juillet 2018

Préparé pour :

Ville de Québec

Préparé par :

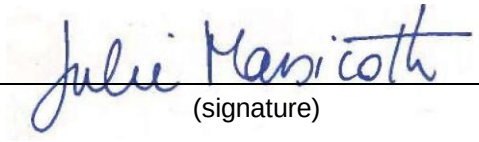
Stantec Experts-conseils ltée

167040090-200-EN-R-0002-C

16 décembre 2019

Registre d'approbation

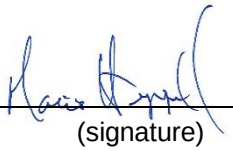
Le présent document, intitulé *Étude d'impact sur l'environnement - Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier*, a été préparé par Stantec Experts-conseils ltée (« Stantec ») pour le compte de la Ville de Québec (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l'échéancier et d'autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n'a pas vérifié les renseignements fournis par d'autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Préparé par 
(signature)

Julie Massicotte, biol., M. Sc.

(signature)

Anne Keough, biol., M. Sc.

Vérifié par 
(signature)

Mario Heppell, biol.-amén., M. ATDR

Approuvé par
(signature)

Philippe Roy pour Joelle Duguay, biol., B. Sc.

Révision	Description	Auteure	Vérification qualité	Revue indépendante
A	Copie de travail	Julie Massicotte	Mario Heppell	Joëlle Duguay
B	Préliminaire	Julie Massicotte	Mario Heppell	Joëlle Duguay
C	Finale	Julie Massicotte / Anne Keough	Mario Heppell	Philippe Roy

Table des matières

1.0 INTRODUCTION 1

2.0 GLOSSAIRE 2

3.0 QUESTIONS ET COMMENTAIRES 4
3.1 CHANGEMENTS CLIMATIQUES 4
3.2 LOI CONCERNANT LA CONSERVATION DES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES 6
3.3 LOCALISATION DU PROJET 14
3.4 CAUSES D'ÉROSION ET INSPECTION DES BERGES 15
3.4.1 Récurrence du niveau d'eau 15
3.4.2 Solutions de rechange 16
3.5 CADRE RÉGLEMENTAIRE 17
3.6 CONSULTATION DU MILIEU 17
3.7 DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE 18
3.7.1 Sols 18
3.7.2 Glaces 18
3.8 DESCRIPTION DU MILIEU BIOLOGIQUE 19
3.8.1 Flore 19
3.8.2 Faune 25
3.9 DESCRIPTION DU MILIEU HUMAIN 28
3.9.1 Patrimoine bâti 28
3.9.2 Archéologie 29
3.10 VARIANTES DE RÉALISATION 32
3.11 ANALYSES DES VARIANTES - RÉFÉRENCE À L'ANNEXE D 44
3.11.1 Niveaux d'eau et changements climatiques 44
3.11.2 Modèle numérique de terrain 45
3.11.3 Vents 47
3.11.4 Vagues et protection 48
3.11.5 Pentes des enrochements 49
3.12 CHOIX DES VARIANTES 55
3.13 ÉVALUATION DES IMPACTS 58
3.14 ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 64
3.14.1 Paysage 64
3.14.2 Enrochement 65
3.14.3 Habitat du poisson 67
3.14.4 Pertes relatives aux herbiers 68
3.15 MESURES D'ATTÉNUATION – MILIEU BIOLOGIQUE 68
3.15.1 Compensation habitat du poisson 70
3.16 MESURES D'ATTÉNUATION – MILIEU HUMAIN 70
3.16.1 Archéologie 70
3.17 SOMMAIRE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX 76
3.18 PROGRAMME DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL 76
3.19 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX 76

4.0 PRÉCISIONS SUPPLÉMENTAIRES 78
4.1 RECOMMANDATIONS (COURRIEL 7 AOÛT 2018) 78
4.2 COMPLÉMENT D'INFORMATION 80

5.0 RÉFÉRENCES 93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Camions nécessaires pour transporter les différents matériaux 5
Tableau 2 Composition floristique des parcelles d'inventaire forestier 21
Tableau 3 Composition floristique des herbiers aquatiques 23
Tableau 4 Espèces de mulettes observées (Mise à jour du tableau 12 de l'ÉIE) 28
Tableau 5 Comparaison des variantes considérées pour les tronçons à l'étude 39
Tableau 6 Espèces floristiques à statut pouvant potentiellement être présentes dans les marais à scirpe et leurs critères d'identification 61
Tableau 7 Bilan des empiétements et des gains d'habitats littoraux (révisé) 66
Tableau 8 Espèces à statut observées lors des inventaires 89
Tableau 9 Bilan des empiétements et des gains d'habitats littoraux (révision du tableau 7) 92

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Rose des vents de la station de l'aéroport de Québec de 1966 à 2005 (années complètes) 48

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 Vue vers l'amont du tronçon 1 et de l'herbier H1 26
Photo 2 Emplacements des deux émissaires pluviaux entre les tronçons 3b et 4 56
Photo 3 Lycope observé dans l'herbier H7 63
Photo 4 Chapelet de blocs morainiques au marais de Saint-Augustin-de-Desmaures 64
Photo 5 Étendue de glaces devant le chemin de la plage Jacques-Cartier 86
Photo 6 Berge à l'endroit où est prévu l'épi A 86
Photo 7 Berge le long du tronçon 1 87
Photo 8 Berge le long du tronçon 3 87

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A CARTES ET FIGURES A.1

ANNEXE B NOTE TECHNIQUE HYDRAULIQUE (STANTEC, FÉVRIER, 2019) B.1

ANNEXE C BILAN DE LA CONSULTATION ET PRÉSENTATION POWERPOINT C.2

ANNEXE D PLANS ET FIGURES DES ÉTUDES DE CARACTÉRISATION (PHASES I ET II) DU GROUPE ABS D.1

ANNEXE E CARACTÉRISATION DU RÉGIME HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAGE JACQUES-CARTIER (STANTEC, 12 DÉCEMBRE 2019) E.2

ANNEXE F NOTE TECHNIQUE HYDRAULIQUE (STANTEC, DÉCEMBRE 2019) F.3

ANNEXE G SIMULATIONS VISUELLES G.4

ANNEXE H COUPE TYPE DES SOLUTIONS DE STABILISATION PROPOSÉES H.5

ANNEXE I CARTOGRAPHIE DU MILIEU I.6

1.0 INTRODUCTION

La Ville de Québec constate depuis 2010 que les talus riverains et les berges du fleuve Saint-Laurent au niveau du parc de la Plage-Jacques-Cartier sont sujets à l'érosion et requièrent des interventions pour la limiter. Des études sur l'état des berges ont démontré que l'action érosive des vagues, des marées et des glaces, ainsi que le ruissellement de surface sont les principales causes de l'érosion des berges du parc de la Plage-Jacques-Cartier. Le degré d'érosion des sites affectés varie principalement de modéré à extrême. Les infrastructures publiques et privées longeant la plage sont donc susceptibles d'être endommagées par ce phénomène. Le suivi de la stabilité des berges a permis d'identifier des secteurs totalisant 1215 mètres linéaires de rive qui nécessiteront des aménagements, selon un horizon de court à long terme.

Compte tenu de son envergure, le projet est soumis à l'article 31.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (L.R.Q., c. Q -2) et devra faire l'objet d'un décret gouvernemental en vertu de l'article 31.5 de cette loi.

Dans ce contexte, la Ville de Québec a déposé son étude d'impact sur l'environnement en mai 2018 en réponse à la directive qui lui a transmis, en novembre 2015, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). À la suite de son analyse, le MDDELCC a émis une série de questions et commentaires le 26 juillet 2018. Le présent rapport constitue un addenda à l'étude d'impact du projet et apporte les réponses à ces questions et commentaires.

2.0 GLOSSAIRE

Brise-lames	Structure parallèle au littoral construite devant une berge soumise à l'érosion dans le but de la protéger contre l'assaut des vagues provenant du large. Il existe plusieurs types de brise-lames variant dans leur forme, leur longueur, leur élévation et les matériaux employés pour leur construction.
Enrochement	Représente une structure de pierres non liées, capable de contrer l'action érosive des vagues, des courants et des glaces. Les pierres sont disposées de façon à obtenir une surface uniforme et stable (MDDEP, 2005). Lorsqu'il s'agit de pierres déversées non placées, on utilise couramment le terme anglais de « Riprap » pour désigner un tel ouvrage. Sinon, un enrochement peut aussi être constitué de pierres placées, imbriquées les unes aux autres, afin de réduire la dimension des interstices et de présenter une surface la plus plane possible. Généralement constitués de pierres dynamitées aux arêtes anguleuses, les enrochements de protection peuvent aussi être construits avec des pierres naturelles rondes provenant de dépôts glaciaires (moraines).
Enrochement avec végétation	Plantation d'arbustes entre les pierres d'un ouvrage de protection dans le but de redonner à ce type de milieu un caractère plus naturel et plus attrayant pour l'homme et pour la faune. Cette végétalisation d'enrochements a ainsi des fonctions essentiellement esthétiques et/ou d'habitats. S'applique sur des berges enrochées formées de pierres de gros calibre (plus de 300-400 mm de diamètre) qui n'offrent aucune, sinon très peu, de conditions favorables à l'implantation naturelle et à la croissance des végétaux (MDDEP, 2005). Offrant peu de résistance aux vagues et aux glaces, l'implantation des végétaux se fait dans la partie du talus située au-dessus du niveau de la ligne des hautes eaux qui est souvent supérieure à celle de la Pleine mer supérieure à grande marée [PMSGM]).
Enrochement végétalisé	Technique mixte de génie végétal et de génie mécanique pour laquelle les essences végétales sélectionnées et les méthodes d'implantation ont une fonction active de stabilisation. Dotés d'un réseau racinaire développé, bien ancré dans le sol, les végétaux utilisés y sont une composante « structurale » de l'ouvrage de stabilisation. Ils doivent être résistants aux courants, aux vagues et aux glaces et particulièrement résilients aux dommages occasionnés par les tempêtes. Dans cette technique mixte, les végétaux sont implantés au-dessus de la ligne de débit plein bord (LDPB) des cours d'eau ou de la côte des pleines mers supérieures à marée moyenne (PMSMM) dans les zones à marée. Ils peuvent l'être jusqu'à la limite supérieure de l'influence des vagues lors des hautes eaux printanières dans les cours et plans d'eau ou encore des surcotes de tempêtes dans les zones à marée.
Épi	Structure de rétention et/ou de captage des sédiments visant à atténuer l'énergie hydrodynamique d'un site, et ainsi à limiter l'érosion le long des rives. Ayant pour fonction générale de contrer l'énergie des courants et des vagues atteignant les berges selon un angle oblique, ces structures sont attachées à la rive et disposées de façon relativement perpendiculaire au littoral. Il existe plusieurs types d'épi variant dans leur forme, leur longueur, leur élévation et les matériaux employés pour leur construction.

GLOSSAIRE

Génie végétal	Le génie végétal (génie biologique, écoingénierie ou phytotechnologie), est défini comme une combinaison de techniques alliant les principes de l'écologie et du génie pour concevoir et mettre en œuvre des ouvrages de stabilisation de talus, de berges et de rives en utilisant exclusivement des végétaux comme matériaux de base pour confectionner des armatures végétales (MDDEP, 2011).
Géogrille	Grille de polymère renforcée fixée au sol à l'aide d'ancrage. Ces structures possèdent des cavités servant à capter les sédiments en transit ou encore à retenir et emmagasiner le matériel utilisé pour la recharge de la plage. Ces structures laissent passer l'eau en surface, ce qui limite le lessivage des matériaux et l'érosion du sol.
Recharge de plage	La recharge de plage consiste à ajouter des matériaux granulaires sur une plage dans le sens de la longueur afin d'en augmenter son volume et sa largeur et ainsi diminuer l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent les berges en en éloignant l'endroit où elles viennent se briser. Les matériaux de recharge utilisés doivent toujours être d'un calibre égal ou supérieur à celui des matériaux de la plage à recharger. Il s'agit d'une technique de stabilisation des berges qui nécessite des recharges périodiques d'entretien. Aussi, plus le calibre choisi est gros, plus les ouvrages sont durables, c.-à-d. moins la fréquence des recharges d'entretien est importante. Le calibre sélectionné peut généralement varier du sable grossier au galet.

3.0 QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Pour éviter toute confusion, les questions et commentaires du MELCC paraîtront, dans les sections qui suivent, en caractère gras, alors que les réponses seront en caractère normal.

3.1 CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le nouveau Règlement relatif à l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets (D.287-2018, [2018] G.O.II, 1719A) (RÉEIE) est entré en vigueur le 23 mars 2018.

L'article 5 de la section IV du RÉEIE (préparation de l'étude d'impact sur l'environnement) mentionne les éléments qui doivent minimalement être pris en compte dans une étude d'impact (ceux-ci étant complétés par la directive ministérielle). Comme le présent projet est à l'étape de l'analyse de recevabilité, c'est-à-dire l'étape au cours de laquelle le MDDELCC doit s'assurer que tous les éléments contenus dans la directive ministérielle et le RÉEIE sont traités de façon satisfaisante, l'initiateur doit s'assurer de prendre en compte les aspects suivants :

- **Au paragraphe 5, il est demandé qu'une estimation des gaz à effet de serre (GES) soit faite. Dans le cas du présent projet, c'est la période des travaux qui doit faire l'objet de l'estimation. L'initiateur doit donc identifier les sources potentielles de GES (ex. : camions, machinerie, génératrices, etc.) et proposer des mesures visant à minimiser les émissions de GES durant les travaux.**

- **En ce qui concerne le paragraphe 6, qui porte essentiellement sur l'adaptation aux changements climatiques (CC), l'initiateur doit démontrer qu'il a pris en compte l'impact des CC sur la température et les précipitations dans le choix de ces critères de conception. Pour ce faire, il doit présenter les projections climatiques en climat futur pour les températures et précipitations au site d'implantation de son projet, et si disponibles, les cotes d'inondation en climat futur. Il doit également considérer l'impact des CC sur le couvert de glace et l'intensité des tempêtes et justifier son choix de conception en considérant ces événements climatiques. Mentionnons qu'un outil permettant de visualiser des scénarios climatiques pour différentes régions du Québec est disponible à https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques.**

En réponse à la demande d'estimation des gaz à effet de serre, il faut savoir que, composée essentiellement d'une ou deux pelles mécaniques et de plusieurs camions assurant le transport des matériaux granulaires, la quantité d'équipements motorisés utilisée sur ce chantier sera similaire, voire même inférieure, à bon nombre de chantiers se déroulant simultanément dans la région de Québec. Des mesures courantes seront appliquées afin de contrôler et atténuer les émissions de GES pour les camions et les engins de chantier :

- S'assurer que les systèmes antipollution des véhicules et équipements sont opérationnels et répondent aux normes des règlements relatifs à la qualité de l'air ;

- Restreindre l'utilisation des moteurs en marche au ralenti en éteignant la machinerie inutilisée.

Le temps d'utilisation des pelles mécaniques est marginal en comparaison des quantités de déblais et remblais à transporter par camion. Un total de 1224 voyages aller-retour pour la disposition des matériaux

de déblais dans un site à déterminer et de 1994 voyages aller-retour pour apporter au chantier les matériaux de remblais (empierrement, recharges de plage). Si on attribue une distance moyenne de 30 km aller-retour pour chaque camion de déblais ou de remblais, on obtient une distance totale parcourue de 96 546 km. Cette distance est arbitraire puisque les lieux d'approvisionnement et de disposition de l'entrepreneur devront être sélectionnés par l'entrepreneur qui n'est pas encore connu. Cependant, ces valeurs sont jugées valables pour un nombre suffisant de lieux présents dans cette partie de la région de la Capitale-Nationale (Québec), et elles permettent d'établir un ordre de grandeur à partir duquel l'importance relative des émissions de GES peut être appréciée.

Le tableau 1 suivant présente une estimation du nombre de camions nécessaire pour transporter les différents matériaux.

Tableau 1 Camions nécessaires pour transporter les différents matériaux

Ouvrage	Volume de matériaux (remblais en m³)	Volume de matériaux (déblais en m³)	Nombre de camions (10 m³/camion)
Réparation des enrochements Tronçons 1, 2 et 3a	3 069	4 061	713
Enrochements végétalisés Tronçons 3b, 4, 5, 6b et 7b	5889	7079	1297
Enrochement avec génie végétal Tronçon 6a	368	456	82
Génie végétal Tronçons 6c et 7a	0	466	47
Réparation (ouest du T7a)	147	177	32
Épi A	1200	-	120
Épi B	2400	-	240
Recharge 1 (T4)	1045	-	104
Recharge 2 (T5)	1505	-	151
Recharge 3 (T6)	995	-	99
Recharge 4 (T7)	3325	-	333
Total	**19 943**	**12 239**	**3218**

À partir des résultats d'une étude réalisée par Tecsult/BPR (2009) dans le cadre du projet de la reconstruction de l'échangeur Turcot, il semble que cette distance parcourue en camion se traduirait par une consommation de 33 888 litres de carburants et une émission de 93,4 tonnes de GES. Cela équivaudrait ainsi à 1,31 % des émissions qui avaient été prévues pour le projet de l'échangeur Turcot. Évidemment, si on devait diminuer la distance de parcours des camions, on diminuerait d'autant les émissions de GES.

Ces travaux se tiendront d'ailleurs en 2 phases : les tronçons 1, 2, 3 et 4 se feront dans une première phase et les tronçons 5, 6 et 7 se feront dans une phase subséquente, possiblement décalée de quelques années. Cela va ainsi répartir l'émission de GES dans le temps.

En ce qui a trait à l'impact des CC sur les critères de conception, dans le cadre de ce dossier, la température et les précipitations locales ou régionales ne constituent pas des paramètres significatifs en termes d'influence sur la conception des ouvrages proposés. Dans ce secteur où les débits du fleuve sont de l'ordre de 12 000 m³/s alors que les débits de marées atteignent 75 000 m³/s, les niveaux du fleuve ne sont pas influencés significativement par les précipitations dans le bassin versant du fleuve en amont. Ils sont nettement plus influencés par les surcotes de marées hautes générées par les tempêtes maritimes en provenance du quadrant nord-est. Ces dernières sont régulièrement générées par des ouragans tropicaux dont leur formation est étroitement liée à la température de la première couche de 50 m d'eau de l'océan Atlantique. Or, celles-ci ont été considérées lors de la conception (voir la note technique ; Stantec 2019).

Quant au couvert de glace, celui-ci est fréquemment présent sur la berge à cet endroit, et ce, tant à marée haute qu'à marée basse. Celui-ci protège la berge en hiver de l'attaque des glaces libres de plus en plus présentes dans ce secteur, directement dans le chenal d'écoulement du fleuve Saint-Laurent. Les prévisions d'Ouranos pour la région de la Capitale-Nationale font doubler le nombre d'événements de gel-dégel (redoux) hivernaux autour de la ville de Québec (de 1981-2010 à 2041-2070), mais pour les mêmes périodes, les événements de gels-dégels printaniers et automnaux diminueront beaucoup : pour un bilan annuel à la baisse (Ouranos, 2018). L'influence d'une réduction de ces cycles jumelée à une hausse des températures d'environ 3 degrés Celsius (de 1981-2010 à 2041-2070, Ouranos, 2018) pourrait faire en sorte que le couvert de glace se forme plus tard en saison et quitte plus tôt au printemps, rendant la berge plus vulnérable à l'effet des vagues dans un horizon d'environ 30 ans. Des informations supplémentaires sur les glaces sont présentes à la réponse de la QC-9 de ce document et à la section 8.0 de la note technique de Stantec (2019).

Les épis à mettre en place protégeront les plages rechargées et même les ouvrages de stabilisation des berges de la plupart des secteurs. L'effet des tempêtes sera ainsi atténué dans les aménagements proposés. Les empierrements et les épis ont été revus pour tenir compte de la hausse des niveaux d'eau traitée à la QC-21 du présent document.

3.2 LOI CONCERNANT LA CONSERVATION DES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES

Le 16 juin 2017, l'Assemblée nationale a sanctionné la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (LQ, 2017, chapitre 14) (LCMHH). Cette loi modifie notamment la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) (LQE) par l'ajout de la section V.1 (articles 46.0.1 à 46.0.12) portant sur les « Milieux humides ou hydriques ». Elle vient changer les dispositions applicables pour les autorisations visant tous travaux, toutes constructions ou toutes autres interventions dans un milieu humide ou hydrique. On retrouve par exemple inscrit à l'article 46.0.1 l'application de la séquence éviter-minimiser-compenser dans la conception des projets, lorsque ceux-ci sont susceptibles d'entraîner des pertes de milieux humides et hydriques.

La LCMHH comporte également des mesures transitoires, d'ici l'adoption d'une réglementation afférente, dont certaines concernent les projets assujettis à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PÉEIE). Par exemple, l'article 64 de la LCMHH précise que les articles 46.0.4 et 46.0.6 de la LQE s'appliquent au gouvernement, et ce, depuis le 16 juin 2017 lorsqu'il rend une décision relative à un projet affectant des milieux humides et hydriques dans le cadre de la PÉEIE.

Or, l'article 46.0.4 précise les éléments pris en considération pour analyser les impacts d'un projet en regard des milieux hydriques et humides. Ainsi, afin d'être en mesure d'analyser un projet conformément à cet article, l'étude d'impact doit inclure :

1. **Une étude de caractérisation des milieux visés :**

    a. **Une délimitation de l'ensemble des milieux humides et hydriques (telle que définie à l'article 46.0.2) affectés ainsi que la localisation des milieux dans le réseau hydrographique du bassin versant ;**

    b. **Une délimitation de la portion de ces milieux dans laquelle sera réalisée l'activité concernée, incluant toute portion additionnelle susceptible d'être affectée par cette activité ;**

    c. **Une description des caractéristiques écologiques de ces milieux, notamment des sols et des espèces vivantes ainsi que leur localisation, y compris des espèces menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées en vertu de la Loi sur les espèces menacées et vulnérables (chapitre E-12.01) ;**

    d. **Une description des fonctions écologiques des milieux qui seront affectés par le projet, en se référant aux différentes fonctions énumérées au deuxième alinéa de l'article 13.1 de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (chapitre C 6.2), dont la connectivité de ces milieux avec d'autres milieux humides et hydriques ou d'autres milieux naturels ;**

    e. **Une description des orientations et des affectations en matière d'aménagement du territoire applicables aux milieux visés de même que les usages existants à proximité.**

1a) Délimitation des milieux humides et hydriques

Les milieux humides et hydriques de la zone d'étude ont été localisés, délimités et caractérisés dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) (Stantec 2018). La section 6.3 de l'Étude d'impact et les figures 2 et 3 (2 pages chacune) de l'annexe A de cette étude relatent les résultats de la caractérisation écologique. La figure 2 montre la délimitation des différents types de milieux humides présents dans la zone d'étude tandis que la figure 3 présente plutôt le milieu hydrique concerné par les travaux. Deux limites d'inondation du fleuve Saint-Laurent sont également montrées sur cette même carte, la marée haute moyenne et la cote du 0-2 an. Tel que demandé à la QC-1 plus loin dans ce document, les cartes illustrant les composantes du milieu et le projet ont été produites à une échelle appropriée permettant de mieux les distinguer (annexe A du présent document).

Comme le bassin versant est celui du fleuve Saint-Laurent, il ne semblait pas pertinent de montrer l'ensemble du fleuve qui est un milieu aquatique bien connu au Québec. Tel qu'illustré dans l'ÉIE, l'extrémité ouest des travaux (tronçon 1) se trouve à environ 500 mètres à l'est du confluent de la rivière du Cap Rouge, qui ne sera pas touchée par les travaux.

1 b) Délimitation des milieux affectés par le projet

Les figures de l'annexe A de l'ÉIE ne présentent pas l'empiétement des travaux prévus. Toutefois, tel que demandé à la QC-1, les cartes ont été reproduites à une échelle appropriée afin de mieux visualiser la portion touchée du milieu hydrique et des milieux humides (annexe A du présent document). Par ailleurs, les coupes types et plans des travaux ont aussi été ajustés afin d'adoucir au maximum les pentes, tel que demandé en QC-29 (voir aussi à la QC-19). D'emblée, il a été établi que tous les ouvrages en rive seront positionnés à partir du pied du talus d'érosion qui sera observable au moment de la réalisation des travaux de stabilisation de façon à limiter au maximum l'empiétement dans le milieu hydrique. En fait, les seuls empiétements assurés directement dans ce milieu, au-delà du pied du talus, seront ceux de la portion 6a du tronçon 6 et des réparations ponctuelles des tronçons 1, 2 et 3a. Outre ceux-ci, il pourra peut-être s'en présenter aussi au niveau à la portion 3b du tronçon 3 et à la portion 7b du tronçon 7. La position et l'étendue exactes de ces empiétements ne pourront pas être connues avant la confection des plans et devis de construction. Pour ce qui est des épis et des recharges, ces ouvrages auront également une empreinte dans le milieu hydrique ainsi qu'en partie dans les herbiers aquatiques formant les milieux humides du secteur. À la suite des modélisations hydrauliques et hydrosédimentaires réalisées avec Mike 21 SD, il a été possible de préciser les superficies d'empiétements dans les milieux hydriques et humides (voir ci-après les réponses aux QC-49 à QC-51). Le milieu hydrique touché par le projet correspond essentiellement à la zone intertidale, et inondable en crue printanière, longeant le fleuve Saint-Laurent dans ce secteur.

Comme la plupart des travaux en zone intertidale seront effectués à marée basse et, donc au sec, le milieu hydrique ne sera pas directement affecté. Le long de la berge, au-delà des ouvrages à réaliser (au-dessus de la LHE), les travaux se manifesteront essentiellement par la circulation de camions, mais il s'agit déjà d'un milieu anthropique.

Quatre zones de recharges de plage comprenant des géogrilles de maintien du substrat seront aménagées en zone intertidale. Celles-ci ont pour but, en complément des épis littoraux, d'atténuer l'énergie des vagues pour réduire les forces érosives atteignant les berges. La combinaison de ces recharges avec les épis permet de dimensionner des ouvrages de stabilisation en berges qui sont moins massifs et imposants. De plus, la présence de l'estran rocheux est aussi à considérer dans l'atténuation des vagues. Tout cela influence à la baisse le calibre des pierres utilisées, permet de présenter des pentes d'ouvrages plus douces et d'incorporer des techniques de génie végétal, qui autrement ne seraient pas suffisamment résistantes pour être utilisées. L'étendue de ces recharges étant tributaire des résultats des modélisations hydrosédimentaires, il fallait d'abord déterminer la délimitation anticipée des zones de sédimentation suite à la construction des épis afin de pouvoir situer les recharges et leurs limites. En effet, il convient de positionner les recharges aux endroits les plus dynamiques et d'éviter autant que possible de recharger aux endroits où il y aura davantage de dépositions sédimentaires. Les épis ainsi que les zones de

déposition et de recharges sont respectivement illustrés aux annexes D et E de la note technique hydraulique de Stantec (février 2019) jointe à l'annexe B du présent document.

Localisés essentiellement sur le roc de l'estran, les deux épis seront aussi construits à sec. Au besoin, des plateformes basses (remblais de pierres nettes) seront aménagées temporairement sur le roc pour s'assurer que la machinerie et les camions ne circulent pas directement dans l'eau. Ils pourraient aussi circuler directement sur la partie basse des épis. La méthode exacte devra être proposée par l'entrepreneur et approuvée par la Ville de Québec. Les voies de circulation seront planifiées de manière à éviter le plus possible les milieux humides (herbiers) présents sur l'estran. En définitive, seule l'extrémité éloignée de ces épis pourrait être en partie construite dans l'eau peu profonde à marée basse, et ce, sur une courte durée, soit au plus 2 ou 3 jours. Tel qu'attendu en raison de leurs objectifs, ainsi que démontré dans la note technique hydraulique (Stantec 2019), ces épis viendront modifier le régime local des vagues et favoriser la sédimentation. Aussi, en plus des enrochements végétalisés des berges et du rechargement de plage, des gains en herbiers aquatiques dus à une colonisation des nouvelles surfaces de sédimentation sont à prévoir (voir la réponse à la QC-49).

1c) Caractéristiques écologiques des milieux humides et hydriques

Les méthodes d'inventaires floristiques sont présentées ci-après en réponse à la question QC-10 et les techniques d'inventaires de la faune aquatique font l'objet des réponses aux questions QC-11 et QC-13. L'emplacement des parcelles forestières, des arbres matures, des espèces floristiques exotiques envahissantes, des espèces floristiques à statut particulier et des herbiers aquatiques est montré dans l'étude d'impact, sur la figure 2 de l'annexe A. La localisation des stations de pêche est montrée sur la figure 3 de cette même annexe. Toutes ces informations ont été reprises sur les cartes reproduites à la QC-1 (annexe A du présent document). Pour les autres espèces fauniques, seules les observations anecdotiques lors d'autres inventaires au terrain ont été colligées.

Concernant les sols, la section 6.2.2 de l'étude d'impact dresse un bon portrait de ceux-ci tandis que la section 6.2.3 en présente la qualité environnementale. On peut ajouter que les sols de rivages sont très généralement des régosols, c'est-à-dire des sols constitués d'alluvions (débris minéraux ou organiques) considérés comme très jeunes parce que les processus pédogénétiques n'ont pas encore eu le temps d'agir ou ne peuvent pas agir à cause du brassage et du délavage continuels des sédiments par l'action mécanique de l'eau ou des glaces.

Ajoutons également que, tel que mentionné dans l'ÉIE, 21 espèces de poisson ont été pêchées le long du littoral par le MFFP entre la rivière du Cap Rouge et les ponts. Ces espèces fréquentent donc le fleuve Saint-Laurent à la hauteur du projet. La zone riveraine, située au-dessus du niveau des marées moyennes et longeant le projet, est cependant généralement inaccessible pour les poissons. La période où cette zone est inondée le plus longtemps correspond à la crue printanière (mai-juin). Quelques espèces seulement de poissons sont alors susceptibles d'utiliser plus significativement cette zone (ex. : brochet, perchaude).

De façon générale, les réponses aux questions QC-46 à QC-51 du présent document complètent bien les informations quant aux caractéristiques écologiques de l'habitat hydrique touché par le projet. Étant donné les méthodes et techniques d'inventaires appliquées par Stantec durant la réalisation de cette étude, celle-

ci est d'avis que les exigences méthodologiques de Bazoge et al. (2015) ont toutes été rencontrées et qu'ainsi, il n'a pas été jugé requis de produire un rapport distinct de caractérisation écologique.

1d) Fonctions écologiques des milieux humides et hydriques

Le tableau 27 de l'étude d'impact révélait les pertes de végétation en herbier aquatique. Les superficies de ce tableau ont été revues (voir la réponse à la QC-49) à la suite de la production des nouvelles coupes types (voir les réponses aux QC-19 et QC-51). Les fonctions de ces herbiers sont les suivantes : utilisés à diverses fins par toute faune aquatique, les herbiers servent entre autres à l'alimentation et de couvert d'abri aux poissons. La fonction de conservation de la biodiversité biologique (fonction 3) est donc une des plus importantes fonctions accomplies par ce type de milieu. Ces habitats visibles essentiellement du haut des airs n'ont qu'une faible contribution esthétique (fonction 6). Les autres fonctions (contrôle de l'eau, séquestration du carbone, etc.) sont moins favorisées en raison de l'intense activité mécanique de l'eau ou des glaces inhérente au contexte estuarien.

D'ailleurs, cette activité mécanique, combinée aux courants (fleuve et marées) et à l'action régulière des vagues plus ou moins fortes, de même qu'aux cycles d'inondation et de dessiccation de l'estran liés aux deux marées journalières, font en sorte que la surface intertidale rocheuse qui domine, demeure relativement stérile, c'est-à-dire sans organismes benthiques fixés au substrat. Cet estran présente très peu de dépressions (cuvettes) intertidales où de l'eau pourrait se maintenir et accueillir des organismes sessiles ou même seulement de passage. La nature schisteuse friable de la roche-mère, et sa couleur foncée qui favorise la dessiccation lorsque le soleil en plombe sa surface y sont fort probablement aussi pour quelque chose.

Quant aux plages, celles-ci sont généralement constituées d'une couche de substrat de faibles épaisseurs au-dessus du roc en place, soit tout au plus quelques décimètres aux endroits les plus épais. Ce substrat est généralement composé de particules de schistes friables et aux arêtes tranchantes provenant de l'altération continue de la roche-mère omniprésente dans le secteur. Formant une bande d'environ 15 à 25 m de largeur sur le haut estran, ce substrat plutôt grossier est généralement peu accueillant pour la faune en général. C'est plutôt en contrebas de ces plages, et juste au-dessus de la surface rocheuse, qu'à quelques endroits abrités de la zone intertidale, on peut observer de minces accumulations de matériaux plus fins propices, soit à la formation d'herbiers aquatiques, ou encore à son utilisation par des organismes benthiques, tels que des moules d'eau douce (mulettes ; voir les réponses aux QC-13, QC-42 et QC-52). C'est aussi dans ces zones, notamment devant les tronçons 6 et 7 du projet que le biofilm de microorganismes, déposés à la surface des sédiments, attire les oiseaux limicoles à marée basse. L'étendue et l'épaisseur des dépôts plus sablonneux et silteux de ces dernières zones fluctuent régulièrement en fonction des conditions hydrauliques et hydrosédimentaires du fleuve. Il en va de même aussi de l'étendue et de la densité des herbiers, quoiqu'ils aient une base structurale plus permanente en raison de conditions hydrauliques microlocales favorables à leur maintien.

Puisque l'ajout d'épis dans le paysage devrait modifier les conditions de courant et favoriser les eaux calmes et la sédimentation, la valeur de la fonction 3 des herbiers sera améliorée par une plus grande superficie et aussi densité des herbiers existants, engendrées consécutivement aux travaux.

1e) Orientations et affectations du territoire en matière de milieux humides et hydriques

La section 6.4.3 de l'ÉIE présentée (Stantec 2018) traite des différentes affectations du sol dans la zone d'étude et les environs du projet.

Le schéma d'aménagement et de développement de la ville de Québec (2018) présente une grande affectation « Parc et espace vert » pour la majorité de la portion terrestre de la zone d'étude. Dans la portion aquatique et la falaise derrière le tronçon 5, c'est une affectation de « Conservation naturelle » qui prévaut (carte 37 du Schéma d'aménagement et de développement, Ville de Québec, 2018). Le chapitre de schéma d'aménagement et de développement définit les grandes affectations du territoire et donne d'ailleurs la plage Jacques-Cartier comme un exemple d'aire de conservation naturelle sur les berges du fleuve. Cette grande affectation vise la préservation du caractère naturel des territoires et aucun usage n'y est prévu, mais les sentiers aménagés à des fins de découverte et d'observation y sont autorisés (5.1.15, p.178). Le Parc-de-la-Plage-Jacques-Cartier fait aussi partie des territoires d'intérêt écologique de la ville en raison de l'habitat écologique (habitat d'une espèce floristique menacée ou vulnérable) qu'elle représente (annexe 7, p.231). Ainsi, cette portion du territoire semble être protégée afin de demeurer naturelle et d'offrir simplement en endroit paisible et d'observation.

Les affectations du sol dans la zone de projet sont « récréation, parc et espace vert », avec une petite zone affectée aux « réseau et infrastructure d'utilité publique » (voir la figure 4 à l'annexe A du présent document). En bordure du parc, les terrains ont majoritairement une affectation « résidentielle urbaine » hormis à l'est du parc ou leur affectation est « réseau et infrastructures d'utilité publique ».

Selon le règlement de l'arrondissement de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge sur l'urbanisme, plan de zonage de la Ville de Québec, les usages permis sur les lots associés au parc de la Plage-Jacques-Cartier sont principalement la récréation extérieure (parc, équipements extérieurs, conservation), les usages publics (équipements culturel et patrimonial, établissement d'éducation et formation). La location d'une chambre à une clientèle de passage est associée à un logement - article 178 est également permise dans la portion ouest du parc.

Ceci est en accord avec ce que la ville de Québec a répondu à Stantec à cette question : « La Ville compte préserver le Parc-de-la-Plage-Jacques-Cartier comme lieu récréotouristique et de villégiature. Le secteur visé est enclavé entre une zone résidentielle (chemin de la plage Jacques-Cartier) et un parc (sentier des grèves). Aucun changement de vocation de ces lieux n'est prévu par la Ville de Québec ».

Ces diverses informations sont valables aussi pour l'estran jusqu'au zéro marégraphique.

2. Une démonstration qu'il n'y a pas, pour les besoins du projet, d'espace disponible ailleurs sur le territoire compris dans la municipalité régionale de comté concernée ou que la nature du projet nécessite qu'il soit réalisé dans ces milieux ;

Le présent projet consiste à protéger les berges du parc existant dit « de la Plage-Jacques-Cartier », qui a été inauguré en 1993. Il est situé dans un secteur ayant une grande valeur patrimoniale. Il couvre une longueur et superficie permettant la liaison entre le parc nautique et parc du sentier des grèves (Phase 2 de la Promenade Samuel-De Champlain déjà réalisée et qui est gérée par la Commission de la capitale nationale du Québec). Il est unique pour la vue et la faune qu'on ne retrouve pas ailleurs sur le

territoire de l'agglomération de la Ville de Québec. Par ailleurs, ce parc est très apprécié et achalandé par la population et a la particularité de donner accès au fleuve. Ces informations démontrent bien que ce projet ne peut pas être réalisé ailleurs qu'aux endroits indiqués dans l'étude d'impact sur l'environnement.

3. Les impacts du projet sur les milieux visés ainsi que les mesures proposées en vue de les minimiser ;

Les milieux humides de la zone d'étude sont décrits en détail à la section 6.3.1 de l'ÉIE (Stantec, 2018) et sont illustrés sur la figure 2 de l'annexe A. Ceux-ci sont composés de marais intertidaux ou herbiers aquatiques. La présence de ces milieux humides a fait l'objet d'une identification en tant qu'élément du milieu de grande valeur environnementale à prendre en compte dans ce projet (section 9.1.2 de l'ÉIE). Quant aux impacts sur ces milieux et aux mesures envisagées pour les atténuer ou compenser, ceux-ci sont décrits aux tableaux 25 et 26 à la section 9 de l'ÉIE. Lors des travaux, une surveillance des effets des travaux sur cette composante sera effectuée et, au besoin, une compensation sera faite.

Sur la base des multiples précisions apportées au projet ainsi que des nouveaux résultats de l'étude hydraulique (note technique de Stantec [2019]), de nouvelles superficies affectées ont été calculées et les informations, plus détaillées, quant aux impacts du projet par rapport aux milieux humides. Voir à cet effet, les réponses aux QC-49 et QC-51 qui démontrent notamment les effets positifs du projet quant à l'expansion anticipée des herbiers. Les calculs d'empiétement du projet dans les habitats y ont été repris afin de remplacer le tableau 27 de l'ÉIE. De plus, de nouvelles figures illustrant les empiétements du projet dans les milieux humides ont été produites (voir l'annexe A de ce document en réponse à la QC-1).

4. La capacité des milieux visés à se rétablir ou la possibilité de les restaurer en tout ou en partie une fois le projet complété ;

Les berges actuelles sont érodées dans les secteurs ciblés par le projet. Ces foyers d'érosion sont régulièrement activés par les vagues de marées hautes. Le projet consiste non seulement à procéder à une protection d'infrastructures bâties, mais également à restaurer un milieu riverain dégradé en lui redonnant un aspect entièrement renaturalisé. La construction des épis, en plus de bloquer les vagues, devrait permettre à un processus naturel de création d'herbiers de se mettre en œuvre à des endroits où ce n'est actuellement pas possible. Les possibilités de restauration sont jugées très grandes et la capacité de rétablissement après les travaux, excellente. Conformément aux engagements déjà pris par la Ville, un programme de suivi comportant les éléments mentionnés à la section 11.2 de l'ÉIE sera mis en œuvre afin de documenter l'évolution de la zone intertidale et du développement des végétaux riverains (Stantec 2018).

5. Les éléments contenus dans un plan directeur de l'eau, un plan de gestion intégrée du Saint Laurent ou un plan régional des milieux humides et hydriques élaborés en vertu de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et favorisant une meilleure gouvernance de l'eau et des milieux associés (chapitre C-6.2) ainsi que les objectifs de conservation prévus dans un plan métropolitain de développement ou dans un schéma d'aménagement et de développement, le cas échéant ;

Dans la région de Québec, la gestion intégrée du Saint-Laurent relève de la Communauté métropolitaine de Québec à travers sa Table de concertation régionale de la zone de Québec (TCRQ). Créée en 2014, la

TCRQ a pour mission d'amener les différents intervenants régionaux concernés par la gestion des ressources et des usages du Saint-Laurent, à harmoniser leurs actions de façon optimale pour contribuer à la gestion intégrée du Saint-Laurent. Dans son plan de gestion intégrée du Saint-Laurent – Zone de Québec, le chapitre 2 traite des accès publics et milieux naturels aux abords du fleuve ; il s'agit d'une richesse collective importante. Le plan encourage les efforts des municipalités et MRC à définir des zones de conservation, des espaces verts, des zones récréo-écologiques comportant des usages compatibles avec une fonction de conservation comme c'est le cas du Parc-de-la-Plage-Jacques-Cartier. Dans ce même chapitre, l'érosion autant d'origines anthropiques que celle reliée aux changements climatiques est abordée comme cause de la perte de milieux humides et des services écologiques rendus par ceux-ci, dont la régulation des phénomènes naturels, la stabilisation des sols et la filtration de l'eau. La TCRQ y souligne également sa préoccupation à l'égard des menaces que représentent les événements de submersion et d'érosion côtières face au maintien de l'intégrité écologique des marais maritimes côtiers. En regard de la ressource collective qu'est le fleuve Saint-Laurent, le plan établi au chapitre 2, quatre objectifs, dont deux, sont atteints parfaitement par le présent projet, soit :

- Consolider et bonifier le réseau d'accès public au fleuve de façon à améliorer la qualité du milieu de vie et favoriser la santé publique ;
- Réduire les contraintes et la vulnérabilité des rives du fleuve liées entre autres aux changements climatiques (TCRQ, 2017 ; p.18).

De ce dernier objectif découle la mise en œuvre de l'action prioritaire suivante :

- IDENTIFIER LES SECTEURS RIVERAINS LES PLUS EXPOSÉS AUX SUBMERSIONS ET À L'ÉROSION CÔTIÈRE ET PROPOSER DES MESURES POUR ATTÉNUER L'IMPACT DE CES PHÉNOMÈNES SUR LES MILIEUX NATURELS ET LES USAGES (TCRQ, 2017 ; Action 2.5 ; p. 20).

Or, le projet de stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier, avec sa dimension de restauration de la bande riveraine dégradée par des remblais aménagés avec des matériaux inappropriés ainsi que des foyers actifs d'érosion, va contribuer à réhabiliter les fonctions écologiques de cette partie des marais existants, tout en réduisant significativement les risques ultérieurs de perturbation liés à des opérations répétitives de réparation d'une infrastructure inadéquate, et fragilisée par les vagues et les glaces lors des tempêtes maritimes récurrentes en saison froide. De plus, les usages tant fauniques qu'humains de l'ensemble du secteur seront préservés pour toute la durée de vie utile des aménagements.

L'organisme des bassins versants de la Capitale a aussi pour mission de veiller à la pérennité de la ressource collective qu'est l'eau et de ses usages. Un de ses mandats est d'ailleurs de participer à la réalisation du plan de gestion intégrée du Saint-Laurent. Cet organisme publie également le Plan directeur de l'eau, un document technique et scientifique qui rassemble des faits et des éléments d'information nécessaires à la compréhension de problématiques liées à l'eau. La section 5 de ce plan traite des activités humaines, de l'utilisation du territoire et des usages de l'eau (OBV Capitale, 2018). Les aires protégées y sont définies et on fait état de l'importance du Parc-de-la-Plage-Jacques-Cartier. En effet, figurant au registre des aires protégées du Québec (habitat d'une espèce floristique menacée ou vulnérable), ce parc serait de la première catégorie de gestion des aires protégées de l'Union internationale pour la conservation de la nature, soit une réserve naturelle intégrale. Ce statut devrait assurer la protection, la pérennité du parc et une bonne gouvernance de cette berge et de l'eau à proximité.

Le Plan métropolitain d'aménagement et de développement (PMAD) du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ, 2013) dicte 13 stratégies, dont l'une vise à « durer » en favorisant une utilisation judicieuse de nos ressources naturelles au profit des générations actuelles et futures. Dans les cibles de cette stratégie, on préconise la collaboration avec les intervenants impliqués dans les réseaux récréatifs pour des aménagements respectueux du milieu hydrique ainsi que des aménagements permettant la mise en valeur des milieux humides, notamment en favorisant des activités d'interprétation de la nature et leur utilisation dans le cadre de la gestion des eaux de ruissellement (tableau 20, D. 3 et 5).

Tous les intervenants sont donc engagés dans une démarche cohérente visant la conservation des milieux humides et hydriques.

6. **Un bilan des pertes de superficies maximales que le projet pourrait entraver ;**

Tel que mentionné précédemment, un nouveau tableau de bilan des superficies d'empiétement a été produit et est fourni à la réponse à la QC-49. Ses résultats sont aussi discutés à la QC-51.

7. **Un engagement à compenser, soit par des travaux visant la restauration ou la création de milieux humides et hydriques ou d'effectuer une contribution financière conforme au résultat de la méthode de calcul présentée à l'annexe I de la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques ou à la réglementation en vigueur. Dans le cas de travaux visant la restauration ou la création de milieux humides et hydriques, l'initiateur doit présenter un plan préliminaire du projet qu'il prévoit réaliser.**

La réponse à la QC-49 fait la démonstration que le projet a été conçu de manière à s'assurer d'autocompenser complètement les dommages induits par le projet, par la végétalisation de tous les nouveaux empierrements, à l'exception de celui du tronçon 6a, et par l'effet de sédimentation induit par les épis qui induiront ainsi des agrandissements notables des herbiers aquatiques existants et potentiellement de nouveaux. Le rechargement de plage devrait aussi avoir un impact positif sur ce même plan. Si des ajustements aux interventions proposées devaient être requis, la Ville de Québec s'engage à les apporter jusqu'à la satisfaction du Ministère. La contribution financière pourrait, en dernier lieu, être une option. Cependant, la ville souhaiterait grandement en arriver à une entente au niveau même des travaux d'amélioration ou de restauration du milieu à effectuer.

Il est à noter qu'un suivi de l'évolution effectif des zones de sédimentation ainsi que de l'étendue, de la densité et de la composition végétale des herbiers, notamment au niveau des espèces à statut, permettraient de statuer sur le succès réel des diverses interventions projetées. Par ailleurs, le fait que la Ville souhaite réaliser ses travaux en deux phases distinctes pourra permettre de procéder à certains ajustements techniques pour la seconde phase.

3.3 LOCALISATION DU PROJET

QC-1 L'annexe A de l'étude d'impact présente plusieurs cartes et figures qui précisent la localisation du projet. Par contre, tel que mentionné dans la directive du projet, ce qui peut être schématisé ou cartographié doit l'être, et ce, à des échelles appropriées.

- **L'initiateur doit ajouter des cartes à grande échelle séparées par tronçon afin de clarifier l'information qui y est déjà présentée. Ces dernières doivent aussi montrer l'empiétement des enrochements et des épis proposés.**

Les cartes insérées à l'annexe A de l'étude d'impact présentent bien les diverses composantes pertinentes pour l'analyse du projet. Cependant, afin d'illustrer plus précisément, et ce à une échelle plus grande, les différents ouvrages proposés et leurs empiétements sur des composantes d'intérêt, un total de 3 cartes à l'échelle 1 : 2000 ont été produites et sont insérées à l'annexe A du présent document. Les empiétements des épis proposés et des zones de recharges ont été ajoutés. Les empiétements des enrochements sont représentés sur les vues en plan des coupes types d'aménagement des tronçons à l'annexe C de la note technique (Stantec, février 2019) présentée à l'annexe B du présent document. Les empiétements définitifs seront établis à l'étape des plans et devis.

3.4 CAUSES D'ÉROSION ET INSPECTION DES BERGES

QC-2 À la section 3.3.3, p. 3.5 : L'initiateur indique avoir réalisé une mise à jour de l'étude de Norda Stelo, permettant de conclure que les vagues sont responsables de l'érosion des rives de la plage Jacques-Cartier.

- **L'initiateur doit fournir cette étude.**

Nous précisons que l'étude de Norda Stelo n'a pas été mise à jour, mais qu'une nouvelle étude de vagues a été réalisée par Stantec à l'annexe D de l'ÉIE. Les résultats de l'étude Stantec ont été comparés à ceux de Norda-Stelo. À noter que la méthode présentée par Norda-Stelo considère que la radiale de chaque direction consiste au fetch alors que la méthode utilisée par Stantec (SEBJ) pondère les radiales afin d'obtenir le fetch représentatif de la combinaison des radiales. L'effet des épis sur les hauteurs des vagues a pu être modélisé avec cette méthode. Par ailleurs, une nouvelle version améliorée de la note technique hydraulique de Stantec, basée sur les divers questionnements et commentaires du MELCC et de ses ministères partenaires, a été produite et a été fournie en même temps que le présent document à l'annexe B (Stantec, février 2019). L'applicabilité de la méthode SEBJ est discutée à la section 7.2.3 de cette nouvelle note.

3.4.1 Récurrence du niveau d'eau

QC-3 À la section 3.3.3, p. 3.5 : La récurrence du niveau d'eau utilisée pour la conception des ouvrages en enrochement est de 20 ans.

- **L'initiateur doit évaluer quelle est la durée de vie utile des aménagements de protection prévus par rapport à cette récurrence de conception.**

Les niveaux de conception sont expliqués à la section 7.2.4 de la note technique de Stantec (2019). Tel qu'indiqué (voir tableau 9 de la note), la limite supérieure du génie végétal consiste à la marée haute de récurrence 20 ans (incluant les changements climatiques et le relèvement isostatique), combinée à la revanche pour résister aux vagues de récurrence 25 ans (Colonnes B+C du tableau 9). Ainsi, la récurrence combinée de ces 2 phénomènes est approximativement de 20*25=500 ans. Il s'avère que cette

combinaison fait que la limite supérieure du génie végétal est toujours plus haute que le niveau d'eau de récurrence 100 ans (5,34 m), tel qu'indiqué au tableau 1 de la note. Considérant cela, le niveau de conception dépasse donc les 50 ans et considère les changements climatiques.

QC-4 À la section 3.4, p. 3.6 : Il est mentionné qu'à la suite des résultats de l'inspection des rives, 1 215 m linéaires de rive répartis en sept tronçons devront faire l'objet de travaux de stabilisation à court ou moyen terme. Par contre, dans l'avis de projet de 2015, il est question d'environ 1 575 m de berges à protéger, soit l'estimé fait par la firme BPR en 2012.

- **L'initiateur doit spécifier pourquoi les tronçons ou l'érosion par ruissellement qui pourrait être limitée par des fossés engazonnés ont été retirés de la liste de priorité, puisqu'il s'agit d'une problématique à traiter à moyen terme selon BPR.**

Bien que les travaux concernant les fossés ne sont pas localisés, ni dans les berges ni dans le littoral, et qu'ils ne fassent ainsi pas partie de la présente étude d'impact, les travaux correctifs pour contrer l'érosion de surface seront néanmoins effectués dans le même temps que les travaux de protection des berges. Au moment opportun, tous ces travaux feront l'objet d'une seule et même demande d'autorisation ministérielle auprès du MELCC. Les informations techniques concernant spécifiquement les travaux sur les fossés, visant à stabiliser les apports de matériaux en provenance de la falaise due au ruissellement, seront alors intégrés aux plans et devis, qui seront déposés en même temps que la demande d'autorisation.

3.4.2 Solutions de rechange

QC-5 À la section 3.6, p. 3.6 : Il est mentionné quels travaux sont envisagés. Par contre, l'initiateur ne décrit pas quelles sont les solutions de rechange. L'initiateur doit présenter les différentes solutions de rechange qu'il a évaluées avant d'en venir à la solution retenue.

Les seules solutions de rechange possibles auxquelles l'initiateur et son consultant ont réfléchi sont le *statu quo*, l'abandon du parc et le déplacement du sentier.

Tel que mentionné à la section 3.6 de l'étude d'impact, le *statu quo* ne constitue pas une solution envisageable par l'initiateur. Le *statu quo* entraînerait une détérioration de la stabilité de la rive dans certains secteurs qui, avec le temps, pourrait causer des dommages importants aux infrastructures et entraînerait la poursuite de l'érosion des berges. L'intégrité structurelle du sentier et l'accessibilité du parc pourraient être affectées. Le parc est très fréquenté par les citoyens et la Ville de Québec désire maintenir la vocation du site en tant que lieu récréatif récréotouristique. Pour cette dernière raison, autant le *statu quo* n'est pas souhaitable, autant l'abandon pur et simple du parc n'est pas envisageable. Sans compter que l'abandon du site pourrait néanmoins présenter une problématique de sécurité publique pour les usagers qui s'y aventureraient, malgré les avertissements et les restrictions qui pourraient leur être imposées.

Comme décrit dans l'étude de Norda Stelo (2016), le déplacement des installations (sentier) hors de la zone à risque d'érosion n'est pas possible. L'option de réaménager le sentier dans le haut de la falaise n'est pas envisageable en raison de la présence de l'emprise du CN et de la topographie escarpée. Le recul du sentier vers la falaise, quant à lui, occasionnerait la perte d'un accès direct au fleuve pour les usagers du parc. De plus, cette solution serait difficile à réaliser d'un point de vue technique. En effet, le

sentier est déjà presque acculé au pied de falaise à plusieurs endroits, dont les tronçons 1 à 3 ainsi que 5 et 6, ne laissant que l'espace à maintenir pour la sécurité des usagers entre celui-ci et le pied des talus d'éboulis qui se forment en bas de falaise. Là où il serait toutefois possible de reculer le sentier de quelques mètres (parfois aussi peu que de 2 ou 3 m), il faudrait retirer une partie du matériel granulaire accumulé naturellement dans les talus, ce qui pourrait avoir pour conséquence d'augmenter la possibilité de déstabiliser les pentes des talus meubles. Des analyses géotechniques seraient donc requises pour en assurer la stabilité. Comme mesure correctrice, il pourrait être nécessaire de sécuriser les parois rocheuses. Ces mesures engendrent des coûts et potentiellement une modification substantielle du paysage (enlèvement de la végétation, diminution de l'aspect naturel des falaises, etc.).

Quant à la possibilité d'aménager certaines longueurs de sentiers sur pilotis en pied de falaise, aux endroits où l'espace entre le haut de talus d'érosion et le pied de falaise est plus étroit, dans le but de surélever le sentier, cette option n'a pas été examinée pour des raisons de sécurité publique. Tel que déjà mentionné précédemment, il n'est pas possible de s'approcher davantage du talus d'éboulement sans compromettre la sécurité des usagers.

3.5 CADRE RÉGLEMENTAIRE

QC-6 À la section 4.0, p. 4.1 : Il est inscrit que le projet est assujetti à la Loi sur la conservation et mise en valeur de la faune (LCMVF) (RLRQ, C-61.1) et qu'une autorisation de la part du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) devra être obtenue. Bien qu'il s'agisse d'activités susceptibles de modifier une composante de l'habitat du poisson et de l'aire de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA) légalement définie, l'article 47 du Règlement sur les habitats fauniques (RLRQ, C-61.1, r.18) mentionne que :

> **« Cette interdiction de l'article 128.6 ne s'applique pas à une personne qui effectue une activité qui doit faire l'objet d'un certificat d'autorisation délivré par le gouvernement en vertu de l'article 31.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) sauf dans un habitat d'une espèce faunique menacée ou vulnérable. »**

Ce faisant, puisque les travaux prévus sont assujettis à l'article 31.1 de la LQE et qu'aucun habitat d'espèce faunique menacée ou vulnérable n'est présent, les travaux ne sont pas assujettis à la LCMVF.

L'initiateur prend note de ce commentaire.

3.6 CONSULTATION DU MILIEU

QC-7 Dans cette section, il est mentionné que la Ville à l'intention de faire une séance d'information auprès des citoyens. Comme la zone d'étude est située dans un secteur densément peuplé et qu'un des enjeux majeurs du projet est l'accès au fleuve et l'utilisation du parc comme endroit de plaisance, la population doit être consultée rapidement dans le processus, puisque cette démarche facilite la compréhension du projet et l'acceptation des interventions proposées. Ainsi,

la Ville doit préciser quand elle compte procéder à cet exercice de consultation. De plus, elle devra transmettre au Ministère les principaux constats qui ressortent de cette consultation et de quelle(s) façon(s) ils ont été pris en compte.

Une rencontre publique s'est déroulée le 24 septembre 2018. Le bilan de cette consultation, ainsi que la présentation PowerPoint de cette séance, sont joints à l'annexe C du présent document.

3.7 DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE

3.7.1 Sols

QC-8 À la section 6.2.3 : L'étude réfère à l'annexe E du Groupe ABS. Les figures et plans de l'étude de caractérisation (phases I et II) sont en partie illisibles.

- **L'initiateur doit fournir des plans et figures lisibles pour nous permettre d'analyser adéquatement l'étude.**

Les plans et figures des études de caractérisation (phases I et II) du Groupe ABS sont présentés à l'annexe D du présent document.

3.7.2 Glaces

QC-9 À la section 6.2.4.3, p. 6.5 : Il est mentionné qu'en mars 2016, le pied de glace présent au tronçon 7 avait une hauteur d'un peu plus d'un mètre et des blocs d'entre 1 et 2 m de hauteur s'en détachaient et jonchaient la plage. Le potentiel érosif de ces blocs de glace est important lorsque le pied de glace cède et que les berges sont exposées. La conception des enrochements présentés dans l'étude ne semble pas prendre en compte l'impact des glaces.

- **L'initiateur doit démontrer si le calibre d'enrochement proposé peut résister à l'érosion et aux forces de poussée engendrées par le mouvement des blocs de glace. Dans le cas contraire, il doit justifier son choix.**

La section *8.0 Analyse de l'impact de la glace* a été ajoutée à la note technique de Stantec (2019) pour traiter du sujet de la glace. Les épis sont dimensionnés pour résister aux glaces. Nous sommes d'avis que la glace observée sur le lieu n'est pas une problématique pour les talus, car ce sont des blocs emportés d'ailleurs par le courant du fleuve en large, mais qui ont échoué sur la plage pendant les marées hautes. Ce phénomène peut se produire lorsque le niveau d'eau est assez haut pour permettre la flottaison des blocs, ce qui n'est pas le cas près des talus, et surtout lorsqu'une plage est présente.

Il est sûr que l'on peut voir de la glace sur les berges comme en mars 2016 (Photo 2.1, page 6, Norda Stelo [2016]), comme cela a pu aussi être constaté lors de la visite effectuée par l'ingénieur hydraulicien de Stantec le 19 mars 2018. Mais, lors d'une seconde visite du site, effectuée en dehors de période hivernale, aucune indication n'a pu être observée à l'effet que l'érosion de la berge peut être causée par la glace (ex : marques glacielles), et ce, d'autant plus que les dimensions des enrochements en place sur les tronçons 1

et 2 démontrent bien que ce n'est pas un phénomène de glace qui affecte les talus, malgré le fait que ces deux tronçons sont les plus exposés à la glace (compte tenu de la largeur réduite de la plage).

Basées sur la nomenclature définie par Carter (2003), voici les explications à l'effet que les phénomènes ne nécessitent pas l'enrochement des talus pour la protection des glaces :

1. Rehaussement brusque au cours de l'hiver : les marées empêchent la formation d'une couche de glace suspendue de pleine épaisseur. En effet, la marée haute touche les talus seulement quelques heures par jour (en deux périodes) et la glace formée pendant chaque période est ensuite emportée lors de la marée basse suivante. L'impact est donc limité, avec une épaisseur de glace réduite (moins de 300 mm pendant les conditions extrêmes). L'enrochement en place résiste de toute manière aux actions mécaniques des glaces de cette épaisseur ;
2. Abaissement rapide du plan d'eau : comme pour le point 1, il s'agit d'un phénomène qui arrive couramment dans ce milieu adapté à ces situations. Ici aussi, l'épaisseur de la glace qui s'accroche aux pierres des enrochements est limitée ;
3. Débâcle hivernale : les glaces sont présentes, mais celles-ci vont s'échouer sur la plage (manque d'une profondeur d'eau pour les pousser loin vers les talus). De plus, la fréquence que ces débâcles arrivent aux talus est trop basse pour causer un dommage ;
4. Glace dérivant au gré des vents et courants : ce type de glace est présent, mais les dimensions des morceaux qui atteignent les talus sont contrôlées par la faible profondeur d'eau sur la plage. Aussi, l'enrochement proposé résistera sans difficulté à l'action mécanique de ces glaces.

Le dimensionnement des pierres des enrochements pour la protection des talus de manière à résister à la glace est discuté aux sections 7.3, 8.3 et 8.4 et présenté au tableau 17 de la note technique (Stantec 2019). Par ailleurs, la mise en place d'une solution avec épis va contribuer à dévier les blocs de glace vers le centre du fleuve et à protéger ainsi les berges de ce phénomène.

3.8 DESCRIPTION DU MILIEU BIOLOGIQUE

3.8.1 Flore

QC-10 À la section 6.3.1 : L'initiateur doit compléter les informations fournies sur les méthodes détaillées d'inventaires floristiques ainsi que les références bibliographiques sur lesquelles ces méthodes sont basées.

- **Pour l'inventaire de la flore terrestre, un support visuel sur la localisation des transects doit être présenté.**
- **Pour l'inventaire de la flore de milieu humide, un support visuel doit également être fourni.**
- **Les résultats détaillés des inventaires doivent être fournis dans le cadre de l'étude d'impact.**

Au niveau de la flore terrestre, un total de 11 segments de végétation homogène ont été inventoriés, soit les segments A à H. Ces inventaires ont été effectués aux périodes recommandées. Pour les plantes à

statut, voir la réponse à la QC-47. Les segments sont identifiés sur la figure 2 (milieu biologique) de l'annexe A. L'ensemble de l'information récoltée pour les différents tronçons est présenté dans l'étude d'impact au tableau 7.

Trois parcelles d'inventaire forestier à surface définie (400 m^2) ont également été réalisées (P1 à P3). Leur localisation est indiquée à la figure 2 (milieu biologique) de l'annexe A. Les résultats détaillés sont présentés dans le tableau 2.

Pour ce qui est des milieux humides (herbiers aquatiques), une analyse des photographies aériennes a été réalisée afin de localiser les herbiers présents à proximité des zones de travaux préalablement à la visite sur le terrain. Cette analyse a permis de déterminer l'emplacement de huit herbiers aquatiques potentiels. La présence de ces herbiers été confirmée lors de la caractérisation du terrain réalisée les 16 et le 17 août 2017 par une biologiste de Stantec. Leur emplacement est indiqué à la figure 2 (milieu biologique) de l'annexe A. Chaque herbier a fait l'objet d'un inventaire détaillé, c'est-à-dire que toutes les espèces observées ont été notées et un pourcentage de recouvrement a été estimé pour chacune d'elle. Lors de ces inventaires, la méthode d'inventaire du guide « Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional » (Bazoge *et al*., 2015) a été suivie. En fait, la procédure P2 du guide basée sur l'inventaire complet de la végétation permet, en notant les indices sur l'hydrologie de conclure à la présence de milieux humides sans effectuer un inventaire des sols. En effet, dans le présent contexte, la présence d'eau ne permettait pas une description sur 30 à 50 cm de profondeur, le roc étant situé près de la surface. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 2 Composition floristique des parcelles d'inventaire forestier

Strate	Nom français	Nom latin	Stations d'inventaire					
			P1		P2		P3	
			Recouvrement absolu (%)	Recouvrement relatif (%)	Recouvrement absolu (%)	Recouvrement relatif (%)	Recouvrement absolu (%)	Recouvrement relatif (%)
Arborescente	Érable à sucre	*Acer saccharum*	55	45,8	45	45,0	80	100,0
	Bouleau jaune	*Betula alleghaniensis*	5	4,2				
	Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia*	25	20,8	5	5,0		
	Chêne rouge	*Quercus rubra*	35	29,2	35	35,0		
	Orme d'Amérique	*Ulmus americana*			15	15,0		
Pourcentage de recouvrement de la strate arborescente (%)			**120**		**100**		**80**	
Arbustive	Érable à sucre	*Acer saccharum*	5	7,1	20	33,3	40	100,0
	Érable à épis	*Acer spicatum*	10	14,3	5	8,3		
	Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia*	35	50,0				
	Frêne rouge	*Fraxinus pennsylvanica*	20	28,6				
	Ronce odorante	*Rubus odoratus*			5	8,3		
	Tilleul d'Amérique	*Tilia americana*			5	8,3		
	Herbe à la puce	*Toxicodendron radicans*			25	41,7		
Pourcentage de recouvrement de la strate arbustive (%)			**70**		**60**		**40**	
Herbacée	Dryoptère spinuleuse	*Dryopteris carthusiana*	5	71,4	5	100,0		
	Trille rouge	*Trillium erectum*	2	28,6			25	100,0
Pourcentage de recouvrement de la strate herbacée (%)			**7**		**5**		**25**	

Tableau 3 Composition floristique des herbiers aquatiques

Strate	Nom français	Nom latin	Statut hydrique	Herbiers aquatiques															
			Identification	1		2		3		4		5		6		7		8	
			Pourcentage de recouvrement (%)	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *	Absolu	Relatif *
Herbacée	Alisma commun	*Alisma triviale*	OBL	2	1,8					1	1,6	1	2,8	1	1,3			25	16,9
	Aster ponceau	*Symphyotrichum puniceum*	FACH	1	0,9			2	3,4					5	6,7	1	1,2		
	Berle douce	*Sium suave*	OBL	15	13,3	**5**	**21,7**	2	3,4			5	13,9			5	5,8	5	3,4
	Bident feuillu	*Bidens frondosa*	FACH	5	4,4	2	8,7	2	3,4					10	13,3	5	5,8		
	Bident sp.	*Bidens sp.*	NI															1	0,7
	Éléocharide des marais	*Eleocharis palustris*	OBL			**5**	**21,7**											**55**	**37,2**
	Eupatoire maculée	*Eutrochium maculatum*	FACH	2	1,8			2	3,4										
	Eupatoire perfoliée	*Eupatorium perfoliatum*	FACH	2	1,8	2	8,7	5	8,6					2	2,7	2	2,3		
	Graminée sp.	*Graminée sp.*	NI	2	1,8					2	3,2			1	1,3			15	10,1
	Lycope sp.	*Lycopus sp.*	OBL													2	2,3		
	Menthe du Canada	*Mentha arvensis subsp. borealis*	NI	5	4,4			5	8,6					2	2,7				
	Orpin pourpre	*Hylotelephium telephium*	NI	1	0,9	2	8,7												
	Potentille ansérine	*Potentilla anserina*	FACH					2	3,4										
	Renouée poivre-d'eau	*Persicaria hydropiper*	OBL											2	2,7	5	5,8		
	Rudbeckie laciniée	*Rudbeckia laciniata*	FACH					1	1,7					1	1,3	1	1,2		
	Sagittaire à larges feuilles	*Sagittaria latifolia*	OBL	2	1,8	2	8,7												
	Salicaire commune	*Lythrum salicaria*	FACH	2	1,8			2	3,4					1	1,3			2	1,4
	Scirpe piquant	*Schoenoplectus pungens*	OBL	**70**	**61,9**	**5**	**21,7**	**30**	**51,7**	**60**	**95,2**	**30**	**83,3**	**50**	**66,7**	**60**	**69,8**	**40**	**27,0**
	Verge d'or sp.	*Solidago sp.*	NI	2	1,8			5	8,6										
	Zizanie naine	*Zizania aquatica* var. *brevis*	OBL	2	1,8											5	5,8	5	3,4
		Pourcentage de recouvrement de la strate herbacée (%)		**111**	**100**	**23**	**100**	**58**	**100**	**63**	**100**	**36**	**100**	**75**	**100**	**79**	**100**	**143**	**100**
Test de dominance		Nombre d'espèces dominantes OBL ou FACH		1		3		1		1		1		1		1		2	
		Nombre d'espèces dominantes NI		0		0		0		0		0		0		0		0	
		La végétation est-elle dominée par les hydrophytes		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui	
Synthèse		Végétation typique des milieux humides ?		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui	
		Test d'indicateurs hydrologiques positifs ?		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui	
		Présence de sols hydromorphes ?		s.o.		s.o.		s.o.		s.o.		s.o.		s.o.		s.o.		s.o.	
		Cette station est-elle un milieu humide ?		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui		Oui	

Légende

Statut hydrique : OBL = Espèce obligée des milieux humides du Québec méridional, FACH = Espèce facultative des milieux humides du Québec méridional ou NI = Non-indicatrice des milieux humides du Québec méridional

Espèce dominante : Les espèces identifiées en **caractère gras** sont les espèces dominantes ayant individuellement un pourcentage relatif de recouvrement supérieur à 20 %/espèces dont les pourcentages relatifs de recouvrement cumulés permettent d'atteindre 50 % du recouvrement

* Le pourcentage de recouvrement relatif a été calculé pour toutes les strates où la végétation occupe 10 % ou plus de la station.

3.8.2 Faune

QC-11 À la p. 6.16 : Il est mentionné qu'une campagne d'échantillonnage a été réalisée à l'aide d'une seine de rivage.

- **Afin de bien interpréter les résultats, les dates d'échantillonnage doivent être fournies. La biologie des espèces fait en sorte que la présence des alevins est définie dans le temps. Les échantillonnages doivent donc se faire à un moment précis de l'année afin de pouvoir déterminer les zones d'alevinage.**
- **Le protocole doit également être présenté, et ce, afin de permettre une meilleure compréhension des résultats.**

Des pêches expérimentales ont eu lieu dans la zone d'étude les 14 et 15 septembre 2017. Au préalable, un permis SEG (N/Réf. 2017-08-16-076-03-GP) a été obtenu. Afin de cibler les secteurs les plus propices aux pêches, un inventaire et une délimitation des herbiers aquatiques présents dans la zone d'étude ont été réalisés au préalable.

Dix-sept stations d'échantillonnage ont été positionnées entre les chaînages 0+000 et 2 +100 à l'aide d'un GPS de type Garmin 76Cx dont le niveau de précision maximal est de trois mètres. Le positionnement des stations est présenté sur la figure 2 à l'annexe A. Les pêches à l'aide de la seine ont été réalisées sur des transects d'approximativement 10 m, et ce, à trois reprises. Les pêches ont été réalisées à marée haute et réparties de façon à couvrir l'ensemble de la zone des travaux et plus spécifiquement les secteurs où des herbiers aquatiques sont présents.

Les poissons capturés ont été dénombrés, identifiés à l'espèce et remis à l'eau à l'endroit de leur capture. Ceux-ci étaient conservés dans un seau rempli d'eau jusqu'à leur identification. Les observations réalisées au terrain à marée haute et à marée basse, jumelées aux captures réalisées lors des pêches ont permis d'évaluer les potentiels de fraie, d'alevinage et d'abri pour chacun des segments de pêche (tableau 11, section 6.3.2.1 de l'étude d'impact).

QC-12 À la p. 6.22 : Il est indiqué qu'on retrouve, dans la partie sud-ouest de la zone d'étude, une aire protégée au sens de la Loi sur la conservation du patrimoine naturel (LCPN) (L.R.Q., c. C -61-01), soit l'ACOA de Cap-Rouge (02-03-0040-1995), où l'on retrouve beaucoup de canards, d'oies et de bernaches. Il faut préciser que cet habitat faunique n'est pas protégé au sens de la LCPN, mais bien par la LCMVF. De plus, les visites sur le terrain, réalisées entre août et octobre par des biologistes, ont permis d'observer des bernaches du Canada (Brenta canadensis), des goélands à bec cerclé (Larus delawarensis) et des canards colverts (Anas platyrhynchos), sans détails des observations réalisées.

- **D'une part, l'information doit être présentée sous la forme d'un tableau des observations réalisées.**
- **D'autre part, les observations d'oiseaux aquatiques dans l'ACOA et au fleuve en général doivent couvrir les deux périodes migratoires du printemps et de l'automne, ce qui n'est pas le cas de**

la présente étude. Advenant le cas où les empiétements affecteraient la zone de l'ACOA, l'initiateur devra effectuer des inventaires au printemps (voir QC-46).

- **Enfin, l'initiateur doit délimiter précisément cet habitat sur une carte.**

L'emplacement de l'aire de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA 02-03-0040-1995) est indiqué à la figure 2 de l'annexe A du présent document.

Compte tenu de la nature du projet, aucun inventaire d'oiseaux n'était requis. Seules les observations fortuites ont été notées lors des travaux de terrain. Le projet n'aura pas pour effet de réduire significativement l'habitat de ces oiseaux ni d'affecter leurs activités biologiques, compte tenu de l'omniprésence régionale d'autres aires de fréquentation. Seule une partie du tronçon 1 recoupe cette ACOA. L'empiétement des travaux sous la LHE dans le tronçon 1 est de l'ordre de 87 m^2 et n'atteindra pas l'herbier aquatique H1. Le recouvrement de la zone intertidale est principalement des fragments de schiste émoussés (photo 1).

Photo 1 Vue vers l'amont du tronçon 1 et de l'herbier H1

Rappelons que les travaux dans ce secteur consisteront en des réparations ponctuelles, l'enrochement des tronçons 1, 2 et 3a étant généralement en assez bon état. L'ordonnancement des travaux à proximité de l'ACOA tiendra néanmoins compte des périodes de migration. Si des travaux devaient toutefois être effectués durant celles-ci, ceux-ci le seraient à une distance suffisante (plus de 200 m) des concentrations d'oiseaux afin d'éviter de les déranger notamment par les bruits générés par la circulation des camions, le claquement des portes arrière des camions-bennes, le fonctionnement de la pelle mécanique, etc. De plus, ceux-ci seraient amorcés quotidiennement au moment où aucun groupe d'oiseaux aquatiques ne sera présent à moins de 200 m de manière à les inciter à utiliser d'autres habitats riverains propices présents en quantité suffisante le long du fleuve.

QC-13 Concernant les mulettes dont il est question à la section 6.32.5, le document présente les résultats d'inventaires réalisés en septembre 2017. Il ne présente toutefois pas la zone où ces inventaires ont été réalisés. Cette information est essentielle afin de bien apprécier la validité de l'étude. Par ailleurs, le document présente les espèces trouvées lors des inventaires effectués.

- **L'initiateur doit préciser les qualifications des intervenants qui ont participé à l'identification des mulettes, considérant la présence d'occurrences de mulette à statut précaire à proximité.**
- **Le document précise que des coquilles de mulette morte ont été trouvées lors des inventaires. Toutefois, il ne précise pas l'état des coquilles. Il est essentiel de réaliser une analyse de leur état pour savoir s'il s'agit de mortalités récentes ou non. Cette information doit être fournie puisqu'elle permet d'estimer si l'espèce est présente ou non à proximité du site.**

Les inventaires ont été effectués par une biologiste et un technicien de la faune ayant chacun plus de 10 ans d'expérience dans l'inventaire du milieu naturel. Préalablement aux inventaires sur le terrain, des appels ont été faits au MFFP afin d'obtenir un protocole standardisé pour les inventaires de mulettes. Aucun protocole n'était disponible à ce moment.

Conséquemment, un inventaire qualitatif a été réalisé. Cet inventaire consistait à la réalisation d'une recherche active de coquilles à marée basse. La zone à l'étude a été divisée en quatre secteurs de recherche. La figure 2 a été mise à jour afin d'illustrer les secteurs de fouilles actives, en plus des zones propices aux mulettes déjà identifiées (annexe A). Le tableau 12 de l'étude d'impact a également été mis à jour (tableau 4) pour indiquer les secteurs de recherche où les individus ont été observés.

Les mulettes vivantes et mortes retrouvées le long des berges ont été mesurées, photographiées et identifiées à l'espèce. Trois photos ont été prises, une vue du dessus et une vue latérale de chaque côté. Les espèces vivantes ont été remises à leur emplacement d'origine, en position inclinée avec la partie ventrale antérieure enfouie et le sommet vers le haut. Les coquilles vides ont été conservées.

Étant donné le faible niveau d'usure de la coquille d'obovarie, il est probable que cette espèce soit présente dans la zone d'étude. D'ailleurs, des occurrences sont répertoriées dans ce secteur par le CDPNQ.

La coquille de ligumie noire est plus abîmée. Selon le guide Poissons d'eau douce du Québec et des Maritimes, cette espèce est commune, mais généralement présente en faible nombre, ce qui pourrait expliquer qu'un seul individu a été retrouvé. Toutefois, trois des poissons-hôte de cette espèce ont été pêchés dans la zone à l'étude : la perchaude, le fondule barré et le doré. Ces informations indiquent que le site à l'étude est propice à la présence de cette espèce.

Les identifications réalisées sur le terrain ont été validées par Joe Keene, un biologiste spécialisé dans l'inventaire et l'identification des moules d'eau douce chez Stantec.

Tableau 4 Espèces de mulettes observées (Mise à jour du tableau 12 de l'ÉIE)

	Elliptio de l'Est	Lampsile rayée	Ligumie noire	Moule zébrée	Obovarie olivâtre
	Elliptio complanata	*Lampsilis radiata radiata*	*Ligumia recta*	*Dreissena polymorpha*	*Obovaria olivaria*
Secteur de recherche où les spécimens ont été observés	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1	1, 2, 3, 4	1, 2
Poisson-hôte	Mulet à corne, mulet de lac, fondule barré, épinoche à cinq épines, baret, perchaude, crapet et achigan	Perchaude, baret	Anguille d'Amérique, carpe, méné à tête rose, fondule barré, baret, perchaude, doré et crapet et achigan	n.a.	Esturgeon jaune et noir
Commentaire	Espèce dominante dans toutes les zones. Observation de spécimens vivants et de coquilles.	Espèce commune dans la zone d'étude. Observation de spécimens vivants et de coquilles.	Espèce observée qu'une seule fois. Coquille seulement.	Présente dans tous les secteurs sans être dominante. Observation de spécimens vivants et de coquilles.	En voie de disparition (COSEPAC), susceptible d'être désignée (provincial). Observation de coquilles seulement.

3.9 DESCRIPTION DU MILIEU HUMAIN

3.9.1 Patrimoine bâti

QC-14 Puisqu'il y a présence de bâtiments dans l'aire d'étude, la description du milieu humain de l'étude d'impact doit comprendre une description quantitative et qualitative qui brosse un portrait général des éléments du cadre bâti présents dans l'aire d'étude. Cette description doit être accompagnée de photographies et doit décrire les composantes bâties afin de déterminer si elles contiennent des éléments patrimoniaux.

- **À cet effet, l'initiateur pourrait réduire la zone d'étude en haut de la falaise dans le but de ne pas inclure une partie du quartier adjacent qui n'est pas compris dans le secteur des travaux.**
- **Également, l'initiateur doit consulter les lignes directrices pour la prise en compte du patrimoine bâti dans le cadre de la production d'une étude d'impact sur l'environnement (mcc.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/patrimoine/GuideEtudesImpact.pdf).**

Telle qu'illustrée sur la figure 4 révisée en annexe A du présent document, la zone d'étude a été réduite, pour l'analyse du patrimoine bâti, dans la portion nord et se limite désormais au haut de la falaise. La consultation du Répertoire du patrimoine culturel du Québec révèle qu'il ne se trouve aucun bâtiment cité, déclaré ou classé en vertu de la Loi sur le patrimoine culturel du Québec dans les nouvelles limites de la zone d'étude propre à l'étude du patrimoine bâti. Désormais, le seul bâtiment présent dans la zone d'étude

est celui du pavillon d'accueil attenant au stationnement. Ce bâtiment moderne n'offre aucun intérêt du point de vue patrimonial.

Suivant les directives des « *Lignes directrices pour la prise en compte du patrimoine bâti dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement* » (tableau de la page 4), la description quantitative et qualitative (DQQ) et l'évaluation de l'intérêt patrimonial (ÉIP) d'un élément du patrimoine bâti ne sont pas requises lorsqu'il ne se trouve pas de bâtiment dans les limites de la zone d'étude.

En conséquence de ce qui précède, la réalisation d'un avis sur le patrimoine bâti n'est pas jugée nécessaire, étant donné qu'il ne se trouve pas de bâtiment dans la zone d'étude, à l'exception du pavillon d'accueil.

3.9.2 Archéologie

QC-15 À la section 6.4.10. 1, p. 6.30 : La zone d'étude comprend un site patrimonial classé en vertu de la Loi sur le patrimoine culturel, le site archéologique Cartier-Roberval (CeEu-4), classé depuis le 8 février 2018. Il couvre l'ensemble du lot 3 851 503 et une partie du lot 3 851 504. Ce site correspond à une partie du premier établissement colonial français en Amérique et constitue le seul site archéologique associé à un établissement français du XVIe siècle connu au Québec.

- **L'initiateur doit traiter adéquatement de la présence de ce site patrimonial d'intérêt national dans toutes les sections requises et évaluer l'impact du projet sur les valeurs patrimoniales de celui-ci. À cet égard, le Répertoire du patrimoine culturel du Québec présente une description de ce site, ses valeurs patrimoniales, ses éléments caractéristiques et des informations historiques.**
- **La Figure 4 : Milieu humain doit également inclure le périmètre du site. Le ministère Culture et Communication peut fournir les données géospatiales à cette fin.**

SITES ARCHÉOLOGIQUES CONNUS

L'étude de potentiel archéologique fait état de quatre sites connus dans la zone d'étude, un appartenant à la période préhistorique (CeEt-70), un autre à la fois aux périodes préhistorique et historique (CeEu-18) et deux autres à la période historique (CeEu-4 et CeEu-20) :

- Boisé de la Gare (CeEt-70) : Lors d'un inventaire archéologique réalisé à l'extrémité est de la zone d'étude, une nouvelle station du site CeEt-70 a été identifiée sur un replat à 20 m d'altitude. Pintal (2010) associe un fragment d'outil bifacial à la période du Paléoindien récent, phase Plainville, qui pourrait dater de 9 000 à 8 000 ans
- Site de l'Église de Cap-Rouge (CeEu-18) : Historique et Sylvicole inférieur (3 000 à 2 400 AA)
- Îlot de la maison Jobin (CeEu-20) : Historique
- Site Cartier-Roberval (CeEu-4) : Site de la première tentative d'établissement colonial français en Amérique du Nord, entre 1541 et 1543.

- Le site Cartier-Roberval (CeEu-4) a été découvert à l'automne 2005 (Chrétien, 2006) au moment d'un inventaire préalable au projet de construction d'un belvédère par la Commission de la capitale nationale du Québec (voir la figure 4 révisée en annexe A du présent document). Il s'agit du fort d'en haut, qui représente « …*une partie du premier établissement colonial français en Amérique* » (Répertoire du patrimoine culturel du Québec).
- « *Le site archéologique Cartier-Roberval présente un intérêt patrimonial pour sa valeur historique. Le site correspond à une partie du premier établissement colonial français en Amérique. Le site présente également un intérêt pour sa valeur archéologique. Il s'agit du seul site archéologique associé à un établissement français du XVIe siècle connu au Québec. L'emplacement précis du site de Charlesbourg-Royal et de France-Roy est identifié en 2005 et confirmé par les campagnes de recherche archéologique effectuées au cours des années suivantes. Ce bien est classé site patrimonial. La collection d'objets du site archéologique Cartier-Roberval, comprenant plus de 6000 objets et fragments qui en ont été extraits, est classée objet patrimonial.* » (Répertoire du patrimoine culturel du Québec).
- Le site Cartier-Roberval offre de plus les seuls témoignages matériels du contact entre les Iroquoiens du Saint-Laurent et Jacques Cartier. Le site présente de rares vestiges pouvant être attribués aux Stadaconiens avant leur disparition. (Ville de Québec, 2016).

POTENTIEL ARCHÉOLOGIQUE

Préhistorique

Dans la région de Québec, la période préhistorique peut être découpée en trois grandes périodes culturelles : le Paléoindien (12 500 – 8 000 AA), l'Archaïque (9 500 – 3 000 AA) et le Sylvicole (3 000 –450 AA).

Les plus anciens indices d'occupation de la région par des Paléoindiens remontent à 9 500 AA et ont été retrouvés sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, à Saint-Romuald, près de la rivière Chaudière (Laliberté 1992, cité dans Ville de Québec 2016). Par ailleurs, aucun site n'a pu être attribué à la période de l'Archaïque ancien et moyen, dans la région de Québec et cette période reste mal comprise, les traces d'occupation humaine ayant probablement été détruites ou enfouies sous les sédiments. En effet, à cette époque, les rivages ont été successivement émergés puis submergés en raison de fluctuations importantes du niveau marin (Lamarche 2011, cité dans Ville de Québec 2016).

Au cours du Sylvicole inférieur, il semble que la région de Québec représentait la limite orientale d'un vaste réseau d'échange et d'interactions culturelles (Taché 2010 et Chrétien 1995, cité dans Ville de Québec 2016). Puis, selon des recherches récentes, des populations proto-iroquoiennes auraient commencé à développer une agriculture basée sur le maïs et le riz sauvage dans la région dès le début du Sylvicole moyen (Gates St-Pierre et Thompson 2015, cité dans Ville de Québec 2016). Ensuite, au Sylvicole supérieur, des populations de la famille iroquoienne se sont installées dans des villages de plus en plus gros (Ethnoscop 2012, cité dans Ville de Québec 2016), la production horticole s'est diversifiée, la production de poterie s'est complexifiée et la chasse et la pêche sont demeurées complémentaires de l'agriculture.

Bien que « les données archéologiques ne permettent pas de démontrer formellement l'existence de camps de base ou de villages occupés annuellement dans l'actuelle région de la ville de Québec » (Plourde 2011, cité dans Ville de Québec 2016), l'examen de plans anciens, de cartes topographiques et de données sur des sites connus dans la région a permis de déterminer quatre zones à potentiel archéologique préhistorique dans la zone d'étude. Les zones P1 et P2 présenteraient un fort potentiel compte tenu de la présence d'anciens ruisseaux à proximité, alors que les zones P3 et P4 auraient un potentiel moyen (Ville de Québec 2016). Ces zones à potentiel archéologique préhistorique sont illustrées à la figure 4 révisée de l'annexe A du présent rapport.

Historique

De 1534 à 1536, Jacques Cartier a rencontré des Iroquoiens provenant du village de Stadaconé et d'autres villages de la côte de Beaupré qu'il a décrits comme des horticulteurs semi-sédentaires vivant dans de petits villages non palissadés (Plourde 2011, cité dans Ville de Québec 2016). À cette époque, la région de Québec aurait compté de 7 à 10 villages. Selon Trigger (1978, cité dans Ville de Québec 2016), ces Iroquoiens avaient une économie basée sur les ressources marines du fleuve Saint-Laurent, mais également sur la culture du maïs et des autres cultigènes iroquoiens.

En 1541, Jacques Cartier tenta d'établir une colonie à l'embouchure de la rivière du Cap-Rouge, à la limite ouest du parc de la Plage-Jacques-Cartier. Un fort a été construit au pied du promontoire et un second à son sommet, mais le site fut abandonné en 1543 (Ville de Québec, 2016). Il pourrait y avoir eu des avant-postes ou des installations hors des strictes limites du site archéologique Cartier-Roberval (CeEu-4) et le parc de la Plage-Jacques-Cartier compte parmi les endroits qui présentent un potentiel archéologique associé à cet épisode.

Les populations iroquoiennes du Saint-Laurent auraient quitté la région de Québec au cours de la deuxième moitié du 16e siècle pour diverses raisons et les populations algonquine et montagnaise, déjà présentes sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, auraient ensuite séjourné dans la région. En 1608, Champlain a témoigné à son tour de la présence amérindienne aux abords du Saint-Laurent. Puis, en 1638, la mission de Sillery fut fondée, accueillant des populations algonquines et montagnaises aux prises avec la famine, la guérilla des Iroquois et les épidémies (Jetten 1994 et Levasseur 2009, cités dans Ville de Québec 2016). Certains groupes d'Abénaquis s'y sont installés aussi (Ethnoscop 2010, cité dans Ville de Québec 2016), puis au milieu du 17e siècle, des Hurons venus de l'Ontario ont commencé à arriver dans la région (Morissonneau 1978, cité dans Ville de Québec 2016). Ils occuperont divers emplacements dans l'actuelle ville de Québec (Paul 2000, cité dans Ville de Québec 2016), puis s'établiront à l'Ancienne Lorette à partir de 1673 et à la Jeune Lorette, l'actuel village huron de Wendake, en 1697.

ÉVALUATION DES IMPACTS

Telle qu'elle a été définie à la section 8 du rapport d'étude d'impact, l'évaluation d'un impact consiste à en déterminer l'importance, laquelle est fonction de trois paramètres, soit l'intensité de l'impact (mettant en relation la valeur environnementale de la composante du milieu avec le degré de perturbation appréhendé), la durée de l'impact et l'étendue de l'impact. La probabilité de voir cet impact se réaliser est ensuite évaluée.

9.3.1 Analyse des impacts environnementaux

Le tableau 26 du rapport d'étude d'impact présente la synthèse de l'analyse des impacts et de l'évaluation de l'importance de l'impact avec le cheminement décisionnel. Ce tableau présente également les mesures d'atténuation et une évaluation des impacts résiduels qui pourraient subsister après l'application de ces dernières dans le cadre du projet.

Patrimoine bâti et archéologie

Le patrimoine archéologique pourrait être perturbé au moment des excavations requises pour les divers travaux d'aménagement du projet. Au tableau 26, la valeur accordée aux vestiges archéologiques est très grande et leur perturbation éventuelle pourrait être forte et permanente.

Pour le site archéologique Cartier-Roberval spécifiquement, les impacts environnementaux du projet d'aménagement sont nuls, concernant les valeurs patrimoniales historiques et archéologiques du site. En effet, en raison de l'éloignement du site de l'aire de réalisation du projet, les travaux n'engendreront aucune conséquence. De plus, le site archéologique est situé en haut de la falaise et les travaux se dérouleront au bas de la falaise, environ à 400 m de distance vers l'est, pour la section la plus rapprochée du site archéologique.

QC-16 À la section 6.4.10. 2, p. 6.30 : Il n'est pas mentionné que l'étude de potentiel archéologique recommande un inventaire archéologique dans les quatre zones à potentiel archéologique préhistorique avant le début des travaux. De plus, l'étude recommande une évaluation des découvertes qui pourraient faire l'objet de fouilles archéologiques.

- **L'initiateur doit s'engager à déposer une stratégie d'inventaire et d'évaluation des découvertes avant la demande d'autorisation ministérielle.**

L'initiateur s'engage à déposer une stratégie d'intervention et d'évaluation des découvertes avant la demande d'autorisation ministérielle.

3.10 VARIANTES DE RÉALISATION

QC-17 Référence à l'annexe C, section 3 : Les solutions à l'érosion apportées dans l'étude d'impact sont basées sur des variantes étudiées dans le document de Norda Stelo (juin 2016), lequel fait référence à la directive du MDDELCC de 2013, plutôt qu'à celle de 2015.

- **L'initiateur doit présenter une comparaison des variantes beaucoup plus détaillée qui permettra de justifier le choix de la variante retenue.**
- **Il doit notamment justifier les raisons pour écarter les variantes de stabilisation végétale et de recharge de plage.**
- **Ajouter de l'information sur les impacts de chacune des variantes sur l'environnement, telle que l'empiétement dans la rive et le littoral occasionné par les ouvrages ou les fonctions écologiques perdues par l'artificialisation de la rive.**

La comparaison ci-dessous des variantes de solutions a été effectuée à partir de celles qui s'avéraient réalistement les plus applicables dans le contexte de la plage Jacques-Cartier.

ENROCHEMENTS VS ENROCHEMENTS VÉGÉTALISÉS

En 2012, BPR (aujourd'hui Tetra Tech) avait proposé de l'enrochement non végétalisé sur pratiquement tous les tronçons, solution reprise aux mêmes endroits par Norda Stelo (2016), mais avec une variante de végétalisation uniquement sur le haut de talus (voir tableau 5 à la QC-18). Cette solution ultime n'a été retenue par Stantec que, sur les tronçons 1, 2 et 3a où les interventions consistent en réparations ponctuelles d'un ancien enrochement non végétalisé (voir coupe type AM-01 en annexe C de la note technique de Stantec [février 2019] - annexe B), ainsi que 6a, si la végétalisation de l'enrochement ne s'avère pas faisable lors des plans et devis, notamment en raison de sa pente plus prononcée (1,5H : 1V) ou encore d'autres caractéristiques du site inappropriées pour cette intervention (voir coupe type AM-03 de l'annexe C de la note). Ailleurs, Stantec propose principalement des interventions d'enrochement végétalisé (coupe type AM-02), parce que, d'une part, c'est une solution plus esthétique dans un parc récréotouristique, plus acceptable sur le plan des habitats fauniques et floristiques riverains, et tout aussi performantes sur le plan des objectifs de stabilisation, tout en constituant des structures moins imposantes, notamment en en termes de quantités requises de pierres.

D'autre part, il est notoire que l'enrochement constitue, avec raison, une mesure ultime (qui ne devrait être appliquée qu'aux situations d'extrêmes urgences), décriée partout dans le monde depuis plus de 20 ou 30 années en raison, entre autres, de ses effets :

1- sur la réflexion directe de l'énergie des vagues sur une surface dure, et ce, avec une faible atténuation dont l'ampleur dépend du niveau d'imbrication des pierres (plus la surface de l'enrochement est lisse et plus les pierres sont bien placées et imbriquées ne laissant que de petits interstices …, plus l'énergie résiduelle et l'action érosive des vagues sont grandes) ;

2- sur l'augmentation des vitesses de courants et la création de courants tourbillonnaires (vortex)) ;

3- sur l'accentuation de l'érosion aux extrémités (effets de bout) et sur les plages devant les ouvrages ;

4- sur l'imperméabilisation des sources d'alimentation littorale du système sédimentaire local ;

5- sur les pertes directes par empiétement, et indirectes par érosion des habitats fauniques et floristiques du littoral, ainsi que ;

6- sur l'artificialisation des paysages qu'ils induisent.

Il convient de souligner ici que bien que Norda Stelo (2016) était d'avis que la technique mixte d'enrochements végétalisés n'était pas applicable aux berges de ce secteur, Stantec est plutôt d'avis qu'avec l'ajout des deux épis proposés l'énergie hydrodynamique du secteur sera suffisamment atténuée pour permettre maintenant d'appliquer cette technique mixte de génie végétal.

RECHARGES DE PLAGES

Dans le cadre du projet de la plage Jacques-Cartier, des recharges de plages ont été proposées par BPR (2012), par Norda Stelo (2016) et par Stantec (2018). De plus en plus considérées au Québec dans les projets de stabilisation, celles-ci ont pour fonction de déplacer vers le large, l'endroit où les vagues se brisent et perdent ainsi de leur énergie érosive, de manière à éloigner et ainsi protéger les talus d'érosion. Il s'agit d'une intervention jugée « douce » comparativement aux ouvrages durs (murs chasse-mer, murets, enrochements, gabions, brise-lames, etc.), mais qui demandent des entretiens fréquents à partir de nouvelles recharges afin de combler les pertes continuelles de matériaux dues à l'action érosive des vagues et des courants. Afin de limiter ces pertes de matériaux, les recharges peuvent être accompagnées d'épis qui viennent briser les vagues avant qu'elles n'atteignent la plage rechargée. De cette manière, on réduit la récurrence des recharges d'entretien et on limite les coûts et les impacts liés à ces travaux, d'autant plus que les épis favorisent également la sédimentation, et l'accumulation aux endroits les plus abrités, des matériaux naturellement transportés par l'eau d'un cours d'eau. Il est ainsi fort probable qu'une partie des recharges aménagées soit recouverte de matériaux naturels provenant du fleuve. Une autre façon de réduite cette récurrence est d'augmenter le diamètre des granulats utilisés pour la recharge. En effet, plus le granulat est grossier, plus celui-ci est stable sur la plage. Par contre, moins les matériaux sont attrayants pour les usagers d'un parc récréotouristique. On considère généralement qu'un granulat de 10 mm correspond à une limite maximale acceptable pour les usagers d'une plage. Or, comme l'énergie hydrodynamique des plages de ce parc fait en sorte que des granulats de plus fort calibre serait requis (environ 15 à 90 mm selon les calculs de Norda Stelo [2016]), il a été décidé d'utiliser un granulat de plus faible diamètre et de fixer des géogrilles sur le roc sous les surfaces de recharges afin d'en augmenter la durabilité et d'ainsi réduire la récurrence des recharges d'entretien. Il est à noter également qu'un granulat de plus fort calibre que celui des matériaux naturels (1 à 3 mm pour un D_{50} d'environ 1,5 mm) représenterait une modification importante des caractéristiques des habitats et donc des changements significatifs dans les communautés biologiques fréquentant les tronçons où ces recharges sont prévues. Ces endroits sont les tronçons 4, 6 et 7 ainsi que le tronçon 5, si cette intervention y est retenue.

ÉPIS

Tel que suggéré par le MELCC dans ses commentaires n°s 4, 6, 13 et 14 de juin 2016 sur l'étude des variantes de Norda Stelo (2016 ; la liste de ces commentaires est fournie à la fin de l'annexe C de l'étude d'impact [Stantec 2018]), la possibilité d'aménager des épis sur la plage Jacques-Cartier a été sérieusement examinée afin de :

- briser l'énergie des vagues ;
- ralentir les courants le long des berges à marée haute ;
- favoriser la sédimentation et l'accumulation de matériaux sur leur côté amont et aval ;
- réduire les récurrences de recharge et de pouvoir ajuster les caractéristiques des matériaux de ces recharges ;
- de permettre d'intégrer davantage de techniques de génie végétal pur et mixte pour stabiliser les talus d'érosion des berges.

Or, sur la base des études hydrauliques de Stantec (note technique à l'annexe D de l'étude d'impact et version révisée de cette note (Stantec, février 2019) présentée à l'annexe B de la présente étude), il s'est avéré en effet que l'implantation de tels ouvrages serait bénéfique sur ces différents aspects. Les détails expliquant ces bénéfices ainsi que les raisons indiquant pourquoi deux épis ont été proposés et non un seul ou trois et plus, ainsi que pourquoi ils ont été proposés à ces endroits plutôt qu'à d'autres, sont présentés dans la note de Stantec (2019) ainsi que dans les réponses du présent document au commentaire 1 b de la section 3.2 ainsi qu'aux QC-9, 21, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 45, 46, 47 et 49.

Pour répondre à un commentaire du MELCC transmis à la Ville de Québec et Stantec, le 7 décembre 2018, qui mentionne que, « dans d'autres projets situés dans le même tronçon du fleuve, il a été montré que des marais situés à proximité d'un épi sont pourtant en érosion », Stantec tient à mentionner que pour les cas régionaux qu'elle connaît où se phénomène est effectivement observable, suite aux développements consécutifs durant plusieurs années des herbiers sur les zones de sédiments accumulés, on observe en effet à certains endroits de l'érosion progressive. Or, celle-ci n'est pas réellement liée à la présence de l'ouvrage, mais plutôt aux changements climatiques des dernières décennies et à l'augmentation notable du trafic maritime des navires commerciaux, et surtout des embarcations de plaisance (batillage). À noter qu'un épi, dont l'objectif principal est toujours de contrôler l'érosion, ne devrait donc pas en induire. Par contre, une jetée ou un brise-lames, construit à des fins portuaires, peut avoir été conçu sans tenir compte de l'érosion potentielle des berges, et peut donc en induire. Il faut donc porter une attention à la vocation réelle des ouvrages qui ont été aménagés.

BRISE-LAMES

Aucun brise-lames parallèle à la rive n'a été proposé parce qu'il aurait aussi été parallèle au sens du courant et qu'il ne serait pas opposé aux vagues. Cela n'aurait donc eu que très peu d'effets sur les vitesses de courant et n'aurait pas réduit l'énergie des vagues. L'érosion des berges se serait ainsi poursuivie et les objectifs de l'intervention de stabilisation n'auraient pas été atteints. Sans compter que cela aurait induit une empreinte inutile dans l'habitat du poisson. En fait, si cette solution avait été envisagée afin de protéger les talus, il aurait été nécessaire de créer une digue parallèle tout au long de ces talus. La construction de la digue aurait évidemment eu d'autres impacts importants, dont sur les milieux humides, en d'avoir été très dispendieux.

GÉNIE VÉGÉTAL

Des techniques de génie végétal « pur » (fagots, fascines, rangs de plançons, matelas de branches, plantation, ensemencement, etc.), n'ont pas été proposées partout sous la LHE (4,5 m géodésiques) sur les tronçons 4 à 7 parce que, comme le soulignait aussi Norda Stelo (2016 ; pp : 41-42), il y a des zones plus exposées où l'énergie érosive des vagues est trop forte pour que des techniques douces puissent s'y ancrer de façon pérenne. C'est le cas pour les tronçons 4, 5, 6a, 6b et 7b. En fait, seuls les tronçons 6c et 7a permettent l'installation de génie végétal pur sous la LHE.

Il ne faut surtout pas oublier que l'enrochement végétalisé est une technique de génie végétal dite « mixte » qui offre une grande résistance et résilience. Les saules et les cornouillers ont des racines profondes et étalées qui tapissent le dessous des structures et font office de membrane géotextile naturelle empêchant ainsi les matériaux fins d'être extraits par l'infiltration des vagues et de provoquer un affaissement de la

structure ou son affouillement. De plus, les tiges agissent en tant que dissipateurs efficaces de l'énergie des vagues, et même lorsqu'elles sont cassées par les glaces, elles sont très résilientes et repoussent quand même au printemps. Et puis, elles forment un habitat utilisable par une faune très diversifiée (poissons lors des inondations printanières, amphibiens, reptiles, mammifères, oiseaux, dont des canards, etc.).

AUTRES SOLUTIONS ET SYNTHÈSE

Il existe plusieurs autres solutions de stabilisation de berges, notamment pour les milieux où le substrat des berges et de la plage est plus profond, plus sablonneux ou d'autres particularités. Mais, pour un secteur comme celui de la plage Jacques-Cartier où il y a peu de substrat meuble au-dessus du roc affleurant et où l'estran n'est somme toute pas très large, il n'existe pas vraiment d'autres solutions applicables que celles étudiées. Au niveau des techniques de génie végétal douces, celle des caissons peut s'avérer aussi solide lorsque bien construite que la technique mixte des enrochements végétalisés. Cependant, dans le cas de cette plage, elle n'est pas applicable parce que l'on ne peut pas ancrer suffisamment profondément les premiers étages de ces structures. Elles risquent de se faire déchausser et arracher lors d'une grosse tempête maritime, ce qui n'est pas le cas avec l'enrochement végétalisé.

Pour ce qui est des autres techniques telles que les palissades et les épis en pieux de bois, elles peuvent être intéressantes sur des sites où on peut les enfoncer profondément dans le substrat. Mais, le roc affleurant de la plage Jacques-Cartier empêche leur utilisation.

Dans le contexte particulier de la plage Jacques-Cartier, les techniques de génie végétal pur peuvent être utilisées uniquement au niveau des tronçons 6c et 7a. À ces endroits, les talus d'érosion sont d'une faible hauteur, comprise entre 30 et 50 cm. Ceux-ci sont moins exposés ou sont protégés par des hauts-fonds rocheux présents sur l'estran entre les tronçons 6 et 7.

Avec les ouvrages proposés, outre l'empreinte directe des épis qui, par ailleurs, sont en très grande partie construits directement sur le roc de l'estran, il n'y a pas de pertes réelles de fonctions écologiques. Au contraire, les enrochements végétalisés et les tronçons en génie végétal auront plutôt pour effet de renaturaliser des sites perturbés par l'érosion active. De plus, les épis diminueront l'énergie des vagues, ralentiront les vitesses de courant et induiront ainsi de la sédimentation sur leurs côtés amont et aval, ce qui favorisera le développement local des herbiers aquatiques (voir les réponses aux QC-49 et QC-51). Ainsi, même les zones initiales de recharge devraient être recouvertes en partie sur leurs abords par cette sédimentation, de sorte que les modifications que pourraient y subir les habitats par ces nouveaux matériaux y seraient relativement légères. Certains changements dans la répartition et l'abondance relative des espèces fauniques et floristiques de ces habitats pourront se faire sentir en raison du relèvement local du fond (modification de la bathymétrie). Cependant, ces changements devraient suivre le déplacement horizontal des isobathes sans en affecter la composition biologique initiale, à laquelle pourront s'ajouter de nouvelles espèces qui y retrouveront de nouvelles conditions propices.

QC-18 L'étude d'impact présente plusieurs études d'évaluations et d'analyses de variantes. Par contre, aucun tableau comparatif ne montre l'information regroupée afin de bien comprendre les changements (gains, pertes, avantages, inconvénients) entre chacune des études.

- **L'initiateur doit ajouter un tableau synthèse comparatif décrivant les améliorations des variantes proposées comparées aux précédentes.**

Une synthèse comparative des différentes études est présentée dans le tableau 5. Il va sans dire que, comme l'exercice des trois entreprises impliquées depuis 2012 s'inscrit dans un processus d'amélioration continue, la solution présentée dans l'étude d'impact de Stantec (2018) s'avère la plus avantageuse. Ses inconvénients les plus importants sont 1- la modification permanente du paysage à marée basse due à la présence des deux épis (atténuée par une hauteur près du niveau de la marée moyenne et le choix de pierres arrondies d'un cachet plus naturel que la pierre dynamitée) et 2- l'entrave à la navigation de plaisance qui requerra un balisage clair de ces épis, même de nuit.

Tableau 5 Comparaison des variantes considérées pour les tronçons à l'étude

Tronçon	Chaînage	Étude de BPR (2012)		Étude de Norda Stelo (2016)		Étude de Stantec (2018)	
		Solutions proposées	Avantages et inconvénients	Solutions proposées	Avantages et inconvénients	Solutions proposées	Avantages et inconvénients
1	0+075 à 0+250 km	**Enrochement non végétalisé**	Des enrochements non végétalisés sont proposés puisque l'observation des aménagements actuels a montré que celle-ci ne pouvait survivre à l'action des vagues. Une bande végétalisée composée de gazon et d'espèce arbustive et arborescente sera aménagée en haut de talus.	**Enrochement avec végétalisation de haut de talus**	Enrochement existant avec calibre de pierre adéquat pouvant être réutilisé. Impact visuel faible puisque les berges sont déjà enrochées. Les matériaux excavés en bas de talus sont réutilisés pour le remblai en haut de talus ce qui évite le transport de matériel de remblai vers le site (camionnage). Une quantité de matériel de déblai devra potentiellement être disposée hors site (camionnage). Ajout de végétation qui donne un aspect plus naturel à l'aménagement. Empiétement en milieu naturel faible comparé à la méthode de recharge en plage. Solution ayant une bonne efficacité et qui requière peu d'entretien. C'est une méthode connue, éprouvée qui peut être réalisée à faible coût. Permet d'éliminer le recul des berges.	**Enrochement de gros calibre au pied de talus sans végétalisation de la pente. Végétalisation du haut de talus aux endroits où cela sera possible en fonction de l'espace disponible.** **Interventions ponctuelles d'enrochements de réparation pour les tronçons 1, 2 et 3a.** **Le tronçon 3b sera entièrement refait selon la méthode de l'enrochement végétalisé, avec les avantages et inconvénients tels que décrits ci-après.**	Les inconvénients habituels des nouveaux enrochements sur le milieu aquatique sont notamment les suivants : - Imperméabilise la côte et coupe ainsi les apports en sédiment « frais » au système sédimentaire local et même parfois régional. - Induit une érosion à l'extrémité aval des structures en raison de l'accélération des vitesses de courants et de la création de courants circulaires (vortex) efficaces pour arracher les matériaux (effets de bout). - Induit une érosion de la plage et, le cas échéant, des herbiers présents en front de ces ouvrages dû à la réflexion des vagues (ressac) sur leur surface. Les enrochements étant existants depuis longtemps, le milieu s'est adapté du point de vue environnemental. Il n'y aura donc pas de nouveaux impacts négatifs sur le milieu. Cependant, les impacts positifs seront : - Consolidation et augmentation de la durabilité d'un ouvrage existant. - Protection rapide des composantes de l'environnement (équipements ou activités humaines) situées directement derrière l'ouvrage.
2	0+250 à 0+450 km	**Recharge et mise en forme de l'enrochement actuel**	Rien n'a été précisé à ce sujet dans ce rapport sur cette technique.				
3	0+450 à 0+620 km	**Enrochement non végétalisé**	**Idem à précédent (T1)**				
4	0+730 à 0+820 km	**Couvert végétal avec enrochement**	Combinaison de deux méthodes : protection mécanique et végétale. Assure une stabilisation tout en présentant un caractère plus naturel Aménagement adapté aux secteurs exposés moins directement aux vagues ou partiellement protégés par une longue plage à faible pente	**Enrochement avec végétalisation de haut de talus**	Les matériaux excavés en bas de talus sont réutilisés pour le remblai en haut de talus, ce qui évite le transport de matériel de remblai depuis un site (camionnage). Une quantité de matériel de déblai devra potentiellement être disposée hors site (camionnage). Ajout de végétation qui donne un aspect plus naturel à l'aménagement. Empiétement en milieu naturel faible comparé à la méthode de recharge en plage. La recharge de plage ne peut être utilisée dans ce secteur	**Enrochement végétalisé du talus et génie végétal en haut de talus. Épi (épi A) et recharge de plage T4 avec géogrille**	**Enrochement végétalisé et génie végétal.** Construction de l'enrochement derrière le pied du talus actif d'érosion permettant d'éliminer l'empiétement dans le littoral. Reprofilage du talus au-dessus de la LHE Ceci permettant de retirer un certain volume de débris, de blocs de béton et de matériaux contaminés pouvant être présent à cet endroit. Lors de la construction de l'enrochement, plantation directement dans la structure d'espèces arbustives **résilientes** qui assurent la formation d'une bande végétale constituant un habitat d'intérêt pour la faune ripicole, la faune ailée et l'ichtyofaune.

Tronçon	Chaînage	Étude de BPR (2012)		Étude de Norda Stelo (2016)		Étude de Stantec (2018)	
		Solutions proposées	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**
					étant donné l'exposition de la côte à l'action des vagues. Le déplacement et la présence de matériaux de recharge pourraient compromettre le fonctionnement de la conduite. L'enrochement est une solution efficace et qui requière peu d'entretien. C'est une méthode connue, éprouvée et qui peut être réalisée à faible coût. Permet d'éliminer le recul des berges.		Cette technique n'est pas considérée comme une perte d'habitat parce que la rive conserve, voire même augmente, la qualité de l'habitat floristique et faunique puisque la berge érodée en continu est stabilisée et végétalisée, ce qui augmente la superficie d'habitats. Les racines et les tiges mélangées à l'ouvrage induisent un effet structurant qui vient le renforcir et en accroître la pérennité. Au-dessus de la LHE ou dans la bande du sommet qui longe les ouvrages, des techniques de génie végétal sont appliquées pour empêcher que les vagues des surcotes de tempêtes maritimes ne viennent éroder ces surfaces situées derrière les ouvrages. Dans les sections plus actives et sensibles, un dallage de pierres peut aussi être appliqué avant d'intégrer les végétaux. La végétation en bordure de sentier doit être entretenue afin de ne pas obstruer la vue sur le fleuve. **Épi** Permet d'atténuer la hauteur et l'énergie des vagues et donc aussi l'érosion des berges situées derrière la provenance des vents et vagues. Favorise la sédimentation sur le côté aval de l'arrivée dominante des vagues et des courants. Hauteur limitée afin de conserver les qualités esthétiques du paysage. Induit néanmoins une empreinte dans l'habitat du poisson directement sous l'ouvrage. **Recharge de plage avec géogrille,** Diminution des hauteurs de vagues, des vitesses de courants et accroissement de la sédimentation induite. Élimination ou du moins réduction notable de l'érosion du sol le long des rives. Pertes continuelles de matériaux au gré des événements météorologiques induisant des apports récurrents de nouveaux matériaux afin de maintenir les avantages de cette technique. La combinaison de cette technique avec l'installation d'un épi permet de

Tronçon	Chaînage	Étude de BPR (2012)		Étude de Norda Stelo (2016)		Étude de Stantec (2018)	
		Solutions proposées	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**
							diminuer la récurrence des interventions de recharge d'entretien. Les coûts associés à la recharge sont importants et cette opération doit être répétée à plusieurs reprises au cours des années qui suivent. La construction d'une recharge induit une modification des caractéristiques des matériaux supportant les habitats floristiques et fauniques du site. L'importance de cet impact est liée aux différences réelles entre la nature et les dimensions des matériaux d'origine et celles des nouveaux matériaux. Plus la différence est faible, moins l'impact est important sur les habitats. Mais, plus la récurrence des recharges d'entretien est élevée.
5	1+020 à 1+130 km	**Enrochement non végétalisé**	**Idem à précédents (T1 et T3)**	**Enrochement avec végétalisation de haut de talus**	**Idem à précédent (T4)**	**Enrochement végétalisé du talus et génie végétal en haut de talus. Épi (épi A) et recharge de plage T5 avec géogrille**	**Idem à précédent (T4)** Cependant, la recharge de plage y est moins évidente à aménager parce ce tronçon est relativement exposé aux vagues et qu'ainsi cet ouvrage y requerrait beaucoup plus d'entretien. Mais, celle-ci n'est pas infaisable.
6	1+200 à 1+350 km	**Enrochement non végétalisé**	**Idem à précédents (T1, T3 et T5)**	**Enrochement avec végétalisation de haut de talus**	**Idem à précédents (T4 et T5)** Tronçon trop court pour que la recharge de plage puisse être utilisée de façon efficace. De plus, l'enrochement est plus sécuritaire puisque le talus présente une hauteur importante.	**Enrochement végétalisé du talus et génie végétal en haut de talus pour 6b. Épi (épi B) et recharge de plage T6 avec géogrille.** **Enrochement du tronçon 6a sur 34 m sans ou avec végétalisation et génie végétal en haut de talus.** **Génie végétal sur tronçon 6c.**	**Idem à précédents (T4 et T5)** Pour ce qui est du tronçon 6a, même si l'enrochement ne devait pas être végétalisé, sa courte longueur (34 m), sa position directement à l'extrémité ouest de 6b et sa position par rapport aux épis A et B et à la recharge T6, font en sorte qu'aucun des impacts habituellement induits par de tels enrochements ne devrait être significativement observé. **Génie végétal** Les avantages et inconvénients sont décrits ci-après.
7	1+680 à 2+000 km	**Enrochement non végétalisé**	**Idem à précédents (T1, T3, T5 et T6)**	**Enrochement avec végétalisation de haut de talus et recharge de plage**	**Idem à précédents (T4, T5 et T6)** Méthode adaptée dans les secteurs où l'érosion est plus importante jusqu'à l'enrochement existant. Impact visuel réduit puisqu'une section de ce tronçon est déjà enrochée. **Recharge** L'utilisation d'une solution mixte avec recharge permet de préserver l'accès à la	**Génie végétal sur tronçon T7a.** **Enrochement végétalisé du talus et génie végétal en haut de talus pour 7b. Épi (épi B) et recharge de plage T7 avec géogrille.**	**Génie végétal** Les techniques de génie végétal sont des techniques légères de stabilisation, qui, à part un petit reprofilage du talus d'érosion (30 à 50 cm environ), n'entraînent pas d'inconvénients significatifs. Appliquées sur une longueur de 279 m, ces techniques de fascines, fagots, plantation et ensemencement vont permettre de restaurer un habitat dégradé sans fonction écologique réelle. **Enrochement végétalisé**

Tronçon	Chaînage	Étude de BPR (2012)		Étude de Norda Stelo (2016)		Étude de Stantec (2018)	
		Solutions proposées	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**	**Solutions proposées**	**Avantages et inconvénients**
					plage et conserve aussi son aspect initial dans un secteur très apprécié et fréquenté. Solution présentant un coût de réalisation plus élevé Par souci d'uniformisation la recharge de plage se poursuivre au niveau de l'enrochement. Travaux qui doivent être refaits périodiquement. Nécessite un empiétement plus important que l'enrochement dans le milieu aquatique, mais qui peut être considéré comme « bénéfique » au plan environnemental Franchissement possible (submersion) au niveau des secteurs où la recharge de plage est utilisée. Cette méthode présente des résultats moins prévisibles puisqu'il s'agit d'un ouvrage dynamique et d'une technique relativement nouvelle. L'approvisionnement en matériaux naturels peut être difficile. Impact visuel fort après les travaux, mais qui tend à être faible à moyen à long terme		**Idem à T4, T5, et T6** À l'endroit où T7b sera construit, il y a un massif rocheux au-dessus duquel se situe un sentier menacé par l'érosion. Cet ouvrage viendra stabiliser et végétaliser un site pratiquement dénudé au complet.

QC-19 À la section 7.2, les différents types de stabilisation sont expliqués. Cependant, aucun plan ou référence à un plan ne permet de bien comprendre la nature des travaux à venir.

- **L'étude doit présenter des coupes types pour chacun des tronçons en fonction des nouveaux aménagements proposés.**

Des coupes types sont présentées à l'annexe C de la note technique (Stantec, février 2019) jointe à l'annexe B du présent document.

- La coupe type AM-01 s'applique aux réparations ponctuelles d'enrochement qui seront réalisées aux tronçons 1, 2 et 3a ;
- La coupe type AM-02 s'applique aux tronçons 3b, 4, 5, 6b et 7b. Il est à noter qu'au tronçon 4, la pente pourrait être de 2V : 1 H en raison de la présence de sols contaminés dans le parc adjacent. Toutefois, celle-ci pourrait être diminuée, si les vérifications de présence de contaminants effectuées au préalable au droit de l'ouvrage prévu démontraient l'absence de ceux-ci sur une bande plus large ;
- La coupe type AM-03 ne s'applique qu'au tronçon 6a et sa pente 1,5 V : 1 H est plus prononcée en raison de l'étroitesse de la plage à cet endroit à marée haute et de la circulation pédestre des usagers qui doit être maintenue ;
- La coupe AM-04 de génie végétal s'applique aux tronçons 6c et 7a.

Par ailleurs, le pied de tous les ouvrages, à part ceux du tronçon 6a et peut-être en partie ceux des tronçons 3b et 7b (à préciser lors des plans et devis), seront localisés essentiellement au droit du pied du talus d'érosion, tel qu'il sera observé au moment de la réalisation des travaux. Cela aura pour avantage de limiter au maximum l'empiétement direct dans le milieu hydrique. Ainsi, l'empiétement sera certain au niveau du tronçon 6a, et « possible » en partie au niveau des tronçons 3b et 7b. Au niveau des réparations ponctuelles dans les tronçons 1, 2 et 3a, il y aura assurément aussi quelques empiétements. Mais, ceux-ci ne pourront être précisés avant la réalisation des plans et devis qui seront annexés à la demande d'autorisation ministérielle pour les besoins de construction. L'ampleur de ces empiétements est présentée au « tableau 27 révisé » qui se trouve à la QC-49.

QC-20 Bien que la section 7.2 comprenne les raisons du choix des variantes pour les différents tronçons, certains questionnements demeurent. En effet, on s'interroge sur le positionnement de l'épi B directement dans un herbier aquatique, alors que l'espace semble suffisant entre les herbiers H7 et H8 (Figure 2 Milieu Biophysique).

- **L'initiateur doit expliquer le choix de cette localisation.**

Basé notamment sur la présence sur l'estran d'un haut-fond rocheux, l'endroit choisi permet aussi de réaliser un épi plus long avant d'atteindre le niveau de marée basse et d'ainsi optimiser l'efficacité de ce haut-fond pour atténuer l'énergie des vagues de toute provenance. À noter que les herbiers vont subir diverses modifications en étendue, en densité et peut-être également en abondance relative des différentes espèces végétales. Nous sommes d'avis que l'habitat floristique et faunique s'en trouvera amélioré, notamment en raison d'une diminution de leur exposition à l'intensité des vagues de tempêtes. Il est également possible que davantage d'espèces végétales à statut particulier puissent s'y développer en

raison de cette diminution de l'énergie hydraulique et de l'accroissement de la sédimentation. En effet, plusieurs espèces végétales des littoraux de la région, dont des espèces à statut, libèrent des graines qui se distribuent au gré des vagues et des courants jusqu'à leurs lieux naturels de déposition.

3.11 ANALYSES DES VARIANTES - RÉFÉRENCE À L'ANNEXE D

3.11.1 Niveaux d'eau et changements climatiques

QC-21 Annexe D, section 1, p. 2 : Pour la mise à jour des niveaux d'eau, les données de 1962 à 2017 ont été utilisées par le consultant. Par contre, l'impact des changements climatiques sur les niveaux d'eau n'a pas été pris en compte. Cela peut avoir une influence sur les critères de conception. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat prévoit pourtant des scénarios de remontée du niveau des mers sur un horizon allant jusqu'en 2100.

- **L'initiateur doit présenter un scénario incluant le rehaussement du niveau des mers pour la durée de vie utile des ouvrages proposés. Dans cette optique, il faut aussi prendre en compte le relèvement isostatique de la croûte terrestre prévu dans le secteur et soustraire cette valeur au rehaussement du niveau des mers envisagé. Cette information est fournie par Ressources naturelles Canada.**

Une variation des niveaux d'eau est effectivement à prévoir pour les 50 prochaines années. Une analyse des niveaux d'eau effectuée en décembre 2017 pour le projet du Port de Québec : Beauport 2020 par Consultants Ropars inc. (2017) présente d'ailleurs des résultats applicables pour le présent projet. Ce rapport indique qu'en fonction des données historiques du niveau d'eau moyen, on pouvait distinguer trois « époques » distinctes, soit :

- Avant 1990 : baisse régulière du niveau relatif moyen de l'ordre de 2 mm/an ;
- Entre 1990 et 2010 : stabilité du niveau relatif moyen ;
- À partir de 2010 : augmentation du niveau relatif moyen de l'ordre de 7 mm/an.

En effet, selon cette analyse, la période de 2010 à 2017 (Vieux-Québec) est caractérisée par une hausse moyenne du niveau d'eau de 7 mm/an. Le modèle permettant de calculer pour tout point au Canada le taux de mouvement de la croûte terrestre développé par Ressources naturelles Canada permet d'établir un taux de relèvement de 2,28 mm/an vers le haut pour le site de la Baie de Beauport (Consultant Ropars inc., 2017). La combinaison de la hausse du niveau d'eau et du relèvement isostatique révèle un rehaussement moyen de 4,7 mm/an.

Les calculs de l'équipe hydraulique de Stantec arrivent à un rehaussement du niveau de l'eau de 23 cm sur 50 ans (section 1.0 de la note technique de Stantec [2019]). Ce résultat est plus conservateur que le rehaussement effectif du niveau d'eau évalué par Ropars (2017) qui est de 0,14 m en 50 ans et de celui évalué par une étude de Pêches et Océans Canada (Zhai et al. 2014) qui est de 0,16 m en 50 ans.

Les critères de conception ont donc été revus en conséquence et la crête des épis passera d'un niveau de 3,09 à 3,32 m. À noter que le niveau inférieur des épis a été situé à la cote de -2,02 qui équivaut au niveau bas de récurrences 20 ans. Celui-ci n'est pas affecté par les changements climatiques.

3.11.2 Modèle numérique de terrain

QC-22 Annexe D, section 2.1, p. 3 : Il est mentionné qu'un arpentage a été réalisé sur les berges et sur la plage. La zone arpentée ne couvre pas toute la largeur du fleuve. Ainsi, la carte marine V-1316 du Service hydrographique du Canada a été obtenue. Sur la terre ferme, en dehors des limites de la carte bathymétrique, les données topographiques 1:50 000 disponibles sur Géoboutique ont été également obtenues.

De manière à améliorer la précision :

- **Un plan détaillé avec les endroits relevés doit être présenté pour bien visualiser le territoire couvert.**

Deux relevés LiDAR fournis par la Ville de Québec pour les années 2012 et 2017 ont été étudiés et présentent des différences. Le fichier LiDAR de l'année 2012 a été choisi en raison du fait qu'il permettait d'obtenir une meilleure couverture des élévations de la zone d'étude à marée basse. Les données d'élévation du LiDAR ont été jumelées aux données de bathymétrie en appliquant des facteurs de corrections appropriés pour obtenir une couverture complète des élévations (Z en datum géodésique) de la zone d'étude. La carte 5 à l'annexe A du présent document illustre les zones couvertes par chacun des relevés (étendue, méthode et année).

- **Les techniques utilisées pour établir la bathymétrie ne sont pas très précises pour représenter toutes les subtilités de l'estran, l'initiateur doit utiliser des techniques plus appropriées.**

Un relevé bathymétrique a été effectué par le Groupe de GéniArp les 7 et 15 août 2017 à l'aide d'un échosondeur à balayage multifaisceaux R2Sonic 2022. Les relevés ont été effectués le plus près possible du rivage à marée haute et les relevés plus au large, lors de la marée intermédiaire (soit au flot ou au jusant). Les données obtenues sont très précises, car le niveau de précision des élévations est de l'ordre du centimètre avec un espacement des sondages de 0,5 m sur 0,5 m. Les données obtenues ne couvrent toutefois pas le haut de la plage, car il n'était pas accessible par bateau au moment des relevés. Pour compléter les données bathymétriques au-delà du secteur couvert par le relevé de 2017, les données de carte marine du SHC ont été utilisées, celles de GéniArp couvrant une profondeur suffisante.

- **À cet effet, il existe un relevé LIDAR 2013 qui a été mandaté par la Ville ou la communauté métropolitaine de Québec dans ce secteur, et la ville dispose d'images aériennes à haute résolution à marée basse. L'initiateur doit préciser pourquoi ceux-ci n'ont pas été utilisés pour la modélisation numérique de terrain.**

Voir la réponse au premier point de la QC-22.

- **Advenant le cas où ces données ne seraient pas accessibles, un relevé bathymétrique en embarcation doit être considéré.**

Comme discuté précédemment, le relevé bathymétrique de 2017 est jugé suffisamment précis et étendu en couverture vers le large pour les besoins de l'étude. Il s'est avéré que l'utilisation des données bathymétriques du SHC (2010) n'aurait rien changé aux résultats des modélisations avec Mike 21.

QC-23 Annexe D, section 2.1, p. 3 : Il est mentionné qu'une modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS 5.0.3 pour vérifier si l'écoulement du fleuve est une cause de l'érosion observée.

- **L'initiateur doit préciser pourquoi la version 5.0.3 du logiciel HEC-RAS a été utilisée alors qu'une version plus récente (5.0.4) était disponible lors de la réalisation de l'étude.**
- **Advenant le cas où les résultats seraient plus probants avec la version 5.0.4, l'initiateur doit utiliser ces données.**

Le Logiciel HEC-RAS connaît régulièrement des mises à jour. Au moment de la réception de ces questions, la dernière version disponible était la 5.0.5. Or, lors de la mise à jour de la note technique, la modélisation a été réalisée avec la version 5.0.6 (voir la note technique de Stantec [2019]).

QC-24 Annexe D, section 2.2, p. 4 : Il est mentionné que la condition frontière amont consiste à un débit constant. Des débits de 5 000, 10 000 et 15 000 m³/s ont été appliqués. La condition aval du modèle consiste au niveau d'eau dans le fleuve (section 1 de cette note technique).

- **Les niveaux d'eau présentés à la section 1 sont ceux calculés pour la station marégraphique de Neuville qui se trouve en amont de la plage Jacques-Cartier. L'initiateur doit expliquer pourquoi les niveaux d'eau qui ont été utilisés comme conditions limites à l'aval du modèle hydraulique ne sont pas ceux calculés avec la station de Lauzon ou du Vieux-Québec.**

Les simulations hydrauliques 2D ont été réalisées pour évaluer l'impact du débit, des vagues et du potentiel d'érosion. Celles-ci sont présentées dans la note technique de Stantec (2019). Les simulations hydrauliques ne visaient pas à déterminer les niveaux d'eau, car les niveaux d'eau sont calculés statistiquement à partir de la station Neuville (3280). L'étude des zones inondables réalisée en 1986 par le ministère de l'Environnement (actuellement MELCC) avait démontré que les niveaux d'eau à la station Neuville (3280) sont les mêmes que les niveaux à la plage Jacques-Cartier pour des récurrences de 20 ans et supérieures, ce qui n'est pas le cas avec les stations marégraphiques aval. Cette différence de niveau est probablement liée aux forts débits du fleuve qui s'engouffrent sous les ponts, soit à l'endroit où la restriction de leur écoulement, due à l'étroitesse du fleuve, est la plus importante.

La limite aval du modèle est située à 3,2 km en aval du pont de Québec, et n'atteint pas les stations Lauzon ou Vieux-Québec. Comme la conception des niveaux n'est pas faite avec les modèles, la légère variation de niveau dans le modèle entre les secteurs amont et aval du pont n'a pas d'impact sur la conception.

- **Également, l'initiateur doit présenter quel niveau d'eau aval est associé à chaque débit simulé.**

La mise à jour du rapport de modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier constitue la note technique révisée produite par Stantec (2019). Les niveaux d'eau aval et leurs

récurrences associés aux débits simulés y sont maintenant présentés et peuvent être consultés aux sections 6.1 et 7.4 de ce rapport.

QC-25 Annexe D, section 2.2, p. 4 : Il est mentionné que le modèle 2D exige qu'une pente normale soit appliquée à la condition frontière amont. Une pente de 0,001 et une pente de 0,000 1 ont été testées.

- **L'initiateur doit expliquer sur quoi est basé le choix de ces pentes normales.**

La condition frontière consiste à un hydrographe (débit). Une pente de la ligne d'énergie doit être appliquée, et non pas une pente normale. Il s'agit donc d'une erreur, et cette phrase à la section 2.2 de l'annexe D aurait dû se lire ainsi : « Le modèle 2D exige qu'une pente de la ligne d'énergie soit appliquée à la condition frontière amont ».

Cette pente d'énergie est nécessaire seulement pour assurer une distribution du débit le long de la condition frontière amont, soit toute la largeur du fleuve, mais ne modifie pas la valeur de débit transitant par la condition frontière. Ces pentes d'énergie ont été testées simplement pour prouver qu'elles n'ont pas d'impact dans la zone à l'étude, et que n'importe quelle valeur réaliste de pente d'énergie n'impactera pas la zone à l'étude.

3.11.3 Vents

QC-26 Annexe D, section 4.1, p. 8 : Une analyse fréquentielle a été réalisée sur les vents maximaux horaires enregistrés (vent soutenu sur une heure) de 1953 à 2017.

- **L'initiateur doit présenter une rose des vents permettant d'observer la distribution des vents dans des directions intermédiaires à Nord, Sud, Est et Ouest (ex. : Sud-Sud-Est, Sud-Est, etc.) comme cela a été fait dans l'étude de Norda Stelo en 2016.**
- **Les résultats supplémentaires doivent être intégrés aux tableaux 4 et 5 afin d'identifier plus précisément la direction où on retrouve les vents les plus forts.**

La rose des vents de l'étude de Norda Stelo demeure généralement bonne pour la région même si elle a été établie avec les données de la station de Lauzon. On y remarque que les vents les plus puissants proviennent essentiellement de la portion du quadrant est/nord-est alors qu'une certaine proportion de forts vents arrive de l'ouest. Même la rose des vents de l'aéroport de Québec utilisée par Ropars (2014) présente des orientations similaires.

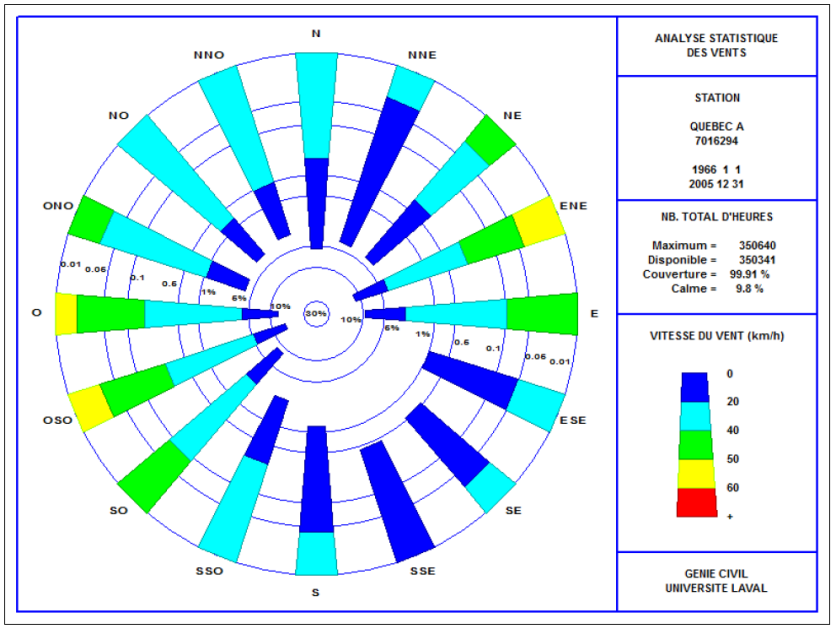


Figure 1 Rose des vents de la station de l'aéroport de Québec de 1966 à 2005 (années complètes)

Malgré ces observations, la méthode de calcul utilisée par Stantec demeure valable puisque celle-ci a considéré toutes les directions de vents, soit ceux de :

- La direction nord qui inclut les directions 315° à 45° ;
- La direction est qui inclut les directions 45° à 135° ;
- La direction sud qui inclut les directions 135° à 225° ;
- La direction ouest qui inclut les directions 225° à 315°.

3.11.4 Vagues et protection

QC-27 Annexe D, section 4.2, p. 9 : Le Guide pratique de dimensionnement du Rip-Rap de la Société d'énergie de la Baie James (SEBJ, 1997) est utilisé pour déterminer la hauteur des vagues. Les vents soufflant dans les quatre directions sont utilisés dans cette méthode. Ce dernier présente une méthode pour le calcul de la longueur de fetch adaptée à des plans d'eau de forme régulière comme de grands réservoirs de barrages hydroélectriques. Cette méthode ne semble toutefois pas adéquate pour le calcul du fetch sur le fleuve Saint-Laurent.

- **Dans le cas de la plage Jacques-Cartier, l'initiateur doit expliquer pourquoi le fetch utilisé n'est pas la longueur maximale de la ligne radiale pour chaque tronçon.**
- **Si nécessaire, le calcul des hauteurs de vagues doit être à ajuster en fonction du fetch révisé et des vents calculés dans les directions intermédiaires mentionnées précédemment.**

La justification de l'applicabilité de la méthode SEBJ est présentée au premier paragraphe de la section 7.2.3 Vagues et protection de la note technique de Stantec (2019). La méthode de la SEBJ pondère les radiales afin d'obtenir un fetch représentatif de la combinaison des radiales. Dans ce rapport, elle a été comparée avec les résultats du modèle Mike 21.

Les résultats des différentes modélisations ont été présentés dans cette note technique.

QC-28 Annexe D, section 4.3, p. 10 : Dans ce paragraphe, l'initiateur décrit les techniques qui ont été utilisées pour délimiter les limites inférieure et supérieure des futurs enrochements. Il est mentionné à la fin de ce dernier, qu'aux endroits où le haut du talus est situé plus bas que l'élévation calculée de la limite supérieure, l'enrochement devra s'étendre jusqu'au haut du talus.

- **L'étude doit identifier les secteurs où l'enrochement serait plus bas que l'élévation minimale recommandée (récurrence de 20 ans) et à quelle fréquence il pourrait y avoir submersion. Cela aidera à voir les zones les plus à risque d'érosion derrière l'enrochement.**

- **À ces endroits, une végétalisation plus résistante doit être prévue en haut de talus.**

Tel que montré au tableau 23 de la note de Stantec (2019), seuls les tronçons 4 et 6 ont des niveaux d'enrochement inférieurs au niveau d'eau de récurrence 20 ans (5,19 m). L'enrochement du tronçon 4 et 6 ont des élévations de 4,83 m et 4,85 m respectivement, avec une fréquence de dépassement de 0,002 %. À ces endroits, lors des plans et devis qui seront produits et déposés avec la demande d'autorisation ministérielle, une végétalisation résistante sera prévue en haut de talus. En fait, ce sont des enrochements végétalisés qui seront réalisés avec en plus une intervention de génie végétal au sommet de l'ouvrage (voir la coupe AM-02 à l'annexe C de la note technique de Stantec [février 2019]) présentée à l'annexe B du présent document.

3.11.5 Pentes des enrochements

QC-29 Annexe D, section 5.1, p. 11 : Le consultant mentionne que pour les tronçons 1, 2 et 3, deux pentes de talus sont présentées, dont 1H : 1V et 1,5H:1V. Encore dans l'annexe D, section 6.1, il est mentionné que si la solution d'un épi est choisie, et afin de réduire l'empiétement, les pentes de part et d'autre seraient de 1H : 1V.

Toujours à l'annexe D, tableau 12 : la pente recommandée par le consultant pour les tronçons 1, 2, 3 et 4 est de 1H : 1V. Une pente d'enrochement de 1H : 1V (45 degrés) n'est pas recommandée, l'angle de repos maximal d'un enrochement angulaire étant généralement de 42 degrés, et ce, en prenant compte d'aucun facteur hydraulique. D'ailleurs, l'étude faite par Norda Stelo en 2016 recommande des pentes de 2H : 1V.

- **L'initiateur doit revoir les pentes des enrochements et remettre à jour les empiétements.**

Une pente 2H : 1V à 4H : 1V a été prévue pour tous les travaux de stabilisation, à l'exception du tronçon 6a (voir prochaine réponse ci-dessous). Les coupes types illustrant ces pentes sont présentées à l'annexe C de la note technique de Stantec (février 2019). Les calculs d'empiétements ont été mis à jour dans le tableau 27 révisé qui est présenté en réponse à la QC-49.

- **Dans certains cas, une pente de 1,5H:1V peut être choisie pour des endroits plus sensibles où l'empiétement doit être limité.**

En fait, il n'y aurait qu'un seul endroit, où une pente de 1,5H:1V serait retenue, soit le tronçon 6a puisque l'espace disponible, pour que les usagers du parc puissent circuler à pied en haut de plage à marée haute, devient rapidement trop étroit. Comme l'herbier aquatique devant cet enrochement est suffisamment éloigné, le ressac des vagues sur cet enrochement n'induira pas d'érosion de la plage au-devant qui, de surcroît, présente du roc affleurant. Par ailleurs, il s'agira d'un enrochement végétalisé qui atténuera ainsi l'effet de ressac des vagues par dissipation de leur énergie.

- **L'initiateur doit aussi préciser que l'enrochement proposé est angulaire, et non arrondi, afin d'offrir une meilleure stabilité à long terme à l'ouvrage de protection.**

La Ville et son consultant sont d'accord sur le principe de la stabilité accrue des enrochements en pierres angulaires, surtout s'il devait s'agir de pierres placées mécaniquement. Cependant, dans les calculs, le calibre d'enrochement a été déterminé en tenant compte d'un coefficient de forme et, par conséquent, l'enrochement arrondi en pierres placées est aussi très stable (voir section 7.3 de la note technique de Stantec [2019]). D'ailleurs, à part un enrochement récent qui ne semble pas avoir été conçu de façon optimale avec des pierres angulaires, tous les autres enrochements existants du secteur ont été réalisés avec des pierres arrondies et sont généralement très stables. En fait, ces pierres sont des blocs de moraines qui sont très communs dans la région, et font partie intégrante de bien des paysages littoraux du fleuve dans la grande région de Québec. C'est donc pour des raisons de respect de texture général du site et du cachet naturel du paysage que l'enrochement arrondi a été privilégié dans la conception des ouvrages par les spécialistes en environnement.

QC-30 Annexe D, section 5.1, p. 11 : Il est mentionné pour l'option 1 (recommandé) : Enrochement de gros calibre à être placé en pied de talus, combiné à une correction du talus (ajout d'enrochement dans la pente pour obtenir une pente uniforme).

- **L'initiateur doit déterminer si une clé adéquate sous le lit du fleuve a été faite pour l'enrochement existant des tronçons 1, 2 et 3.**

La Ville de Québec et son consultant estiment que l'enrochement actuel, dont celui des tronçons 1, 2 et 3, repose directement sur le roc. Aussi, dans la plupart des cas, il n'y a pas de clé existante, ni à prévoir pour les nouveaux ouvrages. En fait, une clé est requise lorsque le sol sous-jacent est meuble et présente un bon potentiel d'instabilité. De plus, si ce sol meuble est susceptible d'être extrait par la puissance des eaux des vagues qui pénètrent dans la structure et qui pourraient ainsi provoquer un affaissement ou un affouillement de l'ouvrage, une membrane géotextile est alors ajoutée derrière l'ouvrage, en plus de la clé à sa base. Aussi, dans le cadre du présent projet, suite à une évaluation préalable à la préparation des plans et devis, le concept d'une clé pourrait être envisagé dans certains cas (c.-à-d. où un risque d'instabilité serait identifié), et ce sans augmenter l'empiétement existant ou prévu. Tel que déjà mentionné en réponse au commentaire 1 b) de la section 3.2 du présent document ainsi qu'à la réponse de la QC-19, les ouvrages seront aménagés au maximum derrière le pied de talus actif d'érosion, tel que relevé avant la confection des plans et devis. Ensuite, il s'agira à l'entrepreneur de creuser verticalement directement à cet endroit. Si un enrochement est déjà présent et qu'il faut le refaire, cet endroit sera le pied de cet ouvrage. Cela

pourrait aussi supposer, le cas échéant, la réalisation ponctuelle d'excavation dans le roc sous-jacent qui est constitué de schiste friable. Les coupes types insérées à l'annexe C de la note technique de Stantec (février 2019) illustrent les possibilités de présence ou non d'une clé. À noter qu'au sujet de la membrane géotextile, son utilisation sera évaluée au cas par cas lors de la préparation des plans et devis. D'emblée, tel que déjà mentionné en réponse à la QC-17, pour tous les tronçons où seront réalisés des enrochements végétalisés, Stantec est d'avis qu'aucune membrane ne sera requise étant donné que les racines des végétaux implantés dans ces ouvrages feront office de membrane filtrante empêchant les matériaux sous-jacents d'être extraits des ouvrages.

- **De plus, une analyse doit être présentée pour évaluer la stabilité à long terme d'un nouvel enrochement angulaire déposé sur l'enrochement arrondi existant.**

Aucun enrochement angulaire n'est prévu et la stabilité des nouveaux ouvrages en pierres arrondies devrait être au moins similaire à celle des ouvrages existants.

- **Enfin, l'état du géotextile ou de la membrane sous l'enrochement existant doit aussi être évalué.**

Lors de la visite de terrain du mois d'août dernier, la présence d'un géotextile n'a été constatée que sous l'enrochement en pierres angulaires mal conçu (Tronçon 3b) étant donné que celui-ci était apparent à bien des endroits. Cet enrochement doit être entièrement refait et l'installation d'un géotextile sera évaluée pour les fins des plans et devis. Normalement, avec la méthode d'enrochement végétalisé prévue pour ce tronçon, aucun géotextile n'est requis.

- **Par la suite, en fonction de l'analyse et des conclusions des points précédents, l'option 2 qui consiste en la réfection de la protection en enrochement doit être privilégiée.**

Les travaux prévus consistent en des réparations ponctuelles avec une correction de talus où cela sera requis. À noter que le haut de talus est déjà généralement recouvert de végétaux.

QC-31 Annexe D, section 5.1, p. 11 : Il est mentionné qu'une végétation trop dense et haute aurait pour effet d'affecter significativement la perception du paysage par ses usagers (ex. : adultes avec enfants).

- **L'initiateur doit considérer des options de végétaux bas qui ne nuiraient pas à la vue. De plus, cela pourrait limiter l'érosion en haut de talus provoquée par les eaux de ruissellement provenant du cap.**

- **Dans un tel cas, des végétaux indigènes doivent être utilisés. À ce sujet, le Ministère recommande de se référer au « Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec » disponible à l'adresse suivante : https://www.fihoq.qc.ca/medias/D1.1.5B-1.pdf.**

Dans le guide mentionné, beaucoup de végétaux sont présentés. Cependant il y en a peu qui sont applicables à la situation qui prévaut au droit des travaux prévus. En effet, l'occurrence régulière de fortes vagues limite le choix des végétaux pouvant être utilisés. Aussi, on ne peut pratiquement que mettre des saules arbustifs et des cornouillers stolonifères. Toutefois, directement sur le sommet des ouvrages du

tronçon 3b, entre celui-ci et le sentier, d'autres végétaux stabilisateurs à port « moins élevés » seront sélectionnés à partir de ce guide ou de toute autre source valable pour être intégrés aux plans et devis d'aménagements paysagers. L'aménagement d'aucune percée visuelle ne devrait ainsi être requis.

QC-32 Annexe D, section 5.2, p. 12 : Il est mentionné que les berges du tronçon 4 sont relativement exposées aux vagues des tempêtes provenant de l'Est. Aussi, afin d'en atténuer leur hauteur et leur énergie, l'implantation d'un épi/brise-lames est recommandée tout juste en aval de la pointe où se trouve le tronçon 5.

- **L'aménagement d'un épi en amont du tronçon 4 doit aussi être considéré pour le protéger des tempêtes de l'ouest compte tenu de l'enjeu de préservation de la plage à cet endroit.**

Pour être conforme à sa représentation à l'annexe D, dans ce passage du rapport « l'implantation d'un épi/brise-lames est recommandée tout juste en aval de la pointe où se trouve le tronçon 5 », on aurait dû plutôt lire « tout juste en amont ». D'ailleurs, dans le courriel de précisions demandées par le MDDELCC du 7 août 2018, il est demandé de vérifier aussi les effets sur les berges des tronçons 5 et 4 d'un épi qui serait effectivement localisé tout juste en aval pour des épisodes de vagues provenant de l'Est.

Sur la base des résultats de ses récentes modélisations présentées dans la note technique révisée (Stantec 2019), les spécialistes de Stantec sont d'avis que l'ajout d'un autre épi à tout autre endroit que les sites A et B, n'induirait aucun gain significatif d'un point de vue hydraulique, et entraînerait même des conséquences environnementales, visuelles et économiques non justifiées dans le secteur de la plage Jacques-Cartier.

QC-33 Annexe D, section 5.2, p. 12 : Il est mentionné, pour le tronçon 4, la mise en place d'un enrochement approprié avec génie végétal. Étant donné que l'énergie des vagues se trouvera passablement atténuée par l'application de l'épi/brise-lames (première option), les berges érodées pourront être directement protégées par une technique de génie végétal. L'aménagement d'un épi et de la recharge de plage sont aussi proposés pour le tronçon 4.

- **En considérant la mise en place de ces solutions, l'initiateur doit expliquer pourquoi un enrochement de la berge est nécessaire. Puisqu'il a été démontré que l'enrochement favorise la réflexion des vagues et peut provoquer l'érosion de la plage à sa base, il semble contre-intuitif d'opter pour de l'enrochement pouvant éroder la plage, alors que de la recharge est prévue.**

- **L'option d'uniquement végétaliser la berge, si adéquate, doit donc être évaluée en combinaison avec les autres solutions proposées.**

Selon les calculs de vagues, les épis n'atténuent pas suffisamment les vagues, et ce d'autant plus lors des surcotes de tempêtes provenant de l'Est. Les plus longues radiales sont interceptées, mais les radiales restantes causent un fetch non négligeable qui crée une hauteur de vagues suffisante pour causer des dommages (voir la section 7 de la note technique de Stantec [2019]). Aussi, une intervention simple en génie végétal ne peut être réalisée à cet endroit. Par contre, l'enrochement proposé en est un végétalisé, c'est-à-dire une technique mixte avec des végétaux structuraux et une pente la plus faible possible. L'énergie des vagues sera dissipée suffisamment par les tiges de ces végétaux pour que leur ressac ne cause aucune érosion significative, voire même réelle de cette plage. De plus, compte tenu de

l'éloignement de l'ouvrage végétalisé par rapport à la recharge aménagée près de ce site, cette dernière ne sera aucunement affectée par celui-ci.

QC-34 Annexe D, section 5.3, p. 13 : Il est mentionné que demeurant tout de même trop exposé aux vagues provenant de l'est, il n'est pas recommandé d'y effectuer une recharge même avec une géogrille, celle-ci requérant trop d'entretien récurrent. La recharge fréquente est tout de même possible si la Ville le désire (à confirmer).

- **L'initiateur doit expliquer pourquoi une recharge de plage semble adéquate pour le tronçon 4 et non pour le tronçon 5, qui se trouve entre deux épis/brise-lames étant sensés offrir une protection contre les vagues de tempêtes de l'ouest et de l'est.**

Le littoral du tronçon 4 se prête mieux à l'aménagement d'une recharge de plage. En effet, en raison du fait que le tronçon 5 se situe sur une pointe rocheuse qui avance ce site par rapport au trait de côte de chaque côté, celui-ci est davantage exposé aux aléas des tempêtes, ce qui le rend plus vulnérable à l'érosion comme en témoigne la présence du roc sur l'estran de ce secteur. Aussi, il n'est pas aussi justifiable d'y effectuer une recharge, ce qui ne veut pas dire que cela ne soit pas faisable. Mais, le diamètre médian (D_{50}) des matériaux devrait y être significativement augmenté et la géogrille devrait également être davantage ancrée au roc et, malgré cela, la récurrence des recharges d'entretien devrait y être plus importante. Le moment venu, la Ville de Québec prendra une décision quant à cette recharge.

- **Dans le cas où la recharge de plage est appropriée, la pertinence de la mise en place d'un enrochement végétalisé doit être réévaluée en considérant l'aménagement d'une protection de berge strictement végétale.**

L'étude de vagues (section 7 de la note de Stantec [2019]) a démontré qu'il reste des vagues non négligeables même avec l'implantation des épis. Aussi, le site est beaucoup trop exposé pour une protection strictement végétale. Le mieux qui peut y être réalisé est un enrochement végétalisé. Et encore, il faut porter une attention bien particulière à la cote du pied de cet ouvrage et à la dimension des pierres utilisées. Par contre, il est possible d'y prévoir une pente plus faible que 2H : 1V et même de reculer l'ouvrage pour que son pied se situe au pied du talus actuel. Il n'y aurait ainsi aucune empreinte directement sur le lit du fleuve. D'ailleurs, il en sera également ainsi aux tronçons 4 et 6b.

QC-35 Annexe D, section 5.4, p. 13 : Il est mentionné pour l'option 2 (recommandé) : Mise en place d'un enrochement approprié avec plantation (Génie végétal).

- **Pour les mêmes raisons que le tronçon 5, la pertinence de la mise en place d'un enrochement végétalisé doit être réévaluée en considérant l'aménagement d'une protection de berge strictement végétale.**

Ici aussi au tronçon 6, l'étude de vague a démontré qu'il reste des vagues non négligeables même avec l'implantation des épis. En fait, le long du fleuve, notamment dans ce tronçon, il n'y a pas beaucoup d'endroits qui se prêtent aisément à des interventions strictement végétales. Les vagues lors des surcotes de tempêtes ainsi que les glaces ont raison d'aménagements insuffisamment résistants comme des fagots, des fascines, des rangs de plançons, des matelas de branches ainsi que des plantations de boutures ou de jeunes arbustes/arbres. Cependant, même si aux tronçons 6a et 6b, les interventions proposées sont

des enrochements végétalisés, il est également proposé de recourir au génie strictement végétal dans la partie supérieure du tronçon 6a, soit au-dessus de la LNHE (cote à 4,5 m), ainsi qu'au niveau du tronçon 6c, c'est-à-dire une longueur d'un peu plus de 30 m à l'extrémité est de l'enrochement végétalisé. La longueur exacte sera précisée aux plans et devis de construction.

Dans son commentaire supplémentaire à cette question, reçu le 7 décembre 2018, le MELCC mentionne ceci : « En effet, la mise en place d'une recharge de plage n'est pas compatible avec l'aménagement d'enrochements en crête de plage, à moins que ces enrochements ne soient complètement en dehors de la zone active des vagues, auquel cas ces enrochements ne seraient pas nécessaires ». Même si elle est d'accord avec l'interprétation générale des effets des enrochements purs sur les plages situées en front de ces ouvrages, Stantec tient néanmoins à indiquer que cette apparente incompatibilité n'est vraiment pas toujours présente. Dans un dossier de protection de la route 132 à Newport-Ouest (Chandler) en Gaspésie, un enrochement de protection a été réalisé et devant celui-ci une importante recharge préventive a été aménagée en raison de l'utilisation régulière de cette plage pour la fraie du capelan et des impacts anticipés de cet enrochement sur celle-ci. Or, suite à cette intervention réalisée en 2012, les résultats du suivi, qui s'est déroulé jusqu'en 2018, ont démontré le succès global de ces travaux. En fait, la recharge de cette plage aurait même restauré cette frayère et aurait amélioré la qualité de la fraie. Dans un autre dossier, soit celui de la plage réaménagée en 2017-2018 devant la promenade à Percé, une partie de la recharge construite, soit celle près du quai, l'a aussi été devant un enrochement de protection. Un suivi est en cours.

QC-36 Annexe D, section 6, p. 14 : Il est mentionné que l'utilisation d'un épi versus un brise-lames n'a pas d'impact d'un point de vue hydraulique.

- **L'aménagement d'un épi/brise-lames peut avoir un impact sur le régime des glaces, même avec une légère inclinaison. L'initiateur doit détailler cet aspect et vérifier les impacts de l'aménagement de ces structures.**

Illustrés à l'annexe D de la note technique de Stantec (février 2019), les épis ont été dimensionnés pour résister aux glaces. Tel que décrit à la réponse de la question QC-9 ainsi qu'à la section 8.3 de cette note, l'érosion glacielle n'est pas la principale problématique d'érosion des talus de ce secteur du fleuve. La mise en place d'épis avec la configuration proposée va tout de même permettre de dévier les blocs de glace, dérivant ainsi au gré des vents et courants, vers le centre du fleuve.

Par ailleurs, la section 2.2 de la note technique de Stantec (2019) présente la fréquence de dépassement (voir aussi les sections 7.4 et 10.2 de la note). Le nombre d'heures submergées à la cote de 3,32 m (500 heures) correspond à la fréquence de dépassement de 5 % qui est calculé. L'élévation des épis a été augmentée à l'élévation 3,32 m associée à une fréquence de dépassement de 2,7 %. Les épis sont conçus pour résister à la glace et aux vagues (section 10.1 de la note). Il importe aussi de mentionner que, malgré le nombre d'heures pour lesquelles les épis sont submergés, il n'est pas nécessaire que la vitesse de vent retenue soit aussi associée à ces heures, ce qui réduit l'impact des vagues sur les berges.

QC-37 Annexe D, section 6.3, p. 18 : Puisqu'il s'agit d'une méthode peu fréquemment utilisée, l'étude doit présenter d'autres exemples d'installation de géogrilles au Québec ainsi que les résultats obtenus avec l'un de ce type d'aménagement. De plus, les raisons du choix de cette solution par rapport à d'autres alternatives doivent être davantage expliquées.

Aucun exemple réalisé au Québec n'a pu être trouvé, bien qu'il existe des informations sur l'utilisation de tels produits ailleurs dans le monde. Une illustration de cet usage est d'ailleurs présentée à la section 10.3 de la note technique de Stantec (2019). Tel que mentionné dans cette note, Norda Stelo (2016 ; annexe C de l'ÉIE) a calculé des diamètres de matériaux granulaires pour chacun des sites de recharge, des matériaux qui pourraient ainsi présenter des diamètres de l'ordre de 15 à 90 mm, ce qui est nettement plus élevé que le diamètre de ceux composant naturellement la plage (D_{50} : env. 1 à 3 mm ; tableau 3 de Stantec [2019]). De plus, on considère généralement qu'un substrat de 10 mm constitue une limite acceptable pour une plage publique. C'est dans ce contexte qu'il a été décidé d'utiliser un matériel plus approprié à la vocation récréotouristique de la plage et d'examiner parallèlement les possibilités de réduire la récurrence des recharges d'entretien. C'est ainsi qu'a émergé l'idée d'utiliser des géogrilles afin de stabiliser les matériaux granulaires utilisés pour résister davantage au phénomène de migration induits par les vagues et les courants. Tel que prévu, l'implantation des épis va favoriser la sédimentation et réduire l'érosion sur la plage. Néanmoins, leur présence ne pourra pas éliminer complètement l'érosion ; donc la géogrille va permettre de réduire la fréquence de recharge et donner une information visuelle (indicateur) sur la nécessité et l'emplacement d'une nouvelle recharge d'entretien de plage. Tel que mentionné ci-haut, la seule autre alternative est l'utilisation de matériaux plus grossiers et la mise en place d'un suivi régulier d'arpentage afin d'évaluer le besoin et de déterminer le moment d'effectuer une nouvelle recharge.

3.12 CHOIX DES VARIANTES

QC-38 Section 7.2.1, p. 7.6 : Pour les tronçons 1, 2 et 3, la mise en place d'un enrochement de gros calibre en pied de talus peut signifier à moyen terme la disparition de la plage qui se trouve devant par l'érosion provoquée par la réflexion des vagues sur l'enrochement. L'option d'aménager un épi en enrochement à l'amont de ces tronçons pour briser l'énergie des vagues de tempêtes provenant de l'ouest doit être évaluée.

- **Dans l'optique où cette solution est envisageable, la technique de recharge doit être privilégiée afin de préserver la plage existante.**

Les tronçons 1, 2 et 3a sont déjà actuellement constitués d'enrochements construits depuis plusieurs années. Le milieu s'est déjà adapté à leur présence. Aussi, la solution recommandée avec l'ajout d'enrochement sur les tronçons 1, 2 et 3 ne changera pas les conditions actuelles et va seulement corriger la stabilité de la pente.

Par ailleurs, immédiatement en amont du tronçon 1, il y a sur l'estran, un important herbier aquatique de grande qualité pour la faune aquatique, incluant les oiseaux puisqu'un ACOA y est présent. De surcroît, bien que les inventaires floristiques n'aient pas couvert la surface de cet herbier, on doit très certainement y retrouver bon nombre de plantes appartenant aux diverses espèces végétales à statut particulier susceptibles d'être présentes dans le secteur. Or, contrairement au secteur aval où se situent les tronçons 4 à 7 du projet et où l'estran est très largement rocheux, l'implantation d'un épi à la frontière entre cet herbier et la limite amont du tronçon 1 changerait la dynamique sédimentaire du secteur de manière à surélever la surface de l'herbier par la déposition sédimentaire induite par l'épi. Encore une fois, contrairement aux surfaces rocheuses en aval qui se trouveront améliorées par une telle déposition en

termes d'habitat pour la flore et la faune, la surface de cet herbier subirait plutôt une détérioration de son état actuel.

C'est pour cette raison principale, ainsi qu'en raison de l'enrochement déjà existant sur les tronçons 1, 2 et 3a, qu'aucun épi ni aucune recharge ne sont proposés pour ce secteur. La réalisation d'une modélisation pour démontrer ces impacts n'a pas été jugée utile étant donné l'importance jugée élevée du risque de détérioration de cet herbier.

QC-39 Sections 7.2.1 et 7.2.2 : L'étude doit expliquer pourquoi il y a une discontinuité de la protection de berges prévue entre les tronçons 3 et 4 et s'il y a risque d'érosion par effet de bout aux extrémités des deux sections en enrochement.

Bien que les tronçons avaient été déterminés par une autre firme, et que Stantec n'avait pas le mandat de revoir la délimitation de ces divers tronçons, un simple examen des photographies aériennes du secteur démontre rapidement que les berges y sont déjà enrochées et stables ou sont stables en raison de la présence de deux émissaires pluviaux d'importance qui y jouent un rôle d'épis de protection (photo 2).

Photo 2 Emplacements des deux émissaires pluviaux entre les tronçons 3b et 4

QC-40 Section 7.2.2, p. 7.7 : Pour le tronçon 4, il est mentionné que l'enrochement végétalisé est mieux adapté et plus durable dans ces conditions. L'option des caissons en bois (génie végétal) est écartée pour des raisons techniques en lien avec la présence de roc, notamment.

- **L'initiateur doit évaluer si seule la végétalisation des rives serait suffisante en considérant la mise en place d'un épi et de la recharge de plage, l'idée étant de limiter l'érosion de la plage engendrée par la réflexion des vagues à la base des enrochements.**

Compte tenu de la réponse fournie précédemment à la QC-33, l'enrochement végétalisé demeure la meilleure option pour ce tronçon. En fait, la simple végétalisation des rives le long du fleuve, du moins pour cette portion où le marnage des marées est le plus important du système laurentien et où les vagues peuvent encore être puissantes, est rarement suffisante pour les stabiliser contre l'érosion. Toutes les expériences de végétalisation des rives au moyen du génie végétal réalisées le long des portions maritimes

et moyennes de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, soit en aval de Québec, l'ont été sur des sites où les conditions hydrodynamiques étaient relativement faibles et à un étage du littoral peu sollicité par les vagues de tempêtes, c'est-à-dire au-dessus ou presque de la pleine mer supérieure à grande marée (PMSGM). Les organisations faisant la promotion de l'emploi de ces techniques « appropriées » sur des sites et dans des conditions bien précises doivent bien sensibiliser les publics cibles sur les critères encadrant leur emploi, et prendre garde de ne pas laisser miroiter un aspect potentiellement miraculeux de leur usage. Dans des milieux très dynamiques, il y a rarement des solutions miracles et pérennes.

QC-41 Section 7.2.4, p. 7.7 : Le choix du tronçon 6 consiste en de l'enrochement végétalisé combiné à de la recharge de plage.

- **Puisque ce tronçon est situé entre deux épis, l'initiateur doit expliquer en quoi une méthode plus douce comme du génie végétal serait insuffisante.**

En raison de l'hydrodynamisme du milieu lors des événements de tempêtes, l'emploi unique de techniques de génie végétal s'avère généralement insuffisant le long de ce tronçon. En fait, seule une longueur d'environ 30 m située à l'extrémité est de l'enrochement végétalisé du tronçon 6b, pourrait faire l'objet d'une application de génie végétal, soit plus exactement au niveau du tronçon 6c. Les techniques utilisées seraient celles des fascines et fagots, doublées de plantation d'arbustes résistants et résilients et d'un ensemencement hydraulique (coupe type AM-04 à l'annexe C de la note de Stantec, février 2019).

QC-42 Section 7.2.4, p. 7.8 : Le choix du tronçon 7 étant de la recharge de plage, il y a lieu de se questionner sur l'impact de ce remblai sur la communauté de mulettes.

- **L'initiateur doit démontrer que des mesures d'atténuation suffisantes seront mises en place afin d'assurer la pérennité de cette communauté.**

Sur la base des résultats de la note technique révisée (Stantec, février 2019), des plans produits pour illustrer le projet (annexe E de cette note) ainsi que de la mise à jour de la figure 3 illustrant les mulettes observées (annexe A du présent document), les impacts ont été réévalués et les mesures d'atténuation précisées. Cette analyse est présentée à la QC-52 du présent document.

QC-43 À la section 7.3.2, p. 7.9 : il est mentionné que :

« La coupe de la végétation sera limitée à la superficie strictement essentielle à la réalisation des travaux. Les arbres coupés ayant une valeur commerciale seront conservés et remis à la Ville. Les branches et les arbustes seront déchiquetés et transportés hors site conformément aux dispositions des règlements municipaux en vigueur. Il est à noter que les arbres abattus seront remplacés. »

- **Advenant que le projet soit accepté par le gouvernement, la coupe d'arbres et la destination de ceux-ci nécessiteront d'obtenir, préalablement au déboisement, un permis d'intervention auprès de l'unité de gestion concernée, si cette activité d'aménagement forestier s'effectue sur le lot se trouvant sur des terres publiques.**

La mince bande d'arbres à couper, située en terres domaniales publiques (Propriétaire : MDDELCC) devra faire l'objet d'une demande de permis d'intervention auprès de l'unité de gestion concernée du MFFP (Secteur Forêts) ainsi que d'un permis de coupe d'arbres auprès de la Ville de Québec.

QC-44 À la section 7.3.4 : Il est inscrit que des matériaux de calibre adéquat seront déposés sur la plage.

- **L'initiateur doit préciser ce que sont ces matériaux de calibre adéquat. Cette information permettra une meilleure compréhension des travaux prévus.**

À la suite des modélisations, on pourra donner une fourchette de calibre, tout en précisant que le calibre exact de chaque site de recharge devra être précisé préalablement à la production des plans et devis. Normalement, on s'entend sur le fait que le calibre doit être égal ou supérieur au calibre présent. Cela dépend de la récurrence souhaitée des recharges d'entretien. Il ne faut pas oublier que des géogrilles seront aussi installées, ce qui réduira aussi significativement la fréquence des recharges d'entretien.

QC-45 À la section 7.3.6, p. 7.11 : L'étude présente le dimensionnement des épis proposés, mais aucune modélisation hydraulique des structures n'a été faite pour évaluer leur efficacité sur la diminution de la hauteur des vagues de conception.

- **À cet effet, l'initiateur doit démontrer que les épis proposés à l'élévation 3,09 m ont un impact significatif sur la réduction des vagues de récurrence de 20 ans qui atteignent une élévation de 5,81 m à 6,18 m (sans tenir compte de la remontée du plan d'eau et de la remontée des vagues, voir l'annexe D, section 4.3, p. 10).**

Les simulations Mike 21 effectuées avec et sans épis sont présentées à la section 7.4 de la note technique de Stantec (2019). La section 7.4.5 démontre sans équivoque que les épis réduisent les vagues, même lorsque les épis sont submergés à un niveau d'eau de 5,1 m.

3.13 ÉVALUATION DES IMPACTS

QC-46 Comme mentionné à la section 7.4, la mise en place des épis viendra changer l'hydrodynamique du secteur. Compte tenu de la présence d'herbiers à proximité, le Ministère se questionne sur l'effet à long terme de ce changement. La pérennité des herbiers est une composante essentielle du projet.

- **Afin de permettre l'analyse du projet dans son ensemble, l'initiateur doit préciser les impacts anticipés à long terme que risquent de (faire) (sic) subir les épis sur les herbiers aquatiques.**

En réponse à ce commentaire, une brève revue de littérature sur les effets des ouvrages de protection des berges, tels que les épis, a été produite et insérée ici.

L'aménagement des épis s'avère une des méthodes utilisées communément pour la protection des rives contre l'érosion causée par les vagues, car ces structures du type barrière fonctionnent comme des trappes à sédiment, à partir de la réduction de l'énergie des vagues et l'interruption du transport des particules dans la colonne d'eau (Bodge, 2003 ; NRC, 2007).

Des exemples fonctionnels de ces aménagements ont été réalisés dans la rivière Rappahannock en Virginia et dans la rive de l'île Wye en Maryland (Hardaway et Byrne, 1999). De plus, dans l'étude réalisée par Bodge (2003), l'augmentation de la stabilité de la rive à partir de l'aménagement optimal des structures de protection a été analysée et documentée, tandis que les caractéristiques principales de l'évolution de la morphologie des plages ont fait l'objet de plusieurs autres études (Badiei et al. 1994; Patrap et al. 2012 ; Vaidya et al. 2015). À cet égard, diverses études ont montré qu'une réduction de l'énergie physique des vagues réduit le stress causé par l'érosion et induit la déposition locale de sédiments, ce qui cause une modification de la géomorphologie à moyenne échelle (révisé en Strayer et Findlay, 2010). En effet, selon l'étude de modélisation réalisée par Pattiaratchi et al. (2011), une configuration optimale des structures de protection peut effectivement permettre de modifier en fonction des objectifs, le transport naturel de sédiments.

La végétation de la zone littorale est liée de plusieurs manières au régime hydrologique. À la fois, les espèces de plantes aquatiques qui se reproduisent par germination des graines ou bien par propagation végétative dépendent des conditions hydrauliques pour sa dissémination, afin de s'implanter aux endroits propices à leur développement (Strayer et Findlay, 2010). Durant la dissémination et le transport des graines ou des fragments végétatifs, les structures côtières anthropiques ou naturelles ne peuvent pas être différenciées à petite échelle (révisé en Bulleri et Chapman, 2010). Ce sont donc ces environnements à basse énergie caractérisés par des eaux calmes, qui favorisent la déposition des sédiments ainsi que l'implantation de la végétation aquatique. En effet, la déposition des sédiments crée de vasières qui sont favorables à la croissance de la végétation subtidale et intertidale (NRC, 2007).

En milieu marin dynamique, les stratégies d'utilisation de la végétation dans la zone de marée et supratidale pour contrôler l'érosion des rives ne peuvent être appliquées de façon isolée et requièrent l'addition d'autres éléments, tels que l'aménagement des structures de protection, afin d'atténuer efficacement l'action des vagues (NRC, 2007). Il a aussi été documenté qu'une fois implantée, la végétation submergée des zones intertidales et subtidales stabilise les sédiments sur le fond et contribue à l'atténuation des vagues pouvant causer de l'érosion ; malgré cela cette protection est limitée durant l'hiver en raison d'une perte de densité de cette végétation (Koch, 2001 ; NRC, 2007), voire même de la totalité des tiges.

À cet égard, l'atténuation de l'action des vagues par les structures de protection augmente la transparence de l'eau dans les nouvelles zones d'eau calme crées, ce qui permet également une augmentation de la quantité de lumière capable de pénétrer jusqu'au fond, qui va se traduire en une augmentation significative de la végétation aquatique (Nordstrom, 1992 ; Strayer et Findlay, 2010). De plus, certaines études signalent que l'implantation des structures artificielles n'implique pas nécessairement une perte de connectivité écologique, mais peut même favoriser la création de nouveaux habitats ou même une amélioration des habitats pour les populations de poissons et d'invertébrés (révisé en Bulleri et Chapman, 2010).

Résultats pour la plage Jacques-Cartier

Dans le cadre spécifique du projet de la plage Jacques-Cartier, une superficie « minimale » anticipée de gain d'herbiers a été établie sur la base de la distribution attendue des matières en suspension et des autres granulats transportés dans le transit sédimentaire ainsi que de l'élévation topométrique de la plage. Ainsi, cette superficie, présentée par tronçon au tableau 27 révisé de la QC-49, totalise 18 532 m² de

nouveaux herbiers complémentaires à ceux existants, qui viendraient ainsi verdir davantage l'estran rocheux et sableux du secteur.

Il convient aussi de souligner que, sur la base des modélisations effectuées avec le logiciel Mike 21, l'étendue de la zone potentielle d'eaux plus calmes, où pourra se manifester la sédimentation des matières en suspension est beaucoup plus vaste que la zone où pourront se développer les nouveaux herbiers. Ces zones, soit la zone potentielle de sédimentation et les zones minimales anticipées d'expansion des herbiers, sont illustrées avec les épis et les aires de recharges sur un plan inséré à l'annexe E de la note technique de Stantec (février 2019).

- **De plus, aucune mention n'est faite par rapport aux empiétements dans l'ACOA de Cap-Rouge (02-03-0040-1995), ce qui est pourtant visiblement le cas. L'initiateur doit chiffrer cet empiétement et, le cas échéant, évaluer les impacts sur la sauvagine et proposer des mesures d'atténuation et de compensation adéquates.**

Seule une partie du tronçon 1 est localisée à l'intérieur de cet ACOA. Par ailleurs, les interventions qui y sont prévues consistent en des réparations ponctuelles de l'enrochement existant. Ces réparations impliqueront des superficies d'empiétement très faibles, soit au plus quelques mètres carrés à quelques dizaines de mètres carrés par endroit. L'importance globale de cet impact est jugée de très faible à négligeable. Le nouvel enrochement se superposant au roc en place et à l'enrochement existant, aucune mesure d'atténuation ou de compensation n'a été envisagée. Voir aussi la réponse à la QC-12.

QC-47 L'étude présente la matrice des interrelations entre la flore à statut particulier et les travaux. Aucun impact n'est prévu sur les espèces floristiques menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être désignées (EFMVS). Fait à préciser, les occurrences historiques exclues sont majoritairement des EFMVS présentes dans les marais à scirpe d'estuaire d'eau douce. Considérant que le projet affecte 2 049 m² d'herbier (enrochement, épi, recharge de sable), dont des marais à scirpe (habitats potentiels des EFMVS), et que les informations du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec ne remplacent pas des inventaires spécifiques à l'identification d'espèces floristiques à statut :

- **L'initiateur doit réaliser des inventaires complémentaires pour les EFMVS d'estuaire d'eau douce à une période propice, c'est-à-dire fin août début septembre.**

Des inventaires floristiques dans les herbiers ont été réalisés les 16 et 17 août 2017. Une seconde visite a été réalisée le 10 août 2018. Le tableau 6 suivant présente l'ensemble des espèces floristiques à statut susceptibles d'être inventoriées dans le secteur des travaux, soit celles ayant un potentiel d'être observées dans les marais à scirpe de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent. La période d'observation et les signes distinctifs utilisés pour leur identification sont également décrits. Ces informations sont tirées du guide Plantes rares du Québec méridional (Comité Flore québécoise de FloraQuebeca, 2009).

Tableau 6 Espèces floristiques à statut pouvant potentiellement être présentes dans les marais à scirpe et leurs critères d'identification

Nom commun	Nom latin	Statut	Période d'observation	Signes distinctifs	Inventaires réalisés à une période propice
Cicutaire de Victorin	*Cicuta maculata var. Victorinii*	Menacée	Floraison de juin à septembre, fructification fin août à septembre	Se différencie de la cicutaire maculée par ses feuilles et ses akènes.	Oui
Ériocaulon de Parker	*Eriocaulon parkeri*	Menacée	Floraison juillet à octobre	Seule espèce dans ce type d'habitat	Oui
Gentiane de Victorin	*Gentianopsis virgata subsp. Victorinii*	Menacée	Floraison août à septembre	Seule espèce dans ce type d'habitat	Oui
Bident d'Eaton	*Bidens eatonii*	Susceptible	Fructification août à octobre	Se différencie des espèces voisines par ses feuilles.	Oui
Épilobe à graines nues	*Epilobium ciliatum subsp. Ciliatum var. Ecomosum*	Susceptible	Floraison estivale	Se différencie de l'épilobe cilié par sa taille et l'absence d'aigrette sur les graines	Oui
Isoète de Tuckerman	*Isoetes tuckermanii*	Susceptible	Sporulation estivale	Mégaspore réticulée	Oui
Lycope du Saint-Laurent	*Lycopus laurentianus*	Susceptible	Fructification août à octobre	Nucule avec aile mince	Présence soupçonnée dans l'herbier 7
Physostégie de Virginie	*Physostegia virginiana subsp. Virginiana*	Susceptible	Floraison juillet à septembre	Sa taille et ses fleurs voyantes	Oui
Spiranthe lustrée	*Spiranthes lucida*	Susceptible	Floraison mi-juin à la mi-juillet	Floraison hâtive, couleur des fleurs.	Oui
Zizanie naine	*Zizania aquatica var. Brevis*	Susceptible	Fructification août à octobre	Taille générale et taille de l'arête des lemas	Oui, observation dans les herbiers H1, H7 et H8

Les inventaires floristiques ont été réalisés à une période permettant l'identification des espèces potentiellement présentes dans les herbiers aquatiques. Aucune de ces espèces n'avait été observée en août 2017. En août 2018 toutefois, la seule espèce à statut clairement observée a été la zizanie naine (*Zizania aquatica var. Brevis*), présente dans trois des huit herbiers (photo 3). En fait, seuls deux lycopes similaires présents dans un des herbiers n'ont pu être identifiés hors de tout doute à l'espèce, étant donné l'absence de nucules. À l'exception de ce critère, les individus observés présentaient l'ensemble des caractéristiques propres au lycope du Saint-Laurent (*Lycopus laurentianus*), une espèce susceptible d'être désignée.

Photo 3 Lycope observé dans l'herbier H7

Par ailleurs, bien que, dans l'étude d'impact, il ait été écrit que les recharges et les épis allaient empiéter sur 2 409 m^2 d'herbiers aquatiques, les surfaces où auront lieu ces recharges vont être en bonnes parties recolonisées, et ce, même aux endroits où actuellement on observe la présence de substrats rocheux non propices au développement des herbiers. De plus, les épis vont induire une sédimentation des matières en suspension en transit à marée haute au-dessus de l'estran rocheux. Ce dernier va ainsi supporter à différents endroits une nouvelle couche de sédiments qui seront alors propices à un tel développement (voir le plan des recharges et des zones de sédimentation à l'annexe E de la note technique de Stantec [février 2019]). Or, parmi les végétaux qui s'implanteront se trouveront fort probablement diverses espèces végétales à statut particulier susceptibles d'être présentes dans ce secteur du fleuve. Somme toute, l'estran deviendra bien davantage vert par rapport à aujourd'hui, d'où un important gain net d'habitats floristiques et aussi fauniques, incluant les poissons et les oiseaux.

Les superficies empiétées par les épis et les recharges ainsi que celles des zones minimales d'expansion anticipée des herbiers ont été recalculées et sont présentées dans une version révisée du tableau 27 de l'étude d'impact (voir la réponse à la QC-49).

3.14 ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

3.14.1 Paysage

QC-48 La conservation des paysages du parc de la Plage-Jacques-Cartier est un enjeu important pour le bien-être des usagers. L'initiateur veut innover en proposant des variantes qui certes amélioreront la pérennité de la plage et du sentier, par contre l'effet visuel de certaines infrastructures telles que les épis brise-lames affectera potentiellement l'effet visuel du secteur à plusieurs endroits dans le parc.

- **Dans cet ordre d'idée, l'initiateur doit joindre des simulations visuelles afin que l'on puisse bien percevoir les effets des travaux sur cet aspect.**

Afin d'illustrer le futur paysage avec la présence des épis, Stantec a produit six (6) simulations visuelles différentes insérées en format 11 X 17 à l'annexe F de sa note technique révisée (Stantec, février 2019). Ces simulations ont été produites à marée basse, en considérant une cote uniforme du sommet des deux épis (A et B) de 3,32 m, soit 23 cm au-dessus du niveau des marées hautes moyennes (voir ces épis à l'annexe D de la note technique). Donc, il va se présenter tous les jours des moments où une grande partie de ces épis ne sera pas visible et deux périodes par mois (marées de vives-eaux) où ils seront complètement submergés par l'eau du fleuve. Évidemment, cela veut dire que ces ouvrages devront être balisés conformément aux prescriptions de la Loi fédérale sur la protection de la navigation afin d'éviter des accidents avec les embarcations de plaisance. Rappelons ici que ces épis seront construits en pierres arrondies comme la presque totalité des enrochements existant le long des berges de cette plage et comme les chapelets de blocs morainiques que l'on peut voir à plusieurs endroits le long des berges de la région de Québec. Ci-dessous une image du marais de Saint-Augustin-de-Desmaures (photo 4).

Photo 4 Chapelet de blocs morainiques au marais de Saint-Augustin-de-Desmaures

3.14.2 Enrochement

QC-49 Section 9.3, tableau 26, p. 9.12 : Dans la section d'activité enrochement, il est inscrit que les impacts seront la perturbation du poisson et que la durée est momentanée. Cependant, selon la compréhension de l'étude, une perte d'habitat est prévue.

Le poisson ne sera jamais perturbé puisque les travaux seront toujours réalisés à sec. En périodes de marées de mortes-eaux, l'eau n'atteint jamais la berge (sous la PMSMM à 3,09 m) et, en vives-eaux, qui ne durent que quelques jours à 2 reprises par mois, la durée du jusant, de l'étale et du flot est suffisamment longue pour travailler hors de l'eau. Les travaux étant coordonnés avec les marées, cela explique pourquoi les poissons ne subiront aucun impact direct en phase de construction, à part un impact peu significatif lors du placement des pierres sous l'eau complètement à l'extrémité des épis (dérangement ponctuel de courte durée par le bruit de la pelle mécanique plaçant les pierres).

- **À ce propos, l'initiateur doit documenter la perte d'habitat qui n'apparaît dans cette section.**

Étant donné, qu'outre les réparations ponctuelles dans les tronçons 1, 2 et 3a, tous les autres ouvrages directement en berges seront soit en enrochements végétalisés (où les pertes équivaudront aux gains) ou en génie végétal (qui ne seront que des gains), les seuls endroits où il y aura une perte « complète » d'habitat du poisson, seront ceux où il y aura les empreintes des épis. En effet, au niveau de l'empreinte des recharges de plage, les matériaux utilisés ayant un diamètre à préciser aux plans et devis, mais seulement un peu plus grossiers (ex. : 2 à 5 mm avec D_{50} de 3 ou 3,5 mm) que les matériaux naturels (1 à 3 mm avec un D_{50} de 1,5 mm), la modification de l'habitat ne devrait pas se traduire par un impact significatif sur les communautés biologiques du secteur, et ce, d'autant plus que les épis vont induire une sédimentation de particules plus fines par-dessus une partie de ces recharges. Cela explique pourquoi l'empreinte directe de ces recharges a été réduite de 50 % dans le tableau 27 révisé de l'étude d'impact inséré ci-dessous (tableau 7). En fait, les épis, par leur effet de sédimentation, devraient permettre une amélioration notable des habitats aquatiques du secteur, dont ceux des herbiers adjacents ainsi que des poissons, invertébrés benthiques, etc., ce qui fait que cette composante du projet (c.-à-d. les épis) en deviendrait plutôt une permettant l'autocompensation des pertes. Dans ce contexte, au global, toutes les interventions de stabilisation de ce projet feront en fait partie d'un vaste programme d'amélioration des habitats floristiques et fauniques d'un estran rocheux aux berges dégradées par l'érosion. Comme en témoigne ci-dessous la version révisée du tableau 27 de l'ÉIE, le bilan environnemental anticipé de ce projet sera ainsi nettement positif (1 335 m²) et, suite aux résultats du suivi de sa performance biologique, pourrait bien servir de modèle pour d'autres interventions du même type à travers la province de Québec.

Tableau 7 Bilan des empiétements et des gains d'habitats littoraux (révisé)

Segment	Intervention	Superficie d'empiétement sous la cote 0-2 an (perte environnementale) (m^2)	Superficie végétalisée sous la cote 0-2 an (gain environnemental) (m^2)	Perte d'herbiers existants (perte environnementale) (m^2)	Bilan (Cellule grisée indique une perte) (m^2)
1, 2, 3a	Réparations ponctuelles	229	0	0	-229
3b	Enrochement végétalisé	603	603	0	0
4	Enrochement végétalisé	586	586	0	0
5	Enrochement végétalisé	761	761	0	0
6a	Enrochement et génie végétal	186	0	0	-186
6b	Enrochement végétalisé	605	605	0	0
6c	Génie végétal	0	231	0	231
Réparation ouest de 7a	Enrochement végétalisé	72	72	0	0
7a	Génie végétal	0	2006	0	2006
7b	Enrochement végétalisé	327	327	0	0
Épi A	Enrochement	597	0	91	-597
Épi B	Enrochement	1127	0	255	-1127
ZSD amont Épi A	Dépôt naturel Herbier	0	5546	0	5546
ZSD aval Épi A	Dépôt naturel Herbier	0	1301	0	1301
ZSD amont Épi B	Dépôt naturel Herbier	0	7205	0	7205
ZSD aval Épi B	Dépôt naturel Herbier	0	4480	0	4480
Recharge T4	Gravier fin	5216	0	169	-2608*
Recharge T5	Gravier fin	7777	0	2394	-3888*
Recharge T6	Gravier fin	4975	0	540	-2488*
Recharge T7	Gravier fin	16 621	0	396	-8311*
Total	**-**	**39 682 m^2**	**23 723 m^2**	**3 845 m^2**	**1 335 m^2**

* : Perte partielle considérée = 50 %.

- **Également dans la même section, l'étude ne mentionne rien en lien avec la vulnérabilité accrue de la plage au phénomène d'érosion devant l'enrochement. Cette information doit être ajoutée au tableau.**

L'étude n'en mentionne rien parce que l'estran y est très largement rocheux, sauf en quelques endroits plus calmes où des matériaux sédimentaires peuvent demeurer en place, et parfois supporter la présence d'herbiers aquatiques. Par ailleurs, ces herbiers sont tous situés, au pied d'un haut de plage constitué de particules de schistes bien tassées sur au moins quelques dizaines de mètres de largeur, soit suffisamment éloignés pour ne pas subir le ressac des vagues frappant sur les berges. De plus, les enrochements prévus seront tous végétalisés, à l'exception du court tronçon 6a (34 m), au point où leur couvert végétal contribuera largement à la dissipation de l'énergie des vagues. Même en hiver, les tiges sans feuilles induiront un effet certain de dissipation en raison du maintien ou de la rétention d'un couvert nival induré ou glacé par les eaux du fleuve. Dans ce contexte, le phénomène d'érosion observable sur les plages devant les enrochements, à bien d'autres endroits au Québec, ne se manifestera pas le long de la plage de ce parc.

3.14.3 Habitat du poisson

QC-50 Section 9.3, p. 9.13 : Il est indiqué que les impacts de la stabilisation des berges sur le poisson et son habitat concernent uniquement les segments où des travaux sont prévus dans les herbiers aquatiques. Il est primordial de considérer que l'habitat du poisson n'est pas exclusif aux herbiers aquatiques.

- **À ce propos, l'initiateur doit calculer la perte d'habitat en fonction de tous les remblais effectués en dessous de la limite des inondations de récurrence de 2 ans.**

Le nouveau modèle numérique de terrain (MNT), les modélisations réalisées avec HEC-RAS et Mike 21 ainsi que les coupes types des ouvrages qui ont été produits (note technique de Stantec [2019]) ont permis de réévaluer les empiétements dans les habitats du poisson. Les résultats de ces travaux ont également permis de délimiter une zone potentielle de sédimentation au-dessus de l'estran, dont une partie servira à l'expansion des herbiers existants et l'autre, au recouvrement de l'estran rocheux par des matières en suspension et d'autres granulats véhiculés par le fleuve. Les superficies « minimales » des aires d'expansion anticipées des herbiers ont pu être évaluées (tableau 27 révisé à la QC-49). Par contre, bien que les limites de la zone potentielle de sédimentation aient été déterminées, la portion de l'estran rocheux, qui fera effectivement l'objet d'un dépôt « permanent » de substrat meuble colonisable par des invertébrés pouvant servir à l'alimentation des poissons benthophages, n'est pas connue. Seul le suivi de la performance biologique des ouvrages aménagés permettra d'en délimiter les contours. C'est pourquoi l'envergure exacte du gain environnemental évalué au tableau 27 révisé n'est pas définitive et doit être considérée comme le minimum anticipé. La délimitation au GPS de la zone de sédimentation après deux ou trois années de suivi, soit après quelques tempêtes maritimes, devrait donner un portrait plus définitif de ce gain. Les délimitations de ces suivis devraient se faire vers la fin août de chaque année de suivi afin d'obtenir un portrait annuel de l'expansion maximale des herbiers et des zones de sédimentation, la période de croissance étant presque terminée et celle des tempêtes d'automne n'étant pas encore commencée.

Tel que mentionné précédemment, le bilan environnemental global du projet en termes d'habitats littoraux sera positif, de telle sorte qu'aucun programme de compensation ne s'avérera nécessaire. Seul un suivi de performance biologique des aménagements sera effectué. Évidemment, si, pour de quelconques raisons inconnues, les résultats ne devaient pas s'avérer aussi bons que ceux anticipés, un programme de compensation sera alors élaboré et mis en œuvre à la satisfaction des autorités responsables.

3.14.4 Pertes relatives aux herbiers

QC-51 Section 9.3, tableau 27, p. 9.13 : Les pertes engendrées pour chacun des segments sont indiquées. Cependant, il semble y avoir une mauvaise concordance entre les pertes inscrites et les composantes du milieu biophysique de la figure 2. Voici les commentaires par segments :

- **Segment 1 : aucune perte de végétation n'est inscrite. Pourtant, ce segment est situé presque exclusivement dans un herbier. L'initiateur doit confirmer que celui-ci n'est pas touché.**
- **Segments 2 et 3 : aucune perte de végétation n'est inscrite malgré la présence d'herbiers. L'initiateur doit confirmer que ceux-ci ne sont pas touchés.**
- **Segment 5 : aucune perte de végétation n'est inscrite. Pourtant, ce segment est situé exclusivement dans un herbier. L'initiateur doit confirmer comment les travaux ne toucheront pas l'herbier.**
- **Segment 6 : aucune perte de littoral n'est inscrite. Pourtant, les travaux prévus à ce segment sont de l'enrochement. L'initiateur doit préciser si les travaux toucheront aux herbiers présents.**

La représentation schématique des ouvrages des différents tronçons sur les deux cartes de la figure 2 de l'ÉIE ne donne pas une image réaliste des empiétements sur la végétation aquatique. Contrairement à ce qu'elles montraient, les ouvrages sont localisés sur les berges, et non sur les plages où se trouvent les herbiers. Les nouvelles versions des cartes produites en réponse à la QC-1 et fournies en annexe A du présent document, les coupes types produites des ouvrages de protection en berges produites en réponse à la QC-19 et fournies à l'annexe C de la note technique de Stantec (février 2019), les coupes types des épis fournies à l'annexe D de cette même note, de même que la vue en plan des épis et des recharges prévues ainsi que des zones anticipées d'expansion des herbiers présentées à l'annexe E de cette note, de même que le bilan des empiétements et des gains du tableau 27 révisé en réponse à la QC-49, donnent maintenant une idée précise du projet et des impacts anticipés sur les herbiers aquatiques. Il est à noter que les herbiers qui seront ensevelis naturellement par la sédimentation induite par les épis n'ont pas été considérés comme des pertes. Cependant, ceux recouverts par les épis et les recharges l'ont été, même si, dans le cas des recharges, il est tout à fait vraisemblable de penser que de nouveaux herbiers vont s'y réinstaller à court ou moyen terme.

3.15 MESURES D'ATTÉNUATION – MILIEU BIOLOGIQUE

QC-52 Section 9.4.2 : Aucune mesure d'atténuation n'est proposée pour tenir compte de la présence des mulettes (incluant potentiellement des espèces à statut précaire) dans la zone qui sera impactée par les travaux.

- **L'initiateur doit prendre l'engagement de minimalement appliquer le protocole Mackie et coll. 2008 (publié par Pêches et Océans Canada) : http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/343380.pdf.**

Deux secteurs propices aux mulettes ont été identifiés dans la zone d'étude, soit à la hauteur des tronçons 3 et 7. Toutefois, seul celui situé à la hauteur du tronçon 7 sera situé à proximité de l'empreinte des travaux. Sur la base des conditions locales de substrat, une zone propice plus vaste que la zone d'observation des mulettes a été délimitée (voir la figure 2 mise à jour ; annexe A du présent document). Par contre, les interventions dans ce secteur, qui consisteront en l'installation d'une géogrille et l'aménagement d'une recharge de plage, ne recouvriront aucunement la zone où les mulettes ont directement été observées.

Néanmoins, comme la forme des bancs coquilliers peut évoluer au fil des ans, suite à la détermination des emplacements définitifs et exacts de la recharge à l'étape des plans et devis, un nouvel inventaire de mulettes sera proposé dans le cadre de la demande d'autorisation de construction (art. 22 de la LQE) afin de valider la localisation et la quantité des individus présents directement au droit des ouvrages de recharge (avec géogrille) et des épis. Les résultats de cet inventaire et, le cas échéant, un plan d'intervention pour la protection des espèces à statut seront déposés à un moment avant les travaux qui sera précisé dans la demande d'autorisation.

Dans le but d'éviter de causer la mortalité des mulettes qui seraient captives sous la géogrille et la recharge, les mulettes seront relocalisées. L'initiateur s'engage à effectuer la relocalisation des mulettes présentes dans les aires de travail selon le protocole Mackie et coll. (2008).

QC-53 À la section 9.4.2, p. 9.16 : L'initiateur prévoit les mesures d'atténuation B5 à B8 qui consistent à éliminer les débris des espèces envahissantes exotiques (EEE) et les déblais dans un site autorisé par la Ville de Québec, utiliser une barrière à sédiment et assurer une reprise végétale. Ces mesures s'avèrent efficaces pour limiter la propagation des EEE. Cependant, l'initiateur doit s'engager à les compléter par les mesures d'atténuation suivantes :

- **Nettoyer la machinerie avant son arrivée sur les sites des travaux et à la suite de ceux-ci afin qu'elle soit exempte de boue, de plantes et d'animaux.**
- **Dans la mesure du possible, commencer les travaux dans les secteurs non touchés puis terminer par les secteurs touchés ou nettoyer la machinerie à la suite des travaux dans les colonies de EEE. Le nettoyage doit être fait dans des secteurs non propices à la germination des graines, à au moins 50 m des cours d'eau, des plans d'eau, des milieux humides et de EFMVS.**
- **Effectuer le suivi annuel de deux ans après la fin des travaux pour les EEE qui se seraient établies à la suite des travaux.**
- **Acheminer un fichier de forme de coordonnées et l'abondance des EEE au MDDELCC.**

L'initiateur s'engage à appliquer les mesures d'atténuation mentionnées à la question QC-53.

3.15.1 Compensation habitat du poisson

QC-54 Section 9.5, p. 9.19 : Il est mentionné qu'un projet de compensation sera développé lors de la demande d'autorisation. Cependant, comme mentionné à la section 4.4 de la directive (novembre 2015), l'initiateur détermine les mesures de compensation à l'intérieur de l'étude d'impact.

- **L'initiateur doit préciser s'il a déjà des projets de compensation disponibles et en détailler le contenu.**
- **L'initiateur doit s'engager à déposer un projet de compensation au plus tard 6 mois après la date de la décision du gouvernement.**

L'initiateur est d'avis que son projet équivaut à un vaste programme d'amélioration des habitats floristiques et fauniques du secteur, et qui peut ainsi être considéré comme un important plan préliminaire d'autocompensation. Il est en effet d'avis que le bilan environnemental global de son projet représente un gain net d'habitats, tel qu'expliqué dans sa réponse à la QC-49. Si toutefois, les autorités ne partagent pas cet avis, l'initiateur s'engage à déposer un projet de compensation au plus tard 6 mois, après la date de la décision du gouvernement.

3.16 MESURES D'ATTÉNUATION – MILIEU HUMAIN

3.16.1 Archéologie

QC-55 Une surveillance archéologique doit être réalisée par un archéologue professionnel détenant un permis de recherche archéologique pour l'ensemble du projet dans l'emprise des travaux, et ce, en plus des inventaires archéologiques à prévoir dans les zones de potentiel archéologique. La surveillance archéologique doit faire partie des mesures prévues à la section 9.4.3.5, p. 9.18.

Également, à la même section, la mesure H12 doit mentionner que l'archéologue chargé de la surveillance archéologique des travaux sera avisé sans délai de la découverte d'un bien ou d'un site archéologique lors des excavations.

L'initiateur prend l'engagement de respecter ces deux nouvelles mesures.

QC-56

Le dépôt de la stratégie d'intervention archéologique doit être fait avant l'étape de la demande d'autorisation. L'initiateur ne doit pas seulement recommander cette stratégie, mais plutôt s'engager à l'effectuer.

- **Si l'inventaire archéologique de terrain dans les zones à potentiel archéologique ne peut être amorcé avant l'avis d'acceptabilité, la stratégie d'intervention archéologique doit présenter un calendrier détaillé de réalisation des interventions archéologiques.**

- **L'initiateur doit préciser si l'inventaire archéologique couvrira l'ensemble des zones de potentiel identifiées. Si certaines zones sont exclues, il doit présenter les arguments qui motivent cette exclusion.**

- **L'initiateur doit préciser quel sera le protocole mis en place pour évaluer l'importance des sites et les protéger s'il y a découverte de site durant l'inventaire ou durant la surveillance archéologique.**

9.4.3.5 Patrimoine bâti et archéologie

Mesures d'atténuation

H11 « *Il est recommandé en période de construction ou de consolidation des rives que l'emprise des travaux soit l'objet d'une surveillance archéologique sur l'ensemble du projet. De plus, si des excavations sont prévues ou un réaménagement du terrain avec de la machinerie lourde, que ce soit sur le bord du talus, sur la berge ou près de la falaise, des sondages devront être effectués préalablement. L'inventaire archéologique devrait être réalisé dans les quatre zones à potentiel avant le début des travaux. (…) Dans l'éventualité de la découverte de sites archéologiques, ceux-ci devront être évalués et pourraient être l'objet de fouilles archéologiques qui permettront de sauvegarder les données et les vestiges archéologiques. (…) De plus, en ce qui concerne les terrasses et les replats situés en retrait des rives, il est recommandé de procéder à un relevé complet des vestiges apparents associés aux villégiateurs de Crescent Beach.* » (Voir figure 8 et tableau 2 de l'Étude de potentiel archéologique, Ville de Québec, 2016, p. 41-42).

Pour l'inventaire et la surveillance archéologique, une stratégie d'intervention est présentée plus bas, assortie d'un calendrier de réalisation.

H12 Si un bien ou un site archéologique est découvert lors des travaux d'excavation sans la présence d'un archéologue, même en zone subaquatique, arrêter les travaux et informer sans délai le responsable du chantier.

H13 Éviter toute intervention de nature à compromettre l'intégrité du bien ou du site archéologique découvert et aviser un représentant du ministère de la Culture et des Communications (MCC).

Validation des zones de potentiel archéologique

L'étude de potentiel archéologique produite par la Ville de Québec (2016) présente quatre zones de potentiel archéologique définies spécifiquement en relation avec le potentiel archéologique préhistorique. On y souligne avec pertinence l'association de la bande riveraine fluviale avec la zone d'étude du projet, ce qui confère d'emblée un potentiel d'occupation humaine ancienne à toute la basse terrasse.

L'ensemble de la zone d'étude est confiné à la basse terrasse littorale. Du point de vue paléogéographique, la faible variation des cotes d'altitude de la zone d'étude permet de circonscrire assez précisément les moments d'exondation et de submersion de la basse terrasse, en relation avec les fluctuations des niveaux marins consécutifs à la déglaciation.

La courbe d'émersion a été schématisée par Dionne (1988 :241) à partir de données obtenues près de Montmagny, et peut s'appliquer à la zone d'étude (Dionne, 1988). Selon Dionne (1988 : 242), les points saillants à retenir sont les suivants :

- Avant la disparition du verrou glaciaire de Québec, vers 12 500 radio carbon years Before Present (rcyBP) (13 950 Avant aujourd'hui), le niveau de la mer de Goldthwait atteint 160 m ;
- Entre 12 500 rcyBP (13 950 AA) et 7 500 rcyBP (8 350 AA) il y a une régression majeure qui ramène le niveau de 160 m jusqu'au niveau actuel (0 m). Donc, dès 7 500 rcyBP (8 350 AA), la zone d'étude devient disponible à l'occupation humaine ;
- Entre 7 000 rcyBP (7 840 AA) et 6 000 rcyBP (6 850 AA), le niveau de l'eau régresse jusqu'à une altitude de 5 m plus basse que celle d'aujourd'hui, reléguant la zone d'étude en retrait du rivage actif du fleuve ;
- Entre 5 800 rcyBP (6 650 AA) et 4 500 rcyBP (5 150 AA), la *transgression laurentienne* rehausse le niveau de 15 m, ce qui correspond à l'altitude actuelle de 10 m, submergeant presque complètement la zone d'étude.
- Entre 4 400 rcyBP (4 950 AA) et 3 000 rcyBP (3 200 AA), une nouvelle régression ramène le niveau à l'équivalent de ce que nous connaissons aujourd'hui (0 m), ce qui replace la zone d'étude dans le contexte riverain actuel ;
- Entre 3 000 rcyBP (3 200 AA) et 2 000 rcyBP (1 950 AA), une dernière transgression fait monter le niveau jusqu'à 4 ou 5 m, ce qui submerge en partie la zone d'étude en raison des marées ;
- À partir de 2 000 rcyBP (1 950 AA), le niveau redescend à la cote 0.

Selon ces données, la basse terrasse à 5 m d'altitude est accessible approximativement de 8 350 AA à 6 650 AA, de 4 950 AA à 3 200 AA, puis de 1 950 AA à aujourd'hui.

Étant donné l'altitude moyenne de 5 m à 10 m d'altitude sur l'ensemble de la basse terrasse, les périodes culturelles qui pourraient potentiellement être identifiées correspondent aux moments où la terrasse se trouvait exondée, soit pendant l'Archaïque moyen au moment de la première exondation, pendant l'Archaïque supérieur laurentien (phase Brewerton), puis pendant le Sylvicole inférieur, moyen et supérieur.

Les données altimétriques recueillies sur les sites archéologiques préhistoriques de la région de Québec permettent toutefois de raffiner cet exercice, car les sites de l'Archaïque laurentien et ceux du Sylvicole inférieur et moyen se rencontrent habituellement sur les terrasses de 10 m d'altitude. Seuls les sites du Sylvicole supérieur se retrouvent normalement sur les basses terrasses de 5 m en bordure du fleuve, souvent dans des contextes similaires à ceux de la plage Jacques-Cartier, sans lien avec des repères topographiques marquants. Pour ce qui est des sites de l'Archaïque moyen, très peu sont connus, peut-être en raison de l'abaissement du niveau de l'eau à 5 m sous la cote actuelle pendant cette période, ce qui placerait ces sites sous l'eau aujourd'hui.

Tenant compte de ce qui précède, le potentiel archéologique pour la période préhistorique est considéré moyen sur toute la basse terrasse, surtout pour la période du Sylvicole supérieur. L'arrière de la terrasse, à la limite de l'altitude de 10 m, pourrait présenter des vestiges de l'Archaïque supérieur et du Sylvicole inférieur et moyen. Toutefois, les travaux prévus au projet ne touchent pas les parties plus hautes de la basse terrasse.

La définition des zones de potentiel archéologique dans l'étude de la Ville de Québec (2106) tient compte de l'espace plat disponible entre le pied de la falaise et la marge riveraine actuelle, de même que de la présence d'un ancien ruisseau aujourd'hui disparu. Cela conduit à retenir l'ensemble de la section est du projet en continu dans les zones de potentiel n°s 1 à 3 et une partie de la section ouest avec la zone de potentiel n° 4, en raison d'un petit replat accueillant pour l'établissement humain ancien. Les zones de potentiel archéologique définies dans l'étude de la Ville de Québec sont considérées comme pertinentes et de ce fait, validées.

QC-57 Advenant la découverte de sites menacés par le projet ou d'un site archéologique jugé de grand intérêt patrimonial dans la zone d'étude du projet :

- **L'initiateur doit préciser les critères (qualitatifs et quantitatifs) qui seront utilisés dans le but de prioriser les interventions.**
- **L'initiateur doit préciser quelles actions et mesures seront prises pour la conservation et la diffusion des découvertes.**

Critères utilisés pour prioriser les interventions archéologiques

Advenant la découverte de sites archéologiques menacés par le projet d'aménagement ou d'un site archéologique jugé d'un grand intérêt patrimonial, la marche à suivre pour déterminer la suite des procédures débute avec la superposition des limites du site archéologique sur le plan des travaux à réaliser.

Chevauchement des travaux sur le site archéologique : Le premier critère concerne la correspondance spatiale entre la surface du site archéologique et l'emprise des travaux prévus aux plans.

Différents scénarios peuvent être envisagés, en fonction du niveau de chevauchement des travaux sur un site archéologique. Il peut y avoir une zone de correspondance mineure, moyenne ou majeure. Dépendant du résultat de cet exercice, des mesures d'atténuation adaptées peuvent être proposées. Principalement, deux voies peuvent être explorées pour pallier le problème.

Possibilité de fouiller le site archéologique : Le résultat de l'évaluation de l'importance patrimoniale du site archéologique permet une gradation, qui va établir le rapport de priorité entre le site archéologique et les travaux à être réalisés. Ainsi, on comprend que la découverte d'un site du calibre du Fort d'en haut de Cartier et Roberval va prendre l'ascendant sur les travaux à réaliser et que ceux-ci devront s'ajuster à la présence du site archéologique. Le site archéologique devient alors une « zone protégée ».

Une situation plus courante et envisageable correspond mieux à un site important, dont il faut sauvegarder les données avant le début des travaux d'excavation. L'ampleur du chevauchement des travaux sur le site archéologique va déterminer s'il est possible de procéder à la fouille archéologique systématique, même

de sauvetage, dans un échéancier compatible avec celui de la réalisation des travaux. Si cela s'avère impossible, il faut envisager la solution de procéder à la modification des plans de construction ou de son échéancier.

Possibilité de modifier le plan des travaux : Habituellement, la production des plans de construction tient compte des données disponibles au moment de les réaliser. Les zones de potentiel archéologiques éventuelles peuvent paraître intangibles à ce moment et elles n'influencent pas particulièrement la configuration des travaux d'aménagement. Si une contrainte véritable survient, comme la découverte d'un site archéologique important en chevauchement de l'emprise des travaux, les ingénieurs peuvent développer des solutions adaptées à la situation.

Pour éviter de perturber un site archéologique important, il est possible de reconfigurer le tracé des travaux ou même de trouver de nouvelles solutions techniques, qui arriveront au même résultat recherché. Enfin, il demeure possible d'adopter une approche qui tire à la fois profit de la fouille d'une partie du site archéologique et d'une modification du tracé des travaux, si cela s'avère plus profitable pour les deux points de vue (archéologie et construction). En dernier recours, si les plans de construction ne peuvent pas être modifiés ou adaptés, il faudra nécessairement procéder à la fouille complète de la section du site qui est menacée de perturbation.

Échéancier : Un critère central à prendre en compte est celui de l'échéancier de réalisation des travaux, qui doit tenir compte de certains impératifs comme la saison hivernale. L'archéologie est contrainte par les mêmes conditions climatiques et il faut coordonner l'ensemble de la réalisation du projet en tenant compte des deux aspects. D'autre part, en connaissance de cause, il est toujours possible de planifier la réalisation des travaux d'aménagement pour débuter par un secteur libre de contrainte archéologique, pendant que la fouille du site s'effectue dans un autre secteur. Il s'agit d'une stratégie couramment mise en application sur les grands projets d'aménagement. L'archéologie devient alors un volet comme un autre, dans la planification générale de réalisation du projet.

Dans le cas d'un site archéologique d'importance majeure, s'il advenait une incompatibilité totale entre l'échéancier de réalisation des travaux et la fouille archéologique, il faudra envisager de reporter la réalisation des travaux d'aménagement à un moment ultérieur ou même à l'année suivante.

Programme archéologique régulier : Hors des situations exceptionnelles, il est possible de définir une séquence de réalisation qui correspond bien avec la réalité habituelle. Suite à la découverte d'un site archéologique menacé par les travaux d'aménagement, il faut faire diligence et engager rapidement la suite du processus. D'abord, il faut déterminer la superficie pouvant être touchée par les travaux, puis établir si on fouille le site ou si on change le tracé des travaux. Dans le cas de la première option, on doit élaborer la stratégie d'intervention spécifique, afin d'amorcer les fouilles dans les meilleurs délais.

Si la fouille ne concerne qu'une partie du site, il faut s'assurer de protéger adéquatement la section qui demeure intacte. Comme l'étape des excavations mécaniques et du terrassement se fera sous la surveillance d'un archéologue, ce dernier pourra veiller à ce que les travaux n'empiètent pas sur la section du site archéologique laissée en place. La suite du travail archéologique comme le traitement des artefacts et la production du rapport pourra se réaliser plus tard, à la période hivernale.

Actions et mesures pour la conservation et la diffusion des découvertes

Conservation des vestiges archéologiques : Cet aspect couvre plus d'une situation et plus d'une catégorie de vestiges. On pense d'abord ici à la conservation des vestiges architecturaux éventuels pendant la fouille systématique d'un site archéologique, mais également à la conservation de la culture matérielle.

Pour ce qui est des artefacts, il convient de suivre la procédure habituelle et de consulter le manuel L'Archéologue et la conservation de Bergeron et Rémillard (1991) pour les matériaux sensibles. Comme les artefacts seront retirés du site, cela ne pose pas de problème particulier. Pour les vestiges immobiliers, il faut statuer sur leur importance patrimoniale et prendre les mesures adéquates pour assurer leur conservation in situ. Cela peut signifier de procéder à leur remblaiement avec du sable, après avoir recouvert les vestiges de membrane géotextile, ce qui les protégera et facilitera leur mise à jour éventuelle dans le futur.

L'autre situation à prendre en compte correspond à celle des vestiges architecturaux mis au jour en cours d'excavation mécanique, dans le cadre de la surveillance archéologique des travaux. L'entrepreneur responsable des travaux doit prendre toutes les précautions nécessaires pour protéger et pour préserver les vestiges jugés d'importance par l'archéologue, lors de toutes ses opérations. L'entrepreneur doit appliquer des mesures de protection aux vestiges devant être conservés : consolidation des vestiges abîmés ; pose d'une membrane géotextile entre les vestiges et les matériaux de remplissage ; remplissage et compactage progressif. En cas de bris, l'entrepreneur est tenu de remplacer les matériaux endommagés ou des portions de vestiges disloqués par ses travaux en s'assurant que la consolidation ou les réparations respectent les matériaux et les volumes originaux. Toujours dans le même contexte de surveillance, l'archéologue doit avoir le temps de procéder à la récupération des artefacts et cette opération requiert une bonne collaboration de la part de l'opérateur de l'excavatrice hydraulique, pour lui permettre d'accéder et de quitter la fosse d'excavation au besoin. Une mise en garde doit également être portée à l'attention des travailleurs, à l'effet que les vestiges artéfactuels mis au jour par ces derniers doivent être rapportés à l'archéologue.

Diffusion des découvertes : Le parc de la Plage-Jacques-Cartier est un lieu public qui profite d'une forte affluence. Il s'agit du premier endroit à prioriser pour la mise en valeur des découvertes archéologiques éventuelles. Des panneaux d'interprétation sont déjà installés sur le tracé du parc des Grèves, en continuité de la plage Jacques-Cartier, vers l'est et les ponts. Il serait certainement intéressant de prolonger l'installation de panneaux similaires dans la zone d'étude du projet. Tout dépendant du type de vestiges archéologiques mis au jour au cours de l'inventaire et de la surveillance archéologique, il est possible d'envisager la présentation de vestiges architecturaux à ciel ouvert, avec un panneau d'interprétation directement attenant.

Outre la mise en valeur par des moyens physiques, il est certainement d'intérêt d'inclure une diffusion par l'ajout d'informations sur le site internet de la Ville de Québec (section parc de la Plage-Jacques-Cartier), pour inciter les visiteurs à se rendre compte sur place des éléments de mise en valeur physiques. Des conférences pourraient aussi être présentées si les découvertes le justifient, de même qu'une interprétation sur place avec des guides.

3.17 SOMMAIRE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

QC-58 À la section 9.5, p. 9.19 : les périodes de restrictions environnementales sont mentionnées dans le tableau 28. Par contre, il y a un chevauchement entre la période des travaux et celle de la période de pêche à l'esturgeon noir (1er septembre au 15 octobre). Bien que l'étude ait pris en compte la présence d'activité de pêche, les impacts et les mesures d'atténuation ne sont pas décrits. Cependant, nous comprenons que ces impacts peuvent être difficiles à évaluer à part en questionnant directement les titulaires de permis des lieux exacts d'installation de leurs filets de pêche.

L'initiateur doit donc présenter la stratégie qui l'entend mettre en œuvre afin de considérer les impacts potentiels de ses travaux sur cette activité de pêche.

Lors de son activité de consultation du 24 septembre 2018, la Ville de Québec et son consultant ont obtenu certaines informations auprès des citoyens du secteur du projet. Ceux-ci ont indiqué ne jamais avoir vu de pêcheurs commerciaux dans ce secteur. De plus, selon les données disponibles, seuls les filets maillants et les casiers à écrevisses sont autorisés comme engins de pêche pour les permis accordés dans cette zone de la région de Québec. Aucun vestige d'une ancienne pêche à la fascine dans tout ce secteur n'a été repéré lors des visites de terrain, ce qui fait du sens étant donné la nature rocheuse, avec dépôts meubles très minces, de l'estran. Dans ce contexte, en raison de la largeur importante de la batture à marée basse, de sa nature rocheuse et de sa faible pente, de même que le fait que les poissons visés par les permis et les écrevisses doivent demeurer dans l'eau même à marée basse, toute activité de pêche commerciale, notamment à l'esturgeon noir, ne pourrait être vraisemblablement réalisée qu'au large, soit plus loin que l'isobathe correspondant au zéro marégraphique. Ces engins de pêche seraient donc situés bien loin du site des travaux qui, eux, seront effectués en haut de plage, au droit de la berge érodée ainsi que sur l'estran rocheux. Aussi, la conclusion de l'analyse des informations sur cette composante est que le projet n'aura aucune incidence sur les activités des pêcheurs commerciaux de cette région.

3.18 PROGRAMME DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL

QC-59 À la section 11.2, p. 11.2 : l'initiateur propose un suivi environnemental des ouvrages qui seront réalisés. Par contre, il n'y a aucune mention en lien avec le suivi des herbiers aquatiques suite aux travaux.

- **L'initiateur doit s'engager à instaurer un suivi environnemental des herbiers et des habitats aquatiques.**

L'initiateur s'engage à instaurer un suivi environnemental complet des herbiers et des habitats aquatiques.

3.19 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Certains commentaires sont ressortis lors de l'analyse de l'étude d'impact. Ils ne requièrent pas une réponse de l'initiateur, mais sont plutôt présentés ici à titre informatif par souci de rigueur et dans un objectif de préciser les informations contenues dans l'étude.

- **Section 6.4.4, p. 6.24 : Il est indiqué que trois détenteurs de permis sont présents dans la zone PLIO 11-3 et 11-3.2 : selon le MFFP, il y a en fait un total de 14 détenteurs de permis dans cette zone. Toujours à la même page, on y mentionne des engins de pêche autorisés. L'engin de pêche suivant doit être ajouté à la liste : filet maillant, mailles de 13 à 15 cm, pour un maximum de seize engins pour un maximum de 640 brasses.**

- **Section 6.4.4, p. 6.24 : Une erreur d'attribution a eu lieu dans cette page au niveau de l'élaboration des plans de gestion de la pêche. Ils sont plutôt élaborés par le MFFP que le MAPAQ, tel qu'indiqué.**

L'initiateur prend note de ces commentaires.

4.0 PRÉCISIONS SUPPLÉMENTAIRES

4.1 RECOMMANDATIONS (COURRIEL 7 AOÛT 2018)

À la suite d'une visite de terrain et d'une rencontre tenue le 2 août 2018 entre le MDDELCC et l'initiateur portant sur les questions du présent addenda, le MDDELCC a fait part à l'initiateur d'une liste de recommandations plus détaillées (courriel du 7 août 2018). Ces dernières sont les suivantes :

1. **Il est recommandé d'effectuer une modélisation hydraulique pour la génération des vagues, tel que cela a été présenté dans l'étude précédente de Norda Stelo. Cela permettra d'évaluer plus précisément l'impact de l'aménagement des épis à l'élévation proposée sur l'atténuation des vagues. À ce sujet, il faut noter que des questions ont été soulevées lors de la visite sur la pertinence et le positionnement de l'épi en amont du tronçon 5. En effet, les marques d'érosions observées semblaient être provoquées par des vagues provenant de l'est, alors que l'épi offre une plus grande protection pour les vagues de l'ouest. Autrement, un modèle hydraulique permettra de mieux caractériser les hauteurs de vagues à différents endroits sur un même tronçon, afin de valider plus précisément si des solutions alternatives à l'enrochement peuvent être envisagées sur certaines parties (ex. : génie végétal).**

Les modélisations ont été réalisées avec le logiciel Mike 21, leurs résultats et leur interprétation sont présentés dans la note technique révisée de Stantec (février, 2019). Cette note technique est présentée à l'annexe B.

2. **Des relevés LiDAR du secteur à l'étude ont été faits en 2017 et peuvent être achetés sur le site Géoboutique du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN). Ces données sont donc disponibles pour raffiner le modèle hydraulique en 2D, et le futur modèle hydraulique de vagues.**

Les relevés LiDAR de 2012 et 2017 fournis par la Ville ont été examinés afin de sélectionner le meilleur d'entre eux pour produire le MNT. À ceux-ci ont été couplées également les données de la bathymétrie de l'estran relevées par GéniArp 2017. La réponse à la QC-22 fournit des informations plus détaillées quant au nouveau MNT produit et utilisé pour effectuer les modélisations hydrauliques et hydrosédimentaires.

3. **Il est recommandé d'effectuer un relevé bathymétrique du tronçon à l'étude en embarcation pour mieux caractériser l'estran du fleuve, ainsi que la position et la longueur possible des épis envisagés dans l'étude. En ayant cette information, il sera possible de mieux évaluer la superficie d'empiétement des épis. Ces données pourront aussi être utilisées pour raffiner le modèle hydraulique en 2D, et le futur modèle hydraulique de vagues.**

Aucune nouvelle bathymétrie n'a été réalisée, celle de GéniArp ayant été jugée suffisamment précise. Les données du SHC 2010 relevées au sonar multifaisceaux couvrent la zone profonde du fleuve. (Voir la réponse fournie à la QC-22).

4. **Les options de génie végétal devraient être envisagées plus sérieusement dans l'étude, surtout pour les tronçons où le sentier est plus éloigné de la berge. Pour les tronçons 1 à 3, nous comprenons qu'il n'y a presque plus de marge de sécurité avec le sentier et qu'un enrochement peut être nécessaire à court terme. Par contre, pour les autres tronçons, nous avons observé**

qu'à plusieurs endroits où il y a une végétation bien implantée, la problématique d'érosion est bien moindre. De plus, comme discuté lors de notre rencontre, un des désavantages de l'enrochement est qu'il peut accélérer l'érosion de la plage qui se trouve en face par la réflexion des vagues. Pour les tronçons où il est prévu de faire un enrochement en plus d'une recharge de plage, il pourrait être plus judicieux d'opter pour une stabilisation végétale des berges afin de diminuer la fréquence de recharge ainsi que les volumes nécessaires.

Voir les réponses fournies aux QC-17, 18, 19, 28, 33, 35, 40 et 41.

5. **À l'amont du tronçon 7, la fin de l'enrochement existant a été déplacée avec le temps et les pierres semblent agir comme des déflecteurs qui orientent les vagues vers une partie spécifique de la berge. De l'érosion importante a d'ailleurs été observée à la base de gros arbres qui se trouvent à côté. Il faudrait donc prévoir dans le plan de protection des berges de reconstruire cette partie d'enrochement afin qu'il épouse la berge, et pour limiter les effets de bout. Autrement, des techniques de génie végétal pourraient être envisagées pour l'ensemble du tronçon 7 où on retrouve de l'érosion.**

À l'étape des plans et devis de construction, les correctifs à apporter à cet enrochement, situé à l'extrémité ouest du tronçon 7a, afin qu'il épouse la berge de façon adéquate, seront planifiés. Cette réparation se fera au moyen d'un enrochement végétalisé. Celle-ci a été prise en compte au tableau 1 des volumes de la section 3.1 de ce document, au tableau 27 révisé de la QC-49 et dans la coupe type AM-02 de l'annexe C de la note technique de Stantec (février 2019 – annexe B). Pour l'ensemble du tronçon 7a, il est prévu d'y appliquer des techniques de génie végétal, telles qu'illustrées sur la coupe type AM-04 demandée à la QC-19 et fournie aussi à l'annexe C de la note technique (annexe B).

6. **Tel que discuté lors de la rencontre, des pierres arrondies pour les enrochements de protection sont moins stables que des pierres angulaires. Il a été convenu que les pentes de 1V:1H proposées dans l'étude ne sont pas adéquates. Pour la suite des choses, il faudra cependant démontrer quelle pente est adéquate en fonction des forces hydrauliques aux sites à l'étude (ex. : 1V:1.5H, 1V:2H, etc.) et ajuster la superficie d'empiétement en conséquence.**

Les pentes sélectionnées pour la stabilisation des berges sont les plus stables, tout en induisant le moins d'impacts sur le milieu. Une seule pente sera de 1,5 H : 1V. Toutes les autres seront de 2H : 1V jusqu'à 4H : 1V, si possible. Par ailleurs, les ouvrages seront reculés le plus possible afin de limiter au maximum l'empiétement sur le milieu hydrique. Tout ceci est illustré sur les coupes types de l'annexe C de la note de Stantec (février 2019), tel que demandé à la QC-19 du présent document.

7. **Selon les discussions, il a été avancé que la mise en place des épis aurait comme effet à long terme d'agrandir les herbiers déjà en place. Il importe que cette affirmation soit appuyée par la littérature et par des exemples de cas similaires (même type de zone à marée, eau douce, même type de végétation).**

Une revue de littérature scientifique a documenté cet aspect en réponse à la QC-46 du présent document.

4.2 COMPLÉMENT D'INFORMATION (COURRIEL DU 26 AVRIL 2019)

1. **Sur la caractérisation du régime hydrosédimentaire, l'initiateur doit effectuer des simulations hydrodynamiques incluant les cycles de marées et les débits tidaux sur une durée suffisante permettant de caractériser le transport sédimentaire en direction amont et aval du fleuve Saint-Laurent. Pour ces simulations, il doit notamment y intégrer les propositions suivantes afin de valider la pertinence et l'épaisseur des recharges de plage en plus de justifier la présence ou l'envergure des épis :**

   a. **État actuel;**
   b. **Recharge de plage, mais sans la présence des épis;**
   c. **Avec épis, mais sans la présence de recharges de plage;**
   d. **Avec épis + la présence de recharges de plage.**

   Note : Une quantité importante de sédiments est transportée à l'embouchure de la rivière du Cap-Rouge. Ces sédiments sont susceptibles d'être dirigés ensuite vers les tronçons 6 et 7, où des recharges de plages sont anticipées. L'initiateur doit donc en tenir compte dans l'analyse du régime hydrosédimentaire entre ces secteurs afin de mieux comprendre et évaluer les besoins réels en recharge de plage.

Chaque année, près de 6,5 millions de tonnes de matières en suspension (MES) entre à la tête du secteur Québec-Lévis, dont 70 % lors de la crue printanière. Le long du cours principal du fleuve dans le secteur d'étude, la dynamique sédimentaire est influencée par plusieurs facteurs, dont le débit du fleuve, les marées, les vagues, les courants, le mélange des eaux, particulièrement en amont de Québec et dans le chenal des Grands Voiliers; entre autres, la forte turbulence des eaux empêche le dépôt des matières en suspension sur le fond du fleuve et sur les battures (Gagnon, 1995). Considérant les vitesses moyennes des courants dans ce secteur, les particules fines sont constamment transportées par le courant, si elles se retrouvent dans le chenal. Par contre, la vitesse des courants étant beaucoup plus faible près de la côte et particulièrement dans les anses, la zone intertidale constitue généralement un milieu favorable à la sédimentation des particules.

Un choix de données représentatives pour la concentration en MES devait ainsi être fait afin d'être intégrées aux modélisations à réaliser. Une revue sommaire de littérature a donc été réalisée afin d'étayer ce choix. Celui-ci a notamment tenu compte des changements dans les pratiques de rejet tant au niveau municipal qu'au niveau industriel dans les eaux du fleuve Saint-Laurent. Selon Hébert et Belley (2005), entre 1990 et 2001, il y a eu une baisse significative de la turbidité et des MES à la majorité des stations d'échantillonnage, alors que les programmes d'assainissement ont permis en 20 ans de réduire les rejets municipaux d'une façon importante, dont les MES de 78% et, que le programme de réduction des rejets industriels a également permis une diminution de 87 % des rejets en MES. De façon générale, la pollution agricole affecte plus fortement ses tributaires que le fleuve lui-même. Au cours de la période 1999-2008, malgré l'amélioration de la qualité générale de l'eau des rivières du Québec méridional, de 80 à 87 % des stations d'échantillonnage n'ont pas présenté de changement significatif de concentrations en MES (MDDEP, 2012). Ce constat est repris également par Giroux et al. (2016) qui rapportent qu'après 2 décennies d'amélioration, la qualité de l'eau du Saint-Laurent est restée relativement stable entre 2000 et 2014.

En ce qui concerne les eaux de la rivière Cap-Rouge, dont l'embouchure est située immédiatement en amont de la plage Jacques-Cartier, le suivi régulier de la qualité fait de 2005 à 2010 a montré que les données en matières en suspension (MES) ne dépassaient que rarement 6 mg/L (Roche, 2011a). C'était aussi le cas pour les données des années suivantes aux mêmes stations. La station la plus en aval dans la rivière, soit la station R-5, est située à plus d'un kilomètre et demi de l'embouchure et n'a pas été retenue pour estimer la teneur en MES devant servir d'intrant aux différentes modélisations hydrauliques. En effet, les résultats de MES de cette station ne présentant aucun patron particulier de transport sédimentaire (ex. : teneurs plus élevées en crue), ceux-ci n'ont donc pas pu être retenus.

Parallèlement à cette revue de littérature, des données de MES ont été obtenues aux stations 00000082 et 00000143 du MELCC et ce, depuis 1998, dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de Cap-Rouge, toutes deux immédiatement en amont de l'embouchure de la rivière Cap-Rouge (source : Mario Bérubé, MELCC, communication personnelle). Également, l'organisme des bassins versants de la Capitale a fourni l'ensemble des données de MES à la station d'échantillonnage R-5 de la rivière Cap-Rouge, allant de 2005 à 2017 (source : Andréanne Hains, Conseil de bassin de la rivière du Cap-Rouge, communication personnelle). C'est l'analyse de ces dernières données qui a permis de conclure que celles-ci ne pouvaient finalement pas être utilisées.

En fait, les critères de sélection pour identifier la station d'échantillonnage à partir de laquelle a été établie la teneur en MES devant être utilisée lors de la modélisation hydraulique étaient le nombre d'années de suivi, la fréquence mensuelle des échantillonnages, la présence de données durant les mois de plus fort transport sédimentaire (avril, mai et novembre) ainsi que le nombre de mois de données prélevées en l'absence de glace. La station 00000082 Saint-Laurent à la prise d'eau de Sainte-Foy est celle des stations échantillonnées qui était le plus en adéquation avec ces critères.

Considérant la disponibilité, la fréquence et la localisation des résultats, la détermination de la teneur en MES s'est faite à partir de calculs statistiques mensuels sur l'ensemble des données disponibles (1998-2018). Ainsi, une moyenne mensuelle en mg/L a pu être générée pour chaque mois de l'année. La récolte des échantillons a été faite selon un protocole standard établi par le MELCC.

La distribution granulométrique retenue pour la modélisation hydraulique s'est appuyée sur les constats suivants. La granulométrie des particules formant les matières en suspension du fleuve Saint-Laurent est constituée essentiellement d'argile et de silt (limon) dans le chenal du Saint-Laurent. Une dominance en argile est plausible considérant que les basses terres du Saint-Laurent sont surtout composées d'argile et qu'une partie du bassin versant de chacun des tributaires du fleuve Saint-Laurent en amont de Québec s'y déverse. Le long des rives, en aval de Montréal, les tributaires du fleuve charrient 60 % de la charge sédimentaire avec une granulométrie susceptible de varier d'un tributaire à l'autre. La littérature rapporte que 70 % de la charge sédimentaire du fleuve est transportée lors de la crue printanière. Les vitesses de courant étant plus élevées à cette période, il est raisonnable d'imaginer que les tailles moyennes des particules y seraient également plus élevées. Le long des rives, les sables émis par les tributaires vont vraisemblablement être déposés plus rapidement et s'accumuler alors que le silt et ensuite les argiles vont se succéder et seront transportées vers le centre du chenal, avec une fraction de ces derniers se déposant à marée haute sur les battures de la zone intertidale.

Sur la base de ces informations, les hypothèses utilisées sur la composition de la granulométrie des MES ont donc été les suivantes:

- Avril et mai : 40 % argile, 35 % silt et 25 % sable;
- Novembre : 45 % argile, 40 % silt et 15 % sable;
- Tous les autres mois : 50 % argile et 50 % silt.

Ainsi, la proportion de sable y est maximale au printemps, élevée en novembre et considérée comme non existante pendant les autres mois de l'année. Les particules plus fines, argile et silt, suivent le patron inverse, soit en proportions plus élevées lors des mois avec peu d'événements de précipitations, jusqu'à des proportions minimales au printemps où la compétence des cours d'eau y est la plus élevée.

Afin de démontrer le comportement hydraulique et sédimentaire en dehors des phénomènes extrêmes (écoulement, vent et marée), des modélisations ont été réalisées sur une année complète et représentative des phénomènes moyens. L'analyse de l'année représentative a été basée sur les facteurs principaux induisant de l'érosion, soit les niveaux d'eau (marées) et les vents (vagues); le débit du fleuve ou la vitesse d'écoulement n'étant pas considérées comme des causes principales de l'érosion. Sur une période de plus de 50 années de données, les 3 années qui ont présentées les plus petites valeurs des sommes des écarts quadratiques (débits, vents et marées) sont les années 2000, 1994 et 2004. De ces trois années, c'est l'année 2000 qui a été retenue, car elle présentait la plus petite somme de ces écarts. Le détail des données sur les niveaux d'eau, les débits et les vents est fourni dans le rapport intitulé « Simulations additionnelles pour l'étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier », daté du 4 décembre 2019, a été produit en complément d'information (annexe F). En résumé, les intrants du modèle correspondent aux vents horaires (24 valeurs horaires de direction et vitesse par jour), au niveau d'eau (24 valeurs horaires par jour), au débit journalier (1 valeur moyenne par jour), et à la concentration et à la composition de sédiment (1 valeur moyenne par mois).

Ces modélisations avaient pour but de valider et justifier la présence ou l'envergure des épis ainsi que la conception et le dimensionnement des ouvrages de protection en berges. L'implantation des épis est considérée essentielle pour limiter l'impact des vagues qui sont la principale cause d'érosion dans les tronçons 5 et 7 due aux vagues en provenance de l'ouest et dans les tronçons 4 et 6 issues des vagues provenant du côté est. Les modélisations proposées sur une durée suffisante et qui ont été réalisées portent sur les différents états suivants :

1. État actuel sans épis dans des conditions standards de marées et de vents.

2. État actuel avec épis à l'élévation 3,32 m.

3. État actuel avec épis à l'élévation 2,00 m.

4. État actuel avec épis à l'élévation 4,51 m.

5. États de tempêtes avec les trois hauteurs d'épis.

Quant à leurs résultats, ceux-ci concernent une analyse comparative des vitesses d'écoulement, des vagues, de l'érosion et de la sédimentation ainsi que des hauteurs d'eau.

Les modélisations incluant les recharges de plage ont été mises de côté en raison de leur faible épaisseur, soit d'environ 20 cm. En effet, elles ne permettaient pas de percevoir des changements suffisamment importants pour obtenir des résultats observables et concluants. Ces recharges ont davantage une fonction de « maintien durable du profil de plage » et d'accueil plus confortable des usagers de ces plages (substrat plus adéquat que celui des microplaquettes coupantes de shales) plutôt qu'une fonction de relèvement du profil afin de protéger les berges en éloignant les zones de dissipation de l'énergie des vagues (déferlement). Bien que cette dernière fonction se manifestera aussi, celle-ci sera moins significative. Celles-ci sont néanmoins abordées aux sections 2.0 et 5.4 de l'étude hydraulique complémentaire (annexe E).

Ces modélisations ont permis d'évaluer l'étendue des dépôts sédimentaires ainsi que les vitesses de courant et les hauteurs de vagues résiduelles le long des berges et d'ainsi vérifier et, si requis, ajuster le type et les dimensions des ouvrages en berges ainsi que les calibres des pierres à utiliser, le cas échéant. La nécessité, l'étendue, la position et les quantités de matériaux des recharges ont aussi été réévaluées. La synthèse des processus de sédimentation et d'érosion obtenus par modélisation est présentée dans le rapport technique précité. La déposition et l'érosion ont un impact direct sur le développement des herbiers pérennes et sur la fréquence de la recharge de plage, et le processus de déposition est clairement influencé par la présence et par la hauteur des épis. Selon la conclusion de ce rapport, les épis de 3,32 m de hauteur ont globalement un meilleur effet au niveau de la sédimentation sur les plages et de la protection des berges que ceux d'une hauteur de 2,00 m ou 4,51 m.

Le design final des recharges a été établi en fonction des zones d'érosion et de sédimentation obtenues par les modélisations, de la position des herbiers existants, des élévations de la zone intertidale ainsi que de la propension anticipée de l'expansion des herbiers. Cela a permis de revoir la pertinence et la configuration de ces recharges. Ainsi, la recharge du tronçon 5 a été éliminée et celles des tronçons 6 et 7 ont été redécoupées. Les résultats sont présentés en réponse à la question 9 ci-après (carte 6 – annexe I et tableau 9).

2. **L'information générée à la suite de la caractérisation affinée du régime hydrosédimentaire servira de connaissance de base pour produire les divers scénarios à modéliser, et ultimement arriver à identifier la ou les variantes de protection des berges les plus pertinentes pour la suite de l'analyse du projet. Ainsi, à l'aide de simulations ciblées, l'initiateur devra optimiser l'usage des trois types d'aménagement proposés (empierrement en rive, recharge de plage et épis). À la conclusion de cet exercice, l'initiateur doit également fournir un tableau synthèse de l'ensemble des modélisations qui lui auront permis d'en arriver à un choix de variante(s). Ce dernier devra notamment inclure les différents paramètres utilisés. À titre d'information pour accompagner l'initiateur, il est important, selon des critères de submersion présélectionnés, d'établir les élévations adéquates des épis pour en limiter au maximum leur empreinte sur le paysage, et ce, tout en assurant une protection appropriée des berges. De plus, comme mentionné lors de la dernière réunion du 20 mars dernier, la conception des épis devrait être révisée, notamment pour s'assurer que la largeur de la crête est adéquate pour résister au niveau d'eau et aux vagues du fleuve pour la récurrence de conception choisie.**

La caractérisation du régime hydrosédimentaire de la plage Jacques-Cartier (Stantec, décembre 2019) est présentée à l'annexe E.

Les diverses modélisations hydrauliques et hydrosédimentaires réalisées ainsi que l'analyse comparative des variantes sont présentées à l'annexe F.

Les informations sur l'empreinte visuelle des épis dans le paysage sont illustrées à l'annexe G.

L'analyse de la résistance de la crête et de la stabilité générale des épis sera effectuée lors de la conception détaillée des épis en termes notamment de largeur, de pentes et de calibres des pierres. Cette analyse comprendra une validation de la poussée statique des glaces.

3. En appui à chaque variante retenue à la question 2, un tableau synthèse des empiétements (voir modèle ci-bas) et une série de simulations visuelles devront être fournis. Les simulations doivent notamment être faites de façon à ce que les principaux sites d'intérêt ou points de vue stratégiques soient pris en considération (par exemple les impacts visuels à partir de belvédères, de sentiers ou de secteurs fréquentés par des groupes d'utilisateurs). Aussi, les photomontages doivent être présentés à différents degrés de luminosité ou heures d'ensoleillement jugés pertinents et tenir compte de tout site possédant des vues stratégiques déterminées. Enfin, elles devront être comparables entre elles.

Des simulations visuelles sont présentées à l'annexe G. Celles-ci permettent de comparer l'impact visuel des aménagements retenus à partir de points de vue stratégiques, et ce, pour différentes périodes de la journée.

Les empiétements sont détaillés au tableau synthèse présenté en réponse à la question 9.

4. Les coupes types des protections proposées devront être faites à partir des relevés terrain à chaque tronçon afin d'offrir une meilleure compréhension des solutions de protections proposées en fonction des élévations réelles des talus. Une vue en plan de la localisation des coupes types doit aussi être fournie. De plus, les pentes d'enrochements de protection proposés devront être présentées, ainsi que le niveau de la ligne des hautes eaux.

Les coupes types des protections proposées sont présentées à l'annexe H. Une vue en plan est présentée sur la carte 5 de l'annexe I.

5. Il est mentionné que les relevés LiDAR utilisés datent de 2012. Afin d'avoir un portrait réaliste de l'état actuel des berges, l'initiateur doit confirmer que des relevés récents des berges ont aussi été considérés dans les modèles de terrain. Il doit également appuyer cette confirmation de toutes les pièces justificatives ou argumentaires jugées pertinentes.

Le portrait de l'état actuel des berges a nécessité plusieurs types de relevés. Des relevés topométriques d'arpentage, couvrant une portion limitée aux berges, ont été réalisés. Pour les zones situées sur l'estran en face des talus, il a été déterminé que le LiDAR 2012, effectué spécialement à marée basse, présentait la meilleure option afin de le jumeler aux données bathymétriques obtenues en 2017 des levés de GéniArp, compte tenu de la couverture globale que les 2 fichiers offraient ensemble. L'utilisation d'un LiDAR plus récent n'offrait pas cet avantage d'une couverture suffisante à marée basse. De plus, il a été jugé que, compte tenu de la nature généralement rocheuse de l'estran, la variation des élévations pour les zones

situées en bas de talus n'ont pas été jugées suffisamment significatives entre les années séparant le LiDAR 2012 et le LiDAR 2017 eu égard aux objectifs visées par les modélisations auxquelles ils étaient destinés compte tenu de la précision en Z qu'offre les relevés LiDAR.

6. **Le MELCC émet des doutes quant à la pérennité de la solution proposée aux tronçons 1 à 3, qui consiste à rajouter de l'enrochement par-dessus l'enrochement existant. Une réflexion doit être faite par l'initiateur quant à la possibilité de refaire complètement l'enrochement selon les règles de l'art plutôt que de tenter de réparer l'existant, pouvant entraîner une moins grande assurance de la stabilité des ouvrages à long terme. En ce sens, l'initiateur doit présenter le fruit de cette réflexion ainsi que l'analyse qui appuie ses conclusions.**

En avril 2019, une forte tempête maritime a causé l'effondrement, la démolition et l'érosion des tronçons 1 et 3 en dépit de la bonne stabilité apparente qu'ils avaient démontrée durant plusieurs décennies. Les enrochements existants s'étant effondrés et le reste s'étant lourdement érodés, une demande de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE visant la réalisation de travaux a été déposée le 7 octobre 2019. Tel que présenté dans les documents ayant été déposés pour l'obtention de l'autorisation, il s'agissait de refaire de façon « temporaire et urgente » les ouvrages avec les matériaux (pierres) disponibles sur le site de manière à s'assurer que les prochaines tempêtes maritimes n'endommagent pas davantage les berges et les infrastructures du parc de la Plage-Jacques-Cartier. Comme il s'agit d'ouvrages temporaires, ces deux tronçons demeurent toujours sujets à l'autorisation générale requise en vertu de l'article 31.1 de la LQE pour l'ensemble du projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier. Aussi, les ouvrages de ces tronçons seront remplacés ultérieurement par des ouvrages permanents en enrochements végétalisés.

En ce qui a trait au tronçon 2, étant donné que les pierres y sont de calibres supérieurs (600 à 1200 mm) à ceux des tronçons 1 et 3, leur stabilité n'a aucunement été affectée par la tempête du mois d'avril. Aucun signe technique ne permet de croire que cet ouvrage puisse être sujet à un éventuel effondrement. Aussi, la Ville de Québec maintient sa décision de n'y effectuer que des réparations ponctuelles, essentiellement localisées dans la partie supérieure du talus au-dessus de l'enrochement. Quelques foyers très ponctuels d'érosion y sont en effet observables.

7. **Comme discuté lors de la dernière rencontre de travail du 20 mars 2019, l'initiateur doit fournir son analyse des observations faites en 2019 sur l'impact des glaces en lien avec l'érosion des berges de la plage Jacques-Cartier.**

Les épis à construire devront être dimensionnés de façon à résister aux charges de glace dérivant au gré des vents et des courants.

À marée basse et à marée moyenne, l'eau ne touche pas le talus, donc la glace ne peut s'y fixer et demeure ainsi mobile. En fait, elle ne pourrait se former près ou sur le pied de talus qu'à marée haute. Mais, comme ce phénomène ne dure que quelques heures, il n'est donc pas possible de développer de grandes épaisseurs de glaces qui sont accrochées sur le talus, et ce, d'autant plus en présence de deux marnages quotidiens de l'ordre de près de 4,5 à 6,0 m de hauteur.

Selon les photos ci-après prises le 26 mars 2019 par la Ville de Québec, soit au moment du début de la débâcle printanière, et les constatations aussi effectuées par Stantec lors de la visite de site en mars 2018,

l'équipe hydraulique de Stantec est d'avis que la glace se forme par couches sur la plage et que ces couches sont coulées au fond. À marée haute, l'eau recouvre la plage et forme une couche additionnelle par-dessus la glace déjà existante sur la plage. À la prochaine marée, une autre couche de glace se reforme par-dessus. Ce phénomène peut former une grande épaisseur de glace à partir de la surface de l'estran. Cette grande couche reste alors accrochée au fond et ne devrait ainsi pas avoir un impact sur les talus.

Photo 5 Étendue de glaces devant le chemin de la plage Jacques-Cartier

Photo 6 Berge à l'endroit où est prévu l'épi A

Photo 7 Berge le long du tronçon 1

Photo 8 Berge le long du tronçon 3

Quand une très haute marée est observée, la poussée d'Archimède va faire flotter les grands blocs de glace (embâcles) emportés par le fleuve. Ce sont ces blocs de glace soulevés par les hautes marées qui peuvent flotter et se rapprocher du talus. En raison de leur épaisseur et de leur poids, ces grands blocs vont naturellement s'échouer sur le fond marin en se rapprochant des talus, mais n'atteindront pas la berge à cause de la plus faible profondeur d'eau. Quant à eux, les petits blocs ont la possibilité d'avancer davantage vers les talus, mais leur épaisseur ne dépasse généralement pas la profondeur d'eau au voisinage des talus à marée haute. Ce sont donc ces blocs qui risquent de causer l'érosion glaciaire sur les talus. Il est donc de notre avis que l'érosion glaciaire doit nécessairement être combinée avec une mer agitée lors d'une très haute marée. La conjoncture de ces phénomènes est très peu fréquente, d'autant plus s'il y a une épaisseur de glaces compactes accrochées sur l'estran.

8. Pour la QC-47 préliminaire portant sur les inventaires de flore à statut particulier, l'initiateur doit fournir les éléments suivants pour compléter l'analyse :

a. Le tableau des observations et fiches terrain

Les inventaires visant les espèces à statut au niveau des herbiers aquatiques se sont déroulés le 16 et le 17 août 2017 ainsi que le 10 août 2018. Chaque herbier a fait l'objet d'un inventaire détaillé, c'est-à-dire que toutes les espèces observées ont été notées et un pourcentage de recouvrement a été estimé pour chacune d'elle. Aucune fiche de terrain spécifique telle que celle présentée à l'annexe 5 du guide « Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional » (Bazoge et al., 2015) n'a été utilisée puisqu'il s'agit d'herbier aquatique situé dans le littoral du fleuve Saint-Laurent sur un substrat mince comportant un roc affleurant. De plus, contrairement aux milieux humides et hydriques, aucun modèle de fiche terrain n'existe pour l'inventaire de la flore à statut particulier.

Du côté terrestre, la zone à l'étude a été divisée en onze segments de végétation homogène. Dans chaque segment, les espèces dominantes dans chaque strate de végétation ainsi que les espèces floristiques exotiques envahissantes ont été notées. Les données récoltées au terrain sont reprises au tableau 7 de l'étude d'impact.

Trois parcelles d'inventaire forestier à surface définie (400 m^2) ont servi à la caractérisation du milieu forestier (P1 à P3). Les résultats détaillés sont présentés au tableau 2 en réponse à la Qc-10 de la section 3.8.1.

b. La liste des espèces observées et leurs abondances

Le tableau 8 présente les espèces menacées, vulnérables ou susceptibles observées lors des inventaires.

Tableau 8 Espèces à statut observées lors des inventaires

Nom commun	Nom latin	Statut	Localisation	Abondance
Asaret du Canada	*Asarum canadense*	Vulnérable à la récolte	Milieu forestier	Une dizaine d'individus à proximité de la station P2
Noyer cendré	Juglans cinerea	Susceptible	Segment F et I	Trois individus
Lycope du Saint-Laurent*	Lycopus laurentianus	Susceptible	Herbier 7	2%
Zizanie naine	*Zizania aquatica* var. *brevis*	Susceptible	Herbier 1, 7 et 8	2%, 5% et 5% de recouvrement

* Nucules absentes, identification incertaine

c. La localisation des inventaires (cartes ou autre)

Les segments inventoriés en milieu terrestre, les stations d'inventaire en milieu forestier et les herbiers aquatiques sont identifiés sur les figures présentées à l'annexe A.

d. La démonstration que l'ensemble des herbiers a été tenu en compte durant l'inventaire de terrain.

Préalablement à la visite terrain, une analyse des photographies aériennes a été réalisée afin de localiser les herbiers présents dans la zone de travaux. Cette analyse a permis l'identification de huit herbiers aquatiques potentiels.

La délimitation au terrain des herbiers a été réalisée les 16 et le 17 août 2017 par une biologiste de Stantec. À cette période, la végétation ayant atteint sa grosseur optimale, les herbiers sont facilement identifiables à marée basse et leur délimitation simplifié. L'ensemble des herbiers, même ceux de petite dimension (45 m^2) ont été pris en compte dans le cadre de cette étude. L'emplacement des herbiers est présenté sur la figure 2 de l'annexe A.

9. Le tableau 7 présenté à la page 68 du document préliminaire de réponses devra être harmonisé avec le modèle présenté à la question 4 et revu en considérant les éléments suivants :

a. L'enrochement végétalisé n'est pas un gain, mais plutôt une mesure d'atténuation.
b. Le génie végétal (phyto technologie) est un gain et n'est pas considéré comme un empiétement.
c. La recharge de plage est calculée comme un empiétement. Par contre, si son objectif est de contrer les effets de l'érosion, elle ne sera pas comptabilisée pour la compensation des milieux humides et hydriques. Toutefois, elle pourrait faire l'objet d'une compensation pour l'habitat du poisson si elle recouvre un herbier.
d. Les enrochements encastrés derrière la ligne du terrain naturel ne seront pas considérés comme un empiétement pour les milieux humides et hydriques. Par contre, il pourrait faire l'objet d'une compensation pour la modification des fonctions d'habitat du poisson.

e. Les données doivent être le plus précises possible dans la mesure où les analyses quant aux pertes encourues en dépendent.

Pour l'ensemble des valeurs des cellules bleues du tableau 9, Stantec invite le MELCC à revoir sa position en prenant en compte la définition d' « enrochement végétalisé » inscrite en page 2 du présent rapport et également à considérer le fait que les berges actuelles sur lesquelles seront aménagées ces ouvrages sont, soit en érosion active incompatible avec une quelconque utilisation floristique ou faunique (il n'y a pas de nids d'hirondelles de rivages, ni de potentiel à en accueillir), soit recouvert d'un enrochement à remplacer. Dans ces deux cas, l'aménagement d'une technique mixte de génie végétal, en l'occurrence un enrochement végétalisé qui intègre des végétaux d'essences structurales (saules, cornouillers, etc.), dont les racines se développent autour et sous les pierres et contribuent activement à la solidité et à la résistance de l'ouvrage et d'autant plus que ces essences sont pérennes et fortement résilientes aux dommages dus aux vagues, aux glaces ainsi qu'au vandalisme, vient grandement améliorer la qualité de l'habitat pour plusieurs espèces fauniques ripicoles. De plus, les tiges de ces essences contribuent également à la dissipation de l'énergie des vagues le long des berges limitant d'autant leurs actions érosives sur les berges, voire même les effets de la submersion côtière lors des surcotes de marées. Même en hiver, ces tiges ont une action de dissipation des vagues, certes moins importante, mais présente. Aussi, elles permettent de mieux retenir le couvert protecteur offert par les glaces qu'elles ancrent ainsi davantage au littoral. Enfin, l'ajout de ces végétaux structuraux permet également de réduire le calibre des pierres à utiliser dans les ouvrages. En effet, sans eux, le calibre de ces pierres devrait conséquemment être revu à la hausse.

Cette technique mixte de génie végétal n'a rien à voir avec une simple végétalisation de la surface d'un enrochement existant par l'ajout de végétaux dans de petites niches aménagées entre les pierres avec des sacs de jutte ou autre géotextile mince d'accueil d'arbustes en pots ou autres végétaux rampants comme la vigne de rivage. Ce dernier type d'intervention, qui est souvent réalisé à des fins purement cosmétiques d'aménagement paysagers, peut aussi avoir une certaine valeur faunique. Mais, il ne saurait prétendre avoir de quelconques vertus stabilisatrices aptes à contrer l'érosion des berges. Ce type d'intervention est assurément une simple atténuation de l'impact lié à l'aménagement ou à la présence d'un pur enrochement.

C'est donc pour toutes ces raisons que la réalisation des enrochements végétalisés sont plutôt jugés comme des gains environnement plutôt que comme des mesures d'atténuation. Comme la somme des gains environnementaux de ce projet dépasse largement la superficie totale des pertes, et que les surfaces uniquement liées aux enrochements végétalisés ne couvrent que 4 783 m², le but de cette présentation est essentiellement de faire évoluer la réflexion des autorités quant à la valeur réelle en termes de gain environnemental de l'utilisation de cette technique mixte de génie végétal. Le projet de stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier se veut un projet avec une signature environnemental de première importance pour la Ville de Québec, tout autant par exemple que l'a été à son époque, le projet de renaturalisation des berges de la rivière Saint-Charles. Il y a donc lieu d'innover dans nos approches en faisant bien ressortir les bons coups en environnement, comme dans ce cas-ci avec l'utilisation de cette technique de stabilisation des berges ainsi qu'avec le développement de nouveaux herbiers littoraux favorisés par l'aménagement d'épis qui constituent aussi une technique de protection des berges par la réduction de l'énergie érosive des vagues, en plus de permettre une sédimentation de matières propres à leur implantation.

Enfin, pour compléter l'analyse des résultats du bilan, il convient de souligner les points suivants :

- Les utilisations de techniques pures de génie végétal ont bien été comptabilisés comme des gains;
- La pertinence et la configuration des recharges ont été examinées en détail, de sorte qu'une des recharges (T5) a été éliminée et deux des trois autres ont été réduites significativement en superficie et qu'ainsi les empiètements dans les herbiers existants ont pratiquement été éliminés (515 m²).
- Tous les ouvrages seront alignés derrière la ligne naturelle du pied de talus au moment de la réalisation des travaux, de sorte qu'ils seront tous encastrés dans le talus et qu'il n'y aura ainsi aucun empiètement dans le milieu hydrique.

Le bilan net en gain environnemental est donc estimé à 8 062 m², ce qui, comme il était mentionné auparavant (QC-49, QC-5- et QC-54), fait en sorte qu'aucun programme de compensation n'est envisagé *a priori* dans le cadre de ce projet.

10. Pour la QC-50 préliminaire portant sur la proposition d'autocompensation du projet, l'initiateur doit présenter à l'étape de recevabilité de l'étude d'impact une description complète du suivi à court, moyen et long terme pour les herbiers.

Le programme de suivi débutera par l'établissement d'un état de référence au droit des travaux prévus durant l'été précédant la réalisation des travaux. Celui-ci permettra de documenter les limites des herbiers susceptibles d'être touchés ainsi que leurs compositions floristiques, dont la présence d'espèces à statut particulier. Ces résultats serviront de valeurs de référence permettant de quantifier les changements en termes de superficie d'herbiers. Par la suite, au cours de l'année suivant les travaux, année 1, la composition et la délimitation des herbiers seront réévaluées. Les suivis devront dans tous les cas être réalisés entre le milieu et la fin d'août, c'est-à-dire lorsque la végétation aura atteint sa croissance maximale et lorsque les espèces à statut présentes, ou potentiellement présentes, dans ces herbiers seront identifiables.

Afin de permettre au milieu naturel de se stabiliser à la suite des travaux et aux herbiers de se propager, les suivis subséquents pourront être réalisés tous les deux ans soit, aux années 3, 5, 7, 9, 11, 13 et 15.

La cinquième année permettra de déterminer si des mesures correctives doivent être mises de l'avant. Dans le cas où des travaux de plantation de scirpes seraient requis, un plan de plantation serait produit et déposé au MELCC. Celui-ci indiquera où seraient effectuées les plantations, les superficies concernées et le nombre de plants requis. La plantation se ferait au printemps suivant l'observation des actions correctives à appliquer afin que les plans ait le temps du bien s'implanter et de pouvoir survivre à l'hiver suivant. Un suivi des plantations sera réalisé l'année suivante (année 7) et par la suite, aux mêmes années que le suivi général de l'évolution des herbiers.

Un suivi minimal sur 15 ans est recommandé. Ce suivi sera jumelé au suivi topométrique des zones de recharges de plage. Ainsi, des élévations pourront être prises à différents points, préétablis suite à la réalisation de l'état de référence pour chaque site.

Tableau 9 Bilan des empiétements et des gains d'habitats littoraux (révision du tableau 7)

Segment	Intervention	Superficie d'empiétement sous la cote 0-2 an – incluant plage dénuée et roc (perte environnementale) (m^2)	Superficie végétalisée sous la cote 0-2 an – incluant plage dénudée et roc (gain environnemental) (m^2)	Perte d'herbiers existants (m^2)	Bilan
1	Enrochement végétalisé	0	1 241	0	1 241
2	Réparations ponctuelles	0	0	0	0
3	Enrochement végétalisé	0	1 191	0	1 191
4	Enrochement végétalisé	0	586	0	586
5	Enrochement végétalisé	0	761	0	761
6a	Enrochement et génie végétal	0	0	0	0
6b	Enrochement végétalisé	0	605	0	605
6c	Génie végétal	0	231	0	231
Réparation ouest de 7a	Enrochement végétalisé	0	72	0	72
7a	Génie végétal	0	2006	0	2006
7b	Enrochement végétalisé	0	327	0	327
Épi A	Enrochement	597	0	91	**-597**
Épi B	Enrochement	1 127	0	255	**-1127**
ZSD amont Épi A	Dépôt naturel Herbier	0	3 591	0	3 591
ZSD aval Épi A	Dépôt naturel Herbier	0	2 794	0	2 794
ZSD amont Épi B	Dépôt naturel Herbier	0	8 134	0	8 134
ZSD aval Épi B	Dépôt naturel Herbier	0	5 479	0	5 479
Recharge T4	Gravier fin	5 216	0	169	-5 216
Recharge T5	Gravier fin	Retirée			
Recharge T6	Gravier fin	1 836	0	0	-1 836
Recharge T7	Gravier fin	10 180	0	0	-10 180
	Total	**18 956 m^2**	**27 018 m^2**	**515 m^2**	**+8 062 m^2**

5.0 RÉFÉRENCES

3.1 Changements climatiques

Stantec. 2019. Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier. Version 04. Février 2019. Note technique réalisée pour le compte de la Ville de Québec. Pagination multiple + annexes.

Tecsult/BPR et Transports Québec – Bureau de projet du Complexe Turcot. 2009. Étude dans le cadre du projet de reconstruction de l'échangeur Turcot. Émissions de gaz à effet de serre (GES), Estimation préliminaire et approche de compensation.

Ouranos. 2018. Portrait climatique, Scénario d'émissions élevées, Horizon 2041-2070, Capitale-Nationale. Outil en ligne : https://www.ouranos.ca/portraitsclimatiques/#/regions/4. Consulté le 7 décembre 2018.

3,2 Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques

Communauté métropolitaine de Québec. 2013. Bâtir 2031 structurer, attirer, durer. Le Plan métropolitain d'aménagement et de développement du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec. Février 2013. https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/11/pm-pmad-en-vigueur.pdf [Consulté en ligne le 27 février 2019).

Organisme de bassin versant de la Capitale, 2018. Plan directeur de l'eau, 2e génération et plus. En ligne http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/introduction2e. Consulté le 20 décembre 2018.

Stantec Experts-conseils ltée. 2018. Étude d'impact sur l'environnement – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier. Version finale pour la Ville de Québec. 18 mai 2018. 558 p.

Table de concertation régionale zone de Québec, 2017. Plan d'action sur la gestion intégrée du Saint-Laurent – Zone de Québec. Juillet 2017. 27 p. https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/12/TCRQ_Plan_action_2017.pdf

Ville de Québec, 2018. Schéma d'aménagement et de développement / révisé ; Agglomération de Québec. Volume 1. 06-2018. 233 p. https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/planification-orientations/amenagement_urbain/sad/docs/SAD-05-2018.pdf

QC-9 Potentiel érosif des glaces

Carter. 2003. Guide pratique pour le calcul des forces exercées par la glace.

QC-10 Flore – méthodes d'inventaire

Bazoge, A., D. Lachance et C. Villeneuve. 2015. Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'expertise en biodiversité et Direction de l'aménagement des eaux souterraines, 64 pages + annexes.

QC-15 Archéologie

Chrétien, Y. 2006 *Inventaire archéologique au parc Cartier-Roberval à Cap-Rouge (CeEu-4), automne 2005*. Rapport déposé à la Commission de la capitale nationale du Québec.

Pintal, J.-Y. 2010 *Étude de potentiel et inventaire archéologique Sentier des grèves. Arrondissement Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge, Ville de Québec*. Rapport déposé à la Ville de Québec.

QC-21 Niveaux d'eau et changements

Consultants Ropars inc. 2017. Port de Québec : Beauport 2020 – Analyse des niveaux d'eau, Rapport technique préliminaire (Annexe 7.13) Décembre 2017, 21p.

Ressources naturelles Canada, 2018. Outils et applications : TRX. En ligne : http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/trx.php

Zhai L., B. Greenan, J. Hunter, T.S. James, G. Han, R. Thomson, and P. MacAulay 2014. Estimating Sea-level Allowances for the coasts of Canada and the adjacent United States using the Fifth Assessment Report of the IPCC. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean. Sci. 300 : v + 146 pp.

QC-26 Analyse fréquentielle des vents

Consultants Ropars inc. 2014. Expertise technique – Glace et vagues, Refuge pour piétons (belvédère), Sentier des grèves – Phase 2C.

QC-46 Impacts des épis sur les herbiers

Bodge, K. R., 2003. "Design Aspects of Groins and Jetties." In: Advances in coastal structure design. Ed. R. Mohan, O. Magoon, M. Pirrello. American Society of Civil Engineers (ASCE). Reston, VA. ISBN 0-7844-0689-8. Pp. 181-199.

Badiei, P., W. Kamphuis, D. G. Hamilton. 1994. Physical Experiments on the Effects of Groins on Shore Morphology. Coastal Engineering 1994, 1782-1796. doi 10.1061/9780784400890.129. URL : https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784400890.129

Bulleri, F., M. G. Chapman. 2010. The introduction of coastal infrastructure as a driver of change in marine environments. Journal of Applied Ecology. 47: 26-35.

National Research Council (NRC). 2007. Mitigating Shore Erosion Along Sheltered Coasts. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/11764.

Nordstrom, K. F. 1992. Estuarine Beaches: An introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. Springer Science & Business Media. 226 pp.

Koch, E.W. 2001. Beyond light: Physical, geological and geochemical parameters as possible submersed aquatic vegetation habitat requirements. Estuaries 24:1-17.

Hardaway, C.S., R.J. Byrne. 1999. Shoreline Management in Chesapeake Bay. Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering, No. 356. College of William and Mary, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point. 54 pp.

Pratap M., S. K. Patra, S. Bramha, S. Budhadev, P. Umakanta, B. Balaji, M. Pravakar, P. Uma Sankar. (2012). Impact of Groins on Beach Morphology: A Case Study near Gopalpur Port, East Coast of India. Journal of Coastal Research. 28: 132–142.

Pattiaratchi, C., S. Wijeratne, C. Bosserelle. 2011.Sand and seagrass wrack modelling in Port Geographe, south-western Australia. Proceedings of the 20th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 13th Australasian Port and Harbour Conference: Diverse and Developing. Engineers Australia and Australia and the Institute of Professional Engineers New Zealand, Barton, ACT, Australia, pp. 564–569.

Strayer, D. L., S. E. G. Findlay. 2010. Ecology of freshwater shore zones. Aquatic Sciences. 72: 127-163.

Vaidya, A. M., S. K. Kori, M. D. Kudale. 2015. Shoreline response to coastal structures. Aquatic Procedia. 4 : 333-340.

QC-47 Flore à statut particulier

COMITÉ FLORE QUÉBÉCOISE DE FLORAQUEBECA. 2009. Plantes rares du Québec méridional. Guide d'identification produit en collaboration avec le Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ), Les Publications du Québec, Québec, 406 p.

QC-56 Stratégie d'intervention archéologique

Dionne, J.C. 1988 « Holocene relative sea-level fluctuations in the St. Lawrence estuary, Québec, Canada », *Quaternary research*, 29:233-244.

QC-57 Critères utilisés pour prioriser les interventions archéologiques

Bergeron, A. et F. Rémillard. 1991. *L'archéologie et la conservation. Vade mecum québécois*. Les publications du Québec.

4.2 Complément d'information

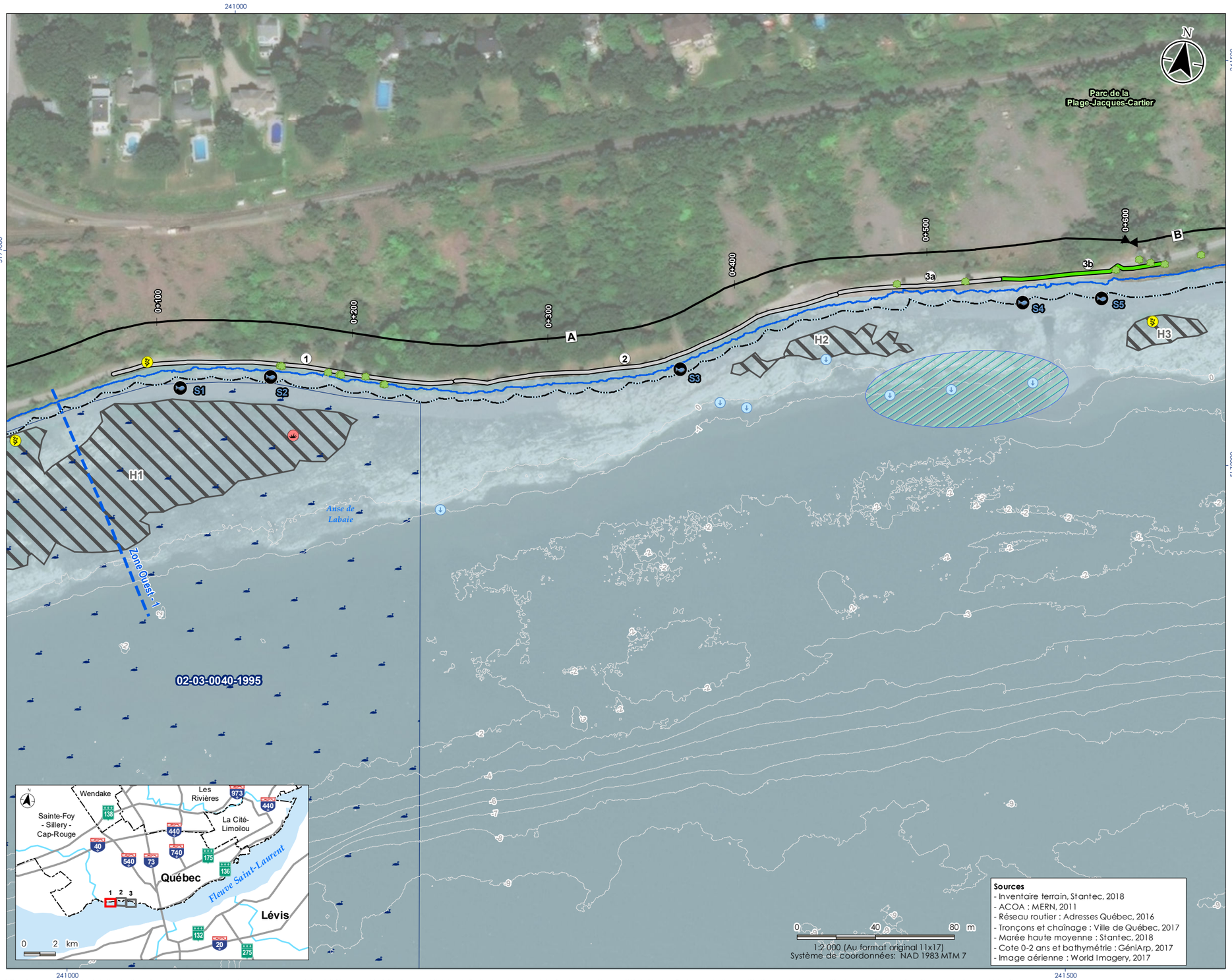
Giroux, I., Hébert, S. & Berryman, D. (2016). Qualité de l'eau du Saint-Laurent de 2000 à 2014 : paramètres classiques, pesticides et contaminants émergents. Le Naturaliste canadien, 140 (2), 26–34. https://doi.org/10.7202/1036500ar

Hébert, S. et J. Belley, 2005. Le Saint-Laurent – La qualité des eaux du fleuve 1990-2003, Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq no ENV/2005/0095, collection no QE/156, 25 p. et 3 annexes.

Ministère de l'Environnement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2012. Portrait de la qualité des eaux de surface au Québec 1999-2008. 97 p. http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/portrait/eaux-surface1999-2008/Portrait_Quebec1999-2008.pdf

ROCHE Ltée. 2011 a. *Suivi de la qualité de l'eau (2005-2010) de la rivière du Cap Rouge*. N/Réf. : 621717100. 73 pages + 7 annexes.

Annexe A CARTES ET FIGURES



Sources
- Inventaire terrain, Stantec, 2018
- ACOA : MERN, 2011
- Réseau routier : Adresses Québec, 2016
- Tronçons et chaînage : Ville de Québec, 2017
- Marée haute moyenne : Stantec, 2018
- Cote 0-2 ans et bathymétrie : GéniArp, 2017
- Image aérienne : World Imagery, 2017

Stantec
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Téléphone : 418.626.2054
Télécopieur : 418.647.2540

Composante de projet
- Zone d'étude
- 0+400 Chainage

Type d'aménagement par tronçon
- Enrochement végétalisé
- Enrochement végétalisé et Recharge de plage avec géogrille
- Génie végétal et Recharge de plage avec géogrille
- Enrochement sans végétation (Réparation)
- Enrochement sans végétation et Recharge de plage avec géogrille
- 1 Identification du tronçon
- Épi en enrochement
- Zone de la recharge de plage
- Zone d'expansion minimale anticipée des herbiers
- Zone potentielle de sédimentation

Végétation terrestre et aquatique
- Arbre mature
- Espèce exotique envahissante
- Espèce floristique menacée, vulnérable ou susceptible d'être ainsi désignée
- P1 Parcelle forestière
- Segment de végétation terrestre homogène
- A Identification du segment

Milieu aquatique
- Aire de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA)
- 02-03-0040-1995 Identification de l'ACOA
- H1 Herbier aquatique

Habitat du poisson
- Station de pêche
- S1 Identification de la station

Mulette
- Zone d'inventaire
- Secteur propice aux mulettes
- Capture d'individus vivants

Hydrographie
- Cote 0-2 ans
- Bathymétrie (m)
- Marée haute moyenne
- Étendue d'eau

N° projet : 167040090-200.102
N° dessin : C0007
Révision : 00
Date : 2019-01-31

Préparé par : Joëlle Duguay et Anne Keough
Dessiné par : Johanne Boulanger
Vérifié par : Philippe Roy
Chargé de projet : Mario Heppell

Client/Projet

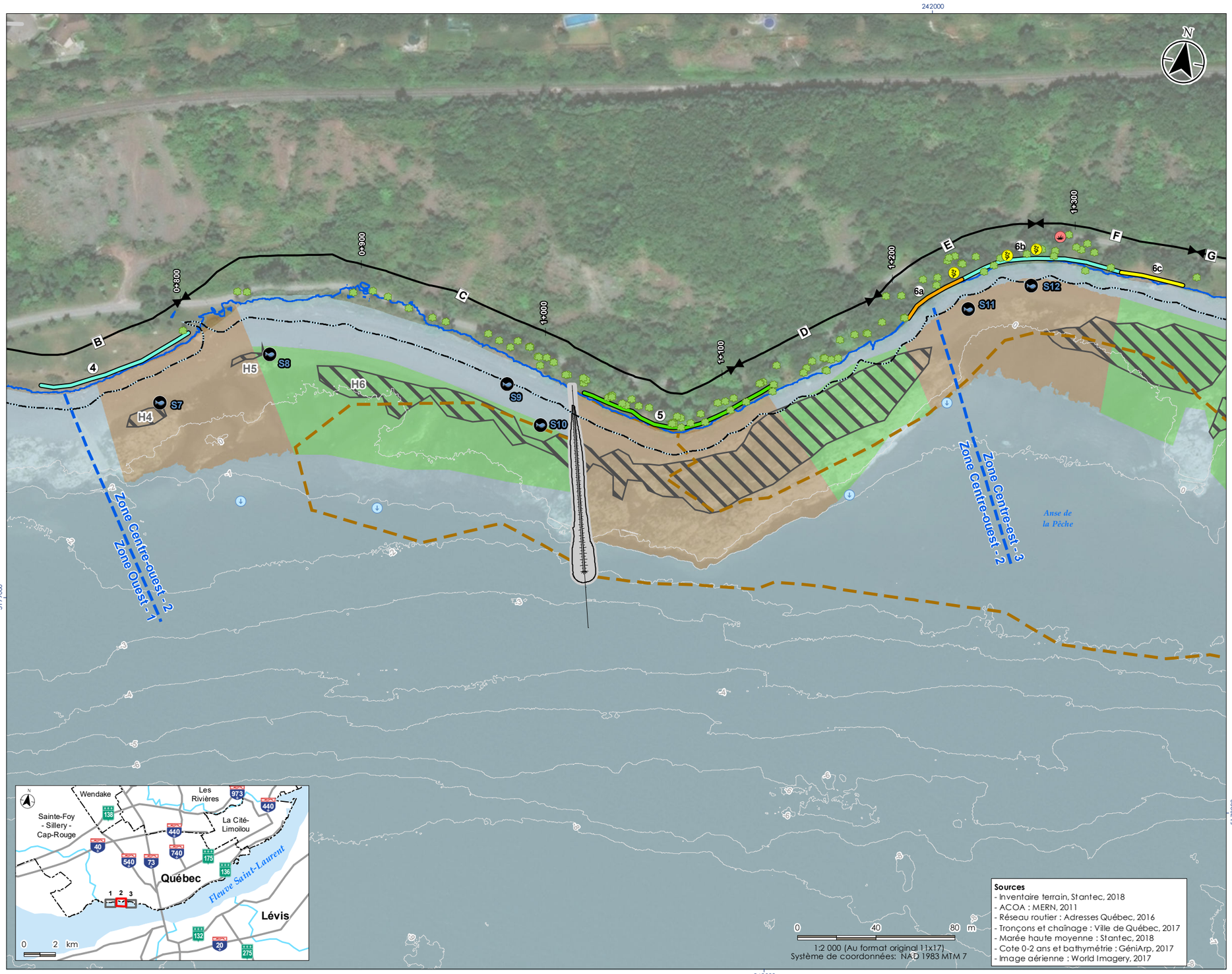
Ville de Québec
Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier

Titre

Figure 2
Milieu biophysique

Fichier : \\Cdl1127401\PROJETS_PARTAGES\167040090\GO\2_DocProjConcept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0007-00_Biophysique_20190305.mxd Révision: 2019-03-05 Par: jbaunette

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.



Sources
- Inventaire terrain, Stantec, 2018
- ACOA : MERN, 2011
- Réseau routier : Adresses Québec, 2016
- Tronçons et chaînage : Ville de Québec, 2017
- Marée haute moyenne : Stantec, 2018
- Cote 0-2 ans et bathymétrie : GéniArp, 2017
- Image aérienne : World Imagery, 2017

Stantec
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Téléphone : 418.626.2054
Télécopieur : 418.647.2540

Composante de projet
- Zone d'étude
- 0+100 Chainage

Type d'aménagement par tronçon
- Enrochement végétalisé
- Enrochement végétalisé et Recharge de plage avec géogrille
- Génie végétal et Recharge de plage avec géogrille
- Enrochement sans végétation (Réparation)
- Enrochement sans végétation et Recharge de plage avec géogrille
- 1 Identification du tronçon
- Épi en enrochement
- Zone de la recharge de plage
- Zone d'expansion minimale anticipée des herbiers
- Zone potentielle de sédimentation

Végétation terrestre et aquatique
- Arbre mature
- Espèce exotique envahissante
- Espèce floristique menacée, vulnérable ou susceptible d'être ainsi désignée
- P1 Parcelle forestière
- Segment de végétation terrestre homogène
- A Identification du segment

Milieu aquatique
- Aire de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA)
- 02-03-03-10 -1995 Identification de l'ACOA
- H1 Herbier aquatique

Habitat du poisson
- Station de pêche
- S1 Identification de la station

Mulette
- Zone d'inventaire
- Secteur propice aux mulettes
- Capture d'individus vivants

Hydrographie
- Cote 0-2 ans
- Bathymétrie (m)
- Marée haute moyenne
- Étendue d'eau

N° projet : 167040090-200.102
N° dessin : C0007
Révision : 00
Date : 2019-01-31

Préparé par : Joëlle Duguay et Anne Keough
Dessiné par : Johanne Boulanger
Vérifié par : Philippe Roy
Chargé de projet : Mario Heppell

Client/Projet

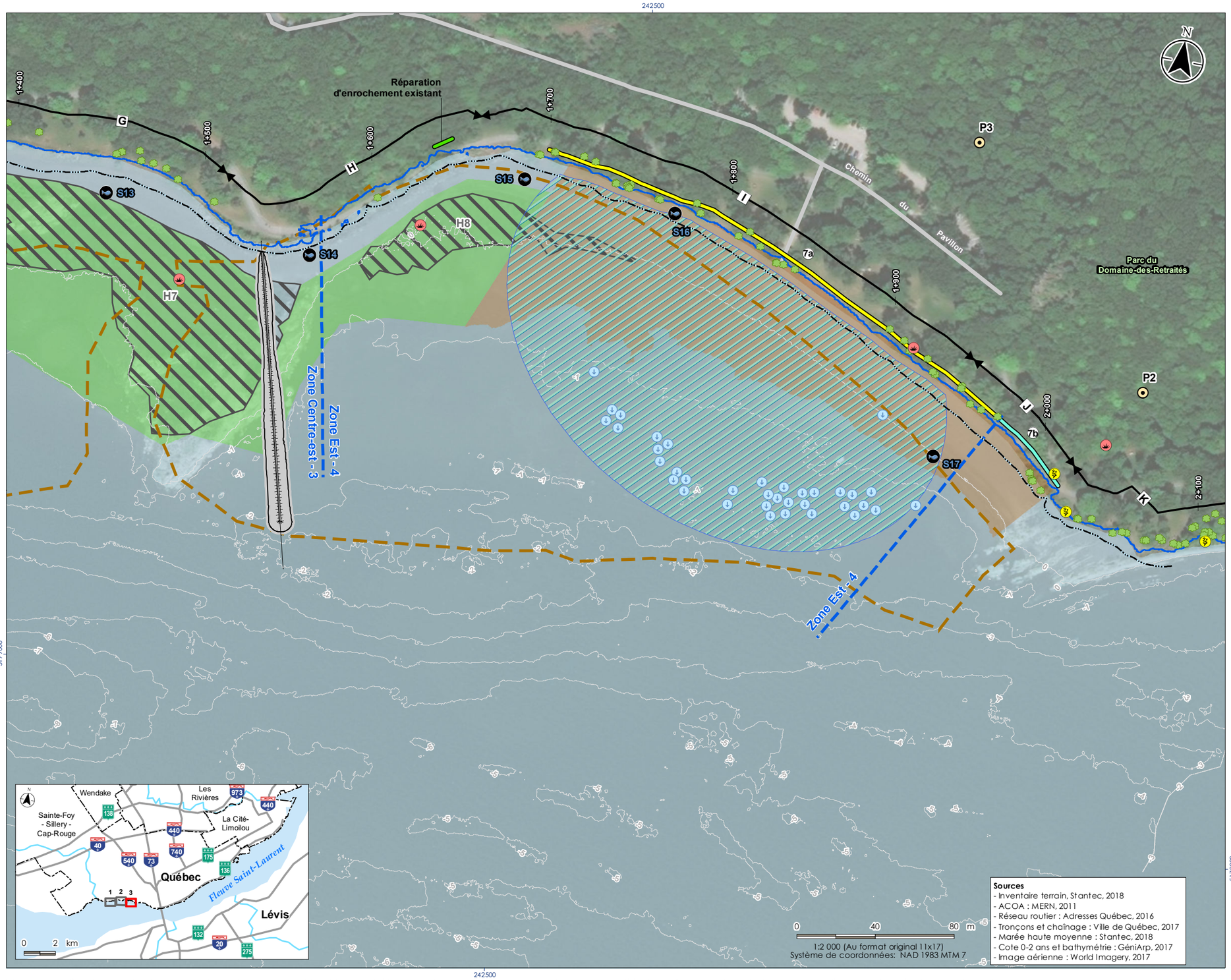
Ville de Québec
Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier

Titre

Figure 2
Milieu biophysique

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

Fichier : \\Cd1127-401\PROJETS_PARTAGES\167040090\GO\2_DocProjConcept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0007-00_Biophysique_20190305.mxd Révision: 2019-03-05 Par: jbaunette



Sources
- Inventaire terrain, Stantec, 2018
- ACOA : MERN, 2011
- Réseau routier : Adresses Québec, 2016
- Tronçons et chaînage : Ville de Québec, 2017
- Marée haute moyenne : Stantec, 2018
- Cote 0-2 ans et bathymétrie : GéniArp, 2017
- Image aérienne : World Imagery, 2017

Stantec
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Téléphone : 418.626.2054
Télécopieur : 418.647.2540

Composante de projet
- Zone d'étude
- Chainage

Type d'aménagement par tronçon
- Enrochement végétalisé
- Enrochement végétalisé et Recharge de plage avec géogrille
- Génie végétal et Recharge de plage avec géogrille
- Enrochement sans végétation (Réparation)
- Enrochement sans végétation et Recharge de plage avec géogrille
- Identification du tronçon
- Épi en enrochement
- Zone de la recharge de plage
- Zone d'expansion minimale anticipée des herbiers
- Zone potentielle de sédimentation

Végétation terrestre et aquatique
- Arbre mature
- Espèce exotique envahissante
- Espèce floristique menacée, vulnérable ou susceptible d'être ainsi désignée
- Parcelle forestière
- Segment de végétation terrestre homogène
- Identification du segment

Milieu aquatique
- Aire de concentration d'oiseaux aquatiques (ACOA)
- Identification de l'ACOA
- Herbier aquatique

Habitat du poisson
- Station de pêche
- Identification de la station

Mulette
- Zone d'inventaire
- Secteur propice aux mulettes
- Capture d'individus vivants

Hydrographie
- Cote 0-2 ans
- Bathymétrie (m)
- Marée haute moyenne
- Étendue d'eau

N° projet : 167040090-200.102
N° dessin : C0007
Révision : 00
Date : 2019-01-31

Préparé par : Joëlle Duguay et Anne Keough
Dessiné par : Johanne Boulanger
Vérifié par : Philippe Roy
Chargé de projet : Mario Heppell

Client/Projet

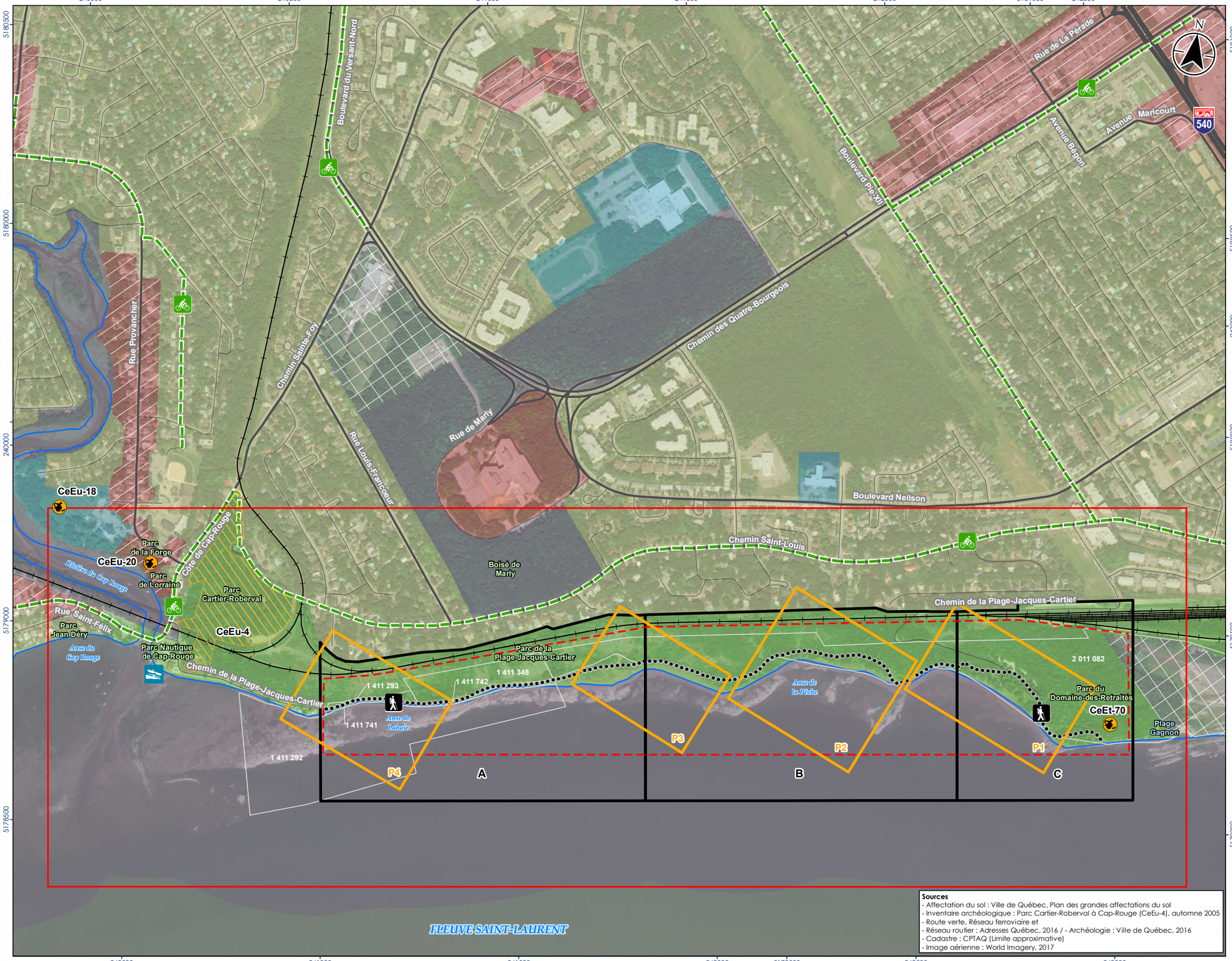
Ville de Québec
Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier

Titre

Figure 2
Milieu biophysique

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

Fichier : \\Cdl1127401\PROJETS_PARTAGES\167040090\GO\2_DocProjConcept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0007-00_Biophysique_20190305.mxd Révision: 2019-03-05 Par: jbaunette



Sources
- Affectation du sol : Ville de Québec, Plan des grandes affectations du sol
- Inventaire archéologique : Parc Cartier-Roberval à Cap-Rouge (CeEu-4), automne 2005
- Route verte, Réseau ferroviaire et
- Réseau routier : Adresses Québec, 2016 / - Archéologie : Ville de Québec, 2016
- Cadastre : CPTAQ (Limite approximative)
- Image aérienne : World Imagery, 2017

Stantec
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Téléphone : 418.626.2054
Télécopieur : 418.647.2540

Composante de projet
- Zone d'étude
- Zone d'étude pour Patrimoine bâti
- Cadastre
- 1 411 292 Numéro de lot

Unité de paysage
- A - Falaise et fleuve
- B - Boisé
- C - Boisé et parc aménagé

Affectation du sol
- Résidentielle urbaine
- Commerciale de détails et services urbain
- Mixte
- Publique, institutionnelle et communautaire
- Récréation, parc et espace vert
- Conservation naturelle
- Réseau et infrastructure d'utilité publique

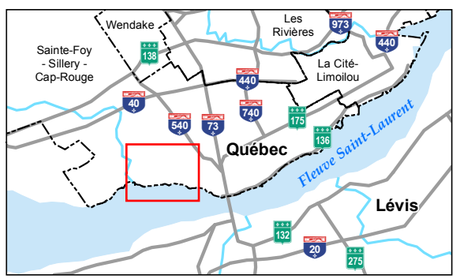
Archéologie
- Site archéologique
- CeEu-20 Identification du site
- CeEu-4 Site archéologique Cartier-Roberval
- P1 Zone à potentiel archéologique

Infrastructure
- Rampe de mise à l'eau
- Sentier des Grèves
- Route verte
- Réseau ferroviaire

Réseau routier
- Autoroute
- Artère et collectrice
- Locale

0 250 500 m

1:10 000 (Au format original 11x17)
Système de coordonnées: NAD 1983 MTM 7



N° projet : 167040090-200.102
N° dessin : C0006
Révision : 01
Date : 2018-10-31

Préparé par : Marie-Hélène Côté
Dessiné par : V.Boily, J.Boulanger
Vérifié par : Philippe Roy
Chargé de projet : Joëlle Duguay

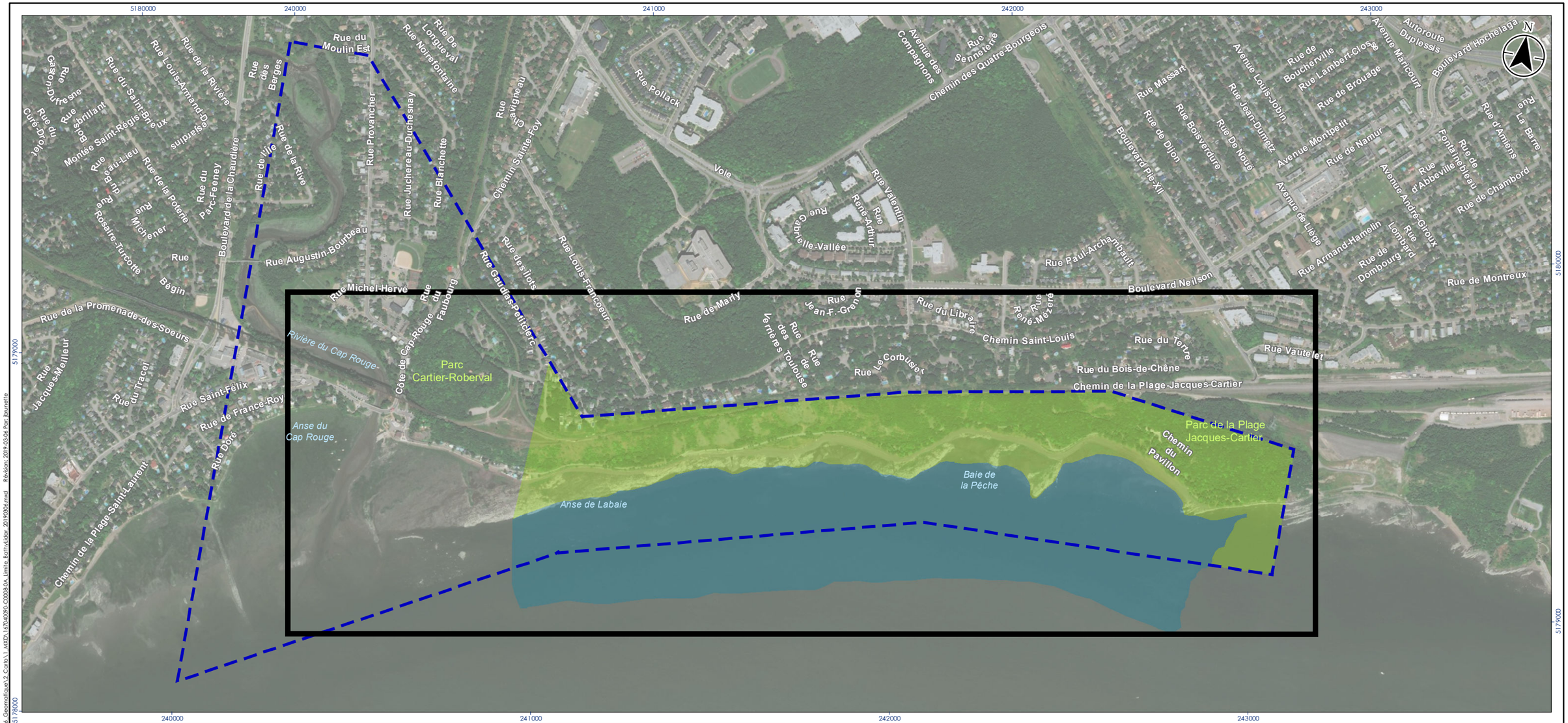
Client/Projet

Ville de Québec
Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier

Titre

Figure 4
Milieu humain

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.



Limite

Zone d'étude

LiDAR (PHB, 2012)

Section du LiDAR utilisé pour le milieu terrestre

Bathymétrie (Géniarp, multifaisceau, 2017)

Sources
Image aérienne : Digital Globe, 2016
Réseau routier : Adresses Québec, 2016
Hydronyme : BDTQ, 2010

0 100 200 300 400 m

1:11 000 (Au format original 11x17)
Système de coordonnées: NAD 1983 MTM 7

Stantec
1060, boul. Robert-Bourassa, # 600
Montréal (Québec)
H3B 4V3
Téléphone: 514.281.1010
Télécopieur: 514.798.8790

N° projet : 167040090
N° dessin : C0008
Révision : 0A
Date : 2019-03-06

Préparé par : Philippe Roy
Dessiné par : Julie Brunette
Vérifié par : Philippe Roy
Chargé de projet : Joëlle Duguay

Client/Projet

Ville de Québec
Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier

Titre

Figure 5
Données utilisées pour la modélisation 3D

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

Fichier : //CD1128-F01 ou \\Cd1127-f01\PROJETS PARTAGES\167040090\GO\2 DocProjConcept\6 Geomatique\2 Cartes\1 MXD\167040090-C0008-0A_limite_Bathy.mxd Révision: 2019-03-06 Par: jbrunette

Annexe B NOTE TECHNIQUE HYDRAULIQUE (STANTEC, FÉVRIER, 2019)

Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier (version 04)

Ville de Québec
Février 2019
Projet : 167040090

Stantec

Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier (version 04)

26 février 2019

Préparé pour:

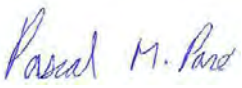
Ville de Québec

Préparé par:

Stantec Experts-conseils ltée

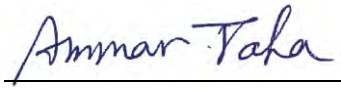
Registre d’approbation

Le présent document, intitulé Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier (version 04), a été préparé par Stantec Experts-conseils ltée (« Stantec ») pour le compte de Ville de Québec (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l’échéancier et d’autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n’a pas vérifié les renseignements fournis par d’autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Préparé par  _____

(signature)

Pascal Morrissette-Paré, ing., M. Ing.

Préparé et vérifié par  _____

(signature)

Ammar Taha, ing., Ph. D.

Révision	Description	Auteur(e)		Vérification qualité	
04	Final	PMP/AT	25/02/2019	AT/MH	26/02/2019
03	Final	PMP/AT	01/05/2018	AT/MH	02/05/2018
02	Final	PMP/AT	08/02/2018	AT	08/02/2018
01	Final	PMP/AT	05/02/2018		
00	Final	PMP/AT	15/12/2017		

Table des matières

0.0 INTRODUCTION 0.1

1.0 CHANGEMENT CLIMATIQUE (CC) ET RELÈVEMENT ISOSTATIQUE (RI) DE LA CROÛTE TERRESTRE 1.1
1.1 ÉTUDE PRÉCÉDENTE DANS LA RÉGION DE QUÉBEC (ROPARS 2017) 1.1
1.2 ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX DES MARÉES 1.1
1.3 REMONTEE DU NIVEAU DES MERS 1.3
1.4 MODIFICATION DU DÉBIT DU FLEUVE 1.3
1.5 RELEVEMENT ISOSTATIQUE (RI) 1.4
1.6 IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES À LA PLAGE JACQUES-CARTIER 1.4

2.0 MISE À JOUR DES NIVEAUX D'EAU 2.1
2.1 NIVEAU D'EAU 2.1
2.2 FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT 2.3

3.0 MODÉLISATION 2D AVEC HEC-RAS 3.1
3.1 MODÈLE DE TERRAIN 3.1
3.2 ANALYSE DE SENSIBILITÉ 3.2

4.0 MODÉLISATION 2D AVEC MIKE 21 ..... 4.1

5.0 ANALYSE HYDROSÉDIMENTAIRE 5.1
5.1 CHARGE SÉDIMENTAIRE 5.2

6.0 ANALYSES DE VITESSES 6.1
6.1 VITESSES D'ÉCOULEMENT DANS LA ZONE À L'ÉTUDE (MODÈLE HEC-RAS) 6.1
6.2 COURANTS DE FLOT ET JUSANT 6.4
6.3 CONCLUSION SUR LES ANALYSES DE VITESSES 6.5

7.0 ÉTUDE DE VAGUE 7.1
7.1 ÉTUDES DE VARIANTES (NORDA STELO, 2016) 7.1
7.2 MÉTHODE DE LA SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES 7.1
7.2.1 Vents 7.1
7.2.2 Radiales et fetch 7.3
7.2.3 Vagues et protection 7.4
7.2.4 Limites inférieure et supérieure des protections 7.5
7.3 DIMENSIONNEMENT DES ENROCHEMENTS POUR RÉSISTER AUX VAGUES 7.6
7.4 SIMULATION DES VAGUES A L'AIDE DU MODÈLE MIKE 21 ..... 7.7
7.4.1 Scénario 1- Simulation sans epis (cas de base), debit de 12 600 m^3/s, niveau d'eau a 3,32 m avec vent du sud-ouest 7.7

7.4.2 Scénario 2- Simulation sans epis, debit de 20 000 m^3/s, niveau d'eau A 3,32 m avec vent du sud-ouest 7.9
7.4.3 Scénario 3- Simulation avec épis, debit de 12 600 m^3/s, niveau d'eau A 3,32 m avec vent du sud-ouest 7.10
7.4.4 Scénario 4- Simulation avec Épis, debit de 12 600 m3/s, niveau d'eau a 3,32 m avec vent du sud-est 7.13
7.4.5 Scénario 5- Simulation avec Épis, debit de 12 600 m3/s avec vent du sud-ouest, niveau du fleuve a l'elevation 5,1 m 7.15
7.4.6 Comparaison des simulations MIKE 21 ..... 7.17
7.5 COMPARAISON DES HAUTEURS DE VAGUES (MIKE 21 VS MÉTHODE SEBJ) 7.20
7.6 CONCLUSIONS 7.21

8.0 ANALYSE DE L'IMPACT DE LA GLACE 8.1
8.1 ANALYSE DES DONNÉES DE TEMPÉRATURE 8.1
8.2 ÉPAISSEURS DE GLACE THÉORIQUES 8.3
8.3 ENROCHEMENT À CONSIDÉRER POUR LES TALUS DES BERGES 8.3
8.4 ENROCHEMENT À CONSIDÉRER POUR LES ÉPIS 8.4

9.0 OPTIONS D'AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS 9.1
9.1 TRONÇONS 1, 2 ET 3 ..... 9.1
9.2 TRONÇON 4 ..... 9.2
9.3 TRONÇON 5 ..... 9.3
9.4 TRONÇON 6 ..... 9.4
9.5 TRONÇON 7 ..... 9.5

10.0 ÉPIS ET RECHARGE DE PLAGE 10.1
10.1 DIMENSIONNEMENT DES ÉPIS 10.1
10.2 PROBABILITÉ DE LA PROTECTION CONTRE LES VAGUES INDUITE PAR LES ÉPIS 10.3
10.3 RECHARGE DE PLAGE ET GÉOGRILLE 10.3
10.4 IMPACT DES ÉPIS ET RECHARGE DE PLAGE 10.4
10.4.1 Tronçon 4 (épi A) 10.4
10.4.2 Tronçon 5 (épi A) 10.5
10.4.3 Tronçon 6 (épi B) 10.6
10.4.4 Tronçon 7 (épi B) 10.6

11.0 SOMMAIRE 11.8

12.0 RÉFÉRENCES 12.1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison des niveaux maximaux à Neuville (niveaux géodésiques) 2.2
Tableau 2 : Niveaux minimaux à Neuville (géodésique) 2.3
Tableau 3 : Calibres des échantillons.....5.1
Tableau 4 : Résultats de l'Étude de variantes (Norda-Stelo, 2016) 7.1
Tableau 5 : Vitesses des vents considérées annuelles (km/h) 7.2
Tableau 6 : Vitesses des vents considérées excluant l'hiver (km/h) 7.2
Tableau 7 : Radiales et fetch.....7.3
Tableau 8 : Revanche nécessaire pour les vagues de récurrence de 25 ans (pente 2H :1V pour berge) 7.4
Tableau 9 : Limite supérieure de la protection (pente 2H :1V) avec CC et RI.....7.6
Tableau 10 : Enrochement de protection contre les vagues pour une récurrence 25 ans.....7.6
Tableau 11 : Vitesses simulées.....7.18
Tableau 12 : Hauteur de vagues 7.19
Tableau 13 : Érosion.....7.20
Tableau 14 : Comparaison hauteur des vagues entre MIKE 21 et méthode SEBJ 7.21
Tableau 15 : DJGA statistiques à Québec.....8.2
Tableau 16 : Épaisseur de glace théorique 8.3
Tableau 17 : Enrochement à considérer.....8.5
Tableau 18 : Dimensionnement des épis 10.2
Tableau 19 : Fréquence de la probabilité de protection (avec CC et RI).....10.3
Tableau 20 : Comparaison avec et sans épi A 10.5
Tableau 21 : Comparaison avec et sans épi A 10.6
Tableau 22 : Comparaison avec et sans épi B 10.7
Tableau 23 : Recommandations pour les talus.....11.8
Tableau 24 : Recommandations pour les épis.....11.8

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zones à l'étude (Norda-Stelo, 2016).....0.1
Figure 2: Niveaux d'eau moyens de 1950 à 2017 (tiré de Ropars 2017).....1.1
Figure 3: Niveaux de la marée moyenne journalière 1.2
Figure 4: Niveaux de la marée haute journalière 1.2
Figure 5 : Remontée des mers.....1.3
Figure 6: Relèvement isostatique.....1.4
Figure 7: Marée basse journalière.....2.3
Figure 8: Courbe des niveaux de marées classées.....2.4
Figure 9 : Bathymétrie du fleuve 3.1
Figure 10 : Vitesses simulées dans le fleuve (m/s).....3.3
Figure 11 : Limite et bathymétrie de la zone simulée à l'aide de MIKE 21 .....4.1
Figure 12 : Discrétisation triangulaire de la zone modélisée par MIKE 21 .....4.2
Figure 13 : Raffinement du maillage près de la plage Jacques Cartier.....4.2
Figure 14 : Localisation des points d'échantillonnage de sédiments.....5.1
Figure 15 : Diagramme d'Hjulstrom.....5.2
Figure 16 : Vitesses avec un niveau d'eau maximum de récurrence 20 ans (4,96 m) et débit de 20 000 m^3/s (vitesse moyenne de 0,20 m/s).....6.2
Figure 17 : Vitesses avec un niveau d'eau maximum de récurrence 20 ans (4,96 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s).....6.2
Figure 18 : Vitesses avec une marée haute moyenne (3,32 m) et débit de 20 000 m3/s (vitesse moyenne de 0,20 m/s).....6.2
Figure 19 : Vitesses avec une marée haute moyenne (3,32 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s).....6.3
Figure 20 : Vitesses avec un niveau d'eau moyen (1,12 m) et débit de 20 000 m^3/s (vitesse moyenne de 0,15 m/s).....6.3
Figure 21 : Vitesses avec un niveau d'eau moyen (1,12 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s).....6.3
Figure 22 : Vitesses avec un marée basse de récurrence 20 ans (-2.02 m) et débit de 12 600 m^3/s (plage asséchée) 6.4
Figure 23 : Courants de flot et jusant dans la zone à l'étude (MPO, 1997).....6.4
Figure 24: Rose des vents dans 8 directions (excluant les vents d'hiver).....7.3
Figure 25: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), vitesse du courant avec vent du sud-ouest.....7.7
Figure 26: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), hauteur des vagues avec vent du sud-ouest.....7.8
Figure 27: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), variation au fond (érosion / déposition) avec le vent du sud-ouest.....7.8
Figure 28: Scénario 2- Simulation sans épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest 7.9
Figure 29: Scénario 2- Simulation sans épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest.....7.10
Figure 30 : Scénario 2- Simulation sans épis, variation au fond (érosion / déposition) avec le vent du sud-ouest.....7.10
Figure 31 : Scénario 3- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest 7.11
Figure 32 : Scénario 3- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest.....7.12

Figure 33: Scénario 3- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-ouest 7.13
Figure 34: Scénario 4- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-est 7.14
Figure 35: Scénario 4- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-est.....7.14
Figure 36: Scénario 4- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-est 7.15
Figure 37: Scénario 5- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest 7.16
Figure 38: Scénario 5- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest.....7.16
Figure 39 : Scénario 5- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-ouest 7.17
Figure 40 : Localisation des points de comparaison 7.17
Figure 41 : Courbes de DJGA 8.1
Figure 42 : Loi de distribution de DJGA Annuels Maximums 8.2
Figure 43 : Photos des berges le 19 mars 2018 .....8.4
Figure 44 : Interventions proposées 9.1
Figure 45 : Photo du tronçon 5 où sera implanté l'épi B 9.4
Figure 46 : Photo du tronçon 7 .....9.6
Figure 47 : Épis proposés 10.2
Figure 48 : Exemple de géogrille 10.4

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A **FIGURES RADIALES ET FETCHS**

ANNEXE B **ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES**

ANNEXE C **COUPES-TYPES - STABILISATION DES BERGES**

ANNEXE D **COUPE-TYPE - ÉPIS**

ANNEXE E **ZONES DE RECHARGE DE PLAGE ET SÉDIMENTATION**

ANNEXE F **SIMULATIONS VISUELLES**

16 décembre 2019

0.0 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier, Stantec a été mandatée pour réaliser une étude de stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier (Étude d'impact PSP150140). Le projet inclut une modélisation 2D du fleuve Saint-Laurent dans la zone à l'étude et propose une solution technique pour la stabilisation. La figure suivante, tirée de l'étude des variantes (Norda-Stelo, 2016) montre les différentes zones de l'étude et la présente note technique, vise tous les tronçons 1 à 7.

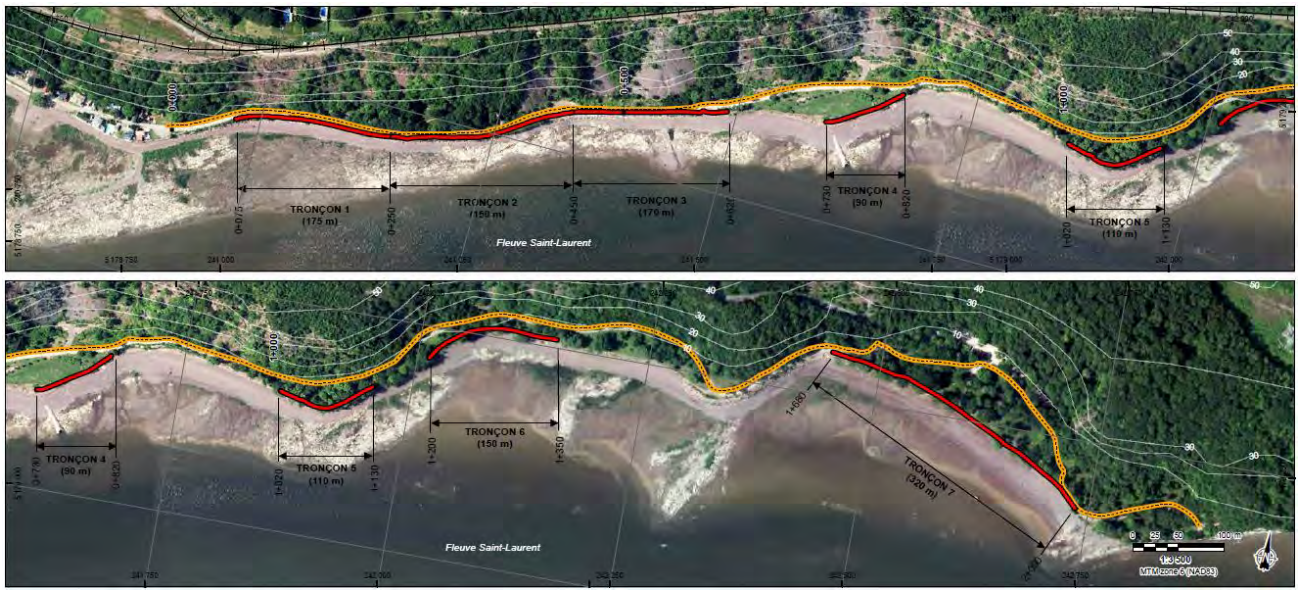


Figure 1 : Zones à l'étude (Norda-Stelo, 2016)

La plage Jacques Cartier est soumise à plusieurs phénomènes hydrologiques dont le débit dans le fleuve, le niveau des marées, les vagues et la glace. Il est donc important d'analyser chaque phénomène de manière indépendante afin de mieux comprendre la conséquence de chaque phénomène.

Les vagues et les niveaux d'eau des marées sont des phénomènes interdépendants, surtout lorsque de très fortes tempêtes se produisent en même temps que des grandes marées. De plus, comme indique dans l'étude de Ropars (2017) pour le Sentier des grèves, les études actuelles sur l'éventuelle dépendance statistique entre ces deux phénomènes n'ont pas donné de résultats tangibles. Par ailleurs, les observations régulières au Québec maritime démontrent que l'occurrence des assemblages « vagues et niveaux » qui sont dévastateurs est plus fréquente que le 1 fois dans 2500 ans d'une telle combinaison (vagues de 25 ans et niveaux de 100 ans) mais il est difficile de déterminer la fréquence réelle de la combinaison. Ceci nous amène à calculer la récurrence de chaque phénomène et de considérer que la fréquence des événements combinés de fortes vagues et de hauts niveaux d'eau se situe entre 100 ans (la plus haut des deux fréquences) et 2500 ans (la multiplication des deux fréquences).

1.0 CHANGEMENT CLIMATIQUE (CC) ET RELÈVEMENT ISOSTATIQUE (RI) DE LA CROÛTE TERRESTRE

1.1 ÉTUDE PRÉCÉDENTE DANS LA RÉGION DE QUÉBEC (ROPARS 2017)

Dans le cadre de l'Analyse des niveaux d'eau au Port de Québec (Ropars 2017), une analyse des niveaux d'eau moyen annuel de deux stations de la région de Québec avait été réalisée. Cette étude avait conclu qu'il y a eu un rehaussement moyen de 3,2 mm/an par les changements climatiques entre 1993 et 2010. La figure suivante, tirée de l'étude en question (Ropars 2017) montre qu'il y a eu d'autres périodes de rehaussement (1964 à 1974, 1989 à 1996), donc une analyse supplémentaire est réalisée dans les sections suivantes.

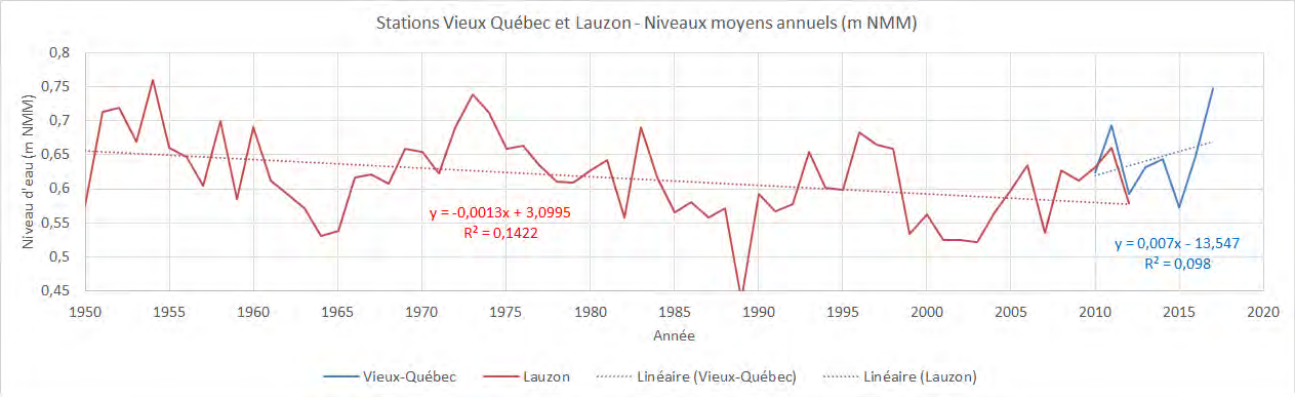


Figure 2: Niveaux d'eau moyens de 1950 à 2017 (tiré de Ropars 2017)

1.2 ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX DES MARÉES

Afin de déterminer l'impact du changement climatique sur les niveaux des marées, il a été choisi de considérer les valeurs journalières au lieu de la moyenne annuel tel qu'il avait été fait dans l'étude précédente (Ropars 2017).

Une analyse statistique des niveaux des marées hautes et des marées moyennes journalières a été réalisée. Les données des niveaux d'eau disponibles à la station Neuville entre 1970 et 2018 ont été utilisées. Cette station a été retenue considérant sa proximité de la plage Jacques-Cartier et sa position en amont du pont du Québec, en sachant que le pont de Québec constitue une importante restriction à l'écoulement et influence ainsi le niveau d'eau.

L'analyse a été faite sur les niveaux des marées moyennes journalières (figure 3) et les niveaux des marées hautes journalières (figure 4). En considérant toutes les données entre 1970 et 2018, nous observons que la variation du niveau d'eau a une tendance négative faible (abaissement du niveau des marées) tant pour la marée moyenne ou la marée haute; cependant en considérant les données entre

2010 et 2018, la tendance devient positive avec une valeur de 3x10-5 m (0,03 mm) par an. Cette valeur est nettement inférieure a la valeur proposée par le Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC, section 1.3). Toutefois, afin d'être conservateur, il a été choisi de considérer les valeurs du GIEC présenté à la section 1.3.

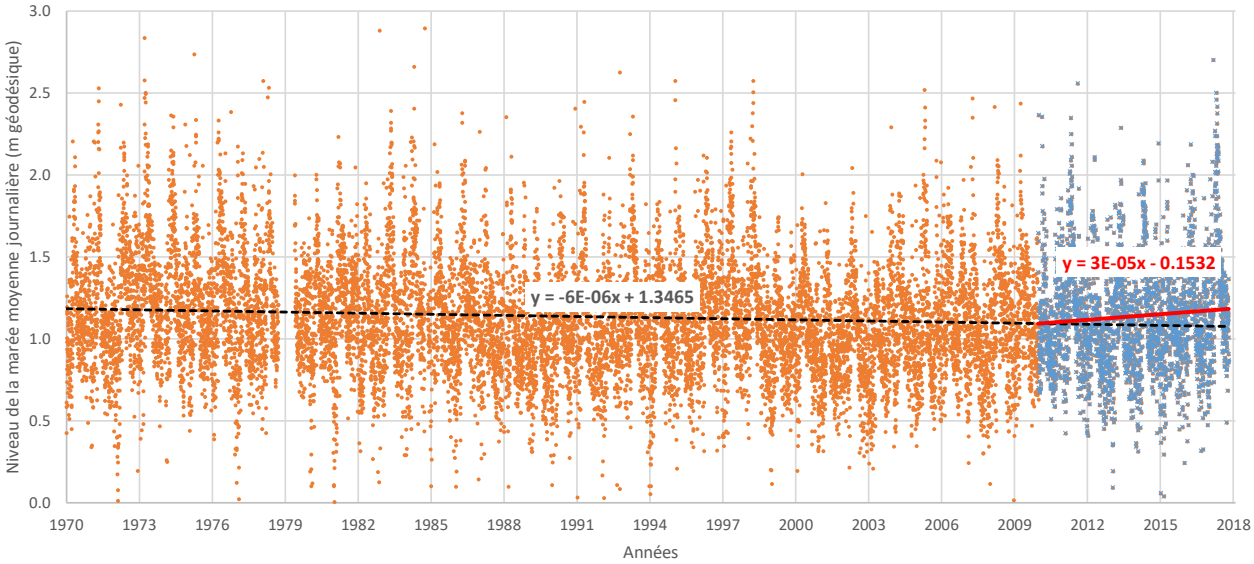


Figure 3: Niveaux de la marée moyenne journalière

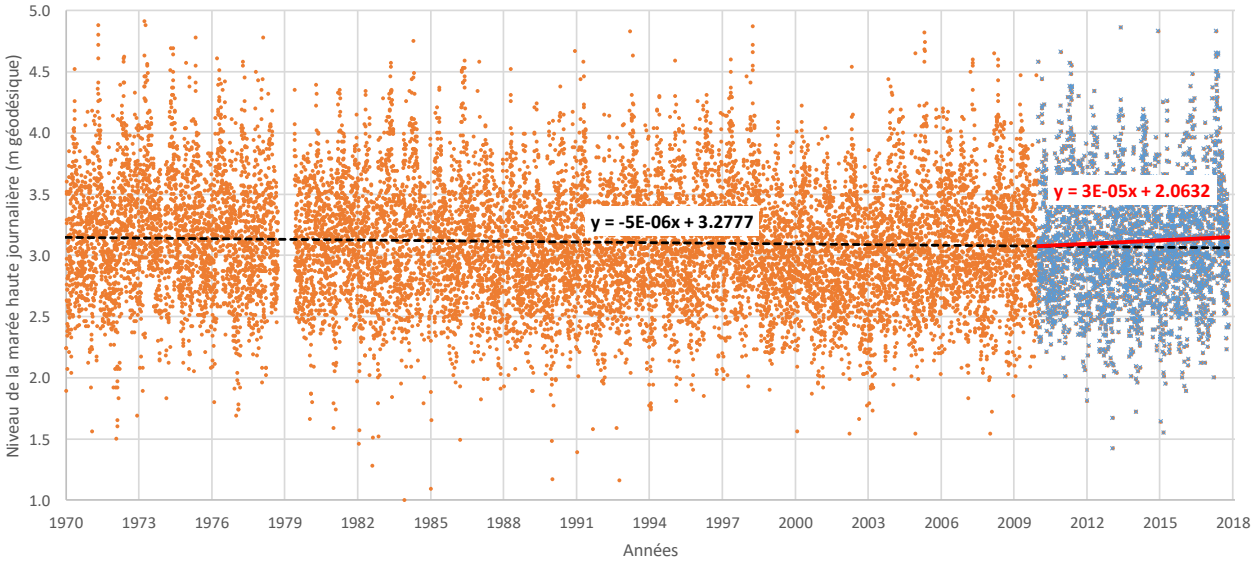


Figure 4: Niveaux de la marée haute journalière

1.3 REMONTEE DU NIVEAU DES MERS

Le Groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit des scénarios de remontée du niveau des mers sur un horizon allant jusqu'en 2100. La figure suivante est extraite de leur dernier rapport disponible en 2014. Pour l'année 2050, une valeur de remontée de 0,15 m à 0,35 m est possible, et pour l'horizon de 2100, une valeur de remontée de 0,28 m à 0,97 m est possible. Pour les fins de conception, il a été choisi de considérer le scénario le plus critique (RCP 8,5). La ligne rouge foncé sur le graphique indique la moyenne de ce scénario. Ainsi dans 50 ans, le rehaussement sera de 0,34 m selon cette tendance.

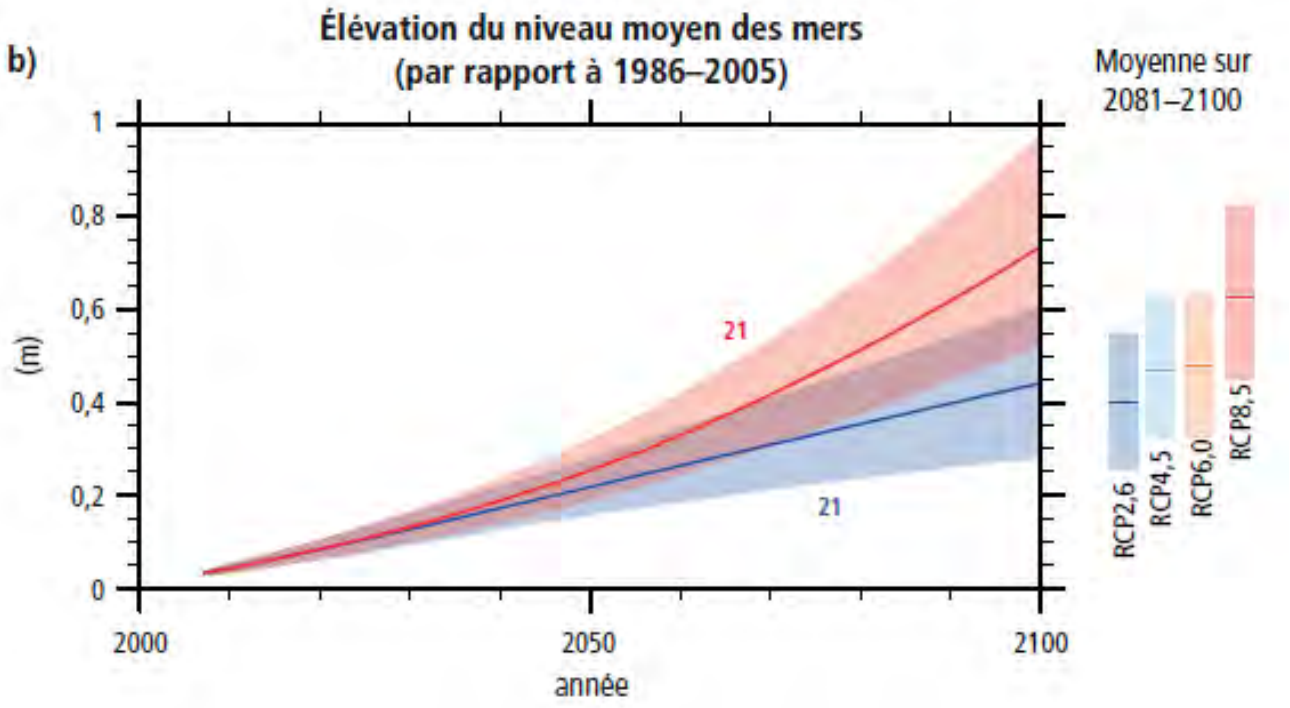


Figure 5 : Remontée des mers

1.4 MODIFICATION DU DÉBIT DU FLEUVE

Selon l'Atlas Hydrodynamique du Québec Méridional, les crues printanières des rivières qui se déversent en amont de Québec (situés entre l'Ontario et la ville de Québec) auront une diminution probable. Ainsi, une diminution du débit dans le fleuve est également envisageable. Dans ce contexte, il n'est donc pas prévu qu'il pourrait y avoir un rehaussement causé par des débits plus forts dans le fleuve.

1.5 RELEVEMENT ISOSTATIQUE (RI)

Le relèvement isostatique (RI) correspond au relèvement de la croûte terrestre suite à la fonte et ainsi au retrait du poids de la calotte glaciaire qui recouvrait la région de Québec, il y a 10 000 ans. La figure suivante (Hento et Al, 2006) présente le relèvement isostatique au Canada. À Québec, le relèvement isostatique est d'environ 2,28 mm par année. Ainsi, pour une période de 50 ans, le relèvement sera de 114 mm (50 ans à 2,28 mm/an).

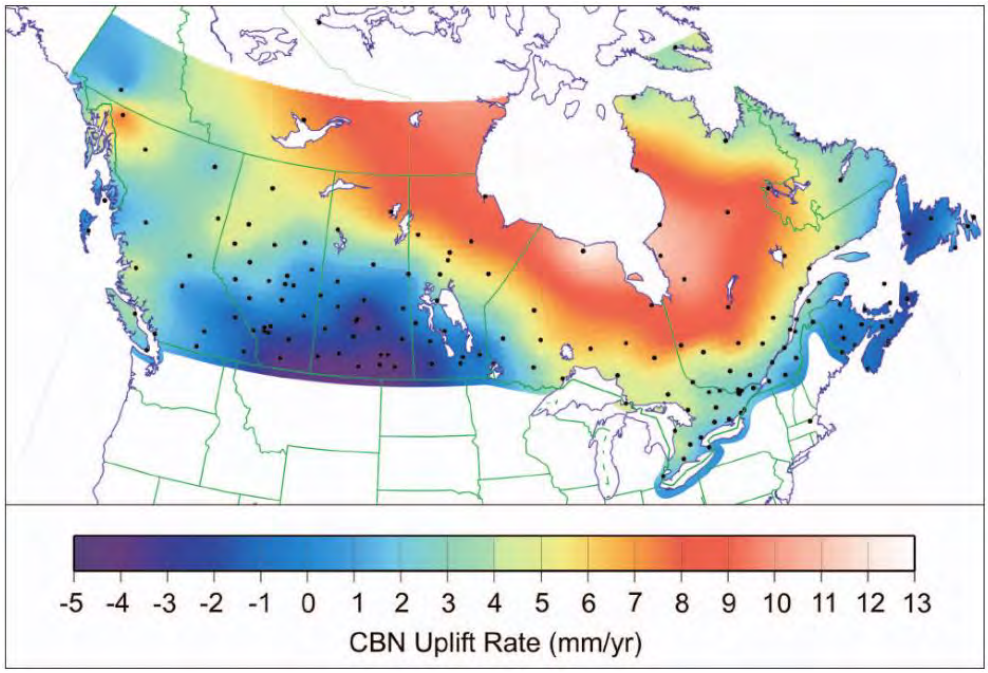


Figure 6: Relèvement isostatique

1.6 IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES À LA PLAGE JACQUES-CARTIER

Afin de tenir compte des changements climatiques, et compte tenu que l'analyse de la tendance des marées moyennes et hautes ne montre pas d'augmentation significative à l'endroit de la plage de Jacque Cartier, il a été considéré plus prudent de tenir compte du rehaussement du niveau des mers tel qu'indiqué dans l'étude du GIEC (2014), soit un rehaussement de 0,34 m dans 50 ans.

Afin d'établir la combinaison entre le phénomène du rehaussement des marées et le relèvement isostatique de la croûte terrestre, le relèvement isostatique (0,11 m) doit être soustrait au rehaussement du niveau des mers (0,34 m). Ainsi, l'augmentation des niveaux d'eau prévus a été estimée à 0,23 m.

2.0 MISE À JOUR DES NIVEAUX D'EAU

2.1 NIVEAU **D'EAU**

Dans les études précédentes, les niveaux d'eau calculés aux berges de la plage Jacques-Cartier ont été tirés de l'étude des zones inondables réalisée en 1986 par le ministère de l'Environnement (actuellement MELCC). Cette étude a été obtenue et révisée afin de mettre à jour les niveaux d'eau. Les niveaux calculés en 1986 sont présentés dans la première colonne du tableau 1. Cette étude avait démontré que les niveaux d'eau à la station Neuville (3280) sont les mêmes que les niveaux à la plage Jacques-Cartier pour des récurrences de 20 ans et supérieures. À noter que la différence est minime pour la récurrence 2 ans, car le niveau d'eau à la plage est seulement 1 cm plus haut qu'à la station Neuville. Pour cette raison, le niveau à la station Neuville est considéré le même qu'à la plage Jacques-Cartier pour la suite de l'étude.

Les données de la station Neuville ont été téléchargées à partir du Service hydrographique canadien pour les années 1962 à 2017. Les données disponibles ont été corrigées en valeur géodésique en soustrayant 1,375 m (correction obtenue auprès de Pêches et Océans Canada). La première étape réalisée a consisté à recréer les résultats de l'étude de 1986, soit en utilisant les données de 1962 à 1982. L'étude de 1986 avait exclue les années 1966 à 1968, 1978, 1979 et ces années ont également été retirées pour obtenir les mêmes résultats. La même loi Log-Pearson III de l'étude de 1986 a été utilisée. Les résultats obtenus sont présentés dans la deuxième colonne du tableau 1. Les niveaux calculés par Stantec sont de 4 à 9 cm plus bas que ceux de l'étude réalisée en 1986. Il est possible qu'une correction ait été appliquée entre 1986 et 2017. Les données actuellement publiées par Pêches et Océans Canada sont considérées comme étant exactes et sont utilisées pour la suite.

La marée haute moyenne a été calculée en faisant la moyenne de la plus haute marée observée chaque jour (une valeur par jour de 1962 à 2017).

Tableau 1 : Comparaison des niveaux maximaux à Neuville (niveaux géodésiques)

Récurrence (années)	Étude 1986 (1962-1982) (m)	Comparaison (1962-1982) (m)	Mise à jour Stantec sans CC ni RI (1962-2017) (m)	Mise à jour Stantec avec CC et RI (1962-2017) (m)
Niveau d'eau moyen	-	-	1,12	
Marée haute moyenne journalière	-	-	3,09	3,32
2	4,54	4,45	4,51	4,72
5	4,79	4,71	4,74	4,95
10	4,91	4,84	4,86	5,07
20	5,01	4,95	4,96	5,17
50	5,11	5,06	5,06	5,27
100	5,18	5,14	5,13	5,34

Pour la mise à jour des niveaux, les données de 1962 à 2017 (excluant les années 1966 à 1968) de la station Neuville ont été utilisées dans l'analyse statistique. Les données de cette station incluent les niveaux de crue et les niveaux des surcotes de marées. Bien que la station Neuville ait été hors fonction pendant quelques mois durant les années 1978 et 1979, la station a tout de même enregistré des maximums annuels semblables aux autres années et il a été choisi de conserver ces deux années. Les résultats obtenus avec la mise à jour de 2017 sont présentés dans la troisième colonne du tableau 1. Il apparaît que la mise à jour de 2017 donne presque exactement les mêmes résultats qu'en 1986. La description des calculs du rehaussement causé par le changement climatique (CC) et la remontée isostatique (RI) est présentée à la section 1 de cette note technique.

Les niveaux minimaux statistiques ont également été calculés dans le cadre de cette mise à jour et sont présentés au tableau 2. Pour ce qui est des niveaux minimums, ils vont eux-aussi augmenter à cause des changements climatiques, mais le scénario le plus critique pour les niveaux minimums correspond au niveau observé présentement, avant la remontée du niveau des mers. Le tableau présente donc les niveaux actuels, sans augmentation pour les changements climatiques. La figure 7 montre les marées basses journalières. On remarque que les marées basses en Avril et Mai sont plus hautes qu'à d'autres moments dans l'année. Ceci est causé par les forts débits observés dans le Fleuve lors de la crue printanière et peu importe l'effet de la marée au large, le fort débit impose un niveau d'eau plus haut.

Tableau 2 : Niveaux minimaux à Neuville (géodésique)

Récurrence (années)	Mise à jour Stantec (1962-2017) (m)
Marée basse moyenne en Avril et Mai	-0.32
Marée basse moyenne annuelle	-0.70
2	-1,58
5	-1,77
10	-1,90
20	-2,02
50	-2,17
100	-2,29

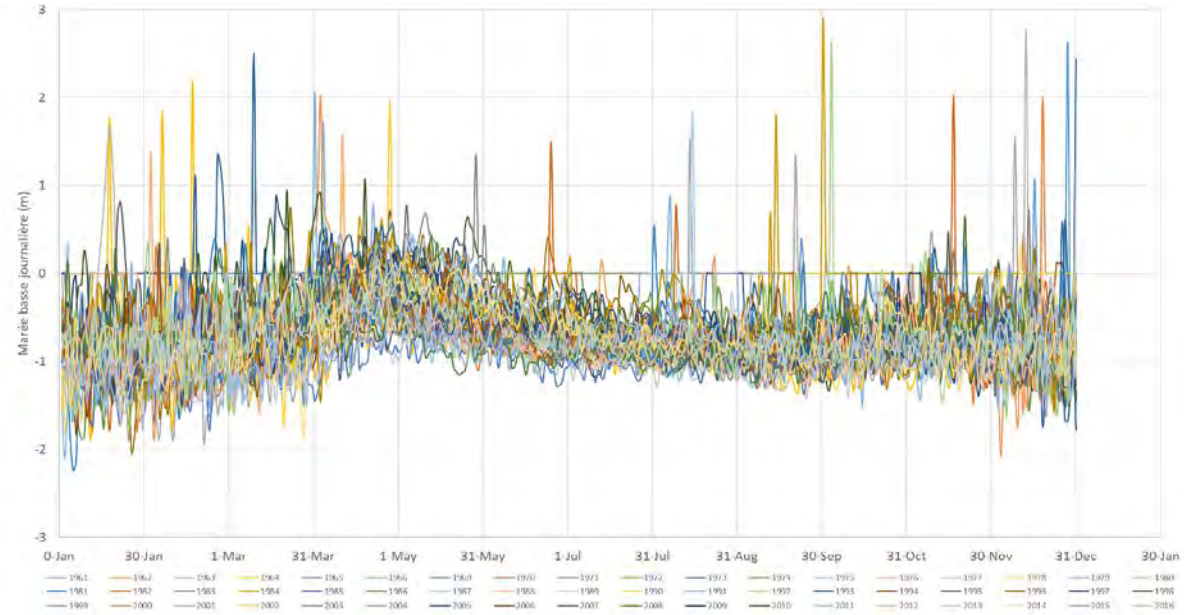


Figure 7: Marée basse journalière

2.2 FRÉQUENCE DE DÉPASSEMENT

Des épis sont proposés dans les sections suivantes de ce rapport. L'implantation des épis est principalement considérée afin de limiter l'impact des vagues de l'ouest qui sont la principale cause

d'érosions dans les tronçons 5 et 7 où les vagues sont plus importantes du côté ouest que celles du côté est (Fetchs directs plus long côté ouest que côté est). Les épis réduiraient l'impact des vagues provenant du sud-ouest pour arriver au même ordre de grandeur que les vagues provenant du sud-est. Ainsi, le dimensionnement de la protection des berges serait optimisé pour des vagues provenant de n'importe quelle direction. Bien évidemment, ces épis n'ont pas de rôle significatif sur ces deux tronçons lorsque les vagues viennent du sud-est et une protection des berges est prévue. Le niveau des épis est déterminé afin de réduire significativement l'impact des vagues du sud-ouest qui sont plus importantes et plus destructrices en termes d'occurrence et de hauteur dans ce secteur de fleuve. L'ajout des épis réduira l'impact du vent du sud-ouest à un niveau similaire à celui du vent du sud-est, d'où le fait qu'une protection adéquate des talus devra faire l'affaire tant pour le vent de sud-ouest que pour le vent du sud-est. Compte tenu que l'érosion est un phénomène causé par une action répétitive persistante, il est pertinent de vérifier et accepter une fréquence de dépassement. Ainsi, tous les niveaux horaires enregistrés par la station Neuville ont été considérés (1962 à 2017) dans le calcul de cette fréquence.

La figure 8 montre la courbe des niveaux classés ou l'abscisse représente la fréquence de dépassement, et les résultats apparaissent au tableau 1. La figure 8 montre que, en considérant les épis au niveau 3,32 m, les marées hautes horaires ont actuellement une probabilité de dépassement de 2,7% tandis que cette probabilité remonte à 5 % dans 50 ans à cause des changements climatiques et le relèvement isostatique (3,09 m actuellement plus 23 cm).

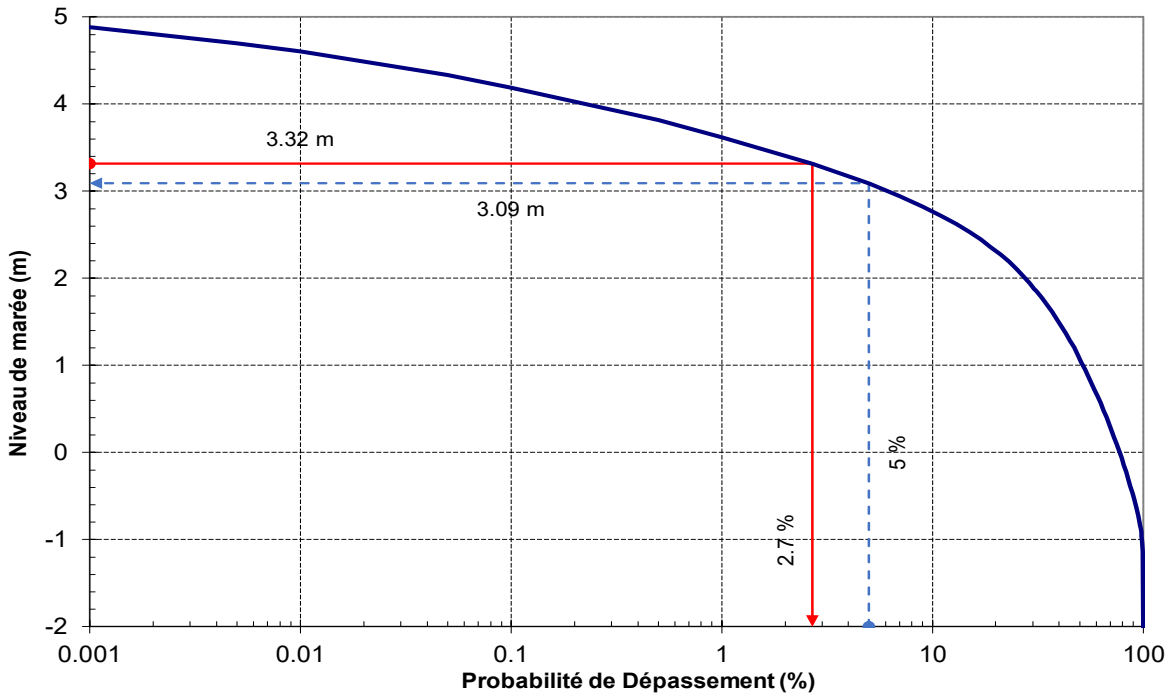


Figure 8: Courbe des niveaux de marées classées

3.0 MODÉLISATION 2D AVEC HEC-RAS

3.1 MODÈLE DE TERRAIN

Une modélisation hydraulique a été réalisée pour vérifier si l'écoulement du fleuve est une cause de l'érosion observée, puisque les études précédentes n'ont jamais étudié la potentielle érosion causée par cet écoulement. La modélisation hydraulique a été réalisée en première temps à l'aide du logiciel HEC-RAS 5.0.6 rendu disponible par le US Army Corps of Engineer avec la fonction de modélisation 2D, et ensuite à l'aide du modèle MIKE 21 tel que décrit dans la section 4.

Un arpentage a été réalisé sur les berges et sur la plage. La zone arpentée ne couvre pas toute la largeur du fleuve mais seulement la zone intertidale à marée basse. Ainsi, la carte marine V-1316 du Service hydrographique du Canada a été obtenue. Sur la portion terrestre, en dehors des limites de la carte marine, le relevé LiDAR 2012 couvrant la ville de Québec à marée basse, disponible sur le site du MFFP (feuillet 21L11NO), a également été utilisé. Les trois sources de données ont été jumelées en accordant leur ordre de priorité. Un coefficient de Manning de 0,035 a été appliqué. La limite aval du modèle est situé à 3.2 km en aval du Pont de Québec.

La figure suivante illustre le terrain de la modélisation 2D par HEC-RAS et il apparaît qu'un chenal profond est situé du côté sud du fleuve. On s'attend donc à ce que le débit et les vitesses soient concentrés dans ce chenal, ce qui sera validé dans les simulations présentées dans les sections suivantes de cette étude.

Figure 9 : Bathymétrie du fleuve

3.2 ANALYSE DE SENSIBILITÉ

La condition frontière amont correspond au débit moyen annuel du fleuve à Québec, 12 600 m^3/s (RNC, 2017) et un débit annuel maximum moyen (20 000 m^3/s). La condition aval du modèle concorde avec les niveaux d'eau dans le fleuve (section 2 de cette note technique).

Dans la zone à l'étude, un maillage plus fin de 5 m a été imposé. Dans le fleuve en dehors de la zone à l'étude, un maillage de 10 m a été imposé. Pour vérification, un autre maillage uniforme de 5 m a été réalisé. Lorsque les conditions permanentes sont atteintes, les résultats sont les mêmes. Étant donné que la carte marine a une précision au 30 m, il s'avère inutile de raffiner le maillage dans le fleuve. Le maillage de 10 m, avec un niveau de détails plus grand dans la zone à l'étude, a été choisi.

Des pas de temps de 30 secondes et de 10 secondes ont été vérifiés. Une différence est observée lorsque les conditions sont transitoires, c.-à-d. au début de la simulation lorsque le modèle est sec et se remplit d'eau. Le pas de temps de 30 secondes entraîne des instabilités. Toutefois, lorsque les conditions permanentes sont atteintes, il n'y a aucune différence entre les deux simulations, et un pas de temps de 30 secondes a été utilisé.

La condition frontière consiste à un hydrogramme (débit). Le modèle 2D exige qu'une pente d'énergie soit appliquée à la condition frontière amont. Cette pente d'énergie est nécessaire seulement pour assurer la distribution du débit le long de la condition frontière amont, soit toute la largeur du fleuve, mais ne modifie pas la valeur de débit transitant par la condition frontière. Une pente de 0,001 et une pente de 0,0001 ont été testées. L'impact de cette pente est observé seulement sur les 200 premiers mètres du modèle, mais n'a pas d'impact au niveau de la zone à l'étude. Une pente de 0,0001 a aussi été appliquée. Ces pentes d'énergie ont été testés simplement pour prouver qu'elles n'ont pas d'impacts dans la zone à l'étude, et que n'importe quelle valeur réaliste de pente d'énergie n'impactera pas la zone à l'étude.

La figure 10 montre que les vitesses sont largement concentrées dans le chenal situé sur la rive sud du fleuve. Les lignes noires sont les courbes de niveau de la bathymétrie.

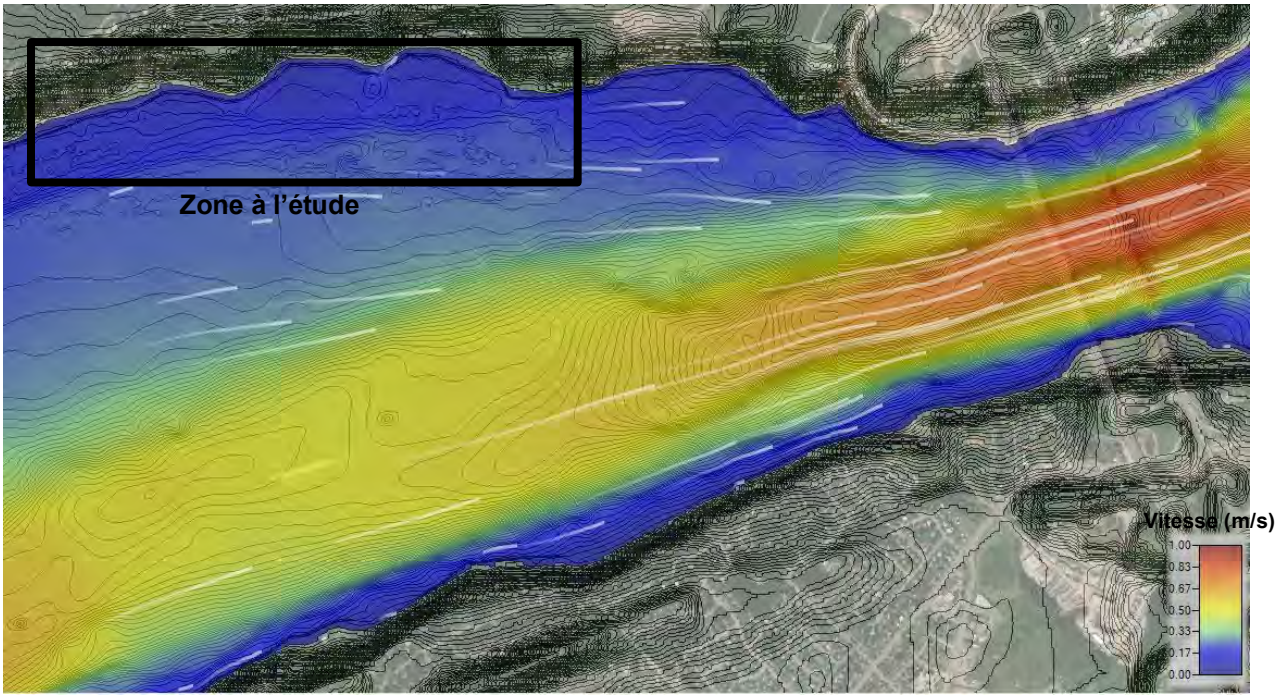


Figure 10 : Vitesses simulées dans le fleuve (m/s)

4.0 MODÉLISATION 2D AVEC MIKE 21

La zone à l'étude a été également modélisé à l'aide de MIKE 21 afin de valider à l'aide de ce modèle les zones susceptibles à l'érosion ainsi que les zones privilégiant le développement d'herbiers. Les résultats du modèle ont également été utilisé pour valider les calculs et les concepts en intégrant, dans le modèle hydrodynamique (HD), le module des vagues (Spectral Wake- SW) et le module de transport sédimentaire (Mud Transport- MT). La figure 11 suivante montre les limites de la zone à l'étude qui s'étend sur 7,7 km ainsi que la topographie et la bathymétrie tel que décrit dans la section 3.1. Ce modèle permet la prédiction des vagues provoquées par le vent dans certaines directions prédéterminées, soit le vent sud-ouest (azimut 220°) et le vent de sud-est (Azimut 140°).

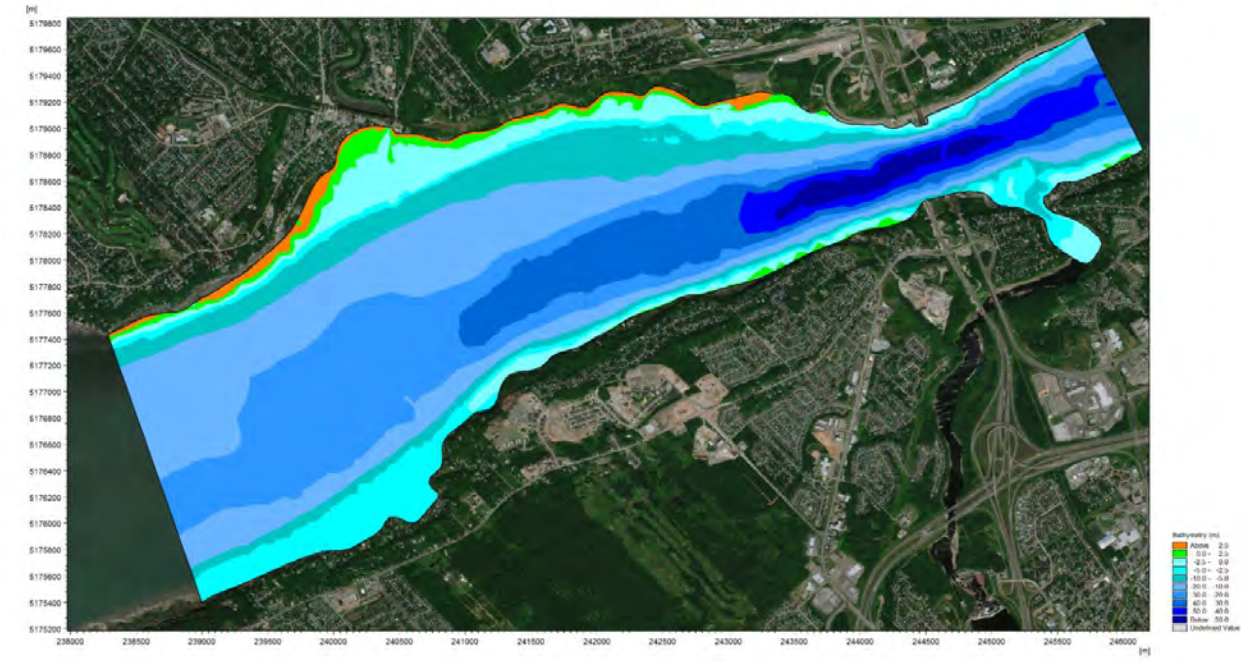


Figure 11 : Limite et bathymétrie de la zone simulée à l'aide de MIKE 21

Le module de transport sédimentaire permet la détermination des zones susceptible d'érosion ou de déposition ainsi que l'estimation d'érosion et de déposition suite à un évènement donné (direction des vents, vitesse de vent, débit du fleuve, niveau de la marée et charge de sédiments en suspension).

Figure 12 montre la discrétisation du domaine à l'étude, utilisé dans le modèle MIKE 21, avec un maillage triangulaire ou nous remarquons que le maillage a été raffiné dans le secteur de la plage Jacques Cartier afin de présenter plus précisément ce secteur tandis que la figure 13 montre un agrandissement de la zone d'implantation des épis avec le maillage encore plus fin afin de représenter adéquatement la forme des épis.

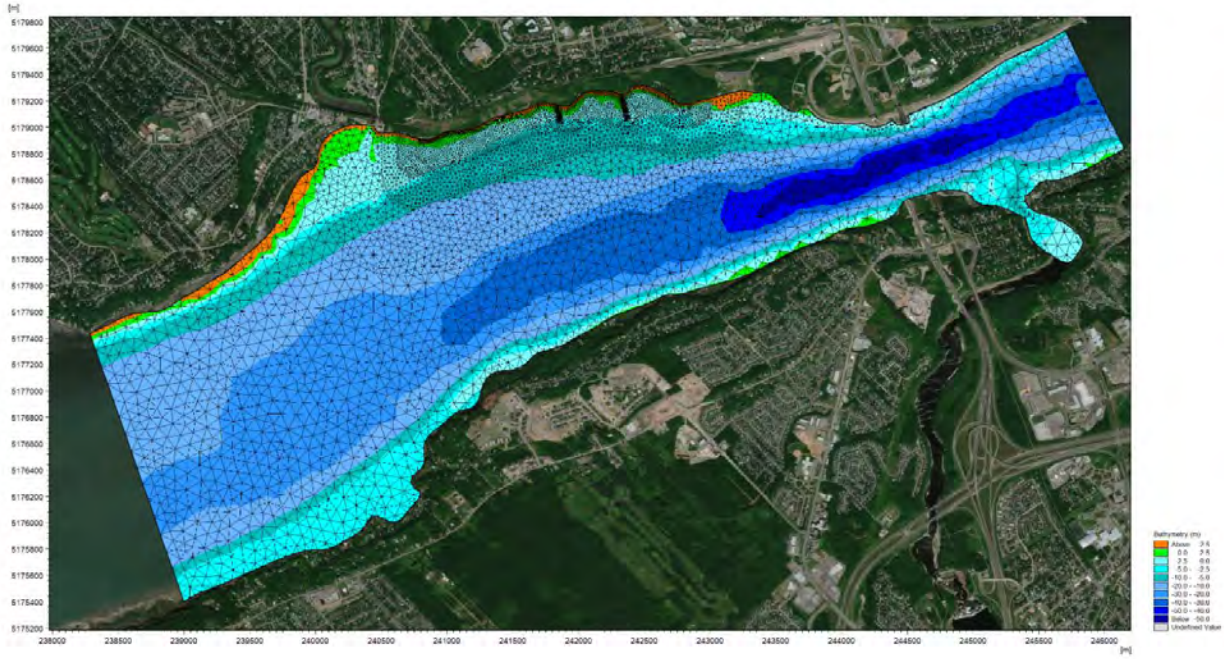


Figure 12 : Discrétisation triangulaire de la zone modélisée par MIKE 21

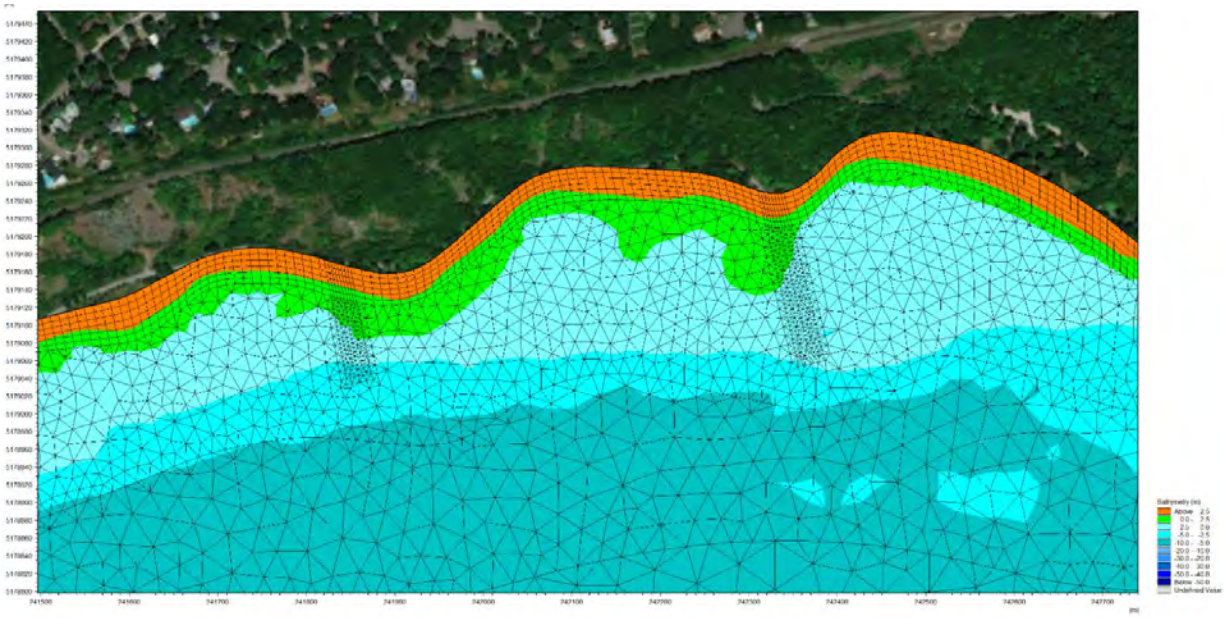


Figure 13 : Raffinement du maillage près de la plage Jacques Cartier

5.0 ANALYSE HYDROSÉDIMENTAIRE

Des échantillons de sol ont été prélevés dans la plage Jacques-Cartier. Une analyse granulométrique a été réalisée sur chaque échantillon et les résultats sont présentés à l'annexe B. Le tableau 3 présente les résultats pertinents de ces analyses granulométriques. En comparant l'analyse des échantillons relevés en surface (échantillons a) et en profondeur (échantillons b), on remarque qu'en profondeur la dimension des sédiments est plus grosse qu'en surface.

Figure 14 : Localisation des points d'échantillonnage de sédiments

Tableau 3 : Calibres des échantillons

Échantillon	**Profondeur**	**D_{50} (mm)**	**Limites de dimension des sédiments (mm)**	**Tronçon**
1	Surface	3,3	1 – 10	7
2	Surface	2,1	0,2 – 15	7
3a	0,1 m	1,3	0,2 – 12	7
4	Surface	1,3	0,2 – 12	N/D
5a	0,1 m	1,5	0,2 – 8	6
6	Surface	1,5	0,2 – 10	5
7a	0,1 m	1,5	0,3 – 10	4
8	Surface	2,3	0,3 – 30	3
9a	0,1 m	1,5	0,2 – 10	2
3 b	0,6 m	1,7	0,2 – 20	7
5 b	0,3 m	1,9	0,1 – 20	6
7 b	0,6 m	2,3	0,3 – 15	4
9 b	0,6 m	9	0,3 – 60	2

Le diagramme d'Hjulstrom est présenté à la figure 15 et présente la grosseur des particules nécessaire pour résister à l'érosion. Cette figure est utilisée comme référence dans les sections subséquentes de ce rapport.

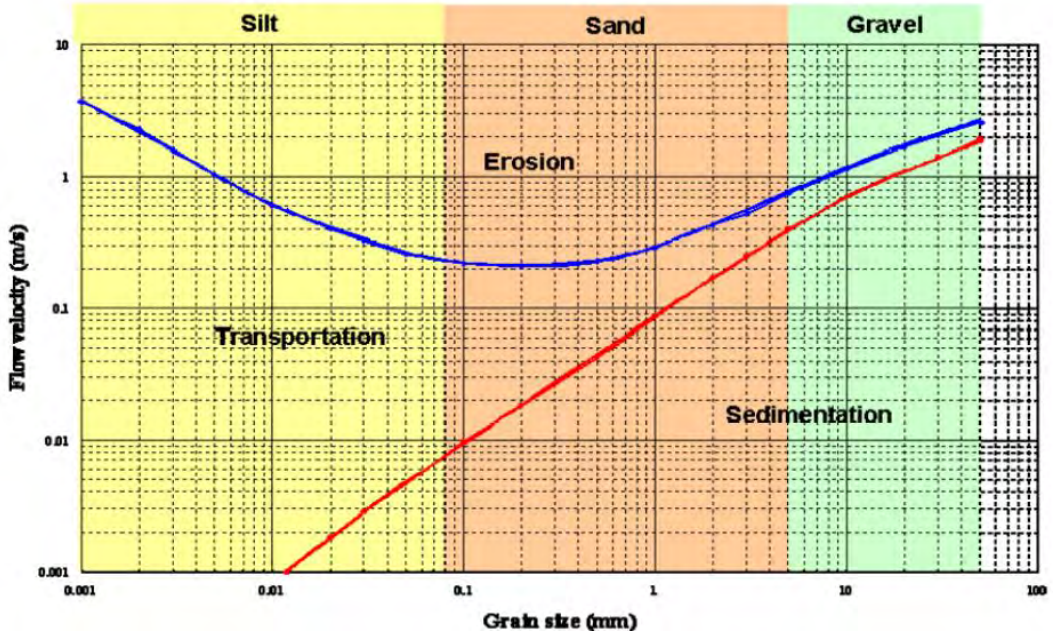


Figure 15 : Diagramme d'Hjulstrom

5.1 CHARGE SÉDIMENTAIRE

Pour la modélisation MIKE 21, une charge sédimentaire dans l'eau du fleuve est requise. En moyenne, la concentration de matières en suspension (MES) dans l'eau à Québec est de 18 mg/L (Frenette et al. 1989; Verrette, 1976). Il n'y a presque pas de gravier supérieur à 10 mm dans la granulométrie de la plage. Ainsi, il n'y a pas de gravier supérieur à cette valeur qui provient du fleuve. Aucune information précise n'est disponible quant à la répartition et la composition de la charge sédimentaire. La collecte de cette information nécessiterait une campagne de mesure intense pendant au moins une année. Ainsi, une granulométrie a été supposée en se basant sur la littérature et sur la campagne d'analyse de sol sur la plage, ce qui donne un aperçu plus réaliste que de considérer de l'eau propre, c'est-à-dire sans MES. La granulométrie proposée des particules chargées dans l'eau se constitue de 50 % de silt et argile (d < 0.08mm), 40% de sable (5 mm > d >0.08 mm) et 10% de gravier (10 mm > d > 5 mm).

6.0 ANALYSES DE VITESSES

6.1 VITESSES D'ÉCOULEMENT DANS LA ZONE À L'ÉTUDE (MODÈLE HEC-RAS)

Deux débits ont été simulés soit le débit moyen annuel du fleuve à Québec, 12 600 m^3/s (RNC, 2017) et un débit annuel maximum moyen (20 000 m^3/s). Quatre niveaux avals sont simulés, soit avec le niveau d'eau maximal de récurrence 20 ans (4,96 m), le niveau d'eau de la marée haute moyenne ajusté pour tenir compte du changement climatique et du relèvement isostatique (3,32 m), le niveau d'eau moyen (1,12 m), et le niveau d'eau minimal de récurrence 20 ans (-2,02 m). Les figures 16 à 22 présentent les vitesses modélisées en m/s.

Les résultats avec niveau d'eau minimal de récurrence 20 ans (-2,02 m) montre que les plages sont asséchées (aucune érosion possible). Les marées basses extrêmes assèchent la plage et ne sont donc pas problématiques.

Il apparaît que les vitesses maximales appréhendées au niveau des tronçons étudiées sont dans l'ordre de grandeur de 0,20 m/s.

Pour tous les échantillons recueillis, le D_{50} est supérieur à 1,2 mm, donc selon le diagramme d'Hjulstrom (Figure 15), l'érosion de ces particules débutent lorsque les vitesses atteignent 0,3 m/s. Comme les vitesses maximales simulées sont de l'ordre de 0,2 m/s, les vitesses causées par le débit du fleuve ne sont pas la cause de l'érosion. Il est à noter que la vitesse de 0,2 m/s est une condition critique (débit maximal annuel), et les vitesses réelles sont plus faibles la grande majorité du temps. En absence de vagues et de marées, les vitesses de 0,2 m/s font déposer (sédimentation) les matériaux suspendus supérieur à 2 mm de diamètre, et causent du transport de sédiments (transportation) pour tous matériaux suspendus plus fins que 2 mm. Cette analyse démontre donc que l'érosion de la plage n'est pas causée par l'écoulement du fleuve, et ainsi, il est fort probable que la problématique est causée par les vagues et les marées. La solution doit donc être conçue pour apporter une protection contre les vagues. Le modèle MIKE 21 décrit à la section 7.4 démontre que les vagues ont une influence locale pour éroder le lit du fleuve.

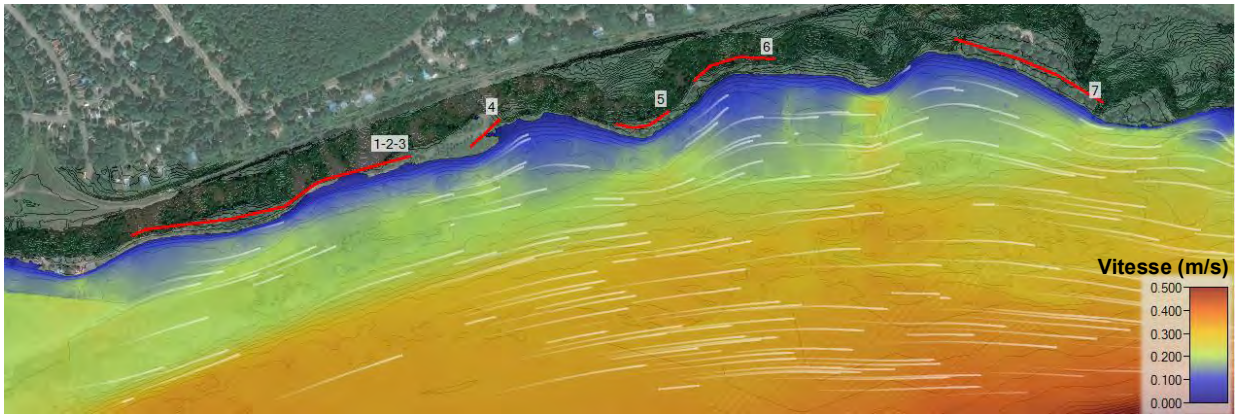


Figure 16 : Vitesses avec un niveau d'eau maximum de récurrence 20 ans (4,96 m) et débit de 20 000 m^3/s (vitesse moyenne de 0,20 m/s)

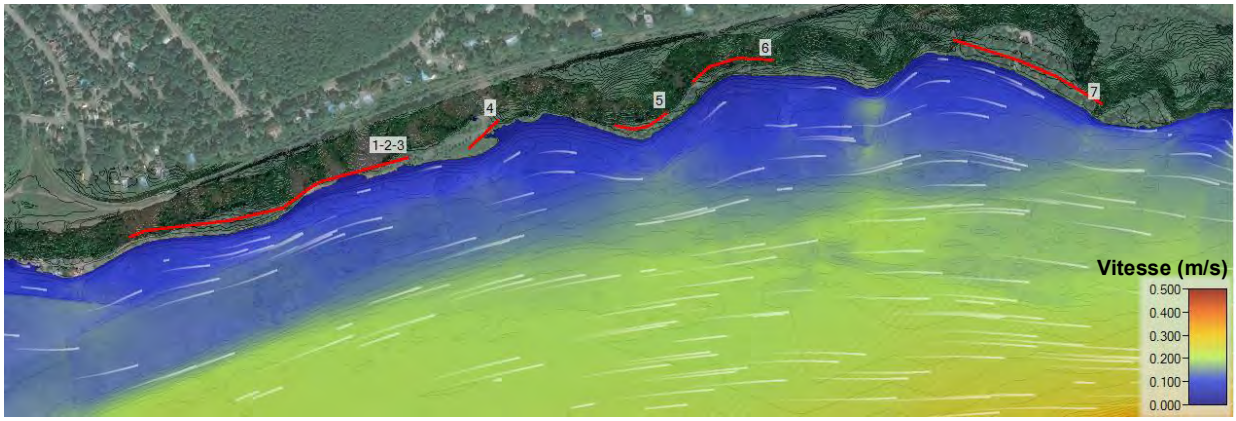


Figure 17 : Vitesses avec un niveau d'eau maximum de récurrence 20 ans (4,96 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s)

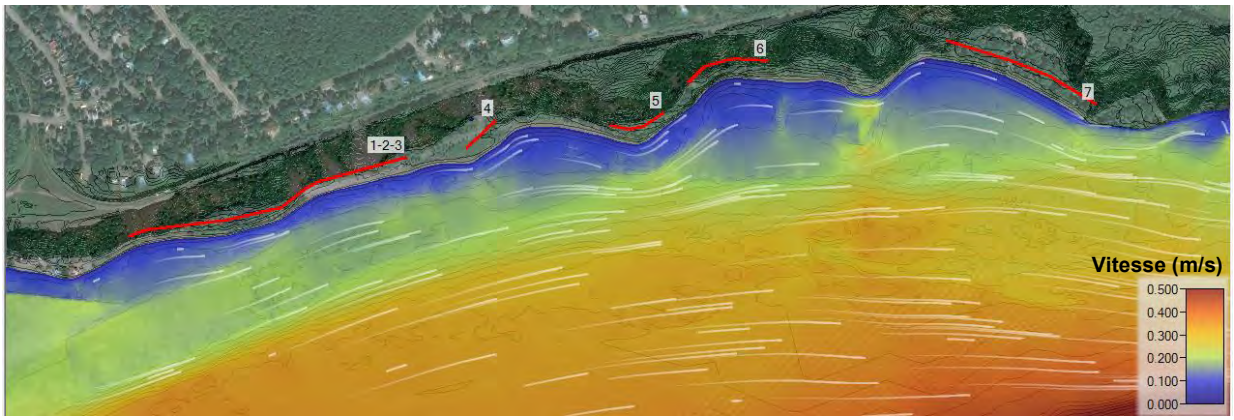


Figure 18 : Vitesses avec une marée haute moyenne (3,32 m) et débit de 20 000 m3/s (vitesse moyenne de 0,20 m/s)

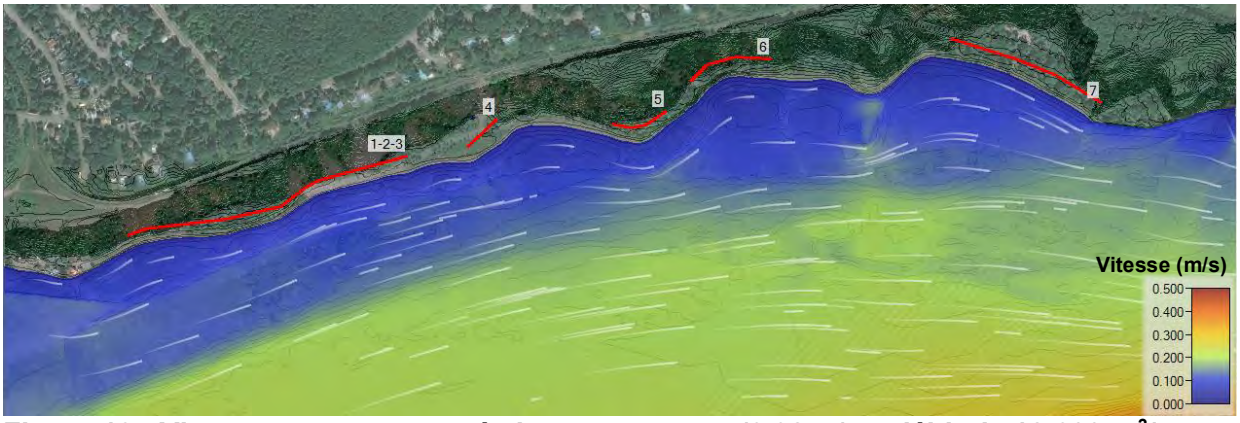


Figure 19 : Vitesses avec une marée haute moyenne (3,32 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s)

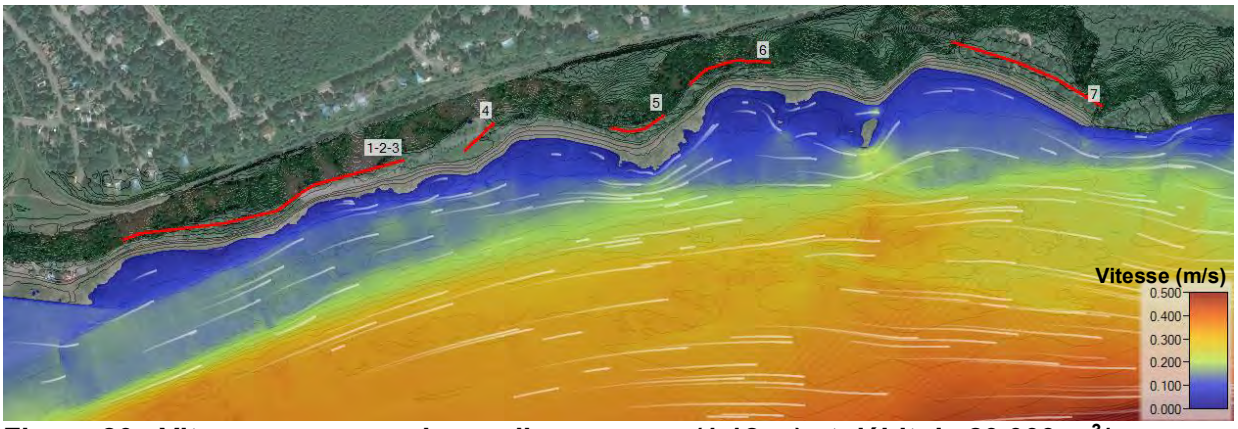


Figure 20 : Vitesses avec un niveau d'eau moyen (1,12 m) et débit de 20 000 m^3/s (vitesse moyenne de 0,15 m/s)

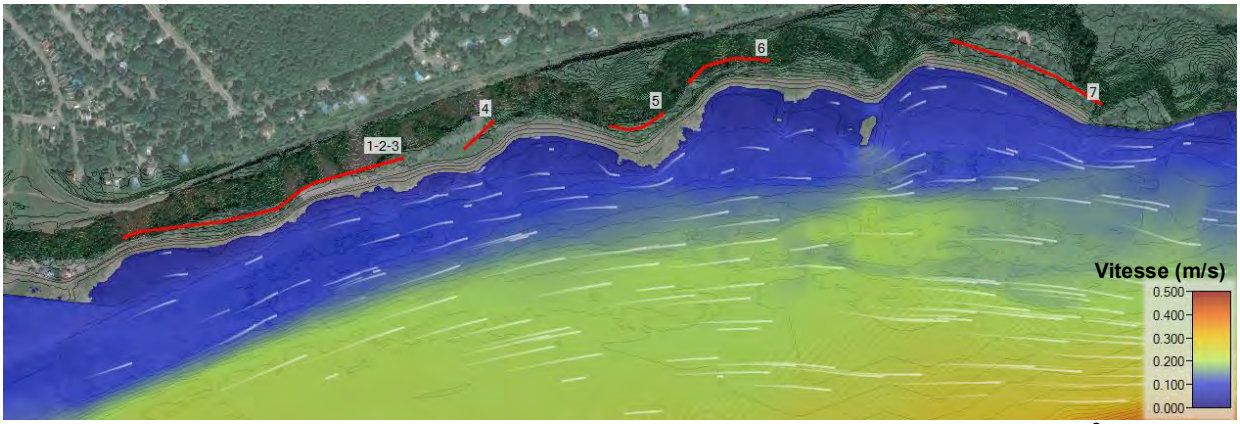


Figure 21 : Vitesses avec un niveau d'eau moyen (1,12 m) et débit de 12 600 m^3/s (vitesse moyenne de 0,10 m/s)

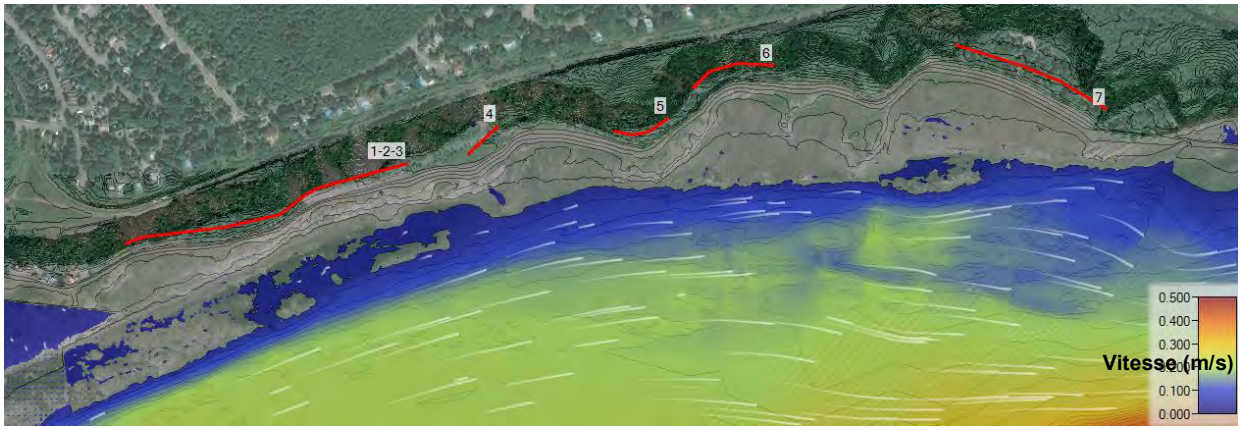


Figure 22 : Vitesses avec un marée basse de récurrence 20 ans (-2.02 m) et débit de 12 600 m^3/s (plage asséchée)

6.2 COURANTS DE FLOT ET JUSANT

Selon les figures du MPO (voir figure 23) des courants de flots et jusant près des ponts de Québec, les vitesses près de la plage Jacques-Cartier sont de l'ordre de 2 nœuds, soit 1,03 m/s. Selon le diagramme d'Hjulstrom (voir figure 15), à cette vitesse, pour éviter l'érosion les particules doivent avoir un diamètre de l'ordre de 10 mm. Ce calibre est plus grand que le sol en place et les vitesses induites par les courants de flot et jusant sont probablement une des causes de l'érosion des berges. Un gravier de 10 mm n'est pas un sol approprié pour une plage, ainsi il est recommandé d'implanter une géogrille.

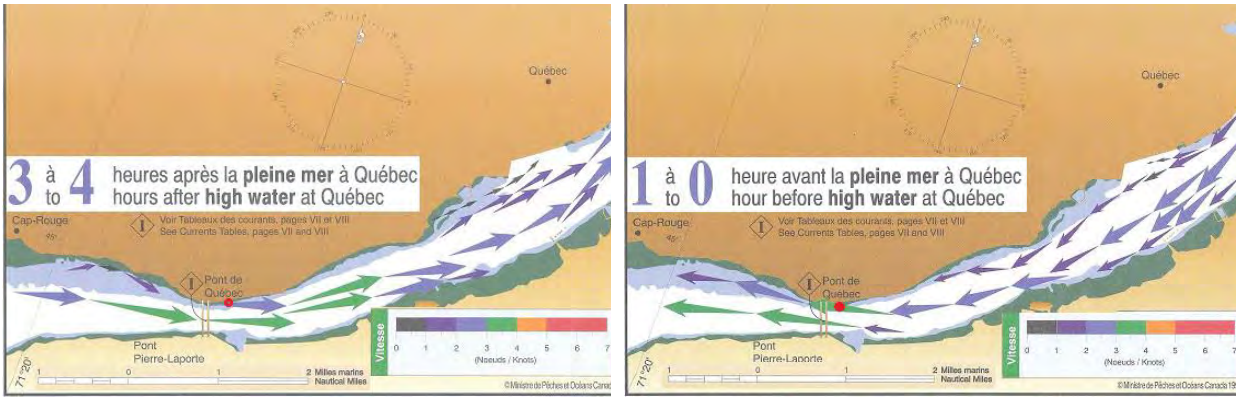


Figure 23 : Courants de flot et jusant dans la zone à l'étude (MPO, 1997)

6.3 CONCLUSION SUR LES ANALYSES DE VITESSES

Selon le modèle HEC-RAS, les vitesses maximales appréhendées au niveau des tronçons étudiées sont dans l'ordre de grandeur de 0,20 m/s. Ces vitesses ne causent pas d'érosion pour le calibre des particules en place sur la plage.

Selon les figures MPO des courants de flot et jusant près des ponts de Québec, les vitesses appréhendées sont de l'ordre de grandeur de 1.03 m/s. Un calibre de 10 mm serait nécessaire pour résister à ces vitesses, ce qui n'est pas un sol approprié pour une plage. Ainsi, il est recommandé d'implanter une géogrille. Il est à noter que l'enrochement recommandé sur les talus est largement supérieur à 10 mm et les vitesses ne causeront évidemment pas d'érosion sur les talus.

7.0 ÉTUDE DE VAGUE

7.1 ÉTUDES DE VARIANTES (NORDA STELO, 2016)

L'étude de dynamique de l'érosion et des variantes (Norda Stelo, 2016) a présenté une étude de vagues. La hauteur de vague de conception qui avait été choisie correspond à 1,92 m (récurrence de 25 ans). Une transformation des vagues en fonction de niveaux d'eau préétablis (5,01 m et 2,87 m) a été appliquée pour chacun des tronçons à l'étude et la hauteur de vague maximale a été établie pour chaque tronçon. Les résultats de cette étude sont répétés dans le tableau 4. L'étude des vents a été réalisée avec les données de la station météorologique Lauzon, située sur la rive sud du fleuve à 15 km de la plage Jacques-Cartier. Les données précédemment utilisées couvrent 1991 à 2007. La technique de transformation avait été réalisée avec les logiciels REFRA et Delft 3D et tient compte du déferlement des vagues. Cette méthode n'est pas suffisamment détaillée pour pouvoir comparer les résultats de transformation de Norda-Stelo avec les résultats de Stantec.

Tableau 4 : Résultats de l'Étude de variantes (Norda-Stelo, 2016)

Tronçons	Hauteur maximale des vagues avec **un niveau d'eau de 5.01 m (m)**	Hauteur maximale des vagues avec **un niveau d'eau de 2.87 m (m)**
1	1,87	1,36
2	1,84	1,62
3	1,84	1,62
4	1,84	1,62
5	1,88	1,20
6	1,82	1,15
7	1,87	1,42

7.2 MÉTHODE DE LA SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES

Lors de la révision réalisée par Stantec, il est apparu que la station météorologique Québec Intl A était située plus près de la plage (7 km au nord-ouest), sur la rive nord du fleuve. Cette station couvre une période beaucoup plus grande, incluant les années récentes (1er janvier 1953 à 10 décembre 2017). Pour cette raison, il a été décidé de réaliser une nouvelle étude de vague dans la présente étude.

7.2.1 Vents

Une analyse fréquentielle a été réalisée sur les vents maximaux horaires enregistrés (vent soutenu sur une heure) de 1953 à 2017. Une analyse statistique a été effectuée avec les vents maximaux annuels

afin de déterminer les vitesses de vents fréquentielles dans les quatre directions principales. La méthode de calcul considère toutes les directions de vents :

- La direction Nord inclut les directions 315° à 45°.
- La direction Est inclut les directions 45° à 135°.
- La direction Sud inclut les directions 135° à 225°.
- La direction Ouest inclut les directions 225° à 315°.

Quatre lois statistiques ont été comparées (Gumbel, Normal, Log-Normal et Log-Pearson-III). La loi (Log-Pearson-III) s'est avérée la plus représentative et les vents retenus sont présentés au tableau 5. Cette analyse annuelle est présentée à des fins informatives, mais le dimensionnement est réalisé avec les données excluant l'hiver.

Tableau 5 : Vitesses des vents considérées annuelles (km/h)

Période de retour (années)	Nord	Est	Sud	Ouest
2	44,22	56,24	45,93	60,94
10	55,69	68,35	65,67	78,99
25	61,06	73,50	76,26	89,73
100	68,75	80,42	92,96	107,81

Une analyse de vent a également été réalisée en excluant les vents générés durant la période hivernale (excluant les mois de janvier à mars inclusivement) durant laquelle on retrouve un couvert de glace qui offre une protection naturelle contre l'érosion des vagues. Cette demande avait été faite en juin 2016 par la Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels (DÉEPHI). Ainsi, la conception sera réalisée seulement avec les vents excluant l'hiver (tableau 6).

Tableau 6 : Vitesses des vents considérées excluant l'hiver (km/h)

Période de retour (années)	Nord	Est	Sud	Ouest
2	42,52	51,10	43,58	57,30
10	53,95	64,69	59,77	70,93
25	59,52	71,61	67,89	76,68
100	67,73	82,10	80,09	84,35

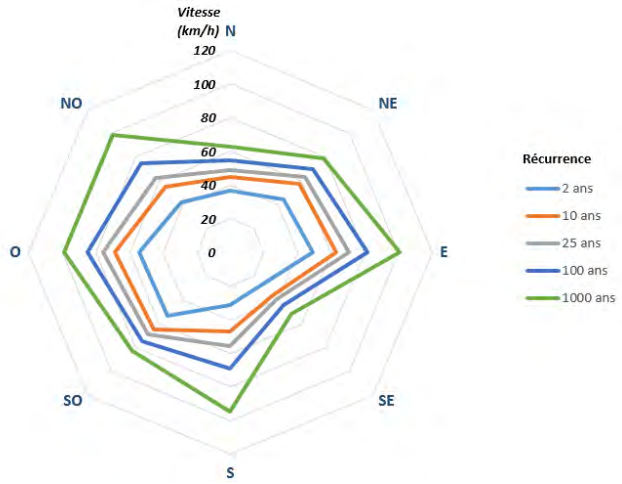


Figure 24: Rose des vents dans 8 directions (excluant les vents d'hiver)

7.2.2 Radiales et fetch

Des foyers ont été considérés, qui représentent le point à partir duquel des distances de radiales ont été tracées sur une surface d'eau ininterrompue. La longueur et l'angle de chaque radiale sont utilisés pour calculer la hauteur des vagues. La méthode de la SEBJ pondère les radiales afin d'obtenir un fetch représentatif de la combinaison des radiales. Les figures des radiales et fetchs sont présentés à l'annexe A. Le tableau suivant résume les radiales et fetch pour chaque tronçon.

Tableau 7 : Radiales et fetch

Numéro du tronçon	Radiale la plus longue (km)	Longueur du fetch (km)	Direction du fetch (°)
1, 2 et 3	9,3	2,61	212
4	4,8	1,54	139
5	20,9	3,05	224
6	4,6	1,5	152
7	22,5	3,1	228

Tronçons 1, 2 et 3 : Lors de l'inspection, il a été observé qu'il y a un certain impact des vagues provenant du sud-ouest, mais l'exposition de ces tronçons aux vagues du sud-ouest est bien moins critique que les tronçons 5 et 7, bien que les berges du tronçon 7a (la partie ouest du tronçon 7) sont protégées par l'îlot rocheux sur la batture. Des dégradations ponctuelles ont été observés sur le site, donc des réparations ponctuelles sont envisagées, sans toutefois apporter une modification majeure à ces endroits.

Tronçons 4 et 6 : Il apparait que les tronçons 4 et 6 qui sont principalement exposés aux vagues du sud-est, ont des radiales de l'ordre de 4 km dans les deux directions sud-est et/ou sud-ouest. Ainsi, une protection des berges sera efficace, car il n'y a pas de direction plus critique pour les vagues (vagues uniformes dans les deux directions).

Tronçons 5 et 7 : Les tronçons 5 et 7 ont des radiales de plus de 20 km provenant du sud-ouest et de l'ordre de 4 km provenant du sud-est. De plus, le rétrécissement du pont de Québec entraine des radiales, et donc des fetchs, plus courtes provenant du sud-est, comme le montre la figure des radiales en annexe A. Afin d'uniformiser les vagues se rendant aux berges, il faudrait réduire les radiales provenant du sud-ouest. Pour ce faire, des épis bloquant les vagues du sud-ouest sont proposés dans les sections subséquentes. De cette façon, des radiales de l'ordre de 4 km seront observés dans les deux directions et des vagues semblables seront observées dans les deux directions. Ces épis vont également aider à réduire l'impact des vents provenant de sud-est, notamment pour les tronçons (ou une partie de tronçon) exposés aux vents du sud-est.

Le tronçon 7a est bien abrité du vent de l'est tandis que le tronçon 7b, localisé sur la pointe rocheuse, est probablement exposé aux vagues du sud-est mais surtout aux vagues du sud-ouest. Les protections des talus qui seront calculées pour résister aux vagues sud-est et/ou sud-ouest persistantes après l'implantation des épis.

7.2.3 Vagues et protection

Le *Guide pratique de dimensionnement du Rip-Ra*p de la Société d'énergie de la Baie James (SEBJ, 1997) est utilisé pour déterminer la hauteur des vagues. Les vitesses en rive, dans la zone d'étude, sont faibles et le comportement est assimilable à un réservoir. La méthode de la SEBJ est applicable pour des réservoirs de forme irrégulière : l'exemple d'application du réservoir de Caniapiscau présenté dans le Guide est de forme irrégulière. En 2017, la méthode de la SEBJ a été confirmée par Hydro-Québec sur le fleuve St-Laurent à Salaberry de Valleyfield (à l'entrée du Canal de Beauharnois) (Dupuis, 2018). Des mesures de vagues ont été prise lors d'une tempête, et les résultats calculé à partir de la méthode de la SEBJ était semblables. La Communauté métropolitaine de Montréal l'utilise également pour évaluer le climat des vagues sur des plans d'eau sur son territoire comme le fleuve Saint-Laurent.

Pour le calcul de la remontée du plan d'eau, à partir de la bathymétrie utilisée pour la modélisation hydraulique, la profondeur moyenne du fleuve (transversalement au courant) devant la plage Jacques-Cartier a été calculée à 22,8 m. L'inclinaison de la berge consiste à une pente de 2H:1V selon les plans de réhabilitation de Norda Stelo, 2016.

Tableau 8 : Revanche nécessaire pour les vagues de récurrence de 25 ans (pente 2H :1V pour berge)

Numéro du tronçon	Hauteur de 95 % des vagues (m)	Remontée du plan d'eau (m)	Remontée des vagues (m)	Revanche nécessaire pour les vagues (m)
1, 2 et 3	1,13	0,05	0,86	2,04
4	0,85	0,03	0,63	1,51
5	1,21	0,12	0,94	2,27
6	0,87	0,02	0,64	1,53
7	1,22	0,12	0,94	2,28

Dans le cadre de cette étude, La hauteur de vague a également été calculé avec le modèle MIKE 21. Tel qu'expliqué à la section 7.4.6, les vagues sont similaires avec les deux méthodes, et la méthode SEBJ est considérée pour le dimensionnement des enrochements.

7.2.4 Limites inférieure et supérieure des protections

L'étude d'avant-projet (BPR, 2012) recommande de considérer la récurrence 20 ans pour les niveaux d'eau et de 25 ans pour les hauteurs de vagues étant donné que l'érosion des berges n'entraîne pas de risque important pour la population ni pour des infrastructures municipales ou privées. La récurrence 20 ans pour les niveaux d'eau et 25 ans pour les hauteurs de vagues seront donc considérées dans la présente étude.

Limite inférieure : En théorie, la limite inférieure de l'enrochement devrait correspondre à l'élévation -2,02 m (marée basse de récurrence 20 ans). Mais, comme les pieds des talus des tronçons à l'étude sont situés à des élévations plus hautes que -2,02 m, les talus devront être enrochés jusqu'à leur pied. Sans protection, l'érosion des berges se poursuivrait toujours au fil des ans et ainsi on constaterait un recul continuel du pied du talus. Afin de limiter l'empiètement de l'enrochement dans le milieu aquatique, le pied des enrochements végétalisés en berges sera aligné avec le changement de pente du trait de côte dû à l'érosion (pied de talus). Il est supposé qu'à plusieurs endroits la stabilisation repose sur le roc, Donc, dans la plupart des cas, il n'y a pas de clé à prévoir. Toutefois, le concept d'une clé en enrochement sera prévu aux endroits où le roc n'est pas présent.

Limite supérieure non-végétalisée de l'enrochement: De point de vue typiquement hydraulique, sous la cote de marée haute moyenne actuelle 3,09 m (i.e. sans les changements climatiques et le relèvement isostatique), il est préférable que de l'enrochement « non-végétalisé » soit mis en place étant donné que cette portion de l'ouvrage sera submergée régulièrement et qu'ainsi les végétaux sélectionnés pourraient avoir de la difficulté à survivre. Au-dessus de cette cote, la surface sera entièrement végétalisée sur tous les ouvrages, dont la pente sera égale ou plus douce que 2H:1V. Il est à noter que la limite basse de ces végétaux s'ajustera naturellement au fil des ans en fonction des CC et du RI.

Limite supérieure de l'enrochement : La limite supérieure des ouvrages en enrochement consiste à la marée haute moyenne, incluant les changements climatiques et le relèvement isostatique, soit le niveau 3,32 m combiné à des revanches pour résister aux vagues de récurrence 25 ans.

Limite supérieure du génie végétal : La limite supérieure du génie végétal consiste à la marée haute de récurrence 20 ans (incluant les changements climatiques et le relèvement isostatique) (5,19 m) combinée à la revanche pour résister aux vagues de récurrence 25 ans. Ainsi la récurrence combinée de ces 2 phénomènes est approximativement de 20*25=500 ans. Aux endroits où le haut du talus est situé plus bas que l'élévation calculée de la limite supérieure, le génie végétal devra s'étendre jusqu'au haut du talus. La technique de génie végétale sera adaptée en fonction des caractéristiques de la berge au moment des relevés préalables à la confection des plans et devis (fagots, fascines, matelas de branches, plantation, ensemencement, etc.). Il est à noter que l'élévation de la limite supérieure du génie végétal est une limite « minimale » et que si le client le désire, le génie végétal peut être réalisé jusqu'à une élévation plus haute.

Tableau 9 : Limite supérieure de la protection (pente 2H :1V) avec CC et RI

Colonne	*A*	*B*	*C*	=A	=A+C	=B+C
Numéro du tronçon	*Marée haute moyenne)*	*Marée haute de récurrence 20 ans (m)*	*Revanche nécessaire pour les vagues de récurrence 25 ans (m)*	Limite supérieure de l'enrochement non-végétalisé (m)	Limite supérieure de l'enrochement végétalisé (m)	Limite supérieure du génie végétal (m)
1, 2 et 3	3,09 *(sans CC et RI)*	5,19 *(incluant CC et RI*	2,04	3,09	5,36	7,23
4			1,51		4,83	6,7
5	3,32 *(incluant CC et RI)*		2,27		5,59	7,46
6			1,53		4,85	6,72
7			2,28		5,6	7,47

7.3 DIMENSIONNEMENT DES ENROCHEMENTS POUR RÉSISTER AUX VAGUES

Le calibre de l'enrochement est présenté au tableau suivant. Une option avec de l'enrochement angulaire (coefficient de forme de 0,7), et une option avec de l'enrochement arrondie (coefficient de forme de 0,5) est présentée. Il est recommandé d'utiliser de la pierre arrondie comme celle qui est présente sur les autres berges du secteur, qui est présente dans le paysage naturel et qui est disponible dans la région.

Tel qu'expliqué plus loin à la section 8.3, Stantec n'est pas d'avis que la glace constitue une problématique pour les talus.

Tableau 10 : Enrochement de protection contre les vagues pour une récurrence 25 ans

		Forme angulaire		Forme arrondie	
Numéro du tronçon	Pente	Calibre de l'enrochement (m)	Épaisseur min. de l'enrochement (m)	Calibre de l'enrochement (m)	Épaisseur min. de l'enrochement (m)
1, 2 et 3	2H :1V	0.50-0.90	1.40	0.60-1.00	1.60
4 (avec épi A)	2H :1V	0.35-0.60	0.95	0.40-0.70	1.10
5 (avec épi A)	2H :1V	0.40-0.70	1.10	0.45-0.75	1.20
6	1,5H :1V	0.45-0.75	1.20	0.50-0.85	1.35
	2H :1V	0.40-0.70	1.10	0.45-0.75	1.20
7 (avec épi B)	2H :1V	0.45-0.75	1.20	0.50-0.85	1.35

Des coupes types des protections de talus sont présentées à l'annexe C.

7.4 SIMULATION DES VAGUES **A L'AIDE DU** MODÈLE MIKE 21

Pour une compréhension adéquate de l'impact global de plusieurs phénomènes indépendants qui affectent la plage Jacques Cartier (débit du fleuve, niveau d'eau des marées, vitesse et direction du vent et charge sédimentaire dans l'eau du fleuve), il nous a paru réaliste de considérer la valeur moyenne du débit de fleuve (12600 m^3/s). Ce choix est justifié par le fait, démontré avec les simulations effectuées avec HEC-RAS que les vitesses d'écoulement près des berges sont très faibles et qu'elles ne constituent pas la cause principale de l'érosion des berges (plage et talus). De plus, et afin de pouvoir analyser l'impact des vagues, le niveau d'eau du fleuve (3,32 m) correspond au niveau moyen des marées hautes, incluant les CC et le RI. Ce niveau (3,32 m), comme présenté dans la section 2.2, représente une valeur conservatrice avec une probabilité de dépassement de 2,7% actuellement (ou 5% dans 50 ans). De plus, en considérant ce niveau, on s'assure de prendre en compte que la majeure partie de la plage et des talus peut être régulièrement affectée par l'érosion des vagues.

7.4.1 Scénario 1- Simulation sans epis (cas de base), debit de 12 600 m^3/s, **niveau d'eau a 3,32** m avec vent du sud-ouest

Comme présenté ci-dessus, le cas de base considère que le débit de fleuve est de 12 600 m^3/s et que le niveau d'eau se trouve à l'élévation 3,32 m. La direction de vents considérée dans cette simulation est celle du vent soufflant du sud-ouest (Azimut 220°).

La figure 25 montre les vitesses du courant incluant les effets des vagues pour le cas de base. On remarque dans cette figure que la vitesse près des berges est de l'ordre de 0,6 m/s-0,8 m/s dans les tronçons 7 et 6, à l'exception de quelques petites zones aux extrémités de chacun de ces tronçons, alors que la vitesse du courant approche plutôt 1 m/s dans tous les autres tronçons 1, 2, 3, 4 et 5. Cependant, la figure 26 montre que la hauteur des vagues près des talus ne dépasse pas 0,75 m-1 m pour tout le tronçon 7 alors que cette hauteur est entre 0,5 et 0,75 pour les autres tronçons.

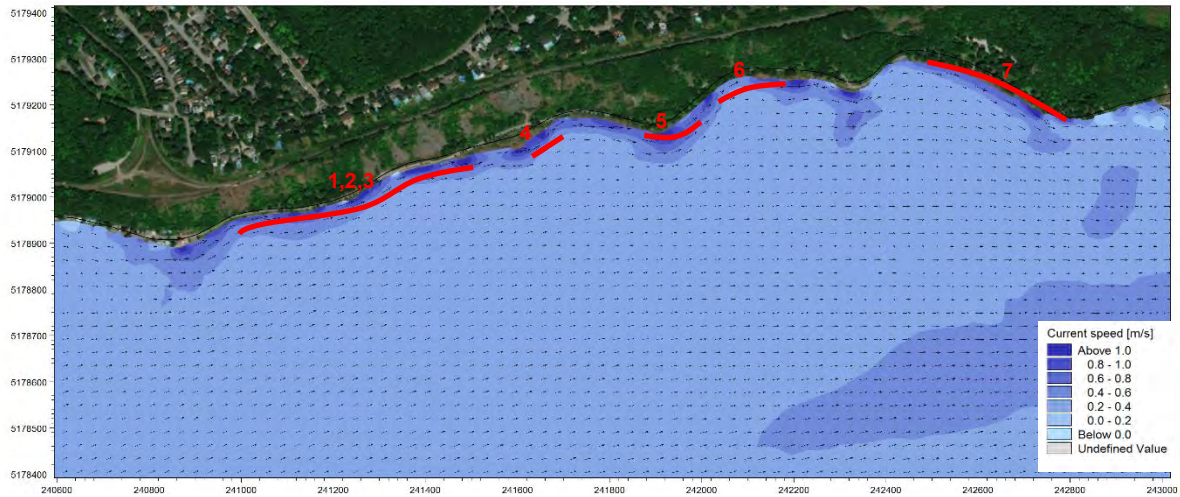


Figure 25: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), vitesse du courant avec vent du sud-ouest

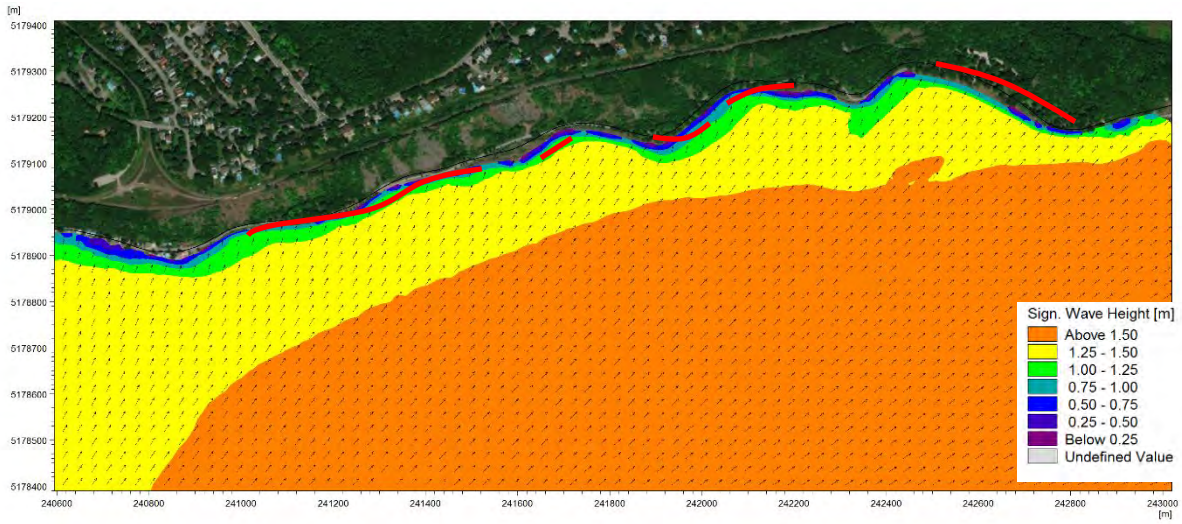


Figure 26: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), hauteur des vagues avec vent du sud-ouest

Les résultats de l'érosion/déposition (figure 27) sont présentés seulement à titre indicatif. Il consiste à un vent soutenu pendant 30 jours de récurrence 25 ans, avec un niveau d'eau de marée haute moyenne constant. En réalité, un vent de récurrence 25 ans n'est observé qu'une heure (ou quelques heures au maximum). Le scénario 1 (cas de base) sera utilisé pour comparer l'amélioration faite par les épis.

Cette simulation montre que les deux extrémités du tronçon 6 (6a et 6c) sont exposées à une vitesse du courant plus importante que la partie centrale (6b). Cette constatation a été également observé lors de la visite du terrain avec les représentants de la ville et du MELCC.

Figure 27: Scénario 1- Simulation sans épis (cas de base), variation au fond (érosion / déposition) avec le vent du sud-ouest

7.4.2 Scénario 2- Simulation sans epis, debit de 20 000 m³/s, **niveau d'eau A** 3,32 m avec vent du sud-ouest

Le scénario 2 présente la même configuration que le scénario 1 à l'exception du débit du fleuve qui est plus important dans le scénario 2, et qui équivaut au débit annuel maximum moyen (20 000 m³/s). En comparant les vitesses du courant, nous constatons que la différence est minime au voisinage des talus et sur les plages tandis que cette différence devient plus importante au large (figure 28). Donc, le débit du fleuve n'a pas d'impact notable sur les vitesses de courant de la zone littorale, et donc sur l'érosion des berges et de plage. A noter que l'augmentation des vitesses du courant au large du fleuve suite à l'augmentation du débit peut expliquer une augmentation de la charge sédimentaire dans le fleuve à une grande échelle, ce qui est largement décrit à l'échelle mondiale dans la littérature.

La comparaison de la hauteur des vagues entre le scénario 1 (figure 26) et le scénario 2 (figure 29) ne montre aucune différence notable ni près des berges (plages) ni au large.

De même, la comparaison de l'épaisseur d'érosion (produite sur une période d'un mois) entre le scénario 1 (figure 27) et le scénario 2 (figure 30) ne montre également aucune différence notable ni près des berges (plages) ni au large.

Suite à la comparaison des résultats entre les scénarios 2 et 1, nous pouvons confirmer que le débit du fleuve n'a pas d'impact notable sur l'érosion des berges et de la plage de Jacques Cartier, et ceci confirme les résultats des simulations produits par le modèle HEC-RAS tels que discutés à la section 6.1.

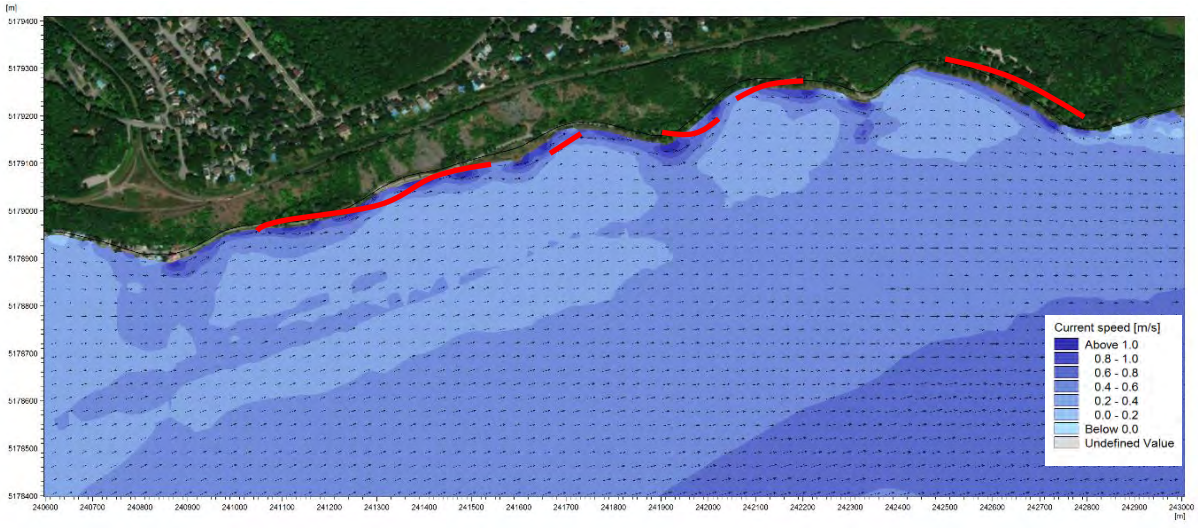


Figure 28: Scénario 2- Simulation sans épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest

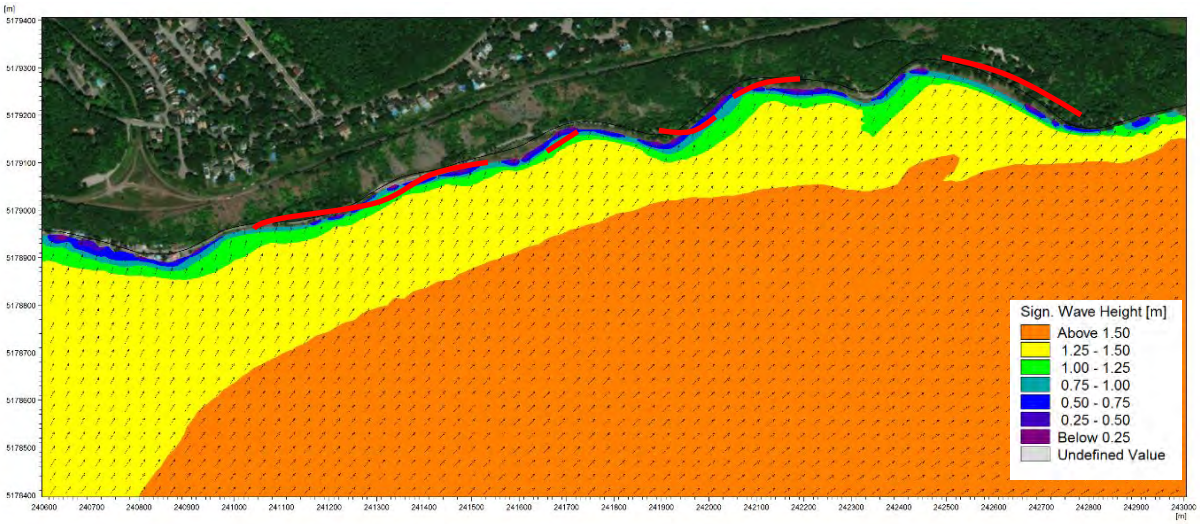


Figure 29: Scénario 2- Simulation sans épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest

Figure 30 : Scénario 2- Simulation sans épis, variation au fond (érosion / déposition) avec le vent du sud-ouest

7.4.3 Scénario 3- Simulation avec épis, debit de 12 600 m³/s, **niveau d'eau A** 3,32 m avec vent du sud-ouest

Ce scénario de simulation considère les mêmes caractéristiques hydrauliques et météorologiques que le scénario 1 (débit de fleuve à 12 600 m³/s, niveau de marée à 3,32 m et le vent soufflant du sud-ouest, Azimut 220°), à l'exception du fait que les épis prévus sont implantés dans le scénario 3.

On remarque dans le scénario 3 que les épis causent une diminution significative des vitesses du courant en aval de ceux-ci (figure 31), notamment pour les tronçons 5, 6 et 7 tandis qu'il n'y a aucun changement pour les tronçons 1 à 4, ce qui était prévisible avec la méthode SEBJ.

Figure 31 : Scénario 3- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest

Nous remarquons sur la figure 31 que, malgré l'implantation des épis, les deux extrémités du tronçons 6 (6a et 6c) restent toujours exposées à des vitesses du courant plus importantes que la partie centrale (6b) de ce tronçon.

La diminution des vitesses entraine une diminution de l'érosion, ou éventuellement la déposition des sédiments lorsque le vent est moins important. Actuellement, les simulations sont réalisées avec des vagues de récurrence 25 ans (scénario critique) et derrière les épis, une faible déposition ou faible érosion se produit (changement du lit de ±0m) et donc en absence de vague, la sédimentation se produira encore d'avantage.

La hauteur de vagues (figure 32) est grandement diminuée dans les zones localisées immédiatement en aval des épis, mais cette hauteur a augmenté du coté amont des épis, car l'énergie dynamique des vagues (vitesse de courant) est convertie en énergie cinétique (hauteur d'eau). Il convient de rappeler que les épis sont dimensionnés pour résister aux hautes vagues (section 10.1).

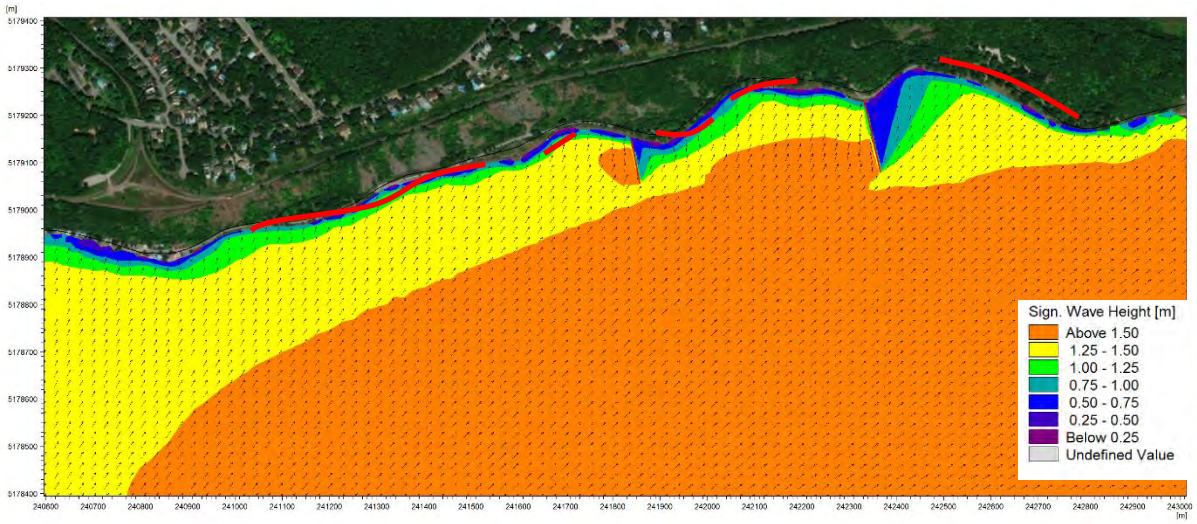


Figure 32 : Scénario 3- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest

Compte tenu que les vitesses du courant et l'érosion sont diminuées en amont et en aval des épis (comparaison entre figures 33 et 31), nous pouvons conclure que les épis vont significativement améliorer la situation, sans causer de déplacement de la problématique d'érosion à d'autres endroits sur la plage.

Les zones avec couleur cyan de la figure 33 sont les zones qui sont exposées à des phénomènes érosion/déposition car la variation du fond varie entre -0.025 m (érosion cumulée sur un mois avec vent soutenu de récurrence 25 ans) à +0.025 (déposition). Tandis que les zones avec couleur bleu-pale présente une variation du fond du -0,025 à -0,05 m (érosion cumulée sur un mois avec le même vent). Il convient de rappeler que la réduction de la force, de l'intensité et/ou de la fréquence du vent va forcément augmenter ces valeurs et privilégier la déposition sur ces zones.

Figure 33: Scénario 3- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-ouest

7.4.4 Scénario 4- Simulation avec Épis, debit de 12 600 m3/s, **niveau d'eau a** 3,32 m avec vent du sud-est

Dans ce scénario, nous considérons que le débit du fleuve est égal à 12 600 m^3/s (même débit que les scénarios 1 et 3) avec la présence des épis mais les vagues sont ici générées par le vent soufflant du sud-est (Azimut 140°).

La comparaison entre les scénarios 3 et 4), en présence des épis, montre que les vitesses du courant (figures 31 et 34) et l'érosion (figures 33 et 36) sont généralement moins importantes avec les vagues provenant du sud-est que celles provenant du sud-ouest, à l'exception des tronçons 5 et 7 où les vitesses du courant et l'érosion sont plus importantes lors des vagues du sud-est que celles du sud-ouest. Rappelons ici que les épis réduisent significativement les vitesses du courant et l'érosion dans les tronçons 5 et 7 lorsque les vagues proviennent du sud-ouest (comme mentionné lors de la comparaison entre les scénarios 1, sans épis, et 3, avec épis).

Comme le montrent les figures 32 et 35, la hauteur des vagues est plus importante (1m-1,5 m, zones jaune et verte dans la figure 32) avec le vent du sud-ouest que celle avec le vent du sud-est (0,75m-1,25m, zones verte et cyan dans la figure 35). Également, malgré l'apparence des zones vertes au voisinages des épis mais la hauteur des vagues, même près des berges, lors d'épisodes de tempêtes du vent du sud-est reste moins importante que dans le scénario 3.

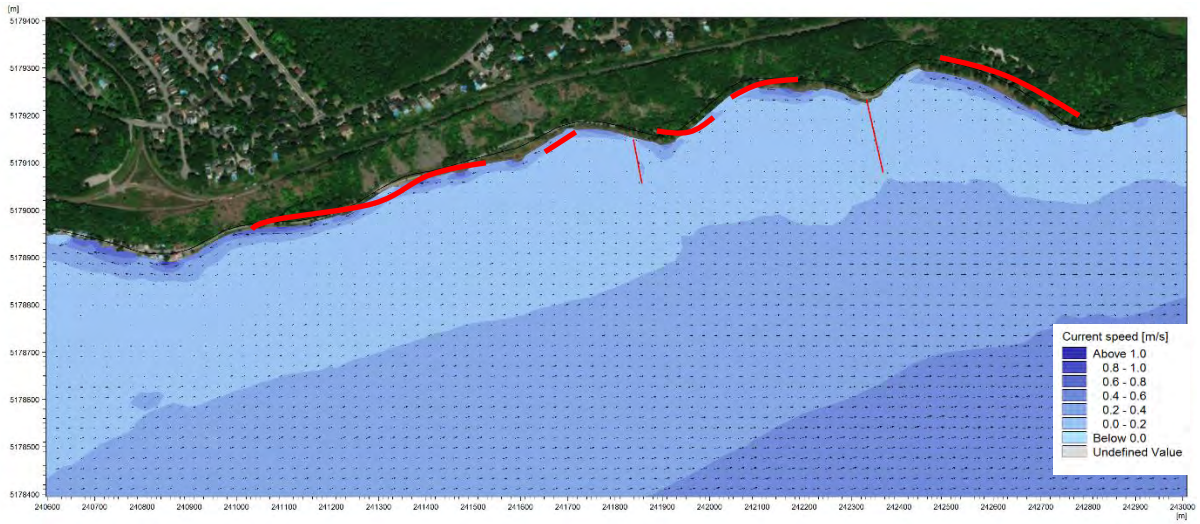


Figure 34: Scénario 4- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-est

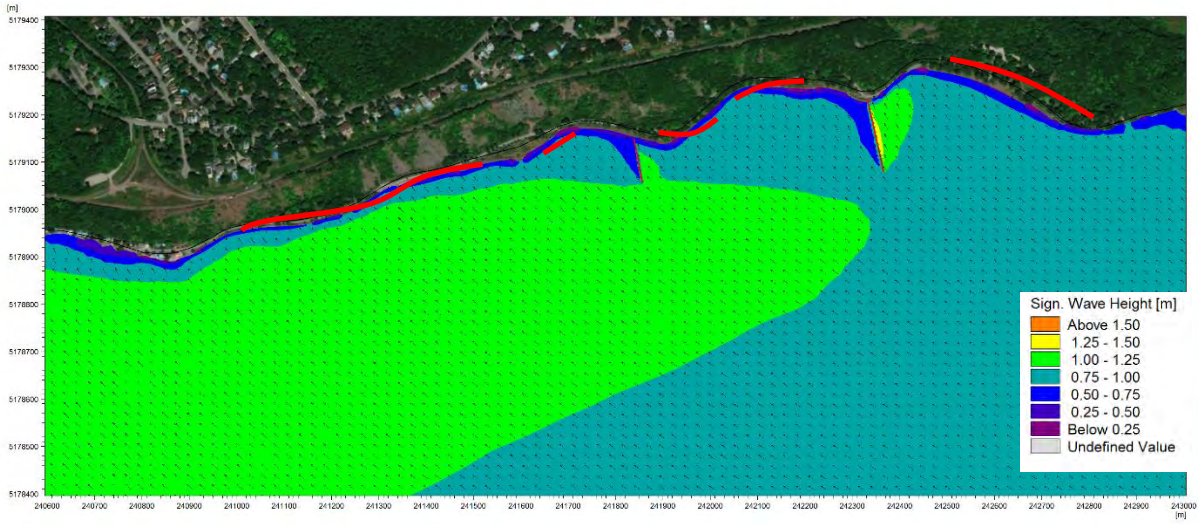


Figure 35: Scénario 4- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-est

Figure 36: Scénario 4- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-est

7.4.5 Scénario 5- Simulation avec Épis, debit de 12 600 m3/s avec vent du sud-ouest, niveau du fleuve a l'elevation 5,1 m

L'objectif du scénario 5 est de vérifier la pertinence des épis même lorsque le niveau d'eau dépasse la crête des épis. La seule différence du scénario 5 par rapport au scénario 3 est que le niveau d'eau dans le fleuve correspond au niveau extrême (5,1 m) au lieu du niveau de la marée haute moyenne (3,32 m).

La comparaison entre les scénarios 3 et 5 montre que les vitesses du courant (figures 31 et 37 respectivement) et l'érosion (figures 33 et 39) sont relativement moins importantes lorsque le niveau est à l'élévation 5,1 m que 3,32 m. À rappeler que la crête des épis se trouve à l'élévation 3,32 m, donc 1,78 m sous le niveau d'eau et que les vagues du sud-ouest et du sud-est peuvent traverser les épis.

Comme le montrent les figures 34 et 38, la zone de la grande hauteur des vagues (zone orange) est plus étendue pour le scénario 5 (figure 38) que le scénario 3 (figure 34).

Nous remarquons dans la figure 37 que les deux extrémités du tronçons 6 (6a et 6c) restent toujours exposées à des vitesses du courant plus importantes que la partie centrale (6b) de ce tronçon.

Figure 37: Scénario 5- Simulation avec épis, vitesse du courant avec vent du sud-ouest

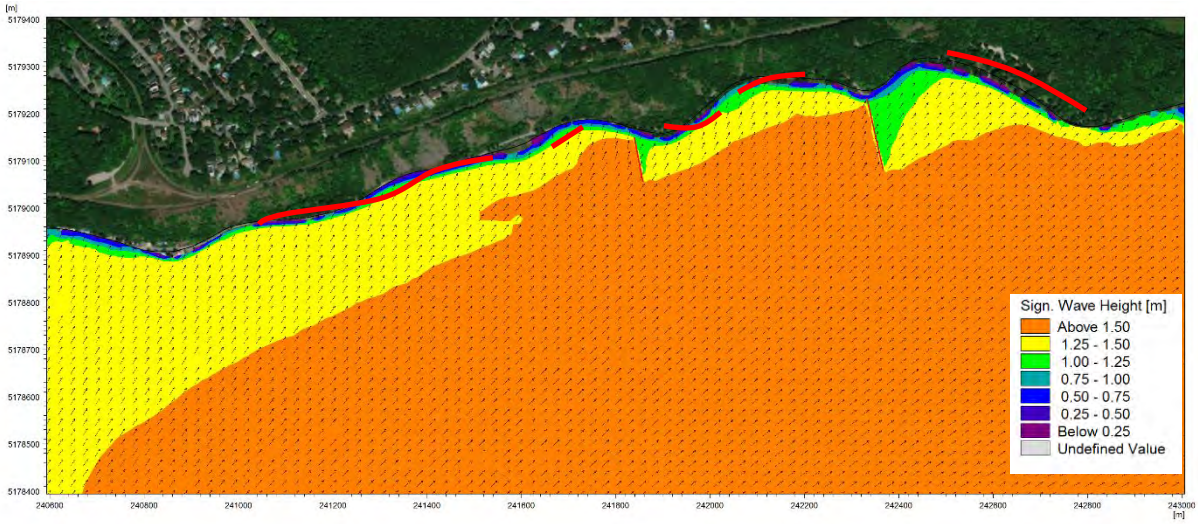


Figure 38: Scénario 5- Simulation avec épis, hauteur des vagues avec vent du sud-ouest

Figure 39 : Scénario 5- Simulation avec épis, variation au fond (érosion/déposition) avec le vent du sud-ouest

7.4.6 Comparaison des simulations MIKE 21

Afin de pouvoir comparer les résultats du modèle MIKE 21, plusieurs points (PT) ont été identifiés. Ces points correspondent approximativement aux endroits d'échantillonnage du sol. La figure suivante présente la localisation de ces points.

Figure 40 : Localisation des points de comparaison

Le tableau 11 ci-dessous présente les vitesses d'eau produites par les vagues à plusieurs endroits et pour toutes les simulations réalisées à l'aide du modèle MIKE 21. On remarque dans ce tableau que les vitesses produites dans les scénarios 1 et 2 sont similaires à l'exception du point PT-7B ou la vitesse du scénario 2 (Q= 20 000 m^3/s) est supérieure à celle du scénario 1 (Q= 12 600 m^3/s) ce qui signifie que le débit du fleuve n'a pas d'impact sur les vitesses du courant produites par les vagues sauf dans certaines zones précises comme le point PT-7B. Le point PT-7B est situé à l'endroit où la largeur du fleuve commence à diminuer, donc à cet endroit, le débit qui s'écoule sur la plage est dirigé vers le centre du fleuve.

La comparaison entre les scénarios 3 (vagues du sud-ouest avec épis) et 1 (vagues du sud-ouest sans épis) montre que l'implantation des épis a entrainé une réduction significative des vitesses du courant dans les tronçons 5 (0,16 m/s au lieu de 0,81 m/s) et 7a (0,14 m/s au lieu de 0,55 m/s) tandis que la réduction était moins importante pour le tronçon 7b (0,29 m/s au lieu de 0,51 m/s). L'impact des épis sur les tronçons 1, 2, 3 et 4 était nul ou négligeable.

La comparaison entre les scénarios 3 (vagues du sud-ouest avec épis) et 4 (vagues du sud-est avec épis) montre que, pour les tronçons 1, 2, 3, 4, 6 et 7b, les vitesses du courant sont moins importantes pour les vagues du sud-est que celles des vagues du sud-ouest tandis que c'est le contraire pour les tronçons 5 et 7a.

La comparaison des vitesses du courant entre le scénario 5 (niveau d'eau = 5,1 m, vagues du sud-ouest avec épis) et le scénario 3 (niveau d'eau = 3,32 m, vagues du sud-ouest avec épis) montre que, pour les tronçons 1, 2, 5, 6 et 7, les vitesses du courant dans le scénario 5 sont plus importantes que pour le scénario 3, tandis que c'est le contraire pour les tronçons 3 et 4.

En conclusion, nous pouvons dire que les épis ont une influence significative sur les vitesses de courant des tronçons 5 et 7 pour les vents du sud-ouest ainsi que des tronçons 2, 3, 4, 5, 6 et 7b pour les vents du sud-est et que les épis dissipent donc aussi l'énergie des vents du quadrant Est.

Tableau 11 : Vitesses simulées

Scénario	Débit fleuve (m^3/s)	Vent (25 ans)		Vitesses simulée (m/s)							
		Direction vent (deg,)	Vitesse vent (m/s)	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	PT-7a	PT-7b
Scénario 1 (Cas de base)- sans épis, vent du sud-ouest	12 600	220°	21,3	0,65	0,68	0,98	0,99	0,81	0,26	0,55	0,51
Scénario 2- sans épis, vent du sud-ouest	20 000	220°	21,3	0,66	0,68	1,00	0,97	0,88	0,29	0,54	0,67
Scénario 3- avec épis, vent du sud-ouest	12 600	220°	21,3	0,65	0,68	0,98	0,93	0,16	0,23	0,14	0,29
Scénario 4- avec épis, vent du sud-est	12 600	140°	19,9	0,56	0,35	0,52	0,27	0,32	0,07	0,42	0,25
Scénario 5- avec épis, vent du sud-ouest, niveau d'eau 5,1 m	12 600	220°	21,3	0,75	0,78	0,65	0,74	0,34	0,30	0,32	0,36

Le tableau 12 montre que, tous tronçons confondus, la hauteur de vagues est plus importante avec les vagues du sud-ouest que celle avec les vagues du sud-est. Ce tableau montre également que les épis ont réduit légèrement la hauteur des vagues pour les tronçons 5 et 7 (PT-5 et PT-7a). Le scénario 5 montre que la hauteur des vagues est plus importante lorsque le niveau du fleuve est à l'élévation 5,1 m. Ceci est expliqué par le fait que la profondeur d'eau dans les points PT est plus grande (1,78 m plus profonde que dans le scénario 3) ce qui permet aux vagues de voyager plus loin sur la plage avant que les vagues touchent le fond de la plage.

Il est nettement clair (tableau 12) que, en présence des épis, les hauteurs des vagues générées par le vent en provenance du sud-est sont moins importantes que celles en provenance du sud-ouest. Les épis brisent réellement les vagues du quadrant Est.

Tableau 12 : Hauteur de vagues

Scénario	Débit fleuve (m^3/s)	Vent (25 ans)		Hauteur de vagues simulée-Hs (m)							
		Direction vent (deg,)	Vitesse vent (m/s)	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	PT-7a	PT-7b
Scénario 1 (Cas de base)- sans épis, Q=12 600 m^3/s avec vent du sud-ouest	12 600	220°	21,3	0,84	0,96	0,63	0,64	0,61	0,75	0,91	0,63
Scénario 2- sans épis, Q=20 000 m^3/s avec vent du sud-ouest	20 000	220°	21,3	0,84	0,98	0,66	0,68	0,62	0,51	0,93	0,67
Scénario 3- avec épis, Q=12 600 m^3/s, vent du sud-ouest,	12 600	220°	21,3	0,84	0,96	0,63	0,65	0,56	0,76	0,82	0,63
Scénario 4- avec épis, Q=12 600 m^3/s, vent du sud-est	12 600	140°	19,9	0,65	0,84	0,53	0,61	0,56	0,66	0,62	0,38
Scénario 5- avec épis, vent du sud-ouest, niveau d'eau 5,1 m	12 600	220°	21,3	1,29	1,28	1,27	1,17	1,26	1,04	1,21	1,38

Le tableau 13 présente l'épaisseur cumulée d'érosion avec un vent de 25 ans de récurrence soufflant continuellement pendant un mois (cas hypothétique pour fin de comparaison).

La comparaison des scénarios 1 (sans épis) et 3 (avec épis) montre que l'érosion a été réduite, grâce aux épis, pour les tronçons 4, 5 et 7 tandis que l'érosion reste la même pour les autres tronçons.

La comparaison des scénarios 3 (épis avec vagues du sud-ouest) et 4 (épis avec vagues de sud-est) montre que l'érosion causée par les vagues du sud-ouest est plus importante dans les tronçons 2, 3 et 4 que celle causée par les vagues du sud-est. Il y a peu d'impacts pour les autres tronçons.

L'impact du débit du fleuve sur l'érosion des berges en présence des vagues (scénarios 1 et 2) reste négligeable (tableau 13 et figures 27 et 30).

La comparaison de l'érosion entre le scénario 5 (niveau d'eau = 5,1 m, vagues du sud-ouest avec épis) et le scénario 3 (niveau d'eau = 3,32 m, vagues du sud-ouest avec épis) montre que l'érosion est plus importante pour le scénario 5 que pour le scénario 3, à l'exception du tronçon 3. Ceci est expliqué par le fait que la profondeur d'eau dans les points PT est plus grande (1,78 m plus profonde que dans le scénario 3) ce qui permet aux vagues de voyager plus loin sur la plage et de causer de l'érosion plus loin sur la plage, avant que les vagues touchent le fond de la plage et se dissipe.

Tableau 13 : Érosion

Scénario	Débit fleuve (m^3/s)	Vent (25 ans)		Changement de l'épaisseur du lit (m) (changement cumulatif à la fin de la période de simulation de 1 mois)							
		Direction vent (deg,)	Vitesse vent (m/s)	PT-1	PT-2	PT-3	PT-4	PT-5	PT-6	PT-7a	PT-7b
Scénario 1 (Cas de base)- sans épis, Q=12 600 m^3/s avec vent du sud-ouest	12 600	220°	21,3	-0,031	-0,043	-0,055	-0,054	-0,042	-0,020	-0,033	-0,027
Scénario 2- sans épis, Q=20 000 m^3/s avec vent du sud-ouest	20 000	220°	21,3	-0,032	-0,044	-0,060	-0,053	-0,044	-0,022	-0,034	-0,034
Scénario 3- avec épis, Q=12 600 m^3/s, vent du sud-ouest,	12 600	220°	21,3	-0,031	-0,043	-0,055	-0,047	-0,015	-0,019	-0,024	-0,021
Scénario 4- avec épis, Q=12 600 m^3/s, vent du sud-est	12 600	140°	19,9	-0,029	-0,027	-0,024	-0,018	-0,018	-0,016	-0,026	-0,018
Scénario 5- avec épis, vent du sud-ouest, niveau d'eau 5,1 m	12 600	220°	21,3	-0,057	-0,056	-0,055	-0,058	-0,048	-0,034	-0,039	-0,050

7.5 COMPARAISON DES HAUTEURS DE VAGUES (MIKE 21 VS MÉTHODE SEBJ)

La direction du vent sud-ouest (220°) du scénario 1 est plus critique pour les tronçons 1, 2, 3, 5 et 7, car ils ont des radiales orientée vers le sud-ouest. Dans tous les cas, les hauteurs de vagues simulées sur les berges avec MIKE 21 sont plus petites que les vagues calculés avec la méthode de la SEBJ. Ainsi, il est plus sécuritaire (conservateur) de considérer la méthode SEBJ pour le dimensionnement des ouvrages de stabilisation. Le logiciel MIKE 21 indique que les vitesses sont plus grandes sur les berges qu'au large. Ceci s'explique par le fait qu'une partie de l'énergie de la hauteur des vagues est transformée en vitesse. Éventuellement, les vagues se brisent et l'énergie est dissipée. Donc, sur les berges, la hauteur des vagues de MIKE 21 ne peut pas être utilisée pour réaliser le dimensionnement d'enrochement, car une partie de l'énergie est présente sous forme de vitesse. Dans ce contexte, la méthode SEBJ (qui donne des hauteurs de vagues supérieures à MIKE 21 sur les berges) sera utilisée

pour la conception de l'enrochement. Il est à noter que des hauteurs de vagues sont observé pour les tronçons 4 et 6 avec la direction sud-ouest (220°), mais comme le montre la figure 26, la direction des vagues est parallèle au talus. Les vagues de l'ouest qui viennent en biais (parallèle) ne frappe pas directement les talus des tronçons 4 et 6. Ces tronçons 4 et 6 doivent donc être dimensionné avec des vents provenant du sud-est.

Les tronçons 4 et 6 ont des radiales orientées vers le sud-est, donc le scénario 4 de MIKE 21 doit être utilisé pour comparer les résultats de la méthode SEBJ. Encore une fois, les hauteurs de vagues simulées sur les berges avec MIKE 21 sont plus petites que les vagues calculés avec la méthode de la SEBJ.

Si le niveau d'eau est plus haut que 3,32 m, les vagues vont avoir été moins réduites par la plage lorsqu'elles auront atteint le talus. Ainsi, les vagues à 25 m de la rive sont plus représentatives des vagues observées lorsque le niveau d'eau est plus haut. En effet, à cet endroit, les vagues simulées sont similaires à celle de la méthode SEBJ. Ces valeurs sont montrées en gras dans le tableau 14 pour faciliter la comparaison des résultats.

Tableau 14 : Comparaison hauteur des vagues entre MIKE 21 et méthode SEBJ

Hauteur de vagues		Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3	Tronçon 4	*Tronçon 5*	Tronçon 6	Tronçon 7
Méthode SEBJ		**1,13**	**1,13**	**1,13**	**0,85**	***1,21***	**0,87**	**1,22**
MIKE 21 (scénario 1)	Sur les berges	0.25-1.00	0.25-1.00	0.25-1.00	0.5-0.75	*0.5-0.75*	0.5-0.75	0.25-1.00
	À 25m des berges	**1.00-1.50**	**1.00-1.50**	**1.00-1.50**	0.75-1.25	***1.00-1.25***	0.75-1.25	**1.25-1.50**
MIKE 21 (scénario 4)	Sur les berges	0-0.75	0-0.75	0-0.75	0-0.5	*0-0.5*	0-0.75	*0-0.75*
	À 25m des berges	0.75-1.00	0.75-1.00	0.75-1.00	**0.75-1.00**	*0.75-1.00*	**0.75-1.00**	0.75-1.00

7.6 CONCLUSIONS

Tel que démontré dans la méthode de la SEBJ, les tronçons 5 et 7 ont des radiales de plus de 20 km provenant du sud-ouest et de l'ordre de 4 km provenant du sud-est. Il est à noter que le rétrécissement des ponts de Québec entraine des radiales plus courtes provenant du sud-est. Afin de réduire l'énergie les vagues de sud-ouest, se rendant aux berges, pour avoir la même envergure (puissance) des vagues de sud-est, des épis bloquant les vagues du sud-ouest sont proposés et provenant de réduire les radiales provenant du sud-ouest. De cette façon, des radiales de l'ordre de 4 km seront observés dans les deux directions et des vagues semblables seront observé dans les deux directions.

Sur les berges, la hauteur de vague calculé par MIKE 21 ne peut pas être utilisé pour réaliser le dimensionnement d'enrochement, car une partie de l'énergie est présente sous forme de vitesse. Ainsi, la

méthode SEBJ (qui donne des hauteurs de vagues supérieures à MIKE 21 sur les berges) sera utilisée pour la conception de l'enrochement.

L'analyse à l'aide du modèle HEC-RAS 2D montre que les vitesses d'écoulement dans le fleuve ne causent pas d'érosion des talus ou de la plage Jacques Cartier.

La comparaison des différentes simulations réalisées avec le modèle MIKE 21 nous conduit aux conclusions suivantes :

1) Scénario 1 versus 2 (augmentation du débit du fleuve) :

   L'impact du débit est négligeable et ne cause pas d'augmentation de vitesses qui serait capable d'éroder les berges. Ceci est le même constat qui a été démontré avec le logiciel HEC-RAS (section 6.1).

2) Scénario 1 versus 3 (mise en place des 2 épis) :
   a) Tronçons 5 et 7 : Les épis proposés réduise significativement les vitesses/érosion (éventuellement réduit l'érosion) ce qui justifie leur implantation. Il y a un fort impact des épis dans la direction sud-ouest.
   b) Tronçons 4 et 6 : Une légère diminution des vitesses/érosion est observée. Il y a un faible impact des épis dans la direction sud-ouest.
   c) Tronçons 1, 2 et 3 : Les épis proposés n'ont pas d'impacts sur les vitesses/érosion, et les vents du sud-ouest génère des vitesses plus grandes que les vents du sud-est.
3) Scénario 3 versus 4 (direction des vents) :
   a) Tronçons 4 et 6 : Les vitesses/érosion pour un vent du sud-est de ces deux tronçons sont nettement plus petites qu'ailleurs. Ceci indique que les épis ont un fort impact pour ces tronçons dans la direction sud-est.
   b) Tronçons 1,2,3 : La direction du vent qui cause les plus grandes vitesses/érosion est la direction sud-ouest. La direction sud-ouest doit être utilisé pour le dimensionnement de la protection.
   c) Tronçons 5 et 7 : Comme les vitesses/érosion ont été significativement diminué par les épis avec la direction sud-ouest, les vitesses/érosion les plus grandes sont maintenant observé avec la direction sud-est.
4) Scénario 3 versus 5 (augmentation du niveau d'eau) :

   Pour tous les tronçons, les vitesses/érosion sont plus grandes (ou égales) lorsque le niveau d'eau est plus haut. La zone d'érosion est déplacée vers les berges lorsque le niveau est haut. Ainsi les hauts niveaux entrainent plus d'érosion sur les berges. Toutefois ce scénario est très conservateur et peu probable car il correspond à une la fréquence de dépassement de niveau d'eau (5,1 m) inférieure à 0,001%, combiné à une récurrence de vague de 25 ans.

5) Tel que montrées par les simulations avec MIKE 21, il y a réduction des vitesses du courant ainsi que réduction de la quantité d'érosion à la suite de l'implantation des épis, bien que les simulations présentées soient pour des conditions relativement extrêmes avec une faible probabilité, notamment la hauteur d'eau dans le fleuve qui correspond à la hauteur des marées hautes moyennes et les

vagues qui sont produites par le vent de récurrence 25 ans. Il est donc clair que, selon la Diagramme d'Hjulstrom, lorsque les vitesses sont réduites, le processus de dépôt de sédimentation commence. C'est-à-dire, dans les conditions normales, l'implantation des épis aide à déclencher le processus de sédimentation et en conséquent privilégie le développement des herbiers.

Les résultats obtenus à l'aide des différentes méthodes utilisées, nous confirment que :

- Les épis sont importants et ont un rôle principal pour atténuer l'impact des vagues du sud-ouest sur les tronçons 5 et 7 et un rôle secondaire pour atténuer l'influence des vagues de sud-est sur les tronçons 4 et 6;
- La modélisation par MIKE 21 et la littérature confirme que la méthode SEBJ peut être utilisée pour déterminer le calibre d'enrochement pour la protection des talus, et cette méthode représente une solution conservatrice.
- L'implantation des épis généra des zones avec écoulements tournants localisés à l'est des épis. Ces écoulements tournant aide à privilégier la déposition des sédiments aidant ainsi à développer les zones des herbiers.

8.0 ANALYSE DE L'IMPACT DE LA GLACE

8.1 ANALYSE DES DONNÉES DE TEMPÉRATURE

La température moyenne journalière de l'air a été enregistrée à la station Québec Intl A de 1953 à 2017 et est disponible sur le site Internet d'Environnement Canada (station 7016293). Cette station est située à 7 km au nord-ouest.

Les hivers glaciologiques sont analysés selon les degrés-jours de gel accumulés (DJGA). Ce calcul consiste à faire la somme des degrés par jour qui participent à la formation de la glace. La température de congélation de l'eau douce est 0 ˚C, donc les degrés-jour accumulés sont calculés seulement avec les températures inférieures à 0˚C. La valeur maximale atteinte pendant l'hiver consiste à la valeur retenue pour les analyses subséquentes.

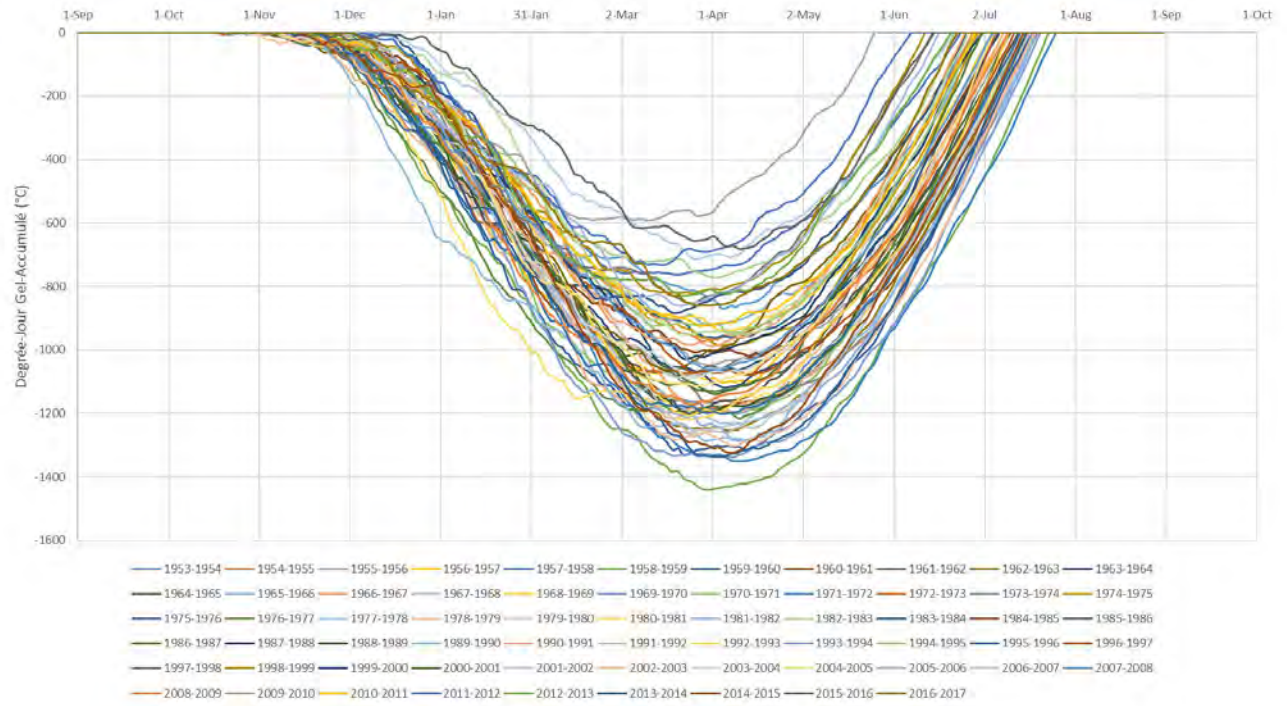


Figure 41 : Courbes de DJGA

Une analyse statistique a été effectuée avec ces 64 années de mesures, et la loi Log-Pearson III s'est avérée la plus représentative des DJGA maximum annuels. Les résultats sont présentés sur la figure suivante et au tableau suivant.

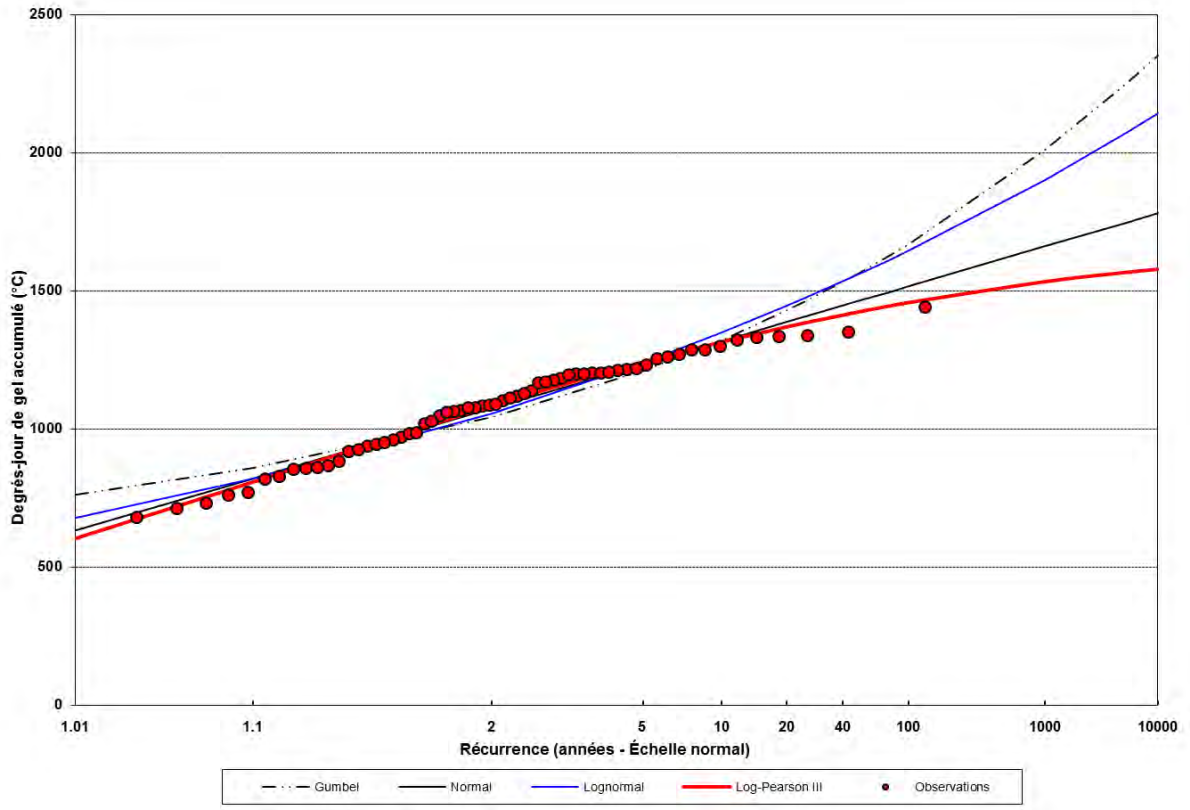


Figure 42 : Loi de distribution de DJGA Annuels Maximums

Tableau 15 : DJGA statistiques à Québec

Période de récurrence (ans)	DJGA (˚C)
2	1085
5	1242
10	1315
20	1370
50	1425
100	1458

8.2 ÉPAISSEURS DE GLACE THÉORIQUES

L'épaisseur de glace est calculée avec la méthode de Carter. La formule suivante est applicable.

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

Où h est l'épaisseur de glace théorique(m), β est un coefficient lié à la récurrence et α est un coefficient lié aux conditions. Dans cette étude, un coefficient 0,7 est considéré (condition moyenne). La formule du USACE a été vérifiée mais donne des épaisseurs inférieures et n'est donc pas retenue. Le tableau suivant montre les valeurs obtenues avec la méthode de Carter.

Tableau 16 : Épaisseur de glace théorique

Période de retour (ans)	Épaisseur théorique de la glace selon Carter (m)
2	0,81
5	0,86
10	0,90
20	0,92
50	0,94
100	0,97

8.3 ENROCHEMENT À CONSIDÉRER POUR LES TALUS DES BERGES

Lors de la visite du site par l'ingénieur hydraulicien (19 mars 2018), aucune marque d'érosion glaciaire n'a été observé, et ce phénomène n'est donc pas la cause principale d'érosion dans le secteur.

Il existe 4 phénomènes pouvant causer l'érosion glaciaire (Carter, 2003):

- Rehaussement brusque au cours de l'hiver
- Abaissement rapide du plan d'eau
- Débâcle hivernale
- Glace dérivant au gré des vents et courants

Les 3 premiers phénomènes ne sont pas à risque dans le cas présent car, à marée basse, l'eau ne touche pas le talus, donc la glace ne pourra se former qu'à marée haute, tel que le montre la figure 43. Comme ce phénomène ne dure que quelques heures, il n'est pas possible de développer des grandes épaisseurs de glaces. De plus, la glace ne sera pas suspendue au talus. Les blocs de glaces libres dérivant au gré des vents et marées devraient s'échouer sur le fond marin et ne devrait pas atteindre le talus. À marée haute, il est possible que les blocs puissent atteindre la rive, mais ces blocs vont s'échouer ou être emporté lorsque la marée baissera. Par ailleurs, s'il y avait de l'érosion, celle-ci ne

pourrait que se produire sur une courte période. Stantec est d'avis que la glace n'est pas une problématique pour les talus. Si la Ville désire prendre une approche sécuritaire, il pourrait être envisagé de maintenir le diamètre d'enrochement minimal qui a été calculé pour des talus en rive à Québec. L'étude du sentier des grèves (Ropars, 2014) indique qu'en présence de glace, la taille du plus petit enrochement de carapace doit être de 660 mm de diamètre. Le calibre devrait être de 0,66-1,10 m avec une épaisseur 1,35 m. Ce calibre pour résister à la glace est plus gros que celui pour résister aux vagues, mais ne nous apparait pas justifié pour les talus.

Figure 43 : Photos des berges le 19 mars 2018

8.4 ENROCHEMENT À CONSIDÉRER POUR LES ÉPIS

En plus de leurs objectifs de briser les vagues et d'atténuer l'érosion des berges par celles-ci, la mise en place d'une solution avec épis va aussi contribuer à dévier les blocs de glace vers le centre du fleuve et protéger les zones 4, 5 et 6 contre l'éventualité d'un tel phénomène. Ainsi, les épis devront résister aux glaces dérivant au gré des vents et courants. La formule suivante s'applique.

$$D_{50} = 1{,}14\sqrt{S * h}$$

Où h est l'épaisseur de glace théorique(m) et S est la pente du talus (1H :1V). Le tableau suivant présente les D_{50} pour chaque récurrence. Étant donné que le calibre est semblable pour les différentes récurrences, une période de retour de 50 ans est choisi, donc le D50 doit être d'au moins 1,11 m.

Tableau 17 : Enrochement à considérer

Période de retour (ans)	D50 de l'enrochement pour résister à la glace (m)	Calibre (m)	Épaisseur (m)
2	1,02	0,77-1,28	2,05
5	1,06	0,80-1,33	2,12
10	1,08	0,81-1,35	2,16
20	1,09	0,82-1,36	2,19
50	1,11	0,83-1,39	2,22
100	1,12	0,84-1,40	2,24

9.0 OPTIONS D'AMÉNAGEMENTS PROPOSÉS

Le tableau 19 présenté à la dernière page de cette note présente toutes les options qui ont été étudiées, ainsi que les recommandations de Stantec pour chaque tronçon. Il est à noter que le dimensionnement des enrochements est aussi présenté au tableau 19, alors que le dimensionnement des épis est présenté au tableau 14. La figure 44 résume les interventions recommandées pour tous les tronçons 1 à 7 et qui sont décrites en détail dans les paragraphes suivants.

Les solutions de stabilisation qui nécessitent la mise en place d'un perré d'enrochement peuvent être végétalisées. Le type de plantation devra être déterminé par un biologiste ou un architecte de paysage spécialisé en phytotechnologies (écoingénierie ou génie végétal).

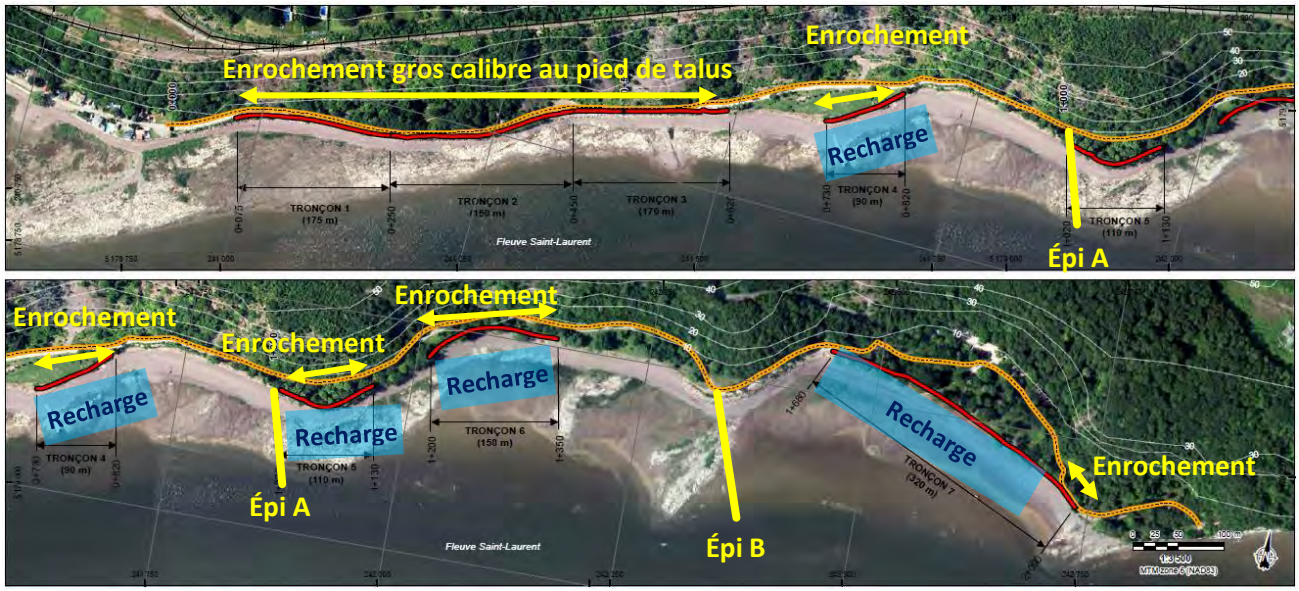


Figure 44 : Interventions proposées

9.1 TRONÇONS 1, 2 ET 3

La coupe type des tronçons 1, 2 et 3a est présentée au plan AM-01 de l'Annexe C. La coupe type du tronçon 3b est présentée au plan AM-02 de l'Annexe C.

À cet endroit le sentier longe directement le haut du talus, et l'intégrité du sentier est à risque. Ainsi, pour protéger l'intégrité du sentier, il est recommandé de protéger le talus avec de l'enrochement. Il a été observé lors de la visite de site en date du 19 mars 2018 que la protection en place pour ces tronçons est acceptable. Cependant une validation et éventuellement une correction de la pente, de même que des réparations ponctuelles, sont nécessaires.

- Enrochement de gros calibre à être placé en pied de talus, combiné à une correction du talus (ajout d'enrochement dans la pente pour obtenir une pente uniforme) : *Envisageable en raison de la présence déjà sur place d'un enrochement et du fait que le milieu naturel du secteur est déjà adapté environnementalement à cet ouvrage. Même si elle vise à consolider et augmenter la durabilité de l'ouvrage existant, cette intervention est plus légère qu'un remplacement complet de l'enrochement. Afin de s'assurer que l'enrochement existant ne soit pas déstabilisé, il est recommandé de placer aux endroits nécessitant réellement des réparations, des blocs d'enrochement de gros calibre au pied des talus afin de soutenir la pente existante. La majorité des ouvrages de ces tronçons ne sont affectés que ponctuellement, mais il y a une petite section à l'extrémité Est du tronçon 3 (section 3b) où la dégradation est vraiment importante en raison de différentes problématiques de conception de ce segment construit beaucoup plus récemment (ex : pierres dynamitées sous-dimensionnées). Aussi, cette portion de la section 3b nécessitera un remplacement de l'enrochement existant par un nouvel enrochement végétalisé. La caractérisation technique des trois tronçons sera réalisée lors de la phase des plans et devis. La végétalisation de l'ouvrage existant est difficile parce que les matériaux fins au travers des pierres sont trop compacts et hétéroclites. Si c'est possible à certains endroits en raison de l'ajout suffisant de matériaux neufs, une végétalisation pourra être effectuée. Cette possibilité sera examinée lors des relevés préalables à la production des plans et devis. Toutefois, il convient aussi de souligner que ces tronçons longent directement le sentier pédestre du parc et qu'ainsi une végétation trop dense et haute aurait pour effet d'affecter significativement la perception du paysage par ses usagers (ex. : adultes avec enfants). Cette situation irait évidemment à l'encontre de la mission de ce parc qui est de fournir à ses usagers un espace de loisirs extensifs dans un décor panoramique particulièrement attrayant. Il est donc souhaitable de bien choisir les endroits et les végétaux à utiliser dans les cas où cela pourrait être possible. Par ailleurs, il importe de souligner qu'il y a déjà plusieurs longueurs de sommets de talus qui sont recouverts de végétation qui devra être conservée et protégée lors des travaux. Il est aussi à noter qu'il n'est pas envisagé d'implanter un épi pour protéger ces tronçons, car de l'enrochement de gros calibre est déjà en place sur les berges à cet endroit.*

9.2 TRONÇON 4

La coupe type du tronçon 4 est présentée au plan AM-02 de l'annexe C.

À cet endroit, le sentier ne longe pas le haut de talus et l'intégrité du sentier n'est pas à risque. La solution recommandée consiste à la **combinaison des mesures suivantes** :

- Mise en place d'un enrochement approprié avec génie végétal dans la pente du talus : Les berges du tronçon 4 sont exposées aux vagues des tempêtes provenant tant de l'Est que de l'Ouest. Pour cette raison, la protection des talus de ce tronçon devra résister aux vagues de l'Est et de l'Ouest, donc un enrochement approprié est recommandé dans le talus. L'enrochement végétalisé est une technique mixte appropriée aux conditions physiques du fleuve dans ce secteur, qui pourra néanmoins demeurer assez dynamique lors des plus importantes tempêtes. La technique des caissons de bois, performante sur les rives des rivières et des grands lacs, n'est pas applicable directement sur ces rives du fleuve. Le talus n'est pas suffisamment haut et la présence peu profonde de roc sous le substrat du haut de plage empêche la fixation suffisante de la base de telles structures pour pouvoir résister aux vagues et aux glaces. Les autres techniques de génie végétal (fagots, fascines, rangs de plançons, matelas de branches, plantation d'arbustes, ensemencement, etc.) ne sont pas suffisamment résistantes pour affronter les vagues de tempêtes. L'enrochement végétalisé est réellement la technique la mieux adaptée

et la plus durable face aux conditions hydrodynamiques de ce site. Le calibre de la pierre utilisée, la faible pente de l'ouvrage (≤ 2H :1V) et l'enchevêtrement structural des végétaux qui s'enracineront sous l'ouvrage et à travers celui-ci vont lui procurer une grande résistance. De plus, les végétaux utilisés (saules, cornouillers, etc.), même s'ils devaient être régulièrement endommagés, sont très résilients. Même avec une bonne partie de leurs tiges arrachées, elles repoussent rapidement dès la saison suivante de croissance. Il importe aussi de mentionner que la bande végétée formée par ce type d'ouvrage constitue un habitat d'intérêt pour la faune ripicole (micromammifères, amphibiens, etc.) et la faune ailée (diverses espèces de canards, dont le canard noir) ainsi que pour la faune ichtyenne sous la LNHE (ex. : perchaude, brochet, etc.). Pour des raisons esthétiques, les pierres utilisées pourraient être des blocs glaciels comme on en voit dans les dépôts morainiques naturels qui longent notamment les marais de la région (ex. : marais de Saint-Augustin-de-Desmaures). Les élévations et le dimensionnement des enrochements, de l'enrochement végétalisé et génie végétal sont présentés à la section 7.2.3 de ce rapport. Il est à noter que, pour le tronçon 4, la pente de l'ouvrage est conditionnée par la présence potentielle de sols contaminés sur la surface du parc. S'il est possible qu'une pente plus faible que 2H :1V n'implique l'excavation d'aucun sol contaminé à gérer, la pente sera ajustée en conséquence. Une caractérisation ponctuelle des sols sera réalisée en même temps que les relevés préalables à la production des plans et devis.

- Recharge de plage avec géogrille : Une recharge de plage, dont les matériaux sont maintenus en place au moyen d'une géogrille est également recommandée pour atténuer davantage l'énergie résiduelle des vagues déjà réduite par l'épi. Elle protégerait également la plage des courants de flots et jusant décrits à la section 6.2. Voir section 10.3 pour une description de la géogrille.
- L'implantation de l'épi A protégerait aussi légèrement le tronçon 4 justifiant ainsi de recourir à un enrochement végétalisé avec un calibre de pierres ajusté à la baisse par rapport au statu quo sans épi. Comme indiqué plus loin à la section 10.1, la hauteur de cet épi a été limitée à la cote de la marée haute moyenne (avec CC et RI) (3,32 m) pour ne pas affecter les qualités esthétiques du paysage. Le dimensionnement de l'épi est présenté à la section 10.1 et l'impact de cet épi est décrit à la section 10.4.

9.3 TRONÇON 5

La coupe type du tronçon 5 est présentée au plan AM-02 de l'annexe C.

À cet endroit, le sentier ne longe également pas le haut de talus. La solution recommandée consiste à la **combinaison des mesures suivantes** :

- Implanter l'épi A: Cet épi est exactement le même que celui présenté pour le tronçon 4. En effet, en plus de l'influence positive des épis pour réduire l'intensité des vagues provenant du côté sud-est pour le tronçon 4, comme le montrent les résultats des simulations, ce même épi atténuera principalement celle des vagues provenant de l'ouest et qui viennent affecter les berges de la pointe formant le tronçon 5. Le dimensionnement de l'épi est présenté à la section 10.1 et l'impact de cet épi est décrit à la section 10.4.
- Recharge de plage avec géogrille : *Voir section 10.3.*
- Mise en place d'un enrochement approprié avec plantation dans la pente du talus au-dessus de l'enrochement (Génie végétal), aux endroits où cela sera possible.
  Comme pour le tronçon 4, un enrochement végétalisé est recommandé pour le tronçon 5. Les

élévations et le dimensionnement des enrochement, enrochement végétalisé et génie végétal sont présenté à la section 7.2.3 de ce rapport.

Figure 45 : Photo du tronçon 5 où sera implanté l'épi B

9.4 TRONÇON 6

La coupe type du tronçon 6a est présentée au plan AM-03 de l'annexe C. La coupe type du tronçon 6b est présentée au plan AM-02 de l'annexe C. La coupe type du tronçon 7c est présentée au plan AM-04 de l'annexe C.

Trois zones sont identifiées dans ce tronçon (6a, 6b, 6c). À cet endroit, le sentier longe le haut du talus, et l'intégrité du sentier est à risque. Comme le fetch est orienté sud-est par rapport au tronçon 6, la mise en place de l'épi B (recommandé pour le tronçon 7) aurait pour effet de réduire les vagues, et d'ainsi limiter leurs impacts sur ce tronçon. Aussi, un enrochement approprié et végétalisé sera envisagé. La solution recommandée consiste à la **combinaison des mesures suivantes** :

- Mise en place d'un enrochement approprié avec plantation dans le talus des tronçons 6a et 6b(Génie végétal) : Au centre (6b), le sentier est situé très près du haut de talus. À l'extrémité ouest (6a), le sentier est un peu plus éloigné du haut de talus. Au centre (6a), la pente proposée du talus sera plus abrupte sur une longueur d'environ 70 m, et moins abrupte à l'extrémité est (6a). Les élévations et le dimensionnement des enrochement, enrochement végétalisé et génie végétal sont présenté à la section 7.2.3 de ce rapport.

- Protection des berges du tronçon 6c avec du génie végétal. À cet endroit, le microtalus d'érosion n'a qu'environ 30 cm de hauteur et il y a de la pelouse derrière sur la pente douce. Comme il n'y a pas de talus, il n'est pas possible de mettre de l'enrochement.
- Recharge de plage avec géogrille : *Voir section 10.3.*
- Implanter l'épi B: Pour les mêmes raisons mentionnées pour le tronçon 4, dont les vagues provenaient de l'aval (côté est), le tronçon 6 se trouvera légèrement protégé par cet ouvrage. Le dimensionnement de l'épi est présenté à la section 10.1 et l'impact de cet épi est décrit à la section 10.4.

9.5 TRONÇON 7

La coupe type du tronçon 7b est présentée au plan AM-02 de l'annexe C. La coupe type du tronçon 7a est présentée au plan AM-04 de l'annexe C.

Dans la zone la plus à l'est, le sentier longe le haut de talus et l'intégrité de cette zone est à risque. La solution recommandée consiste à la **combinaison des mesures suivantes** :

- Implanter l'épi B: Ce tronçon est le plus exposé aux vagues provenant de l'ouest. Aussi, cet épi atténuera significativement l'énergie de ces vagues, d'autant plus qu'il sera combiné à une recharge. Dans la zone la plus à l'est, une portion du tronçon 7 ne pourrait pas être protégée par l'épi. En effet, pour des raisons de constructibilité, il ne peut être envisagé d'étendre l'épi plus loin que 150 m vers le large. Cette section correspond à l'endroit où le sentier longe le haut de talus. Le dimensionnement de l'épi est présenté à la section 10.1 et l'impact de cet épi est décrit à la section 10.4. Une autre option doit donc être proposée pour la section à l'Est, soit la mise en place d'enrochement.
- Recharge de plage avec géogrille : Voir section 10.3.
- Mise en place d'un enrochement approprié avec plantation de la zone à l'est qui longe le haut de talus (tronçon 7b) *:* Bien que l'épi protège en grande partie ce tronçon, il y aura en effet une portion à l'extrémité est qui demeurera exposée. Ainsi, une section de 50 m de berges devra faire l'objet d'un enrochement végétalisé.
- Protection des berges du tronçon 7a avec du génie végétal. Le talus est peu haut à cet endroit et il y a de la pelouse derrière sur la pente douce. Comme le talus est trop petit, il n'est pas possible de mettre de l'enrochement.

Figure 46 : Photo du tronçon 7

10.0 ÉPIS ET RECHARGE DE PLAGE

L'utilisation des épis visent à réduire le besoin de recharge de plage. Il va aussi réduire l'impact des vagues provenant du sud-ouest pour arriver au même ordre de grandeur que les vagues provenant du sud-est. Ainsi, le dimensionnement de la protection des berges est optimisé pour des vagues provenant de n'importe quelle direction. Les épis proposés sont en enrochement arrondi. Pour des raisons esthétiques, on poursuit l'utilisation des pierres naturelles de forme arrondie qui sont omniprésentes dans la région sur les rives et ailleurs. Il s'agit de blocs morainiques courants dans cette région. Tous les autres enrochements existants de la plage Jacques-Cartier sont en pierres naturelles arrondies. L'ajout d'un autre épi (autre que A et B) n'aurait pas de gain positif d'un point de vue hydraulique, et entrainerait ainsi des conséquences négatives environnementales et économiques inutiles.

Des vues en plan et coupes types des épis sont présentées à l'annexe D.

Des simulations visuelles avant et après la mise en place des épis sont présentées à l'annexe F.

10.1 DIMENSIONNEMENT DES ÉPIS

L'élévation du sommet de l'épi a été établi au niveau de la marée haute moyenne (avec CC et RI) (3,32 m) afin d'induire suffisamment d'atténuation des vagues tout en ne modifiant pas trop l'aspect visuel de la zone. Les pentes de part et d'autre seraient de 1H :1V afin de réduire l'empiètement à la base de l'épi. Le calibre des enrochements de l'épi est assez gros pour accommoder cette forte pente. La limite inférieure de l'enrochement des épis sera sur le roc, et s'il n'y a pas de roc à cet endroit, une clé de 1 m devra être mise en place sous le fond marin.

Épi A : Cet épi sera balayé par les vagues des tronçons 4 et 5 et protégera ces deux tronçons. Il s'avère que les vagues du tronçon 5 sont plus critiques que les vagues du tronçon 4. Aussi, l'épi est dimensionné avec les vagues du tronçon 5. Le tronçon 5 est directement exposé aux vagues provenant de la grande surface interrompue située au sud-ouest. Il serait possible d'implanter un épi en enrochement du côté ouest du tronçon 5, tel qu'illustré sur la figure 47. L'épi s'avancerait vers le fleuve sur la plage relativement plate, et se terminerait avant que la bathymétrie du fleuve descende rapidement. L'épi se terminerait lorsque le fond atteindrait l'élévation de -2 m. Ainsi, la longueur de l'épi serait d'approximativement 100 m. Il est à noter que les relevés d'arpentage bathymétrique couvrent une largeur depuis la rive de 400 m, donc tout le fond marin requis sous l'épi, et même bien au-delà, a été relevé. Le tableau 14 présente le dimensionnement de l'épi. L'épi serait légèrement incliné, tel qu'illustré, afin que les débris flottants sur le fleuve à marée haute ne soient pas accumulés du côté amont de l'épi.

Épi B : Cet épi serait balayé par les mêmes vagues que le tronçon 7, et protégera ce tronçon. Le tronçon 7 est directement exposé aux vagues provenant de la grande surface interrompue située au sud-ouest. Il serait possible d'implanter un épi en enrochement sur la pointe de terrain entre les tronçons 6 et 7, tel qu'illustré sur la figure 47. Cet épi protégerait la plus grande partie du tronçon 7 contre la vague des

tempêtes d'ouest, et le tronçon 6 contre les vagues des tempêtes de l'est. Pour des besoins de constructibilité, l'épi s'avancerait vers le fleuve au voisinage de l'îlot rocheux qui émerge à marée haute, et se terminerait avant que la bathymétrie ne descende rapidement. L'épi se terminerait lorsque le fond atteindrait l'élévation de -2 m. Ainsi, la longueur de l'épi serait d'approximativement 150 m. Il est à noter que le relevé d'arpentage bathymétrique couvre une longueur de 400 m, donc tout le fond marin sous l'épi a été relevé. Le tableau 14 présente le dimensionnement de l'épi. L'épi serait légèrement incliné comme illustré afin que les débris flottants ne soient pas accumulés du côté amont de l'épi.

Le tableau suivant présente les caractéristiques des épis. Le dimensionnement pour résister aux vagues a été réalisé avec la méthode présentée à la section 7, et le dimensionnement pour résister à la glace est réalisé à la section 8. Il s'avère que le dimensionnement pour résister à la glace est plus critique.

Tableau 18 : Dimensionnement des épis

	Pente	Niveau supérieur de l'épi (Marée haute moyenne avec CC et RI) (m)	Calibre de l'enrochement (pour résister aux vagues) (m)	Épaisseur min. de l'enrochement (pour résister aux vagues) (m)	Calibre de l'enrochement (pour résister aux glaces) (m)	Épaisseur min. de l'enrochement (pour résister aux glaces) (m)
Épi A	1H:1V	3,32	0,80-1,35	2,10	0,85-1,40	2,25
Épi B	1H:1V	3,32	0,80-1,35	2,10	0,85-1,40	2,25

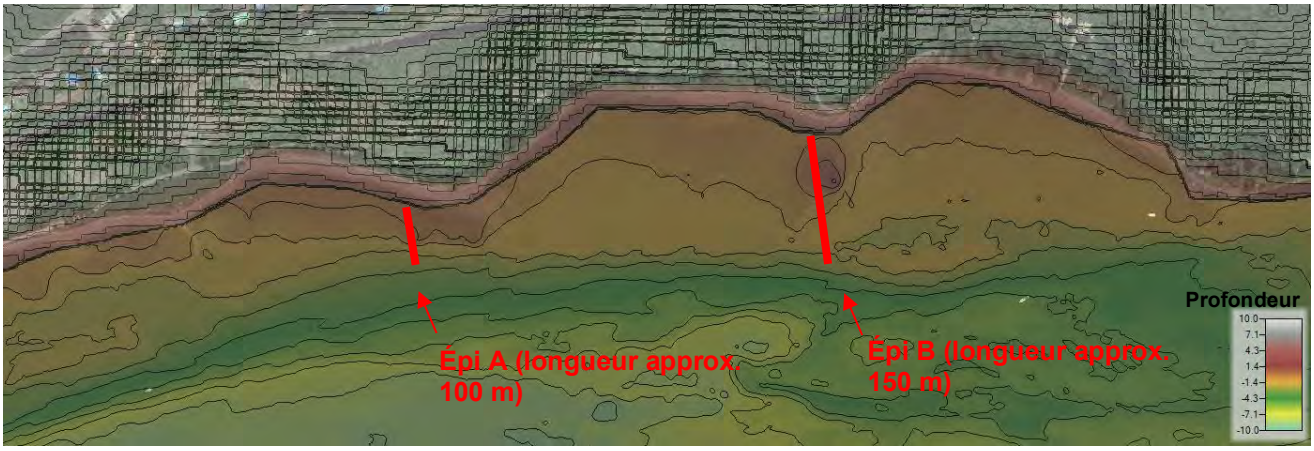


Figure 47 : Épis proposés

10.2 PROBABILITÉ DE LA PROTECTION CONTRE LES VAGUES INDUITE PAR LES ÉPIS

Tel que montré à la section 2.2 de cette note technique, le niveau de 3,32 m (avec CC et RI) a une fréquence de dépassement de 5%, ce qui signifie qu'une partie de l'épi serait hors de l'eau 95% du temps.

L'épi A est exposé à des vagues du tronçon 5, avec une hauteur de 95 % des vagues de récurrence 25 ans de 1,21 m. L'épi B est exposé à des vagues du tronçon 7, avec une hauteur de 95 % des vagues de récurrence 25 ans de 1,22 m. Ainsi, les deux épis sont exposés à des vagues identiques (1,21 m VS 1,22m). Lors de la marée haute moyenne, ces vagues passerait par-dessus l'épi, mais comme il n'y a pas hauteur d'eau sous la vague, la hauteur des vagues va grandement diminuer en traversant la crête de l'épi. En fait, toutes les vagues se briseront au droit de ces épis, de sorte que leur énergie résiduelle aura un impact limité sur les berges, mais pas suffisamment pour ne faire que du génie végétal.

Ainsi, dès que le niveau d'eau est sous l'élévation 2,10 m, les vagues de récurrence 25 ans sont complètement bloqués. [Calcul :3.32 m (élévation de l'épi)-1.22 m (hauteur de vague 25 ans)=2.10 m.]

Entre le niveau 2.10 m et 3.32m, les vagues de récurrence 25 ans sont partiellement bloqués. Le tableau suivant présentes les fréquences de ses différents niveaux.

Tableau 19 : Fréquence de la probabilité de protection (avec CC et RI)

Fréquence du niveau pour lequel des vagues de récurrence 25 ans sont complètement bloqués (niveau d'eau inférieur à 2,10m)	Fréquence du niveau pour lequel des vagues de récurrence 25 ans sont partiellement bloqués (niveau d'eau entre 2,10 et 3,32m)	Fréquence du niveau pour lequel l'épi n'a pas d'impact significatif (niveau d'eau supérieur à 3,32m)
69,5%	25,5%	5%

Pour mettre un épi avec 0% de dépassement, il faudrait mettre dans le fleuve un épi de plus de 5,3 m de hauteur, qui imposerait une largeur supplémentaire de 4 m, ce qui est difficilement justifiable d'un point de vue environnemental.

10.3 RECHARGE DE PLAGE ET GÉOGRILLE

Les résultats de cette étude démontrent que les courants de jusant et les vagues peuvent causer de l'érosion de la plage. La recharge de plage a pour but de recréer la plage et de compenser la perte de sable et de sédiments. La recharge de plage pourra être faite à partir du pied de talus de la berge et s'étendre sur le fond jusqu'à l'atteinte de l'élévation -1m à -0,6 m (géodésique). L'annexe E montre la limite jusqu'où la recharge de plage est proposée.

Afin de permettre la stabilisation de la plage aux endroits où la recharge de plage est proposée et de limiter les interventions fréquentes de recharge, une géogrille sera fixée au roc et déposé sur le lit des

plages, et une recharge pourrait être effectuée au besoin par-dessus cette géogrille. Le rôle de la géogrille est de freiner l'érosion lorsque l'élévation s'approche de la géogrille, en attendant la recharge de plage suivante. Il est recommandé d'utiliser une géogrille avec des mailles d'environ 400 mm par 400 mm. L'épaisseur de la géogrille serait d'environ 100 mm et aurait une épaisseur de recouvrement d'environ 100 mm. Le seuil déclencheur pour la recharge serait lorsque la géogrille commence à être apparente (perte de 100 mm d'épaisseur de recouvrement).

Compte tenu des paramètres physiques qui influence la perte de sable et sédiments et en absence de données historique sur la régression et les interventions passés, il n'est pas facile de déterminer la fréquence de recharge (avec ou sans la géogrille). Il sera possible d'établir une telle relation en procédant à un suivi détaillé suite à l'aménagement proposé afin de déterminer la fréquence de recharge appropriée.

Figure 48 : Exemple de géogrille

Images tirées d'internet : http://www.all-weatheraccess.co.uk/geogrid/

https://www.externalworksindex.co.uk/entry/115982/HUESKER/Fortrac-3D-Geogrids-for-Erosion-Protection/

10.4 IMPACT DES ÉPIS ET RECHARGE DE PLAGE

10.4.1 Tronçon 4 (épi A)

Impact de l'épi A : Étant donné que les vitesses causées par le courant du fleuve sont très faibles dans le secteur de la plage, l'épi ne va pas modifier l'écoulement général du fleuve. Il va plutôt induire une

diminution des vitesses près de la plage, ce qui n'entraînerait aucun risque d'érosion étant donné que les vitesses actuelles sont déjà trop faibles pour déplacer les sédiments (voir section 6.1). Ces vitesses encore plus faibles favoriseront inévitablement la déposition de matériaux sablonneux et silteux derrière l'épi, c'est-à-dire sur son côté aval. Le principal impact des épis serait observé sur les radiales et fetchs du tronçon 4. Les radiales ont été tracées au tronçon 4 après implantation d'un épi. Les figures des radiales et fetchs sont présentés à l'annexe A. Le tableau suivant montre les résultats à la suite de l'implantation de l'épi. La mise en place de l'épi entraînerait une diminution du fetch de 14 %.

Tableau 20 : Comparaison avec et sans épi A

Numéro du tronçon	Radiale la plus longue (km)	Longueur du fetch (km)	Direction du fetch (°)	Hauteur de 95 % des vagues (m)
4 sans épi	4,78	1,54	139	0,85
4 avec épi A	3.48	1,33	156	0,78

Recharge de plage : L'étude de variante (Norda-Stelo, 2016) présente un dimensionnement de la recharge de plage de l'ordre de D_{50}=14 mm. Comme démontré précédemment au tableau 16, la mise en place de l'épi entraînerait une diminution du fetch de 14 %, donc éventuellement, une diminution du diamètre du même ordre. Donc en supposant une diminution de calibre jusqu'à 12 mm, ce diamètre est plus grand que le substrat en place (D_{50}=1,5 mm), et n'aurait plus les caractéristiques d'une plage. La Ville désire conserver le caractère de plage, donc au lieu de remplacer le type de substrat, il apparaît qu'un programme de stabilisation, consistant à une recharge d'entretien fréquente, serait une option acceptable par la DÉEPHI. . Du sable pourrait être déposé lorsqu'un seuil déclencheur (treshold) est atteint. Un exemple de seuil déclencheur pourrait être lorsqu'une épaisseur préétablie de sable est emportée. Ceci impliquerait un programme d'arpentage régulier pour évaluer l'élévation du fond sableux, et calculer la perte de sable depuis le dernier arpentage. Ceci permettrait également de calculer les quantités nécessaires à chaque recharge d'entretien.

10.4.2 Tronçon 5 (épi A)

Impact de l'épi A : Étant donné que les vitesses causées par le courant du fleuve sont très faibles dans le secteur de la plage, l'épi ne va pas modifier son écoulement général. Il va plutôt induire causer une diminution des vitesses près de la plage, ce qui n'entraînerait aucun risque d'érosion étant donné que les vitesses actuelles sont déjà trop faibles pour déplacer les sédiments (voir section 6.1). Le principal impact de l'épi serait observé sur les radiales et fetchs du tronçon 5. Les radiales ont été tracées au tronçon 5 après implantation d'un épi. Les figures des radiales et fetchs sont présentés à l'annexe A. Le tableau suivant montre les résultats à la suite de l'implantation de l'épi. La mise en place de l'épi entraînerait une diminution du fetch de 51 %.

Tableau 21 : Comparaison avec et sans épi A

Numéro du tronçon	Radiale la plus longue (km)	Longueur du fetch (km)	Direction du fetch (°)	Hauteur de 95 % des vagues (m)
5 sans épi	20,9	3,05	224	1,21
5 avec épi A	4,49	1,50	143	0,88

Recharge de plage : L'étude de variante (Norda-Stelo, 2016) présente un dimensionnement de la recharge de plage de l'ordre de D_{50}=22 mm. Comme démontré précédemment au tableau 17, la mise en place de l'épi entraînerait une diminution du fetch de 51 %, donc éventuellement, une diminution du diamètre du même ordre. Donc en supposant une diminution de calibre jusqu'à 11 mm, ce diamètre est plus grand que le substrat en place (D_{50}=1,5 mm), et n'aurait plus les caractéristiques d'une plage. La Ville désire conserver le caractère de plage, donc au lieu de remplacer le type de substrat, il apparaît qu'un programme de stabilisation, consistant à une recharge d'entretien fréquente, serait une option acceptable par la DÉEPHI. Du sable pourrait être déposé lorsqu'un seuil déclencheur (treshold) est atteint. Un exemple de seuil déclencheur pourrait être lorsqu'une épaisseur préétablie de sable est emportée. Ceci impliquerait un programme d'arpentage régulier pour évaluer l'élévation du fond sableux, et calculer la perte de sable depuis le dernier arpentage. Ceci permettrait également de calculer les quantités nécessaires à chaque recharge d'entretien.

10.4.3 Tronçon 6 (épi B)

La mise en place de l'épi B (recommandé pour le tronçon 7) aurait potentiellement un léger impact pour réduire les vagues. Toutefois, l'impact n'a pas été évalué vu son faible potentiel d'impact, car l'épi ne protège pas des longues radiales qui proviennent du sud-est.

Recharge de plage : L'étude de variante (Norda-Stelo, 2016) présente un dimensionnement de la recharge de plage de l'ordre de D_{50}=21 mm. Les matériaux proposés sont plus grands que le substrat en place (D_{50}=1,5 mm), et n'auraient plus les caractéristiques d'une plage. La Ville désire conserver le caractère de plage, donc au lieu de remplacer le type de substrat, il apparaît qu'un programme de stabilisation, consistant à une recharge d'entretien fréquente, serait une option acceptable par la DÉEPHI. Du sable pourrait être déposé lorsqu'un seuil déclencheur (treshold) est atteint. Un exemple de seuil déclencheur pourrait être lorsqu'une épaisseur préétablie de sable est emportée. Ceci impliquerait un programme d'arpentage régulier pour évaluer l'élévation du fond sableux, et calculer la perte de sable depuis le dernier arpentage. Ceci permettrait également de calculer les quantités nécessaires à chaque recharge d'entretien.

10.4.4 Tronçon 7 (épi B)

Étant donné que les vitesses causées par le courant du fleuve sont très faibles dans le secteur de la plage, l'épi ne va pas modifier l'écoulement général du fleuve. Il va plutôt induire une diminution des vitesses près de la plage, ce qui n'entraînera aucun risque d'érosion étant donné que les vitesses

actuelles sont déjà trop faibles pour déplacer les sédiments (voir section 6.1). Le principal impact de l'épi sera observé sur les radiales et fetchs du tronçon 7. Les radiales ont été tracées au tronçon 7 après implantation d'un épi. Les figures des radiales et fetchs sont présentés à l'annexe A. Le tableau suivant présente les résultats à la suite de l'implantation de l'épi. La mise en place de l'épi entraîne une diminution du fetch de 38 %.

Tableau 22 : Comparaison avec et sans épi B

Numéro du tronçon	Radiale la plus longue (km)	Longueur du fetch (km)	Direction du fetch (°)	Hauteur de 95 % des vagues (m)
7 sans épi	22,5	3,1	228	1,22
7 avec épi B	9,14	1,9	210	0,96

Recharge de plage : L'étude de variante (Norda-Stelo, 2016) présente un dimensionnement de la recharge de plage de l'ordre de D_{50}=60 mm. Comme démontré précédemment au tableau 18, la mise en place de l'épi entraîne une diminution du fetch de 38 %, donc éventuellement, une diminution du même ordre. Même en supposant une diminution de calibre jusqu'à 43 mm, ce diamètre est plus grand que le substrat en place (D_{50}=1,5 mm), et n'aurait plus les caractéristiques d'une plage. La Ville désire conserver le caractère de plage, donc au lieu de remplacer le type de substrat, il apparaît qu'un programme de stabilisation, consistant à une recharge d'entretien fréquente, serait une option acceptable par la DÉEPHI. Du sable pourrait être déposé lorsqu'un seuil déclencheur (treshold) est atteint. Un exemple de seuil déclencheur pourrait être lorsqu'une épaisseur préétablie de sable est emportée. Ceci impliquerait un programme d'arpentage fréquent pour évaluer l'élévation du fond sableux, et calculer la perte de sable depuis le dernier arpentage. Ceci permettrait également de calculer les quantités nécessaires à chaque recharge d'entretien.

11.0 SOMMAIRE

Le tableau 23 présente un sommaire de toutes les options et le dimensionnement de l'enrochement pour les **talus**. Afin de valider la fiabilité des solutions proposées, le calibre enrochement proposé devra être vérifié sur place.

Tableau 23 : Recommandations pour les talus

		Enrochement (forme arrondie)				
		Pente	**Calibre (m)**	**Épaisseur (m)**	**Limite supérieure (m)**	**Impact des épis**
TRONÇONS 1, 2 et 3	(1, 2, 3A) Enrochement de gros calibre en pied de talus, combiné à une correction du talus. (3B) Remplacement de l'enrochement à l'est du tronçon 3	Tel que l'existant	0,60-1,00	1,6	5,36	N/D
TRONÇON 4	Enrochement approprié avec plantation	2H :1V	0,40-0,70	1,1	4,83	Épi A (léger impact)
	Recharge de plage avec géogrille	-	0,002-0,01	0,1	-	
TRONÇON 5	Enrochement approprié avec plantation	2H :1V	0,45-0,75	1,2	5,59	Épi A (fort impact)
	Recharge de plage avec géogrille	-	0,002-0,01	0,1	-	
TRONÇON 6	Zone extrémité Ouest (6A): Enrochement à la base sans clé, génie végétal au sommet	1,5H :1V	0,50-0,85	1,35	4,85	Épi B (léger impact)
	Zone centrale (6B): Enrochement approprié avec plantation	1,5H :1V	0,50-0,85	1,35	4,85	
	Zone extrémité Est (6C): Génie végétal					
	Recharge de plage avec géogrille	-	0,002-0,01	0,1	-	
TRONÇON 7	(7A) Section à protéger par génie végétal					Épi B (fort impact)
	(7B) Enrochement zone à l'Est qui longe le haut de talus	2H :1V	0,50-0,85	1,35	5,6	
	Recharge de plage avec géogrille	-	0,002-0,01	0,1	-	

Nous recommandons l'utilisation d'une épaisseur de 10 cm au-dessus de la géogrille pour la recharge de plage, tel que présenté dans le tableau 23.

Pour les **épis**, le dimensionnement pour résister aux vagues a été réalisé avec la méthode présentée à la section 7.2, et le dimensionnement pour résister à la glace est réalisé à la section 8. Il s'avère que le dimensionnement pour résister à la glace est plus critique, et le tableau suivant présente les recommandations pour les épis, le calibre d'enrochement à utiliser pour la construction des épis a un D_{50}=1125 mm.

Tableau 24 : Recommandations pour les épis

	Pente	Niveau supérieur **de l'épi** (m)	Calibre de **l'enrochement** (m)	Épaisseur min. de **l'enrochement** (m)
Épi A	1H:1V	3,32	0,85-1,40	2,25
Épi B	1H:1V	3,32	0,85-1,40	2,25

12.0 RÉFÉRENCES

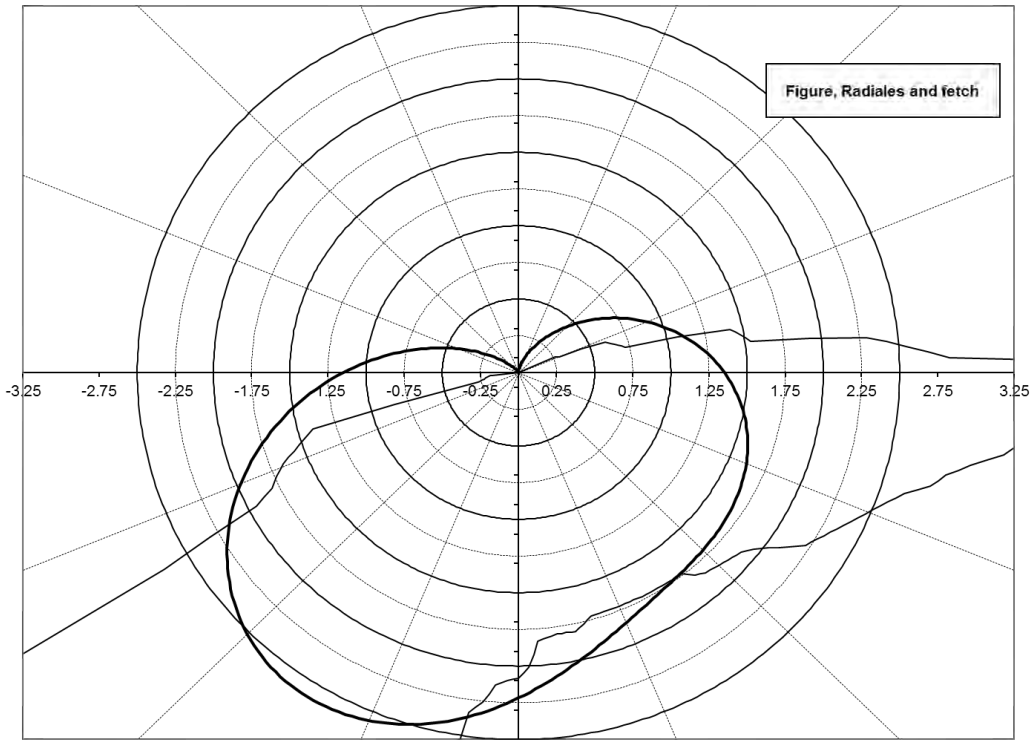
- Norda Stelo, Dynamique de l'érosion et étude des variantes - Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier, 2016.
- BPR, Étude d'avant-projet. Contrôle de l'érosion des berges à la plage Jacques-Cartier. 2012.
- MEQ. Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent Tronçon Grondines – Sainte-Anne-des-Monts. Calcul des niveaux de récurrence 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Document de travail RA-86-02. Ministère de l'Environnement, Direction des relevés aquatiques. Mars 1986.
- Société d'énergie de la Baie James (SEBJ), Guide pratique de dimensionnement du Rip-Rap, 1997.
- Henton, J.A. & Craymer, M.R. & Ferland, R & Dragert, H & Mazzotti, Stephane & Forbes, Donald. (2006). Crustal motion and deformation monitoring of the Canadian landmass. Geomatica. 60. 173-191.
- Ressource Naturelles Canada (RNC), Fleuve Saint-Laurent : aperçu. Site consulté le 2018/08/10. https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/fleuve-saint-laurent.html
- Carter, Guide pratique pour le calcul des forces exercées par la glace, 2003.
- Ropars, Expertise technique – Glace et vagues, Refuge pour piéton (belvédère), Sentier des grèves – Phase 2C. 2014.
- Ropars, Analyse de niveaux d'eau Beauport-2020, Port de Québec, 2017.
- Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, Climate change 2014 – Synthesis report – Summary for policymakers. Site consulté le 2019/01/11 https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/synthesis-report/
- Dupuis, Pierre. Masson, Laurent. Roy, Mathieu. Le calcul du climat des vagues revisité. Association Canadienne des Barrages. Congrès Annuel 2018. Octobre 2018.

ANNEXE A

FIGURES RADIALES ET FETCHS

Annexe A FIGURES RADIALES ET FETCHS

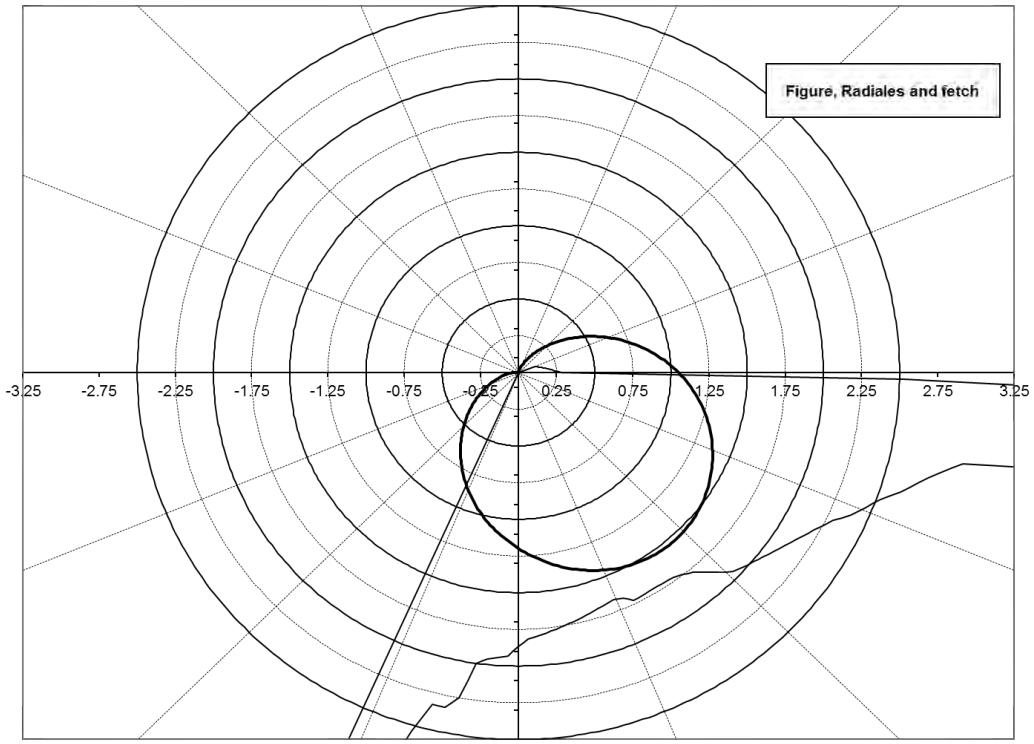
Tronçons 1, 2 et 3



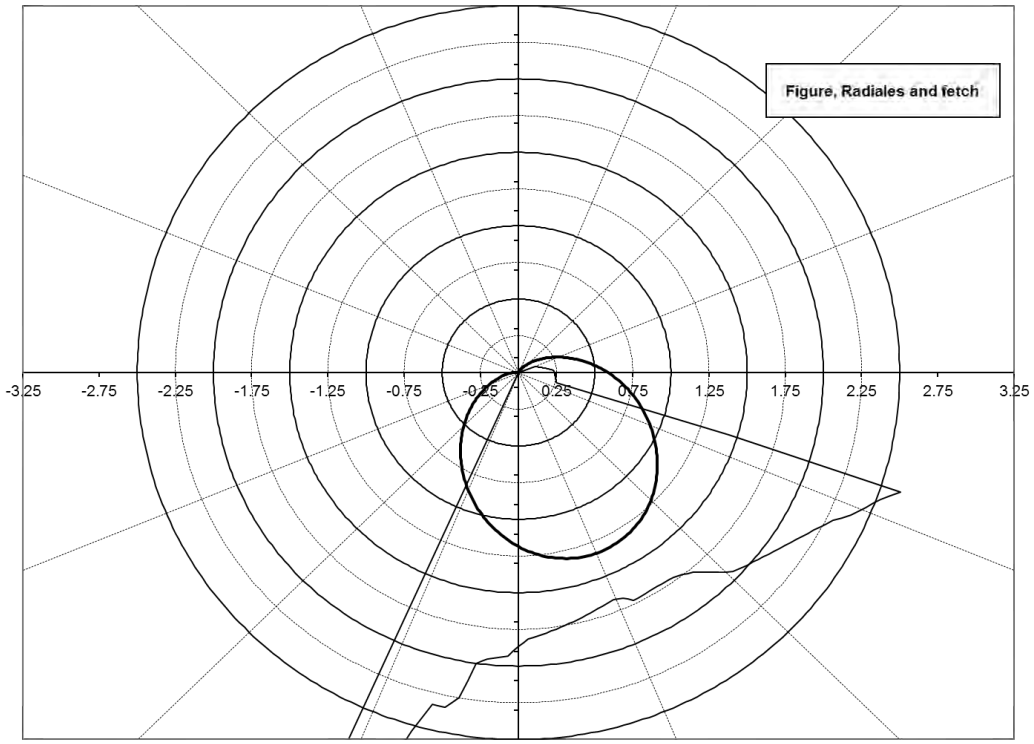
Tronçons 1, 2 et 3

Tronçon 4 sans épi

Tronçon 4 avec épi



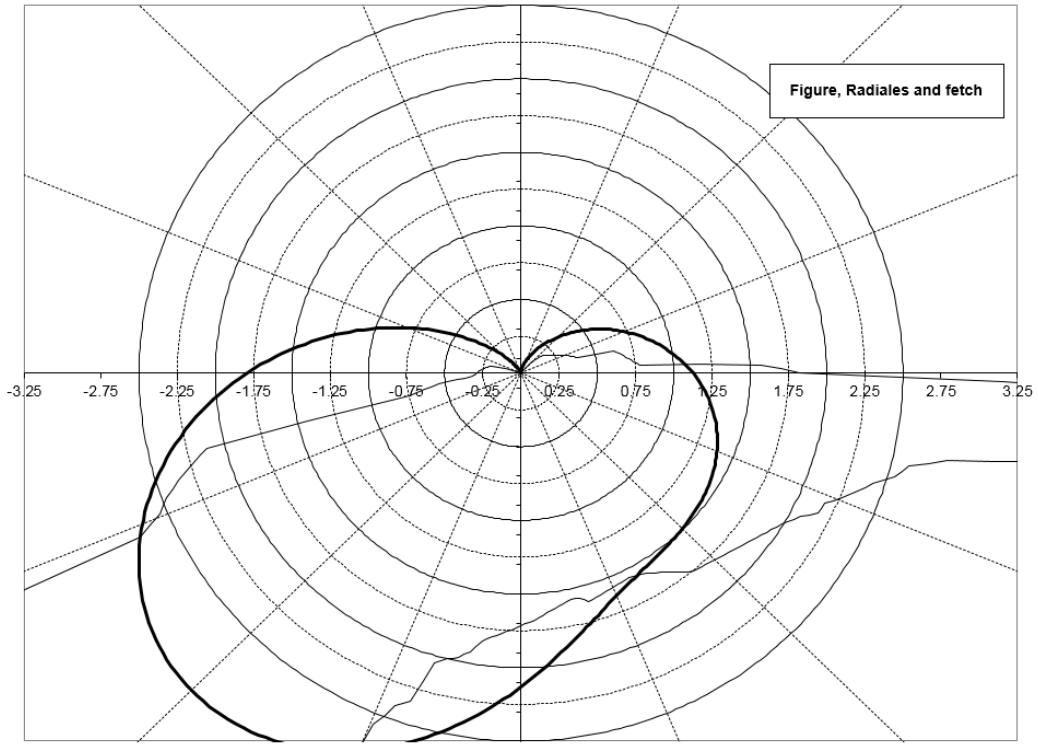
Tronçon 4 sans épi



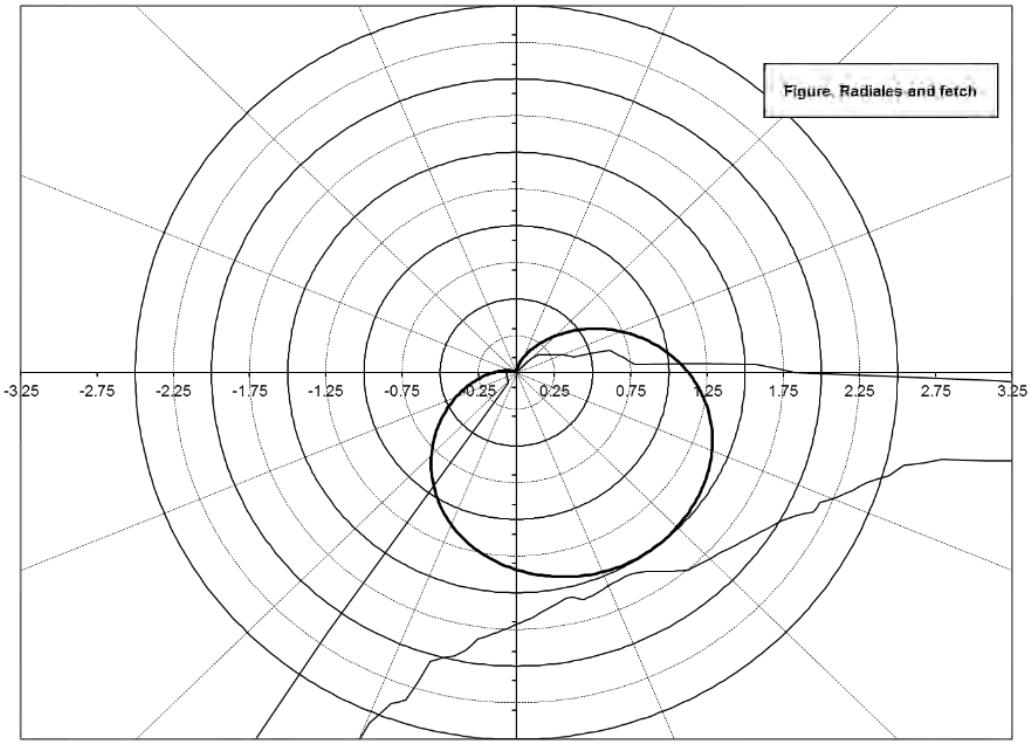
Tronçon 4 avec épi

Tronçon 5 sans épi

Tronçon 5 avec épi

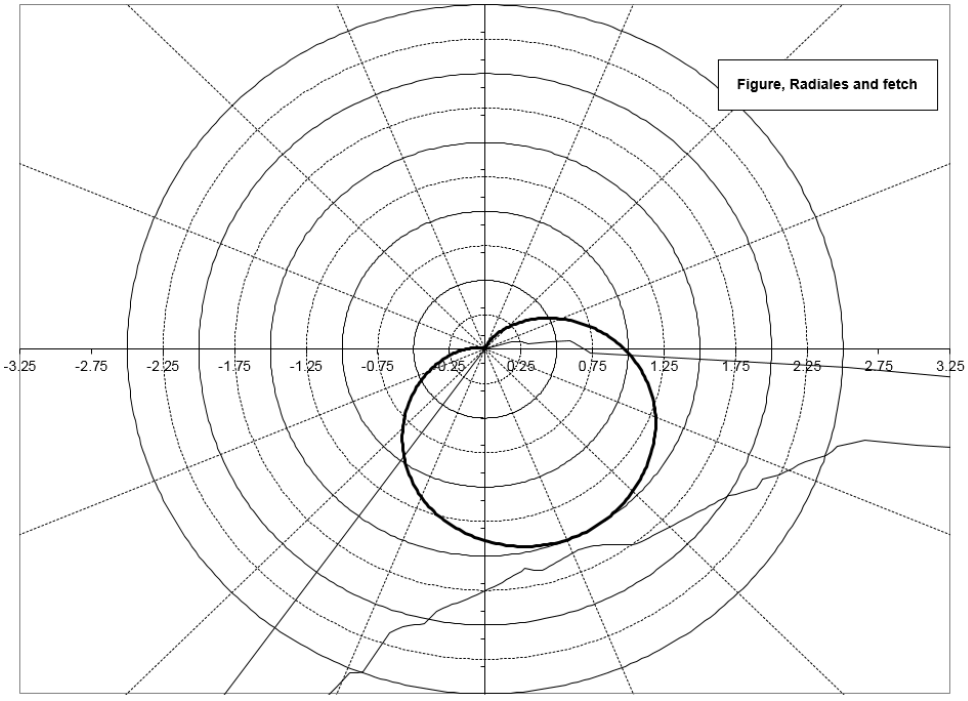


Tronçon 5 sans épi



Tronçon 5 avec épi

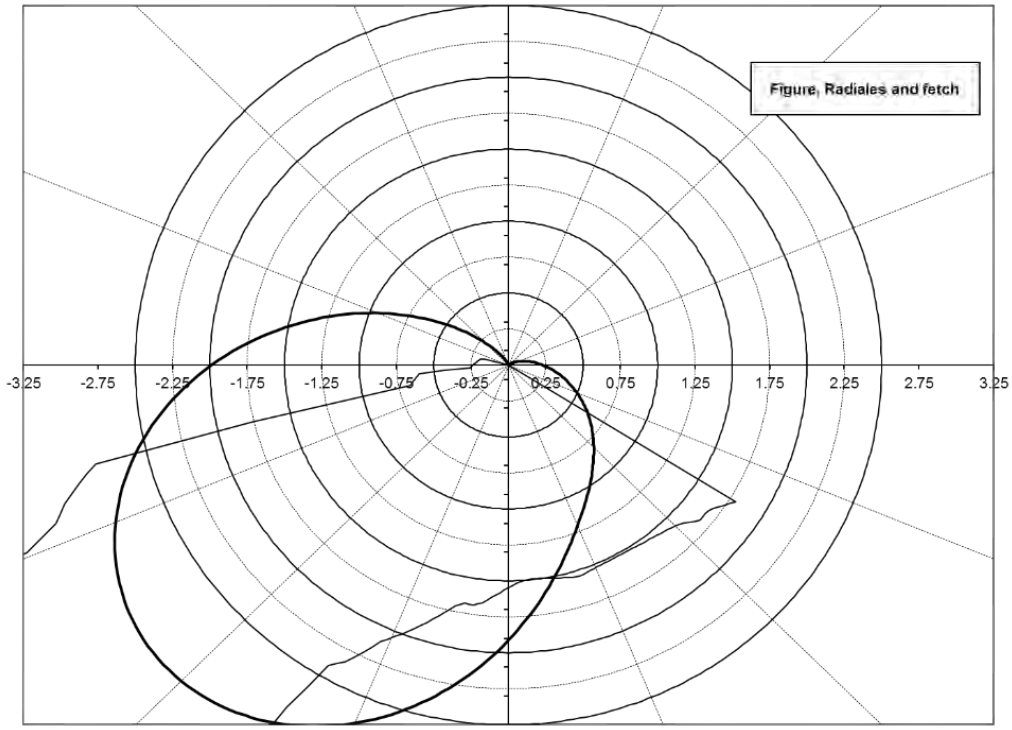
Tronçon 6



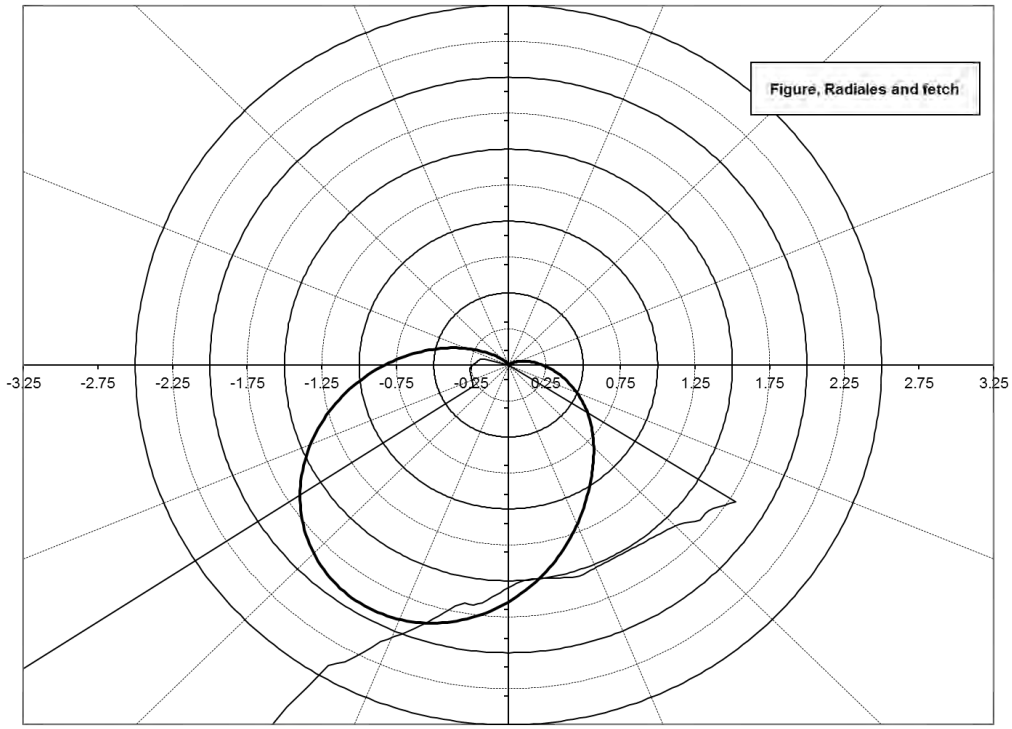
Tronçon 6

Tronçon 7 sans épi

Tronçon 7 avec épi



Tronçons 7 sans épi



Tronçon 7 avec épi

ANNEXE B

ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

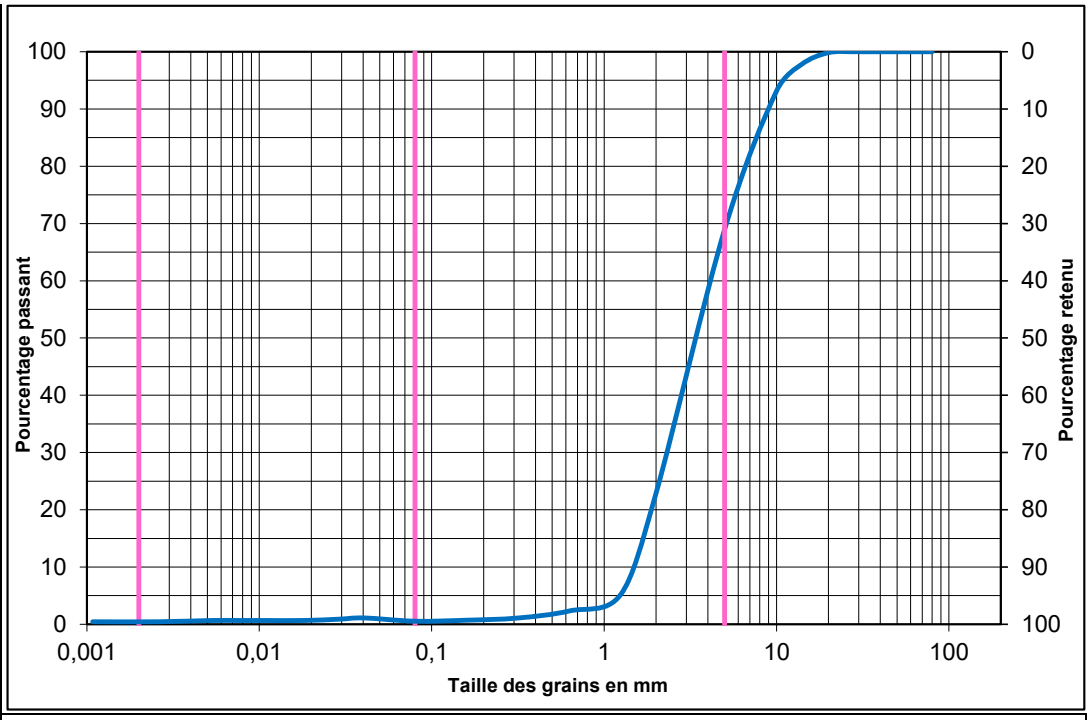
Stantec
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 1	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces d'argile, traces de silt
Profondeur :	surface		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

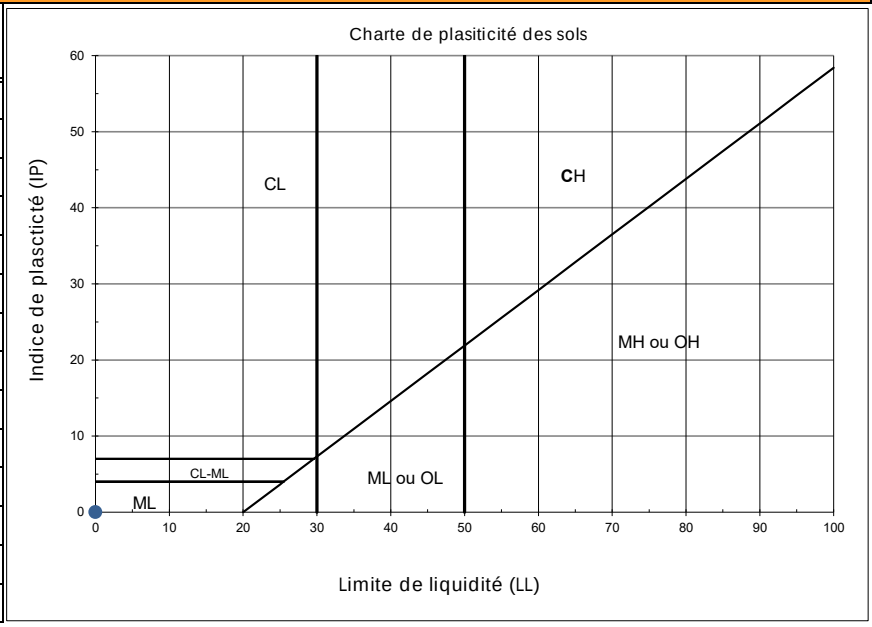
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	100
20,0	100
14,0	98
10,0	93
5,00	69
2,50	23
1,25	5
0,630	2
0,315	1
0,160	1
0,080	0,5



% Gravier: 31,1 % Sable : 68,4 % Silt: 0,1 % Argile: 0,4

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

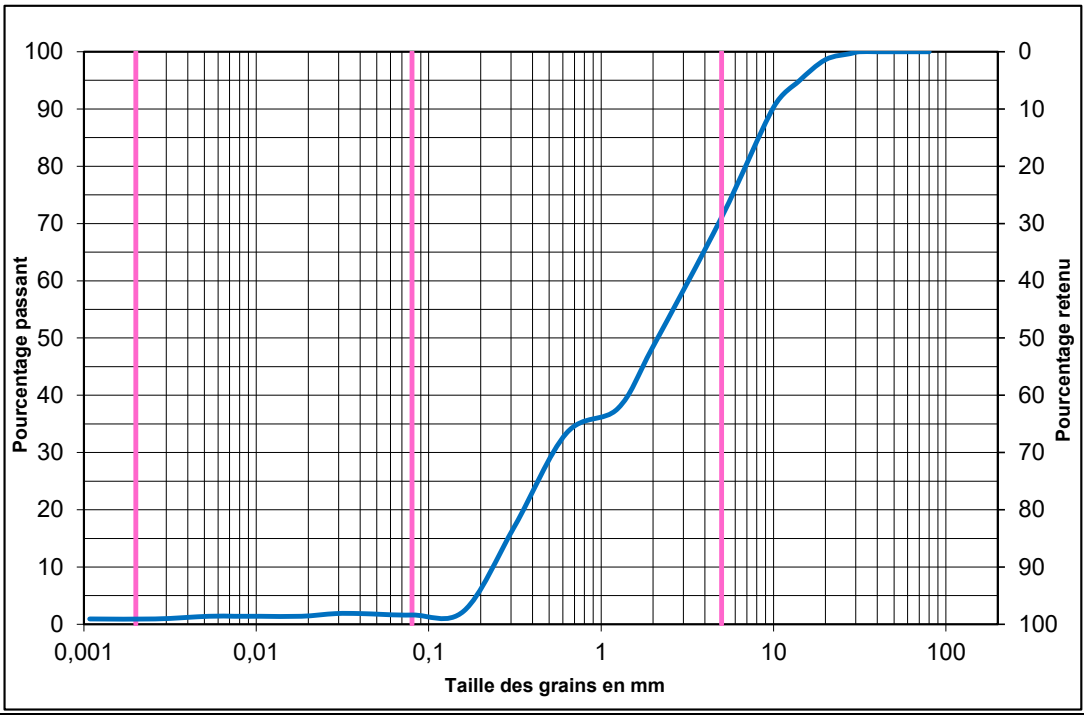
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 2	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces d'argile, traces de silt
Profondeur :	surface		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

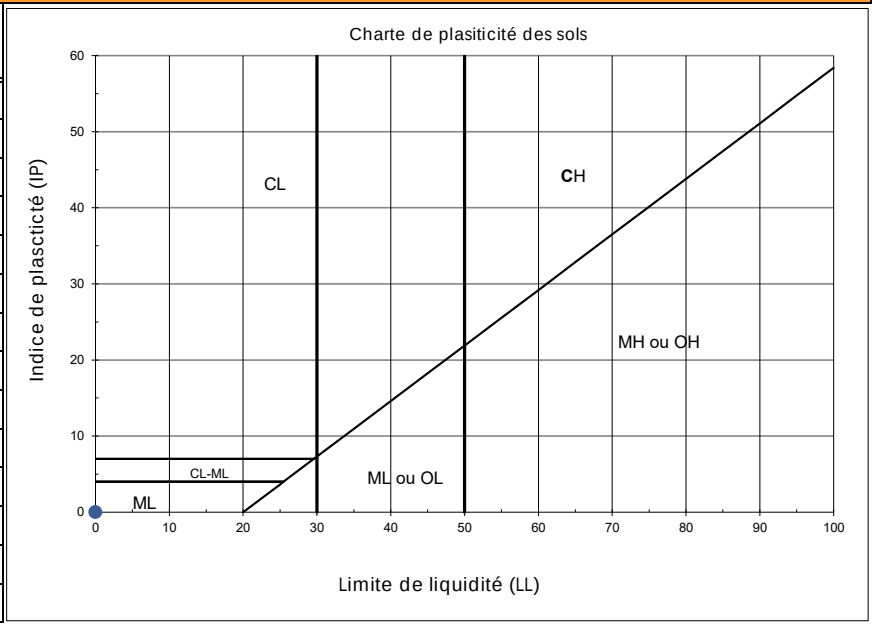
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	100
20,0	99
14,0	95
10,0	90
5,00	71
2,50	48
1,25	38
0,630	33
0,315	17
0,160	2
0,080	1,6



% Gravier: 28,9 % Sable : 69,5 % Silt: 0,7 % Argile: 0,9

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

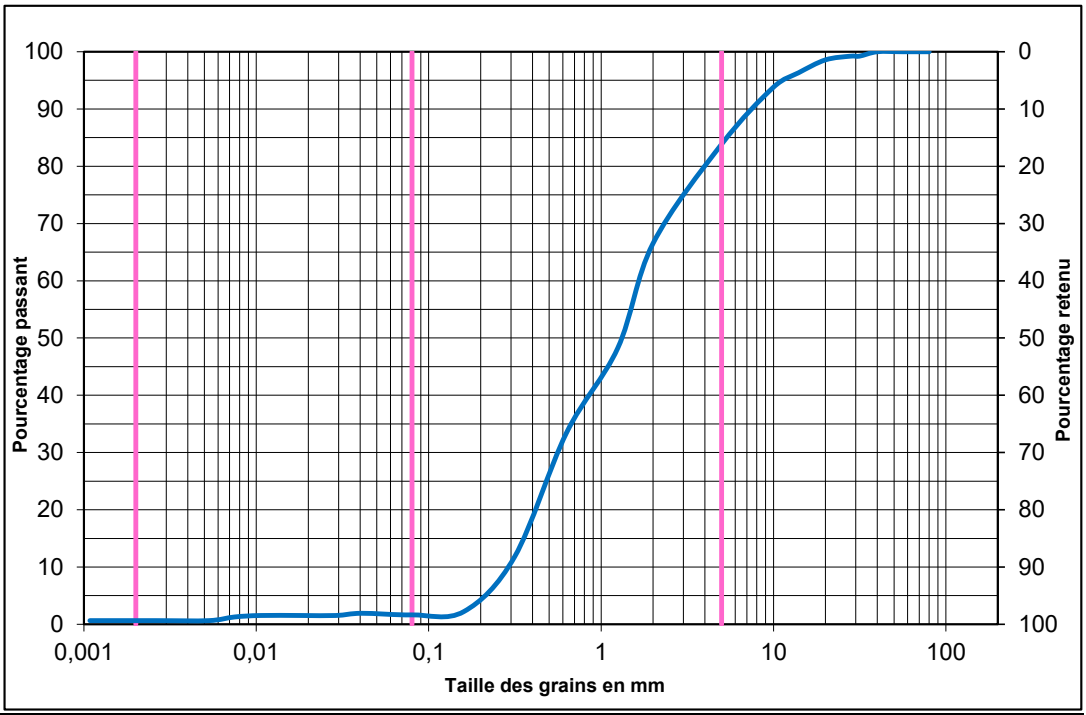
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 3A	Type de matériaux :	Sable, un peu de gravier, traces de silt, traces d'argile
Profondeur :	0,1m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

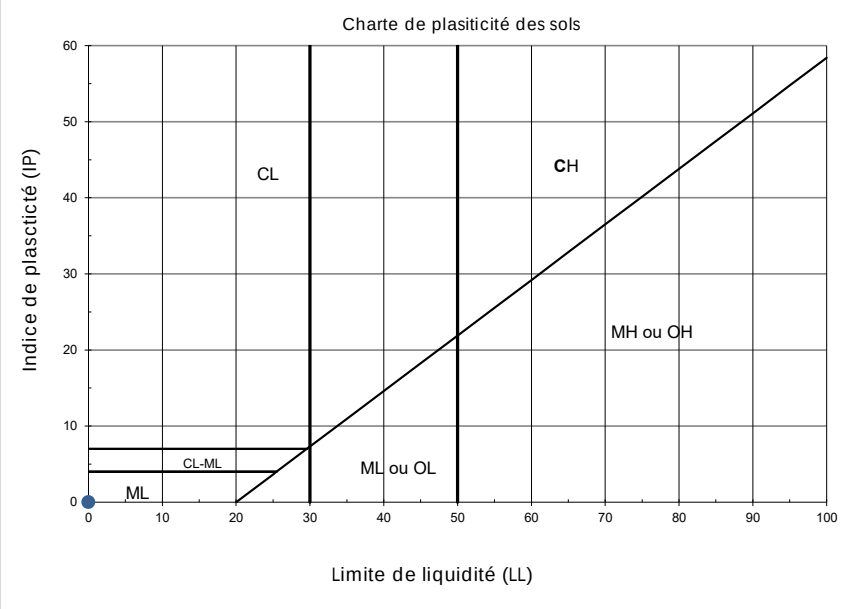
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	99
28,0	99
20,0	99
14,0	96
10,0	94
5,00	84
2,50	67
1,25	48
0,630	33
0,315	12
0,160	2
0,080	1,6



% Gravier:	16,1	% Sable :	82,2	% Silt:	1,0	% Argile:	0,6

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

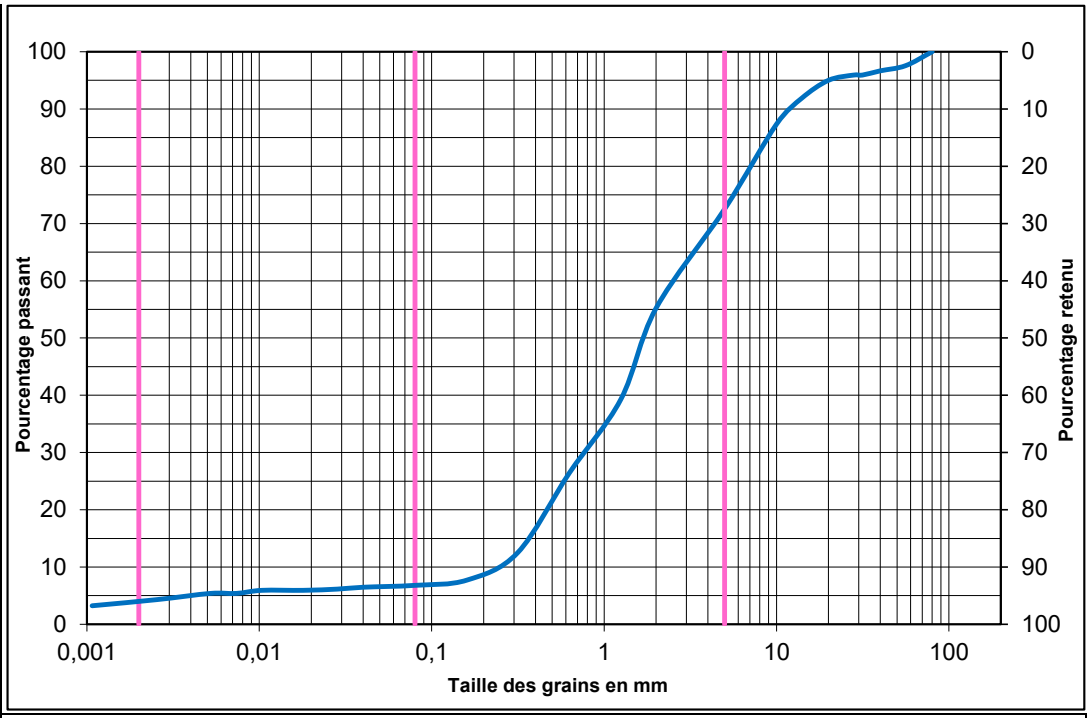
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 3B	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces d'argile, traces de silt
Profondeur :	0,6m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

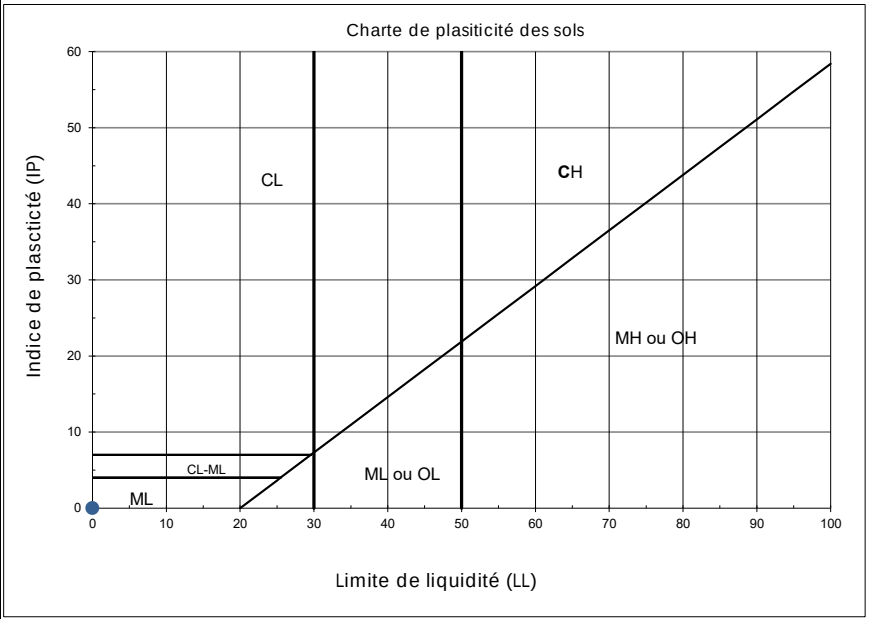
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	98
40,0	97
31,5	96
28,0	96
20,0	95
14,0	92
10,0	87
5,00	73
2,50	55
1,25	39
0,630	26
0,315	12
0,160	8
0,080	6,8



% Gravier: 27,5 % Sable : 65,7 % Silt: 2,9 % Argile: 3,9

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

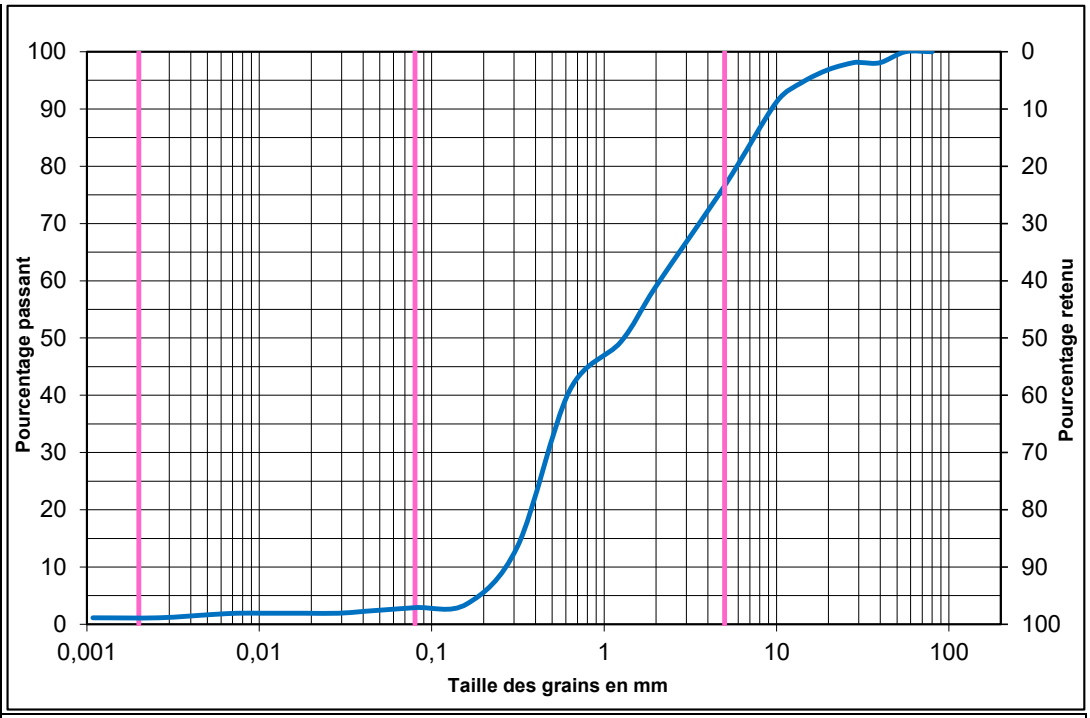
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 4	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces de silt, traces d'argile
Profondeur :	Surface		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

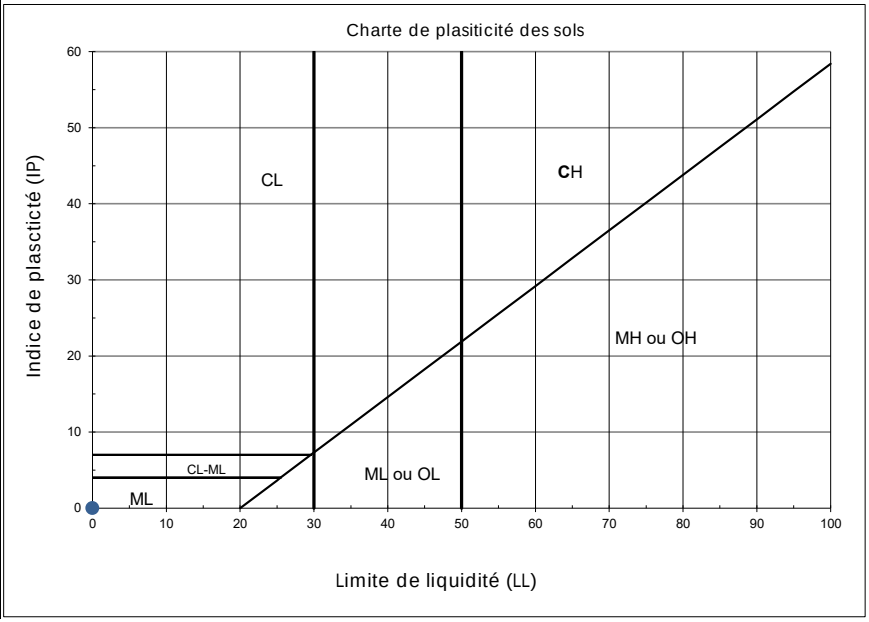
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	98
31,5	98
28,0	98
20,0	97
14,0	95
10,0	91
5,00	77
2,50	59
1,25	49
0,630	41
0,315	14
0,160	4
0,080	2,9



% Gravier:	23,4	% Sable :	73,7	% Silt:	1,8	% Argile:	1,1

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

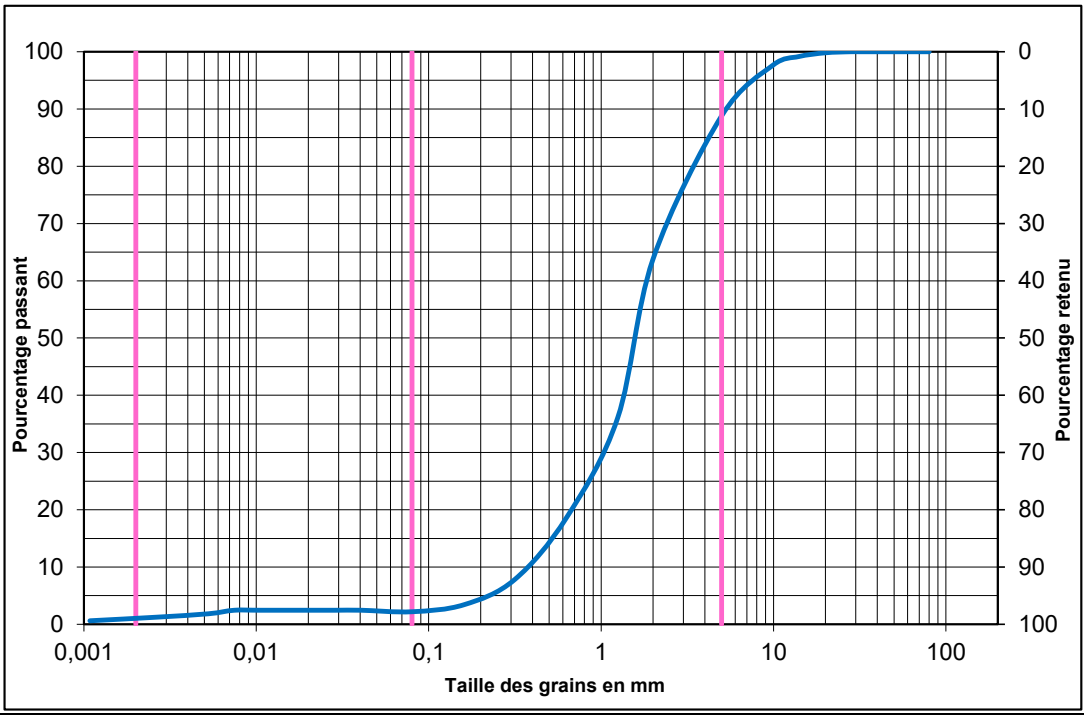
Stantec
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 5A	Type de matériaux :	Sable, un peu de gravier, traces de silt, traces d'argile
Profondeur :	0,1m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

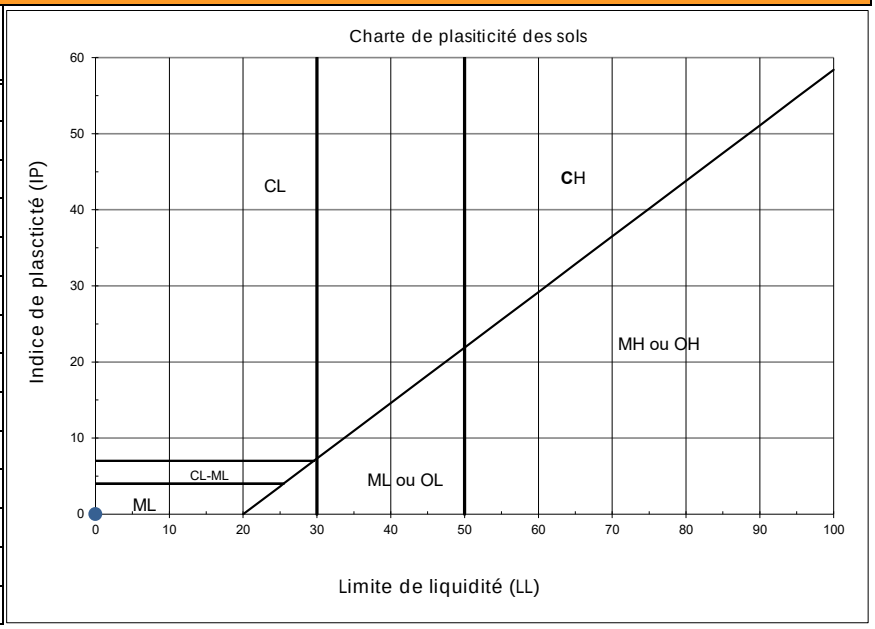
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	100
20,0	100
14,0	99
10,0	98
5,00	89
2,50	64
1,25	36
0,630	19
0,315	8
0,160	3
0,080	2,2



% Gravier:	11,2	% Sable :	86,6	% Silt:	1,2	% Argile:	1,0

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

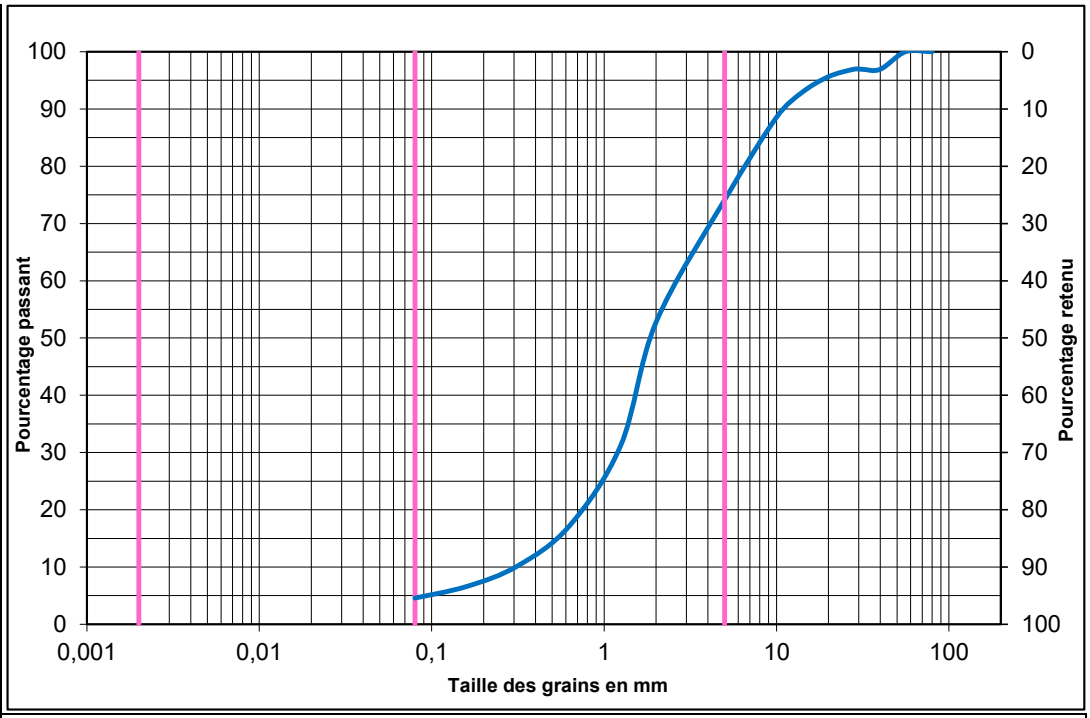
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 5B	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces de silt
Profondeur :	0,3m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

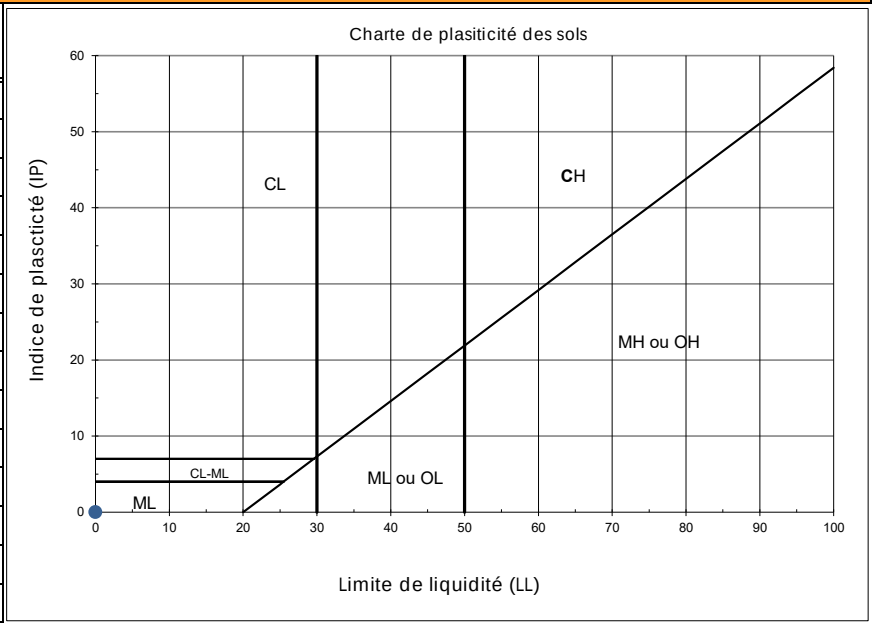
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	97
31,5	97
28,0	97
20,0	96
14,0	93
10,0	89
5,00	74
2,50	53
1,25	31
0,630	17
0,315	10
0,160	7
0,080	4,6



% Gravier: 25,9 % Sable : 69,5 % Silt: 4,6 % Argile:

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

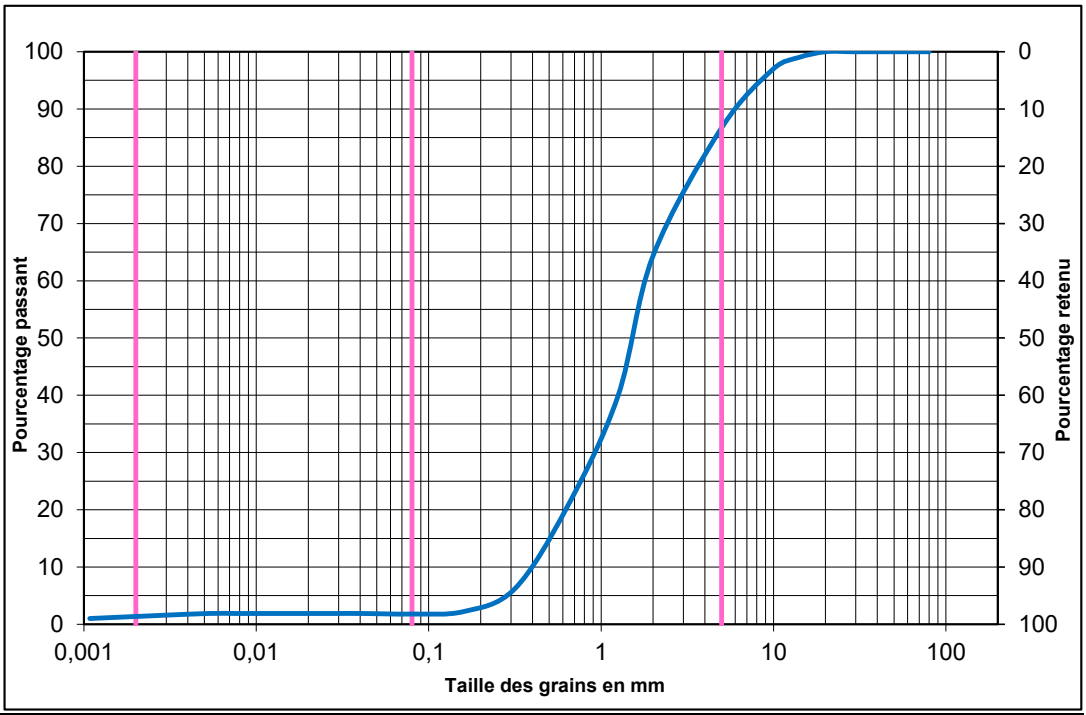
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 6	Type de matériaux :	Sable, un peu de gravier, traces d'argile, traces de silt
Profondeur :	Surface		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

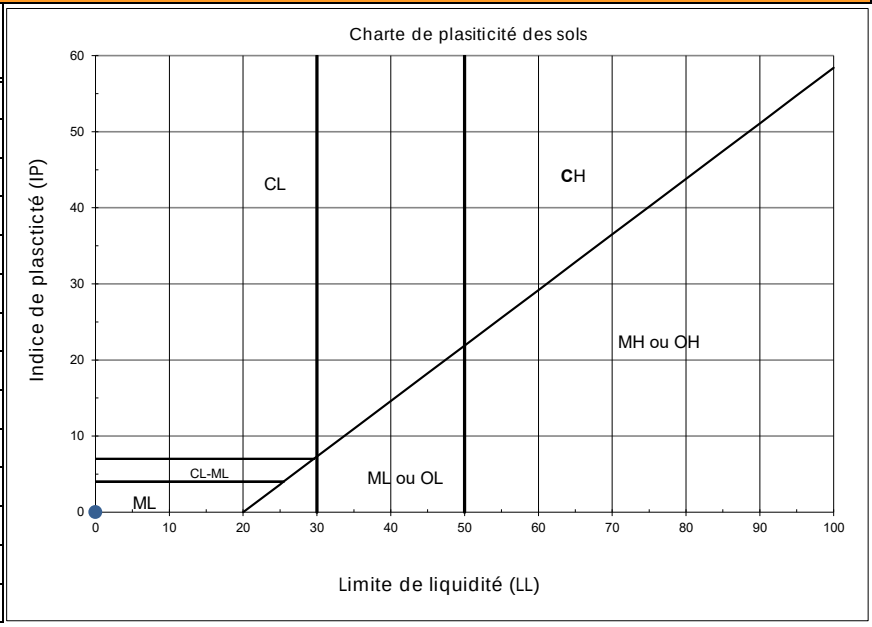
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	100
20,0	100
14,0	99
10,0	97
5,00	87
2,50	64
1,25	40
0,630	20
0,315	6
0,160	2
0,080	1,8



% Gravier: 13,3 % Sable : 84,9 % Silt: 0,5 % Argile: 1,3

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Ch, géo. Date : 25 octobre, 2017

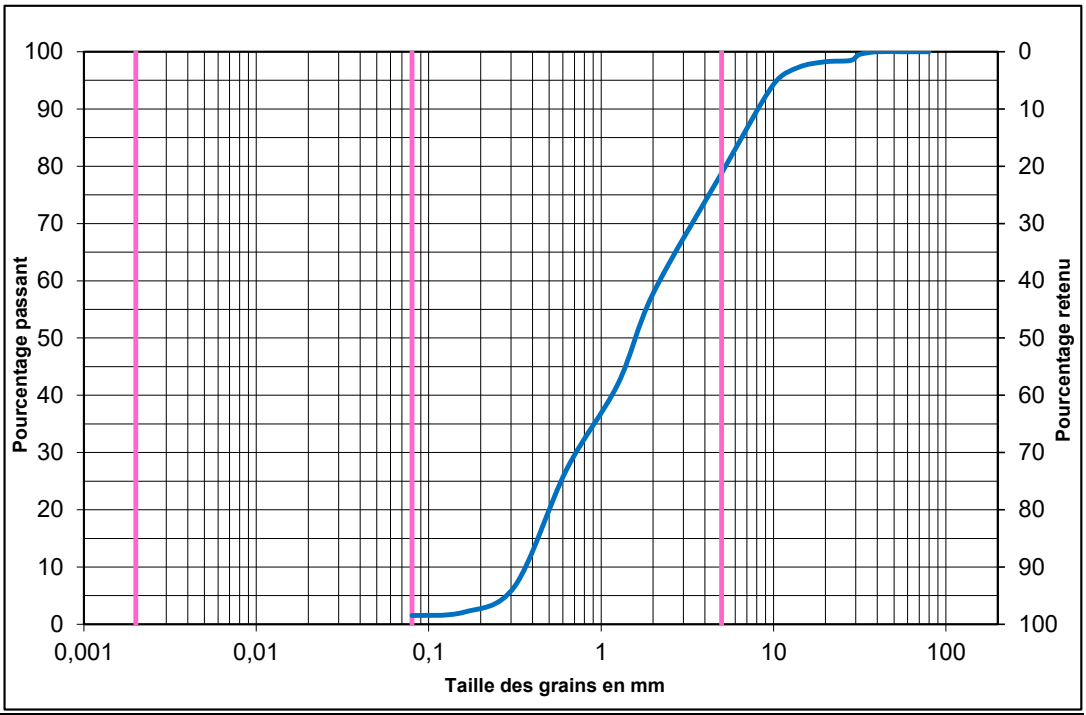
Stantec
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 7A	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces de silt
Profondeur :	0,1m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

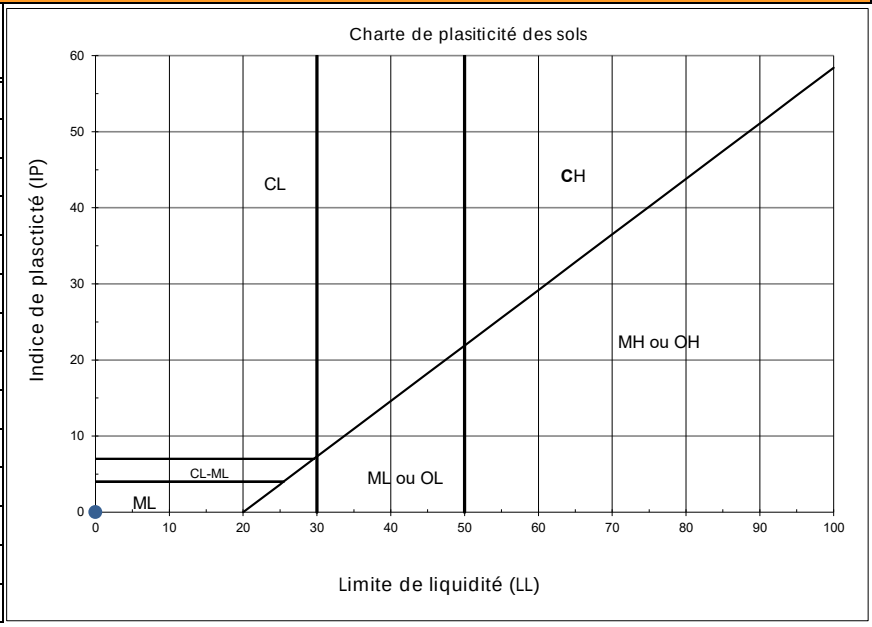
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	98
20,0	98
14,0	97
10,0	94
5,00	79
2,50	58
1,25	42
0,630	27
0,315	7
0,160	2
0,080	1,5



% Gravier: 21,2 % Sable : 77,3 % Silt: 1,5 % Argile:

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

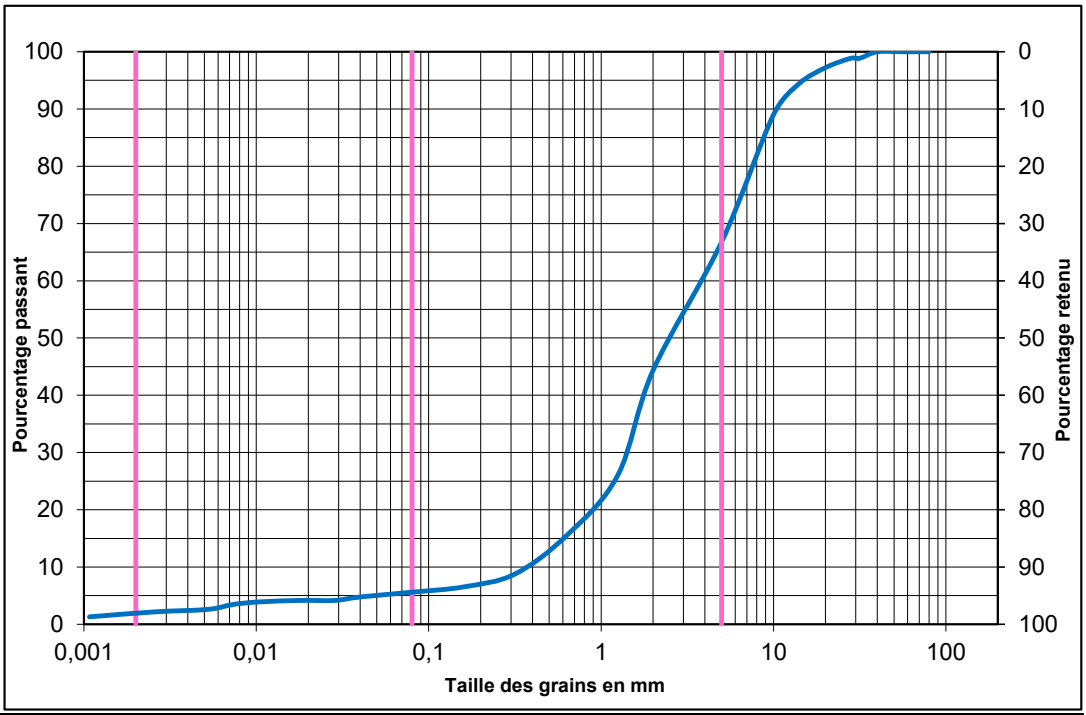
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 7B	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces de silt, traces d'argile
Profondeur :	0,6m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

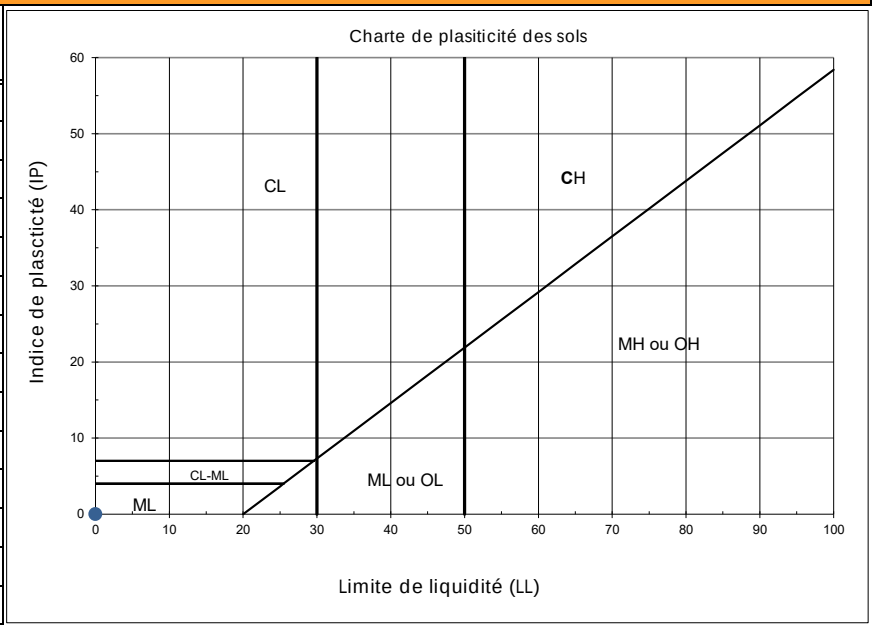
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	99
28,0	99
20,0	97
14,0	94
10,0	89
5,00	67
2,50	44
1,25	26
0,630	15
0,315	9
0,160	7
0,080	5,6



% Gravier:	33,2	% Sable :	61,2	% Silt:	3,8	% Argile:	1,8

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

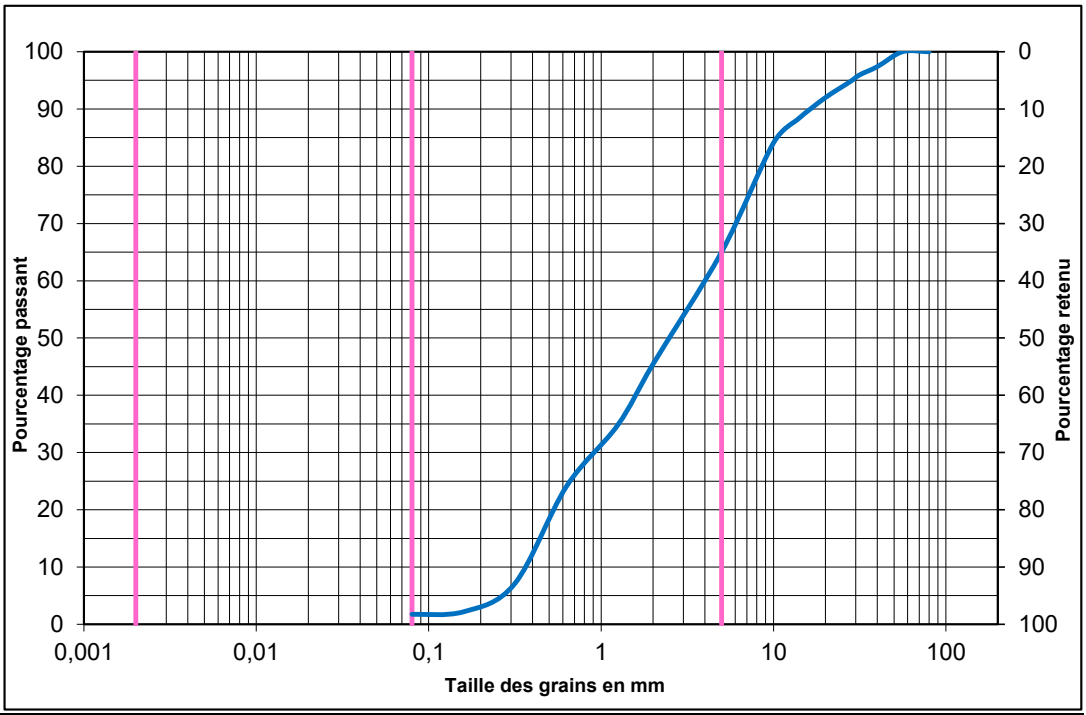
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 8	Type de matériaux :	Sable graveleux, traces de silt
Profondeur :	Surface		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

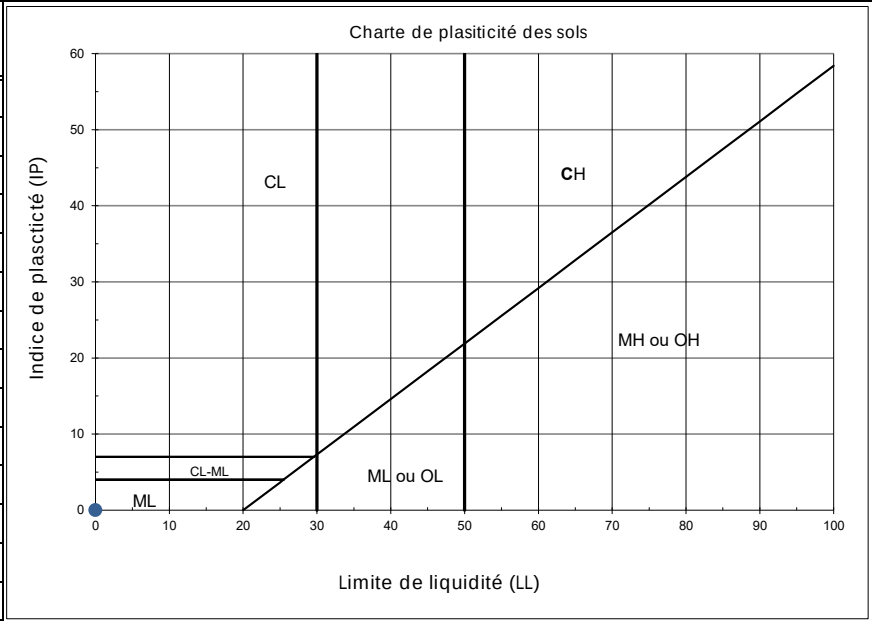
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	97
31,5	96
28,0	95
20,0	92
14,0	88
10,0	84
5,00	65
2,50	45
1,25	35
0,630	24
0,315	7
0,160	2
0,080	1,8



% Gravier: 35,0 % Sable : 63,3 % Silt: 1,8 % Argile:

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

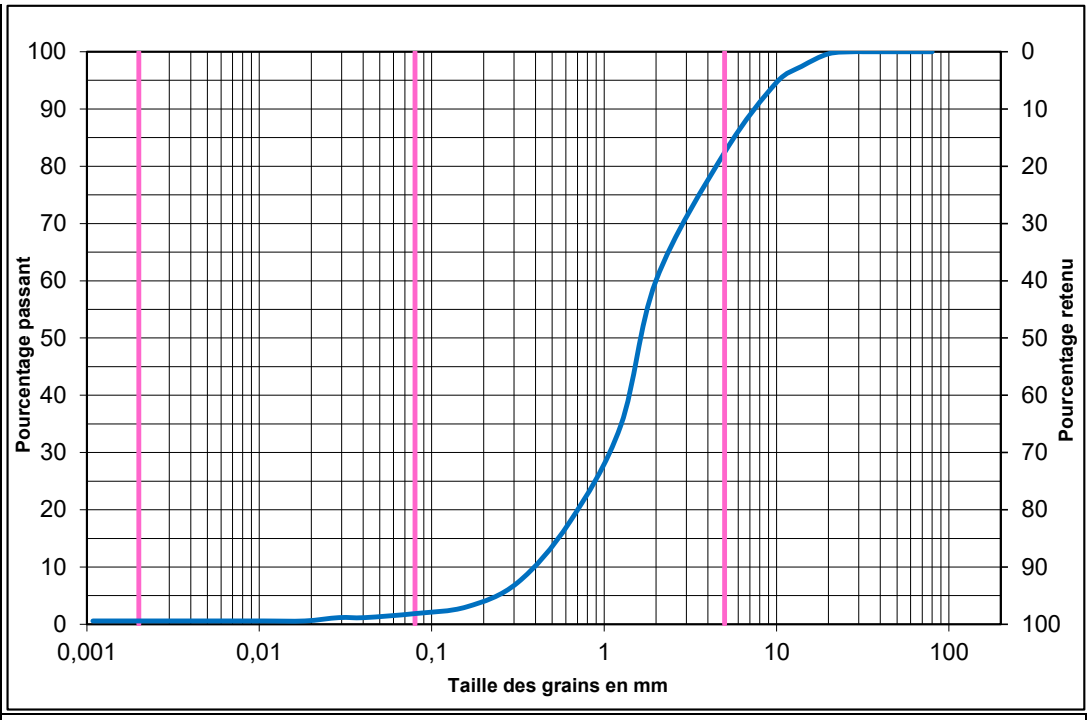
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 9A	Type de matériaux :	Sable, un peu de gravier, traces de silt, traces d'argile
Profondeur :	0,1m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

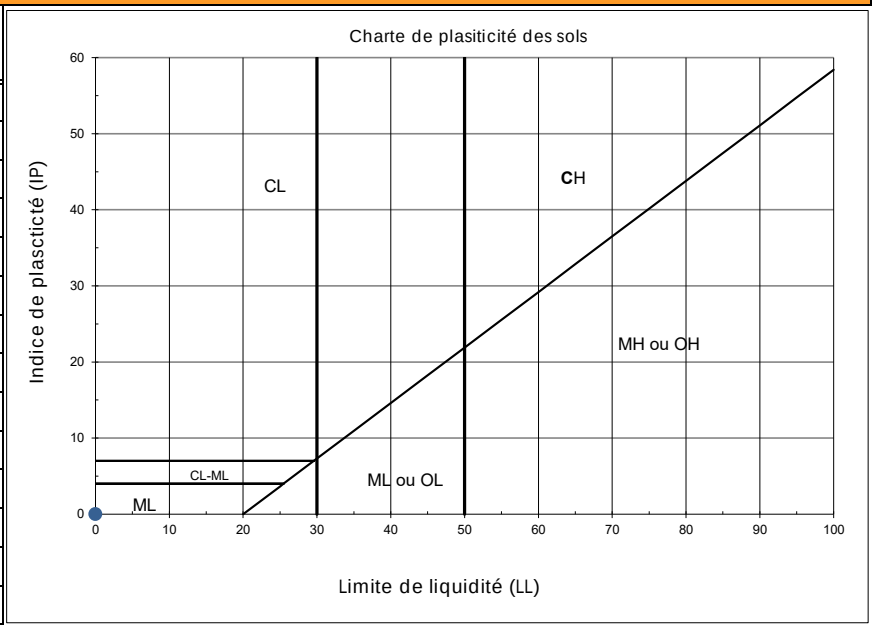
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	100
40,0	100
31,5	100
28,0	100
20,0	100
14,0	97
10,0	95
5,00	82
2,50	60
1,25	35
0,630	18
0,315	7
0,160	3
0,080	1,9



% Gravier:	17,6	% Sable :	80,5	% Silt:	1,3	% Argile:	0,6

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Côté, géo. Date : 25 octobre, 2017

Stantec

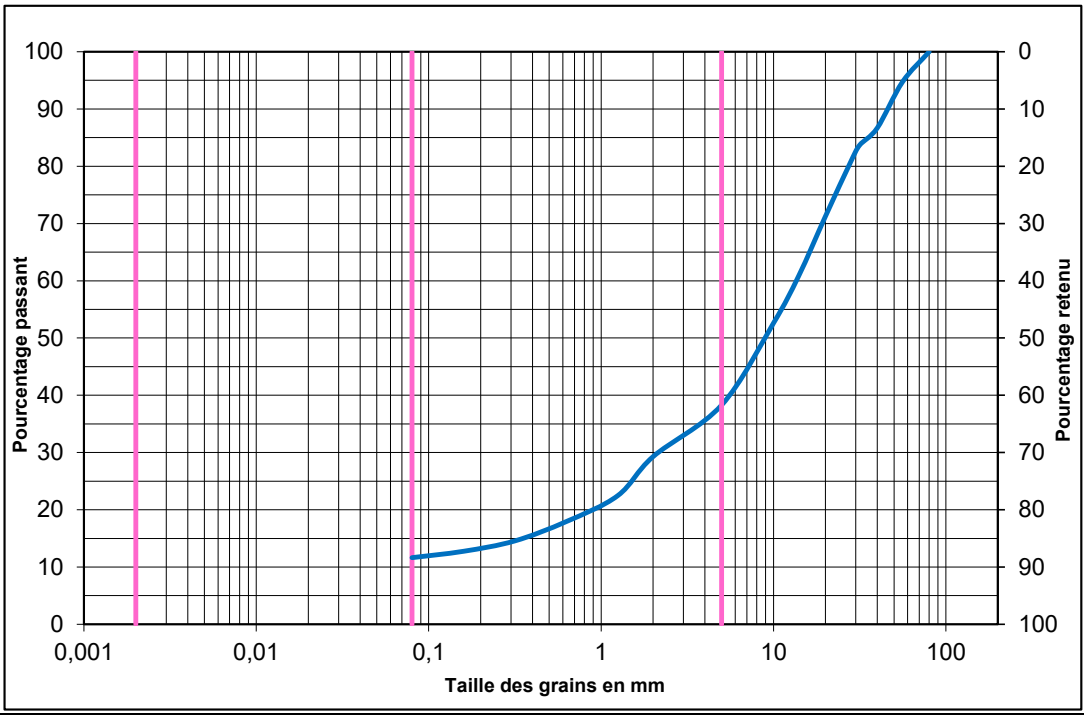
2273 Rue Michelin,
Laval QC, H7L 5B8

RAPPORT D'ESSAIS DE LABORATOIRE

Client :	Ville de Québec	Échantillonné par :	
Projet :	Projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier	Date du prélèvement :	13 octobre, 2017
No de projet :	167040090		
No d'échantillon :	no. 9B	Type de matériaux :	Gravier sableux, un peu de silt
Profondeur :	0,6m		

Analyse granulométrique (BNQ 2501-025)

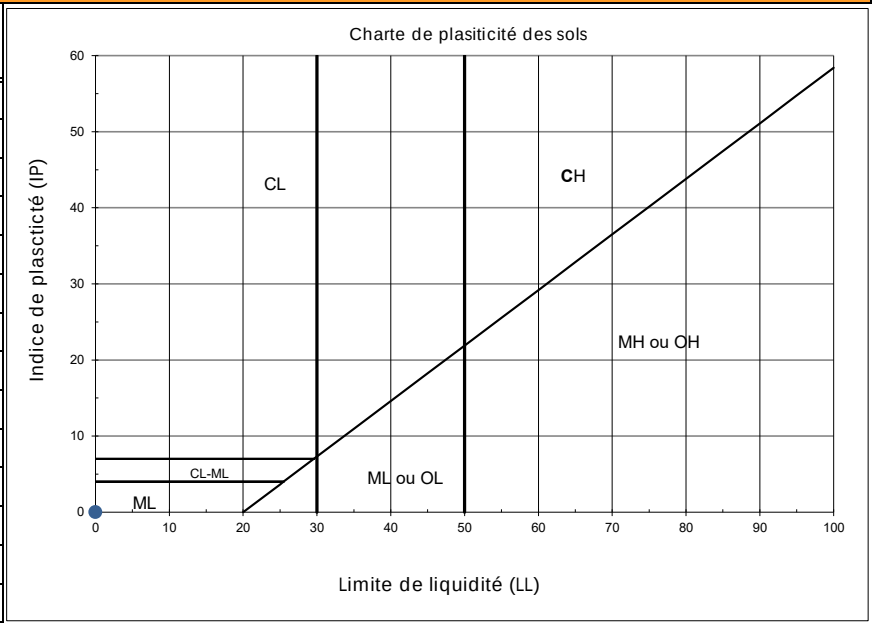
Dimensions des ouvertures	Passant cumulatifs
mm	%
112	100
80,0	100
56,0	95
40,0	87
31,5	84
28,0	81
20,0	71
14,0	61
10,0	53
5,00	38
2,50	29
1,25	22
0,630	18
0,315	15
0,160	13
0,080	11,6



% Gravier:	61,7	% Sable :	26,6	% Silt:	11,6	% Argile:

Autres essais

Nom de l'essai / Norme utilisée	Résultats
Teneur en eau (NQ 2560-200) (%)	
Limite de liquidité (BNQ 2501-092)	
Limite de plasticité (BNQ 2501-092)	
Indice de plasticité (BNQ 2501-092)	



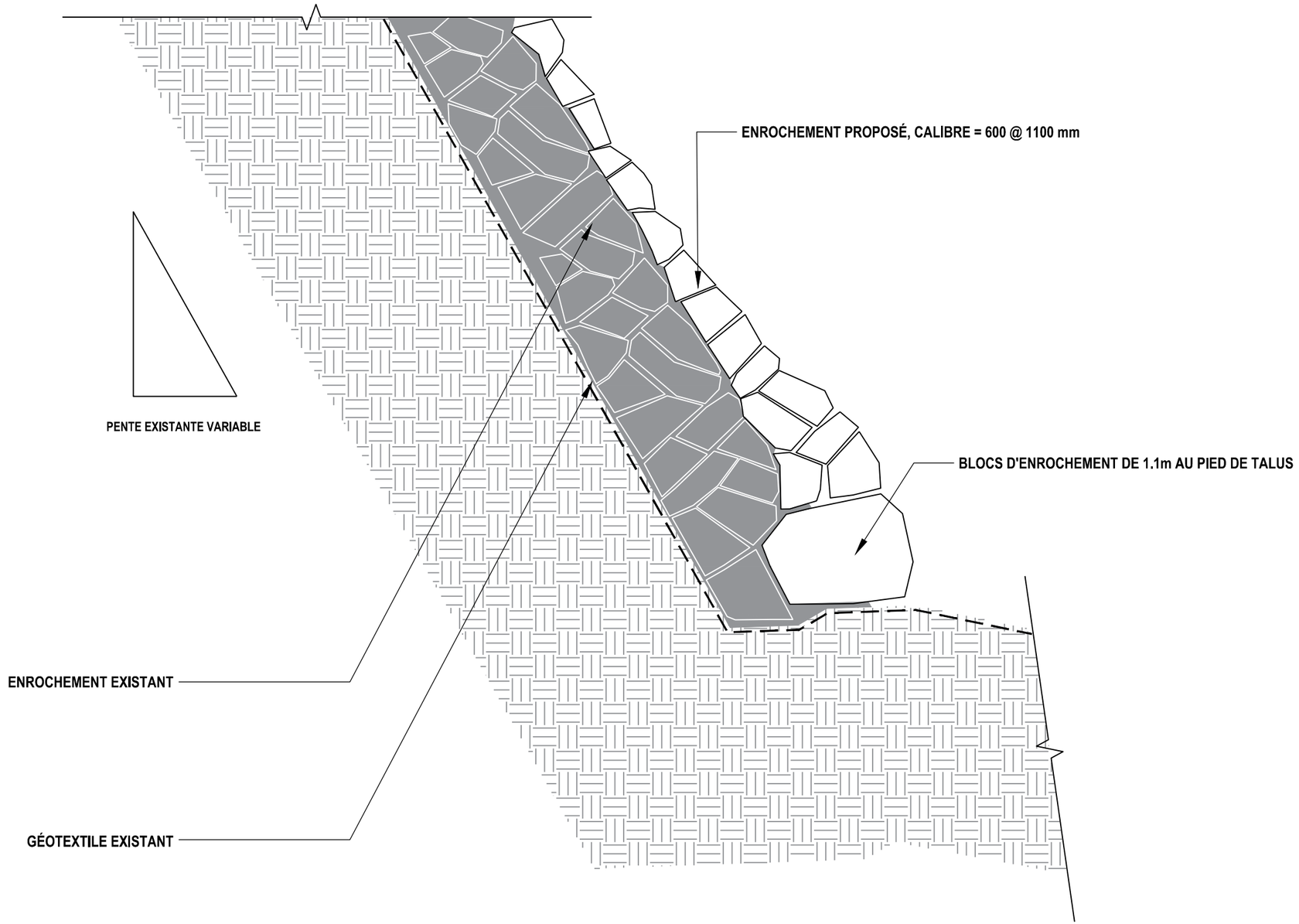
Remarques :

Préparé par : Sylvio Alexis Date : 25 octobre, 2017

Approuvé par : Benoit Cyr, géo. Date : 25 octobre, 2017

ANNEXE C

COUPES-TYPES - STABILISATION DES BERGES



Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-27
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi Préparé	Camille Zaroubi Dessiné
Mario Heppell Vérifié	Joëlle Duguay Chargé de projet

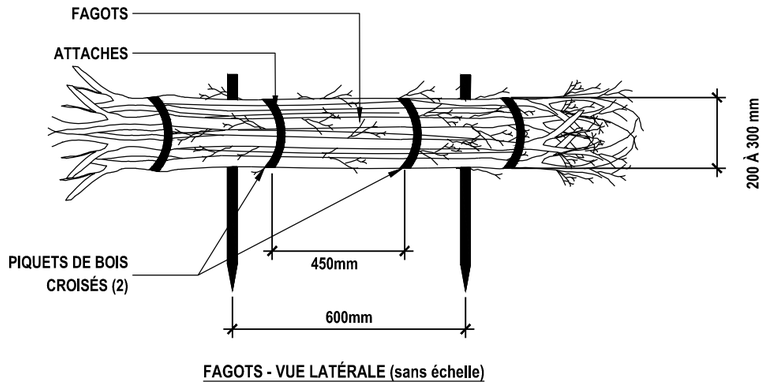
Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

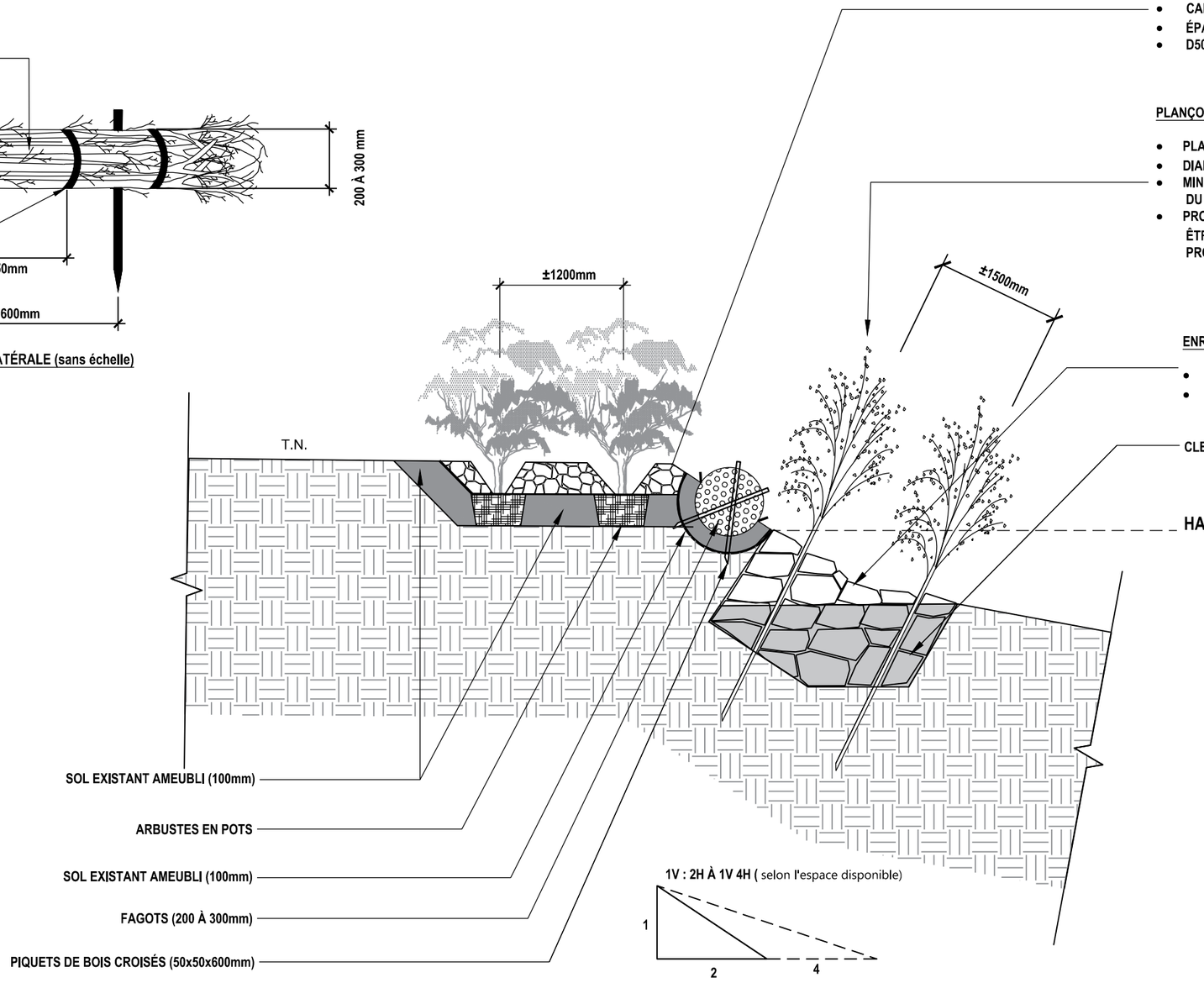
Titre
COUPE TYPE 1 - Tronçons T1, T2, T3a

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:50	
Révision	Feuille	N° dessin
00	01 de 04	AM-01

u:\167040090\z5_cad\am\dwg\2019.02.21_167040090_coupes
2019.02.26 8:24:43 AM
11x17



FAGOTS - VUE LATÉRALE (sans échelle)



DALLAGE EN PIERRE:

- CALIBRE: 100-300mm
- ÉPAISSEUR: 400mm
- D50=150mm

PLANÇONS:

- PLANTER TROIS (3) PLANÇONS PAR INTERSTICE;
- DIAMÈTRE DES PLANÇONS: 1 À 3 cm;
- MINIMUM DE TROIS (3) BOURGEONS VIABLES REQUIS SUR LA SECTION DU PLANÇON AU DESSUS DE LA SURFACE D'ENROCHEMENT;
- PROFONDEUR MINIMALE DE PLANTATION: LES PLANÇONS DOIVENT ÊTRE ENFONCÉES DANS LE SOL EXISTANT AMEUBLI À UNE PROFONDEUR MINIMALE DE 500mm

ENROCHEMENT:

- CALIBRE: 500-850mm
- ÉPAISSEUR: 1350mm

CLEF D'ENROCHEMENT À METTRE EN PLACE EN ABSENCE DE ROC

Stantec
Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

NOTES POUR LA PLANTATION DES PLANÇONS:

1. Les espèces végétales choisies devront être pré-approuvées avant la plantation;
2. Les variétés arbustives sélectionnées devront avoir une hauteur minimale générale à maturité de 2000 mm;
3. Les végétaux doivent appartenir à des espèces convenant à la zone de rusticité des terrains où ils doivent être plantés.
4. Les végétaux doivent appartenir à des espèces convenant à l'emplacement où ils sont destinés.
5. À la fin de la saison d'automne de la première année de croissance, les tiges devront être coupées à +/- 30 cm de la surface de l'enrochement, après la chute des feuilles.
6. L'installation des boutures doit être effectuée pendant la période de dormance des végétaux, soit au printemps dès que les sols sont dégelés jusqu'à l'apparition des feuilles, ou à l'automne entre la fin de l'août ement (mi- septembre) et le début du gel des sols. Les travaux pourront se terminer au plus tard le 31 octobre.

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG	2019-02-27 AAAA.MM.JJ
Camille Zaroubi — Préparé	Camille Zaroubi — Dessiné
Mario Heppell — Vérifié	Joëlle Duguay — Chargé de projet

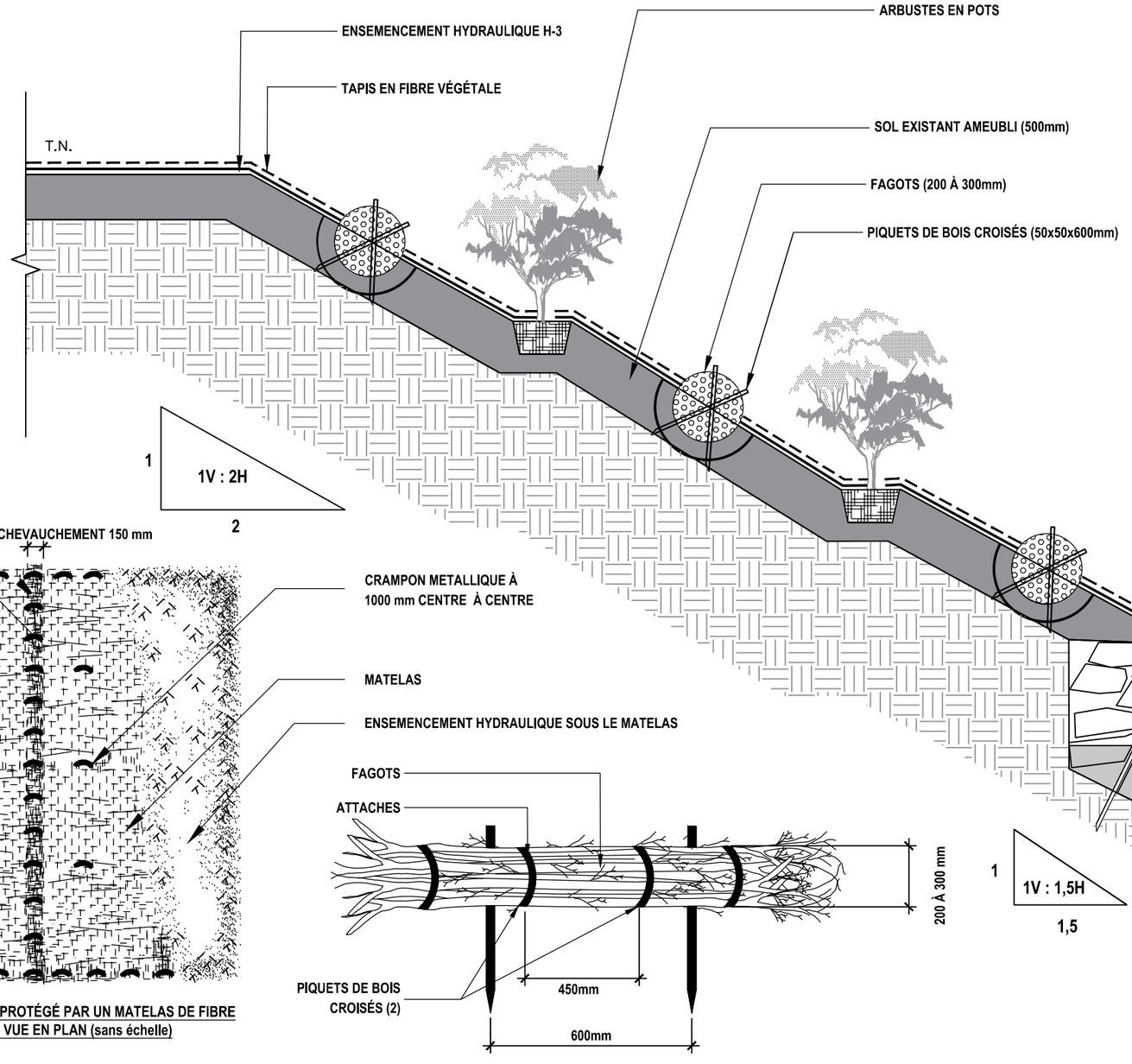
Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER QUESTIONS MELCC

Titre
COUPE TYPE 2 - Tronçons T3b/T4/T5/T6b/T7b et réparation près de T7a (nord-ouest).

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:50	
Révision	Feuille	N° dessin
00	02 de 04	AM-02

u:\167040090\z5_cad\am\dwg\2019.02.21_167040090_coupes
2019.02.26 8:25:00 AM
11x17

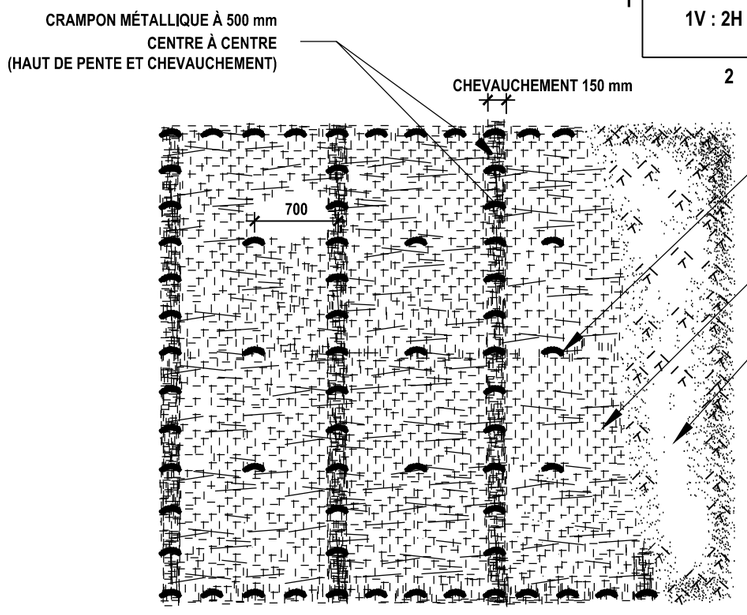


PLANÇONS:

- PLANTER TROIS (3) PLANÇONS PAR INTERSTICE;
- DIAMÈTRE DES PLANÇONS: 1 À 3 cm;
- MINIMUM DE TROIS (3) BOURGEONS VIABLES REQUIS SUR LA SECTION DU PLANÇON AU DESSUS DE LA SURFACE D'ENROCHEMENT;
- PROFONDEUR MINIMALE DE PLANTATION: LES PLANÇONS DOIVENT ÊTRE ENFONCÉES DANS LE SOL EXISTANT AMEUBLI À UNE PROFONDEUR MINIMALE DE 500mm

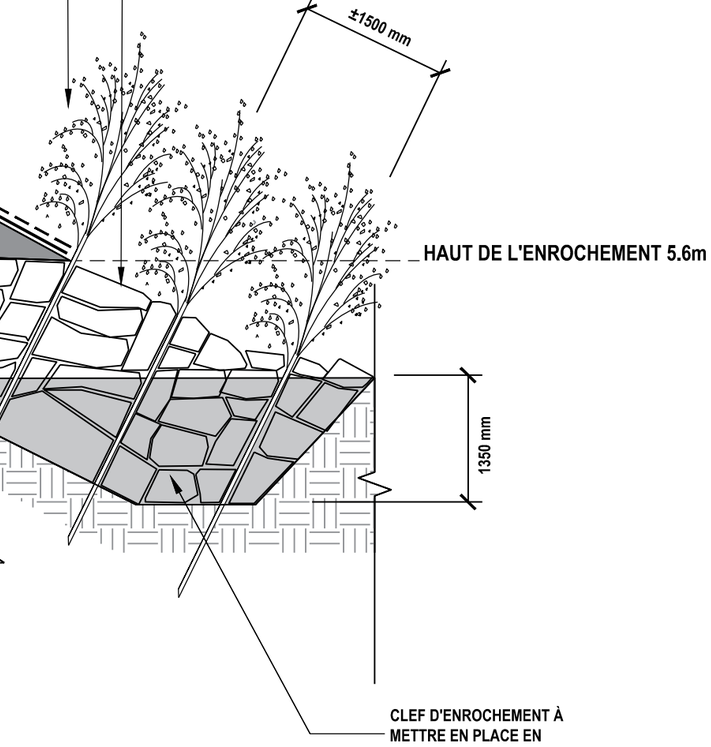
ENROCHEMENT:

- CALIBRE: 500-850mm
- ÉPAISSEUR: 1350mm



ENSEMENCEMENT HYDRAULIQUE PROTÉGÉ PAR UN MATELAS DE FIBRE DE BOIS OU DE PAILLE - VUE EN PLAN (sans échelle)

FAGOTS - VUE LATÉRALE (sans échelle)



Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

NOTES POUR LA PLANTATION DES PLANÇONS:

1. Les espèces végétales choisies devront être pré-approuvées avant la plantation;
2. Les variétés arbustives sélectionnées devront avoir une hauteur minimale générale à maturité de 2000 mm;
3. Les végétaux doivent appartenir à des espèces convenant à la zone de rusticité des terrains où ils doivent être plantés.
4. Les végétaux doivent appartenir à des espèces convenant à l'emplacement où ils sont destinés.
5. À la fin de la saison d'automne de la première année de croissance, les tiges devront être coupées à +/- 30 cm de la surface de l'enrochement, après la chute des feuilles.
6. L'installation des boutures doit être effectuée pendant la période de dormance des végétaux, soit au printemps dès que les sols sont dégelés jusqu'à l'apparition des feuilles, ou à l'automne entre la fin de l'août ement (mi- septembre) et le début du gel des sols. Les travaux pourront se terminer au plus tard le 31 octobre.

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG	2019-02-27 AAAA.MM.JJ
Camille Zaroubi — Préparé	Camille Zaroubi — Dessiné
Mario Heppell — Vérifié	Joëlle Duguay — Chargé de projet

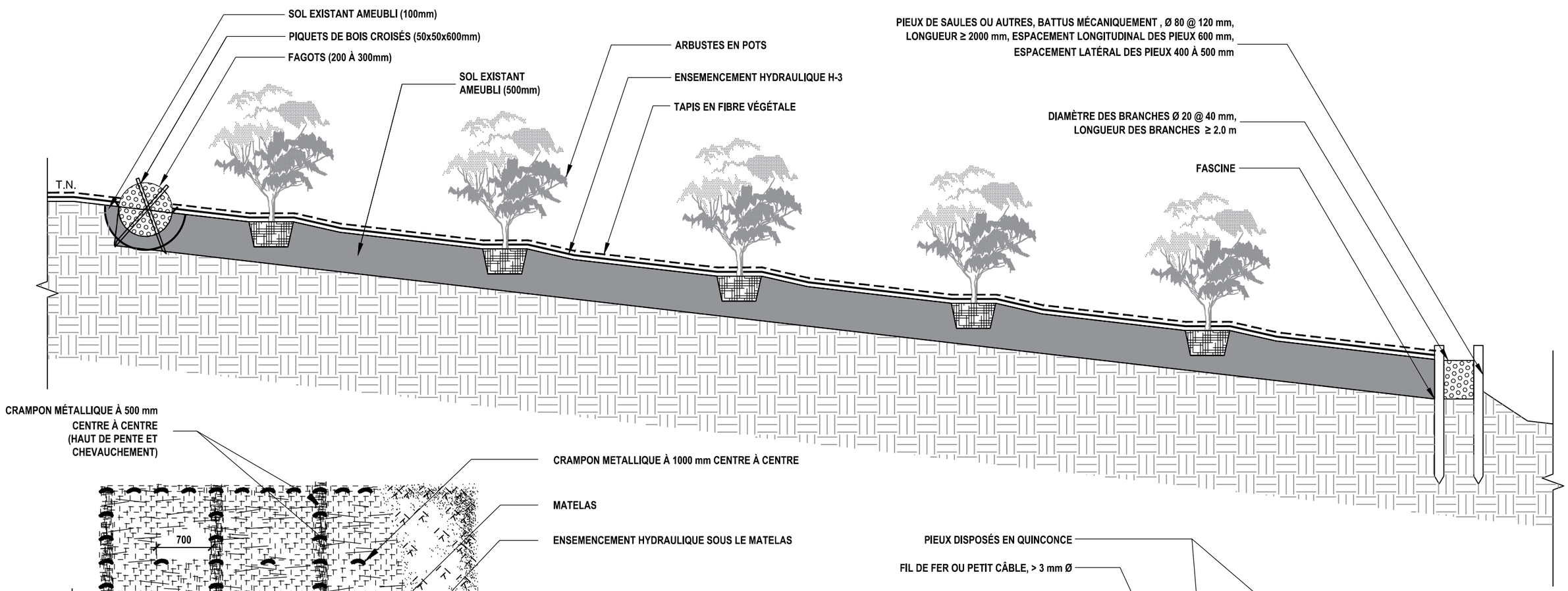
Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

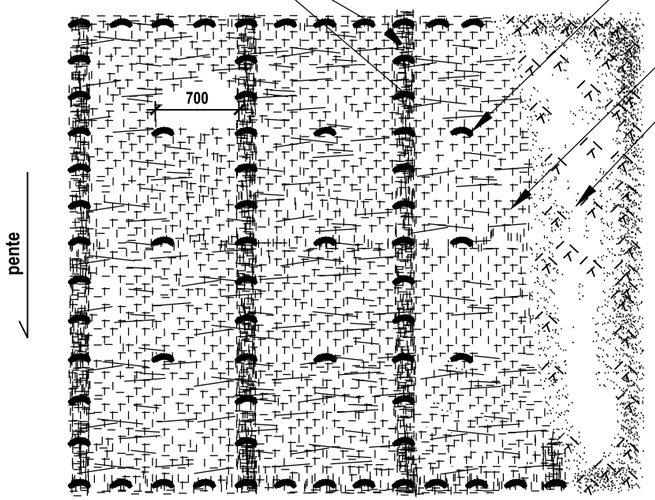
ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER QUESTIONS MELCC

Titre
COUPE TYPE 3 - Tronçon T6a

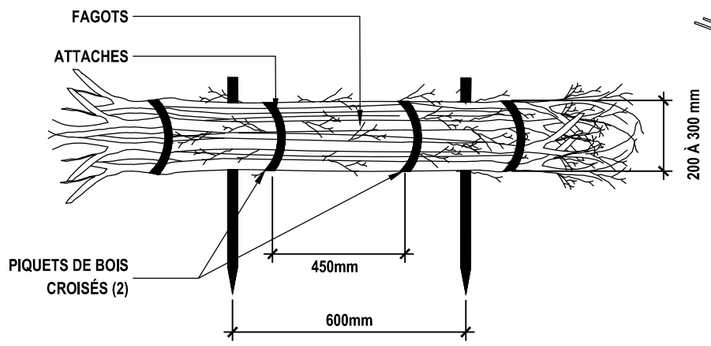
Nº Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:50	
Révision	Feuille	Nº dessin
00	03 de 04	AM-03

u:\167040090\x5_cad\am\dwg\2019.02.21_167040090_coupes
2019.02.26 8:25:16 AM
11x17

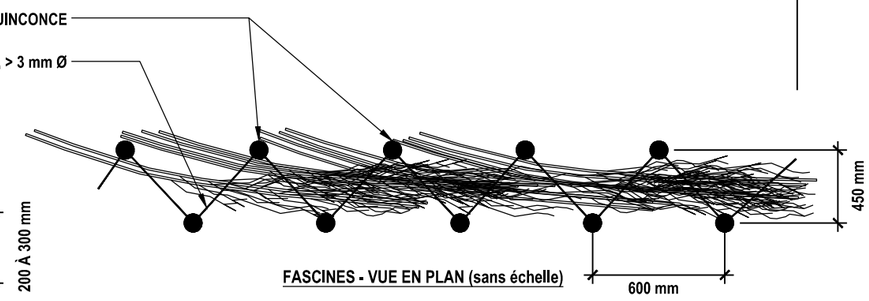




ENSEMENCEMENT HYDRAULIQUE PROTÉGÉ PAR UN MATELAS DE FIBRE DE BOIS OU DE PAILLE - VUE EN PLAN (sans échelle)



FAGOTS - VUE LATÉRALE (sans échelle)



FASCINES - VUE EN PLAN (sans échelle)

u:\167040090\z5_cad\cm\dwg\2019.02.21_167040090_coupes

2019.02.26 8:26:44 AM

11x17

Stantec
Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG		2019-02-27 AAAA.MM.JJ
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi	
Préparé	Dessiné	
Mario Heppell	Joëlle Duguay	
Vérifié	Chargé de projet	

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

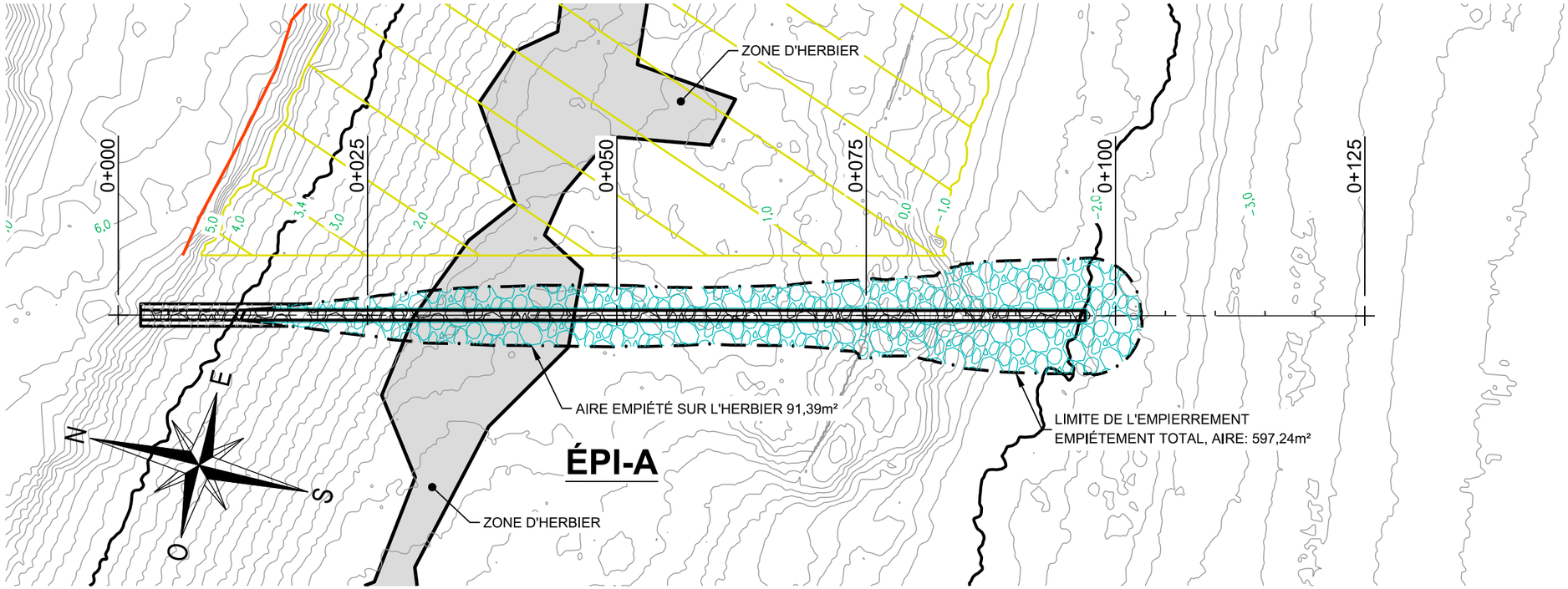
ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER QUESTIONS MELCC

Titre
COUPE TYPE 4 - Tronçons T6c et T7a

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:50	
Révision	Feuille	N° dessin
00	04 de 04	AM-04

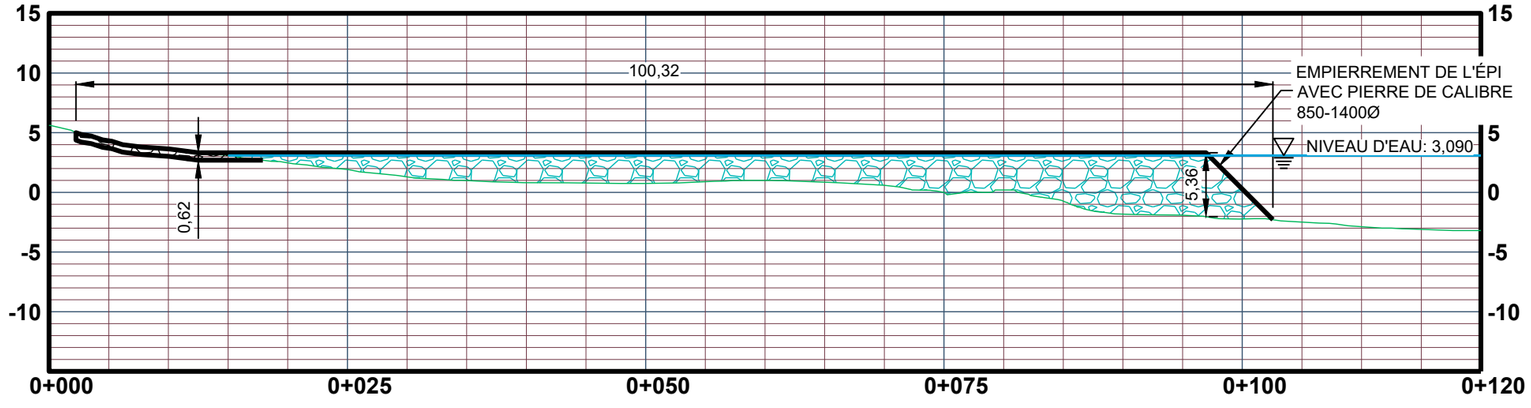
ANNEXE D

COUPE-TYPE - ÉPIS



ÉPI-A

ÉL. EXISTANTE	4,32	3,64	3,09	2,47	1,91	1,30	0,99	0,81	0,78	0,75	0,89	1,00	0,85	0,59	0,00	0,20	-0,74	-1,82	-1,92	-2,23	-2,50	-2,88	-3,11



Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Notes

Nom fichier: 167040090-VR-D-0001_0003.DWG

2019-02-22
AAAA.MM.JJ

Sarah Bacon	Daniel Turcotte
Préparé	Dessiné
Mario Heppel	
Vérifié	Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre

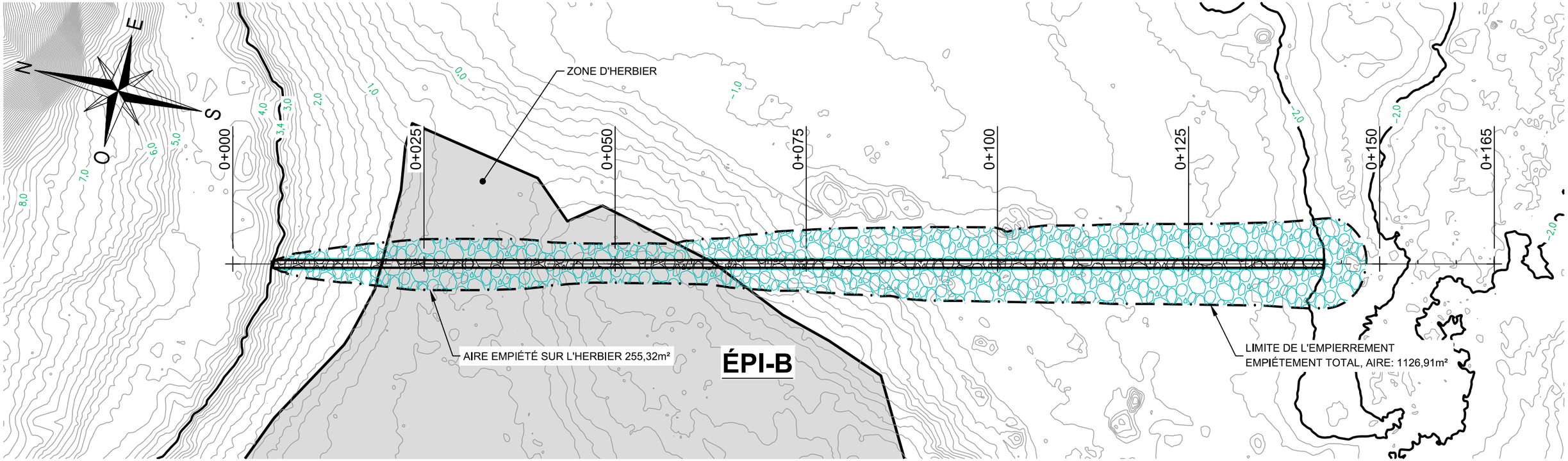
PLAN ET PROFIL ÉPI-A ET SECTION TYPE EMPIERREMENT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:500	
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
A	02 de 04	0002

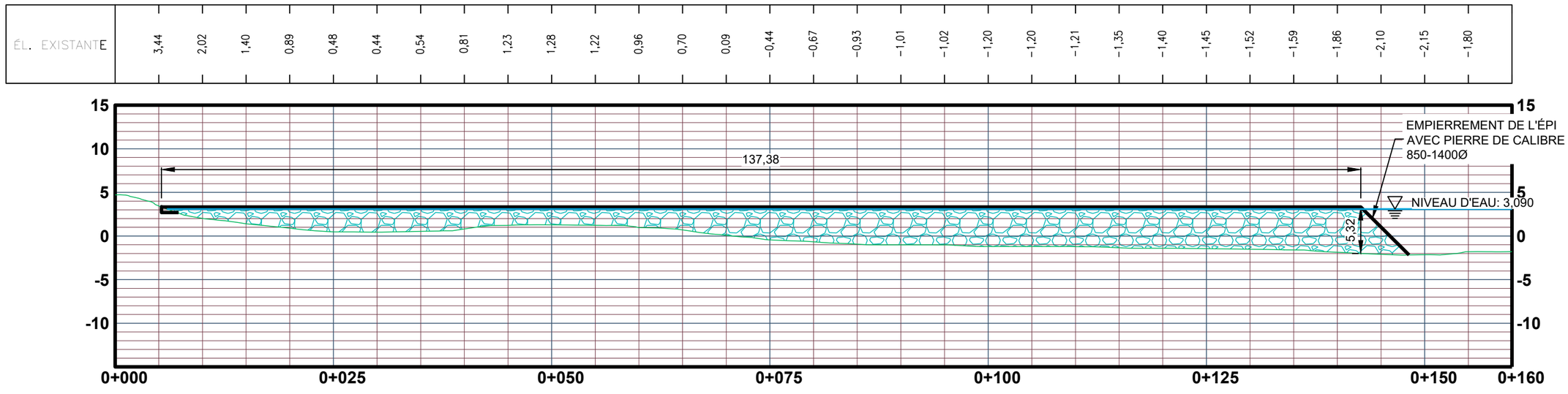
\\cd1127-f01\projets_partages\167040090\25_cad\vr\167040090-vr-d-0001_0003

2019.02.27 1:55:15

11x17



ÉPI-B



Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Notes

Nom fichier: 167040090-VR-D-0001_0003.DWG

2019-02-22
AAAA.MM.JJ

Sarah Bacon	Daniel Turcotte
Préparé	Dessiné
Mario Heppel	
Vérifié	Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

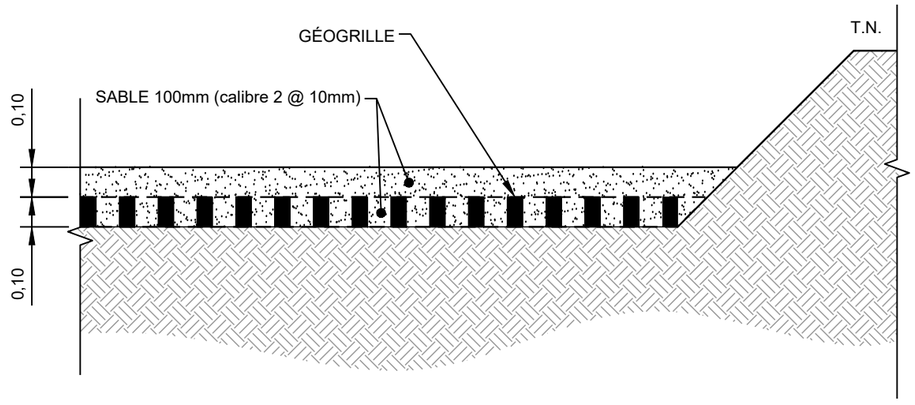
ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre

PLAN ET PROFIL ÉPI-B

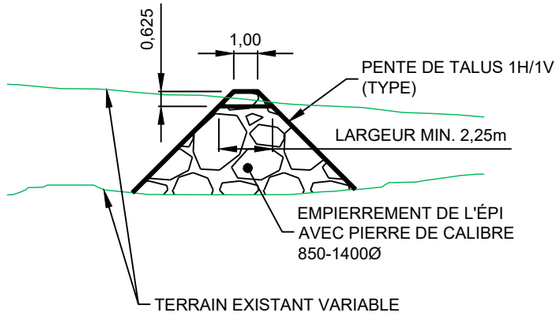
N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:500	
Révision	Feuille	N° dessin
A	03 de 04	0003

\\cd1127-f01\projets_partages\167040090\25_cad\vr\167040090-vr-d-0001_0003
2019.02.27 1:55:30
11x17



DÉTAIL TYPE DE RECHARGE DE PLAGE

ÉCHELLE AUCUNE



SECTION TYPE D'UN ÉPI

ÉCHELLE AUCUNE

\\cd1127-f01\projets_partages\167040090\25_cad\vr\167040090-vr-d-0001_0003

2019.02.27 1:55:37

11x17

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Notes

Nom fichier: 167040090-VR-D-0001_0003.DWG

2019-02-22
AAAA.MM.JJ

Sarah Bacon
Préparé

Daniel Turcotte
Dessiné

Mario Heppel
Vérifié

Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

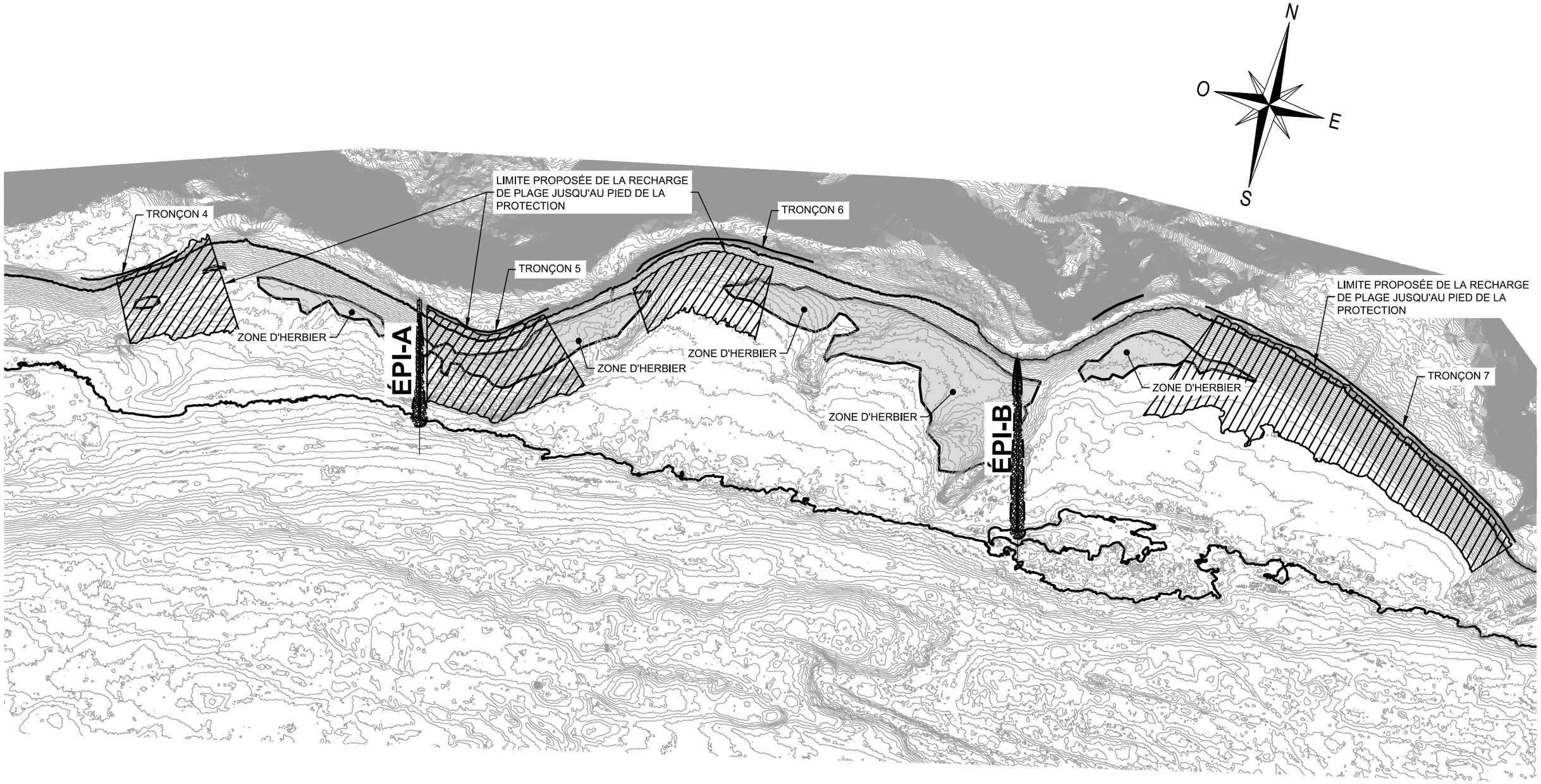
ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER QUESTIONS MELCC

Titre

SECTION ET DÉTAIL TYPE

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	AUCUNE	
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
A	04 de 04	0004

ANNEXE E
ZONES DE RECHARGE DE PLAGE ET SÉDIMENTATION



Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Notes

Nom fichier: 167040090-VR-D-0001_0003.DWG

2019-02-22
AAAA.MM.JJ

Sarah Bacon
Préparé

Daniel Turcotte
Dessiné

Mario Heppel
Vérifié

Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre

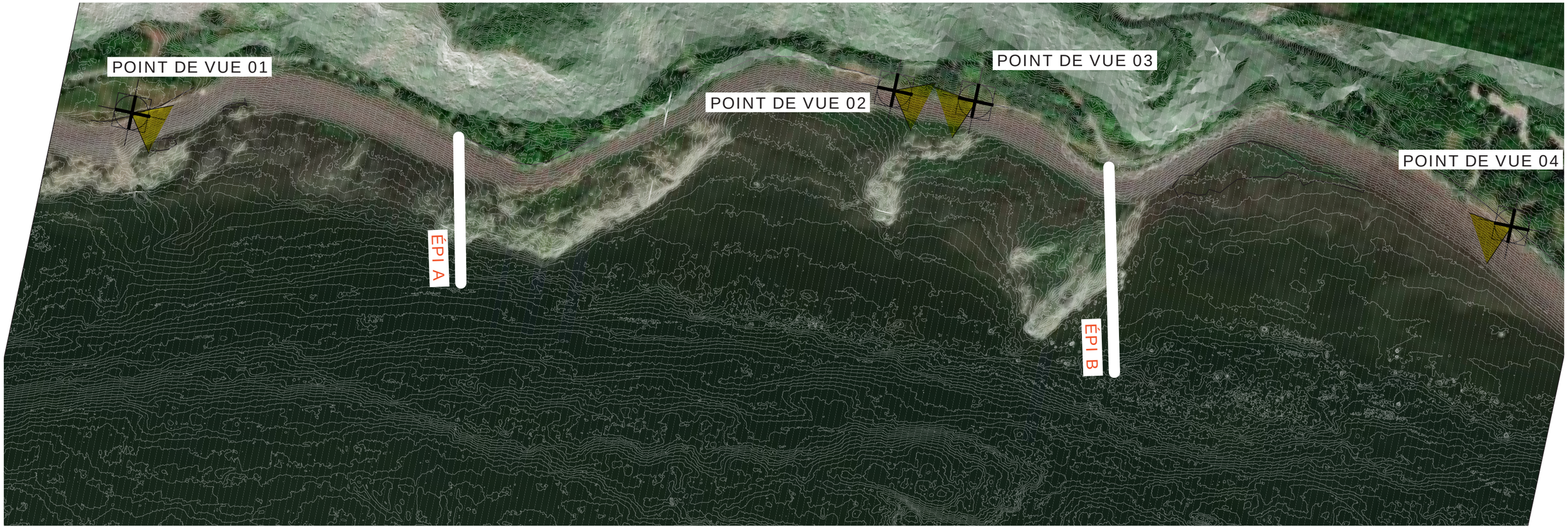
VUE EN PLAN ET LOCALISATION DES ÉPIS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090	1:3000	
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
A	01 de 04	0001

\\cd1127-f01\projets_partages\167040090\z5_cad\vr\167040090-vr-d-0001_0003
2019.02.27 1:55:00
11x17

ANNEXE F

SIMULATIONS VISUELLES



INDEX DES VUES

- **SIM 01 -** Point de vue 1 - Vue éloignée - AVANT
- **SIM 02 -** Point de vue 1 - Vue éloignée - APRÈS
- **SIM 03 -** Point de vue 1 - Vue rapprochée - AVANT
- **SIM 04 -** Point de vue 1 - Vue rapprochée - APRÈS
- **SIM 05 -** Point de vue 2 - AVANT
- **SIM 06 -** Point de vue 2 -APRÈS
- **SIM 07 -** Point de vue 3 - Vue éloignée - AVANT
- **SIM 08 -** Point de vue 3 - Vue éloignée - APRÈS
- **SIM 09 -** Point de vue 3 - Vue rapprochée - AVANT
- **SIM 10 -** Point de vue 3 - Vue rapprochée - APRÈS
- **SIM 11 -** Point de vue 4 - AVANT
- **SIM 12 -** Point de vue 4 -APRÈS

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
INDEX DES VUES

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 00**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi — Préparé
Camille Zaroubi — Dessiné
Mario Heppell — Vérifié
Joëlle Duguay — Chargé de projet

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 1 - Vue éloignée
AVANT

N° Projet: 167040090
Échelle:
Date Révision:
Révision: 00
Feuille: de
N° dessin: **SIM 01**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 1 - Vue éloignée
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 02**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 1 - Vue rapprochée
AVANT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 03**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Préparé	Dessiné
Mario Heppell	Joëlle Duguay
Vérifié	Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER QUESTIONS MELCC

Titre

Point de vue 1 - Vue rapprochée
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 04**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi
Préparé

Camille Zaroubi
Dessiné

Mario Heppell
Vérifié

Joëlle Duguay
Chargé de projet

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 2
AVANT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 05**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 2
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 06**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi
Préparé

Camille Zaroubi
Dessiné

Mario Heppell
Vérifié

Joëlle Duguay
Chargé de projet

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 3 - Vue éloignée
AVANT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 07**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 3 - Vue éloignée
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 08**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Préparé	Dessiné
Mario Heppell	Joëlle Duguay
Vérifié	Chargé de projet

Client/Projet

VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre

Point de vue 3 - Vue rapprochée
AVANT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 09**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 3 - Vue rapprochée
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 10**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 4
AVANT

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 11**

Stantec

Stantec Experts-conseils ltée
1260, boul. Lebourgneuf, bureau 250
Québec (Québec) G2K 2G2
Tél. 418.626.1688
www.stantec.com

Nom fichier: 2019.02.21_167040090_COUPES.DWG

2019-02-26
AAAA.MM.JJ

Préparé	Dessiné
Camille Zaroubi	Camille Zaroubi
Vérifié	**Chargé de projet**
Mario Heppell	Joëlle Duguay

Client/Projet
VILLE DE QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT, PLAGE JACQUES-CARTIER
QUESTIONS MELCC

Titre
Point de vue 4
APRÈS

N° Projet	Échelle	Date Révision
167040090		
Révision	**Feuille**	**N° dessin**
00	de	**SIM 12**

Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier (version 04)

Ville de Québec
Février 2019
Projet : 167040090

Stantec

Annexe C BILAN DE LA CONSULTATION ET PRÉSENTATION POWERPOINT

Compte rendu

VILLE DE QUÉBEC
l'accent d'Amérique

Service de l'interaction citoyenne
Direction

Séance d'information et de consultation

Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier

Lundi 24 septembre 2018, 19 h, Édifice Andrée-P. Boucher, salle du conseil

Représentants de la Ville de Québec

- Mme Anne Corriveau, conseillère municipale du district de la Pointe-de-Sainte-Foy;
- M. Guy Laliberté, directeur de la Division des réseaux périphérie, Service de l'ingénierie;
- Mme Chantal Émond, ingénieure, responsable du projet - Service de l'ingénierie,
- M. Stéphane Lévesque, premier technicien en génie civil, chargé de projets - Service de l'ingénierie;
- M. Alexandre Baker, conseiller en environnement, Service de la planification de l'aménagement et de l'environnement;
- Cristina Bucica, conseillère en consultations publiques, Service de l'interaction citoyenne.

Également présents dans la salle :

- M. Rémy Normand, conseiller municipal du district électoral du Plateau, président du conseil d'arrondissement de Sainte-Foy–Sillery–Cap-Rouge et vice-président du comité exécutif;
- Mme Isabelle Dubois, directrice de l'Arrondissement de Sainte-Foy–Sillery–Cap-Rouge;
- M. Richard Marchand, directeur de la division culture loisir et vie communautaire, de l'Arrondissement de Sainte-Foy–Sillery–Cap-Rouge.

- Mme Joëlle Duguay, B. Sc, chargée de projet, biologiste - Stantec ;
- M. Mario Heppell, biologiste - aménagiste, M.ATDR - Stantec.

50 citoyens ou représentants d'organismes

Déroulement de la rencontre

- Mot d'introduction par Mme Anne Corriveau, conseillère municipale du district de la Pointe-de-Sainte-Foy.

- Objectifs de la rencontre et déroulement par Cristina Bucica

– Présenter:
    - les travaux prévus pour la stabilisation des berges;
    - les mesures d'atténuation proposées;
    - l'échéancier et le processus de consultation qui seront mis en place par le gouvernement en vue de l'obtention de l'autorisation du MDDELCC pour la réalisation de ces travaux;
– Entendre les préoccupations des citoyens et répondre à leurs questions sur les travaux prévus.

On précise qu'il s'agit d'une séance d'information et de consultation organisée par la Ville de Québec en amont du processus de consultation qui sera mis en place cet automne par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE).

- Présentation des travaux de stabilisation des berges proposés par la Ville de Québec par M. Guy Laliberté, directeur de la Division des réseaux périphérie, Service de l'ingénierie :

– Mise en contexte;
– Description du projet;
– Impacts et mesures d'atténuation;
– Échéancier.

- Période de questions et commentaires du public.

Questions et commentaires des citoyens

15 personnes se sont présentées au micro et 24 interventions ont été faites. Voici un résumé des questions et commentaires regroupés par thèmes :

L'enrochement et la recharge de plage

- Quelques participants se questionnent et aimeraient en savoir davantage sur la méthode de l'enrochement. Ils demandent si des expertises et si des comparaisons avec des cas similaires ont été faits. Les professionnels donnent alors les explications sur la méthode de l'enrochement et expliquent pourquoi cette dernière a été retenue.
- Certains s'inquiètent de la possibilité que la méthode de l'enrochement aggrave le problème d'érosion, comme on l'a déjà vu ailleurs. On demande en quoi cette méthode aurait de meilleurs résultats que ceux issus des travaux faits à l'époque de l'aménagement de la plage. On fait plusieurs fois allusion aux travaux faits par le passé du côté ouest de la plage. Les professionnels réitèrent alors la justification du choix de cette méthode.
- Quelques questions très techniques sont aussi soulevées. Cependant, pour des raisons de temps et pour ne pas perdre l'intérêt de ceux moins intéressés par ces aspects très techniques, on y répond succinctement. D'ailleurs, l'ingénieur, spécialiste du volet hydrologie et hydro sédimentologie, n'était pas présent, puisque le but de la rencontre était avant tout de présenter le projet, ses impacts, les mesures d'atténuation et l'échéancier des travaux.
- La durabilité et la résistance des ouvrages d'ingénierie maritimes proposés sont également soulevés On explique que ces aspects ont été pris en compte.
- L'ajout d'épis soulève des questionnements, entre autres, sur l'impact qu'ils pourraient avoir sur la qualité de l'eau. Les professionnels rassurent les participants sur cette inquiétude.
- On soulève que l'augmentation du transport maritime pourrait engendrer des conséquences sur l'érosion. Compte tenu de la distance, on ne craint pas ces effets.
- Quelques questions portent sur les recharges de plage. Les participants demandent des précisions sur les matériaux utilisés et la méthode de mise en place, sur les impacts qu'elles créeront et sur leur comportement. Les explications sont alors fournies.

- La nécessité d'entretenir les ouvrages de stabilisation sur une base régulière est suggérée afin d'assurer leur bon état.
- L'idée de profiter de la planification de travaux pour dissimuler le gros tuyau pluvial, qu'on peut observer dans ce secteur, est soulevée. La situation de la falaise, où une section a été sécurisée à cause d'éboulements, fait aussi partie des préoccupations émises par les utilisateurs. On prend note de la suggestion.
- On souligne que les questions plus techniques posées au niveau hydraulique et maritime (vagues, vent, marée) avaient aussi été soulevées par le MDDELCC dans le document « Questions et commentaires » du MDDELCC en date du 26 juillet 2018, qui est disponible dans le Registre des évaluations environnementales sur le site du MDDELCC. Ces dernières seront analysées par l'équipe du consultant Stantec et l'ingénieur spécialiste du volet hydrologie et hydro sédimentologie.

Usage du sentier

- Quelques participants sont intéressés par le réaménagement du sentier et demandent des précisions concernant son futur emplacement et son usage. Des échanges à propos de la possibilité d'y aménager une piste cyclable ont aussi lieu et on explique pourquoi un tel aménagement est impossible à réaliser à cet endroit.

Circulation

Il est question de la circulation et de la sécurité pendant les travaux. Les résidants expriment leurs craintes quant à l'accès au chemin de la plage. On confirme que le stationnement du parc nautique restera ouvert et qu'un signaleur sera sur place pour veiller à ce que les résidants accèdent à leur propriété sécuritairement.

La circulation des camions est aussi un impact qui interpelle les participants. Ces derniers s'informent de leur accès au site, d'autres de leur utilisation de la côte du pavillon, qu'ils considèrent très dangereuse, compte tenu de la mauvaise visibilité. Il est également question de la circulation des camions sur le boulevard de la Chaudière.

On précise que lors des chantiers, un dépliant d'information contenant la nature des travaux et les coordonnées d'une personne-ressource de la Ville ainsi que du surveillant de chantier est distribué aux résidants concernés.

La Ville de Québec va s'assurer que la sécurité du chantier soit prise en compte par les consultants et les entrepreneurs lors de la réalisation des travaux.

Aménagement

La planification des travaux serait pour certains le moment idéal pour prévoir la bonification de cet espace, pour consulter les utilisateurs du lieu sur ce qui devrait être prévu dans le nouvel aménagement. Par exemple, il est question de mobiliers harmonisés, d'utiliser des matériaux naturels qui s'apparenteraient au style du site. On prend note des idées émises et suggère aux gens de communiquer avec la Ville si d'autres idées ou besoins leur venaient en tête.

Environnement

Puisqu'il y aura de la circulation sur la plage lors des travaux de recharge de plage et de mise en place d'épis, des préoccupations sont émises quant aux possibles impacts sur les milieux de vie aquatiques et aviaires. Les professionnels donnent des précisions et rassurent les participants sur la prise en compte de ces impacts.

Des préoccupations en lien avec les arbres qui devront être abattus sont émises. Un participant demande des précisions sur la taille de ceux qui seront plantés en remplacement. On explique que le réaménagement du site prévoit un choix de végétation, des essences, ainsi qu'une taille d'arbres suffisante pour assurer leur survie et obtenir un résultat visuellement intéressant. On spécifie que pour chaque arbre abattu, il y aura un arbre de planté.

Priscilla Lafond, conseillère en consultations publiques
27 septembre 2018

Séance d'information et de consultation publique

Projet de stabilisation des berges du parc de la Plage-Jacques-Cartier

24 septembre 2018

VILLE DE QUÉBEC

l'accent d'Amérique

Présentation des ressources

Ville de Québec

- **Guy Laliberté**, ing. directeur de division
- **Chantal Émond**, ing., responsable du projet
- **Stéphane Lévesque**, premier technicien en génie civil, chargé de projets
- **Alexandre Baker**, conseiller en environnement

Consultant – Stantec

- **Joëlle Duguay**, chargée de projet biologiste, B. Sc.
- **Mario Heppell**, biologiste-aménagiste, M. ATDR

Plan de la présentation

1. Mise en contexte
2. Description du projet
3. Impacts et mesures d'atténuation
4. Échéancier
5. Conclusion
6. Période de questions et de commentaires

Mise en contexte

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

Localisation

Description de la problématique d'érosion

Description de la problématique d'érosion

Bref historique des interventions

2010 et suivantes : Travaux de sécurisation

2012 : Étude pour déterminer les priorités d'intervention

2014 : Plans et devis pour le secteur ouest (prioritaire)

2015 : Demande de soustraction pour le secteur ouest
→ Rejet du MDDELCC

2016 : Études préalables à l'étude d'impact sur l'environnement pour la totalité du parc

2017 : Réalisation de l'étude d'impact sur l'environnement

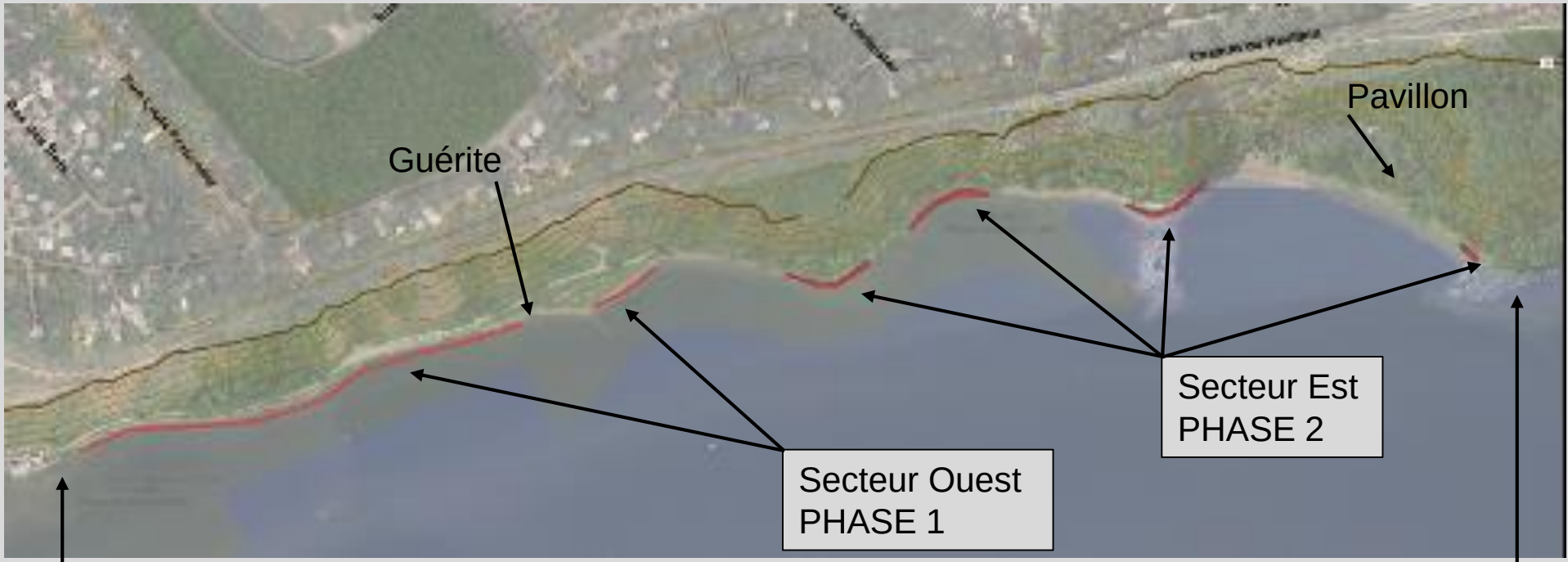
2018 : Dépôt de l'étude d'impact sur l'environnement

Description du projet

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

Identification des zones d'intervention

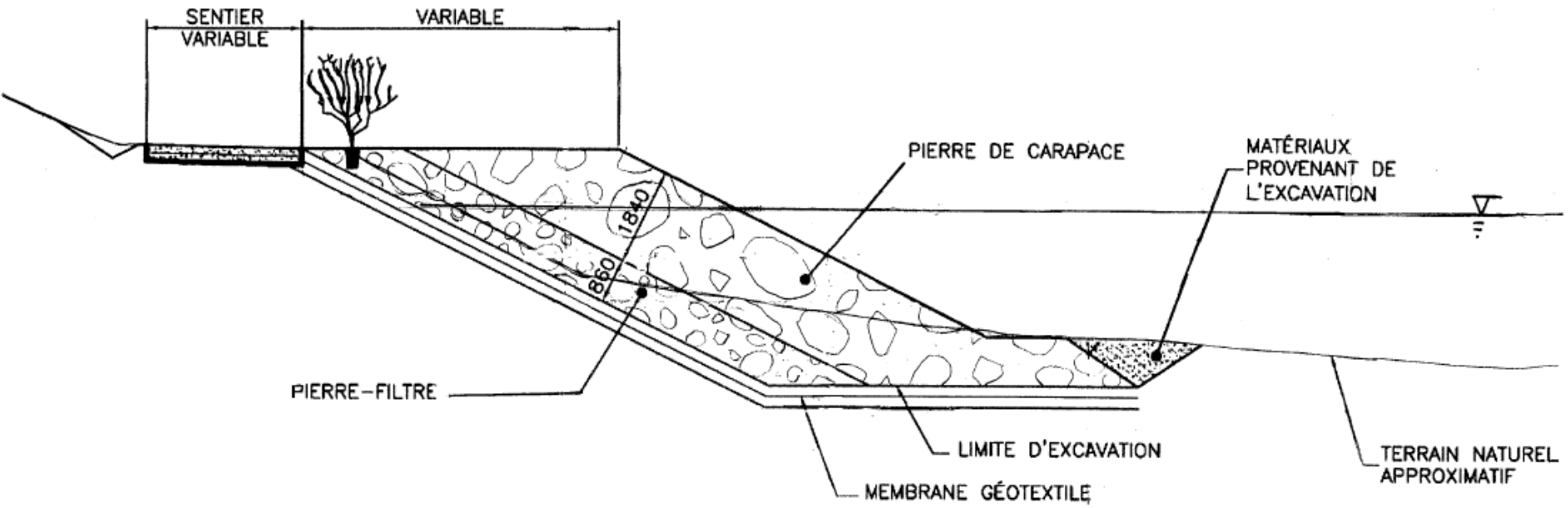


Identification des zones d'intervention

Secteur ouest

Coupe type

Secteur ouest



Exemples d’aménagement proposés

Secteur ouest - enrochement

Exemples d’aménagement proposés

Secteur ouest – enrochement végétalisé

Identification des zones d'intervention

Secteur est

- Enrochement végétalisé
- Génie végétal
- Digue en enrochement (épis)
- Recharge de la plage avec géogrille
- Stabilisation de la plage par des recharges lorsque requis pour une période de 10 ans

Exemples d’aménagement proposés

Secteur est – digue en enrochement (épi)

Exemples d'aménagement proposés

Secteur est – digue en enrochement (épi)

Impacts et mesures d’atténuation

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

Milieu humain

Fermeture du sentier pendant les travaux et limite de pratique d’activités récréotouristiques

- Signalisation sur place, avant et pendant les travaux
- Diffusion de l’information sur le site Internet de la Ville
- Présence d’un surveillant de chantier et d’un signaleur lorsque requis

Modification du paysage

- Considération des vues existantes et maintien des percées visuelles
- Maintien de la végétation existante lorsque possible

Nuisance temporaire durant les travaux (bruit, poussière, véhicules lourds, entraves à la circulation)

- Avis de travaux de soir et nuit, abats poussière, signalisation, nettoyage de rues
- Réalisation des travaux lourds prévue en dehors de la période estivale

Milieu physique

Contamination des eaux de surface en cas de déversement accidentel

- Huile biodégradable utilisée pour la machinerie
- Trousses de mesures d'urgence

Turbidité (eau trouble) de l'eau de surface

- Barrières à sédiments
- Machinerie utilisée en haut de talus
- Travaux réalisés à marée basse

Modification de la qualité des sols pour la construction du chemin d'accès

- Géotextile séparant les sols existants et la fondation du chemin d'accès

Milieu biologique

Faible perte de couvert végétal

- Protection des végétaux à conserver
- Remplacement des végétaux perdus

Empiètement permanent dans le littoral

- Compensations environnementales

Perturbation faunique

- Réalisation des travaux hors de la période de reproduction et de nidification (période du 1er avril au 31 août)

Échéancier

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

Prochaines étapes

ÉTAPES	Sans audience	Avec audience
Avis de recevabilité au MDDELCC	Octobre 2018	Octobre 2018
Période d'information publique du BAPE	Novembre-décembre 2018	Novembre-décembre 2018
Période consultation au BAPE	s.o.	Janvier-août 2019
Recommandation du ministre	Avril 2019	Août 2019
Émission du décret ministériel	Mai-juin 2019	Septembre-octobre 2019
Réalisation des plans, devis et certificat d'autorisation	Juillet 2019 -mars 2020	Nov. 2019-juillet 2020
Réalisation des travaux secteur ouest	Automne 2020	Automne 2020
Programme de suivi environnemental secteur ouest	Durée de 5 ans	Durée de 5 ans
Réalisation des travaux secteur est	Automne 2021 et plus	Automne 2021 et plus
Programme de suivi environnemental secteur est	Durée de 10 ans	Durée de 10 ans

Conclusion

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

Orientations de la Ville de Québec

- Maintenir l’usage du parc
- Préserver l’accès au fleuve, le sentier et la plage
- Préserver la qualité du paysage
- Assurer la sécurité des utilisateurs du parc
- Mettre en place une solution durable

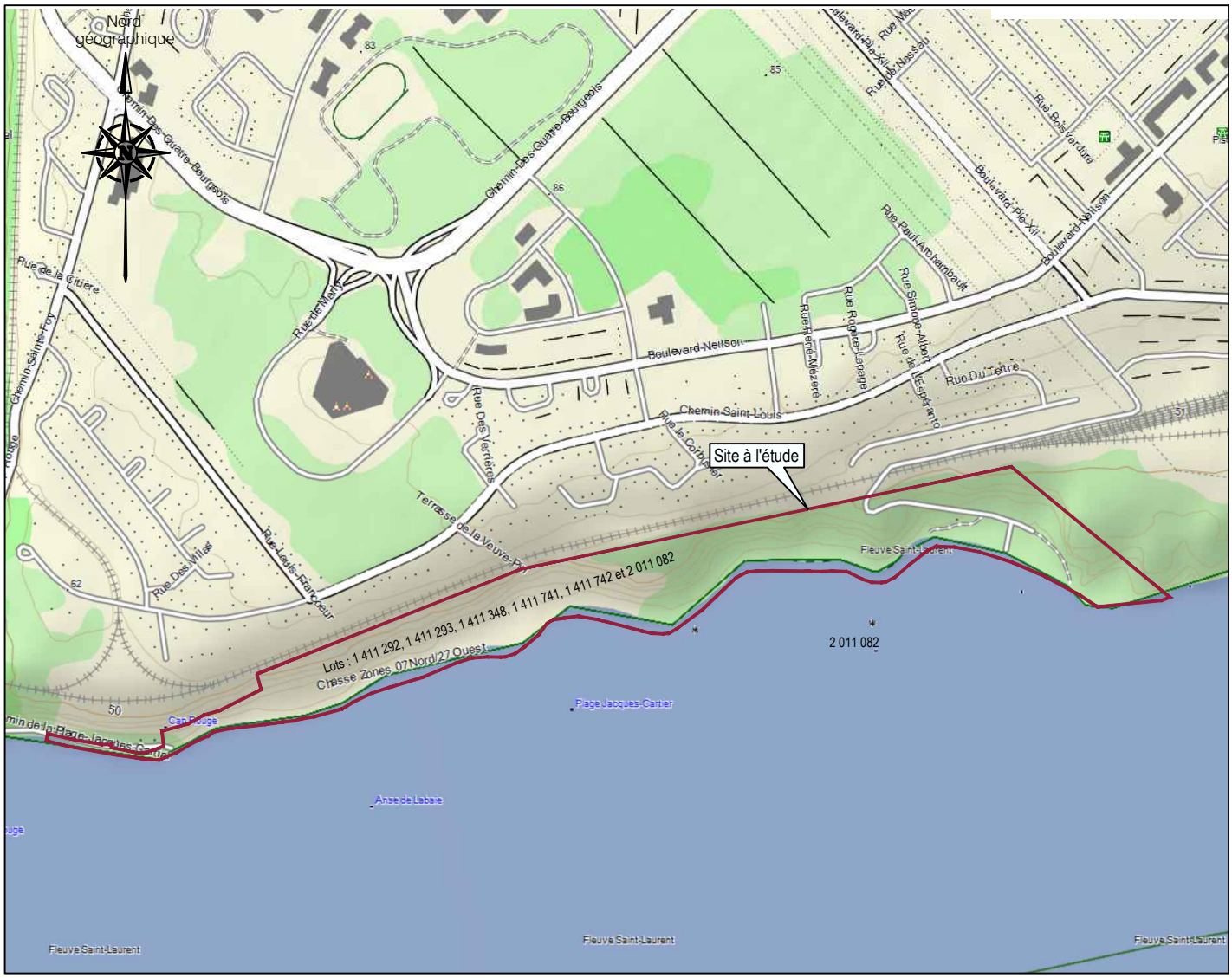
Questions et commentaires

PROJET DE STABILISATION DES BERGES DU PARC DE LA PLAGE-JACQUES-CARTIER

VILLE DE QUÉBEC

l'accent d'Amérique

Annexe D PLANS ET FIGURES DES ÉTUDES DE CARACTÉRISATION (PHASES I ET II) DU GROUPE ABS



Source : Ministère des Ressources Naturelles/Topo QC v4/TrakMaps 1:20000 | Image © 2014 Google / © 2014 DigitalGlobe

Groupe ABS
44, rue John-A.-Scott, local 200
à Lévis, Québec, G6Z 8K7
418-210-0243 | courriel : quebec@groupeabs.com
Télec. : 418-988-0724

Dessiné par :	D. Lapierre, dessinateur
Vérifié par :	C. Desjardins, géo., M. Sc.
Approuvé par :	D. Charette, ing., P.Eng.
Date :	juin 2015
Client :	Ville de Québec

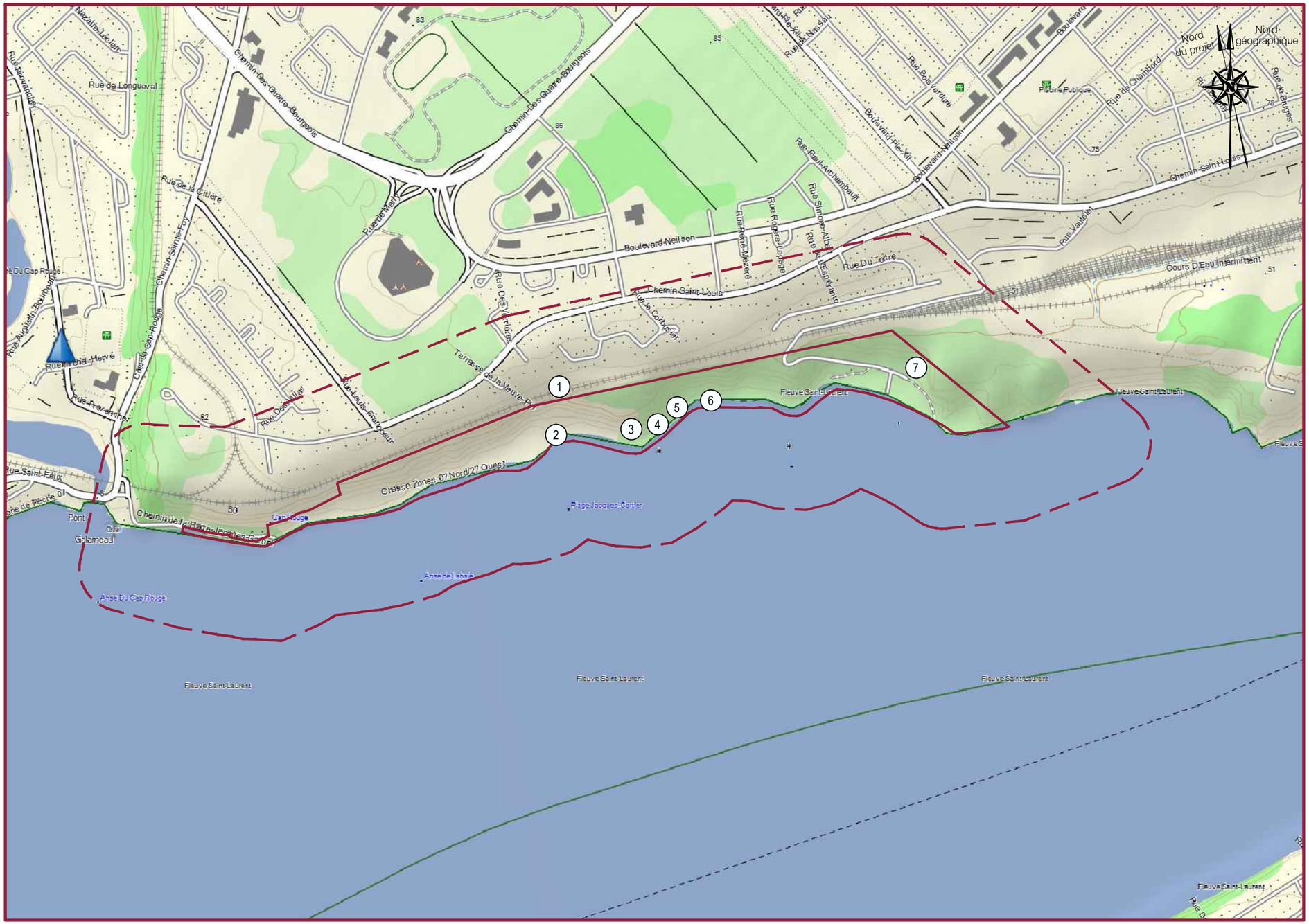
Titre : Localisation du site

Projet : Évaluation environnementale de site - Phase I

Emplacement : Plage Jacques-Cartier, arrondissement de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge à Québec, Québec

No. Client : QUEBEC103
No Projet : E7-14-1933-06
No Figure : FIG-01

Dernière sauvegarde: 6/8/2015 3:08 | Format : ANSI full bleed A (8.50 x 11.00 Inches)
Chemin: P:\8. Clients\2014\QUEBEC103 - Ville de Québec\14-1933 - VQ-47017\E7-14-193306 Plage Jacques Cartier\3. Rédaction du rapport\Plans et dessins\6 - Dessin maître AutocadE7141933306.dwg



Source : Ministère des Ressources Naturelles/Topo QC v4/TrakMaps 1:20000

LÉGENDE :

- Limite du site à l'étude
- Rayon de 250 m autour des limites de propriété
- (1) MDDELCC - Puits répertoriés dans le SIH

Date d'émission : juin 2015

Client : Ville de Québec

Groupe ABS
44, rue John-A.-Scott, local 200
à Lévis, Québec, G6Z 8K7
418-210-0243 | courriel : quebec@groupeabs.com
Télec. : 418-988-0724

Dessiné par : D. Lapierre, dessinateur
Vérifié par : C. Desjardins, géo., M. Sc.
Approuvé par : D. Charette, ing., P.Eng.

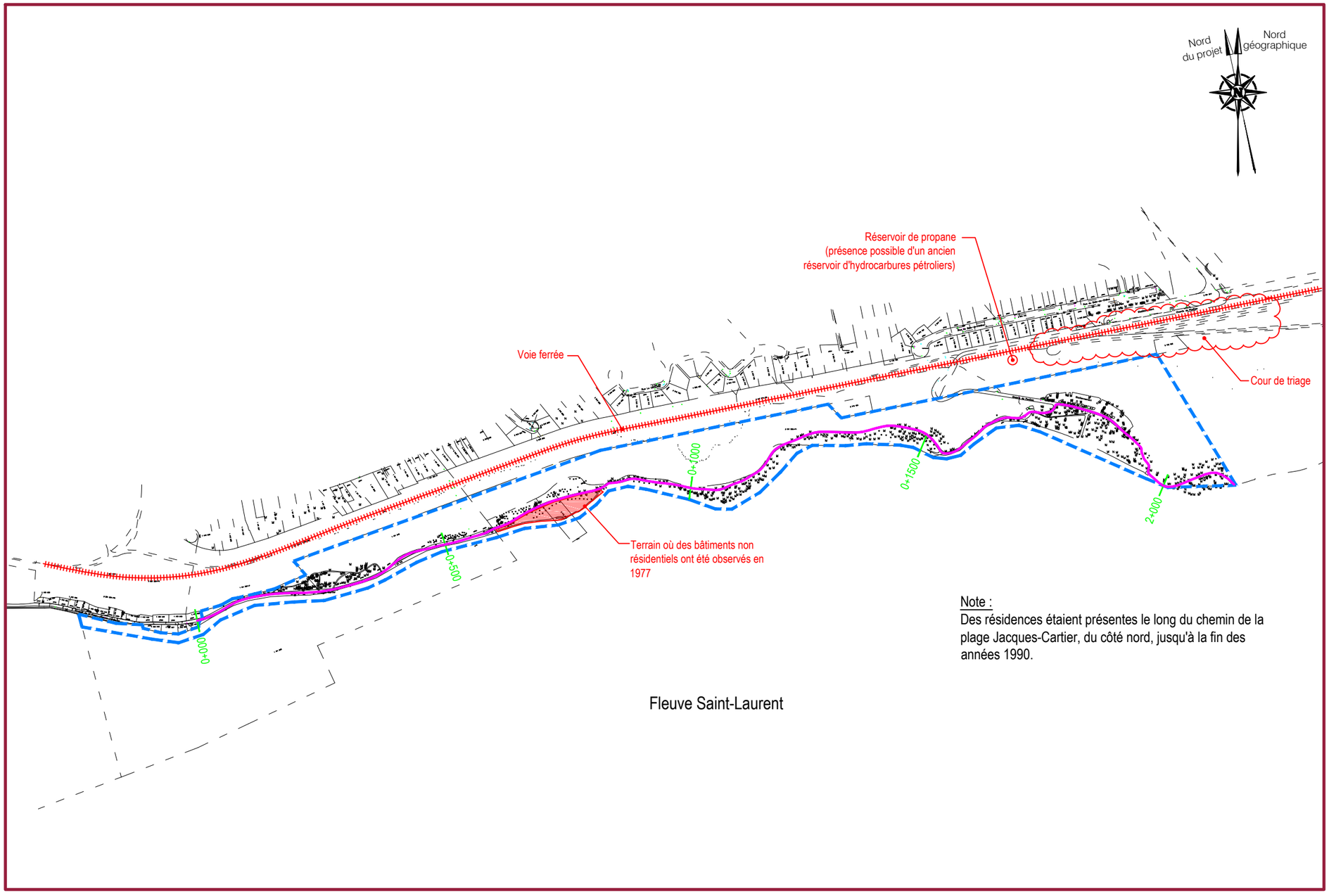
Titre :
Sites et ouvrages répertoriés dans un rayon de 250 mètres autour des limites de propriété

Projet :
Évaluation environnementale de site - Phase I

Emplacement :
Plage Jacques-Cartier, arrondissement de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge à Québec, Québec

Échelle : Aucune | No. Client : QUEBEC103
No Projet : E7-14-1933-06 | No Figure : FIG-02 | 1/1
No projet du client :

Dernière sauvegarde: 6/9/2015 3:08 | Format : ANSI full bleed B (11.00 x 17.00 Inches)
Chemin: P:\8. Clients\2014\QUEBEC103 - Ville de Québec\14-1933 - VQ-4701\E7-14-193306 Plage Jacques Cartier\3. Rédaction du rapport\Plans et dessins\6 - Dessins\6 - Dessin maitre Autocad\E714193306.dwg



Note :
Des résidences étaient présentes le long du chemin de la plage Jacques-Cartier, du côté nord, jusqu'à la fin des années 1990.

LOCALISATION DES ZONES À RISQUE

ÉCHELLE : 1:8000

0 100m 200m 300m 400m 500m

Source : Matrice fourni par la ville de Québec

LÉGENDE :

- Limite de la zone à l'étude
- Limite de lot
- Zone à risque
- Voie ferrée
- Tracé du chemin de la plage-Jacques-Cartier

Date d'émission : juin 2015

Client : Ville de Québec

Groupe ABS
44, rue John-A.-Scott, local 200
à Lévis, Québec, G6Z 8K7
418-210-0243 | courriel : quebec@groupeabs.com
Télec. : 418-988-0724

Dessiné par : D. Lapierre, dessinateur
Vérifié par : C. Desjardins, géo., M. Sc.
Approuvé par : D. Charette, ing., P.Eng.

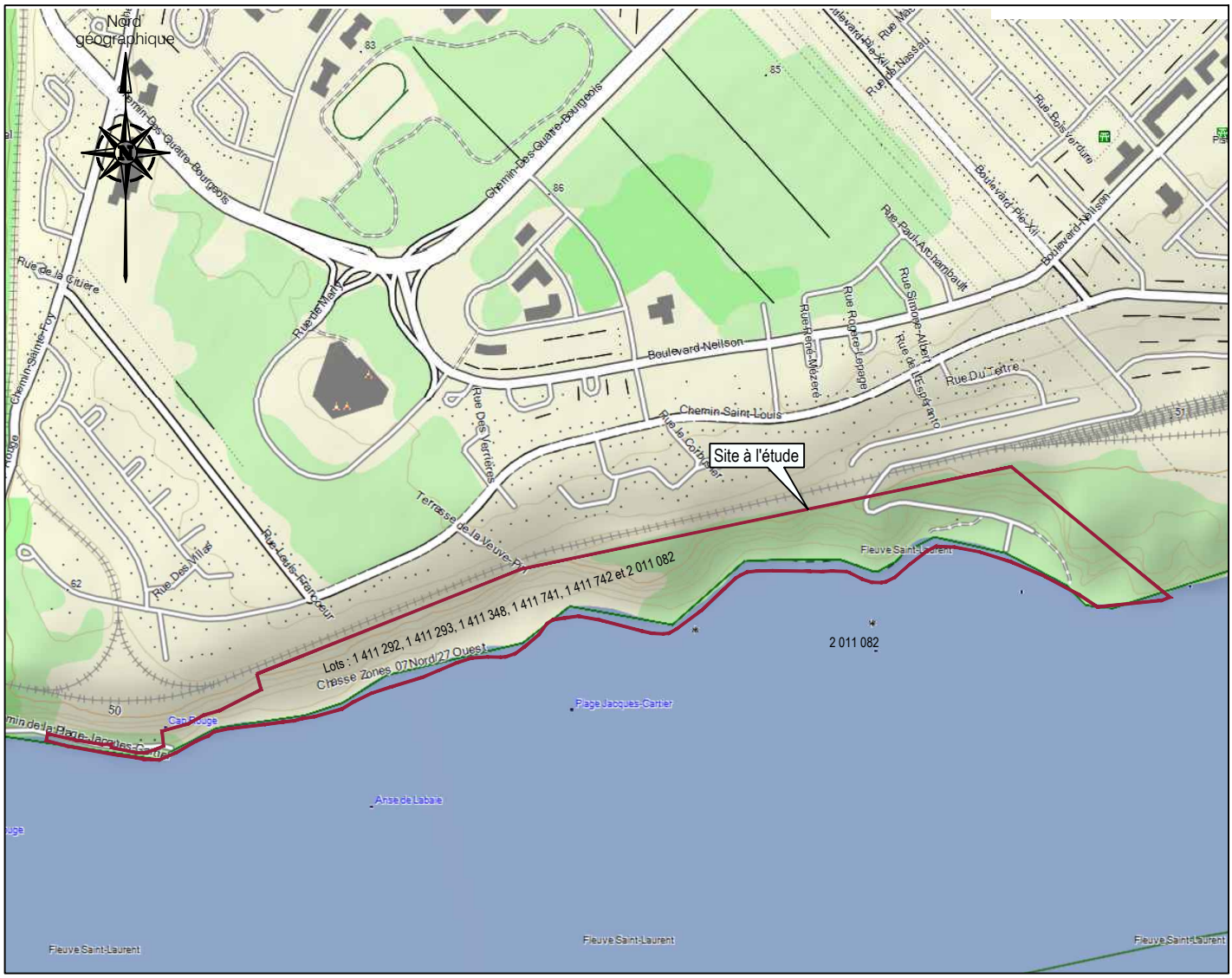
Titre :
Localisation des zones à risque

Projet :
Évaluation environnementale
de site - Phase I

Emplacement :
Plage Jacques-Cartier, arrondissement de
Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge
à Québec, Québec

Échelle : 1:8000 | No. Client : QUEBEC103
No Projet : E7-14-1933-06 | No Figure : FIG-03 | 1/1
No projet du client :

Dernière sauvegarde: 6/8/2015 3:08 | Format: ANSI full bleed B (11.00 x 17.00 Inches)
Chemin: P:\8. Clients\2014\QUÉBEC103 - Ville de Québec\14-1933 - VQ-47017\E7-14-193306 Plage Jacques Cartier\3. Rédaction du rapport\Plans et dessins\6 - Dessins\6 - Dessin maître Autocad\E714193306.dwg



Source : Ministère des Ressources Naturelles/Topo QC v4/TrakMaps 1:20000 | Image © 2014 Google / © 2014 DigitalGlobe

Groupe ABS
44, rue John-A.-Scott, local 200
à Lévis, Québec, G6Z 8K7
418-210-0243 | courriel : quebec@groupeabs.com
Télec. : 418-988-0724

Dessiné par :	D. Lapierre, dessinateur
Vérifié par :	G. Rogel, géo., M. Sc.
Approuvé par :	R. Marier, géo.
Date :	juillet 2015
Client :	Ville de Québec

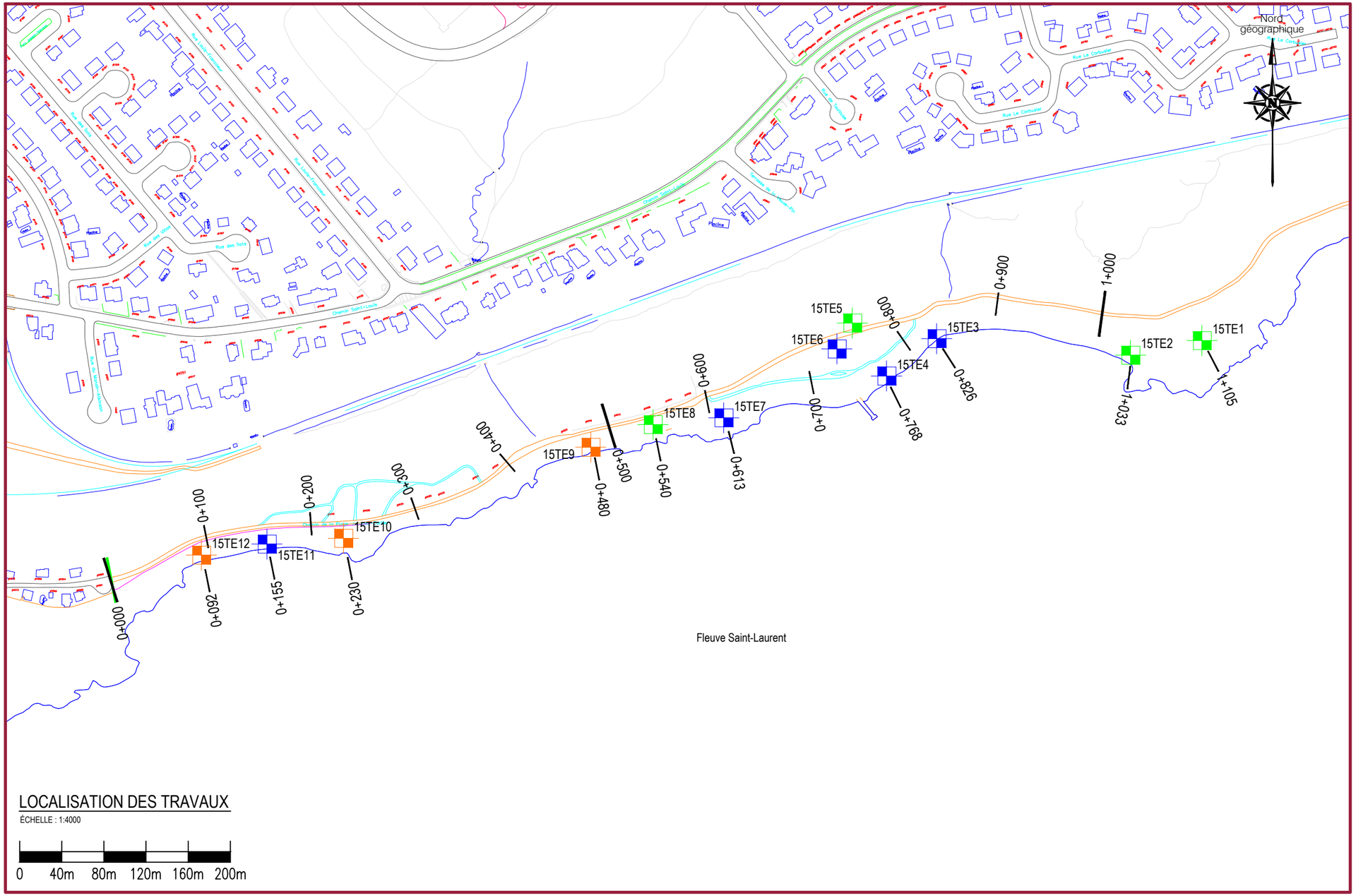
Titre : Localisation du site

Projet : Caractérisation environnementale des sols - Phase II

Emplacement : Plage Jacques-Cartier, arrondissement de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge à Québec, Québec

No. Client : QUEBEC103
No Projet : E7-14-1933-13
No Figure : FIG-01

Dernière sauvegarde: 7/10/2015 11:01 | Format : ANSI full bleed A (8.50 x 11.00 Inches)
Chemin: P:\8. Clients\2014\QUEBEC103 - Ville de Québec\14-1933 - VQ-47017\E7-14-193313 - Ph II Plage Jacques Cartier\3. Rédaction du rapport\Plans et dessins\6 - Dessin maître Autocad\E714193313 FIG-01.dwg



LOCALISATION DES TRAVAUX

ÉCHELLE : 1:4000

0 40m 80m 120m 160m 200m

LÉGENDE :

Tranchée d'exploration réalisée par Groupe ABS inc. les 3 et 10 juin 2015

NIVEAU DE CONTAMINATION
(se référer aux couleurs des symboles du tableau présent à la section "Résultats d'analyses chimiques")

RÉSULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

Les codes de couleurs utilisés pour les symboles sur le présent plan font référence au niveau de contamination basé sur les critères génériques de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du MDDELCC.

Pour le détail des résultats d'analyses chimiques, se référer au tableau des résultats analytiques présenté dans le rapport.

Échantillon (prof.)	
Inférieur au niveau A	⬢
Plage A-B	●
Plage B-C	■
Plage C-RESC	▲
Supérieur annexe I RESC	◆

Date d'émission : juillet 2015

14TE1-1 (0,00 à 0,15 m)	
HAP	●
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢
HAM	⬢

14TE3-1 (0,00 à 0,60 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢
HAM	⬢

14TE5-2 (0,50 à 1,00 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢

14TE5-2-DUP (0,50 à 1,00 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢

14TE6-4 (1,50 à 2,00 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢

14TE8-1 (0,00 à 0,50 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	●

14TE10-1 (0,00 à 0,50 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux *	▲

14TE12-1 (0,00 à 0,70 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux *	▲

14TE2-1 (0,00 à 0,40 m)	
HAP	●
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢

14TE4-1 (0,00 à 0,60 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢

14TE7-1 (0,00 à 0,60 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢
HAM	⬢

14TE9-1 (0,00 à 0,65 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux *	▲

14TE11-1 (0,00 à 0,50 m)	
HAP	⬢
HP C_{10}-C_{50}	⬢
Métaux	⬢
HAM	⬢

* Les sols associés à cet échantillon pourront être gérés selon le *Cadre de gestion des teneurs naturelles en manganèse dans le sol* du MDDELCC. Ils pourront notamment être réutilisés sur le site.

Source : Matrice de la ville de Québec, chaînage du sentier piétonnier : BPR, 17 août 2012, dessin no A1-07994-C-003 : Annexe D Interventions proposées

Client : VILLE DE QUÉBEC

Groupe ABS
44, rue John-A.-Scott, local 200
à Lévis, Québec, G6Z 8K7
418-210-0243 | courriel : quebec@groupeabs.com
Télec. : 418-988-0724

Dessiné par : D. Lapierre, dessinateur
Vérifié par : G. Rogel, géo., M. Sc.
Approuvé par : R. Marier, géo.

Titre :
Localisation des travaux d'échantillonnage des sols et sommaire des résultats analytiques

Projet :
Caractérisation environnementale des sols - Phase II

Emplacement :
Plage Jacques-Cartier, arrondissement de Saint-Foy-Sillery-Cap-Rouge à Québec, Québec

Échelle : 1:4000 | No. Client : QUEBEC103
No Projet : E7-14-1933-13 | No Figure : ENV-01 | 1/1
No projet du client :

Dernière sauvegarde: 7/10/2015 10:59 | Format: ANSI full bleed B (11.00 x 17.00 Inches)
Chemin: P:\8. Clients\2014\QUEBEC103 - Ville de Québec\14-1933 - VQ-47017\E7-14-1933\3 - Ph II Plage Jacques Cartier\3. Rédaction du rapport\Plans et dessins\6 - Dessin maître Autocad\E7141933\3-projet6.dwg

Annexe E CARACTÉRISATION DU RÉGIME HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAGE JACQUES-CARTIER (STANTEC, 12 DÉCEMBRE 2019)

Caractérisation du régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier, Québec

12 décembre 2019

Préparé pour:

Ville de Québec
Division gestion de projets et construction, Gestion des immeubles
1220, boulevard Lebourgneuf, 2e étage
Québec, Québec
G2K 0B8

Préparé par:

Stantec Expert-conseils ltée
1260, boulevard Lebourgneuf, bur. 250
Québec (Québec)
G2K 2G2

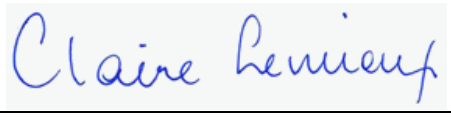
Registre d'approbation

Le présent document, intitulé Caractérisation du régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier, Québec, a été préparé par Stantec Experts-conseils ltée (« Stantec ») pour le compte de Nom du client (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l'échéancier et d'autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n'a pas vérifié les renseignements fournis par d'autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Préparé par

(signature)

Frédéric Vinet

Vérifié par 

(signature)

Claire Lemieux

Approuvé par

(signature)

Mario Heppell

Table des matières

1.0 INTRODUCTION 1.1

2.0 MÉTHODOLOGIE 2.2
2.1 REVUE DES DOCUMENTS EXISTANTS 2.2
2.2 TRAITEMENT DES DONNÉES LIDAR 2.2
2.3 CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE SURFACE 2.3
2.4 ANALYSE DES IMAGES EXISTANTES 2.3
2.5 PHYSIOGRAPHIE 2.4
2.6 GÉOLOGIE 2.5
2.7 GÉOMORPHOLOGIE 2.5
2.7.1 Contexte géomorphologique 2.5
2.7.2 Dépôts de surface 2.5
2.7.3 Processus d'érosion en cause 2.6
2.8 OUVRAGES DE STABILISATION DE BERGES 2.7
2.9 NIVEAUX DES MARÉES 2.7
2.10 VENTS 2.8

3.0 RÉSULTATS 3.1
3.1 ÉROSION ET RECUL DES BERGES 3.1
3.1.1 État récent des berges (2012) 3.1
3.1.2 Évolution historique (1953-2014) des berges 3.5
3.1.3 Évolution récente (2011-2017) des berges 3.7
3.2 TRANSPORT ET APPORTS SÉDIMENTAIRES 3.20
3.2.1 Transport distal 3.20
3.2.2 Transport régional 3.21
3.2.3 Transport local 3.23
3.3 SÉDIMENTATION 3.23

4.0 RÉGIME HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAGE JACQUES-CARTIER 4.26

5.0 RÉFÉRENCES 5.1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Synthèse des principales caractéristiques des levés LiDAR utilisés 2.3
Tableau 2. Synthèse de la nature des berges 2.7

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Énoncé des conditions générales

ANNEXE B : Cartes 1, 2 et 3

1.0 INTRODUCTION

La Ville de Québec a constaté au cours des dernières décennies que les talus riverains et les berges du fleuve Saint-Laurent au niveau du parc de la Plage-Jacques-Cartier sont soumis à l'érosion et nécessitent une attention particulière. Plusieurs infrastructures publiques y voient leur intégrité menacée en raison du recul du trait de côte et des mesures correctives doivent donc être mises de l'avant. Ainsi, la Ville projette d'aménager des ouvrages de stabilisation de berges le long de sept (7) tronçons ainsi que la mise en place d'épis.

Dans le cadre de ce projet de stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier, Stantec Experts-conseil Ltée (« Stantec ») a été mandaté par la Ville de Québec pour réaliser l'étude d'impact sur l'environnement de la mise en place des ouvrages proposés. Suivant le dépôt de l'étude d'impact en mai 2018, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) a soulevé une série de questions en juillet 2018 ainsi que quelques questions complémentaires au printemps 2019 sur le projet et son milieu physique, notamment sur le régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier.

Dans ce contexte, la Ville de Québec a mandaté Stantec afin de produire une caractérisation affinée du régime hydrosédimentaire ayant cours le long de la Plage Jacques-Cartier. Le principal objectif de la présente étude vise à établir les zones d'érosion, de transport et de sédimentation et de décrire leur évolution dans le temps.

Plus spécifiquement, le mandat comprend les activités suivantes :

- Revue des analyses géomorphologiques et hydrauliques existantes (BPR, 2012; Norda Stelo, 2016, etc.);
- Cartographie de la composition des berges (plage, roc, enrochements, murets);
- Évaluation du régime hydrosédimentaire à partir de l'évolution à long terme de la morphologie des berges
- Évaluation du régime hydrosédimentaire par comparaison à court terme de profils topographiques de chacun des segments

Ce rapport présente les méthodes d'analyse employées, une brève description du contexte géologique, géomorphologique et sédimentaire dans lequel s'inscrit le projet, les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse géomorphologique ainsi qu'une discussion sur l'évolution du régime hydrosédimentaire du site.

2.0 MÉTHODOLOGIE

Le choix des méthodes employées dans cette étude a été fait de manière à produire des résultats complémentaires aux études de caractérisation de terrain (BPR, 2012) et de photo-interprétation (Norda Stelo, 2016) existantes.

La photo-interprétation est une méthode souvent utilisée afin d'évaluer les secteurs en érosion et les zones d'accumulation en géomorphologie fluviale ou littorale. Or, pour produire des résultats de qualité, il est nécessaire de disposer de photographies aériennes ou d'images satellites dont le géoréférencement est d'une très grande précision. En effet, une erreur de géoréférencement de seulement quelques mètres entre les photographies de différentes années viendrait fausser les résultats attribuables au recul ou à l'avancement du trait de côte entre des séries de photographies multidates. L'étude de photo-interprétation existante (Norda Stelo, 2016) indiquant déjà une tendance historique au recul du trait de côte, la présente étude mise sur l'analyse de données LiDAR (« *light detection and ranging* ») de haute précision sur une tendance à plus court terme pour caractériser le régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier.

2.1 REVUE DES DOCUMENTS EXISTANTS

Une revue de la littérature a d'abord été menée de manière à prendre connaissance des caractéristiques du milieu physique de la zone d'étude ainsi que des constats établis antérieurement quant à la dynamique de l'érosion dans la zone d'étude. Les documents analysés incluent les cartes géologiques et des dépôts de surface, les rapports d'étude, les bases de données publiques (RIES, SIGEOM) et l'imagerie disponible (BING, Google Earth, imagerie ESRI).

2.2 TRAITEMENT DES DONNÉES LIDAR

Des données LiDAR provenant de relevés effectués en 2011, 2012 et 2017 ont été fournies par le client. Leurs principales caractéristiques sont résumées au tableau 1. Pour chacun des relevés, les données ont été importées dans le logiciel Global Mapper afin de générer une grille d'élévation. À partir de cette grille, différents produits d'élévation ont été générés :

- Courbes topographiques à intervalle de 50 centimètres, servant notamment à représenter approximativement le niveau de pleine mer supérieure à marée moyenne (3,0 m) et le niveau de récurrence de crue 2 ans (4,5 m) (élévation géodésique);
- Modèle d'élévation ombragé (« *hillshade* ») procurant un effet 3D par la simulation d'un jeu d'ombres et de lumières;
- Couche classifiant les gradients de pentes selon les intervalles suivants : 0-5 %, 6-26 %, 27-49 %, 50-70 % et > 70 %, selon la légende de Howes et Kenk (1997).

Tableau 1. Synthèse des principales caractéristiques des levés LiDAR utilisés

Année du levé	Tuiles	Retours	Précision planimétrique	Précision altimétrique	
				Milieu dégagé	Milieu boisé
2011	11_2375178F07, 11_2405178F07, 11_2435178F07	4	25 cm	25 cm	
2012	2405178, 2405179, 2415179, 2425179	4	25 cm	± 15 cm	± 30 cm
2017	17_4078, 17_4079, 17_4178, 17_4179, 17_4279	4	25 cm	25 cm	

La grille d'élévation a également été utilisée afin d'extraire les données de distance et d'élévation pour la réalisation de profils topographiques le long de transects recoupant les tronçons 1 à 7, lesquels sont ciblés pour la mise en place d'ouvrages de stabilisation de berges. Les transects ont, le plus souvent, été positionnés dans la portion centrale de chacun des tronçons, sauf dans les cas où un élément non représentatif du reste du tronçon de plage était présent (émissaire pluvial) ou que l'un des levés LiDAR employés dans la comparaison des profils topographiques comportait une zone d'anomalies liées à l'acquisition ou au traitement des données. L'emplacement des transects retenus est illustré à la carte 1 (annexe B). Les données d'élévation extraites ont ensuite été importées vers Excel afin de générer les graphiques représentant les profils topographiques pour les trois années de données LiDAR disponibles.

2.3 CARTOGRAPHIE DES DÉPÔTS DE SURFACE

La cartographie existante des dépôts de surface n'offrant pas une résolution adéquate à la réalisation de ce mandat, une cartographie détaillée de la zone d'étude a été effectuée.

La cartographie des formations superficielles a été effectuée par photo-interprétation à l'aide des images disponibles (imagerie ESRI), d'une orthophotographie datant de 2015 ainsi qu'à l'aide du modèle d'élévation ombragé et de la couche de pente, tous deux découlant du levé LiDAR de 2017. La cartographie a été effectuée directement à l'écran à l'aide du logiciel ArcMap et selon la légende de Howe et Kenk (1997), laquelle permet à la fois de décrire la nature des matériaux (till, alluvions, colluvions, etc.) et leur expression de surface (terrasse, pentes douces à très fortes, etc.). La cartographie détaillée des dépôts de surface est présentée à la carte 2 et, sous forme d'agrandissement, à la carte 3 (annexe B).

2.4 ANALYSE DES IMAGES EXISTANTES

Les images disponibles publiquement à partir du logiciel Google Earth ont été consultées tout au long de l'analyse de la dynamique hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier. Ces images sont nombreuses et couvrent différents moments dans l'intervalle de temps compris entre 2003 et 2019, inclusivement. Plusieurs d'entre elles offrent l'avantage de permettre des observations durant des périodes de marée basse, ce qui n'était pas possible avec l'utilisation de photographies aériennes historiques traditionnelles. Notons également que des images y étaient disponibles pour les années correspondantes à celles de l'acquisition des levés LiDAR, soit 2011, 2012 et 2017.DESCRIPTION de la zone d'étude

La zone d'étude retenue l'analyse du régime hydrosédimentaire correspond à la zone d'étude sélectionnée dans le cadre de l'*Étude d'impact sur l'environnement – Stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier* (Stantec, 2018). Elle s'étend depuis l'embouchure de la rivière du Cap Rouge jusqu'au parc du Domaine-des-Retraités.

Plus spécifiquement, le parc de Plage-Jacques-Cartier s'étend, à l'ouest, depuis l'extrémité du Chemin de la Plage Jacques-Cartier jusqu'à la frontière avec le parc du Domaine-des-Retraités, situé à environ 2,6 km en aval. Un sentier relie le Chemin de la Plage Jacques-Cartier au Chemin du Pavillon en longeant le parc, selon un tracé relativement parallèle à la ligne de rivage.

2.5 PHYSIOGRAPHIE

Le parc de la Plage-Jacques-Cartier est un parc riverain caractérisé par une succession de caps rocheux, séparés les uns des autres par de petites anses, d'environ 130 à 430 m de largeur. Le rivage est composé d'une plage sableuse interrompue en quelques endroits par des tronçons de berge enrochés ou emmurés. En contrebas de la plage, un estran rocheux s'allonge sur une largeur d'environ 30 à 130 m à marée basse. À marée haute, quelques affleurements rocheux demeurent visibles aux extrémités des caps les plus importants. Derrière la plage (nord), une terrasse d'environ 10 à 60 m de largeur s'allonge tout au long du parc à une élévation d'environ 7 m. C'est sur cette dernière que s'allonge notamment le chemin de la Plage Jacques-Cartier et le sentier qui parcourt le parc. La terrasse est bordée au nord par un imposant talus rocheux d'environ 45 à 55 m de dénivellation, et dont le gradient de pente est de l'ordre de 100 % (45°).

Une coupe topographique illustrant les principales composantes de l'environnement entourant la Plage Jacques-Cartier est présentée à la figure 1.

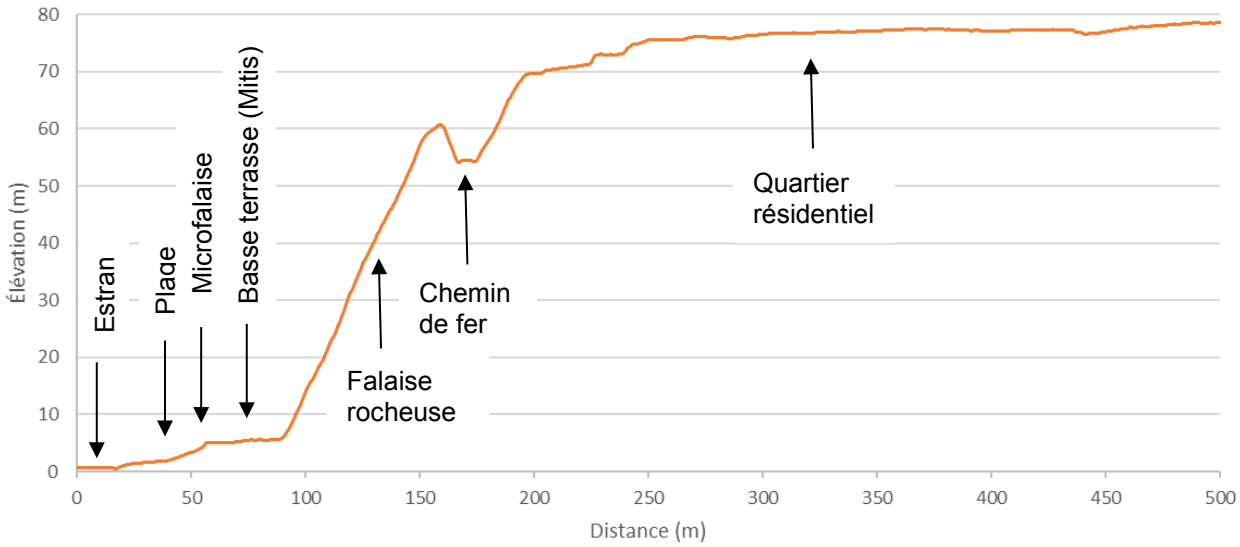


Figure 1. Profil topographique type du parc de la Plage-Jacques-Cartier et de la zone d'étude retenue

2.6 GÉOLOGIE

La zone d'étude est située dans la province géologique des Appalaches. Le Parc de la Plage Jacques-Cartier occupe plus spécifiquement la formation de Sainte-Foy, laquelle est essentiellement composée de mudslate rouge avec quelques interlits de shale et de mudstone vert et gris et, dans une moindre importance, d'une alternance de shale vert, gris et rouge (SIGEOM, 2019).

Les lithologies qu'on retrouve au niveau de l'estran rocheux et sous forme d'affleurements ponctuels au niveau de la plage sont les mêmes que celles observées dans la falaise rocheuse située au nord de la basse terrasse. Le roc occupant la falaise est fortement altéré et tend à se fractionner, puis à se mobiliser sous forme de colluvions vers le pied du talus.

2.7 GÉOMORPHOLOGIE

2.7.1 Contexte géomorphologique

Suivant la dernière glaciation, le secteur à l'ouest de la colline de Québec a été libéré des glaces avant 13 130 ans BP (Verville, 2010). À cette même période, la mer postglaciaire de Champlain occupait déjà le secteur. À son extension maximale dans la région de Québec, la mer a atteint une altitude variant entre 210 et 235 m. Le secteur a connu au cours de l'Holocène quelques variations, à la hausse comme à la baisse, du niveau marin relatif. En réponse au relèvement isostatique postglaciaire, le retrait graduel des eaux marines a ensuite permis à la rivière du Cap Rouge de s'encaisser à travers ses propres alluvions, de manière à s'ajuster au niveau de base en continuelle régression. De même, le passage de la Mer de Champlain, au proto-Saint-Laurent, puis au fleuve actuel, a mené à la mise en place de formes de terrain reflétant cette baisse d'élévation du niveau d'eau. Dans la zone d'étude, le parc de la Plage-Jacques-Cartier est lui-même basé sur la terrasse de 7 m d'élévation connue sous le nom de terrasse Mitis, qui constitue une basse terrasse d'accumulation mise en place au pied de la falaise morte (Dionne, 2002). C'est aujourd'hui dans le talus littoral longeant cette basse terrasse que la problématique d'érosion du rivage se manifeste.

2.7.2 Dépôts de surface

La cartographie détaillée des dépôts de surface est présentée aux cartes 2 et 3 de l'annexe B. Elle permet de distinguer plus en détail la composition du rivage, notamment la succession d'affleurement rocheux, de plages et de constructions anthropiques.

À l'intérieur de la zone d'étude, la vallée de la rivière du Cap Rouge est caractérisée par une succession de terrasses alluviales, lesquelles sont bordées de talus formés par l'encaissement du chenal fluvial. La plaine alluviale actuelle du cours inférieur de la rivière comporte des alluvions et des barres alluviales qui se voient submergées à marée haute.

Le plateau situé à l'est de la vallée de la rivière du Cap Rouge est, pour sa part, couvert de sédiments marins de faible épaisseur reposant sur le roc. Les données de forages disponibles dans ce secteur font généralement état de la présence d'une couverture meuble de moins de 2 m d'épaisseur reposant sur le roc (RIES, 2019). Le passage du plateau à la basse terrasse se fait par l'entremise d'une falaise rocheuse dont l'altération de surface a mené à la mise en place d'une couche de colluvions. Sous l'effet de la gravité,

les matériaux issus de l'altération du roc sont entraînés vers le bas de la falaise, formant ainsi plusieurs talus d'éboulis.

Au pied de la falaise s'allonge la basse terrasse de 7 m d'élévation (terrasse Mitis), laquelle est composée d'alluvions du fleuve et de matériaux provenant de l'altération de la falaise rocheuse située au nord de la plage (Verville, 2010). Au fil des ans, certains secteurs ont également été remblayés de manière à élargir la terrasse. Le remblayage le plus important a été effectué dans le secteur du tronçon 4 entre 1963 et 1977 (Norda Stelo, 2016). Ces matériaux ne sont pas spécifiquement représentés sur la carte des dépôts de surface puisqu'ils font maintenant partie intégrante de la terrasse et sont difficilement distinguables des dépôts en place sur la base des données LiDAR.

Cette terrasse n'est toutefois pas présente à l'ouest de l'embouchure de la rivière du Cap Rouge. Sous l'effet des marées, la Plage Jacques-Cartier s'est développée dans le talus de la terrasse. La plage elle-même forme un dépôt relativement continu tout le long du par cet comporte quelques ouvrages de stabilisation de berges. Les caps et la partie inférieure de l'estran sont dominés par le roc affleurant ou subaffleurant. À marée basse, la plate-forme rocheuse est visible de façon quasi continue tout au long du rivage du parc.

En amont de l'embouchure de la rivière du Cap Rouge, la berge est le plus souvent emmurée et ne comporte pas de plage dans la partie supérieure de l'estran. À marée haute, le fleuve se trouve directement en contact avec les ouvrages de stabilisation.

2.7.3 Processus d'érosion en cause

Les trois processus étant reconnus comme responsables de l'érosion le long du parc de la Plage-Jacques-Cartier sont les vagues, l'activité glacielle et le ruissellement (BPR, 2012; Norda Stelo, 2016).

Les vagues, incluant la marée et les courants, affectent autant les berges naturelles que les ouvrages en place. Lors des périodes de haut niveau, les vagues mènent à l'érosion d'une microfalaise située au-dessus de la plage ou peuvent mener à l'instabilité des enrochements existants, en délogeant des blocs par exemple (BPR, 2012). En période de bas niveau d'eau, il y a perte de contact avec la plage. Les vagues déferlent alors uniquement sur l'estran rocheux où le potentiel d'érosion est beaucoup plus faible.

La Plage Jacques-Cartier est soumise aux glaces littorales (érosion dite glacielle) entre la fin du mois de novembre et le début du mois d'avril (Verville, 2010). Ce type d'érosion est toutefois limité aux périodes où les glaces sont mobiles et soumises aux vents et marées ainsi qu'au moment où le pied de glace se détache de la berge. Au plus fort de l'hiver, lorsque le pied de glace est bien ancré, celui-ci offre plutôt une protection contre l'action des vagues.

Le ruissellement de surface provenant des précipitations ou de la fonte des neiges peut également mener à l'érosion de la berge. L'écoulement de l'eau sous les enrochements existants mène à la mise en transport des particules et au déchaussement des blocs. Ce phénomène est encore plus important lorsque le talus au-dessus de l'enrochement n'est pas végétalisé (BPR, 2012).

2.8 OUVRAGES DE STABILISATION DE BERGES

En réponse à la problématique d'érosion qui sévit le long du parc de la Plage-Jacques-Cartier, différents types d'ouvrages de stabilisation de berges ont été mis en place au fil des ans. Ils consistent essentiellement en des enrochements, végétalisés ou non, et en des murs de maçonnerie. De manière générale, la Plage Jacques-Cartier comporte des ouvrages de stabilisation sur 830 m de longueur, soit environ 38 % de sa longueur totale (2 160 m). Le tableau 1 présente la localisation et la longueur des ouvrages de stabilisation de berges en fonction de leur nature. Leur emplacement est illustré sur les cartes 2 et 3 (annexe B) ainsi qu'à la figure 3 (BPR, 2012) (voir la section 4.1.1).

Tableau 2. Synthèse de la nature des berges

Nature des berges	Localisation	Longueur	Longueur totale (m)
Rive naturelle	0+600 à 0+830	230	1330
	0+865 à 1+500	635	
	1+680 à 2+060	380	
	2+075 à 2+160	85	
Enrochement non végétalisé	0+000 à 0+100	100	525
	0+260 à 0+470	210	
	0+830 à 0+865	35	
	1+500 à 1+680	180	
Couvert végétal avec enrochement	0+100 à 0+260	160	290
	0+470 à 0+600	130	
Mur en maçonnerie	2+060 à 2+075	15	15

(Tiré de BPR, 2012)

2.9 NIVEAUX DES MARÉES

Le niveau du fleuve à l'intérieur de la zone d'étude est influencé par des marées de type semi-diurne (BPR, 2012). Le tableau 2 illustre les différents niveaux des marées pour les stations de Saint-Nicolas et Immigration Wharf (Québec) alors que les valeurs présentées pour la Plage Jacques-Cartier sont issues d'une extrapolation (Stantec, 2018).

Toutes les références à des élévations marégraphiques dans le cadre de cette analyse sont exprimées en élévations géodésiques de manière à concorder avec les élévations provenant des levés LiDAR (2011, 2012 et 2017).

Tableau 2. Niveaux des marées pour les stations de Saint-Nicolas et Immigration Wharf, et pour le parc de la Plage-Jacques-Cartier (coordonnées marégraphiques et géodésiques)

Marées	Saint-Nicolas (3270)		Immigration Wharf (3251)		Plage-Jacques-Cartier (extrapolation)	
	Z_c (m)	géod.[1] (m)	Z_c (m)	géod.[2] (m)	Z_c (m)	géod. (m)
Extrême de pleine mer	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pleine mer supérieure, grande marée	5,7	4,1	6,0	4,04	5,8	4,06
Pleine mer supérieure, marée moyenne	4,6	3,0	4,7	2,74	4,6	2,87
Niveau moyen des eaux	2,4	0,8	2,5	0,54	2,4	0,67
Pleine mer inférieure, marée moyenne	0,4	-1,2	0,5	-1,66	0,2	-1,53
Pleine mer inférieure, grande	0,2	-1,4	0,3	-1,66	0,2	-1,53
Extrême de basse mer	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

(Source : BPR, 2012)
1 Différence de -1,614 m entre les coordonnées marégraphiques et géodésiques pour ce site.
2 Différence de -1,960 m entre les coordonnées marégraphiques et géodésiques pour ce site.

2.10 VENTS

Le vent est un facteur important dans la dynamique de l'érosion littorale dans la mesure où ils contrôlent l'amplitude et la direction des vagues. La station météorologique de Lauzon, située à proximité de la zone d'étude, présente une période d'enregistrement de 16 ans des données de vent. La figure 2 illustre la compilation des données de vents pour la période comprise entre le 1er janvier 1991 et le 31 décembre 2007.

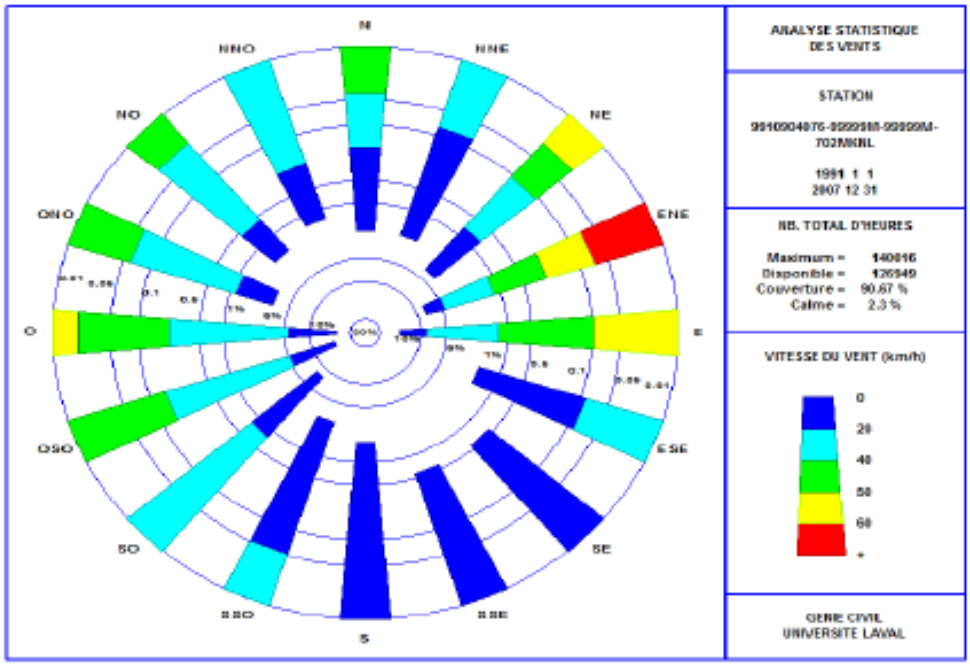


Figure 2. Rose des vents (provenance) à la station météorologique Lauzon, 1er janvier 1991 au 31 décembre 2007 (Norda Stelo, 2016)

L'analyse statistique montre que les vents les plus puissants proviennent d'abord de l'est-nord-est et de l'est, puis du nord-est et de l'ouest. Les vents les plus fréquents sont généralement de même direction que les vents les plus puissants, à l'exception des vents en provenance de l'ouest-sud-ouest et du sud-ouest. Ainsi, les vents les plus fréquents et les plus puissants se produisent dans le même axe que celui du fleuve Saint-Laurent dans le secteur de la zone d'étude.

Le fetch maximal pour les tronçons 1, 2, 3, 5 et 7 est de direction sud-ouest et présente une longueur variant entre 2,6 et 3,1 km alors que le fetch maximal des tronçons 4 et 6 est de direction sud-est et d'une longueur d'environ 1,5 km (Stantec, 2019). Cependant, même si le site n'y est pas directement exposé, ce dernier est néanmoins sous l'influence du fetch régional dominant du fleuve qui lui provient de l'est-nord-est.

3.0 RÉSULTATS

Les résultats de cette étude sont présentés selon les trois (3) grandes composantes du régime hydrosédimentaire, soit l'érosion, le transport et la sédimentation. Les données présentées proviennent d'études antérieures, de l'analyse des données LiDAR ainsi que de la comparaison multidates des images aériennes disponibles.

3.1 ÉROSION ET RECUL DES BERGES

3.1.1 État récent des berges (2012)

La cartographie des secteurs en érosion a d'abord été effectuée à l'étape de l'avant-projet (BPR, 2012) sur la base de relevés de terrain. Cette démarche a permis de distinguer quatre types de berges en fonction de l'intensité de l'érosion selon qu'elles ne subissent pas ou peu d'érosion, qu'elles subissent une érosion modérée ou encore une érosion sévère. La description de chacun de ces niveaux d'érosion n'est pas clairement établie dans l'étude outre le fait que les niveaux reflètent l'ampleur de l'érosion observée et de l'impact potentiel ou réalisé de cette érosion. Le tableau 3 résume l'emplacement et le degré d'érosion observé le long des secteurs impactés alors que le tableau 4 présente les longueurs de berge en érosion selon le degré d'intensité. L'emplacement des tronçons en érosion en 2012 est illustré à la figure 3 (BPR, 2012).

L'analyse de l'état et de la composition des berges permet de constater que sur une longueur totale de 2 160 m de berges, 830 m ont déjà été stabilisés par un enrochement ou un mur de maçonnerie en réponse aux conditions d'érosion prévalant au moment de leur mise en place. Des 1 330 m de berge naturelle restante, 750 m sont considérés en érosion à divers degrés d'intensité. Considérant les tronçons déjà protégés et ceux actuellement affectés par l'érosion, il semble que 1 580 m linéaires de berge aient été affectés dans les dernières décennies par l'érosion riveraine, soit environ 73 % de la longueur totale de la Plage Jacques-Cartier. Les rives naturelles qui demeurent soustraites à l'érosion sont identifiées en vert à la figure 3 (BPR, 2012).

Tableau 3. Classification des sites d'érosion selon leur emplacement, la nature et le degré d'érosion

Localisation approximative	Nature de la rive	Longueur (m)	Nature de l'érosion	Degré d'érosion
0+040 km	Enrochement	Localisé	Ruissellement	Modéré
0+290 km	Enrochement	Localisé	Ruissellement	Sévère
0+380 km	Enrochement	Localisé	Ruissellement	Sévère
1+020 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+050 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Sévère
1+070 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Sévère
1+110 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+140 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+270 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+300 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+720 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Modéré
1+750 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Sévère
1+970 km	Naturelle	Localisé	Arbres	Sévère
0+075 à 0+250 km	Enrochement	175	Vagues	Sévère
0+250 à 0+450 km	Enrochement	200	Vagues	Modéré
0+450 à 0+580 km	Enrochement	130	Vagues	Sévère
0+320 à 0+340 km	Enrochement	20	Ruissellement	Sévère
0+420 à 0+520 km	Naturelle	100	Ruissellement	Sévère
0+580 à 0+610 km	Rive naturelle (0+600 à 0+610)	30	Vagues	Sévère
0+730 à 0+820 km	Rive naturelle	90	Vagues	Sévère
1+020 à 1+130 km	Rive naturelle	110	Vagues	Sévère
1+200 à 1+350 km	Rive naturelle	150	Vagues	Modéré à sévère
1+430 à 1+500 km	Rive naturelle	70	Vagues	Léger
1+660 à 1+680 km	Enrochement	20	Ruissellement	Modéré
1+680 à 1+960 km	Rive naturelle	280	Vagues	Léger à modéré
1+960 à 2+000 km	Rive naturelle	40	Ruissellement et vagues	Sévère

(Tiré de BPR, 2012)

Tableau 4. Longueur en érosion selon le degré d'intensité

Degré d'intensité	Longueur totale (m)
Léger	70
Léger à modéré	280
Modéré	220
Modéré à sévère	150
Sévère	695
Longueur totale en érosion	**1 415**

Figure 3. État actuel de l'aménagement et des rives naturelles (tirée de BPR, 2012)

3.1.2 Évolution historique (1953-2014) des berges

Une analyse de l'évolution historique des berges a été effectuée pour la période 1953 à 2014 (Norda Stelo, 2016). Cette dernière correspond à l'intervalle de temps pour lequel des couvertures de photographies aériennes sont disponibles. Dans le cadre de cette analyse, le trait de côte (ligne de rivage ou sommet de la microfalaise d'érosion) a été délimité par photo-interprétation sur les photographies aériennes de 1953, 1963, 1977, 1993 et 2014. Les photographies aériennes interprétées ont ensuite été géoréférencées et le trait de côte a ainsi pu être numérisé pour permettre la comparaison interannuelle. Bien qu'étant une méthode reconnue pour évaluer l'évolution du littoral, le géoréférencement de photographies aériennes présente une marge d'erreur spatiale, intrinsèque à la méthode, qui peut être supérieure au recul du trait de côte.

En dépit de cette marge d'erreur quantitative, certaines grandes tendances ressortent néanmoins de cette analyse, soit :

- Les tronçons 1 à 4 ont montré un recul pour la période étudié, sauf pour l'intervalle 1963-1977 durant lequel des matériaux de remblai (tronçon 4), puis un enrochement (tronçons 1 à 3), ont été mis en place;
- Le tronçon 5 montre une stabilité relative passant d'une légère accumulation à une légère érosion, possiblement induite par l'imprécision de la méthode;
- Le tronçon 6 présente généralement un recul, sauf pour l'intervalle de 1963 -1977. Le recul s'est ensuite poursuivi avec un degré plus important dans sa portion est;
- Le tronçon 7 affiche un recul relativement constant sur l'ensemble de sa longueur pour la période étudiée.

Entre les tronçons 1 à 7 retenus pour l'aménagement de nouveaux ouvrages, la différence entre le trait de côte de 1953 et celui de 2014 ne présente pas de tendance claire, à l'exception d'un segment de berge d'environ 200 m de longueur situé directement en amont du tronçon 7. À cet endroit, un enrochement d'une dizaine de mètres de largeur, composé de blocs arrondis, a été mis en place depuis l'éperon situé en aval du tronçon 6 jusqu'au contact du tronçon 7.

L'évolution de la côte entre 1953 et 2014 établie par photo-interprétation est illustrée à la figure 4 (Norda Stelo, 2016).

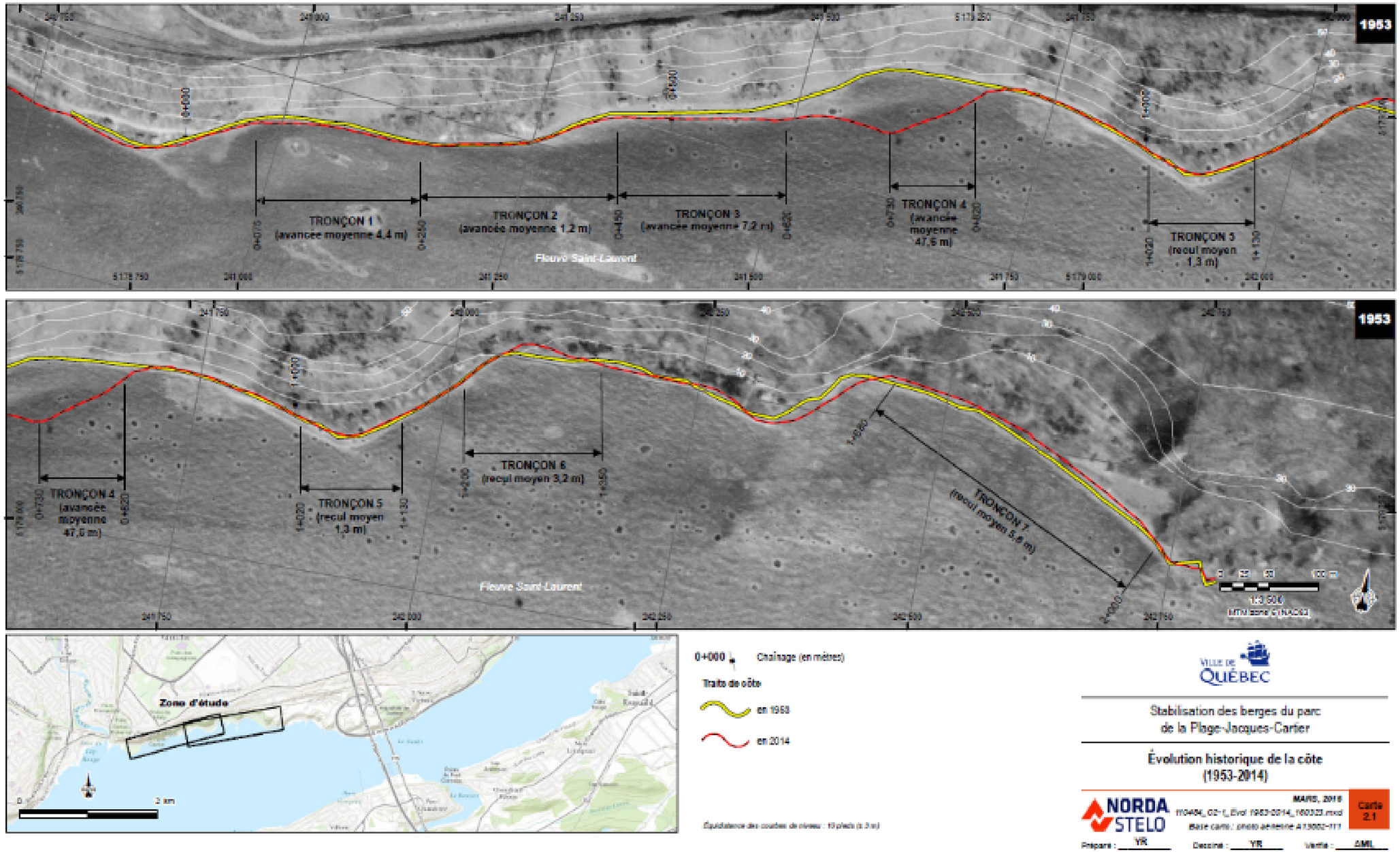


Figure 4 Évolution historique du trait de côte entre 1953 et 2014 (Norda Stelo, 2016)

3.1.3 Évolution récente (2011-2017) des berges

Les données existantes permettent de brosser un portrait détaillé de l'érosion de la Plage Jacques-Cartier pour l'année 2012 (BPR, 2012) ainsi que de l'évolution historique du trait de côte pour la période 1953 à 2014 (Norda Stelo, 2016), cette dernière étant toutefois peu précise en raison de la méthode employée. Or, il s'avère nécessaire de déterminer la tendance de la dynamique hydrosédimentaire (érosion/accumulation) avec un haut niveau de confiance avant la mise en place des ouvrages de stabilisation projetés.

Tel que décrit en détail à la section 2 du présent rapport, une comparaison des relevés LiDAR de 2011, 2012 et de 2017 de la Plage Jacques-Cartier a été effectuée afin d'évaluer l'évolution de la dynamique hydrosédimentaire du site à travers le temps. Si la période de six (6) ans (2011 à 2017) qui sépare l'acquisition des deux relevés ne permet pas de déceler d'importants changements en un si court intervalle, il permet à tout le moins d'évaluer la tendance et de la quantifier de façon relativement précise.

3.1.3.1 Comparaison des courbes de niveau de 3 et 4,5 m d'élévation entre 2011 et 2017

Les élévations de 3,0 m et de 4,5 m ont été retenues pour évaluer le recul de la plage, car ils représentent respectivement le niveau approximatif de la pleine mer supérieure à marée moyenne (PMSMM) et de la crue de récurrence 2 ans (Stantec, 2018). Bien que le recul attendu soit relativement faible sur une période d'analyse de six (6) ans, la superposition des courbes topographiques à ces deux élévations pour les années 2011 et 2017 permet néanmoins d'identifier la présence d'érosion dans la zone d'étude. La représentation de cette analyse sous forme de cartes étant difficile en raison de la taille relativement importante de la zone d'étude par rapport à l'ampleur des reculs observés, seules quelques figures sont présentées à titre d'exemples (figures 5 à 14).

La comparaison des courbes d'élévation permet de constater que, de manière générale, les courbes topographiques de 2017 montrent un recul par rapport à celles de 2011 le long de la rivière du Cap Rouge. Ce recul est généralement de l'ordre de quelques dizaines de centimètres, mais peut ponctuellement atteindre quelques mètres. La figure 5 illustre le recul systématique du talus riverain le long d'une portion de la rive est de la rivière du Cap Rouge entre 2011 et 2017 ainsi que la présence d'un décrochement ayant mené à un recul plus significatif.

Entre l'embouchure de la rivière du Cap Rouge et le tronçon 1, la comparaison des courbes topographiques tend à démontrer un certain affaissement de la portion inférieure de l'enrochement (figure 6). La courbe topographique générée à 3,0 m d'élévation à partir du levé LiDAR 2017 est en recul par rapport à celle de 2011 à la même élévation. Quant aux courbes de 4,5 m d'élévation, leur chevauchement témoigne d'un état plutôt stable de l'enrochement dans sa partie supérieure.

La comparaison des courbes topographiques montre peu de changements sur une période de six (6) ans dans la portion en amont du tronçon 1 (figure 7), au tronçon 5 (figure 12) et au tronçon 7 (figure 14). À l'opposé, un recul a été noté dans la portion aval et concave du tronçon 1 où la courbe topographique de 3,0 m d'élévation présente un retrait de 0,6 à 1,0 m et celle de 4,5 m, un recul de l'ordre de 0,3 à 0,5 m (figure 8). Un recul significatif a également été noté au tronçon 3, directement en amont de l'émissaire pluvial (figure 10). À cet endroit, on observe un recul de l'ordre d'un mètre au niveau de la pleine mer supérieure et un recul pouvant atteindre 1,5 à 2,0 m au niveau de la récurrence de crue de 2 ans, et ce,

sur un peu plus de 40 m de longueur. Au droit du tronçon 4 (figure 11), le levé LiDAR de 2017 comprend plusieurs anomalies. Néanmoins, un recul est observé dans la portion amont du tronçon où se trouve l'émissaire pluvial. On remarque à cet endroit un recul de l'ordre de 1,0 à 1,5 m au niveau de la courbe d'élévation de 3,0 m et un recul inférieur à 1,0 m dans la portion supérieure de la plage. Enfin, le tronçon 6 tend à montrer relativement peu de changement dans le profil de plage, à l'exception d'un recul ponctuel plus marqué atteignant 2,0 à 2,8 m aux environs du chaînage 1+240 (figure 13).

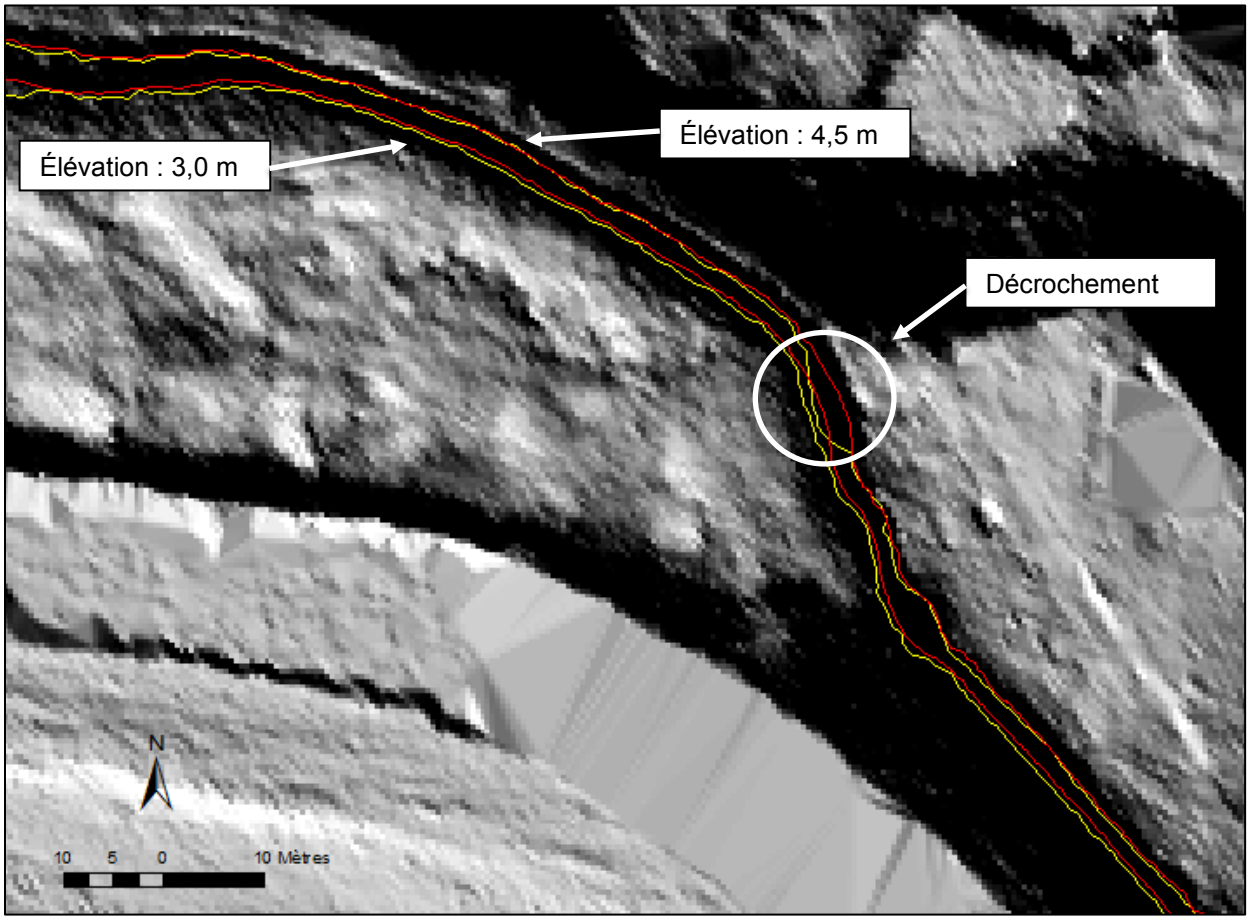


Figure 5 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – secteur de la rivière du Cap Rouge

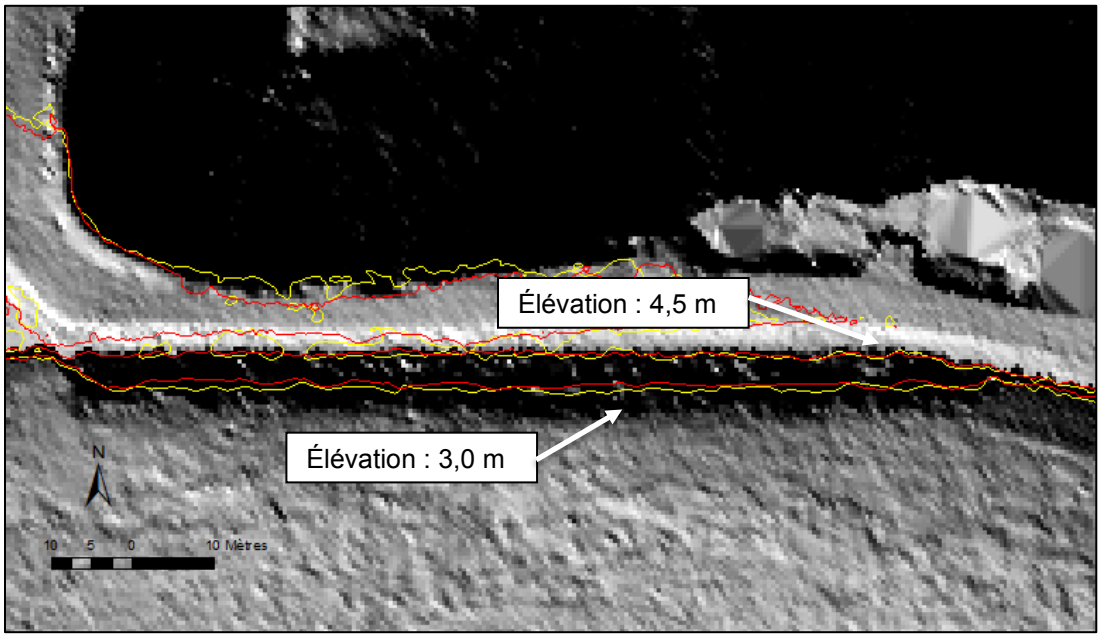


Figure 6 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – Enrochement en amont du tronçon 1

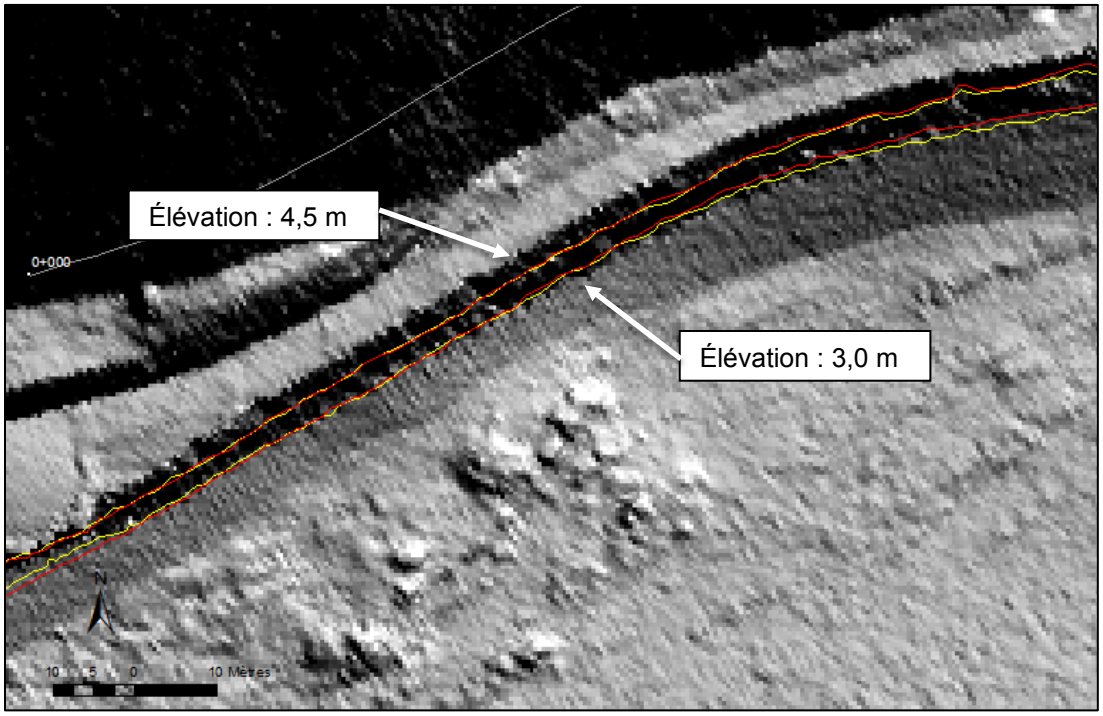


Figure 7 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – secteur amont du tronçon 1

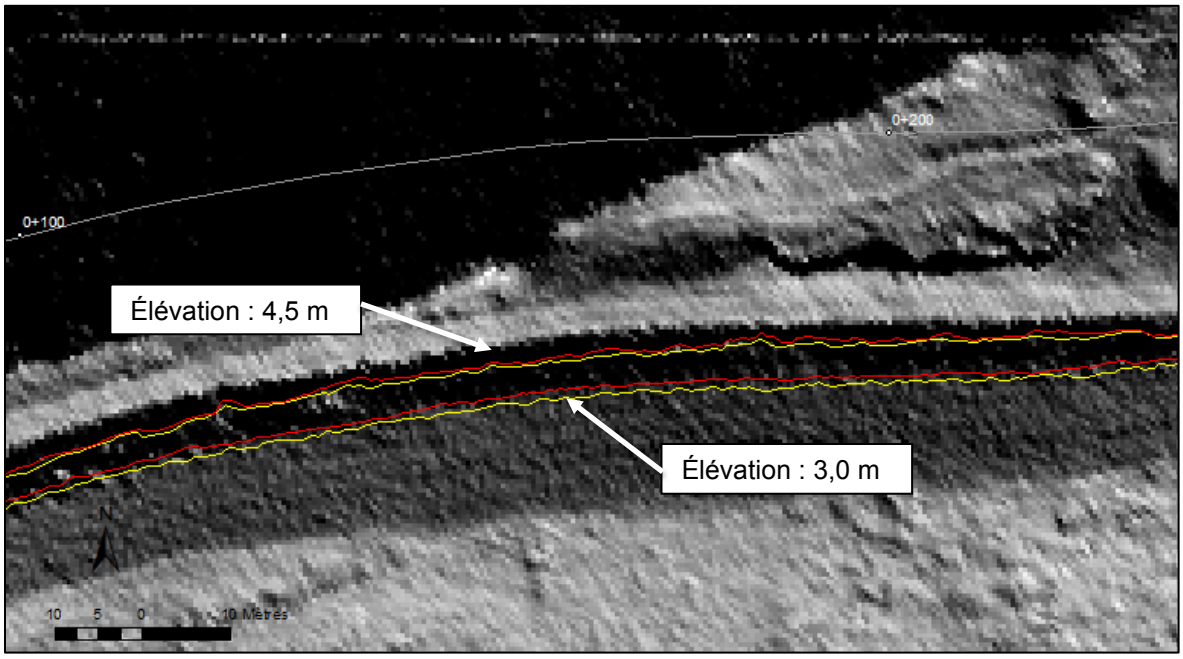


Figure 8 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – secteur aval du tronçon 1

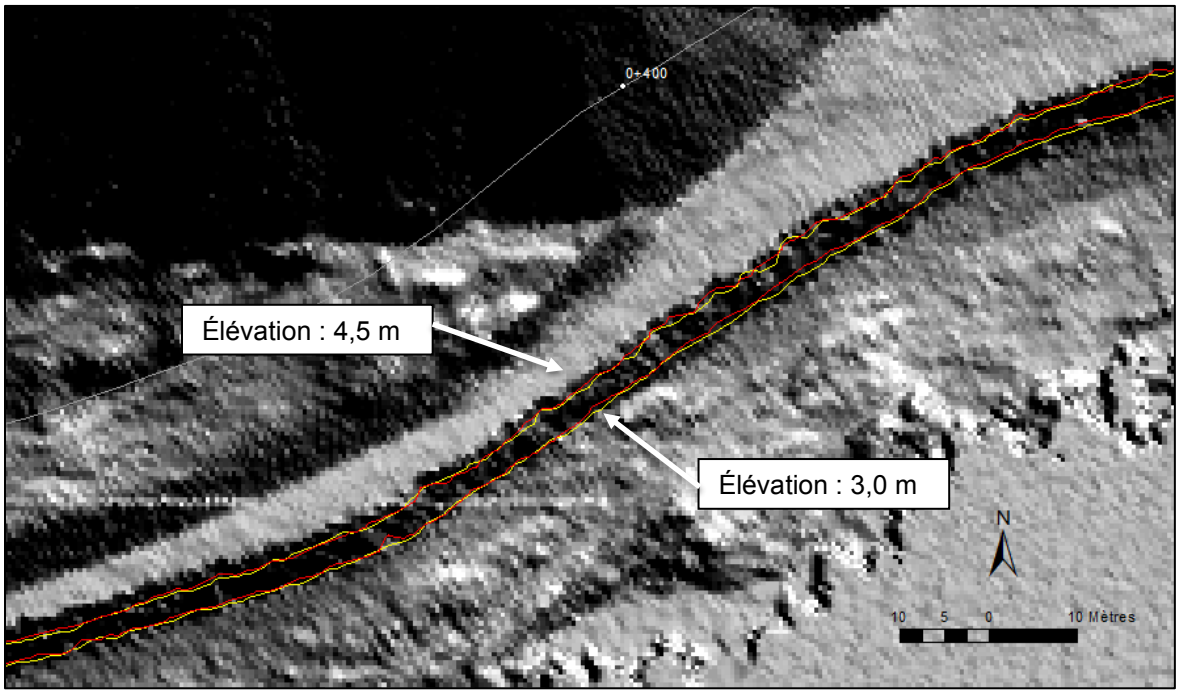


Figure 9 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – secteur aval du tronçon 2

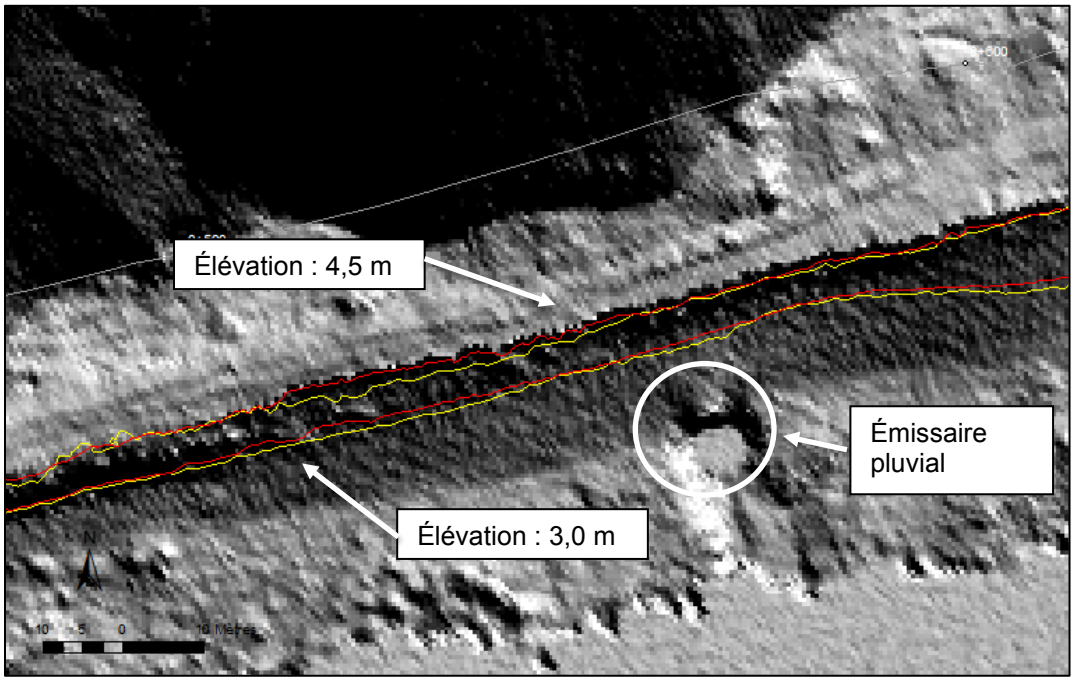


Figure 10 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – tronçon 3

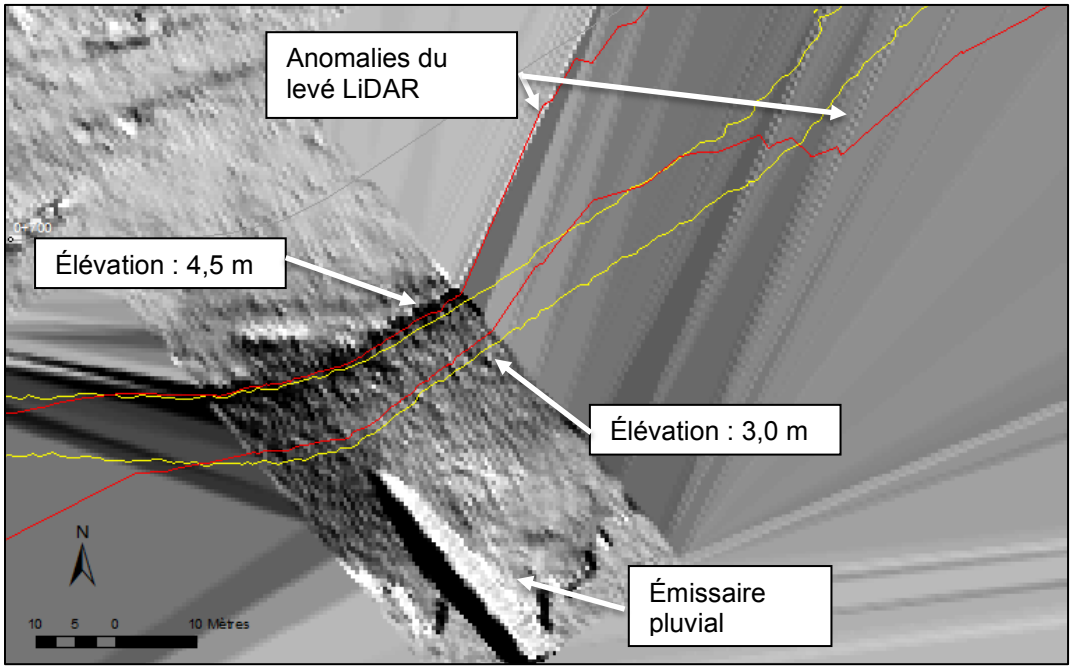


Figure 11: Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – tronçon 4

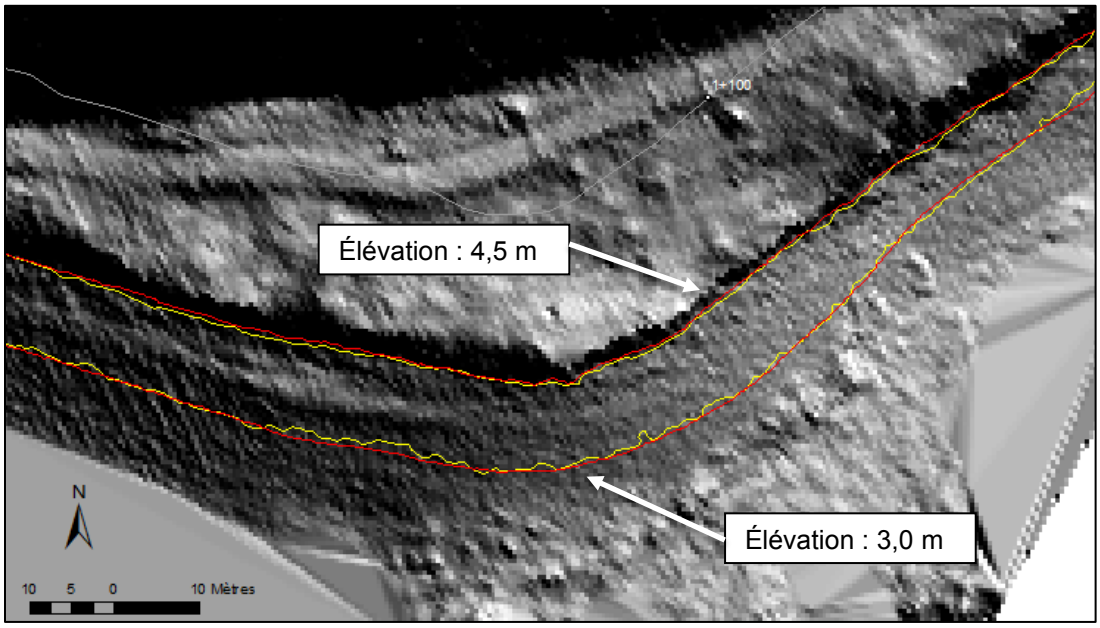


Figure 12 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – tronçon 5

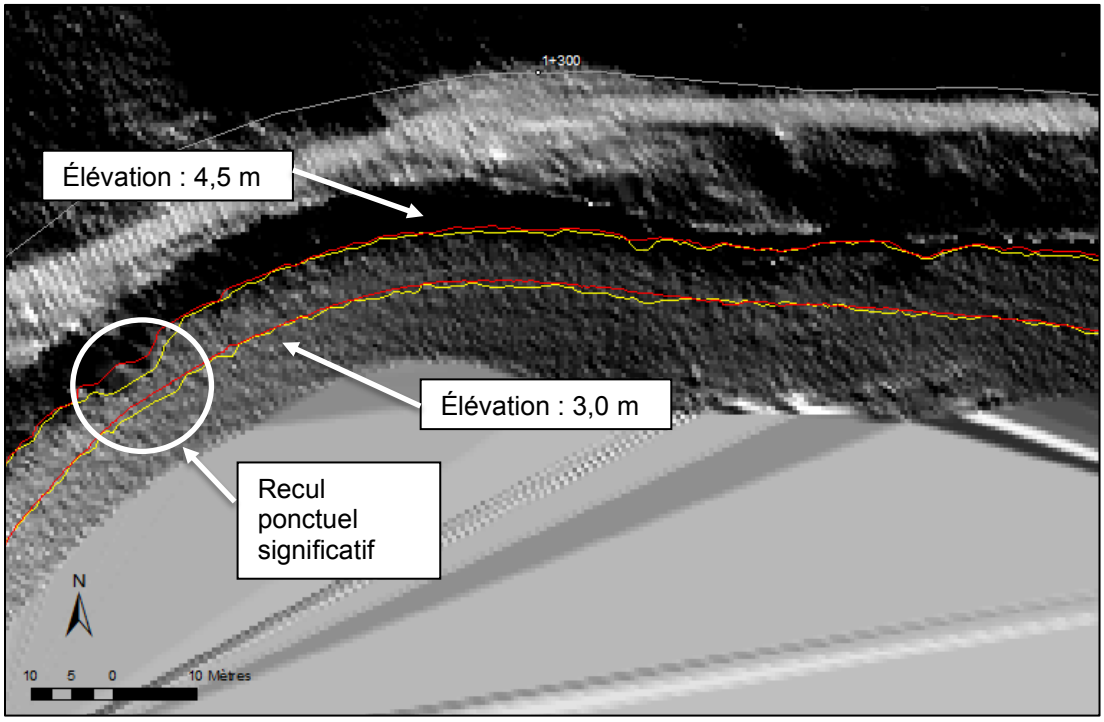


Figure 13 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – tronçon 6

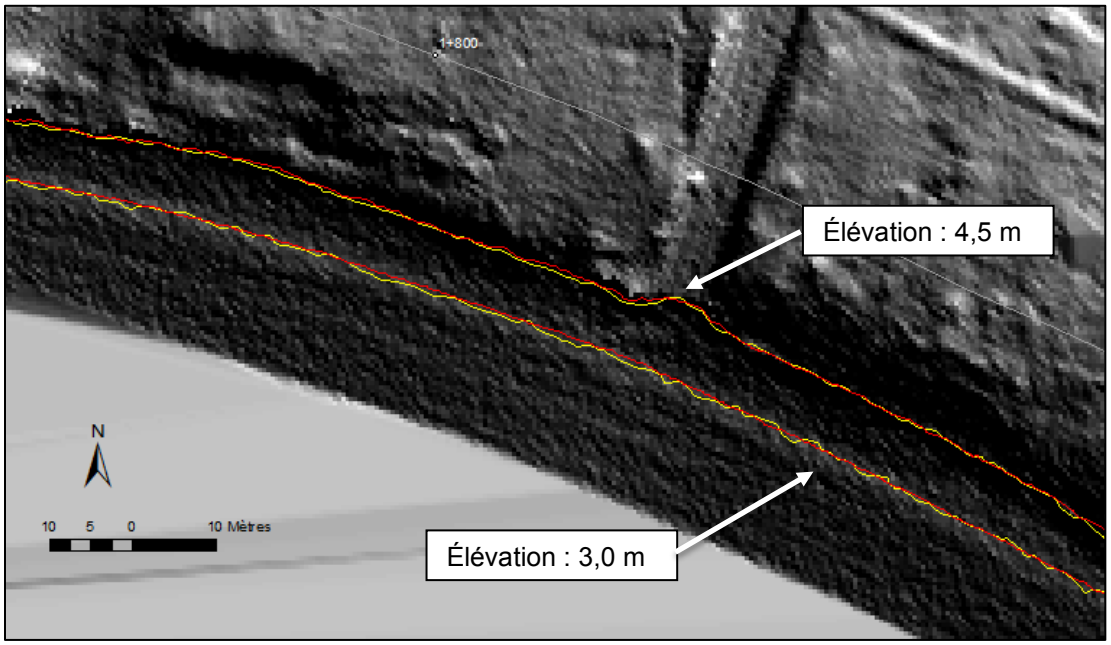


Figure 14 : Comparaison des courbes topographiques situées à 3,0 et 4,5 m d'élévation pour les années 2011 (jaune) et 2017 (rouge) – tronçon 7

3.1.3.2 Comparaison des profils topographiques de 2011, 2012 et de 2017

Sept (7) transects, un par tronçon, ont été sélectionnés pour refléter l'évolution de la topographie de la plage sur un intervalle de six (6) ans. Les transects ont généralement été positionnés au centre de chacun des tronçons ou de manière à éviter des particularités qui ne seraient pas représentatives de la topographique du secteur (ex. : présence d'émissaire pluvial ou erreurs dans le levé LiDAR provoquant des anomalies de terrain évidentes). Pour chaque transect, trois (3) profils topographiques ont été générés à partir des données LiDAR de 2011, 2012 et 2017 afin d'évaluer la présence de modifications du profil de plage ou de la microfalaise riveraine. Les descriptions qui suivent sont basées sur la distance mesurée à partir du début de chaque transect, laquelle permet de localiser les phénomènes observés le long du transect. De manière générale, il semble y avoir un meilleur agencement spatial entre les levés de 2011 et de 2017, alors que celui de 2012 présente plus fréquemment de légers décalages. Il existe également une erreur d'élévation intrinsèque à la résolution des données LiDAR, toutes années confondues, qui ne peut être dissociée d'une faible variabilité interannuelle entre les profils. Ainsi, un faible variation entre les profils topographiques peut relever de l'erreur de mesure ou d'une modification réelle, sans possibilité de les distinguer sur la seule base des données LiDAR. Pour cette raison, les interprétations sont limitées aux différences les plus significatives entre les profils topographiques. L'emplacement des transects retenus est illustré à la carte 1 (annexe B).

- **Profils topographiques du tronçon 1** :

  Le transect servant à établir les profils topographiques est situé dans la portion centrale du tronçon 1. À cet endroit, on note la présence d'un estran rocheux bien visible à marée basse, lequel est surmonté d'une plage d'environ 13 m de largeur. Un enrochement a été mis en place devant la microfalaise qui marque le contact entre la plage et la terrasse alluviale.

La comparaison des profils topographiques montre que la plage tend à montrer un léger recul entre 2011 et 2017 (figure 15). Ce recul semble un peu plus marqué dans la portion supérieure de la microfalaise riveraine qui se poursuit au-delà de l'enrochement. À la distance de 105 m sur le profil, qui correspond à la limite supérieure de l'enrochement, le talus semble présenter un recul d'environ 50 cm sur une période de 6 ans. Au sommet du profil, on remarque une différence d'élévation entre les trois profils au niveau du replat correspondant à la surface du sentier de la Plage Jacques-Cartier. Cette différence d'élévation pourrait être due à l'érosion de matériel derrière l'ouvrage par les vagues de tempêtes et refléter les premiers signes d'instabilité ayant conduit à l'effondrement des enrochements au tronçon 1 en avril 2019.

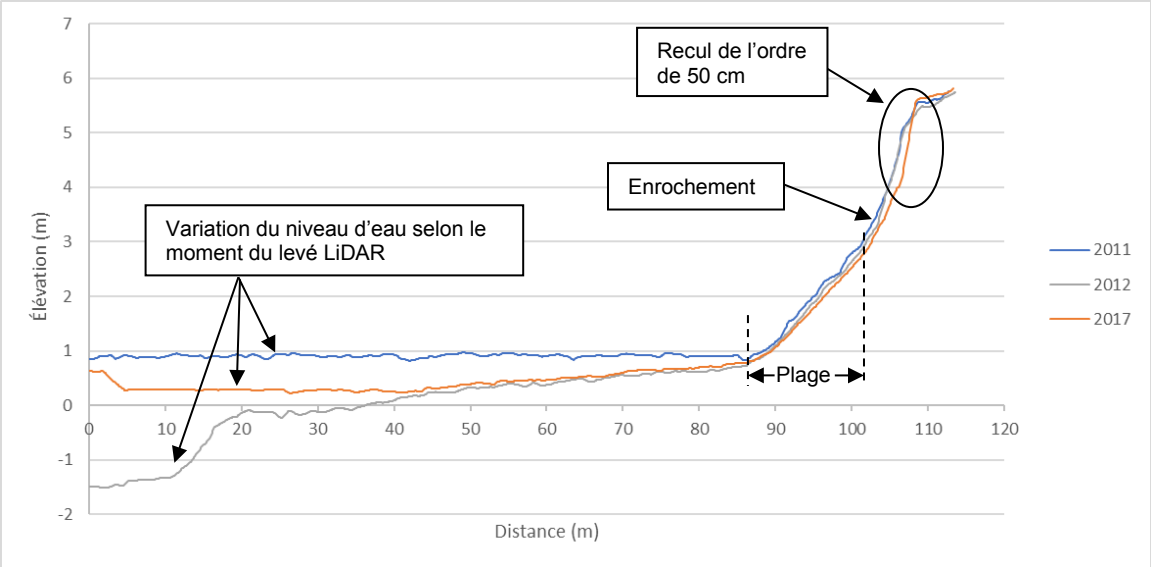


Figure 15 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 1 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 2** :

Le transect du tronçon 2 débute également sur l'estran rocheux, lequel présente un dénivelé d'environ 2 m avant de rejoindre la portion inférieure de la plage. Cette dernière s'étend entre les distances 50 et 60 m le long du transect, passant de 0,80 à 2,35 m d'élévation. Le transect recoupe ensuite l'enrochement puis le talus s'élevant jusqu'au sentier de la Plage Jacques-Cartier.

Sous l'élévation de 1 m, la fluctuation des niveaux d'eau ne permet pas la comparaison entre les trois (3) profils (figure 16). Néanmoins, l'imagerie disponible montre bien que pour les trois (3) années, le roc est à nu sur l'estran et que la différence d'élévation ne peut être interprétée comme une fluctuation de l'épaisseur de sédiments. Mis à part le profil de la portion supérieure du talus riverain en fin de transect qui diffère légèrement, possiblement en raison des travaux d'entretien du sentier, les profils topographiques de 2012 et de 2017 semblent similaires. Le même constat avait d'ailleurs été noté lors de la comparaison des courbes topographiques en plan (figure 9). Seule une légère différence dans les profils peut être notée au niveau de la plage entre les années 2011-2017 et 2012 qui est légèrement en recul. Cette différence pourrait être due à une variation interannuelle dans le profil de plage qui ne se reflète pas sur le bilan 2011 à 2017, ou encore, à une imprécision du levé LiDAR pour l'année 2012.

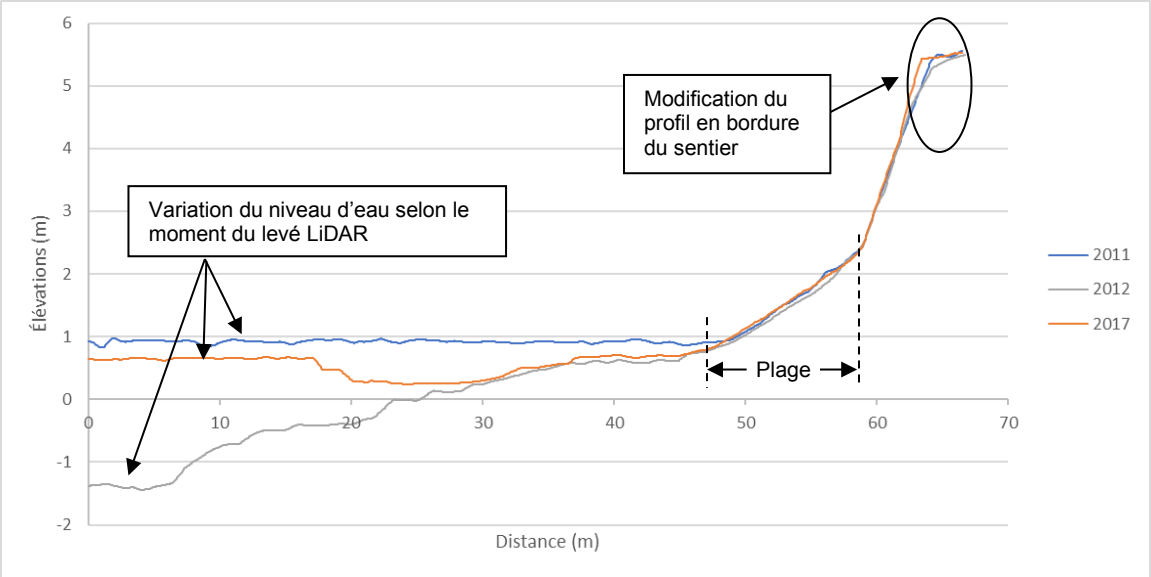


Figure 16 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 2 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 3** :

  Le transect du tronçon 3 recoupe, dans les premiers 30 m, un cône alluvial d'origine anthropique s'étant formé à la sortie d'un émissaire pluvial (carte 1; annexe B). Le transect recoupe ensuite l'estran rocheux sur un peu plus de 20 m avant croiser la plage. Celle-ci s'élève d'environ 1,5 m entre les distances 55 m et 68 m le long du transect. Un enrochement a été mis en place au sommet de la plage, à son contact avec la microfalaise. Le transect se termine sur le replat qui correspond au sentier de la Plage Jacques-Cartier.

  En raison de la variabilité du niveau d'eau entre les trois (3) levés LiDAR, il n'est pas possible d'évaluer les modifications topographiques au niveau du cône alluvial (figure 17). Au-delà d'un mètre d'élévation, la comparaison des profils permet d'observer une certaine variabilité interannuelle (ou intrinsèque à l'acquisition des données LiDAR) entre les profils de plage, jusqu'au niveau de l'enrochement (~ 3,3 m d'élévation). Au-dessus de l'enrochement, un net recul est observé entre les profils de 2011-2012 et celui de 2017. La partie supérieure du talus riverain qui était d'abord convexe devient concave en 2017 en réponse à l'érosion. La comparaison des profils témoigne d'un recul de l'ordre de 1,5 m à cet endroit entre 2011 et 2017.

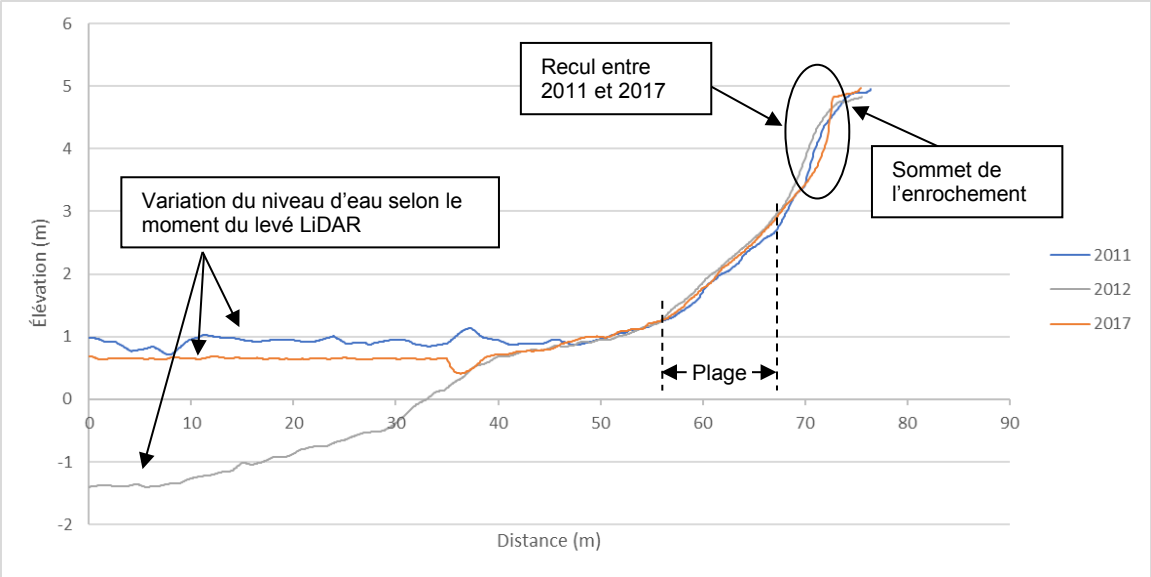


Figure 17 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 3 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 4** :

  Le transect servant à établir les profils topographiques au droit du tronçon 4 est situé directement en aval d'un émissaire pluvial bien visible à marée basse. Le transect débute au niveau de l'estran rocheux pour atteindre la plage à une distance d'un peu plus de 40 m. À cet endroit, la plage consiste en une rive naturelle qui s'étend sur une largeur d'environ 25 m et s'élève de 0,5 à 4 m d'altitude. Le transect se termine sur un espace vert situé entre la plage et le sentier de la Plage Jacques-Cartier.

  La comparaison des profils topographiques au droit du tronçon 4 permet de constater une variation d'élévation au niveau de l'espace vert situé entre la plage et le sentier alors que l'élévation de cette surface devrait être constante sur une période de temps de 6 ans (figure 18). Cette variation d'élévation est un exemple d'un meilleur agencement spatial entre les levés LiDAR de 2011 et de 2017, qui se superposent beaucoup plus l'un avec l'autre qu'avec celui de 2012. Sur cette base, il semble y avoir un recul de l'ordre de 1,5 m dans la portion inférieure de la plage entre 2011 et 2017. Le recul observé est moins important dans la portion supérieure de la plage où il se limite à quelques dizaines de centimètres pour la même période.

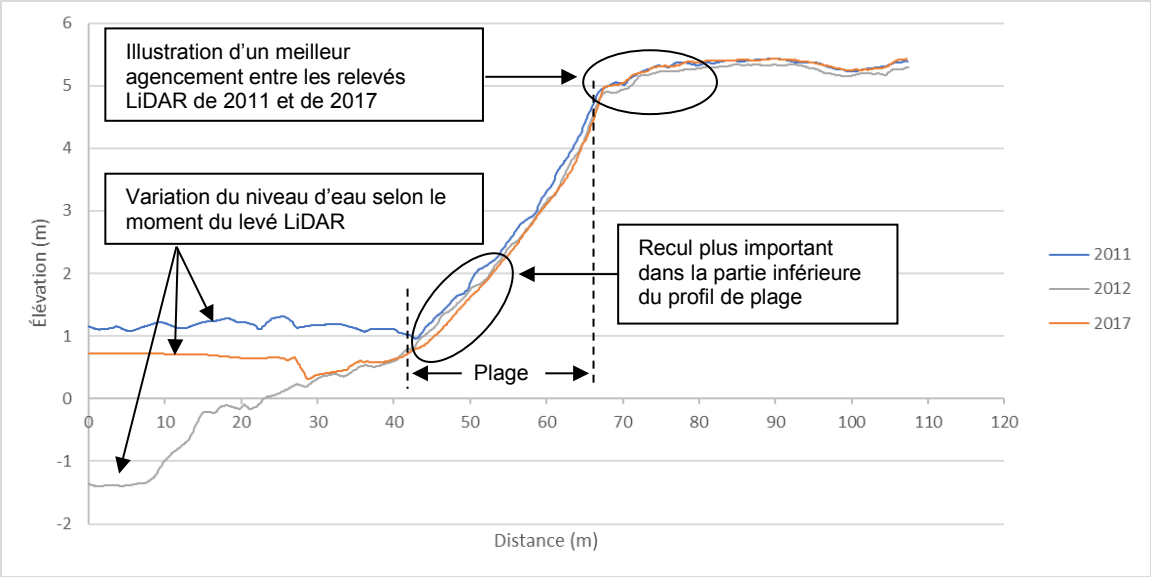


Figure 18 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 4 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 5** :

  Situé à l'extrémité d'une pointe rocheuse, le transect du tronçon 5 recoupe d'abord un affleurement rocheux bien visible à marée basse, mais qui se voit complètement submergé à marée haute. La plage débute à une distance de 65 m le long du transect et s'étend sur environ 15 m de largeur. Elle est bordée dans sa portion supérieure par une microfalaise d'environ un mètre de hauteur. Le transect se poursuit ensuite jusqu'à la rencontre du sentier (carte 1; annexe B).

  Ici encore, la comparaison des profils topographiques montre une meilleure concordance entre les levés de 2011 et de 2017 (figure 19). Sur cette période de six (6) ans, très peu de changements sont relevés entre ces deux profils. Outre une très légère variabilité morphologique du profil de plage, la forme et l'emplacement de la microfalaise riveraine demeurent inchangés. Ce constat ne signifie pas que le tronçon n'est pas affecté par l'érosion, mais bien que l'érosion ayant sévit au courant de la période étudiée n'a pas mené au recul de la plage ou de la microfalaise riveraine. L'étude menée par Norda Stelo (2016) avait d'ailleurs relevé un recul moyen de l'ordre de 1,3 m pour la période 1953 à 2014 le long de ce tronçon.

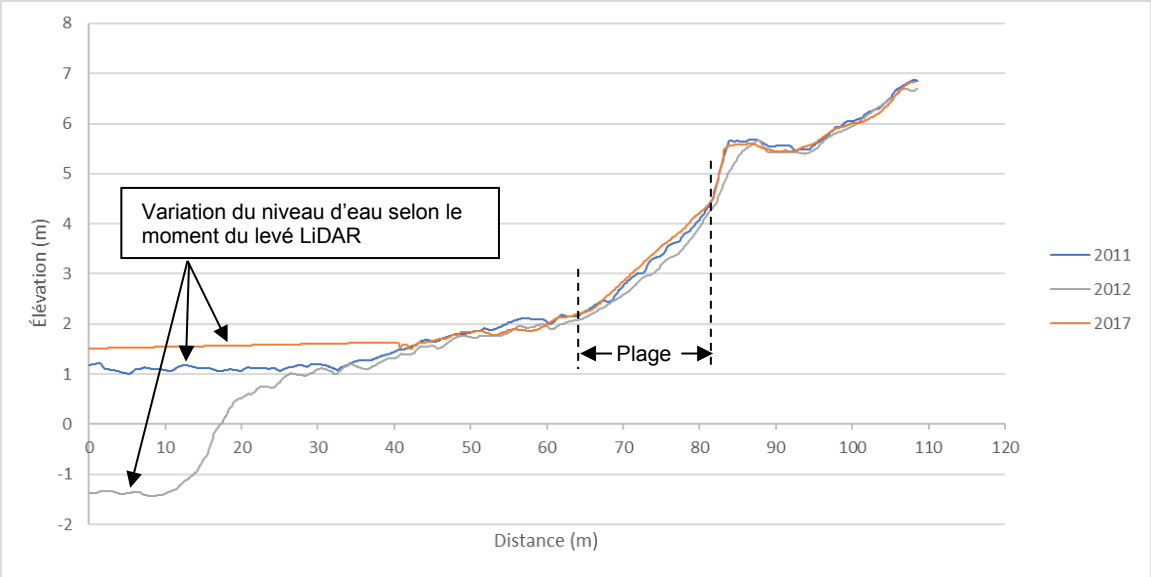


Figure 19 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 5 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 6** :

  Le transect servant à générer les profils topographiques du tronçon 6 est situé au fond d'une anse où le trait de côte est caractérisé par une forme concave. À cet endroit, l'estran rocheux est couvert d'une mince couche de matériaux meubles alors que plusieurs affleurements rocheux sont visibles de part et d'autre du transect. La plage s'étend sur près de 30 m de largeur, puis laisse place à un talus riverain d'environ 5 m de hauteur.

  La comparaison des profils topographiques montre, ici encore, un décalage spatial, entre les levés LiDAR de 2011-2017 et celui de 2012, qui semble constituer une anomalie en comparaison des autres levés (figure 20). La comparaison seule des levés de 2011 et de 2017 montre peu de changement au du profil de plage et du talus riverain. On remarque néanmoins un net recul de l'ordre d'un mètre au niveau de la rupture de pente entre la plage et le talus riverain (pied de talus) à l'emplacement du transect.

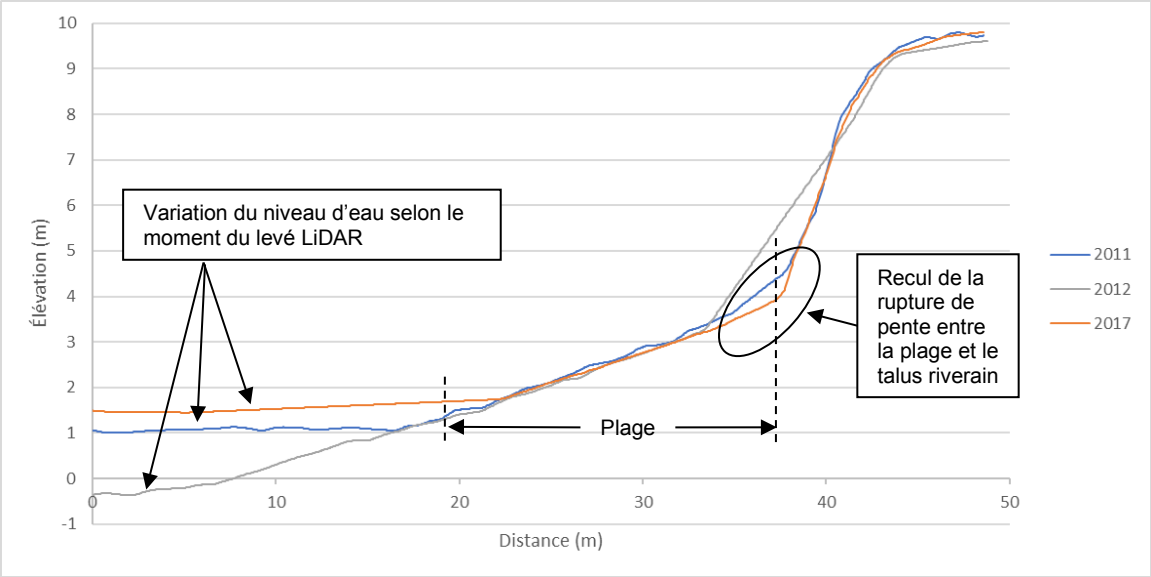


Figure 20 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 6 en 2011, 2012 et 2017

- **Profils topographiques du tronçon 7** :

  Le transect recoupant le tronçon 7 est situé dans la portion centrale de l'anse (carte 1; annexe B). Il débute sur un estran couvert d'une mince couche de sédiment recouvrant le roc, puis recoupe le profil de plage sur un peu plus de 30 m de largeur. Au-delà de la plage, le profil se poursuit selon le même gradient de pente sur une dizaine de mètres avant de s'adoucir en surface de la terrasse alluviale jusqu'au stationnement situé en bordure du Chemin du Pavillon.

  La comparaison des trois (3) profils topographiques montre peu de changement entre 2011 et 2017 (figure 21). Le recoupement des profils topographiques est essentiellement dû à la variabilité intrinsèque à l'acquisition des levés LiDAR.

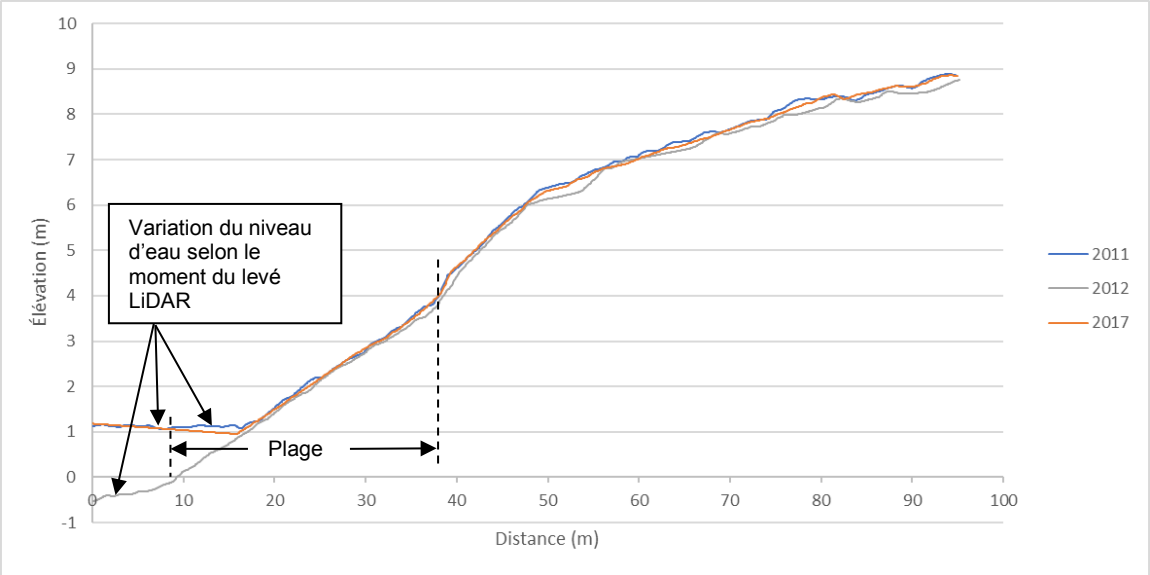


Figure 21 : Comparaison des profils topographiques de la plage du tronçon 7 en 2011, 2012 et 2017

3.2 TRANSPORT ET APPORTS SÉDIMENTAIRES

Les sédiments érodés sont mis en transport sur des distances plus ou moins importantes selon leur taille et la vitesse d'écoulement, tel que décrit par le diagramme de Hjulström. Ainsi, les particules fines nécessitent de faibles vitesses pour demeurer en suspension alors que les particules plus grossières requièrent de plus hauts niveaux d'énergie. Le transport sédimentaire caractérisant la zone d'étude peut être regroupé en trois (3) sources, soit le transport distal (++ km), le transport régional (km) et le transport local (m à mm).

3.2.1 Transport distal

Les sédiments transigeant par le fleuve peuvent provenir de sources situées à grande distance, allant de dizaine de kilomètres à plusieurs centaines de kilomètres. Selon Rondeau et al. (2000), la charge sédimentaire du fleuve Saint-Laurent au niveau de Québec peut être subdivisée en quatre zones contributoires. L'érosion du lit et des berges contribueraient à 65 % du volume total de sédiments transigeant annuellement à la hauteur de Québec. Les tributaires des rive sud et nord du Saint-Laurent seraient respectivement responsables de 19 et 13 % de la charge totale alors que le lac Ontario, situé à plus à plus 500 km de Québec contribuerait à une hauteur de 3 % au transit sédimentaire.

Le transport sédimentaire est particulièrement efficace durant la crue printanière (avril à juin) alors que plus de 70 % du transit sédimentaire s'effectue (Sérodes, 1980). C'est aussi durant cette période que la compétence hydrodynamique du fleuve est la plus importante et que les particules les plus grossières sont mobilisées, à l'exception des cailloux, galets et blocs qui sont déplacés dans les zones intertidales suivant la débâcle printanière (mars). Durant la période d'étiage estivale, le transport sédimentaire est moins efficace et favorise la sédimentation des particules fines sur les estrans. Ces particules seront toutefois remises en transport lors de la hausse des niveaux d'eau automnaux et de l'occurrence accrue des tempêtes maritimes durant cette période, soit au moment qui correspond également à la disparition de la

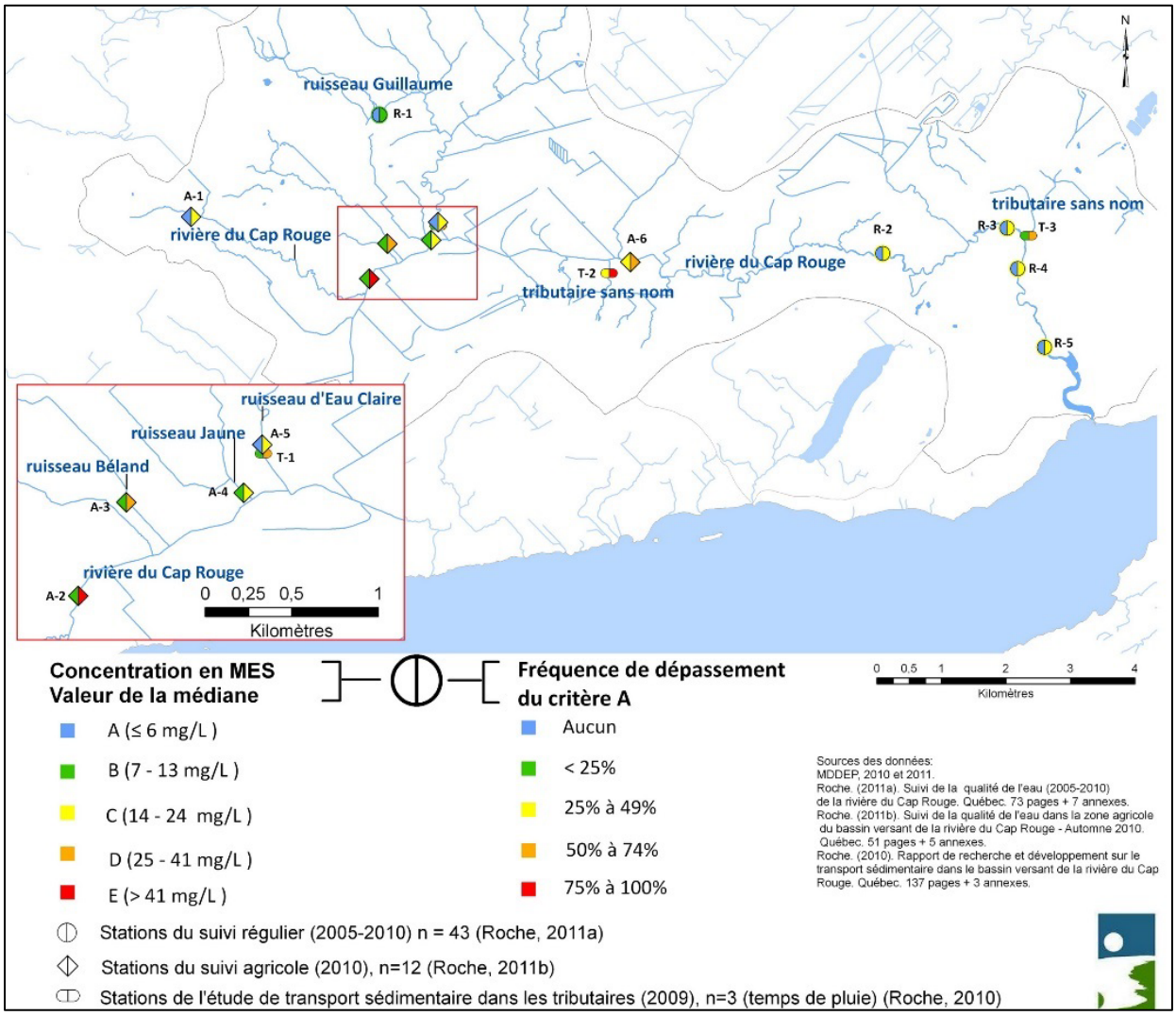
végétation estivale sur les estrans (Fortin et Pelletier, 1995). Le transport sédimentaire est à son plus faible niveau durant la saison hivernale alors que le pied de glace protège normalement les berges de l'érosion.

3.2.2 Transport régional

La rivière du Cap Rouge, située directement en amont du parc de la Plage-Jacques-Cartier est, en raison sa proximité géographique, plus susceptible de contribuer à la charge sédimentaire transigeant dans la zone d'étude. Son potentiel de contribution est d'autant plus élevé que les problématiques d'érosion y sont connues et ont été étudiées à plusieurs reprises (Argus, 1994; Écogénie, 2001, 2002 et 2009; CBRCR, 2014). En milieu urbain, la présence de surface imperméabilisée et de faibles superficies boisées mène à des variations rapides et intenses du débit ainsi qu'à l'augmentation significative des débits de pointe (Écogénie, 2002), augmentant les risques d'érosion. De même, l'absence de bande riveraine, de traversées à gué et de sorties de drain non enrochées peuvent contribuer à augmenter le risque d'érosion (OBVC, 2015).

Une étude récente (CBRCR, 2014) s'est intéressée au portrait de l'érosion dans le bassin versant de la rivière du Cap Rouge. Sur un total de 139 lots privés étudiés, 53 % des lots ne présentaient pas d'érosion, 36 % montraient une érosion faible alors que 11 % étaient caractérisés par une érosion sévère. Ainsi, sur les 4 560 m de berges étudiées, 2 606 m étaient en érosion à divers niveaux de sévérité. Par ailleurs, le même protocole de caractérisation a été appliqué aux lots privés situés en bordure des tributaires de la rivière du Cap Rouge (figure 22). Des 57 lots étudiés, 100% des lots présentaient de l'érosion à différents niveaux de sévérité.

Le suivi des concentrations de matières en suspension (MES) a permis de démontrer que la charge sédimentaire était significativement plus importante lors des événements de précipitations. Alors que les mesures de MES respectait le plus souvent le critère A (figure 22) en conditions de débit de base, les mesures effectuées par temps de pluie excédaient systématiquement le critère A avec une fréquence de dépassement de plus de 50 %.



Source : OBVC, 2015

Figure 22. Concentration médiane et fréquence de dépassement en MES lors de trois campagnes d'échantillonnage dans le bassin versant de la rivière du Cap Rouge entre 2005 et 2010

Les sédiments érodés dans le bassin versant de la rivière du Cap Rouge sont transportés vers l'aval, où l'on note la présence d'accumulations sédimentaires dans la zone de marnage, au niveau de la plaine alluviale actuelle, ainsi que sous forme d'accumulations deltaïques à l'embouchure de la rivière. L'analyse des images aériennes disponibles permet également de constater que l'apport sédimentaire de la rivière du Cap Rouge vers la Plage Jacques-Cartier ne peut s'effectuer qu'à marée haute. Autrement, la largeur de l'estran exondé durant les périodes de marée basse ne permet pas de contact entre la plage et le chenal fluvial. Durant ces périodes, le transit sédimentaire se poursuit vers l'aval, en profitant d'eaux plus profondes et de vitesse d'écoulement plus rapide, puisqu'il n'y a pas réellement d'opposition provenant du courant de marée montante (flot). Bien que les périodes de marées hautes permettent le contact entre les eaux du fleuve et la plage meuble, ces périodes sont aussi plus propices à l'érosion de la plage, notamment lors des crues printanières et automnales alors que les débits sont à leurs maximums.

3.2.3 Transport local

L'érosion de la Plage Jacques-Cartier elle-même contribue à la charge sédimentaire du fleuve dans la zone d'étude. Les sédiments sont mis en transport à partir de la plage, de la microfalaise riveraine (ou du talus riverain selon la morphologie des tronçons) par les courants et les vagues de marées hautes, soit pour être déposés plus bas dans le profil de plage ou vers l'aval. Les sédiments provenant de la plage ou de la microfalaise ne peuvent en effet être mobilisés par les vagues qu'en période de marée haute, ou encore à de hauts niveaux de marée montante (flot) ou descendante (jusant), c'est-à-dire au-dessus de la cote de 3,0 m (PMSMM). À marée basse, il y a perte de contact entre le chenal fluvial et la plage. La portion inférieure de l'estran étant le plus souvent dominé par le roc affleurant ou subaffleurant, la charge sédimentaire mobilisée durant cette période est probablement limitée aux anses abritant les segments 6 et 7, où la portion inférieure de l'estran présente une couverture meuble qui permet à tout le moins de camoufler le roc sous-jacent. Le transport sédimentaire alluvial, pouvant affecter le volume et la morphologie de la berge à l'intérieur de la zone d'étude, s'effectue donc essentiellement durant les périodes de hautes eaux. Le roc, bien que moins susceptible à l'érosion, peut également être mis en transports sous forme de fragments, mais nécessitera des niveaux d'énergie beaucoup plus importants pour être érodé et mobilisé. Les glaces, lorsqu'elles sont présentes et mobiles sur l'estran, induisent par abrasion une bonne part de cette érosion du shale friable de la surface rocheuse.

Par ailleurs, depuis la falaise rocheuse, le transport sédimentaire attribuable au ruissellement des eaux de surface peut s'effectuer en tout temps, bien qu'il soit plus important à la suite d'événements de précipitation ou durant la période de fonte des neiges. La présence de quelques canalisations s'écoulant depuis cette falaise constitue également un apport sédimentaire, mais d'origine anthropique. Leur contribution au régime sédimentaire du rivage de la zone d'étude est bien réelle puisque leur présence est associée à certaines formes d'accumulation reposant sur l'estran.

3.3 SÉDIMENTATION

La plus importante zone de sédimentation contenue dans la zone d'étude et située à l'exutoire de la rivière du Cap Rouge ainsi que le long de son cours inférieur, à l'intérieur de la zone de marnage marégraphique. Dans ce secteur, on constate la présence d'alluvions et de barres alluviales mises en place dans la zone de confluence des eaux de la rivière et celles du fleuve. La sédimentation y est favorisée par la très faible pente du chenal fluvial, l'environnement deltaïque (confluence de deux cours d'eau de niveaux d'énergie distincts), la présence de crêtes rocheuses au niveau de la zone intertidale, de part et d'autre du secteur de confluence, ainsi que par la présence de certains obstacles sur l'estran, tels un cordon de blocs glaciels et une crête rocheuse.

L'activité glacielle printanière du fleuve contribue également à la sédimentation dans la zone d'étude, notamment en ce qui a trait à la déposition de matériaux grossiers, tels que des cailloux, galets et des blocs formant des cordons glaciels. Les images disponibles à marée basse laissent voir trois de ces cordons dans la zone d'étude. L'un est situé directement en bordure du chenal de la rivière du Cap Rouge alors qu'un second se trouve à une centaine de mètres à l'est, face au Parc nautique de Cap-Rouge (figure 23). Le troisième se trouve au pied de l'estran, face au tronçon 7. À noter que d'autres accumulations de blocs sans organisation particulière peuvent être observées, notamment dans le secteur de l'embouchure de la rivière du Cap Rouge, sans toutefois former de cordon (figure 23). Ce type de forme glacielle est issu de l'accumulation de blocs transportés par les glaces flottantes à la limite des basses mers. Leur emplacement correspond au niveau préférentiel auquel s'échouent les radeaux de glace.

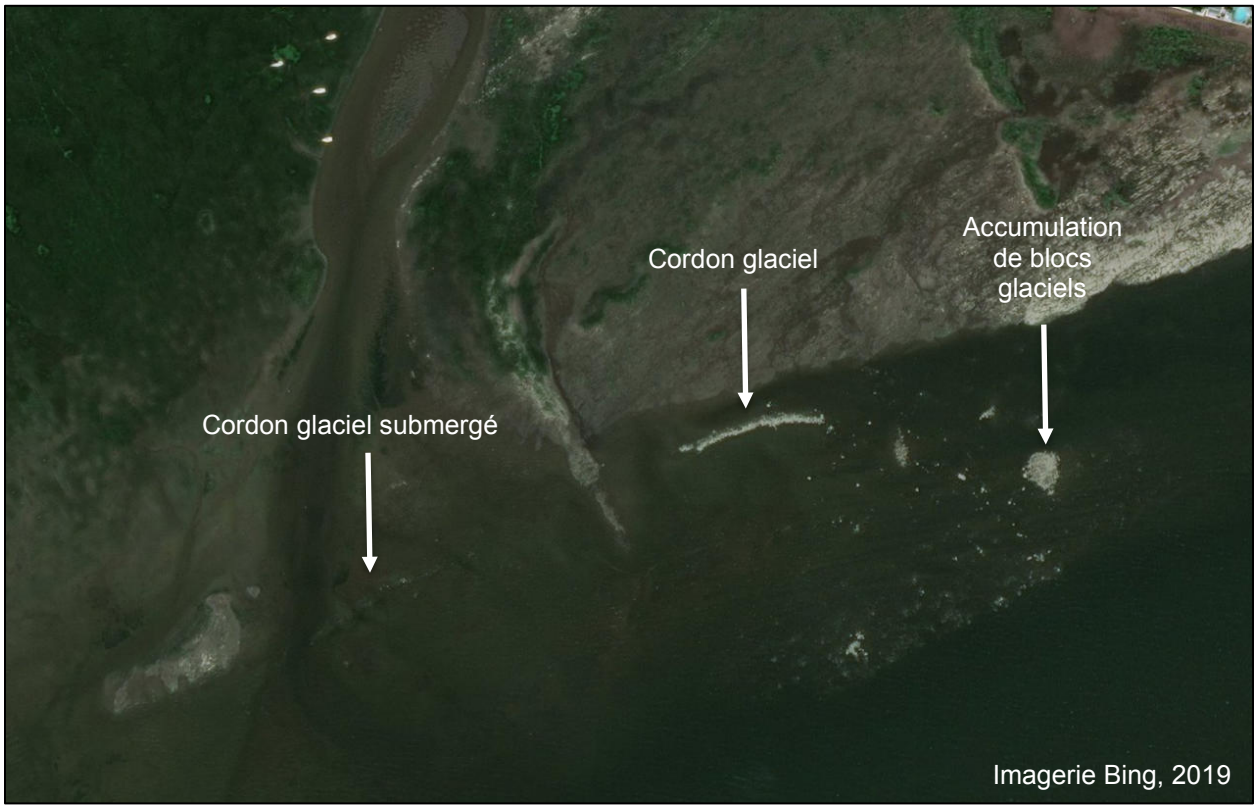


Figure 23. Cordons glaciels situés dans le secteur de l'embouchure de la rivière du Cap Rouge

Bien que ces cordons de blocs soient composés de matériaux de gros calibre et qu'ils s'étendent parallèlement à la ligne de rivage, ils ne peuvent constituer une barrière naturelle à l'érosion puisqu'ils sont submergés durant les périodes de hautes mers alors que c'est à ce moment que l'érosion côtière est la plus significative.

Par ailleurs, la zone d'étude comporte cinq (5) émissaires pluviaux débouchant au niveau de la Plage Jacques-Cartier. Ils sont situés en amont du tronçon 1 vis-à-vis le 4080 Chemin de la Plage Jacques-Cartier, au tronçon 3 (~ 0+550), au tronçon 4 (~ 0+730) et directement en aval (~ 0+860) et finalement en aval du tronçon 6 (~1+420). Des accumulations de sédiments se forment à la sortie de ces émissaires sous forme de cônes alluviaux d'origine anthropique.

La revue des images disponibles à marée basse entre 2003 et 2019 (Google Earth) montre que ces accumulations sont présentes depuis au moins 2003, et probablement depuis la mise en place des émissaires. Au fil des ans et des images disponibles, on constate que la forme de ces accumulations se modifie légèrement dans le temps, mais que, de manière générale, leur étendue demeure plutôt constante (figure 24). La pérennité de ces cônes tient probablement au fait que la sédimentation se produit de manière quasi continue, avec des pointes lors d'événements de précipitation, alors que leur érosion est limitée aux périodes de marée haute. Durant les périodes de marée basse, les cônes sont en totalité ou partiellement émergés et donc, hors de portée (en totalité ou partiellement) des processus d'érosion littoraux (glaces, vagues, marées, courants et dérive littorale). De ce fait, ces formes d'accumulation semblent maintenir un état de stabilité relative dans la mesure où leur forme ne se voit pas modifiée de manière significative au fil des ans.

Figure 24. Évolution d'un cône alluvial d'origine anthropique mis en place à la sortie de l'émissaire pluvial situé au tronçon 3.

4.0 RÉGIME HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAGE JACQUES-CARTIER

La revue des données existantes combinée à l'analyse des levés LiDAR de 2011, 2012 et 2017 et des images aériennes disponibles permet de poser une série de constats portant sur le régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier. Les principaux constats sont présentés ci-dessous en fonction de la composante du régime de laquelle ils relèvent :

Érosion

- L'érosion de matériaux de surface est commune le long de la rivière du Cap Rouge comme l'ont montré plusieurs études. La rivière du Cap Rouge constitue indéniablement une source sédimentaire pour le fleuve Saint-Laurent;
- La Plage Jacques-Cartier comprend 830 m de berges protégés par des ouvrages de stabilisation alors que 750 m des berges naturelles restantes sont considérés en érosion à divers niveaux d'intensité. Ainsi, sur une longueur totale de 2 160 m de berges, 1 580 m de berges ont été ou sont encore actuellement en érosion, soit plus de 73 % de la longueur totale de la plage;
- L'analyse multidates de photographies aériennes témoigne de cette tendance au recul de la plage au cours de la période 1953 à 2014. L'analyse de l'évolution récente et à moyen terme de la plage pour la période 2011 à 2017 à l'aide de données LiDAR illustre également pour certains secteurs un recul de la plage ou de la microfalaise riveraine, ou un état de stabilité relative.
- Les principaux agents d'érosion sont les vagues (incluant marées et courants), l'activité glacielle (uniquement à marée haute et en l'absence de pied de glace) et le ruissellement de surface, ce dernier ayant toutefois un effet ponctuel;
- L'érosion de la plage se produit à marée haute puisqu'à marée basse, il y a perte de contact entre la plage et le niveau du fleuve;
- La nature rocheuse de la portion inférieure de l'estran est beaucoup moins propice à l'érosion que la plage meuble de sa portion supérieure.

CARACTÉRISATION DU RÉGIME HYDROSÉDIMENTAIRE DE LA PLAGE JACQUES-CARTIER, QUÉBEC

Sédimentation

- La cartographie des dépôts de surface révèle très peu de formes d'accumulation sédimentaire. Les seules formes identifiables consistent en des cônes alluviaux de nature anthropique mis en place à la sortie d'émissaires pluviaux ainsi que quelques cordons de blocs glaciels mis en place à marée basse;

- L'analyse des profils topographiques des tronçons 1 à 7 ne révèle pas d'accumulation sédimentaire au fil du temps, mais plutôt le maintien ou le recul des profils de plage;

- Si les périodes de marée haute sont propices à l'érosion, les périodes de marée basse concentrent les eaux dans un chenal plus étroit et davantage profond. Les particules grossières peuvent se déposer en profondeur, notamment à la confluence de la rivière du Cap Rouge avec le fleuve, alors que les particules plus fines sont mobilisées vers l'aval dans le fleuve.

Transport

- La charge sédimentaire du fleuve Saint-Laurent au droit de la zone d'étude est une combinaison du transport distal, régional et local;

- Le transport s'effectue par le courant (incluant marée et vagues) ainsi que par les glaces flottantes, lesquelles sont responsables de la mobilisation des éléments grossiers (cailloux, galets et blocs). Le transport associé aux glaces flottantes est notamment responsable de la mise en place des cordons et des accumulations de blocs au niveau de la ligne de marée basse;

- Compte tenu de l'étendue de la berge en érosion et du peu d'accumulation qui se produit au niveau de la plage, la capacité du transport sédimentaire est suffisante pour mobiliser et évacuer le produit de l'érosion en aval de la zone d'étude, notamment à marée haute;

- Un transport sédimentaire s'effectue également par l'entremise des émissaires pluviaux à la sortie desquels on note la présence des quelques rares formes d'accumulation (cônes alluviaux) dans la zone d'étude.

En somme, la caractérisation du régime hydrosédimentaire de la Plage Jacques-Cartier par une approche géomorphologique tend à montrer que le bilan sédimentaire de la zone d'étude est dominé par l'érosion. Bien les sources sédimentaires soient disponibles et soumises à l'érosion tant régionalement que localement, la zone d'étude est peu favorable à l'accumulation de cette charge, notamment en raison du marnage marégraphique, des vitesses de courant et d'écoulement qui en résultent ainsi que de l'énergie des vagues de marée haute, et qui semblent développer la capacité de transport nécessaire pour évacuer les sédiments de la plage.

5.0 RÉFÉRENCES

ARGUS. 1994. Rivière du Cap Rouge : Plan de restauration et de mise en valeur. Rapport produit pour l'Union québécoise pour la conservation de la nature. 91 pages et annexes.

BPR, 2012. *Étude d'avant-projet. Contrôle de l'érosion des berges à la plage Jacques-Cartier*. Rapport présenté à la Ville de Québec – Révision 1, juillet 2012, 18 pages + annexes.

DIONNE, J.-C., 2002. État des connaissances sur la ligne de rivage Micmac de J.W. Goldthwait (estuaire du Saint-Laurent). Géographie physique et Quaternaire, 56 (1) : 97-121. https://doi.org/10.7202/008607ar

CONSEIL DE BASSIN DE LA RIVIÈRE DU CAP ROUGE (CBRCR). 2014. Caractérisation de l'érosion des berges de la rivière du Cap Rouge et de ses tributaires. Rapport final (campagnes de terrain de 2013 et 2013). 34 pages et annexes.

ÉCOGÉNIE. 2001. Restauration écologique de la rivière du Cap Rouge : étude sur l'érosion des rives et évaluations des perspectives d'aménagement. Rapport présenté à la Ville de Cap-Rouge. 25 pages et annexes.

ÉCOGÉNIE. 2002. *Étude sur l'érosion des rives des rivières Lorette et du Cap Rouge. Rapport final*, Ville de Sainte-Foy. 27 pages + annexes.

ÉCOGÉNIE. 2009. *Suivi de l'érosion des rives de la rivière du Cap Rouge*. Québec: Ville de Québec.

HOWES, D.E. and E. KENK. 1997. Terrain Classification System for British Columbia. BC Ministry of Environment. 114 pp.

NORDA STELO, 2016. Dynamique de l'érosion et étude des variantes – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier. Rapport final présenté à la Ville de Québec. 124 pages.

ORGANISME DE BASSIN VERSANT DE LA CAPITALE (OBVC). 2015. Plans directeurs de l'eau . http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic/section-2-problematiques-associees-a-la-qualite-des-ecosystemes/2-2-erosion-des-berges#derorivcaprouge. Dernière mise-à-jour le 13 février 2015.

RÉSEAU D'INFORMATION SUR LES EAUX SOUTERRAINES (RIES), 2019. Visionneur de cartes RIES. http://gin.gw-info.net/service/api_ngwds:gin2/fr/wmc/standard.html

SÉRODES, JB., 1980. Étude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent Env. Canada Québec, Inland Water Dir., Rapp., 29 pages.

STANTEC, 2018. Étude d'impact sur l'environnement - Stabilisation des berges de la Plage Jacques-Cartier. Rapport présenté à la Ville de Québec, 555 pages.

STANTEC, 2019. Étude hydraulique, modélisation 2D et solution technique pour les berges de la plage Jacques-Cartier (version 4). Rapport présenté à la Ville de Québec, 130 pages.

SYSTÈME D'INFORMATION GÉOMINIÈRE DU QUÉBEC (SIGÉOM), 2019. Cartes interactives. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. http://sigeom.mines.gouv.qc.ca/signet/classes/I1108_afchCarteIntr

VERVILLE, J.-F. 2010. Paléoenvironnements et fluctuations du niveau marin relatif holocènes dans le bassin versant de la rivière Cap-Rouge, Québec. Mémoire de maîtrise, département de géographie, Université Laval, 72 pages.

ANNEXE A

Énoncé des conditions générales

ÉNONCÉ DES CONDITIONS GÉNÉRALES

UTILISATION DU PRÉSENT RAPPORT : Le présent rapport a été préparé pour le seul bénéfice du client ou de son agent et il ne peut être utilisé par une tierce partie sans le consentement expressément écrit de Stantec Experts-conseils ltée et du client. La responsabilité de toute utilisation du présent rapport par une tierce partie relève de cette dernière.

FONDEMENT DU RAPPORT : Les renseignements, les opinions ou les recommandations contenus dans le présent rapport sont en accord avec la compréhension actuelle de Stantec Experts-conseils ltée relativement au projet spécifique au site, comme décrit par le client. Leur applicabilité se limite aux conditions du site au moment de l'investigation ou de l'étude. Si le projet spécifique au site proposé diffère de la description indiquée dans le présent rapport ou s'il est modifié, ou si les conditions du site ont changé, alors le présent rapport n'est plus valide à moins que le client demande à Stantec Experts-conseils ltée de réviser et de mettre à jour le rapport afin qu'il reflète les modifications apportées au projet ou l'évolution des conditions du site.

NORMES DE CONDUITE : La préparation du présent rapport ainsi que tous les travaux connexes ont été réalisés conformément aux normes de conduite acceptées dans l'État ou la province où a lieu la prestation du service professionnel précis fourni au client. Aucune autre garantie n'est donnée.

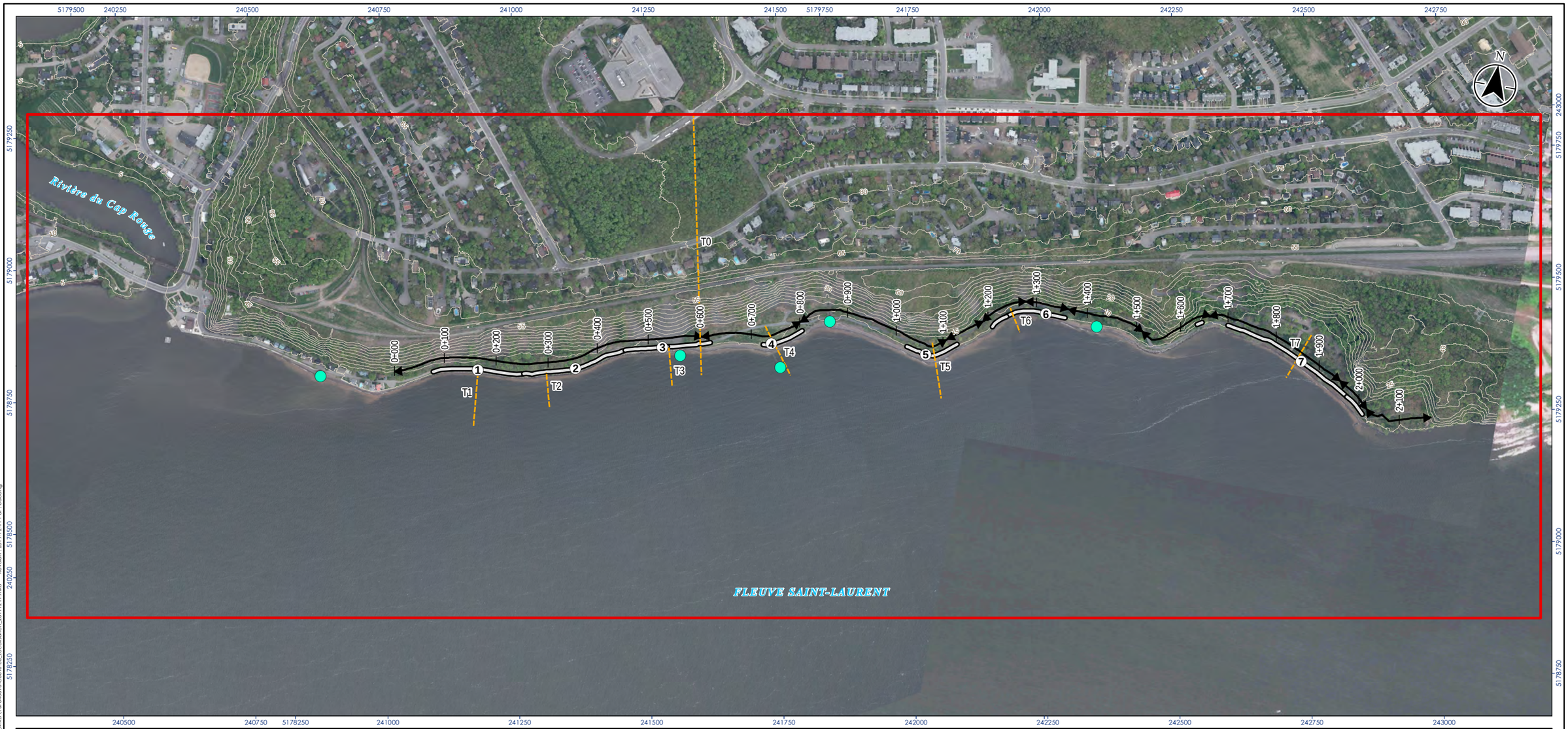
INTERPRÉTATION DES CONDITIONS DU SITE : Dans ce rapport, les descriptions du sol, du socle rocheux ou des autres matériaux ainsi que les énoncés concernant leur état sont basés sur les conditions du site constatées par Stantec Experts-conseils ltée au moment de réaliser le travail et aux emplacements précis des essais ou des échantillonnages. Les classifications et les énoncés concernant les conditions sont établis conformément aux pratiques normalement acceptées, lesquelles sont discrétionnaires par nature; aucune description spécifique ne doit être considérée comme exacte, mais plutôt comme un reflet du comportement attendu des matériaux. L'extrapolation des conditions in situ ne peut être faite que dans une certaine étendue limitée au-delà des points d'échantillonnages et d'essais. L'étendue dépend de la variabilité des conditions du sol, du socle rocheux et de l'eau souterraine, selon l'influence des processus géologiques, des activités de construction et de l'utilisation du site.

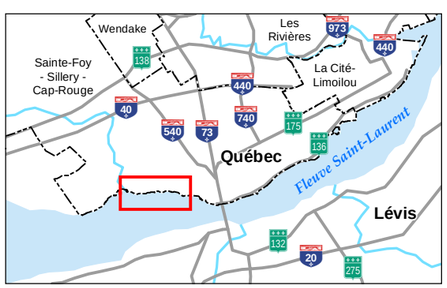
CONDITIONS VARIABLES OU INATTENDUES : Dans l'éventualité où les conditions réelles du site ou les conditions souterraines diffèrent de celles décrites dans le présent rapport ou constatées aux emplacements d'essais, Stantec Experts-conseils ltée doit en être avisée immédiatement afin de déterminer si les conditions variables ou inattendues sont importantes et s'il est nécessaire de réévaluer les conclusions ou les recommandations du rapport. Stantec Experts-conseils ltée n'est pas responsable envers toute partie tierce pour les dommages encourus si elle n'est pas avisée des changements des conditions du site ou des conditions souterraines dès leur découverte.

PLANIFICATION, CONCEPTION OU CONSTRUCTION : Les plans de développement ou de conception et les spécifications doivent être révisés par Stantec Experts-conseils ltée, et ce, suffisamment de temps avant le début de la prochaine étape du projet (acquisition de propriété, soumission, construction, etc.), afin de confirmer que le présent rapport tient entièrement compte des caractéristiques du projet élaboré et que le contenu du présent rapport a été correctement interprété. Durant la construction, des services spécialisés d'assurance de la qualité (observations sur le terrain et essais) seront nécessaires dans le cadre de l'évaluation des conditions souterraines et des travaux de préparation du site. Le travail sur le site lié aux recommandations contenues dans le présent rapport ne doit être effectué qu'en présence d'un ingénieur géotechnique qualifié; Stantec Experts-conseils ltée ne peut être tenue responsable du travail réalisé sur le site en son absence.

ANNEXE B

Cartes 1, 2 et 3





Zone d'étude
0+100 Chainage
Émissaire pluvial
Segment de végétation terrestre homogène
1 Tronçon et identifiant
T0 Profil topographique et identifiant
Courbe de niveau (intervalle: 5 m)

0 100 200 mètres
1:7 500
(Au format original 11x17)

Sources
1. Système de coordonnées : NAD 1983 MTM 7
2. Inventaire terrain: Stantec, 2019
3. Segment de l'aménagement proposé et chainage: Ville de Québec, 2017
4. Image aérienne: Ville de Québec, 2015 (haute résolution) et DigitalGlobe, 2017 (basse résolution)

Stantec

Localisation du projet
Parc de la Plage-Jacques-Cartier
Québec, Québec

167040090 REV0
Préparé par Elizabeth Duong le 2019-12-11
Vérifié par Frédéric Vinet le le 2019-12-11
Révision indépendante par Mario Heppell le 2019-12-11

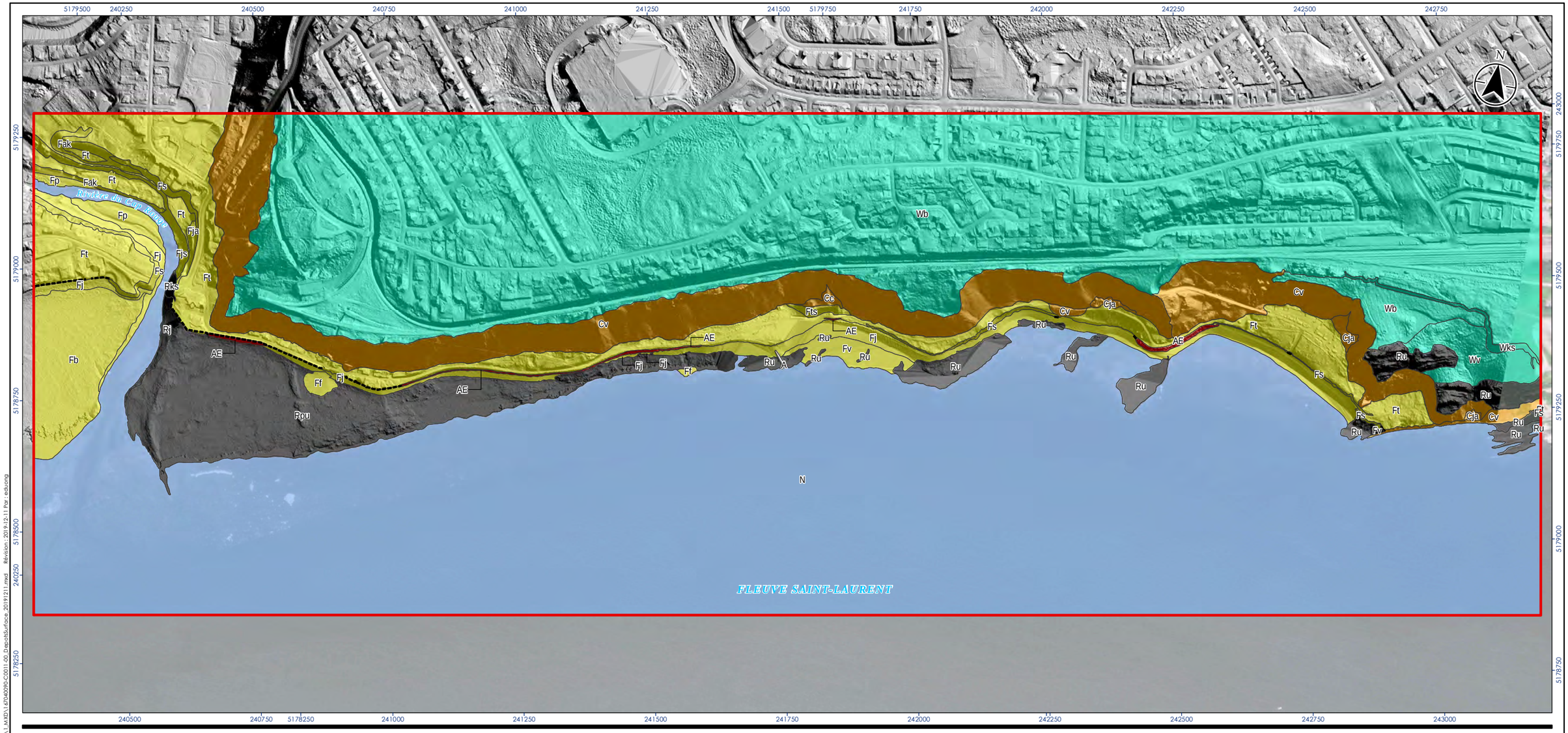
Client/Projet
Ville de Québec
Caractérisation du régime hydrosédimentaire du parc de la Plage-Jacques-Cartier

Carte No.
1

Titre
Localisation du projet

\\Cd1127-f01\projets_partages\167040090\GO\2_DocProjConcept\4_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0010-00_Localisation_20191211.mxd Révision : 2019-12-11 Par : eduong

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée a Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.



Sources
1. Système de coordonnées : NAD 1983 MTM 7
2. Dépôt de surface: Stantec, 2019
3. Modèle ombragé: Ville de Québec, 2017 (généré à partir de données LiDAR)
4. Image aérienne: DigitalGlobe, 2017 (basse résolution)

Zone d'étude
Mur de stabilisation

Dépôts de surface
- Alluvions - F
- Anthropique - A
- Colluvions - C
- Eau - N
- Enrochement - AE
- Roc - R
- Sédiments marins - W

Exemple: Cv
Dépôt sus-jacent
Expression de surface

Expression de surface
ak: Pente modérée à modérément abrupte (26 à 70%)
b: Couverture de 1 à 3 m d'épaisseur
f: Éventail (forme deltaïque)
j: Pente douce (5 à 25%)
ja: Pente douce à modérée (5 à 50%)
js: Pente douce à escarpée (5 à >70%)
ks: Pente modérement abrupte à abrupte
p: Plaine (pente entre 0 et 5%)
pu: Plaine ou topographie ondulée (pente entre 0 et 25%)
s: Pente escarpée (>70%)
t: Terrasse
ts: Terrasse à pente escarpée (>70%)
u: Topographie ondulée
v: Placage mince (<1 m d'épaisseur)

0 100 200 mètres
1:7 500
(Au format original 11x17)

Stantec

Localisation du projet
Parc de la Plage-Jacques-Cartier
Québec, Québec

167040090 REV0
Préparé par Elizabeth Duong le 2019-12-11
Vérifié par Frédéric Vinet le le 2019-12-11
Révision indépendante par Mario Heppell le 2019-12-11

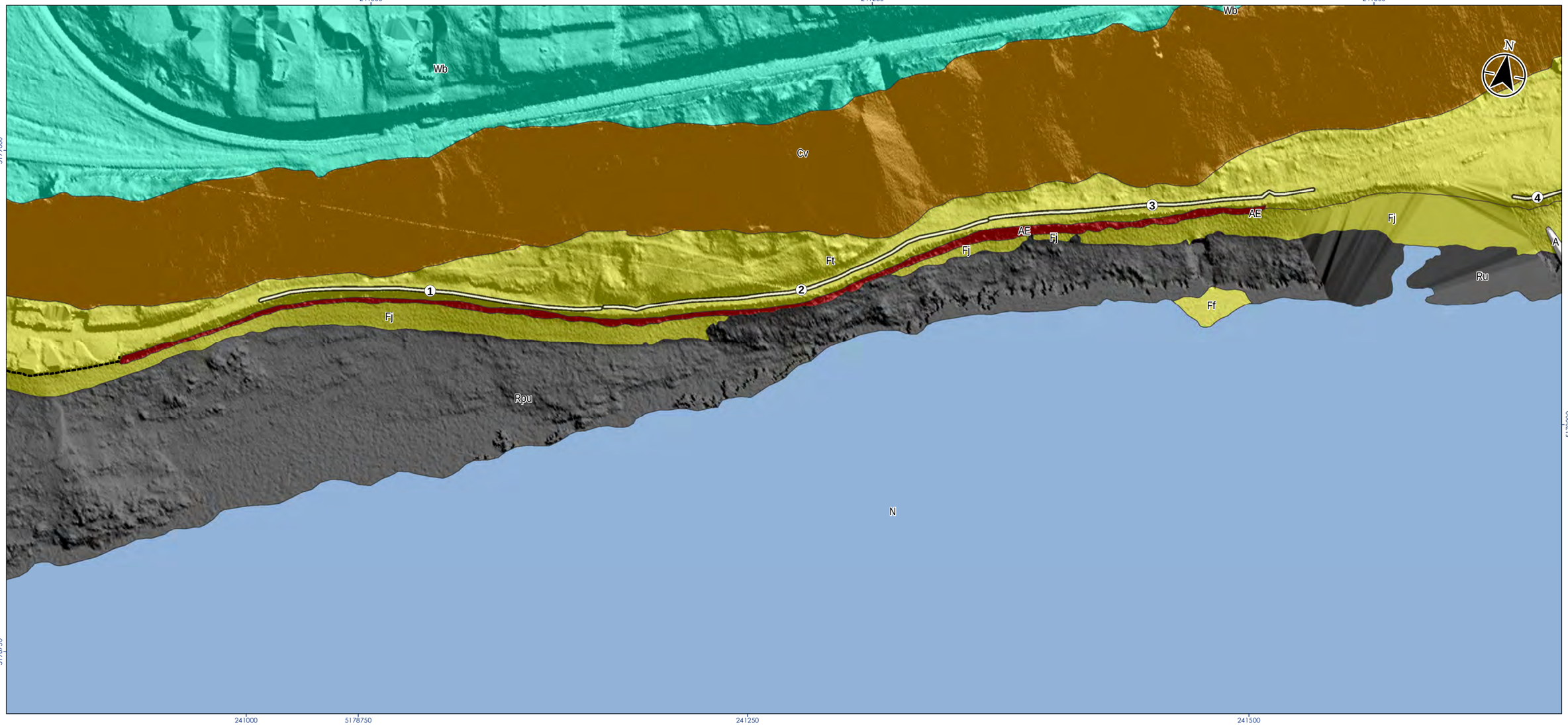
Client/Projet
Ville de Québec
Caractérisation du régime hydrosédimentaire du parc de la Plage-Jacques-Cartier

Carte No.
2

Titre
Dépôts de surface

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée a Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

\\Cd1127-f01\projets_partages\167040090\GIS\2_Doc Proj\Concept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0011-00_Depotssurface_20191211.mxd Révision : 2019-12-11 Par : eduong



Sources
1. Système de coordonnées : NAD 1983 MTM 7
2. Dépôt de surface: Stantec, 2019
3. Segment de l'aménagement proposé: Ville de Québec, 2017
4. Modèle ombragé: Ville de Québec, 2017 (généré à partir de données LiDAR)

Mur de stabilisation
Tronçon et identifiant

Dépôts de surface
- Alluvions - F
- Anthropique - A
- Colluvions - C
- Eau - N
- Enrochement - AE
- Roc - R
- Sédiments marins - W

Exemple: Cv
Dépôt sus-jacent
Expression de surface

Expression de surface
ak: Pente modérée à modérément abrupte (26 à 70%)
b: Couverture de 1 à 3 m d'épaisseur
f: Éventail (forme deltaïque)
j: Pente douce (5 à 25%)
ja: Pente douce à modérée (5 à 50%)
js: Pente douce à escarpée (5 à >70%)
ks: Pente modérement abrupte à abrupte
p: Plaine (pente entre 0 et 5%)
pu: Plaine ou topographie ondulée (pente entre 0 et 25%)
s: Pente escarpée (>70%)
t: Terrasse
ts: Terrasse à pente escarpée (>70%)
u: Topographie ondulée
v: Placage mince (<1 m d'épaisseur)

0 50 100 mètres
1:2 000
(Au format original 11x17)

Stantec

Localisation du projet
Parc de la Plage-Jacques-Cartier
Québec, Québec

167040090 REV0
Préparé par Elizabeth Duong le 2019-12-11
Vérifié par Frédéric Vinet le 2019-12-11
Révision indépendante par Mario Heppell le 2019-12-11

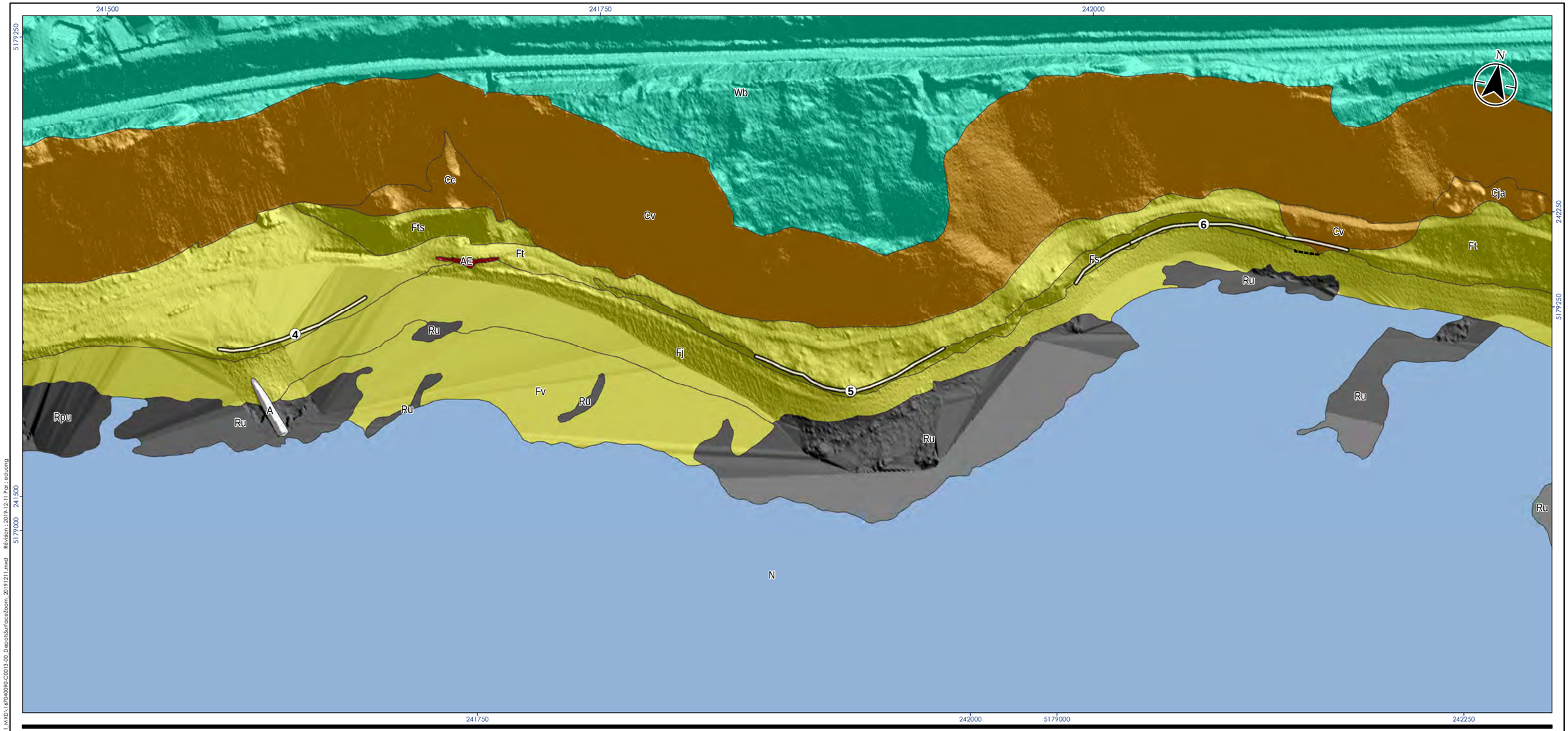
Client/Projet
Ville de Québec
Caractérisation du régime hydrosédimentaire du parc de la Plage-Jacques-Cartier

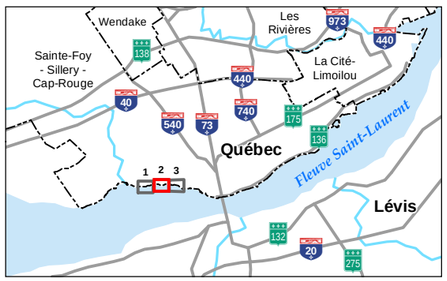
Carte No.
3

Titre
Dépôts de surface

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée a Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

\\Cd1127-f01\projets_partages\167040090\GIS\2_Doc Proj\Concept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0013-00_DepotsSurface_Zoom_20191211.mxd Révision: 2019-12-11 Par: eduong





Mur de stabilisation

Tronçon et identifiant

Dépôts de surface

- Alluvions - F
- Anthropique - A
- Colluvions - C
- Eau - N
- Enrochement - AE
- Roc - R
- Sédiments marins - W

Exemple: Cv

Dépôt sus-jacent

Expression de surface

Expression de surface

ak: Pente modérée à modérément abrupte (26 à 70%)
b: Couverture de 1 à 3 m d'épaisseur
f: Éventail (forme deltaïque)
j: Pente douce (5 à 25%)
ja: Pente douce à modérée (5 à 50%)
js: Pente douce à escarpée (5 à >70%)
ks: Pente modérement abrupte à abrupte
p: Plaine (pente entre 0 et 5%)
pu: Plaine ou topographie ondulée (pente entre 0 et 25%)
s: Pente escarpée (>70%)
t: Terrasse
ts: Terrasse à pente escarpée (>70%)
u: Topographie ondulée
v: Placage mince (<1 m d'épaisseur)

0 50 100 mètres

1:2 000
(Au format original 11x17)

Stantec

Localisation du projet
Parc de la Plage-Jacques-Cartier
Québec, Québec

167040090 REV0
Préparé par Elizabeth Duong le 2019-12-11
Vérifié par Frédéric Vinet le le 2019-12-11
Révision indépendante par Mario Heppell le 2019-12-11

Client/Projet
Ville de Québec
Caractérisation du régime hydrosédimentaire du parc de la Plage-Jacques-Cartier

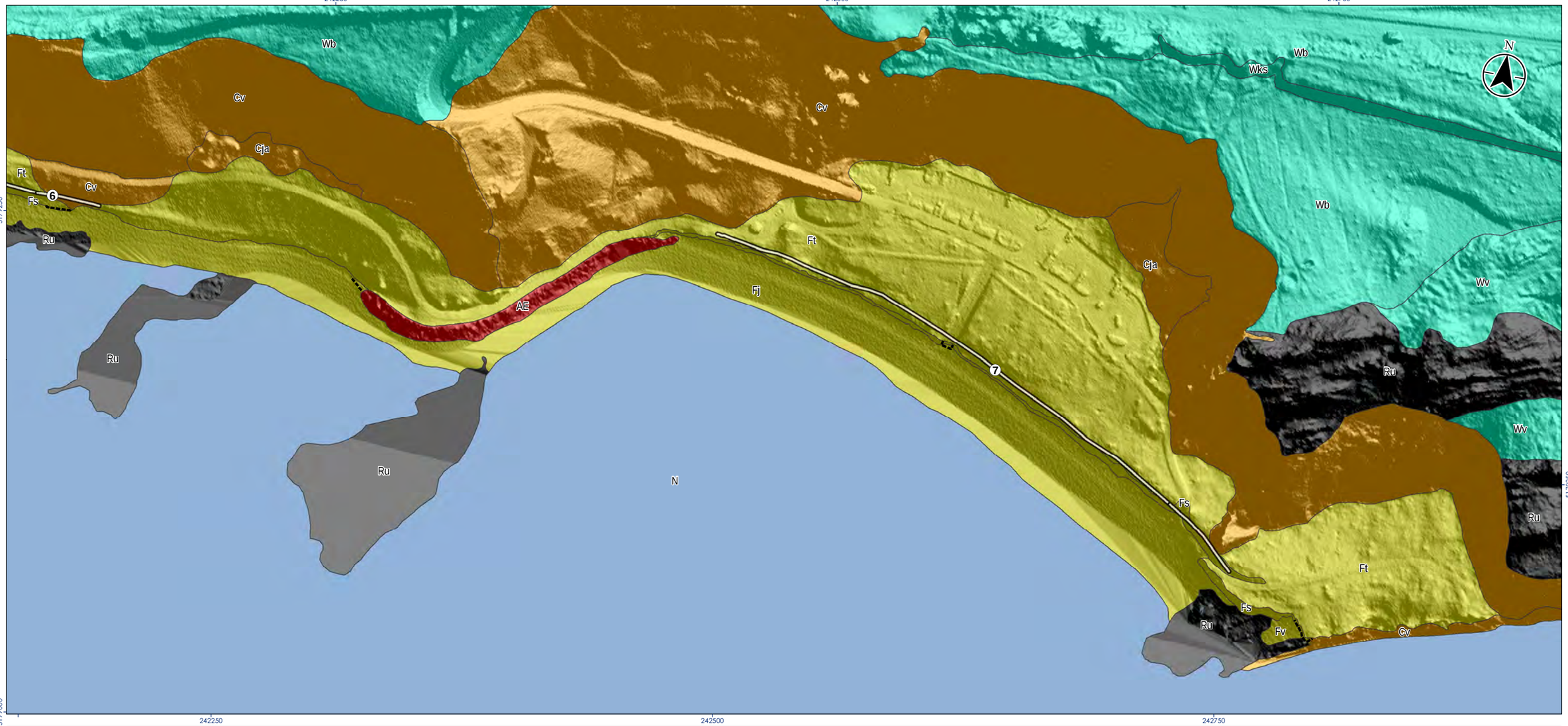
Carte No.
3

Titre
Dépôts de surface

Sources
1. Système de coordonnées : NAD 1983 MTM 7
2. Dépôt de surface: Stantec, 2019
3. Segment de l'aménagement proposé: Ville de Québec, 2017
4. Modèle ombragé: Ville de Québec, 2017 (généré à partir de données LiDAR)

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée a Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

\\Cd1127-f01\projets_partages\167040090\GO\2_DocProjConcept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0013-00_DepotsSurfaceZoom_20191211.mxd Révision : 2019-12-11 Par : eduong



Mur de stabilisation

Tronçon et identifiant

Dépôts de surface

- Alluvions - F
- Anthropique - A
- Colluvions - C
- Eau - N
- Enrochement - AE
- Roc - R
- Sédiments marins - W

Exemple: Cv

Dépôt sus-jacent

Expression de surface

Expression de surface

ak: Pente modérée à modérément abrupte (26 à 70%)
b: Couverture de 1 à 3 m d'épaisseur
f: Éventail (forme deltaïque)
j: Pente douce (5 à 25%)
ja: Pente douce à modérée (5 à 50%)
js: Pente douce à escarpée (5 à >70%)
ks: Pente modérement abrupte à abrupte
p: Plaine (pente entre 0 et 5%)
pu: Plaine ou topographie ondulée (pente entre 0 et 25%)
s: Pente escarpée (>70%)
t: Terrasse
ts: Terrasse à pente escarpée (>70%)
u: Topographie ondulée
v: Placage mince (<1 m d'épaisseur)

0 50 100 mètres

1:2 000
(Au format original 11x17)

Stantec

Localisation du projet
Parc de la Plage-Jacques-Cartier
Québec, Québec

167040090 REV0
Préparé par Elizabeth Duong le 2019-12-11
Vérifié par Frédéric Vinet le le 2019-12-11
Révision indépendante par Mario Heppell le 2019-12-11

Client/Projet
Ville de Québec
Caractérisation du régime hydrosédimentaire du parc de la Plage-Jacques-Cartier

Carte No.
3

Titre
Dépôts de surface

Sources
1. Système de coordonnées : NAD 1983 MTM 7
2. Dépôt de surface: Stantec, 2019
3. Segment de l'aménagement proposé: Ville de Québec, 2017
4. Modèle ombragé: Ville de Québec, 2017 (généré à partir de données LiDAR)

Prière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée a Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.

\\Cd1127-f01\projets_partages\167040090\GO\2_DocProjConcept\6_Geomatique\2_Carto\1_MXD\167040090-C0013-00_DepotsSurfaceZoom_20191211.mxd Révision : 2019-12-11 Par : eduong