

Parc de la Plage Jacques-Cartier

Québec, QC

Étude de la stabilisation des berges du parc

MÉMOIRE

Par

Yann ROPARS, M.Sc.

Janvier 2021

Déposé au

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Modélisation des courants au centre du fleuve

Stantec n'a pas modélisé les courants de marée à hauteur de la plage Jacques-Cartier. Le modèle numérique présenté par Stantec est un modèle hydraulique utilisé pour modéliser les courants fluviaux du Saint-Laurent (par exemple à la hauteur de Montréal) et non un modèle hydrodynamique requis pour modéliser la partie estuarienne du fleuve à la hauteur de Québec, combinant débit d'eau douce et effet dynamique de la marée. Il s'ensuit que les courants maximaux modélisés par Stantec dans le fleuve sont de l'ordre de 1 m/s en utilisant une crue relativement exceptionnelle (20 000 m³/s), alors que des vitesses vers l'aval de 2 à 2,5 m/s et que des vitesses vers l'amont de 1,5 à 2 m/s sont observées pratiquement tous les jours dans le secteur des ponts de Québec. Les résultats de modélisation de Stantec sont en contradiction avec les résultats de modélisation de Pascal Matte et du Service hydrographique du Canada ainsi qu'avec des mesures de courant faites dans le cadre de la thèse de doctorat de Pascal Matte.

Afin que leurs modélisations des vitesses de courant devant la plage Jacques-Cartier aient un minimum de crédibilité, des modélisations des courants combinés de marée et fluviaux (modèle hydrodynamique) auraient dû être faites par Stantec et non simplement une modélisation des courants marginaux produits par le débit fluvial (modèle hydraulique) sans tenir compte de l'effet de la marée. Au strict minimum, des conditions de marée de vives eaux auraient dû être modélisées avec un débit de crue pour les vitesses vers l'aval et sans crue pour les vitesses vers l'amont.

Modélisation des courants le long des rives

Avec le type de modélisation retenu par Stantec, les vitesses de courant modélisées près des rives de la plage Jacques-Cartier sont de très loin inférieures aux vitesses observées sur le site ou modélisées par Pascal Matte. Là où Stantec modélise des vitesses extrêmes de courant de l'ordre de 20 cm/s avec une crue importante, des mesures de courant faites avec une marée moyenne et un débit d'étiage du fleuve ont donné des vitesses de 30 à 75 cm/s. D'autres mesures et les modélisations hydrodynamiques de Pascal Matte indiquent des vitesses de plus de 50 cm/s près des rives.

Étant donné les **divergences importantes entre les modélisations de Stantec et la réalité ou des modélisations hydrodynamiques**, tous les résultats présentés par Stantec en fonction de leur modélisation des courants devraient au strict minimum être remis en question, en particulier les présomptions de « gains environnementaux » générés par la présence des épis.

Modélisation des courants avec et sans les épis

Avec le type de modélisation retenu par Stantec, les vitesses de courant modélisées dans le secteur des épis qui sont proposés par Stantec n'ont pas de rapport avec ce qui se passera après la mise en place des épis. Les effets du détournement des courants sur 150 m de largeur ou du franchissement des épis par les courants risquent d'être impressionnants et très dommageables pour la faune et la flore. Au lieu de réduire les vitesses de courant comme le prétend Stantec, la présence des épis va régulièrement provoquer une intensification significative des courants par rapport à ceux qui sont actuellement observés.

Optimisation de la géométrie des épis

La seule optimisation de la géométrie des épis faite par Stantec est la comparaison de deux élévations très proches de leur crête (3,32 m versus 3,09 m). Aucune optimisation du **nombre**, de la **position**, de la **longueur** ou de l'**orientation** des épis n'est présentée dans les rapports de Stantec. Compte tenu de l'importance des ouvrages proposés (150 m et 100 m de longueur) et de leur impact appréhendé sur l'environnement du fleuve, une **optimisation** en bonne et due forme des épis aurait dû être faite par Stantec pour se rapprocher d'une pratique responsable de l'ingénierie et d'une gestion responsable des fonds publics.

Modélisations hydro-sédimentaires

Aucune modélisation hydro-sédimentaire, prenant en compte non seulement l'impact des courants de marée mais également l'impact des vagues, n'a été faite par Stantec. Seules les vitesses largement sous-estimées des courants fluviaux modélisés ont été prises en compte, alors que, sans parler des vitesses réelles de courant observées sur le site, les vitesses de courant dus aux vagues provoquent des effets autrement plus importants sur les sédiments et les végétaux. Une étude complète des mouvements hydro-sédimentaires aurait dû être faite par Stantec étant donné leurs prétentions par rapport aux gains environnementaux dus aux épis.

De plus, la présence des épis va perturber la propagation des vagues et provoquer l'augmentation de leur hauteur au droit des herbiers en place (par réflexion). Non seulement les gains environnementaux présumés par Stantec sont loin d'être démontrés, mais **la présence des épis pourrait signifier la disparition de certains herbiers en place**, pas seulement par empiètement.

Recharge de plage

Les options de protection de berge proposées par Stantec (mur continu de gros boulders) vont pratiquement interdire l'accès aux plages à une majorité des usagers de ces plages. Des exemples de recharge de plage tel que celui de Notre-Dame-du-Portage démontrent qu'il est possible de faire une recharge de plage près d'un herbier aquatique en ayant un réel impact sur la résistance à l'érosion des rives, sans faire disparaître ni les plages ni les herbiers.

Pour le plus grand bénéfice des usagers du Parc de la plage Jacques-Cartier et des citoyens de Québec, **des options fonctionnelles de recharge de plage auraient dû être présentées** par Stantec.

Entrave à la navigation

La présence des épis submersibles constitue une **sérieuse entrave à la navigation et un danger réel pour les plaisanciers** qui oseraient s'approcher des rives de la plage Jacques-Cartier à marée haute. Si tant est que Transport Canada autorise une telle entrave à la navigation, le risque d'accident et de mortalité par noyade posé par ces épis est majeur. Une justification incontestable de la nécessité de mettre ces épis était attendue, ce qui n'est pas le cas avec les rapports actuellement présentés par Stantec.

Stabilité des épis

La conception des épis proposée par Stantec fait en sorte que les glaces vont arracher plusieurs des pierres de la crête de ces épis dès le premier hiver. La fonctionnalité déjà très hypothétique de ces épis sera sérieusement altérée par ces dommages.

Intérêt pour le milieu touché et le public

Le projet présenté par Stantec constitue une quasi-destruction des plages du Parc de la plage Jacques-Cartier et une perturbation inconcevable du milieu hydrique (épis non-justifiés). Une révision en profondeur du projet proposé par Stantec devrait s'imposer pour le plus grand bénéfice des citoyens de Québec.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Table des matières

Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
1 Modélisation des courants du Saint-Laurent	1
1.1 Contexte hydrodynamique	1
1.2 Modélisations du SHC	1
1.3 Modélisations de Pascal Matte	4
1.4 Courants modélisés par Stantec	7
1.5 Courants sur le bord de la rive	12
1.6 Commentaires sur la modélisation des courants de Stantec	13
2 Modélisations hydro-sédimentaires	15
2.1 Modélisation des mouvements sédimentaires	15
2.2 Vitesses de courant produites par des vagues	16
2.3 Mouvements sédimentaires selon Stantec	16
2.4 Commentaires	17
3 Épis	18
3.1 Projet présenté par Stantec	18
3.2 Raison d'être des épis	18
3.3 Élévation de la crête des épis et vagues	18
3.4 Élévation de la crête des épis et navigation	20
3.5 Résistance des épis aux glaces	20
3.6 Commentaires	23
4 Recharge de plage	25
4.1 Projet présenté par Stantec	25
4.2 Ampleur des variations de topographie des plages du parc	25
4.3 Projets de recharge de plage au Québec	28
4.4 Sédiments en place	30
4.5 Commentaires	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Intensité et direction des courants du fleuve à Québec (MPO-SHC) de 3 à 2 heures avant la basse mer à Québec	2
Figure 1.2	Intensité et direction des courants du fleuve à Québec (MPO-SHC) de 0 à 1 heure après la pleine mer à Québec	3
Figure 1.3	Débits tidaux calculés par P. Matte pour différentes stations du fleuve St-Laurent.	4
Figure 1.4	Vitesses de courant au jusant (P. Matte – 2014) – Marée de vives eaux et débit de 25 000 m ³ /s.....	5
Figure 1.5	Vitesses de courant au flot (P. Matte – 2014) – Marée de vives eaux et débit de 25 000 m ³ /s.....	5
Figure 1.6	Vitesses de courant mesurées à Neuville (Matte-2014)	6
Figure 1.7	Vitesses de courant mesurées et modélisées à Saint-Nicolas (Matte-2014).....	7
Figure 1.8	Domaine modélisé par Stantec et position des stations de mesure du niveau d'eau (Neuville et Vieux-Québec).....	8
Figure 1.9	Courants maximaux modélisés par Stantec au large de la plage Jacques-Cartier..	10
Figure 1.10	Courants modélisés par Stantec versus courants réels (2 à 3 heures après la pleine mer)	11
Figure 1.11	Courants modélisés par Stantec versus Courants réels (1 à 0 heure avant la pleine mer)	11
Figure 1.12	Localisation des sites de mesure des courants près des rives.....	12
Figure 2.1	Mise en suspension par les vagues des sédiments des rives de la plage Jacques-Cartier (tronçon 4 – 28 octobre 2018).....	15
Figure 2.2	Mise en suspension par les vagues des sédiments des rives de la plage Jacques-Cartier (tronçon 7 – 8 mai 2020)	17
Figure 3.1	Localisation des épis proposés par Stantec près de la plage Jacques-Cartier	18
Figure 3.2	Nombre d'événements de Hs supérieur à une valeur donnée par année.....	19
Figure 3.3	Coupe-type d'un épi - Référence Stantec	21
Figure 3.4	Coupe-théorique d'un épi selon la recommandation de Stantec.....	22
Figure 4.1	Recharge de plage proposée par Stantec	25
Figure 4.2	Baisse d'altitude de la plage Jacques-Cartier au printemps (racines mises à nu) ..	26
Figure 4.3	Ravinement sur la plage Jacques-Cartier au printemps.....	27
Figure 4.4	Ravinement sur la plage Jacques-Cartier au printemps.....	27
Figure 4.5	Recharge de plage de Sainte-Luce en 2020	28
Figure 4.6	Recharge de plage de Percé en 2020.....	29
Figure 4.7	Recharge de plage de Notre-Dame-du-Portage en 2020	29
Figure 4.8	Granulométrie des sédiments de plage – Parc de la Plage Jacques-Cartier	30
Figure A2.1	Courants et débits (de 2 à 3 heures après la pleine mer à Québec)	32
Figure A2.2	Courants et débits (de 3 à 4 heures après la pleine mer à Québec)	33
Figure A2.3	Courants et débits (de 3 à 2 heures avant la basse mer à Québec)	33

Figure A2.4	Courants et débits (de 2 à 1 heures avant la basse mer à Québec)	34
Figure A2.5	Courants et débits (de 1 à 0 heure avant la basse mer à Québec)	34
Figure A2.6	Courants et débits (de 0 à 1 heure après la basse mer à Québec)	35
Figure A2.7	Courants et débits (de 1 à 2 heures après la basse mer à Québec)	35
Figure A2.8	Courants et débits (de 3 à 2 heures avant la pleine mer à Québec)	36
Figure A2.9	Courants et débits (de 2 à 1 heures avant la pleine mer à Québec)	36
Figure A2.10	Courants et débits (de 1 à 0 heure avant la pleine mer à Québec)	37
Figure A2.11	Courants et débits (de 0 à 1 heure après la pleine mer à Québec)	37
Figure A2.12	Courants et débits (de 1 à 2 heures après la pleine mer à Québec)	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Vitesses critique d'entraînement des sédiments	16
Tableau 2.2	Vitesses orbitales générées par les vagues près du fond	16

1 Modélisation des courants du Saint-Laurent

1.1 Contexte hydrodynamique

La partie du fleuve au droit de la plage Jacques-Cartier est soumise à d'intenses courants de marée. Le courant s'inverse à chaque marée, indication très claire que le débit d'eau douce n'est pas le paramètre influençant le plus les caractéristiques hydrodynamiques de cette partie du fleuve.

Si jamais certaines personnes doutent de l'inversion des courants au droit de la plage Jacques-Cartier, il leur suffit de se promener le long de ses berges. Le phénomène est encore plus évident en hiver avec les glaces à la dérive.

1.2 Modélisations du SHC

La figure 1.1 est extraite des tables de courants éditées par le ministère des Pêches et Océans Canada / Service hydrographique du Canada (MPO-SHC) pour la zone de Québec. Il s'agit d'une information publique disponible à propos des courants de marée dans le fleuve à cet endroit.

On y constate qu'en **conditions de marée moyenne**, l'intensité du courant de marée descendante devant la plage Jacques-Cartier atteint de **4 à 5 nœuds (2 à 2,5 m/s)** de 3 à 2 heures avant la basse mer à Québec. Si on se reporte au graphique en bas à droite de l'image (figure 1.1), il y est indiqué que, selon l'amplitude de la marée, il faut multiplier ces vitesses par un facteur pouvant atteindre 1,35. Si on considère une vitesse moyenne de 4,5 nœuds et qu'on la multiplie par le facteur de 1,35, lors de **conditions de marées plus exceptionnelles**, on obtient **6 nœuds, soit 3 m/s vers l'aval**.

Les modélisations du SHC ne tiennent pas compte des débits d'eau douce exceptionnels (crues). Il est donc possible que la vitesse maximale du courant à marée descendante dépasse parfois les 6 nœuds au large de la plage Jacques-Cartier.

Si on se reporte à la figure 1.2, les vitesses de courants de marée montante devraient atteindre de **3 à 4 nœuds (1,5 à 2 m/s)** de 0 à 1 heures après la pleine mer à Québec. Il est indiqué dans le graphique en bas à droite de l'image que, selon l'amplitude de la marée, il faut multiplier ces vitesses par un facteur pouvant atteindre 1,4. Si on considère une vitesse moyenne de 3,5 nœuds et qu'on la multiplie par le facteur de 1,4, lors de **conditions de marées plus exceptionnelles**, on obtient **4,9 nœuds, soit 2,4 m/s vers l'amont**.

Ces informations sont connues de Stantec qui les reproduit à la figure 23 du rapport PR5.2 (1 de 3) (référence [2] page 150/376 du pdf).

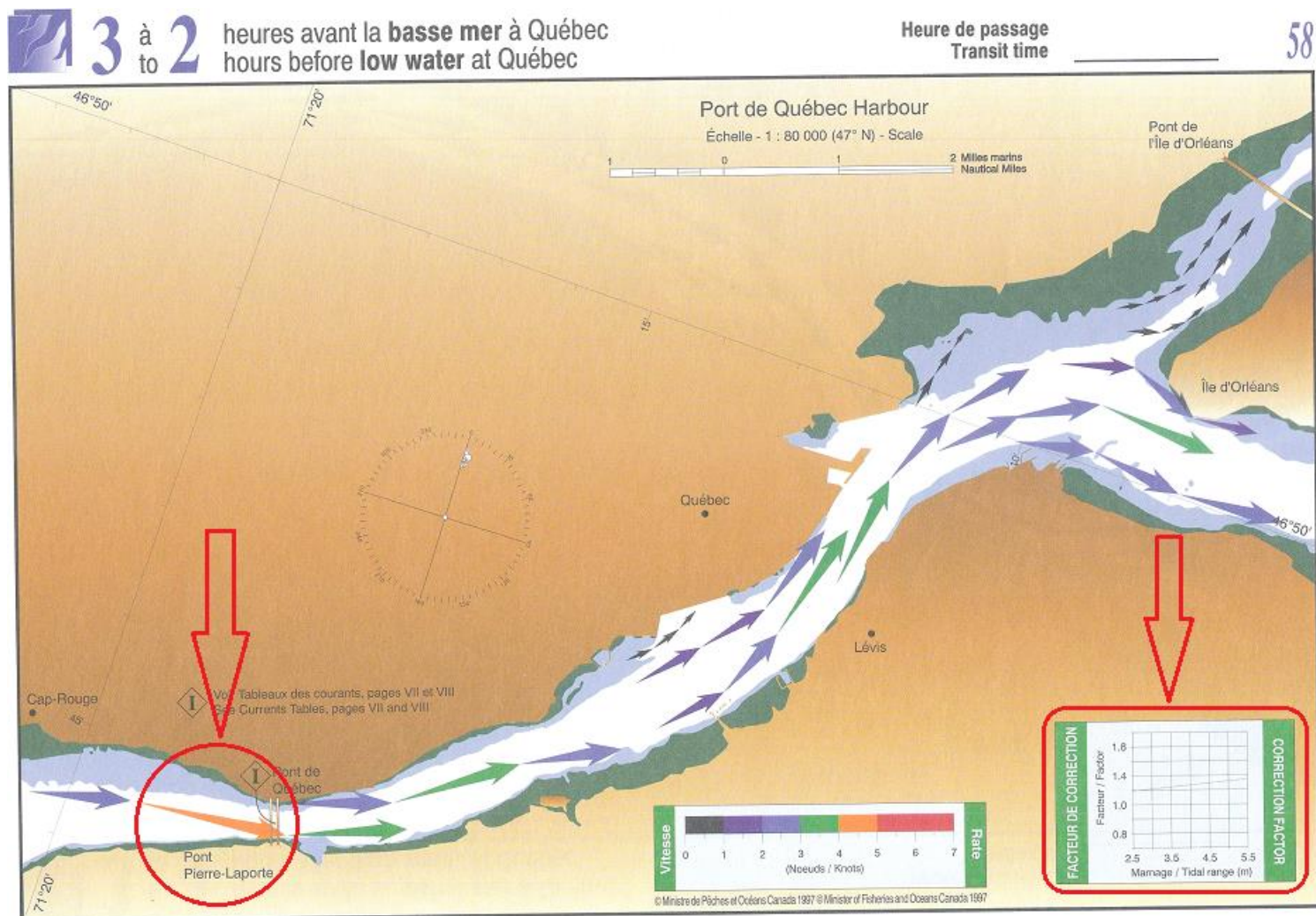


Figure 1.1 Intensité et direction des courants du fleuve à Québec (MPO-SHC) de 3 à 2 heures avant la basse mer à Québec

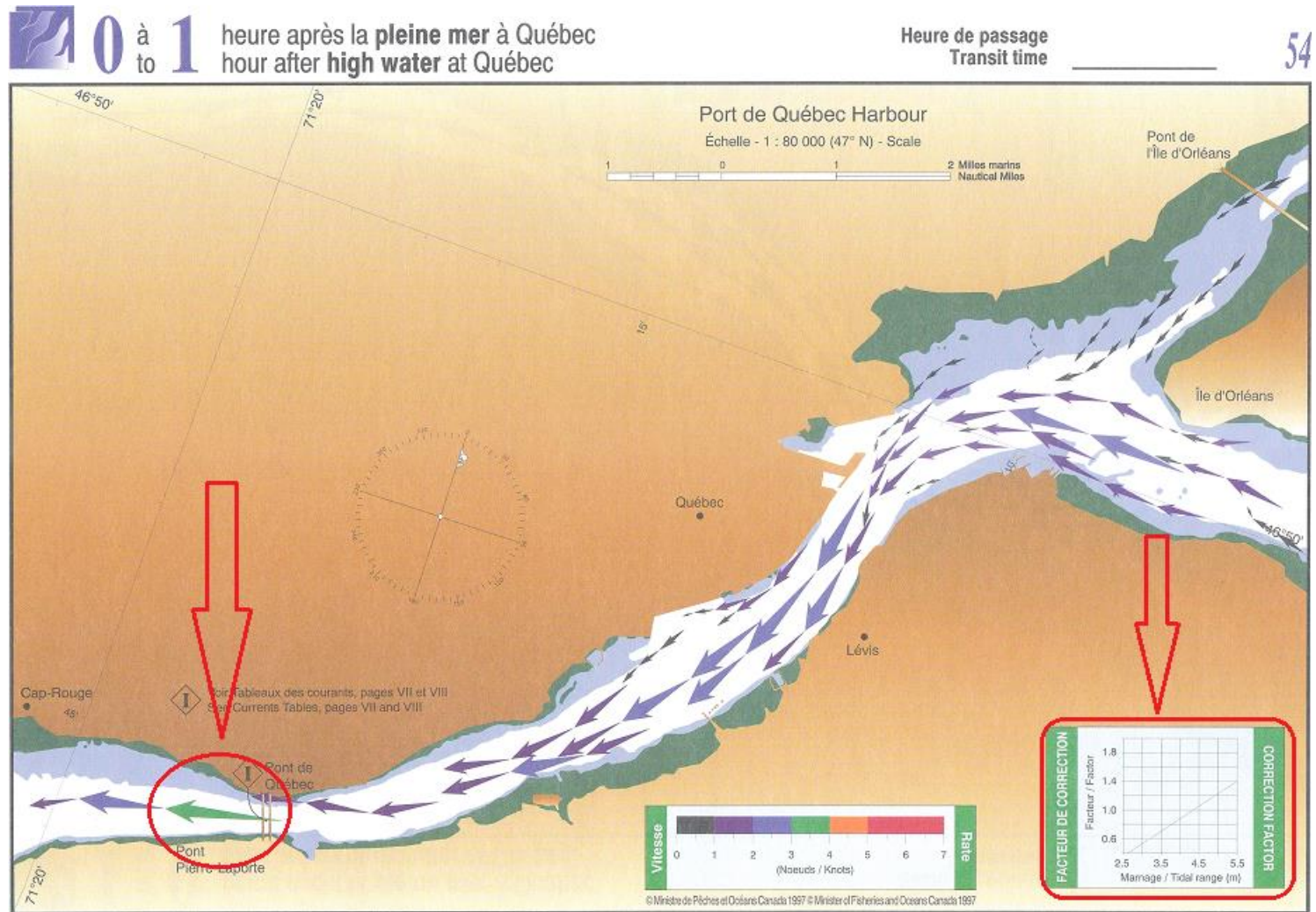


Figure 1.2 Intensité et direction des courants du fleuve à Québec (MPO-SHC) de 0 à 1 heure après la pleine mer à Québec

1.3 Modélisations de Pascal Matte

Pascal Matte a fait sa thèse de doctorat¹ (Ph.D.) sur la modélisation du fleuve Saint-Laurent entre la sortie du lac Saint-Pierre et Saint-Joseph-de-la-Rive. Ce travail a l'avantage de se baser sur de **nombreuses mesures** faites dans le fleuve afin de permettre la calibration du modèle numérique.

Une information importante rapportée dans la thèse de P. Matte est le débit tidal. Des résultats sont disponibles pour le site de Saint-Nicolas, soit en face de la plage Jacques-Cartier et sont reproduits sur la figure 1.3. On y constate que le débit tidal calculé pour un marnage de moins de 4 m à Québec (soit moins qu'une marée moyenne) atteint devant la plage Jacques-Cartier pratiquement **30 000 m³/s vers l'amont** et dépasse **40 000 m³/s vers l'aval**. Ces chiffres sont très supérieurs aux 20 000 m³/s utilisés par Stantec pour ses modélisations « extrêmes ». Il va sans dire que pour des marnages de grandes marées de l'ordre de 6 m, le débit retenu par Stantec a encore moins de rapport avec la réalité (**50 000 à 60 000 m³/s** selon Pascal Matte²).

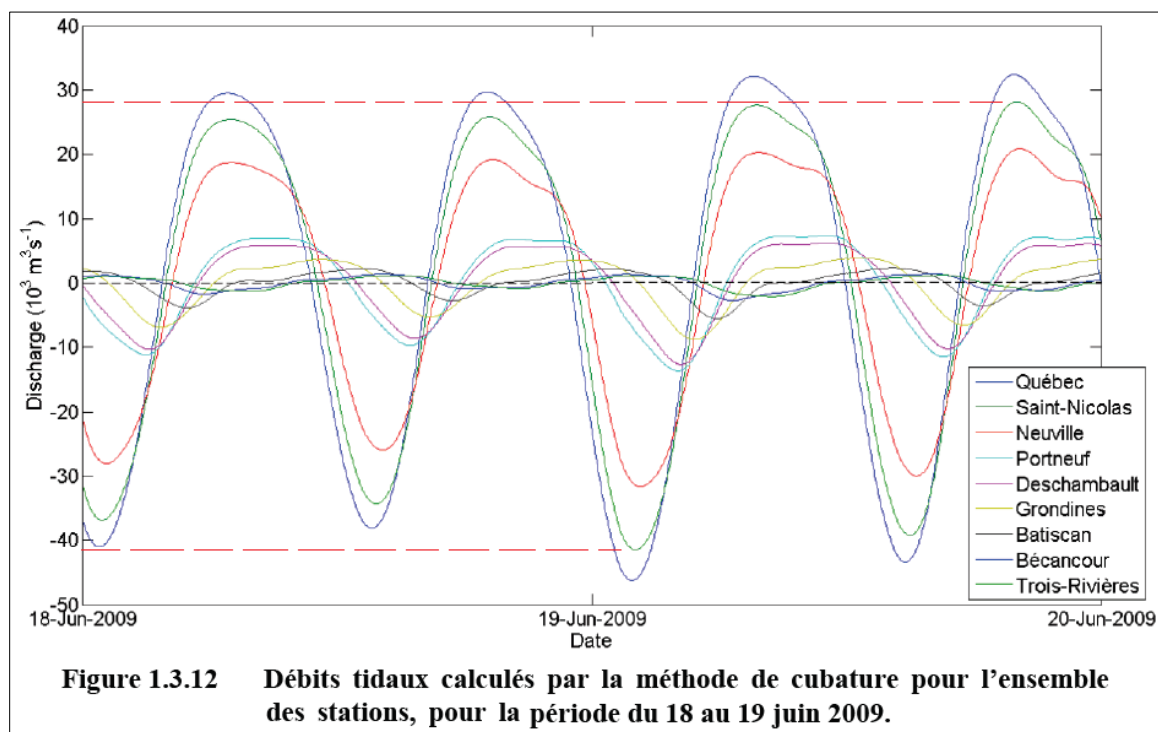


Figure 1.3 Débits tidaux calculés par P. Matte pour différentes stations du fleuve St-Laurent

Les figures 1.4 et 1.5 illustrent les vitesses de courants modélisées par Pascal Matte pour une marée de vives eaux et un débit de crue de 25 000 m³/s. On y constate que :

- Les vitesses au centre du chenal sous les ponts dépassent les 2,5 m/s au jusant et atteignent les 2,3 m/s au flot, malgré la crue,

¹ Matte, Pascal, "Modélisation hydrodynamique de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent », Université du Québec, I.N.R.S. Centre Eau Terre Environnement, 2014 (<http://espace.inrs.ca/id/eprint/2616/>)

² Communication personnelle

- Les vitesses sur le bord de la rive sont de l'ordre de 0,5 m/s au jusant et de l'ordre de 0,3 m/s au flot. Si la modélisation avait été faite sans débit de crue, les vitesses vers l'amont près des bords auraient également été de l'ordre de 0,5 m/s.

Vitesses de courant dans le fleuve Saint-Laurent Secteur de Québec

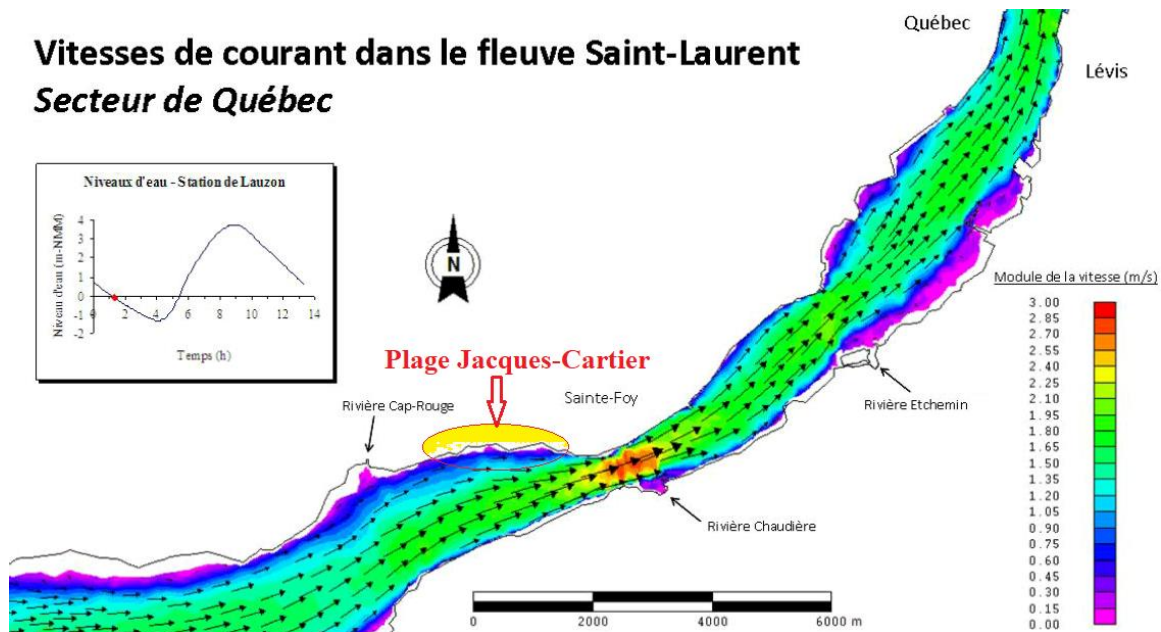


Figure 1.4 Vitesses de courant au jusant (P. Matte – 2014) – Marée de vives eaux et débit de 25 000 m³/s

Vitesses de courant dans le fleuve Saint-Laurent Secteur de Québec

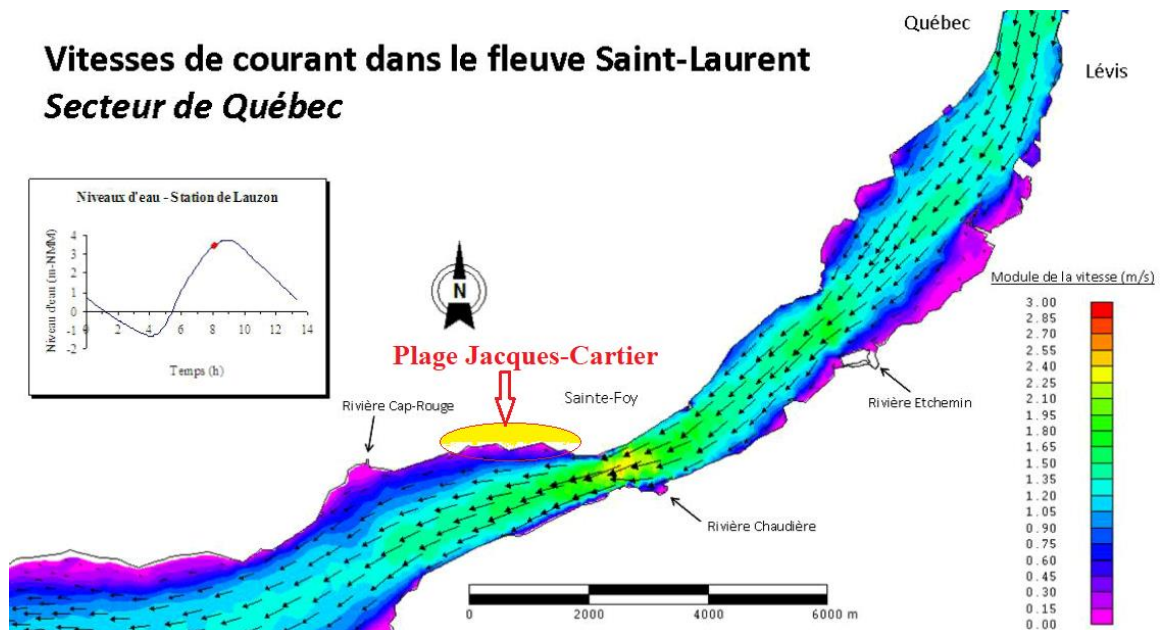


Figure 1.5 Vitesses de courant au flot (P. Matte – 2014) – Marée de vives eaux et débit de 25 000 m³/s

La figure 1.6 présente des **mesures de courant** faites à Neuville. On y constate que les **vitesse** **mesurées peuvent atteindre 2,5 m/s** à un endroit sans configuration géométrique particulière du fleuve, comme le rétrécissement qu'on retrouve à hauteur des ponts de Québec.

D'autres figures montrant l'intensité des courants de marée dans cette portion du fleuve Saint-Laurent sont disponibles dans le rapport de P. Matte.

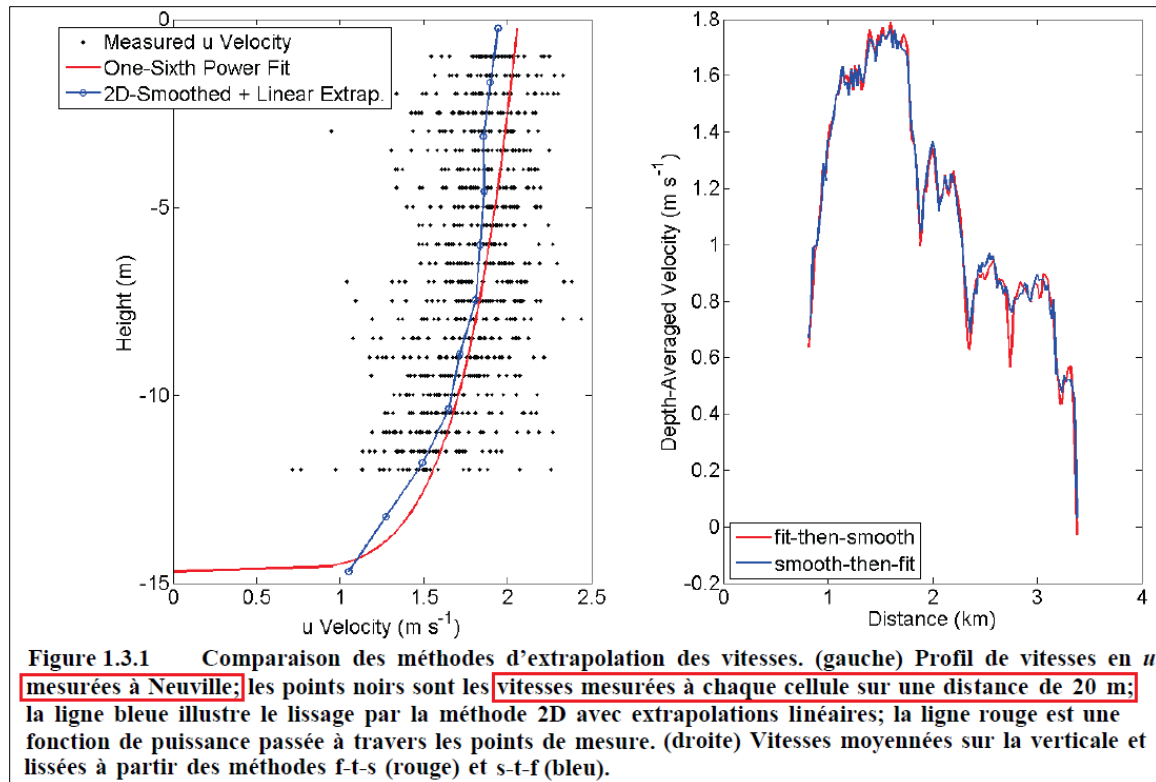


Figure 1.6 Vitesses de courant mesurées à Neuville (Matte-2014)

La figure 1.7 extraite de la thèse de Pascal Matte illustre les vitesses de courants observées et simulées sur un transect au droit de Saint-Nicolas le 21 août 2009. Selon les données de la station de Lauzon, le marnage observé le 21 août 2009 était de l'ordre de 5,3 m (un peu moins que pour une marée de vives eaux) et le débit à Lasalle était de 8 570 m³/s (soit des conditions d'étiage).

On y constate sur les graphiques que les vitesses « u » (selon l'axe principal de l'écoulement / figures du haut) mesurées ou modélisées sur le bord de la rive nord du fleuve sont de l'ordre de 0,5 m/s que ce soit vers l'aval (jaune) ou vers l'amont (bleu).

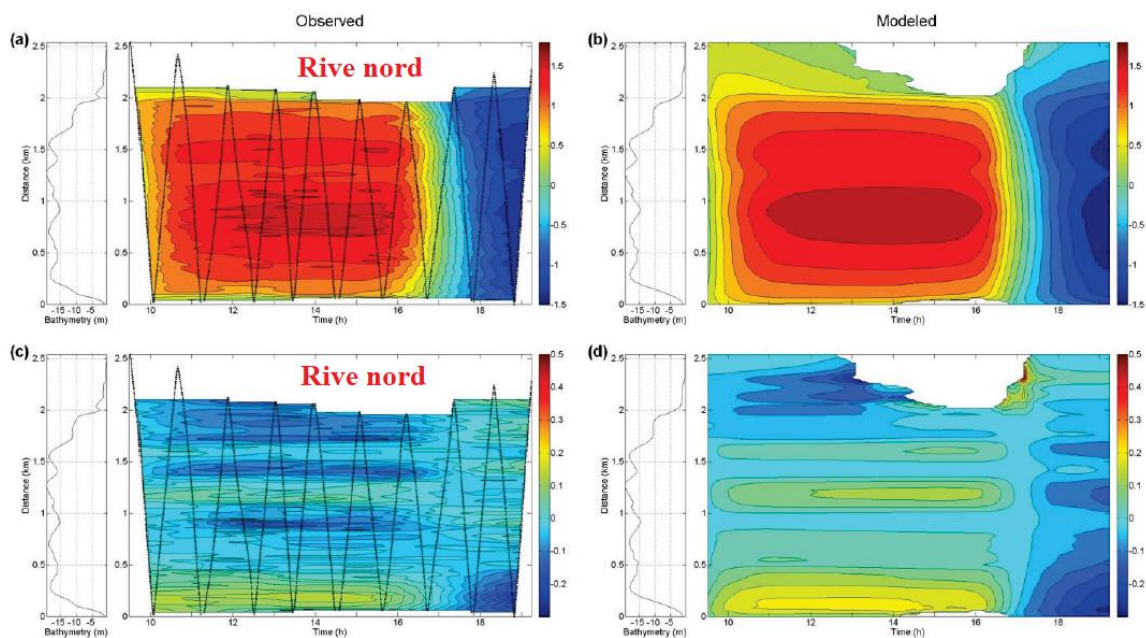


Figure A.3.17 (a) Vitesses u observées et (b) simulées (en m s^{-1}) à Saint-Nicolas le 21 août 2009, en fonction du temps et de la distance le long de la section (RMSE = 0.103 m s^{-1} , Skill = 0.997). (c) Vitesses v observées et (d) simulées (RMSE = 0.070 m s^{-1} , Skill = 0.761).

Figure 1.7 Vitesses de courant mesurées et modélisées à Saint-Nicolas (Matte-2014)

1.4 Courants modélisés par Stantec

Le domaine modélisé par Stantec s'étend sur environ 7,8 km (voir figure 1.8). Ce domaine est étonnamment court pour un milieu aussi dynamique que le fleuve à hauteur des ponts de Québec. Un véritable modèle hydrodynamique présenterait d'importants risques d'instabilité numérique avec un domaine aussi restreint.

Le modèle HEC-RAS retenu par Stantec pour modéliser les courants du fleuve n'est pas un modèle hydrodynamique, mais un modèle stationnaire (**R**iver **A**nalysis **S**ystem). Tel que précisé aux pages 141 et 147/376 du document [2], les modélisations de Stantec ont consisté à :

- Imposer un **niveau d'eau** (niveau d'eau de Neuville appliqué à la frontière aval du modèle, soit à 24 km en aval de la station de Neuville, alors qu'il existe la station « Vieux-Québec » à 8,8 km plus en aval),
- Imposer un **débit fluvial** (12 600 ou 20 000 m^3/s)
- Appliquer une « **pente d'énergie** » de 0,1% à la frontière amont du modèle et
- Obtenir des « **conditions permanentes** » d'écoulement **pour chaque pas de calcul** (30 s).

Cette procédure fait en sorte qu'il est impossible d'obtenir des conditions de courants vers l'amont lors de la marée montante, le modèle HEC-RAS cherchant constamment à « écouler le débit fluvial » vers l'aval pour être en mesure de résoudre les équations hydrauliques.

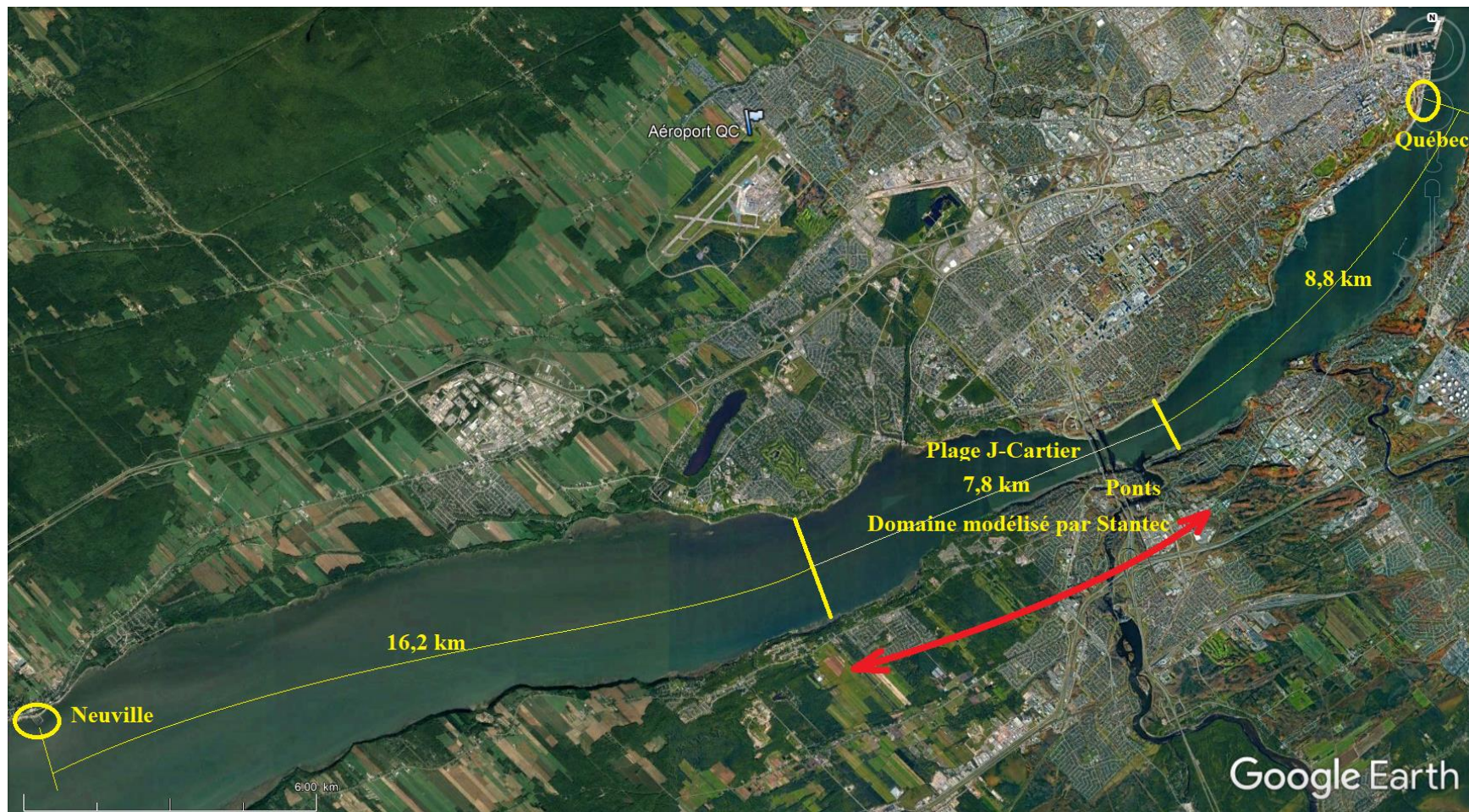


Figure 1.8 **Domaine modélisé par Stantec et position des stations de mesure du niveau d'eau (Neuville et Vieux-Québec)**

La figure 1.9, tirée du rapport de Stantec (document [2], PR5.2 (1 de 3), page 142/376 de la version pdf) de décembre 2019, illustre des **courants maximaux de l'ordre de 1 m/s au milieu du fleuve sous les ponts**, là où on devrait trouver des **courants de marée de 2 à 3 m/s**. À hauteur de Saint-Nicolas, là où des vitesses mesurées dans des conditions ordinaires ont atteint 2,5 m/s (Matte-2014), la modélisation « extrême » de Stantec peine à obtenir des vitesses de 0,5 m/s.

La modélisation de Stantec n'est **pas en mesure de représenter correctement les importants courants de marée descendante** que n'importe quel navigateur rencontre tous les jours dans cette section du fleuve.

Pour ce qui est des courants de marée montante, **nous n'avons trouvé** dans les différents rapports de Stantec **ni indication dans le texte ni graphique montrant que des courants de marée montante ont été modélisés**, que ce soit près du bord de la plage ou au large. Ceci est tout à fait logique étant donné l'impossibilité de modéliser ces courants de flot avec le modèle HEC-RAS tel qu'utilisé par Stantec.

Il n'existe aucun document produit par Stantec permettant de penser que les courants de marée (montante ou descendante) ont été modélisés, malgré leurs vitesses importantes. Donc, jusqu'à ce que Stantec prouve qu'il y a eu une modélisation des courants de marée, tout indique que **seule la modélisation des courants marginaux dus au débit fluvial** a été faite par Stantec. Il s'agit donc de résultats d'une **modélisation hydraulique** tel qu'on le ferait pour le fleuve Saint-Laurent à hauteur de Montréal et non d'une **modélisation hydrodynamique** qui est requise pour étudier la dynamique du fleuve à hauteur de Québec en tenant compte des importants courants dus à la marée, auxquels s'ajoutent les courants d'eau douce provenant de l'amont.

En utilisant les résultats de modélisation de Pascal Matte (2014 – débits et courants) et les données de niveaux d'eau du Service hydrographique du Canada (SHC), une reconstitution approximative des courants de marée du 18 juin 2009 a été faite en amont des ponts de Québec, en parallèle avec les résultats qui auraient dû être obtenus par Stantec avec HEC-RAS. Les conditions du 18 juin 2009 sont celles d'une marée moyenne et d'un débit d'étiage.

Les figures 1.10 et 1.11 illustrent quelques aberrations obtenues par la modélisation de Stantec par rapport à une véritable modélisation hydrodynamique du fleuve. La ligne bleue représente le niveau d'eau. Les dimensions des flèches des débits et des vitesses de courant sont proportionnelles d'une figure à l'autre pour illustrer l'ordre de grandeur.

Dans la figure 1.10, à cause de l'aspect dynamique de l'écoulement du fleuve soumis à la marée, pour des débits équivalents (20 000 versus 19 000 m³/s), Pascal Matte obtient une vitesse de courant deux fois plus importante que celle obtenue par Stantec.

Dans la figure 1.11, le débit vers l'amont est de 35 000 m³/s avec une vitesse de courant vers l'amont plus de deux fois supérieure à celle obtenue par Stantec vers l'aval avec un débit de 20 000 m³/s.

L'ensemble des douze représentations de débits et courants correspondant aux données horaires des cartes du MPO sont reproduites à l'annexe 2.

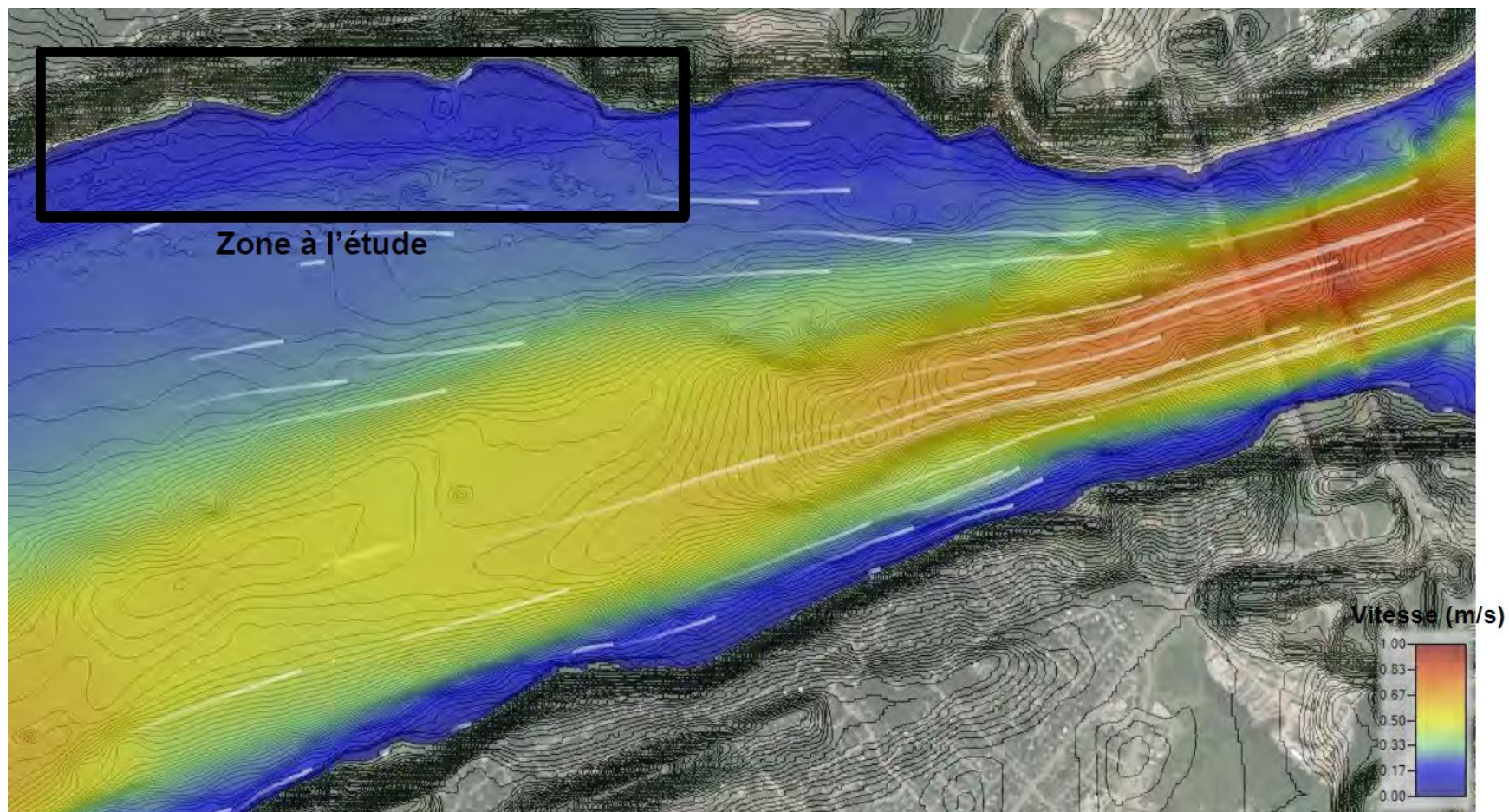


Figure 1.9 Courants maximaux modélisés par Stantec au large de la plage Jacques-Cartier

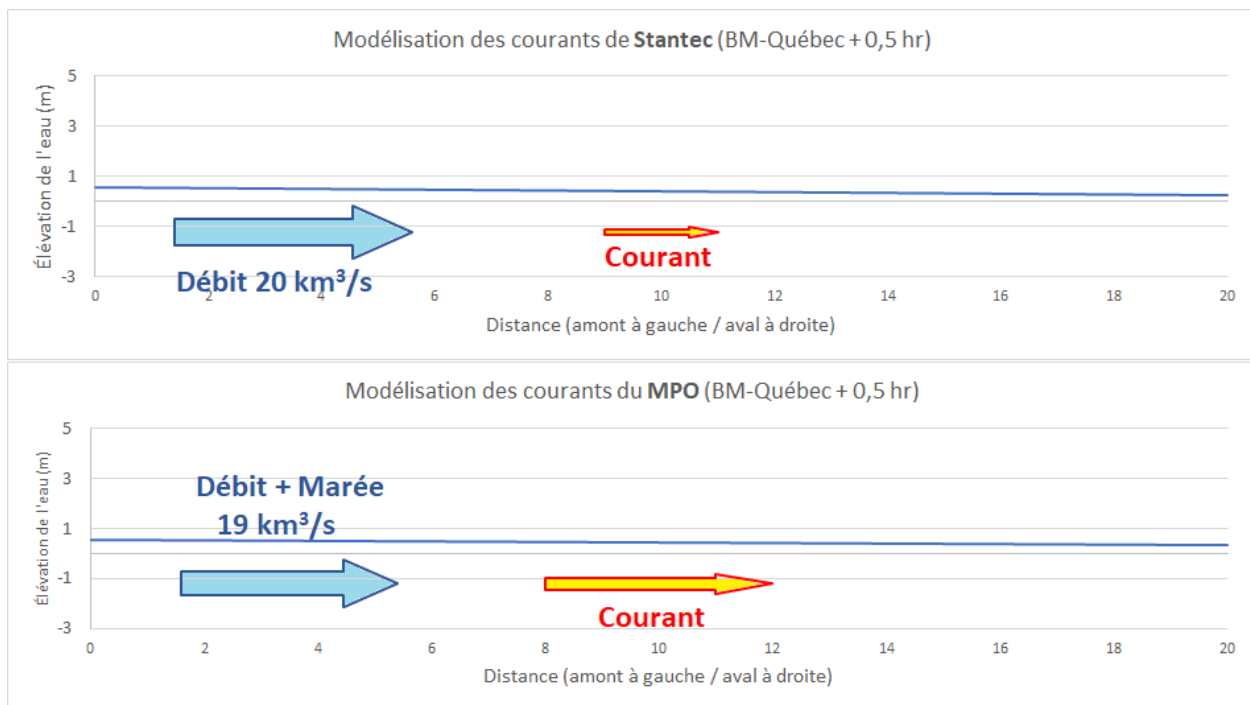


Figure 1.10 Courants modélisés par Stantec versus courants réels (2 à 3 heures après la pleine mer)

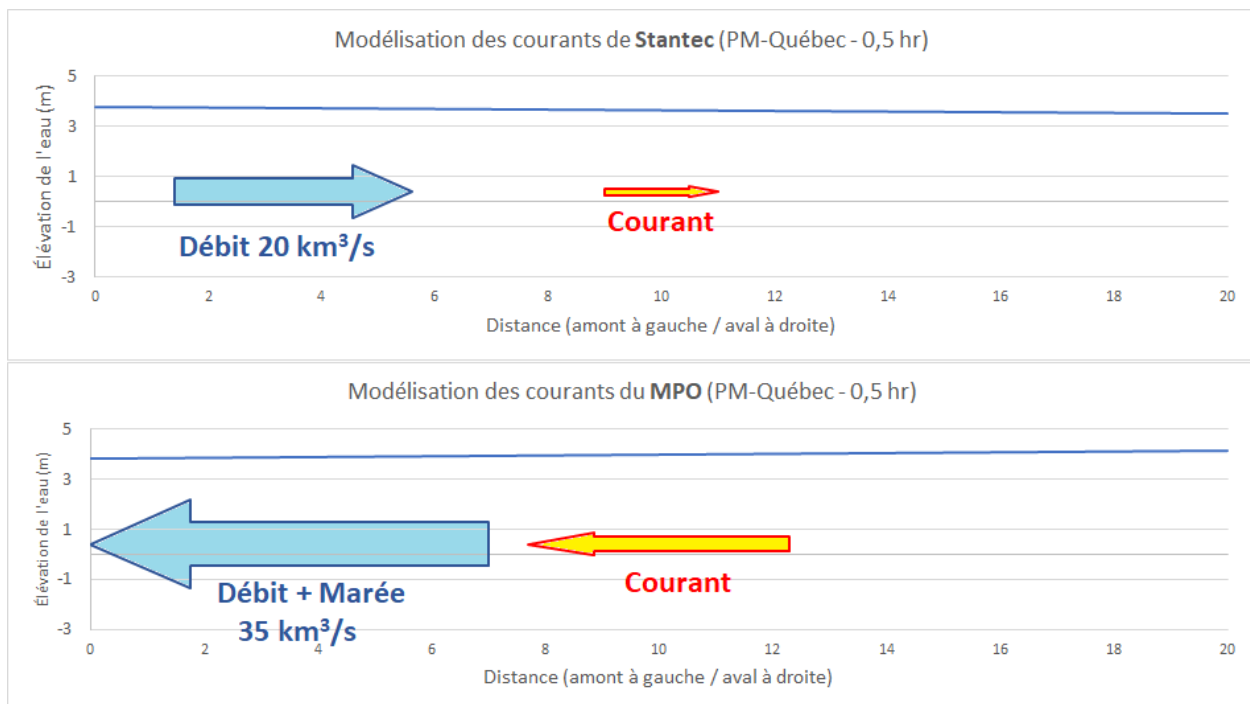


Figure 1.11 Courants modélisés par Stantec versus Courants réels (1 à 0 heure avant la pleine mer)

Il est important de noter que les débits du fleuve sont des **résultats** de la modélisation hydrodynamique effectuée par Pascal Matte et non des **intrants** du modèle comme l'utilise Stantec. Si jamais Stantec était tenté de détourner l'utilisation du modèle HEC-RAS en induisant un débit fluvial et une pente d'écoulement vers l'amont, le résultat d'une telle manipulation serait certainement à prendre avec

beaucoup de précaution. La figure 1.10 (entre autres) illustre le fait que l'écoulement dynamique du fleuve à Québec n'a parfois pas grand-chose à voir avec l'équilibre statique obtenu par Stantec avec le modèle HEC-RAS.

1.5 Courants sur le bord de la rive

Étant donné que Stantec ne semble pas avoir jugé utile de vérifier quelles étaient les vitesses de courant se produisant réellement sur le bord des rives du Parc de la Plage Jacques-Cartier, des mesures ont été faites le 4 août 2020 entre 09h45 et 10h35 HAE. Les sites visités sont ceux des deux épis proposés par Stantec (épis A et B des tronçons 5 et 7 – voir figure 1.12).

Une **séquence vidéo** est jointe à ce rapport pour illustrer la vitesse du courant observée le 4 août 2020 vers 10h42 HAE.

Les mesures ont consisté à chronométrer le temps pris par un flotteur (situé à différentes distances de la rive) pour parcourir une distance de 10 m. Étant donné la relative imprécision des mesures, celles-ci ont été répétées pour valider les résultats.

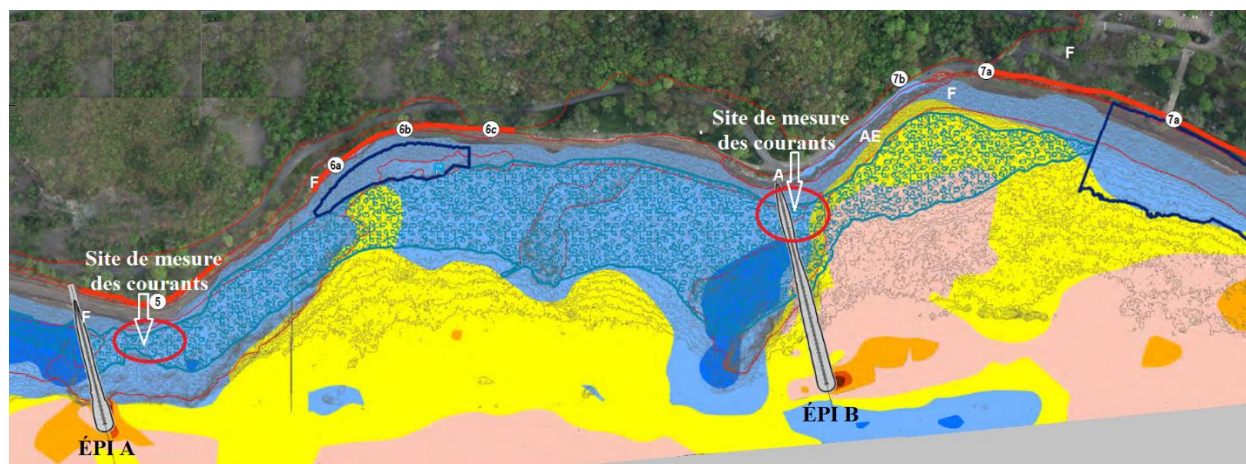


Figure 1.12 Localisation des sites de mesure des courants près des rives

Selon le site d'Environnement Canada, le 4 août 2020, le fleuve était en situation d'étiage (9 300 m³/s à la station de LaSalle³) donc très loin des conditions de crues de Stantec (20 000 m³/s).

Selon le site du Service hydrographique⁴, le marnage mesuré le 4 août 2020 pour cette phase de marée était de 5,0 m, soit un peu plus que le marnage d'une marée moyenne (4,4 m selon le SHC) et nettement moins que le marnage d'une grande marée (5,9 m selon le SHC).

Le vent était léger de l'Est pendant les mesures.

Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau 1.1.

³ <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?Nostation=0014003>

⁴ <http://www.isdm-gdsi.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/inventory-inventaire/sd-ds-fra.asp?no=3248&user=isdmgdsi®ion=PAC>

Tableau 1.1 Vitesses de courant mesurées près des rives de la plage Jacques-Cartier le 4 août 2020

Épis / Tronçon	Heure HAE)	Distance du bord (m)	Vitesse mesurée (m/s)
Épi A / T5	09h47	6	0,3
Épi A / T5	09h50	3	0,2
Épi A / T5	09h55	6	0,3
Épi A / T5	10h00	6	0,3
Épi B / T7	10h10	8	0,7
Épi B / T7	10h15	10	0,7
Épi B / T7	10h20	4	0,7
Épi B / T7	10h26	4	0,7
Épi B / T7	10h30	10	0,75
Épi B / T7	10h35	6	0,7

Stantec indique dans son rapport que les **vitesses extrêmes de courant** modélisées près du bord par ses soins sont de **0,2 m/s** mais la grande majorité des vitesses maximales modélisées sont inférieures à 0,1 m/s. Une simple vérification des vitesses réelles de courant lors de conditions hydrauliques très courantes indique des **vitesses réelles de courant presque 4 fois plus élevées** que les vitesses extrêmes modélisées par Stantec. Si on extrapole vers des conditions plus exceptionnelles (de marée et de crue), des vitesses probablement dix fois plus grandes que celles modélisées par Stantec devraient être observées le long des rives du Parc de la plage Jacques-Cartier.

1.6 Commentaires sur la modélisation des courants de Stantec

Des **divergences importantes** sont observées entre les résultats de modélisation de courant de Stantec dans le fleuve et les informations produites par le Service hydrographique du Canada ou par Pascal Matte **pour les courants de marée descendante**.

Des **différences importantes** sont observées entre les « vitesses extrêmes » de courants modélisées par Stantec et les **vitesses de courants ordinaires** mesurées dans le cadre de la thèse de doctorat de Pascal Matte (2014).

Des **divergences très importantes** sont observées entre les résultats de modélisation de courant de Stantec près des rives et les observations, les modélisations et les mesures de courants réalisées dans des conditions parfois tout à fait ordinaires.

Le **refus systématique de Stantec de produire des documents** démontrant que ses modélisations ont traité les courants de **marée (montante et descendante)** a pu être constaté lors des différentes réunions organisées dans le cadre du BAPE.

Il semblerait pertinent que les modélisations de Stantec soient revues par une équipe familière avec ce type de modélisation hydrodynamique. Au moins deux organismes seraient en mesure de le faire au Québec, soit l'équipe de Jean Morin et Pascal Matte (Environnement Canada) et l'équipe de Marc Villeneuve (Lasalle|NHC).

Il est intéressant de noter que LaSalle|NHC et Pascal Matte ont produit non pas des cartes heure par heure mais des animations vidéo de la variation des courants de marée dans le Saint-Laurent (dans le cadre des audiences publiques concernant le projet du Port de Québec à Beauport pour Lasalle|NHC et dans le cadre de sa thèse de doctorat pour Pascal Matte). Le refus de Stantec de présenter ne serait-ce que des cartes heure par heure des courants n'en est que plus perturbant.

En attendant ces validations, il semblerait logique de prendre avec beaucoup de prudence toutes les « démonstrations » faites par Stantec à propos des impacts des épis sur l'hydrodynamique du fleuve, en particulier les « gains environnementaux » résultant de la mise en place des épis.

2 Modélisations hydro-sédimentaires

2.1 Modélisation des mouvements sédimentaires

Les théories de mouvement des sédiments granulaires sont basées sur le principe de l'existence d'une vitesse critique d'entraînement spécifique, en deçà de laquelle les sédiments ne bougent pas et au-delà de laquelle les sédiments sont entraînés.

Il est donc extrêmement important de bien définir les vitesses maximales auxquelles sont soumis les sédiments pour déterminer leurs mouvements. En particulier, les courants engendrés par les vagues déferlant sur la plage sont critiques pour définir la susceptibilité au mouvement des sédiments (couleur de l'eau près du bord dans la photo de la figure 2.1). Une fois les sédiments mis en suspension par les vagues, ces sédiments peuvent être entraînés, **même si la vitesse du courant fluvial est significativement inférieure à la vitesse critique d'entraînement des sédiments.**



Figure 2.1 Mise en suspension par les vagues des sédiments des rives de la plage Jacques-Cartier (tronçon 4 – 28 octobre 2018)

Le Coastal Engineering Manual (C.E.M.) fournit certaines informations sur la dynamique des sédiments soumis à des courants. Une notion importante est le ratio des forces de mise en mouvement (drag forces) sur les forces stabilisatrices (poids submergé), identifié comme le paramètre de Shield⁵. Ce paramètre est

⁵ C.E.M. – U.S. Army Corps of Engineers – Equation III-6-43, page III-6-28
Stabilisation des berges du parc

proportionnel au carré de la vitesse du fluide. Une erreur sur l'évaluation de la vitesse du fluide a donc des conséquences dramatiques sur la caractérisation de la mobilité des sédiments.

Les calculs faits avec les équations III-6-45, III-6-47 et III-6-49, ainsi qu'avec la figure II-6-8 du C.E.M. ont donné les vitesses critiques d'entraînement suivantes pour différentes tailles de sédiments (tableau 2.1) :

Tableau 2.1 Vitesses critique d'entraînement des sédiments

Diamètre caractéristique du sédiment (mm)	Vitesse critique d'entraînement u_{cr} (m/s)
0,2	0,013
2	0,034
5	0,063

2.2 Vitesses de courant produites par des vagues

La théorie linéaire des vagues⁶ permet d'avoir une idée du mouvement des particules d'eau sous une vague. Il s'agit d'une approximation qui est tout à fait suffisante pour les besoins du présent exercice.

À partir de données de vagues courantes pour le site de la plage Jacques-Cartier, les calculs faits par 2 m de profondeur ont donné les vitesses locales maximales du fluide près du fond suivantes (tableau 2.2) :

Tableau 2.2 Vitesses orbitales générées par les vagues près du fond

Hauteur significative des vagues Hs (m)	Période moyenne des vagues Tm (s)	Vitesse orbitale max près du fond
		u_{wcr} (m/s)
0,4	2,4	0,24
0,6	2,8	0,43
0,8	3,2	0,65
1,0	3,5	0,86
1,2	3,9	1,09

En comparant les tableaux 2.1 et 2.2, on constate que **les courants générés par les vagues** peuvent être **100 fois supérieurs aux vitesses critiques d'entraînement des sédiments**.

Il est donc inquiétant que ces courants produits par les vagues aient été complètement négligés par Stantec dans le cadre d'une analyse de la dynamique hydro-sédimentaire de la plage Jacques-Cartier.

2.3 Mouvements sédimentaires selon Stantec

Étant donné leur sous-estimation importante des courants du fleuve près des rives et l'absence de prise en compte des courants induits par les vagues, Stantec démontre chiffres à l'appui qu'il n'y a aucune érosion des berges du Parc de la Plage Jacques-Cartier, alors que c'est cette érosion qui est à l'origine-même de leur mandat. Il est tout à fait normal selon le raisonnement de Stantec que la présence des épis « améliore » les conditions de sédimentation puisque leur hypothèse de base est qu'il n'y a pratiquement pas de courant.

Il suffit de se promener le long des berges du parc pour constater combien cette hypothèse est contraire à la réalité, surtout lorsque les vagues se produisent lors d'épisodes de hauts niveaux d'eau (voir figures 2.1 et 2.2).



Figure 2.2 Mise en suspension par les vagues des sédiments des rives de la plage Jacques-Cartier (tronçon 7 – 8 mai 2020)

2.4 Commentaires

Il serait normal de s'attendre à ce que Stantec tienne compte de l'ensemble des vitesses (courants et vagues) pouvant déplacer les sédiments dans le cadre de leurs évaluations, en particulier celles des « bénéfices environnementaux » produits par la mise en place des épis.

De plus, la réflexion des vagues sur les épis (et l'augmentation de hauteur de vague qui en résulte) aurait dû être prise en compte dans ces calculs pour obtenir les effets réels de la présence des épis sur les sédiments des plages et des herbiers. Aucune indication que ce soit le cas n'a été trouvée dans les rapports de Stantec.

3 Épis

3.1 Projet présenté par Stantec

Le projet présenté par Stantec inclus la mise en place de deux épis majeurs (ouvrages en enrochement perpendiculaires au rivage de 100 et 150 m de long – figure 3.1).

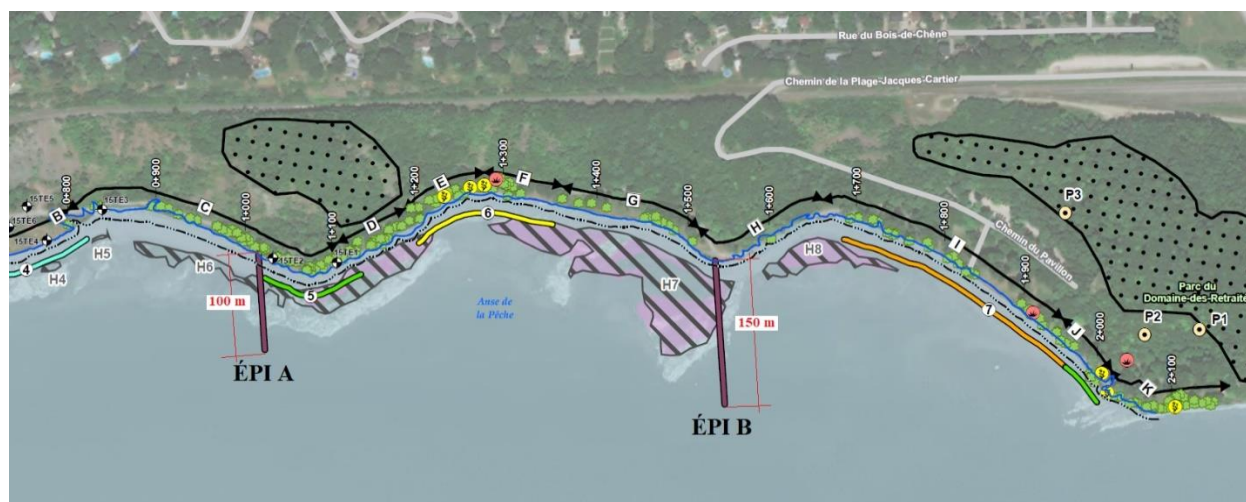


Figure 3.1 Localisation des épis proposés par Stantec près de la plage Jacques-Cartier

3.2 Raison d'être des épis

Les épis ne faisaient pas partie des solutions à étudier dans la demande de proposition de la Ville de Québec⁷. Les impacts de telles structures majeures (empiétement, perturbation du courants, impact visuel, coûts, etc.) auraient donc dû faire en sorte qu'un accent particulier soit mis sur leur justification. C'est loin d'être le cas dans le rapport de Stantec.

Aucune étude d'optimisation de la géométrie des épis n'est présentée dans les différents rapports de Stantec. En aucun cas, la **position**, le **nombre**, la **longueur** ou l'**orientation des épis** n'ont été évaluées par rapport à des alternatives. Tout s'est passé comme s'il n'était pas requis de la part de Stantec de vérifier la validité ou la géométrie des épis proposés spontanément dans leur première version de rapport.

Pire, l'épi B est installé directement sur un herbier alors qu'un déplacement de quelques mètres aurait évité cette destruction directe d'habitat faunique sensible.

3.3 Élévation de la crête des épis et vagues

L'élévation finale de la crête des épis recommandée par Stantec est de +3,32 m (référence [3], chapitre 7.2 de l'annexe F, page 53/59 du pdf). Il s'agit du seul paramètre des épis ayant fait l'objet de plus qu'une option dans les rapports de Stantec, l'élévation alternative étant de +3,09 m (23 cm de moins).

Une vérification des événements de vagues s'étant produit lorsque le niveau d'eau était supérieur à +3.32 m a été faite à partir de la série temporelle synchrone (niveaux d'eau de la station de Neuville et vagues

⁷ Appel d'offres No 50240 – Stabilisation des berges, Plage Jacques-Cartier – Étude d'impact (PSP150140) – Mai 2017 – Ville de Québec

généérées près de la plage – du 1^{er} avril 1969 au 31 décembre 2013). Les vagues qui se sont produites alors que le niveau d’eau était supérieur à +3,32 m sont loin d’être des cas anecdotiques.

La figure 3.2 présente la relation entre la hauteur significative des vagues supérieure à une valeur donnée et le nombre moyen d’événements par année pendant lesquels se produit cette hauteur de vagues **lorsque le niveau d’eau est supérieur à +3,32 m**. Une régression linéaire a été tirée des données pour normaliser les calculs. On constate à partir de la figure 2.2 qu’en moyenne :

- La valeur de $H_s > 0,3$ m se produit presque 20 fois par année,
- La valeur de $H_s > 0,4$ m se produit un peu plus de 8 fois par année,
- La valeur de $H_s > 0,5$ m se produit un peu plus de 4 fois par année,
- La valeur de $H_s > 0,6$ m se produit presque 2 fois par année,
- La valeur de $H_s > 0,7$ m se produit une fois par année,
- La valeur de $H_s > 0,9$ m se produit une fois tous les 7 ans,
- La valeur de $H_s > 1,1$ m se produit une fois tous les 14 ans,
- La valeur de $H_s > 1,3$ m se produit une fois tous les 40 ans.

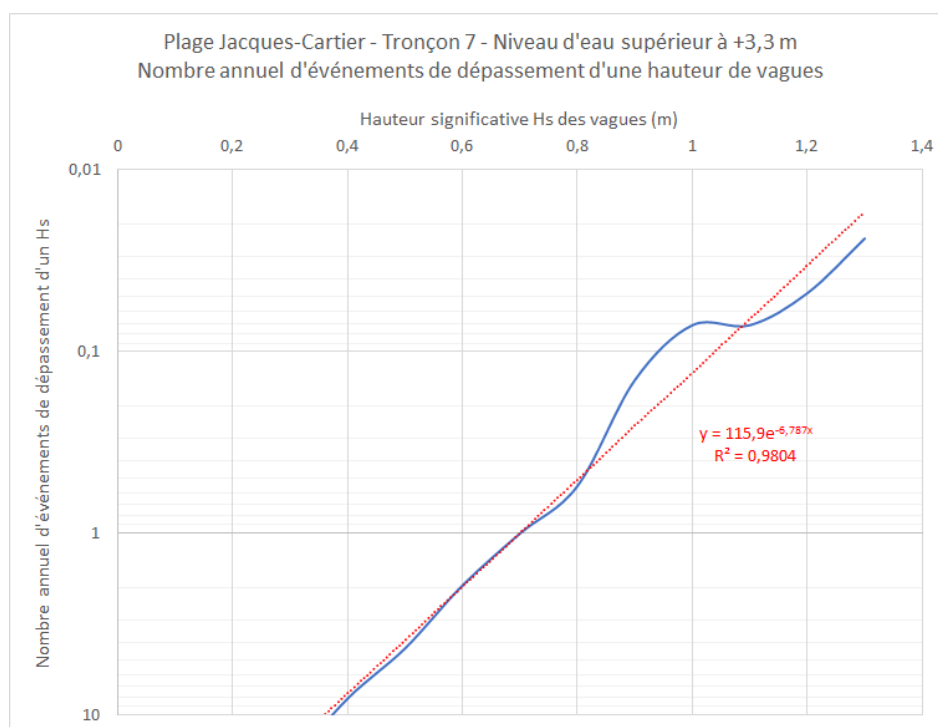


Figure 3.2 Nombre d’événements de H_s supérieur à une valeur donnée par année

Avec la fréquence de vagues qui passent directement par-dessus les épis recommandés par Stantec, il n’est pas difficile de deviner l’impact de ces vagues sur la rive : **les épis ne protégeront pas la rive de l’érosion lors de ces événements combinant vagues et hauts niveaux d’eau**. Or ce sont ces événements qui sont à la base des problématiques d’érosion de la plage Jacques-Cartier (et de bien d’autres rivages québécois).

3.4 Élévation de la crête des épis et navigation

L'élévation finale de la crête des épis recommandée par Stantec est de +3,32 m (référence [3], chapitre 7.2 de l'annexe F, page 53/59 du pdf). En comparant cette élévation avec les élévations de la base de données de niveaux d'eau de Neuville (SHC - référence retenue par Stantec), on constate qu'en moyenne, les épis seront submergés plus de 2,8% du temps, soit **près de 250 heures par année en moyenne**. Les niveaux d'eau extrêmes étant prévus à +5,1 m, **ces épis seront parfois sous 1,8 m d'eau**. Dans un tel cas de brise-lames immergé et sans parler de l'effet des glaces, le C.E.M.⁸ recommande de procéder à des essais en modèle réduit pour faire leur conception. Aucune mention d'une telle mise en garde n'a été trouvée dans les différents rapports de Stantec.

Si on tient compte de la combinaison des effets des changements climatiques (prévisions du GIEC) et du rehaussement isostatique à Québec (NRCan), les épis seront submergés en moyenne par année :

- 280 heures dans 20 ans,
- 320 heures dans 30 ans,
- 370 heures dans 40 ans,
- 430 heures dans 50 ans,

Étant donné la fréquence à laquelle les épis vont être submergés (si tant est qu'ils conservent leur élévation de crête), **la présence des épis submersibles constituera donc une sérieuse entrave à la navigation et un danger réel pour les plaisanciers** qui oseraient s'approcher des rives de la plage Jacques-Cartier à marée haute. Si tant est que Transport Canada autorise une telle entrave à la navigation, le risque d'accident et de mortalité par noyade posé par ces épis est majeur.

Il est un peu surprenant que le sujet n'ait pas été abordé dans le rapport de Stantec, comme si la santé et la sécurité de la population québécoise ne faisait pas partie des préoccupations de Stantec dans le cadre de cette proposition spontanée d'épis.

3.5 Résistance des épis aux glaces

Le chapitre 8.4 du rapport de février 2019 de Stantec (référence [2], annexe B, pages 178/376 et suivantes) prétend dimensionner les épis par rapport aux efforts de glace. En fait, le seul calcul qui est présenté n'est pas clair à propos de ce qui est calculé. De plus, il manque la référence d'où est tirée l'équation du chapitre 8.4 du rapport de Stantec pour s'assurer de sa pertinence dans le contexte de la plage Jacques-Cartier. En effet, de nombreuses équations concernant les glaces ont été développées dans le contexte de lacs ou réservoirs d'eau et non dans le contexte très dynamique du fleuve Saint-Laurent.

D'après ces résultats (référence [2], tableau 17, page 179/376), il faudrait des pierres de 0,83 à 1,39 m (calibre) sur une épaisseur de 2,22 m.

La figure 3.3 (référence [2], annexe D, page 231/376) indique que la crête de l'épi (qui se trouve à +3,32 m selon les recommandations de Stantec) n'est constituée que d'une seule pierre. Pour un ouvrage submersible, ceci constitue un énorme risque par rapport aux recommandations du C.E.M. concernant ce genre d'ouvrage. Au contraire, pour être en mesure de résister aux vagues et aux glaces qui passeront par-dessus ces épis, il faudrait **multiplier le nombre de pierres se trouvant sur la crête** et les placer selon des **pentés plus douces que 1H/1V**.

⁸ Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers

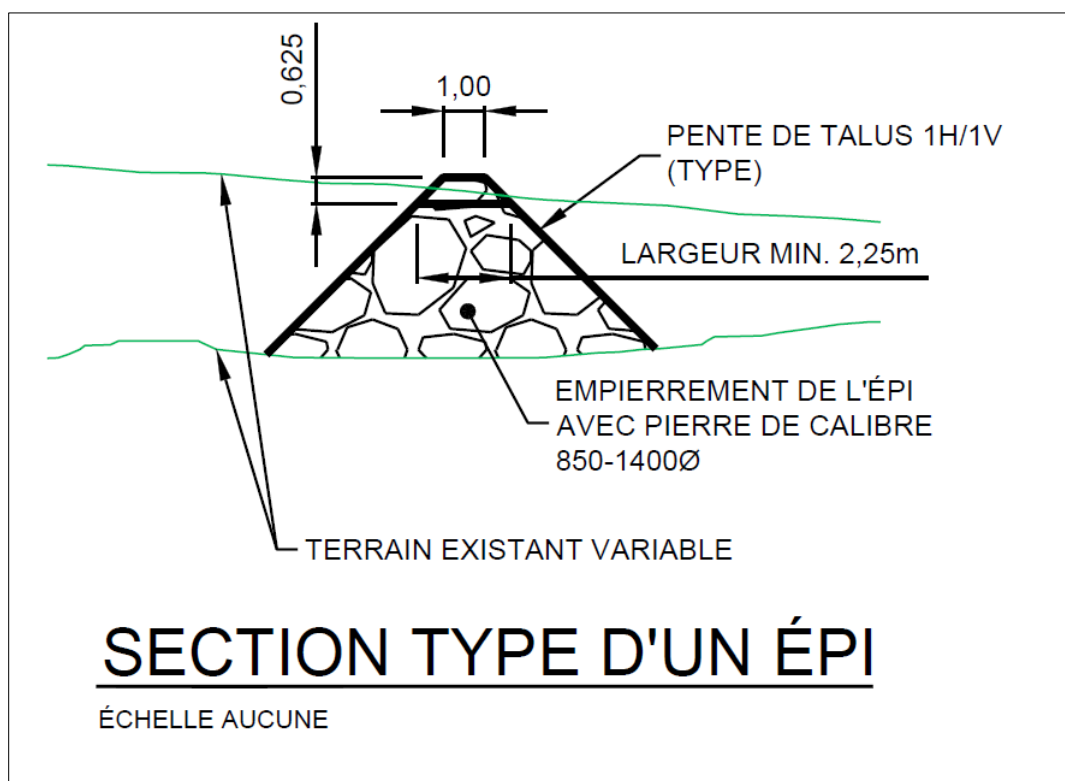


Figure 3.3 Coupe-type d'un épi - Référence Stantec

Avec des épaisseurs de glace de l'ordre du mètre et des niveaux d'eau qui dépassent régulièrement et largement l'élévation de la crête de l'épi (jusqu'à 1,8 m de plus), **l'infrastructure proposée par Stantec ne sera pas stable**. Des vérifications sommaires ont été faites, essentiellement pour établir des ordres de grandeur des problèmes anticipés.

La figure 3.4 présente la structure théorique de l'épi de Stantec. Cette figure permet de visualiser certaines hypothèses qui ont été posées pour faire les calculs de résistance aux glaces.

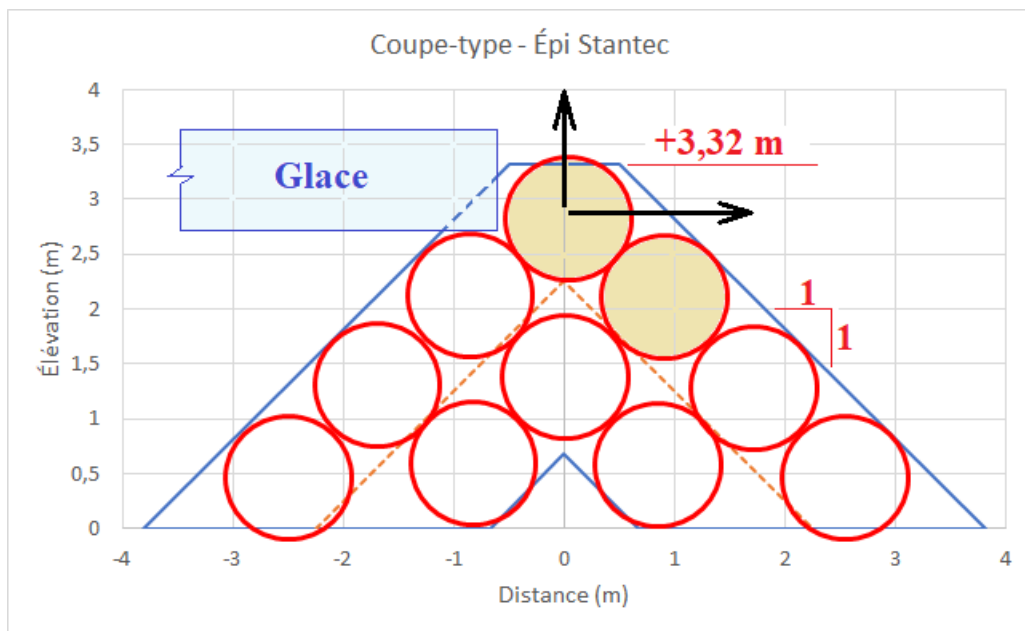


Figure 3.4 Coupe-théorique d'un épi selon la recommandation de Stantec

Un premier calcul a consisté à vérifier la capacité de la glace à soulever une pierre de la crête. Les hypothèses des calculs (très conservatrices) ont été :

- Tension entre la glace et la pierre : 300 kPa (en général, on utilise de l'ordre de 1 MPa en eau douce),
- Diamètre de la pierre : 1 m (poids estimé de 1,7 tonnes avec une densité de 2,6 t/m³). Ce diamètre est également pris comme largeur d'application de la force, en prenant pour acquis que les pierres de la crête se touchent,
- Hauteur de contact entre pierre et glace : 0,5 m (la moitié de la hauteur de la pierre). Les épaisseurs de glace peuvent pratiquement atteindre un mètre selon Stantec (référence [2], annexe B, page 177/376). Les mesures d'épaisseur de glace effectuées par Environnement Canada⁹ dans la région de Québec confirment cet ordre de grandeur.

Avec ces paramètres, la force de soulèvement des pierres pourrait théoriquement atteindre **48 tonnes**. Les études de Jean-Claude Dionne dans les années 1970 ont démontré le réalisme de ce chiffre par l'étude du mouvement des boulders sur les battures de la grande région de Québec.

Pour développer une telle force d'Archimède, il faut qu'une quantité suffisante de glace soit immergée. Les relevés de la **taille des morceaux de glace homogène** circulant dans la région de Québec indiquent qu'ils peuvent atteindre **plusieurs centaines de mètres** (voir la photo de la zone du port de Québec datée du 4 février 2010 sur GoogleTM Earth).

Dans le cas des épis de Stantec, il est facile de penser que la glace pourrait s'accumuler de part et d'autre des épis pour atteindre ces dimensions. Mais en fait, il suffit d'un **morceau de glace ayant une longueur de 40 m, une largeur de 1 m et une épaisseur de 0,5 m pour soulever 2 tonnes**. Il est donc

⁹ <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/previsions-observations-glaces/conditions-glaces-plus-recentes/archives-aperçu/donnees-epaisseur.html>

pratiquement garanti que des morceaux de glace seront en mesure de soulever de nombreuses pierres de la crête des épis de Stantec et de les emporter au loin.

Il est probable que le départ des pierres de la crête se fera à plusieurs, prises dans le même morceau de glace. Il est également intéressant de noter qu'une fois qu'une pierre de la crête est emportée, les pierres adjacentes sont encore plus susceptibles d'être emportées. Il n'y aura donc plus de pierres sur la crête des épis en l'espace de quelques hivers et l'élévation réelle de la crête des épis sera au mieux de l'ordre de +2,2 m, à condition que ces départs de pierres de la crête ne déstabilisent pas les autres pierres, ce qui est très loin d'être assuré avec des pentes de 1H/1V.

Un deuxième calcul a consisté à vérifier la poussée horizontale de la glace sur les pierres de la crête des épis de Stantec. Les mêmes hypothèses que ci-dessus ont été faites, la tension étant remplacée par la contrainte admissible dans la glace. Cette contrainte peut atteindre de l'ordre de 3 à 4 MPa dans la glace d'eau douce selon des mesures faites par le laboratoire de glaces de l'université Laval, mais la valeur de 300 kPa a été conservée. Avec la géométrie proposée par Stantec, on arrive avec une **force horizontale de 15 tonnes exercée par la glace**. Comme la pierre de la crête est en partie bloquée par une autre pierre (angle de la zone de contact = 45 degrés), il faudrait plutôt prendre en considération la **composante verticale de cette force** qui est de **8 tonnes**.

Il est donc également garanti que des morceaux de glace seront en mesure de déplacer les **pierres de 1 à 4 tonnes** de la crête des épis de Stantec et de les faire tomber de l'épi. Ce genre de dommages va également se propager aux pierres situées à côté et plus bas dans les épis.

3.6 Commentaires

Les épis proposés par Stantec n'ont fait l'objet d'aucune étude d'optimisation (position, nombre, longueur, orientation). Leur effet sur la réduction des hauteurs de vagues qui détruisent la berge est loin d'être évident compte tenu de la durée de submersion de ces épis (plusieurs centaines d'heures par année). L'importance de l'impact de ces ouvrages devrait imposer autre chose que des affirmations comme celle selon laquelle l'influence des événements combinés de très hauts niveaux d'eau et de vagues est « négligeable » alors que la plupart des dommages observés le long des berges de la plage Jacques-Cartier et de nombreux rivages québécois sont reliés à ce genre d'événements (6 décembre 2010 en Gaspésie ou ouragan Dorian, par exemple). La Ville de Québec a elle-même justifié son intervention d'urgence de décembre 2019 sur la plage en prétextant les dommages dus à un événement de ce type (tempête du secteur Est accompagnée de hauts niveaux d'eau).

L'étude de **l'impact des épis sur la dynamique sédimentaire** de Stantec n'a pas pris en compte l'effet des courants induits par les vagues sur les sédiments. Or, des calculs très simples montrent que ces effets sont déterminants dans la dynamique sédimentaire des plages du parc.

Le concept d'épi proposé par Stantec n'est ni stable ni durable car il n'est pas en mesure de résister aux contraintes de glace. **Les épis construits selon les recommandations de Stantec seront détruits à court terme** et ne rempliront en aucun cas le rôle que Stantec prétend leur faire remplir.

Même s'ils conservaient leur élévation de crête, les épis proposés par Stantec n'empêcheront pas les vagues d'atteindre la berge avec des **hauteurs significatives de plus d'un mètre**.

Il semblerait donc raisonnable de demander à Stantec :

- De justifier le choix des épis en comparant des interventions alternatives (absence d'épi, nombre, position, longueur et orientation des épis),

- De justifier la nécessité de la mise en place d'épis par des études en bonne et due forme, tenant compte des courants ayant un certain rapport avec les courants réels et tenant compte de l'ensemble des contraintes hydrodynamiques (courants et vagues) auxquels seront soumis les sédiments des rives et les végétaux,
- De revoir le dimensionnement des épis proposés de façon à ce que leur stabilité soit assurée sur une durée de vie utile normale (de l'ordre de 50 ans pour ce genre de structure très difficile à aller réparer)
- De vérifier l'acceptabilité des épis du point de vue de la sécurité nautique (Loi sur les eaux navigables canadiennes¹⁰)

¹⁰ <https://tc.canada.ca/fr/marine/propos-loi-eaux-navigables-canadiennes>

4 Recharge de plage

4.1 Projet présenté par Stantec

Le projet présenté par Stantec fera en sorte qu'aucune plage du Parc de la plage Jacques-Cartier ne sera plus accessible sans avoir à franchir une barrière d'importants boulders similaires à ceux qui viennent d'être installés en décembre 2019 le long de la partie ouest du parc.

La seule proposition de « recharge de plage » présentée dans le rapport de Stantec (figure 4.1) ne correspond en aucun cas à une recharge de plage tel qu'on peut en retrouver dans des références à ce sujet¹¹¹²¹³.

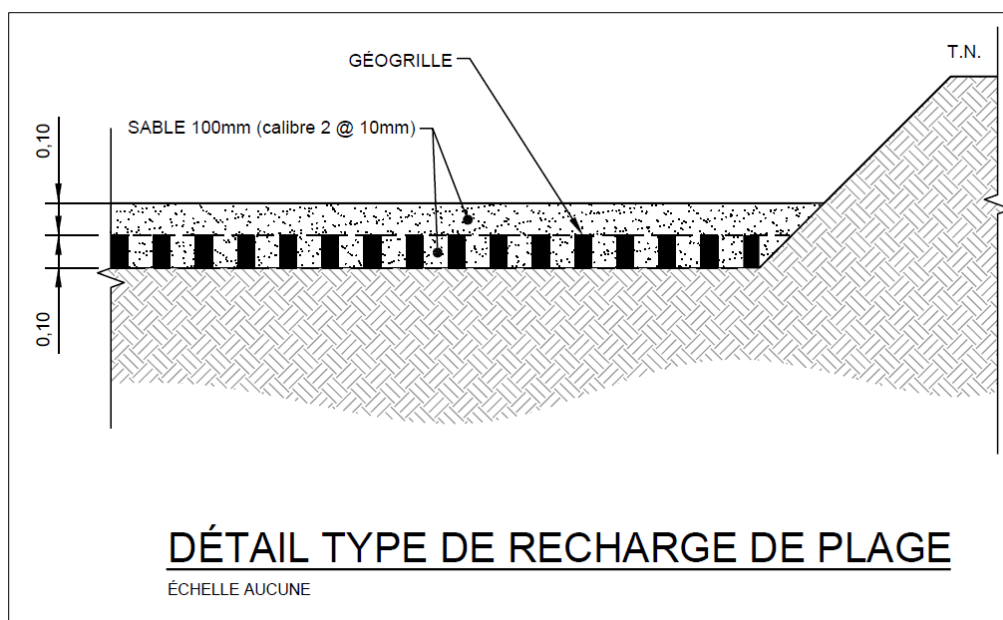


Figure 4.1 Recharge de plage proposée par Stantec

4.2 Ampleur des variations de topographie des plages du parc

La photo de la figure 4.2 expose un phénomène de baisse significative (plus de 300 mm) de la plage, observé au printemps 2020, illustré par l'apparition de racines qui se sont développées dans le sol.

Selon les observations faites au cours d'années de fréquentation de la plage Jacques-Cartier, une partie de ce phénomène est transitoire, la plage étant réapprovisionnée en sable au cours de la saison estivale. Une autre partie du phénomène est permanente, les plages de cette zone ayant progressivement perdu de l'altitude avec les années.

¹¹ https://ceriu.qc.ca/system/files/2018-02/A3.2_Perc%C3%A9.pdf

¹² <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1072791/etude-uqar-recharge-plage-erosion-berges>

¹³ <https://www.erudit.org/fr/revues/natcan/2016-v140-n2-natcan02523/1036508ar.pdf>



Figure 4.2 Baisse d'altitude de la plage Jacques-Cartier au printemps (racines mises à nu)

Les photos des figures 4.3 et 4.4 illustrent des phénomènes de ravinement se produisant tous les printemps sur les différentes plages du parc. On constate que ces phénomènes transitoires peuvent creuser la plage sur des profondeurs qui dépassent régulièrement les 300 mm, surtout en cas de pluie accompagnant la fonte de la neige. En général, ces ravines se comblent lors des grandes marées hautes suivantes.

Installés dans un tel contexte, les 100 mm de sable proposés par Stantec comme « recharge de plage » seraient particulièrement peu appropriés. Il n'est pas besoin d'être un spécialiste en dynamique des plages pour comprendre que la proposition de Stantec n'est en aucun cas le fruit d'une expérience de conception de recharges de plage. Dans les conditions hydro-sédimentaires de la plage Jacques-Cartier, cette « solution » aura au mieux une durée de vie utile d'un an, le ravinement printanier et les vagues exposeront le géogrille et emporteront les sédiments le recouvrant, les vagues briseront et arracheront le géogrille et les glaces parachèveront la dégradation.

Venant de la part d'une firme prétendant avoir des préoccupations environnementales, cette suggestion de rejet dans l'environnement du fleuve d'une importante quantité de matières plastiques en si peu de temps est particulièrement inquiétante.



Figure 4.3 **Ravinement sur la plage Jacques-Cartier au printemps**



Figure 4.4 **Ravinement sur la plage Jacques-Cartier au printemps**

4.3 Projets de recharge de plage au Québec

Les villes de Sainte-Luce (2014 – figure 4.5), de Percé (2017 – figure 4.6) et de Notre-Dame-du-Portage (2018 – figure 4.7) ont mis en place des recharges de plage pour redonner un accès direct au fleuve ou à la mer à leurs citoyens et visiteurs à des endroits où se trouvaient des enrochements ou des murs verticaux.



Figure 4.5 Recharge de plage de Sainte-Luce en 2020



Figure 4.6 Recharge de plage de Percé en 2020



Figure 4.7 Recharge de plage de Notre-Dame-du-Portage en 2020

Il est intéressant de noter sur la figure 4.6 la **présence du marais** au pied de la recharge de plage de Notre-Dame-du-Portage, situation similaire à celle de la plage du tronçon 7 de la plage Jacques-Cartier. Il est également intéressant de noter que la ZIP a participé au projet en prenant en charge la plantation de différents végétaux en haut de plage.

Les villes de Tadoussac, de Pointe-aux-Outardes et la municipalité des Îles de la Madeleine s'appêtent à mettre en place leurs propres recharge de plage sur des sites menacés par l'érosion.

Toutes ces villes ont en commun d'être situées dans des environnements significativement plus exposés aux vagues de tempêtes que le site du Parc de la Plage Jacques-Cartier.

4.4 Sédiments en place

La figure 4.8 illustre la granulométrie des sédiments en place dans les plages du Parc de la Plage Jacques-Cartier. Il n'y a pas besoin de creuser très profond pour se rendre compte que les sédiments présents sur les plages du parc ne sont pas des sables.

Dans la référence [2] (page 63/376 du pdf), Stantec affirme que les sédiments des plages du parc sont caractérisés par des diamètres médians D_{50} de 1 à 3 mm. Il serait prudent de valider cette affirmation. Ceci permettrait éventuellement d'éviter à Stantec d'affirmer que seuls des sédiments présentant des D_{50} de 15 à 90 mm seraient en mesure de répondre aux exigences d'une recharge de plage dans le Parc de la Plage Jacques-Cartier.



Figure 4.8 Granulométrie des sédiments de plage – Parc de la Plage Jacques-Cartier

4.5 Commentaires

Pour le plus grand bénéfice des citoyens de Québec, Stantec devrait proposer des alternatives réalistes et durables de recharge de plage permettant d'éviter la mise en place d'un mur continu de boulders le long des rives du Parc de la Plage Jacques-Cartier et d'éviter la destruction de toutes les plages du parc.

Yann Ropars, M. Sc.

ANNEXE 1

RÉFÉRENCES

- [1] Fichier « 3211-02-300-3.pdf » Stantec, « PR3 – Étude d’impact sur l’environnement – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier – Version finale », Préparée pour la Ville de Québec, 18 mai 2018
- [2] Fichier « 3211-02-300-6.pdf » Stantec, « PR5.2 (1 de 3) – Réponses aux questions et commentaires – Étude d’impact sur l’environnement – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier – Addenda – Réponses aux questions du MELCC du 26 juillet 2018 », Préparée pour la Ville de Québec, 16 décembre 2018
- [3] Fichier « 3211-02-300-7.pdf » Stantec, « PR5.2 (2 de 3) – Réponses aux questions et commentaires – Étude d’impact sur l’environnement – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier – Annexe F – Note technique hydraulique (Stantec, décembre 2018) – Annexe G – Simulations visuelles », Préparée pour la Ville de Québec, 16 décembre 2018
- [4] Fichier « 3211-02-300-8.pdf » Stantec, « PR5.2 (3 de 3) – Réponses aux questions et commentaires – Étude d’impact sur l’environnement – Stabilisation des berges de la plage Jacques-Cartier – Annexe G – Simulations visuelles (suite) – Annexe H – Coupe-type des solutions de stabilisation proposées – Annexe I – Cartographie du milieu », Préparée pour la Ville de Québec, 16 décembre 2018
- [5] Fichier « 18746-presentation2018.pdf » Ville de Québec, « Séance d’information et de consultation publique – Projet de stabilisation des berges du Parc de la Plage-Jacques-Cartier – 24 septembre 2018 »
- [6] Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers

ANNEXE 2

SHÉMATISATIONS DES COURANTS ET DÉBITS

(en amont des ponts de Québec)

STANTEC (figure du haut) versus SHC/P.Matte (figure du bas)

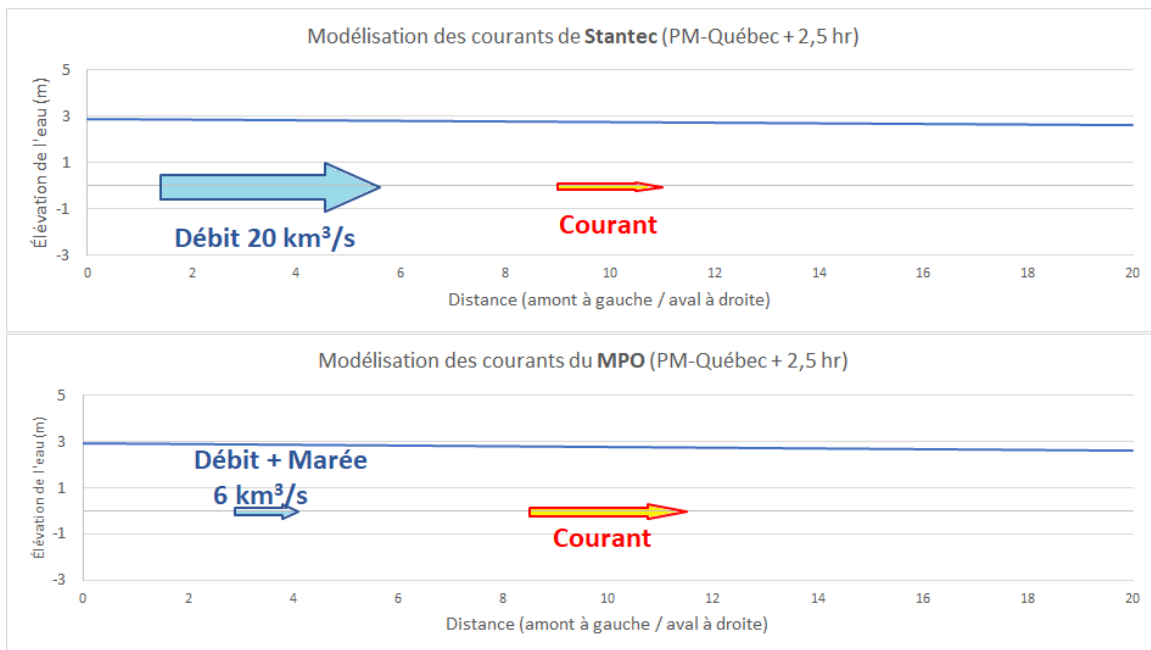


Figure A2.1 Courants et débits (de 2 à 3 heures après la pleine mer à Québec)

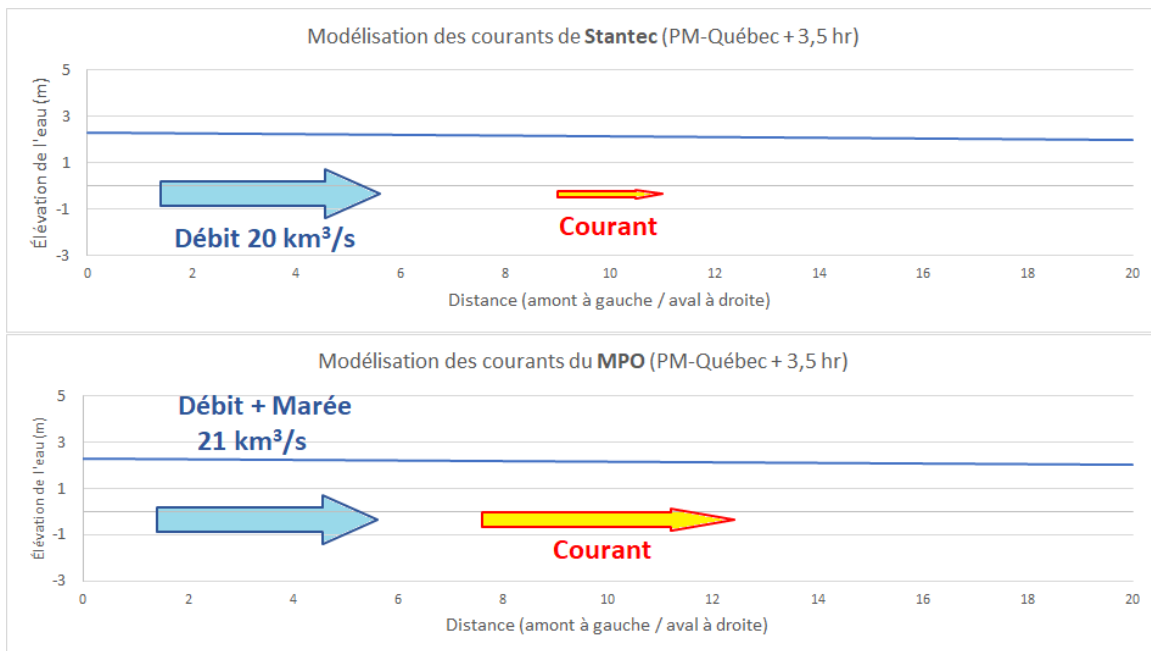


Figure A2.2 Courants et débits (de 3 à 4 heures après la pleine mer à Québec)

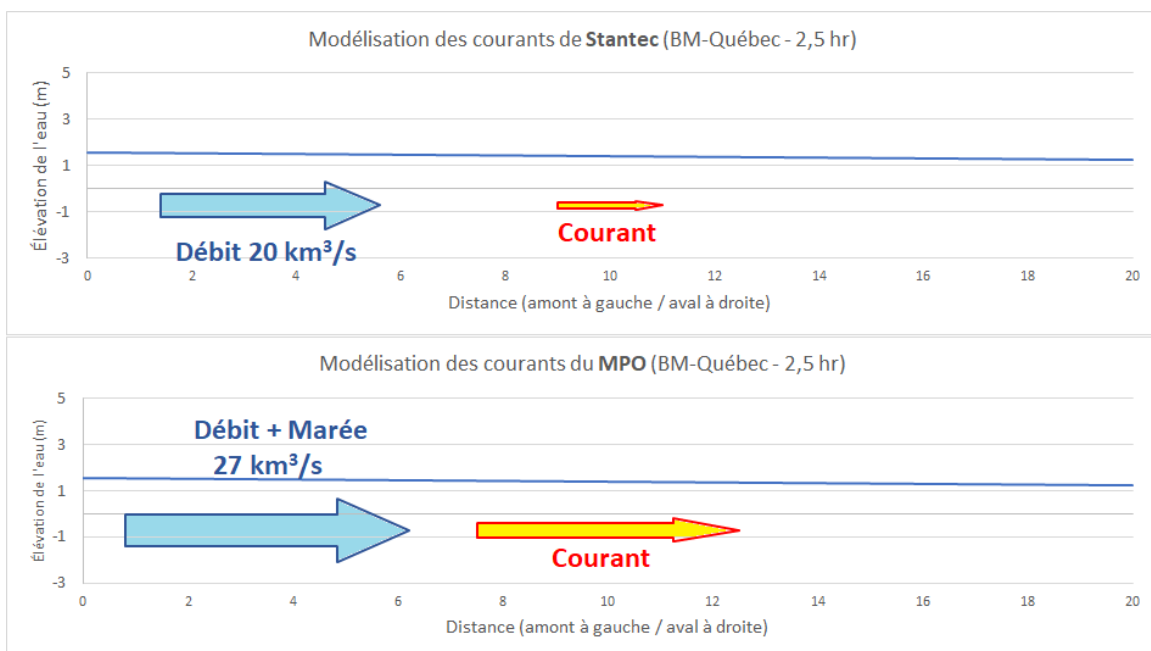


Figure A2.3 Courants et débits (de 3 à 2 heures avant la basse mer à Québec)

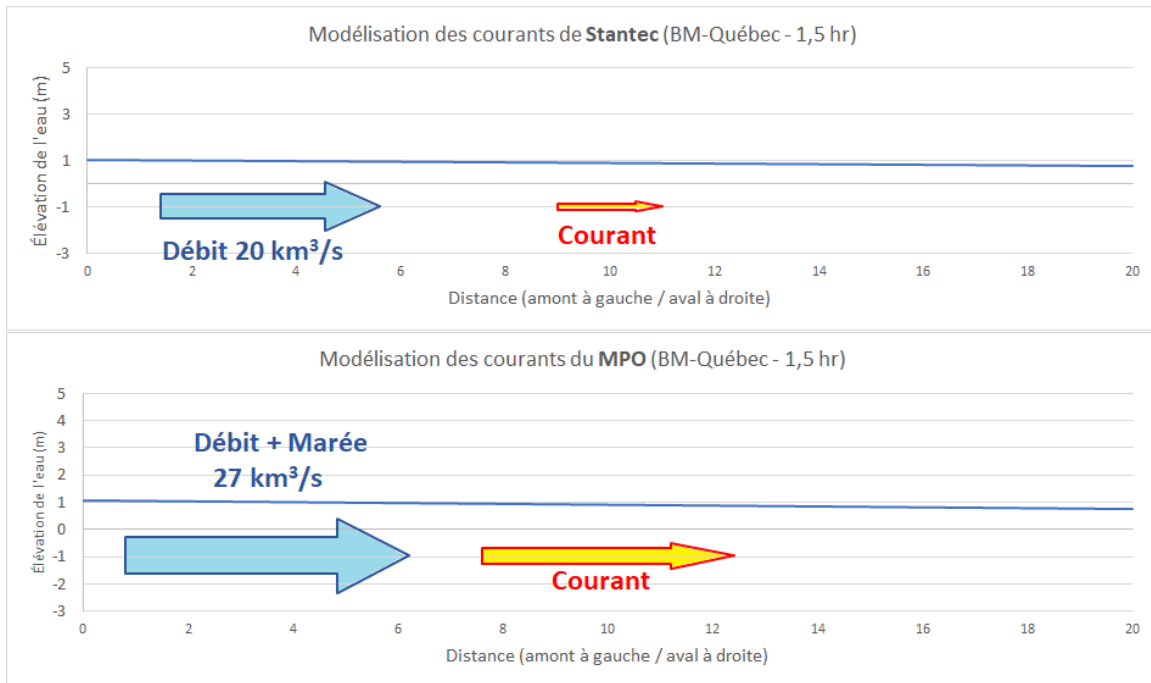


Figure A2.4 Courants et débits (de 2 à 1 heures avant la basse mer à Québec)

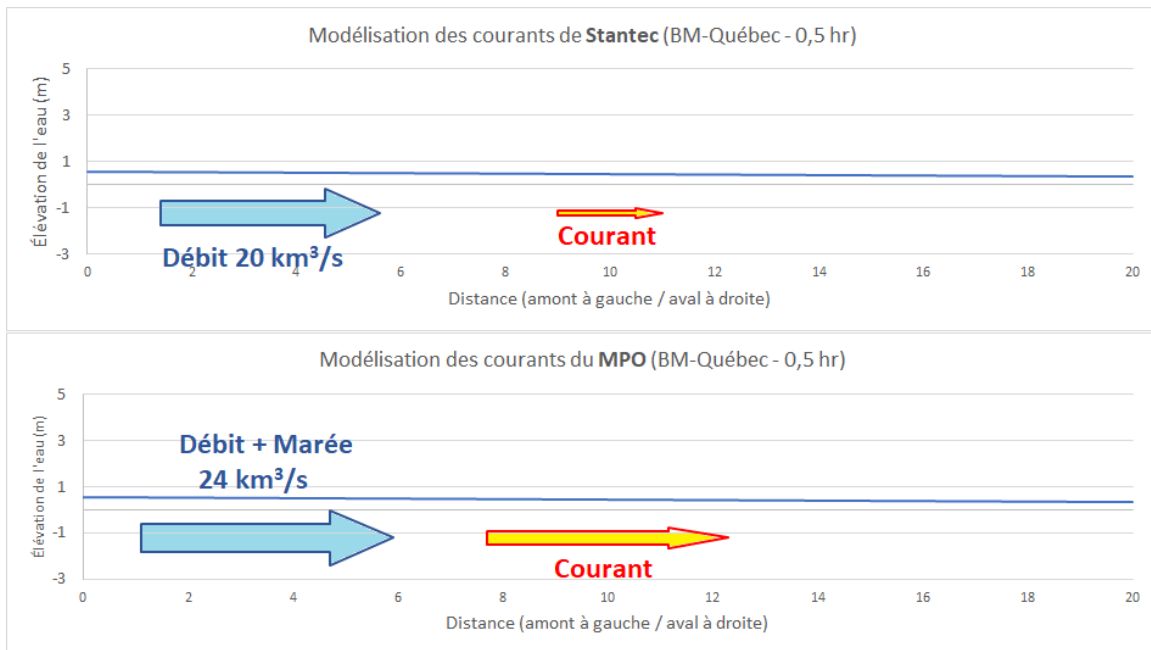


Figure A2.5 Courants et débits (de 1 à 0 heure avant la basse mer à Québec)

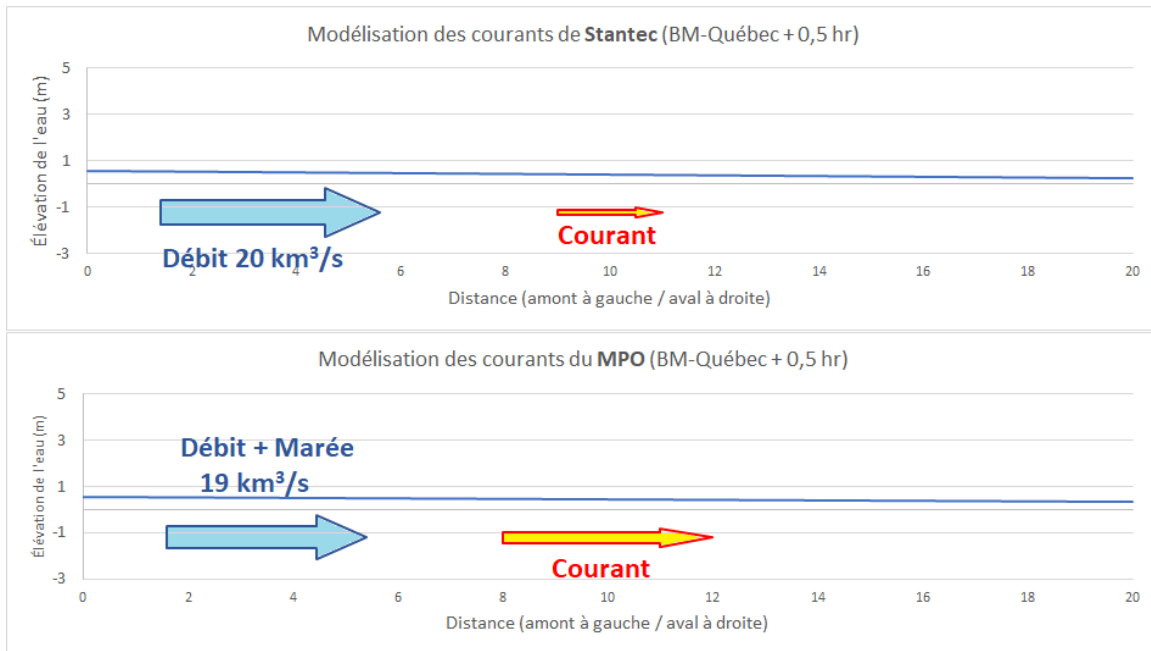


Figure A2.6 Courants et débits (de 0 à 1 heure après la basse mer à Québec)

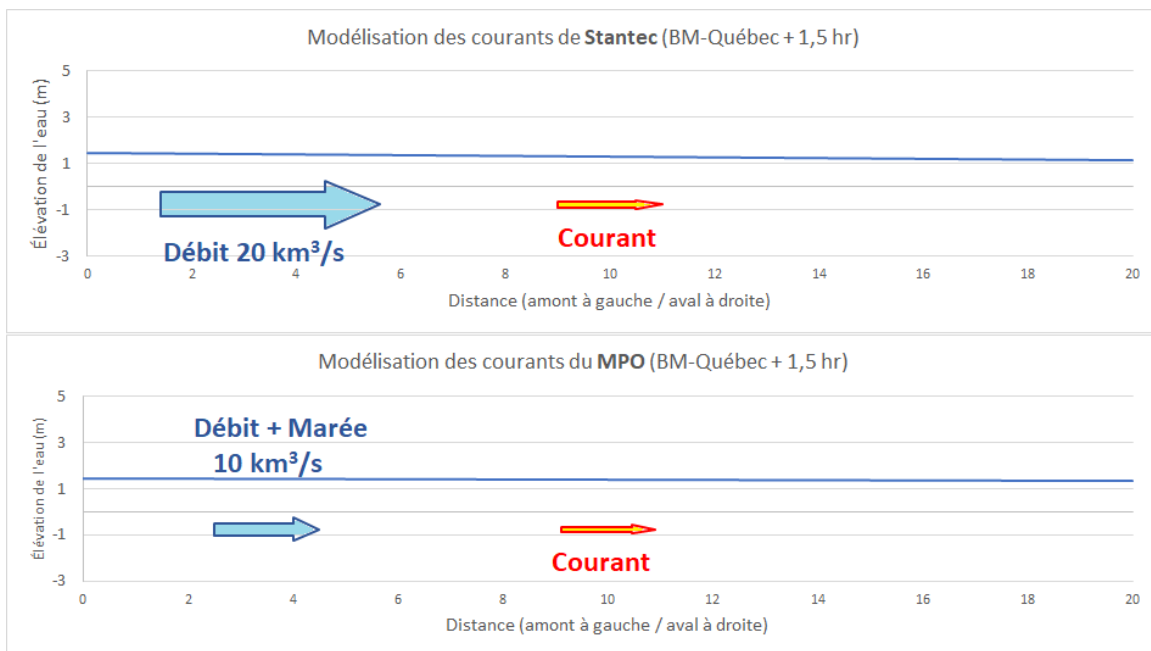


Figure A2.7 Courants et débits (de 1 à 2 heures après la basse mer à Québec)

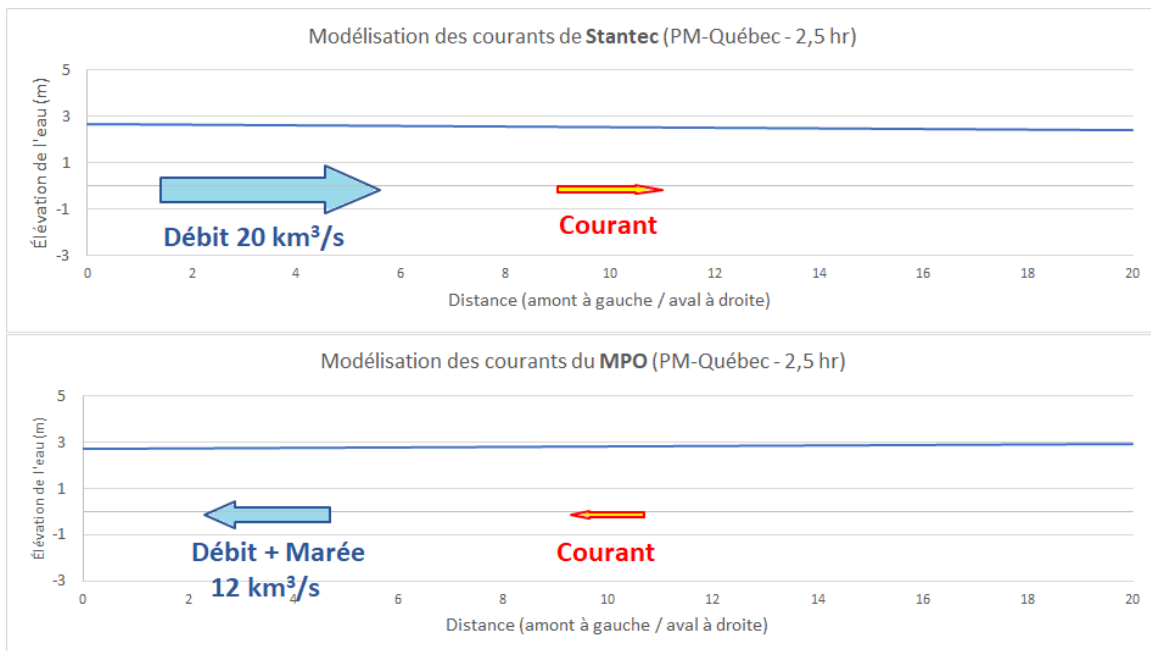


Figure A2.8 Courants et débits (de 3 à 2 heures avant la pleine mer à Québec)

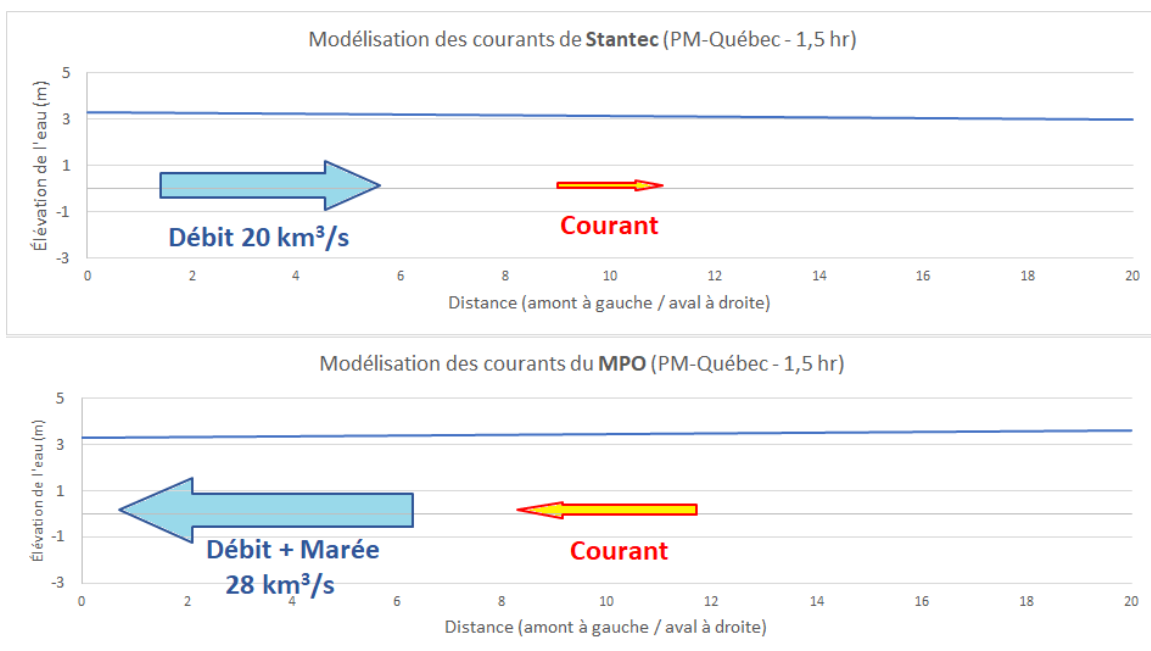


Figure A2.9 Courants et débits (de 2 à 1 heures avant la pleine mer à Québec)

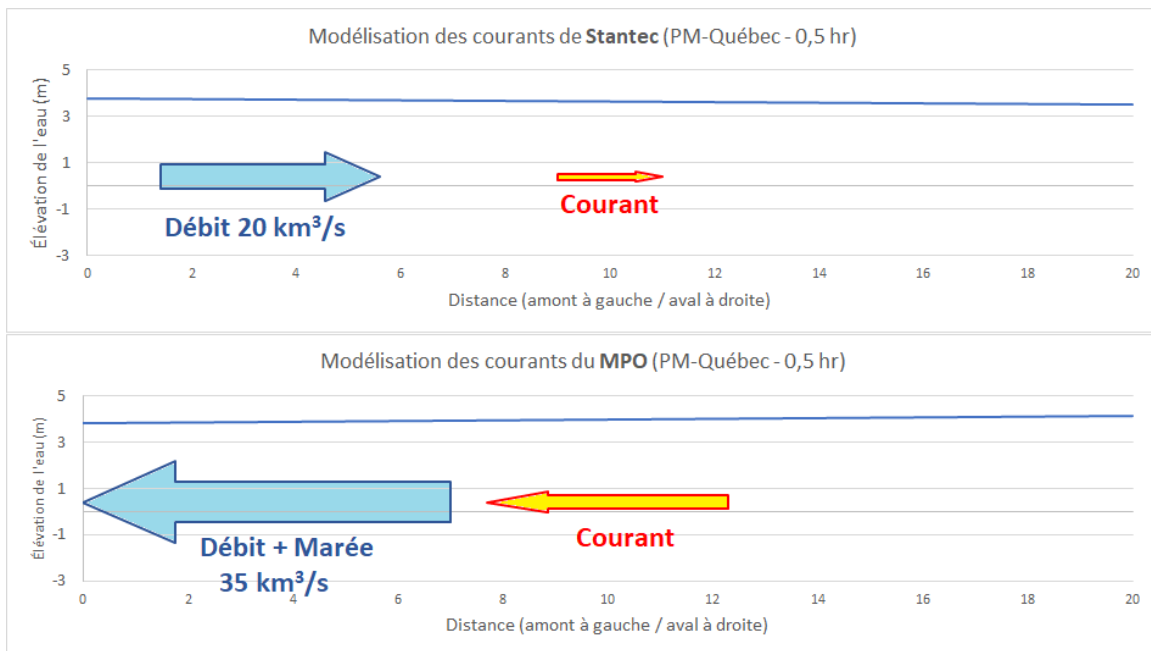


Figure A2.10 Courants et débits (de 1 à 0 heure avant la pleine mer à Québec)

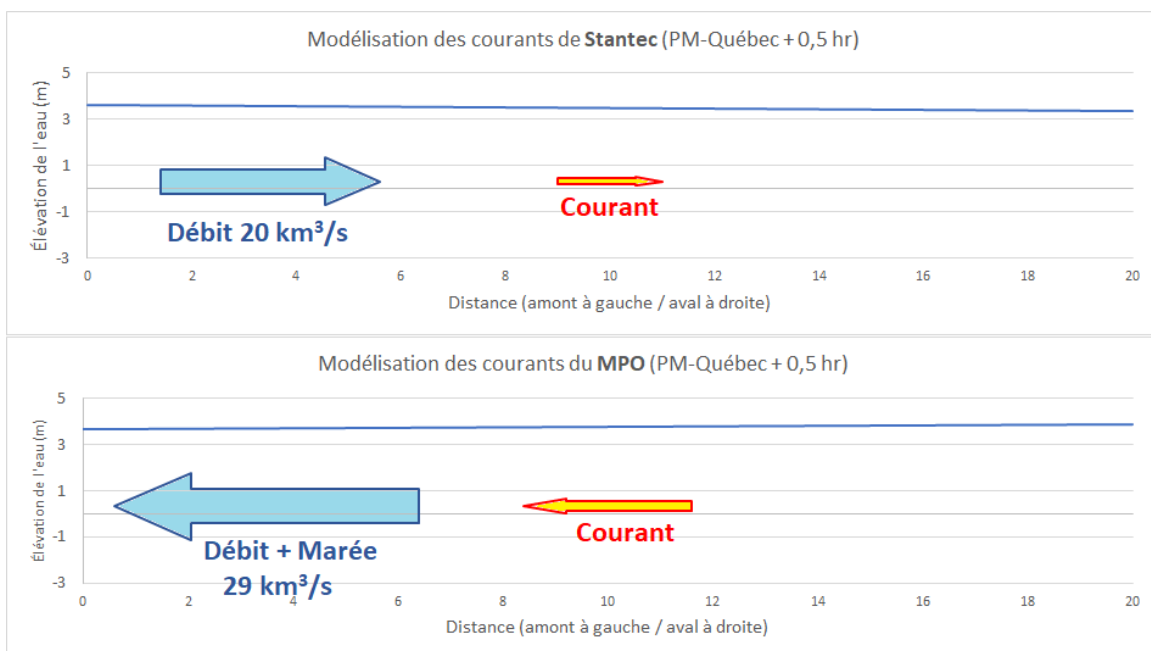


Figure A2.11 Courants et débits (de 0 à 1 heure après la pleine mer à Québec)

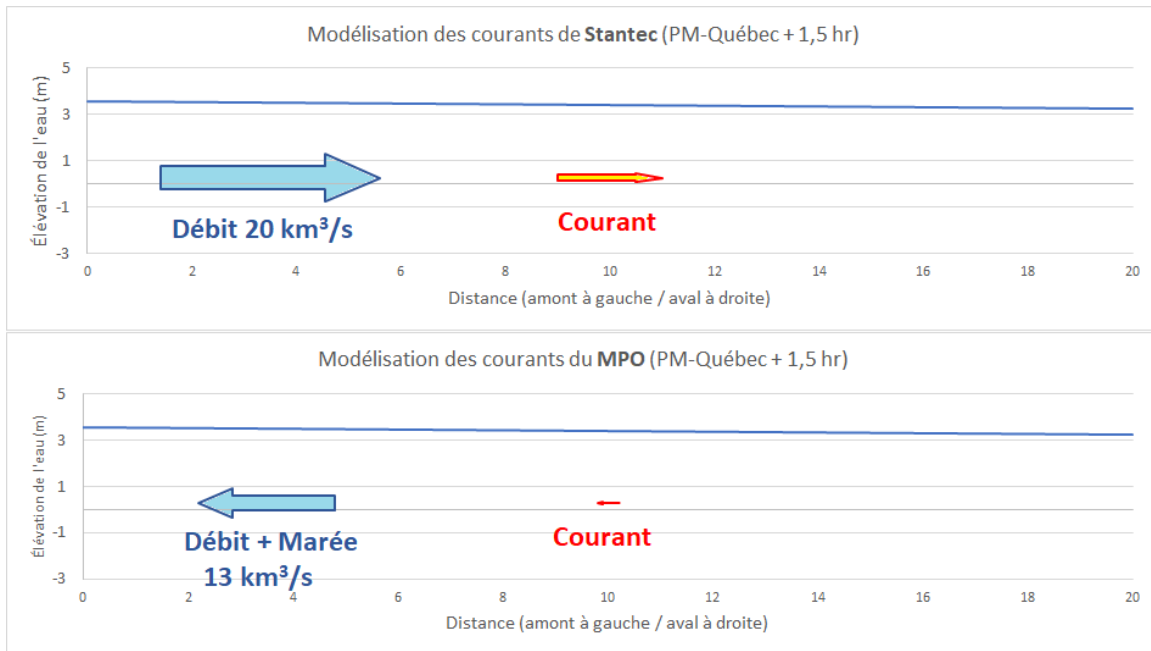


Figure A2.12 Courants et débits (de 1 à 2 heures après la pleine mer à Québec)