AtkinsRéalis

Étude d'impact environnemental
QSL International ltée

Février 2025

V/Projet n° : 695075
N/Réf: 695075-4E-L06-00

Distribution : Direction des évaluations environnementales stratégiques
Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy – Secteur Saint-Laurent

Volume 3, Tome 5 – Études sectorielles

QSL



Table des matières

Volume 3, Tome 5 - Études sectorielles

No	Auteur	Année	Titre	Nb total de pages
Tome 1				
1	AECOM	2015	Centrale thermique de Tracy – Projet de démantèlement – Inventaire des milieux naturel et humain	119
2	AECOM	2016	Centrale thermique de Tracy – Projet de démantèlement – Caractérisation des sédiments	93
3	AtkinsRéalis	2023a	Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy-Secteur Saint-Laurent - Inventaire de couleuvres 2023	26
4	AtkinsRéalis	2023b	Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy, secteur Saint-Laurent ; Note technique -Caractérisation du milieu hydrique dans la zone d'étude locale	33
5	AtkinsRéalis	2024a	Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy, secteur Saint-Laurent ; Note technique - Milieux naturel dans la zone d'étude locale	26
Tome 2				
6	AtkinsRéalis	2024b	Rapport sectoriel de l'avifaune. Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy-Secteur Saint-Laurent	233
7	AtkinsRéalis	2024c	Éclairage et étude photométrique : impact du nouveau terminal portuaire de Sorel et du Port – Projet de construction et d'exploitation d'un nouveau terminal portuaire dans la zone industrialo-portuaire de Sorel-Tracy - secteur Saint-Laurent	20
8	AtkinsRéalis	2024d	Étude d'impact sur la circulation du nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy, secteur Saint-Laurent	85
Tome 3				
9	AtkinsRéalis	2024e	Note technique – Modélisation 3D des conditions d'écoulement. Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy – secteur Saint-Laurent	65
10	AtkinsRéalis	2024f	Étude d'impact sonore. Terminal portuaire de Sorel-Tracy – Secteur Saint-Laurent	39

No	Auteur	Année	Titre	Nb total de pages
11	AtkinsRéalis	2025a	Modélisation de la trajectoire des particules d'hydrocarbures en cas de défaillances. Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy – secteur Saint-Laurent	60
12	AtkinsRéalis	2025b	Étude de dispersion atmosphérique	165
13	AtkinsRéalis	2025c	Inventaire des émissions de GES	45
Tome 4				
14	Centre de simulation et d'expertise maritime (CSEM)	2022	Simulations de manœuvres en lien avec le projet ZIP Saint-Laurent, à Tracy. Projet Zone industrielle portuaire Saint-Laurent Sorel-Tracy	101
15	Centre de simulation et d'expertise maritime (CSEM)	2023	Simulations de manœuvres projet ZIP Saint-Laurent Tracy – Options A, B, C	77
16	CIMA+	2023b	Étude géotechnique — Construction du nouveau port de Sorel	125
Tome 5				
17	CIMA+	2023c	Caractérisation environnementale de site Phase II, 12125, route Marie-Victorin à Sorel-Tracy (Québec)	67
18	CIMA+	2024a	Étude hydraulique, Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai	223
19	CIMA+	2024b	Dynamique sédimentaire, Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai	24
20	Deloitte	2022	Étude de la contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy	19
Tome 6				
21	Deloitte	2024	Étude de retombées économiques : Projet de construction et d'exploitation d'un nouveau terminal portuaire dans la zone industrialo-portuaire de Sorel-Tracy – Secteur Saint-Laurent	24
22	Englobe	2018	Suivi environnemental de la qualité de l'eau souterraine 2018 — Travaux de démantèlement de l'ancienne centrale thermique de Sorel-Tracy – Volet 2. Propriété située au 12125, boulevard Marie-Victorin à Sorel-Tracy (Québec)	165

No	Auteur	Année	Titre	Nb total de pages
23	EXP	2015	Réhabilitation environnementale des sols, Lot 5 405 221 du Cadastre du Québec, Ancienne centrale thermique. Propriété située au 12125, boulevard Marie-Victorin à Sorel-Tracy (Québec)	94
24	Fabianek	2023	Inventaire acoustique des chiroptères dans la zone industrialo-portuaire de Sorel-Tracy - Compte rendu méthodologique et synthèse des résultats obtenus	20
25	Grand Conseil de la Nation Waban-Aki (GCNWA)	2022	Étude de potentiel archéologique à l'intention de QSL International Ltée dans le cadre des travaux de développement d'un terminal portuaire dans la zone de Sorel-Tracy	33
26	Grand Conseil de la Nation Waban-Aki (GCNWA)	2023	Addenda - Terrain sur le lot 5 405 221 - Rapport à l'intention de QSL International Ltée, ajout à l'étude de potentiel archéologique dans le cadre des travaux de développement d'un terminal portuaire	11
27	Groupe Qualitas	2012	Caractérisation environnementale préliminaire — Phases I et II, fermeture de la centrale thermique Tracy, 12125, boulevard Marie-Victorin, Sorel-Tracy	240
Tome 7				
28	Groupe-conseil Entraco	2015	Rapport de réhabilitation – Poste Tracy, Sorel-Tracy – Projet de démantèlement du poste	90
29	Groupe-conseil Entraco	2018	Terrain de la centrale thermique d'Hydro-Québec, Sorel-Tracy - Vérification diligente relative à l'état environnemental du terrain	24
30	H20 Architecture navale	2024	Avis technique pour les charges d'amarrage pour le nouveau quai QSL à Sorel-Tracy	25
31	SNC-Lavalin	2022	Caractérisation biophysique initiale pour l'installation d'un quai flottant –Inventaires 2021. Zone industrialo-portuaire	249

17. Caractérisation environnementale de site Phase II, 12125, route Marie-Victorin à Sorel-Tracy (Québec)

Caractérisation environnementale de site Phase II

Rapport final

12125, route Marie-Victorin à Sorel-Tracy (QC)

QSL International Ltée

Numéro de projet CIMA+ : Q213012B
Septembre 2023

Caractérisation environnementale de site Phase II

Rapport final

12125, route Marie-Victorin à Sorel-Tracy (QC)

QSL International Ltée

Préparé par :



Juan Sebastian Sanchez, CPI, M. Sc. A.
Chargé de projet
Environnement et Sciences de la terre



Marie-Juliette Jouveau, M. Sc.
Chargée de projet
Environnement et Sciences de la terre

Vérifié par :



François Nadeau, ing., EESA®
Directeur de projet
Environnement et Sciences de la terre

1145, boulevard Lebourgneuf, bureau 300
Québec (Québec) G2K 2K8
Tél. bur. : 418-623-3373

Numéro de projet CIMA+ : Q213012B
Septembre 2023

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS			
N° de révision	Révisé par	Date	Description de la modification et/ou de l'émission
0A	FN	2023-08-28	Rapport préliminaire
00	FN	2023-09-18	Rapport final

ÉQUIPE DE PROJET

QSL International Ltée

Responsable du projet : M. Olivier Rochette

CIMA+ s.e.n.c.

Directeur de projet : François Nadeau, ing., EESA®

Chargée de projet : Marie-Juliette Jouveau, M. Sc.

Chargé de projet : Juan Sebastian Sanchez, CPI, M. Sc. A.

Cartographie : Carolina Lopera Barrientos, M. Sc. A.

Travaux terrain : Robert Pelletier, techn. spécialiste principal

Alan Sanchez, CPI

Révision et édition : Josée Labonté, adjointe admin.

RÉFÉRENCE À CITER

CIMA+, 2023. Caractérisation environnementale de site Phase II. 12125, route Marie-Victorin à Sorel-Tracy (QC). Rapport présenté à QSL International Ltée. 18 p. + annexes. Dossier Q213012B.

Table des matières

1. Utilisation du rapport et limitations 1

2. Introduction 2

2.1 Mandat, mise en contexte et objectifs 2
2.2 Description du site 2

3. Études antérieures 4

3.1 Englobe Corp. (2018) 4
3.2 SNC-Lavalin inc. (2023) 4

4. Travaux réalisés 6

4.1 Approche méthodologique 6
4.2 Localisation des infrastructures souterraines 6
4.3 Caractérisation des sols 6
4.3.1 Échantillonnage des sols 7
4.3.2 Dépistage des vapeurs organiques 7
4.3.3 Décontamination des équipements 8
4.3.4 Transport et conservation des échantillons 8
4.4 Localisation des sondages 8
4.5 Caractérisation de l'eau souterraine 8
4.5.1 Installation de puits d'observation 8
4.5.2 Échantillonnage de l'eau souterraine 8
4.6 Programme analytique 9
4.6.1 Échantillons de sols 9
4.6.2 Échantillons d'eau souterraine 9
4.7 Programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) 9

5. Critères d'évaluation 11

5.1 Critères d'évaluation de la qualité des sols 11
5.2 Critères d'évaluation de la qualité de l'eau souterraine 12
5.2.1 Application des seuils d'alerte 12

6. Résultats des travaux de caractérisation 14

6.1 Stratigraphie locale 14
6.1.1 Terre végétale 14
6.1.2 Remblai 14
6.1.3 Sols naturels 14
6.1.4 Eau souterraine 14
6.2 Indices de contamination 14
6.3 Résultats analytiques 15
6.3.1 Résultats des sols 15
6.3.2 Résultats de l'eau souterraine 15
6.3.3 Résultats du programme de contrôle de la qualité 15
6.3.4 Programme de contrôle et d'assurance de la qualité des analyses en laboratoire 16

7. Conclusions et recommandations 17

7.1 Conclusions 17

7.2 Recommandations 17

8. Références 18

Liste des annexes

Annexe A Limitations de l'étude
Annexe B Cartes
Annexe C Document photographique
Annexe D Rapports de forage
Annexe E Tableaux des analyses
Annexe F Certificats analytiques

1. Utilisation du rapport et limitations

Le présent rapport a été préparé à la demande de QSL International Ltée (QSL), dans le contexte déterminé par les termes spécifiques du mandat accordé à CIMA+. Aucune copie en tout ou en partie de ce rapport ne peut être réalisée par un tiers sans le consentement explicite de QSL.

Les résultats des travaux de caractérisation utilisés pour la réalisation des travaux de gestion des sols excavés sont jugés représentatifs de la qualité environnementale des sols aux endroits ayant fait l'objet d'une investigation, et ce, pour les paramètres analytiques retenus.

Les résultats de caractérisation utilisés ne constituent pas un bilan exhaustif de toute forme de contamination, ni une garantie pour les endroits n'ayant pas fait l'objet de travaux d'investigation.

Par conséquent, le rapport des travaux de gestion des sols excavés ne prétend pas couvrir de façon exhaustive l'ensemble des enjeux environnementaux possibles du site à l'étude, ni offrir une garantie d'enlèvement ou de traitement de tous les sols contaminés susceptibles de se retrouver dans le terrain.

Le rapport des travaux de gestion des sols excavés a été effectué selon le niveau de précaution et d'expertise généralement exercé par les professionnels du domaine, dans les conditions similaires de temps et de contraintes financières, physiques ou autres applicables au mandat.

En aucun temps, CIMA+ ne pourra être tenue responsable d'erreur ou omission résultant de l'usage d'informations inexactes ou imprécises provenant d'un tiers ou en raison de la non-disponibilité d'une information.

Toute opinion concernant l'application ou la conformité aux lois et règlements apparaissant dans ce rapport est exprimée sous toute réserve et ne doit, en aucun temps, être considérée comme un avis juridique ou se substituer à un tel avis. Les limites relatives au présent mandat sont insérées à l'annexe A.

2. Introduction

2.1 Mandat, mise en contexte et objectifs

La compagnie QSL International Ltée (QSL) prévoit construire un nouveau terminal portuaire à Sorel-Tracy (QC) sur une propriété localisée au 12125, route Marie-Victorin, constituée du lot 4 784 170 du cadastre du Québec, en bordure est du fleuve Saint-Laurent (ci-après « site » ou « site à l'étude »). En raison du milieu naturel dans lequel il s'inscrit, ce projet requiert une autorisation ministérielle auprès du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE).

La présente étude consiste à effectuer une caractérisation environnementale de site (CES) Phase II, dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement provinciale et d'une évaluation environnementale fédérale nécessaires à la réalisation du projet de construction et d'exploitation d'un nouveau terminal portuaire et à la suite des recommandations de l'évaluation environnementale de site (ÉES) Phase I.

Préalablement au présent mandat, une ÉES Phase I[1] a été réalisée par SNC-Lavalin (2023) sur le site, identifiant un risque environnemental ayant lieu sur le terrain adjacent, soit les activités de manutention et d'entreposage de produits pétroliers sur le terrain voisin appartenant à Kildair Service Ltée. Dans un tel contexte, l'objectif des présents travaux visent, entre autres, à établir un portrait à jour de la qualité environnementale des sols et de l'eau souterraine en regard du risque environnemental soulevé.

Selon l'ÉES Phase I produite par SNC-Lavalin (2023), des activités listées à l'annexe III du Règlement sur la protection et la réhabilitation des terrains (RPRT) ont eu lieu sur le site, à savoir :

- Production d'électricité (à partir de mazout ou de diesel) Code SCIAN 221112;
- Distribution d'électricité (postes de transformation) Code SCIAN 221122.

De plus, l'ÉES Phase I mentionne qu'une activité future potentielle, listée à l'annexe III du RPRT, pourrait avoir lieu sur le site soit des « opérations portuaires » (code SCIAN 48831). Cependant, ce rapport mentionne également que, selon les informations obtenues de la part du client, le site à l'étude ne fait pas l'objet actuellement d'une cessation d'activité ou d'un changement d'usage. Pour cette raison, cette CES Phase II n'a pas pour objectif de répondre aux exigences de la section IV du chapitre IV de la LQE.

2.2 Description du site

Le site à l'étude appartient à la compagnie QSL et est localisé au 12125, route Marie-Victorin, à Sorel-Tracy (QC), en bordure est du fleuve Saint-Laurent. Il a une superficie de 800 m^2. Selon les informations obtenues, QSL prévoit construire un nouveau terminal portuaire sur la propriété et l'entrepôt existant sera utilisé à des fins portuaires. Le site à l'étude correspond à la zone des travaux projetés et à une partie du lot 4 784 170 du cadastre du Québec. Les coordonnées géographiques approximatives du centre du terrain sont les suivantes (*North American Datum 1983* [NAD83]) :

- Latitude : 45.997641° Nord;
- Longitude : -73.171488° Ouest.

[1] SNC-Lavalin, 2023. *Évaluation environnementale de site Phase I – Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy au 12125, route Marie-Victorin, Sorel-Tracy, Québec*.

Le terrain est principalement constitué d'espaces vacants non utilisés, à l'exception d'une petite portion nord-est du site, où un bâtiment (entrepôt) y est érigé et une aire d'entreposage y est aménagée. Selon les élévations de la carte interactive Info-Sols (Info-Sols, 2023), la topographie locale aux environs du site à l'étude est en pente descendante importante de l'est vers l'ouest, soit vers le fleuve Saint-Laurent, lequel borde la limite ouest du site. Le site est quant à lui relativement plat. Toujours selon cette carte interactive, l'altitude moyenne du terrain se situe environ entre 11 et 13 m au-dessus du niveau moyen de la mer (NMM). Un talus abrupt d'une hauteur de 3 m sépare le terrain du fleuve. Aucun cours d'eau ne traverse le site à l'étude. Le sens d'écoulement des eaux souterraines dans le secteur est présumé en direction du fleuve Saint-Laurent, soit vers l'ouest.

Les usages actuels des terrains adjacents à la propriété à l'étude sont les suivants :

Nord :	Propriétés industrielles
Sud :	Boisé avec une tour de transmission d'énergie
Est :	Route Marie-Victorin suivie de propriétés industrielles
Ouest :	Fleuve Saint-Laurent

Selon le Règlement de zonage numéro 2222 de la Ville de Sorel-Tracy, le site à l'étude ainsi que les propriétés voisines sont localisés dans une zone mixte où les usages suivants sont autorisés : industriel (i1 et i2), commercial (c4), et communautaire et service (p3). Aucune décision de la Commission de protection du territoire agricole du Québec (CPTAQ) n'est associée au site à l'étude.

L'emplacement et les limites du site à l'étude sont présentés à la carte 1 de l'annexe B.

3. Études antérieures

Des études antérieures ont été fournies à CIMA+ :

- Englobe Corp. (2018). *Suivi environnemental de la qualité de l'eau souterraine 2018. Travaux de démantèlement de l'ancienne centrale thermique de Sorel-Tracy – Volet 2, Propriété située au 12125, boulevard Marie-Victorin à Sorel-Tracy (Québec).* Pour Hydro-Québec. Réf no 045-P-0010692-0-03-240-01-HG-R-0100-00.
- SNC-Lavalin inc. (2023). *Caractérisation environnementale de site – Phase I – Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy, 12125, route Marie-Victorin, Sorel-Tracy, Québec*. Réf. Interne N/Dossier n° : 695075 - N/rapport n° : 695075-4E-L03-00.

3.1 Englobe Corp. (2018)

À la suite du démantèlement de l'ancienne centrale thermique de Sorel-Tracy, Englobe Corp. (Englobe) a réalisé, pour le compte d'Hydro-Québec, un suivi environnemental de la qualité des eaux souterraines sur le site è l'étude. Les travaux consistaient en un relevé des vapeurs organiques, relevé des niveaux des liquides (eau et hydrocarbures) et un échantillonnage de dix puits d'observation. Les informations pertinentes retenues sont les suivantes :

- Suivi printemps 2018 : le niveau de l'eau souterraine variait entre 1,20 (PO-219) et 4,11 m (PO-17-06);
- Suivi été 2018 : le niveau de l'eau souterraine variait entre 2,38 m (PO-219) et 5,15 m (PO-17-06);
- Suivi automne 2018 : le niveau de l'eau souterraine variait entre 2,78 m (PO-219) et 5,16 m (PO-17-06);
- Analyse pour les paramètres suivants ou pour une combinaison : hydrocarbures pétroliers (HP) C_{10}-C_{50}, composés organiques volatils (COV), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), biphényles polychlorés (BPC), métaux dissous et/ou pH;
- Des concentrations en métaux (aluminium et cuivre) excédant le critère de résurgence dans l'eau de surface (RES) du *Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés* (Guide d'intervention) du MELCCFP ont été mesurées dans le puits d'observation PO-17-05 en mai 2018;
- Des valeurs de pH excédant la norme de la Ville de Sorel-Tracy ont été mesurées dans le puits PO-17-05 en mai (12,5) et juillet (9,71) 2018.

Il est à noter que les dépassements ont été rencontrés à environ 200 m aval hydraulique présumé du secteur d'étude.

Aux termes de leur étude, Englobe ne recommandait pas de poursuivre le suivi environnemental de la qualité des eaux souterraines.

3.2 SNC-Lavalin inc. (2023)

Cette étude a été réalisée à la demande de QSL International Ltée dans le cadre d'un développement d'un nouveau terminal portuaire. Le site était plus grand et était formé des lots 3 585 417, 4 784 170 (seul lot à l'étude dans le cadre du présent mandat), 6 337 690, 6 337 691, d'une partie des lots 5 405 221 et 4 912 066 du cadastre du Québec, et d'un territoire non cadastré (fleuve Saint-Laurent). L'analyse des diverses informations recueillies lors de la recherche historique, de l'étude des dossiers et des entrevues a permis d'établir que le site a été occupé par divers bâtiments à vocation industrielle associés aux activités d'une centrale thermique fonctionnant par la combustion de mazout lourd de 1960 à 2011, et d'un poste de transformation électrique. La cessation des activités

de la centrale en 2011 a déclenché plusieurs études, notamment des ÉES Phase I et CES Phase II, des caractérisations des sédiments, des réhabilitations environnementales et des suivis de la qualité de l'eau souterraine. Des avis de contamination ont été enregistrés en 2015 et un avis de décontamination a été émis à la suite de travaux de réhabilitation réalisés en 2018.

Le site est localisé dans un secteur industrialo-portuaire de la ville de Sorel-Tracy. Des activités d'entreposage, de manutention et d'expédition de produits pétroliers (Kildair Service Ltée) ont lieu sur les terrains voisins à l'est et au sud-est du site. Ces activités seraient en cours depuis les années 1960.

Cependant, à la suite de l'examen des informations recueillies au cours de la présente étude, SNC-Lavalin est d'avis qu'une CES Phase II est recommandée dans le secteur est/sud-est du site à l'étude qui avoisine les terrains du site d'entreposage et de manutention de produits pétroliers.

4. Travaux réalisés

Les travaux de caractérisation environnementale ont été effectués en deux temps par des professionnels de CIMA+. Les travaux de forage, d'échantillonnage des sols et d'installation des puits d'observation de l'eau souterraine ont été réalisés le 19 juillet 2023. L'échantillonnage de l'eau souterraine a, quant à elle, eu lieu le 28 juillet 2023. Les travaux et les résultats obtenus sont présentés aux sous-sections suivantes.

L'annexe C présente des photographies prises lors des travaux réalisés sur le site.

4.1 Approche méthodologique

Les travaux de caractérisation ont été réalisés conformément aux guides du MELCCFP[2], notamment :

- Guide de caractérisation des terrains (MELCCFP, 2003);
- Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 1 : Généralités (MELCCFP, 2008);
- Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 5 : Échantillonnage des sols (MELCCFP, 2010);
- Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3 : Échantillonnage des eaux souterraines (MELCCFP, 2012);
- Addenda - Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales Cahier 5 – Échantillonnage des sols Mise à jour de la section 5.3.3 Échantillon pour l'analyse des composés organiques volatils (MELCCFP, 2016);
- Guide d'intervention – Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELCCFP, 2021).

L'emplacement des forages a été établi en fonction des enjeux identifiés et présentés dans l'ÉES Phase I (SNC-Lavalin, 2023).

4.2 Localisation des infrastructures souterraines

CIMA+ a fait appel au service Info-Excavation préalablement aux travaux de forage afin de procéder à la localisation des infrastructures souterraines publiques.

Afin d'effectuer le repérage des infrastructures souterraines privées, CIMA+ a mandaté la compagnie Scan Plus Technologie Détection inc. afin de sécuriser l'emplacement prévu des forages en recherchant les conduites et ouvrages privés enfouis, si présents. Cette localisation a été effectuée le 19 juillet 2023, sous la supervision d'un professionnel de CIMA+.

4.3 Caractérisation des sols

Les forages ont été réalisés à l'aide d'une foreuse sur chenilles (équipement d'échantillonnage muni de cuillères fendues), fournie et opérée par la compagnie Forage Jean-Luc Lacourse, sous la supervision d'un représentant de CIMA+.

[2] *Dans le présent document, le sigle MELCCFP est utilisé pour désigner indistinctement l'appellation actuelle du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), et les appellations antérieures du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP), du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), de l'Environnement et de la Faune (MEF) et de l'Environnement (MENV et MENVIQ).*

Au total, deux (2) forages convertis en puits d'observation ont été réalisés sur le site le 19 juillet 2023. La localisation des emplacements de forage et l'échantillonnage des sols ont été effectués par le personnel de CIMA+ en fonction des risques soulevés par le rapport d'ÉES Phase I de SNC-Lavalin (2023).

Puisque l'étude antérieure de suivi d'eau (Englobe, 2018) mentionnait que le niveau de la nappe était relativement profond et que le risque environnemental soulevé dans l'ÉES Phase I (SNC-Lavalin, 2023) était associé au terrain voisin, l'échantillonnage des sols a débuté à partir de 1,2 m de profondeur sous la surface du terrain fini.

Tous les forages ont été réalisés jusqu'à l'atteinte d'un niveau montrant des sols saturés en eau, soit jusqu'à des profondeurs variant entre 4,27 et 6,10 m sous la surface du terrain.

Chaque échantillon de sols est identifié par le préfixe F ou PO correspondant au type de forage (forage ou puits d'observation), suivi du numéro séquentiel du forage (ex. : 01).

Après observation et échantillonnage des sols, les forages ont été laissés sur place car ils ne présentaient aucun indice organoleptique de contamination.

4.3.1 Échantillonnage des sols

Les échantillons de sols ont été recueillis en continu à l'aide de cuillère fendue d'une longueur de 610 mm et de diamètre interne de 51 mm. Les sols ont été prélevés manuellement à partir de la cuillère fendue ouverte, à tous les 0,61 m d'intervalle ou pour chaque stratigraphie rencontrée. Les sols ont été examinés, tout indice organoleptique a été relevé. Les intervalles de profondeur de prélèvement des échantillons, la quantité de récupération mesurée et une description physique ont été notés et sont détaillés dans les rapports de forage présentés à l'annexe D.

Des gants en nitrile à usage unique ont été utilisés pour le prélèvement des échantillons. Des échantillons ponctuels ont été prélevés pour l'analyse des composés volatils. Les sols prélevés ont été placés directement dans des contenants hermétiques en verre de 125 ml recouverts d'une feuille d'aluminium sous le bouchon et dans deux fioles de méthanol dédiées de 40 ml chacune, à l'aide d'une seringue coupée à usage unique. L'ensemble des contenants et seringues coupées ont été fournis par le laboratoire analytique sélectionné.

Sur l'ensemble des forages réalisés, 22 échantillons de sols ont été prélevés, incluant les duplicatas.

4.3.2 Dépistage des vapeurs organiques

Un dépistage des vapeurs organiques a été effectué pour chaque échantillon à l'aide d'un moniteur de gaz ionique Tiger LT (PID). L'instrument est calibré par le fabricant à une fréquence de trois (3) fois par an et le niveau de 0 ppm est ajusté avant chaque utilisation avec de l'air ambiant.

Les concentrations de vapeurs organiques ont été mesurées en insérant la sonde du détecteur sous le couvercle du pot de 125 ml pendant une période d'environ 15 secondes. Les concentrations mesurées sont compilées dans les rapports de forage présentés à l'annexe D.

Il est à noter qu'il n'y a pas de valeurs réglementaires concernant les concentrations de vapeurs organiques. Toutefois, elles sont utilisées comme outil de dépistage pour identifier si des sols peuvent être affectés par la présence de produits pétroliers et/ou de composés organiques volatils. En d'autres termes, les concentrations de vapeurs organiques sont utilisées pour fournir une indication qualitative associée à la présence de composés organiques volatils. De plus, ces concentrations ne correspondent pas forcément aux résultats analytiques obtenus pour les sols.

4.3.3 Décontamination des équipements

Lorsque des équipements non dédiés ont été utilisés, les outils d'échantillonnage, tels que les cuillères fendues, ont été nettoyés selon les méthodes préconisées par le MELCCFP, entre chaque mesure ou prélèvement afin d'éviter une contamination croisée.

4.3.4 Transport et conservation des échantillons

À la suite de leur prélèvement, les échantillons ont été maintenus au frais dans des glacières contenant des blocs réfrigérants et/ou au congélateur avant d'être soumis au laboratoire pour analyses chimiques. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire Bureau Veritas (BV) de Québec, QC.

4.4 Localisation des sondages

L'emplacement des forages a été déterminée préalablement aux travaux, en tenant compte de la localisation des risques environnementaux potentiels et des conduites souterraines.

La localisation des forages est présentée à la carte 1 de l'annexe B.

4.5 Caractérisation de l'eau souterraine

4.5.1 Installation de puits d'observation

Les forages F23-1 et F23-2 ont été convertis en puits d'observation de l'eau souterraine (PO23-1 et PO23-2) afin de permettre l'observation visuelle de l'eau souterraine, de déterminer la profondeur de la nappe phréatique et de procéder à son échantillonnage.

Les puits d'observation ont été implantés de manière que la crépine soit au niveau des sols saturés en eau.

Les puits installés sont constitués d'une crépine de polychlorure de vinyle (PVC) de 50 mm de diamètre surmontée d'un tubage en CPV de 20 cm. Du sable filtrant (silice de grade 2) a été mis en place entre le tubage et les parois des forages jusqu'à une hauteur de 0,30 m au-dessus du niveau de la crépine pour les puits. Les puits ont ensuite été scellés avec un bouchon de bentonite hydratée de 0,30 m de longueur, suivi de sable de silice jusqu'à la surface. Les puits d'observation ont été équipés d'un protecteur hors-sol en aluminium.

Le détail des puits installés est présenté dans les rapports de forage à l'annexe D.

4.5.2 Échantillonnage de l'eau souterraine

L'échantillonnage des puits d'observation a été effectué le 28 juillet 2023. L'échantillonnage a été réalisé selon la méthode à faible débit, en utilisant des tubulures en polyéthylène dédiées. Aucune phase flottante n'a été observée lors du développement et de l'échantillonnage.

Un relevé piézométrique a été effectué à l'aide d'une sonde électrique à interface Héron dans les puits installés. La profondeur de l'eau souterraine a été mesurée à partir du tuyau en PVC dans chaque puits.

L'échantillonnage des puits a été effectué au moyen d'une pompe péristaltique portable Geopump de Geotech, dont le débit de pompage a été fixé entre 0,10 L/min et 0,20 L/min. La température, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, la conductivité spécifique et l'oxygène dissous ont été mesurés de façon continue au moyen d'une sonde multi-paramètres YSI Professional Plus introduite dans une cellule d'écoulement continu. L'échantillonnage a été réalisé suivant la stabilisation des conditions physico-chimiques.

Les échantillons d'eau ont été placés dans des contenants de verre ou de plastique fournis par le laboratoire analytique, en fonction des paramètres à analyser. Tous les contenants ont été clairement identifiés et conservés au frais jusqu'à leur acheminement au laboratoire Bureau Veritas de Québec.

Les eaux de purge ont été laissées sur place.

4.6 Programme analytique

4.6.1 Échantillons de sols

La sélection des échantillons de sols et des paramètres chimiques à analyser a été effectuée en tenant compte des indices de contamination rencontrés, de la stratigraphie des secteurs, de la nature et du comportement des contaminants suspectés et des évidences de contamination observées lors de l'échantillonnage.

Parmi l'ensemble des échantillons de sols prélevés, trois (3) échantillons, incluant un (1) duplicata, ont été sélectionnés et soumis pour analyse.

Les échantillons de sols prélevés ont été analysés pour certains ou tous les paramètres suivants :

- HP C_{10}-C_{50} ;
- COV;
- HAP;
- 14 métaux (argent (Ag), arsenic (As), baryum (Ba), cadmium (Cd), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), étain (Sn), manganèse (Mn), molybdène (Mo), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se) et zinc (Zn));

4.6.2 Échantillons d'eau souterraine

Trois (3) échantillons d'eau souterraine, incluant un (1) duplicata, ont été sélectionnés et soumis pour analyse.

Les échantillons d'eau souterraine prélevés ont été analysés pour les paramètres suivants :

- HP C_{10}-C_{50};
- COV;
- HAP.

4.7 Programme d'assurance et de contrôle de la qualité (AQ/CQ)

Des procédures standards d'assurance de la qualité (AQ) et de contrôle de la qualité (CQ), telles que décrites dans les publications du MELCCFP, ont été appliquées lors des travaux de terrain. Le programme AQ/CQ consiste à analyser des échantillons en duplicata pour vérifier les résultats analytiques et des méthodes d'échantillonnage, afin de répondre conformément aux pratiques décrites dans le Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales du MELCCFP.

Afin d'assurer un contrôle sur la qualité des méthodes d'échantillonnage, la précision analytique du laboratoire, l'homogénéité des échantillons et la reproductibilité des résultats, des échantillons duplicatas ont été prélevés pendant les travaux de terrain. Au total, deux (2) échantillons duplicatas, correspondant à environ 50 % des échantillons de sols (un duplicata de sol) et 50 % des échantillons d'eau souterraine (un duplicata d'eau souterraine), sélectionnés ont été analysés.

Le laboratoire Bureau Veritas de Québec applique également un programme de contrôle de la qualité permettant de valider la précision de leurs équipements et méthodes d'analyses. Ce programme inclut l'analyse d'échantillons duplicatas et de blancs de laboratoire.

Les résultats du programme AQ/CQ de terrain sont présentés dans les tableaux B et D (annexe E) et ceux du laboratoire sont présentés dans les certificats d'analyses chimiques insérés à l'annexe F.

5. Critères d'évaluation

5.1 Critères d'évaluation de la qualité des sols

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur les échantillons de sols ont été comparés aux critères génériques de qualité d'usage proposés dans le Guide d'intervention du MELCCFP. Pour chacun des paramètres analytiques visés dans les échantillons de sols, la grille d'évaluation du Guide d'intervention comporte une série de trois (3) critères seuils se résumant ainsi :

- **Critère A** : teneurs de fond naturelles pour les paramètres inorganiques et limite de quantification de la méthode analytique pour les paramètres organiques. La limite de quantification est définie comme la concentration minimale qui peut être quantifiée à l'aide d'une méthode d'analyse avec une fiabilité définie;
- **Critère B** : (valeurs limites réglementaires de l'annexe I du RPRT) : limite maximale acceptable pour des terrains résidentiels, du premier mètre sous les aires de jeu des parcs municipaux et des terrains où se déroulent certains usages institutionnels sensibles, tels que les établissements d'enseignement primaire ou secondaire, les centres de formation professionnelle (si la clientèle complète ou partielle est la même que celle d'une école secondaire), les centres de la petite enfance (CPE), les garderies, les centres hospitaliers, les centres d'hébergement et de soin de longue durée (CHSLD), les centres de réadaptation, les centres de protection de l'enfance ou de la jeunesse et les établissements de détention;
- **Critère C** : (valeurs limites réglementaires de l'annexe II du RPRT) : limite maximale acceptable pour des terrains industriels, commerciaux, institutionnels (sauf ceux supportant ou destinés à supporter des usages sensibles), récréatifs (pistes cyclables et parcs municipaux, sauf le premier mètre des aires de jeu), de même que pour les terrains formant ou destinés à former l'assiette d'une chaussée ou d'un trottoir en bordure de celle-ci.

En fonction de l'usage commercial du site à l'étude, les résultats des analyses chimiques effectuées sur les échantillons de sols ont été comparés à la limite maximale acceptable pour ce type d'usage, soit le critère C du Guide d'intervention du MELCCFP.

En plus des critères du Guide d'intervention, les résultats analytiques ont été comparés aux valeurs limites de l'annexe I du RESC et communément appelés « critère D ». Ces valeurs limites fixent le seuil au-delà duquel les sols contaminés ne peuvent être enfouis, sauf exception, à moins d'avoir été préalablement traités.

Selon les cartes géologiques disponibles, le substrat rocheux appartient à la province géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les concentrations mesurées en métaux dans les échantillons de sols ont alors été comparées aux teneurs de fond (critère A du Guide d'intervention du MELCCFP) de la province géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent, tel que préconisé dans le Guide d'intervention du MELCCFP.

Rappelons cependant l'objectif du mandat qui consistait à confirmer ou infirmer si les activités industrielles pratiquées sur le terrain voisin pouvaient ou avaient pu impacter la propriété étudiée. L'ensemble des critères a donc été considéré pour l'émission des conclusions et recommandations.

5.2 Critères d'évaluation de la qualité de l'eau souterraine

Le MELCCFP recommande que l'évaluation de la qualité des eaux souterraines soit réalisée en considérant les récepteurs potentiels du secteur à l'étude; dans certains cas, les réseaux d'égouts, les puits d'approvisionnement en eau, les cours d'eau, etc.

Tel que mentionné dans l'ÉES Phase I de SNC-Lavalin (2023), ce secteur de la ville de Sorel-Tracy est desservi par un réseau d'aqueduc et d'égouts. Le milieu récepteur de l'eau souterraine pour le site à l'étude est donc considéré correspondre au réseau hydrique local. Ainsi, les résultats ont été comparés au critère RES du Guide d'intervention du MELCCFP.

Selon le Système d'information hydrogéologique (SIH) du MELCCFP, aucun puits d'approvisionnement en eau n'est présent sur le site. Par ailleurs, un puits serait présent dans un rayon de 250 m du site à l'étude, sur le terrain voisin au nord-est du poste. Toutefois, ce puits n'est pas considéré comme un récepteur potentiel puisqu'il est situé en amont hydraulique par rapport au sens présumé d'écoulement de l'eau du site à l'étude, qui serait vers l'ouest en direction du fleuve Saint-Laurent.

De plus, la prise d'eau potable de la ville de Sorel-Tracy est située dans la rivière Richelieu. La prise d'eau potable de la Ville n'est ainsi pas interprétée comme un récepteur potentiel de l'eau souterraine. Les résultats ne seront donc pas comparés aux critères d'eau de consommation du Guide d'intervention du MELCCFP.

Plusieurs cours d'eau sont présents dans un rayon d'un (1) kilomètre du site dont le fleuve Saint-Laurent qui est adjacent à l'ouest du site. Le sens d'écoulement des eaux souterraines profondes dans le secteur du site à l'étude est présumé être dans cette direction puisque les eaux souterraines tendent à rejoindre le fleuve. Dans ce contexte, le fleuve est considéré comme un récepteur potentiel de l'eau souterraine du site et les résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau souterraine ont, par conséquent, été comparés au critère RES du MELCCFP.

Considérant l'ensemble de ces renseignements, les résultats des échantillons d'eau souterraine prélevés dans les puits d'observation ont été comparés au critère RES du Guide d'intervention du MELCCFP.

5.2.1 Application des seuils d'alerte

Le récepteur potentiel considéré pour le site est le fleuve Saint-Laurent adjacent au site. De plus, la zone entourant le site étant alimentée par l'eau de l'aqueduc municipal, aucun usage de l'eau souterraine comme eau potable n'a été considéré.

Le tableau suivant présente les seuils d'alerte associés à l'usage de l'eau souterraine du site.

Utilisation de l'eau souterraine	Dépassement du seuil d'alerte		Récepteur potentiel
	Concentration excède 50 % du critère applicable	Concentration excède 70 % du critère applicable	
Eau souterraine utilisée comme source d'eau potable	Suivi	-	Non
Eau souterraine utilisée comme eau pour le bétail	Suivi	-	Non
Eau souterraine utilisée pour les cultures	Suivi	-	Non
Présence d'un plan d'eau en aval du site	Suivi	-	Oui

Utilisation de l'eau souterraine	Dépassement du seuil d'alerte		Récepteur potentiel
	Concentration excède 50 % du critère applicable	Concentration excède 70 % du critère applicable	
Présence d'un réseau d'égouts à proximité du site	-	Suivi	Non

Le seuil d'alerte applicable est de 50 %, basé sur la présence d'un plan d'eau en aval du site soit le fleuve Saint-Laurent qui est adjacent à l'ouest du site.

6. Résultats des travaux de caractérisation

6.1 Stratigraphie locale

Les descriptions stratigraphiques détaillées sont présentées dans les rapports de forage à l'annexe D. Voici un résumé des différentes couches stratigraphiques observées à l'endroit des forages réalisés sur le site.

6.1.1 Terre végétale

Une couche de terre végétale a été rencontrée en surface dans le forage F23-2.

6.1.2 Remblai

Dans le forage F23-1, une couche de matériaux de remblai composé soit de sable moyen et gravier, de sable fin, traces de silt et gravier ou de sable moyen, brun-gris a été rencontrée à partir de la surface sur une épaisseur de 5,49 m.

6.1.3 Sols naturels

Les sols naturels du site sont composés majoritairement de sable fin traces de silt. Des horizons de silt, un peu d'argile et de sable ont été observés dans le forage F23-2 à une profondeur de 2,13 m.

6.1.4 Eau souterraine

Dépendant des secteurs sur le site, les sols sont saturés en eau à partir d'une profondeur de 1,41 m. Soulignons que le niveau de l'eau souterraine peut varier de façon significative selon les saisons, l'importance des précipitations et les modifications du milieu physique telles que la topographie, l'implantation de tranchées drainantes, la présence de canalisations souterraines, de fossés, etc.

6.2 Indices de contamination

Aucun indice organoleptique de contamination ni de matière résiduelle n'a été observé dans les sols lors de la réalisation des forages.

Une lecture des composés organiques volatils à l'aide d'un photo-ionisateur électronique a été réalisée dans les échantillons prélevés. Les mesures varient généralement entre 0,1 et 0,9 ppm et sont détaillées dans les rapports de forage. Aucune de ces valeurs n'a été jugée significative.

Dans l'eau souterraine des puits d'observation PO23-1 et PO23-2, aucune phase libre d'hydrocarbure ni indice organoleptique de contamination (odeur, irisation) n'ont été décelés au moyen de la sonde interface dans le puits ni dans l'eau de purge recueillie. L'eau était légèrement turbide et inodore au moment de l'échantillonnage.

6.3 Résultats analytiques

6.3.1 Résultats des sols

Au total, trois (3) échantillons de sols, incluant un (1) duplicata, ont été analysés au laboratoire Bureau Veritas. Les résultats analytiques sont présentés au tableau A de l'annexe E ainsi que sur la carte 1 (annexe B) à l'aide d'un code de couleurs représentant le niveau de contamination selon les critères d'usage. Les certificats d'analyses du laboratoire sont présentés à l'annexe F.

Voici un résumé des résultats d'analyses obtenus :

- Aucun résultat obtenu au cours de cette étude, tous paramètres confondus, n'excède le critère C correspondant à la limite maximale acceptable applicable à l'usage de ce site.
- **COV** : L'échantillon F23-1-CF6 a présenté une concentration en styrène dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention du MELCCFP. Tous les autres échantillons de sols ont montré des concentrations inférieures au critère A du Guide d'intervention du MELCCFP.
- **HP C_{10}-C_{50}** : Tous les échantillons de sols ont montré des concentrations inférieures au critère A du Guide d'intervention du MELCCFP.
- **HAP** : Tous les échantillons de sols ont montré des concentrations inférieures au critère A du Guide d'intervention du MELCCFP.
- **Métaux** : Tous les échantillons de sols ont montré des concentrations inférieures au critère A du Guide d'intervention du MELCCFP.

Ainsi, aucune contamination des sols associée au risque environnemental soulevé dans l'ÉES Phase I n'a été identifiée.

6.3.2 Résultats de l'eau souterraine

Au total, trois (3) échantillons d'eau souterraine, incluant un (1) duplicata, ont été analysés au laboratoire Bureau Veritas. Les résultats analytiques sont présentés au tableau C de l'annexe E ainsi que sur la carte 2 (annexe B) à l'aide d'un code de couleurs représentant le niveau de contamination selon les critères applicables. Les certificats d'analyses du laboratoire sont présentés à l'annexe F.

Les résultats d'analyses chimiques des échantillons d'eau souterraine prélevés ont indiqué des concentrations pour tous les paramètres analysés inférieures au critère RES du Guide d'intervention du MELCCFP ainsi qu'aux seuils d'alerte applicables.

Ainsi, aucune contamination de l'eau souterraine associée au risque environnemental soulevé dans l'ÉES Phase I n'a été identifiée.

6.3.3 Résultats du programme de contrôle de la qualité

Les résultats analytiques des duplicatas et de leurs échantillons-mères sont présentés au tableau 2 pour les sols et au tableau 4 pour les eaux souterraines (annexe E). Les certificats d'analyses sont présentés à l'annexe F. Les résultats des contrôles de laboratoire (blanc, duplicata, pourcentage de récupération des échantillons fortifiés, matériaux de référence, etc.) sont également présentés dans les certificats d'analyses.

Les écarts relatifs, exprimés en pourcentage, entre les résultats de l'échantillon d'origine (X_1) et ceux de son duplicata (X_2) sont utilisés dans l'évaluation du programme de contrôle de qualité.

L'écart relatif (ÉR) est défini selon l'équation suivante :

$$\%\, ER = \frac{|X_1 - X_2|}{X_{moyen}} \times 100$$

Les écarts relatifs ont été calculés lorsque les concentrations mesurées étaient de cinq fois supérieures à la limite de détection rapportée (LDR) par le laboratoire. Si les résultats analytiques des échantillons d'origine et de leurs duplicatas étaient inférieurs à cinq fois la LDR, l'ÉR n'était pas calculé et les résultats étaient considérés conformes. Selon le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ) du MELCCFP, les valeurs d'ÉR supérieures à 30 % ne sont pas considérées comme reflétant une variabilité acceptable.

Étant donné que la majorité des paramètres analysés présentaient des concentrations inférieures aux LDR, les écarts relatifs ont été calculés pour les métaux : les écarts relatifs notés entre les échantillons d'origine et leurs duplicatas, que ce soit pour les sols ou l'eau souterraine, sont nuls ou inférieurs à 30 %. Ces écarts relatifs ne font donc pas en sorte d'invalider les résultats obtenus ou les méthodes de prélèvement ou d'analyses.

6.3.4 Programme de contrôle et d'assurance de la qualité des analyses en laboratoire

Dans le cadre de leur programme AQ/CQ, Bureau Veritas a réalisé ses propres contrôles internes (tels des blancs fortifiés, blancs de méthode, duplicata, etc.) sur les échantillons analysés. Les résultats d'AQ/CQ sont présentés dans les certificats analytiques inclus à l'annexe E.

Selon les certificats analytiques, les résultats du programme d'assurance qualité appliqué par le laboratoire ont satisfait les critères d'acceptabilité pour toutes les analyses et témoignent de l'intégrité et de la précision des équipements utilisés pour effectuer les analyses.

7. Conclusions et recommandations

7.1 Conclusions

La compagnie QSL prévoit construire un nouveau terminal portuaire à Sorel-Tracy (QC) sur une propriété localisée au 12125, route Marie-Victorin, constituée du lot 4 784 170 du cadastre du Québec, en bordure est du fleuve Saint-Laurent. En raison du milieu naturel dans lequel il s'inscrit, ce projet requiert une autorisation ministérielle auprès du MELCCFP en vertu de l'article 22 de la LQE.

La présente étude consistait à effectuer une CES Phase II, dans le cadre d'une étude d'impact sur l'environnement provinciale et d'une évaluation environnementale fédérale nécessaires à la réalisation du projet de construction et d'exploitation d'un nouveau terminal portuaire et à la suite des recommandations de l'ÉES Phase I.

L'objectif de cette étude était donc de vérifier la qualité des sols et de l'eau souterraine du site à l'étude, selon la nature des enjeux environnementaux identifiés lors de l'ÉES Phase I de SNC-Lavalin inc. (2023).

Les travaux de caractérisation des sols réalisés par CIMA+ ont consisté en la réalisation de deux (2) forages convertis en puits d'observation répartis sur le long de la limite de propriété nord-est du site. Trois (3) échantillons de sols incluant un (1) duplicata provenant de deux forages ont été sélectionnés en vue d'analyses chimiques pour l'un ou plusieurs de ces paramètres : HP C_{10}-C_{50}, COV, HAP et métaux. L'ensemble des résultats étaient inférieurs aux critères A ou B du Guide d'intervention du MELCCFP et respectaient donc le critère applicable soit le critère C du Guide d'intervention du MELCCFP. Aucune contamination des sols associée aux activités industrielles du terrain voisin n'a ainsi été identifiée.

En ce qui concerne l'eau souterraine, le relevé piézométrique des puits réalisé le 28 juillet 2023 montre que le sommet de la nappe se situait entre 1,41 et 4,45 m sous la surface du sol. L'écoulement de l'eau souterraine du site à l'étude se fait en direction ouest. Aucune phase libre d'hydrocarbures ou film huileux, ni aucun indice organoleptique n'ont été détectés dans le puits ni dans l'eau de purge. Trois (3) échantillons d'eau souterraine et un (1) duplicata ont été prélevés dans les deux puits et analysés pour les paramètres suivants : HP C_{10}-C_{50}, COV et HAP. Les résultats d'analyses chimiques des échantillons d'eau souterraine prélevés, ainsi que du duplicata, ont indiqué des concentrations inférieures au critère RES du Guide d'intervention du MELCCFP ainsi qu'aux seuils d'alerte applicables pour tous les paramètres analysés.

7.2 Recommandations

Tel que mentionné à la section 7.1, tous les échantillons de sols ont présenté des concentrations pour les paramètres analysés inférieures au critère A du Guide d'intervention, excepté pour l'échantillon de sol F23-1-CF6 qui a montré une concentration en styrène (COV) dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention du MELCCFP.

Sur la base des résultats analytiques obtenus, la caractérisation a permis de confirmer que le risque environnemental soulevé lors de l'ÉES Phase I ne semble pas avoir occasionné de contamination des sols ou de l'eau souterraine du site à l'étude. Ainsi, aucune étude complémentaire n'est recommandée en lien avec le mandat octroyé.

8. Références

Info-Sols, 2023. *Carte interactive Info-Sols. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation*. En ligne : http://www.info-sols.ca/carte.php.

MELCCFP, 2003. *Guide de caractérisation des terrains*. Direction des politiques du secteur industriel, Service des lieux contaminés du ministère de l'Environnement. Les Publications du Québec, 2003. 113 p.

MELCCFP, 2008. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale, Cahier 1 - Généralité*, 58 p.

MELCCFP, 2010. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale, Cahier 5 - Échantillonnage des sols*, 66 p.

MELCCFP, 2012. *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale, Cahier 3 - Échantillonnage des eaux souterraines*, 61 p.

MELCCFP, 2016. *Addenda - Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales Cahier 5 – Échantillonnage des sols Mise à jour de la section 5.3.3 Échantillon pour l'analyse des composés organiques volatils*

MELCCFP, 2021. *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*, 210 p.

SNC-Lavalin, 2023. *Évaluation environnementale de site Phase I – Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy au 12125, route Marie-Victorin, Sorel-Tracy, Québec*.

A

Annexe A
Limitations de l'étude

PRÉCISIONS AU SUJET DES SERVICES RENDUS
CARACTÉRISATION ENVIRONNEMENTALE PHASE II

Le présent rapport a été préparé à la demande et pour l'usage exclusif de QSL International Ltée dans le contexte déterminé par les termes spécifiques du mandat accordé à CIMA+ par QSL International Ltée et selon l'entente intervenue entre les parties. CIMA+ n'assume aucune responsabilité découlant de l'utilisation éventuelle de ce rapport par un tiers. Aucune copie entière ou partielle de ce rapport ne peut être réalisée sans le consentement explicite de QSL International Ltée.

L'évaluation environnementale Phase II ne prétend pas couvrir de façon exhaustive l'ensemble des enjeux environnementaux possibles du site à l'étude, ni de ponctuels sites de contamination. Parmi les sites ponctuels de contamination probable des sols qui sont généralement écartés des enjeux environnementaux identifiés figurent, entre autres, les sols à proximité de matériaux bitumineux, de bois traité ou de structures d'acier galvanisé.

Les résultats analytiques obtenus au cours de la caractérisation environnementale Phase II sont jugés représentatifs de la qualité environnementale des sols et/ou de l'eau souterraine prélevés aux endroits ayant fait l'objet d'une investigation, et ce, pour les paramètres sélectionnés en lien avec les activités antérieures ou actuelles connues s'étant déroulées sur le terrain à l'étude ou sur les terrains adjacents, et ce, tel que défini au mandat et selon l'entente entre CIMA+ et QSL International Ltée. Ces résultats ne constituent pas une indication quant à une contamination liée à d'autres sources ni une garantie pour les endroits n'ayant pas fait l'objet de travaux de caractérisation. Toute extrapolation à partir des résultats obtenus, notamment en ce qui concerne la géométrie et les volumes de sols et/ou d'eaux souterraines affectés, est formulée sur une base interprétative et doit être considérée avec précaution.

Des renseignements et des résultats remis par le client ou provenant de tiers ont pu être utilisés, au meilleur de notre connaissance, aux fins de la caractérisation environnementale du site. Ces informations ont été considérées valables, mais n'ont pas fait l'objet de vérification spécifique par CIMA+. CIMA+ se dégage de toute responsabilité qui serait liée à des informations du client ou d'un tiers qui s'avéreraient fausses ou incomplètes.

Les constats présentés dans ce rapport sont strictement basés sur les informations consultées, sur les observations effectuées par CIMA+ et sur les résultats obtenus au cours de l'étude, en tenant compte d'autres limitations indiquées à l'intérieur de ce rapport.

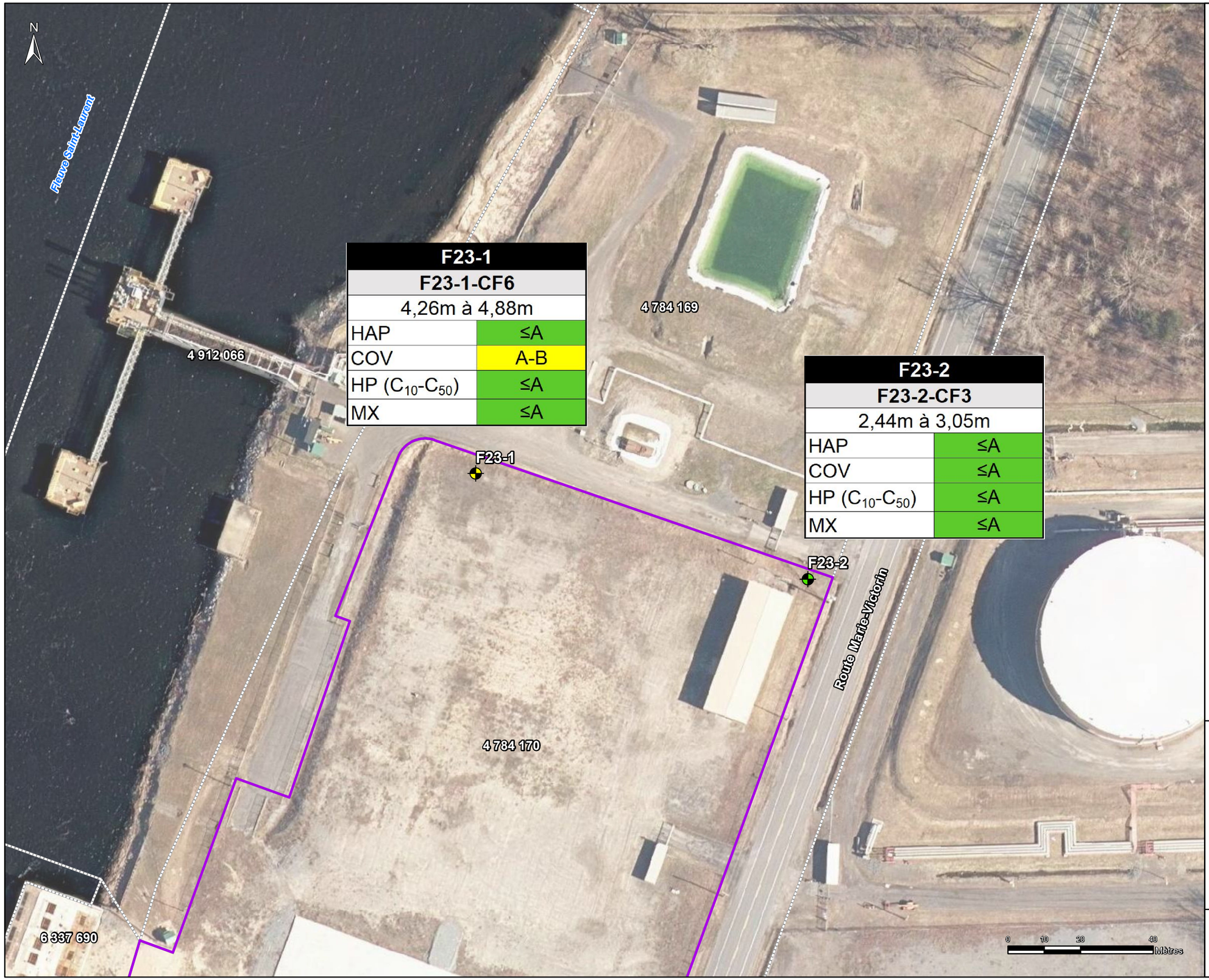
Les conclusions et recommandations fondées sur les constats de cette étude représentent notre opinion professionnelle, au meilleur de notre connaissance au moment de la préparation de ce rapport.

En aucun temps, CIMA+ ne pourra être tenue responsable de dommage résultant de l'absence d'une information pertinente à l'appréciation environnementale du site à l'étude ou en raison de l'inexactitude d'une telle information. Ainsi, le contenu du rapport ne doit, en aucun temps, être considéré comme un jugement définitif, complet ou final de la contamination ou de tout autre aspect environnemental rattaché au terrain à l'étude.

Toute opinion concernant l'application ou la conformité aux lois et règlements apparaissant dans ce rapport est exprimée sous toute réserve et ne doit, en aucun temps, être considérée comme un avis juridique ou se substituer à un tel avis.

B

Annexe B
Cartes



F23-1	
F23-1-CF6	
4,26m à 4,88m	
HAP	≤A
COV	A-B
HP (C_{10}-C_{50})	≤A
MX	≤A

F23-2	
F23-2-CF3	
2,44m à 3,05m	
HAP	≤A
COV	≤A
HP (C_{10}-C_{50})	≤A
MX	≤A

Légende

- Site à l'étude
- Limite de lot
- Forage

Nom du forage	
Nom de l'échantillon	
Profondeur (m)	
Paramètre	Résultat

Plages de contamination des sols selon les critères génériques du Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés du MELCCFP (2021)

≤ A	A - B	B - C	> C	> RESC

Abréviation :
HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
COV : Composés organiques volatils
HP (C_{10}-C_{50}) : Hydrocarbures pétroliers C_{10}-C_{50}
MX : Métaux

Note : Cette carte fait partie intégrante du rapport et devra être consultée conjointement avec ce dernier.



QSL

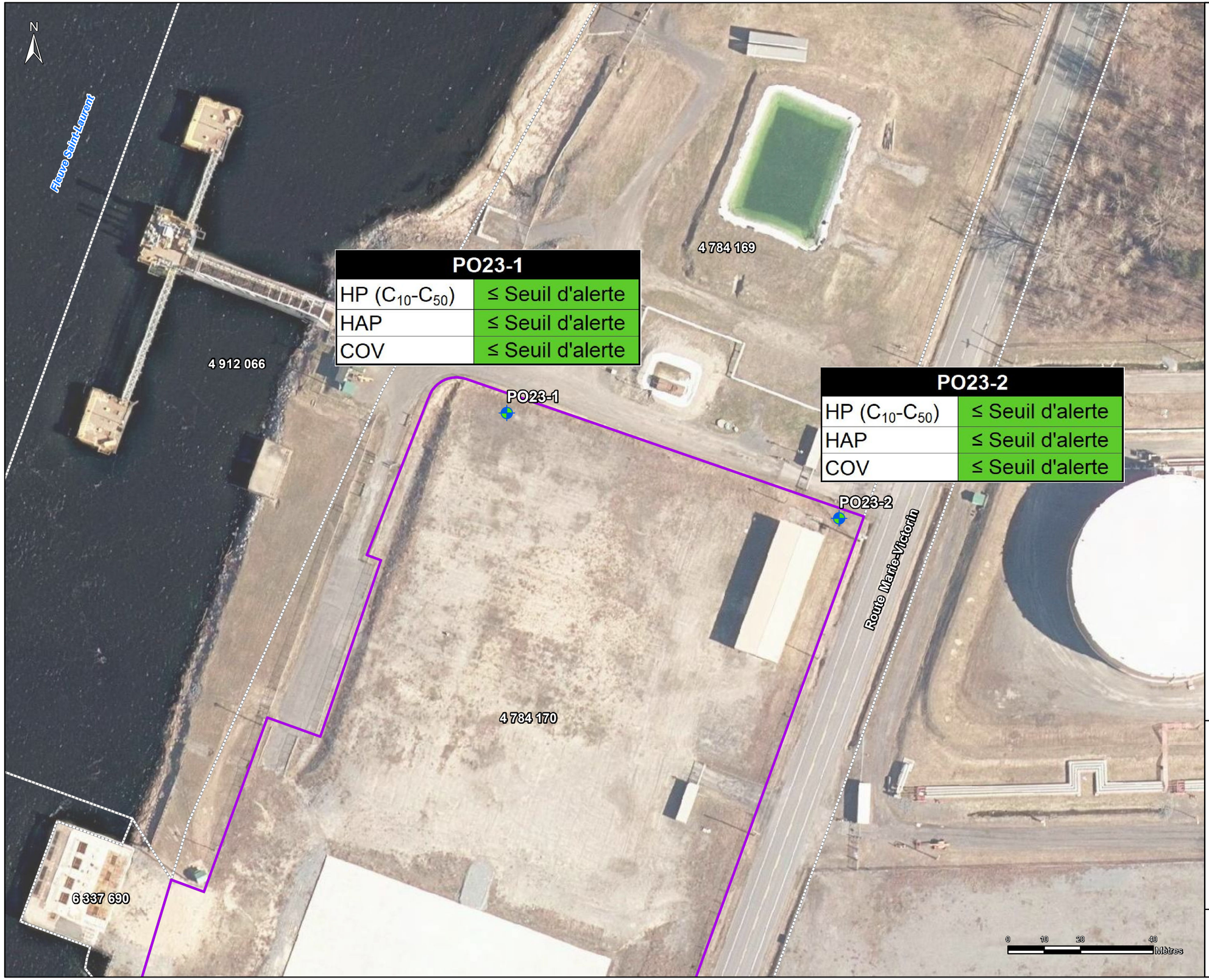
ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE SITE PHASE II: PROPRIÉTÉ SITUÉE AU 12125, ROUTE MARIE-VICTORIN, SOREL-TRACY QUÉBEC

Carte 1 : Localisation des sondages et résultats analytiques - sols

Q213012B
août 2023

Échelle: 1:1,000
Rotation : 0 degré
Projection: NAD 1983 MTM zone 8
Fichier: Q213012B_sondages_2023.mxd
Source: CIMA+, Imagerie du gouvernement du Québec, 2020, cadastre du Québec, MRNF, 2023.
Préparé par : Carolina Lopera
Vérifié par : Juan Sebastian Sanchez

CIMA+



PO23-1	
HP (C_{10}-C_{50})	≤ Seuil d'alerte
HAP	≤ Seuil d'alerte
COV	≤ Seuil d'alerte

PO23-2	
HP (C_{10}-C_{50})	≤ Seuil d'alerte
HAP	≤ Seuil d'alerte
COV	≤ Seuil d'alerte

Légende

- Site à l'étude
- Limite de lot
- Puits

Nom de l'échantillon	
Paramètre	Résultats

Plages de contamination de l'eau souterraine selon les critères du Guide d'intervention - protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du MELCCFP (2021)

RES : Résurgence dans les eaux de surface

≤ Seuil d'alerte > Seuil d'alerte et < RES >RES

Abréviation :
HP (C_{10}-C_{50}) : Hydrocarbures pétroliers C_{10}-C_{50}
HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
COV : Composés organiques volatils

Note : Cette carte fait partie intégrante du rapport et devra être consultée conjointement avec ce dernier.



QSL

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE SITE PHASE II:
PROPRIÉTÉ SITUÉE AU 12125, ROUTE
MARIE-VICTORIN, SOREL-TRACY QUÉBEC

Carte 2 : Localisation des puits d'observation et résultats analytiques - eau souterraine

Q213012B

août 2023

Échelle: 1:1,000
Rotation : 0 degré
Projection: NAD 1983 MTM zone 8
Fichier: Q213012B_puits_2023.mxd
Source: CIMA+, Imagerie du gouvernement du Québec, 2020, cadastre du Québec, MRNF, 2023.
Préparé par : Carolina Lopera
Vérifié par : Juan Sebastian Sanchez

CIMA+

C

Annexe C
Document photographique



MONTAGE PHOTOGRAPHIQUE

Projet n^{0} : Q213012B
Caractérisation environnementale de site Phase II
1301, boulevard de Portland, Sherbrooke (Québec)

Photographies prises par : Juan Sebastian Sanchez / Robert Pelletier

Date(s) de prise : 19 et 28 juillet 2023

Photo 1

Identification

Emplacement du forage F23-1



Commentaires

Détection des infrastructures souterraines

Photo 2

Identification

Caractérisation des sols F23-1-CF1



Commentaires

Projet n^0 : Q213012B
Caractérisation environnementale de site Phase II
1301, boulevard de Portland, Sherbrooke (Québec)

Photographies prises par : Juan Sebastian Sanchez / Robert Pelletier

Date(s) de prise : 19 et 28 juillet 2023

Photo 3

Identification

Remblai de sable moyen, beige, saturé.



Commentaires

F23-1-CF-7B

Photo 4

Identification

Emplacement du forage F23-2



Commentaires

Photo 5

Identification

Caractérisation des sols F23-2-CF1

Commentaires



Photo 6

Identification

Sol naturel de silt, un peu d'argile et sable, gris.

Commentaires

F23-2-CF-3 et DUP-230719-RP2



Projet n^{0} : Q213012B
Caractérisation environnementale de site Phase II
1301, boulevard de Portland, Sherbrooke (Québec)

Photographies prises par : Juan Sebastian Sanchez / Robert Pelletier

Date(s) de prise : 19 et 28 juillet 2023

Photo 7

Identification

PO23-1

Commentaires



Photo 8

Identification

Caractérisation de l'eau souterraine

Commentaires

PO23-1



Projet n^{0} : Q213012B
Caractérisation environnementale de site Phase II
1301, boulevard de Portland, Sherbrooke (Québec)

Photographies prises par : Juan Sebastian Sanchez / Robert Pelletier

Date(s) de prise : 19 et 28 juillet 2023

Photo 9

Identification

PO23-2

Commentaires



Photo 10

Identification

Caractérisation de l'eau souterraine

Commentaires

PO23-2



D

Annexe D
Rapports de forage



Nom du consultant: CIMA+

Nom du client : **QSL**

RAPPORT DE FORAGE

Sondage N° F23-01

Nom du projet: **CES Phase II - Propriété correspondant au lot 4 784 170 du cadastre du Québec à Sorel-Tracy (Québec)**

Nom du requérant : **QSL**

Localisation civile : **12125, route Marie-Victorin, Sorel-Tracy**

Entrepreneur en forage : **Forage Jean-Luc Lacourse**

Type de foreuse

Diamètre du forage : Inclinaison : Azimut :

Exécuté par : **R. Pelletier, Technicien** Diamètre du carottier:

Compilé par : **C. Lopera** Vérifié par : **J. S. Sanchez**

Coordonnées géodésiques (m) MTM zone 8/NAD83 X: **330 295.1** Y: **5 095 339.9** Z:

No. de projet : **Q213012B**

Plan de localisation No. :

Date du début du sondage : **2023-07-19**

Profondeur du sondage : **5.49 m**

TYPE D'ÉCHANTILLON

CF	Cuillère fendue
CR	Échantillon par forage au diamant
EM	Manuel
TA	Tarière
TE	Tube d'échantillonnage
TM	Tube à paroi mince

TERMINOLOGIE

"traces"	1-10%
"un peu"	10-20%
adjectif (...eux)	20-35%
"et"	35-50%

INDICE DE QUALITÉ DU ROC

% RQD	QUALIFICATIF
<25	Très mauvais
25-50	Mauvais
50-75	Moyen
75-90	Bon
90-100	Excellent

COMPACITÉ / INDICE "N"

Très lâche	0-4
Lâche	4-10
Compact	10-30
Dense	30-50
Très dense	>50

NIVEAU D'EAU

Date: 2023-07-28 Date:

Prof. (m): 4.45 Prof. (m):

ÉTAT DE L'ÉCHANTILLON

- Remanié
- Intact (tube à paroi mince)
- Perdu
- Forage au diamant

SYMBOLES

N: Indice de pénétration standard
R: Refus (N > 100)
PM: Poids du marteau / 61 cm
R.Q.D: Indice de qualité du roc
% R.Q.D = Σ Carottes > 4 po. (10 cm) / longueur forée

CLASSIFICATION DES SOLS

Argile	< 0,002 mm
Silt	0,002 à 0,080 mm
Sable	0,080 à 5 mm
Gravier	5 à 80 mm
Cailloux	80 à 300 mm
Blocs	> 300mm

CONSISTANCE / RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT (Cu)

Très molle	<12 kPa
Molle	12-25 kPa
Ferme	25-50 kPa
Raide	50-100 kPa
Très raide	100-200 kPa
Dure	>200 kPa

PROFONDEUR (m)	PROF - pi	STRATIGRAPHIE: NIVEAU (m)/ PROFONDEUR	STRATIGRAPHIE: DESCRIPTION DU SOL ET DU ROC	ÉCHANTILLONS: SYMBOLES	TYPE NO	SOUS - ÉCH.	ÉTAT	RÉCUPÉRATION	N, Nc ou RQD	COUPS/15cm
		0.00 Niveau								
		0.00	Destructif. Terre végétale en surface.							
1		-1.22								
	5	1.22	Remblai: Sable moyen, brun-gris.		CF-01			60	17	5-9-8-7
		-1.83								
2		1.93	Remblai: Sable, traces de silt et gravier, gris.		CF-02			80	14	8-7-7-7
					CF-03			75	8	3-4-4-4
3	10				CF-04			70	8	4-5-3-5
		-3.66								
		3.66	Remblai: Sable moyen, brun foncé.			A				
		-3.69				B				
		3.69	Remblai: Sable moyen, beige, saturé.		CF-05	C		80	8	3-5-3-5
4										
	15				CF-06			70	11	3-5-6-8
5						A				
		-5.27			CF-07			60	14	9-7-7-5
		5.27	Sol naturel: Sable, gris. Présence des racines.			B				
		-5.49								
		5.49	Fin du forage.							

GRAPHIQUE

▲ : N (pen. standard)
△ : Nc (pen. dynamique)
● : Cu (laboratoire)
▽ : Cur (laboratoire)
× : Cu (chantier)
+ : Cur (chantier)

W_p w W_l

20 40 60 80

NIVEAU D'EAU (m): 4.45

INSTALLATION

ESSAIS

AG	: Analyse granulométrique
SED	: Sédimentométrie
Att	: Limites d'Atterberg
Wn	: Teneur en eau
AC	: Analyse chimique
HAP	: Analyse HAP
C10	: Analyse C10-C50
MX	: Analyse 14 métaux
UCS	: Résistance en compression uniaxiale du roc
To	: Brésilien
DUP	: Éch. duplicata prélevé

COV: 0.0 ppm	CF-01
COV: 0.0 ppm	CF-02
COV: 0.0 ppm	CF-03
COV: 0.0 ppm	CF-04
COV: 0.4 ppm	Remblai: Sable moyen, brun foncé.
COV: 0.2 ppm	Remblai: Sable moyen, beige, saturé.
COV: 0.0 ppm	CF-05
AC et COV: 0.0 ppm	CF-06
COV: 0.0 ppm	CF-07
COV: 0.0 ppm	Sol naturel: Sable, gris. Présence des racines.

Remarque(s): Hauteur PVC hors sol : 0,875 m. Hauteur protecteur hors sol : 0,94 m. 1,83 à 1,93 m non échantillonné.

Date de production 2023-08-29

Cima_Log_Enviro+Geotech.sty

Nom du consultant: CIMA+

Nom du client : **QSL**

RAPPORT DE FORAGE

Sondage N° F23-02

Nom du projet: **CES Phase II - Propriété correspondant au lot 4 784 170 du cadastre du Québec à Sorel-Tracy (Québec)**

Nom du requérant : **QSL**

Localisation civile : **12125, route Marie-Victorin, Sorel-Tracy**

Entrepreneur en forage : **Forage Hugo Lacourse**

Type de foreuse

Diamètre du forage : Inclinaison : Azimut :

Exécuté par : **R. Pelletier, Technicien** Diamètre du carottier:

Compilé par : **C. Lopera** Vérifié par : **J. S. Sanchez**

Coordonnées géodésiques (m) MTM zone 8/NAD83 X: **330 191.0** Y: **5 095 376.1** Z:

No. de projet : **Q213012B**

Plan de localisation No. :

Date du début du sondage : **2023-07-19**

Profondeur du sondage : **4.27 m**

TYPE D'ÉCHANTILLON

CF	Cuillère fendue
CR	Échantillon par forage au diamant
EM	Manuel
TA	Tarière
TE	Tube d'échantillonnage
TM	Tube à paroi mince

TERMINOLOGIE

"traces"	1-10%
"un peu"	10-20%
adjectif (...eux)	20-35%
"et"	35-50%

INDICE DE QUALITÉ DU ROC

% RQD	QUALIFICATIF
<25	Très mauvais
25-50	Mauvais
50-75	Moyen
75-90	Bon
90-100	Excellent

COMPACITÉ / INDICE "N"

Très lâche	0-4
Lâche	4-10
Compact	10-30
Dense	30-50
Très dense	>50

NIVEAU D'EAU

Date: 2023-07-28 Date:

Prof. (m): 1.41 Prof. (m):

ÉTAT DE L'ÉCHANTILLON

Remanié

Intact (tube à paroi mince)

Perdu

Forage au diamant

SYMBOLES

N: Indice de pénétration standard
R: Refus (N > 100)
PM: Poids du marteau / 61 cm
R.Q.D: Indice de qualité du roc
% R.Q.D = Σ Carottes > 4 po. (10 cm) / longueur forée

CLASSIFICATION DES SOLS

Argile	< 0,002 mm
Silt	0,002 à 0,080 mm
Sable	0,080 à 5 mm
Gravier	5 à 80 mm
Cailloux	80 à 300 mm
Blocs	> 300mm

CONSISTANCE / RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT (Cu)

Très molle	<12 kPa
Molle	12-25 kPa
Ferme	25-50 kPa
Raide	50-100 kPa
Très raide	100-200 kPa
Dure	>200 kPa

PROFONDEUR (m)	PROF - pi	NIVEAU (m)/ PROFONDEUR	DESCRIPTION DU SOL ET DU ROC	SYMBOLES	TYPE NO	SOUS - ÉCH.	ÉTAT	RÉCUPÉRATION	N, Nc ou RQD	COUPS/15cm
		0.00 Niveau								
		0.00	Destructif. Terre végétale en surface, remblai : sable moyen, brun-gris.							
1		-1.22								
	5	1.22	Sol naturel: Sable fin, traces de silt, gris, devenant saturé.		CF-01			70	5	2-3-2-2
2		-2.13			CF-02	A		90	3	1-2-1-1
		2.13	Sol naturel: Silt, un peu d'argile et sable fin, gris, saturé.			B				
					CF-03			95	1	1-0-1-0
3	10				CF-04			95		1
4		-4.27			CF-05			95		1
		4.27	Fin du forage.							
	15									
5										

GRAPHIQUE

▲ : N (pen. standard)
△ : Nc (pen. dynamique)
● : Cu (laboratoire)
▽ : Cur (laboratoire)
× : Cu (chantier)
+ : Cur (chantier)

W_p w W_l

20 40 60 80

NIVEAU D'EAU (m): 1.41

INSTALLATION

ESSAIS

AG	: Analyse granulométrique
SED	: Sédimentométrie
Att	: Limites d'Atterberg
Wn	: Teneur en eau
AC	: Analyse chimique
HAP	: Analyse HAP
C10	: Analyse C10-C50
MX	: Analyse 14 métaux
UCS	: Résistance en compression uniaxiale du roc
To	: Brésilien
DUP	: Éch. duplicata prélevé

COV: 0.0 ppm

COV: 0.0 ppm

COV: 0.0 ppm

AC et COV: 0.0 ppm
DUP-230719-RP2

COV: 0.0 ppm

COV: 0.0 ppm

Remarque(s): Hauteur PVC hors sol : 0,84 m. Hauteur protecteur hors sol : 0,92 m.

Date de production 2023-08-29

Cima_Log_Enviro+Geotech.sty

E

Annexe E
Tableaux des analyses

Tableau A : Résultats analytiques pour les échantillons de sol

Paramètres	Unités	Guide d'intervention [1]			RESC [3]	LDR [4]	Résultats analytiques		
		A [2]	B	C	Annexe I				
Échantillon							**F23-2-CF3**	**DUP-230719-RP2**	**F23-1-CF6**
Date d'échantillonnage							2023-07-19	2023-07-19	2023-07-19
Profondeur (m)							2,44 - 3,05	2,44 - 3,05	4,26 - 4,88
Niveau de contamination interprété							≤A	≤A	**A-B**
HAP									
Acénaphtène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Acénaphtylène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Anthracène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(a)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(j)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(b,j,k)fluoranthène	mg/kg	--	--	--	136	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(c)phénanthrène	mg/kg	0,1	1	10	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Benzo(ghi)pérylène	mg/kg	0,1	1	10	18	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Chrysène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	82	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Dibenzo(a,i)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Dibenzo(a,h)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Dibenzo(a,l)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
7,12-Diméthylbenzanthracène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Fluoranthène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Fluorène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
3-Méthylcholanthrène	mg/kg	0,1	1	10	150	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Naphtalène	mg/kg	0,1	5	50	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Phénanthrène	mg/kg	0,1	5	50	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
Pyrène	mg/kg	0,1	10	100	100	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
2-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
1-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
1,3-Diméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
2,3,5-Triméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	0,1	<0,10	<0,10	<0,1
COV									
Benzène	mg/kg	0,2	0,5	5	5	0,1	<0,10	<0,10	<0,10
Chlorobenzène	mg/kg	0,2	1	10	10	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,4 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Éthylbenzène	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Styrène	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	**0,29**
Toluène	mg/kg	0,2	3	30	30	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Xylènes (o,m,p)	mg/kg	0,4	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Chloroforme	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	mg/kg	0,4	0,57	0,79	60	0,02	<0,020	<0,020	<0,020
Dichloro-1,1 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,1 éthène	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	mg/kg	0,3	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 propane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 propène (cis)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 propène (trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachloroéthène	mg/kg	0,3	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	mg/kg	0,1	5	50	50	0,1	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloro-1,1,1 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloroéthène	mg/kg	0,2	5	50	50	0,2	<0,20	<0,20	<0,20
HYDROCARBURES PÉTROLIERS									
Hydrocarbures pétroliers (C_{10}-C_{50})	mg/kg	100	700	3500	10000	100	<100	<100	<100
MÉTAUX									
Argent (Ag)	mg/kg	2	20	40	200	0,5	<0,50	<0,50	<0,5
Arsenic (As)	mg/kg	6	30	50	250	5	<5,0	<5,0	<5
Baryum (Ba)	mg/kg	340	500	2000	10000	5	150	150	7,1
Cadmium (Cd)	mg/kg	1,5	5	20	100	0,5	<0,50	<0,50	<0,50
Chrome (Cr)	mg/kg	100	250	800	4000	2	63	62	2,3
Cobalt (Co)	mg/kg	25	50	300	1500	2	13	13	<2,0
Cuivre (Cu)	mg/kg	50	100	500	2500	2	30	28	<2,0
Etain (Sn)	mg/kg	5	50	300	1500	4	<4,0	<4,0	<4,0
Manganèse (Mn)	mg/kg	1000	1000	2200	11000	2	500	480	17
Molybdène (Mo)	mg/kg	2	10	40	200	1	<1,0	<1,0	<1,0
Nickel (Ni)	mg/kg	50	100	500	2500	1	37	37	1,5
Plomb (Pb)	mg/kg	50	500	1000	5000	5	6,0	5,8	<5,0
Sélénium (Se)	mg/kg	1	3	10	50	1	<1,0	<1,0	<1,0
Zinc (Zn)	mg/kg	140	500	1500	7500	10	65	63	<10

Notes :

(1)	Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELCCFP, 2021)
(2)	Le critère A du Guide d'intervention pour les métaux et métalloïdes désigne les teneurs de fond du secteur de Basses-Terres du Saint-Laurent
(3)	Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (c, Q-2, r, 18)
(4)	Limite de détection rapportée par le laboratoire d'analyses (en mg/kg), sauf si indiqué différemment dans les résultats
-	Non analysé
--	Aucun critère ou norme
0,7	Concentration dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention
5,9	Concentration dans la plage B-C des critères du Guide d'intervention
300	Concentration supérieure au critère C du Guide d'intervention
300	Concentration supérieure à la valeur limite de l'annexe I du Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés

Tableau B : Contrôle qualité pour les échantillons de sol

Paramètres	Unités	Guide d'intervention [1]			RESC [3]	Résultats analytiques		
		A [2]	B	C	Annexe I			
Échantillon						F23-2-CF3	DUP-230719-RP2	Écart relatif [(4)]
Date d'échantillonnage						2023-07-19	2023-07-19	
Profondeur (m)						2,44 - 3,05	2,44 - 3,05	
Niveau de contamination interprété						≤A	≤A	
HAP								
Acénaphtène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
Acénaphtylène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
Anthracène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(a)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(a)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(j)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg	0,1	1	10	--	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(b,j,k)fluoranthène	mg/kg	--	--	--	136	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(c)phénanthrène	mg/kg	0,1	1	10	56	<0,10	<0,10	n.a.
Benzo(ghi)pérylène	mg/kg	0,1	1	10	18	<0,10	<0,10	n.a.
Chrysène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	0,1	1	10	82	<0,10	<0,10	n.a.
Dibenzo(a,i)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Dibenzo(a,h)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Dibenzo(a,l)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
7,12-Diméthylbenzanthracène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
Fluoranthène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
Fluorène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg	0,1	1	10	34	<0,10	<0,10	n.a.
3-Méthylcholanthrène	mg/kg	0,1	1	10	150	<0,10	<0,10	n.a.
Naphtalène	mg/kg	0,1	5	50	56	<0,10	<0,10	n.a.
Phénanthrène	mg/kg	0,1	5	50	56	<0,10	<0,10	n.a.
Pyrène	mg/kg	0,1	10	100	100	<0,10	<0,10	n.a.
2-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	<0,10	<0,10	n.a.
1-Méthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	<0,10	<0,10	n.a.
1,3-Diméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	<0,10	<0,10	n.a.
2,3,5-Triméthylnaphtalène	mg/kg	0,1	1	10	56	<0,10	<0,10	n.a.
COV								
Benzène	mg/kg	0,2	0,5	5	5	<0,10	<0,10	n.a.
Chlorobenzène	mg/kg	0,2	1	10	10	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,3 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,4 benzène	mg/kg	0,2	1	10	10	<0,20	<0,20	n.a.
Éthylbenzène	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Styrène	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Toluène	mg/kg	0,2	3	30	30	<0,20	<0,20	n.a.
Xylènes (o,m,p)	mg/kg	0,4	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Chloroforme	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	mg/kg	0,4	0,57	0,79	60	<0,020	<0,020	n.a.
Dichloro-1,1 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,1 éthène	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (cis)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichlorométhane	mg/kg	0,3	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 propane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,3 propène (cis)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,3 propène (trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Tétrachloroéthène	mg/kg	0,3	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Tétrachlorure de carbone	mg/kg	0,1	5	50	50	<0,10	<0,10	n.a.
Trichloro-1,1,1 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Trichloro-1,1,2 éthane	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
Trichloroéthène	mg/kg	0,2	5	50	50	<0,20	<0,20	n.a.
HYDROCARBURES PÉTROLIERS								
Hydrocarbures pétroliers (C_{10}-C_{50})	mg/kg	100	700	3500	10000	<100	<100	n.a.
MÉTAUX								
Argent (Ag)	mg/kg	2	20	40	200	<0,50	<0,50	n.a.
Arsenic (As)	mg/kg	10	30	50	250	<5,0	<5,0	n.a.
Baryum (Ba)	mg/kg	200	500	2000	10000	150	150	n.a.
Cadmium (Cd)	mg/kg	0,9	5	20	100	<0,50	<0,50	n.a.
Chrome (Cr)	mg/kg	45	250	800	4000	63	62	2%
Cobalt (Co)	mg/kg	25	50	300	1500	13	13	n.a.
Cuivre (Cu)	mg/kg	50	100	500	2500	30	28	7%
Etain (Sn)	mg/kg	5	50	300	1500	<4,0	<4,0	n.a.
Manganèse (Mn)	mg/kg	1000	1000	2200	11000	500	480	4%
Molybdène (Mo)	mg/kg	6	10	40	200	<1,0	<1,0	n.a.
Nickel (Ni)	mg/kg	30	100	500	2500	37	37	n.a.
Plomb (Pb)	mg/kg	50	500	1000	5000	6,0	5,8	3%
Sélénium (Se)	mg/kg	3	3	10	50	<1,0	<1,0	n.a.
Zinc (Zn)	mg/kg	120	500	1500	7500	65	63	3%

Notes :

(1)	Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELCCFP, 2021)
(2)	Le critère A du Guide d'intervention pour les métaux et métalloïdes désigne les teneurs de fond du secteur de Basses-terres du Saint-Laurent
(3)	Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés (c, Q-2, r, 18)
(4)	Écart relatif calculé selon l'équation suivante: (|Conc. éch#1 - Conc. éch#2| /Conc. moyenne)* 100. Pour une valeur inférieure à la LDR, la concentration utilisée correspond à |LDR|
-	Non analysé
--	Aucun critère ou norme
n.a.	Non applicable
0,7	Concentration dans la plage A-B des critères du Guide d'intervention
5,9	Concentration dans la plage B-C des critères du Guide d'intervention
300	Concentration supérieure au critère C du Guide d'intervention
300	Concentration supérieure à la valeur limite de l'annexe I du Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés

Tableau C : Résultats analytiques pour les échantillons d'eau souterraine

Paramètres	Unités	Critères		LDR[3]	Résultats analytiques		
Puits d'observation		RES [1]	Seuil d'alerte 50% [2]		PO23-1	PO-23-2	
Échantillon					PO23-1-280723	PO23-2-280723	DUP1-280723
Date d'échantillonnage					2023-07-28	2023-07-28	2023-07-28
Niveau de contamination interprété					<RES	<RES	<RES
Hydrocarbures pétroliers							
HP (C_{10}-C_{50})	ug/L	2800	1400	100	<100	<100	<100
Hydrocarbures aromatiques polycycliques							
Acénaphtène	ug/L	100	50	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Anthracène	ug/L	1,8	0,9	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Benzo (a) anthracène	ug/L	1,8	0,9	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Benzo (b) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	0,060	<0,060	<0,060	<0,060
Benzo (j) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	0,060	<0,060	<0,060	<0,060
Benzo (k) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	0,060	<0,060	<0,060	<0,060
Benzo (a) pyrène	ug/L	1,8	0,9	0,0080	<0,0080	<0,0080	<0,0080
Chrysène	ug/L	1,8	0,9	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Dibenzo(a,h)anthracène	ug/L	1,8	0,9	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Fluoranthène	ug/L	14	7	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Fluorène	ug/L	110	55	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Indéno (1, 2, 3-cd) pyrène	ug/L	1,8	0,9	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Naphtalène	ug/L	100	50	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Phénanthrène	ug/L	4,7	2,35	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
Pyrène	ug/L	--	--	0,030	<0,030	<0,030	<0,030
HAP Totaux (RES)	ug/L	1,8	0,9	0,060	<0,060	<0,060	<0,060
Composés organiques volatils							
Benzène	ug/L	950	475	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorobenzène	ug/L	130	65	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 benzène	ug/L	70	35	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,3 benzène	ug/L	100	50	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,4 benzène	ug/L	100	50	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Éthylbenzène	ug/L	160	80	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Styrène	ug/L	800	400	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Toluène	ug/L	200	100	1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Xylènes (o,m,p)	ug/L	370	185	0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Chloroforme	ug/L	5700	2850	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	ug/L	240	120	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthane	ug/L	3700	1850	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,1 éthène	ug/L	1200	600	1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Dichloro-1,2 éthène (cis)	ug/L	5500	2750	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (trans)	ug/L	14000	7000	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	ug/L	--	--	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Dichlorométhane	ug/L	8500	4250	0,90	<0,90	<0,90	<0,90
Dichloro-1,2 propane	ug/L	1500	750	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propane	ug/L	5900	2950	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis)	ug/L	81	40,5	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (trans)	ug/L	81	40,5	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	ug/L	81	40,5	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	ug/L	400	200	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Tétrachloroéthène	ug/L	330	165	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Tétrachlorure de carbone	ug/L	160	80	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,1 éthane	ug/L	800	400	0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Trichloro-1,1,2 éthane	ug/L	1600	800	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Trichloroéthène	ug/L	1800	900	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Pentachloroéthane	ug/L	330	165	0,40	<0,40	<0,40	<0,40
Hexachloroéthane	ug/L	110	55	0,10	<0,10	<0,10	<0,10

NOTES :

[1] Critère "Résurgence dans les eaux de surface" du Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELCCFP, 2021)

[2] Les seuils d'alerte correspondent à 50 % des valeurs du critère de la résurgence dans les eaux de surface (RES) ou des normes maximales municipales

[3] Limite de détection rapportée par les laboratoires d'analyses

LÉGENDE :

-	Non défini ou non analysé
--	Aucun critère
100	Concentration supérieure au critère RES
100	Concentration supérieure au seuil d'alerte du critère RES

Tableau D : Résultats du contrôle qualité pour les échantillons d'eau souterraine

Paramètres	Unités	Critères		Résultats analytiques		
Puits d'observation				**PO-23-2**		
Échantillon		**RES [1]**	**Seuil d'alerte [2]**	**PO23-2-280723**	**DUP1-280723**	**Écart relatif [3]**
Date d'échantillonnage				2023-07-28	2023-07-28	
Hydrocarbures pétroliers						
HP (C_{10}-C_{50})	ug/L	2800	1400	<100	<100	n.a.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques						
Acénaphtène	ug/L	100	50	<0,030	<0,030	n.a.
Anthracène	ug/L	1,8	0,9	<0,030	<0,030	n.a.
Benzo (a) anthracène	ug/L	1,8	0,9	<0,030	<0,030	n.a.
Benzo (b) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	<0,060	<0,060	n.a.
Benzo (j) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	<0,060	<0,060	n.a.
Benzo (k) fluoranthène	ug/L	1,8	0,9	<0,060	<0,060	n.a.
Benzo (a) pyrène	ug/L	1,8	0,9	<0,0080	<0,0080	n.a.
Chrysène	ug/L	1,8	0,9	<0,030	<0,030	n.a.
Dibenzo(a,h)anthracène	ug/L	1,8	0,9	<0,030	<0,030	n.a.
Fluoranthène	ug/L	14	7	<0,030	<0,030	n.a.
Fluorène	ug/L	110	55	<0,030	<0,030	n.a.
Indéno (1, 2, 3-cd) pyrène	ug/L	1,8	0,9	<0,030	<0,030	n.a.
Naphtalène	ug/L	100	50	<0,030	<0,030	n.a.
Phénanthrène	ug/L	4,7	2,35	<0,030	<0,030	n.a.
Pyrène	ug/L	--	--	<0,030	<0,030	n.a.
HAP Totaux (RES)	ug/L	1,8	0,9	<0,060	<0,060	n.a.
Composés organiques volatils						
Benzène	ug/L	950	475	<0,20	<0,20	n.a.
Chlorobenzène	ug/L	130	65	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 benzène	ug/L	70	35	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,3 benzène	ug/L	100	50	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,4 benzène	ug/L	100	50	<0,20	<0,20	n.a.
Éthylbenzène	ug/L	160	80	<0,10	<0,10	n.a.
Styrène	ug/L	800	400	<0,10	<0,10	n.a.
Toluène	ug/L	200	100	<1,0	<1,0	n.a.
Xylènes (o,m,p)	ug/L	370	185	<0,40	<0,40	n.a.
Chloroforme	ug/L	5700	2850	<0,20	<0,20	n.a.
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	ug/L	240	120	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthane	ug/L	3700	1850	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,1 éthène	ug/L	1200	600	<1,0	<1,0	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (cis)	ug/L	5500	2750	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (trans)	ug/L	14000	7000	<0,20	<0,20	n.a.
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	ug/L	--	--	<0,20	<0,20	n.a.
Dichlorométhane	ug/L	8500	4250	<0,90	<0,90	n.a.
Dichloro-1,2 propane	ug/L	1500	750	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,3 propane	ug/L	5900	2950	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,3 propène (cis)	ug/L	81	40,5	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,3 propène (trans)	ug/L	81	40,5	<0,10	<0,10	n.a.
Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	ug/L	81	40,5	<0,10	<0,10	n.a.
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	ug/L	400	200	<0,10	<0,10	n.a.
Tétrachloroéthène	ug/L	330	165	<0,20	<0,20	n.a.
Tétrachlorure de carbone	ug/L	160	80	<0,20	<0,20	n.a.
Trichloro-1,1,1 éthane	ug/L	800	400	<0,20	<0,20	n.a.
Trichloro-1,1,2 éthane	ug/L	1600	800	<0,10	<0,10	n.a.
Trichloroéthène	ug/L	1800	900	<0,10	<0,10	n.a.
Pentachloroéthane	ug/L	330	165	<0,40	<0,40	n.a.
Hexachloroéthane	ug/L	110	55	<0,10	<0,10	n.a.

NOTES :

[1] Critères "Résurgence dans les eaux de surface" du Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés (MELCCFP, 2021)

[2] Les seuils d'alerte correspondent à 50 % des valeurs des critères pour l'eau de consommation et la résurgence dans les eaux de surface (RES)

[3] Écart relatif calculé selon l'équation suivante: (|Conc, éch#1 - Conc, éch#2| /Conc, moyenne)* 100, Pour une valeur inférieure à la LDR, la concentration utilisée correspond à |LDR|

n.a. Non applicable

LÉGENDE :

-	Non défini ou non analysé
--	Aucun critère

F

Annexe F
Certificats analytiques



Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel
Votre # Bordereau: 99514

Attention: Véronik Morin

CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec, QC
Canada G2K 2K8

Date du rapport: 2023/08/02
Rapport: R2865748
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

 # DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C337303
Reçu: 2023/07/24, 15:54

Matrice: Sol
Nombre d'échantillons reçus: 3

Analyses	Quantité	Date de l' extraction	Date Analysé	Méthode de laboratoire	Méthode d'analyse
COV dans les sols - Preserver au MeOH (1)	3	N/A	2023/07/26	QUE SOP-00202	MA.400–COV 2.0 R4 m
HP (C10-C50) dans les sols	3	2023/07/26	2023/07/27	QUE SOP-00220	MA400–HYD 1.1 R3 m
Métaux extractibles totaux dans les sols	3	2023/07/26	2023/07/31	QUE SOP-00132	MA.200–Mét. 1.2 R7 m
HAP dans les sols	3	2023/07/26	2023/07/30	QUE SOP-00221	MA.400–HAP 1.1 R5 m

Remarques:

Bureau Veritas est certifié ISO/IEC 17025 pour certains paramètres précis des portées d'accréditation. Sauf indication contraire, les méthodes d'analyses utilisées par Bureau Veritas s'inspirent des méthodes de référence d'organismes provinciaux, fédéraux et américains, tels que le CCME, le MELCC, l'EPA et l'APHA.

Toutes les analyses présentées ont été réalisées conformément aux procédures et aux pratiques relatives à la méthodologie, à l'assurance qualité et au contrôle de la qualité généralement appliqués par les employés de Bureau Veritas (sauf s'il en a été convenu autrement par écrit entre le client et Bureau Veritas). Toutes les données de laboratoire rencontrent les contrôles statistiques et respectent tous les critères de CQ et les critères de performance des méthodes, sauf s'il en a été signalé autrement. Tous les blancs de méthode sont rapportés, toutefois, les données des échantillons correspondants ne sont pas corrigées pour la valeur du blanc, sauf indication contraire. Le cas échéant, sauf indication contraire, l'incertitude de mesure n'a pas été prise en considération lors de la déclaration de la conformité à la norme de référence.

Les responsabilités de Bureau Veritas sont restreintes au coût réel de l'analyse, sauf s'il en a été convenu autrement par écrit. Il n'existe aucune autre garantie, explicite ou implicite. Le client a fait appel à Bureau Veritas pour l'analyse de ses échantillons conformément aux méthodes de référence mentionnées dans ce rapport. L'interprétation et l'utilisation des résultats sont sous l'entière responsabilité du client et ne font pas partie des services offerts par Bureau Veritas, sauf si convenu autrement par écrit. Bureau Veritas ne peut pas garantir l'exactitude des résultats qui dépendent des renseignements fournis par le client ou son représentant.

Les résultats des échantillons solides, sauf les biotes, sont rapportés en fonction de la masse sèche, sauf indication contraire. Les analyses organiques ne sont pas corrigées en fonction de la récupération, sauf pour les méthodes de dilution isotopique.
Les résultats s'appliquent seulement aux échantillons analysés. Si l'échantillonnage n'est pas effectué par Bureau Veritas, les résultats se rapportent aux échantillons fournis pour analyse.
Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon dans son intégralité, sans le consentement écrit du laboratoire.
Lorsque la méthode de référence comprend un suffixe « m », cela signifie que la méthode d'analyse du laboratoire contient des modifications validées et appliquées afin d'améliorer la performance de la méthode de référence.
Notez: Les données brutes sont utilisées pour le calcul du RPD (% d'écart relatif). L'arrondissement des résultats finaux peut expliquer la variation apparente.
(1) Aucune date d'extraction n'est fournie pour les analyses de F1/BTEX et COV lorsque les sols sont conservés dans le méthanol sur le terrain. La date d'extraction correspond à la date d'échantillonnage à moins d'indication contraire.

Note : Les paramètres inclus dans le présent certificat sont accrédités par le MELCC, à moins d'indication contraire.

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel
Votre # Bordereau: 99514

Attention: Véronik Morin

CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec, QC
Canada G2K 2K8

Date du rapport: 2023/08/02
Rapport: R2865748
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

 # DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C337303
Reçu: 2023/07/24, 15:54

clé de cryptage

AUTHORIZED REPORT
RAPPORT AUTORISÉ

Laboratoires Bureau Veritas
02 Aug 2023 13:26:37

Veuillez adresser toute question concernant ce certificat d' analyse à:
Mhammed Ben Hafsa,
Courriel: mhammed.ben-hafsa@bureauveritas.com
Téléphone (418) 658-5784

==========

Ce rapport a été produit et distribué en utilisant une procédure automatisée sécuritaire.
Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations des laboratoires Environnementale du Québec.

HAP PAR GCMS (SOL)

ID Bureau Veritas						LZ1771	LZ1772	LZ1773		
Date d'échantillonnage						2023/07/19	2023/07/19	2023/07/19		
# Bordereau						99514	99514	99514		
	Unités	**A**	**B**	**C**	**D**	**F23-2-CF3**	**DUP-230719-RP2**	**F23-1-CF6**	**LDR**	**Lot CQ**
% HUMIDITÉ	%	-	-	-	-	30	30	18	N/A	N/A
HAP										
Acénaphtène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Acénaphtylène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Anthracène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(a)anthracène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(a)pyrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(b)fluoranthène †	mg/kg	**0.1**	1	10	-	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(j)fluoranthène †	mg/kg	**0.1**	1	10	-	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(k)fluoranthène †	mg/kg	**0.1**	1	10	-	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(c)phénanthrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Benzo(ghi)pérylène	mg/kg	**0.1**	1	10	*18*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Chrysène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg	**0.1**	1	10	*82*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Dibenzo(a,i)pyrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Dibenzo(a,h)pyrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Dibenzo(a,l)pyrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
7,12-Diméthylbenzanthracène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Fluoranthène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Fluorène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*34*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
3-Méthylcholanthrène	mg/kg	**0.1**	1	10	*150*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Naphtalène	mg/kg	**0.1**	5	50	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Phénanthrène	mg/kg	**0.1**	5	50	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Pyrène	mg/kg	**0.1**	10	100	*100*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
2-Méthylnaphtalène	mg/kg	**0.1**	1	10	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
1-Méthylnaphtalène	mg/kg	**0.1**	1	10	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
1,3-Diméthylnaphtalène	mg/kg	**0.1**	1	10	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
2,3,5-Triméthylnaphtalène	mg/kg	**0.1**	1	10	*56*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424802
Récupération des Surrogates (%)										
D10-Anthracène	%	-	-	-	-	78	76	78	N/A	2424802
D12-Benzo(a)pyrène	%	-	-	-	-	72	72	74	N/A	2424802
D14-Terphenyl	%	-	-	-	-	76	74	70	N/A	2424802
D8-Acenaphthylene	%	-	-	-	-	82	80	80	N/A	2424802
D8-Naphtalène	%	-	-	-	-	78	78	74	N/A	2424802

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
N/A = Non Applicable
† Accréditation non existante pour ce paramètre

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

Dossier Bureau Veritas: C337303
Date du rapport: 2023/08/02

CIMA+ s.e.n.c.
Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel

HYDROCARBURES PAR GCFID (SOL)

ID Bureau Veritas						LZ1771	LZ1772	LZ1773		
Date d'échantillonnage						2023/07/19	2023/07/19	2023/07/19		
# Bordereau						99514	99514	99514		
	Unités	**A**	**B**	**C**	**D**	**F23-2-CF3**	**DUP-230719-RP2**	**F23-1-CF6**	**LDR**	**Lot CQ**
% HUMIDITÉ	%	-	-	-	-	30	30	18	N/A	N/A
HYDROCARBURES PÉTROLIERS										
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	mg/kg	**100**	700	3500	*10000*	<100	<100	<100	100	2424796
Récupération des Surrogates (%)										
1-Chlorooctadécane	%	-	-	-	-	97	95	97	N/A	2424796

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
N/A = Non Applicable

2023/08/02 13:22

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

COV PAR GC/MS (SOL)

ID Bureau Veritas						LZ1771	LZ1772	LZ1773		
Date d'échantillonnage						2023/07/19	2023/07/19	2023/07/19		
# Bordereau						99514	99514	99514		
	Unités	**A**	**B**	**C**	**D**	**F23-2-CF3**	**DUP-230719-RP2**	**F23-1-CF6**	**LDR**	**Lot CQ**
% HUMIDITÉ	%	-	-	-	-	30	30	18	N/A	N/A
VOLATILS										
Benzène	mg/kg	**0.2**	0.5	5	*5*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424615
Chlorobenzène	mg/kg	**0.2**	1	10	*10*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 benzène	mg/kg	**0.2**	1	10	*10*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,3 benzène	mg/kg	**0.2**	1	10	*10*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,4 benzène	mg/kg	**0.2**	1	10	*10*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Éthylbenzène	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Styrène	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	**0.29**	0.20	2424615
Toluène	mg/kg	**0.2**	3	30	*30*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Xylènes (o,m,p) †	mg/kg	**0.4**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Chloroforme	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	mg/kg	**0.4**	0.57	0.79	*60*	<0.020	<0.020	<0.020	0.020	2424615
Dichloro-1,1 éthane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 éthane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,1 éthène	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 éthène (cis)	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 éthène (trans)	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans) †	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichlorométhane	mg/kg	**0.3**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,2 propane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,3 propène (cis)	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,3 propène (trans)	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Tétrachloroéthène	mg/kg	**0.3**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Tétrachlorure de carbone	mg/kg	**0.1**	5	50	*50*	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2424615
Trichloro-1,1,1 éthane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Trichloro-1,1,2 éthane	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Trichloroéthène	mg/kg	**0.2**	5	50	*50*	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2424615
Récupération des Surrogates (%)										
4-Bromofluorobenzène	%	-	-	-	-	99	101	106	N/A	2424615
D10-Ethylbenzène	%	-	-	-	-	101	102	104	N/A	2424615
D4-1,2-Dichloroéthane	%	-	-	-	-	105	99	106	N/A	2424615
D8-Toluène	%	-	-	-	-	94	96	100	N/A	2424615

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
N/A = Non Applicable
† Accréditation non existante pour ce paramètre

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

Dossier Bureau Veritas: C337303
Date du rapport: 2023/08/02

CIMA+ s.e.n.c.
Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel

MÉTAUX EXTRACTIBLES TOTAUX (SOL)

ID Bureau Veritas						LZ1771	LZ1771	LZ1772	LZ1773		
Date d'échantillonnage						2023/07/19	2023/07/19	2023/07/19	2023/07/19		
# Bordereau						99514	99514	99514	99514		
	Unités	**A**	**B**	**C**	**D**	**F23-2-CF3**	**F23-2-CF3 Dup. de Lab.**	**DUP-230719-RP2**	**F23-1-CF6**	**LDR**	**Lot CQ**
% HUMIDITÉ	%	-	-	-	-	30	30	30	18	N/A	N/A
MÉTAUX											
Argent (Ag)	mg/kg	**2**	20	40	*200*	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.50	2424965
Arsenic (As)	mg/kg	**6**	30	50	*250*	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	5.0	2424965
Baryum (Ba)	mg/kg	**340**	500	2000	*10000*	150	140	150	7.1	5.0	2424965
Cadmium (Cd)	mg/kg	**1.5**	5	20	*100*	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50	0.50	2424965
Chrome (Cr)	mg/kg	**100**	250	800	*4000*	63	57	62	2.3	2.0	2424965
Cobalt (Co)	mg/kg	**25**	50	300	*1500*	13	12	13	<2.0	2.0	2424965
Cuivre (Cu)	mg/kg	**50**	100	500	*2500*	30	27	28	<2.0	2.0	2424965
Etain (Sn)	mg/kg	**5**	50	300	*1500*	<4.0	<4.0	<4.0	<4.0	4.0	2424965
Manganèse (Mn)	mg/kg	**1000**	1000	2200	*11000*	500	460	480	17	2.0	2424965
Molybdène (Mo)	mg/kg	**2**	10	40	*200*	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	2424965
Nickel (Ni)	mg/kg	**50**	100	500	*2500*	37	34	37	1.5	1.0	2424965
Plomb (Pb)	mg/kg	**50**	500	1000	*5000*	6.0	5.7	5.8	<5.0	5.0	2424965
Sélénium (Se)	mg/kg	**1**	3	10	*50*	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	2424965
Zinc (Zn)	mg/kg	**140**	500	1500	*7500*	65	59	63	<10	10	2424965

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
Duplicata de laboratoire
N/A = Non Applicable

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

REMARQUES GÉNÉRALES

Les modifications suivantes ont été demandées par Veronik Morin le 2023-07-25
Critère Guide Basses-Terres+ RESC ajouté au rapport.
A,B,C,D: Les critères des sols proviennent de l'Annexe 2 du « Guide d'intervention-Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés. MELCC, mai 2021. » et intitulé « Grille des critères génériques pour les sols ». Les critères des sols sont ceux de la province géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent. Le critère D provient de l'Annexe I du « Règlement sur l'enfouissement des sols contaminés, c. Q-2, r.18 ».

Les critères A et B pour l'eau souterraine proviennent de l'annexe 7 intitulé « Grille des critères de qualité des eaux souterraines » du guide d'intervention mentionné plus haut. A=Eau de consommation; B=Résurgence dans l'eau de surface

Ces références ne sont rapportées qu'à titre indicatif et ne doivent être interprétées dans aucun autre contexte.

- = Ce composé ne fait pas partie de la réglementation.

COV PAR GC/MS (SOL)

Les résultats bruts non-arrondis sont utilisés dans le calcul du total du Dichloro-1,2 éthène (cis et trans). Ce résultat total est alors arrondi à deux chiffres significatifs.

Les résultats bruts non-arrondis sont utilisés dans le calcul du total du Dichloro-1,3 propène (cis et trans). Ce résultat total est alors arrondi à deux chiffres significatifs.

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour analyse

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
2424615	ASK	Blanc fortifié	4-Bromofluorobenzène	2023/07/26		99	%
			D10-Ethylbenzène	2023/07/26		106	%
			D4-1,2-Dichloroéthane	2023/07/26		96	%
			D8-Toluène	2023/07/26		92	%
			Benzène	2023/07/26		117	%
			Chlorobenzène	2023/07/26		104	%
			Dichloro-1,2 benzène	2023/07/26		108	%
			Dichloro-1,3 benzène	2023/07/26		108	%
			Dichloro-1,4 benzène	2023/07/26		103	%
			Éthylbenzène	2023/07/26		105	%
			Styrène	2023/07/26		106	%
			Toluène	2023/07/26		96	%
			Xylènes (o,m,p)	2023/07/26		104	%
			Chloroforme	2023/07/26		111	%
			Chlorure de vinyle (chloroéthène)	2023/07/26		100	%
			Dichloro-1,1 éthane	2023/07/26		116	%
			Dichloro-1,2 éthane	2023/07/26		111	%
			Dichloro-1,1 éthène	2023/07/26		123	%
			Dichloro-1,2 éthène (cis)	2023/07/26		110	%
			Dichloro-1,2 éthène (trans)	2023/07/26		116	%
			Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	2023/07/26		113	%
			Dichlorométhane	2023/07/26		109	%
			Dichloro-1,2 propane	2023/07/26		107	%
			Dichloro-1,3 propène (cis)	2023/07/26		110	%
			Dichloro-1,3 propène (trans)	2023/07/26		119	%
			Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	2023/07/26		115	%
			Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	2023/07/26		89	%
			Tétrachloroéthène	2023/07/26		112	%
			Tétrachlorure de carbone	2023/07/26		115	%
			Trichloro-1,1,1 éthane	2023/07/26		104	%
			Trichloro-1,1,2 éthane	2023/07/26		107	%
			Trichloroéthène	2023/07/26		109	%
2424615	ASK	Blanc de méthode	4-Bromofluorobenzène	2023/07/26		101	%
			D10-Ethylbenzène	2023/07/26		105	%
			D4-1,2-Dichloroéthane	2023/07/26		99	%
			D8-Toluène	2023/07/26		94	%
			Benzène	2023/07/26	<0.10		mg/kg
			Chlorobenzène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,2 benzène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,3 benzène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,4 benzène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Éthylbenzène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Styrène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Toluène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Xylènes (o,m,p)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Chloroforme	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Chlorure de vinyle (chloroéthène)	2023/07/26	<0.020		mg/kg
			Dichloro-1,1 éthane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,2 éthane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,1 éthène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,2 éthène (cis)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,2 éthène (trans)	2023/07/26	<0.20		mg/kg

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ (SUITE)

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
			Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichlorométhane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,2 propane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,3 propène (cis)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,3 propène (trans)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Tétrachloroéthène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Tétrachlorure de carbone	2023/07/26	<0.10		mg/kg
			Trichloro-1,1,1 éthane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Trichloro-1,1,2 éthane	2023/07/26	<0.20		mg/kg
			Trichloroéthène	2023/07/26	<0.20		mg/kg
2424796	MMP	Blanc fortifié	1-Chlorooctadécane	2023/07/27		85	%
			Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	2023/07/27		80	%
2424796	MMP	Blanc de méthode	1-Chlorooctadécane	2023/07/27		92	%
			Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	2023/07/27	<100		mg/kg
2424802	DOU	Blanc fortifié	D10-Anthracène	2023/07/30		78	%
			D12-Benzo(a)pyrène	2023/07/30		76	%
			D14-Terphenyl	2023/07/30		84	%
			D8-Acenaphthylene	2023/07/30		78	%
			D8-Naphtalène	2023/07/30		76	%
			Acénaphtène	2023/07/30		77	%
			Acénaphtylène	2023/07/30		83	%
			Anthracène	2023/07/30		81	%
			Benzo(a)anthracène	2023/07/30		80	%
			Benzo(a)pyrène	2023/07/30		83	%
			Benzo(b)fluoranthène	2023/07/30		89	%
			Benzo(j)fluoranthène	2023/07/30		79	%
			Benzo(k)fluoranthène	2023/07/30		85	%
			Benzo(c)phénanthrène	2023/07/30		83	%
			Benzo(ghi)pérylène	2023/07/30		86	%
			Chrysène	2023/07/30		84	%
			Dibenzo(a,h)anthracène	2023/07/30		86	%
			Dibenzo(a,i)pyrène	2023/07/30		75	%
			Dibenzo(a,h)pyrène	2023/07/30		75	%
			Dibenzo(a,l)pyrène	2023/07/30		80	%
			7,12-Diméthylbenzanthracène	2023/07/30		84	%
			Fluoranthène	2023/07/30		80	%
			Fluorène	2023/07/30		74	%
			Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2023/07/30		81	%
			3-Méthylcholanthrène	2023/07/30		65	%
			Naphtalène	2023/07/30		84	%
			Phénanthrène	2023/07/30		82	%
			Pyrène	2023/07/30		77	%
			2-Méthylnaphtalène	2023/07/30		80	%
			1-Méthylnaphtalène	2023/07/30		66	%
			1,3-Diméthylnaphtalène	2023/07/30		73	%
			2,3,5-Triméthylnaphtalène	2023/07/30		96	%
2424802	DOU	Blanc de méthode	D10-Anthracène	2023/07/30		78	%
			D12-Benzo(a)pyrène	2023/07/30		76	%
			D14-Terphenyl	2023/07/30		72	%
			D8-Acenaphthylene	2023/07/30		80	%

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ (SUITE)

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
			D8-Naphtalène	2023/07/30		78	%
			Acénaphtène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Acénaphtylène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Anthracène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(a)anthracène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(a)pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(b)fluoranthène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(j)fluoranthène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(k)fluoranthène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(c)phénanthrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Benzo(ghi)pérylène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Chrysène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Dibenzo(a,h)anthracène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Dibenzo(a,i)pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Dibenzo(a,h)pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Dibenzo(a,l)pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			7,12-Diméthylbenzanthracène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Fluoranthène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Fluorène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			3-Méthylcholanthrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Naphtalène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Phénanthrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			Pyrène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			2-Méthylnaphtalène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			1-Méthylnaphtalène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			1,3-Diméthylnaphtalène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
			2,3,5-Triméthylnaphtalène	2023/07/30	<0.10		mg/kg
2424965	LBO	Blanc fortifié	Argent (Ag)	2023/07/31		111	%
			Arsenic (As)	2023/07/31		95	%
			Baryum (Ba)	2023/07/31		103	%
			Cadmium (Cd)	2023/07/31		93	%
			Chrome (Cr)	2023/07/31		96	%
			Cobalt (Co)	2023/07/31		92	%
			Cuivre (Cu)	2023/07/31		93	%
			Etain (Sn)	2023/07/31		98	%
			Manganèse (Mn)	2023/07/31		95	%
			Molybdène (Mo)	2023/07/31		97	%
			Nickel (Ni)	2023/07/31		92	%
			Plomb (Pb)	2023/07/31		96	%
			Sélénium (Se)	2023/07/31		90	%
			Zinc (Zn)	2023/07/31		92	%
2424965	LBO	Blanc de méthode	Argent (Ag)	2023/07/31	<0.50		mg/kg
			Arsenic (As)	2023/07/31	<5.0		mg/kg
			Baryum (Ba)	2023/07/31	<5.0		mg/kg
			Cadmium (Cd)	2023/07/31	<0.50		mg/kg
			Chrome (Cr)	2023/07/31	<2.0		mg/kg
			Cobalt (Co)	2023/07/31	<2.0		mg/kg
			Cuivre (Cu)	2023/07/31	<2.0		mg/kg
			Etain (Sn)	2023/07/31	<4.0		mg/kg
			Manganèse (Mn)	2023/07/31	<2.0		mg/kg
			Molybdène (Mo)	2023/07/31	<1.0		mg/kg

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ (SUITE)

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
			Nickel (Ni)	2023/07/31	<1.0		mg/kg
			Plomb (Pb)	2023/07/31	<5.0		mg/kg
			Sélénium (Se)	2023/07/31	<1.0		mg/kg
			Zinc (Zn)	2023/07/31	<10		mg/kg

Blanc fortifié: Un blanc, d'une matrice exempte de contaminants, auquel a été ajouté une quantité connue d'analyte provenant généralement d'une deuxième source. Utilisé pour évaluer la précision de la méthode.

Blanc de méthode: Une partie aliquote de matrice pure soumise au même processus analytique que les échantillons, du prétraitement au dosage. Sert à évaluer toutes contaminations du laboratoire.

Surrogate: Composé se comportant de façon similaire aux composés analysés et ajouté à l'échantillon avant l'analyse. Sert à évaluer la qualité de l'extraction.

Réc = Récupération

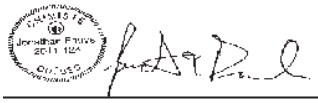
Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

PAGE DES SIGNATURES DE VALIDATION

Les résultats analytiques ainsi que les données de contrôle-qualité contenus dans ce rapport ont été vérifiés et validés par:



Peter Corbiere, B.Sc., Chimiste, Montréal, Analyste 2



Jonathan Fauvel, B.Sc., Chimiste, Montréal, Spécialiste Scientifique



Vanessa Seka, B.Sc.Chimiste à l'entraînement, Analyste II

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par {0}, {1}, responsable des opérations des laboratoires {3} du {2}.

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

eCDR: Q99514

Délai requis:	Délai régulier
Date d'arrivée prévue:	2023-07-24 15:30
Soumis par:	Veronik Morin
Soumis à:	Ville de Quebec (Env lab)

Information facture

Dest.: COMPTES PAYABLE
CIMA+ s.e.n.c.
1190-B, rue de Courchevel
Bureau 501
Lévis , QC , G6W 0M6
Envoyer à:
payable@cima.ca

Information rapport

Dest.: Véronik Morin
CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec , QC , G2K 2K8
Envoyer à:
veronik.morin@cima.ca

Information Projet

 # Soumission: C20333
Bon de commande:
No. projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel

Liste des délais analytiques

C337303_COC

A: Délai régulier

Id. échantillon client	eCDR réf.	Date et heure de prélèvement	Matrice	Nbre. cont	Metaux(14) dans les sols	COV dans les sols - Preserver au MeOH	HAP dans les sols	HP (C10-C50) dans les sols
F23-2-CF3	1	2023-07-19	SOL	2	A	A	A	A
DUP-230719-RP2	2	2023-07-19	SOL	2	A	A	A	A
F23-1-CF6	3	2023-07-19	SOL	2	A	A	A	A

Les délais sont approximatifs et peuvent changer. Consultez votre rapport de confirmation de projet pour connaître la date d'échéance précise.

Renseignements sur la soumission

 # d'échantillons: 3

Province géologique : Basses Terres du St-Laurent
* à mettre sur certificat stp

15h54
Client
Glace: oui
Sceau: non
T-329
T°: 7, 8, 9

REÇU
24 JUIL. 2023
NDI

Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel
Votre # Bordereau: 100114

Attention: Véronik Morin

CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec, QC
Canada G2K 2K8

Date du rapport: 2023/08/08
Rapport: R2867258
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

 # DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C339078
Reçu: 2023/07/31, 15:45

Matrice: Eau souterraine
Nombre d'échantillons reçus: 3

Analyses	Quantité	Date de l' extraction	Date Analysé	Méthode de laboratoire	Méthode d'analyse
COV dans l'eau	2	N/A	2023/08/03	QUE SOP-00202	MA.400–COV 2.0 R4 m
COV dans l'eau	1	N/A	2023/08/04	QUE SOP-00202	MA.400–COV 2.0 R4 m
HP (C10-C50) dans les eaux	3	2023/08/02	2023/08/03	QUE SOP-00220	MA400–HYD 1.1 R3 m
HAP dans l'eau	3	2023/08/02	2023/08/05	QUE SOP-00221	MA.400–HAP 1.1 R5 m

Remarques:

Bureau Veritas est certifié ISO/IEC 17025 pour certains paramètres précis des portées d'accréditation. Sauf indication contraire, les méthodes d'analyses utilisées par Bureau Veritas s'inspirent des méthodes de référence d'organismes provinciaux, fédéraux et américains, tels que le CCME, le MELCC, l'EPA et l'APHA.

Toutes les analyses présentées ont été réalisées conformément aux procédures et aux pratiques relatives à la méthodologie, à l'assurance qualité et au contrôle de la qualité généralement appliqués par les employés de Bureau Veritas (sauf s'il en a été convenu autrement par écrit entre le client et Bureau Veritas). Toutes les données de laboratoire rencontrent les contrôles statistiques et respectent tous les critères de CQ et les critères de performance des méthodes, sauf s'il en a été signalé autrement. Tous les blancs de méthode sont rapportés, toutefois, les données des échantillons correspondants ne sont pas corrigées pour la valeur du blanc, sauf indication contraire. Le cas échéant, sauf indication contraire, l'incertitude de mesure n'a pas été prise en considération lors de la déclaration de la conformité à la norme de référence.

Les responsabilités de Bureau Veritas sont restreintes au coût réel de l'analyse, sauf s'il en a été convenu autrement par écrit. Il n'existe aucune autre garantie, explicite ou implicite. Le client a fait appel à Bureau Veritas pour l'analyse de ses échantillons conformément aux méthodes de référence mentionnées dans ce rapport. L'interprétation et l'utilisation des résultats sont sous l'entière responsabilité du client et ne font pas partie des services offerts par Bureau Veritas, sauf si convenu autrement par écrit. Bureau Veritas ne peut pas garantir l'exactitude des résultats qui dépendent des renseignements fournis par le client ou son représentant.

Les résultats des échantillons solides, sauf les biotes, sont rapportés en fonction de la masse sèche, sauf indication contraire. Les analyses organiques ne sont pas corrigées en fonction de la récupération, sauf pour les méthodes de dilution isotopique.
Les résultats s'appliquent seulement aux échantillons analysés. Si l'échantillonnage n'est pas effectué par Bureau Veritas, les résultats se rapportent aux échantillons fournis pour analyse.
Le présent rapport ne doit pas être reproduit, sinon dans son intégralité, sans le consentement écrit du laboratoire.
Lorsque la méthode de référence comprend un suffixe « m », cela signifie que la méthode d'analyse du laboratoire contient des modifications validées et appliquées afin d'améliorer la performance de la méthode de référence.
Notez: Les données brutes sont utilisées pour le calcul du RPD (% d'écart relatif). L'arrondissement des résultats finaux peut expliquer la variation apparente.

Note : Les paramètres inclus dans le présent certificat sont accrédités par le MELCC, à moins d'indication contraire.

Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel
Votre # Bordereau: 100114

Attention: Véronik Morin

CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec, QC
Canada G2K 2K8

Date du rapport: 2023/08/08
Rapport: R2867258
Version: 1 - Finale

CERTIFICAT D'ANALYSES

 # DE DOSSIER BUREAU VERITAS: C339078
Reçu: 2023/07/31, 15:45

clé de cryptage

AUTHORIZED REPORT
RAPPORT AUTORISÉ

Laboratoires Bureau Veritas
08 Aug 2023 12:05:48

Veuillez adresser toute question concernant ce certificat d' analyse à:
Mhammed Ben Hafsa,
Courriel: mhammed.ben-hafsa@bureauveritas.com
Téléphone (418) 658-5784

==========

Ce rapport a été produit et distribué en utilisant une procédure automatisée sécuritaire.
Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par Aglaia Yannakis, Directrice générale, responsable des opérations des laboratoires Environnementale du Québec.

CIMA+ s.e.n.c.
Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel

HAP PAR GCMS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas		MA0221	MA0222	MA0223		
Date d'échantillonnage		2023/07/28	2023/07/28	2023/07/28		
# Bordereau		100114	100114	100114		
	Unités	**PO23-1-280723**	**PO23-2-280723**	**DUP1-280723**	**LDR**	**Lot CQ**
HAP						
Acénaphtène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Anthracène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Benzo(a)anthracène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Benzo(b)fluoranthène †	ug/L	<0.060	<0.060	<0.060	0.060	2427268
Benzo(j)fluoranthène †	ug/L	<0.060	<0.060	<0.060	0.060	2427268
Benzo(k)fluoranthène †	ug/L	<0.060	<0.060	<0.060	0.060	2427268
Benzo(a)pyrène	ug/L	<0.0080	<0.0080	<0.0080	0.0080	2427268
Chrysène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Dibenzo(a,h)anthracène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Fluoranthène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Fluorène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Naphtalène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Phénanthrène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
Pyrène	ug/L	<0.030	<0.030	<0.030	0.030	2427268
HAP totaux (RES) †	ug/L	<0.060	<0.060	<0.060	0.060	2427268
Récupération des Surrogates (%)						
D10-Anthracène	%	117	112	115	N/A	2427268
D12-Benzo(a)pyrène	%	108	102	108	N/A	2427268
D14-Terphenyl	%	110	106	109	N/A	2427268
D8-Acenaphthylene	%	104	99	102	N/A	2427268
D8-Naphtalène	%	95	90	93	N/A	2427268

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
† Accréditation non existante pour ce paramètre
N/A = Non Applicable

2023/08/08 12:03

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

HYDROCARBURES PAR GCFID (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas		MA0221	MA0222	MA0223		
Date d'échantillonnage		2023/07/28	2023/07/28	2023/07/28		
# Bordereau		100114	100114	100114		
	Unités	**PO23-1-280723**	**PO23-2-280723**	**DUP1-280723**	**LDR**	**Lot CQ**
HYDROCARBURES PÉTROLIERS						
Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	ug/L	<100	<100	<100	100	2427254
Récupération des Surrogates (%)						
1-Chlorooctadécane	%	86	124	87	N/A	2427254

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
N/A = Non Applicable

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

COV PAR GC/MS (EAU SOUTERRAINE)

ID Bureau Veritas		MA0221	MA0222	MA0223		
Date d'échantillonnage		2023/07/28	2023/07/28	2023/07/28		
# Bordereau		100114	100114	100114		
	Unités	**PO23-1-280723**	**PO23-2-280723**	**DUP1-280723**	**LDR**	**Lot CQ**
VOLATILS						
Benzène	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Chlorobenzène	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichloro-1,2 benzène	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichloro-1,3 benzène	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,4 benzène	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Éthylbenzène	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Styrène	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Toluène	ug/L	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	2427742
Xylènes (o,m,p) †	ug/L	<0.40	<0.40	<0.40	0.40	2427742
Chloroforme	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Chlorure de vinyle (chloroéthène)	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichloro-1,2 éthane	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,1 éthène	ug/L	<1.0	<1.0	<1.0	1.0	2427742
Dichloro-1,2 éthène (cis)	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichloro-1,2 éthène (trans)	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichloro-1,2 éthène (cis et trans) †	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Dichlorométhane	ug/L	<0.90	<0.90	<0.90	0.90	2427742
Dichloro-1,2 propane	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,3 propane	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,3 propène (cis)	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,3 propène (trans)	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Dichloro-1,3 propène (cis et trans) †	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Tétrachloroéthène	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Tétrachlorure de carbone	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Trichloro-1,1,1 éthane	ug/L	<0.20	<0.20	<0.20	0.20	2427742
Trichloro-1,1,2 éthane	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Trichloroéthène	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Pentachloroéthane †	ug/L	<0.40	<0.40	<0.40	0.40	2427742
Hexachloroéthane †	ug/L	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	2427742
Récupération des Surrogates (%)						
4-Bromofluorobenzène	%	98	98	97	N/A	2427742
D4-1,2-Dichloroéthane	%	102	104	103	N/A	2427742
D8-Toluène	%	92	93	94	N/A	2427742

LDR = Limite de détection rapportée
Lot CQ = Lot contrôle qualité
† Accréditation non existante pour ce paramètre
N/A = Non Applicable

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

REMARQUES GÉNÉRALES

HAP PAR GCMS (EAU SOUTERRAINE)

Le résultat de HAP totaux (RES) représente la somme des 7 composés suivants: benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène et indéno(1,2,3-c,d)pyrène. Les résultats bruts non-arrondis sont utilisés dans le calcul des HAP totaux (RES). Ce résultat total est alors arrondi à deux chiffres significatifs.

COV PAR GC/MS (EAU SOUTERRAINE)

Les résultats bruts non-arrondis sont utilisés dans le calcul du total du Dichloro-1,2 éthène (cis et trans). Ce résultat total est alors arrondi à deux chiffres significatifs.

Les résultats bruts non-arrondis sont utilisés dans le calcul du total du Dichloro-1,3 propène (cis et trans). Ce résultat total est alors arrondi à deux chiffres significatifs.

Les résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis pour analyse

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
2427254	COM	Blanc fortifié	1-Chlorooctadécane	2023/08/03		82	%
			Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	2023/08/03		84	%
2427254	COM	Blanc fortifié DUP	1-Chlorooctadécane	2023/08/03		84	%
			Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	2023/08/03		85	%
2427254	COM	Blanc de méthode	1-Chlorooctadécane	2023/08/03		109	%
			Hydrocarbures pétroliers (C10-C50)	2023/08/03	<100		ug/L
2427268	MMP	Blanc fortifié	D10-Anthracène	2023/08/04		107	%
			D12-Benzo(a)pyrène	2023/08/04		105	%
			D14-Terphenyl	2023/08/04		113	%
			D8-Acenaphthylene	2023/08/04		95	%
			D8-Naphtalène	2023/08/04		86	%
			Acénaphtène	2023/08/04		84	%
			Anthracène	2023/08/04		99	%
			Benzo(a)anthracène	2023/08/04		106	%
			Benzo(b)fluoranthène	2023/08/04		111	%
			Benzo(j)fluoranthène	2023/08/04		103	%
			Benzo(k)fluoranthène	2023/08/04		108	%
			Benzo(a)pyrène	2023/08/04		105	%
			Chrysène	2023/08/04		108	%
			Dibenzo(a,h)anthracène	2023/08/04		108	%
			Fluoranthène	2023/08/04		96	%
			Fluorène	2023/08/04		87	%
			Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2023/08/04		98	%
			Naphtalène	2023/08/04		88	%
			Phénanthrène	2023/08/04		94	%
			Pyrène	2023/08/04		93	%
2427268	MMP	Blanc fortifié DUP	D10-Anthracène	2023/08/04		107	%
			D12-Benzo(a)pyrène	2023/08/04		105	%
			D14-Terphenyl	2023/08/04		114	%
			D8-Acenaphthylene	2023/08/04		95	%
			D8-Naphtalène	2023/08/04		86	%
			Acénaphtène	2023/08/04		86	%
			Anthracène	2023/08/04		101	%
			Benzo(a)anthracène	2023/08/04		108	%
			Benzo(b)fluoranthène	2023/08/04		118	%
			Benzo(j)fluoranthène	2023/08/04		105	%
			Benzo(k)fluoranthène	2023/08/04		105	%
			Benzo(a)pyrène	2023/08/04		108	%
			Chrysène	2023/08/04		111	%
			Dibenzo(a,h)anthracène	2023/08/04		110	%
			Fluoranthène	2023/08/04		98	%
			Fluorène	2023/08/04		89	%
			Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2023/08/04		102	%
			Naphtalène	2023/08/04		90	%
			Phénanthrène	2023/08/04		95	%
			Pyrène	2023/08/04		95	%
2427268	MMP	Blanc de méthode	D10-Anthracène	2023/08/04		113	%
			D12-Benzo(a)pyrène	2023/08/04		107	%
			D14-Terphenyl	2023/08/04		108	%
			D8-Acenaphthylene	2023/08/04		98	%
			D8-Naphtalène	2023/08/04		91	%
			Acénaphtène	2023/08/04	<0.030		ug/L

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ (SUITE)

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
			Anthracène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Benzo(a)anthracène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Benzo(b)fluoranthène	2023/08/04	<0.060		ug/L
			Benzo(j)fluoranthène	2023/08/04	<0.060		ug/L
			Benzo(k)fluoranthène	2023/08/04	<0.060		ug/L
			Benzo(a)pyrène	2023/08/04	<0.0080		ug/L
			Chrysène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Dibenzo(a,h)anthracène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Fluoranthène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Fluorène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Naphtalène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Phénanthrène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			Pyrène	2023/08/04	<0.030		ug/L
			HAP totaux (RES)	2023/08/04	<0.060		ug/L
2427742	ASK	Blanc fortifié	4-Bromofluorobenzène	2023/08/03		101	%
			D4-1,2-Dichloroéthane	2023/08/03		101	%
			D8-Toluène	2023/08/03		93	%
			Benzène	2023/08/03		98	%
			Chlorobenzène	2023/08/03		104	%
			Dichloro-1,2 benzène	2023/08/03		125	%
			Dichloro-1,3 benzène	2023/08/03		116	%
			Dichloro-1,4 benzène	2023/08/03		117	%
			Éthylbenzène	2023/08/03		92	%
			Styrène	2023/08/03		104	%
			Toluène	2023/08/03		97	%
			Xylènes (o,m,p)	2023/08/03		94	%
			Chloroforme	2023/08/03		103	%
			Chlorure de vinyle (chloroéthène)	2023/08/03		50	%
			Dichloro-1,2 éthane	2023/08/03		108	%
			Dichloro-1,1 éthène	2023/08/03		86	%
			Dichloro-1,2 éthène (cis)	2023/08/03		96	%
			Dichloro-1,2 éthène (trans)	2023/08/03		94	%
			Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	2023/08/03		95	%
			Dichlorométhane	2023/08/03		94	%
			Dichloro-1,2 propane	2023/08/03		105	%
			Dichloro-1,3 propane	2023/08/03		102	%
			Dichloro-1,3 propène (cis)	2023/08/03		83	%
			Dichloro-1,3 propène (trans)	2023/08/03		83	%
			Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	2023/08/03		83	%
			Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	2023/08/03		128	%
			Tétrachloroéthène	2023/08/03		104	%
			Tétrachlorure de carbone	2023/08/03		102	%
			Trichloro-1,1,1 éthane	2023/08/03		89	%
			Trichloro-1,1,2 éthane	2023/08/03		120	%
			Trichloroéthène	2023/08/03		103	%
			Pentachloroéthane	2023/08/03		137 (1)	%
			Hexachloroéthane	2023/08/03		111	%
2427742	ASK	Blanc de méthode	4-Bromofluorobenzène	2023/08/03		99	%
			D4-1,2-Dichloroéthane	2023/08/03		101	%
			D8-Toluène	2023/08/03		93	%
			Benzène	2023/08/03	<0.20		ug/L

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

RAPPORT ASSURANCE QUALITÉ (SUITE)

Lot AQ/CQ	Init	Type CQ	Groupe	Date Analysé	Valeur	Réc	Unités
			Chlorobenzène	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichloro-1,2 benzène	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichloro-1,3 benzène	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,4 benzène	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Éthylbenzène	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Styrène	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Toluène	2023/08/03	<1.0		ug/L
			Xylènes (o,m,p)	2023/08/03	<0.40		ug/L
			Chloroforme	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Chlorure de vinyle (chloroéthène)	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichloro-1,2 éthane	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,1 éthène	2023/08/03	<1.0		ug/L
			Dichloro-1,2 éthène (cis)	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichloro-1,2 éthène (trans)	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichloro-1,2 éthène (cis et trans)	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Dichlorométhane	2023/08/03	<0.90		ug/L
			Dichloro-1,2 propane	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,3 propane	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,3 propène (cis)	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,3 propène (trans)	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Tétrachloro-1,1,2,2 éthane	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Tétrachloroéthène	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Tétrachlorure de carbone	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Trichloro-1,1,1 éthane	2023/08/03	<0.20		ug/L
			Trichloro-1,1,2 éthane	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Trichloroéthène	2023/08/03	<0.10		ug/L
			Pentachloroéthane	2023/08/03	<0.40		ug/L
			Hexachloroéthane	2023/08/03	<0.10		ug/L

Blanc fortifié: Un blanc, d'une matrice exempte de contaminants, auquel a été ajouté une quantité connue d'analyte provenant généralement d'une deuxième source. Utilisé pour évaluer la précision de la méthode.

Blanc de méthode: Une partie aliquote de matrice pure soumise au même processus analytique que les échantillons, du prétraitement au dosage. Sert à évaluer toutes contaminations du laboratoire.

Surrogate: Composé se comportant de façon similaire aux composés analysés et ajouté à l'échantillon avant l'analyse. Sert à évaluer la qualité de l'extraction.

Réc = Récupération

(1) La récupération ou l'écart relatif (RPD) pour ce composé est en dehors des limites de contrôle, mais l'ensemble du contrôle qualité rencontre les critères d'acceptabilité pour cette analyse

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

CIMA+ s.e.n.c.
Votre # du projet: Q213012B-200
Adresse du site: Sorel

PAGE DES SIGNATURES DE VALIDATION

Les résultats analytiques ainsi que les données de contrôle-qualité contenus dans ce rapport ont été vérifiés et validés par:



Alex Thibert
Membre OCQ #2020-05

Alex Thibert, B.Sc., Chimiste, Montréal, Analyste 2, Chimiste à l'entrainement



Leadina Sanchez Barboza, M.Sc., Chimiste, Ste-Foy, Analyste II

Bureau Veritas a mis en place des procédures qui protègent contre l'utilisation non autorisée de la signature électronique et emploie les «signataires» requis, conformément à l'ISO/CEI17025. Pour la validation spécifique à un groupe de services, veuillez vous référer à la page des Signatures de validation si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Pour les noms de validation des analystes/superviseurs spécifiques à un service, veuillez vous référer à la section Résumé de l'analyse si elle est incluse, sinon disponible sur demande. Ce rapport est autorisé par {0}, {1}, responsable des opérations des laboratoires {3} du {2}.

Bureau Veritas 2690, Avenue Dalton, Sainte-Foy, Québec G1P 3S4 Tél.: (418) 658-5784 Télécopieur: (418) 658-6594

eCDR: Q100114

Délai requis:	Délai régulier
Date d'arrivée prévue:	2023-07-31 16:00
Soumis par:	Veronik Morin
Soumis à:	Ville de Quebec (Env lab)

Information facture

Dest.: COMPTES PAYABLE
CIMA+ s.e.n.c.
1190-B, rue de Courchevel
Bureau 501
Lévis , QC , G6W 0M6
Envoyer à:
payable@cima.ca

Information rapport

Dest.: Véronik Morin
CIMA+ s.e.n.c.
300–1145, boul. Lebourgneuf
Québec , QC , G2K 2K8
Envoyer à:
veronik.morin@cima.ca

Information Projet

 # Soumission: C20333
Bon de commande:
No. projet: Q2130128-200
Adresse du site: Sorel

C339078 COC

Liste des délais analytiques

A: Délai régulier

Id. échantillon client	eCDR réf.	Date et heure de prélèvement	Matrice	Nbre. cont	COV dans l'eau	HAP dans l'eau	HP (C10-C50) dans les eaux	Métaux extractibles totaux
PO23-1-280723	1	2023-07-28	EAU SOUTERRAINE	4	A	A	A	A
PO23-2-280723	2	2023-07-28	EAU SOUTERRAINE	4	A	A	A	A
DUP1-280723	3	2023-07-28	EAU SOUTERRAINE	4	A	A	A	A

Les délais sont approximatifs et peuvent changer. Consultez votre rapport de confirmation de projet pour connaître la date d'échéance précise.

Renseignements sur la soumission

 # d'échantillons: 3

Détails: envoyé le rapport à JuanSebastian.Sanchez@cima.ca

Registre des modifications de l'eCDR

Modifié par	Date de la modification	Changements	Commentaires
Veronik Morin	31 Jul 23 14:58:31	Analyses demandées, Information sur l'échantillon	
Veronik Morin	31 Jul 23 15:00:12	Analyses demandées	
Veronik Morin	31 Jul 23 15:00:39	Notes/Commentaires, Analyses demandées, Information sur l'échantillon	

REÇU le
31 JUIL. 2023
par: NDI

15h45
Client
Glacière oui
Sceau non
T-328
T°: 9, 10, 11

18. Étude hydraulique, Nouveau port de Sorel – Construction d’un quai

QSL – Arrimage Québec

Étude hydraulique

Nouveau port Sorel – Construction d'un quai



Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
8 novembre 2024 – Révision 6

QSL – Arrimage Québec

Étude hydraulique

Nouveau port Sorel – Construction d'un quai

Préparé sous supervision par : Roxanne Tremblay

Roxanne Tremblay, CPI
Nº de membre OIQ : 6043231

Pierre-Marc Pelletier, ing., M. Sc.
Nº de membre OIQ : 5019504

Vérifié par : 2024-11-08

Yann Ropars, ing., M. Sc.
Nº de membre OIQ : 34683

300-1145, boulevard Lebourgneuf
Québec, QC G2K2K8

Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
8 novembre 2024 – Révision 6

Propriété et confidentialité

À moins d'entente entre CIMA+ s.e.n.c. et son client à l'effet contraire, tous les documents, qu'ils soient imprimés ou électroniques, ainsi que tous les droits de propriété intellectuelle qui y sont contenus, appartiennent exclusivement à CIMA+ s.e.n.c., laquelle réserve tous ses droits d'auteur. Toute utilisation ou reproduction sous quelque forme que ce soit, même partielle, est strictement interdite à moins d'obtenir l'autorisation de CIMA+ s.e.n.c.

Registre des révisions et émissions			
Nº de révision	**Révisé par**	**Date**	**Description de la modification et/ou de l'émission**
A	Y.R.	2022-07-07	Version préliminaire
0	Y.R.	2023-07-07	Version pour commentaires
1	Y.R.	2024-02-01	Version pour commentaires – Révision 1
2	Y.R.	2024-03-04	Version pour commentaires – Révision 2
3	Y.R.	2024-04-08	Version pour commentaires – Révision 3
4	Y.R.	2024-04-15	Version pour commentaires – Révision 4
5	Y.R.	2024-06-17	Version pour commentaires – Révision 5
6	Y.R.	2024-11-08	Version pour commentaires – Révision 6

Tableau des ressources impliquées

En plus des signataires du présent rapport, les personnes suivantes ont également participé à l'étude et la rédaction du rapport en tant qu'experts techniques au sein de l'équipe de projet :

Nom	Discipline
Camille Morin, stagiaire	Hydraulique
Pablo Gonzales, ing. M. Sc.	Hydraulique

Table des matières

1. Mise en contexte 1

2. Objectifs 2

3. Méthodologie 3

4. Limitations 4

5. Description du terminal projeté 5

6. Construction et paramétrisation du modèle hydrodynamique 7

6.1 Domaine modélisé 7
6.2 Description du modèle hydrodynamique 8
6.3 Information bathymétrique utilisée 9
6.4 Description du maillage 11
6.5 Paramètres de modélisation 13
6.6 Conditions frontières du modèle 13
6.7 Impact des changements climatiques 21

7. Calibration et validation du modèle hydrodynamique 23

7.1 Calibration 23
7.2 Validation 25
7.3 Analyse de sensibilité 26

8. Analyse de l'impact hydrodynamique du nouveau terminal 27

8.1 Scénarios de modélisation 27
8.2 Résultats des modélisations 28
8.2.1 Figures de comparaison 32
8.2.2 Scénario de crue 100 ans 35
8.2.3 Scénario de crue 20 ans 38
8.2.4 Scénario de crue 2 ans 41

9. Conditions de vagues 44

9.1 Radiales et fetchs 45
9.2 Estimation des vagues par modèle de génération 48

10. Analyse des cartes de glace 51

10.1 Méthodologie 53
10.2 Résultats par fréquence de dépassement 54
10.3 Résultats par fréquence d'occurrence 57
10.4 Analyse des résultats 58

11. Impact de la structure projeté sur la dynamique des glaces 59
11.1 Revue de littérature 59
11.2 Dynamique des glaces en conditions actuelles 60
11.3 Impact de la structure projetée 61
11.4 Pont d'approche 63
11.5 Impact de laisser la barge transversale en hiver 63

12. Estimation des épaisseurs de glace extrêmes 65
12.1 Analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées 65
12.2 Analyse statistique des épaisseurs de glace thermique 67
12.3 Analyse des résultats 71

13. Force de glace 72

14. Dynamique sédimentaire 74

15. Protection contre l'affouillement 75

16. Conclusions et recommandations 77

17. Clause de limitation des responsabilités 78

18. Normes et références 79

Liste des tableaux

Tableau 6-1 : Débits dans le fleuve Saint-Laurent à l'île Saint-Ours selon la période de retour (loi normale) 17
Tableau 6-2 : Débit dans la rivière Richelieu selon la période de retour (loi normale) 20
Tableau 7-1 : Niveau moyen à la hauteur des stations de pompage calculé le 2 juin 2022 24
Tableau 7-2 : Conditions frontières du modèle pour les trois jours analysés 25
Tableau 7-3 : Comparaison des niveaux d'eau simulés avec les résultats du modèle d'Environnement Canada pour trois jours présentant des conditions hydrométriques différentes 25
Tableau 7-4 : Écarts de vitesse et de niveau entre les scénarios avec débit nul dans les chenaux et dans le Richelieu et la simulation de référence 26
Tableau 8-1 : Conditions frontières des scénarios de modélisation 27
Tableau 8-2 : Niveau moyen entre les deux stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition actuelle 28
Tableau 8-3 : Niveau moyen entre les deux stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition projetée 28
Tableau 8-4 : Coordonnées (MTM zone 8) des points d'analyse des vitesses autour du quai projeté 30
Tableau 8-5 : Vitesse (m/s) aux huit points d'analyse en condition actuelle 30
Tableau 8-6 : Vitesse (m/s) aux huit points d'analyse en condition projetée 30
Tableau 9-1 : Valeurs numériques des fetchs effectifs selon le point de calcul (km) 48
Tableau 9-2 : Conditions de vagues en fonction de la période de retour pour différentes périodes d'englacement 49
Tableau 9-3 : Conditions de vagues retenues en fonction de la période de retour 50

Tableau 10-1 : Durée d'englacement et nombre de cartes analysées pour les saisons hivernales de 2012 à 2022 54
Tableau 10-2 : Fréquence et nombre de jours moyen annuel de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm 55
Tableau 10-3 : Fréquence et nombre de jours moyens annuels d'occurrence de banquises et de sarrasins de différentes épaisseurs 57
Tableau 12-1 : Épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées selon la période de retour (loi Weibull, maximum de vraisemblance) (1985 à 2001) 66
Tableau 12-2 : Épaisseurs de glace maximales annuelles selon la période de retour (loi Weibull, maximum de vraisemblance) (1990 à 2017) 70
Tableau 12-3 : Comparaison des résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées et calculées 71
Tableau 13-1 : Forces dynamiques exercées par la glace selon la norme CSA-S6-19 – Option A 73
Tableau 13-2 : Forces dynamiques exercées par la glace selon la norme CSA-S6-19 – Option B 73
Tableau 13-3 : Forces exercées par la glace sur le massif de béton des ducs d'Albe 73
Tableau 15-1 : Taille des pierres stables dont 30 % sont plus petites en poids 76
Tableau 15-2 : Calibre de protection recommandée 76

Liste des figures

Figure 5-1 : Vue en plan du quai projeté – Option A 5
Figure 5-2 : Vue en élévation du quai projeté – Option A 5
Figure 5-3 : Vue en plan du quai projeté – Option B 6
Figure 5-4: Vue en plan du quai projeté – Option B 6
Figure 6-1 : Limites du modèle hydrodynamique (en pointillé rouge) et localisation de la station hydrométrique à Sorel 7
Figure 6-2 : Sources d'information utilisées pour l'élaboration du modèle numérique de terrain 9
Figure 6-3 : Modèle numérique de terrain complet du fleuve de l'île Saint-Ours à Sorel 10
Figure 6-4 : Modèle numérique de terrain dans la zone du terminal portuaire projeté 11
Figure 6-5 : Maillage raffiné dans la zone du futur terminal portuaire en condition actuelle 12
Figure 6-6 : Maillage raffiné dans la zone du futur terminal portuaire en condition projetée 12
Figure 6-7 : Débits minimums, moyens et maximums annuels de 1970 à 2020 14
Figure 6-8 : Débits minimums, moyens et maximums annuels de 1980 à 2020 15
Figure 6-9 : Résultats de l'analyse statistique des débits maximums journaliers dans le fleuve Saint-Laurent 16
Figure 6-10 : Résultats de l'analyse statistique des débits minimums journaliers dans le fleuve Saint-Laurent 17
Figure 6-11 : Niveau d'eau à Sorel en fonction du débit dans le Saint-Laurent 18
Figure 6-12 : Résultats de l'analyse statistique des débits journaliers maximums dans la rivière Richelieu 19
Figure 6-13 : Résultats de l'analyse statistique des débits journaliers minimums dans la rivière Richelieu 20
Figure 6-14 : Débit annuel moyen à Sorel pour la période de référence (en noir) et les scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) – Ouranos, 2016 21

Figure 6-15 : Cycle annuel moyen des scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) dans les 20 dernières années de la période (2045-2065), comparativement au scénario de référence (en gris) couvrant la période de 1990-2010 – Ouranos, 2016 22
Figure 7-1 : Localisation du transect de jaugeage retenu (pointillé rouge)..... 23
Figure 7-2 : Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure) 23
Figure 7-3 : Profil transversal de vitesse entre les deux stations de pompage le 2 juin 2022 (rive est du fleuve à droite sur la figure) 24
Figure 8-1 : Profil transversal de vitesse entre les stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition actuelle 28
Figure 8-2 : Profil transversal de vitesse entre les stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition projetée..... 29
Figure 8-3 : Localisation des points d'analyse des vitesses d'écoulement autour du quai projeté 29
Figure 8-4 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai – Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans..... 32
Figure 8-5 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans 32
Figure 8-6 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans..... 33
Figure 8-7 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans..... 33
Figure 8-8 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans..... 34
Figure 8-9 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans. 34
Figure 8-10 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans..... 35
Figure 8-11 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans 35
Figure 8-12 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans..... 36
Figure 8-13 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans 36
Figure 8-14 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue 100 ans 37
Figure 8-15 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 100 ans 37
Figure 8-16 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans..... 38
Figure 8-17 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans 38
Figure 8-18 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans..... 39
Figure 8-19 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans 39
Figure 8-20 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans 40
Figure 8-21 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans 40
Figure 8-22 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans..... 41
Figure 8-23 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans 41
Figure 8-24 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans..... 42
Figure 8-25 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans 42
Figure 8-26 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans 43
Figure 8-27 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans 43
Figure 9-1 : Rose des vents de 1994 à 2021 lacs Saint-Pierre..... 44
Figure 9-2 : Localisation des points de calculs des radiales et des fetchs..... 45

Figure 9-3 : Rose des radiales pour le point O1 46
Figure 9-4 : Rose des radiales pour le point O2 46
Figure 9-5 : Rose des fetchs pour le point O1 47
Figure 9-6 : Rose des fetchs pour le point O2 47
Figure 9-7 : Rose des vagues – Vents mesurés au lac Saint-Pierre et appliqués aux valeurs combinées de fetchs de O1 et O2 49
Figure 10-1 : Localisation du terminal portuaire projeté de Sorel et de la zone d'analyse (point rouge) sur la carte de glace du 27 janvier 2019 52
Figure 10-2 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm 55
Figure 10-3 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm en fonction du mois 56
Figure 10-4 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 30 cm en fonction du mois 56
Figure 10-5 : Nombre moyen de jours par mois avec présence de banquise ou de sarrasins 57
Figure 11-1 : Images satellitaires en période hivernale – Google Earth 60
Figure 11-2 : Images satellitaires en période hivernale du quai Ultramar à Lévis – Google Earth 62
Figure 12-1 : Épaisseur de glace maximale annuelle mesurée de 1985 à 2001 65
Figure 12-2 : Résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées maximales annuelles (1985 à 2001) 66
Figure 12-3 : Comparaison des épaisseurs de glace mesurées et calculées pour la période de 1985 à 2001 – Station de l'île Saint-Ours 67
Figure 12-4 : Comparaison des épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées et calculées pour la période de 1985 à 2001 – Station de l'île Saint-Ours 68
Figure 12-5 : Épaisseurs de glace maximale annuelles – Équation de Stefan 69
Figure 12-6 : Résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace thermique maximales annuelles (1990 à 2017) 70

Liste des annexes

Annexe A Résultats modélisation hydraulique 2D
Annexe B AtkinsRéalis. Note technique – Nouveau port Sorel – Construction d'un quai – Modélisation 3D des conditions d'écoulements
Annexe C CIMA+, Rapport – Nouveau port Sorel – Construction d'un quai – Dynamique sédimentaire
Annexe D Vue en plans des protections typiques contre l'affouillement
Annexe E Localisation des herbiers aquatiques – AtkinsRéalis
Annexe F Vue en plans des protections retenues contre l'affouillement

1. Mise en contexte

L'entreprise QSL-Arrimage Québec Canada a confié à CIMA+ le mandat de conception d'un futur quai de transbordement sur l'ancien site d'une centrale thermique d'Hydro-Québec en bordure du fleuve Saint-Laurent à Sorel-Tracy. Cette nouvelle infrastructure sera arrimée à la structure des fondations de l'une des deux anciennes stations de pompage de la centrale thermique, soit celle située du côté amont.

Ce présent rapport présente l'analyse des conditions hydrodynamiques du fleuve Saint-Laurent dans le secteur à l'étude en conditions actuelles et projetées ainsi que les conditions de glace extrêmes attendues.

Plus précisément, le rapport présente :

+ L'évaluation des niveaux d'eau et des courants en condition d'hydraulicité faible et moyenne, ainsi que pour des périodes de retour de crues de 2 ans, 20 ans et 100 ans;
+ L'analyse des conditions de glaces;
+ L'analyse des conditions de vagues générées par le vent.

L'évaluation des niveaux d'eau et des courants pour différentes conditions d'écoulement a été réalisée à partir d'un modèle hydrodynamique bidimensionnel du Saint-Laurent couvrant le secteur entre Contrecœur et Sorel. Le modèle permet ainsi d'évaluer les conditions d'écoulement actuelles et projetées.

L'analyse des conditions de glaces dans la zone du terminal portuaire projeté a été réalisée à partir des cartes de glaces de 2019 à 2022 et des images satellites disponibles publiquement en période hivernale. L'analyse a été réalisée afin de décrire les conditions de glaces actuelles ainsi que l'impact du nouveau terminal sur celles-ci. Finalement, les épaisseurs de glace extrêmes ont été évaluées à partir des mesures d'épaisseurs de glaces mesurées par le Service canadien des glaces (SCG) et à partir des données de températures du secteur.

L'analyse des conditions de vagues a été réalisée en utilisant les vagues générées au large des infrastructures à l'étude à partir de vents mesurés de 1994 à 2022 au lac Saint-Pierre. Cette analyse a été réalisée pour une période d'englacement réduite afin de tenir compte de l'impact des changements climatiques et permet d'obtenir des conditions de vagues associés à différentes périodes de retour. Il est à noter que les vagues de navires n'ont pas été considérées et qu'elles pourraient être du même ordre de grandeur que les vagues de vents. Une campagne de terrain serait nécessaire pour être en mesure d'évaluer les vagues de navires et leur contribution à l'agitation au droit du futur quai.

Les résultats obtenus permettent de caractériser les conditions d'écoulement actuelles et projetées pour différentes conditions de crues et d'émettre des recommandations quant aux épaisseurs de glace et aux conditions de vagues qui devraient être considérées pour la conception de l'ouvrage projeté.

2. Objectifs

Le principal objectif de la présente étude est de fournir au concepteur les conditions hydrodynamiques qui devraient être considérées pour la conception de l'ouvrage projeté et de décrire leur impact sur les conditions d'écoulement du secteur. De manière plus spécifique, les objectifs sont les suivants :

1. Déterminer les niveaux d'eau et les courants en condition actuelle et future pour un débit d'étiage actuel et d'étiage en climat futur, un débit moyen et en conditions de crues de période de retour 2 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans. Les conditions d'écoulement pour un débit correspondant à 50 % du débit de période de retour 2 ans sont aussi décrites;
2. Émettre des recommandations quant aux épaisseurs de glace extrêmes associées à différentes périodes de retour et à la résistance effective de la glace qui devraient être retenues pour les calculs d'effort de glace;
3. Émettre des recommandations quant aux conditions de vagues générées au large en fonction des conditions de glace actuelle et future.

3. Méthodologie

La méthodologie sommaire employée pour répondre aux objectifs spécifiques est la suivante :

- La revue de la documentation disponible;
- Le traitement des données disponibles;
- L'élaboration d'un modèle numérique de terrain;
- Le jaugeage du fleuve Saint-Laurent dans la zone de l'aménagement projeté;
- L'élaboration et la calibration d'un modèle hydrodynamique bidimensionnel;
- La modélisation de l'écoulement en conditions existantes et futures;
- L'analyse des conditions de vagues au large des infrastructures;
- L'analyse des cartes de glace produites par la Garde côtière canadienne;
- L'analyse qualitative de l'impact du nouveau terminal sur la dynamique des glaces;
- L'analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées par le SCG;
- L'analyse statistique des épaisseurs de glace thermique estimées à partir des degrés-jour de gel cumulés, calibrées sur les mesures du SCG;
- Le calcul préliminaire des efforts de glace sur les pieux et les ducs d'albe.

4. Limitations

Le présent rapport comprend les limitations suivantes, dont il est important de prendre connaissance :

1. L'intensité des courants et les épaisseurs de glace sont définies dans ce rapport, mais il est de la responsabilité du concepteur d'établir les forces en découlant sur les structures;
2. Il est présumé que les fonds marins sont stables et qu'une étude de transport sédimentaire n'est pas requise;
3. Les mesures de protection contre l'affouillement seront dimensionnées à partir des résultats de modélisations 2D en conditions de crue;
4. Aucune vérification structurale des infrastructures présentées n'a été faite dans le cadre du présent rapport.

5. Description du terminal projeté

Deux scénarios de conception sont envisagés pour le nouveau quai de transbordement. Le premier scénario de conception envisagé (l'option A) consiste en l'installation de deux barges retenues par deux ducs-d'Albe et six pieux chacune. Une barge Tobias de 120 m x 32 m sera arrimée à la station de pompage amont de l'ancienne centrale thermique perpendiculairement à l'écoulement. Cette barge sera retenue par un total de six pieux (trois de chaque côté) de 600 mm de diamètre. À son extrémité, l'installation d'une seconde barge Tobias de 120 m x 32 m parallèle à l'écoulement est prévue. Cette dernière sera retenue par six pieux (trois de chaque côté) de 600 mm de diamètre et deux ducs-d'Albe de 12 m x 21 m et 12 m x 28,5 m ancrés par 12 pieux verticaux chacun de 1 800 mm de diamètre. Les figures 5-1 et 5-2 montrent respectivement la vue en plan et la vue en élévation du quai projeté de l'option A.

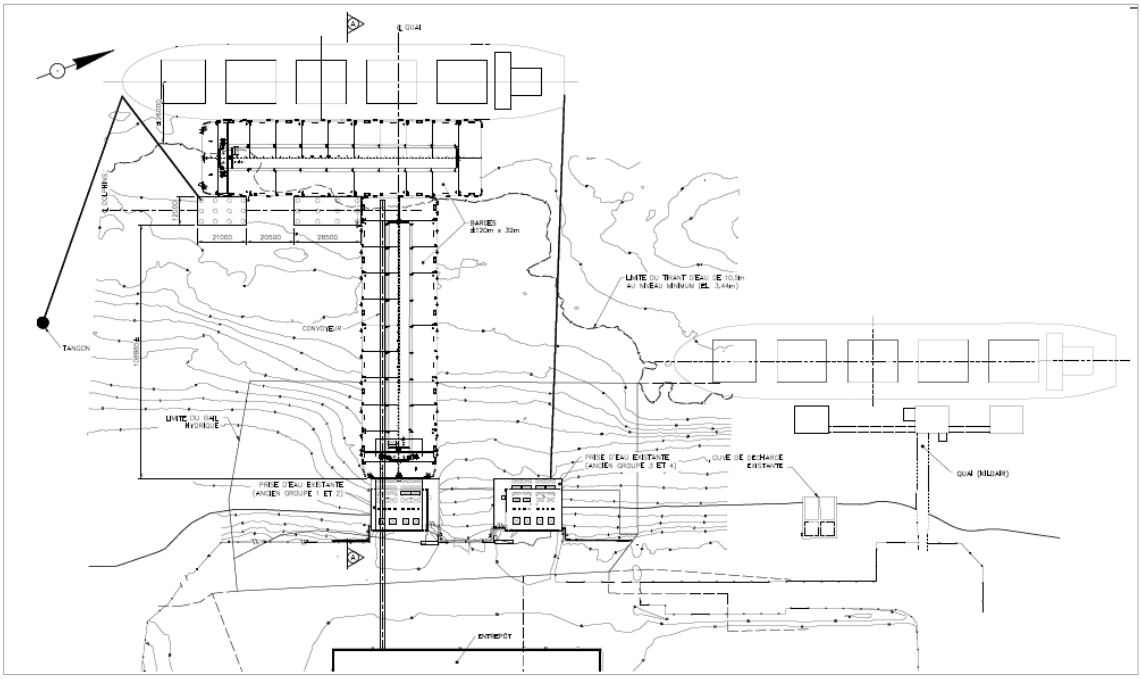


Figure 5-1 : Vue en plan du quai projeté – Option A

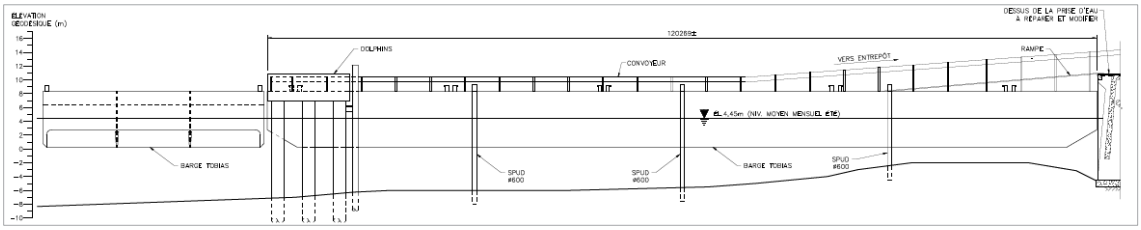


Figure 5-2 : Vue en élévation du quai projeté – Option A

Il est à noter que la principale différence entre l'option A et l'option B est le remplacement de la barge perpendiculaire à l'écoulement par un pont d'approche.

Le deuxième scénario de conception considéré (option B) consiste en l'installation d'une barge Tobias de 120 m x 32 m positionnée à l'extrémité d'un pont d'approche (soffite à 9,48 m). Notons que la barge Tobias est retenue par un total de six pieux (trois de chaque côté) de 600 mm de diamètre. Le pont d'approche, d'une largeur de 20 m et d'une longueur totale de 109,7 m, consiste en un tablier tel qu'utilisé typiquement sur les ponts routiers séparé en trois (3) travées de 32 m reposant sur trois (3) unités de fondation. Le tablier prend également appui sur l'ancienne station de pompage de la centrale thermique. Le tablier est composé d'une dalle en béton armé de 200 mm et de sept (7) poutres en acier. Les unités de fondation intermédiaires sont composées de deux (2) pieux caissons verticaux de 2 m de diamètre au-dessus desquels repose un chevêtre en béton armé. L'unité de fondation à l'extrémité, mesurant 12,6 m sur 28,5 m et reposant sur 12 pieux caissons verticaux de 2 m de diamètre, sert aussi de duc d'Albe pour la barge Tobias. Les figures 5-3 et 5-4 montrent respectivement la vue en plan et la vue en élévation du quai projeté de l'option B.

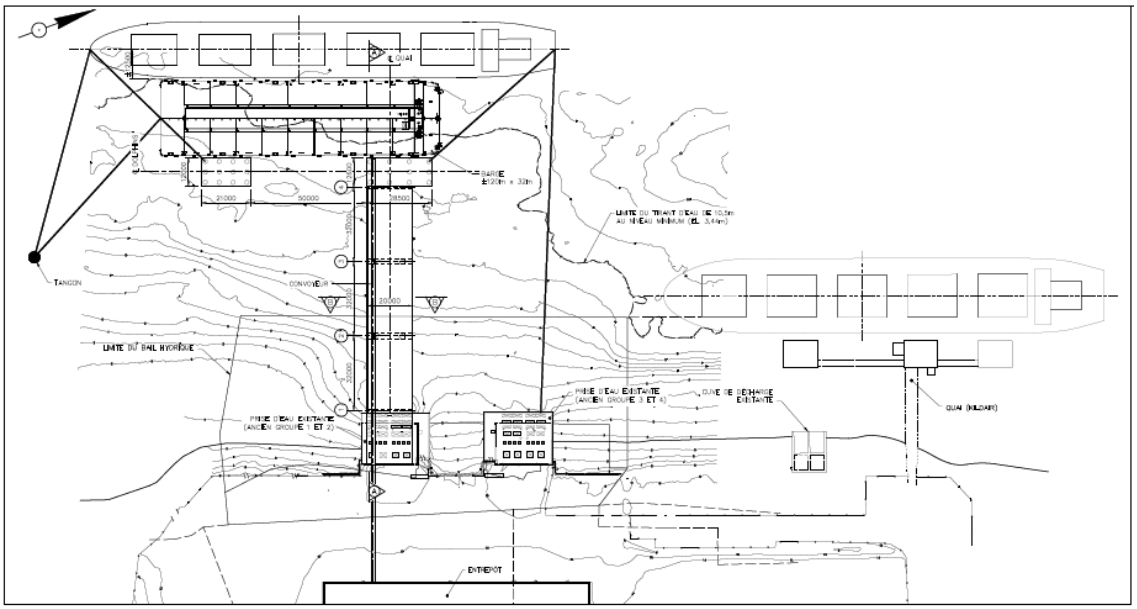


Figure 5-3 : Vue en plan du quai projeté – Option B

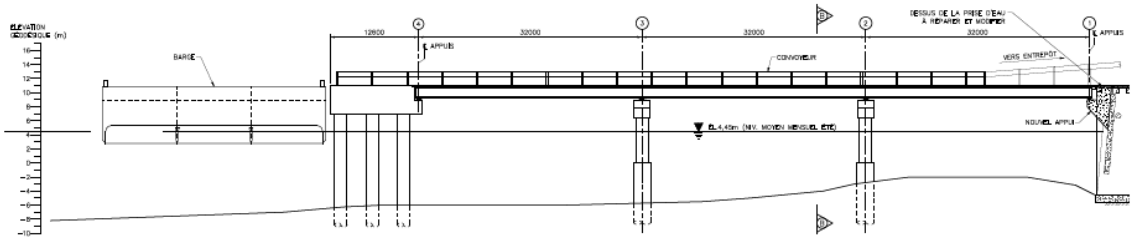


Figure 5-4: Vue en plan du quai projeté – Option B

6. Construction et paramétrisation du modèle hydrodynamique

6.1 Domaine modélisé

Le modèle hydrodynamique développé dans le cadre de l'étude couvre le tronçon du fleuve Saint-Laurent entre le secteur de l'île Saint-Ours à l'amont et de la ville de Sorel-Tracy à l'aval, soit environ 18 km. La figure 6-1 montre la localisation des limites du modèle. Le choix du domaine de modélisation s'explique par la disponibilité des données hydrométriques pour l'imposition des conditions frontières. La localisation des limites amont et aval permet également d'éloigner la zone d'intérêt de l'influence du champ de courants aux limites du modèle.

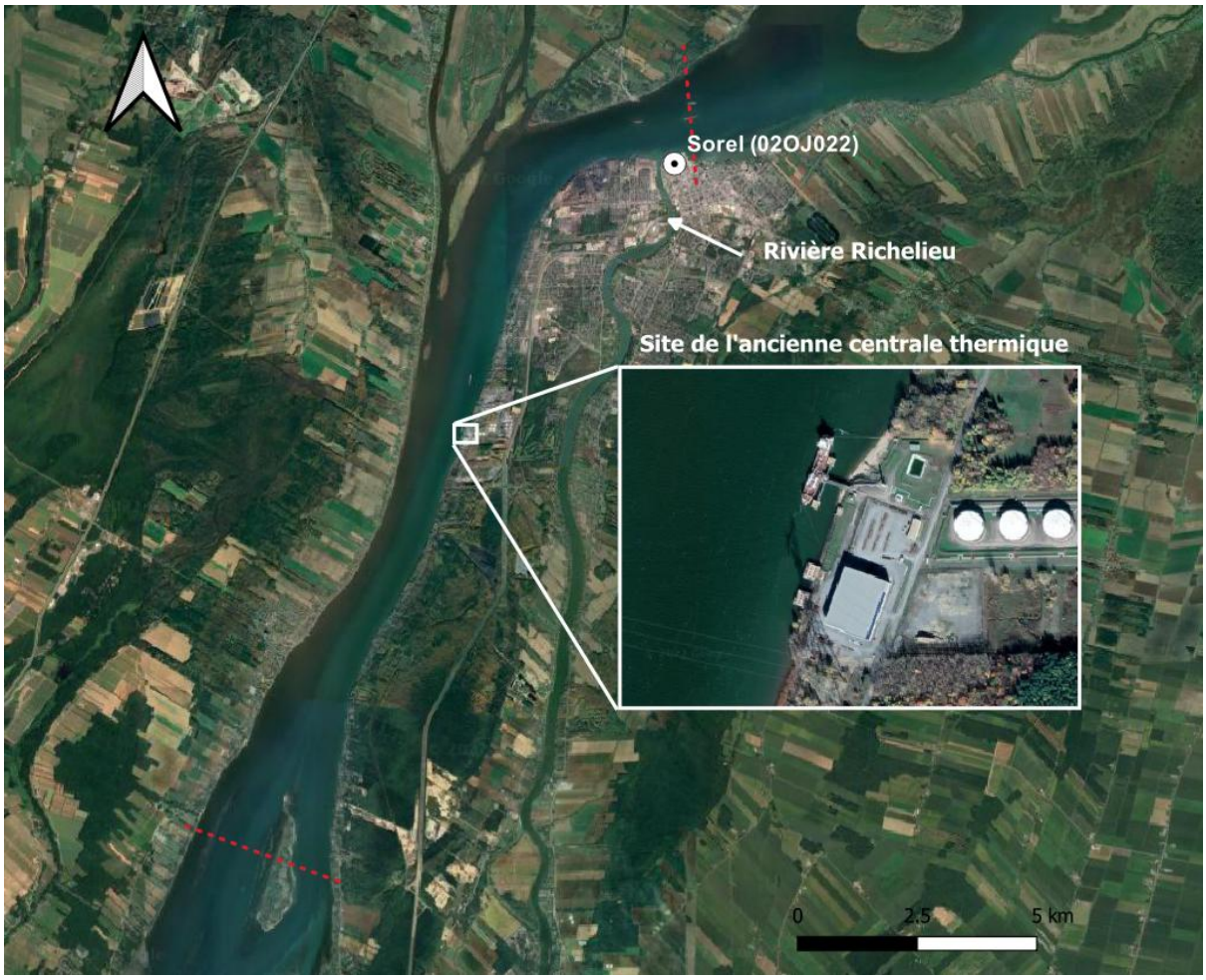


Figure 6-1 : Limites du modèle hydrodynamique (en pointillé rouge) et localisation de la station hydrométrique à Sorel

À l'aval du domaine modélisé, une proportion du débit du fleuve Saint-Laurent est acheminée dans des chenaux autour de l'île aux Castors, de l'île Dupas et de l'île Saint-Ignace. Il faut également noter que la rivière Richelieu se déverse dans le fleuve Saint-Laurent à l'aval du modèle.

6.2 Description du modèle hydrodynamique

La modélisation hydrodynamique bidimensionnelle est réalisée à l'aide du modèle SRH-2D (Sedimentation and River Hydraulics) implémenté dans le logiciel SMS (Surface Water Modeling System). SMS est un outil employé pour construire et simuler des modèles dans le domaine des écoulements à surface libre. Ce logiciel a été développé initialement par le Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL) à l'Université Brigham Young aux États-Unis. Son développement est désormais dirigé par l'entreprise privée Aquaveo LLC. SRH-2D est un modèle numérique robuste de type « couvrant-découvrant » basé sur la méthode des volumes finis. Le modèle a été développé par les U. S. Bureau of Reclamation en collaboration avec deux autres agences. Dans ce modèle, l'espace est discrétisé sous la forme d'une grille non structurée d'éléments triangulaires, pouvant être affiné dans les zones d'intérêt particulières et évitant l'utilisation systématique des modèles intégrés, comme c'est le cas de la méthode des différences finies. Ce modèle a été utilisé avec succès dans de nombreuses analyses hydrauliques réalisées par CIMA+.

Le modèle SRH-2D résout les équations d'écoulement à surface libre intégrées sur la profondeur, dites « équations de Saint-Venant ». Les principaux résultats à chaque élément du maillage de calcul sont la profondeur et les composantes de la vitesse moyenne sur la colonne d'eau.

Pour la présente analyse, les principales hypothèses du modèle hydrodynamique sont les suivantes :

- Aucune évolution de la géométrie des fonds n'est considérée, que cela soit dû à l'érosion ou au dépôt des sédiments;
- La glace (couvert, frasil ou glace flottante) et les débris emportés ne sont pas considérés et n'affectent pas les champs d'écoulement;
- Aucune modification aux caractéristiques de viscosité de l'eau n'est considérée malgré la possible forte charge en sédiments;
- La rugosité du fleuve (0,025) et celle des berges (0,04) demeurent constantes sur l'ensemble du domaine modélisé;
- La pression atmosphérique est constante et normale sur l'ensemble du domaine modélisé;
- La vitesse moyenne est représentative de l'ensemble de la colonne d'eau;
- La pression est hydrostatique en tout point;
- Les effets du vent, de la houle ou de seiches ne sont pas modélisés.

6.3 Information bathymétrique utilisée

Le modèle numérique de terrain utilisé pour faire la modélisation des courants près des infrastructures projetées a été élaboré à partir des informations suivantes :

- Les données LiDAR du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs;
  - Les données bathymétriques NONNA10 du Service hydrographique du Canada (SHC);
  - Les données bathymétriques NONNA100 du Service hydrographique du Canada (SHC);
  - Le relevé bathymétrique réalisé le 4 décembre 2020 par WSP.

L'ensemble des données topographiques et bathymétriques a été converti dans le système de projection MTM zone 8 et dans le référentiel altimétrique CGVD28 (niveau moyen des mers). La localisation et l'étendue des relevés utilisés sont présentées à la figure 6-2. Le modèle numérique de terrain est présenté aux figures 6-3 et 6-4.

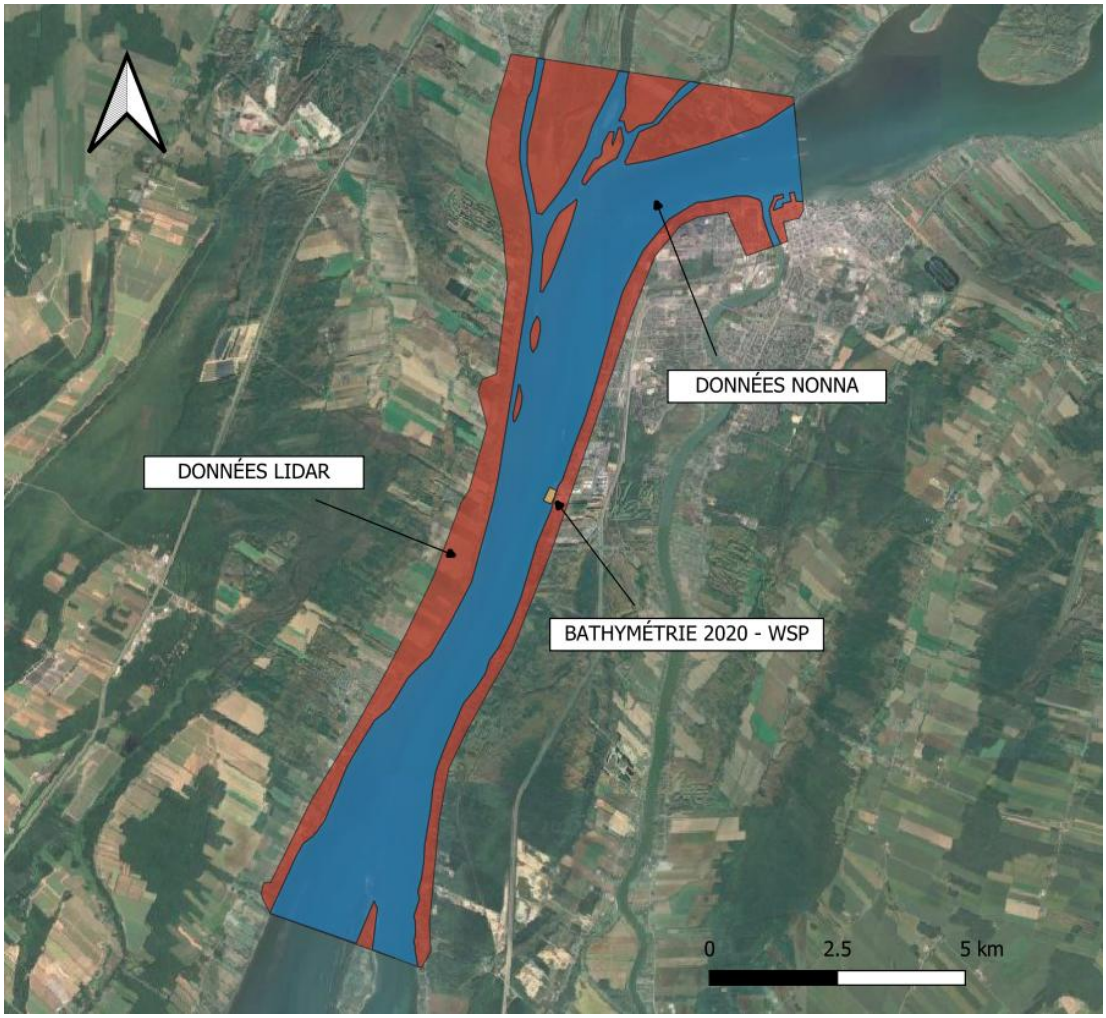


Figure 6-2 : Sources d'information utilisées pour l'élaboration du modèle numérique de terrain

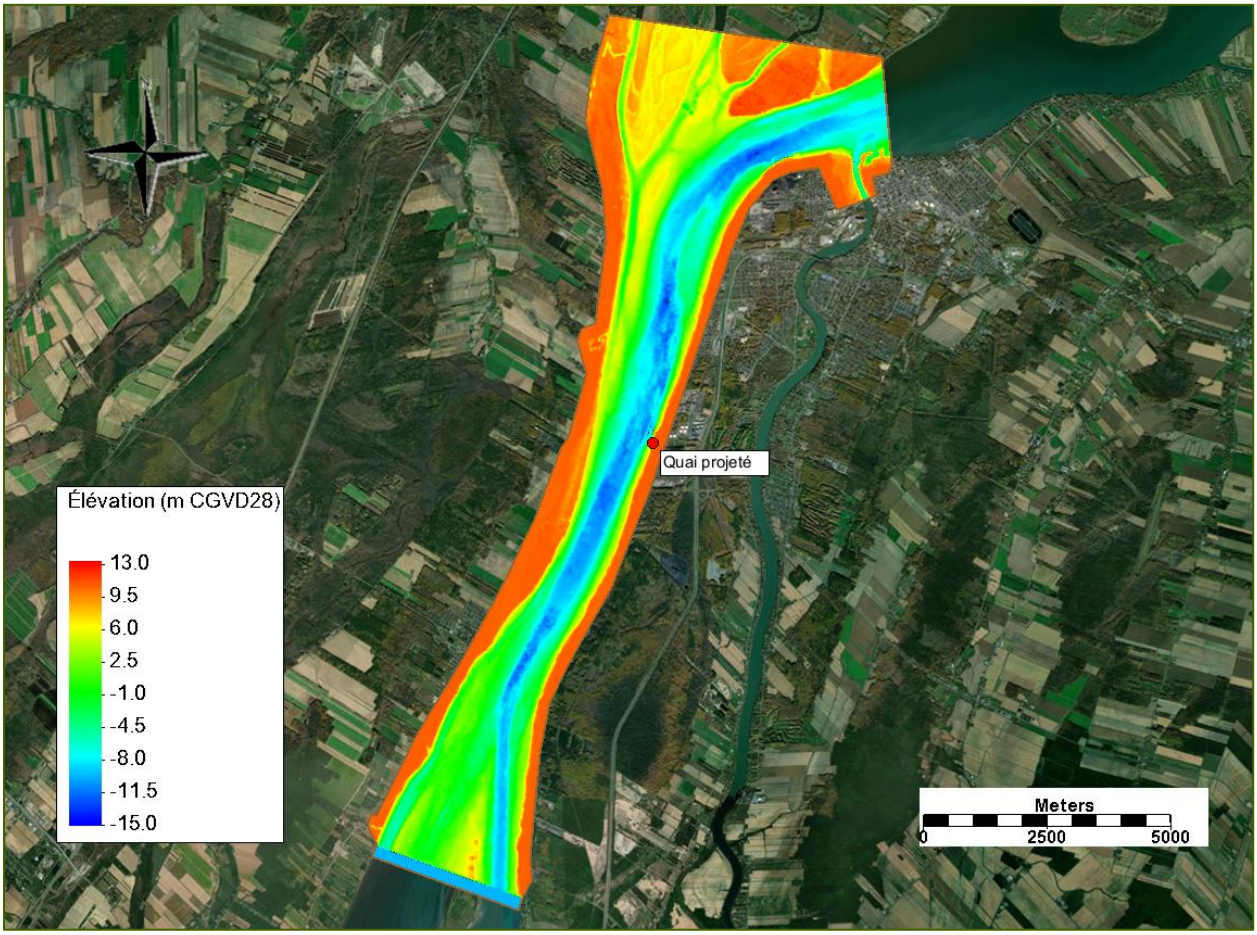


Figure 6-3 : Modèle numérique de terrain complet du fleuve de l'île Saint-Ours à Sorel

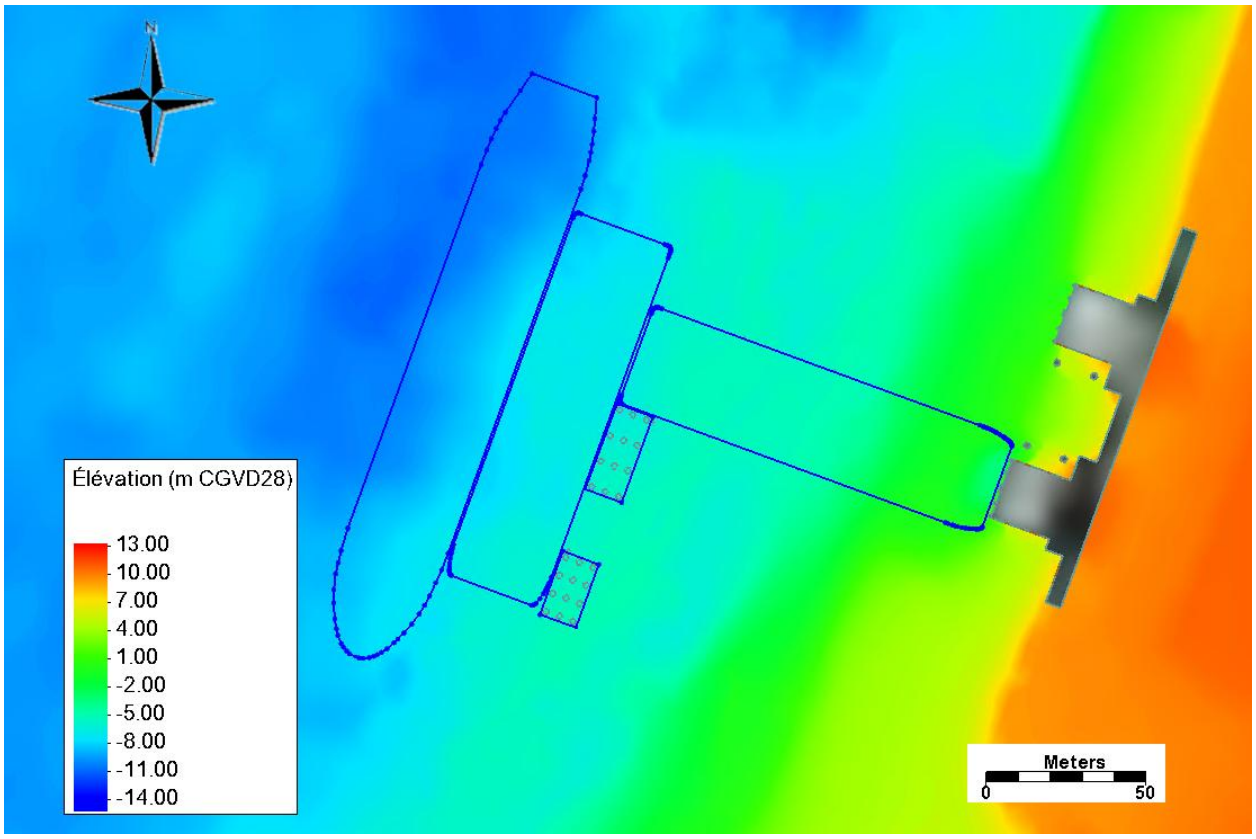


Figure 6-4 : Modèle numérique de terrain dans la zone du terminal portuaire projeté

6.4 Description du maillage

Le maillage non structuré utilisé pour représenter le domaine de modélisation est composé de mailles de 50 m. En condition actuelle, le maillage est localement réduit à 5 m dans un rayon de 300 m de l'emplacement du futur port et à 1 m dans les environs immédiats de la structure actuelle. En condition projetée, le maillage est également composé de mailles de 50 m à l'extrémité de la surface et est localement réduit à 5 m dans un rayon de 300 m de l'emplacement du futur port. Dans les environs immédiats du quai projeté, le maillage est raffiné jusqu'à environ 0,2 m. Les figures 6-5 et 6-6 présentent respectivement le maillage dans le secteur du terminal portuaire en condition actuelle et projetée. Il est à noter que l'option privilégiée en date du 30 novembre 2023 était l'option A. Pour cette raison, les modélisations hydrodynamiques ont été réalisées pour ce scénario seulement.

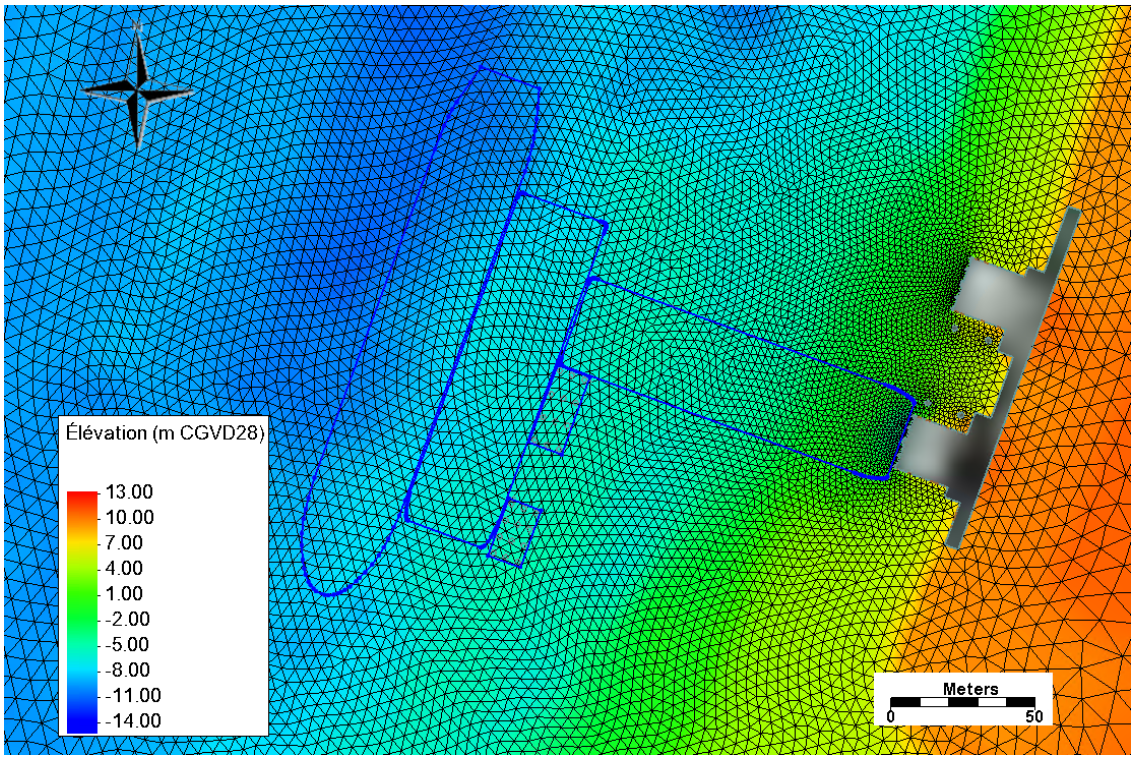


Figure 6-5 : Maillage raffiné dans la zone du futur terminal portuaire en condition actuelle

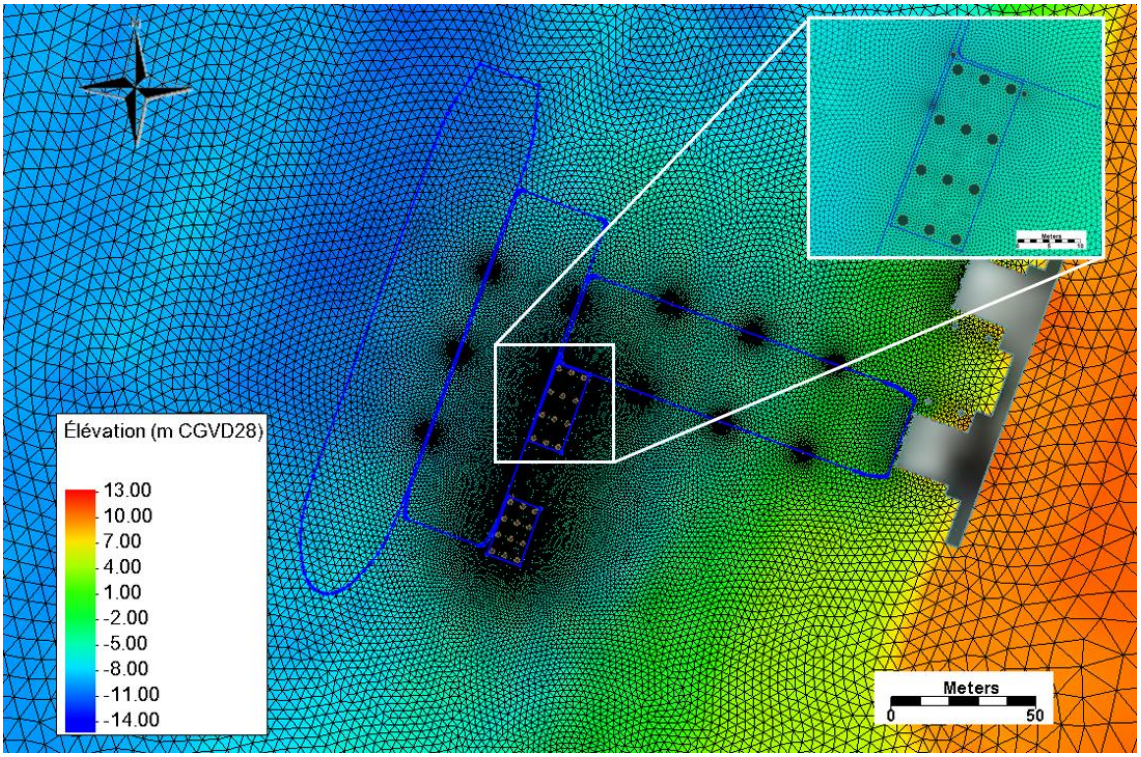


Figure 6-6 : Maillage raffiné dans la zone du futur terminal portuaire en condition projetée

6.5 Paramètres de modélisation

Le modèle utilise un pas de temps de 0,5 s. Chaque scénario est simulé pour une durée de 6 heures, jugée suffisante pour assurer la convergence du modèle tout en limitant le temps de calcul. Le solveur utilise la méthode CGM « Conjugate Gradient Method » avec préconditionnement par factorisation LU incomplète [1]. La méthode utilisée pour tenir compte de la friction est la loi de Manning avec un coefficient 0,025 imposé à l'ensemble du fleuve (à noter que cette valeur est issue de la calibration présentée ci-après) et un coefficient de 0,04 pour les berges.

6.6 Conditions frontières du modèle

La condition frontière amont imposée au modèle correspond au débit dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île Saint-Ours. Il n'y a aucun affluent entre la condition limite amont imposée à la hauteur de l'île Saint-Ours et la rivière Richelieu à l'aval du modèle. Aucune station hydrométrique ne permettant d'obtenir directement le débit souhaité, ce dernier est reconstitué à l'aide d'une adaptation de la méthode de Morse suggérée par Environnement Canada [2] à partir des données de cinq stations hydrométriques [3]. Selon cette méthode, le débit à l'île Saint-Ours est calculé en cumulant les débits du fleuve à Lasalle (02OA016), de la rivière des Mille-Îles (02OA003), de la rivière des Prairies (02OA004) et des tributaires. À la hauteur de l'île Saint-Ours, le seul tributaire est la rivière L'Assomption. Le débit à son exutoire est calculé en appliquant la correction pour les superficies non jaugées suggérée par Environnement Canada à partir des débits de la station hydrométrique de la rivière L'Assomption (02OB008) et de la rivière du Nord (02LC008). La série de débits reconstitués à la hauteur de l'île Saint-Ours couvre la période de 1970 à 2020. La figure 6-7 présente les débits minimums, moyens et maximums annuels obtenus à partir de cette série.

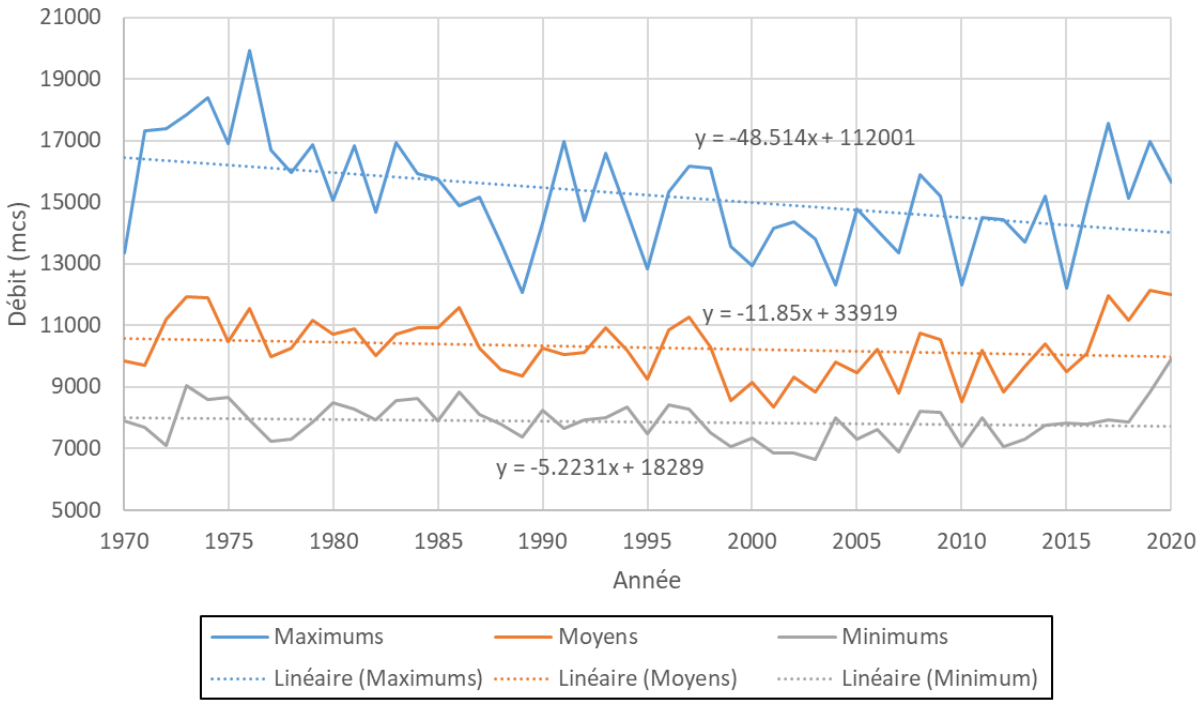


Figure 6-7 : Débits minimums, moyens et maximums annuels de 1970 à 2020

Il est à noter que les débits minimums, moyens et maximums annuels établis à partir de ces séries présentent tous une tendance générale à la diminution de 1970 à 2020. Afin d'obtenir les débits de crues dans le fleuve en fonction de périodes de retour, une analyse statistique sur la série de débits maximums de 1980 à 2020 a été réalisée. Les données de 1970 à 1979 n'ont pas été retenues pour l'analyse statistique en raison de problème d'homogénéité et de stationnarité de la série de données. Il est à noter que les tendances observées à la figure 6-7 ne sont pas aussi évidentes pour la période de 1980 à 2020 (voir la figure 6-8).

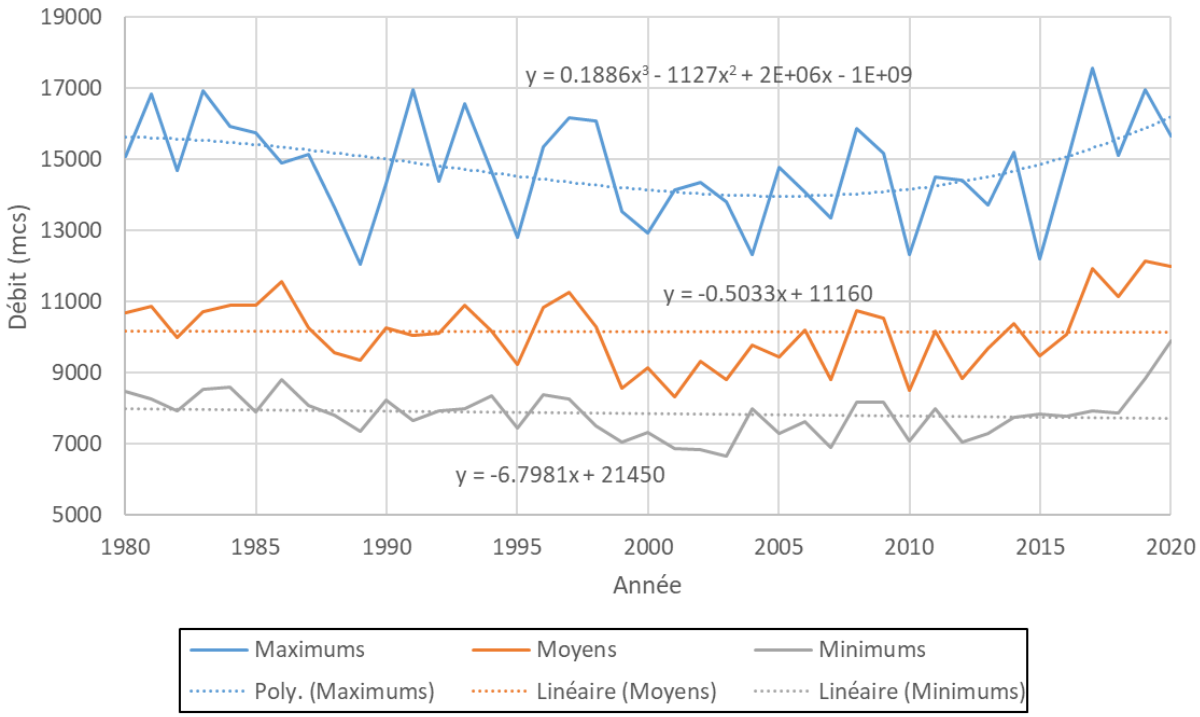


Figure 6-8 : Débits minimums, moyens et maximums annuels de 1980 à 2020

Les tendances observées pour la période de 1980 à 2020 ne permettent pas de conclure à une tendance à la haute ou à la baisse des débits maximums, moyens et minimums.

Les résultats de l'analyse statistique sur les données de la période de 1980 à 2020 sont présentés à la figure 6-9.

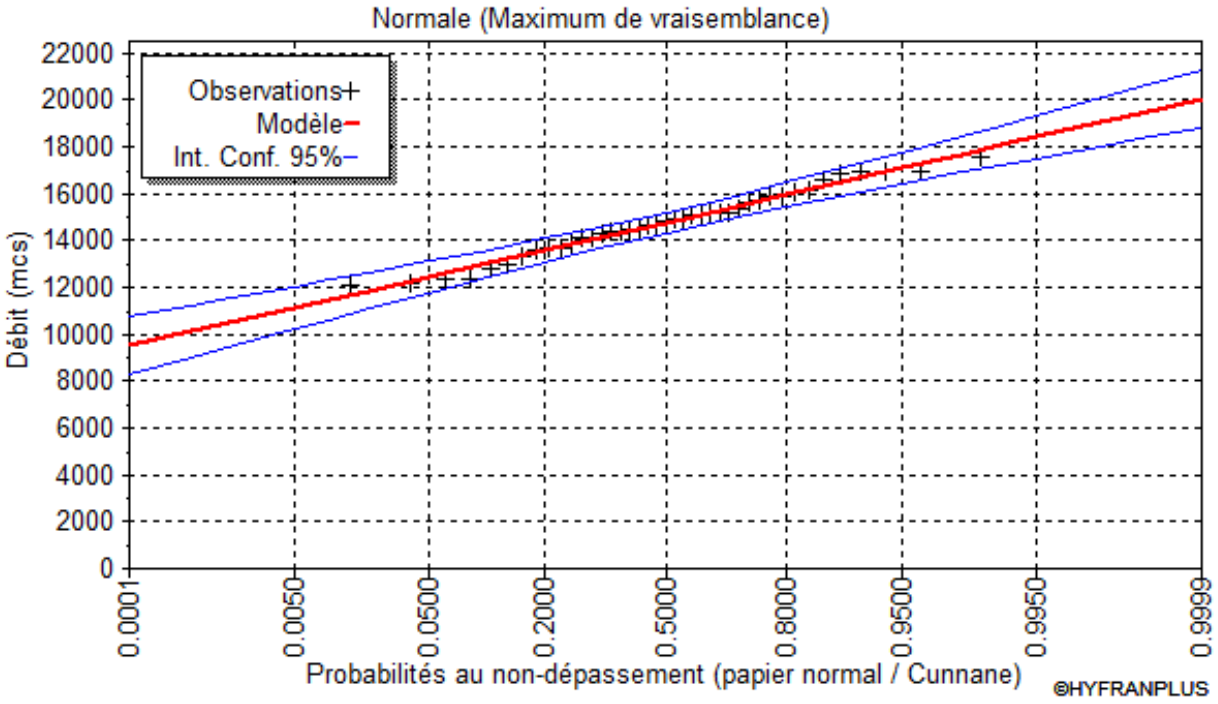


Figure 6-9 : Résultats de l'analyse statistique des débits maximums journaliers dans le fleuve Saint-Laurent

Le débit d'étiage de période de retour de 2 ans sur 7 jours consécutifs a été calculé en effectuant une analyse statistique sur la série de débits minimums des débits moyens journaliers sur 7 jours de 1985 à 2020. Le résultat de l'analyse statistique est présenté à la figure 6-10. Le débit d'étiage en condition de climat futur est, pour sa part, estimé selon l'étude d'Ouranos. Il est à noter que l'étude d'Ouranos se termine en 2011 et que la remontée observée dans les données récentes de débits et de niveaux d'eau n'est donc pas prise en compte par Ouranos (voir figure 6-8). La méthodologie est décrite plus en détail à la section 6.7.

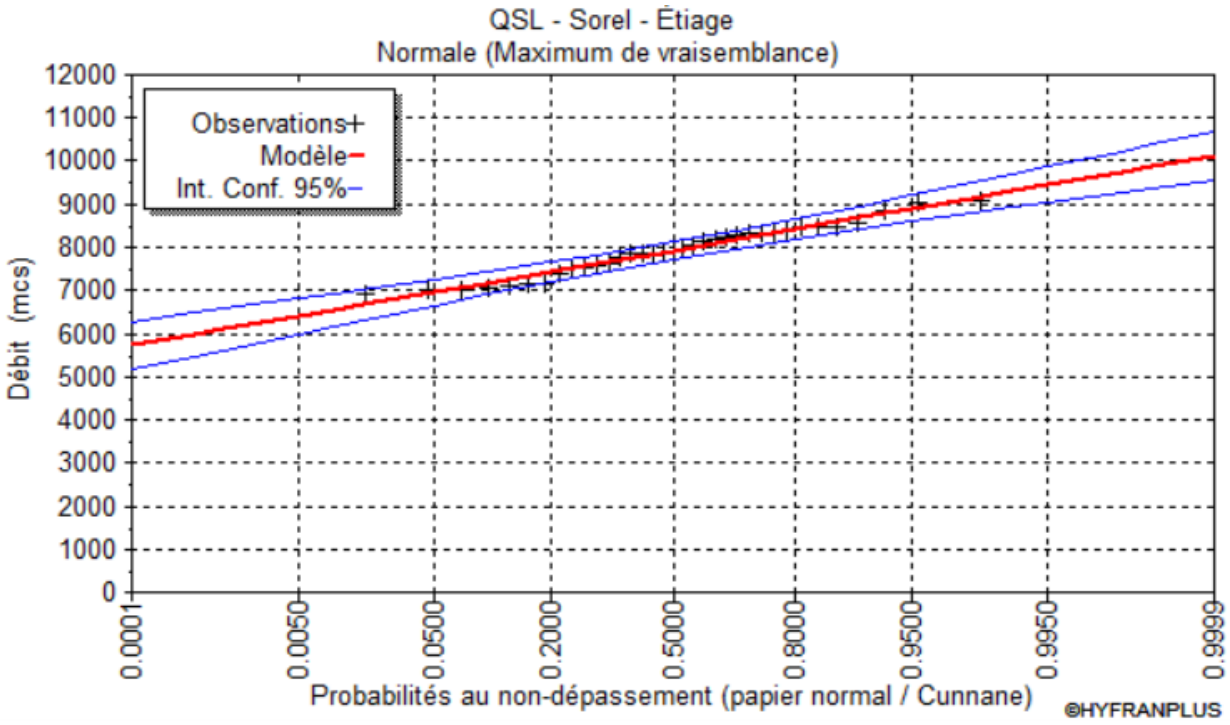


Figure 6-10 : Résultats de l'analyse statistique des débits minimums journaliers dans le fleuve Saint-Laurent

Les résultats d'analyse statistique des débits du fleuve à Sorel sont présentés au tableau 6-1.

Tableau 6-1 : Débits dans le fleuve Saint-Laurent à l'île Saint-Ours selon la période de retour (loi normale)

Période de retour (année)	Débit (m³/s)	Écart-type (m³/s)	Intervalle de confiance – 95 %
100	18 100	430	17 200 – 18 900
50	17 700	393	16 900 – 18 400
20	17 100	342	16 400 – 17 800
2	14 800	221	14 300 – 15 200
Q2,7 (étiage)	7 930	100	7 730 – 8 120
Qprojeté (étiage)[1]	6 000	-	-

1. Débit journalier minimum projeté à l'horizon 2045-2065 selon les deux scénarios climatiques modélisés par Ouranos.

La condition limite aval du modèle est un niveau d'eau. Les données publiées par Pêches et Océans Canada à la station 15930 donnent le niveau d'eau dans le fleuve Saint-Laurent à l'aval de la confluence de la rivière Richelieu entre 1966 et 2022 [4]. La figure 6-11 montre la relation entre le niveau d'eau à Sorel et le débit reconstitué dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'île Saint-Ours. Cette relation est utilisée pour déterminer le niveau à imposer à l'aval du modèle en fonction du débit à l'amont. Bien que les niveaux d'eau pour les débits jusqu'à environ 12 000 m³/s soient plus dispersés, la relation pour les débits en crues est représentative étant donné la dispersion moins marquée des niveaux pour les forts débits. De plus, l'éventail de scénarios analysés dans l'étude permet de décrire une gamme significative de conditions pour le site à l'étude.

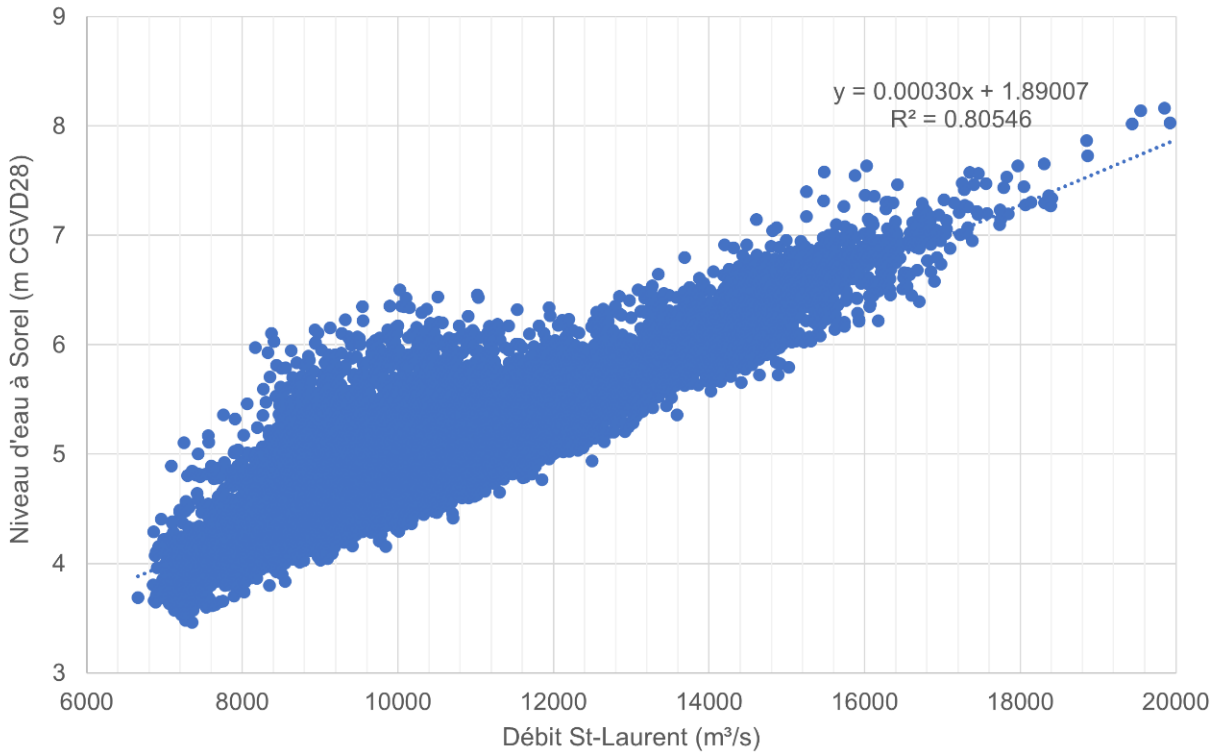


Figure 6-11 : Niveau d'eau à Sorel en fonction du débit dans le Saint-Laurent

Les débits provenant de la rivière Richelieu imposés au modèle correspondent aux débits mesurés aux rapides Fryers (02OJ007) à l'amont du bassin de Chambly [5] transférés à Sorel par ratio de superficie de bassin versant. Une analyse statistique sur la série de débits journaliers dans la rivière Richelieu a été réalisée pour déterminer les débits associés à différentes périodes de retour. La figure 6-12 montre les résultats de cette analyse.

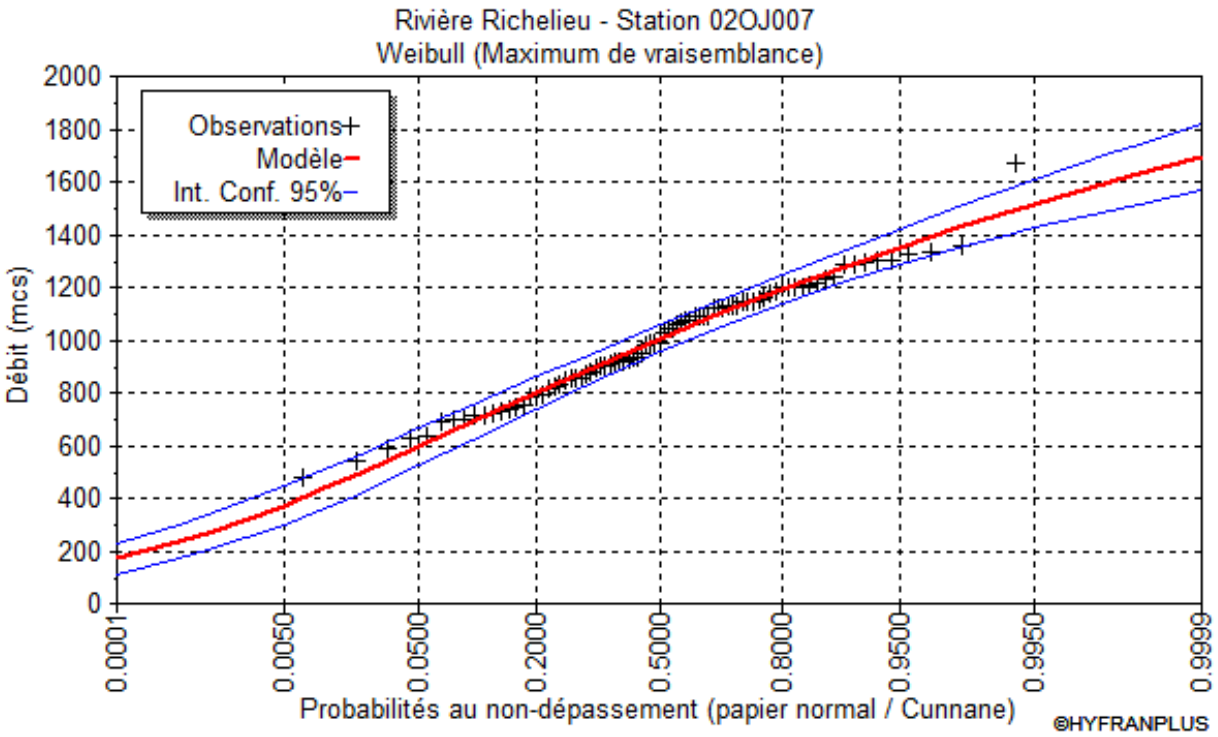


Figure 6-12 : Résultats de l'analyse statistique des débits journaliers maximums dans la rivière Richelieu

Le débit d'étiage de période de retour de 2 ans sur 7 jours consécutifs a été calculé en effectuant une analyse statistique sur la série de débits minimums des débits moyens journaliers sur 7 jours de 1980 à 2020. Le résultat de l'analyse statistique est présenté à la figure 6-13. Le débit d'étiage en condition de climat futur est estimé selon l'atlas hydroclimatique du centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) qui prévoit une diminution du débit d'étiage sur les rivières à proximité de la rivière Richelieu pour l'horizon 2071-2100.

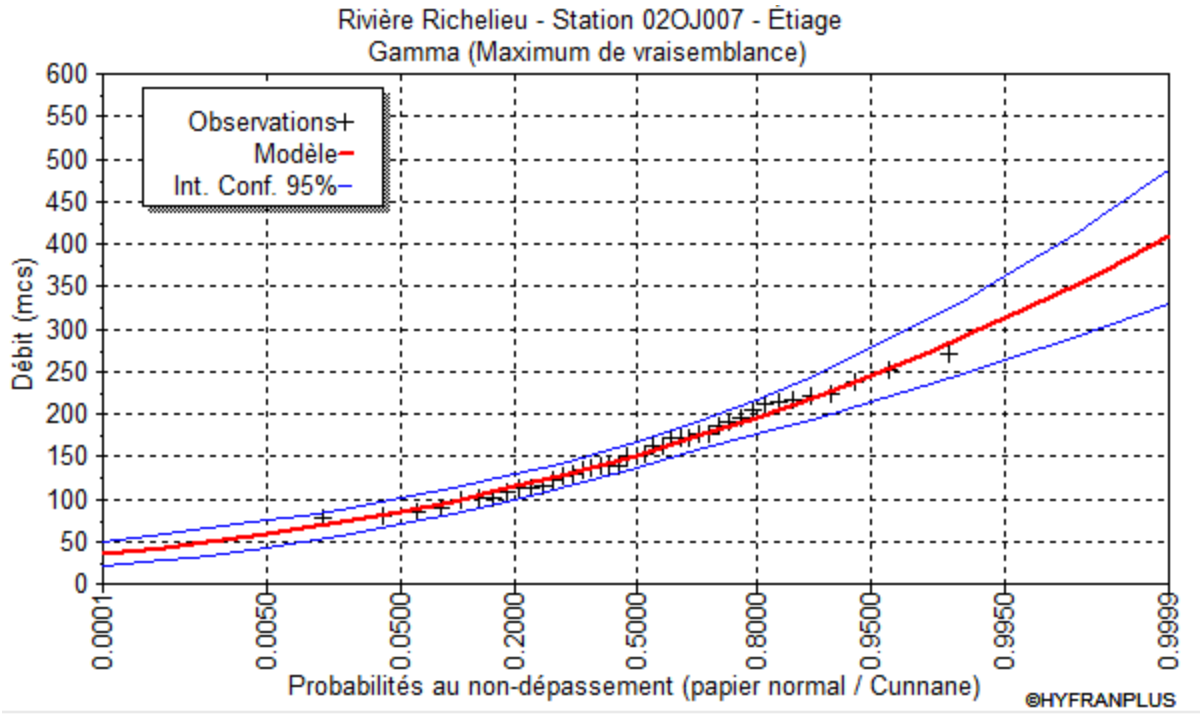


Figure 6-13 : Résultats de l'analyse statistique des débits journaliers minimums dans la rivière Richelieu

Le tableau 6-2 montre les résultats de l'analyse statistique des débits maximaux annuels de la rivière Richelieu.

Tableau 6-2 : Débit dans la rivière Richelieu selon la période de retour (loi normale)

Période de retour (année)	Débit (m³/s)	Écart-type (m³/s)	Intervalle de confiance – 95 %
100	1 470	43,1	1 390 – 1 560
50	1 430	39,2	1 350 – 1 500
20	1 350	33,8	1 280 – 1 420
2	1 010	26,2	954 – 1 060
Q2,7 (étiage)	151	7,53	137 – 166
Qprojeté (étiage)	68	-	-

Enfin, le débit dans chacun des trois chenaux à l'aval du modèle est estimé à partir d'une relation avec le débit dans le fleuve Saint-Laurent. La relation a été déduite à partir des résultats du modèle du fleuve Saint-Laurent d'Environnement Canada pour trois jours présentant des conditions hydrométriques différentes, soit le 4 mai 2017, le 4 mars 2022 et le 23 mai 2022 [6]. Il est important de noter qu'une analyse de sensibilité est présentée à la section 7.3 pour déterminer l'impact de l'incertitude sur le débit estimé pour la rivière Richelieu ainsi que pour les chenaux.

6.7 Impact des changements climatiques

Les impacts anticipés des changements climatiques sur les niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent dans le secteur de Sorel ont été analysés par Ouranos [28]. Les analyses réalisées par Ouranos visaient à évaluer les conséquences économiques de faibles débits potentiels sur le fleuve Saint-Laurent. En raison du nombre important de considérations entraînant d'importantes incertitudes quant aux conditions climatiques et hydrologiques futures pour le système des Grands Lacs et du Saint-Laurent, le rapport s'appuie sur deux scénarios hypothétiques plausibles plutôt que d'examiner un vaste ensemble de conditions climatiques futures.

Les principales conclusions de l'analyse des modèles d'Ouranos montrent une diminution attendue des débits minimums, moyens et maximums pour le premier scénario et un maintien des débits moyens accompagnés de fluctuation saisonnière plus importante (tendance à l'augmentation des débits en hiver et à la diminution en été) pour le deuxième scénario. Les figures 6-14 et 6-15, extraites du rapport d'Ouranos [28], présentent respectivement les tendances observées pour le débit moyen et pour le cycle moyen annuels, et ce, pour la période de référence (1990-2010) et les deux scénarios climatiques futurs (2045-2065) analysés. Rappelons que les débits minimums, moyens et maximums annuels mesurés de 1970 à 2020 montrent une tendance à la diminution (voir la figure 6-7) et ces tendances sont nettement moins évidentes de 1980 à 2020 (voir la figure 6-8)

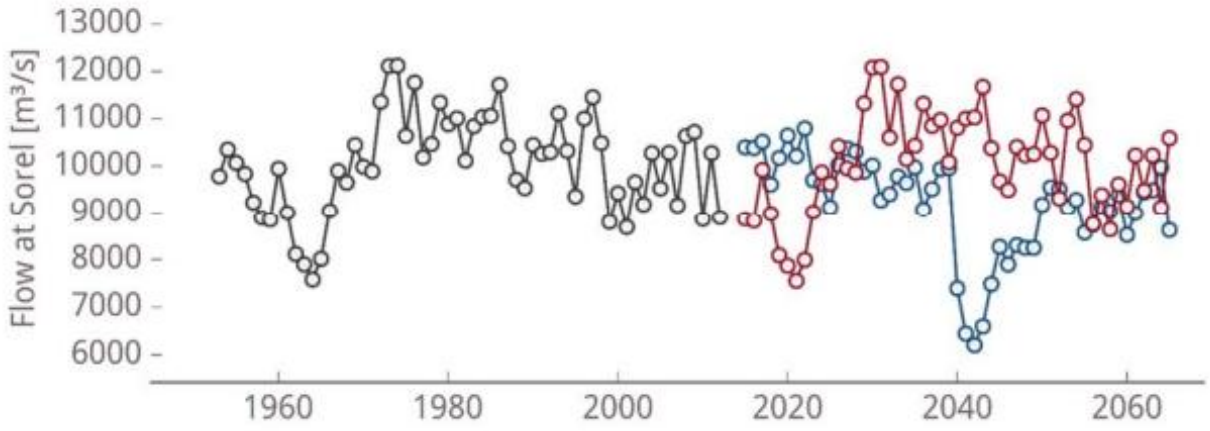


Figure 6-14 : Débit annuel moyen à Sorel pour la période de référence (en noir) et les scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) – Ouranos, 2016

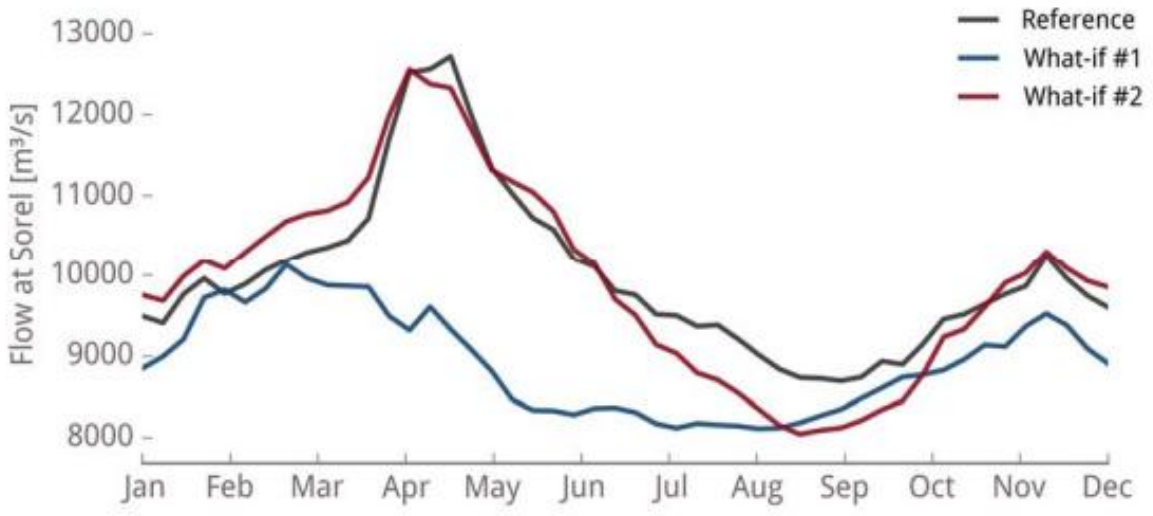


Figure 6-15 : Cycle annuel moyen des scénarios hypothétiques 1 (en bleu) et 2 (en rouge) dans les 20 dernières années de la période (2045-2065), comparativement au scénario de référence (en gris) couvrant la période de 1990-2010 – Ouranos, 2016

Selon les résultats des deux scénarios analysés par Ouranos, le débit journalier minimum absolu du fleuve à Sorel, à l'horizon 2045-2065, est approximativement de 6 000 m^3/s. Ce débit minimum projeté est inférieur au débit actuel d'étiage de période de retour de 2 ans sur 7 jours consécutifs (Q2,7) estimé à 7 930 m^3/s. Afin d'évaluer l'impact des faibles niveaux d'eau projetés sur la navigabilité, un scénario hydraulique supplémentaire a été modélisé à partir de ce débit d'étiage à l'horizon 2045-2065.

L'étude d'Ouranos porte uniquement sur le fleuve Saint-Laurent et n'analyse pas les impacts des changements climatiques sur les affluents du fleuve, tels que la rivière Richelieu. Afin de se renseigner sur les impacts anticipés des changements climatiques sur le débit de la rivière Richelieu, l'Atlas hydroclimatique du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs a été consulté. L'Atlas hydroclimatique fournit des prédictions d'évolution des débits en climat futur (2011–2040, 2041–2070 et 2071-2100) pour deux climatologies futures.

Pour l'ensemble des conditions décrites, l'atlas indique une absence de consensus quant à l'impact des changements climatiques sur les débits de la rivière Richelieu. Il est à noter que certaines tendances peuvent être observées pour les cours d'eau du secteur. Plus précisément, une augmentation des crues estivales, des étiages annuels et hivernaux sont attendus pour ces cours d'eau ainsi qu'une diminution des crues annuelles, des crues printanières et des étiages estivaux. Finalement, les tendances anticipées par les modèles climatiques pour l'hydraulicité montrent des tendances variables.

En fonction des tendances anticipées, l'utilisation des débits de crue actuels est considérée comme étant adéquate par rapport aux conditions futures.

7. Calibration et validation du modèle hydrodynamique

7.1 Calibration

Les mesures de niveau et de vitesse utilisées dans le cadre du présent mandat pour la calibration du modèle ont été mesurées par courantomètre Doppler par Géophysique GRP International le 2 juin 2022. Un total de sept traversées a été réalisé à 20 minutes d'intervalle à la hauteur du site de l'ancienne centrale thermique entre les deux stations de pompage. La figure 7-1 montre la localisation du transect de jaugeage retenu, qui représente la moyenne des sept traversées. La figure 7-2 montre le profil transversal de la traversée 6 considérée comme la plus représentative de la section de jaugeage.

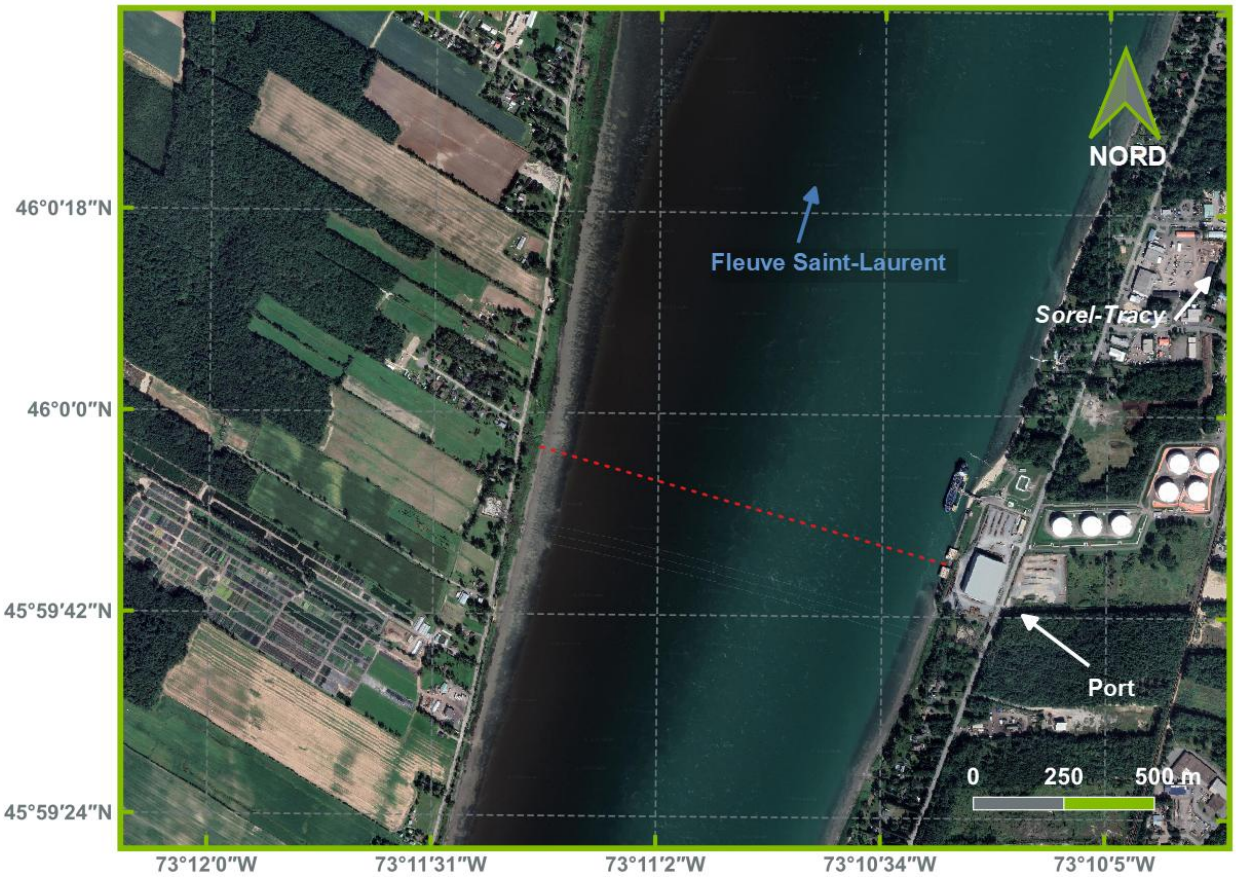


Figure 7-1 : Localisation du transect de jaugeage retenu (pointillé rouge)

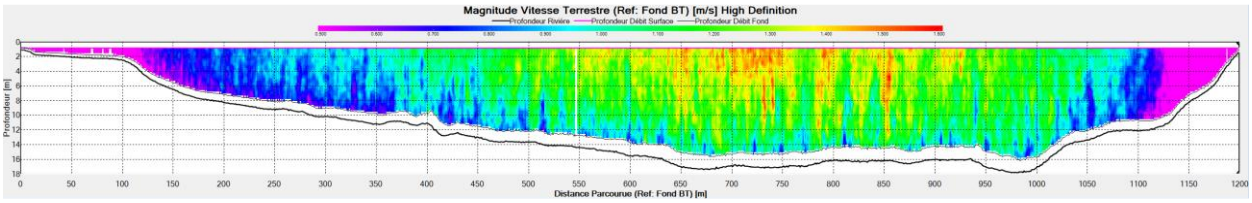


Figure 7-2 : Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure)

Il est intéressant de noter que le débit moyen entre 13h30 et 15h30 calculé par Géophysique GRP International à partir des résultats du jaugeage est de 13 875 m³/s, alors que celui estimé à partir de la méthode décrite à la section 6.6 est de 13 952 m³/s. L'erreur relative de l'estimation est donc de 0,6 %, ce qui est négligeable considérant que les données de jaugeage comprennent une incertitude et que l'écart-type sur le débit calculé est de 0,8 %.

Une coupe transversale moyenne des données lissées de niveau et de la vitesse des sept traversées a été tracée. Les données mesurées ont ensuite été comparées aux résultats du modèle simulé avec les conditions hydrométriques observées le 2 juin pour trois coefficients de Manning distincts. La figure 7-3 montre le profil transversal de vitesse entre les deux stations de pompage pour les scénarios simulés et les données mesurées. Le tableau 7-1 montre le niveau d'eau moyen le long du profil transversal, ainsi que la surélévation observée entre la rive est et la rive ouest.

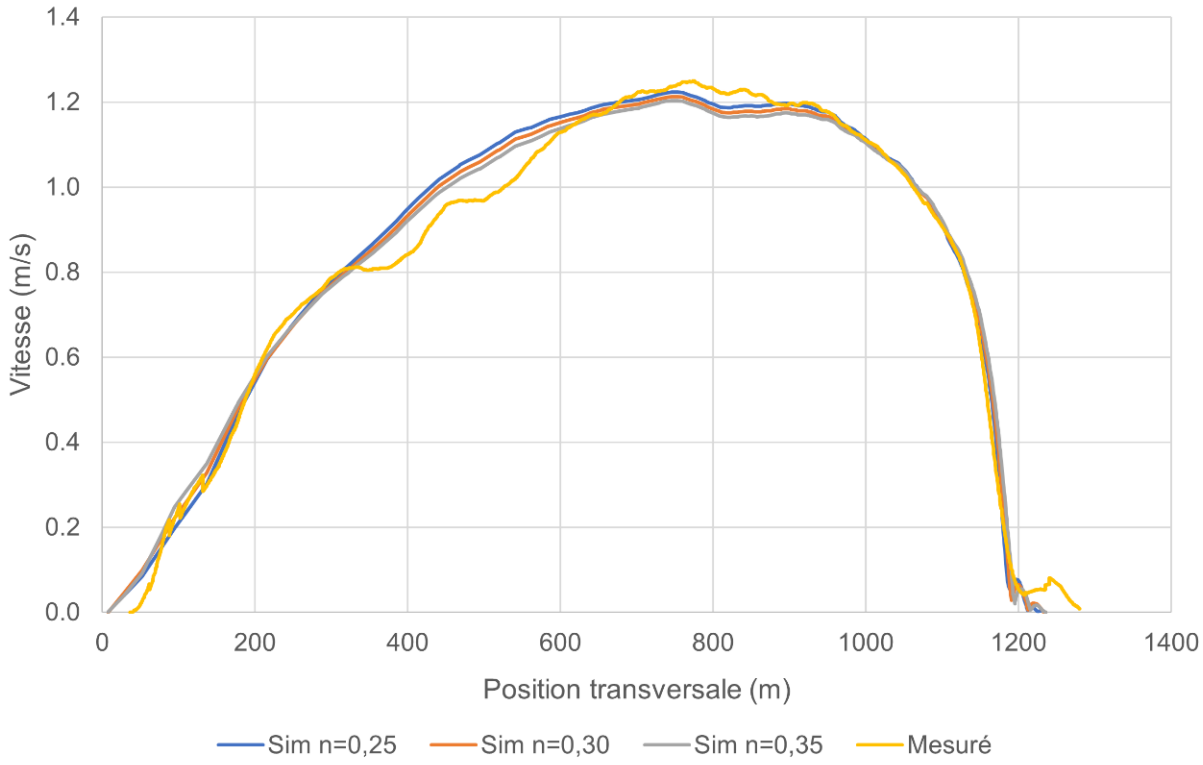


Figure 7-3 : Profil transversal de vitesse entre les deux stations de pompage le 2 juin 2022 (rive est du fleuve à droite sur la figure)

Tableau 7-1 : Niveau moyen à la hauteur des stations de pompage calculé le 2 juin 2022

Scénarios	Sim n = 0,025	Sim n = 0,030	Sim n = 0,035	Mesuré
Niveau moyen (m CGVD28)	6,20	6,27	6,34	6,20

Le tableau 7-1 montre que le Manning de 0,025 permet d'obtenir les niveaux les plus près des données de jaugeage. Une surélévation de 2,0 cm est observée sur la rive est avec les données mesurées. Le niveau moyen mesuré à l'emplacement du futur quai (rive est) est de 6,21 m, alors que celui mesuré sur la rive ouest est de 6,19 m. Cette surélévation n'est pas représentée par le modèle, ce qui engendre un écart de 1 cm entre les valeurs calculées et mesurées à l'emplacement du futur quai. Une augmentation du Manning de 0,05 engendre une hausse du niveau d'eau de 6 à 8 cm, mais n'a pas un impact significatif sur la vitesse. L'écart maximal de vitesse observé entre les données simulées et mesurées est de l'ordre de 0,1 m/s. Le coefficient de corrélation Pearson de la section transversale de vitesse est de 0,993 pour un Manning de 0,025. Dans la zone d'intérêt (entre 900 et 1 200 m), cette valeur augmente à 0,998. Le coefficient de Pearson est un indicateur statistique de la corrélation entre les données simulées et mesurées qui ne pénalise pas le biais. Cet indicateur de performance varie de -1 à 1, 1 représentant une corrélation parfaite. Les écarts entre les résultats simulés et les valeurs mesurées étant acceptables, la calibration du modèle est jugée satisfaisante.

7.2 Validation

Le modèle calibré avec un coefficient de Manning de 0,025 a été validé à partir des résultats de la simulation hydrodynamique opérationnelle (SHOP) du fleuve Saint-Laurent d'Environnement Canada pour trois jours présentant des conditions hydrométriques différentes, soit le 4 mai 2017, le 4 mars 2022 et le 23 mai 2022 [6]. Les conditions frontières utilisées pour la modélisation des courants lors de ces trois jours sont présentées dans le tableau 7-2. Les valeurs présentées proviennent des résultats des simulations d'ECCC.

Tableau 7-2 : Conditions frontières du modèle pour les trois jours analysés

Date	Débit (m^3/s)					Niveau aval (m)
	Fleuve amont	Chenal 1	Chenal 2	Chenal 3	Richelieu	
4 mai 2017	15 980	333	637	241	910	7,12
4 mars 2022	10 331	95	203	89	341	5,20
23 mai 2022	12 345	194	401	245	615	5,96

Le tableau 7-3 montre la comparaison entre le niveau d'eau moyen à la hauteur du quai projeté obtenu par le modèle de CIMA et celui d'ECCC, ainsi que la surélévation observée entre la rive est et la rive ouest.

Tableau 7-3 : Comparaison des niveaux d'eau simulés avec les résultats du modèle d'Environnement Canada pour trois jours présentant des conditions hydrométriques différentes

Scénarios	CIMA+			ECCC		
	4 mai 2017	4 mars 2022	23 mai 2022	4 mai 2017	4 mars 2022	23 mai 2022
Niveau moyen (m CCGVD28)	7,27	5,32	6,09	7,27	5,32	6,08

Les résultats obtenus montrent que la différence maximale entre les niveaux d'eau est de 1 cm. Les écarts observés par CIMA+ et ECCC entre le niveau sur la rive est et la rive ouest sont de l'ordre de 1 cm au maximum. Le modèle est donc considéré valide.

7.3 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été réalisée sur les conditions frontières du modèle en imposant un débit nul à la sortie des chenaux et à la sortie de la rivière Richelieu pour la simulation du 2 juin 2022 avec un coefficient de Manning de 0,025. Le tableau 7-4 montre l'écart maximal observé entre les deux scénarios analysés et la simulation de référence le long du profil transversal à la hauteur de la structure projetée.

Tableau 7-4 : Écarts de vitesse et de niveau entre les scénarios avec débit nul dans les chenaux et dans le Richelieu et la simulation de référence

Scénario	Q-Chen 0	Q-Rich 0
Écart de vitesse (m/s)	0,007	0,003
Écart de niveau (m)	0,016	0,006

Les résultats montrent que les conditions frontières dans les chenaux et dans le Richelieu ont des effets négligeables sur les vitesses et les niveaux observés dans la zone d'intérêt. La condition frontière sur les chenaux a cependant un impact plus important que celle sur la rivière Richelieu qui est située plus à l'aval. Cet écart est plus important pour les niveaux d'eau.

8. Analyse de l'impact hydrodynamique du nouveau terminal

8.1 Scénarios de modélisation

Huit scénarios de modélisation ont été considérés pour comparer l'écoulement en conditions actuelles et projetées pour des crues de différentes périodes de retour. Les conditions frontières de ces scénarios sont présentées dans le tableau 8-1 et ont été déterminées avec la méthodologie décrite dans la section 6.6. Les débits dans le fleuve et dans la rivière Richelieu proviennent de l'analyse statistique des débits observés aux différentes stations hydrométriques. Les débits dans les chenaux sont calculés à partir de la relation établie avec le débit dans le fleuve à partir des résultats de simulation du modèle numérique d'Environnement Canada. Enfin, le niveau aval est calculé à partir de la relation avec le débit du fleuve présentée à la figure 6-11. Il est à noter que les modélisations hydrauliques ont été réalisées en 2D sans la présence de navire et sans les barges en place. Il est à noter que des modélisations hydrauliques 3D ont été réalisées par AtkinsRéalis [31] afin de représenter l'écoulement en conditions projetées avec les barges et un navire. La note technique des simulations hydrauliques 3D d'AtkinsRéalis est présentée à l'annexe B.

Tableau 8-1 : Conditions frontières des scénarios de modélisation

Scénario de crue	Débit (m³/s)					Niveau aval (m)
	Fleuve amont	Chenal 1	Chenal 2	Chenal 3	Richelieu	
100 ans	18 100	387	773	387	1 470	7,31
50 ans	17 700	373	745	373	1 430	7,19
20 ans	17 100	352	703	352	1 350	7,01
2 ans	14 800	271	541	271	1 010	6,32
Moyenne	10 291	112	224	112	388	4,97
50 % 2 ans	7 400	10	21	10	505	4,10
Q2,7 (étiage)	7 930	29	58	29	151	4,27
Qprojeté (étiage)	6 000	0	0	0	68	3,69

8.2 Résultats des modélisations

Les résultats de niveaux et vitesses présentés proviennent du transect de jaugeage illustré à la figure 7-1. Les tableaux 8-2 et 8-3 montrent le niveau moyen du fleuve à la hauteur du futur quai pour les huit scénarios modélisés en condition actuelle et projetée, respectivement.

Tableau 8-2 : Niveau moyen entre les deux stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition actuelle

Scénarios	100 ans	50 ans	20 ans	2 ans	Moyenne	50% 2 ans	Q2,7 (étiage)	Qprojeté (étiage)
Niveau moyen (m CGVD28)	7,49	7,37	7,19	6,48	5,09	4,20	4,37	3,75

Tableau 8-3 : Niveau moyen entre les deux stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition projetée

Scénarios	100 ans	50 ans	20 ans	2 ans	Moyenne	50 % 2 ans	Q2,7 (étiage)	Qprojeté (étiage)
Niveau moyen (m CGVD28)	7,49	7,37	7,19	6,49	5,09	4,19	4,37	3,76

Les figures 8-1 et 8-2 montrent le profil transversal de vitesse pour les huit scénarios en condition actuelle et projetée, respectivement. Il est à noter que la structure du futur quai sera positionnée environ entre 1 000 m et 1 200 m. Une vitesse maximale de 1,3 m/s devrait donc être atteinte à l'extrémité de la structure pour une crue centenaire.

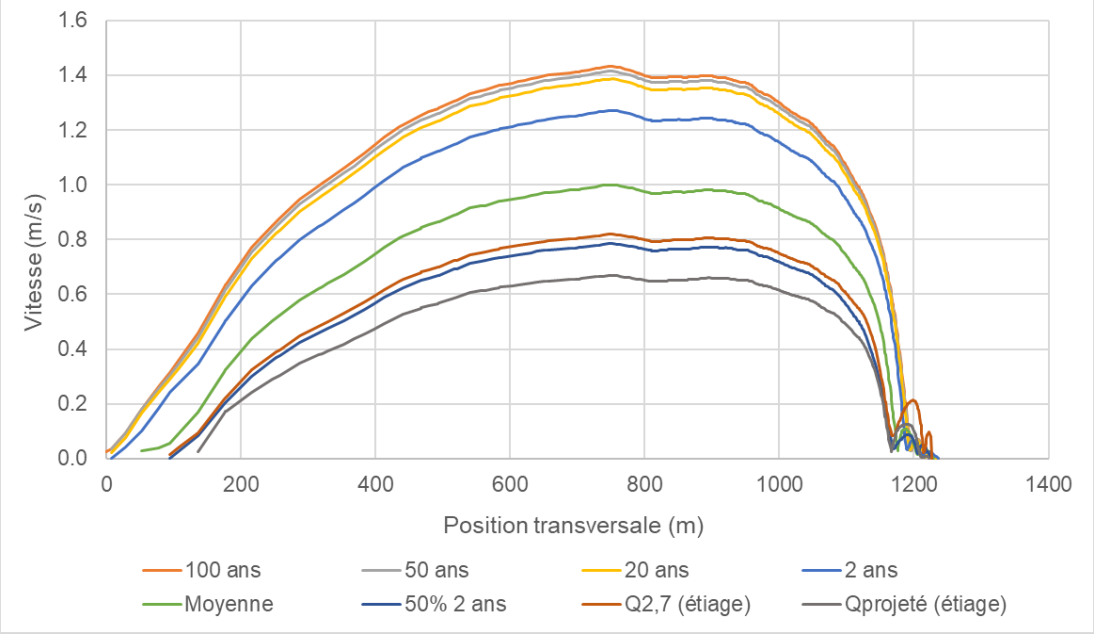


Figure 8-1 : Profil transversal de vitesse entre les stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition actuelle

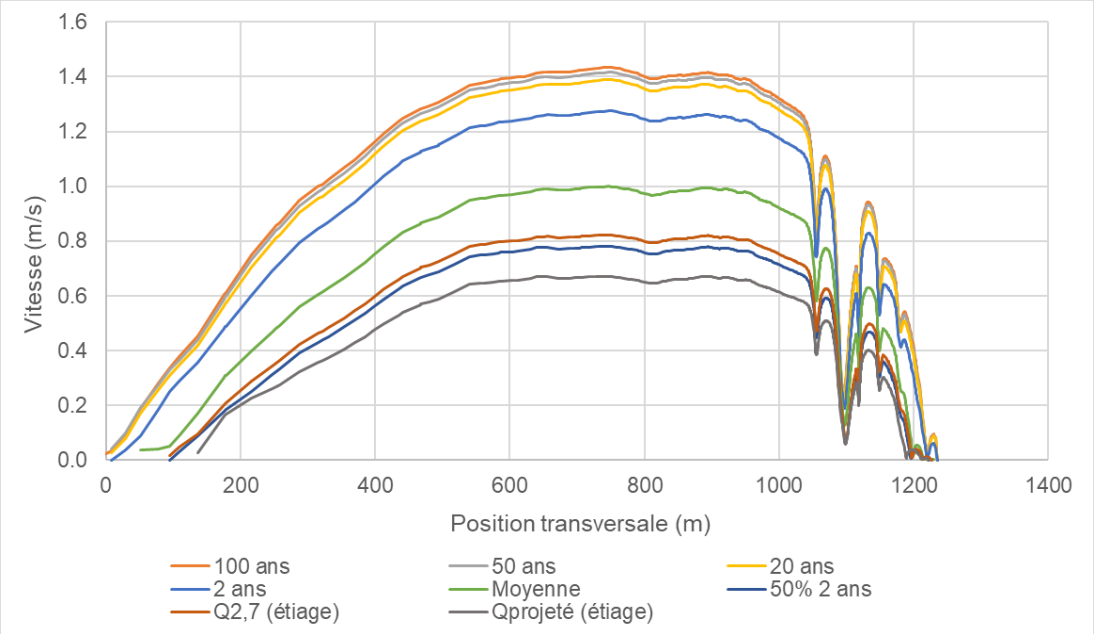


Figure 8-2 : Profil transversal de vitesse entre les stations de pompage pour les huit scénarios analysés en condition projetée

Les vitesses d'écoulement en condition actuelle ont été analysées aux pourtours de la structure projetée à l'aide de huit points d'analyse. La figure 8-3 montre la localisation de ces points, ainsi que la position du futur quai et d'un navire.

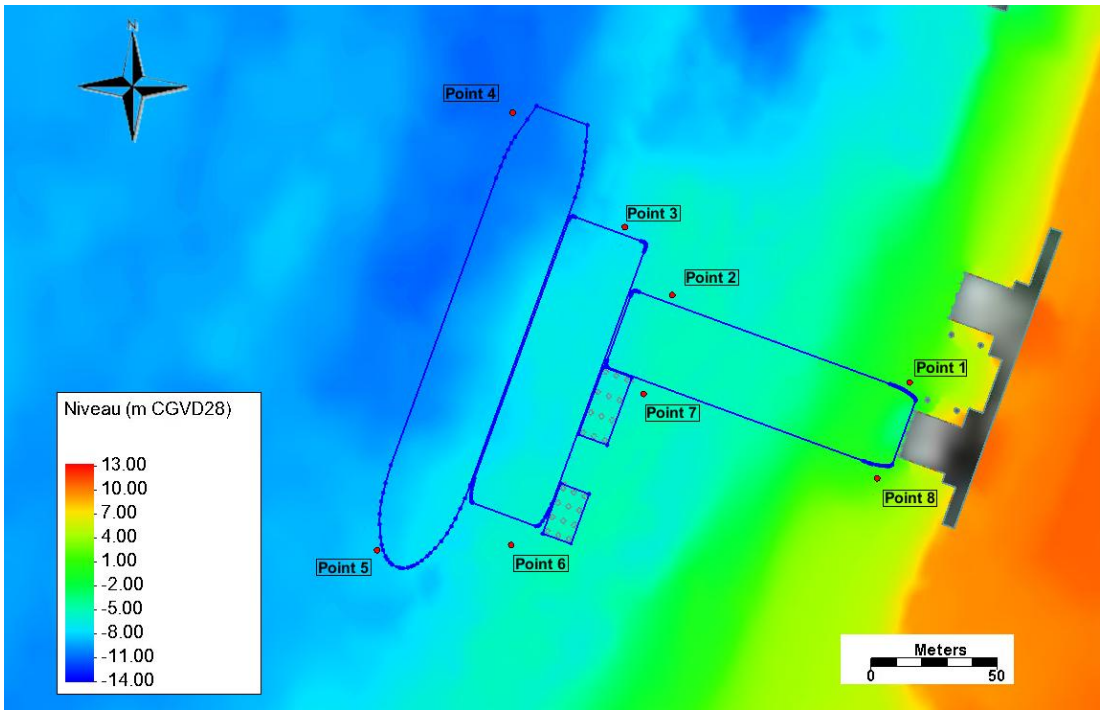


Figure 8-3 : Localisation des points d'analyse des vitesses d'écoulement autour du quai projeté

Les coordonnées des huit points d'analyse sont présentées dans le tableau 8-4.

Tableau 8-4 : Coordonnées (MTM zone 8) des points d'analyse des vitesses autour du quai projeté

Points	X	Y
1	330 061,4	5 095 219,1
2	329 967,8	5 095 253,8
3	329 949,1	5 095 280,5
4	329 905,6	5 095 324,8
5	329 851,3	5 095 152,5
6	329 904,3	5 095 155,0
7	329 956,7	5 095 214,6
8	330 048,9	5 095 182,0

Les vitesses d'écoulement à chacun des huit points sont présentées au tableau 8-5 en condition actuelle et au tableau 8-6 en condition projetée pour les huit scénarios modélisés.

Tableau 8-5 : Vitesse (m/s) aux huit points d'analyse en condition actuelle

Points	100 ans	50 ans	20 ans	2 ans	Moyenne	50% 2 ans	Q2,7 (étiage)	Qprojeté (étiage)
1[1]	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1
2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5
3	1,1	1,1	1,1	1,0	0,8	0,6	0,6	0,5
4	1,2	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6
5	1,3	1,3	1,2	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6
6	1,2	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6	0,7	0,5
7	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5
8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1. Le point d'observation 1 se situe dans une zone de recirculation

Tableau 8-6 : Vitesse (m/s) aux huit points d'analyse en condition projetée

Points	100 ans	50 ans	20 ans	2 ans	Moyenne	50% 2 ans	Q2,7 (étiage)	Qprojeté (étiage)
1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1
3	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5
4	1,3	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6
5	1,3	1,2	1,2	1,1	0,9	0,7	0,7	0,6
6	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,6	0,5
7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
8	0,4	0,4	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

Les points 3 et 6 représentent les vitesses à l'extrémité de la structure du futur quai. La vitesse maximale calculée pour une crue centenaire est de 1,2 m/s en condition actuelle et 1,0 m/s en condition projetée à cet endroit. Les points 4 et 5 donnent les vitesses du courant à la hauteur du navire. La valeur maximale atteinte pour une crue centenaire est de 1,3 m/s en condition actuelle et projetée.

8.2.1 Figures de comparaison

L'ensemble des figures de résultats de simulation est fourni dans l'annexe A. Les figures de résultats et de comparaison pour les crues 2, 20 et 100 ans en conditions actuelles et projetées sont présentées ci-dessous.

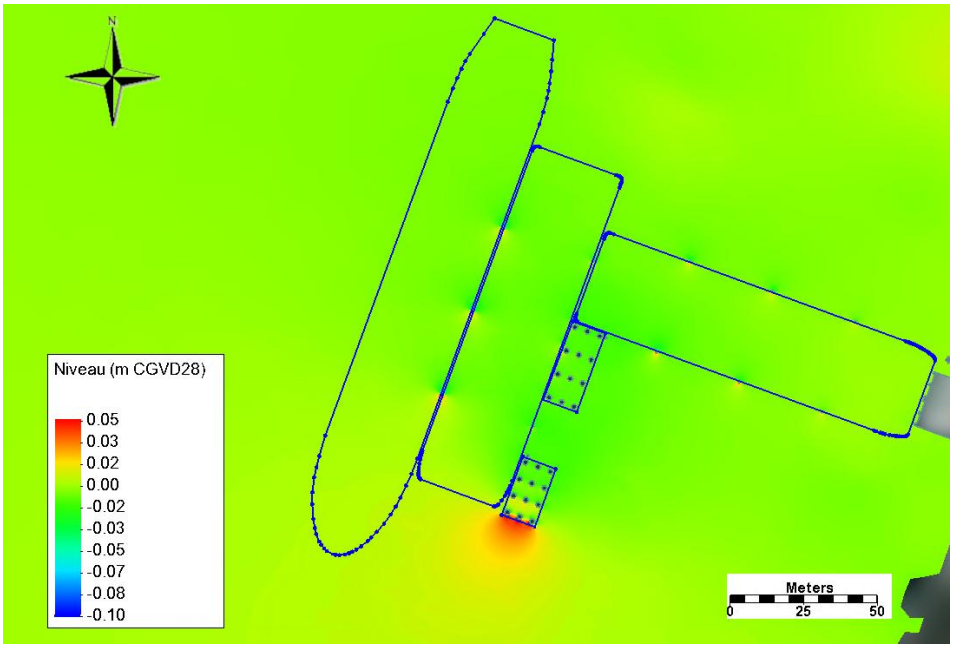


Figure 8-4 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai – Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans

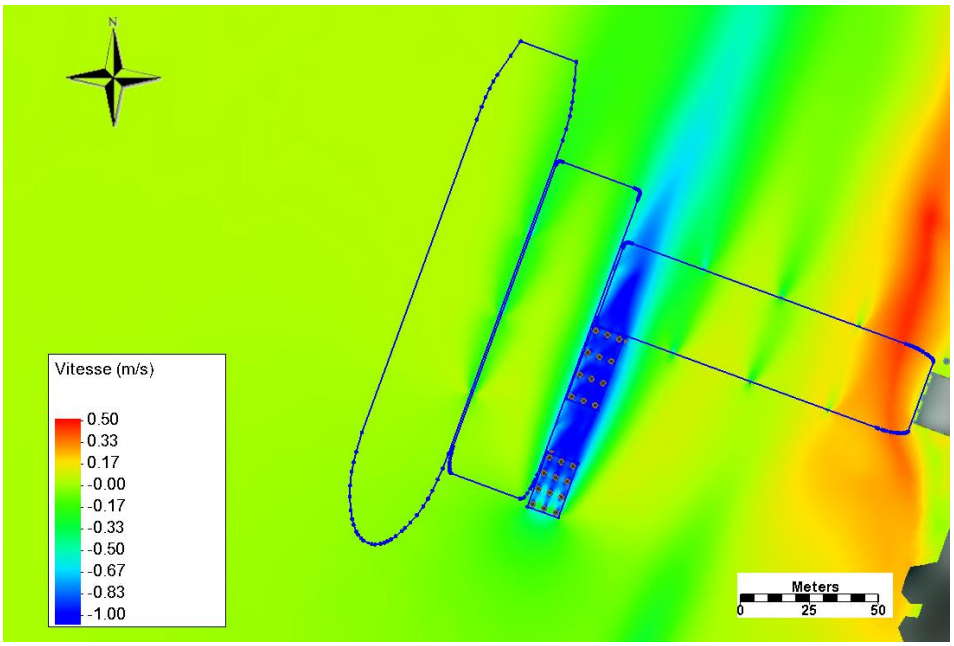


Figure 8-5 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans

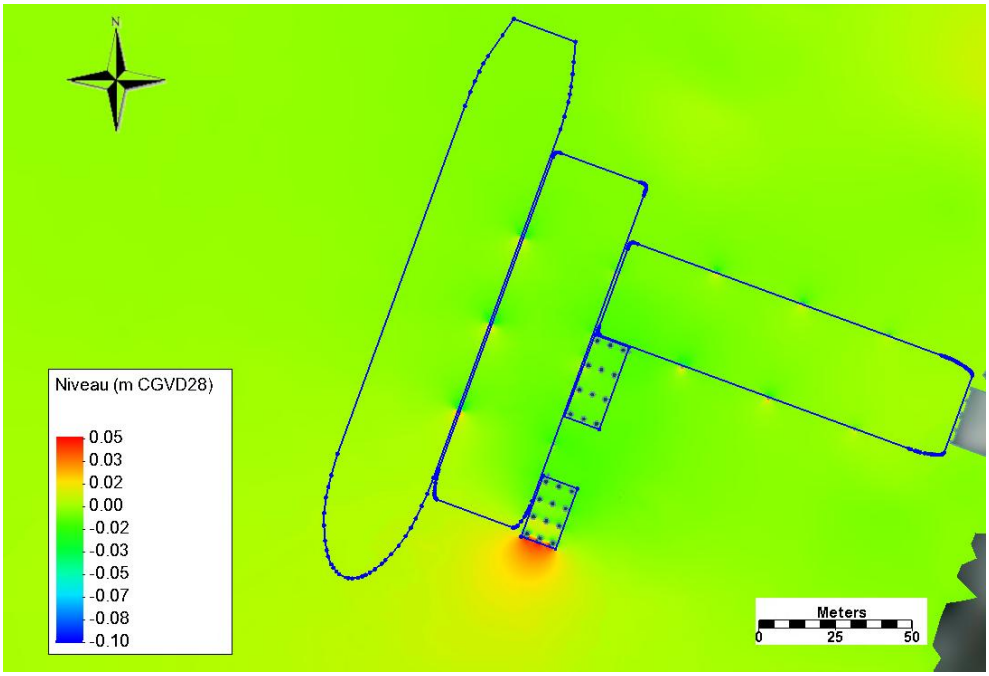


Figure 8-6 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans

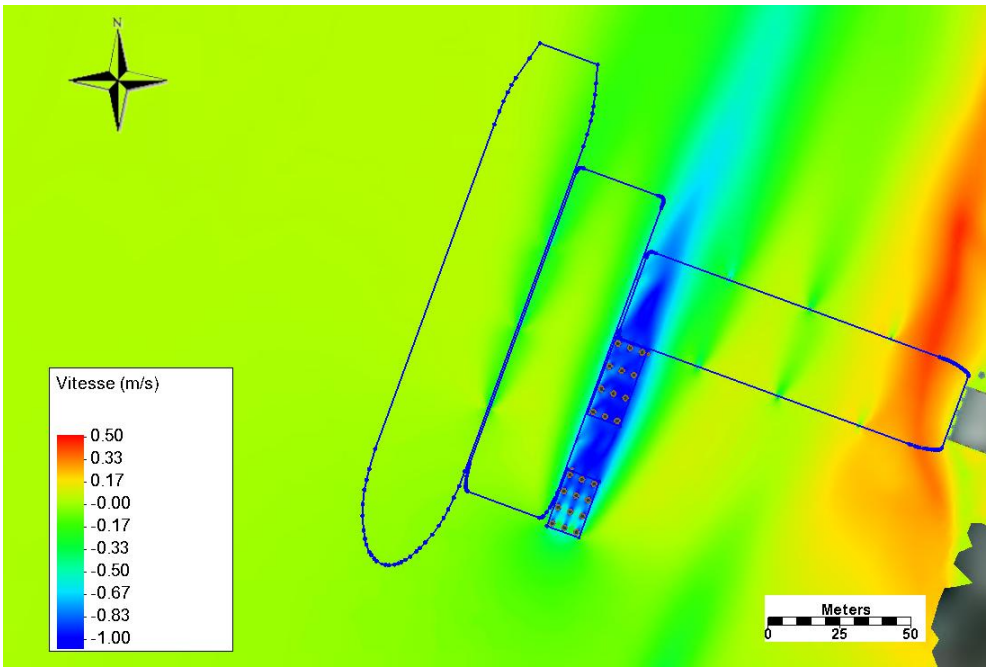


Figure 8-7 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans

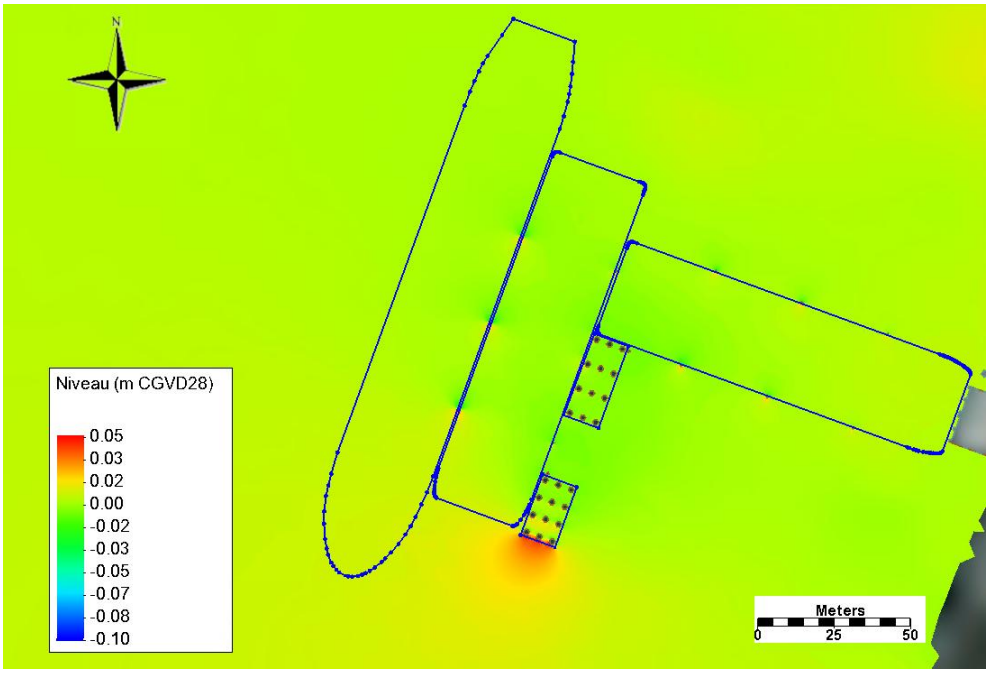


Figure 8-8 : Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans

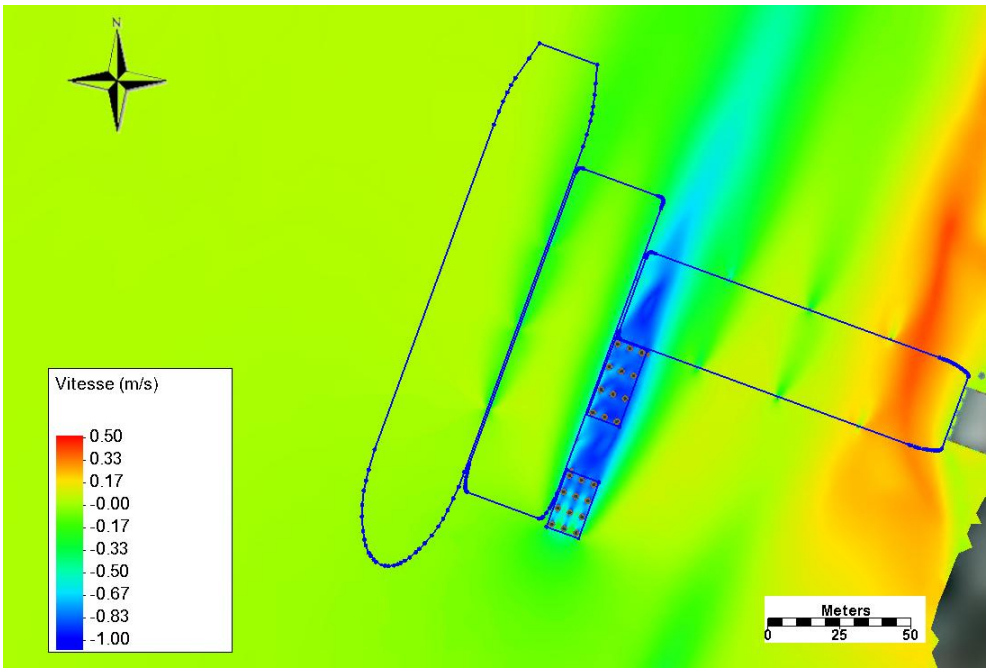


Figure 8-9 : Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans.

Il est important de noter que l'ensemble des figures illustrant le différentiel de vitesse dans la zone à l'étude montrent une accélération des vitesses d'écoulement en rive.

8.2.2 Scénario de crue 100 ans

Les champs de vitesses autour du futur aménagement pour une crue centenaire en conditions actuelle et projetée sont respectivement montrés sur les figures 8-10 et 8-11. Les niveaux d'eau dans la zone du quai pour une crue centenaire en conditions actuelle et projetée sont montrés respectivement à la figure 8-12 et 8-13.

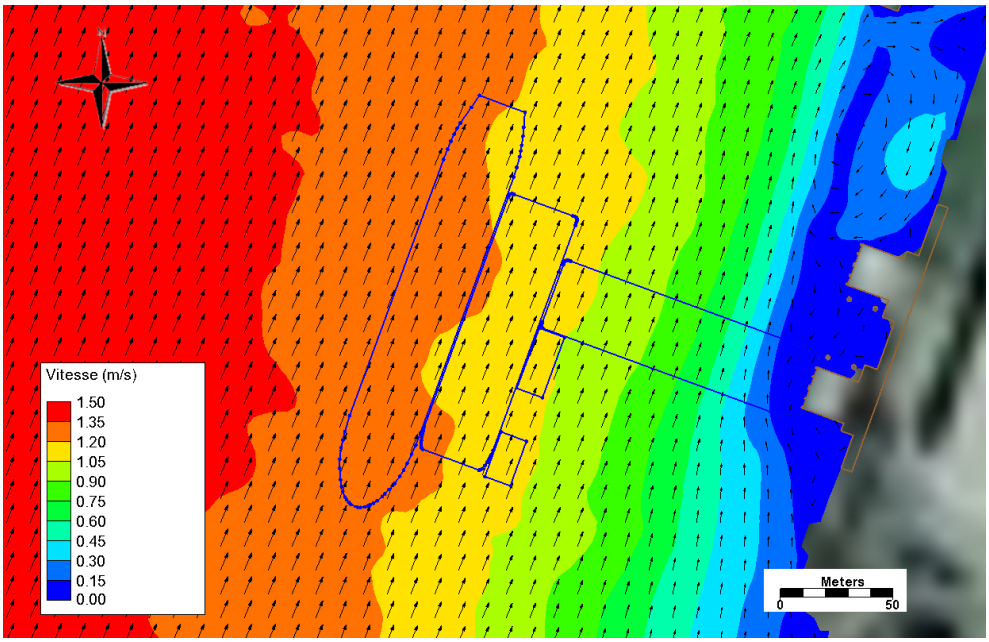


Figure 8-10 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans

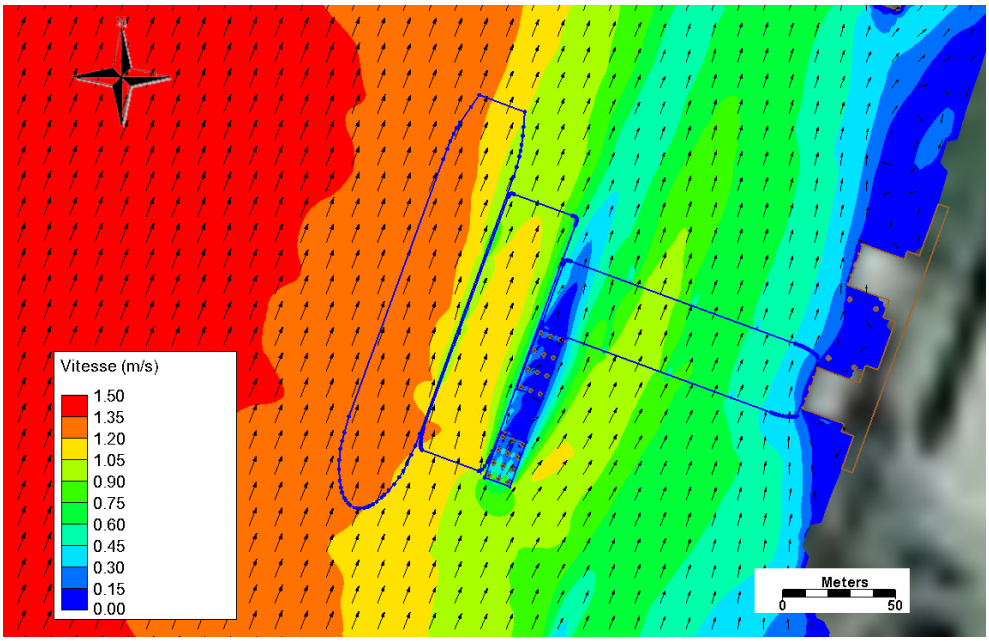


Figure 8-11 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans

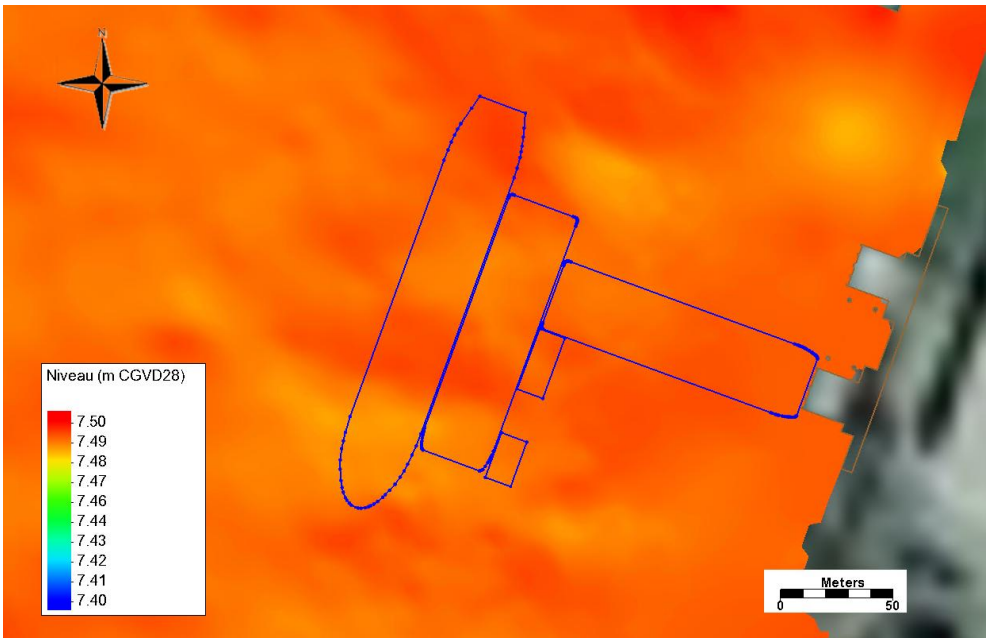


Figure 8-12 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans

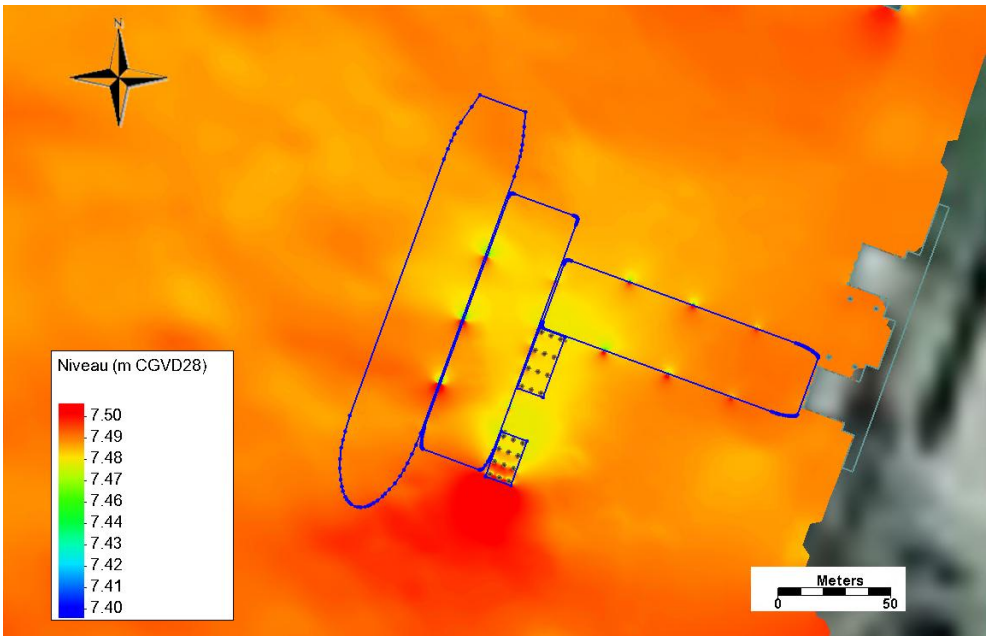


Figure 8-13 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans

Les figures 8-14 et 8-15 montrent les vitesses et les niveaux d'eau, respectivement, sur l'ensemble du domaine modélisé pour une crue centenaire. Il n'y a pas de différence entre la condition actuelle et projetée à cette échelle.

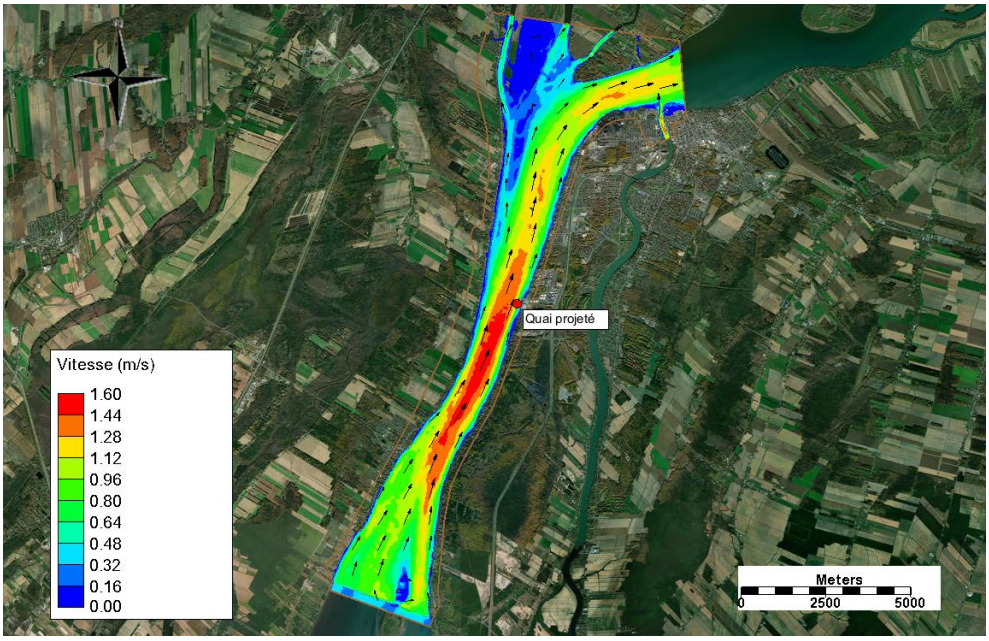


Figure 8-14 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue 100 ans

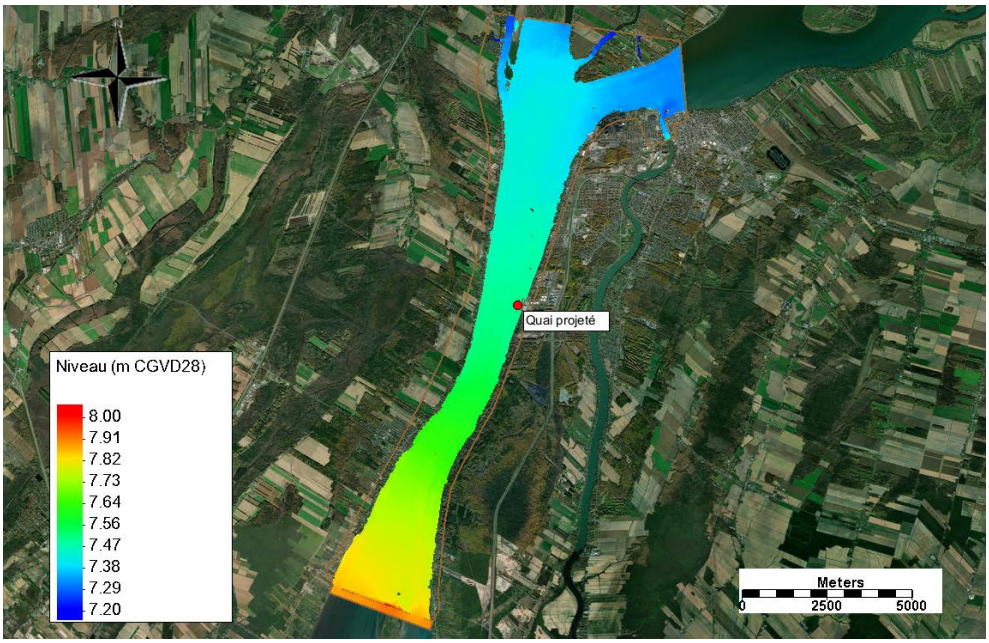


Figure 8-15 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 100 ans

8.2.3 Scénario de crue 20 ans

Les figures 8-16 et 8-17 illustrent les champs de vitesses autour du futur aménagement pour une crue de 20 ans en conditions actuelles et projetées. Les niveaux d'eau dans la zone du quai pour une crue de 20 ans en conditions actuelle et projetée sont montrés respectivement aux figures 8-18 et 8-19.

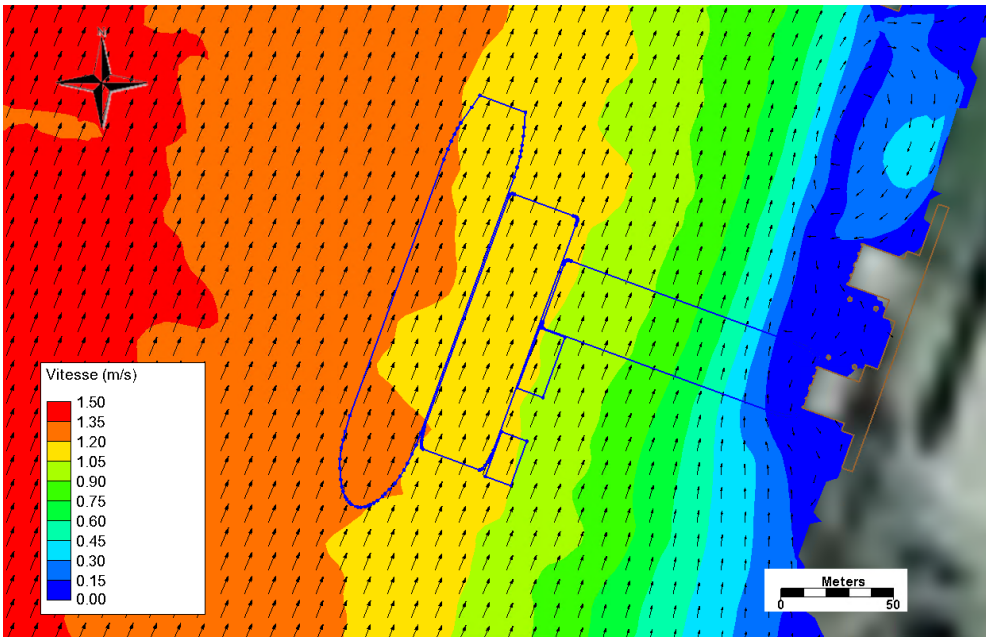


Figure 8-16 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans

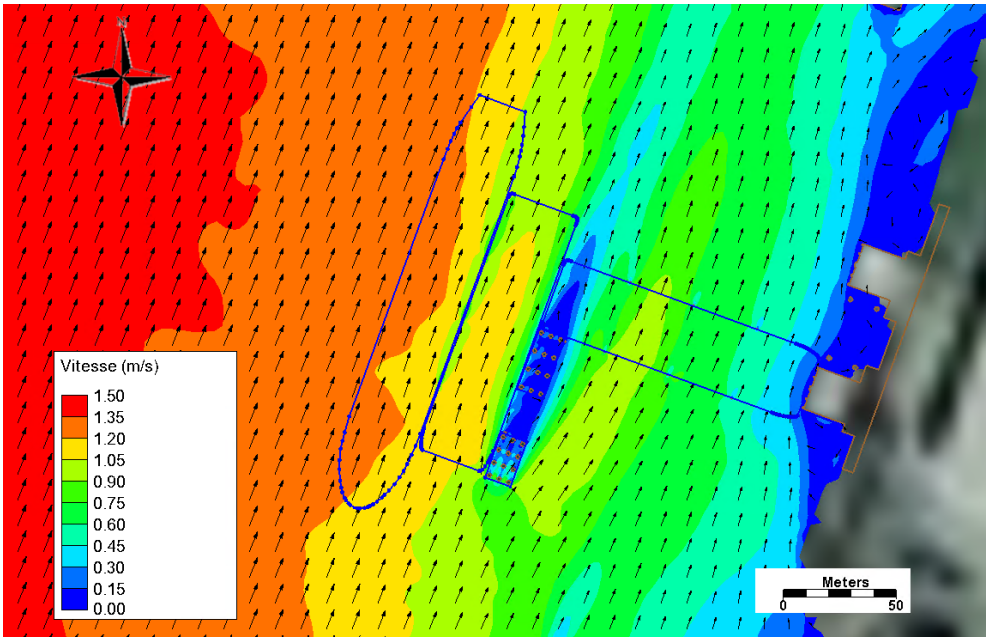


Figure 8-17 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans

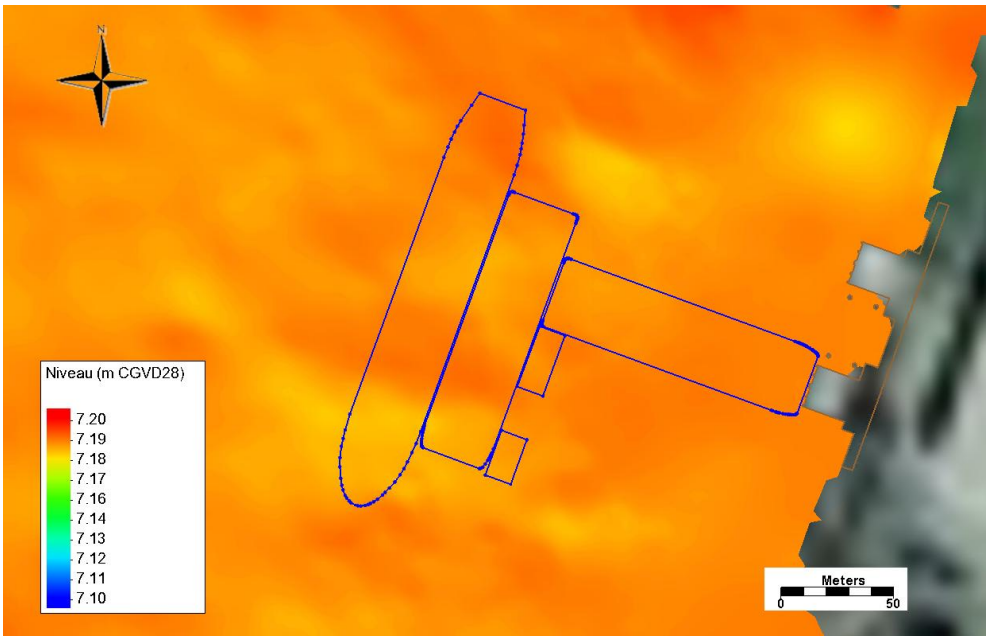


Figure 8-18 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans

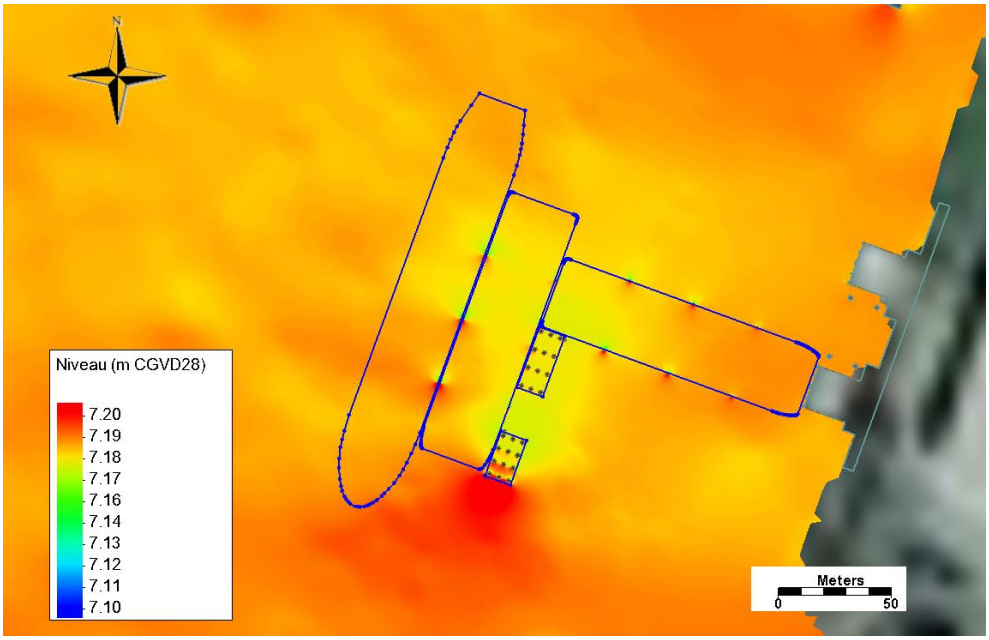


Figure 8-19 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans

Les figures 8-20 et 8-21 montrent les vitesses et les niveaux d'eau, respectivement, sur l'ensemble du domaine modélisé pour une crue centenaire. Il n'y a pas de différence entre la condition actuelle et projetée à cette échelle.

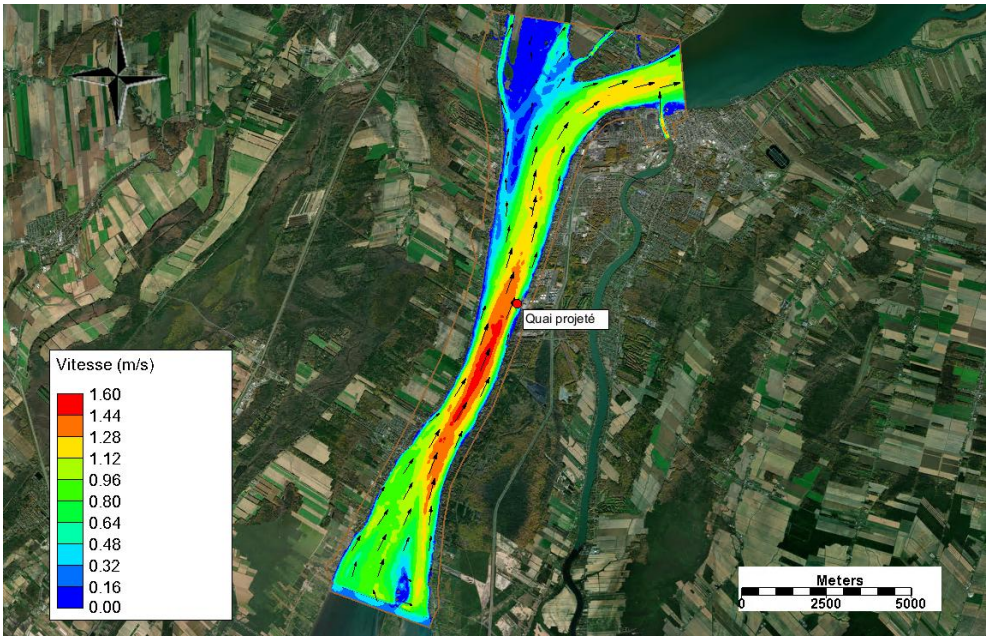


Figure 8-20 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans

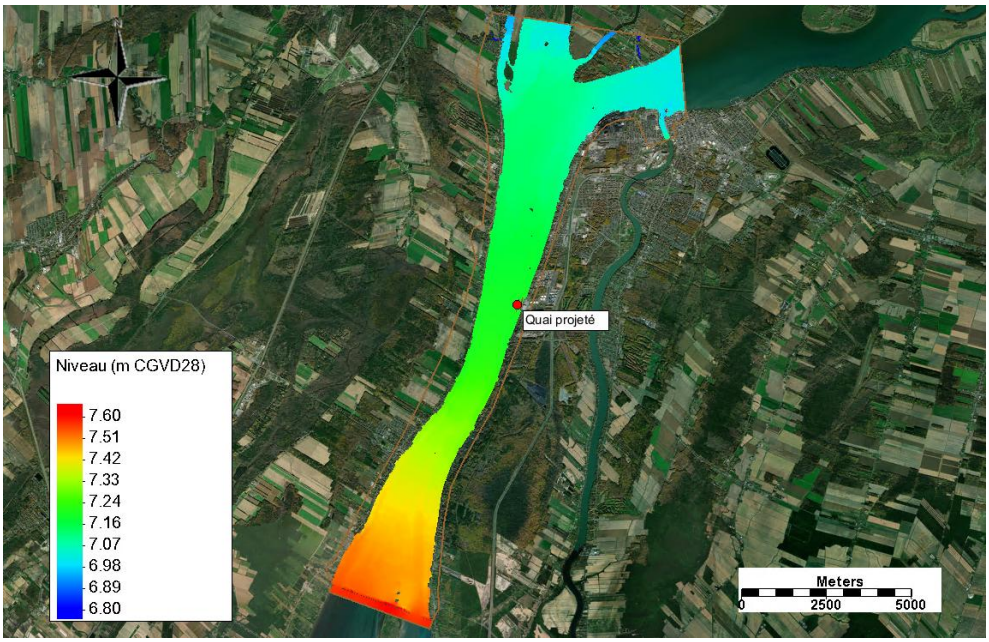


Figure 8-21 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans

8.2.4 Scénario de crue 2 ans

Les champs de vitesses autour du futur aménagement pour une crue de 2 ans en conditions actuelle et projetée sont respectivement montrés sur les figures 8-22 et 8-23. Les niveaux d'eau dans la zone du quai pour une crue de 2 ans en conditions actuelle et projetée sont montrés respectivement aux figures 8-24 et 8-25.

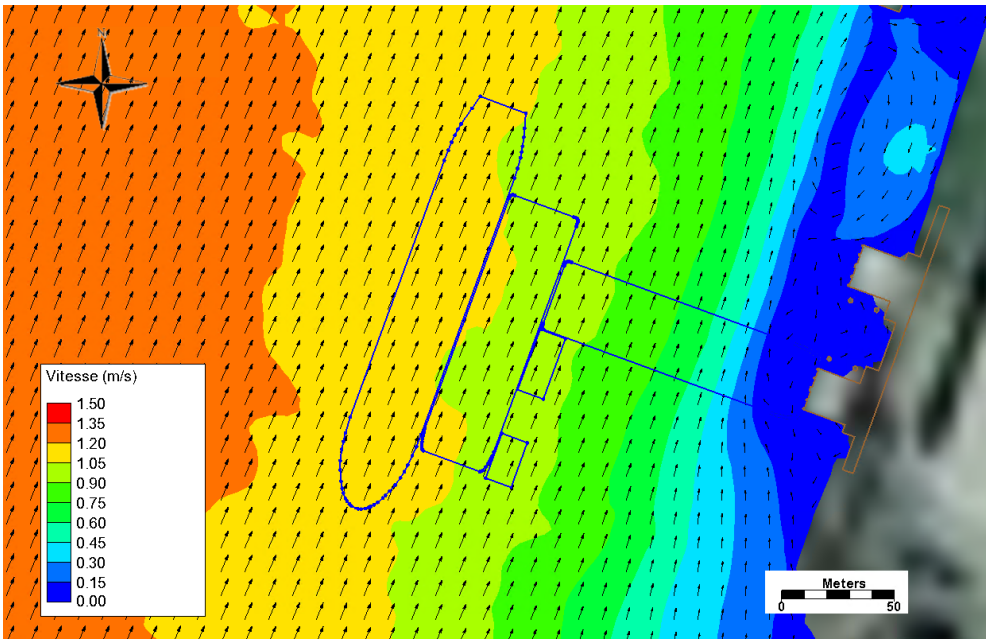


Figure 8-22 : Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans

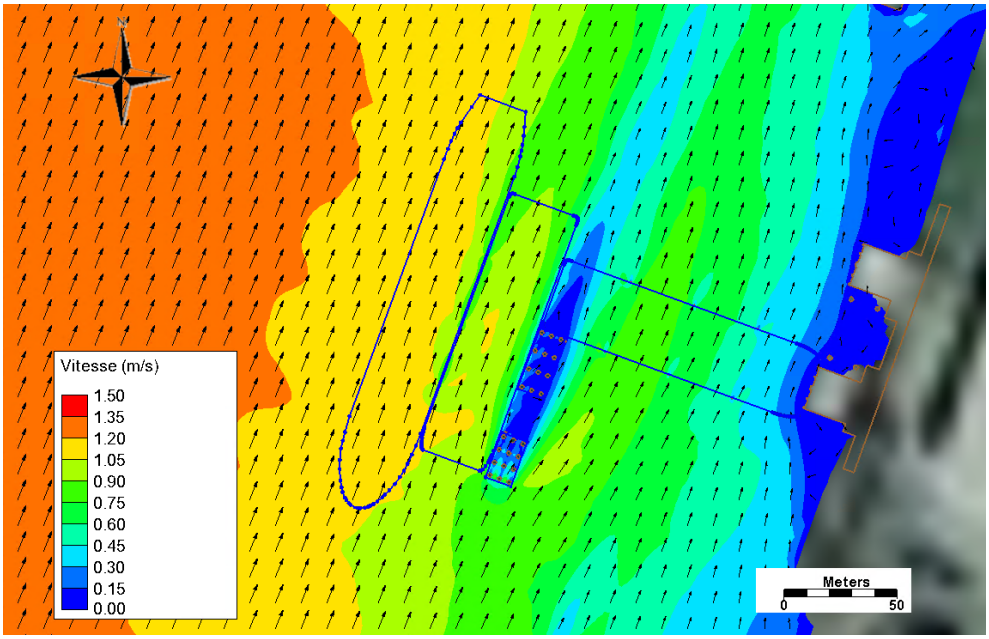


Figure 8-23 : Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans

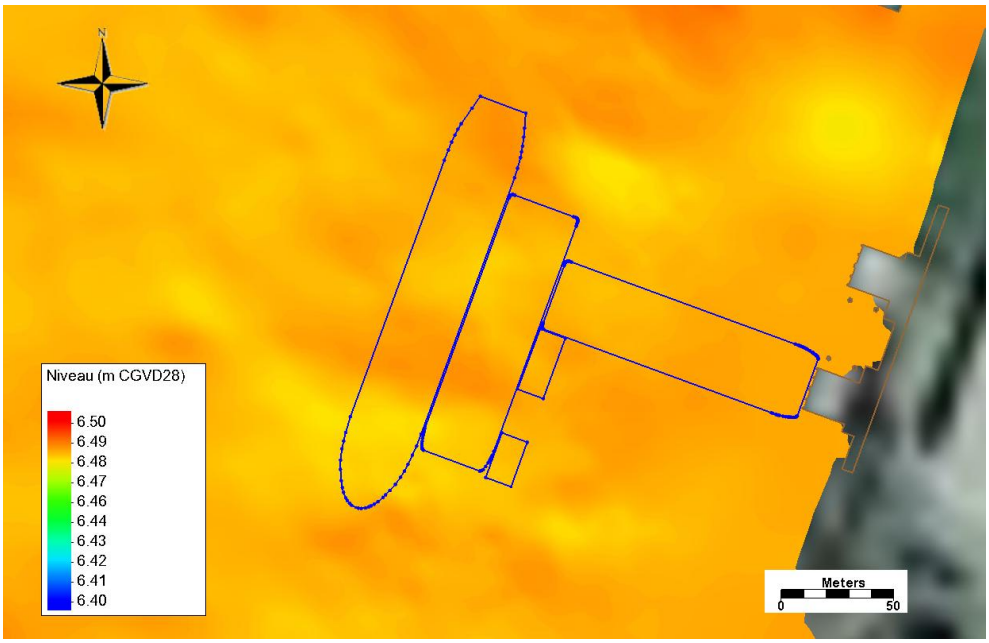


Figure 8-24 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans

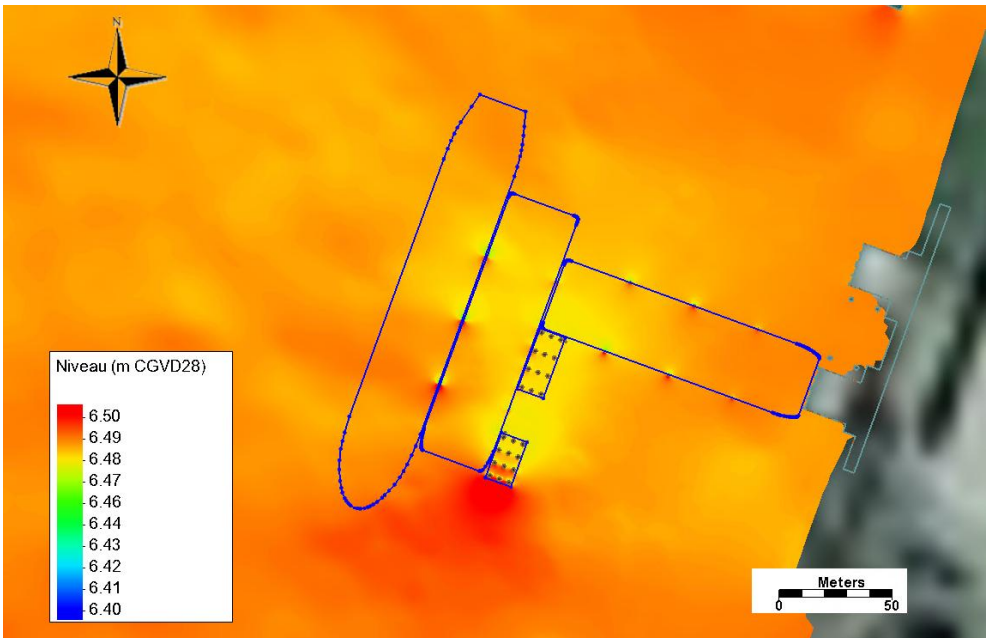


Figure 8-25 : Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans

Les figures 8-26 et 8-27 montrent les vitesses et les niveaux d'eau, respectivement, sur l'ensemble du domaine modélisé pour une crue centenaire. Il n'y a pas de différence entre la condition actuelle et projetée à cette échelle.

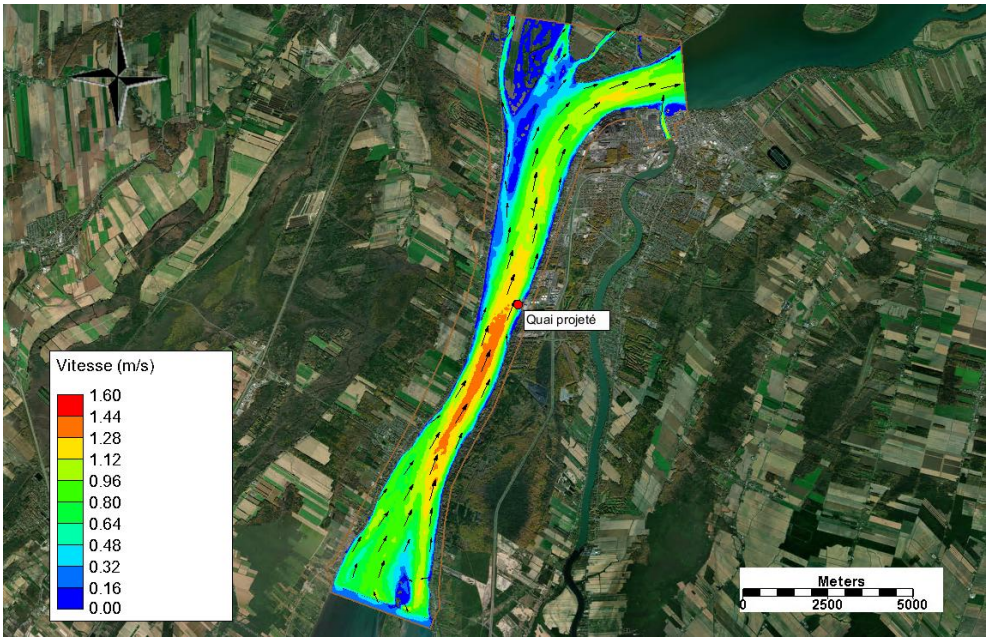


Figure 8-26 : Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans

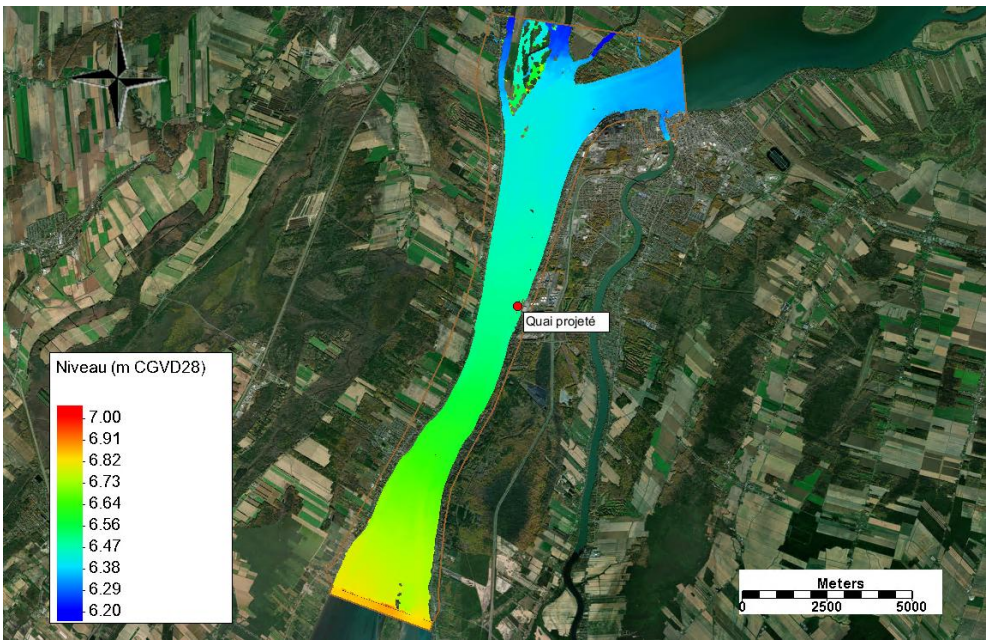


Figure 8-27 : Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans

9. Conditions de vagues

Afin d'émettre des recommandations quant aux conditions de vagues qui devraient être considérées lors de la conception d'un nouveau quai à Sorel-Tracy, une étude du régime des vagues est nécessaire. À noter que les vagues de navires n'ont pas été évaluées. Il est possible que ces vagues de navires aient des hauteurs similaires à celles des vagues de vent. Une campagne de terrain serait requise pour tenter d'évaluer l'influence de ces vagues de navires sur l'agitation.

En l'absence de données de vagues pour le secteur, celles-ci doivent être établies à l'aide d'un modèle mathématique à partir de données de vents mesurées. Dans le cadre de la présente analyse, les données de vents de 1994 à aujourd'hui, mesurées à la station d'Environnement Canada du Lac Saint-Pierre (station : 701LP0N), ont été utilisées [7].

La rose des vents obtenue à partir des mesures de vents au Lac Saint-Pierre (1994 à 2021) est fournie à la figure 9-1. Pour éviter une sous-estimation des hauteurs de vagues, tous les mois de l'année ont été retenus pour l'analyse des vagues.

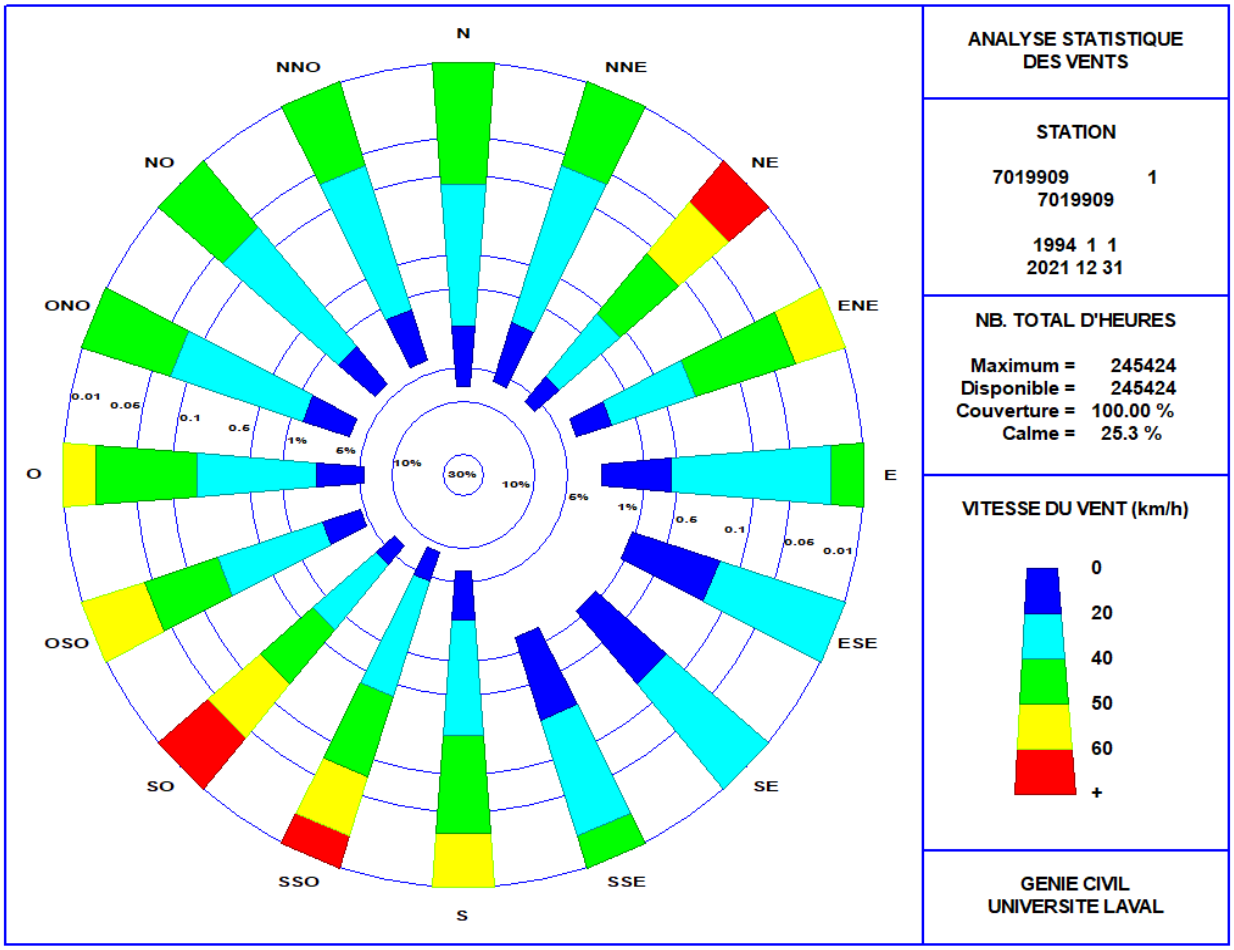


Figure 9-1 : Rose des vents de 1994 à 2021 lacs Saint-Pierre

9.1 Radiales et fetchs

Le fetch est la distance dans une direction donnée entre le point de calcul des vagues et la côte la plus proche; distance sur laquelle les vents peuvent soulever les vagues dans la direction considérée.

Les radiales permettant de calculer les fetchs ont été déterminées à tous les trois degrés (3°) à partir d'images satellites (Google Earth). Les fetchs utilisés suivant les directions d'intérêt sont calculés à l'aide de la méthode des fetchs effectifs. Il est à noter que les fetchs utilisés correspondent à la moyenne, plus un demi-écart-type.

La figure 9-2 présente la localisation des deux points d'origine de mesure des radiales (O1 et O2) utilisées pour le calcul des longueurs de fetchs. Ces points sont situés aux coordonnées suivantes :

+ O1 : 45° 59' 47,91''N / 73° 10' 30,81'' W;
+ O2 : 45° 59' 47,12''N / 73° 10' 28,81'' W.



Figure 9-2 : Localisation des points de calculs des radiales et des fetchs

Les radiales mesurées sont présentées sous forme de roses aux figures 9-3 et 9-4 pour les points O1 et O2. Les fetchs effectifs pour O1 et O2 sont respectivement présentés sous forme de roses aux figures 9-5 et 9-6.

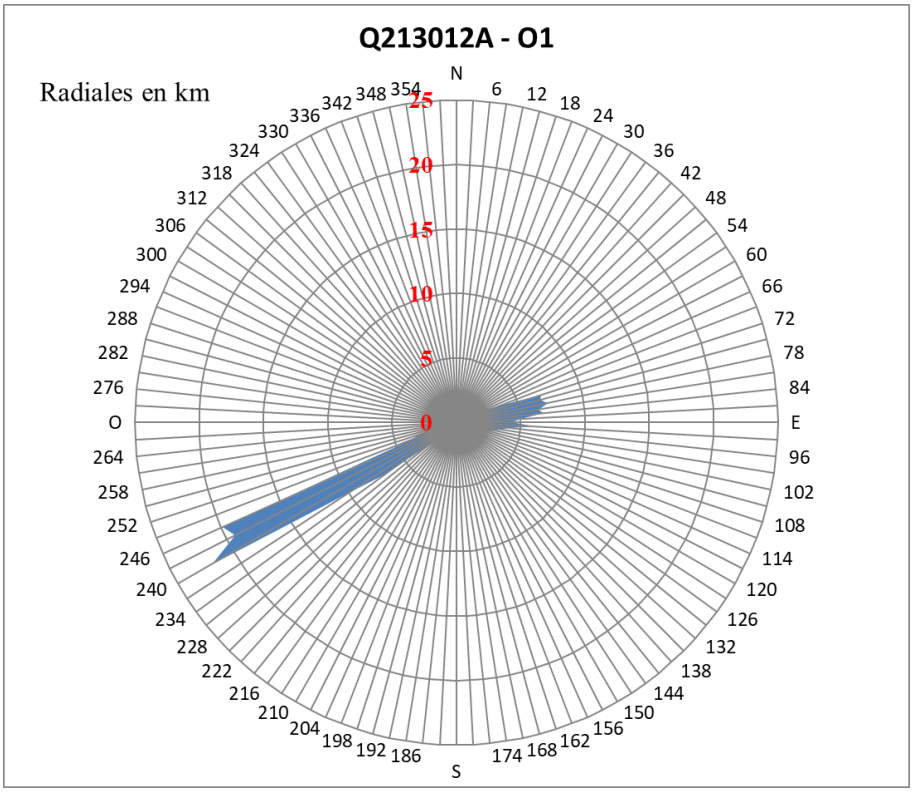


Figure 9-3 : Rose des radiales pour le point O1

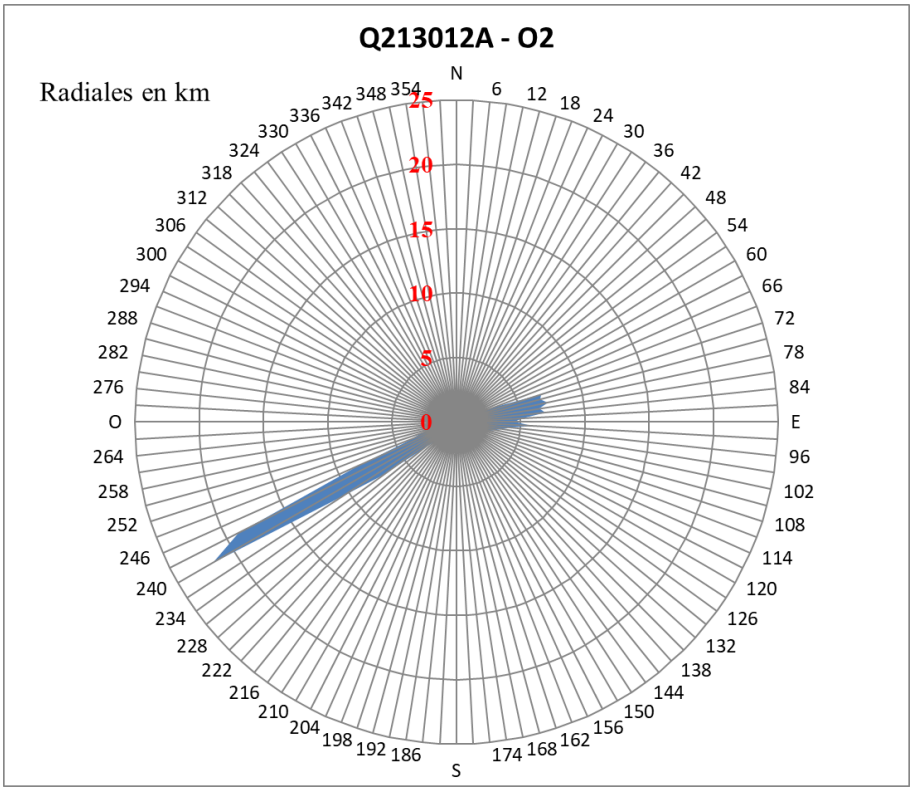


Figure 9-4 : Rose des radiales pour le point O2

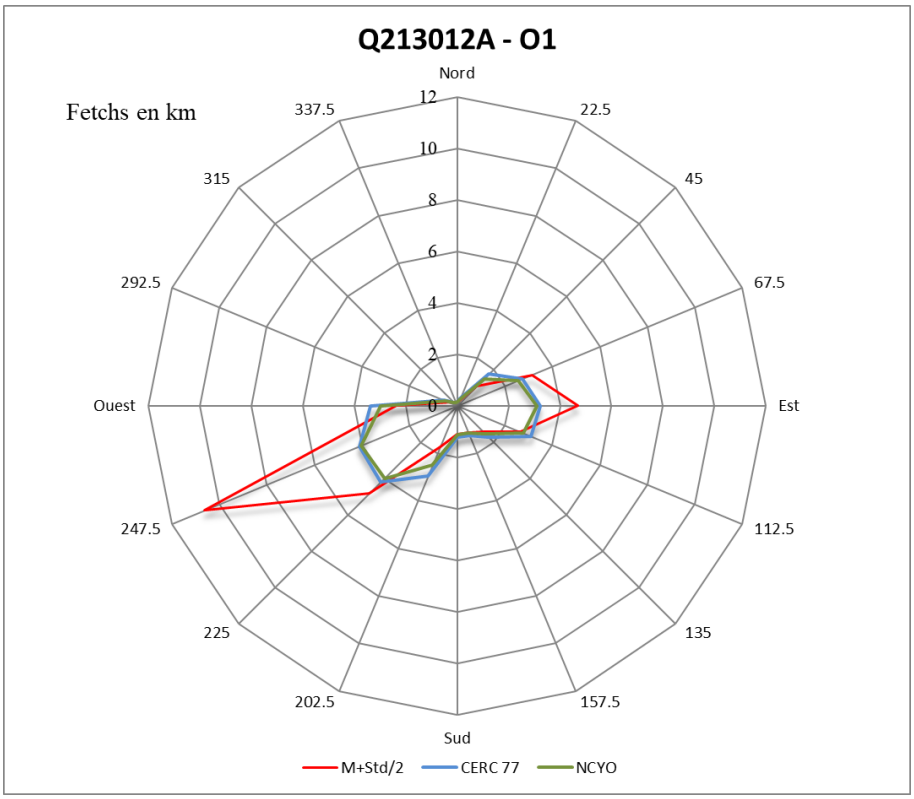


Figure 9-5 : Rose des fetchs pour le point O1

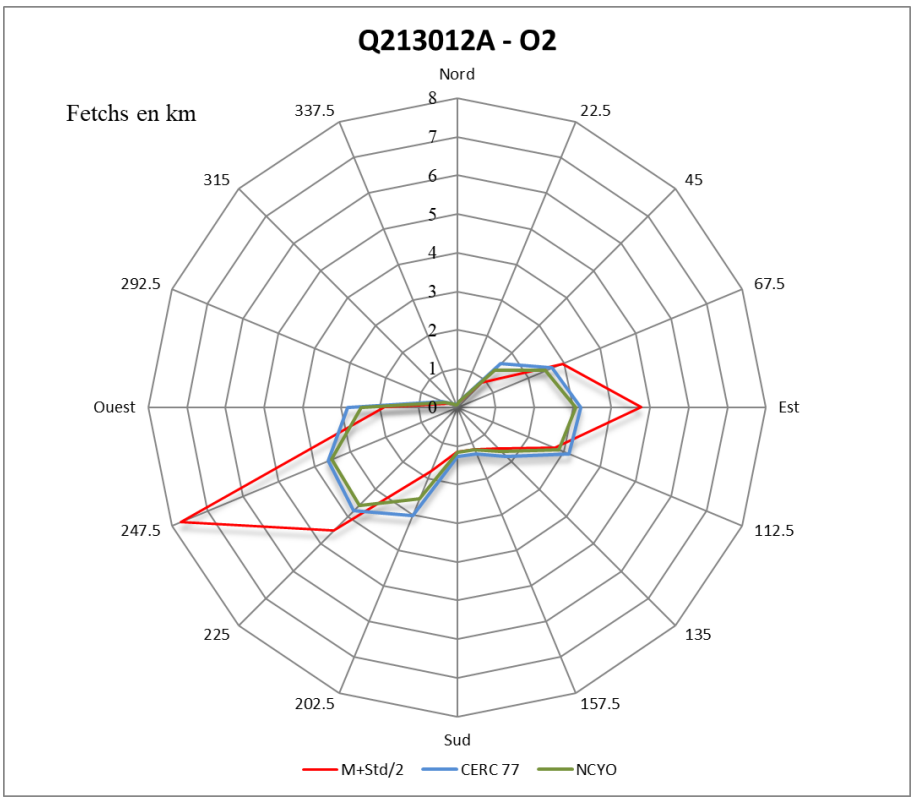


Figure 9-6 : Rose des fetchs pour le point O2

La méthode de calcul des fetchs effectifs « M+Std/2 » a été retenue pour représenter la géométrie du domaine de génération des vagues au large du terminal de Sorel-Tracy. Cette méthode fournit des valeurs de fetchs plus représentatives de la forme allongée du domaine de génération des vagues que les deux autres méthodes de calcul de fetchs utilisées. Les valeurs de fetchs retenues pour chacun des points d'origine ainsi que celles de la série combinée composée des valeurs maximales pour chacune des directions sont présentées au tableau 9-1.

Tableau 9-1 : Valeurs numériques des fetchs effectifs selon le point de calcul (km)

Point	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
O1	0,1	0,2	1,1	3,2	4,7	2,7	1,4	1,1	1,1	1,7	4,8	10,6	2,4	0,3	0,2	0,1
O2	0,1	0,1	0,9	3,0	4,8	2,7	1,5	1,2	1,2	1,8	4,5	7,8	1,9	0,2	0,1	0,1
Combiné	0,1	0,2	1,1	3,2	4,8	2,7	1,5	1,2	1,2	1,8	4,8	10,6	2,4	0,3	0,2	0,1

La série combinée des fetchs effectifs est retenue pour les étapes subséquentes.

9.2 Estimation des vagues par modèle de génération

Le modèle GENER (Version 1.32) applique la méthode S.M.B. (Shore Protection Manual, 1984) de façon séquentielle aux données horaires du vent pour obtenir les statistiques des vagues en un point au large du site à l'étude. La méthode de calcul du SPM-77 et une profondeur d'eau de 15 m (représentative des profondeurs de la zone des points d'origine du calcul des radiales) ont été retenues dans les calculs.

Afin d'évaluer l'impact de la diminution du couvert de glace due au changement climatique sur la hauteur de vagues estimée, les calculs ont été réalisés pour les périodes suivantes :

+ L'année complète;
+ Du 1er mars au 31 décembre;
+ Du 15 mars au 31 décembre;
+ Du 1er avril au 31 décembre.

La période du 1er avril au 31 décembre est considérée comme représentative des conditions d'englacement actuelles, tandis que la période du 15 mars au 31 décembre est considérée comme représentative des conditions d'englacement futur. Finalement, de façon conservatrice l'année complète et la période du 1er mars au 31 décembre ont aussi été évaluées. Il est à noter qu'aucune différence significative n'a été observée entre les conditions de vagues estimées pour l'ensemble des périodes, mis à part l'année complète (voir le tableau 9-2). Pour cette raison, de façon conservatrice, la période du 1er mars au 31 décembre a été retenue pour l'estimation des conditions de vagues extrêmes au site à l'étude. Finalement, un facteur multiplicatif de 1,0 a été appliqué aux vitesses de vent mesurées, la station de mesure des vents étant située sur l'eau.

Tableau 9-2 : Conditions de vagues en fonction de la période de retour pour différentes périodes d'englacement

	Année complète		1er mars au 31 déc.		15 mars au 31 déc.		1er avril au 31 déc.	
Période de retour (année)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
50	1,70	5,6	**1,70**	**5,6**	1,70	5,6	1,70	5,6
25	1,60	5,4	**1,50**	**5,3**	1,50	5,3	1,50	5,3
2	0,85	4,0	**0,80**	**3,9**	0,80	3,9	0,80	3,9

La rose des vagues obtenue pour la période du 1er mars au 31 décembre est présentée à la figure 9-7. Les valeurs numériques (hauteur et période) apparaissent dans le tableau 9-3.

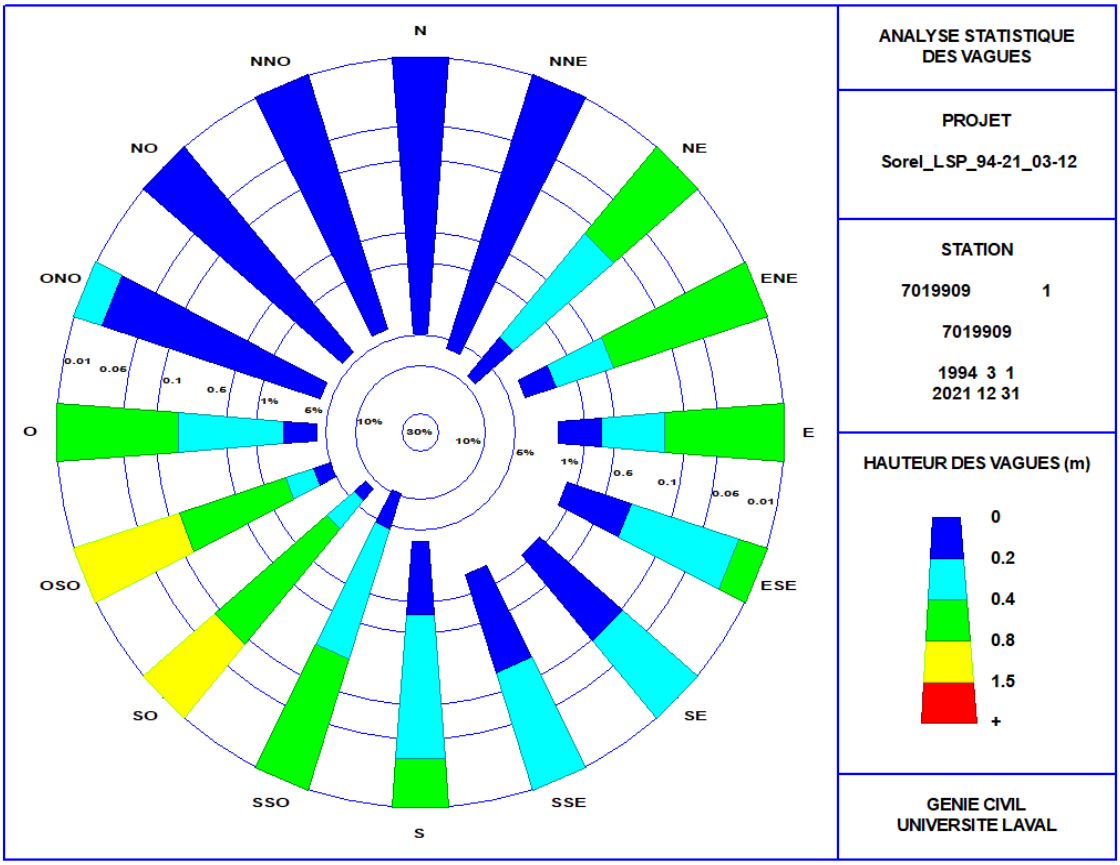


Figure 9-7 : Rose des vagues – Vents mesurés au lac Saint-Pierre et appliqués aux valeurs combinées de fetchs de O1 et O2

Tableau 9-3 : Conditions de vagues retenues en fonction de la période de retour

Période de retour (année)	Hauteur significative des vagues (m)	Période de pointe (s)
50	1,70	5,6
25	1,50	5,3
10	1,30	4,9
5	1,10	4,5
2	0,80	3,9

Finalement, selon Ouranos [29], l'impact des changements climatiques sur le vent correspond à une réduction des vents en été et à une faible augmentation (avec un consensus moins fort) en hiver. L'étude d'Ouranos indique : *« Une étude basée sur seulement cinq modèles CMIP5 suggère, pour nos régions, une réduction des vents en été pour la période 2079-2099 par rapport à 1979-1999 et une faible augmentation des vents en hiver, cette dernière obtenant un consensus moins fort entre les cinq modèles ».* En fonction de ces informations, l'analyse de l'impact des changements climatiques sur les conditions de vagues en considérant une période d'englacement réduite avec les vents actuels est jugée comme étant conservatrice.

10. Analyse des cartes de glace

L'analyse des conditions de glace à l'emplacement du nouveau port a été réalisée à partir des cartes de glace du fleuve St-Laurent dans le secteur délimité par Contrecœur et Sorel (WIS85b) [8]. Ces cartes sont produites par la Garde côtière canadienne et diffusées publiquement de 2012 à 2022. Les cartes de glace sont généralement produites à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril pour chacune des saisons hivernales. Les dates de début et de fin de diffusion varient d'une année à l'autre en fonction du couvert de glace. À partir de l'hiver 2018-2019, une carte de glace est produite, en moyenne, tous les jours durant la saison active. Pour les hivers précédents, les cartes de glaces sont produites environ aux trois ou quatre jours. En effet, la moyenne de cartes disponibles par hiver est de 28 cartes pour les hivers 2012-2013 à 2017-2018 et de 115 cartes pour les hivers subséquents. La figure 10-1 montre la localisation du terminal portuaire projeté et de la zone d'analyse sur un exemple de carte de glace. Il est à noter que l'échelle ne permet pas d'analyser un secteur précis, puisque les zones délimitées sur les cartes sont habituellement très grandes. Ainsi, les résultats de l'analyse des cartes de glaces doivent être interprétés avec prudence. La zone analysée correspond au site du futur quai indiqué par un point rouge dans la figure 10-1. Prendre note que si aucune observation de glace n'est disponible directement au site, des observations de zones plus éloignées du site sont utilisées si celles-ci sont jugées représentatives du site à l'étude. C'est le cas notamment lorsque les glaces sont présentes sur chaque rive et en considérant le mouvement des glaces avec le courant.

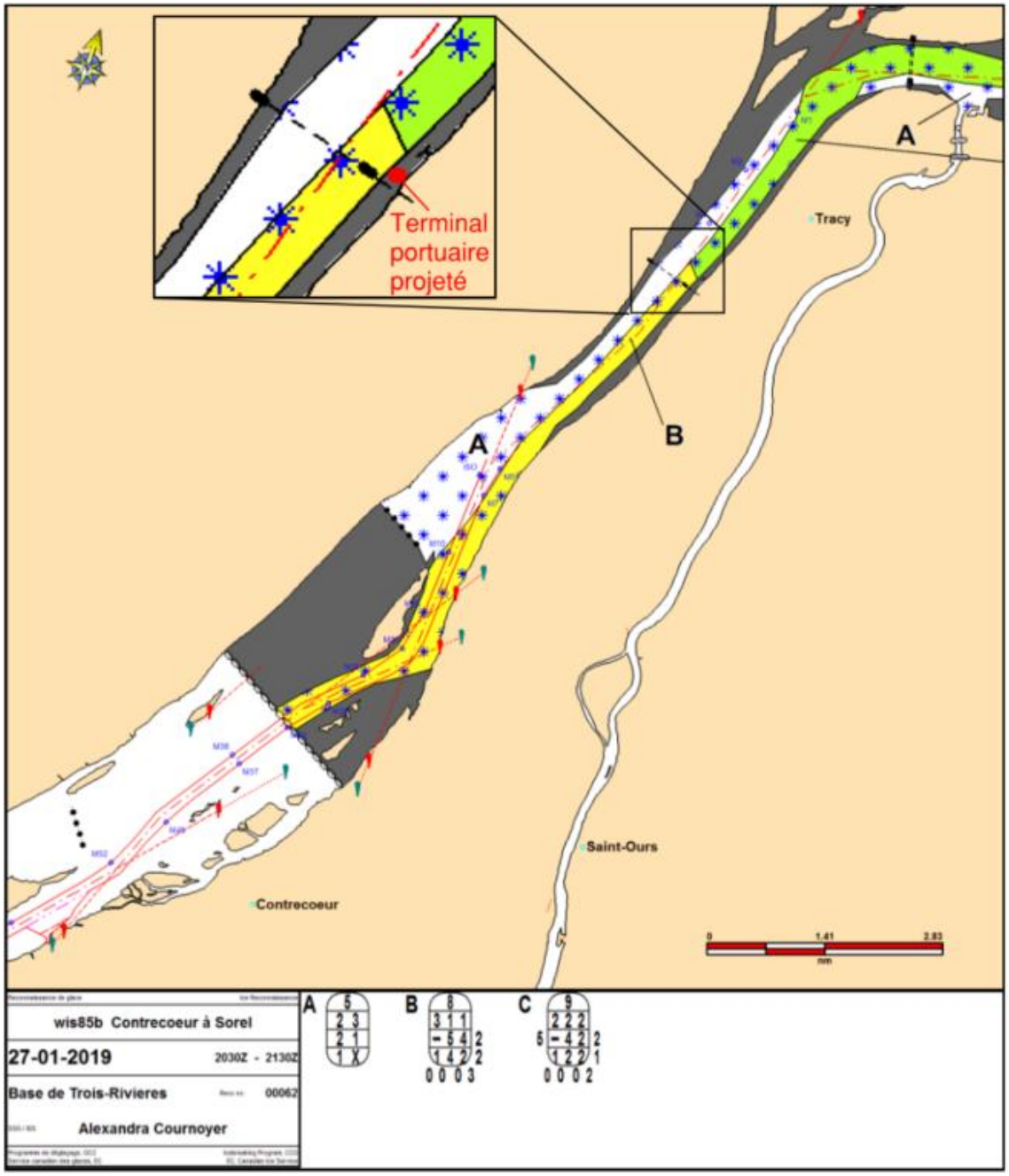


Figure 10-1 : Localisation du terminal portuaire projeté de Sorel et de la zone d'analyse (point rouge) sur la carte de glace du 27 janvier 2019

10.1 Méthodologie

Dans le cadre de la présente analyse, 648 cartes de glace ont été analysées, soit l'ensemble des cartes disponibles pour le secteur d'intérêt. Les informations suivantes ont été relevées :

+ Les concentrations de glace;
+ Les épaisseurs de glace prédominantes;
+ La présence d'une banquise;
+ La présence de sarrasins[1].

Il est à noter que les données de concentrations et d'épaisseurs de glace étaient manquantes sur un total de 19 cartes, soit 3 % du total. Ces cartes de glaces ont été retirées de l'analyse, ce qui signifie que seulement 629 cartes de glace sur les 648 au total ont été utilisées. Il faut également noter que les dates inscrites sur la première et sur la dernière carte de glace émise par la Garde côtière canadienne lors d'une même saison hivernale ont été interprétées respectivement comme la date de début et la date de fin de la période d'englacement au port.

Une analyse de fréquences de dépassement sur toute la période ainsi qu'une estimation du nombre de jours de dépassement par saison hivernale ont été effectuées pour les concentrations de glace supérieures à 30 %. Cette analyse a été effectuée sur l'ensemble des cartes de glace présentant des informations d'épaisseurs et de concentrations de glace.

Le nombre de jours de dépassement des différentes gammes de glace (concentrations et épaisseurs) par saison hivernale a été estimé en distribuant les concentrations et les épaisseurs de glace indiquées sur les cartes analysées pour la période considérée d'englacement en fonction des fréquences d'occurrence notées. Ainsi, si des épaisseurs de glace de 15 à 30 cm sont observées à un site sur 20 % des cartes de glace d'une saison de 60 jours, la présence de glace d'une épaisseur de 15 à 30 cm correspond à une période totale de 12 jours.

Les différentes catégories d'épaisseur et de types de glace analysée sont les suivantes :

+ L'épaisseur de glace de 15 à 30 cm;
+ L'épaisseur de glace de 30 à 70 cm;
+ La banquise (peu importe son épaisseur);
+ Le sarrasin de moins de 1 m d'épaisseur;
+ Le sarrasin de 1 à 2 m d'épaisseur;
+ Le sarrasin de 2 à 4 m d'épaisseur.

La date de début, la date de fin, la durée en jours ainsi que le nombre de cartes de glaces analysées pendant les saisons hivernales considérées sont présentés au tableau 10-1.

[1] « Accumulation de glaces flottantes composées de fragments qui n'ont pas plus de 2 m d'extension et qui proviennent de la destruction d'autres formes de glace. » (Définition tirée du Glossaire des glaces, Gouvernement du Canada, 2021)

Tableau 10-1 : Durée d'englacement et nombre de cartes analysées pour les saisons hivernales de 2012 à 2022

Hivers	Date de début	Date de fin	Durée (jours)	Date de première apparition de la banquise	Date de dernière rupture de la banquise	Nombre de formation de banquise	Nombre de cartes analysées
2021 – 2022	27 déc.	5 avril	99	16 janvier	8 mars	4	131
2020 – 2021	29 déc.	23 mars	84	1 février	15 mars	2	65
2019 – 2020	19 déc.	26 mars	98	21 janvier	2 mars	3	124
2018 – 2019	10 déc.	5 avril	116	21 janvier	6 mars	2	139
2017 – 2018	14 déc.	20 mars	96	13 janvier	6 février	2	24
2016 – 2017	16 déc.	31 mars	105	15 janvier	16 mars	2	24
2015 – 2016	4 janvier	19 mars	75	12 février	18 février	1	25
2014 – 2015	8 janvier	8 avril	90	8 janvier	25 mars	2	26
2013 – 2014	17 déc.	9 avril	113	18 décembre	31 mars	2	43
2012 – 2013	26 déc.	18 mars	82	31 décembre	7 février	2	28

Prendre note que les dates de début et fin d'hiver et de banquise ainsi que le nombre de formations de banquise dans l'hiver peuvent être influencées par la couverture temporelle des cartes disponibles. Par exemple pour les hivers 2012-2013 à 2017-2018, contrairement aux hivers plus récents, les cartes de glace n'ont pas été produites tous les jours. Certaines banquises et dates de début et de fin d'hiver sont donc potentiellement manquantes pour ces hivers.

Les tableaux et figures présentés dans les prochaines sections de résultats incluent les informations extraites des 629 cartes de glace analysées. Seules les concentrations de glace supérieures ou égales à 30 % et les épaisseurs de glace supérieures ou égales à 15 cm ont été analysées en posant l'hypothèse que des concentrations et épaisseurs inférieures auraient peu d'impact sur les activités portuaires.

Pour calculer les fréquences de dépassement, le nombre de cartes par catégorie d'épaisseur et de concentration est divisé par le nombre total de cartes, soit 629. Pour calculer un nombre de jours moyens pour chaque catégorie d'englacement par saison hivernale, la fréquence est multipliée par le nombre moyen de jours d'englacement annuels pour les dix hivers analysés, soit 96 jours, et le résultat est arrondi au nombre entier supérieur.

10.2 Résultats par fréquence de dépassement

L'analyse des fréquences de dépassement permet d'évaluer la proportion des cartes de glace qui présentent des épaisseurs de glace au site supérieures à 15 et à 30 cm. Cette analyse permet aussi d'estimer le nombre de jours moyen par saison hivernale durant lequel de telles épaisseurs de glace se sont formées historiquement. Le tableau 10-2 et la figure 10-2 montrent les fréquences de dépassement et le nombre de jours moyen annuel de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm.

Tableau 10-2 : Fréquence et nombre de jours moyen annuel de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm

Concentration de glace	Épaisseur de glace > 15 cm		Épaisseur de glace > 30 cm	
	Fréquence	Nombre de jours	Fréquence	Nombre de jours
100 %	1 %	1	0 %	1
95 %	7 %	8	2 %	2
90 %	17 %	17	5 %	6
80 %	26 %	26	9 %	9
70 %	30 %	29	11 %	11
60 %	32 %	31	12 %	12
50 %	34 %	33	12 %	12
40 %	37 %	36	14 %	14
30 %	40 %	39	15 %	15

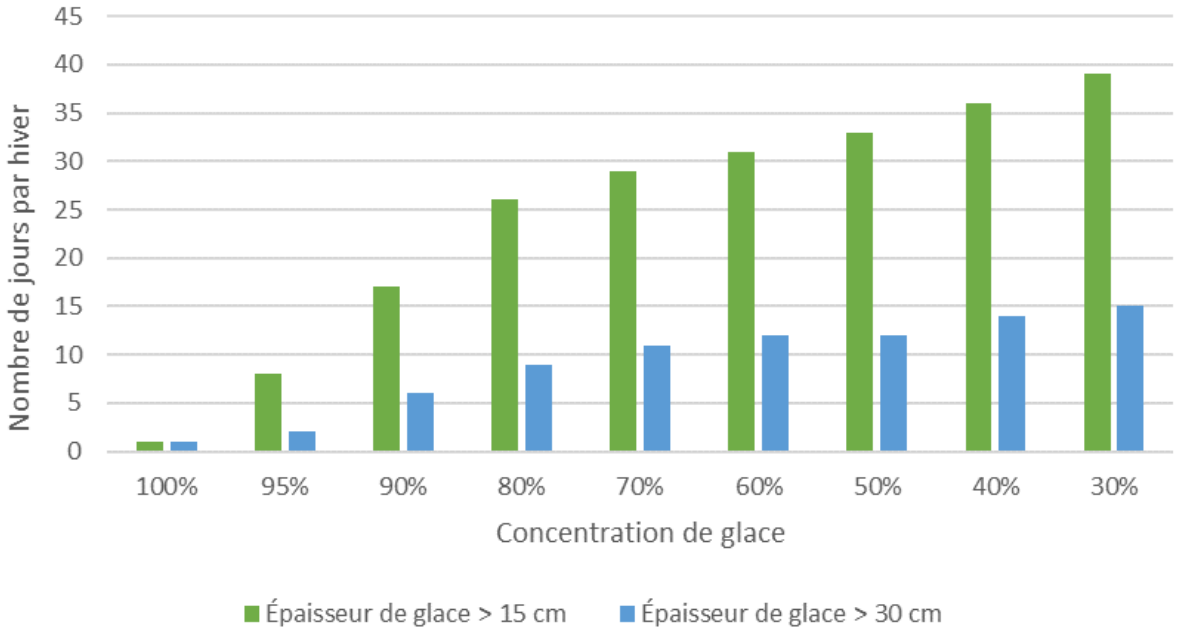


Figure 10-2 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm

Les figures 10-3 et 10-4 montrent le nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm et de 30 cm respectivement, et ce pour chaque mois de la saison hivernale.

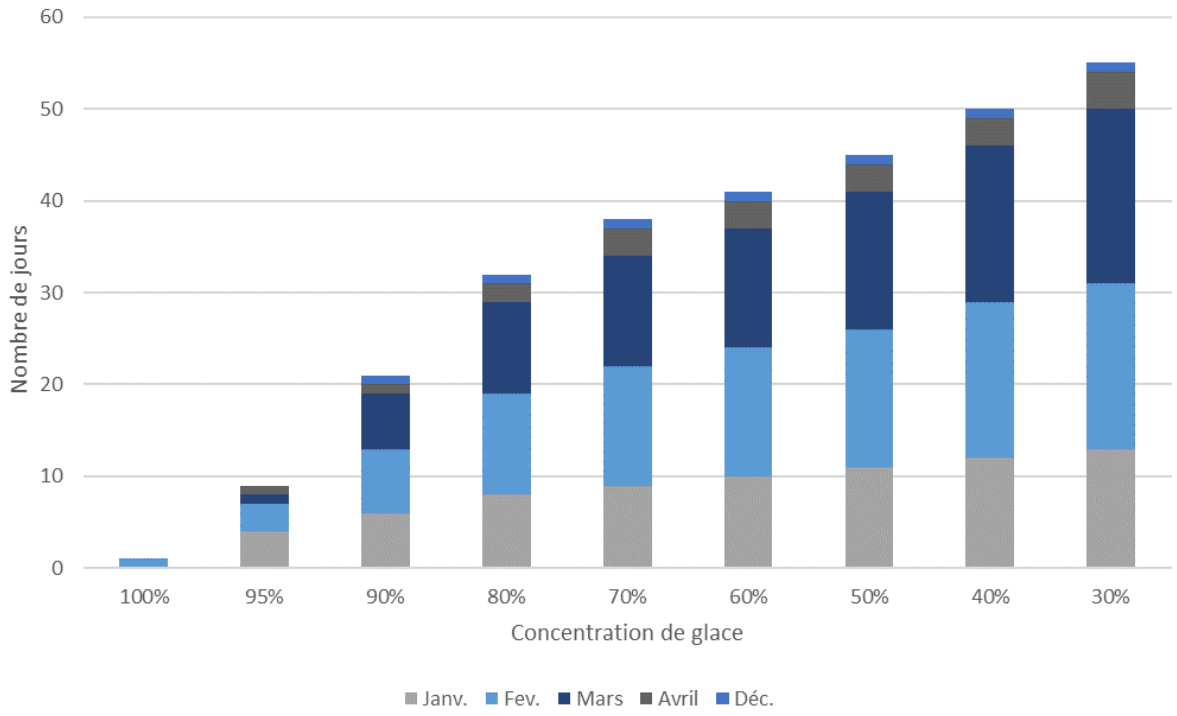


Figure 10-3 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 15 cm en fonction du mois

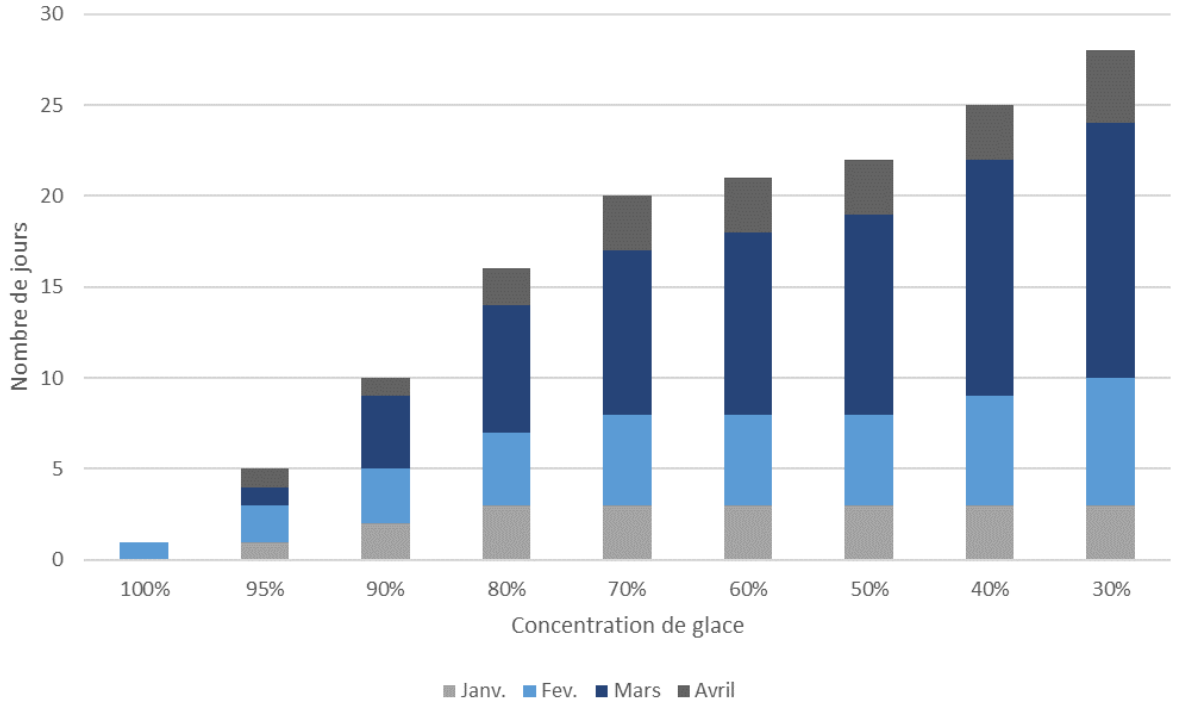


Figure 10-4 : Nombre de jours de dépassement des concentrations de glace pour des épaisseurs de plus de 30 cm en fonction du mois

10.3 Résultats par fréquence d'occurrence

L'analyse des fréquences d'occurrence permet d'évaluer la proportion des cartes de glace qui présentent des banquises et sarrasins sur le nombre de cartes analysées (629 au total). Cette analyse permet aussi d'estimer le nombre de jours moyen par saison hivernale durant lequel chaque type de glace se forme.

Le tableau 10-3 et la figure 10-5 montrent les fréquences d'occurrence annuelle moyenne de banquises et de sarrasins pour les dix saisons hivernales analysées. Sur les cartes de glace, la présence d'une banquise est indiquée à l'aide d'une zone grise. Leur épaisseur et leur concentration ne sont donc pas connues.

Les sarrasins sont divisés en trois catégories d'épaisseur distinctes comme indiqué dans la méthodologie détaillée à la fin de la section 0. Aucun pourcentage de concentration n'est disponible pour les sarrasins.

Tableau 10-3 : Fréquence et nombre de jours moyens annuels d'occurrence de banquises et de sarrasins de différentes épaisseurs

Type de glace	Fréquence d'occurrence	Nombre de jours
Banquise	49,0 %	47
Sarrasins < 1 m	34,0 %	33
Sarrasins 1 à 2 m	4,0 %	4
Sarrasins 2 à 4 m	0,6 %	1

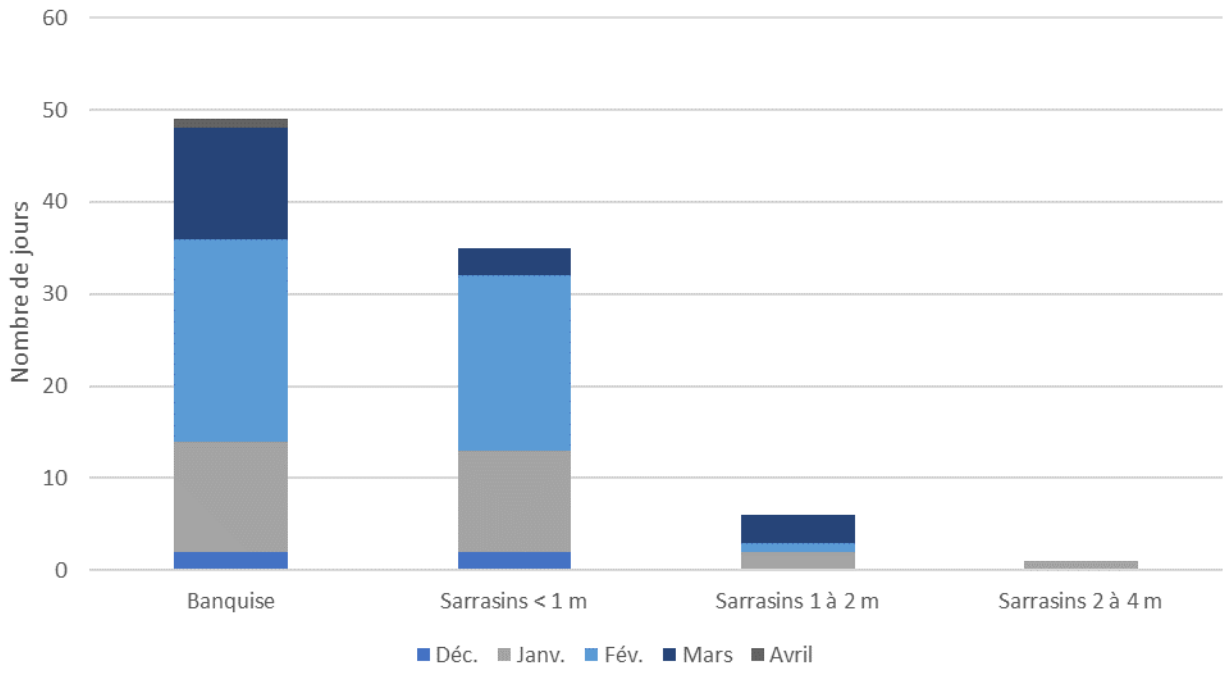


Figure 10-5 : Nombre moyen de jours par mois avec présence de banquise ou de sarrasins

10.4 Analyse des résultats

L'analyse des cartes de glace permet d'établir un historique des conditions de glace dans la zone du futur terminal portuaire de QSL Sorel-Tracy. En considérant qu'une concentration de glace d'au moins 30 % peut occasionner des problèmes d'opération pour les navires, seuls les résultats avec une concentration supérieure sont considérés. Ainsi, pour une concentration supérieure à 30 %, le couvert de glace est supérieur à 15 cm durant une moyenne de 39 jours par hiver et il est supérieur à 30 cm pendant environ 15 jours. Les glaces sont prédominantes pendant les mois de février et de mars où le nombre de jours d'englacement d'une épaisseur de plus de 15 cm et de concentration supérieure à 50 % est de 15 jours pour chacun des deux mois. La fréquence d'occurrence de ce type de couverture est donc de 54 % et de 48 % pour février et mars. Des épaisseurs de plus de 30 cm sont parfois observées au début du mois d'avril. L'hiver 2018-2019 a été particulièrement favorable à la formation de glace puisque pour 6 jours du mois de mars et 3 jours du mois d'avril des épaisseurs de plus de 70 cm ont été observées en concentration supérieure à 70 %.

En ce qui concerne la présence de banquises et de sarrasins de moins d'un mètre d'épaisseur, leurs fréquences d'occurrence se situent respectivement à 49 % et à 34 % en moyenne. La présence de sarrasins de plus d'un mètre d'épaisseur est beaucoup plus rare et survient moins de 5 jours par saison typique de 96 jours. La banquise est particulièrement importante pendant le mois de février, où sa fréquence d'occurrence est de 79 %.

11. Impact de la structure projeté sur la dynamique des glaces

L'analyse de l'impact de la structure projetée sur la dynamique des glaces à l'emplacement du nouveau port a été réalisée à partir des informations colligées lors de l'analyse des cartes de glaces, des images satellitaires du secteur disponibles gratuitement en période hivernale, des résultats de modélisations hydrauliques en 2D en conditions actuelles et projetées. Il est à noter que les modélisations hydrauliques 2D ont été réalisées seulement pour l'option A. Mais qu'en raison des faibles différences entre les deux concepts dans la partie immergée, les résultats obtenus sont considérés comme étant représentatifs pour les deux options.

11.1 Revue de littérature

Il existe trois principaux modes de formation de glace dans les rivières, lacs et mers [9]. Le phénomène le plus observé se produit dans les zones d'écoulement calme, c'est la nucléation hétérogène à la surface de la masse d'eau. La nucléation hétérogène est responsable de la formation de la glace de rive et de la glace thermique. La nucléation hétérogène se produit d'abord dans les portions où le refroidissement est plus important, soit l'interface eau/atmosphère et en rives. Le second phénomène correspond à la nucléation des particules de frasil; il est surtout observé en milieu fluvial, mais peut aussi se produire en mer et dans des lacs lors d'échanges turbulents de masse et de chaleur [9]. Le frasil se forme généralement dans les zones d'écoulement rapide et peut se retrouver sous différentes formes; actif (collant) ou inactif [10][11]. Finalement, des précipitations de neige sur un plan d'eau dont les températures s'approchent du point de congélation peuvent aussi entraîner la formation de glace; cette glace aura cependant une couleur plus blanche et des propriétés mécaniques grandement différentes de la glace noire [12].

La glace de rive est la première observée dans les rivières calmes; elle se forme dans les zones d'écoulement lent le long des rives et en bordure d'obstacles émergeant de l'eau [13]. Ces zones plus calmes se mélangent moins; il existe donc un important gradient de température verticale et horizontale. Le refroidissement est ainsi plus important à la surface en bordure des rives et prendra plus de temps à se refroidir au centre là où les vitesses sont plus importantes.

Dans le cas où il n'y a pas de production de frasil ni de chute de neige et que les températures le permettent, la glace de rive croîtra vers le centre tant qu'elle ne sera pas stoppée par des turbulences trop importantes. La suite dépend de la relation entre l'échange de la chaleur de l'eau avec l'air, la turbulence et la température de l'air [14]. Le processus de formation du couvert de glace peut néanmoins être accéléré par l'arrivée de frasil ou de neige à demi fondue dans l'écoulement [15].

Les épisodes de production de frasil sont généralement très concentrés dans le temps; pour permettre la production de frasil, la rivière ne doit pas être couverte de glace et être exposée à de grands froids, ce qui se produit la plupart du temps au début et à la fin de l'hiver et parfois à la suite de débâcles causées par des redoux hivernaux. Principalement dans les rivières, mais parfois dans les lacs et les mers, les mouvements rapides et turbulents occasionnent un échange de chaleur entre l'eau et l'atmosphère qui mène à la nucléation du frasil [9]. Dans les zones d'écoulement rapide, le frasil est généralement la première forme de glace à apparaître. Il est formé de cristaux de glace en suspension [16]. Le frasil est produit lors de périodes de grand froid, en l'absence de couvert de glace permettant ainsi des flux de chaleur plus importants entre l'atmosphère et l'eau.

Les conditions sont généralement réunies pour la formation de frasil lors de nuits froides, sèches et venteuses [17] et ce, avec une température en dessous de -10 °C [18][19]. On observe généralement le frasil dans les rivières turbulentes dont l'eau est en état de surfusion [20]. Lorsque les cristaux de frasil sont sous leur forme active, ils ont tendance à s'agglomérer pour former des flocs qui tendent à flotter; les flocs peuvent ensuite geler ensemble pour former des assiettes (pancakes) qui peuvent finalement geler ensemble pour former des radeaux. Lorsque la concentration de radeaux recouvre la majorité du chenal, la production de frasil cesse. Quand ces particules de frasil s'écoulant à la surface rencontrent un couvert de glace, elles s'accumulent de façon à former une couverture de glace progressant de l'aval vers l'amont. Cependant, si les vitesses d'écoulement sont trop importantes, les particules de frasil seront entraînées sous le couvert de glace et elles se déposeront en dessous de celui-ci une fois que les vitesses le permettront [21]. Ce phénomène peut causer la formation de dépôts massifs sous le couvert de glace qui peuvent s'étendre jusqu'au fond. Ces dépôts sont appelés barrages suspendus lorsqu'ils occasionnent une montée significative du niveau de la rivière [12].

11.2 Dynamique des glaces en conditions actuelles

La période d'englacement actuelle au site à l'étude peut être décrite par trois périodes distinctes. Du début de l'englacement à fin janvier généralement, les conditions de glace au site consistent en une alternance de sarrasins de faible épaisseur (inférieure à 30 cm) et d'eau libre. Ensuite de la fin janvier au début mars en moyenne, une banquise de glace fixe couvre le secteur à l'étude. Il est à noter que des détachements de banquises sont observés pour tous les hivers lorsque les températures deviennent supérieures à 0°C. Finalement du début mars au début avril, les conditions de glaces peuvent être décrites par une alternance de sarrasins d'épaisseur variable (30 à 120 cm) et d'eau libre.

Il est à noter que selon les images satellitaires et les cartes de glaces consultées, le couvert de glace fixe se limite à la rive (70 à 100 m de largeur) et on observe plutôt des glaces en mouvement vers le centre du fleuve (voir la figure 11-1).

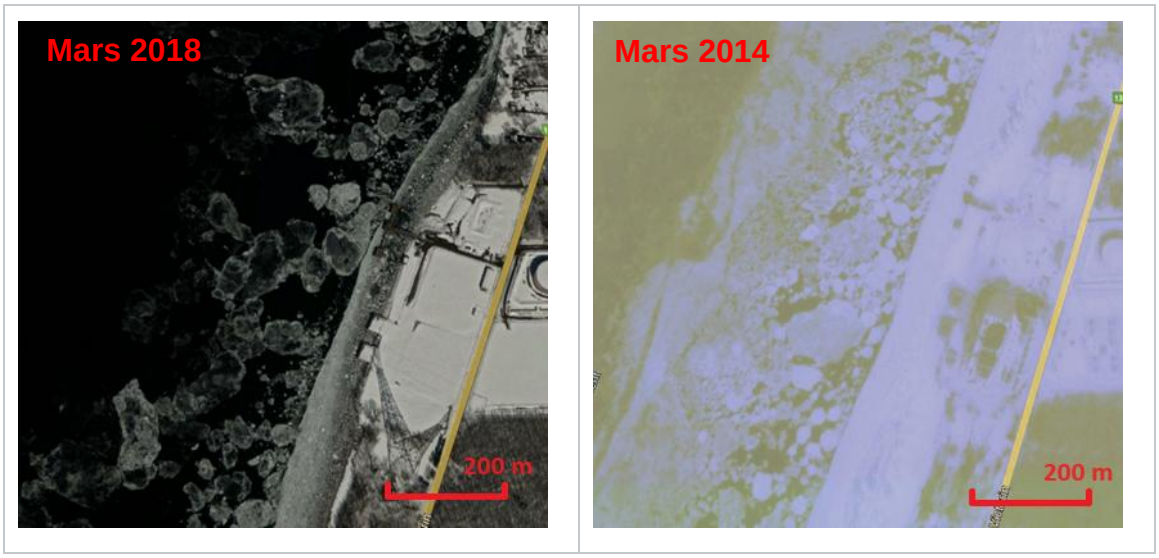
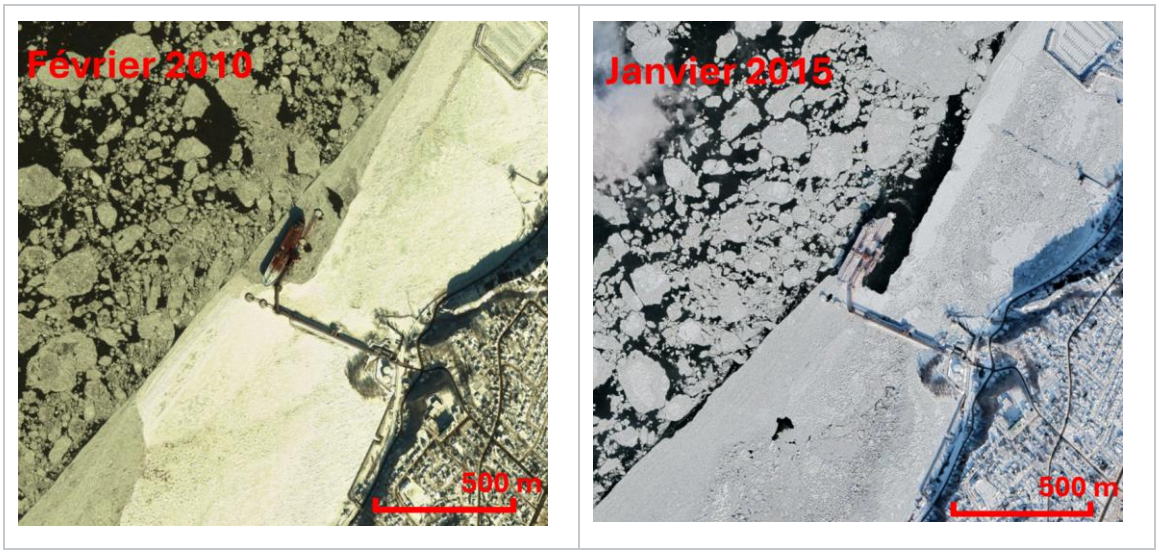


Figure 11-1 : Images satellitaires en période hivernale – Google Earth

11.3 Impact de la structure projetée

L'impact des infrastructures projetées sur les conditions d'écoulement dans les secteurs à l'étude est semblable pour l'ensemble des scénarios de modélisations hydrauliques 2D. Les impacts de la structure projetée sur les conditions d'écoulement consistent essentiellement en une diminution des vitesses d'écoulement directement en aval des pieux et ducs-d'Albe composant le nouveau quai et à une accélération des vitesses d'écoulement en rive. En effet, le principal impact observé est une augmentation des vitesses d'écoulement près de la rive et une diminution de la largeur de la zone de faibles vitesses en rive.

Les impacts de la structure projetée devraient être semblables aux impacts des autres quais que l'on peut observer sur le fleuve. Notamment, sur la figure 11-1, on peut observer que pour le quai en aval du site à l'étude, la banquise se fixe jusqu'à la limite du quai (mars 2018) et un peu au-delà du quai (mars 2014). Sur la figure 11-2, des images satellitaires en période hivernale au quai Ultramar à Lévis sont présentées. Sur ces images, on observe que la banquise se forme jusqu'à la limite du quai et parfois au-delà du quai. De plus, les glaces en aval du quai sont protégées du mouvement des glaces au centre. Il est donc attendu que le même phénomène se produise avec la structure projetée. La banquise pourrait se former jusqu'à la limite de la nouvelle structure, parfois un peu au-delà de la nouvelle structure, et les glaces en aval du quai pourraient rester plus longtemps étant donné qu'elles seront protégées du mouvement des glaces au centre.



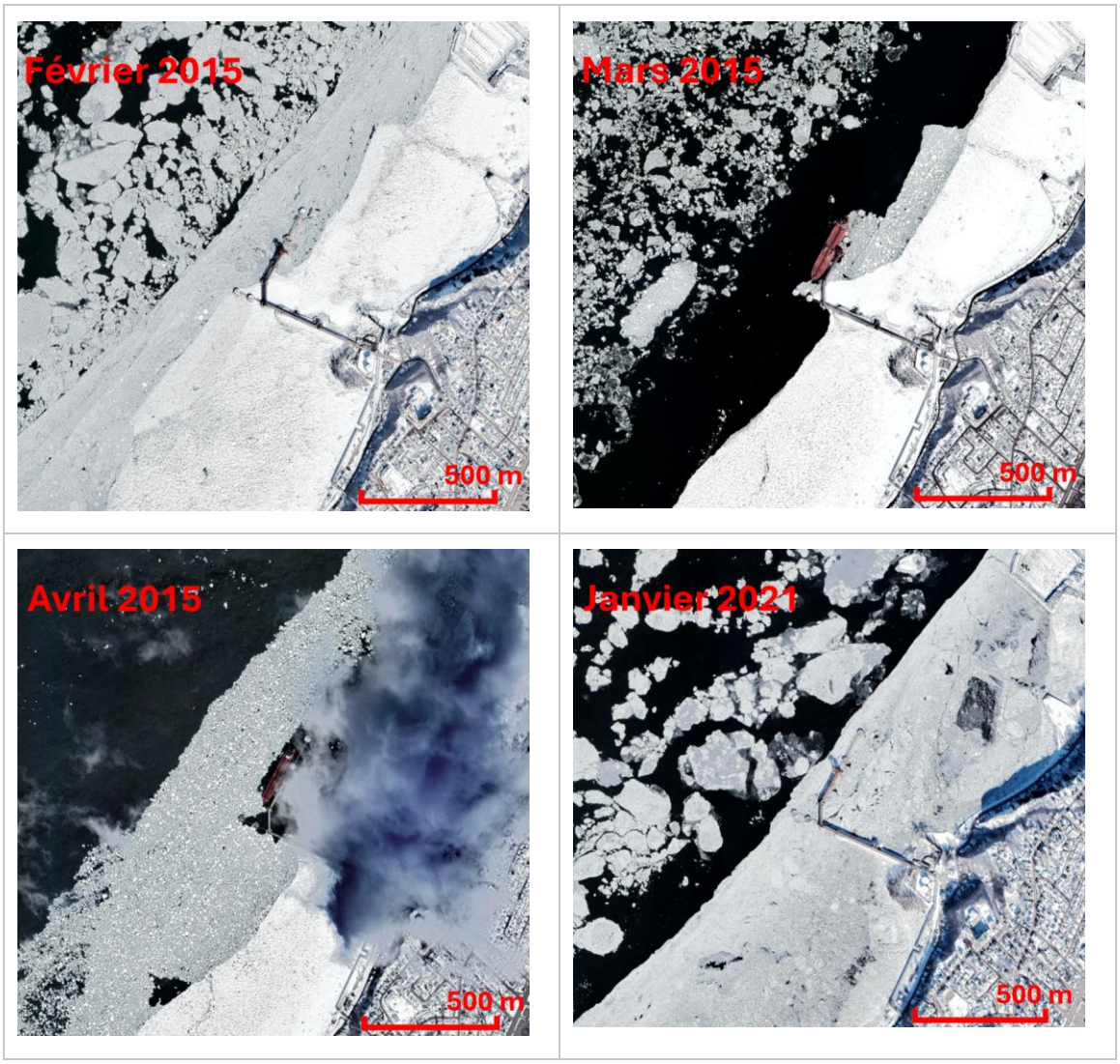


Figure 11-2 : Images satellitaires en période hivernale du quai Ultramar à Lévis – Google Earth

En fonction des conditions de glace passées, des résultats de modélisations hydrauliques en conditions actuelles et futures, le principal impact attendu sur la dynamique des glaces dans le secteur consiste en une prise légèrement plus tardive de la banquise en rive. Une fois la banquise de glace fixe installée en rive, la présence des infrastructures devrait avoir comme impact de favoriser la stabilisation de la banquise et ainsi permettre qu'elle couvre une plus grande étendue vers le large et l'amont. Finalement, en fonction de cette plus grande stabilité, la banquise devrait être présente plus longtemps. L'impact pour les infrastructures directement en aval consiste donc en une plus grande période en début d'hiver avec des glaces de faible épaisseur en mouvement et en une plus courte période avec des glaces d'épaisseurs plus importantes en mouvement pendant l'hiver et en période de débâcle. Des analyses supplémentaires pourraient être réalisées afin de préciser les impacts du nouveau quai sur la dynamique des glaces dans le secteur.

Il est à noter que les modélisations hydrauliques 3D réalisées par AtkinsRéalis, montrent, comme la modélisation 2D, des vitesses réduites en aval des structures et une accélération en rive. Les vitesses seront accélérées d'un maximum de 0,2 m/s sous les barges flottantes pour des conditions d'écoulement moyennes.

Tel que mentionné à l'annexe C, dans un contexte de changements climatiques, on peut s'attendre à une couverture de glace qui diminue et l'établissement de la banquise plus tardif. Bien que la stabilité de la banquise puisse diminuer, aucun impact du mouvement des glaces de la voie navigable sur les infrastructures du quai n'est considéré étant donné la longueur du quai significativement plus petite que la largeur du fleuve. En effet, le quai représente environ seulement 13 % de la largeur totale du fleuve à cet endroit et la distance entre les infrastructures et le milieu de la voie navigable est d'environ 325 m.

Dû à la distance significative entre le quai et la voie navigable, les infrastructures futures n'auront pas d'impact sur les conditions de glace de la voie maritime. De plus, dans le modèle hydraulique, on peut voir que l'impact des installations sur les vitesses en direction du large est restreint à 4 m dépassé le quai.

11.4 Pont d'approche

En ce qui concerne le pont d'approche de l'option B, l'élévation minimale du soffite est évaluée à 9,48 m (référence CGVD28), tandis que le niveau d'eau en crue 100 ans est estimé à 7,49 m. La configuration actuelle du pont d'approche assure donc un dégagement vertical de 1 990 mm au-dessus du niveau d'eau en crue 100 ans. Les exigences du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) concernant le dégagement vertical sous un pont en absence d'embâcles de glaces et en absence de marées est de 300 mm au-dessus du niveau 100 ans ou 1 000 mm au-dessus du niveau de conception. Pour un pont en présence de marée, le dégagement vertical minimal exigé correspond à 300 mm au-dessus du niveau extrême enregistré de pleine mer (Ex.H) majoré de l'amplitude de la houle caractéristique. Bien qu'il n'y ait pas de marée au site à l'étude, ce dernier est sujet à l'action des vagues. Les niveaux extrêmes enregistrés au site à l'étude ont été mesurés au printemps 1976 et étaient de 8,16 m à la station hydrométrique de Sorel située en aval. En considérant les pertes de charge obtenues pour la modélisation en crue 100 ans (190 mm), on estime le niveau extrême au site à 8,34 m. En considérant la houle caractéristique comme étant les vagues de période de retour de 2 ans d'une hauteur de 0,8 m, l'élévation minimale du soffite selon ce critère devrait être de 9,14 m. Finalement, pour un pont en présence d'embâcles de glace, l'élévation minimale du soffite devrait être 1 000 mm au-dessus du niveau extrême de glaces. Il est à noter qu'aucun embâcle de glace n'est répertorié par le ministère de la Sécurité publique (MSP) dans le secteur à l'étude. Néanmoins, en considérant le niveau passé extrême estimé au site (8,34 m) comme niveau extrême des glaces, le dégagement vertical sous le soffite de la structure est 1 140 mm. En résumé, le pont d'approche actuellement proposé assure un dégagement vertical supérieur à celui prévu selon les exigences du MTMD pour la conception de ponts routiers.

11.5 Impact de laisser la barge transversale en hiver

QSL souhaite évaluer la possibilité de laisser la barge transversale (dans le cas de l'option A) en place l'hiver.

Laisser la barge en place l'hiver implique des efforts de glace considérables qui devront être repris par la structure qui retient les barges en place. Idéalement, la coque de la barge laissée en place l'hiver devrait être conçue de façon à permettre le passage des glaces sous la barge (coque arrondie) pour diminuer les efforts en cas de surcroît de pression du couvert de glace. Une telle conception de la partie amont des barges est loin d'être simple et de garantir sa fonctionnalité.

Les impacts par rapport à l'écoulement consistent principalement en une diminution des vitesses d'écoulement directement en aval des barges et une accélération des vitesses de courant en rive.

Les impacts par rapport aux glaces sont similaires à ceux de laisser les pieux en place, mais seraient plus significatifs. Laisser la barge en place l'hiver favoriserait la prise de glace en rive qui se ferait plus rapidement, sur une plus grande étendue vers le large et vers l'amont. La barge favoriserait la stabilité de cette banquise collée à la rive qui resterait en place plus longtemps. Pour les infrastructures en aval, on pourrait s'attendre à moins de mouvements de glace étant donné la protection offerte par la présence de l'obstacle aux mouvements de glace que représente la barge.

Prendre note également que les opérations de brise-lames au quai Kildair en aval du site ne devraient pas avoir d'impacts sur les infrastructures projetées étant donné que ces opérations sont en aval du site et que l'évacuation des blocs de glaces se fait vers l'aval.

12. Estimation des épaisseurs de glace extrêmes

Les épaisseurs de glace attendues au futur quai ont été estimées à l'aide de deux méthodes, et ce, pour plusieurs périodes de retour. La première méthode consiste en l'analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées par le Service canadien des glaces (SCG) à proximité du site à l'étude. La seconde méthode utilisée est l'estimation de la croissance thermique de la glace à partir de l'équation de Stefan. Cette méthode nécessite le calcul des degrés-jour de gel cumulés à partir des températures enregistrées aux sites à l'étude ainsi qu'un coefficient régional. Dans le cadre de cette étude, ce coefficient régional a été calibré à partir des données disponibles sur les épaisseurs de glace dans la région.

12.1 Analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées

L'analyse des épaisseurs de glace mesurées a été réalisée à partir des données diffusées par le SCG [22]. Les mesures utilisées sont prises de manière hebdomadaire et couvrent les saisons hivernales de 1985 à 2001 à partir du moment où il devient sécuritaire de marcher sur la glace jusqu'au dégel. La station de mesures est située à proximité de l'île Saint-Ours à Contrecœur, soit à 9 km de l'emplacement du nouveau port.

Un total de 69 mesures sont disponibles sur une période de 16 ans, ce qui fait une moyenne de quatre mesures par année. La figure 12-1 présente les épaisseurs maximales annuelles mesurées pour la période de 1985 à 2001.

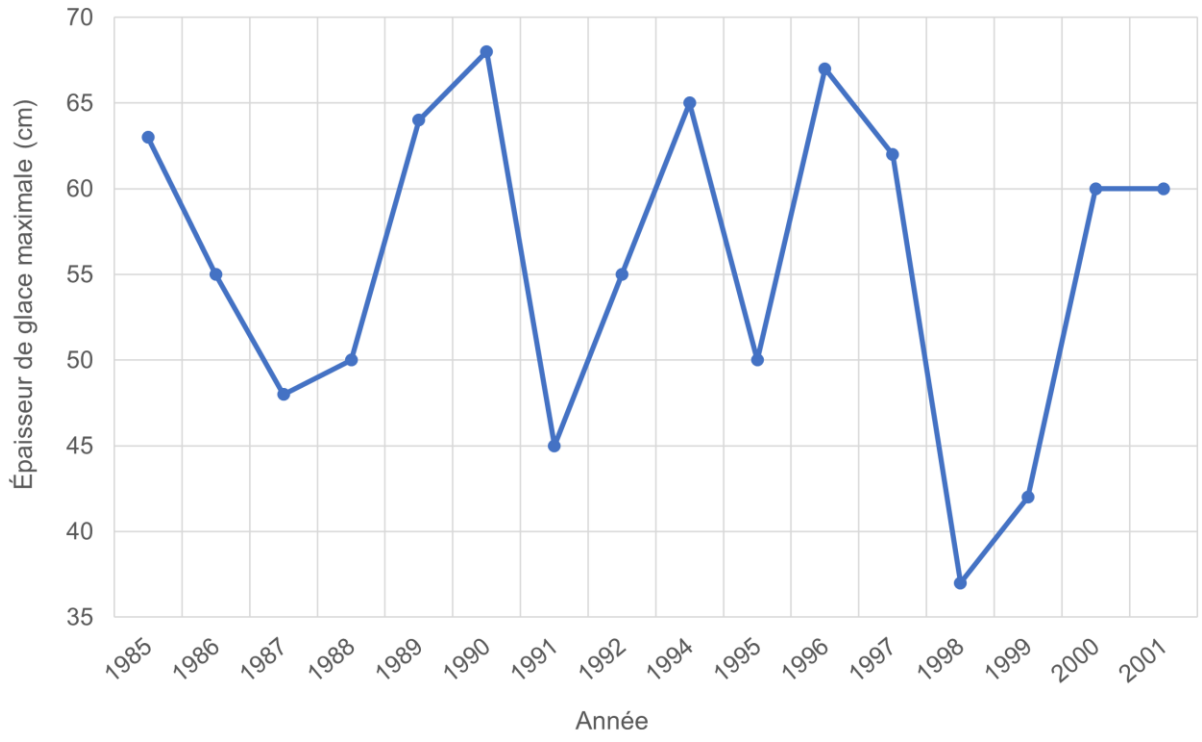


Figure 12-1 : Épaisseur de glace maximale annuelle mesurée de 1985 à 2001

Afin d'obtenir des épaisseurs de glace en fonction de périodes de retour, une analyse statistique sur la série de l'épaisseur maximale annuelle du couvert de glace a été réalisée avec le logiciel HYFRAN-PLUS version 2.2. Les lois statistiques retenues pour les stations de mesures d'épaisseur de glace ont été sélectionnées en comparant graphiquement les trois lois statistiques présentant les meilleures corrélations avec les données mesurées selon le critère bayésien. Les résultats sont présentés à la figure 12-2 et au tableau 12-1.

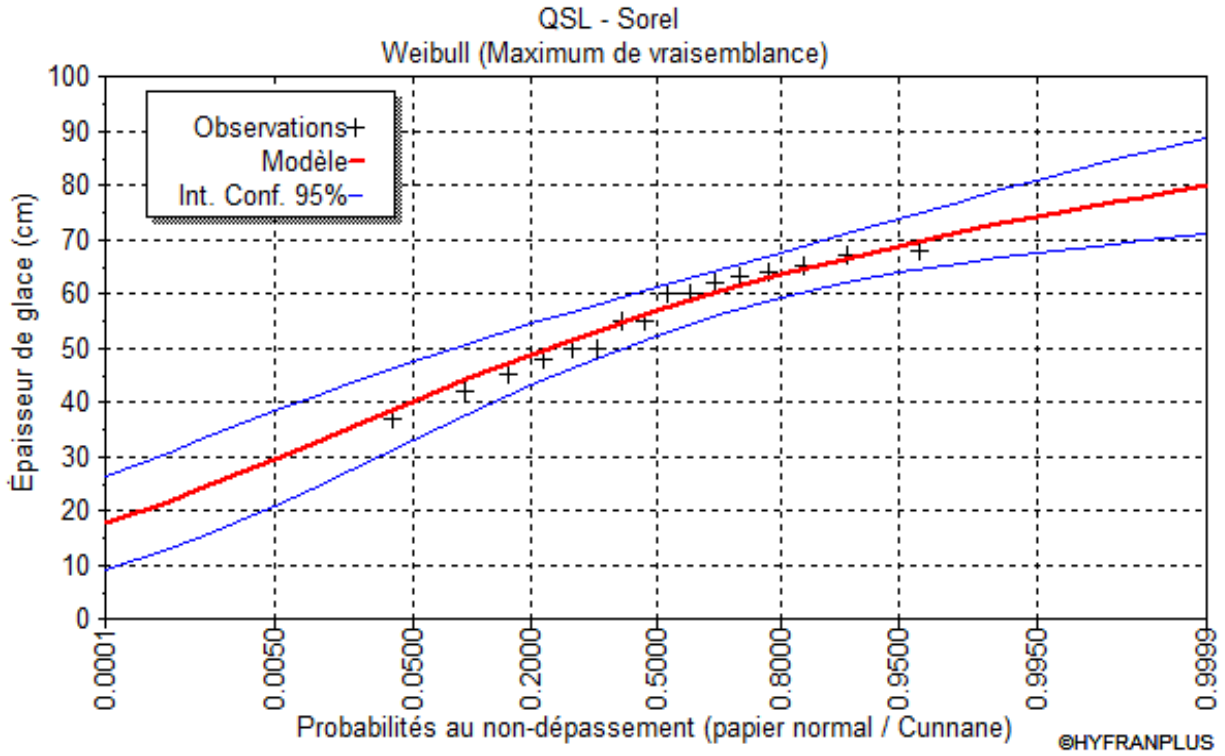


Figure 12-2 : Résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées maximales annuelles (1985 à 2001)

Tableau 12-1 : Épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées selon la période de retour (loi Weibull, maximum de vraisemblance) (1985 à 2001)

Période de retour (année)	Épaisseurs de glace (cm)	Écart-type (cm)	Intervalle de confiance – 95 %
100	72,8	3,18	66,6 – 79,1
50	71,3	2,93	65,5 – 77,0
20	68,8	2,57	63,7 – 73,8
10	66,4	2,31	61,9 – 71,0
5	63,4	2,10	59,2 – 67,5
3	60,2	2,06	56,2 – 64,3
2	57,7	2,20	52,4 – 61,0

12.2 Analyse statistique des épaisseurs de glace thermique

L'épaisseur de glace thermique extrême a été évaluée à l'aide de l'équation de Stefan, selon laquelle l'épaisseur de la glace est proportionnelle à la racine carrée des degrés-jour de gel cumulés.

$$C_{FDD} = \left|\sum (T_a - T_b)\right|$$

$$h = a\sqrt{C_{FDD}}$$

C_{FDD} : degrés-jour de gel cumulés

h : hauteur de la glace (cm)

a : coefficient régional

Le coefficient régional de proportionnalité utilisé dans le cadre de cette étude est de 2,4. Cette valeur a été calibrée à partir des épaisseurs de glace mesurées par Environnement Canada à la station de l'île Saint-Ours sur la période de 1985 à 2001. Il est à noter que l'équation de Stefan est généralement utilisée pour l'analyse des glaces sur les lacs. Elle n'est donc pas idéale pour un secteur dynamique comme le fleuve. La figure 12-3 montre la comparaison entre les épaisseurs de glace calculées avec l'équation de Stefan et mesurées. En moyenne, l'équation de Stefan augmente de 11,8 cm les épaisseurs de glace calculées par rapport aux valeurs mesurées. Sur l'ensemble des données analysées, l'équation de Stefan sous-estime les épaisseurs de glace avec un écart supérieur à 1 cm en cinq occurrences. Comme le montre la figure 12-4, les épaisseurs de glace thermiques maximales annuelles sont toujours supérieures ou égales aux épaisseurs de glace mesurées pour un coefficient régional de 2,4.

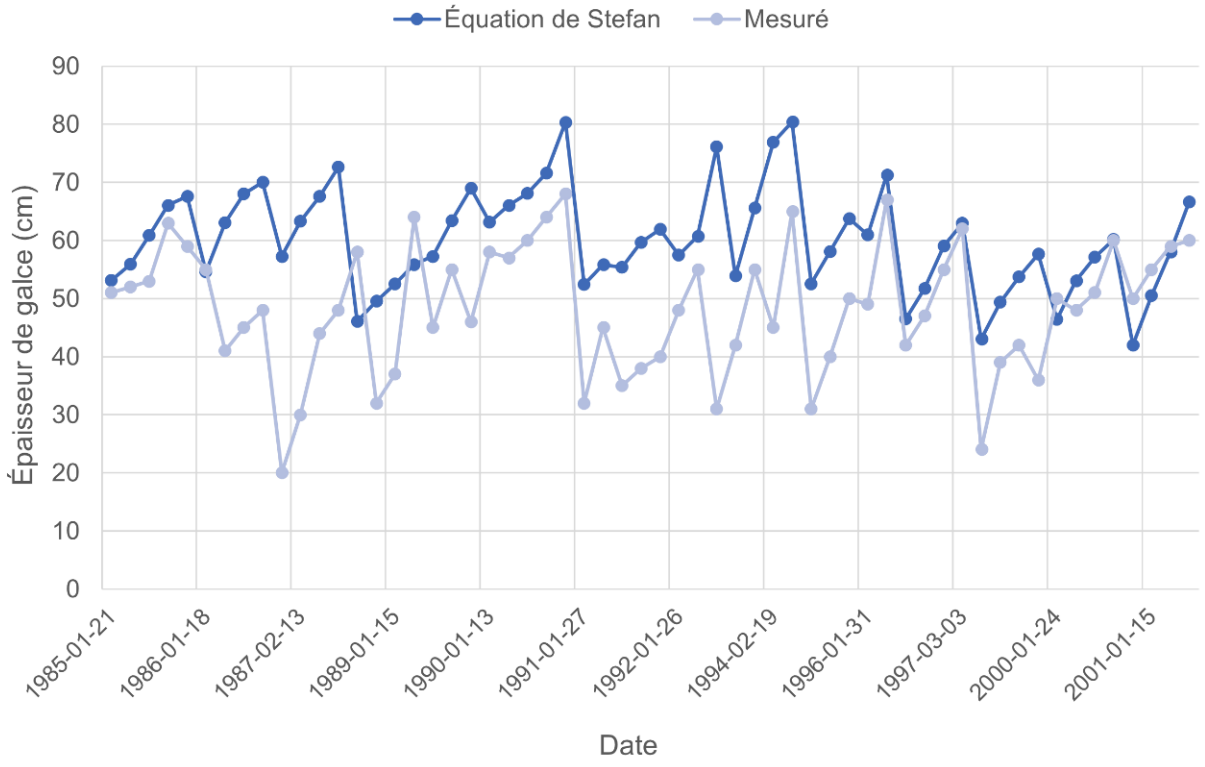


Figure 12-3 : Comparaison des épaisseurs de glace mesurées et calculées pour la période de 1985 à 2001 – Station de l'île Saint-Ours

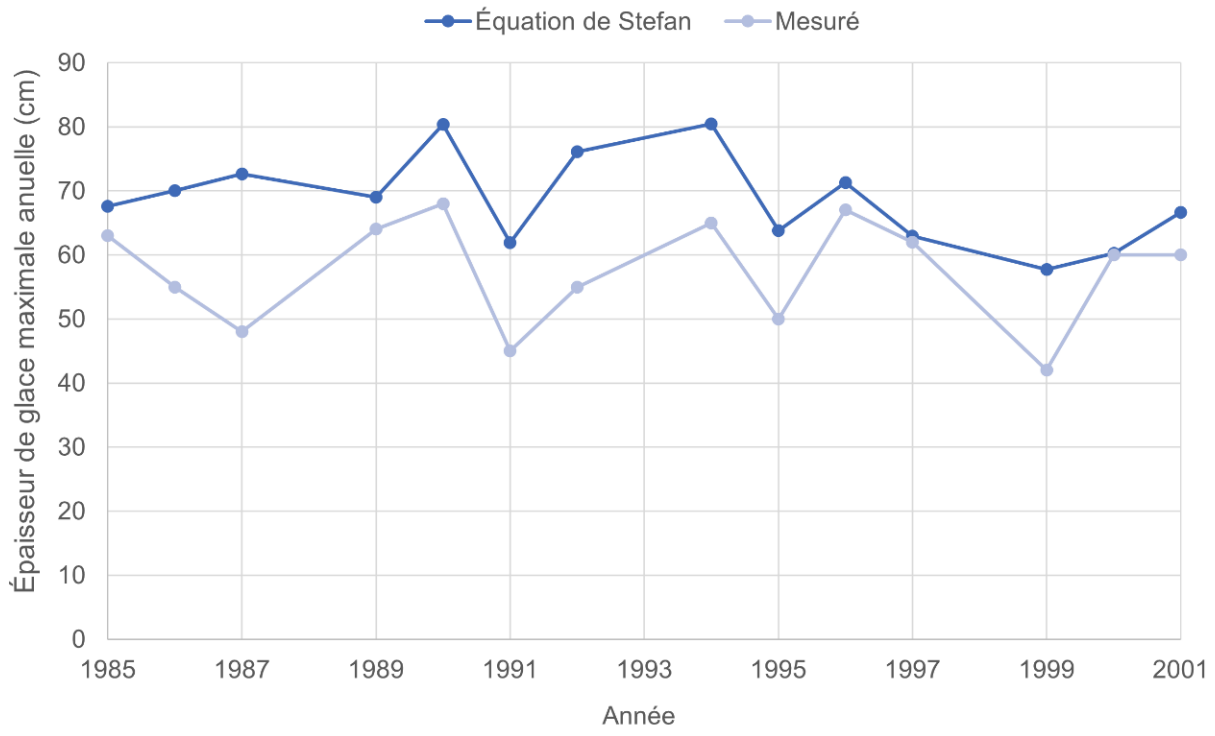


Figure 12-4 : Comparaison des épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées et calculées pour la période de 1985 à 2001 – Station de l'île Saint-Ours

Les épaisseurs de glace thermique estimées avec l'équation de Stefan et un coefficient régional de 2,4 fournissent une estimation sécuritaire des épaisseurs de glace en comparaison avec les épaisseurs de glace mesurées à la station de l'île Saint-Ours.

Les températures enregistrées par Environnement Canada à Sorel (station 7028200) [23] ont été recueillies afin d'estimer le cumul des degrés-jour de gel. La station météorologique est située à Sorel-Tracy en bordure de la rivière Richelieu à une distance d'environ 6 km du nouveau port. Les températures sont disponibles de 1914 à 2022, ce qui est suffisant pour l'étude en cours. Pour cette période, neuf hivers ont été exclus de l'analyse puisqu'ils comportaient plus de 20 % de données manquantes. Les résultats des 99 hivers considérés sont présentés à la figure 12-5. Il est à noter que la figure 12-5 montre une tendance à la diminution des épaisseurs de glace extrêmes de 1914 à 2017.

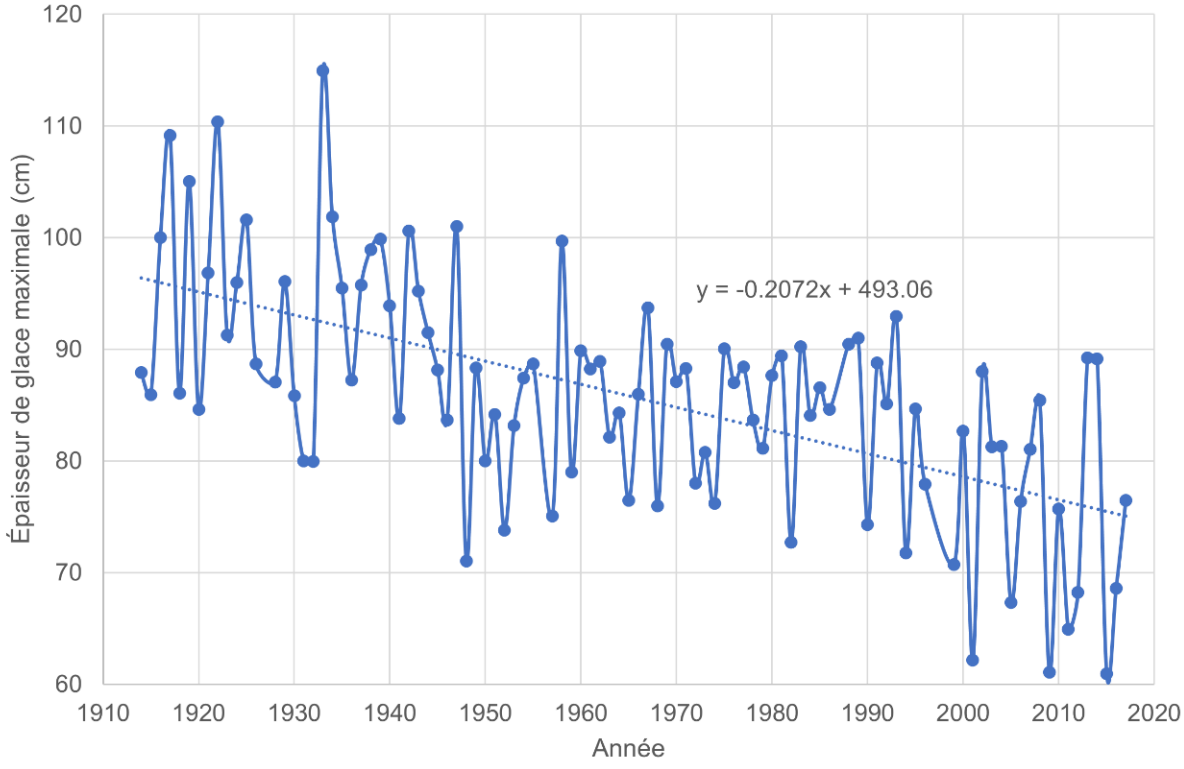


Figure 12-5 : Épaisseurs de glace maximale annuelles – Équation de Stefan

Afin d'obtenir des épaisseurs de glace thermique en fonction de périodes de retour, une analyse statistique sur la série de l'épaisseur maximale annuelle du couvert de glace entre 1990 et 2017 a été réalisée. L'analyse ne porte pas sur la série complète en raison de problème de stationnarité de la série de données (voir la tendance à la baisse montrée à la figure 12-5). Les résultats de l'analyse statistique faite à partir des données de 1990 à 2017 sont présentés à la figure 12-6 et au tableau 12-2.

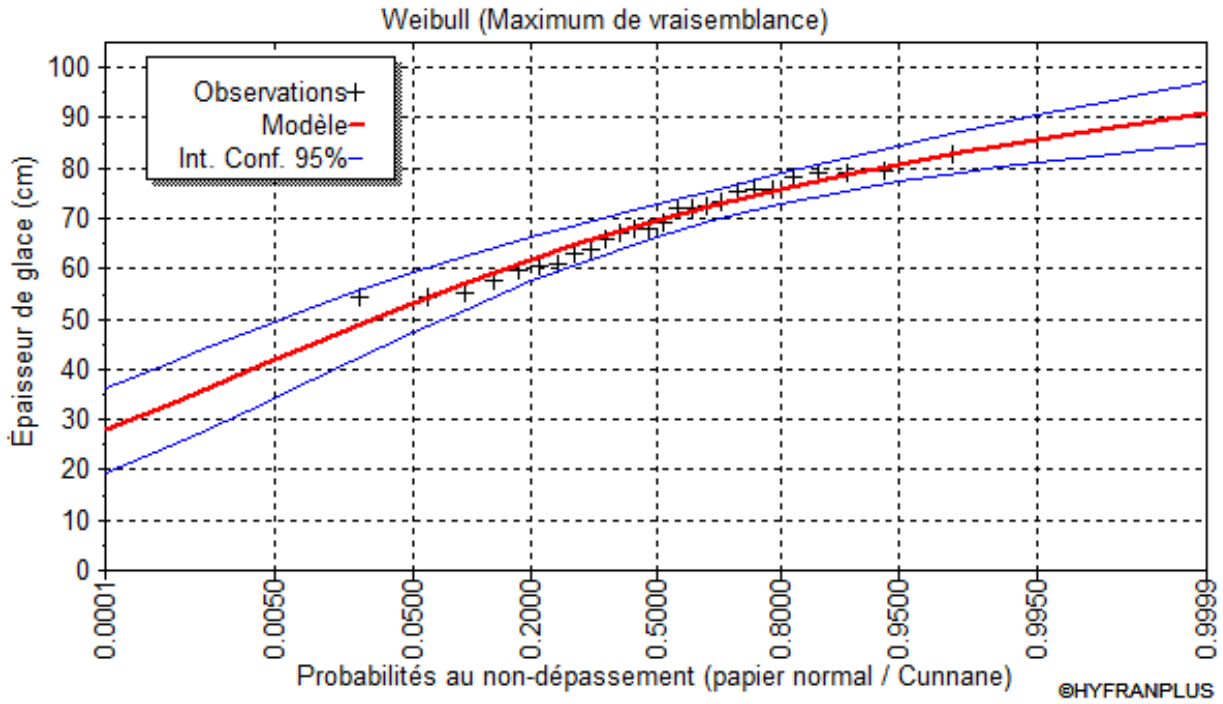


Figure 12-6 : Résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace thermique maximales annuelles (1990 à 2017)

Tableau 12-2 : Épaisseurs de glace maximales annuelles selon la période de retour (loi Weibull, maximum de vraisemblance) (1990 à 2017)

Période de retour (année)	Épaisseurs de glace (cm)	Écart-type (cm)	Intervalle de confiance – 95 %
100	84,6	2,26	80,2 – 89,0
50	83,2	2,09	79,1 – 87,3
20	80,9	1,85	77,3 – 84,5
10	78,7	1,68	75,5 – 82,0
5	75,9	1,54	72,9 – 78,9
3	72,9	1,53	70,0 – 75,9
2	69,6	1,65	66,3 – 72,8

12.3 Analyse des résultats

Les épaisseurs de glace extrêmes pour des périodes de retour de 2 à 100 ans ont été estimées par deux méthodes. La première méthode correspond en l'analyse statistique des épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées à la station de l'île Saint-Ours (1985 à 2001). La deuxième méthode utilisée consiste en l'utilisation de l'équation de Stefan permettant de calculer la croissance thermique de la glace à partir de données de température (degrés-jour de gel cumulés) et d'un coefficient régional estimé d'après les épaisseurs de glace extrêmes observées aux sites de mesure du SCG. Pour cette méthode, les données de température à Sorel ont permis d'estimer les épaisseurs de glace maximales annuelles de 1990 à 2017. L'ensemble des résultats est présenté au tableau 12-3.

Tableau 12-3 : Comparaison des résultats de l'analyse statistique des épaisseurs de glace maximales annuelles mesurées et calculées

Période de retour (année)	Épaisseurs de glace (cm)	
	Station de l'île Saint-Ours	Équation de Stefan
100	73	85
50	71	83
20	69	81
10	66	79
5	63	76
3	60	73
2	58	70
Taille de l'échantillon	17 ans	28 ans

Les épaisseurs de glace recommandées pour les calculs des efforts de glace au futur quai sont celles estimées à partir de l'équation de Stefan. Ces épaisseurs sont retenues puisqu'elles sont jugées comme étant plus représentatives des conditions extrêmes réelles et elles sont plus conservatrices. De plus, la série de données calculées avec l'équation de Stefan est plus longue, ce qui permet de réaliser une analyse statistique plus précise pour de longues périodes de retour. Il est à noter que le point d'application des charges de glace devra tenir compte de la variation des niveaux d'eau.

13. Force de glace

Les forces de glace ont été calculées pour les pieux retenant la barge Tobias, pour les pieux, les ducs-d'Albe *(« Dolphin »)* de l'option A et pour les pieux retenant le pont d'approche de l'option B, et ce, selon la norme CSA-S6-19 [24].

La norme CSA-S6-19 est spécialement conçue pour la glace d'eau douce en débâcle (art. 3.12.1). L'article 3.12.2.1 recommande qu'à moins de disposer de données plus précises, les valeurs suivantes soient prises en compte pour la pression effective de la glace :

+ 400 kPa, lorsque la débâcle se produit à la température de fonte et que la nappe de glace est en grande partie désintégrée;
+ 700 kPa, lorsque la débâcle se produit à la température de fonte et que la nappe de glace est partiellement désintégrée;
+ 1 100 kPa, lorsque la débâcle ou un important mouvement de glace se produit à la température de fonte et que la nappe de glace demeure solide et se déplace en grandes plaques;
+ 1 500 kPa lorsque la débâcle ou un important mouvement de la nappe de glace se produit à une température considérablement inférieure au point de fonte de la glace.

La clause C3.12.2.1 (commentaires de code CSA-S6) stipule qu'à titre indicatif, la valeur de 400 kPa s'applique aux emplacements où les effets de la glace sont minimes et la valeur de 1 500 kPa est recommandée lorsque les efforts de la glace peuvent être importants. La contrainte effective de la glace dépend principalement de la température et de la texture plus ou moins grossière de la glace. Cependant, la résistance à la traction n'est pas affectée par la température. Selon l'analyse des cartes de glace, un mouvement important du champ de glace est observé tout au long de la saison hivernale. Une pression effective de 1 500 kPa est donc retenue pour le calcul de force dynamique. La norme CSA-S6-19 (3.12.2.2.2) recommande de calculer la force générée par l'écrasement de la glace (F_c) :

$$F_C = C_a p t w$$

$$C_a = \sqrt{5\frac{t}{w} + 1}$$

C_a : coefficient tenant compte du rapport de la largeur de la pile sur l'épaisseur de la masse de glace s'écrasant contre une pile

p : résistance effective de la glace

t : épaisseur de glace

w : largeur frontale d'une pile au niveau de l'action des glaces

Dans le cas de pieux circulaires, la force d'impact (F) des glaces correspond à la force générée par l'écrasement de la glace.

La norme CSA-S6-19 (3.12.5) recommande également de calculer la force verticale due aux fluctuations du niveau d'eau (F_v), qui s'exerce sur un pieu soudé par le gel à une masse de glace :

$$F_v = 1250t^2\left(1{,}05 + 0{,}13\,R/t^{0{,}75}\right)$$

t : épaisseur de glace

R : rayon du pieu

Selon le manuel de conception hydraulique des ponts de l'Association des transports du Canada [25], le cas de chargement à considérer pour le calcul des charges dues à la glace est le pire des deux cas suivants:

1. Un couvert de glace d'une période de retour de 100 ans engendre une poussée au niveau atteint pour une crue correspondant à 50 % du débit 2 ans;
2. Un couvert de glace d'une période de retour de 2 ans engendre une poussée au niveau atteint pour une crue correspondant au débit 2 ans.

Les tableaux 13-1 et 13-2 présentent les forces horizontales et verticales générées par les glaces pour ces deux cas de chargement. Il est à noter que la force horizontale fournie est la force à appliquer pour chaque pieu exposé à la dérive des glaces.

Tableau 13-1 : Forces dynamiques exercées par la glace selon la norme CSA-S6-19 – Option A

Cas de chargement	Épaisseur de glace (cm)	Niveau (m CGVD28)	Pieux retenant la barge (D = 600 mm)		Pieux des ducs d'Albe (D = 1 800 mm)	
			Force horizontale (kN)	Force verticale (kN)	Force horizontale (kN)	Force verticale (kN)
1	85	4,20	2 175	988	4 208	1 068
2	70	6,48	1 647	674	3 243	737

Tableau 13-2 : Forces dynamiques exercées par la glace selon la norme CSA-S6-19 – Option B

Cas de chargement	Épaisseur de glace (cm)	Niveau (m CGVD28)	Pieux du pont d'approche (D = 2 000 mm)	
			Force horizontale (kN)	Force verticale (kN)
1	85	4,20	4 508	1 081
2	70	6,48	3 482	747

Pour les ducs d'Albe, il faut également calculer la force pouvant être exercée par la glace sur le massif de béton à la tête des pieux. Il est à noter que l'effort de glace est évalué pour la face du massif perpendiculaire à l'écoulement. La force horizontale exercée par la glace correspond au produit de la pression effective de la glace (700 kPa) par la surface, laquelle est calculée en multipliant la largeur de la structure par l'épaisseur de la glace [30]. Puisque le niveau d'eau nécessaire pour que la glace atteigne les ducs-d'Albe correspond à une importante crue (période de retour de 20 ans), la résistance effective de la glace considérée pour ce cas correspond à une résistance lorsque la débâcle se produit à la température de fonte et que la nappe de glace est partiellement désintégrée. Le tableau 13-3 présente les forces horizontales pouvant s'appliquer sur le massif de béton des ducs d'Albe si le niveau d'eau dépasse 7 m.

Tableau 13-3 : Forces exercées par la glace sur le massif de béton des ducs d'Albe

Période de retour de la glace	Épaisseur de glace (cm)	Force horizontale (kN)	
		Largeur de 12 m	Largeur de 12,6 m
100 ans	85	7 140	7 497
2 ans	70	5 880	6 174

14. Dynamique sédimentaire

La dynamique sédimentaire a été analysée qualitativement et est présentée dans le rapport *QSL-Arrimage Québec- Dynamique Sédimentaire* produit par CIMA+ (voir l'annexe C). D'après la campagne d'investigation géotechnique réalisée au site [32], celui-ci présente une classe granulométrique en surface dominée par du silt ou du silt sableux et on retrouve également du gravier près de la rive. La vitesse critique de mise en mouvement des sédiments est calculée à 0,01 m/s pour du silt de 0,08 mm et de 0,07 à 0,3 m/s pour du gravier entre 5 et 80 mm [33]. En fonction de la nature des sédiments observés en surface et des vitesses critiques de mise en mouvement, on peut considérer que du déplacement de sédiment peut se produire en tout temps, tant en conditions actuelles que celles futures modélisées avec la réalisation du projet. Les augmentations de vitesses prévues en conditions futures, principalement en crues de 20 ans et plus, seraient relativement plus importantes près de la rive qu'au large et susceptibles d'y déplacer vers l'aval les sédiments fins peu cohésifs (silt à gravier fin).

15. Protection contre l'affouillement

Afin de réduire les impacts du quai projeté sur la dynamique sédimentaire locale, il est recommandé de prévoir une protection contre l'affouillement aux pourtours de la base des pieux et près du rivage à l'avant des installations existantes. En effet des risques d'érosion ont été mis en évidence à ces endroits, en fonction de la nature et du calibre des sédiments et des augmentations de vitesses d'écoulement modélisées qui sont de l'ordre de 0,2 à 0,4 m/s.

Le calibre de protection de la couverture d'enrochement à mettre en place a été évalué à l'aide de l'équation VI-5-131 du CEM [33] servant à définir le calibre de protection en enrochement stable dans un champ de courant :

$$\frac{d_{30}}{h} = S_f C_s \left[\left(\frac{w_w}{w_a - w_w} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\bar{u}}{\sqrt{K_1 g h}} \right) \right]^{\frac{5}{2}}$$

où :

- d_{30} = La taille des pierres dont 30 % sont plus petites en poids (m);
- S_f = Facteur de sécurité (minimum recommandé de 1,1);
- C_s = Coefficient de stabilité (0,3 pour les pierres angulaires);
- h = Profondeur (m);
- w_w = Poids spécifique de l'eau (9 810 kN/m^3);
- w_a = Poids spécifique des pierres (25 702 kN/m^3);
- K_1 = Coefficient de pente;
- $\bar{u}$ = vitesse moyenne (m/s);
- g = accélération gravitationnelle (9,81 m/s^2).

Afin d'évaluer les vitesses agissant sur les sédiments, des séries horaires de 1994 à 2020 de vitesses d'écoulement et de profondeur aux emplacements des ducs d'albe, des pieux et directement à l'aval de la station de pompage amont de l'ancienne centrale ont été produites.

Ces séries ont été produites en combinant les vitesses de courant et les vitesses maximales orbitales des particules d'eau dues à l'action des vagues. À partir des modélisations réalisées pour des débits de 6 000 m^3/s à 18 100 m^3/s, les profondeurs et les vitesses d'écoulement ont pu être estimées pour l'ensemble de la série de débits disponible. Ensuite, à partir de la série horaire de vagues au large et de la série horaire de profondeur, la vitesse orbitale a pu être calculée.

La combinaison des vitesses de courant et des vitesses dues aux vagues pose l'hypothèse conservatrice que la vitesse orbitale due à l'action des vagues agit dans la même direction que le courant. Une seconde hypothèse conservatrice a été posée pour l'évaluation du calibre de pierre à mettre en place. C'est-à-dire que la profondeur a été déterminée en fonction des niveaux en conditions d'étiage $Q_{2,7}$. Finalement, l'analyse statistique des vitesses horaires maximales annuelles de 1994 à 2020 a été réalisée afin d'estimer la vitesse d'écoulement combinée de période de retour 50 ans.

Le tableau 15-1 présente les vitesses d'écoulement combinées pour une période de retour de 50 ans, les profondeurs considérées pour l'estimation du calibre de pierre stable, la pente ainsi que la taille des pierres stables dont 30 % sont plus petites en poids pour les zones évaluées.

Tableau 15-1 : Taille des pierres stables dont 30 % sont plus petites en poids

Élément	Vitesse (m/s)	Profondeur (m)	Pente (°)	D_{30} (m)
Duc d'Albe	3,6	9,7	S/O	0,14
Station pompage	2,6	2,4	30°	0,13
Pieux	3,6	5,5	S/O	0,16

Tableau 15-2 : Calibre de protection recommandée

Élément	D_{30} (m)	$D_{15\ min}$ (m)	$D_{100\ max}$ (m)	Calibre minimal (mm)
Duc d'Albe	0,14	0,11	0,29	100 – 300 mm
Station pompage	0,13	0,10	0,26	100 – 300 mm
Pieux	0,16	0,13	0,33	100 – 300 mm

La mise en place proposée des protections contre l'affouillement est basée sur les recommandations du CEM [33]. Plus précisément, l'étendue des protections à mettre typiquement en place est montrée à l'annexe D. L'étendue de ces protections en enrochement représenterait un empiétement de 1 505 m^2 pour l'option A et de 2 120 m^2 pour l'option B.

L'étendue des mesures de protection recommandées considère :

+ que la conception des fondations du futur quai ne sera pas influencée par la première couche de sols (l'épaisseur supérieure de 9 m n'intervient pas dans la conception des pieux du quai);
+ que les vitesses dans la colonne d'eau sous la barge de réception (parallèle à l'écoulement) demeurent semblables à celles modélisées en conditions existantes (voir l'annexe B).
+ la localisation des herbiers à protéger qui se trouvent en rive à proximité des infrastructures (voir l'annexe E)

Ainsi, la décision a été prise d'uniquement prévoir des protections contre l'affouillement des deux premières piles du pont d'approche (aucune protection prévue pour les piliers d'ancrage « spuds » de la barge ni pour la deuxième série de piles du pont d'approche) et en bordure de la station de pompage à proximité des herbiers à protéger. Les protections prévues représentent donc un empiétement total de 228 m^2 pour l'option A et de 536 m^2 pour l'option B. Les empiétements retenus sont présentés à l'annexe F.

16. Conclusions et recommandations

Les vitesses d'écoulement maximales atteintes en condition actuelle à l'extrémité de la structure du futur aménagement sont de 1,3 m/s pour une crue 100 ans et 1,1 m/s pour une crue 2 ans. Une accélération des vitesses d'écoulement (de 0,2 m/s à 0,4 m/s en rive) est aussi observée pour l'ensemble des modélisations en condition de crue. Il est important de noter que les modélisations hydrauliques en 2D ont été réalisées sans la présence de navire et sans les barges en place. Un modèle 3D, avec les barges, a été réalisé par AtkinsRéalis. Cette modélisation fournit des vitesses moyennes sur la profondeur pour des conditions d'écoulement moyennes et d'étiages. Les résultats de cette modélisation montrent une augmentation des vitesses d'écoulement sous la barge (de l'ordre de 0,2 m/s selon AtkinsRéalis).

Une campagne d'investigation géotechnique a eu lieu à l'emplacement du nouveau quai en août 2021 [32]. Lors de cette campagne d'investigation, six forages ont été réalisés sur barge directement dans le fleuve Saint-Laurent. Cette campagne a permis de mettre en évidence une variabilité importante de la nature et du calibre des sédiments formant le lit du fleuve à cet endroit. La couche de surface est décrite comme étant majoritairement constituée de silt ou de silt sableux, mais une couche de 0,8 m d'épaisseur de gravier a également été observée lors d'un forage.

En fonction de la nature et du calibre des sédiments, une augmentation des vitesses d'écoulement de l'ordre de 0,2 m/s, sous la section de quai transversale à l'écoulement, représente un risque accru d'érosion, surtout à la périphérie des piles en raison de l'augmentation locale des vitesses. Il serait donc recommandé de prévoir une protection contre l'affouillement autour de ces pieux. Par contre, le dimensionnement des pieux ne tient pas compte de la couche superficielle de 9 m de sédiments. En fonction de ces paramètres, la protection contre l'affouillement n'a été retenue que pour les deux pieux et les structures de béton près du rivage, dans le but d'éviter d'impacter les herbiers avec l'apport de sédiments relié à l'érosion que provoquerait l'augmentation des vitesses de courant. Les mesures de protection contre l'affouillement recommandées prévoient la mise en place d'un revêtement de pierre de calibre 100-300 mm au pourtour des deux piles situées près du rivage et de l'ancienne station de pompage (voir annexe D). En effet, en fonction des hypothèses de conception et de la localisation des herbiers à protéger (voir l'annexe E), la décision a été prise d'uniquement prévoir des protections contre l'affouillement des deux premières piles du pont d'approche et en bordure de la station de pompage à proximité des herbiers à protéger. Les protections prévues représentent donc un empiétement total de 228 m^2 pour l'option A et de 536 m^2 pour l'option B.

Les niveaux d'eau calculés sont de 7,49 m CGVD28 pour une crue 100 ans, 6,48 m pour une crue 2 ans, 4,20 m en condition d'étiage (crue 50 % 2 ans) et 3,76 m pour une crue d'étiage en climat futur.

La hauteur de vague significative estimée est de 1,70 m pour une période de retour de 50 ans et de 0,80 m pour une période de retour de 2 ans.

L'utilisation des épaisseurs de glace extrêmes estimées avec l'équation de Stefan est recommandée pour la conception et une résistance effective de la glace de 1 500 kPa est recommandée pour le calcul des efforts dus à l'action des glaces.

Le pont d'approche actuellement proposé assure un dégagement vertical supérieur à celui prévu dans les exigences du MTMD pour la conception de ponts routiers. Rappelons qu'aucune vérification structurale des infrastructures présentées n'a été faite dans le cadre du présent rapport.

17. Clause de limitation des responsabilités

Ce document a été préparé par CIMA+ de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif de QSL et de leurs représentants autorisés dans le cadre spécifique du mandat Q213012A. Le contenu de ce document ne peut être appliqué ou utilisé, en tout ou en partie, par ou à l'avantage d'autres parties sans l'autorisation écrite de CIMA+. Aucune autre garantie, expresse ou tacite, n'est accordée.

CIMA+ n'assume aucune responsabilité quant à l'utilisation ou au recours du présent document ou de son contenu par d'autres parties que QSL.

18. Normes et références

[1] Y. G. Lai, SRH-2D version 2: Theory and User's Manual, Denver, 2008.

[2] J. Morin et A. Bouchard, « Les bases de la modélisation du tronçon Montréal / Trois-Rivières » Sainte-Foy, 2000.

[3] Environnement Canada, Données hydrométriques historiques – Stations 02OA016, 02OA003, 02OA004, 02OB008, 02LC008, 1970-2020.

[4] Pêches et Océans Canada, Données d'archive sur les niveaux d'eau – Station Sorel (15930), 1966-2022.

[5] Environnement Canada, Données hydrométriques historiques - Station Rapides Fryers (02OJ007).

[6] Environnement et Changement climatique Canada, Simulation hydrodynamique opérationnelle (SHOP), 2017-2022.

[7] Environnement Canada, Données historiques – Station Lac Saint-Pierre (701LP0N), 1994-2021.

[8] Garde côtière canadienne, Cartes de glaces, Secteur Contrecoeur à Sorel (WIS85b), 2021.

[9] Michel, B. (1978b). Ice mechanics. Québec, Presses de l'Université Laval, 499 pages.

[10] Bisaillon, J-F., Bergeron, N., (2009). Modeling anchor ice presence-absence in gravel bed rivers. Cold Regions Science and Technology 55 195-201.

[11] Gerard, R. (1979). River ice in hydrotechnical engineering: a review of selected topics. Proceedings of the Canadian Hydrologic Symposium (Vancouver), pp. 1-29.

[12] Doyon, B. (2001). Développement d'un modèle lagrangien de transport de glace de surface en milieu fluvial. Thèse de doctorat, Institut national de recherche scientifique- Centre Eau, Terre et Environnement, Québec, Canada.

[13] Michel, B., Marcotte, N., Fonseca, F. et G. Rivard (1982). Formation of border ice in the St. Anne River. Proceedings of the Workshop on Hydraulics of Ice-Covered Rivers (Edmonton), Ottawa, NRCC, pp. 38-61.

[14] Devik, O. (1964). Present experience on ice problems connected with utilization of water power in Norway. Journal of the International Association of Hydraulic Research. 2-1: 25-40.

[15] Svensson, U., Billfalk, L. et Hammar, L. (1989). A mathematical model of border-ice formation in rivers. Cold Regions Science and Technology, 16 (2): 179-189

[16] Ashton, G.D. (1986). River and Lake Ice Engineering. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA. 485 pp.

[17] Parkinson, F.E. (1984). Anchor ice effects on water levels. Workshop on the hydraulics of river ice, 345-370.

[18] Beltaos, S., Calkins, D.J., Gatto, L.W., Prowse, T.D., Reedyk, S., Scrimgeour, G.J. et Wilkins, S.P., (1993). Physical effects of river ice. Dans Environmental impacts of river ice (Prowse, T. and Gridley, N., éditeurs). Saskatoon, Canada: National Hydrology Research Institute Pages 3-74.

[19] Forest, T. (1994). Chapiter 1: physics of frazil ice. Dans Report of frazil ice (Daly, S.F. editor), CRREL special report 94-23) International Association for Hydraulic Research, Working group on thermal regimes. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory.

[20] Michel, B. (1971). *Winter regime of rivers and lakes*. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Monograph 3-B1a.

[21] Daly, S.F. (Editor). (1994). Report on frazil ice. US. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, NH, Special Report 94-23.

[22] Service canadien des glaces, Données historiques d'épaisseur de glace – Station P5 (N OF ÎLE ST. OURS) Q05, 1985-2001.

[23] Environnement Canada, Conditions météorologiques et climatiques passées – Données historiques station Sorel (7028200), 1914-2022.

[24] CSA GROUP, CSA S6:19 – Canadian Highway Bridge Design Code, 2019.

[25] Association des transports du Canada, Manuel de conception hydraulique des ponts, 2005.

[26] Environnement et ressources naturelles Canada, Manuel des glaces MANICE, Chapitre 3, 2021.

[27] U.S. Army Corps of Engineers, ICE ENGINEERING MANUAL 1110-2-1612, Washington, 2002.

[28] Larrivée, C., Desjarlais, C., Roy, R., et Audet, N. (2016). Étude économique régionale des impacts potentiels des bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dus aux changements climatiques et des options d'adaptation. Rapport soumis à la Division des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada et au gouvernement du Québec, Montréal, Ouranos, 49 p.

[29] SIRON, R. et LECLERC, L. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques, Édition 2015. 2015.

[30] CYWIŃSKI, Zbigniew. Grabe J. Recommendations of the" Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways" EAU 2012. Inżynieria i Budownictwo, 2017, p. 205-205.

[31] AtkinsRéalis. Note technique – Nouveau port Sorel – Construction d'un quai. Modélisation 3D des conditions d'écoulements. Version préliminaire. Janvier 2024

[32] CIMA+. Étude géotechnique – Construction du nouveau port, Sorel. QSL – Arrimage Québec. Révision 02. 20 septembre 2023

[33] U.S. Army Corps of Engineers, COASTAL ENGINEERING MANUAL 1110-2-1100, Washington, 2002.

[34]

A

Annexe A
Résultats modélisation hydraulique 2D

Scénario de crue 100 ans

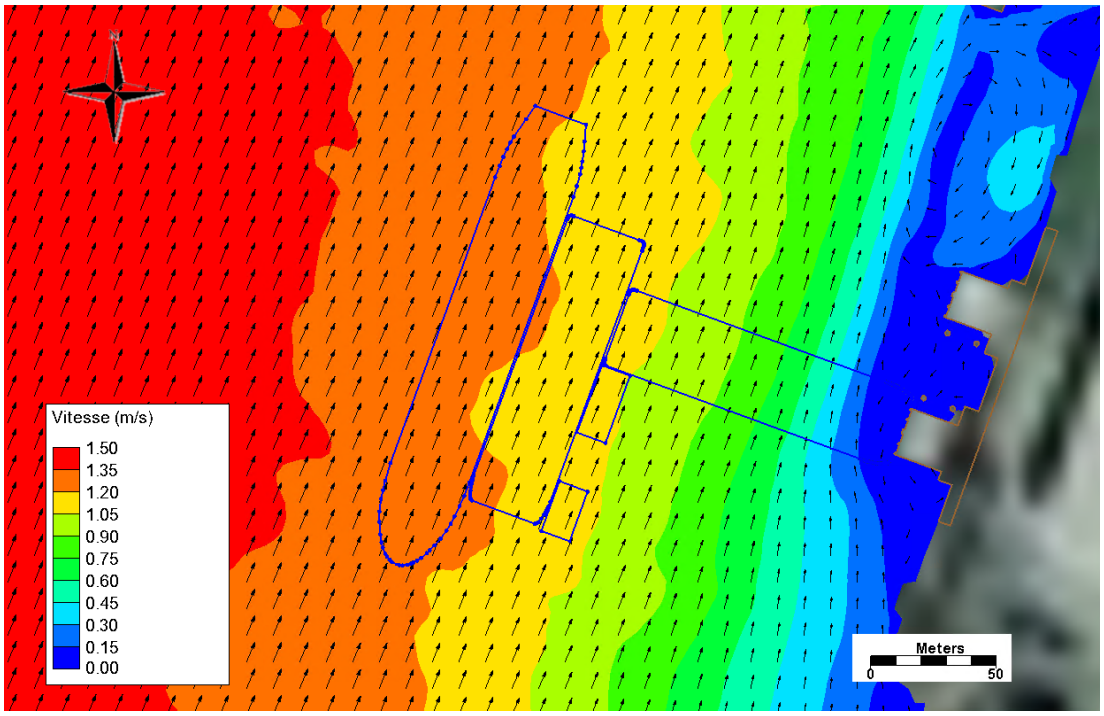


Figure A-1 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans

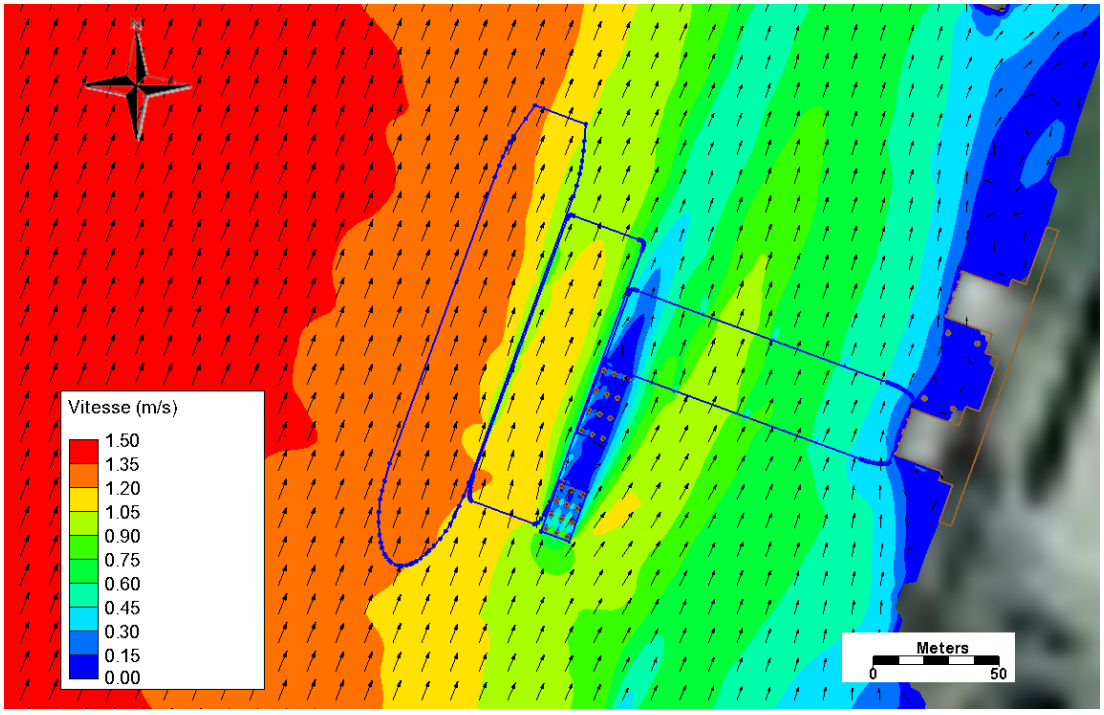


Figure A-2 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans

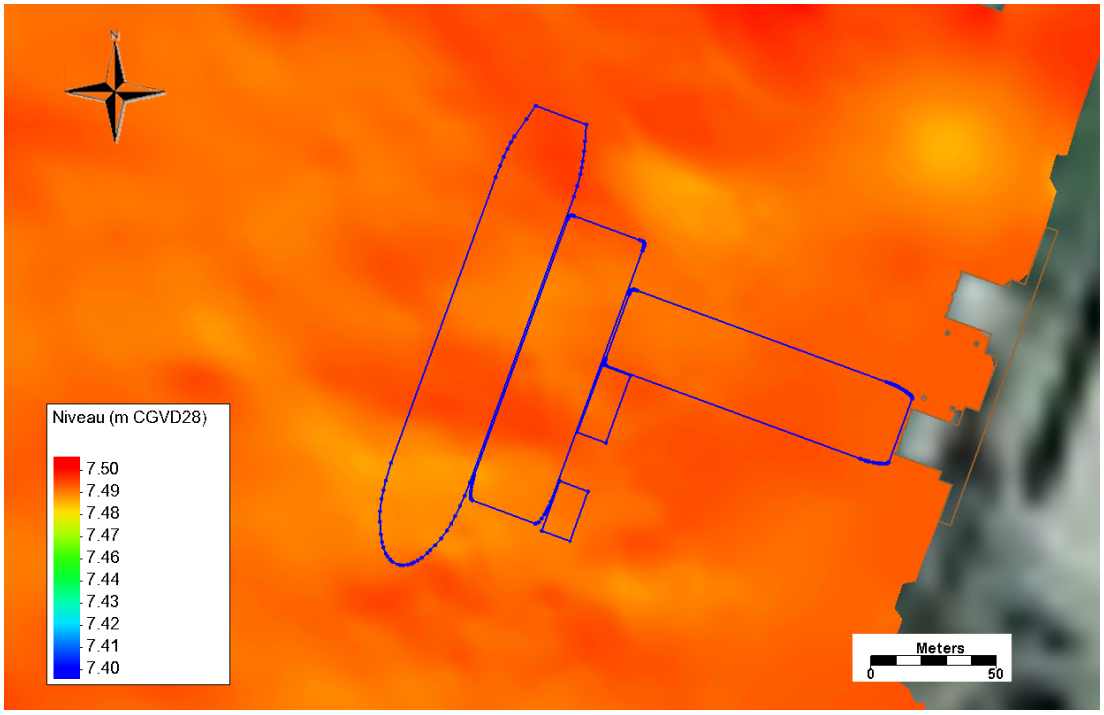


Figure A-3 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 100 ans

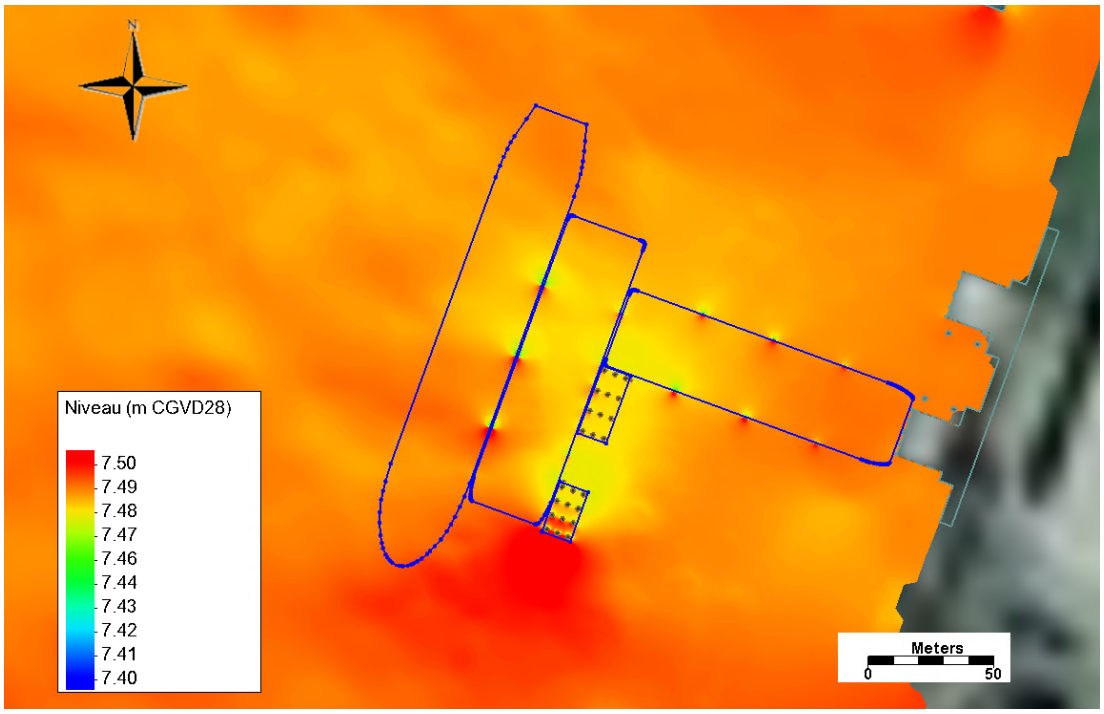


Figure A-4 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 100 ans

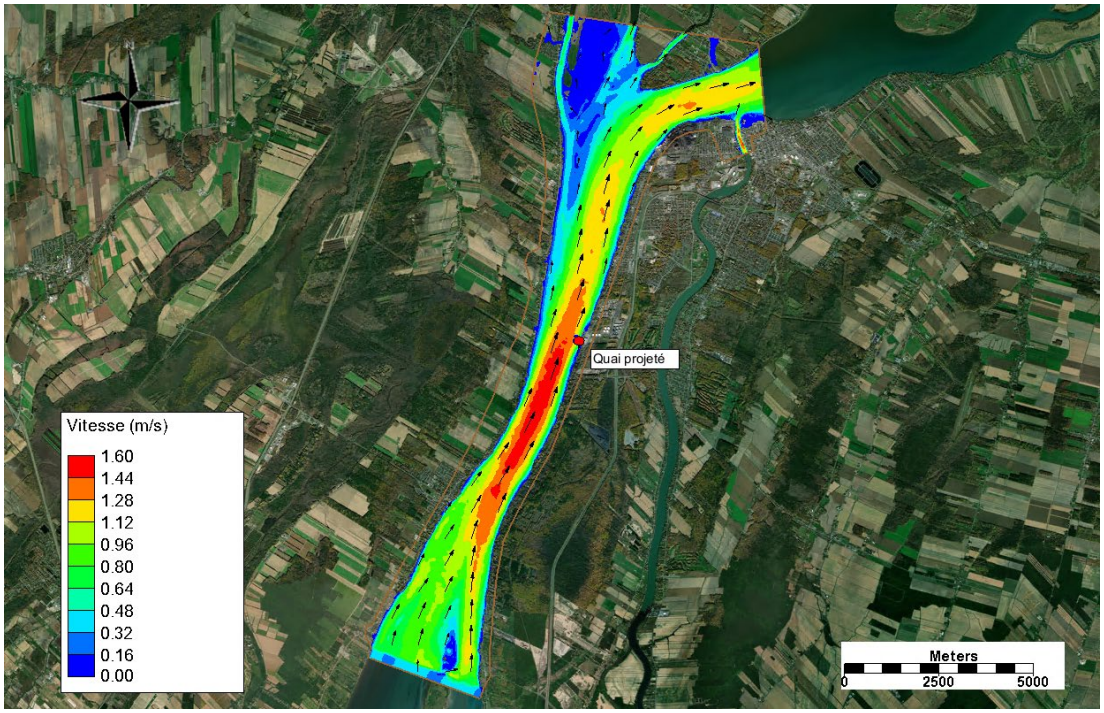


Figure A-5 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue 100 ans en condition actuelle

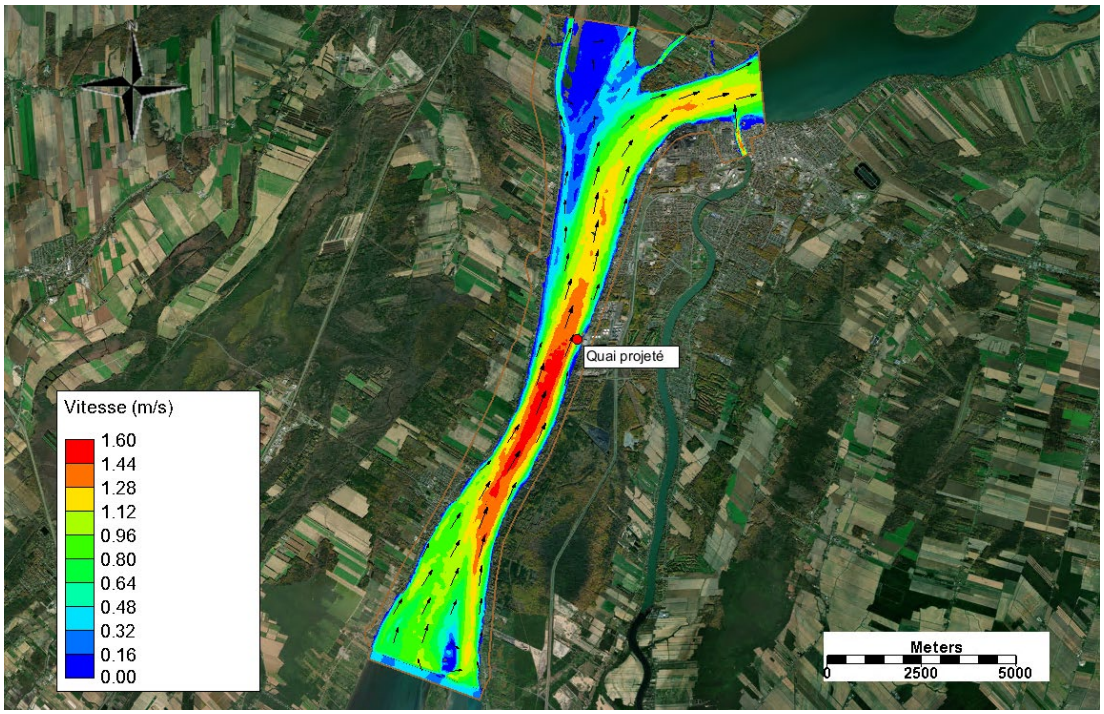


Figure A-6 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue 100 ans en condition projetée

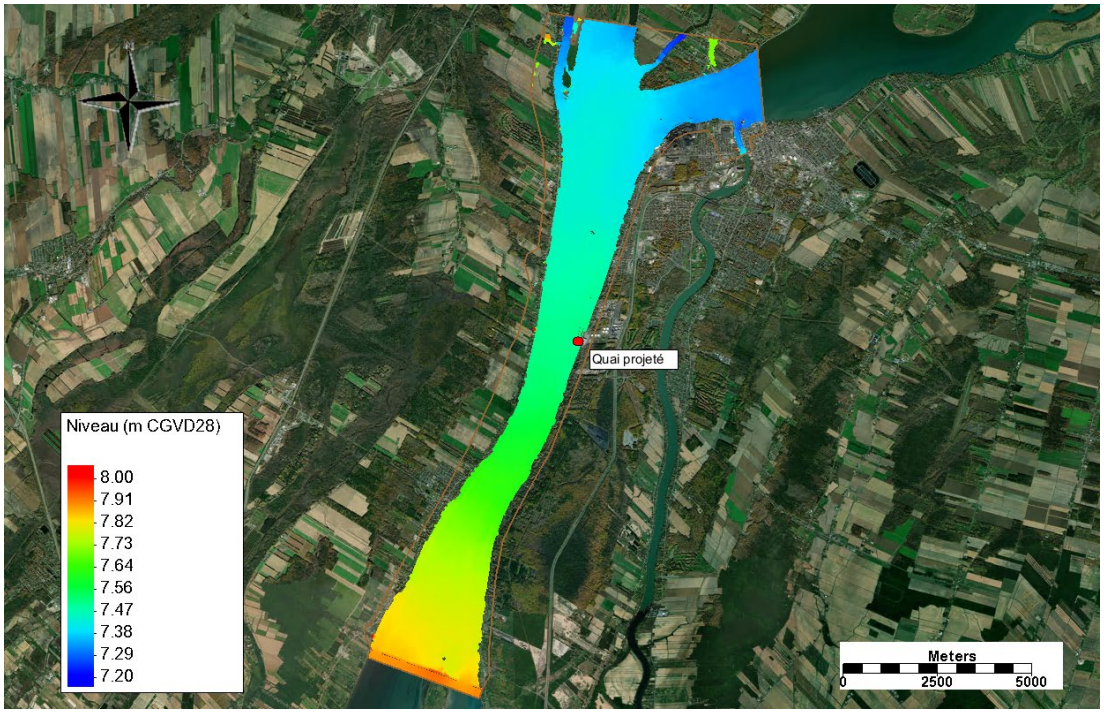


Figure A-7 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 100 ans en condition actuelle

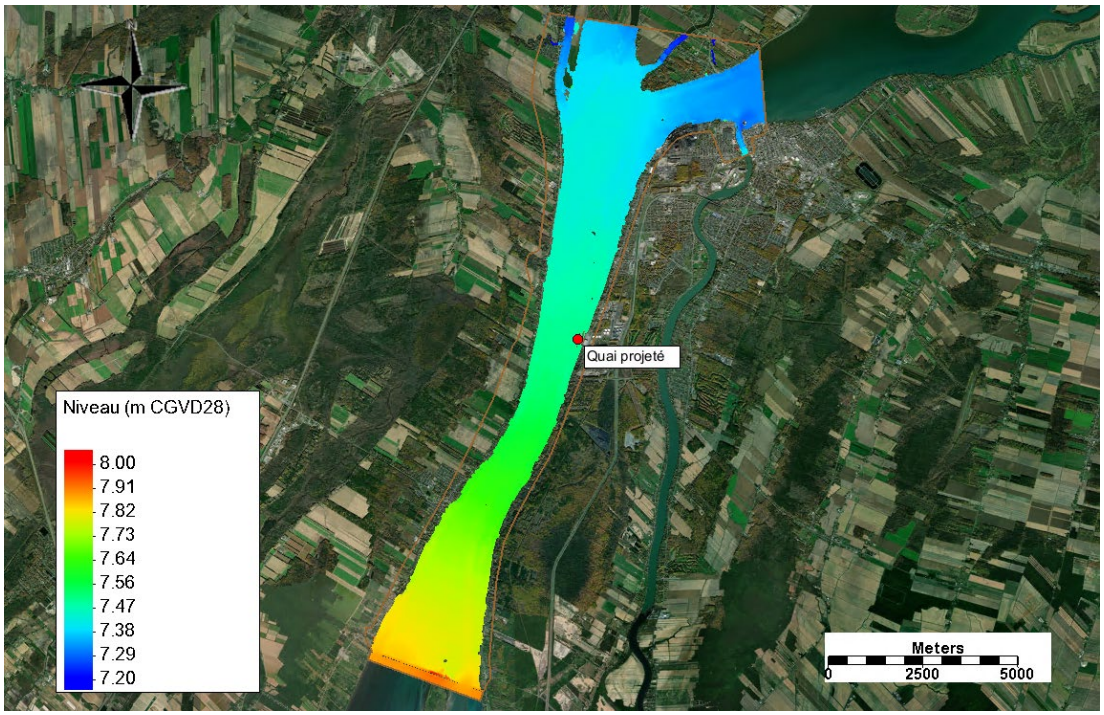


Figure A-8 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 100 ans en condition projetée

Scénario de crue 50 ans

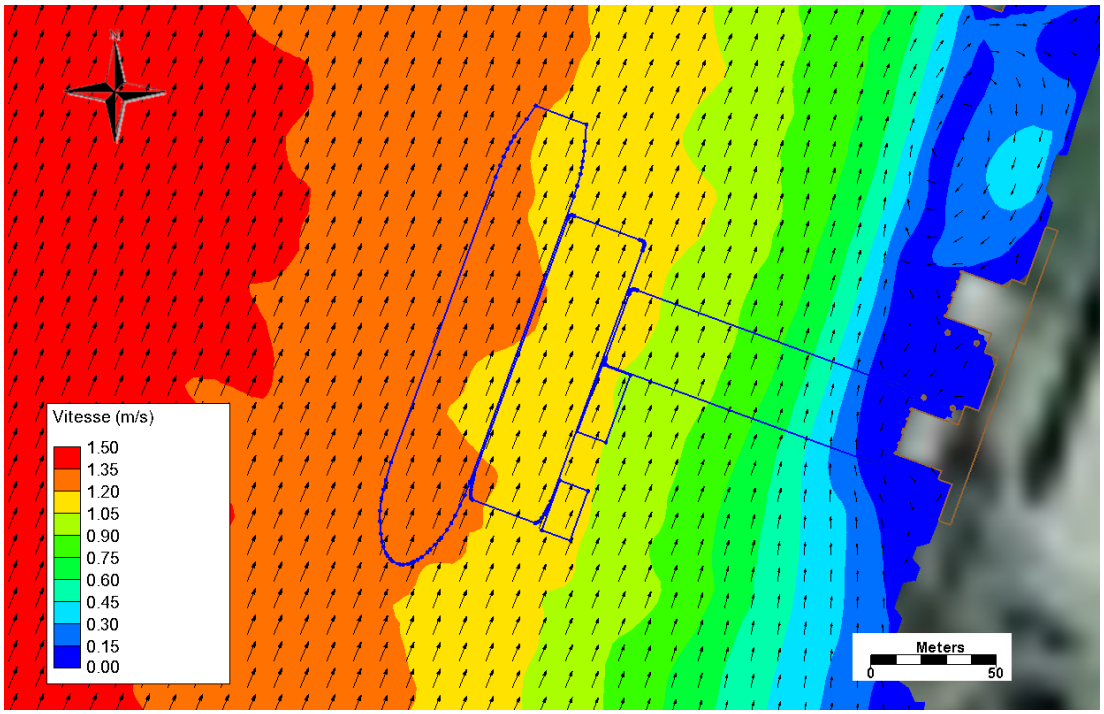


Figure A-9 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 50 ans

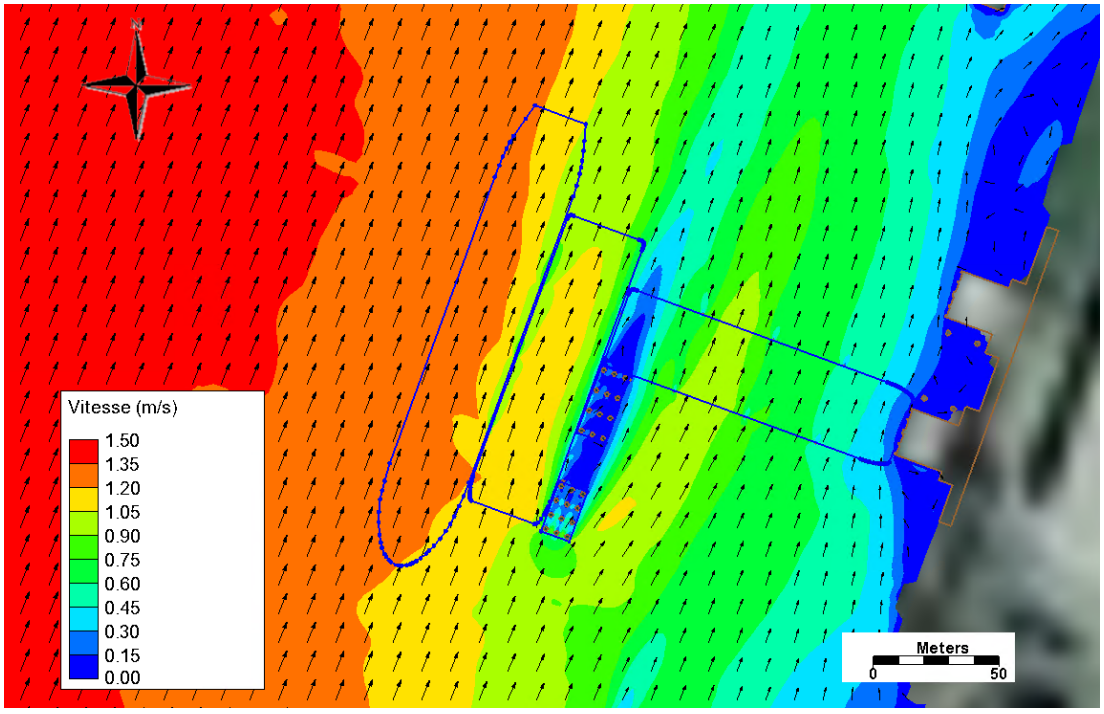


Figure A-10 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 50 ans

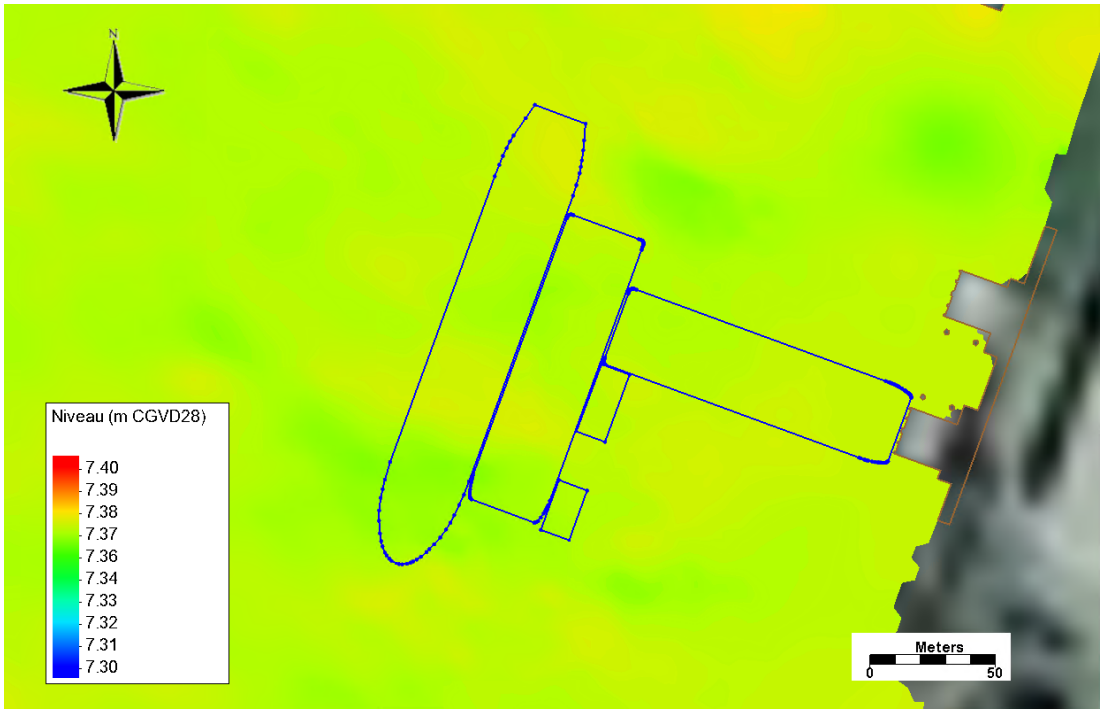


Figure A-11 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 50 ans

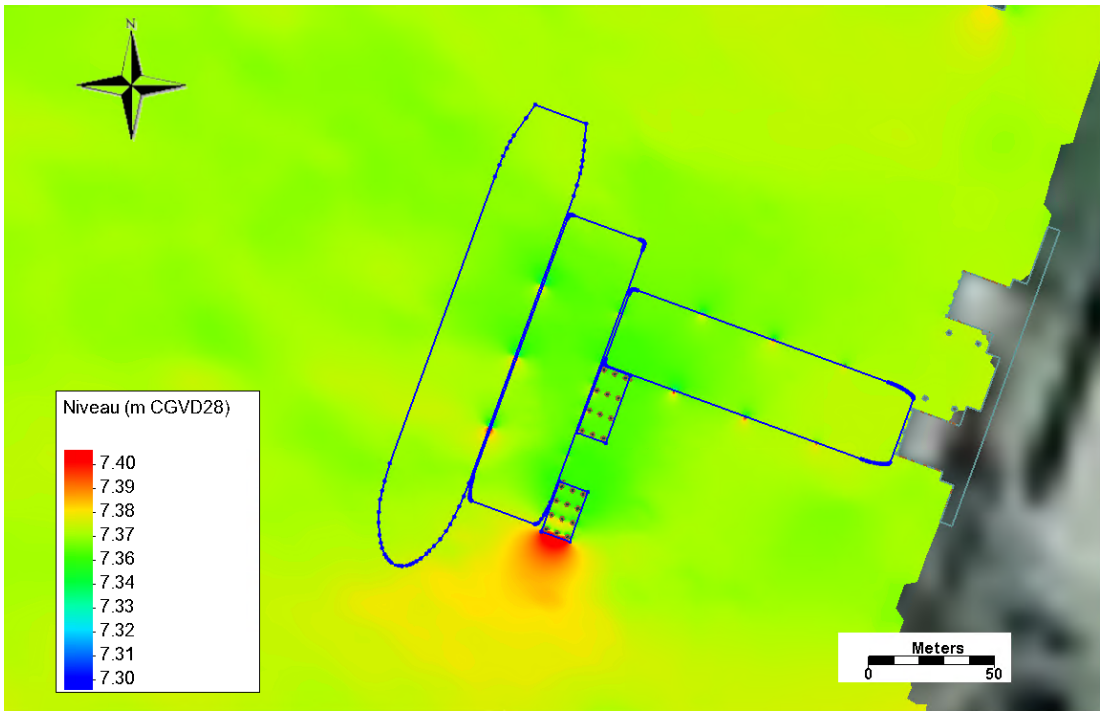


Figure A-12 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 50 ans

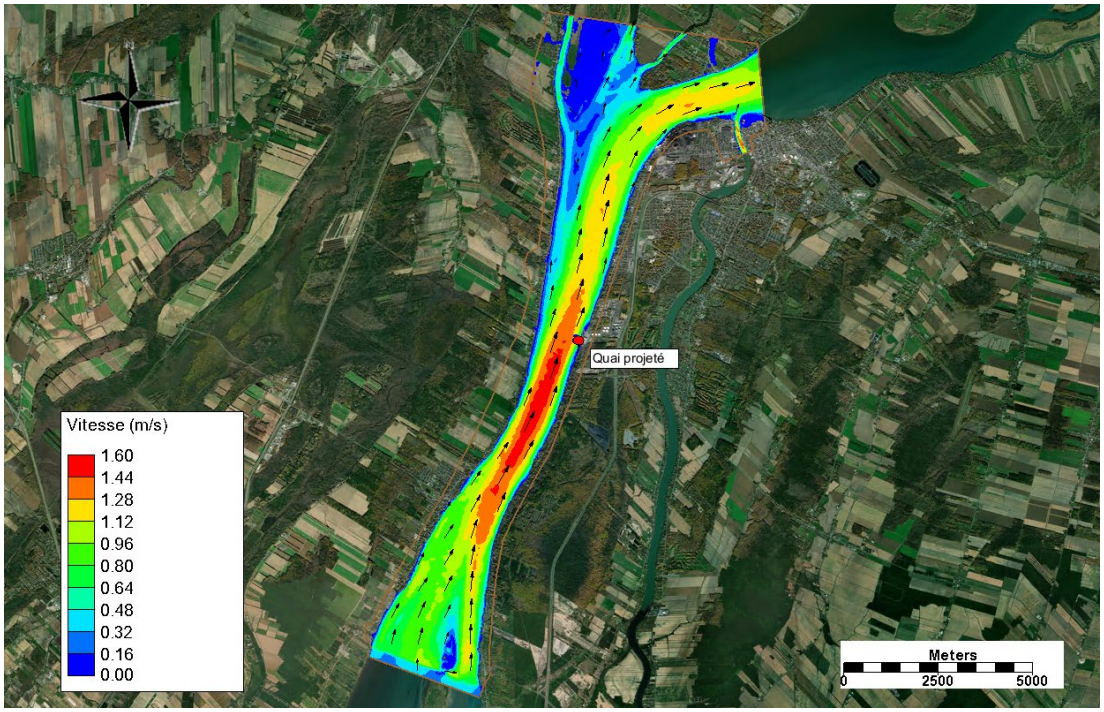


Figure A-13 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 50 ans en condition actuelle

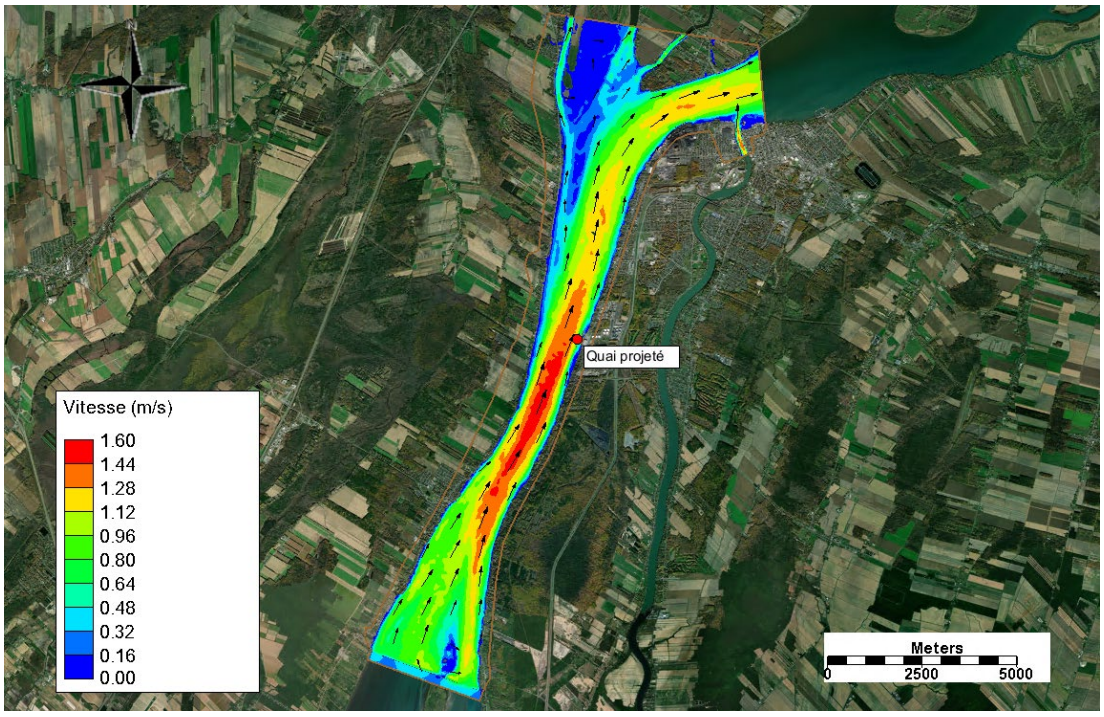


Figure A-14 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 50 ans en condition projetée

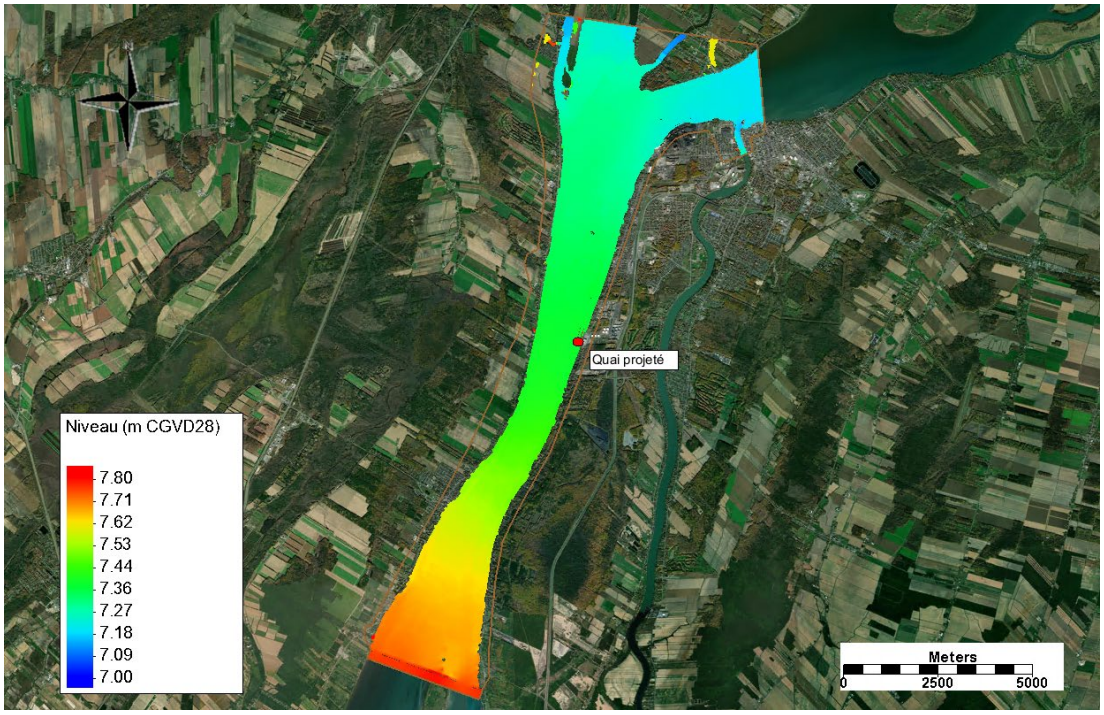


Figure A-15 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 50 ans en condition actuelle

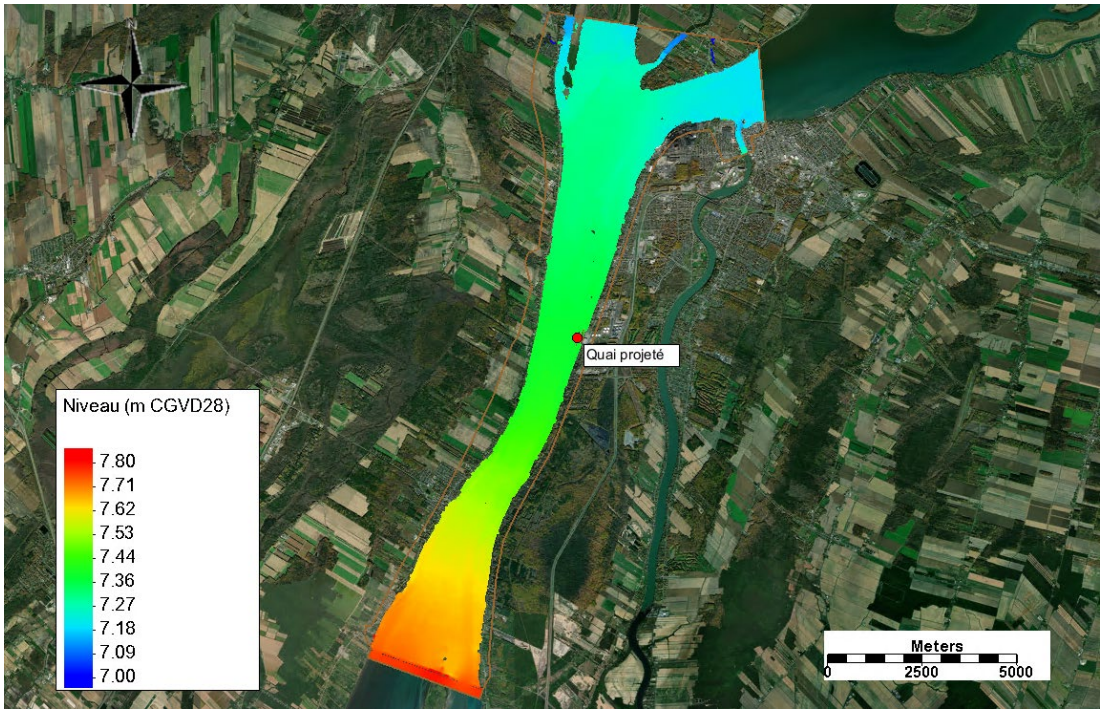


Figure A-16 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 50 ans en condition projetée

Scénario de crue 20 ans

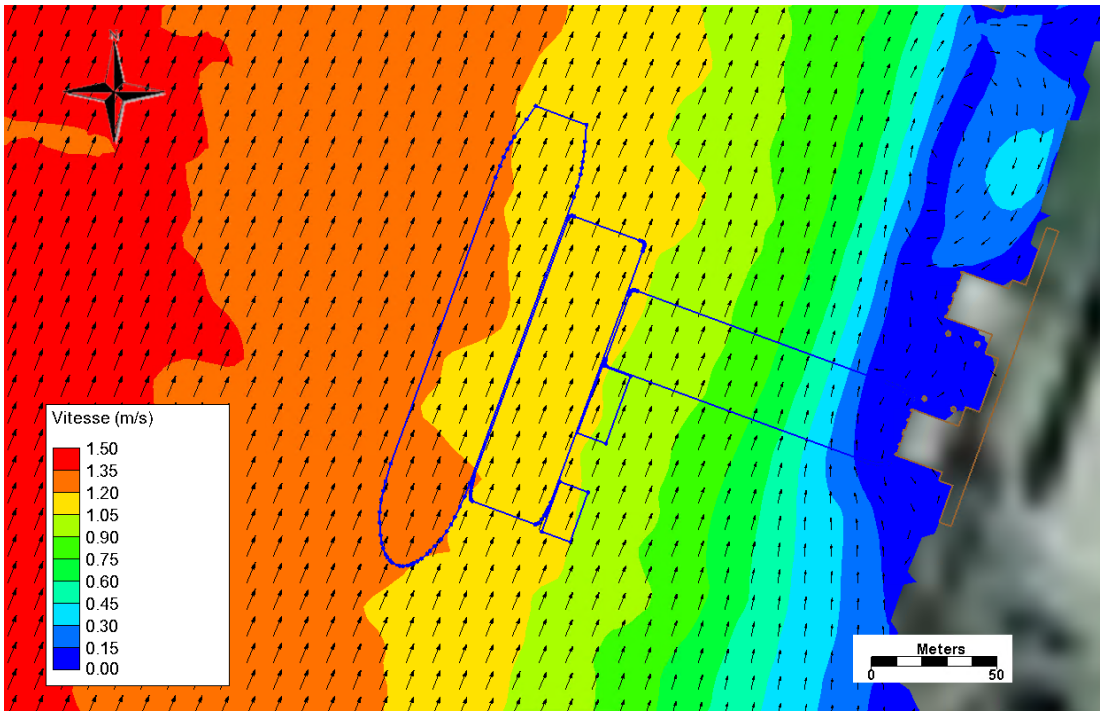


Figure A-17 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans

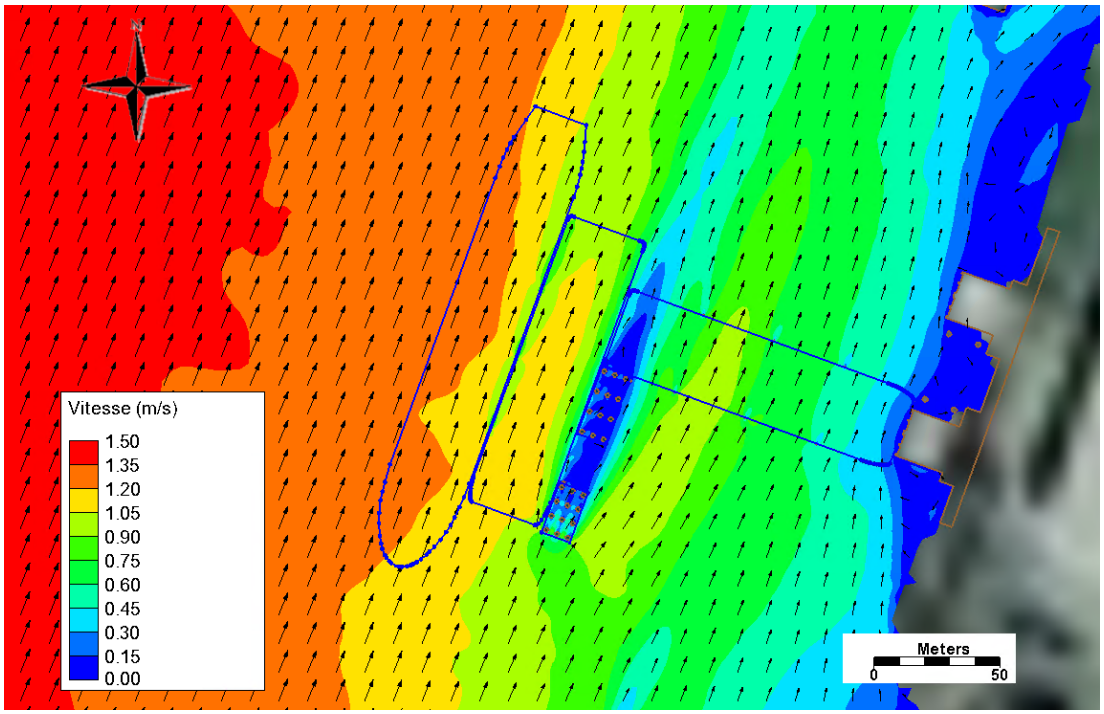


Figure A-18 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans

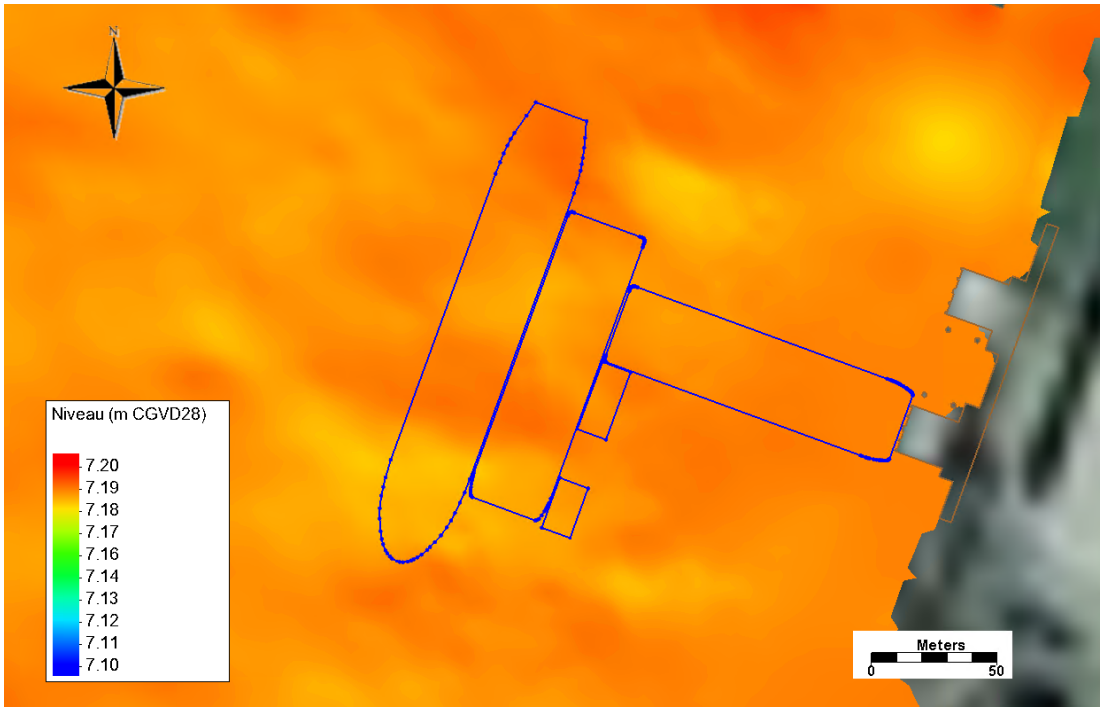


Figure A-19 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 20 ans

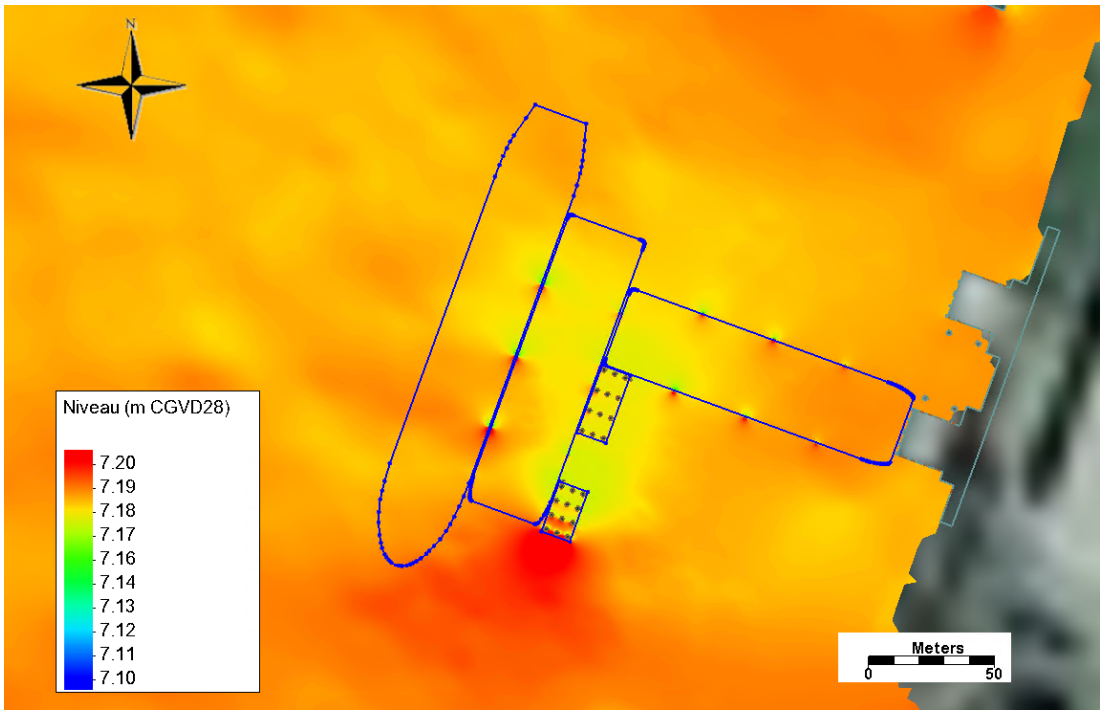


Figure A-20 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 20 ans

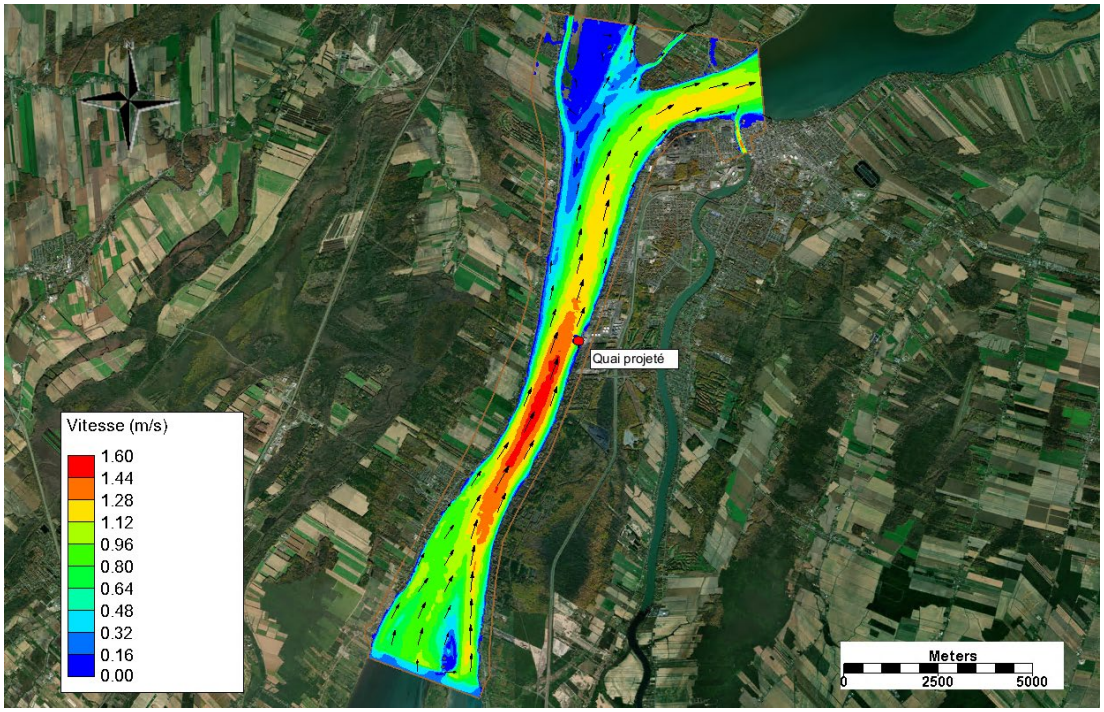


Figure A-21 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans en condition actuelle

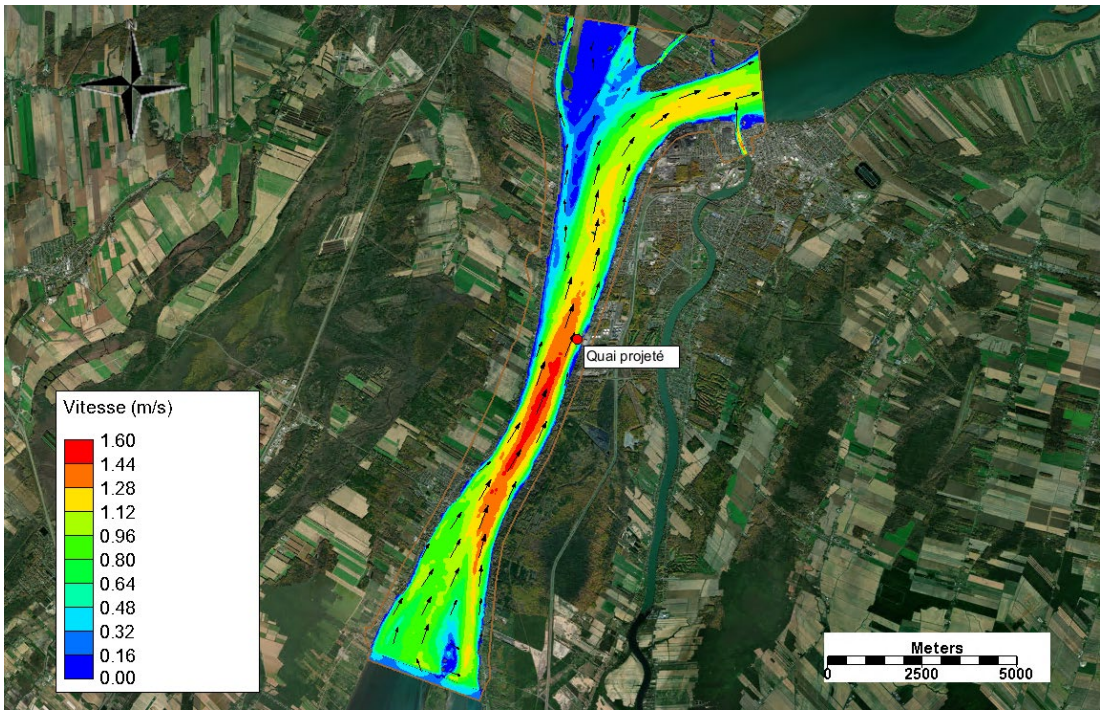


Figure A-22 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans en condition projetée

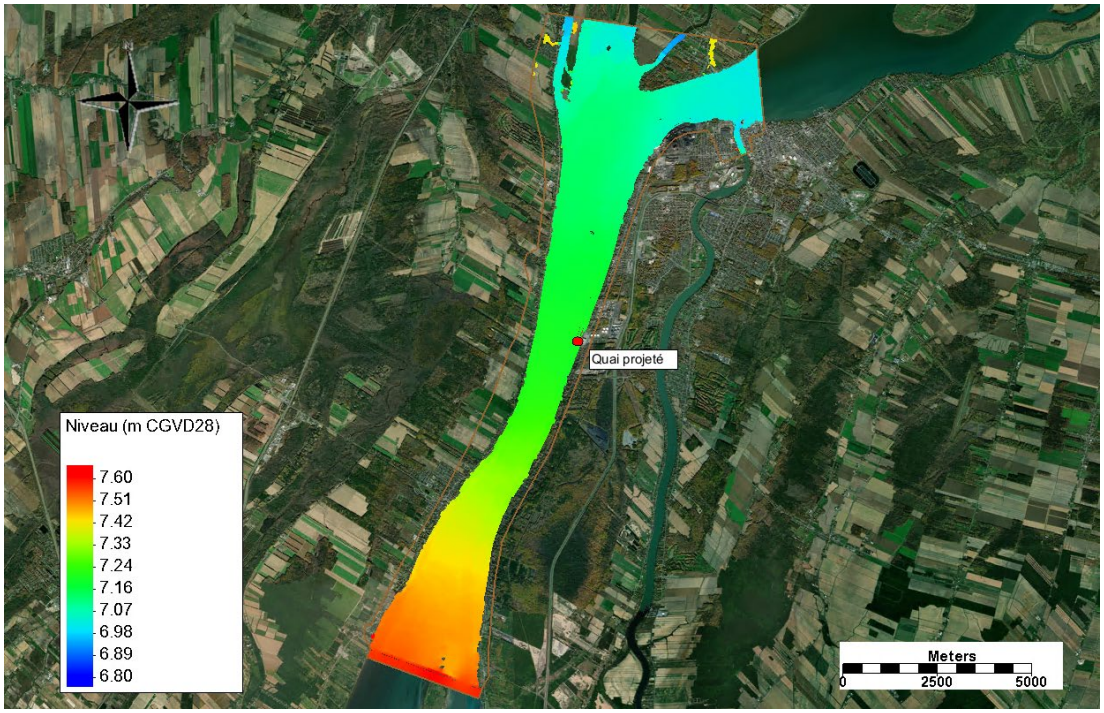


Figure A-23 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans en condition actuelle

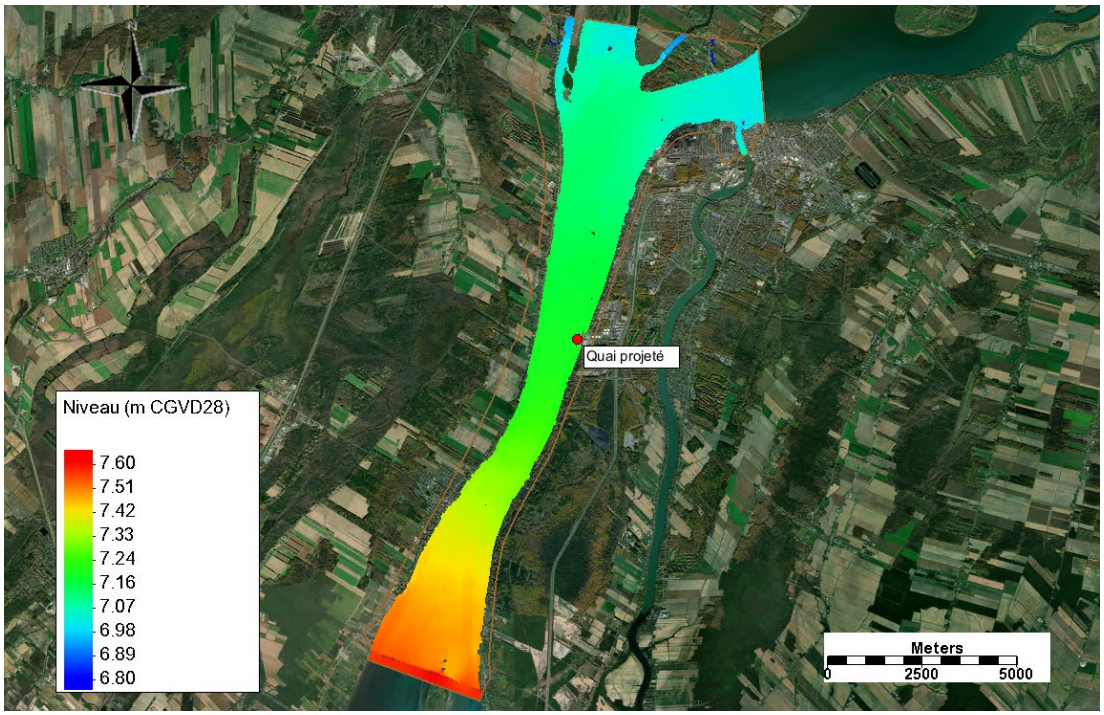


Figure A-24 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 20 ans en condition projetée

Scénario de crue 2 ans

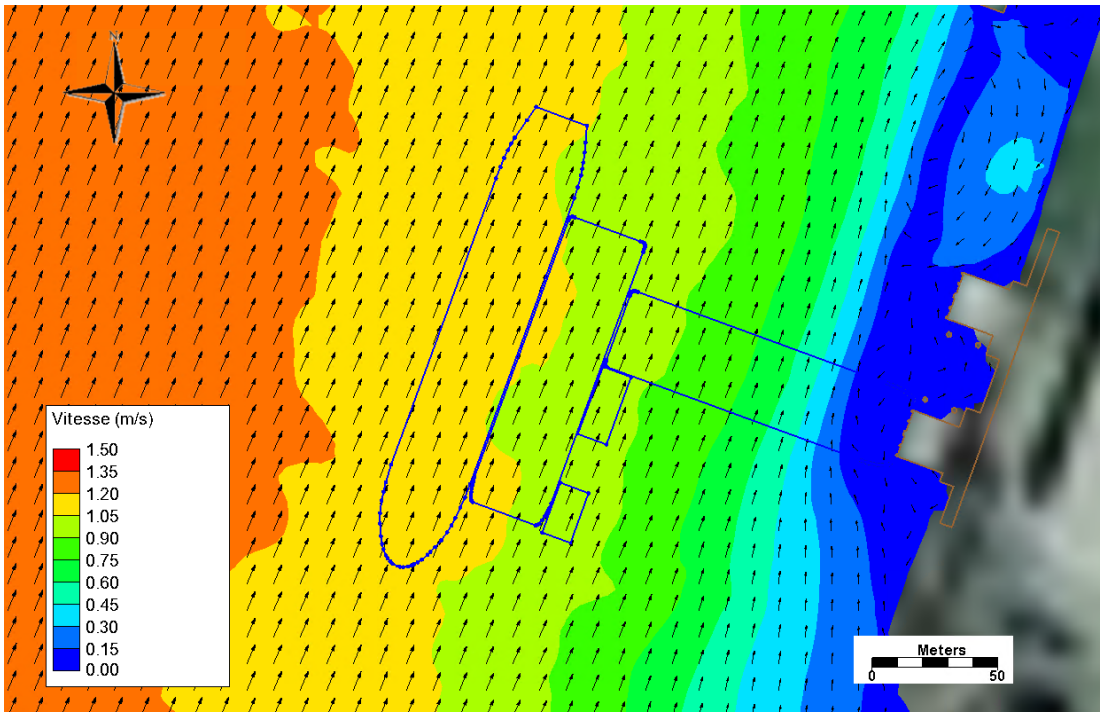


Figure A-25 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans

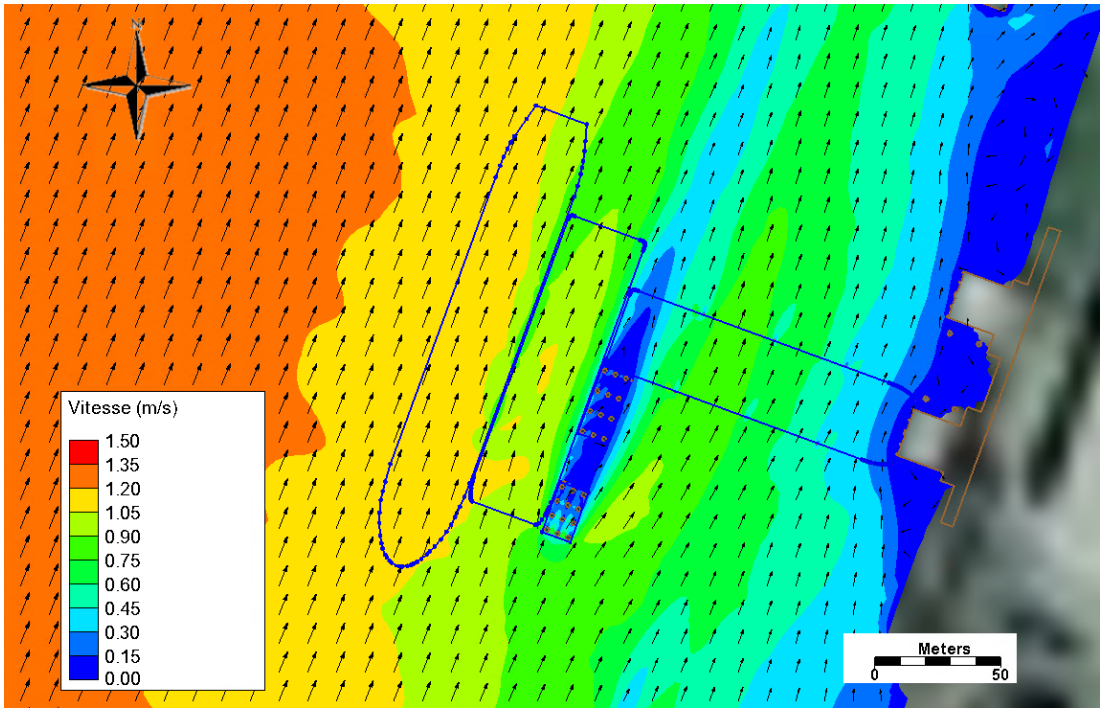


Figure A-26 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans

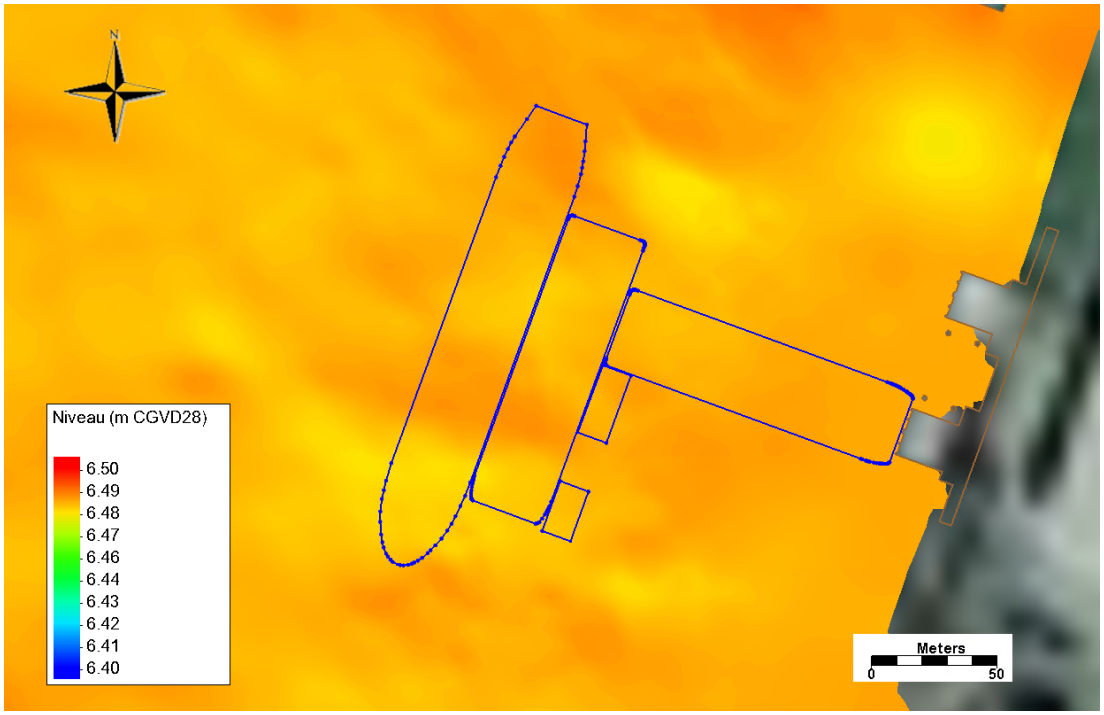


Figure A-27 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue de 2 ans

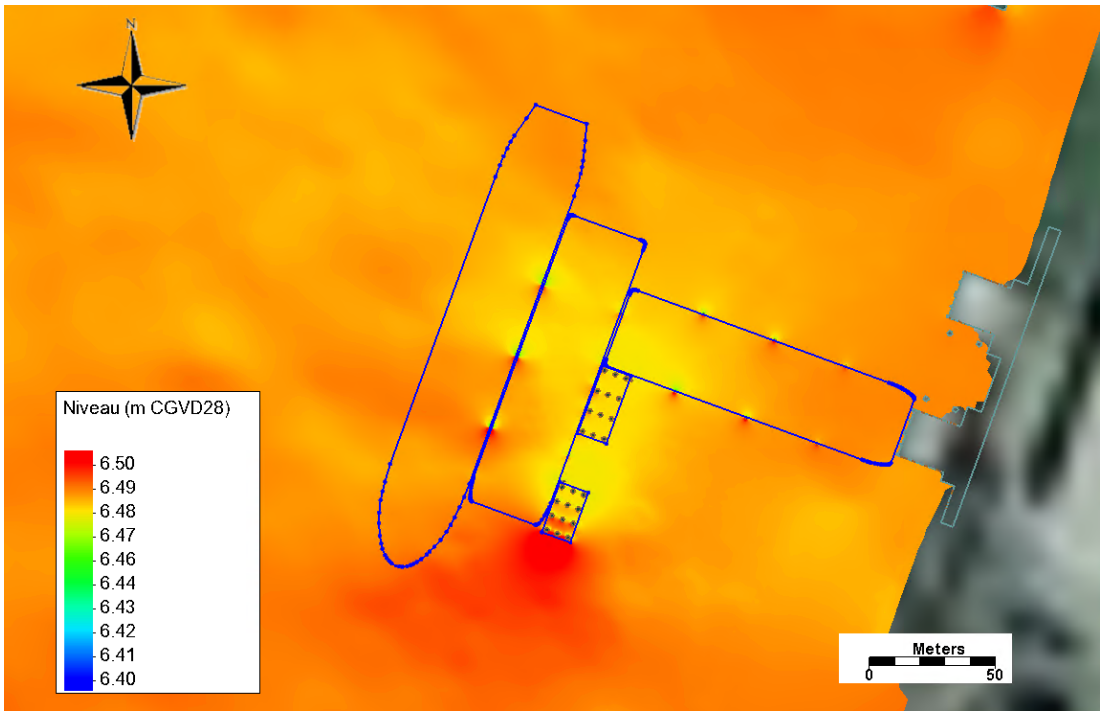


Figure A-28 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue de 2 ans

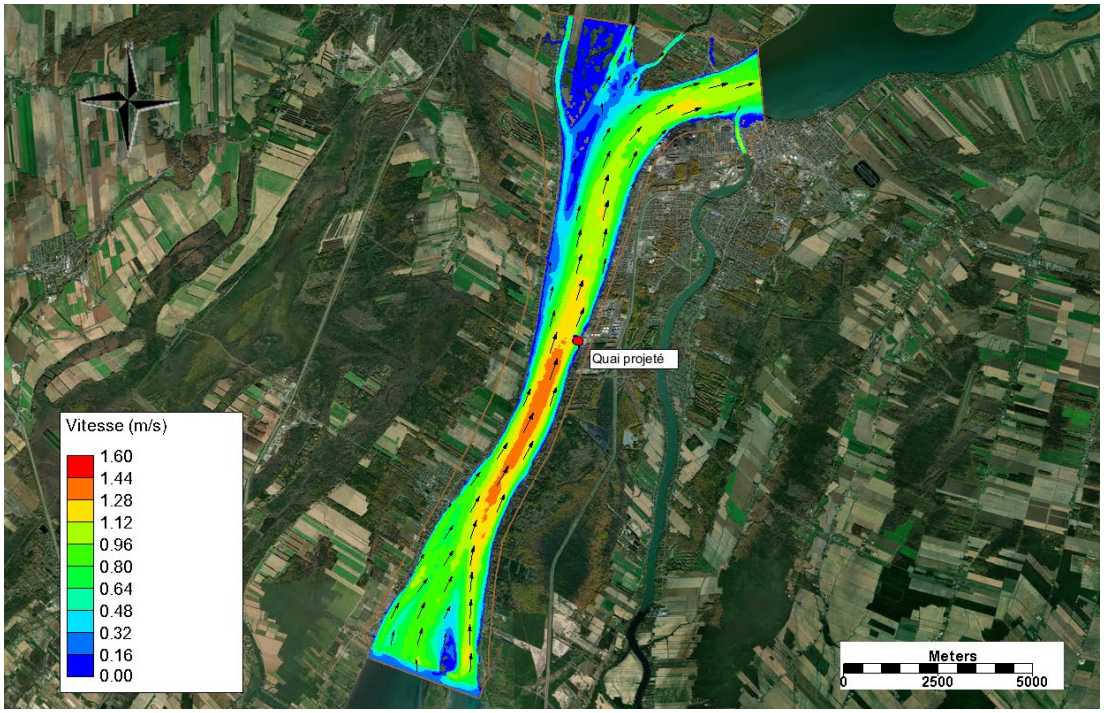


Figure A-29 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans en condition actuelle

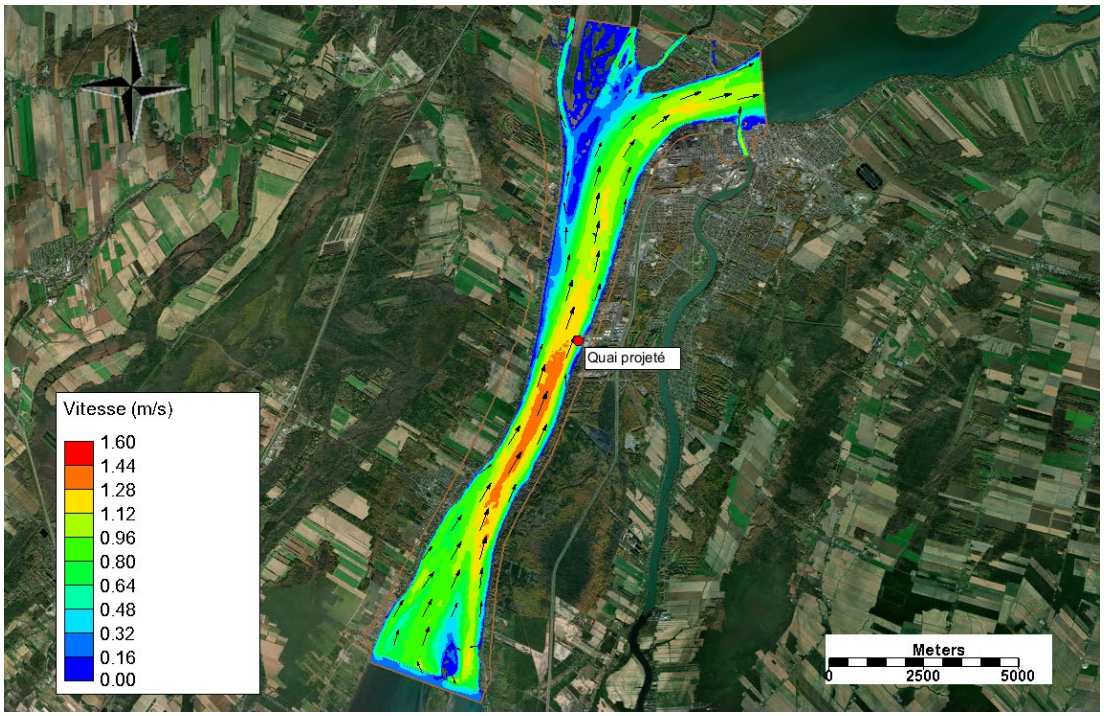


Figure A-30 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans en condition projetée

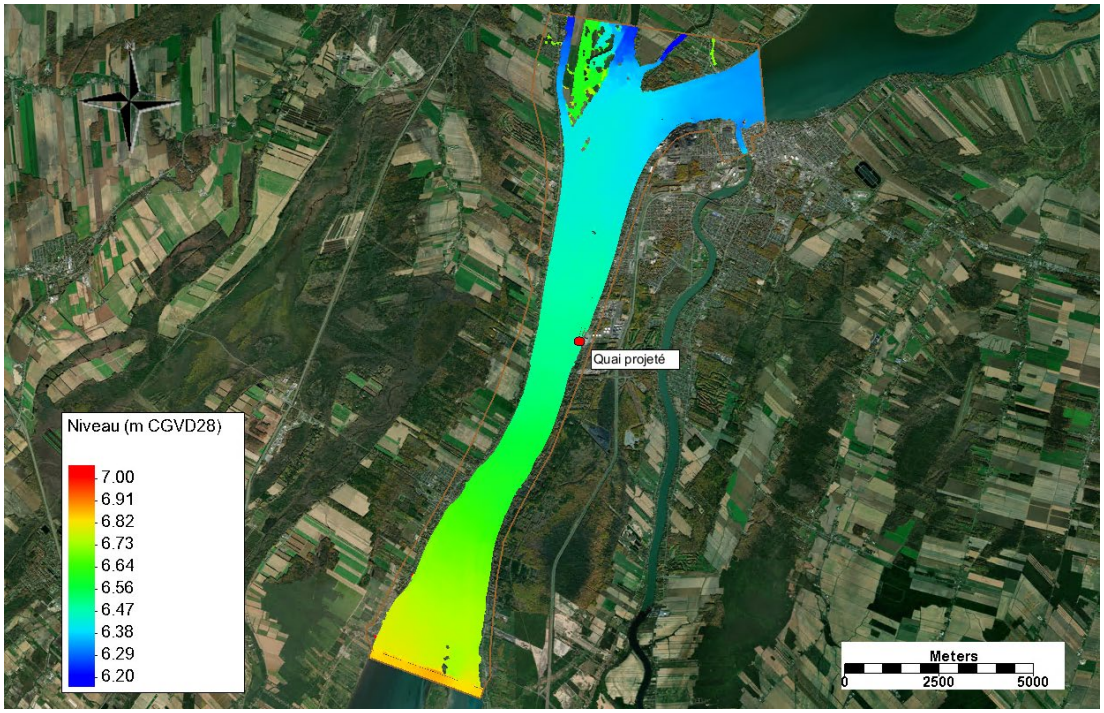


Figure A-31 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans en condition actuelle

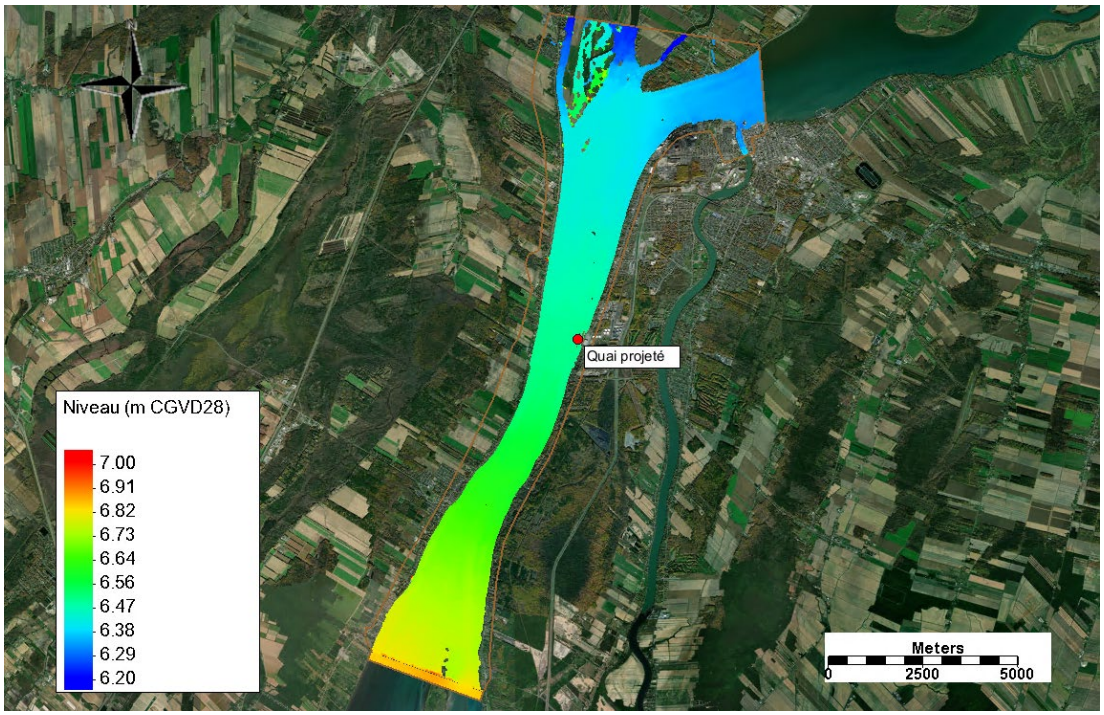


Figure A-32 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue de 2 ans en condition projetée

Scénario de crue moyenne

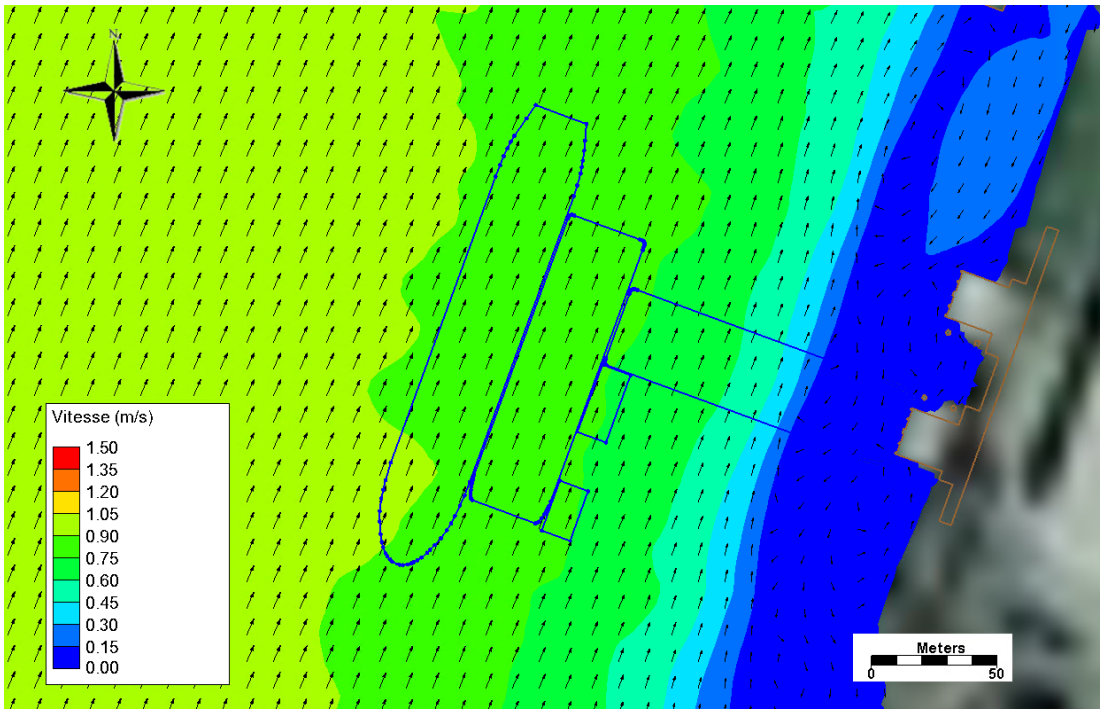


Figure A-33 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue moyenne

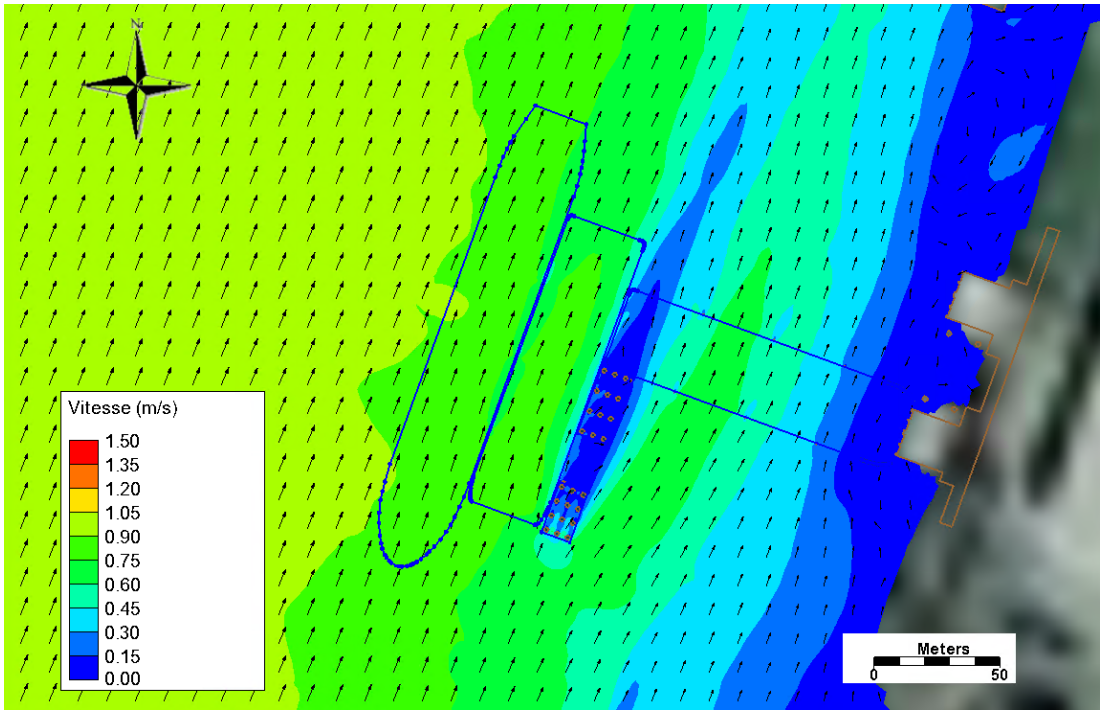


Figure A-34 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour une crue moyenne

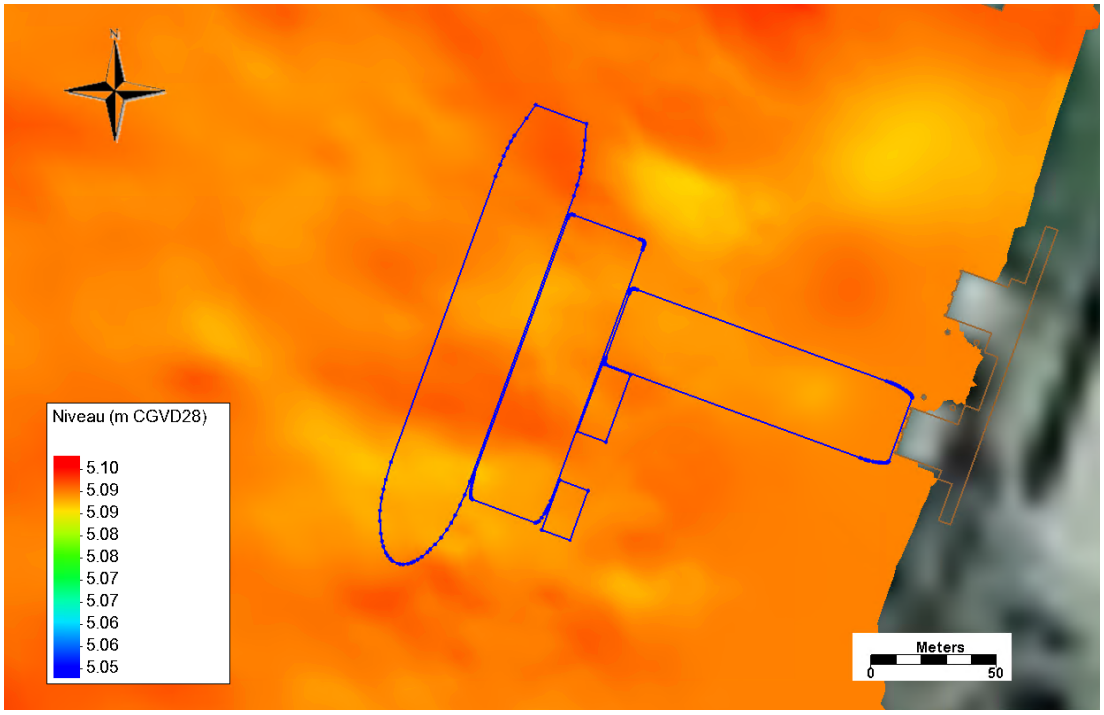


Figure A-35 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour une crue moyenne

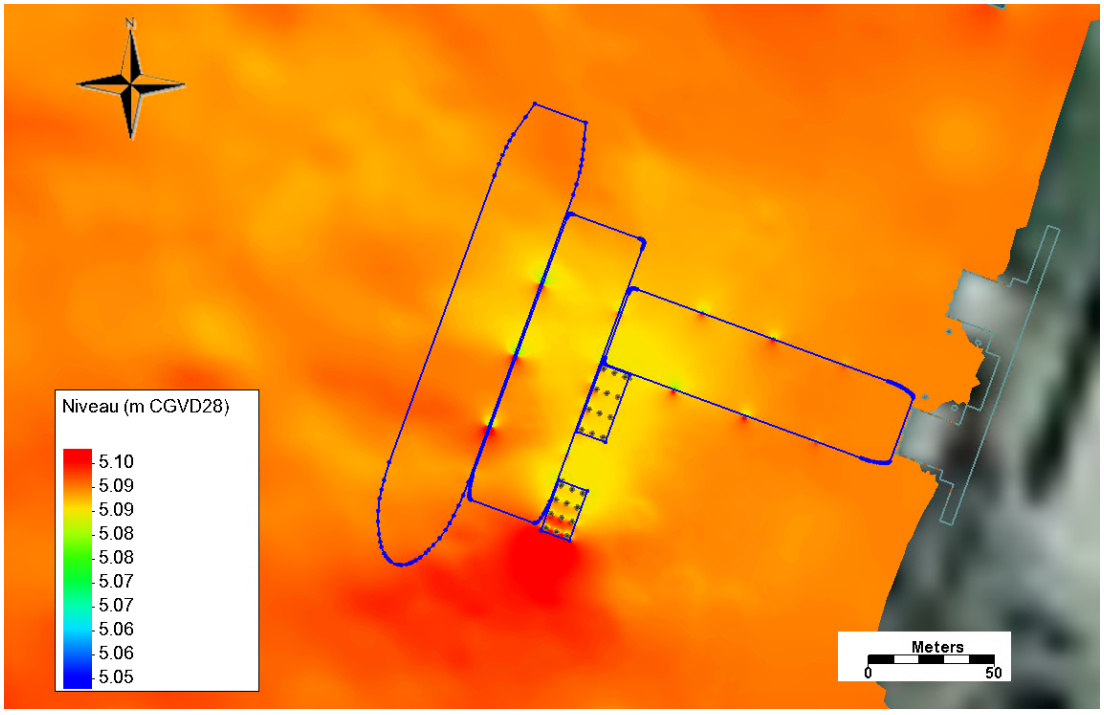


Figure A-36 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour une crue moyenne

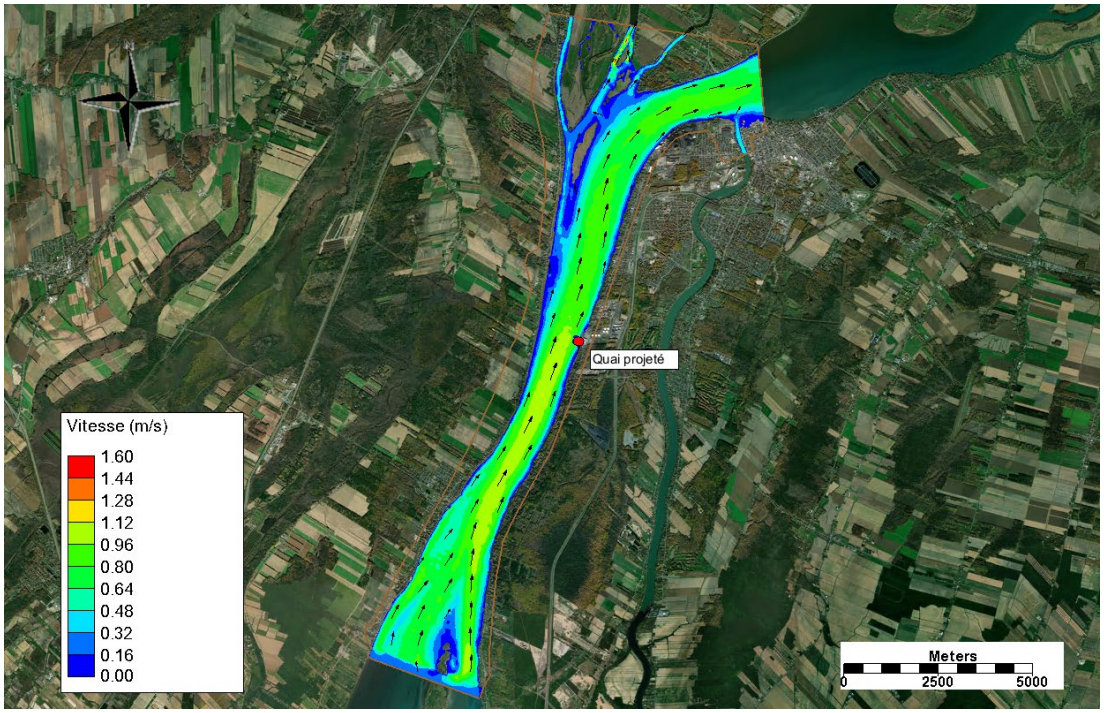


Figure A-37 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue moyenne en condition actuelle

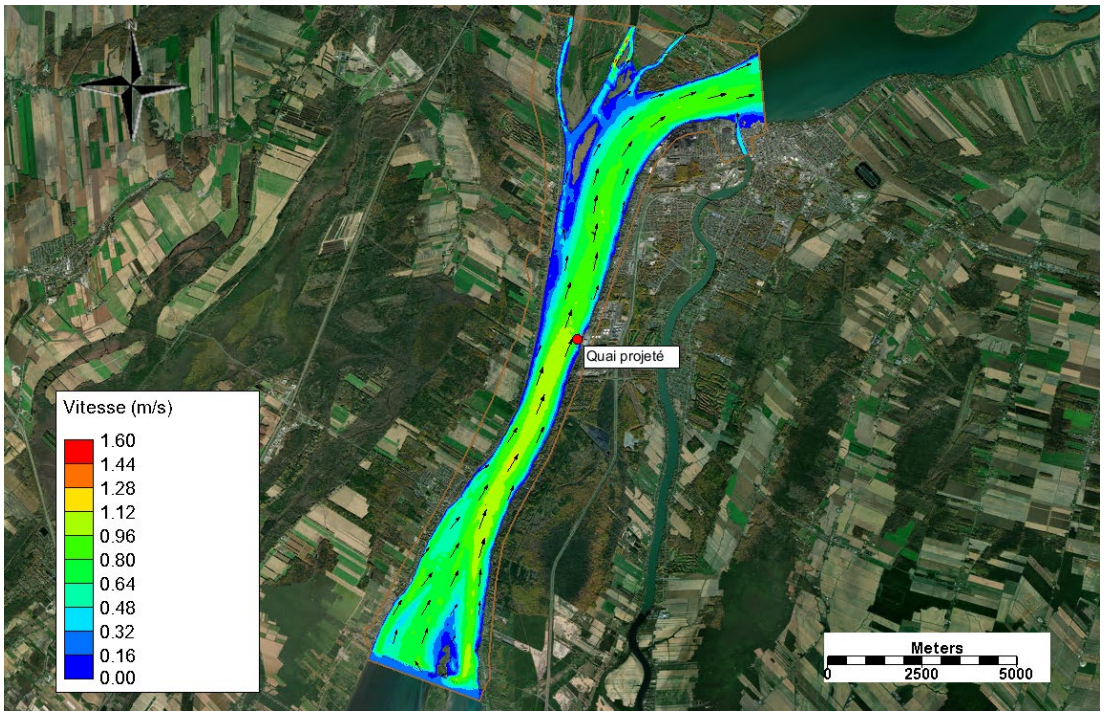


Figure A-38 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue moyenne en condition projetée

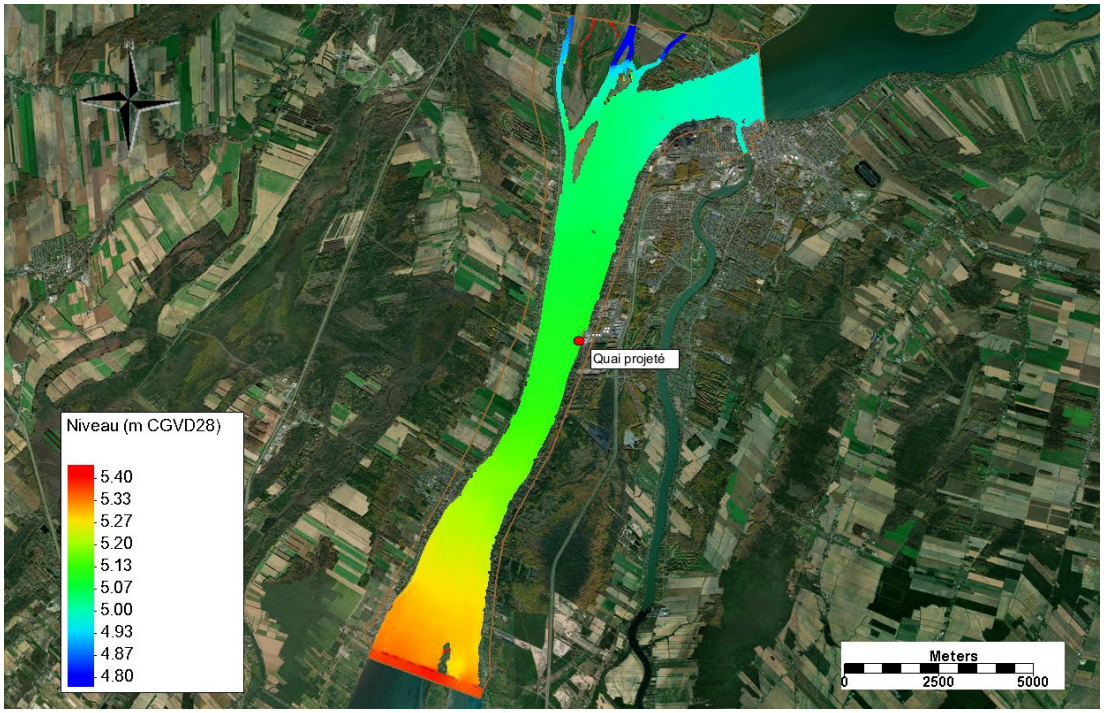


Figure A-39 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue moyenne en condition actuelle

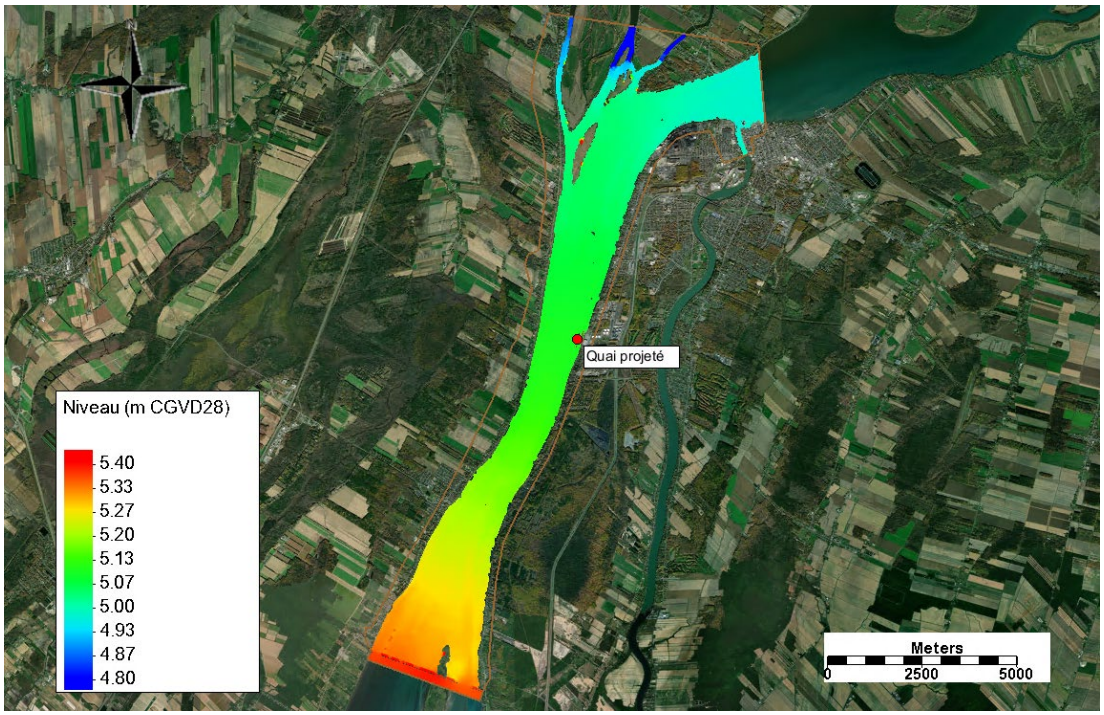


Figure A-40 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel pour une crue moyenne en condition projetée

Scénario de crue 50% 2 ans

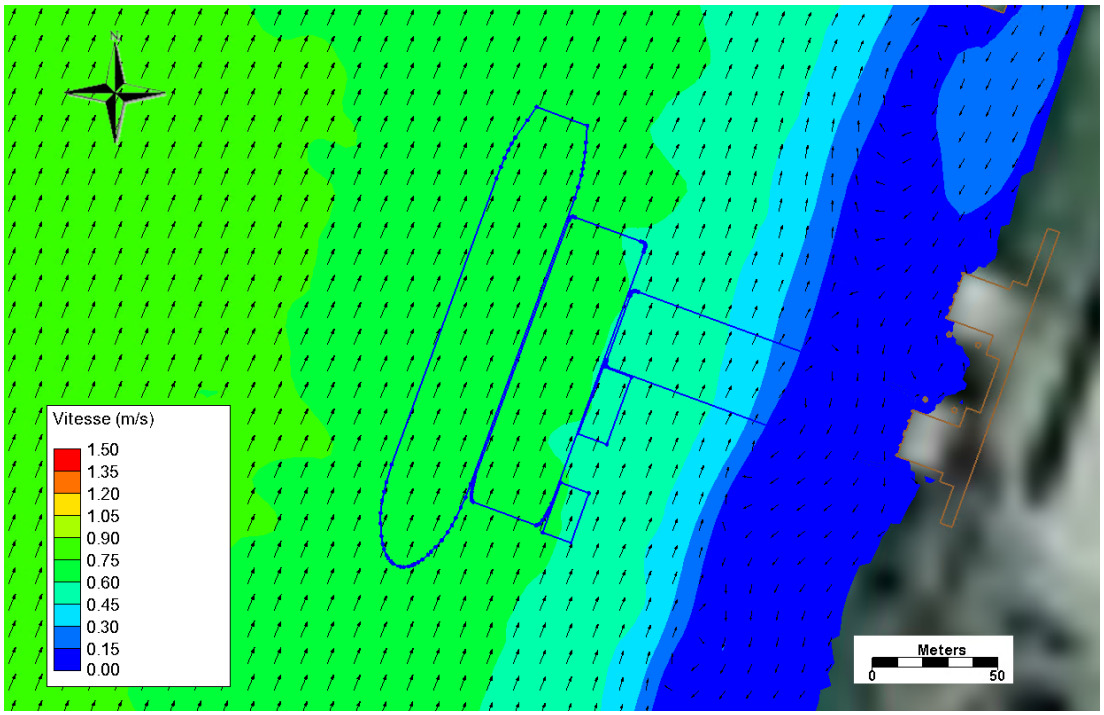


Figure A-41 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour 50% de la crue 2 ans

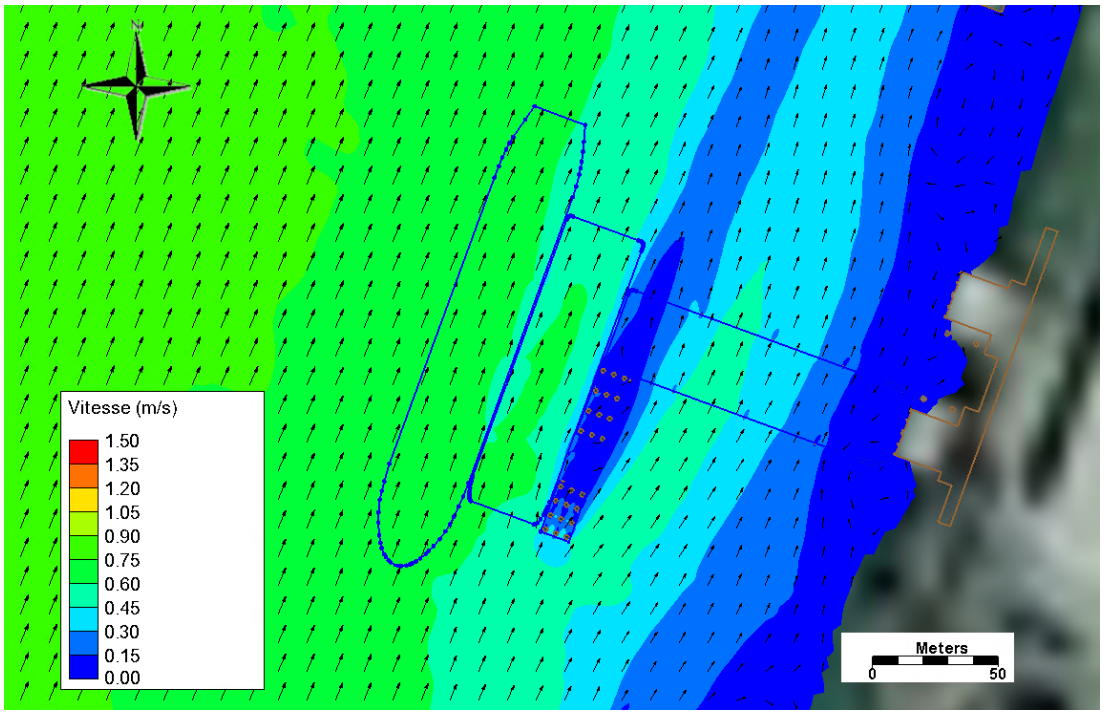


Figure A-42 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour 50% de la crue 2 ans

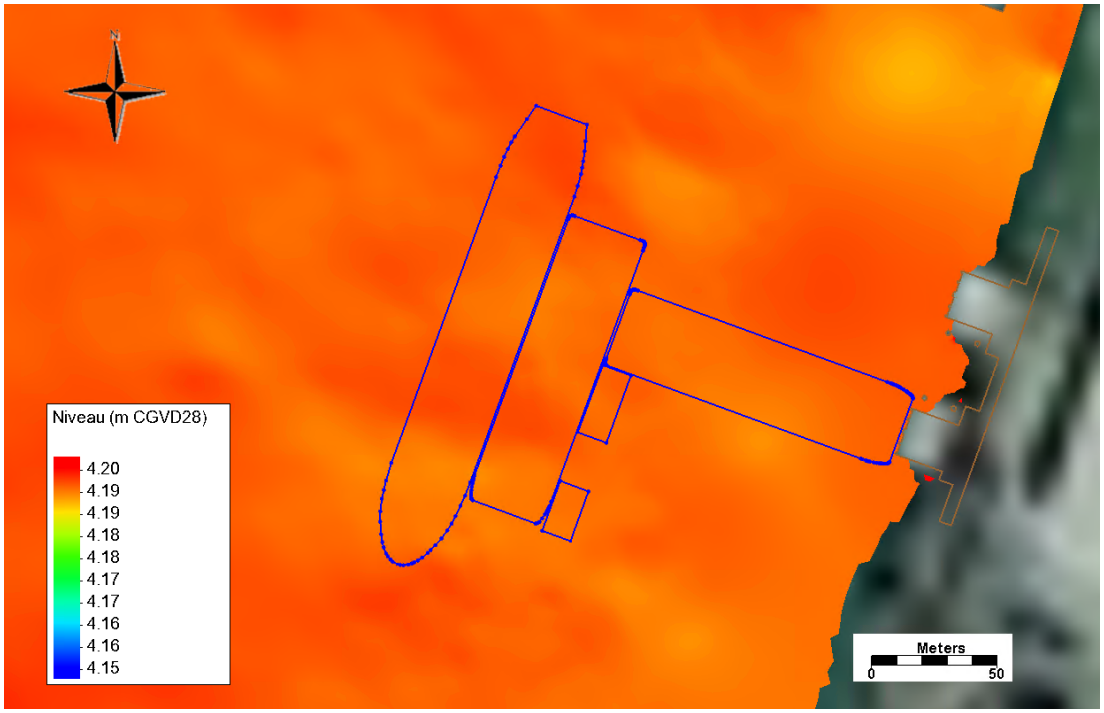


Figure A-43 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour 50% de la crue 2 ans

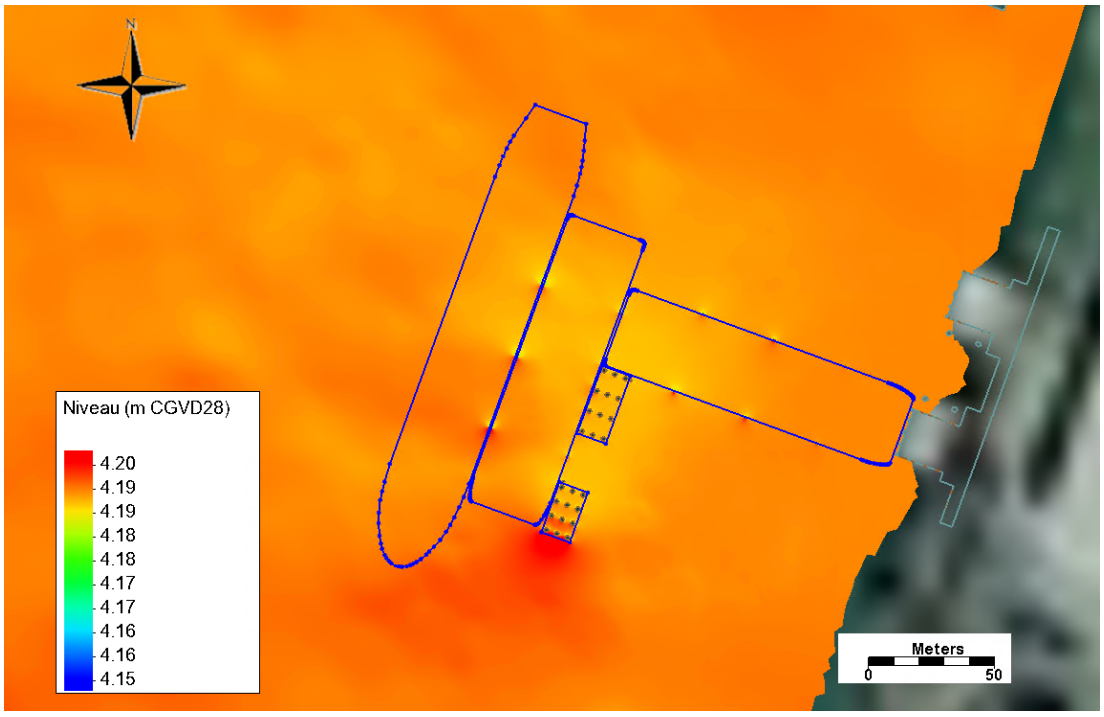


Figure A-44 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour 50% de la crue 2 ans

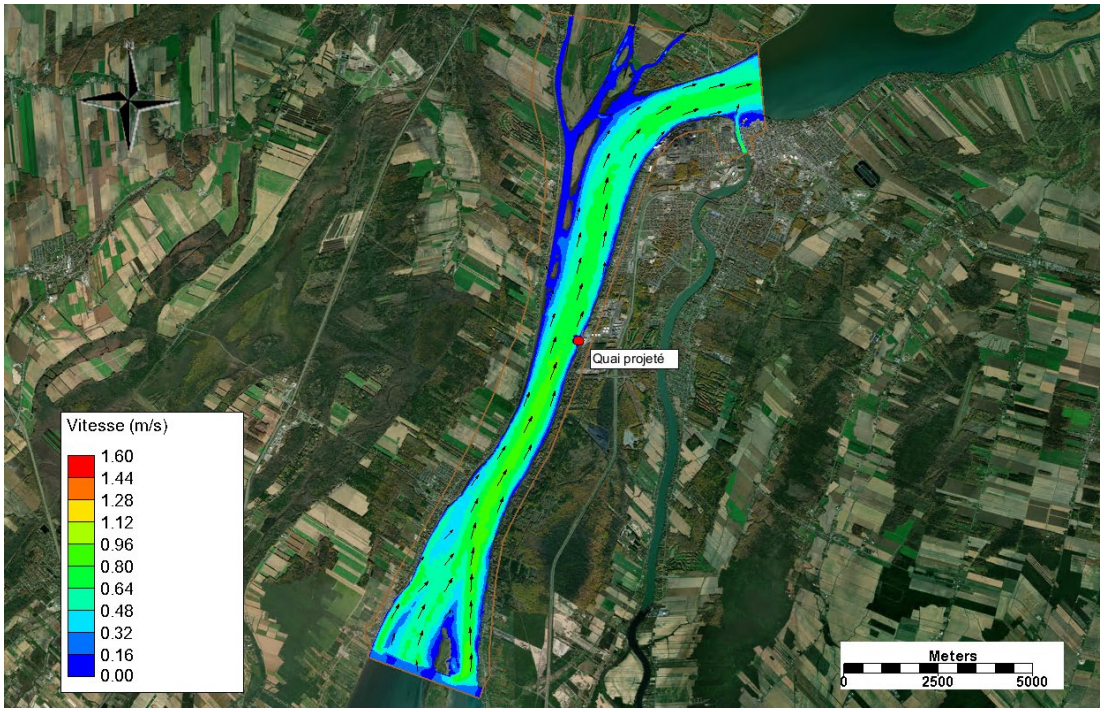


Figure A-45 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour 50% de la crue 2 ans

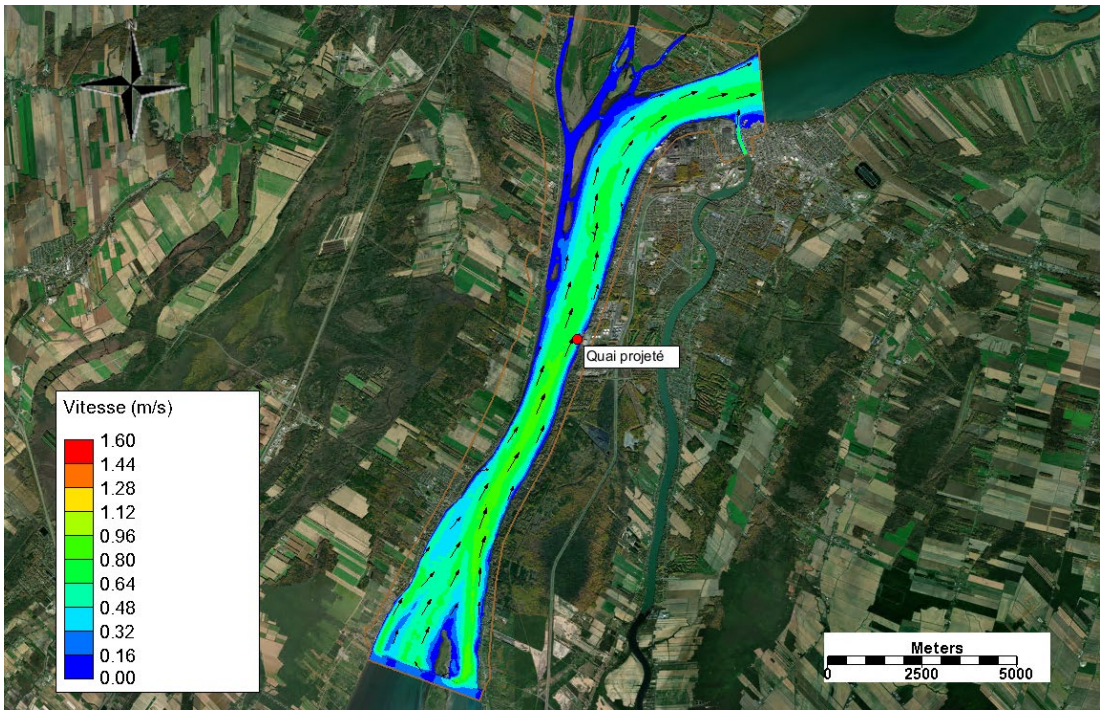


Figure A-46 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour 50% de la crue 2 ans

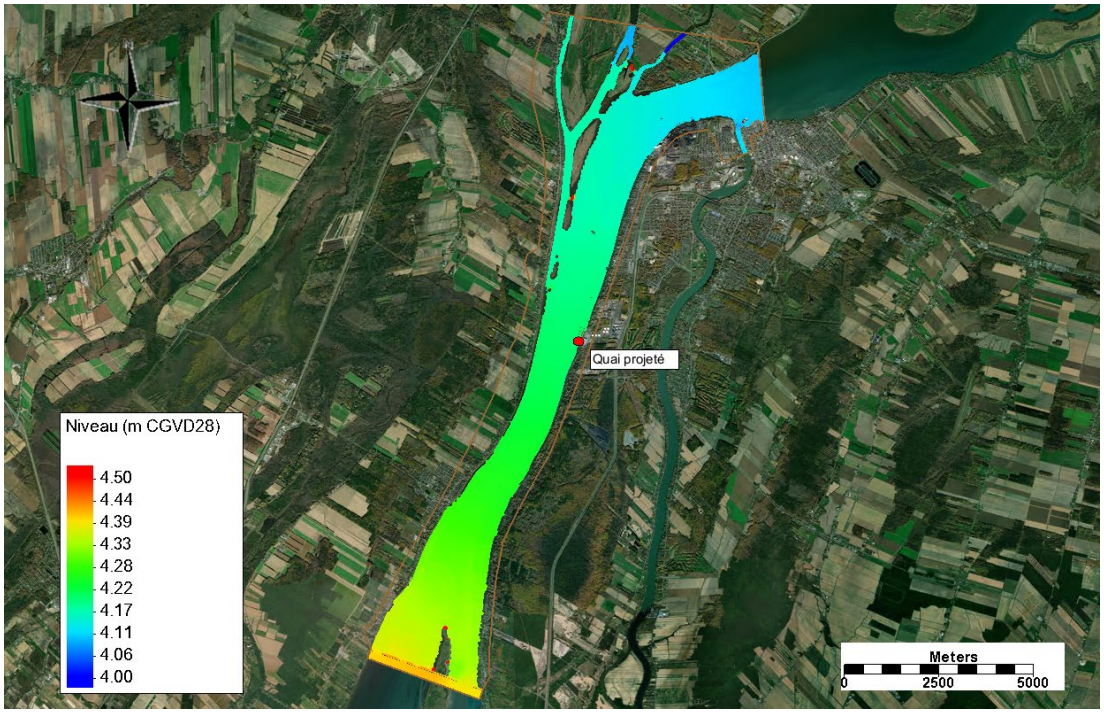


Figure A-47 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour 50% de la crue 2 ans

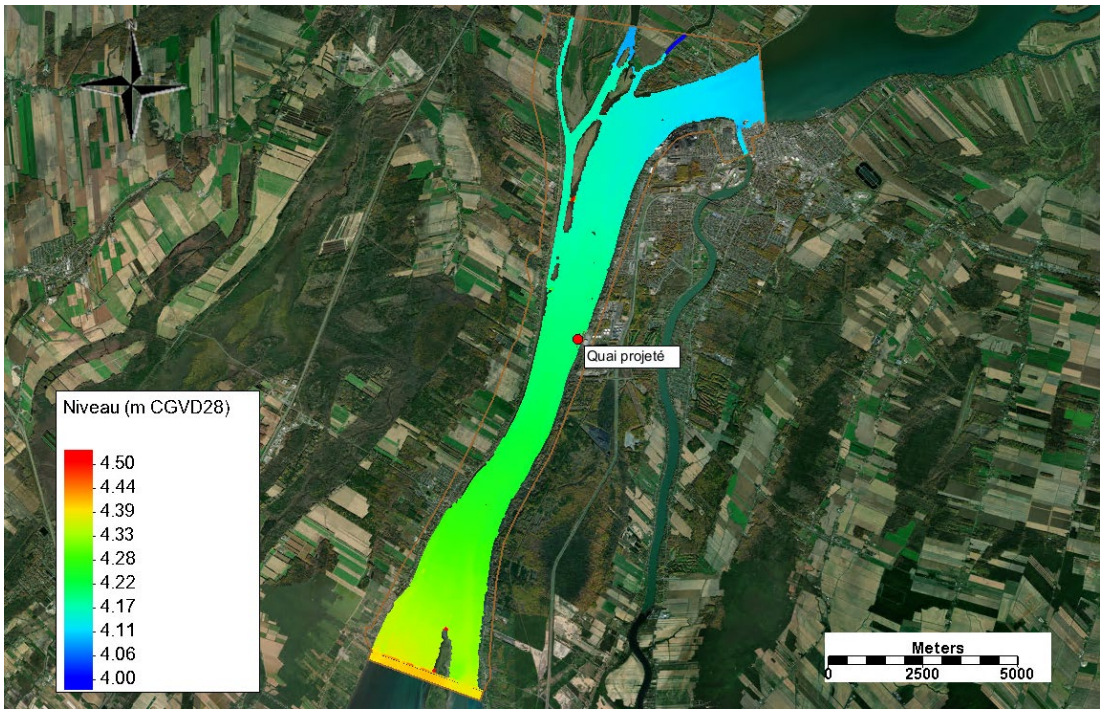


Figure A-48 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour 50% de la crue 2 ans

Scénario d'étiage de récurrence 2 ans sur 7 jours consécutifs ($Q_{2,7}$)

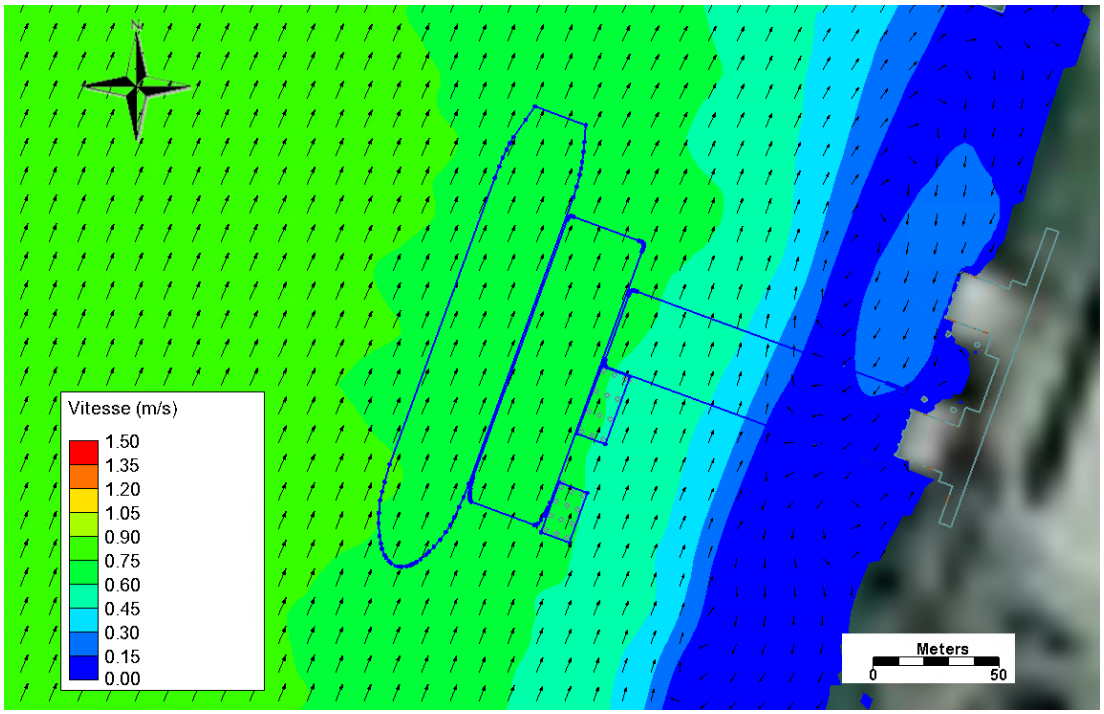


Figure A-49 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

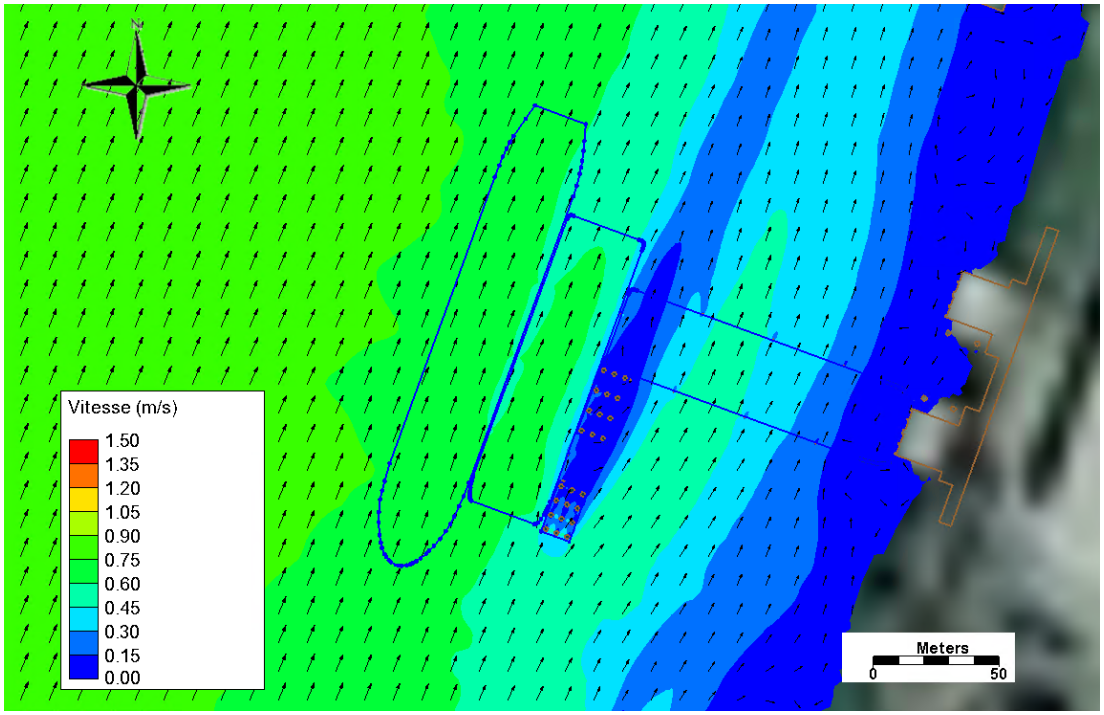


Figure A-50 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

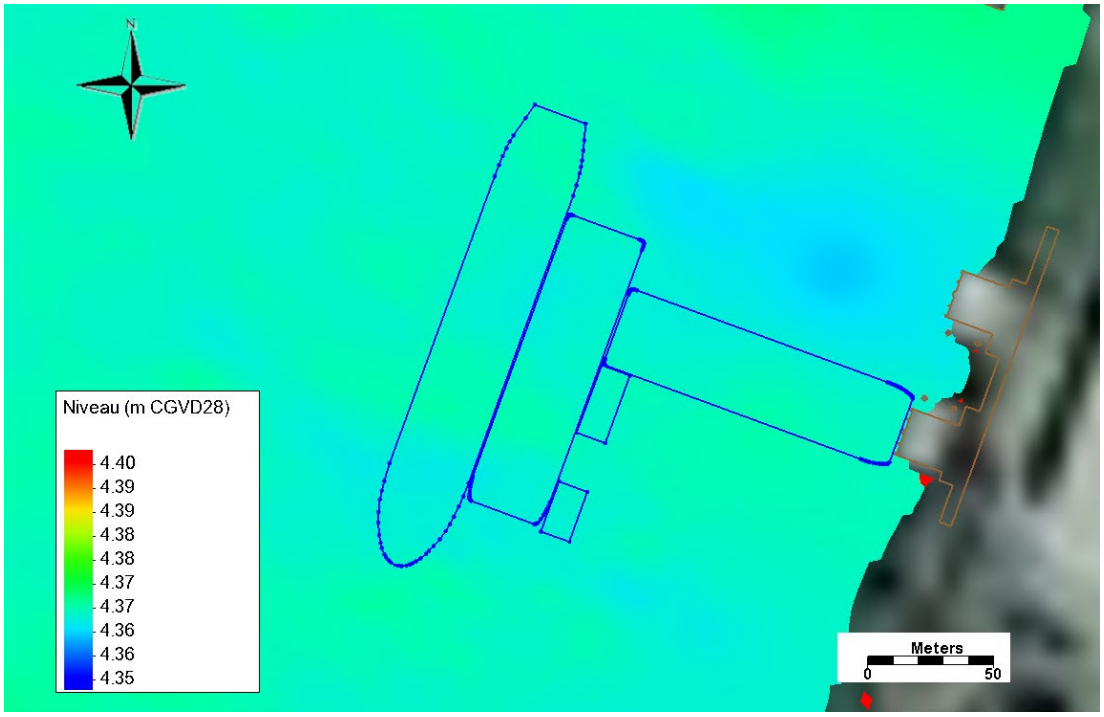


Figure A-51 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

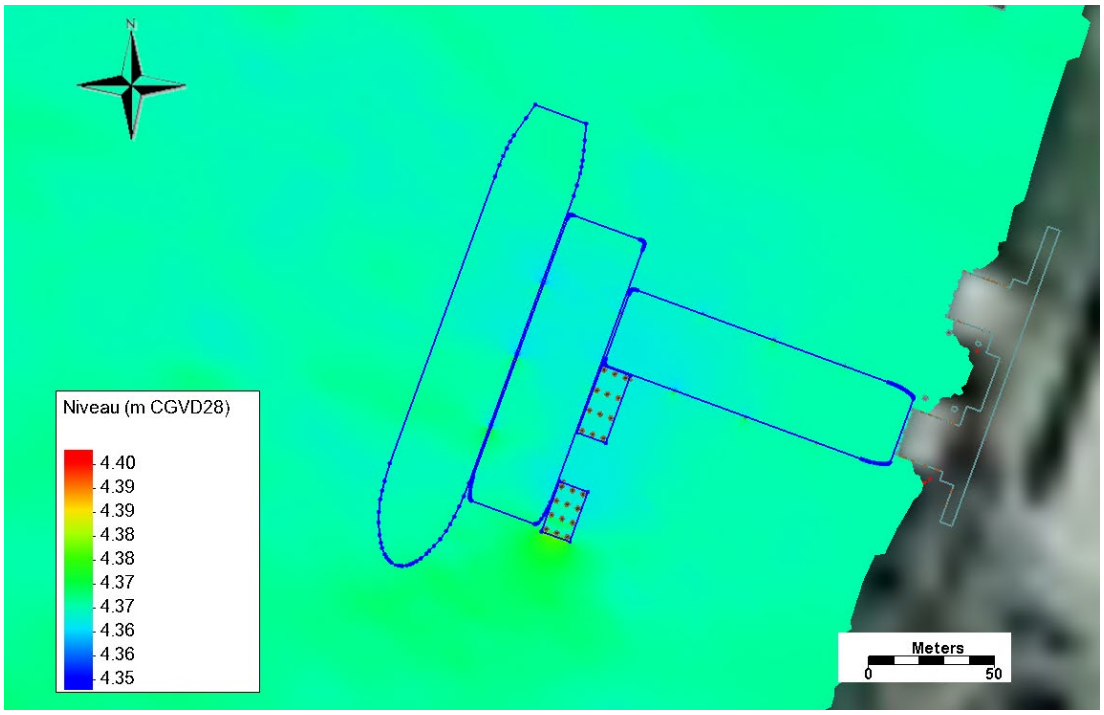


Figure A-52 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

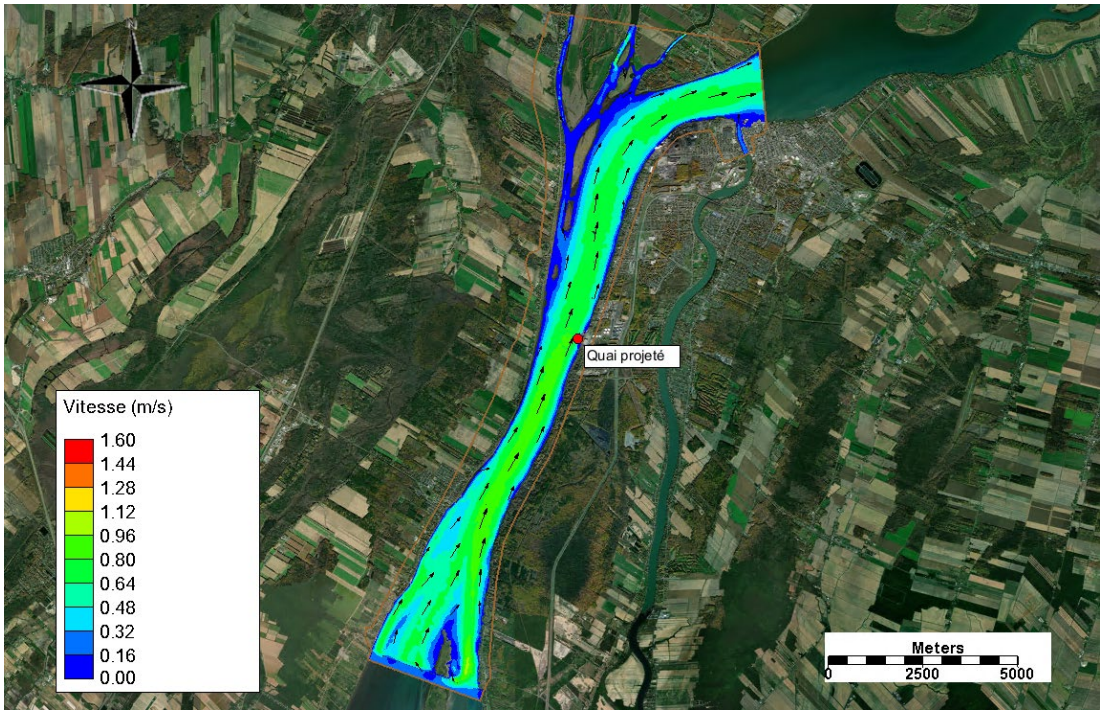


Figure A-53 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

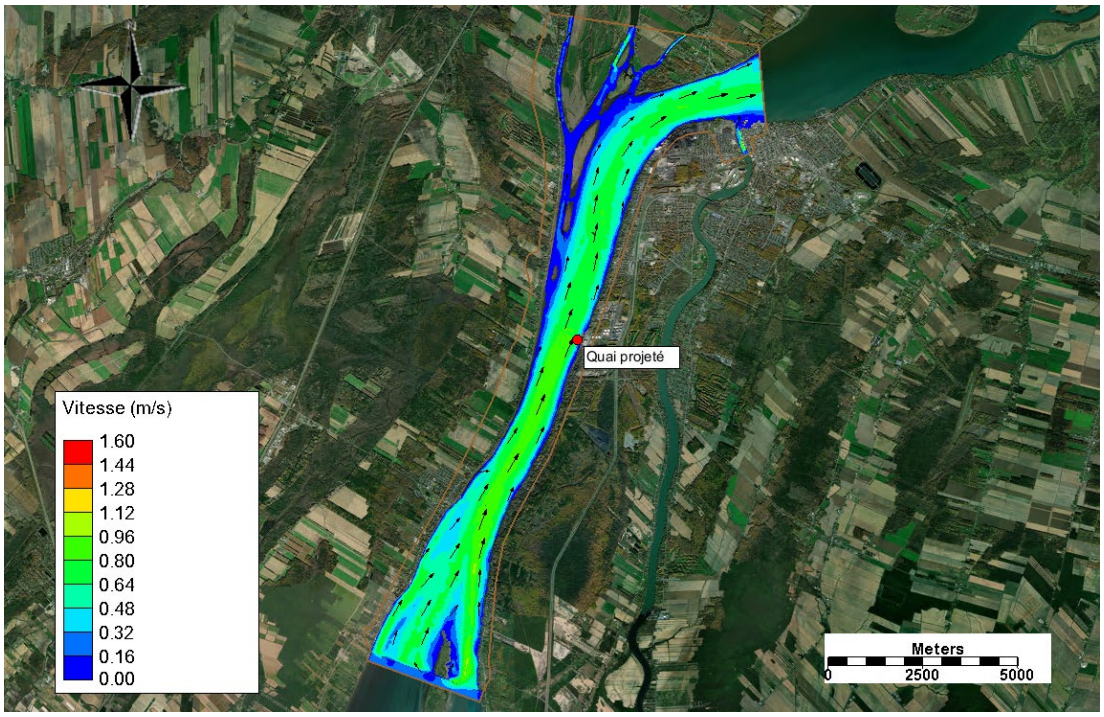


Figure A-54 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

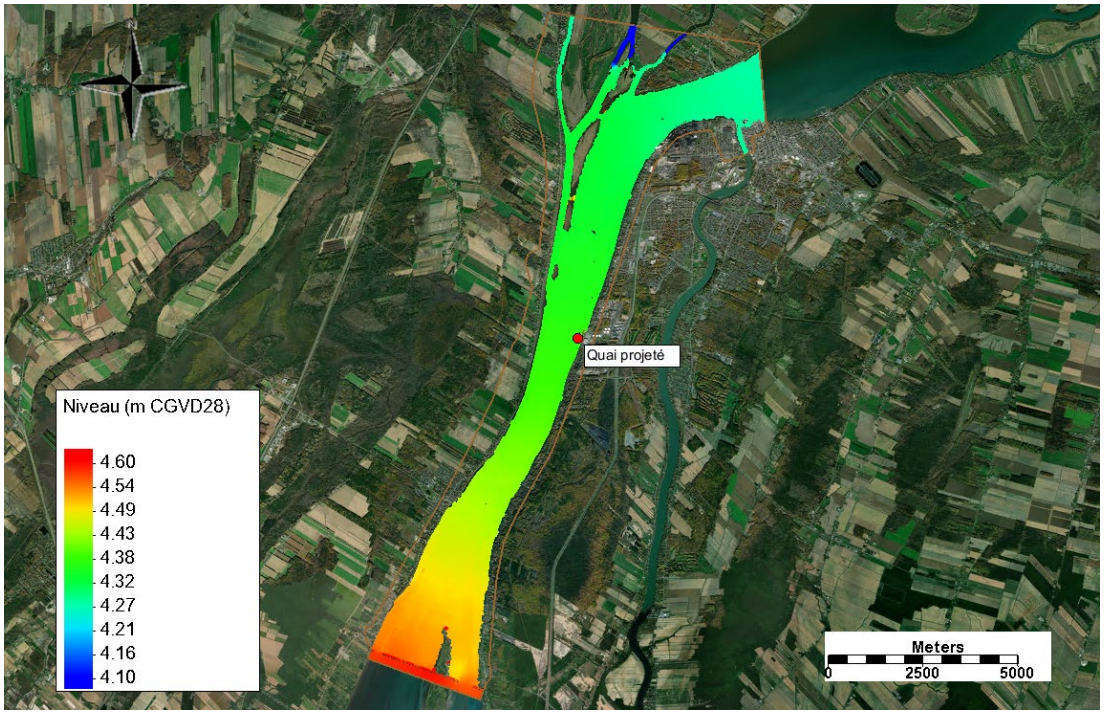


Figure A-55 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

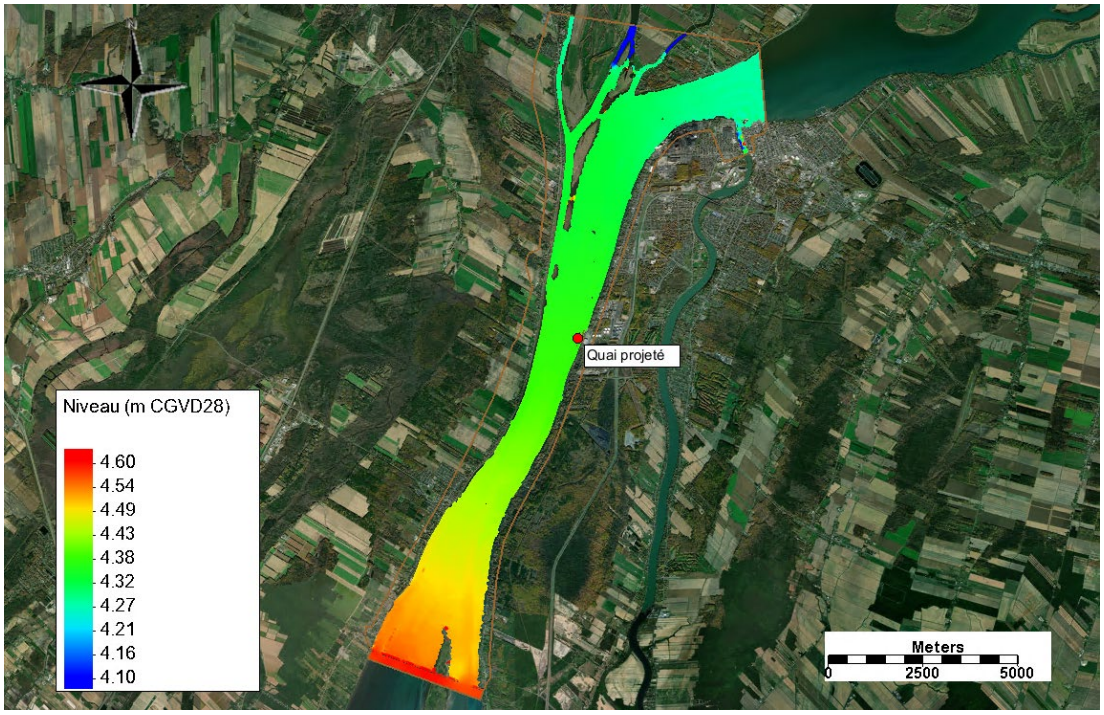


Figure A-56 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour un débit d'étiage $Q_{2,7}$

Scénario d'étiage en condition de climat futur

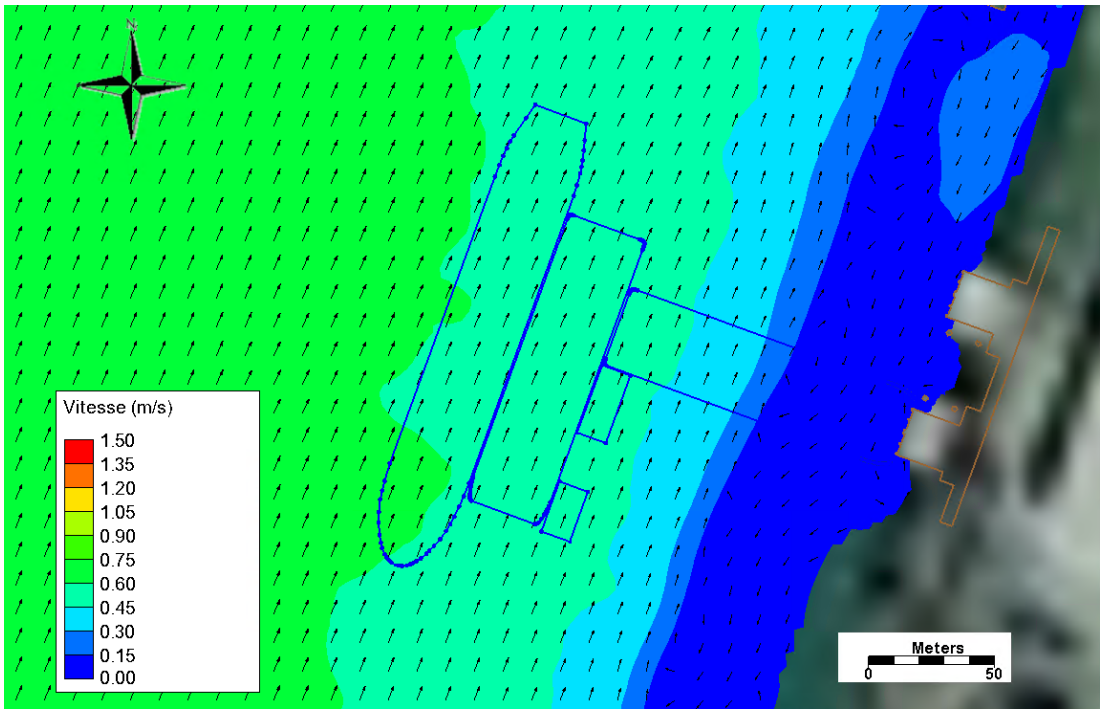


Figure A-57 Vitesse dans la zone du quai en condition actuelle pour un débit d'étiage en climat futur

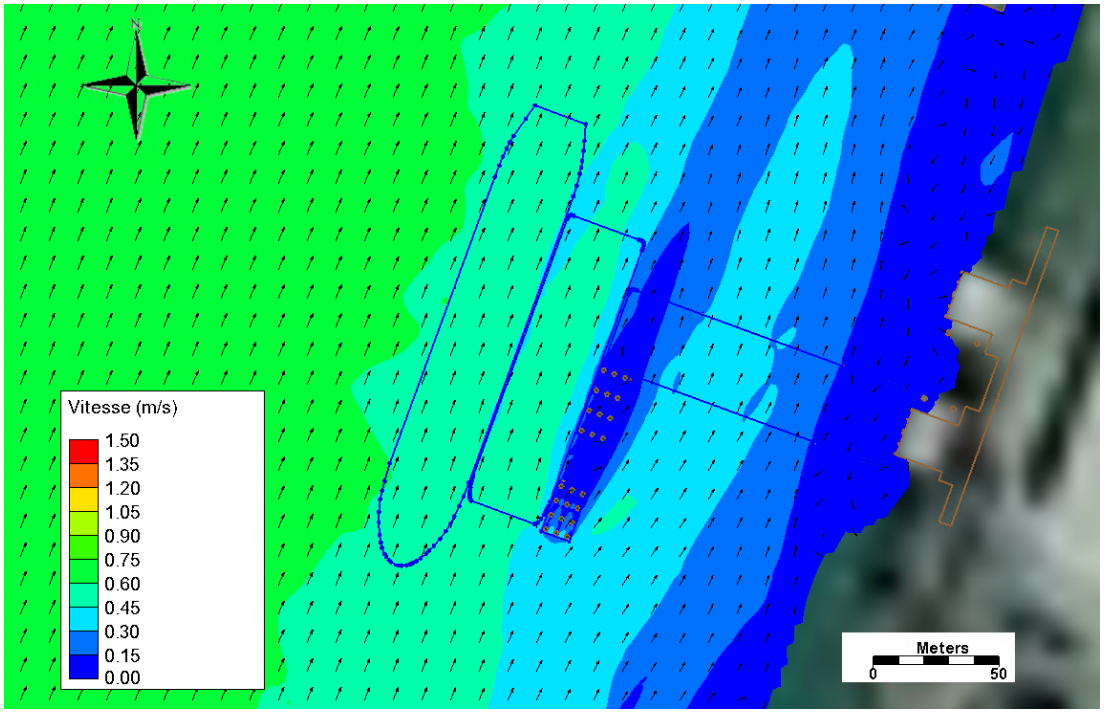


Figure A-58 Vitesse dans la zone du quai en condition projetée pour un débit d'étiage en climat futur

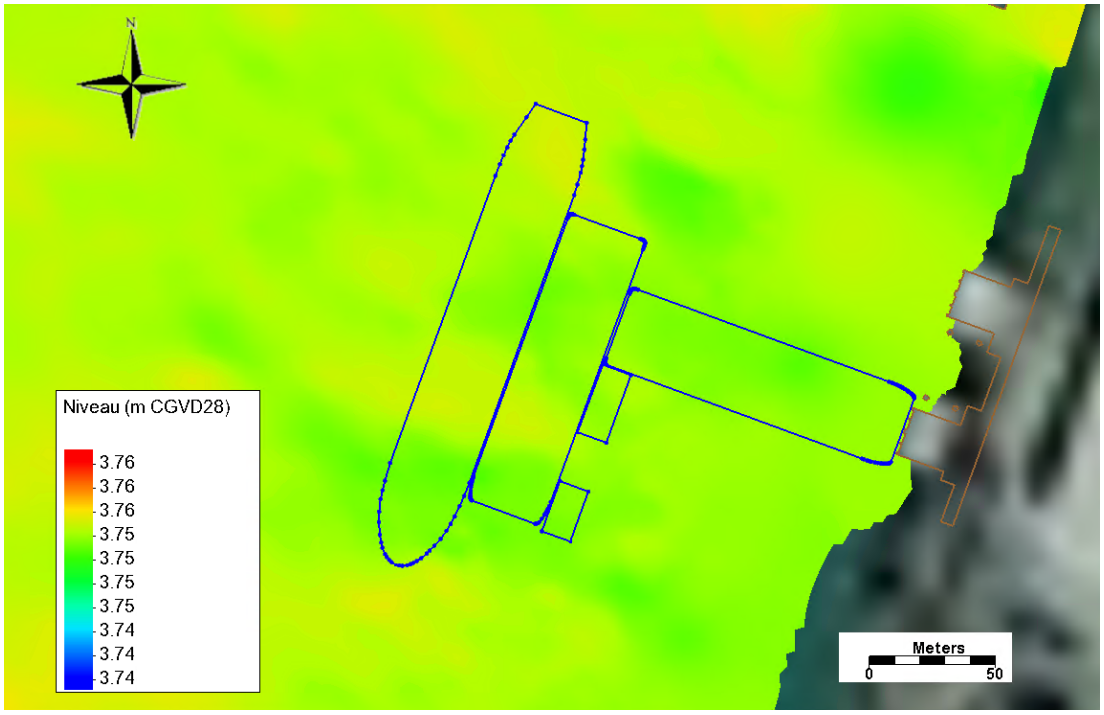


Figure A-59 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition actuelle pour un débit d'étiage en climat futur

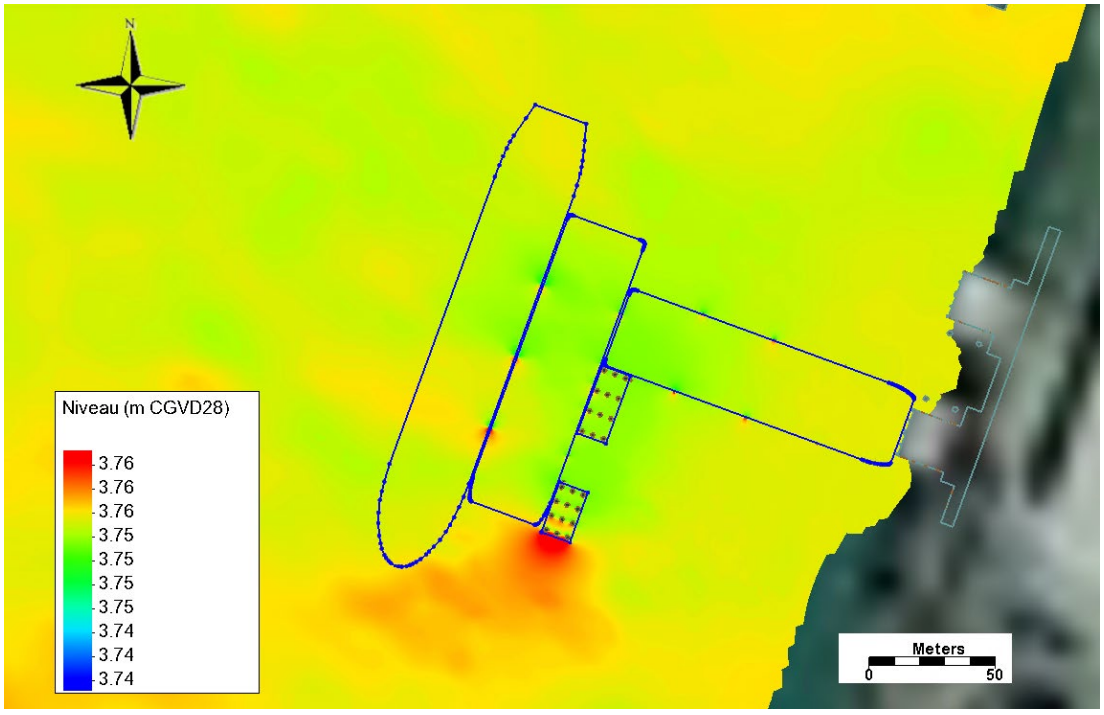


Figure A-60 Niveau d'eau dans la zone du quai en condition projetée pour un débit d'étiage en climat futur

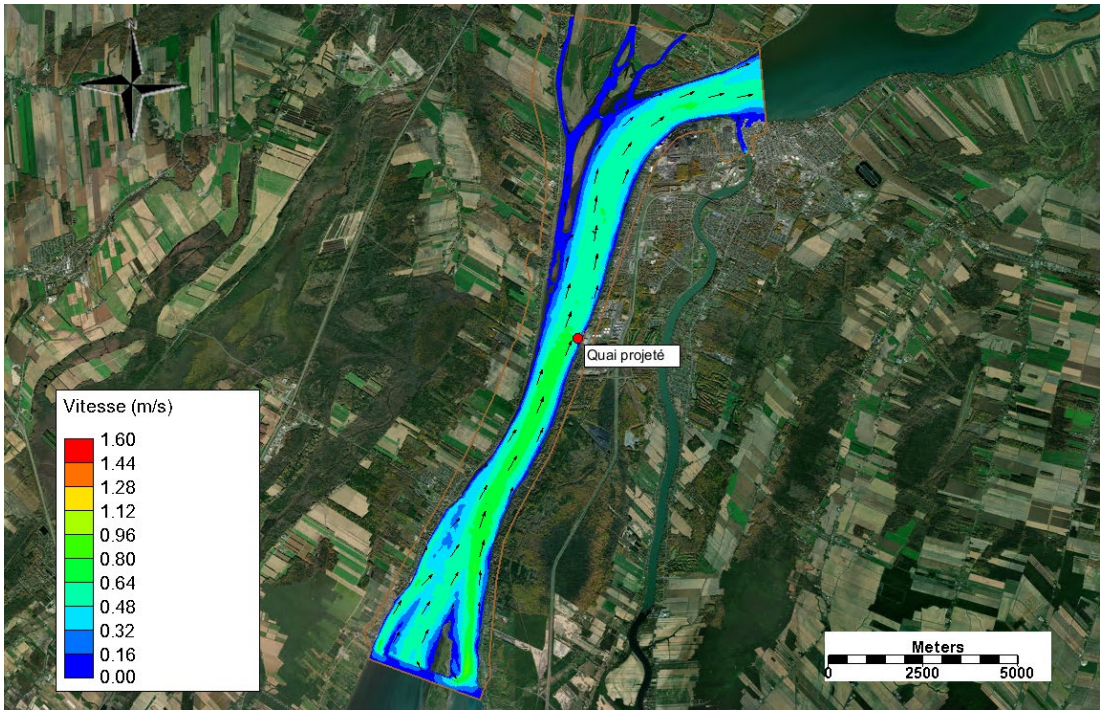


Figure A-61 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour un débit d'étiage en climat futur

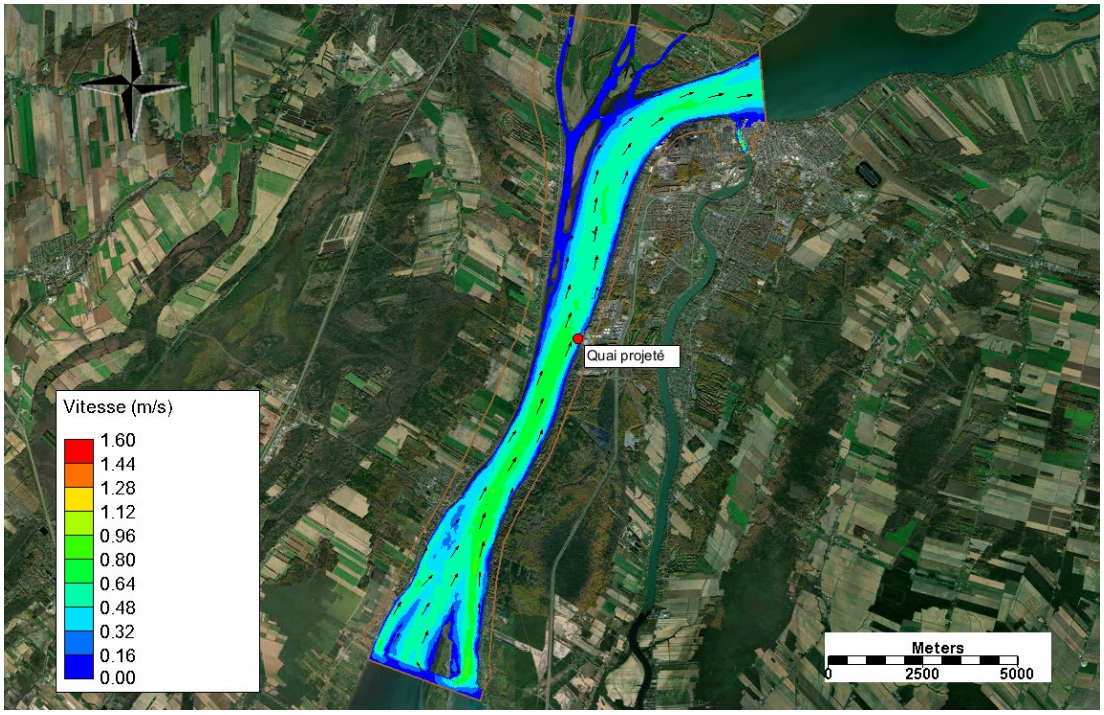


Figure A-62 Vitesse de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour un débit d'étiage en climat futur

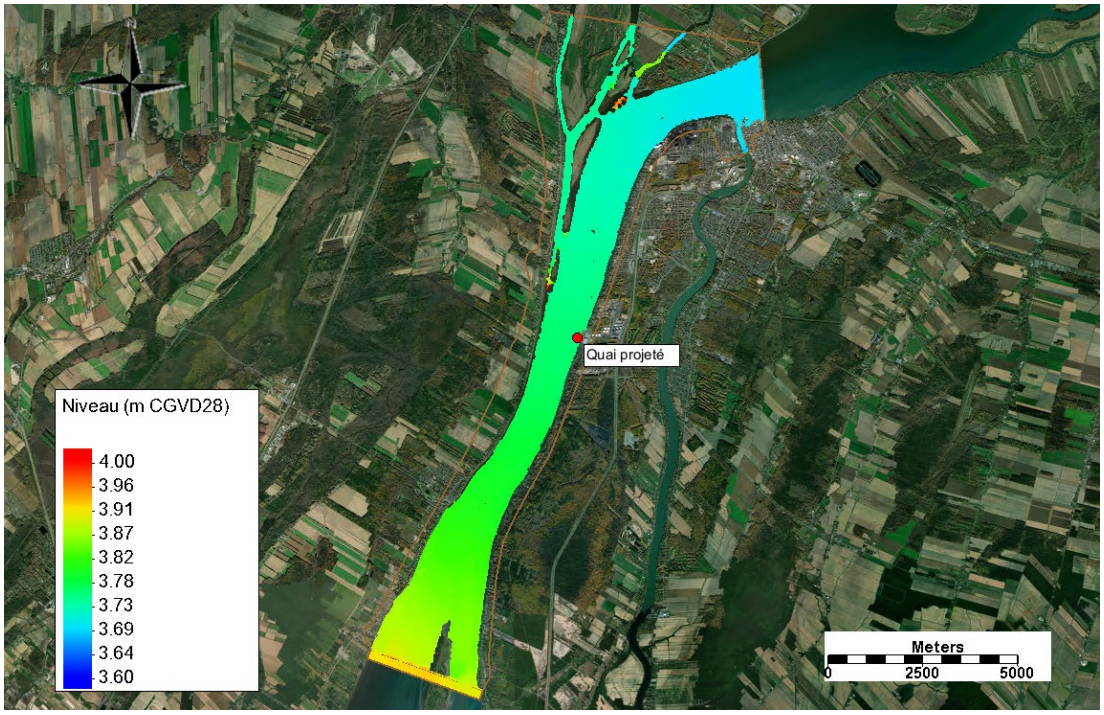


Figure A-63 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition actuelle pour un débit d'étiage en climat futur

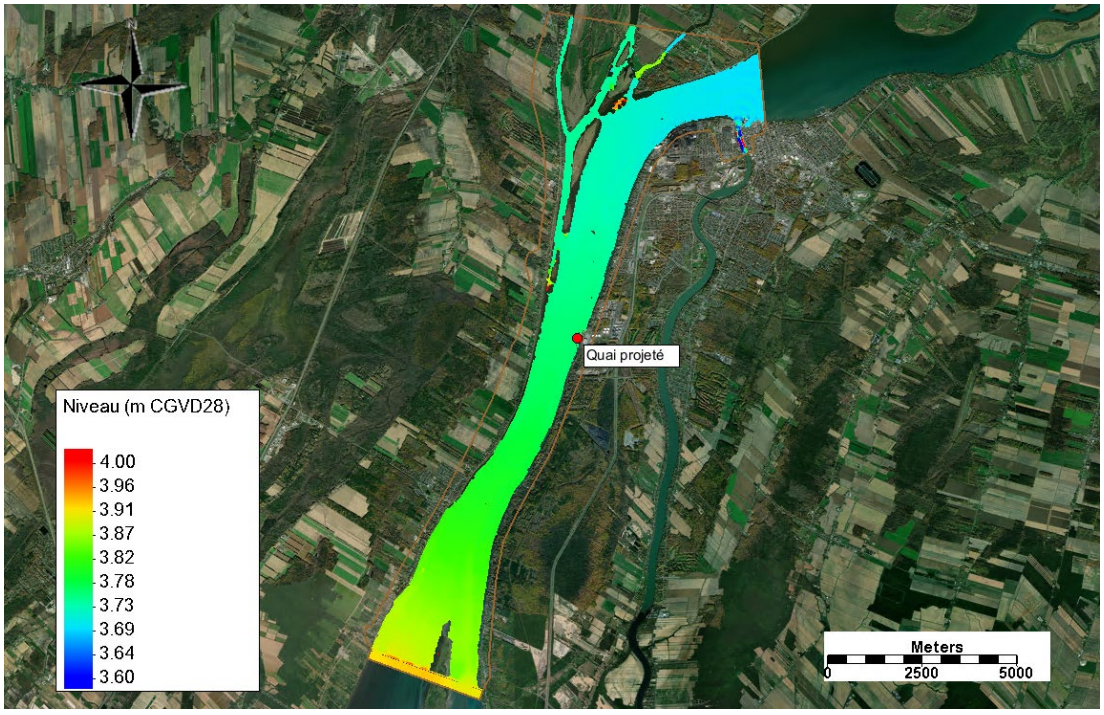


Figure A-64 Niveau d'eau de l'île Saint-Ours à Sorel en condition projetée pour un débit d'étiage en climat futur

Figures de comparaison

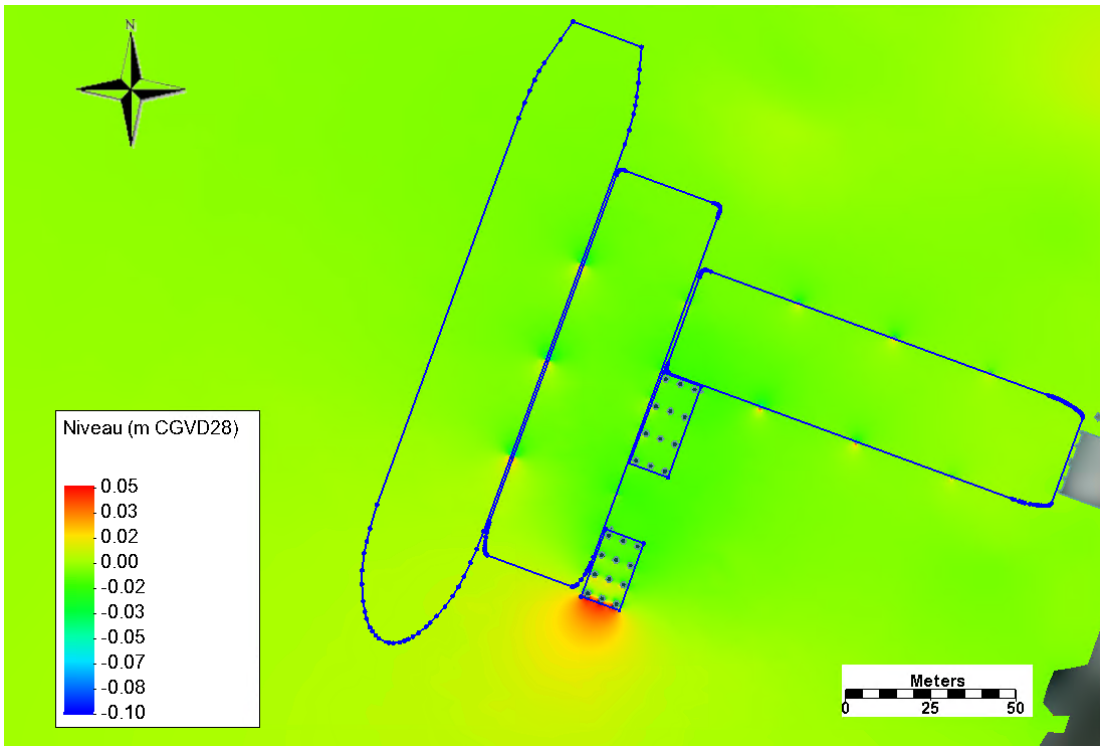


Figure A-65 Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans

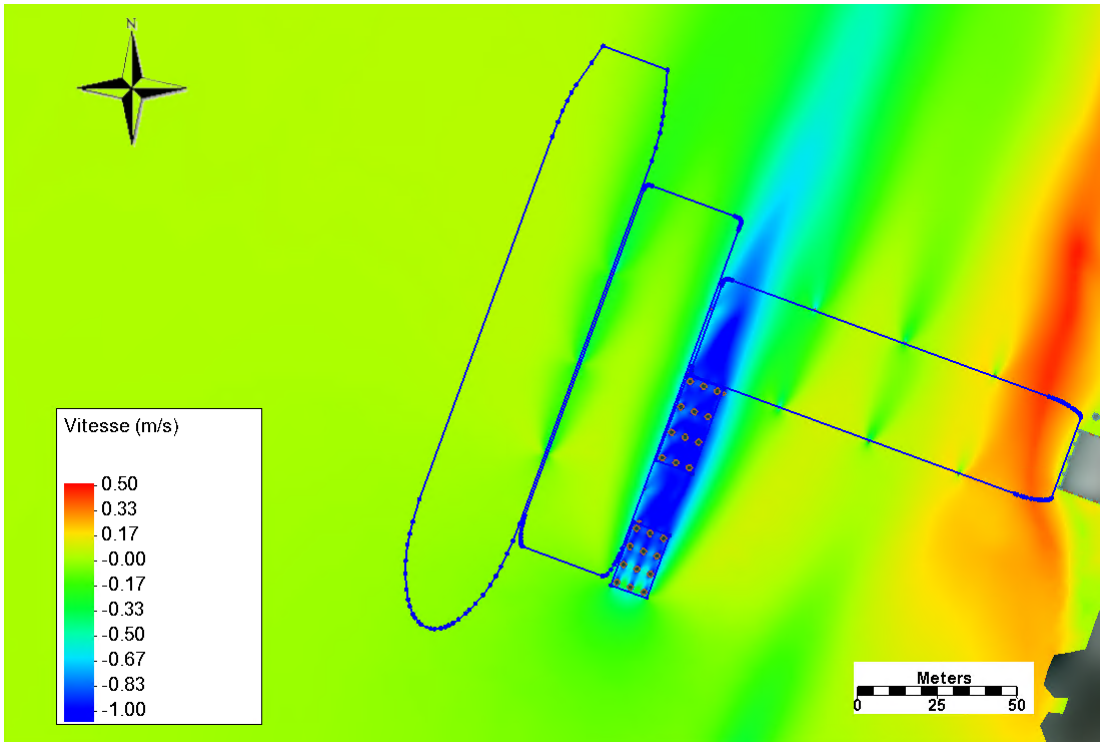


Figure A-66 Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 100 ans

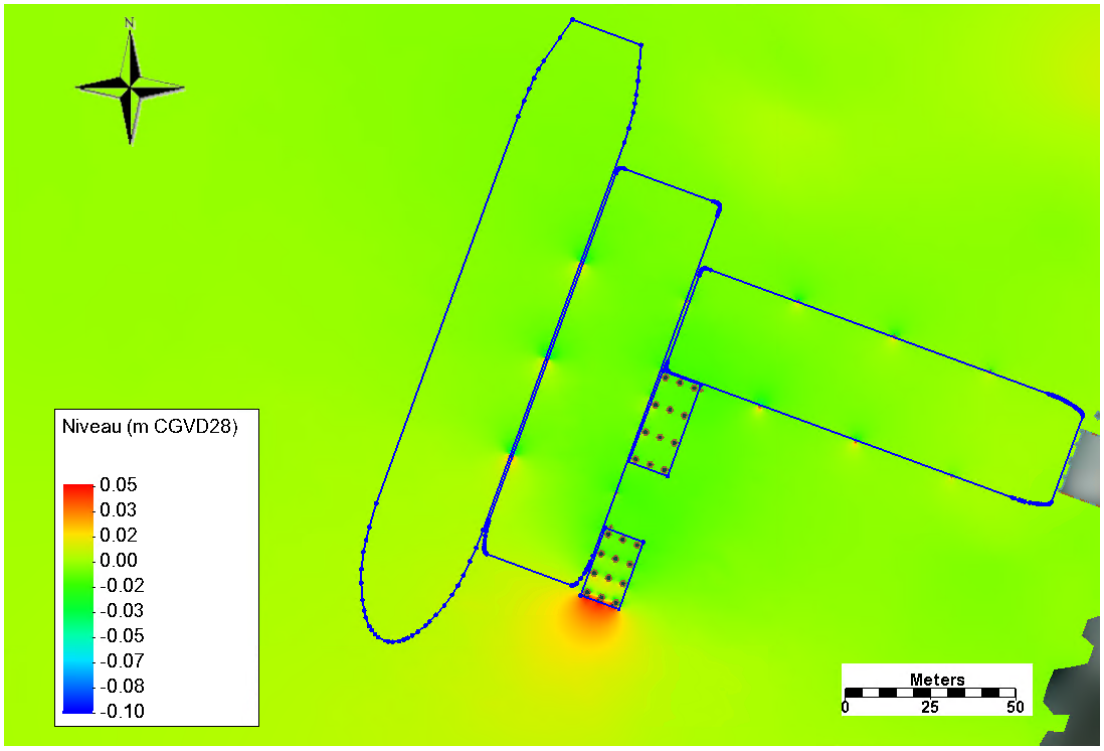


Figure A-67 Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 50 ans

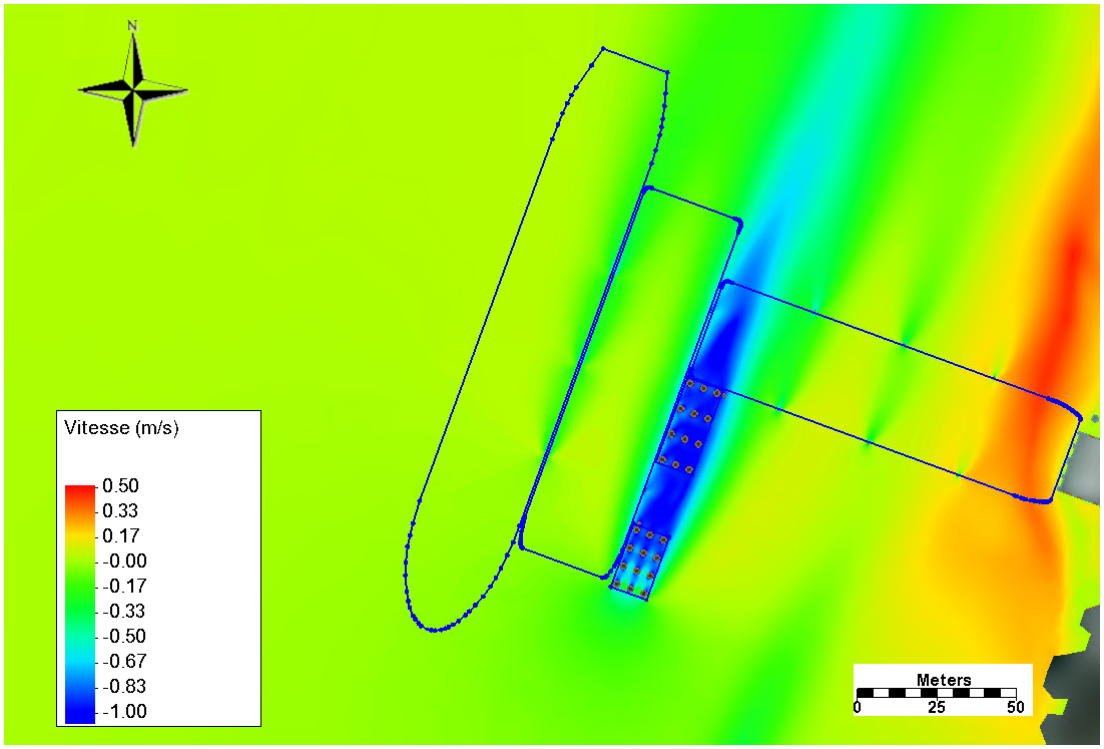


Figure A-68 Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 50 ans

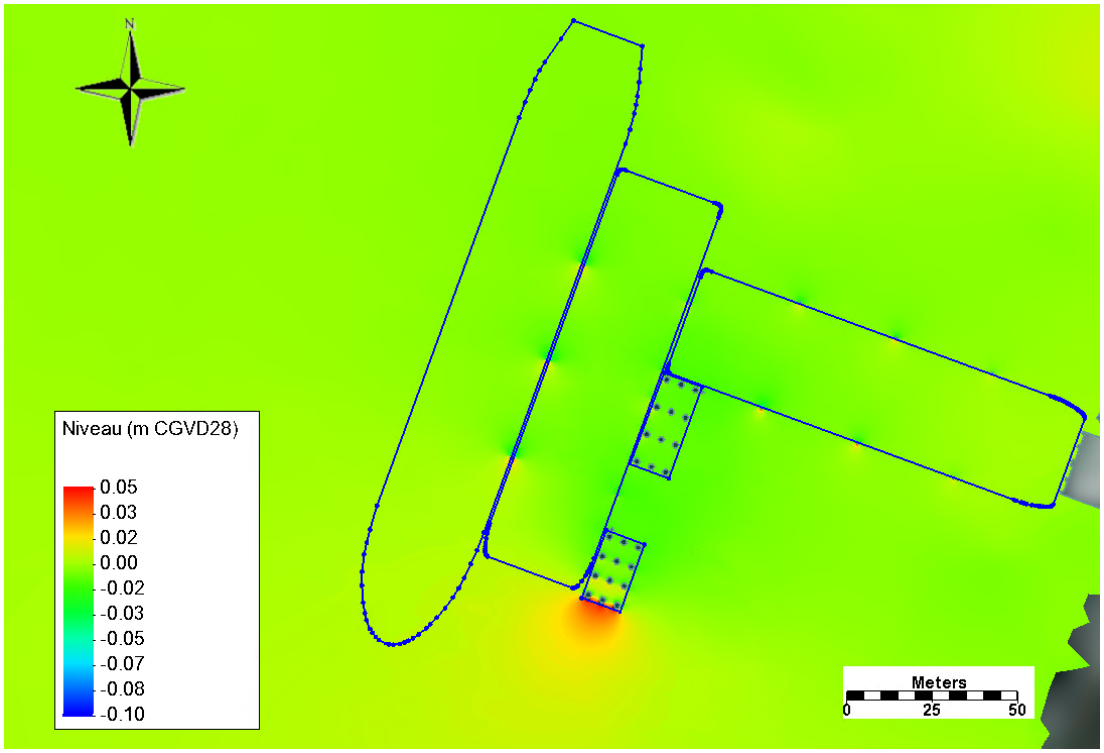


Figure A-69 Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans

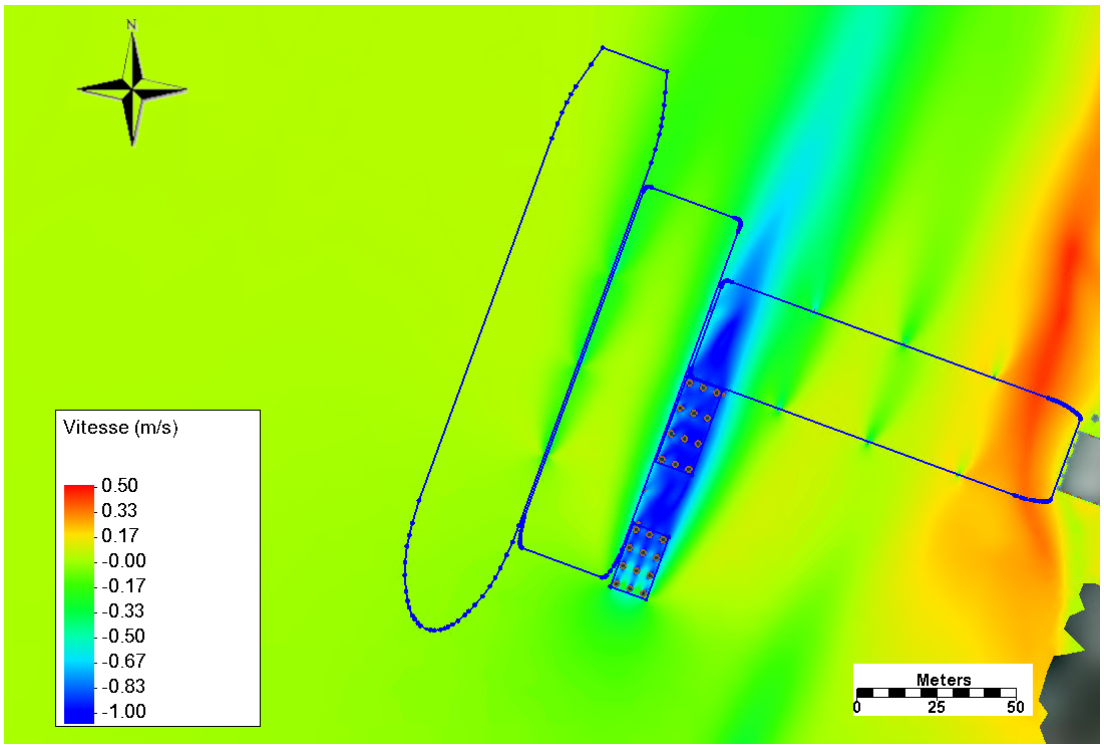


Figure A-70 Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 20 ans

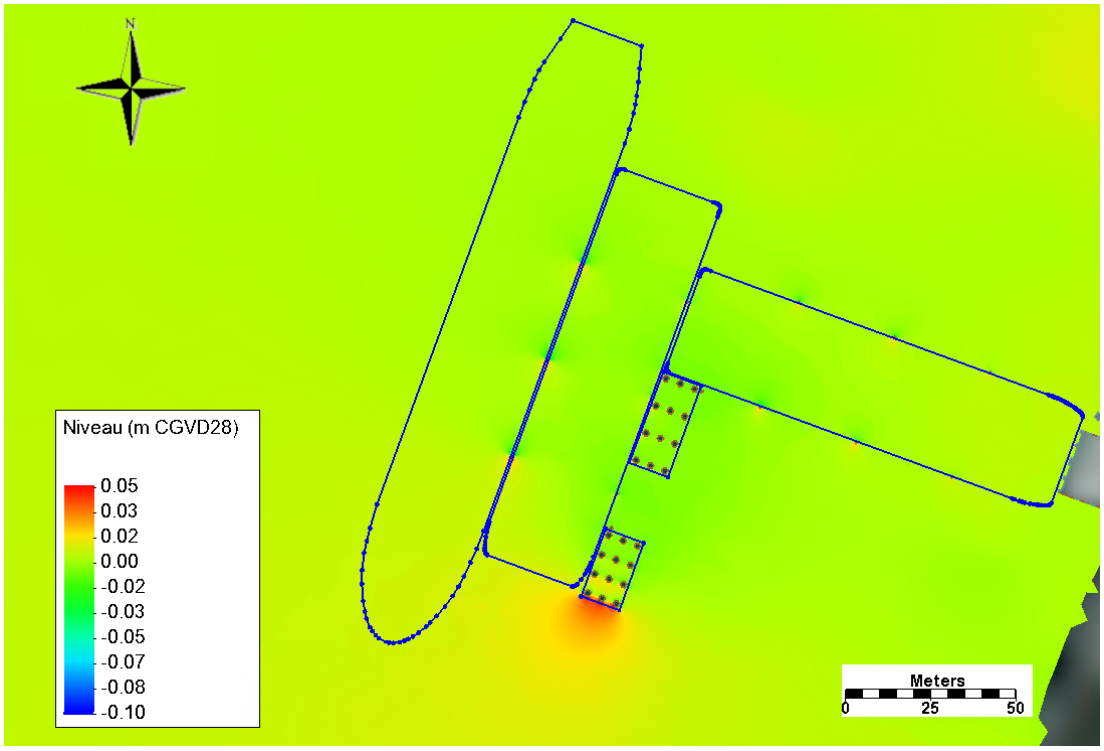


Figure A-71 Différentiel du niveau d'eau dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans

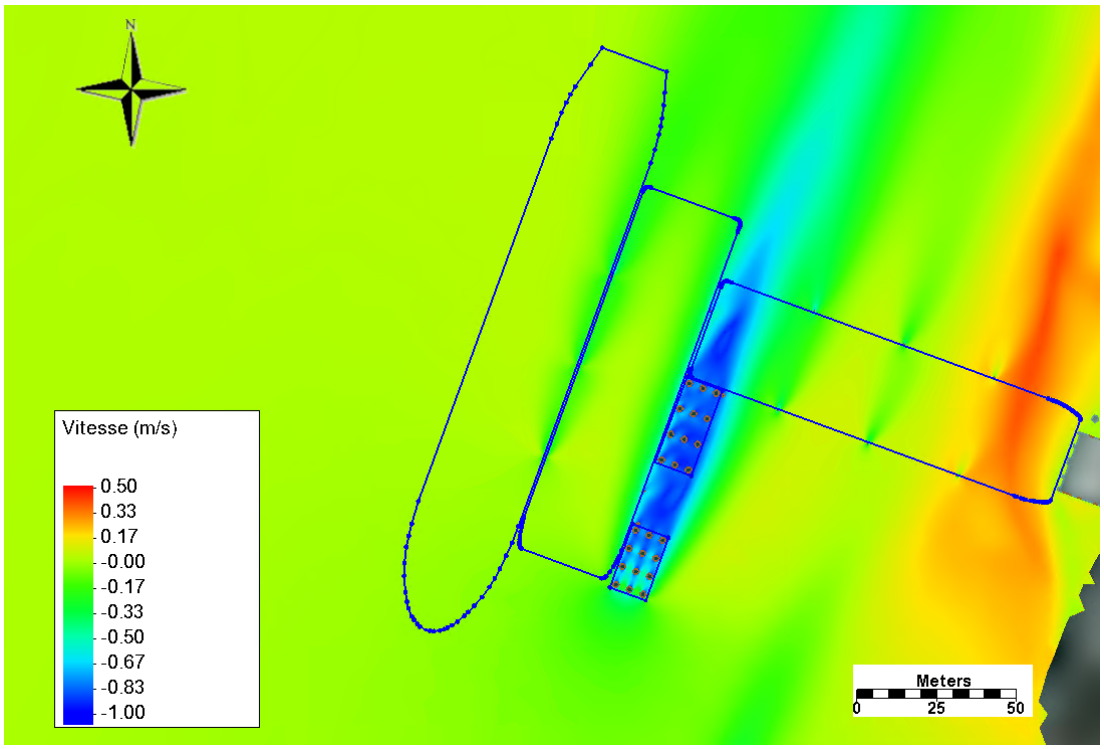


Figure A-72 Différentiel de vitesse dans la zone du quai - Scénario actuel VS projeté en crue 2 ans.

B

Annexe B
AtkinsRéalis. Note technique – Nouveau port Sorel – Construction d'un quai – Modélisation 3D des conditions d'écoulements

NOTE TECHNIQUE

Nouveau port Sorel – Construction d’un quai

SUJET
Modélisation 3D des conditions d’écoulement

PROJET N°
695075

DATE
3 juin 2024

AUTEUR
Atefeh Fazlollahi, PhD.
Professionnelle en hydraulique

RÉVISION
Francis Lepage. P. Eng. M.Sc,A,
Ingénieur en hydraulique

APPROBATION
Julie Tremblay. B.Sc.
Directrice de projet

NOC N°
695075-0000-4HER-0001-01

Historique du document

Révision	Description de l'objectif	Auteur	Révisé	Autorisé	Date
PA	Préliminaire	AF	FL	JT	08/01/2024
00	Finale	AF	FL	JT	08/02/2024
01	Finale	AF	FL	JT	

1. Introduction

1.1 Contexte

L’entreprise QSL (le client) a entrepris la conception d’un nouveau quai de transbordement en bordure du fleuve Saint-Laurent à Sorel-Tracy, sur l’ancien site d’une centrale thermique désaffectée. Cette nouvelle infrastructure sera arrimée aux fondations d’une ancienne station de pompage. L’emplacement du projet est illustré à la figure 1.

1.2 Objectifs

L’objectif de la présente étude est de déterminer l’impact de la présence des infrastructures projetées sur les conditions d’écoulement dans le secteur. Une étude par modélisation hydraulique 2D a été menée par CIMA+ en 2023 (CIMA+. 2023). Une modélisation de l’écoulement en 3D est cependant nécessaire afin de capturer les vitesses d’écoulement sous les structures projetées.

Une modélisation 3D des conditions d'écoulement en conditions existantes et en conditions projetées a été effectuée à l'aide du logiciel Flow3D. Deux concepts ont été modélisés, tel que décrit à la section 2, soit une option avec deux barges flottantes et une option avec un pont fixe et une barge.



Figure 1: Emplacement du projet

L'objectif de la modélisation 3D est de comparer l'impact relatif de deux phénomènes causés par la présence de structures flottantes:

- L'augmentation de la vitesse sous les barges flottantes due à l'accélération de l'écoulement sous les structures;
- La diminution de la vitesse au droit des structures causée par le rééquilibrage de débit dans la section d'écoulement du fleuve en présence d'un obstacle.

2. Scénarios modélisés

2.1 Infrastructures projetées

Deux concepts ont été modélisés en plus des conditions existantes, soit l'option A avec deux barges flottantes sur pieux et l'option B avec un pont sur piles et une barge.

L'option A comporte deux barges flottantes et deux ducs-d'Albe (*dolphin*). Une barge Tobias de 120 m x 32 m est arrimée à la station de pompage amont de l'ancienne centrale thermique, perpendiculairement à l'écoulement. Cette barge sera retenue par un total de six pieux (trois de chaque côté) de 600 mm de diamètre. Une seconde barge Tobias de 120 m x 32 m est installée à son extrémité, parallèlement à l'écoulement. Cette dernière est retenue par six pieux (trois de chaque côté) de 600 mm de diamètre et deux ducs-d'Albe de 12 m x 21 m et 12 m x 28,5 m ancrés par 12 pieux verticaux chacun de 1 800 mm de diamètre. La vue en plan et la vue en élévation des structures projetées sont présentées à la figure 2.

L'option B comporte un pont reliant l'entrepôt à la barge flottante. Le pont mesure 96 m de long et 20 m de large avec quatre piles circulaires de 2 m de diamètre. Un duc-d'Albe comportant 12 pieux de 2 m de diamètre et supportant une plateforme de 28,5 m ×12,6 m est située à l'extrémité du pont. Un second duc-d'Albe est installé environ 50 m vers l'amont. La vue en plan et la vue en élévation des structures projetées sont présentées à la figure 3.

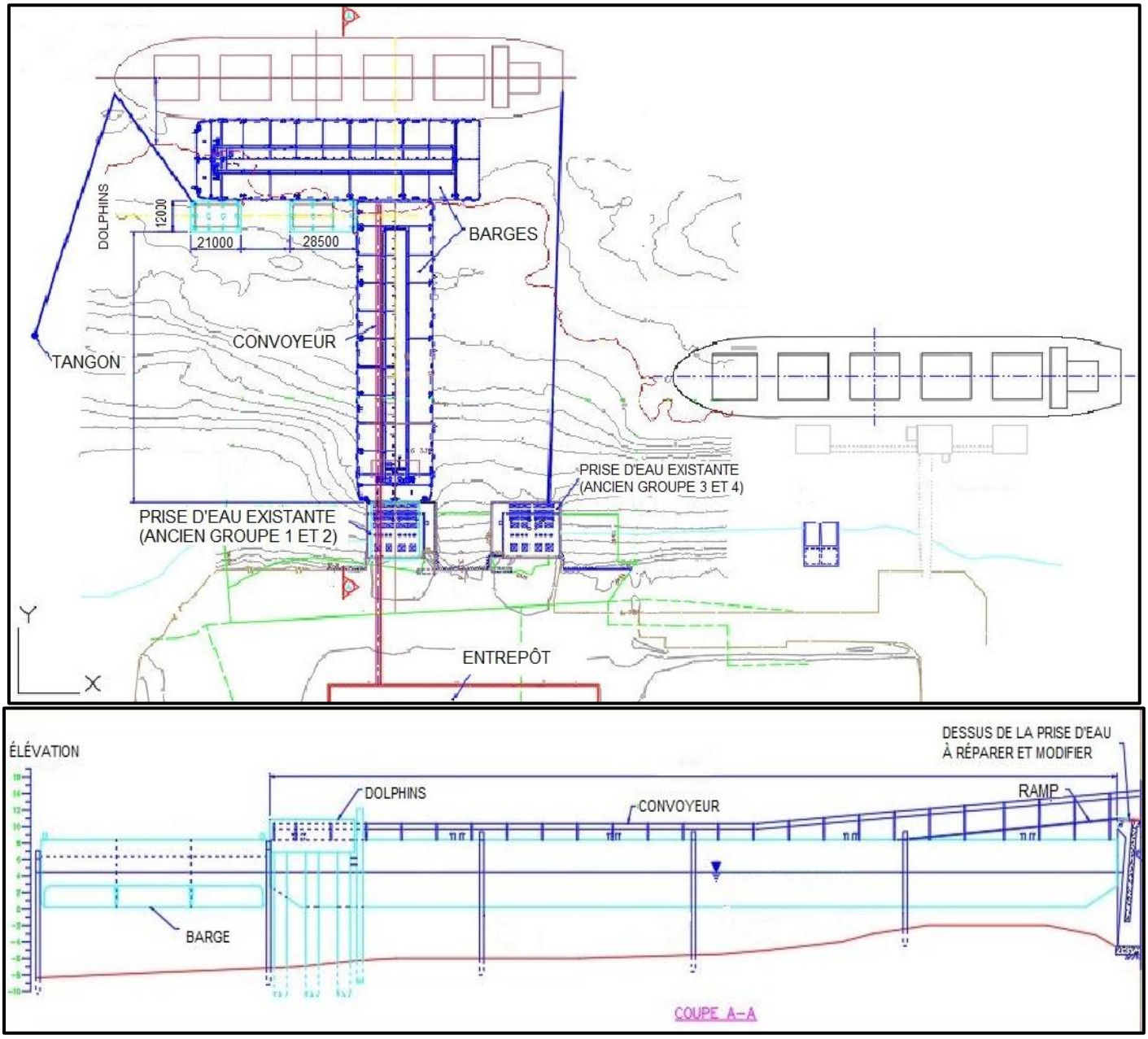


Figure 2: Vue en plan et vue en élévation de l'option A

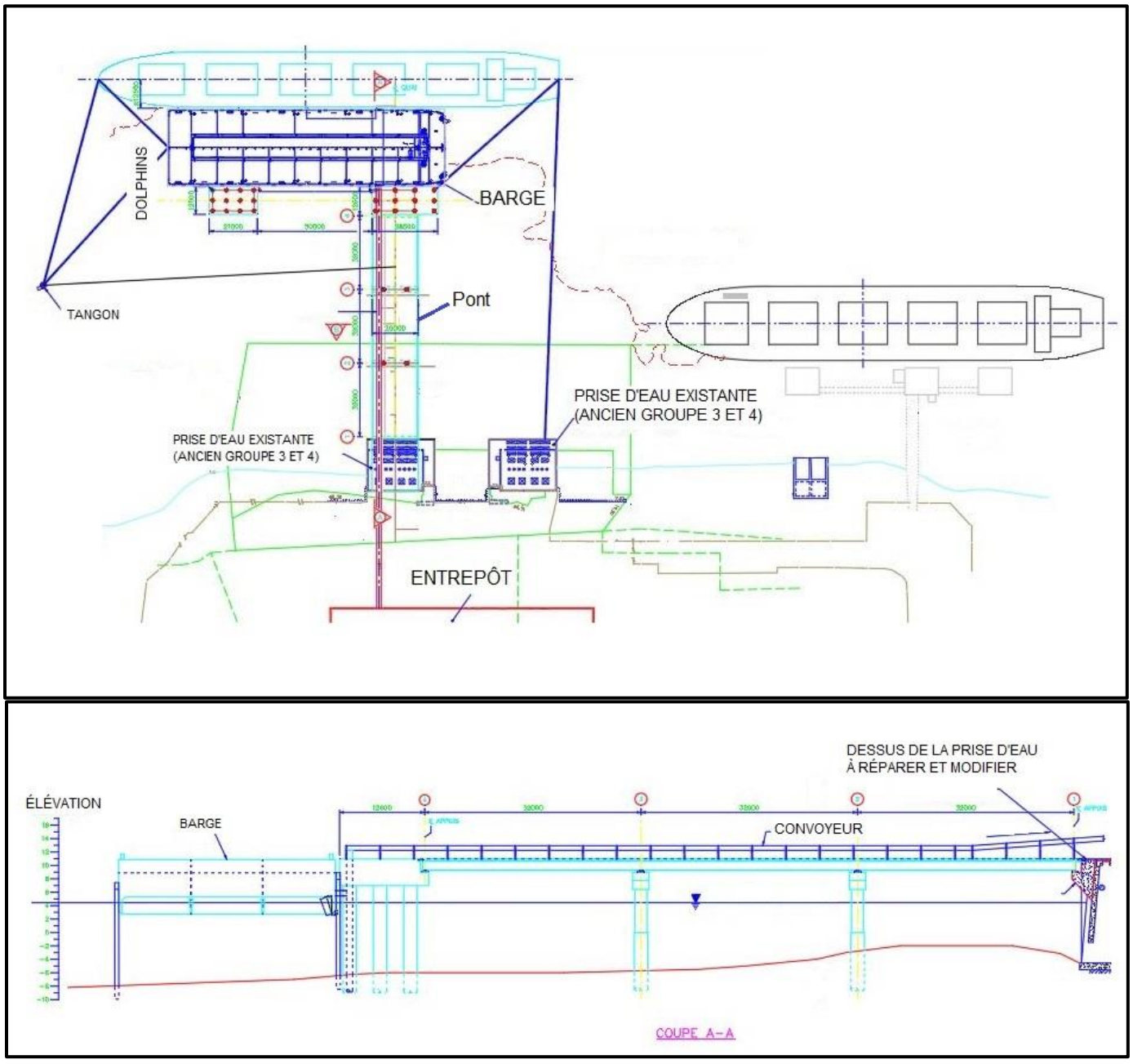


Figure 3: Vue en plan et vue en élévation de l'option B

2.2 Scénarios hydrologiques

Les modélisations ont été effectuées pour deux scénarios de débits dans le fleuve Saint-Laurent, tel que résumé au tableau 1. Les débits statistiques du fleuve à la hauteur de hauteur de l'île Saint-Ours, calculés à partir de série reconstituée, ont été extraits directement de l'étude hydraulique 2D (CIMA+, 2023)

Tableau 1 : Débits modélisés

Scénario	Débit (m^3/s)
$Q_{2,7}$ (étiage)	7 930
Q moyen	10 290

L'objectif de l'étude 3D étant d'étudier l'impact sur les vitesses sous les barges et dans l'ombre causée par la présence des structures flottante. Par conséquent, les scénarios hydrologies associés aux niveaux d'eau plus faibles ont été privilégiés, car ces à ces niveaux que l'impact des structures flottantes sur la section d'écoulement est le plus grand. Les débits de crues sont couverts par l'étude hydraulique 2D (CIMA+, 2023), dont les résultats serviront à étudier l'affouillement potentiel aux pieux.

3. Modélisation 3D

3.1 Logiciel

Flow-3D est un logiciel commercial de mécanique des fluides numériques (*computational fluid dynamic* ou *CFD*). Flow-3D emploie une approche par volumes finis pour résoudre les équations de Navier-Stokes, et la méthode du volume de fluide (VOF) pour capturer la surface libre. Le logiciel utilise des maillages structurés, formés d'éléments cubiques. L'utilisation de Flow-3D est largement répandue dans l'industrie pour résoudre des problèmes d'écoulements complexes dans les domaines de l'hydraulique fluviale.

Le modèle de turbulence dite RNG *(Re-Normalisation Group*) est utilisé. Il s'agit d'un modèle de turbulence dit de Moyenne de Reynolds (Raynold-Average-Navier-Stokes, or RANS). Ce type de modèle représente une moyenne dans le temps des phénomènes de turbulence. Combiné avec des conditions frontières fixes (voir section 5.3), ce modèle de turbulence permet l'atteinte d'une solution stationnaire. La méthode de VOF employée par Flow3D maintient cependant un aspect temporel, dans la mesure où la solution doit converger à partir d'une condition initiale (ici un débit nul et un niveau d'eau uniforme). Le pas de temps est réglé automatiquement de manière variable par le logiciel pour assurer la convergence et la stabilité du modèle.

3.2 Modèle

La zone modélisée couvre 5.5 km du fleuve Saint-Laurent, sur toute sa largeur. Un maillage de taille variable est utilisé afin d'optimiser les temps de calcul. La taille minimale des mailles est de 0,5 m x 0,5 m x 0,5 m. Ces mailles fines couvrent une superficie de 135 m×158 m autour de la structure. Une série de blocs de maillage imbriqués permettent la transition vers les mailles les plus grossières (5 m x 5 m x 5 m) qui sont utilisées dans les sections du domaine ou les structures projetées auront peu d'impact sur les conditions d'écoulement. La modélisation des conditions frontière est effectuée avec un seul bloc de maillages de taille 5 m x 5 m x 5 m.

Il est à noter que les mailles de 0,5 m ne sont pas suffisamment fines pour capturer l'impact des poteaux de diamètres de 0.6 m ou 1.8 m. Par conséquent, l'impact local des piles sur les champs de vitesses est couvert par l'étude hydraulique 2D (CIMA+, 2023).

Le degré de raffinement du maillage est limité par la taille importante du modèle. Le fleuve présente un défi d'échelle. Le ratio entre les dimensions des structures proposées et la taille du domaine nécessaire pour représenter l'écoulement dans le fleuve entraîne des limitations importantes à la méthodologie de modélisation 3D. Cependant, le maillage permet de déterminer l'impact des structures flottantes sur l'écoulement.

La taille des mailles fait l'objet d'une discussion plus détaillée ainsi qu'une analyse de sensibilité, présentée à la section 4.1.

Le domaine modélisé est illustré à la figure 4. La position de la condition frontière a également fait l'objet d'une analyse de sensibilité, présentée à la section 4.2.

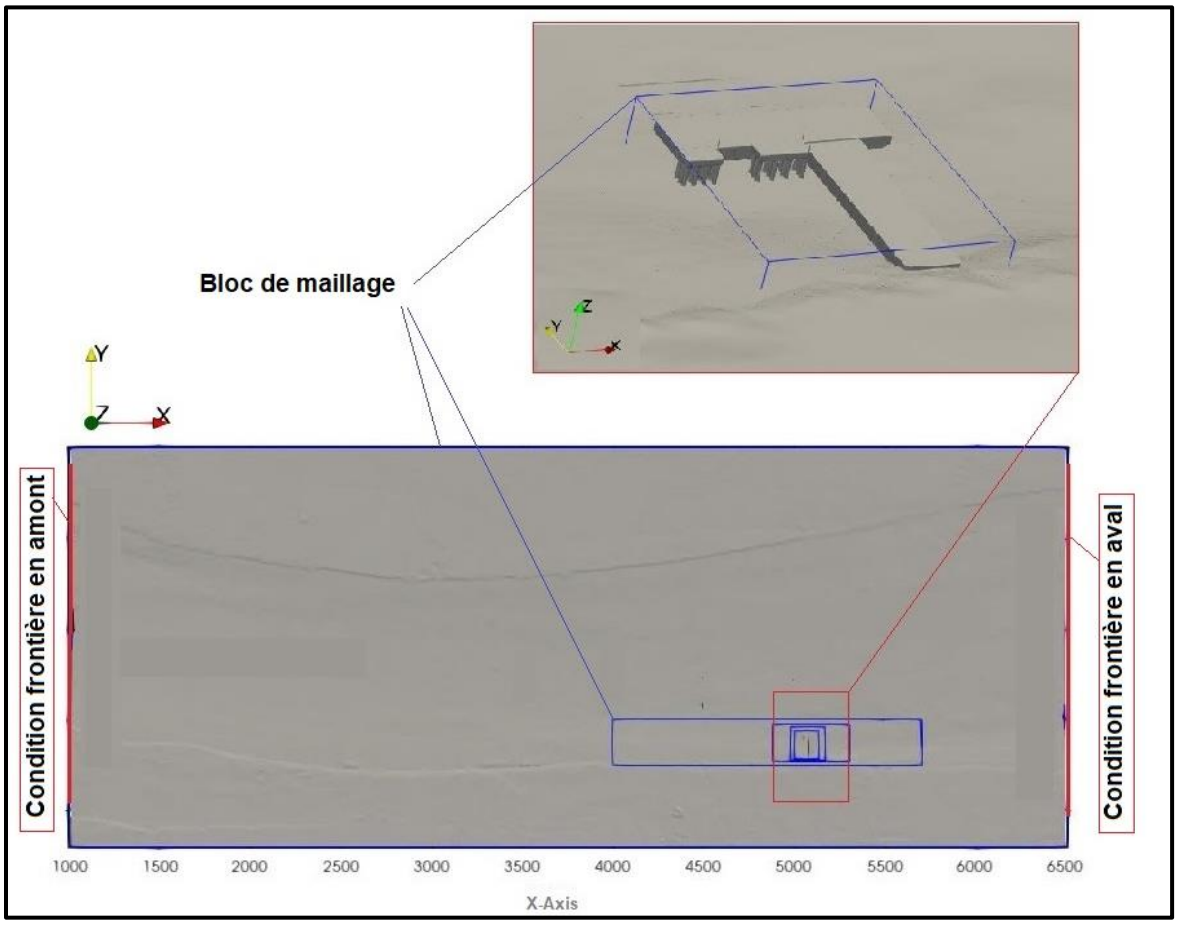


Figure 4 : Schéma du modèle 3D

3.3 Modèle Numérique du Terrain

Le modèle numérique de terrain (MNT) utilisé pour faire la modélisation a été élaboré à partir d'un assemblage des données bathymétriques fournies par Environnement Canada et des élévations en rives tirées des données LiDAR disponibles sur le site Forêt Ouverte. Le modèle numérique de terrain est présenté à la figure 5.

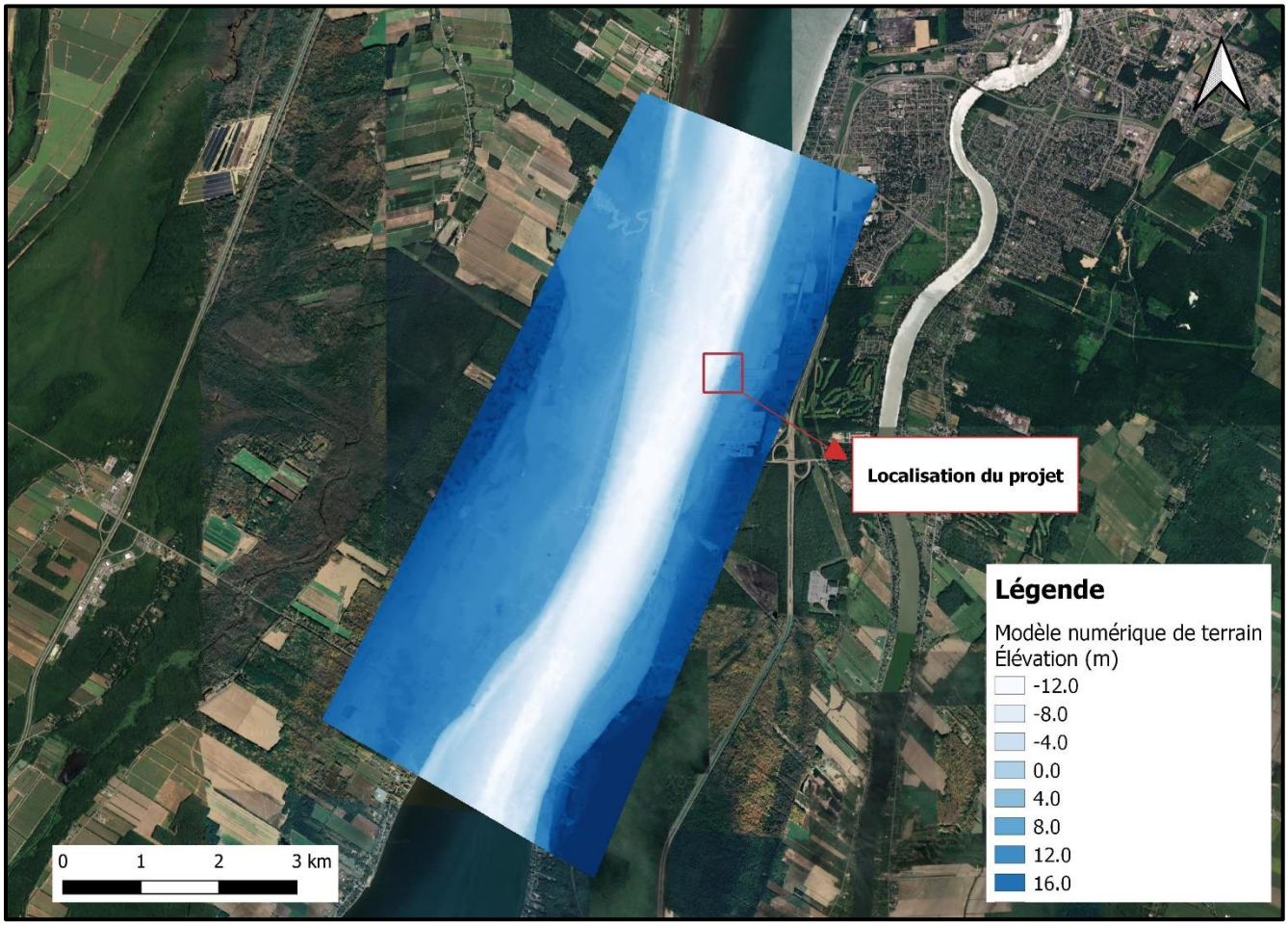


Figure 5 : Modèle numérique de terrain (MNT)

3.4 Conditions frontières

La condition frontière amont correspond à un débit fixe, correspondant aux scénarios présentés au tableau 1. Un niveau d'eau fixe est appliqué à la condition frontière aval. Les niveaux pour chaque scénario ont été extraits des résultats du modèle hydrodynamique 2D développé par CIMA+ (CIMA+,2023).

.Tableau 2 : Niveaux d'eau en aval du modèle

Scenario de crue	Niveau aval (m)
$Q_{2,7}$ (étiage)	4.37
Q moyen	5.08

3.5 Rugosité

Sur Flow3D, la rugosité des éléments est définie à partir de la rugosité dite absolue (*k*). Une rugosité de 0.001 m est appliquée à toutes les structures. Il s'agit d'une valeur conservatrice, correspondant au haut de la plage de rugosité associée au béton (Engineering Toolbox, 2003).

La rugosité absolue du lit est établie à 0.1 m. En hydraulique des rivières, le coefficient de Manning est typiquement utilisé pour définir la rugosité. L'équation de Colebrook-White permet d'établir une équivalence entre le coefficient de Manning et la rugosité absolue (USACE, 2024) :

$$n = \frac{R^{1/6}}{18\ log_{10}\left(\frac{12R}{k}\right)}$$

Avec R : Le rayon hydraulique (équivalent à la profondeur d'eau sur un chenal suffisamment large) (m)
k : la rugosité absolue (m)
n : le coefficient de Manning

Une rugosité absolue de 0.1 m correspond à un Manning variant entre 0,026 et 0,028, selon la profondeur de l'écoulement. Ceci est cohérent avec la valeur de 0,025 utilisée par CIMA+ dans le modèle 2D et établie par calibration (CIMA+, 2023).

4. Analyse de sensibilité et validation

4.1 Sensibilité à la dimension des mailles

Le maillage utilisé pour les analyses et présenté à la section 3.2, est compris de mailles de tailles variant de 0,5 m à 5 m. Tel que discuté à la section 3.2, il est difficile de raffiner davantage ce maillage sans obtenir des temps de calcul impraticables, en raison des dimensions du domaine modélisé.

Le modèle utilise une fonction dite *wall function* afin de décrire l'écoulement à l'interface solide/fluide sans résoudre directement l'écoulement dans la couche limite. Afin d'assurer la validité de cette approximation, le centre de la première cellule doit se trouver dans une zone ou les champs de vitesse respectent une loi logarithmique. En pratique, on examine ce critère à l'aide de la variable adimensionnelle y+, fonction de la vitesse de frottement, de la discontinuité du fluide et de la taille de la maille. Typiquement, avec un modèle de turbulence RNG, le Y+ doit se trouver dans une fourchette de 30 à 500 (CFD Direct, 2022).

Les résultats de simulations montrent qu'avec le maillage de 0, 5 m, le y+ sous la barge transversale modélisée pour l'option A se trouve plutôt dans une plage variant de 800 à 1400, ce qui indique que *la wall functrion* n'est pas résolue adéquatement. Cependant, l'impact de ceci est dépendant des conditions modélisées (nature du fluide, dimensions des obstructions, etc.).

Afin de vérifier si la solution obtenue est indépendante de la taille de la maille, une analyse de sensibilité a été effectuée sur la taille des mailles en raffinant le maillage, particulièrement dans la zone autour des structures flottantes. Les blocs de mailles présentées à la section 3.4 sont maintenus, avec un maillage de taille variant de 0,25 m et 4 m. Ce raffinement abaisse le y+ sous la barge transversale dans une fourchette de 400 à 1000.

La comparaison des vitesses obtenues sous les barges flottantes pour l'option A en conditions d'étiage est présentée aux figures 6 et 7. L'emplacement des coupes dans le domaine d'étude est illustré à la figure 11.

Les résultats montrent que les champs de vitesses obtenues avec le maillage fin ne sont pas modifiés de façon significative, en comparaison avec celui obtenu avec le maillage plus grossier. La différence absolue en termes de vitesse est faible, tel que décrit pour quatre points d'intérêt au tableau 3.

Ces résultats suggèrent que la solution est suffisamment indépendante de la taille des mailles et que le maillage proposé aux abords des structures flottantes est suffisamment fin pour offrir une précision répondant aux besoins de la présente étude.

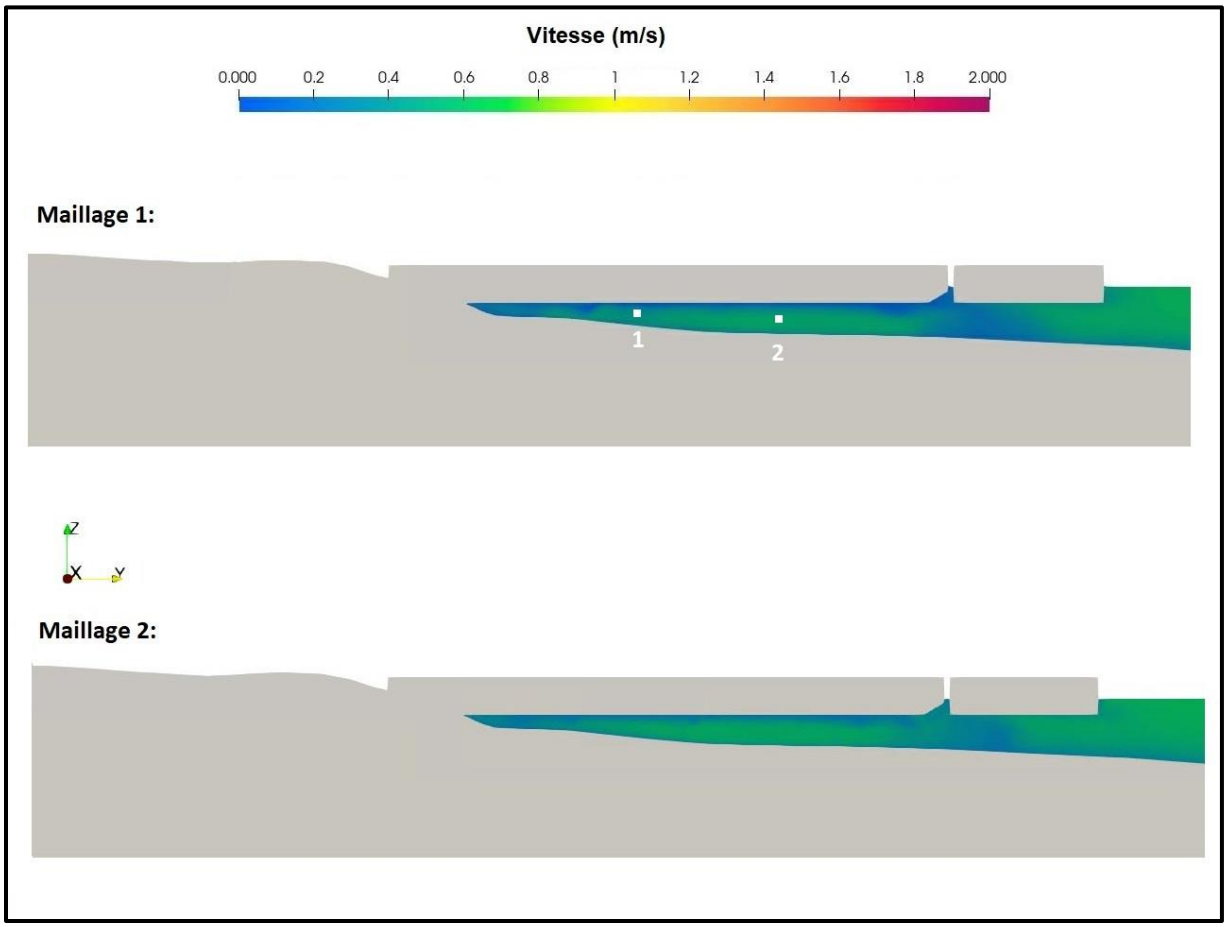


Figure 6 : Vitesse d'écoulement sous les barges flottantes – Débit d'étiage – Comparaison entre maillage 1 (grossier) et maillage 2 (fin) – Coupe DD

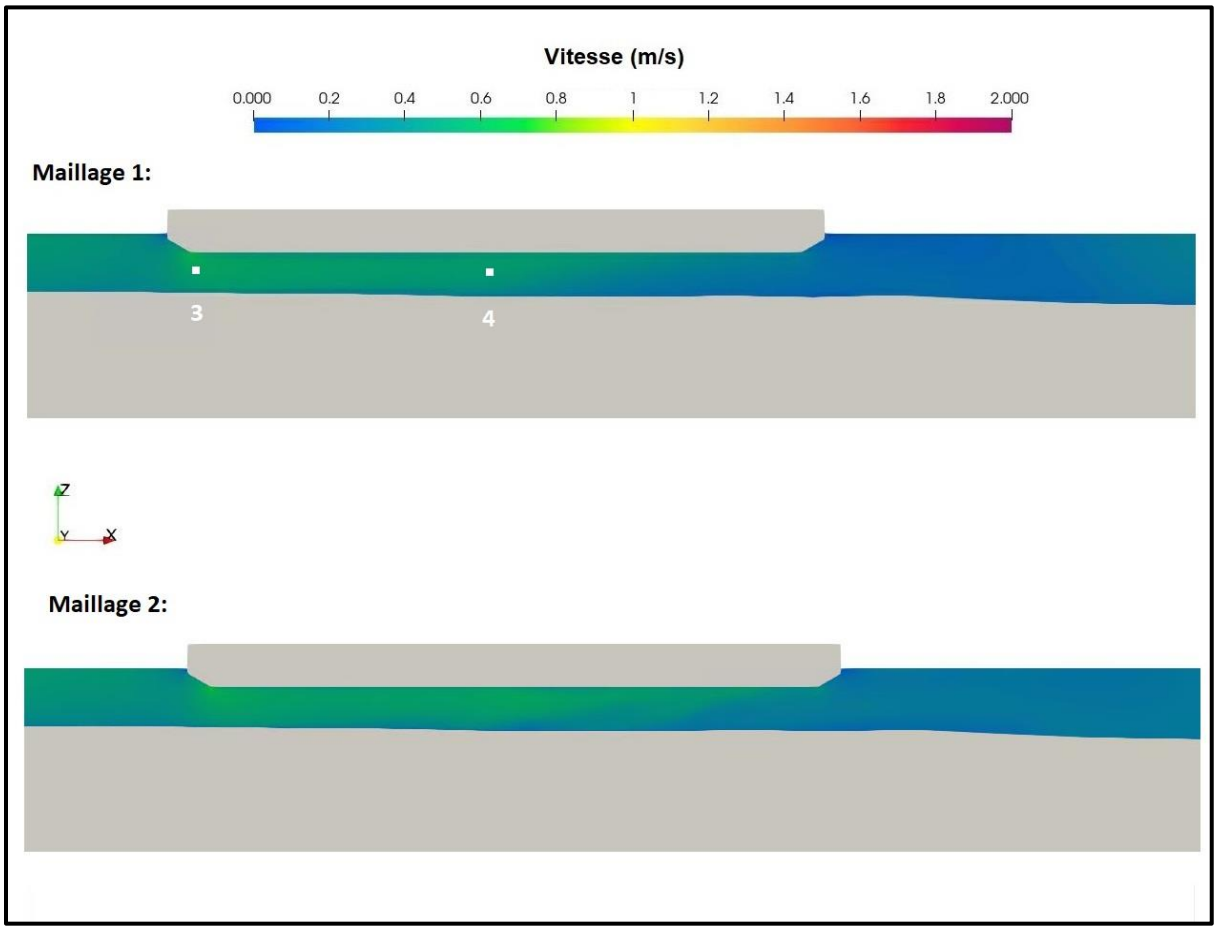


Figure 7 : V Vitesse d'écoulement sous les barges flottantes – Débit d'étiage – Comparaison entre maillage 1 (grossier) et maillage 2 (fin) – Coupe CC

Tableau 3 : Vitesse aux points d'intérêt – Comparaison entre maillage 1 (grossier) et maillage 2 (fin)

Point d'intérêt	Vitesse (m/s)	
	Maillage 1 (grossier)	Maillage 2 (fin)
1	0.43	0.51
2	0.53	0.56
3	0.59	0.60
4	0.50	0.54

4.2 Sensibilité à la position de la condition frontière aval

La taille du domaine d'étude, et donc le choix de l'emplacement des conditions frontières, est-elle aussi limitée par la taille du modèle et la nécessité de conserver des temps de calcul praticables. La condition frontière amont (débit imposé) a été reculée le plus possible, car la distribution du débit à la condition frontière est artificielle et est susceptible d'impacter davantage la solution. La condition frontière aval est située plus proche des structures à l'étude (environ 1500 m).

Une seconde étude de sensibilité a été menée sur la position de la condition frontière aval. La modélisation de l'option A en débit d'étiage a été reprise en déplaçant la condition frontière de 400 m vers l'amont en direction des structures flottantes, tel qu'illustré à la figure 8. Les résultats, présentés à la figure 9, montrent que le déplacement de la condition frontière vers l'amont n'entraîne pas de modification significative des vitesses d'écoulement, de même qu'à l'emplacement et l'envergure de l'ombre crée par les structures flottantes. On considère par conséquent que la condition frontière aval est située suffisamment loin de la structure pour ne pas influencer la solution.

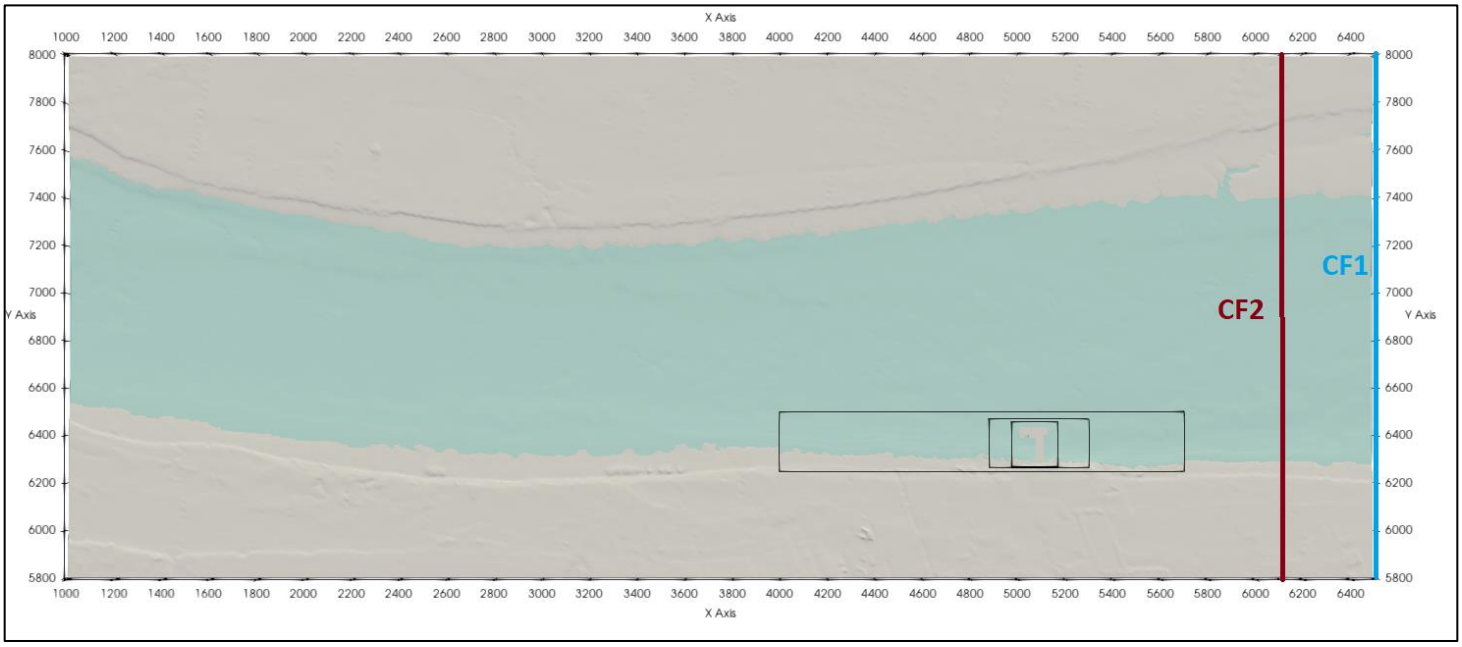


Figure 8 : Position alternative de la condition frontière aval

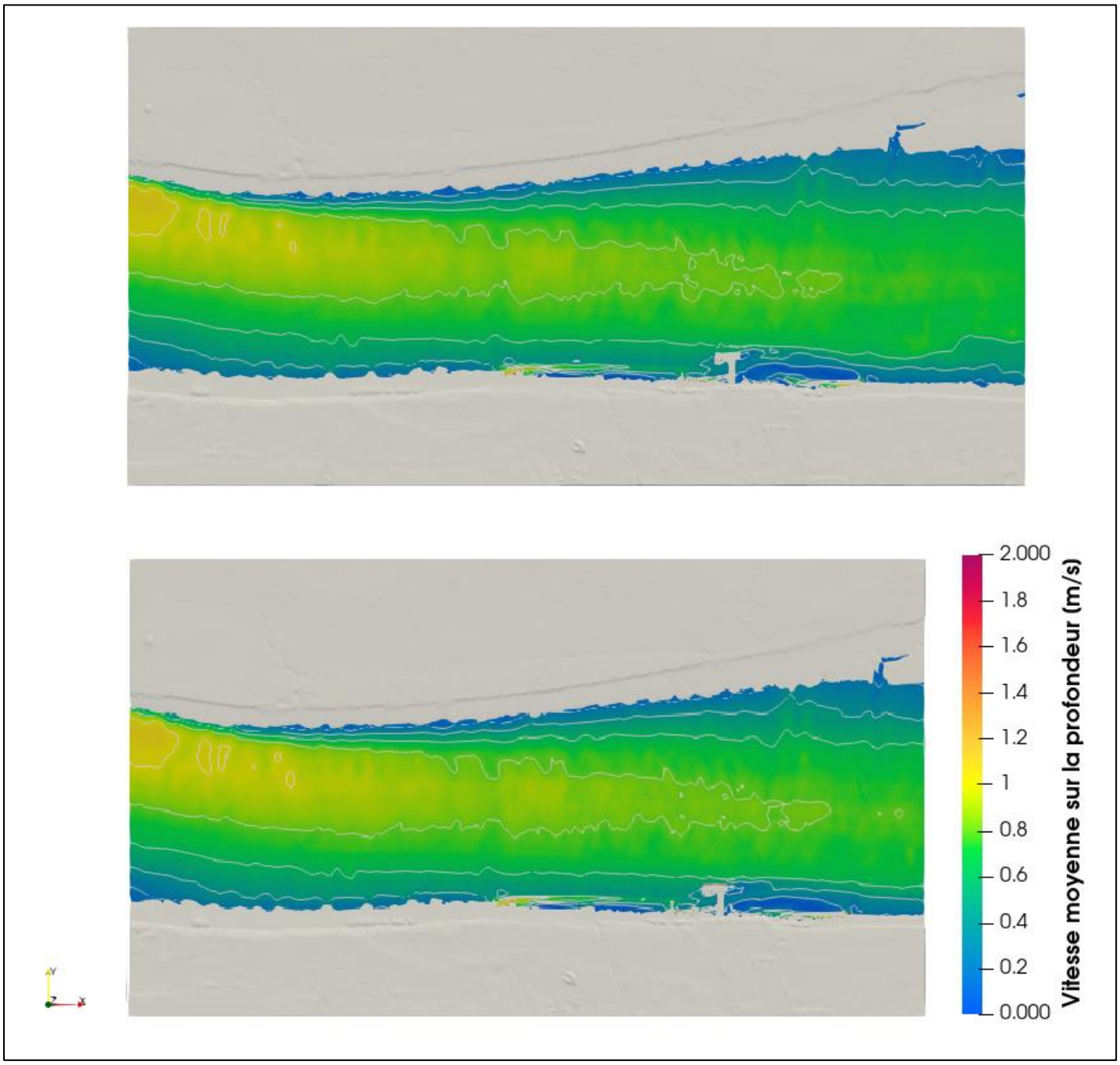


Figure 9: Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre les résultats avec la condition frontière 1 (haut) et 2 (bas) – Option A sous débit d'étiage

4.3 Comparaison avec l'étude 2D

Une comparaison entre les résultats des modèles 2D et 3D en condition existantes a été effectuée pour fins de validation. Il est à noter que le profil transversal des vitesses dans le fleuve au doit des structures a été mesuré, ce qui a permis la calibration du modèle 2D (CIMA+, 2023).

La comparaison des vitesses moyennes sur la profondeur en pour un débit moyen est présenté à la figure 10.

L'analyse des résultats près des berges est compliquée par la représentation des cellules mouillées, imparfaites dans les deux modèles. Les profils de vitesses obtenus sont cependant relativement cohérents, mais on note des vitesses près du site à l'étude légèrement plus élevées dans le modèle 2D. Par exemple, la vitesse sous la barge parallèle à l'écoulement est d'environ 0,6 à 0,7 m/s pour le modèle 3D, contre environ 0,7 à 0,8 m/s dans le modèle 2D.

Bien que cette différence soit limitée, l'incertitude liée à celle-ci doit être prise en compte lors de l'analyse des résultats de la présente étude, tel que discuté à la section 6.0.

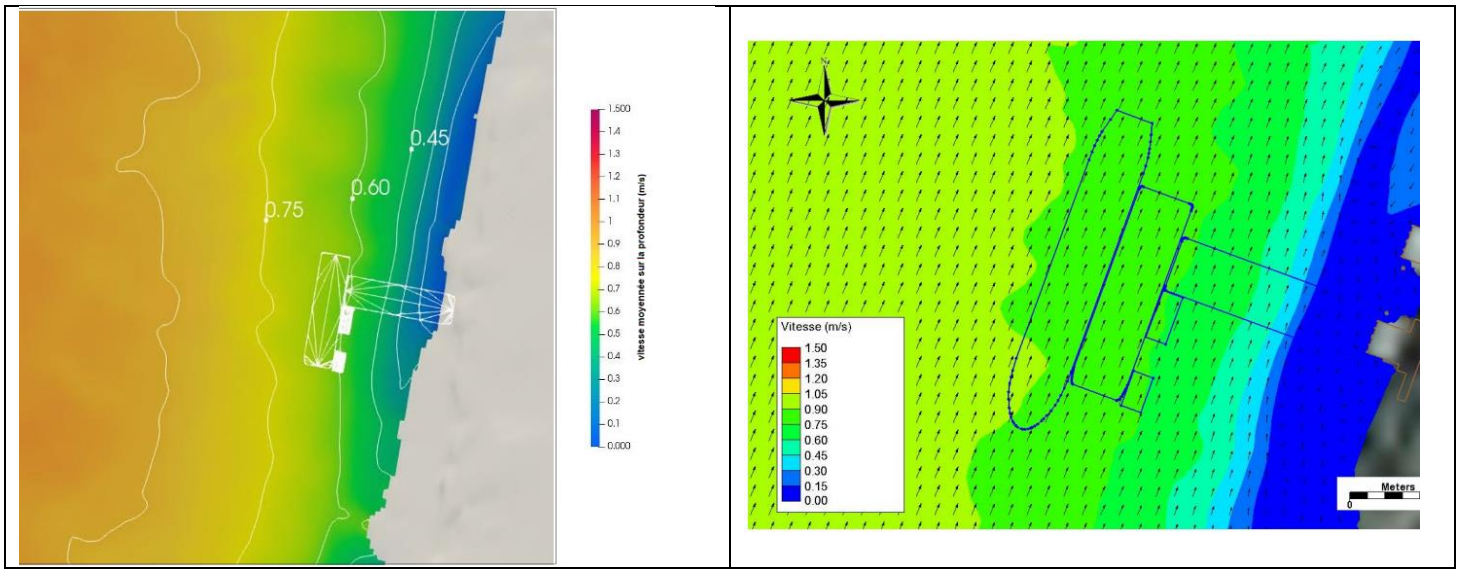


Figure 10 : Vitesse moyenne sur la profondeur - Comparaison entre les modèles 3D (gauche) et 2D (droite) en conditions existantes (débit moyen)

5. Résultats

5.1 Option A

Une comparaison des résultats de modélisations en conditions existantes et en présence des structures de l'option A est présentée aux figures 12 à 17 (débit moyen) et aux figures 18 à 23 (débit d'étiage).

Les résultats montrent que la structure projetée entraîne généralement une réduction des vitesses moyennes sur la profondeur à l'aval des quais projetée. La présence des jetées crée une « ombre » dans l'écoulement sur une distance d'environ 500 m, tel qu'illustré à la figure 16. Cet impact est plus marqué pour l'option A que pour l'option B (voir section 4.2) en raison de l'impact de la barge placée perpendiculairement à l'écoulement.

Malgré la réduction des vitesses moyennes sur la profondeur causée par les obstacles, on observe une accélération sous les structures, tel qu'illustré aux figures 12 à 15 et 18 à 21. La comparaison avec les conditions existantes montre que cette accélération n'entraîne généralement pas des vitesses beaucoup plus élevées en conditions projetées qu'en conditions existantes au droit des structures situées plus loin des rives (barge parallèle à l'écoulement). Cependant, les résultats montrent des vitesses plus élevées qu'en conditions existantes sous les structures situées près des berges. Cette accélération est limitée à +0,2 m/s.

Les structures projetées ont un impact négligeable sur les niveaux d'eau dans le secteur à l'étude.

Le tableau 4 fournit la vitesse moyenne sur la profondeur pour quatre points sélectionnés, dont les positions sont illustrées à la figure 17. Des vues en coupe supplémentaires sont fournies à l'Annexe A.

Tableau 4 : Vitesse moyenne sur la profondeur aux points sélectionnés – Comparaison entre option A et conditions existantes

Scenario	Vitesse moyenne sur la profondeur (m/s)			
	Point a	Point b	Point c	Point d
$Q_{2,7}$ (étiage) - Conditions de projet	0.1	0.2	0.3	0.2
$Q_{2,7}$ (étiage) - Conditions existantes	0.5	0.5	0.4	0.1
Q moyen - Conditions de projet	0.1	0.3	0.3	0.3
Q moyen - Conditions existantes	0.6	0.7	0.5	0.3

Sur les figures montrant la vitesse moyenne sur la profondeur en conditions projetées (16,17, 22 et 23), on distingue sur la rive droite quelques zones isolées d'accélérations. Ces zones sont des artefacts numériques du modèle, et non un impact des structures projetées. Des instabilités se développent à l'interface entre les différents blocs de maillages, et des tests ont montré que des effets similaires sont visibles lorsqu'on introduit des blocs de maillages plus fins dans le modèle en conditions existantes.

Le recourt à une série de blocs de maillage imbriqués est susceptible de causer des instabilités ou de petites discontinuités dans la solution. Il s'agit d'une limitation connue, tel que décrit dans le manuel d'utilisateur de Flow3d

(FlowScience 2023). Cependant, la taille du domaine à modéliser force l'utilisation d'une série de blocs de maillages. Par conséquent, les vitesses modélisées aux berges doivent être interprétées avec prudence.

Par ailleurs, il existe sur Flow3D une difficulté bien documentée à représenter des pentes douces avec des maillages grossiers. Cela crée des *sliver cells* ou le ratio entre surface et volume est trop grand. Pour ces raisons, il est conseillé de limiter l'interprétation des résultats à la quantification de l'accélération sous les structures flottantes, ainsi que la quantification de la réduction de vitesse dans le sillage, tel que discuté à la section 6.0.

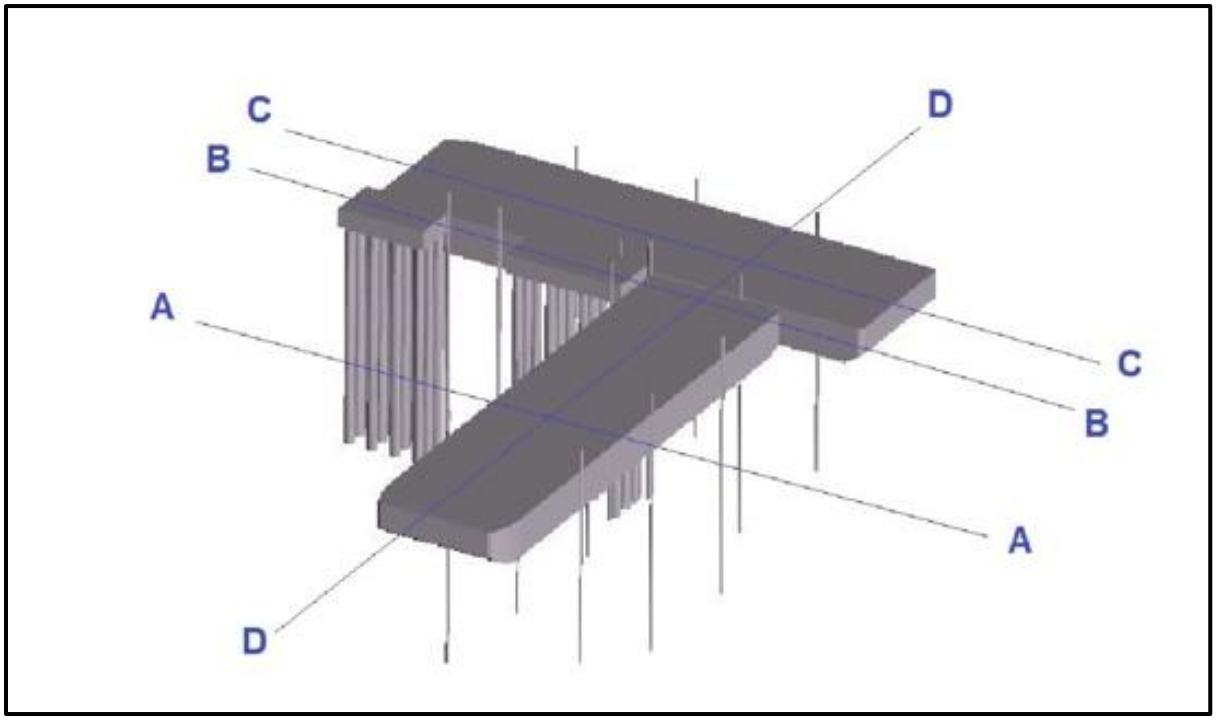


Figure 11 : Structures de l'option A et position des vues en coupe

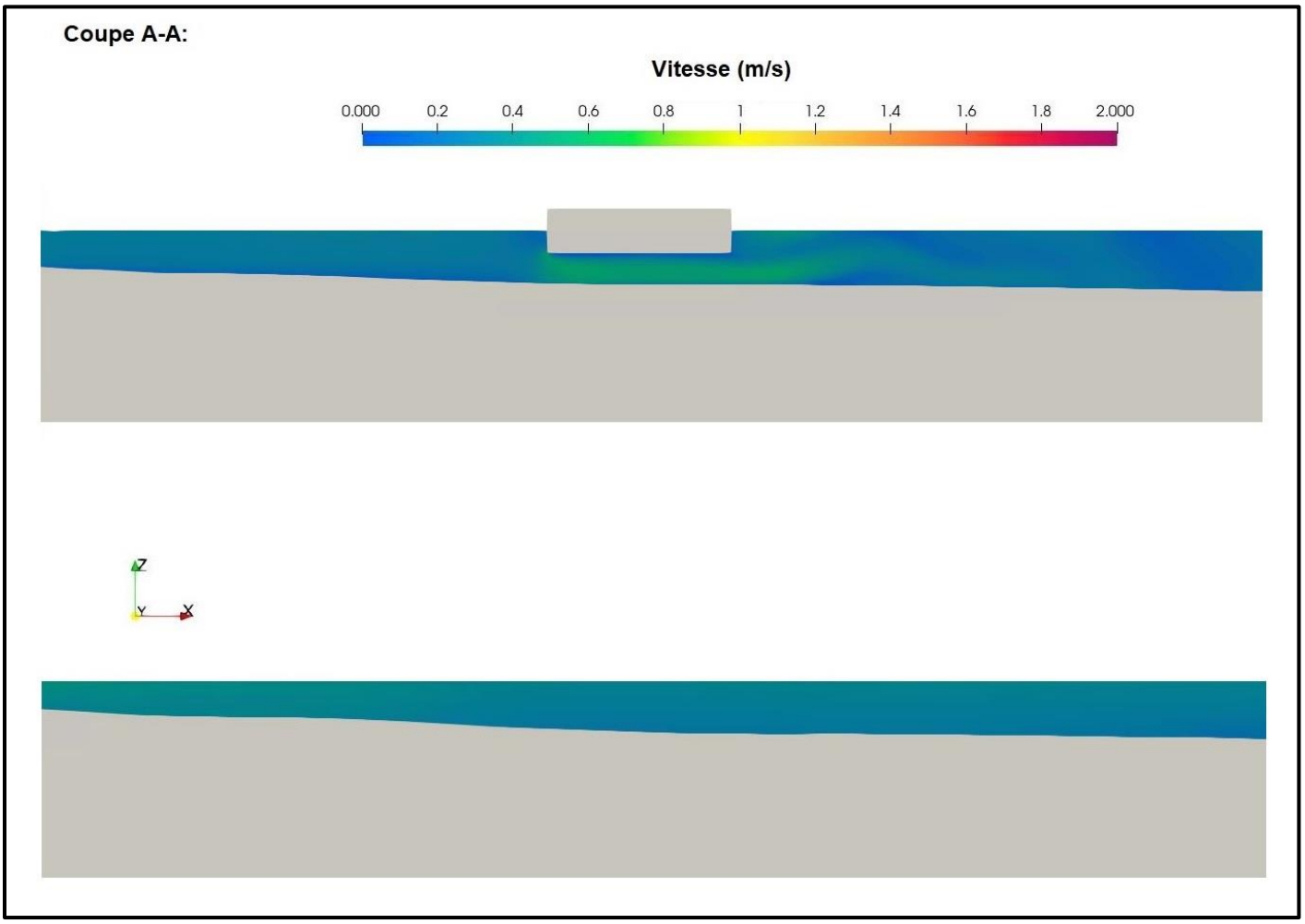


Figure 12 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe A-A

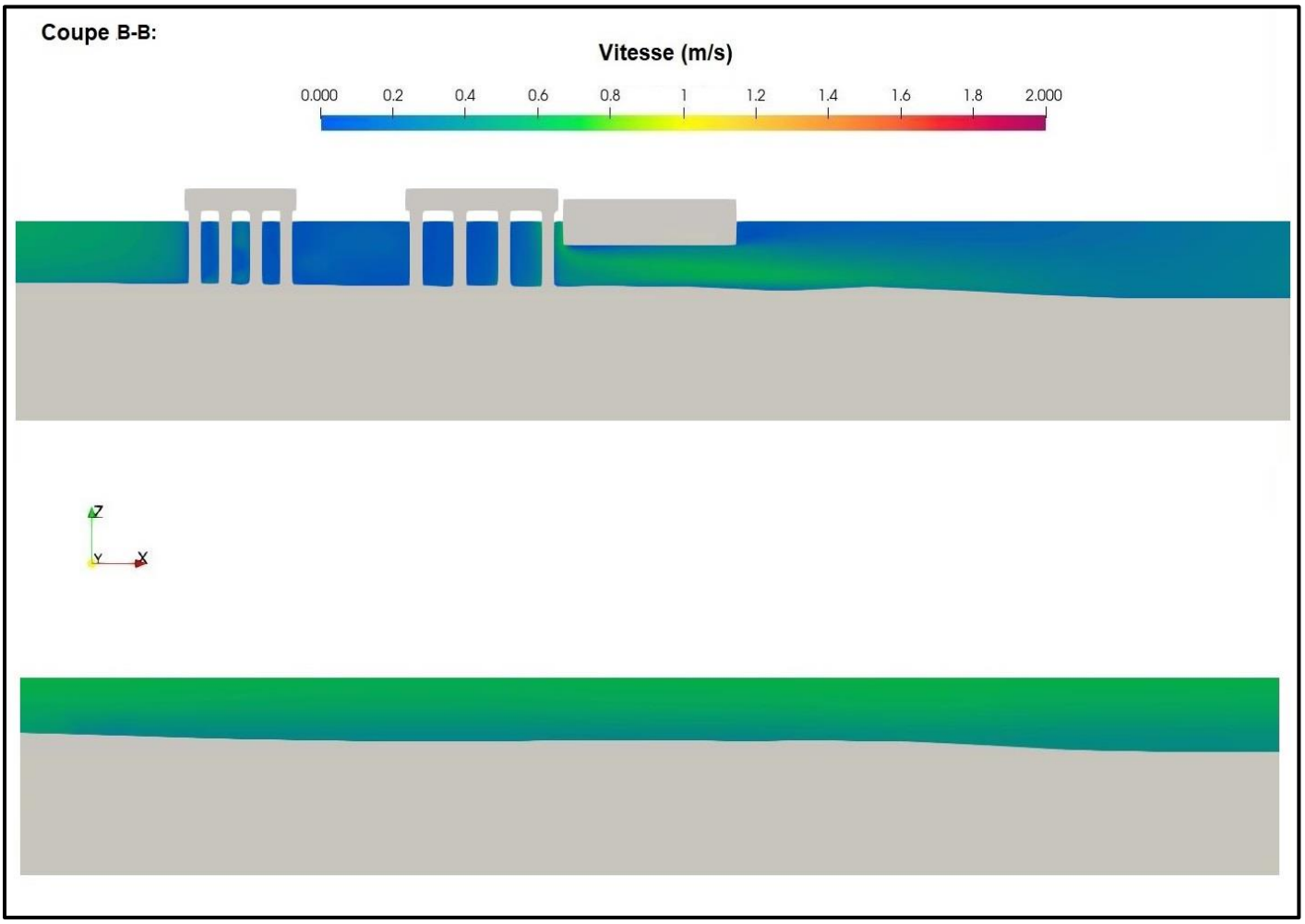


Figure 13 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe B-B

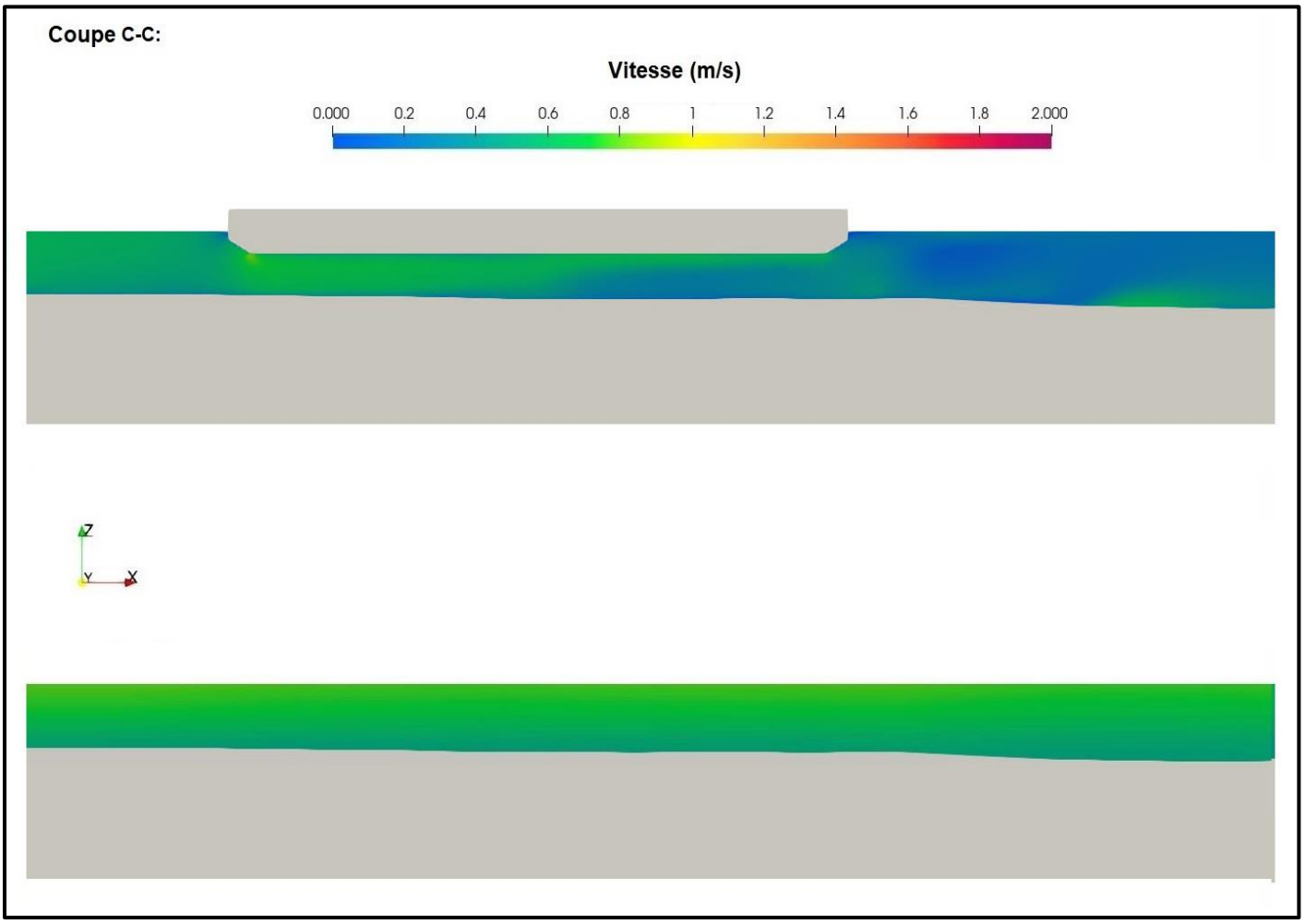


Figure 14 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe C-C

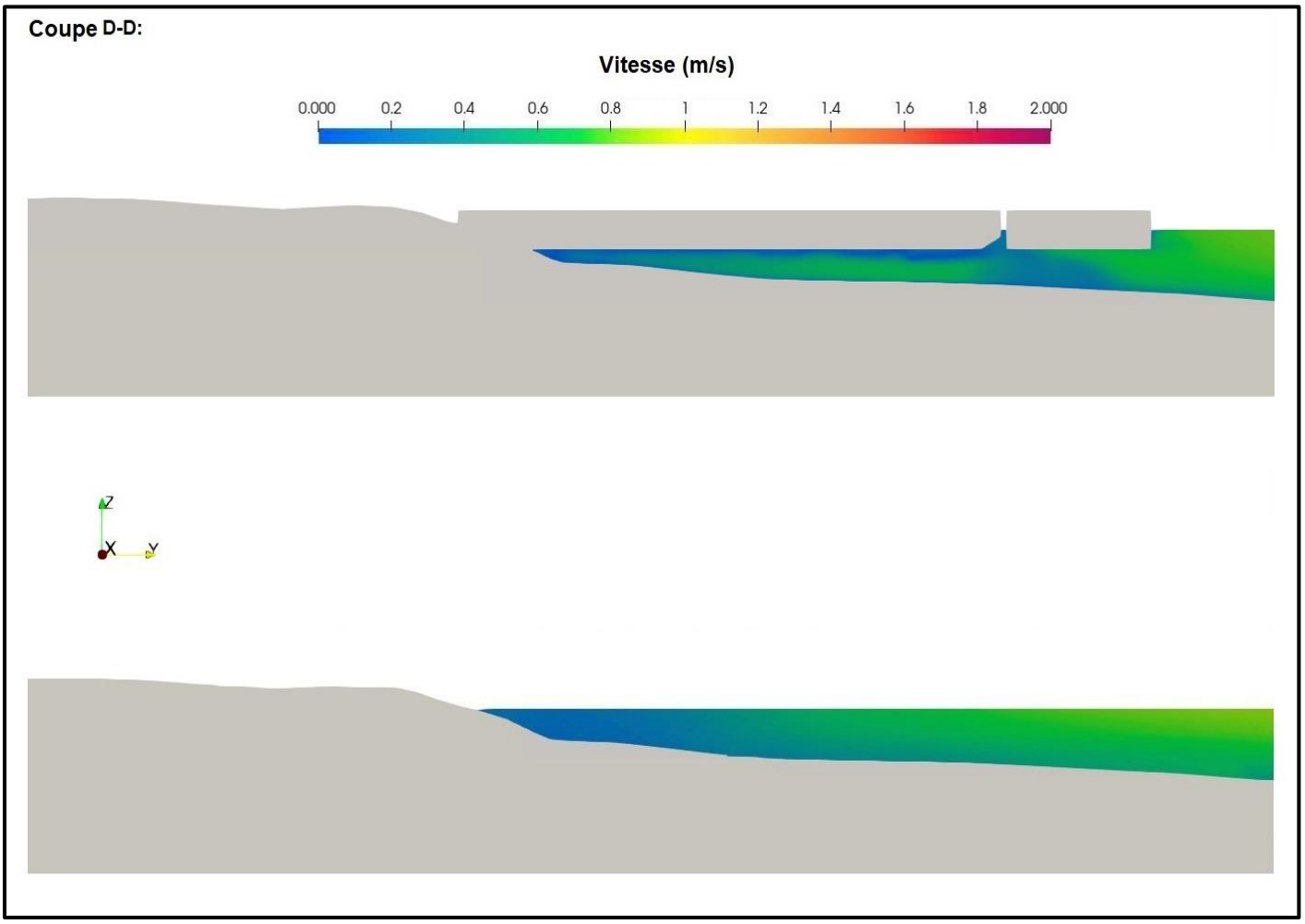


Figure 15 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe D-D

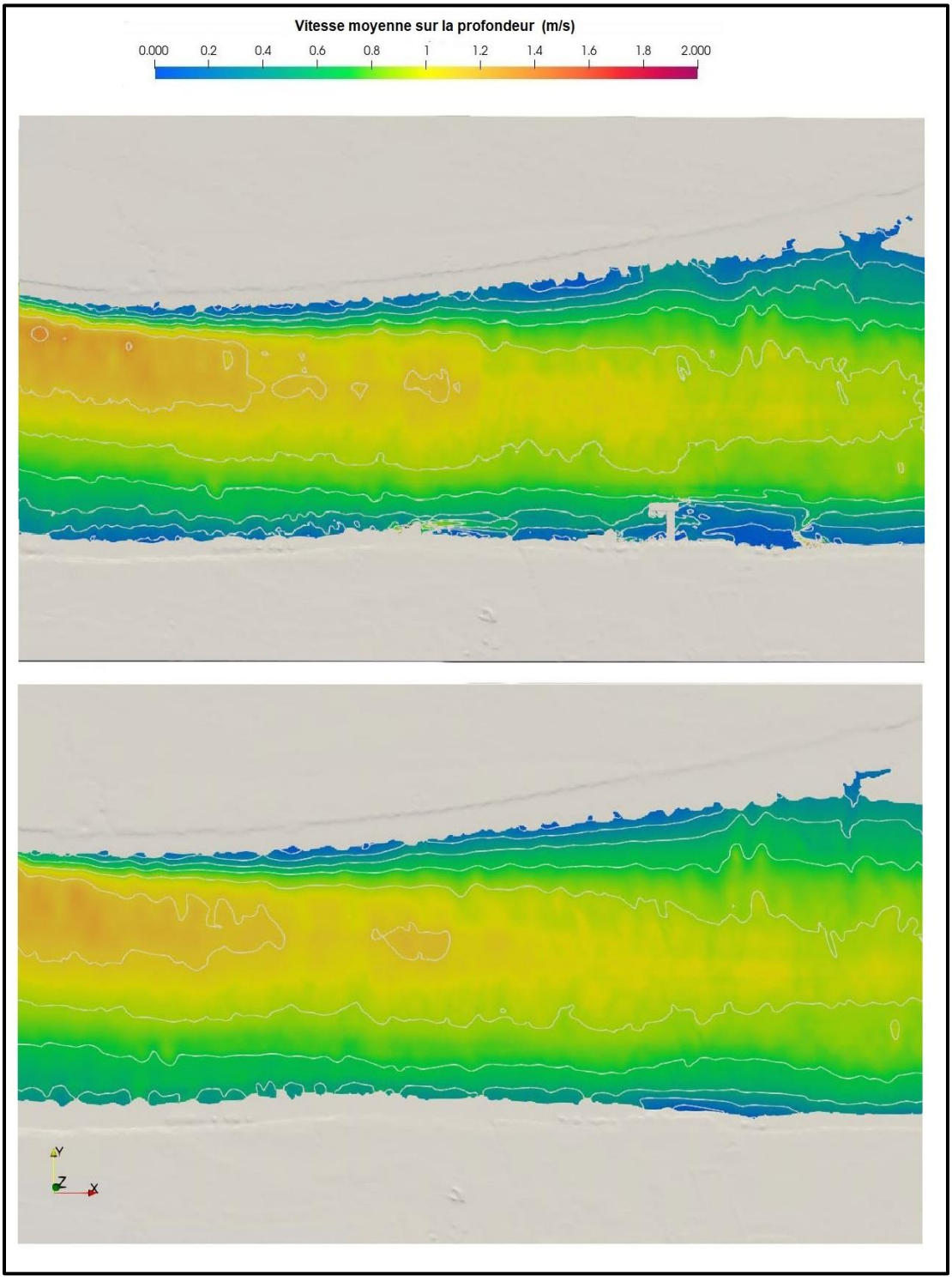


Figure 16 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Domaine d'étude

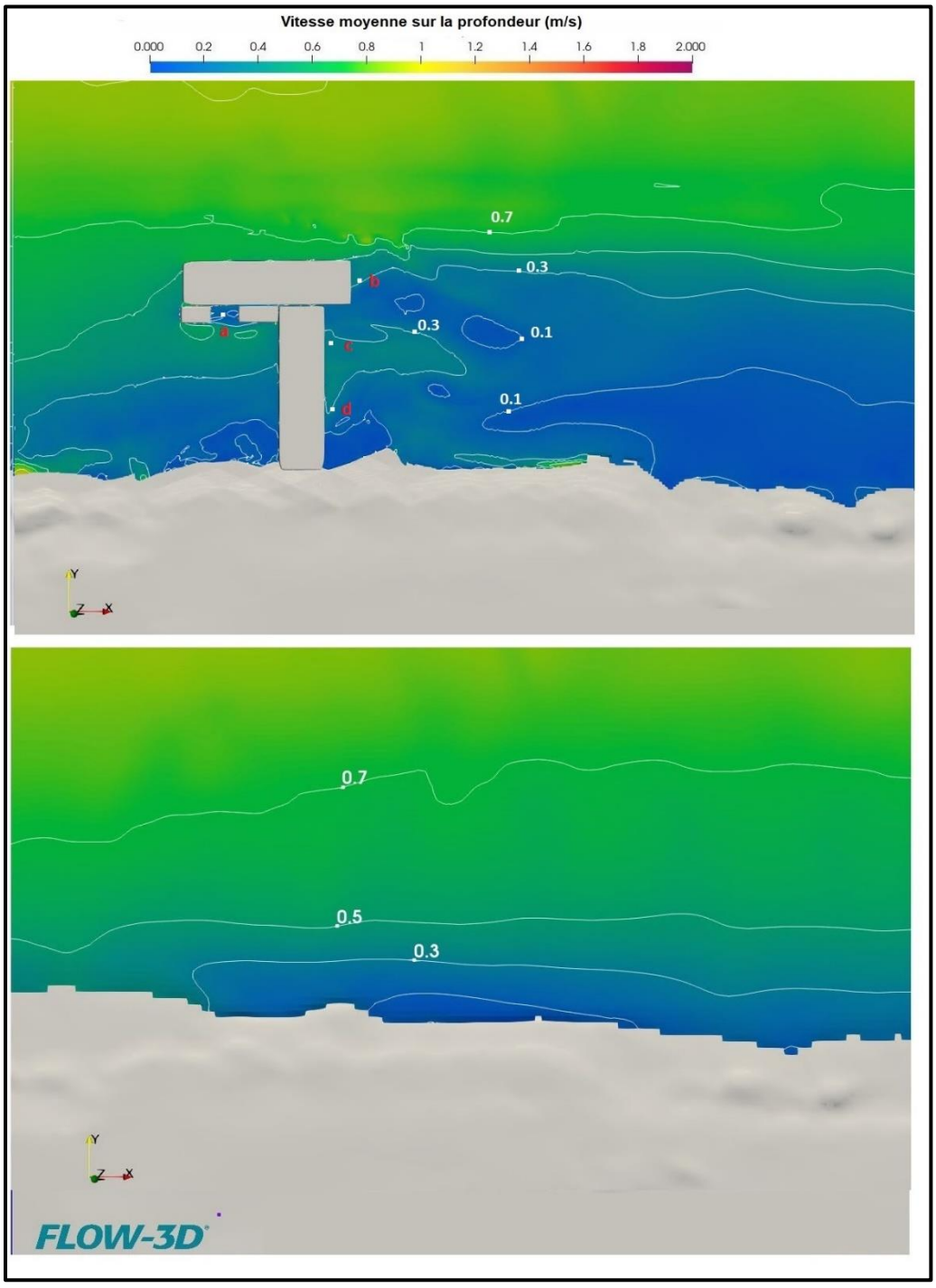


Figure 17 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit moyen – Proximité des structures projetées

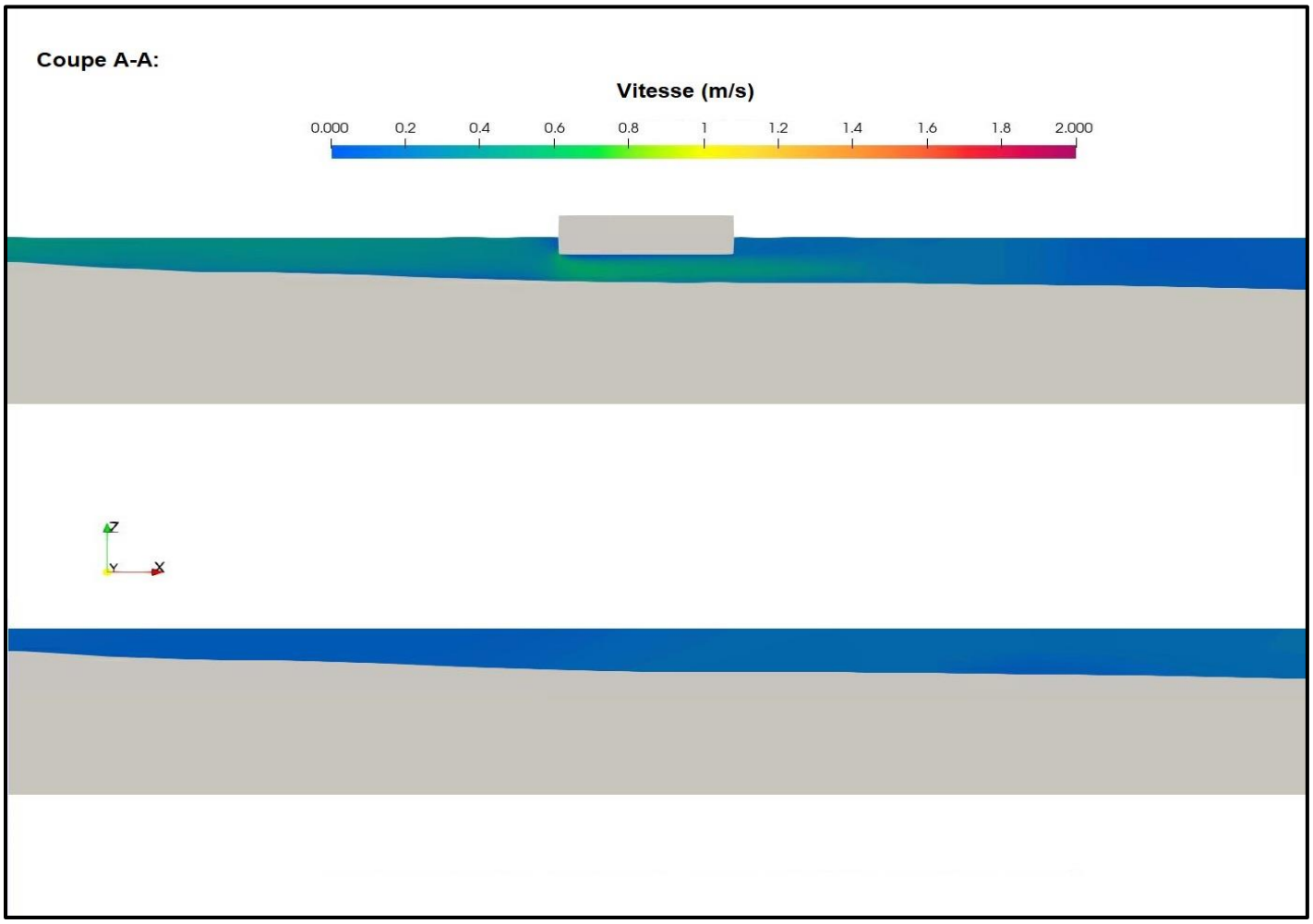


Figure 18 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe A-A

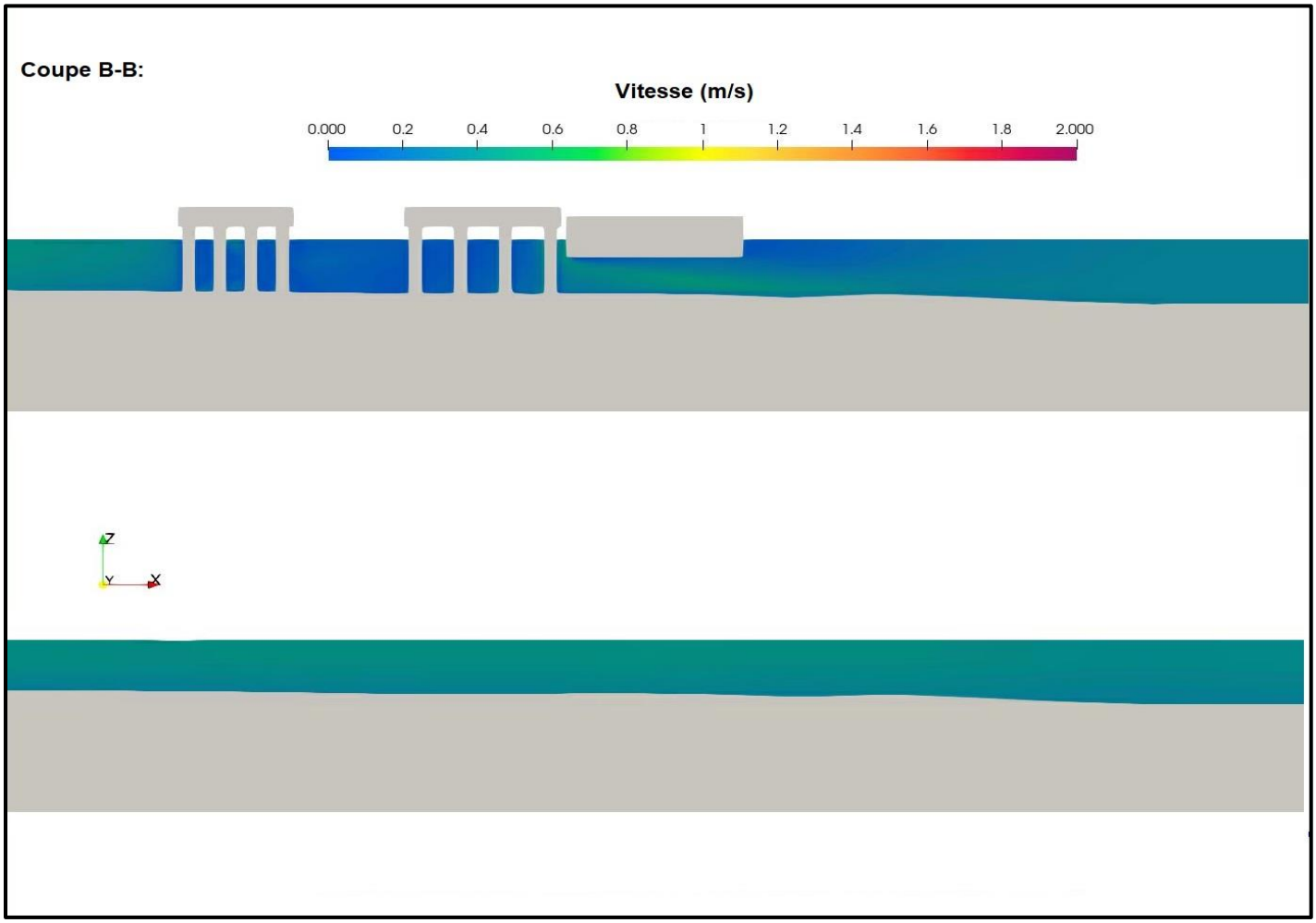


Figure 19 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe B-B

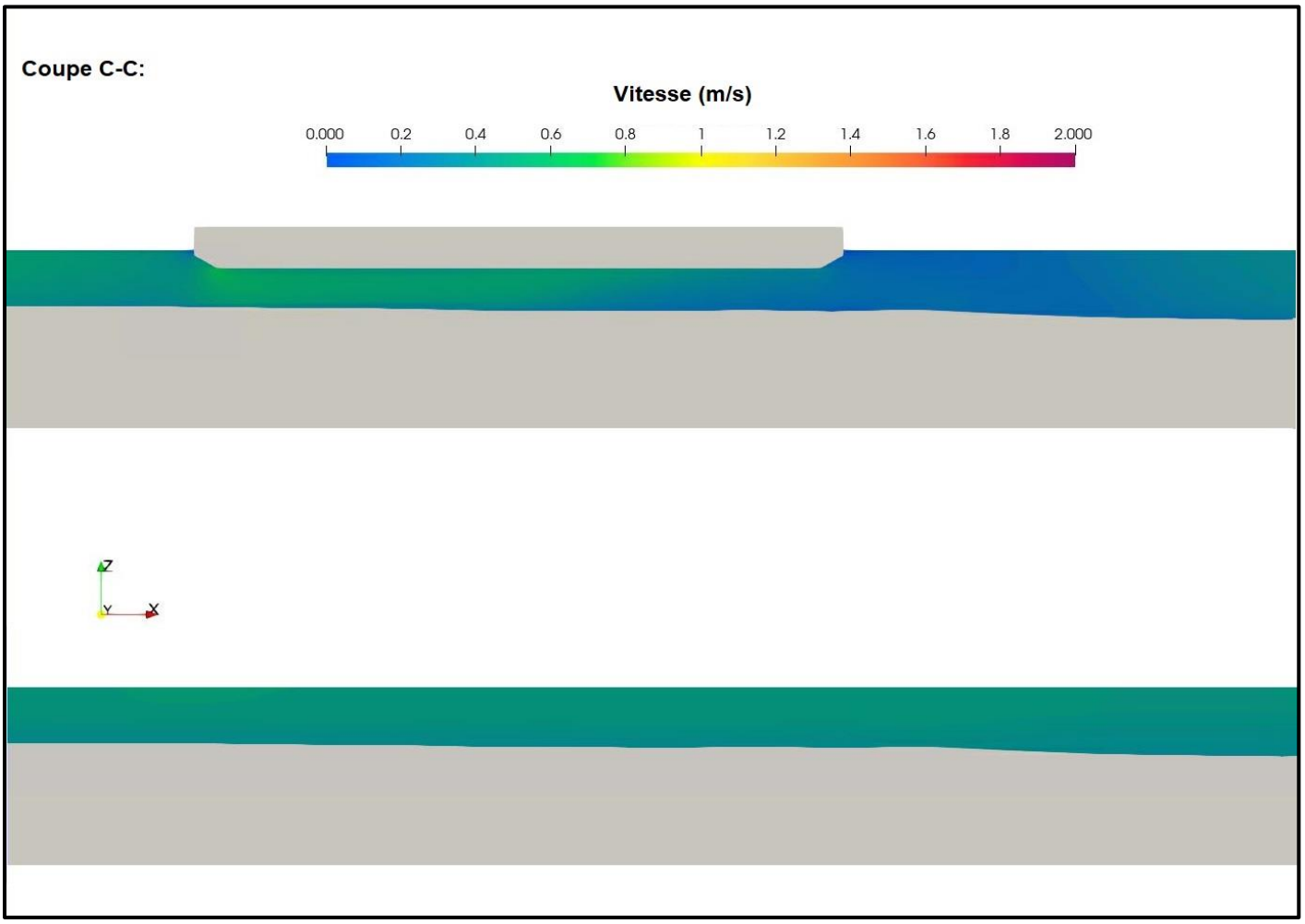


Figure 20 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe C-C

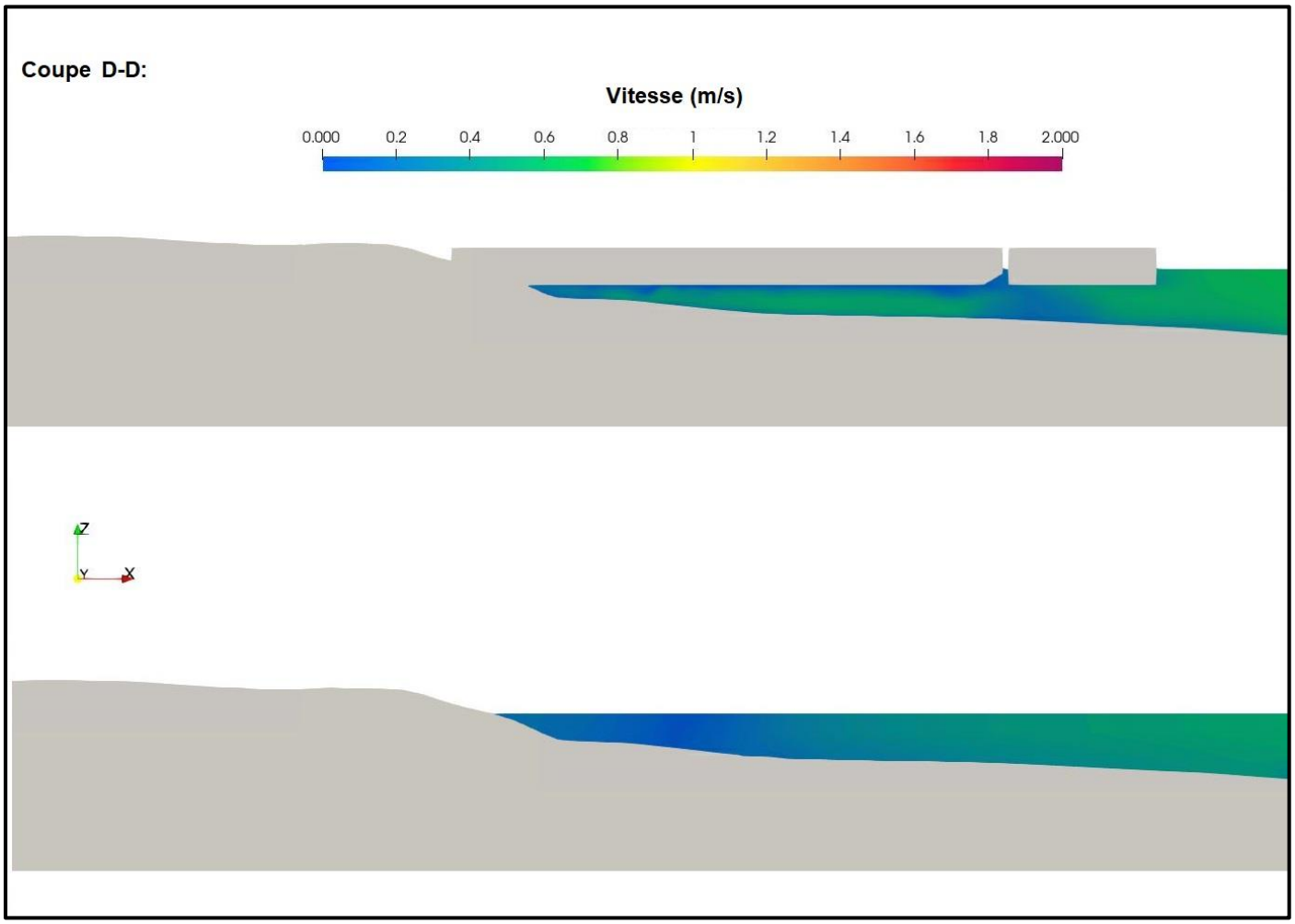


Figure 21 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe D-D

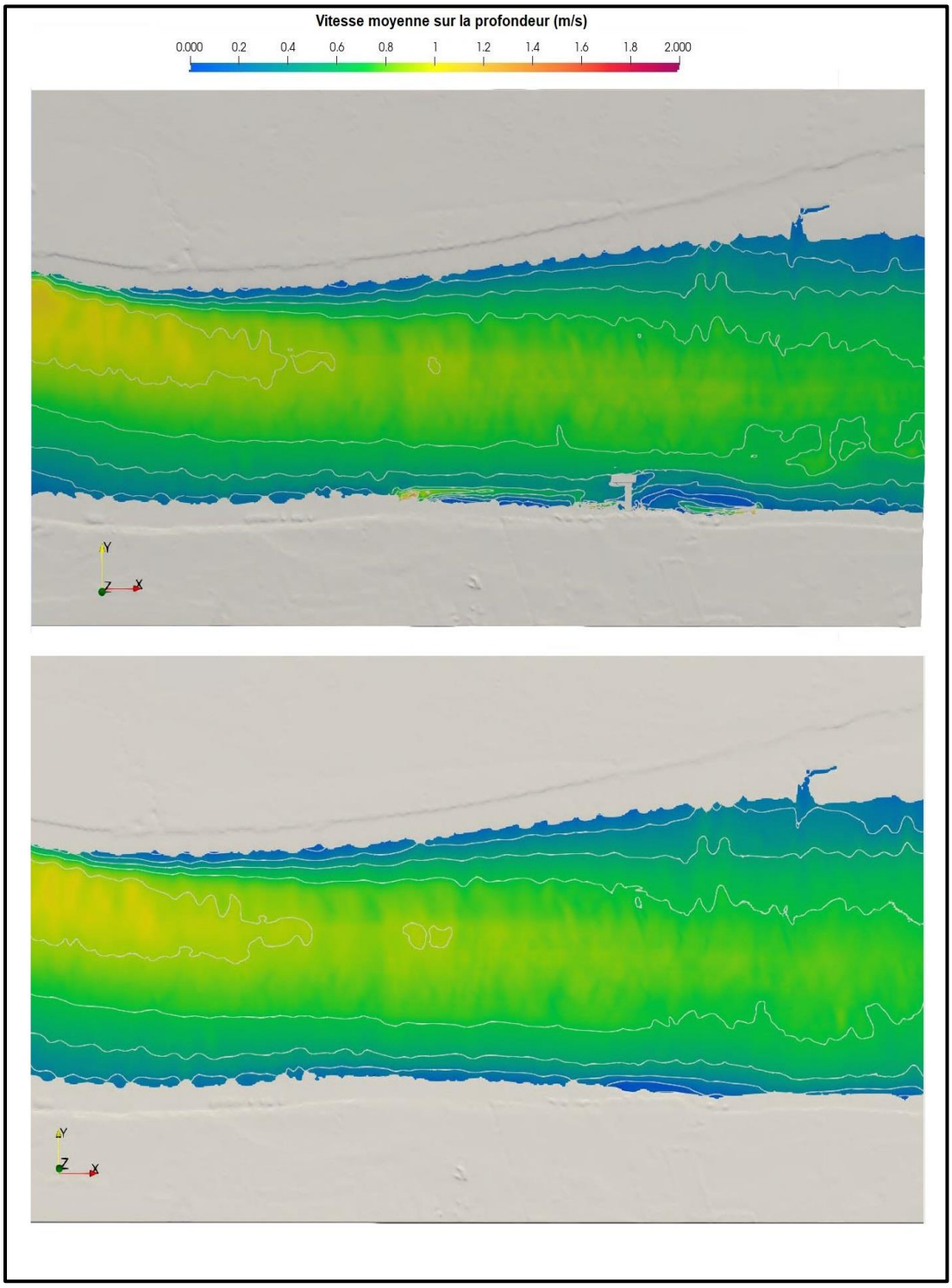


Figure 22 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Domaine d'étude

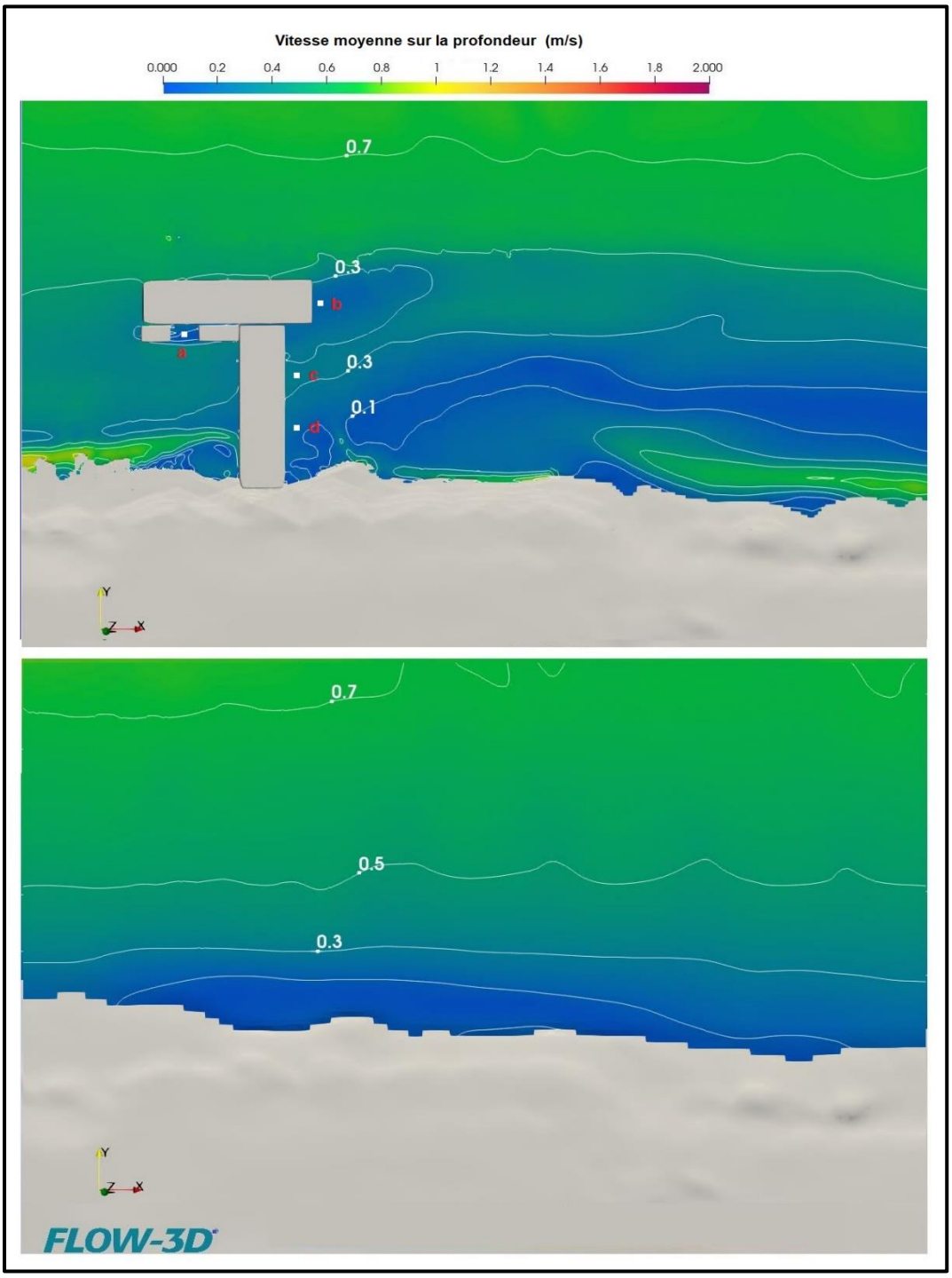


Figure 23 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option A et les conditions existantes – Débit d'étiage – Proximité des structures projetées

5.2 Option B

Une comparaison des résultats de modélisations en conditions existantes et en présence des structures de l'option B est présentée aux figures 25 à 30 (débit moyen) et aux figures 31 à 36 (débit d'étiage).

Les résultats montrent que la structure projetée entraîne généralement une réduction des vitesses moyennes sur la profondeur à l'aval des quais projetés. Cette réduction est cependant beaucoup plus limitée que celle observée aux résultats de l'option A, car le pont de l'option B est situé hors de l'eau et a peu d'impact sur l'écoulement.

Malgré la réduction des vitesses moyennes sur la profondeur causée par les obstacles, on observe une légère accélération sous la barge tel qu'illustrée aux figures 25 et 26. La comparaison avec les conditions existantes montre que cette accélération n'entraîne pas des vitesses plus élevées en conditions projetées qu'en conditions existantes.

Les structures projetées ont un impact négligeable sur les niveaux d'eau dans le secteur à l'étude.

Le tableau 6 fournit la vitesse moyenne sur la profondeur pour quatre points sélectionnés, dont les positions sont illustrées à la figure 30. Des vues en coupe supplémentaires sont fournies à l'Annexe A.

Tableau 6 : Vitesse moyenne sur la profondeur aux points sélectionnés – Comparaison entre option B et conditions existantes

Scenario	Vitesse moyenne sur la profondeur (m/s)			
	Point e	Point f	Point g	Point h
$Q_{2,7}$ (étiage) - Conditions de projet	0.1	0.3	0.1	0.3
$Q_{2,7}$ (étiage) - Conditions existantes	0.5	0.6	0.5	0.3
Q moyen - Conditions de projet	0.2	0.5	0.2	0.5
Q moyen - Conditions existantes	0.6	0.7	0.6	0.5

Sur les figures montrant la vitesse moyenne sur la profondeur en conditions projetées (29,30, 35 et 26), on distingue sur la rive droite quelques zones isolées d'accélérations. Ces zones sont des artefacts numériques du modèle, et non un impact des structures projetées. Des instabilités se développent à l'interface entre les différents blocs de maillages, et des tests ont montré que des effets similaires sont visibles lorsqu'on introduit des blocs de maillages plus fin dans le modèle en conditions existantes.

Le recourt à une série de blocs de maillage imbriqués est susceptible de causer des instabilités ou de petites discontinuités dans la solution. Il s'agit d'une limitation connue, tel que décrit dans le manuel d'utilisateur de Flow3d (FlowScience 2023). Cependant, la taille du domaine à modéliser force l'utilisation d'une série de blocs de maillages. Par conséquent, les vitesses modélisées aux berges doivent être interprétées avec prudence.

Par ailleurs, il existe aussi sur Flow3D une difficulté bien documentée à représenter des pentes douces avec des maillages grossiers. Cela crée des *sliver cells* ou le ratio entre surface et volume est trop grand. Pour ces raisons, il est conseillé de limiter l'interprétation des résultats à la quantification de l'accélération sous les structures flottantes, ainsi que la quantification de la réduction de vitesse dans le sillage, tel que discuté à la section 6.0.

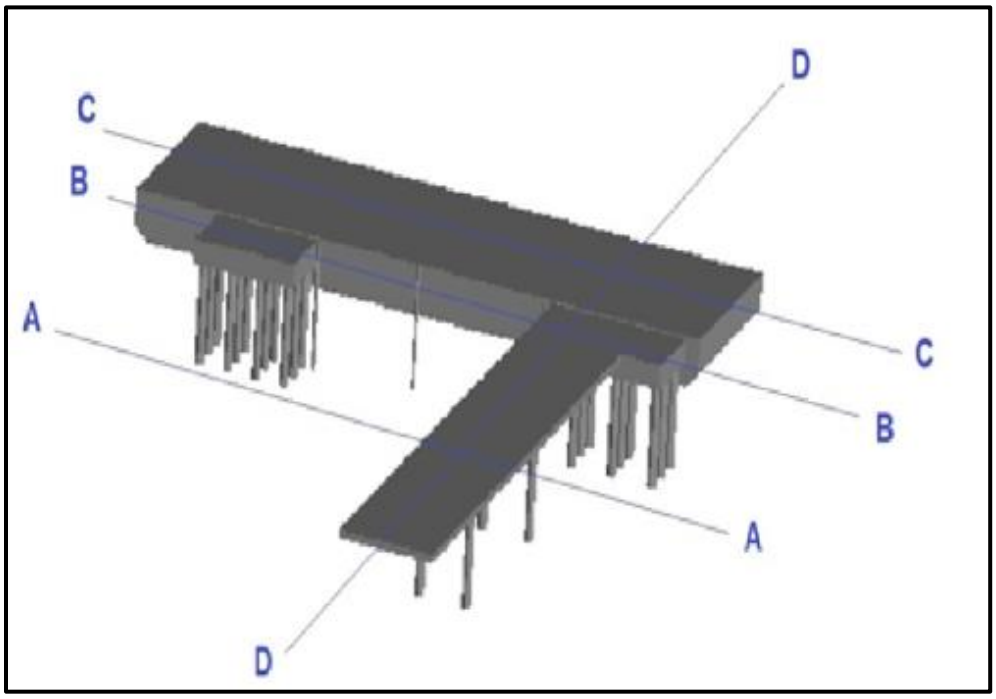


Figure 24 : Structures de l’option B et position des vues en coupe

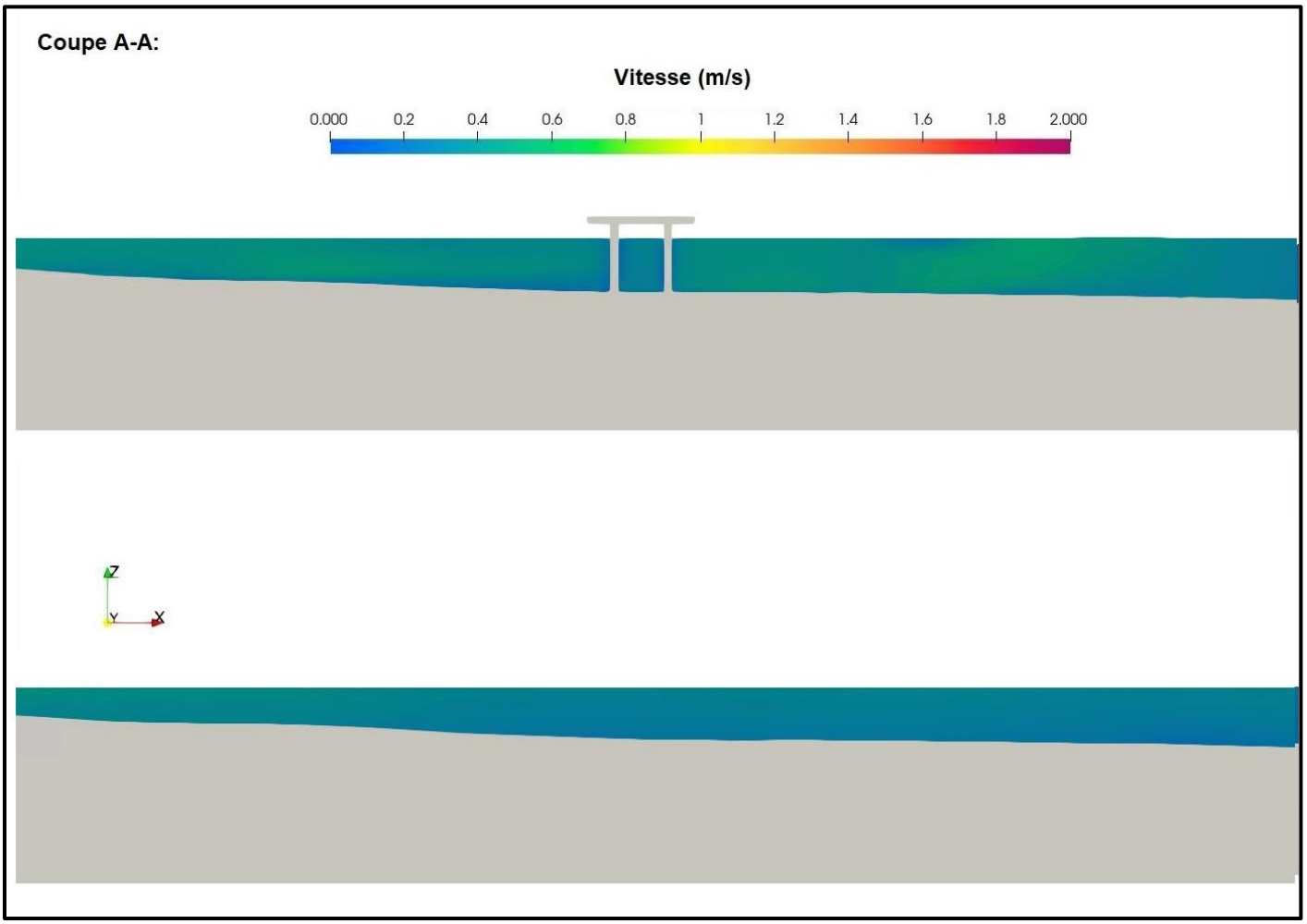


Figure 25 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe A-A

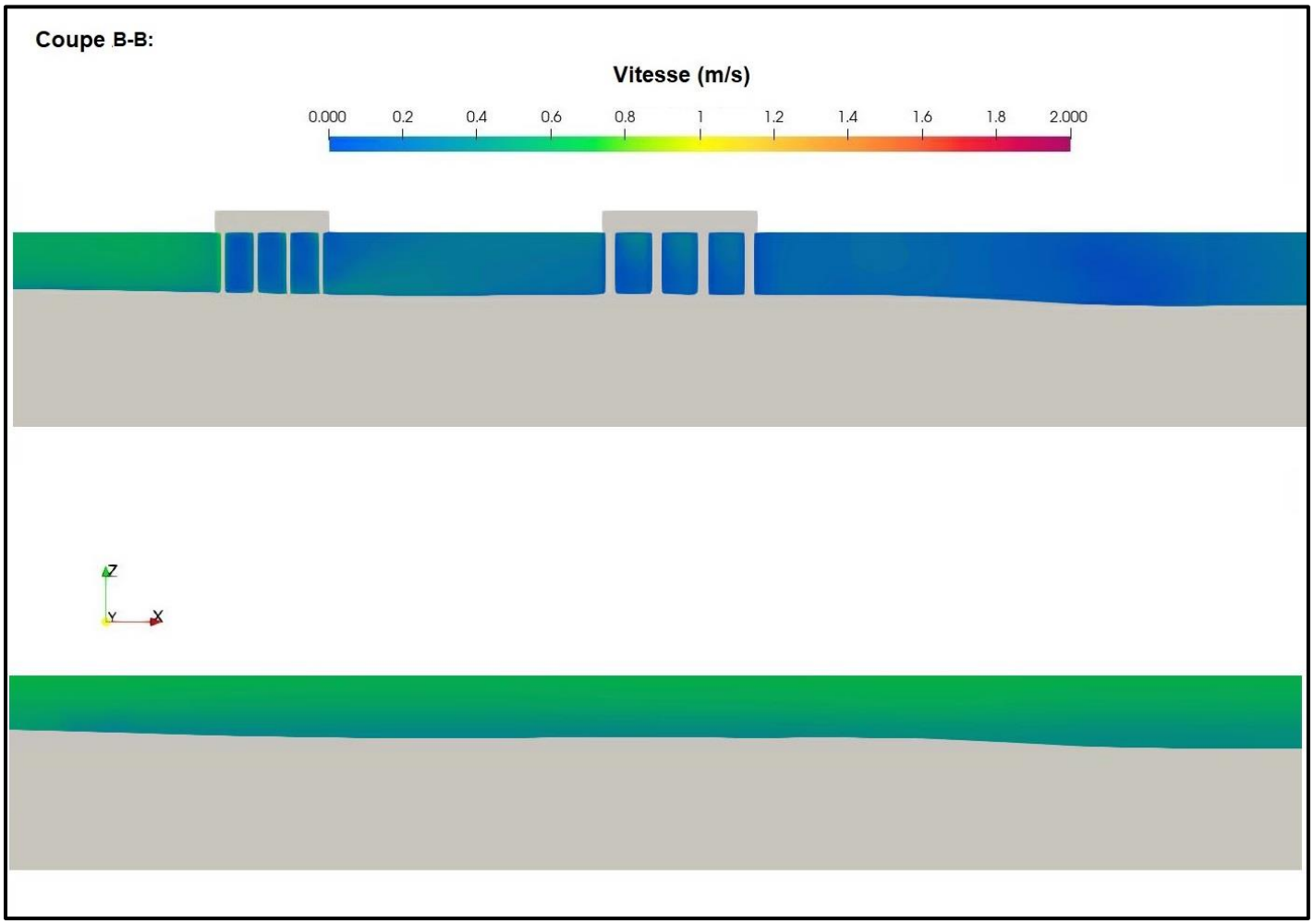


Figure 26 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe B-B

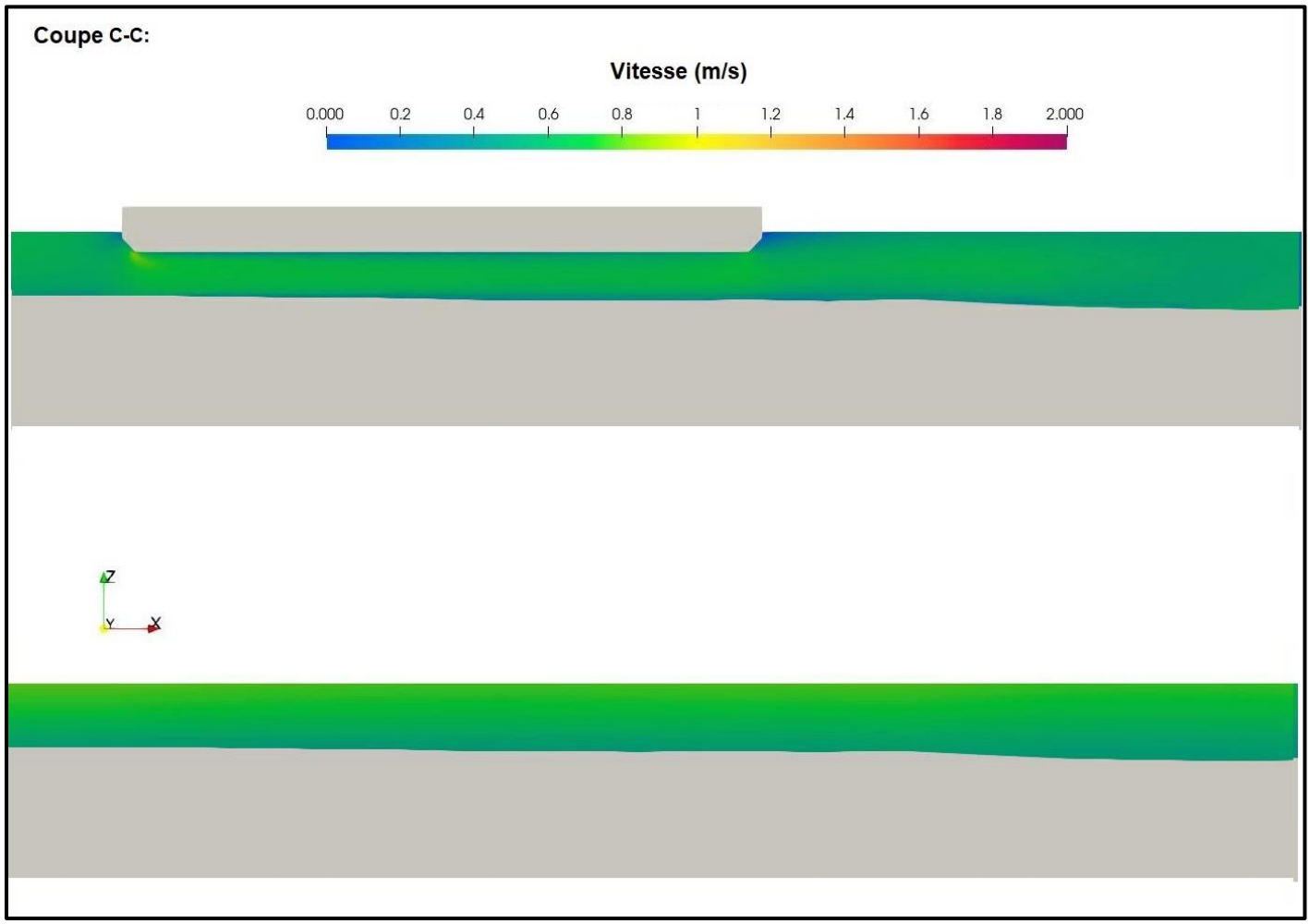


Figure 27 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe C-C

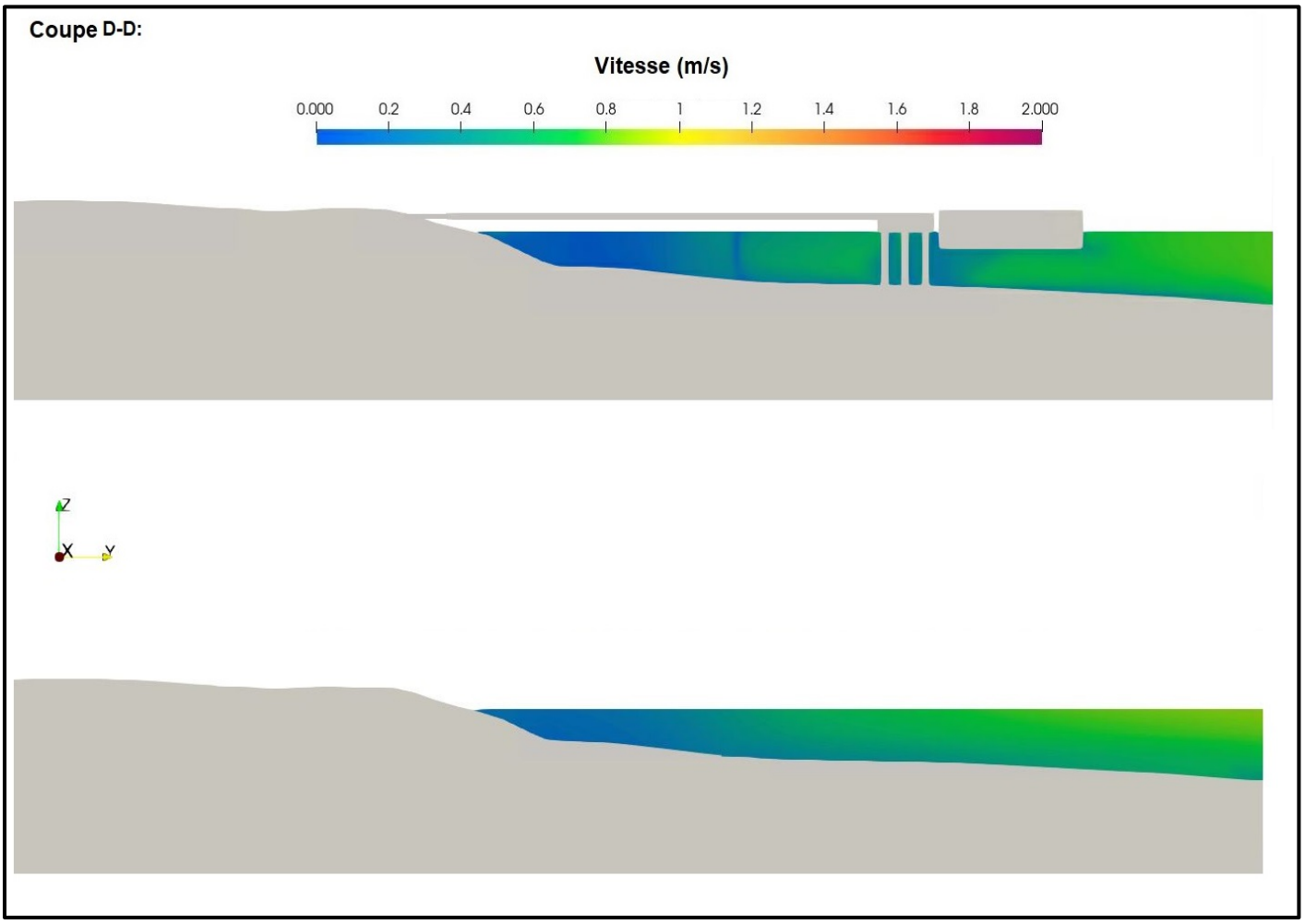


Figure 28 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Coupe D-D

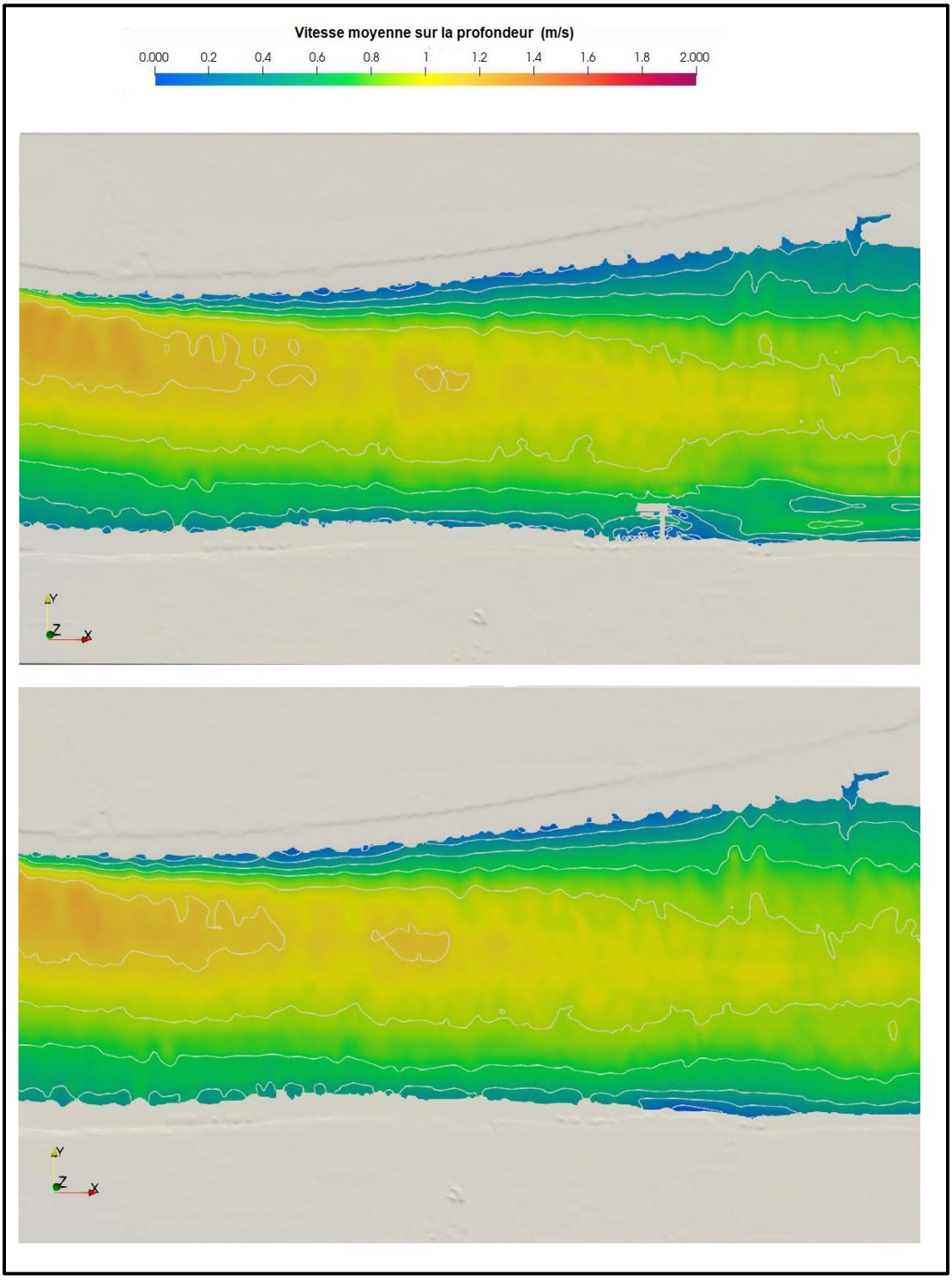


Figure 29 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Domaine d'étude

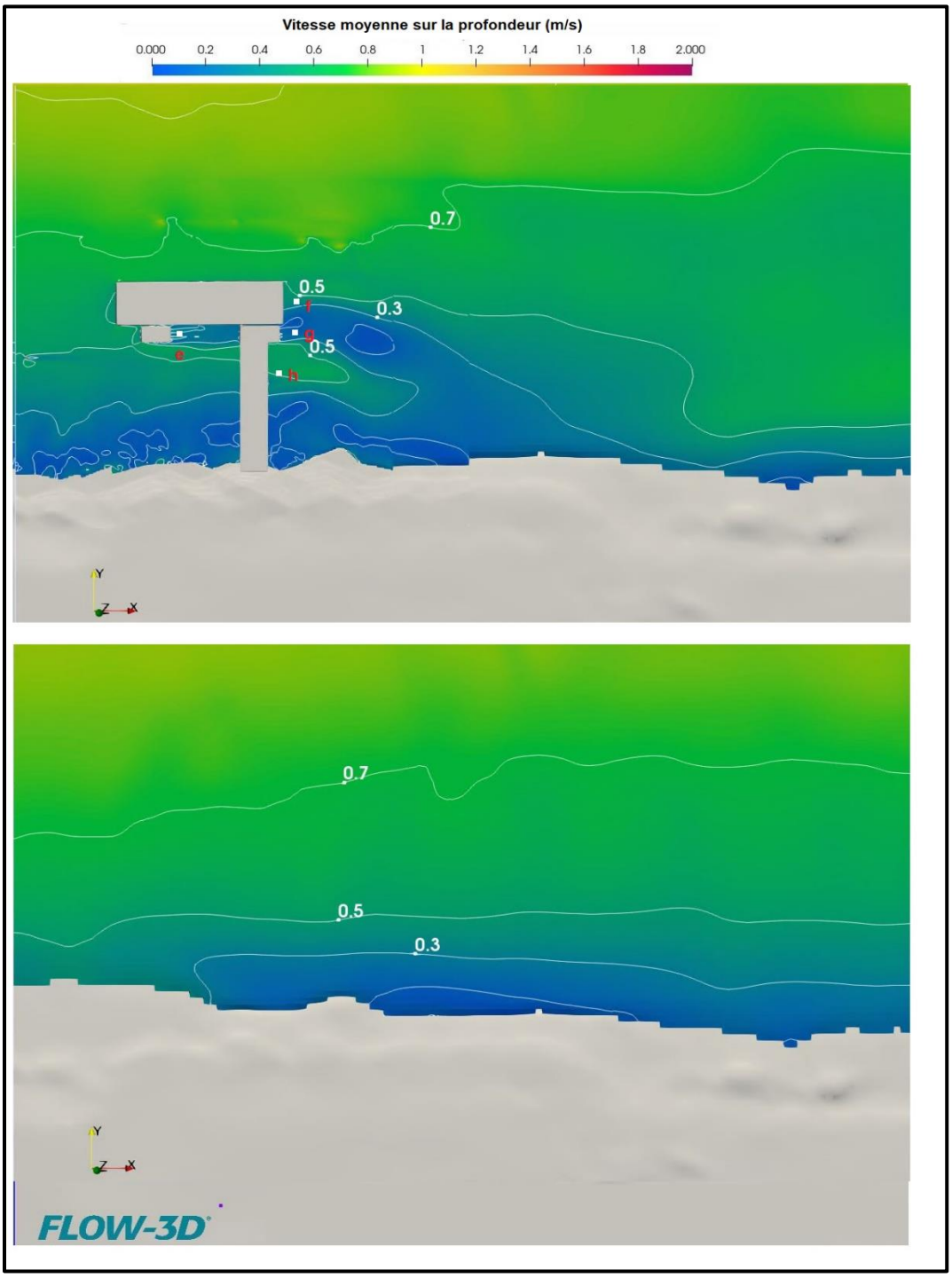


Figure 30 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit moyen – Proximité des structures projetées

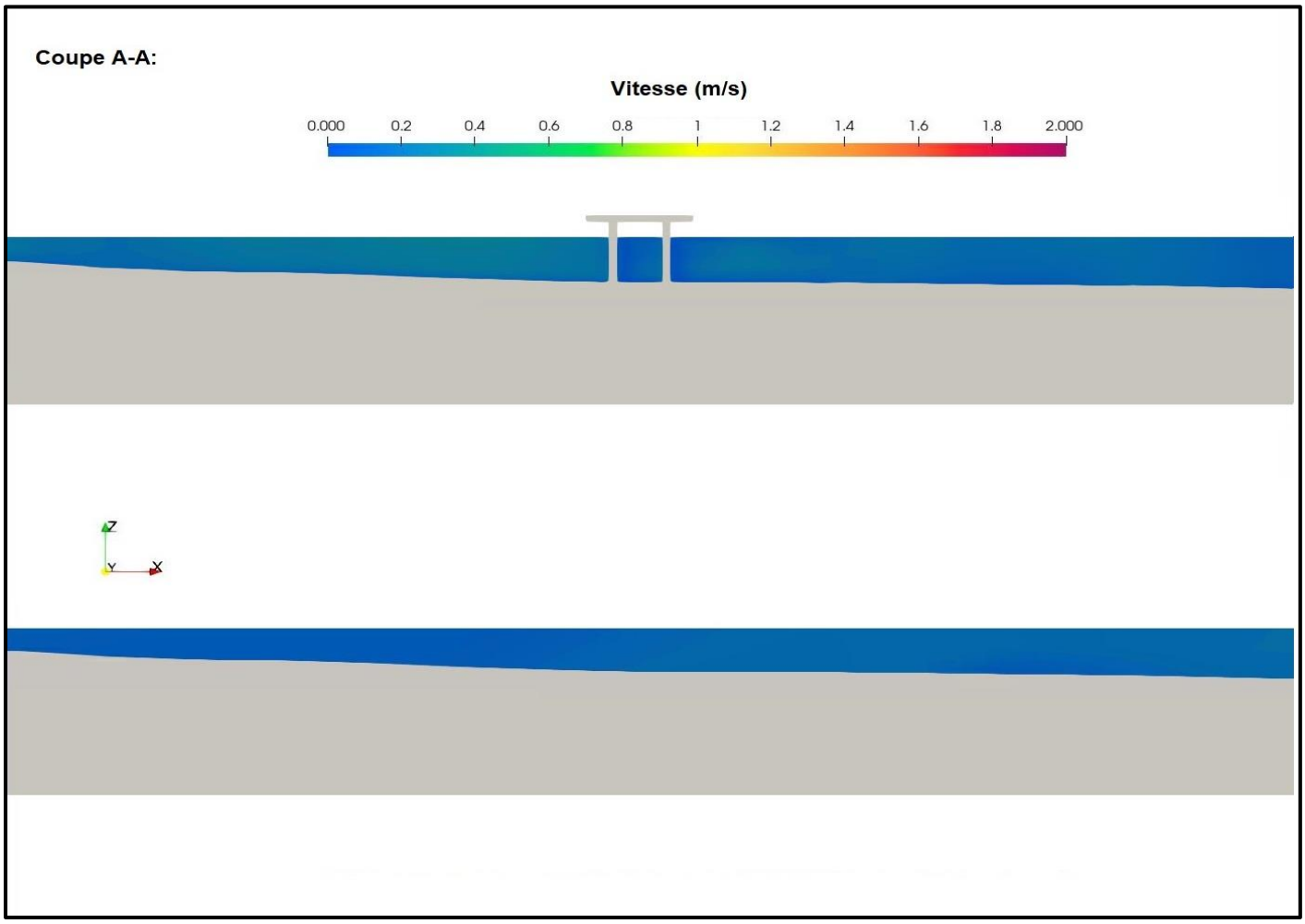


Figure 31 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe A-A

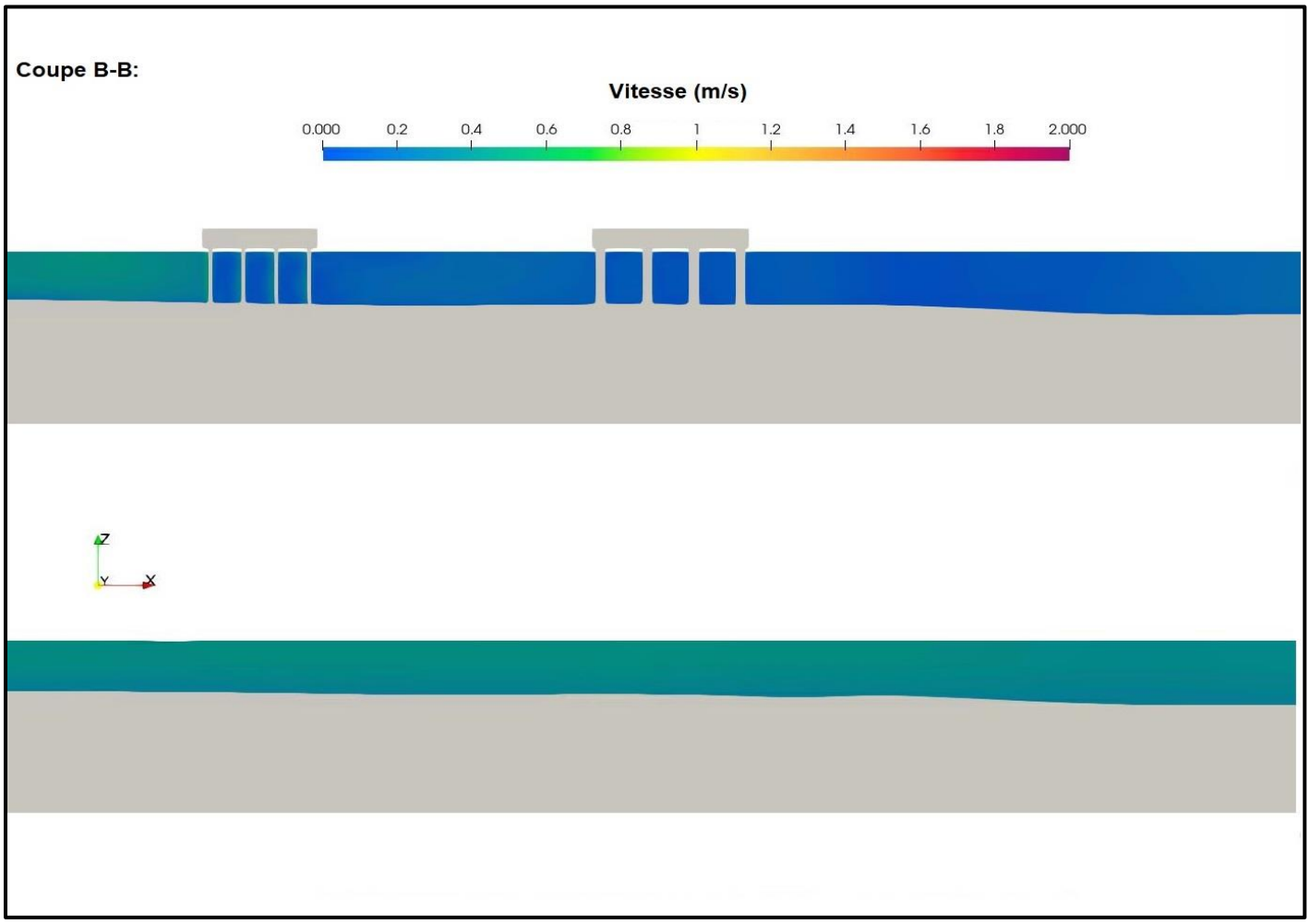


Figure 32 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe B-B

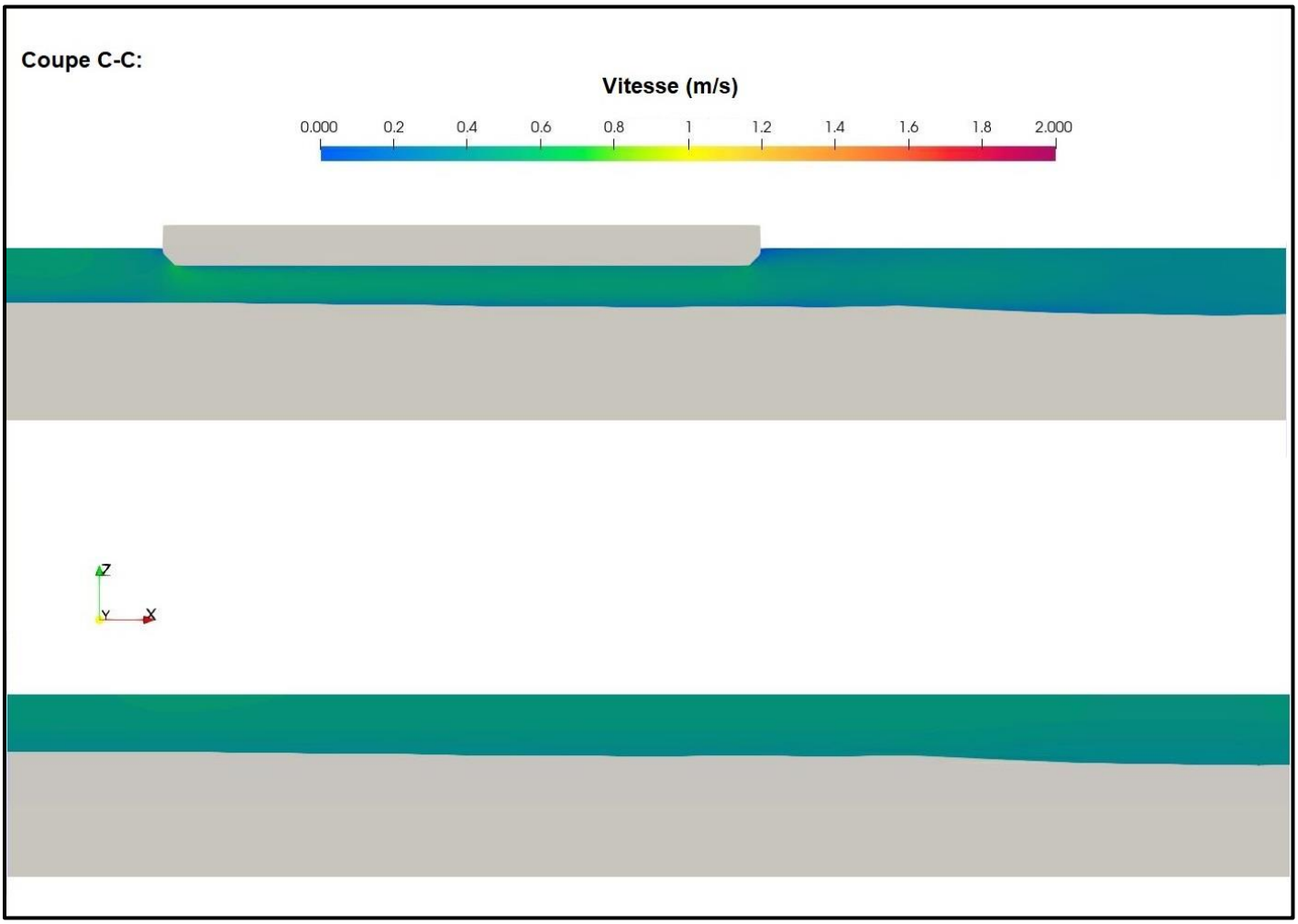


Figure 33 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe C-C

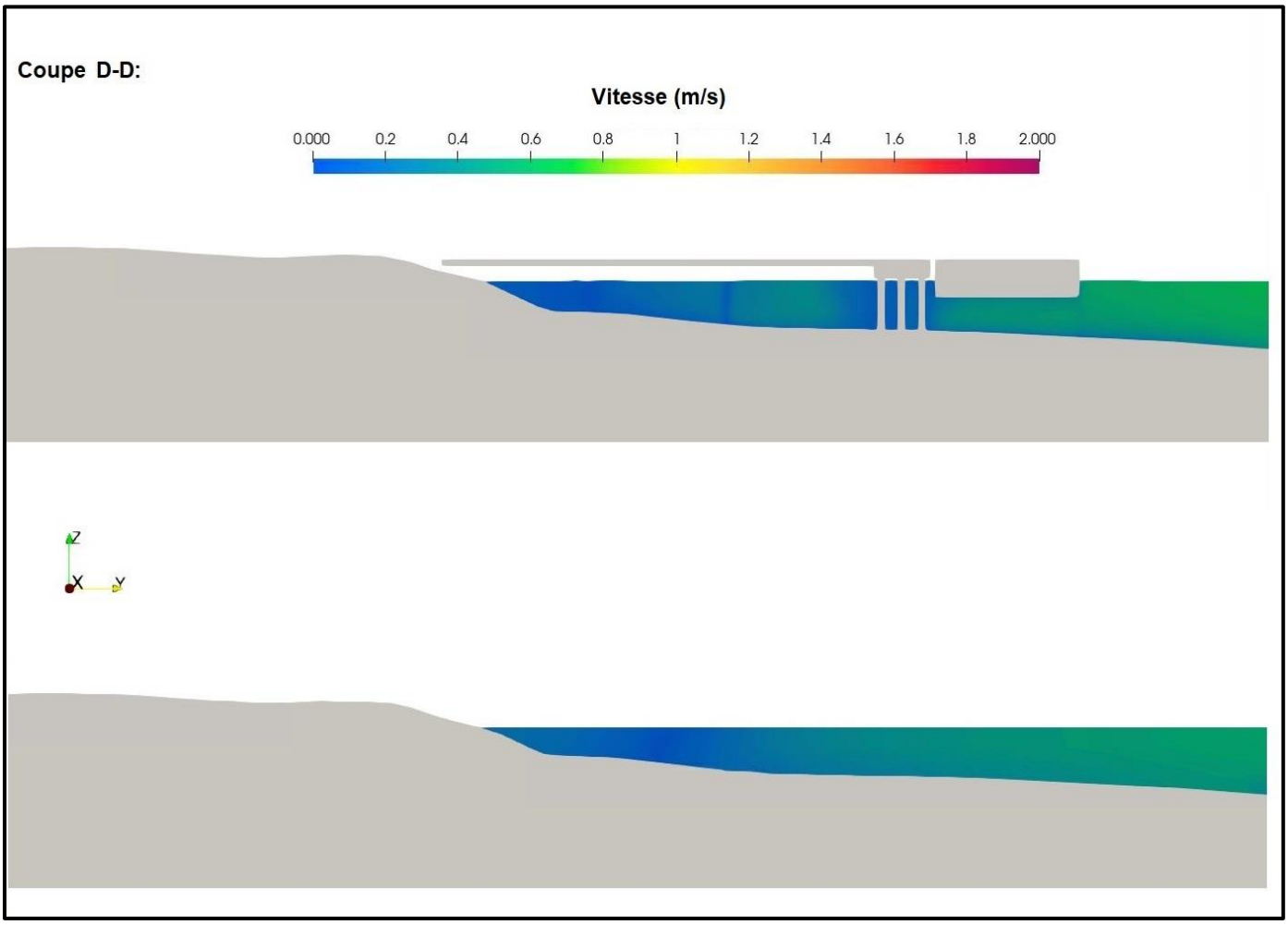


Figure 34 : Vitesse d'écoulement autour de la structure – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Coupe D-D

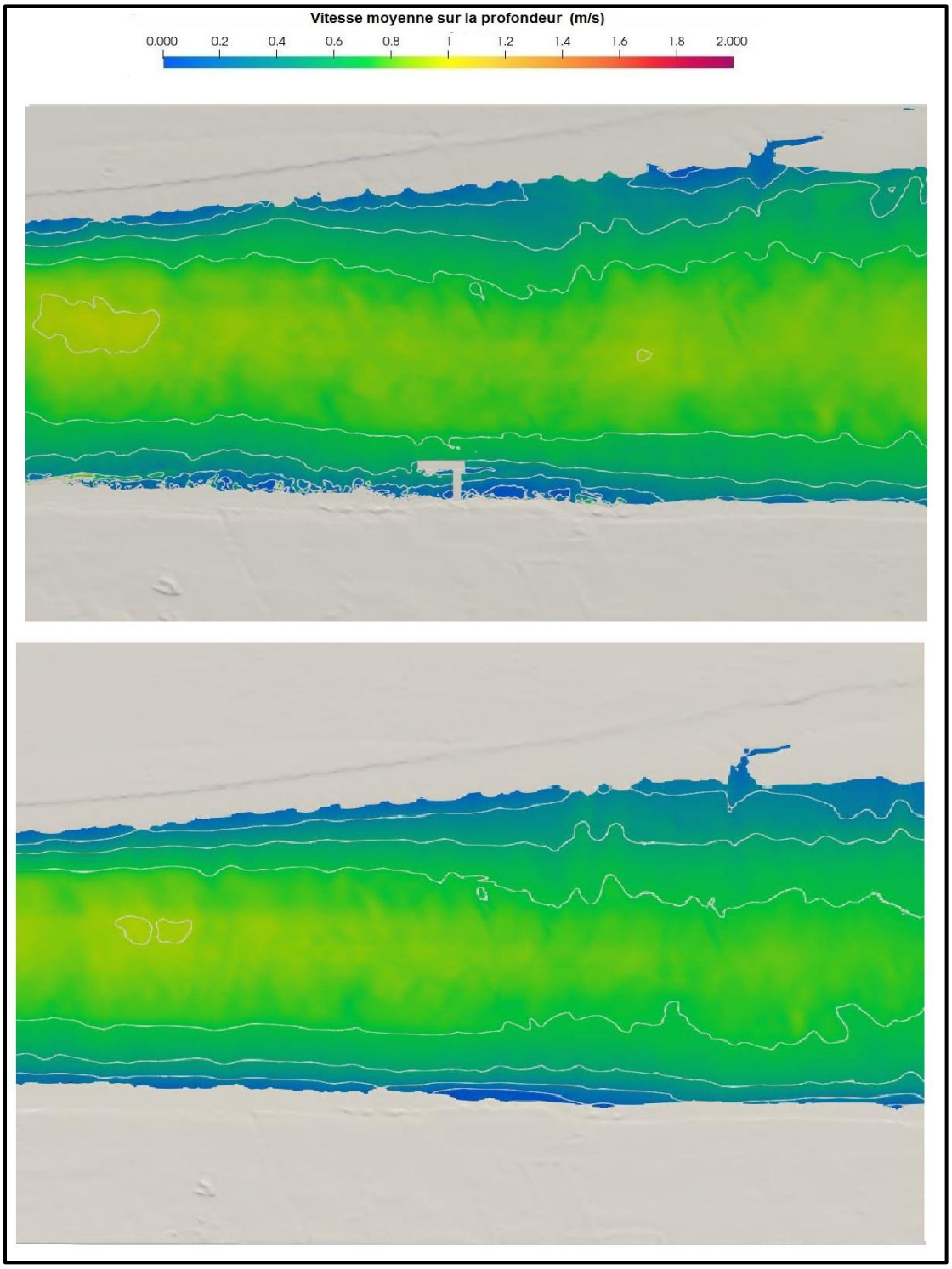


Figure 35 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Domaine d'étude

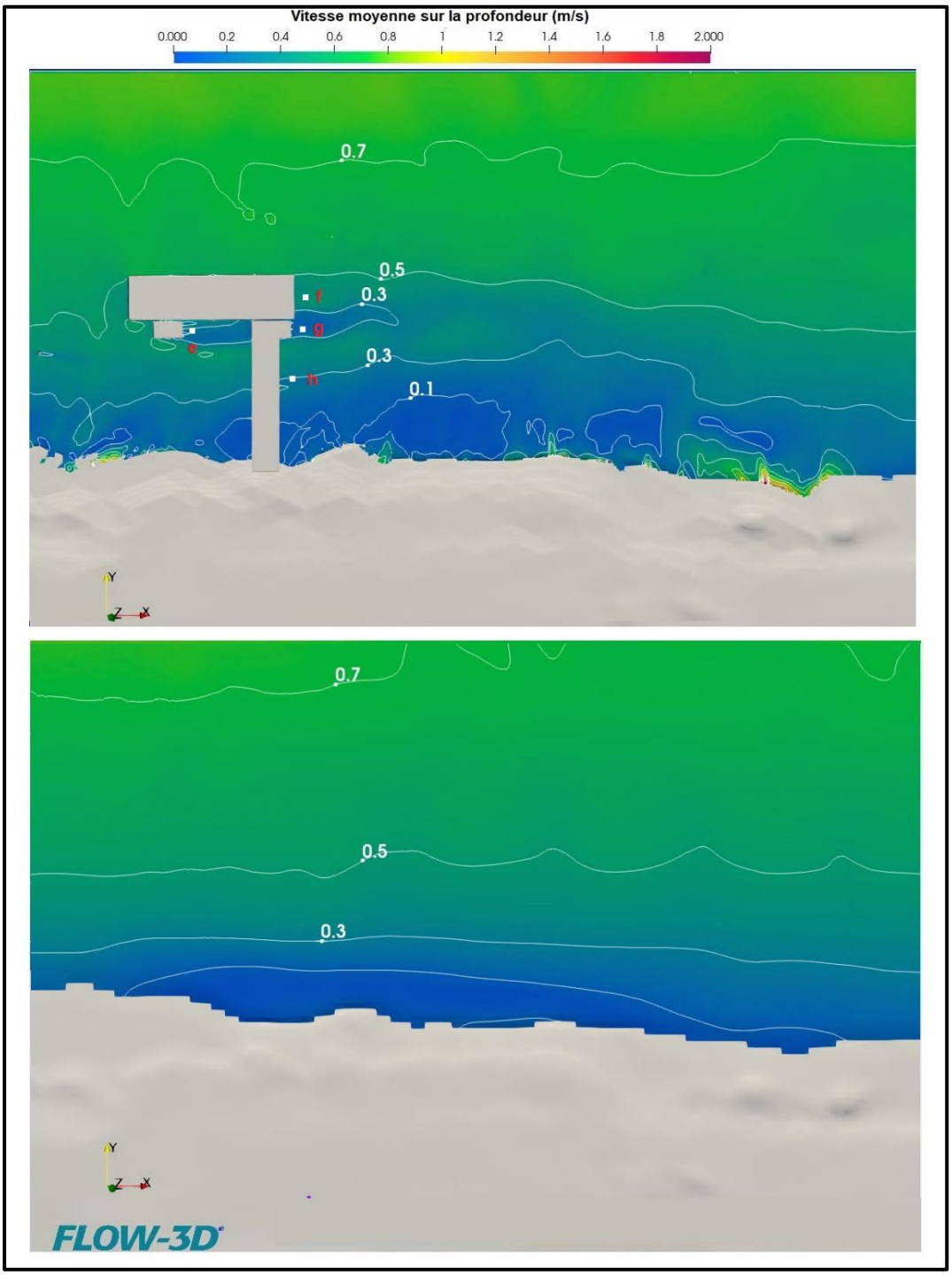


Figure 36 : Vitesse moyenne sur la profondeur – Comparaison entre l'option B et les conditions existantes – Débit d'étiage – Proximité des structures projetées

6. Conclusions

Les résultats de modélisation montrent que les structures projetées entraîneront une réduction des vitesses moyennes (sillage) sur la profondeur près de la rive droite à proximité des structures, particulièrement en aval de celles-ci. L'impact est significativement plus petit pour l'option de pont fixe (option B) que pour l'option de barge flottante (option A).

Les résultats montrent aussi une accélération sous les barges flottantes. Les vitesses sous la barge parallèle à l'écoulement demeurent cependant semblables à celles modélisées en conditions existantes. Toutefois, des vitesses plus élevées que celles modélisées en conditions existantes sont obtenues avec l'option A sous la barge perpendiculaire à l'écoulement (écart maximal de 0,2 m/s).

Tel que décrit dans la présente note, il existe des limitations au modèle associées à la nature et à la précision du maillage. Les éléments suivants doivent être considérés lors de l'interprétation des résultats :

- Le maillage n'est pas suffisamment fin pour capturer avec précision l'effet des piles et poteaux. Il est conseillé d'effectuer la conception de la protection contre l'affouillement aux piles en fonction des résultats de la modélisation 2D;

- Les vitesses directement collées aux berges ne sont pas modélisées avec précision en raison des instabilités numériques développées à l'interface des blocs de maillage et de la taille du maillage sur les berges;

- Le modèle permet de quantifier les impacts relatifs sur les vitesses sous les barges et dans le sillage des structures. Les vitesses absolues doivent être interprétées avec prudence, car une comparaison avec les résultats des modélisations 2D montre des vitesses en condition existante légèrement plus faibles au droit des structures, une différence d'environ 0,1 m/s.

7. Références

CIMA+ (2023). Nouveau Port Sorel – Construction d’un quai, Étude Hydraulique. 7 juillet 2023. Révision 0

CFD DIRECT (2022). Notes on Computational Fluid Dynamics: General Principles. 7.5 Wall functions. Tiré de https://doc.cfd.direct/notes/cfd-general-principles/wall-functions

THE ENGINEERING TOOLBOX (2003). Roughness & Surface Coefficients. Tiré de https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html

USACE (2024). HEC-RAS 2D Sediment Technical Reference Manuel, Bottom Roughness. Tiré de https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/d2sd/ras2dsedtr/latest/model-description/bedform-geometry-and-hydraulic-roughness/bottom-roughness

Annexe A – Coupes supplémentaires

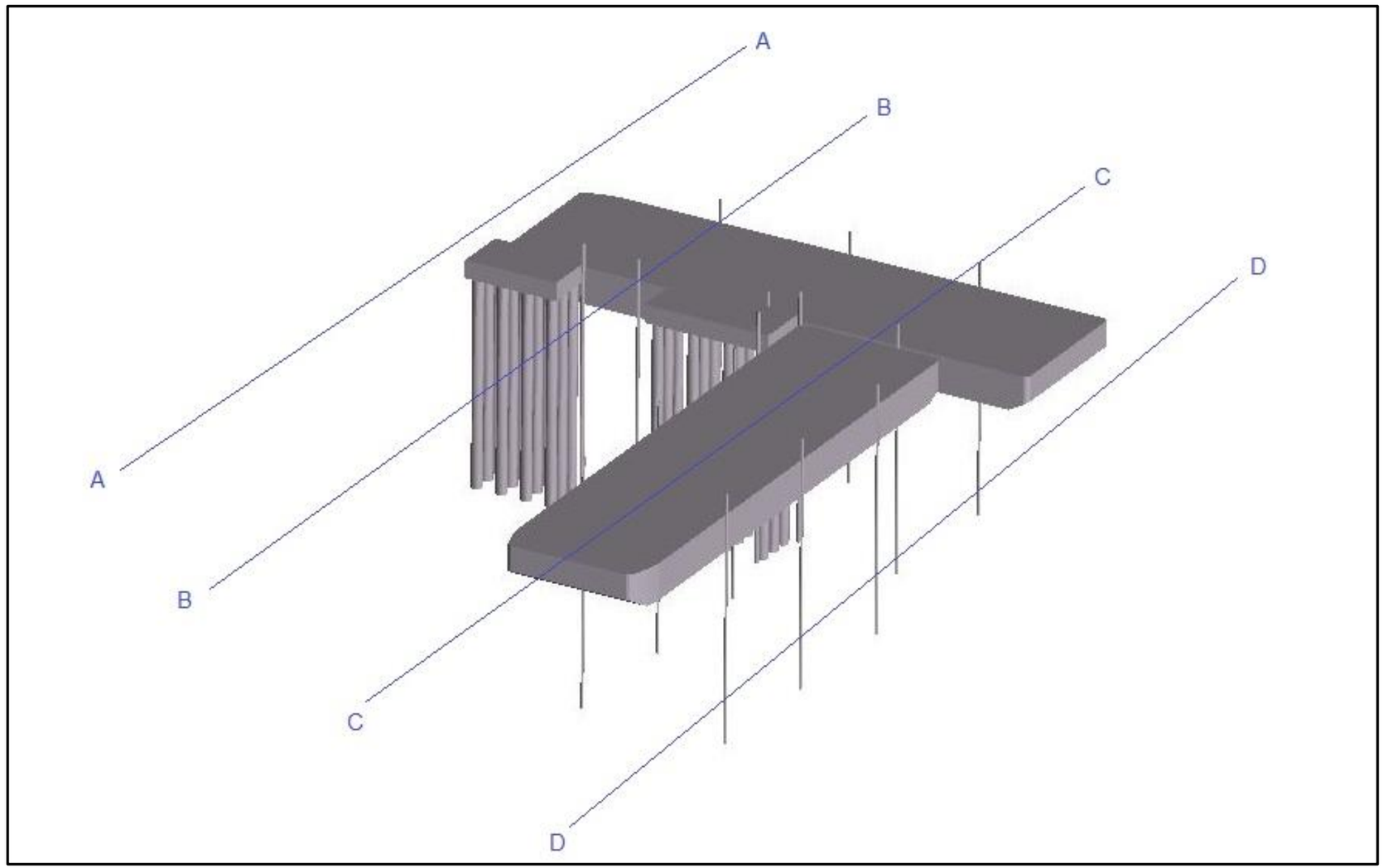


Figure A-1: Géométrie de l’option A et positions des vues en coupes supplémentaires

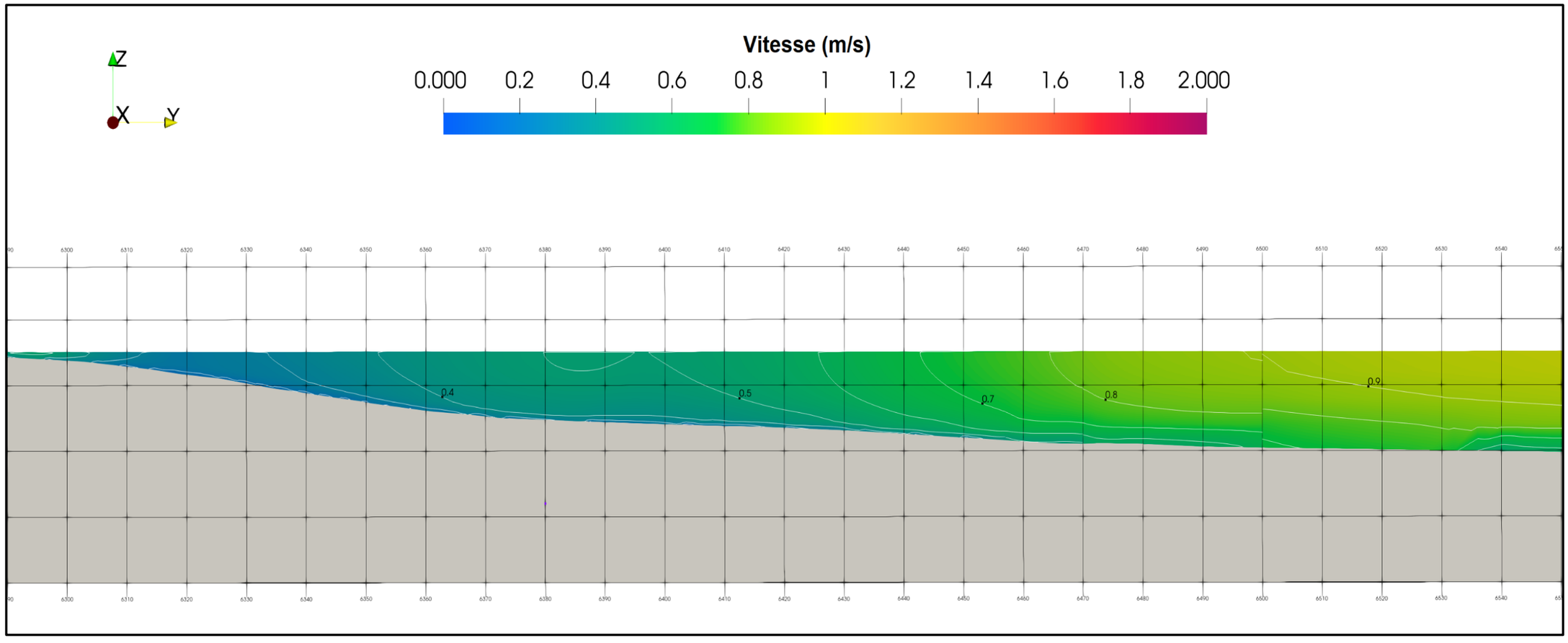


Figure A-2: Vitesses d'écoulement à la section A-A – Option A – Débit moyen

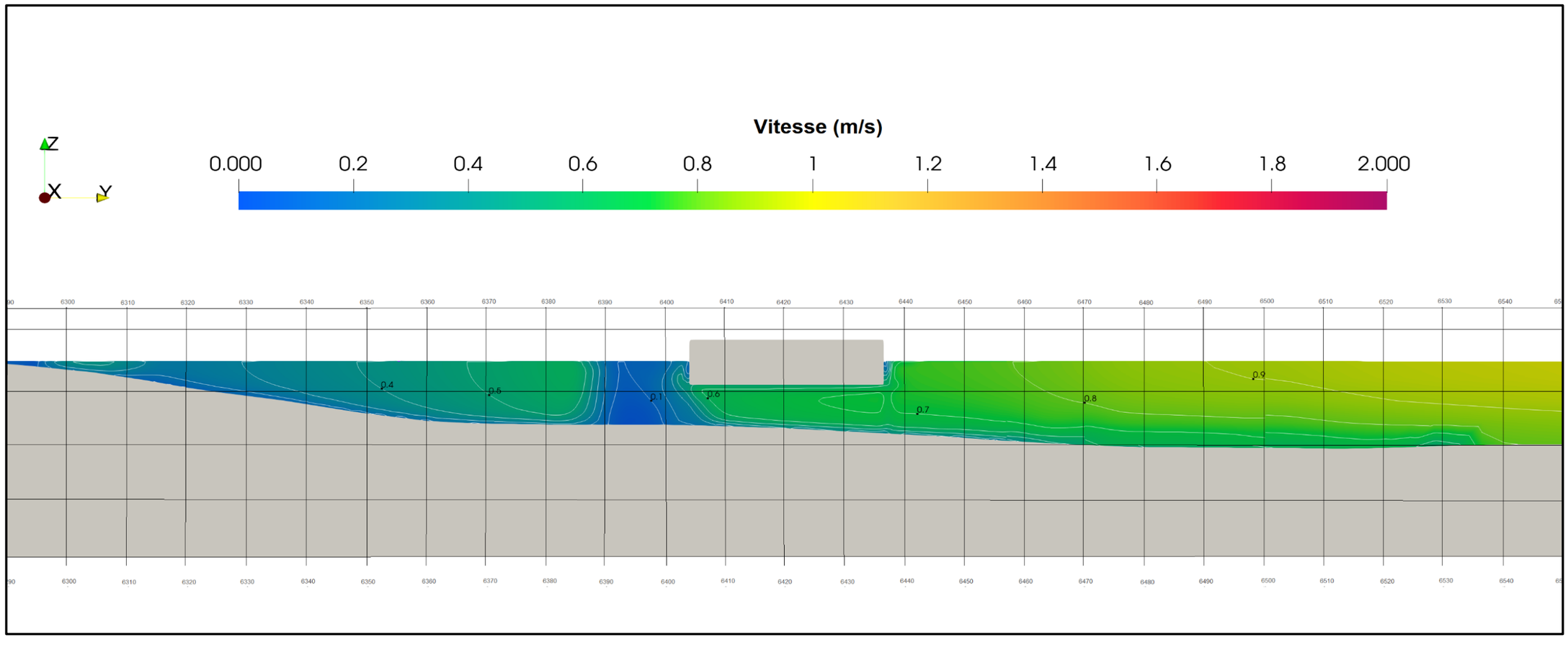


Figure A-3: Vitesses d'écoulement à la section B-B – Option A – Débit moyen

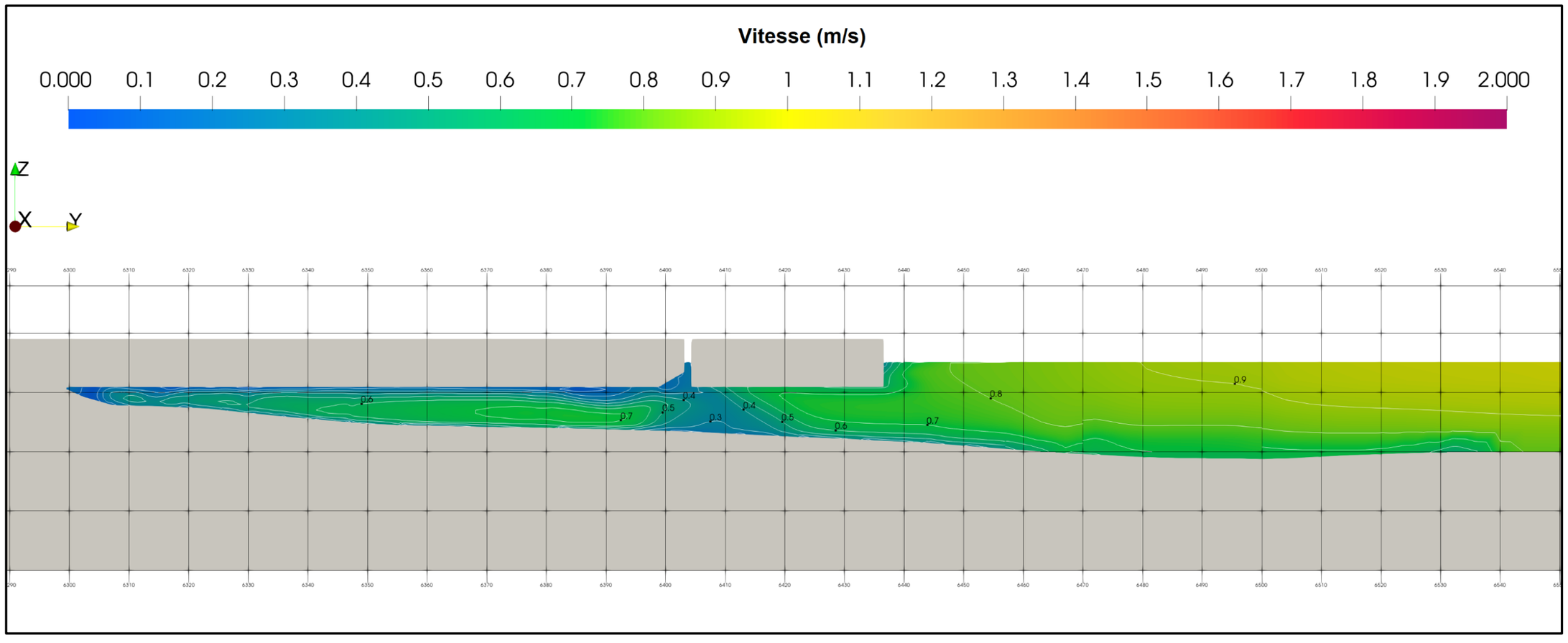


Figure A-4: Vitesses d'écoulement à la section C-C – Option A – Débit moyen

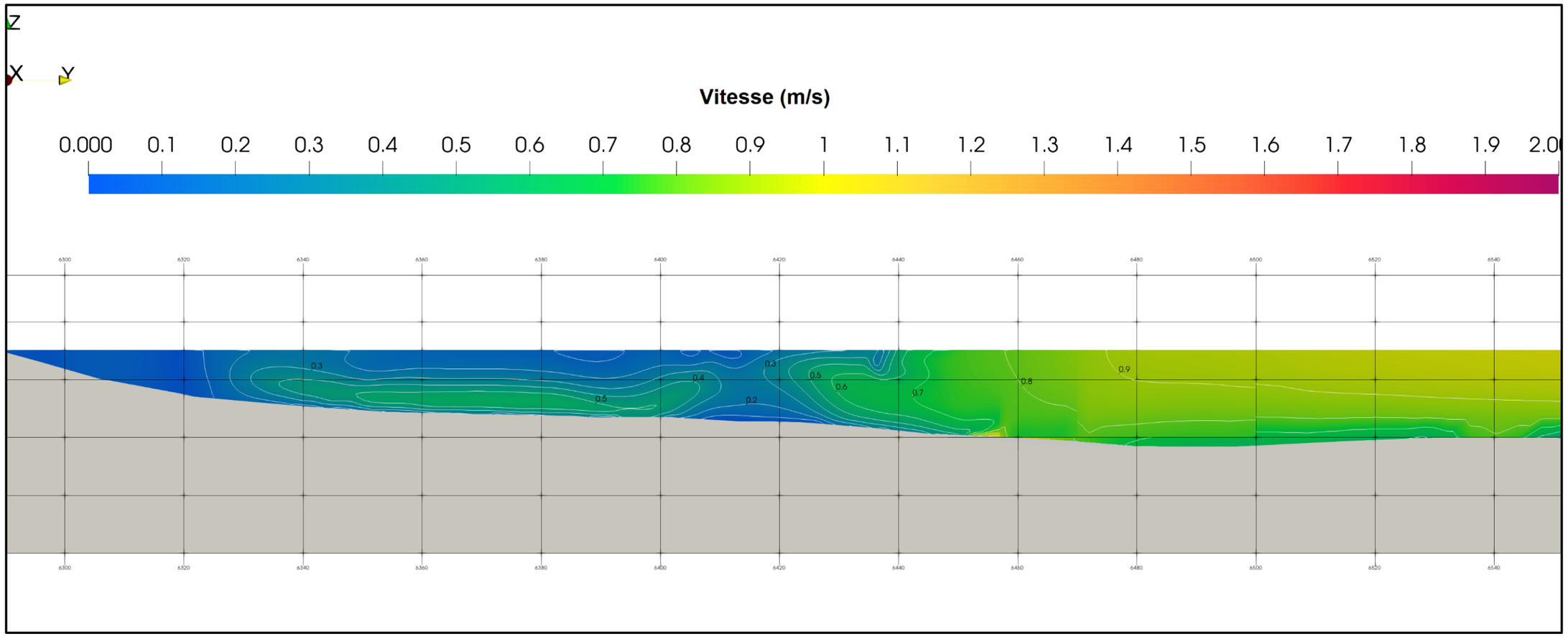


Figure A-5: Vitesses d'écoulement à la section D-D – Option A – Débit moyen

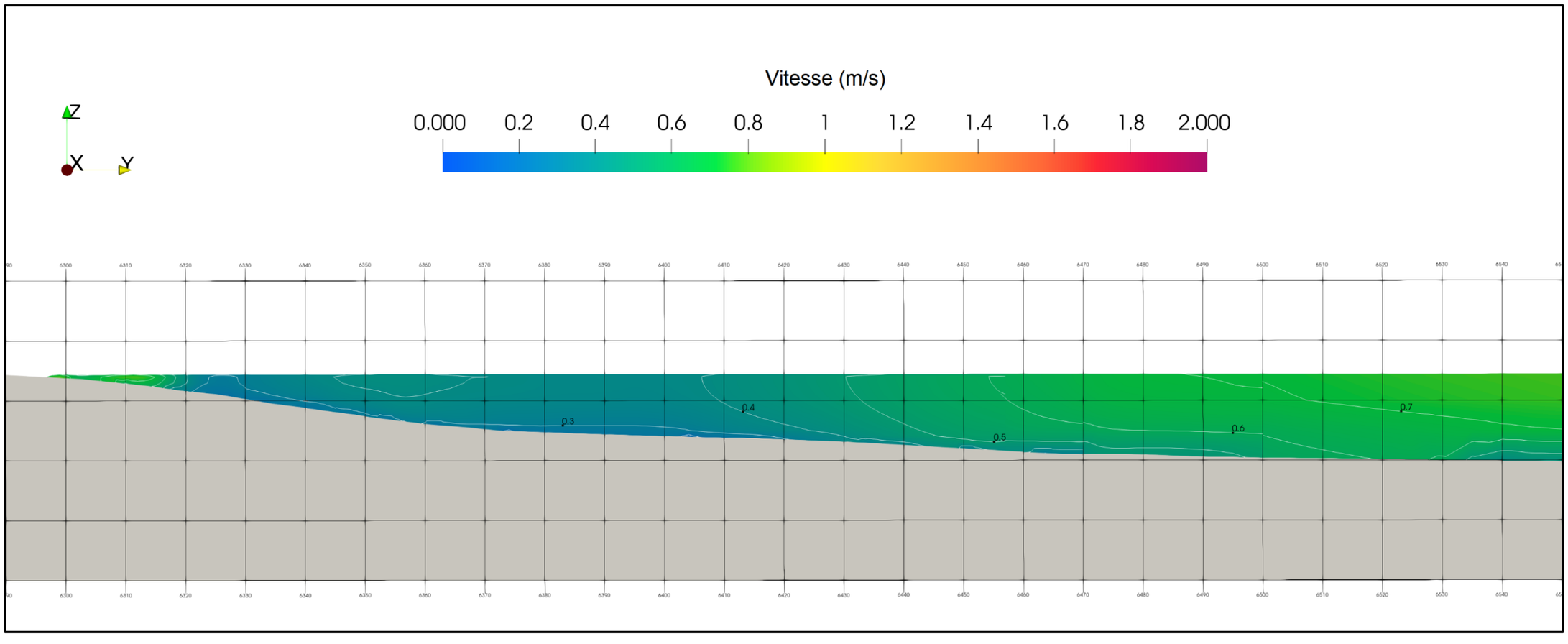


Figure A-6: Vitesses d'écoulement à la section A-A – Option A – Débit d'étiage

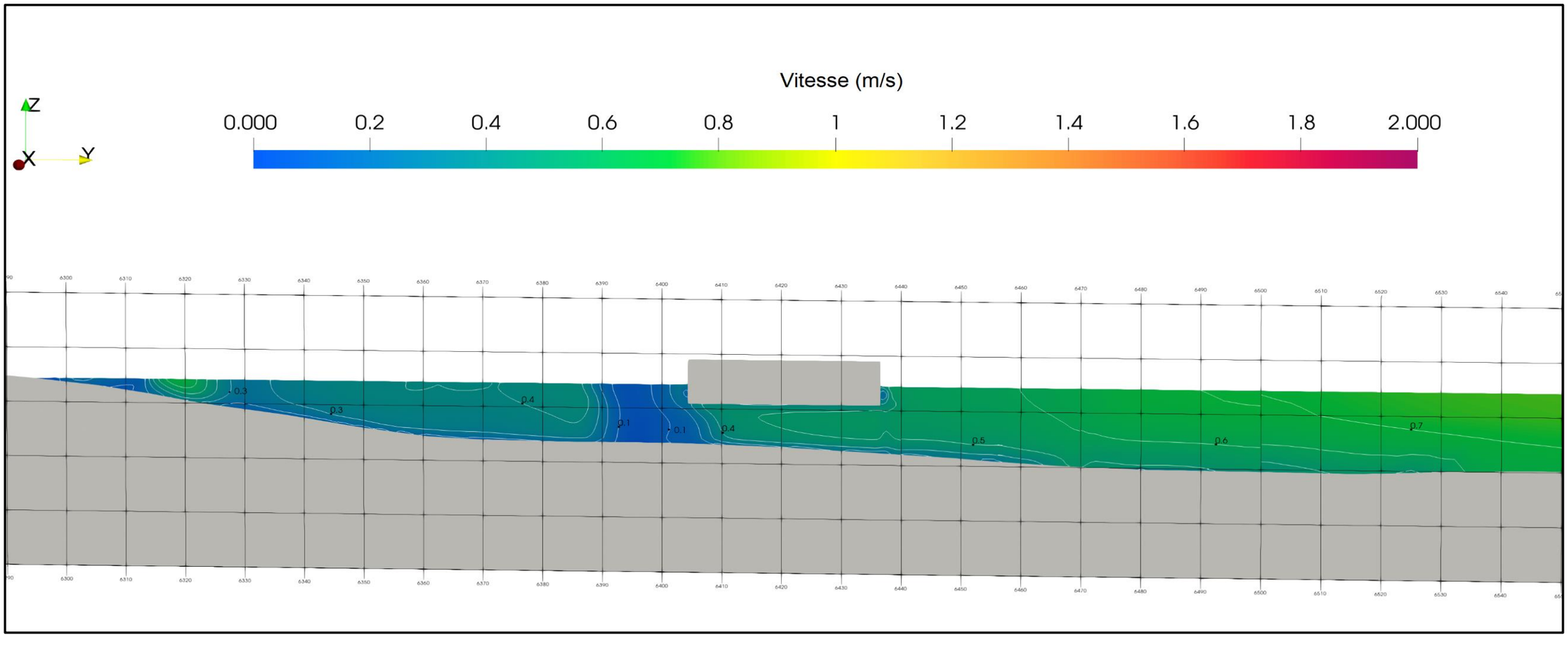


Figure A-7: Vitesses d'écoulement à la section B-B – Option A – Débit d'étiage

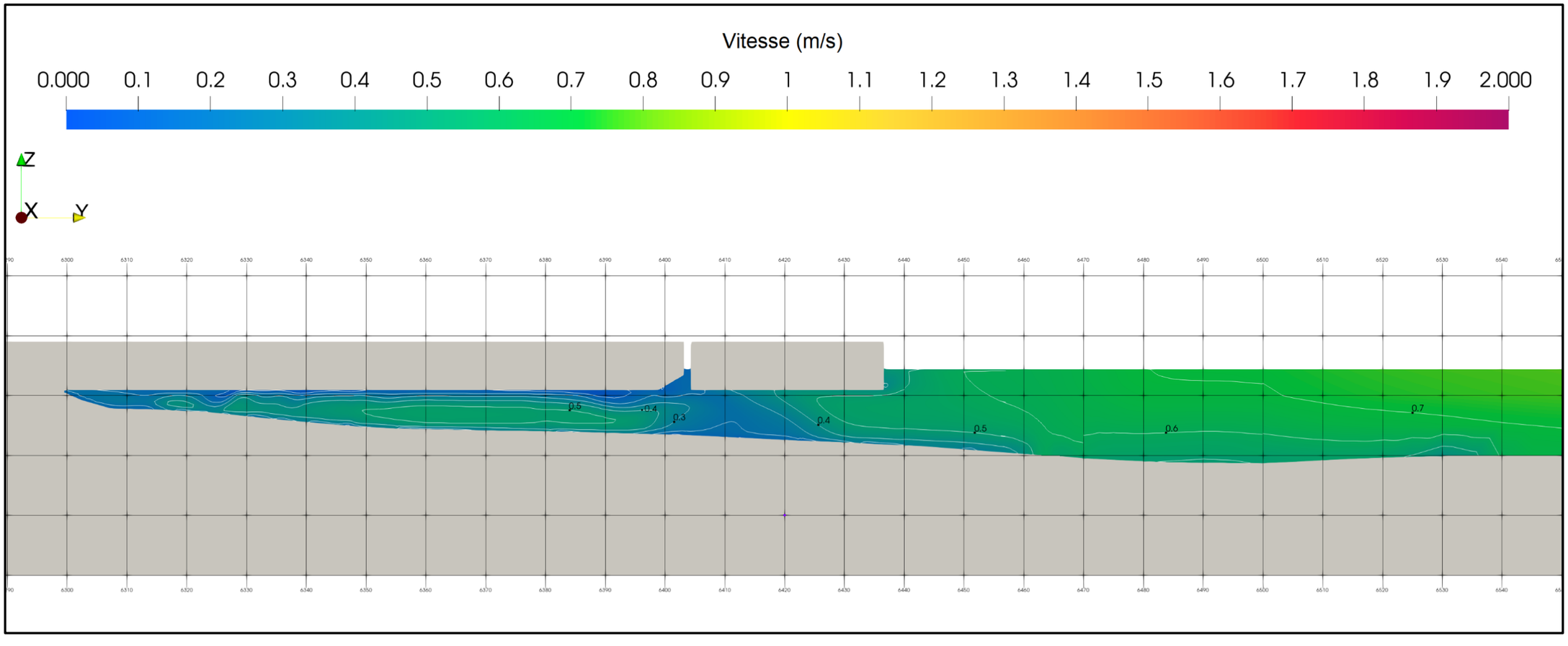


Figure A-8: Vitesses d'écoulement à la section C-C – Option A – Débit d'étiage

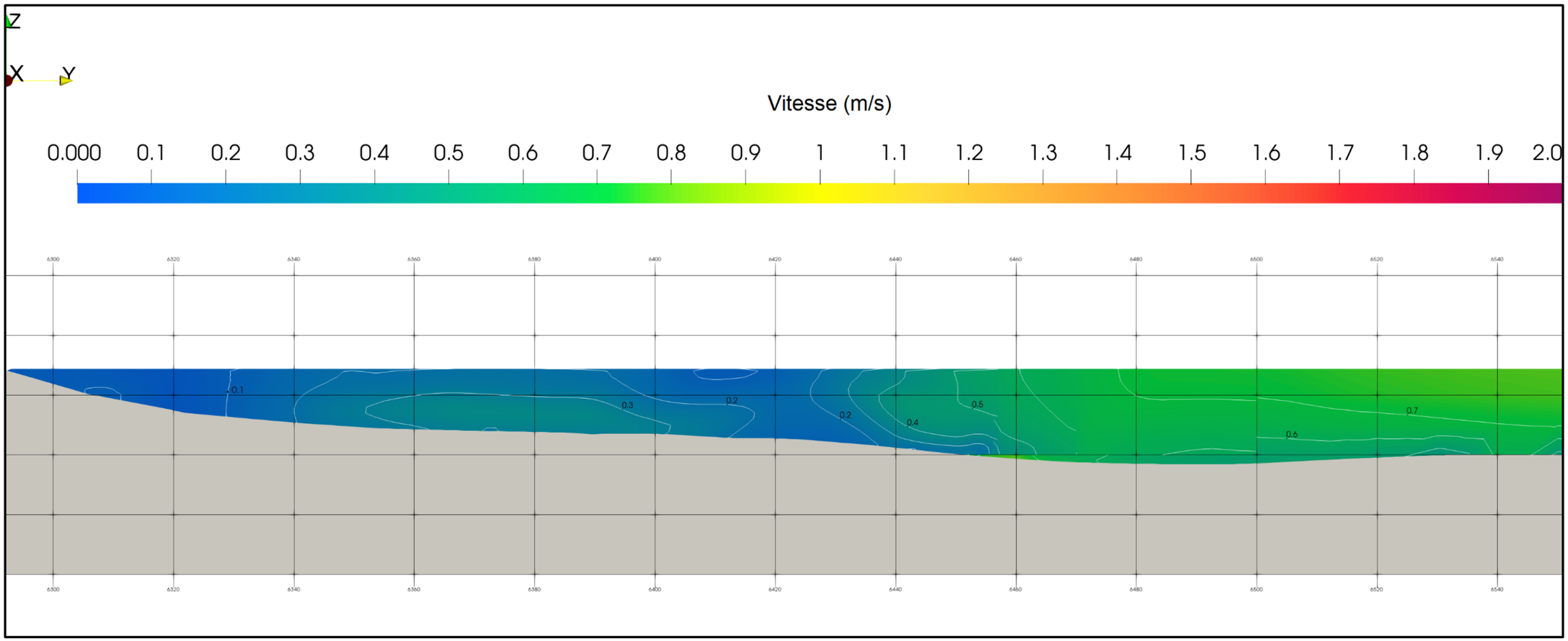


Figure A-9: Vitesses d'écoulement à la section D-D – Option A – Débit d'étiage

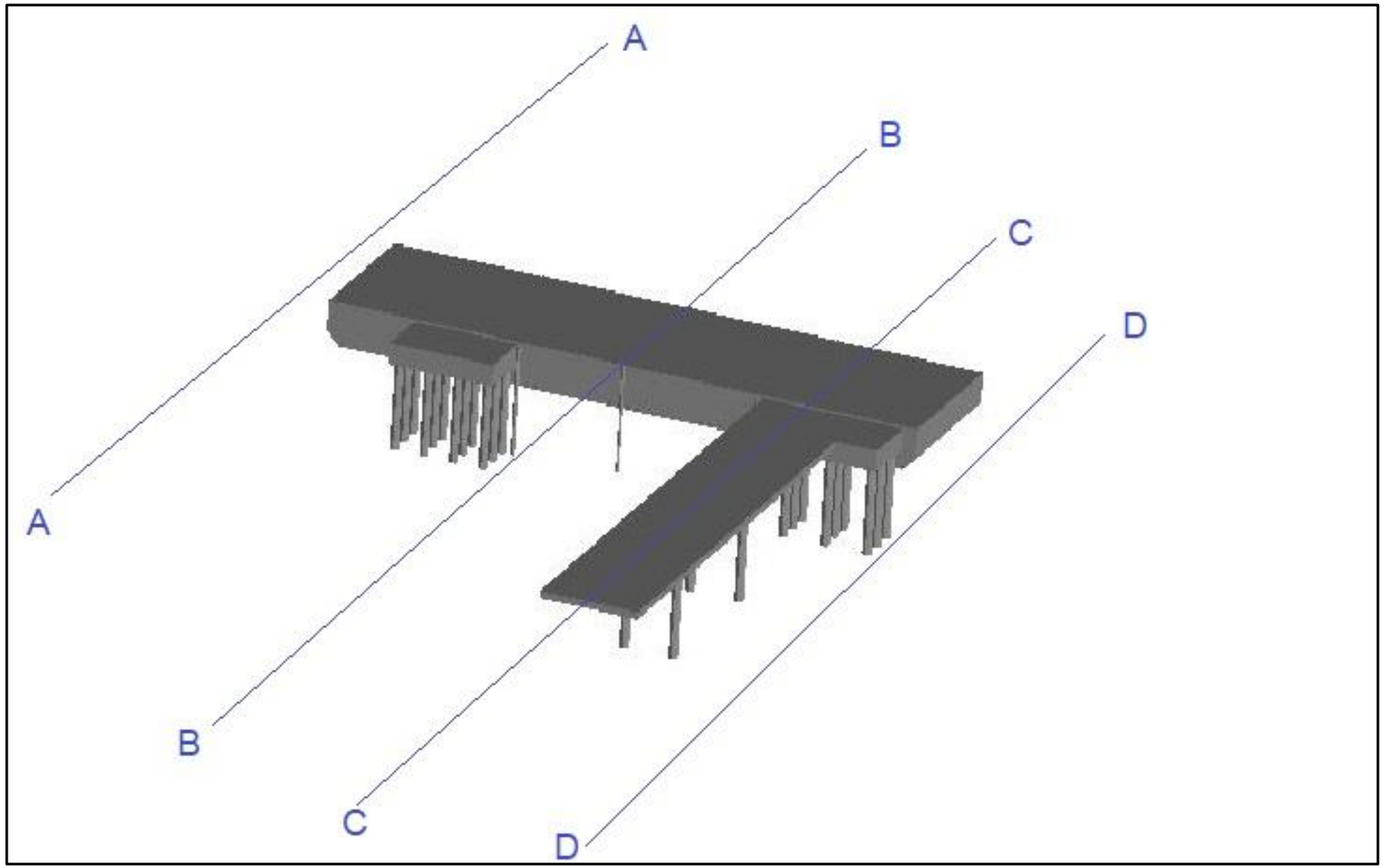


Figure A-10: Géométrie de l’option B et position des vues coupes supplémentaires

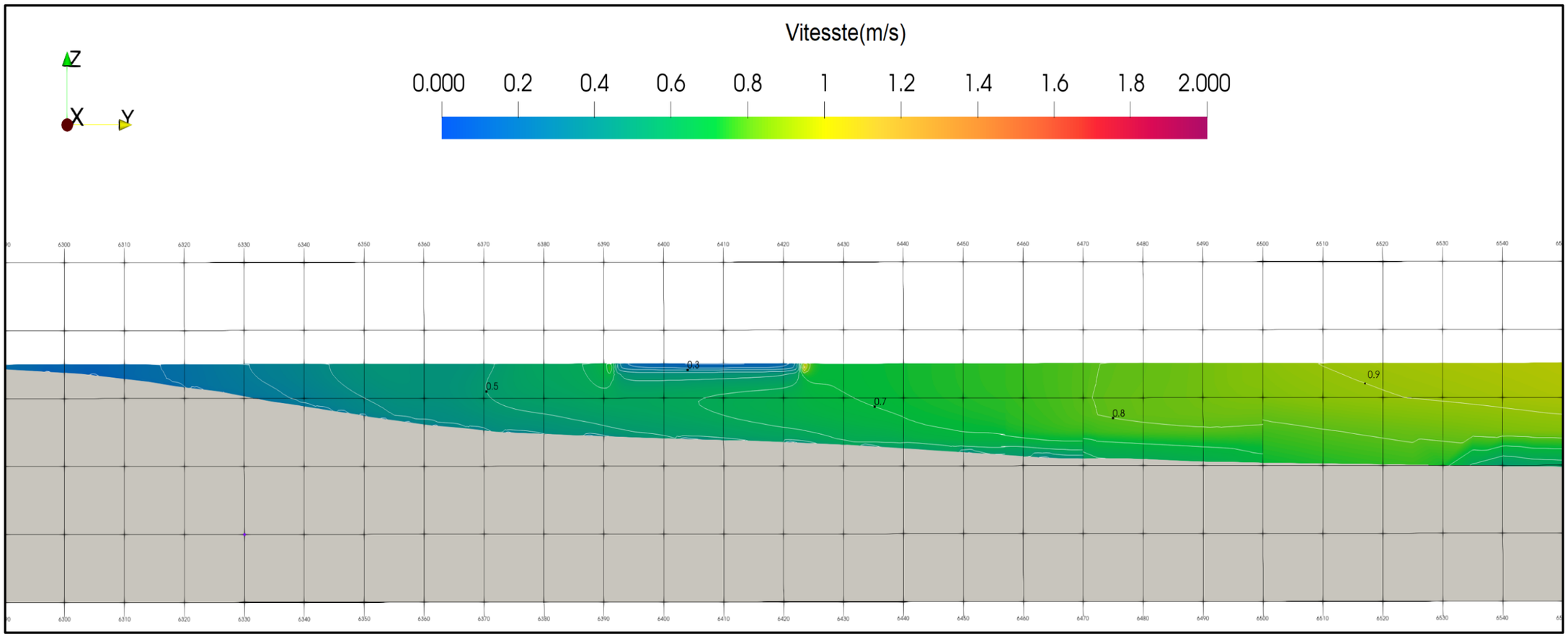


Figure A-11: Vitesses d'écoulement à la section A-A – Option B – Débit moyen

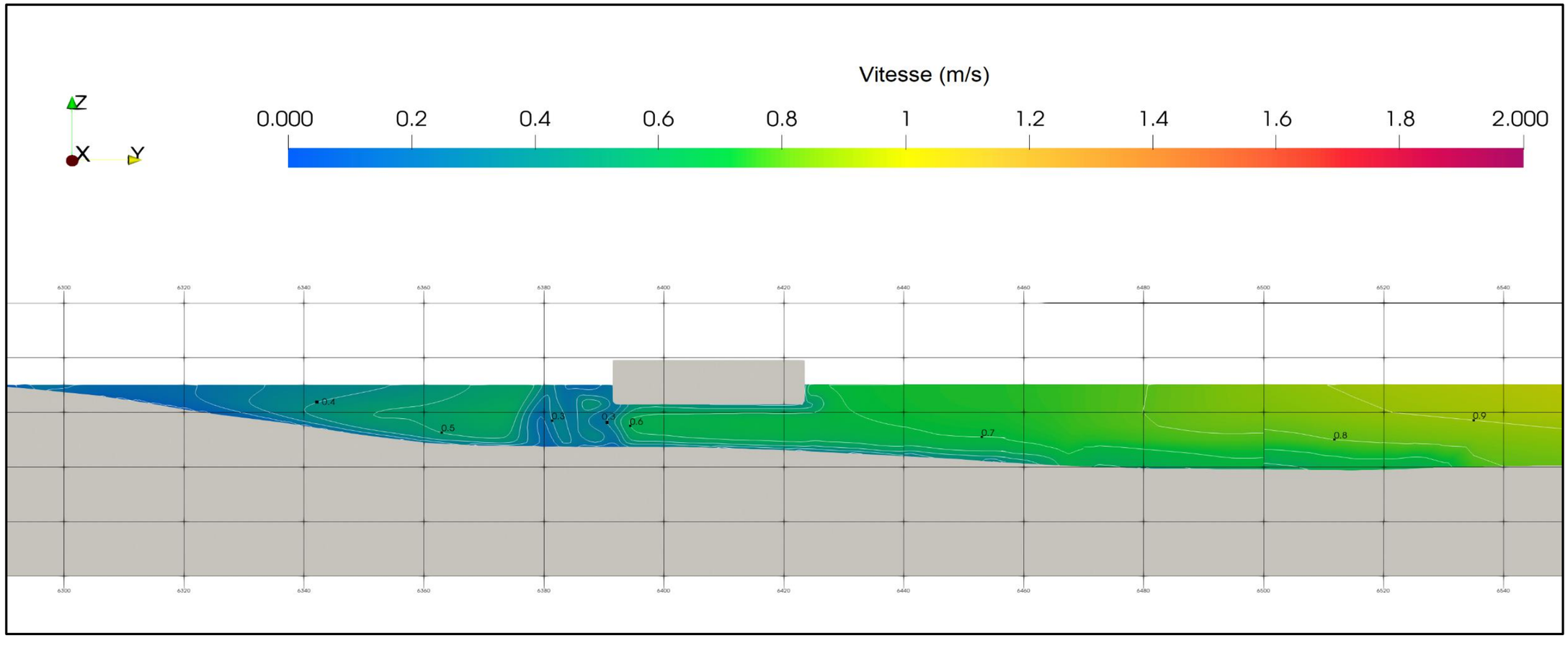


Figure A-12: Vitesses d'écoulement à la section B-B – Option B – Débit moyen

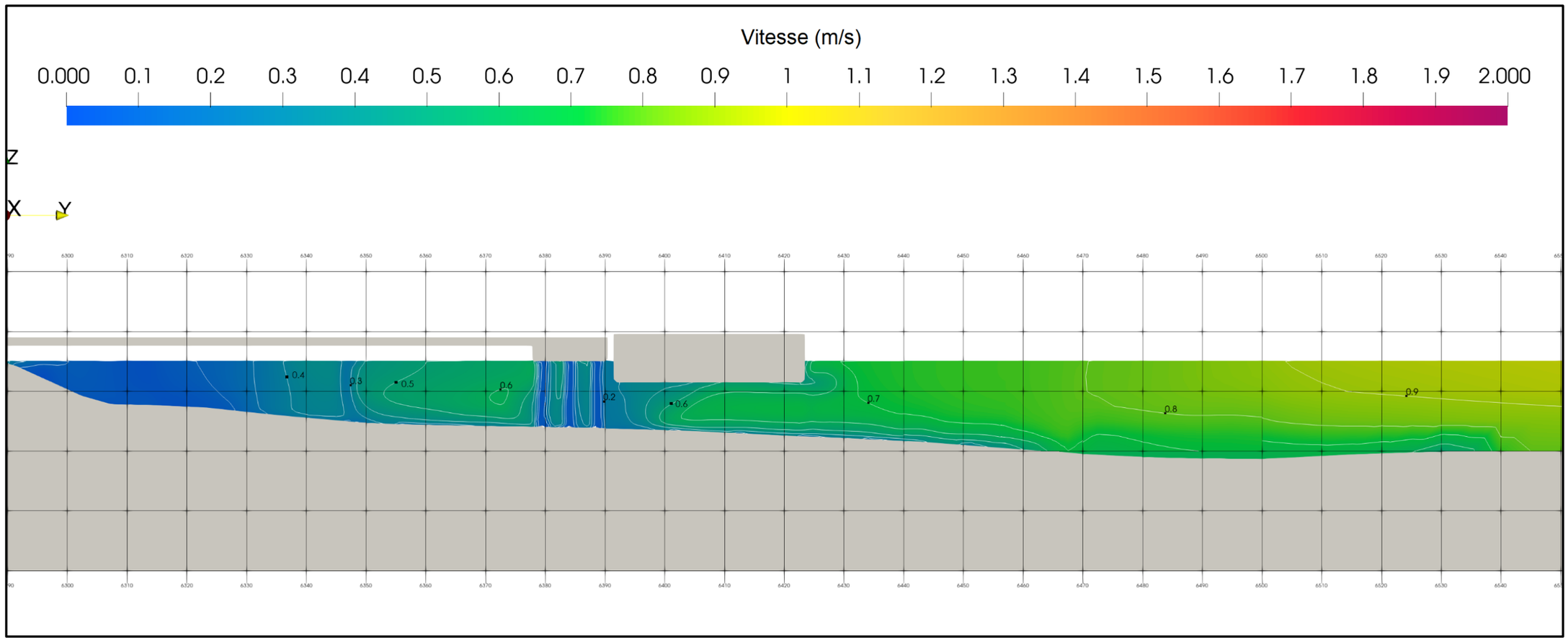


Figure A-13: Vitesses d'écoulement à la section C-C – Option B – Débit moyen

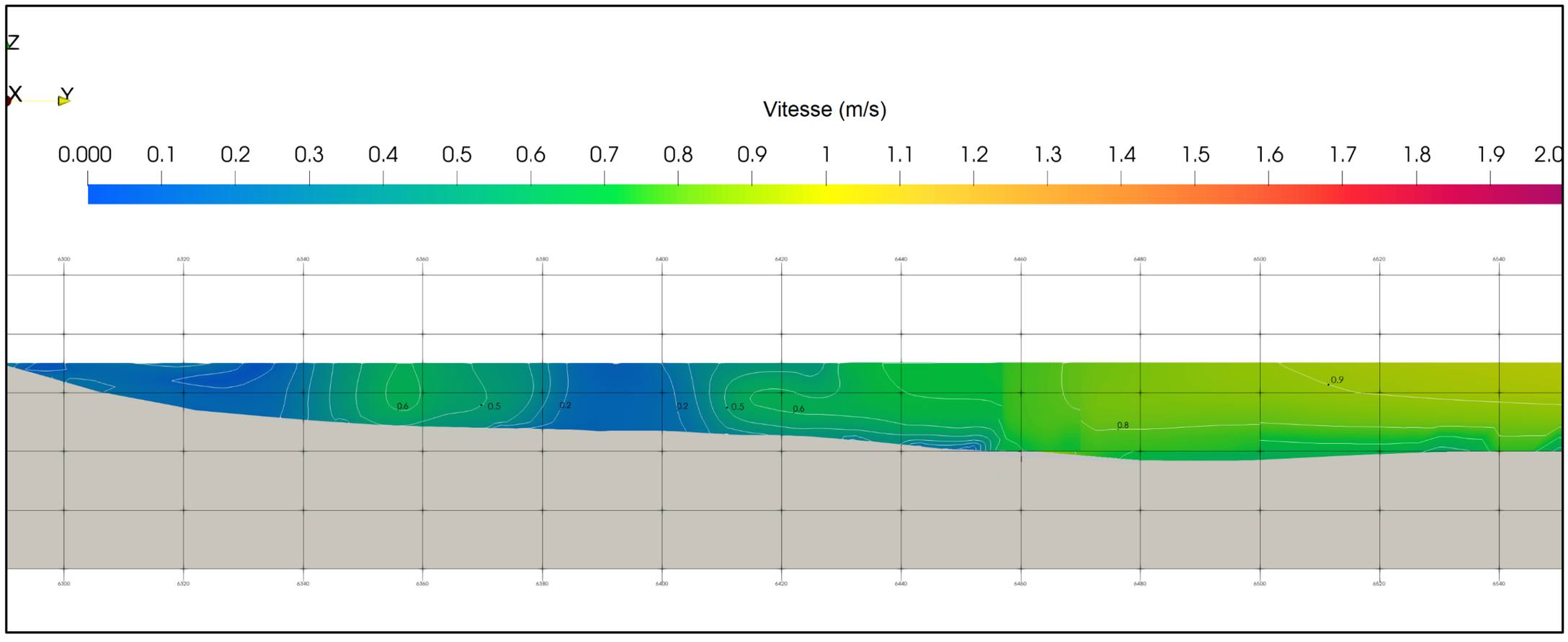


Figure A-14: Vitesses d'écoulement à la section D-D – Option B – Débit moyen

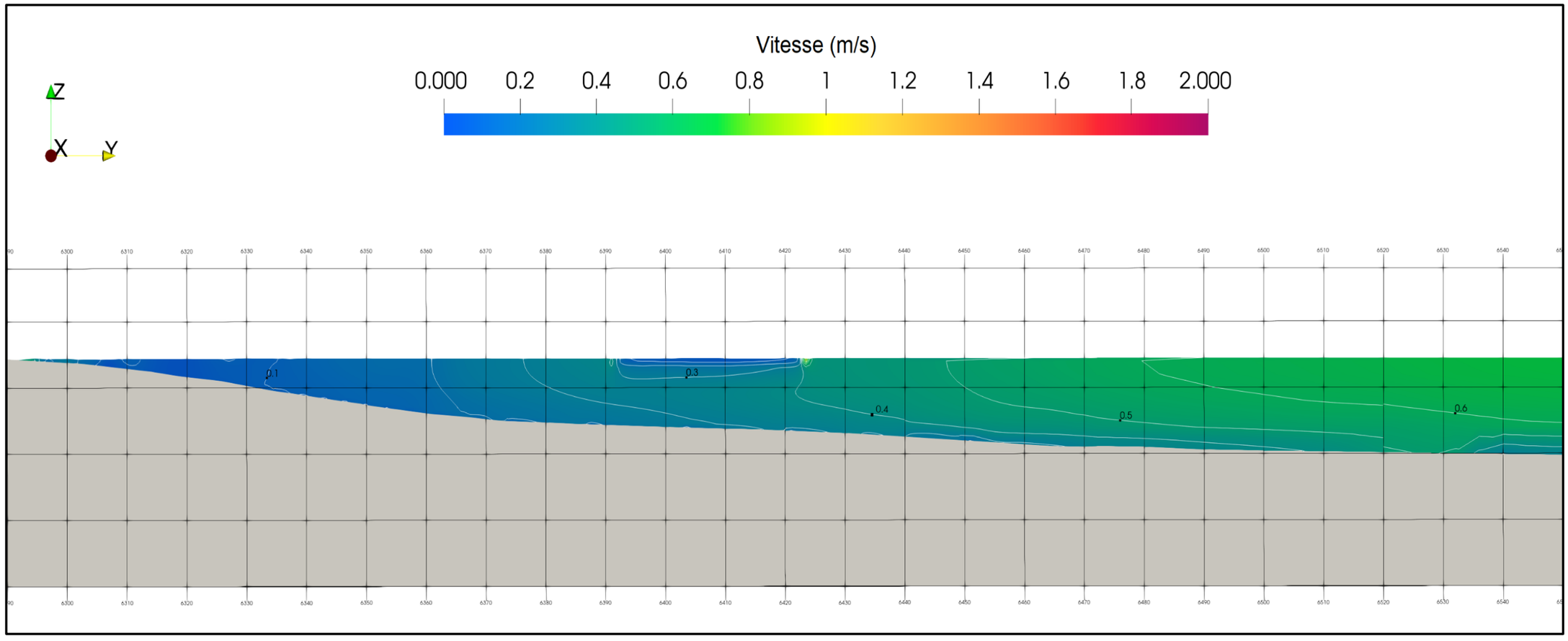


Figure A-15: Vitesses d'écoulement à la section A-A – Option B – Débit d’étiage

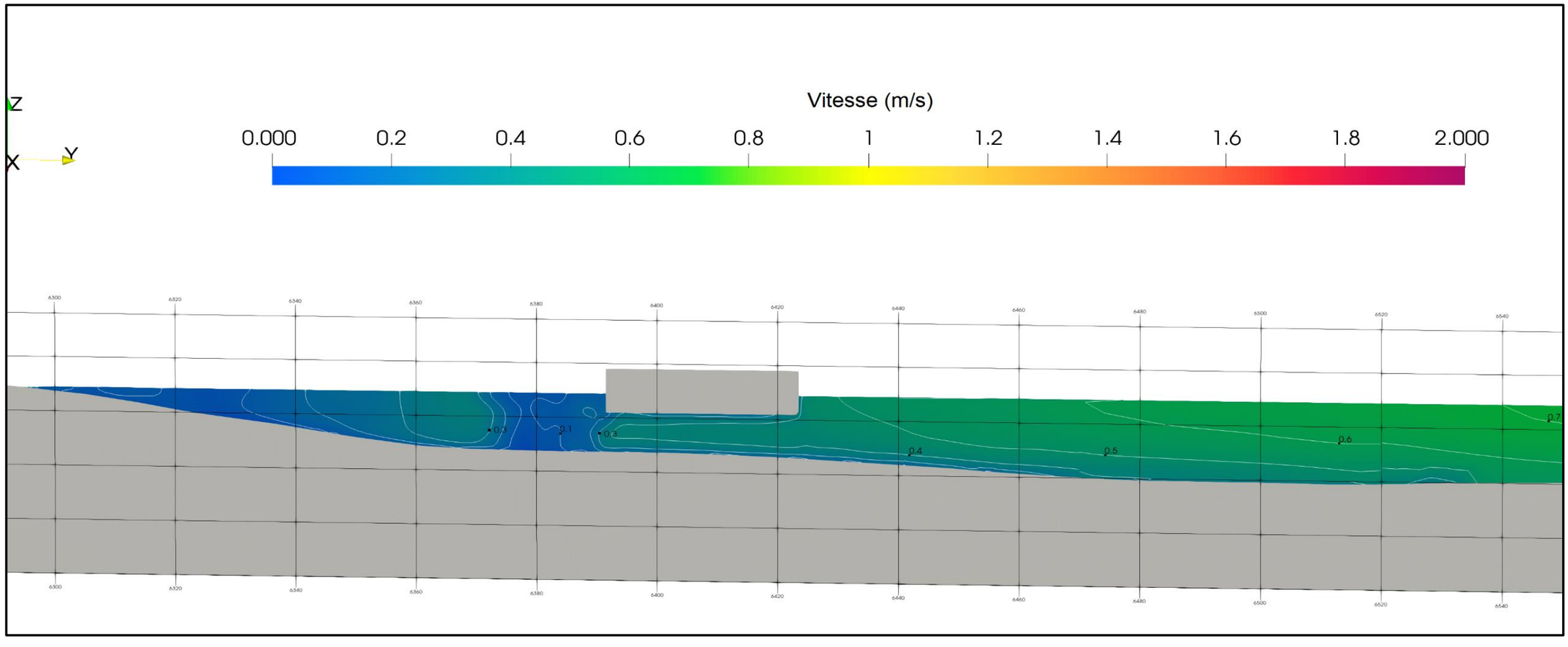


Figure A-16: Vitesses d'écoulement à la section B-B – Option B – Débit d'étiage

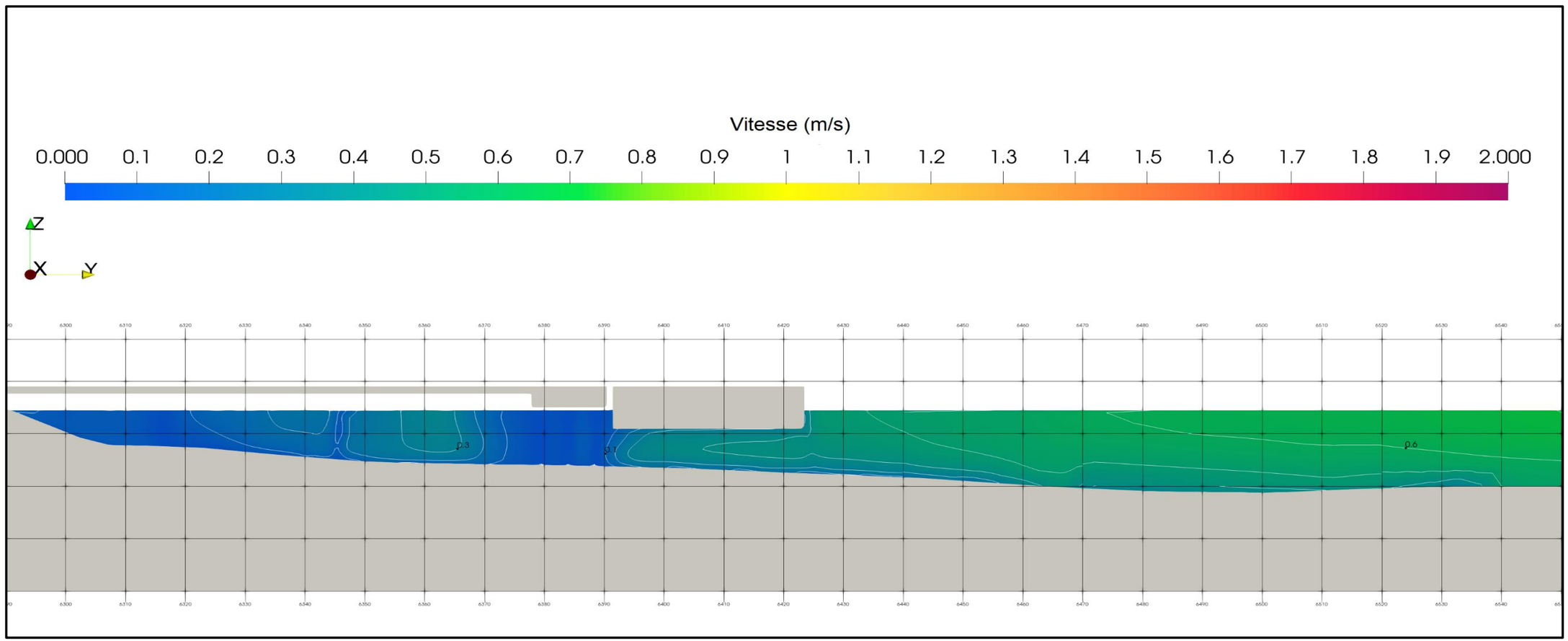


Figure A-17: Vitesses d'écoulement à la section C-C – Option B – Débit d'étiage

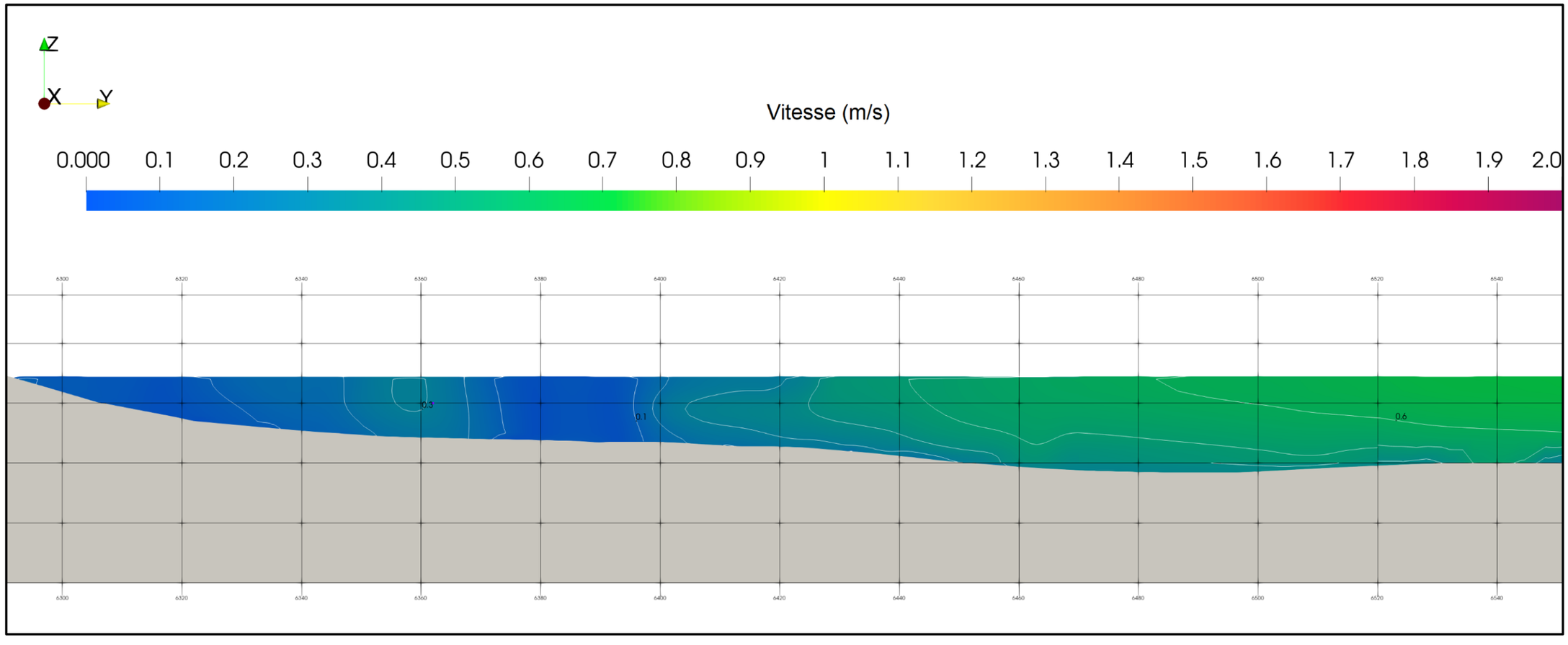


Figure A-18: Vitesses d'écoulement à la section D-D – Option B – Débit d'étiage

C

Annexe C
CIMA+, Rapport – Nouveau port Sorel – Construction d'un quai – Dynamique sédimentaire

Dynamique sédimentaire

Rapport final révisé

Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai

Rapport préparé pour QSL-Arrimage Québec



Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
Avril 2024 – Émission 01

Dynamique sédimentaire

Rapport final révisé

Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai

Rapport préparé pour QSL-Arrimage Québec

Préparé par :

Marie-Ève Lajeunesse, M. Sc. biogéo.
Professionnelle en environnement

Vérifié par :

Danielle Cloutier, Ph. D. océanographie
Chargée de projet

1145, boulevard Lebourgneuf, bureau 300
Québec QC G2K 2K8

Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
Avril 2024 – Émission 01

Équipe de réalisation

CIMA+ s.e.n.c.

Danielle Cloutier, Ph. D. océanographie	Chargée de projet
Marie-Ève Lajeunesse, M. Sc. biogéo.	Rédaction
Michel Germain, M. Sc. eau	Géomorphologue
Joëlle Renauld	Graphiste, adjointe aux projets

Registre des émissions			
N° d'émission	**Révisé par**	**Date**	**Description de l'émission**
00	DC	2024-03-13	Version finale
01	DC	2024-04-23	Version finale révisée

Propriété et confidentialité

À moins d'entente entre CIMA+ s.e.n.c. et son client à l'effet contraire, tous les documents, qu'ils soient imprimés ou électroniques, ainsi que tous les droits de propriété intellectuelle qui y sont contenus, appartiennent exclusivement à CIMA+ s.e.n.c., laquelle réserve tous ses droits d'auteur. Toute utilisation ou reproduction sous quelque forme que ce soit, même partielle, est strictement interdite à moins d'obtenir l'autorisation de CIMA+ s.e.n.c.

Table des matières

1. Mise en contexte 1
1.1 Objectifs 1
2. Méthodologie 2
3. Zone d'étude 3
4. Caractérisation de la berge 4
4.1 Nature du substrat 4
5. Régime sédimentaire 9
5.1 Transport sédimentaire et source de sédiments 9
5.2 Processus d'érosion 9
5.2.1 Facteurs géomorphologiques 9
5.2.2 Facteurs hydrodynamiques 10
5.2.3 Facteurs climatiques et météorologiques 11
5.2.4 Facteurs anthropiques 13
5.3 Effets de la présence du quai actuel et futur 13
6. Conclusions 15
7. Références 16

Liste des tableaux

Tableau 5.1 IQBP pour la station 00000086 du fleuve Saint-Laurent en 2020 9
Tableau 5.2 Températures annuelles moyennes et précipitations totales pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy entre 1991 et 2020 12

Liste des figures

Figure 3.1 Localisation de la zone d'étude 3
Figure 4.1 Type de substrat dans la zone d'étude 5
Figure 5.1 Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure) 10
Figure 5.2 Variations du niveau d'eau quotidien pour l'année 2021 à la station hydrométrique 02OB011 du Fleuve Saint-Laurent, à Lanoraie, à 5 km en amont du secteur d'étude 11
Figure 5.3 Différentiel de vitesse dans la zone du quai – scénario actuel versus projeté en crue 2 ans 14

Liste des cartes

Carte 1 Caractérisation de la rive du fleuve Saint-Laurent dans la zone d'étude 6
Carte 2 Caractérisation des types de structures artificielles au niveau de la berge du secteur d'étude 7
Carte 3 Évolution morphologique de la rive dans le secteur d'étude, entre 1964 et 2018 8

Liste des annexes

Annexe A Stations échantillonnées par AECOM (2016)

1. Mise en contexte

L'entreprise QSL-Arrimage Québec a confié à CIMA+ le mandat de conception d'un futur quai de transbordement sur l'ancien site d'une centrale thermique d'Hydro-Québec en bordure du fleuve Saint-Laurent à Sorel-Tracy. Cette nouvelle infrastructure sera arrimée à la structure des fondations de l'une des deux anciennes stations de pompage de la centrale thermique, soit celle située du côté amont.

Dans ce contexte, CIMA+ a été mandatée pour documenter les composantes du milieu physique portant sur le régime sédimentaire dans la zone d'étude. Ces informations permettront d'évaluer les impacts du projet sur le milieu naturel. Plus précisément, le rapport présente :

+ Le régime sédimentaire (source, transport, zones d'accumulation des sédiments) et les lieux potentiels de dépôt de sédiments en milieu hydrique;
+ Les processus d'érosion (vagues, patrons d'écoulement, glaces, gel-dégel, dessiccation-hydratation, variations du niveau d'eau, drainage, courants, etc.);
+ La prise en compte de la dynamique du cours d'eau ou du plan d'eau ou de la dynamique côtière.

1.1 Objectifs

Le principal objectif de la présente étude est de présenter les données et les informations visant à documenter les composantes du milieu physique dans la zone d'étude. Ces informations permettront d'évaluer les impacts du projet sur le milieu naturel dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de construction de quai, confiée à la firme AtkinsRéalis.

2. Méthodologie

Les informations présentées proviennent principalement d'une revue de la littérature disponible. Des analyses cartographiques ont été réalisées à l'aide de photographies aériennes récupérées à partir de l'analyse de photographies aériennes historiques obtenues sur la plateforme de la boutique Geoselec (Geoselec, 2024) et à partir de l'imagerie aéroportée forestière historique du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles pour les années 2009 et 2018 (MERN, 2019).

La méthodologie sommaire employée pour répondre aux objectifs spécifiques est la suivante :

+ La revue de la documentation disponible;
+ Le traitement des données disponibles;
+ L'analyse des photographies aériennes de la zone d'étude.

3. Zone d'étude

La zone d'étude se situe dans le tronçon fluvial du fleuve Saint-Laurent entre le secteur de l'île Saint-Ours à l'amont et de la ville de Sorel-Tracy à l'aval, soit environ 18 km (figure 3.1). Le tronçon fluvial provient des Grands Lacs et se termine à l'exutoire du lac Saint-Pierre; il est caractérisé par la présence de lacs fluviaux peu profonds, tels que les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre, et de plusieurs îles constituées de dépôts fins entre l'île de Montréal et la tête du lac Saint-Pierre. Le tronçon fluvial draine les eaux des rivières des Outaouais, Châteauguay, Richelieu, Saint-François et Nicolet; leurs eaux longent les rives nord et sud sans mélange important jusqu'à Portneuf.

La zone d'étude est caractérisée par la présence d'eau douce; le courant est unidirectionnel et sans aucune influence de la marée. La largeur du fleuve, dans la zone d'étude, est d'environ 1,2 km et l'écoulement est en direction du nord-est, avant de se séparer en plusieurs chenaux entourant l'archipel du lac Saint-Pierre.



Figure 3.1 Localisation de la zone d'étude

4. Caractérisation de la berge

Le type de berge dans la zone d'étude a été documenté à l'aide de l'étude de Bernier et coll. (2020) qui porte sur la caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent. Les principaux éléments morphologiques du type de berge ont été cartographiés (carte 1) et sont décrits ci-dessous. De manière générale, les berges de la zone d'étude sont constituées de remblais artificialisés stables ou végétalisés et formées d'enrochements (Bernier et coll., 2020).

Une portion de la berge dans le secteur ouest du terminal est meuble, non artificialisée, stable et végétalisée; on note la présence d'un milieu humide situé au pied du talus. Ce dernier agit comme une barrière naturelle et une protection de la rive contre l'érosion (carte 2).

La partie aval de la zone d'étude, à l'est du quai Kildair, comprend une plage de dépôts meubles (sables) au pied du talus muni d'un mur de protection. L'exposition de la plage aux vents du nord entretient une cellule hydrosédimentaire en équilibre avec les conditions hydrodynamiques locales.

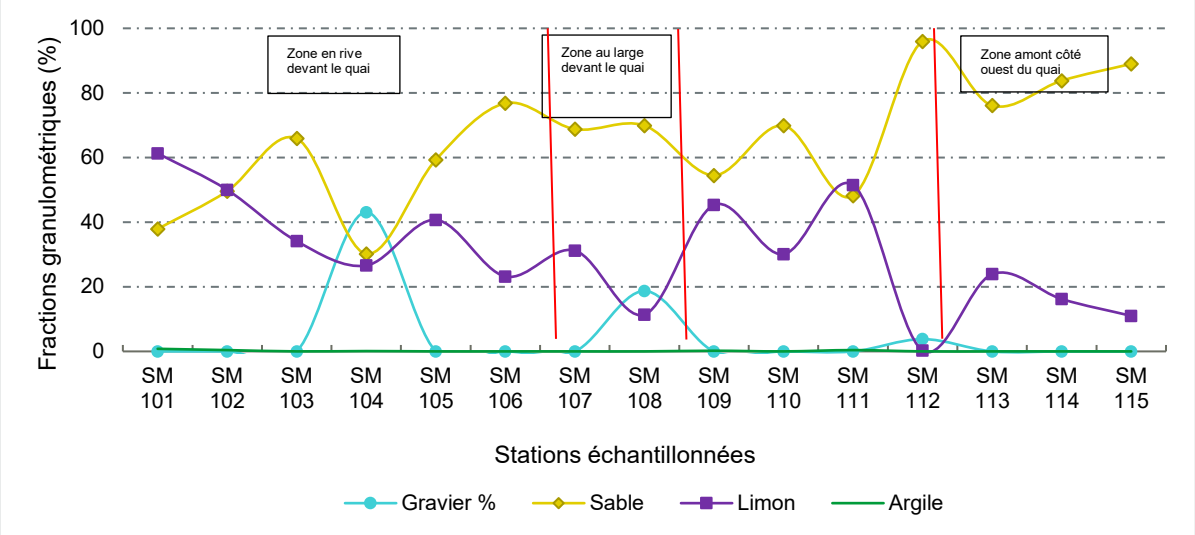
L'évolution du trait de côte a été analysée avec des photographies aériennes datant de 1964, 2009 et 2018 (carte 3). L'analyse des orthophotographies de 1964 et 2018 révèle que la rive est stable dans toute la zone d'étude, sans formes de régression ou d'accumulation notables.

De manière générale, la rive de la zone d'étude est en équilibre avec les conditions hydrodynamiques locales depuis plusieurs années. La présence du marais à l'est du quai contribue à la stabilité côtière de ce secteur. Par ailleurs, la végétation couvre plus de 75 % de la zone d'étude et aucune indication d'érosion n'est apparente. L'état d'artificialité de la berge dans ce secteur du fleuve est bon, c'est à dire que plus de 75 % des rives sont naturelles (Bernier et coll., 2020).

4.1 Nature du substrat

Le substrat de la zone d'étude a été caractérisé par AECOM en 2016 à différentes stations et à des profondeurs inférieures à 10 m. La zone caractérisée est présentée à l'annexe A et la répartition des classes granulométriques est présentée à la figure 4.1. La zone échantillonnée présente une granulométrie dominée par les sables. Les sédiments en rive comprennent principalement des sables fins (allant de 30 à 90 %), la plus grande proportion de sable étant du côté aval du futur quai. Les limons sont présents en plus grande proportion dans les sédiments de la zone amont et devant le quai (50 à 60 %) et diminuent vers l'est (zone aval du quai). Cette distribution suggère des conditions hydrodynamiques locales favorisant l'accumulation de sable du côté aval du futur quai.

Une faible proportion du substrat est marquée par la présence de gravier en rive devant le quai (station SM 104), pour lequel le gravier compte pour 43,1 % des sédiments prélevés. Leur présence est possiblement due aux activités anthropiques (remblais, aménagement, etc.), notamment en bordure du fleuve. Une campagne de forage, réalisée en août 2021 à l'emplacement du nouveau quai, a permis de caractériser la couche de surface qui est décrite comme étant majoritairement constituée de silt ou de silt sableux, avec une couche de 0,8 m d'épaisseur de gravier dans un des forages.



Source : AECOM, 2016

Figure 4.1 Type de substrat dans la zone d'étude



Type de berge

- Berge meuble non-artificialisée stable ou végétalisée
- Berge meuble haute non-artificialisée stable ou végétalisée
- Berge remblayée artificialisée stable ou végétalisée
- Berge remblayée artificialisée avec accumulation sédimentaire

Caractérisation des traits complémentaires

- Raccord entre des segments éloignés
- Milieu humide
- Sommet de l'ouvrage à l'arrière
- Sommet du talus à l'arrière



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 1

Caractérisation de la rive du fleuve Saint-Laurent dans la zone d'étude

Q213012A

mars 2024

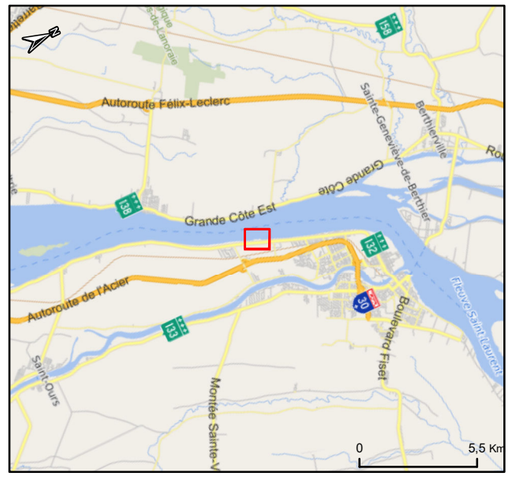
Échelle: 1:5 000
Projection: NAD 1983 SCRS MTM zone 8
Fichier: Q203012A Localisation.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024) et MRNF (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+



Type de structure artificielle au niveau de la berge

- Enrochement
- Mur de protection
- Remblai sans protection



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 2

Caractérisation des types de structures artificielles au niveau de la berge du secteur d'étude

Q213012A

mars 2024

Échelle: 1:3 500
Projection: NAD 1983 SCRS MTM zone 8
Fichier: Carte 3_2024-03-11.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024) et MERN (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+



Localisation

Ligne des hautes eaux (2021)

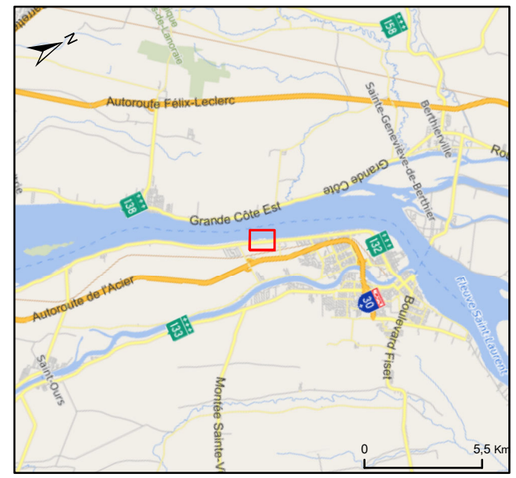
Ligne des hautes eaux (1990)

Évolution du trait de côte par l'analyse de photographies historiques

1964

2009

2018



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 3

Évolution morphologique de la rive dans le secteur d'étude, entre 1964 et 2018

Q213012A

mars 2024

Échelle: 1:3 500
Projection: NAD 1983 CSRS MTM 8
Fichier: Q203012A Évolution.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024), Geoselec (2024) et MERN (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+

5. Régime sédimentaire

5.1 Transport sédimentaire et source de sédiments

La charge sédimentaire qui transite dans le tronçon fluvial provient à environ 15 % du canal de Beauharnois, 40 % entre Montréal et Les Grèves et 45 % entre Port Saint-François et Portneuf (Bernier et coll., 2020). Les tributaires contribuent aussi, mais dans une proportion moindre, et fourniraient 32 % des sédiments en suspension. Le principal tributaire situé à proximité de la zone d'étude est la rivière Richelieu, à environ 8 km en aval. Les eaux turbides de la rivière Richelieu s'écoulent vers le nord-est en longeant la rive sud du fleuve et, par conséquent, n'influencent pas la dynamique sédimentaire de la zone d'étude.

La source principale de sédiments en suspension dans le tronçon fluvial proviendrait de l'érosion des berges et du lit du fleuve (Rondeau et coll., 2000, dans Bernier et coll., 2020). Les processus d'érosion sont abordés à la section 5.2.

Les eaux qui caractérisent la zone d'étude sont de qualité satisfaisante avec un indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) qui classait, en 2021, la région d'étude avec un IQBP médian de 74/100 (MELCCFP, 2022). Il est toutefois à noter que les eaux du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de la zone d'étude, sont relativement claires avec des valeurs de matières en suspension (MES) et de turbidité moyennes de 6 mg/L et 4,2 mg/L respectivement (tableau 5.1). Les eaux plus turbides de la rivière Richelieu en aval entraînent une détérioration de la qualité de l'eau dans ce secteur et une augmentation des MES pouvant atteindre 14,5 mg/L.

Tableau 5.1 IQBP pour la station 00000086 du fleuve Saint-Laurent en 2020

Paramètres	Unités	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum
Matières en suspension (MES)	mg/L	6,5	3,0	6,0	11,0
Température	°C	20,5	12,8	21,9	25,8
Turbidité	UTN	4,2	1,6	3,8	8,7

MELCCFP, 2022

5.2 Processus d'érosion

Les processus d'érosion sont principalement régis par des facteurs naturels tels que la géomorphologie, l'hydrodynamisme (vagues, courants, glaces, etc.), le climat de la zone d'étude et également par des facteurs anthropiques comme la présence de murets en rive et le batillage des navires.

5.2.1 Facteurs géomorphologiques

Sur le plan physiographique, le site à l'étude est situé sur la rive sud du tronçon fluvial du Saint-Laurent en amont du lac Saint-Pierre. Le secteur est compris dans la sous-province géologique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent de la province géologique de la Plate-forme du Saint-Laurent. Cette province géologique est caractérisée par une topographie à faible relief et se distingue par une épaisse couverture argileuse (> 10 m). Les pentes, le type de dépôts et la granulométrie sont des paramètres inhérents à sa stabilisation des berges. La zone d'étude repose sur des matériaux fins et peu cohésifs. En effet, selon le PACES-Montérégie Est (2013), le secteur de Sorel présente les épaisseurs de dépôts meubles estimées les plus importantes dans la province, pouvant aller jusqu'à 80 m. Son territoire est principalement constitué de sédiments alluviaux anciens d'une épaisseur de plus de 10 m associés au proto-Saint-Laurent.

Le relief plat et les types de dépôts meubles, constitués principalement de dépôts alluviaux, classent ce segment du fleuve Saint-Laurent de style fluvial *à méandre divagant*. Ce type fluvial est généralement caractérisé par des migrations latérales et des bancs d'accumulation centraux (AGRCQ, 2017) et un mode de transport sédimentaire alternant entre en suspension et en charge de fond (Buffin-Bélanger, 2018).

5.2.2 Facteurs hydrodynamiques

Sur le plan hydrodynamique, l'axe d'écoulement des eaux du fleuve est orienté sud-ouest – nord-est, et présente un mouvement parallèle à la rive. Ce secteur ne subit pas l'influence des marées semi-diurnes. La présence de la voie maritime a comme effet de concentrer près de 70 % du courant dans le chenal, avec des vitesses de 2,0 à 3,0 m/s, comparativement à 0,05 à 0,2 m/s dans les masses d'eau périphériques.

À la hauteur du site même, les débits calculés par Géophysique GRP International sont de 13 875 m³/s et les vitesses en rive varient entre 0,3 m/s et 0,85 m/s, principalement en raison de la profondeur du lit du cours d'eau. Les secteurs peu profonds (0 à 4 m) présentent des vitesses inférieures à 0,3 m/s, et de 0,3 à 0,5 m/s dans les profondeurs comprises entre 4 et 10 m. Finalement, les zones de profondeurs supérieures à 10 m présentent généralement des vitesses supérieures à 1,0 m/s et peuvent atteindre 1,2 à 1,6 m/s dans les secteurs plus au large de la zone d'étude, au centre du chenal (figure 5.1).

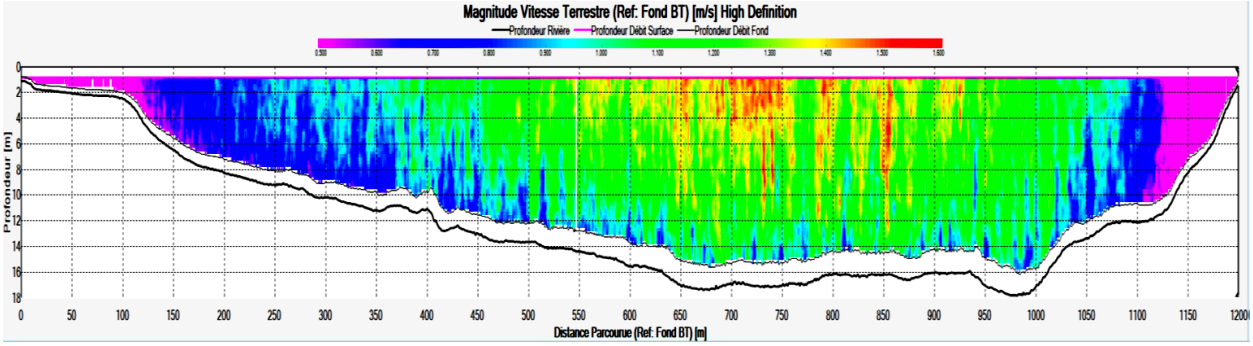
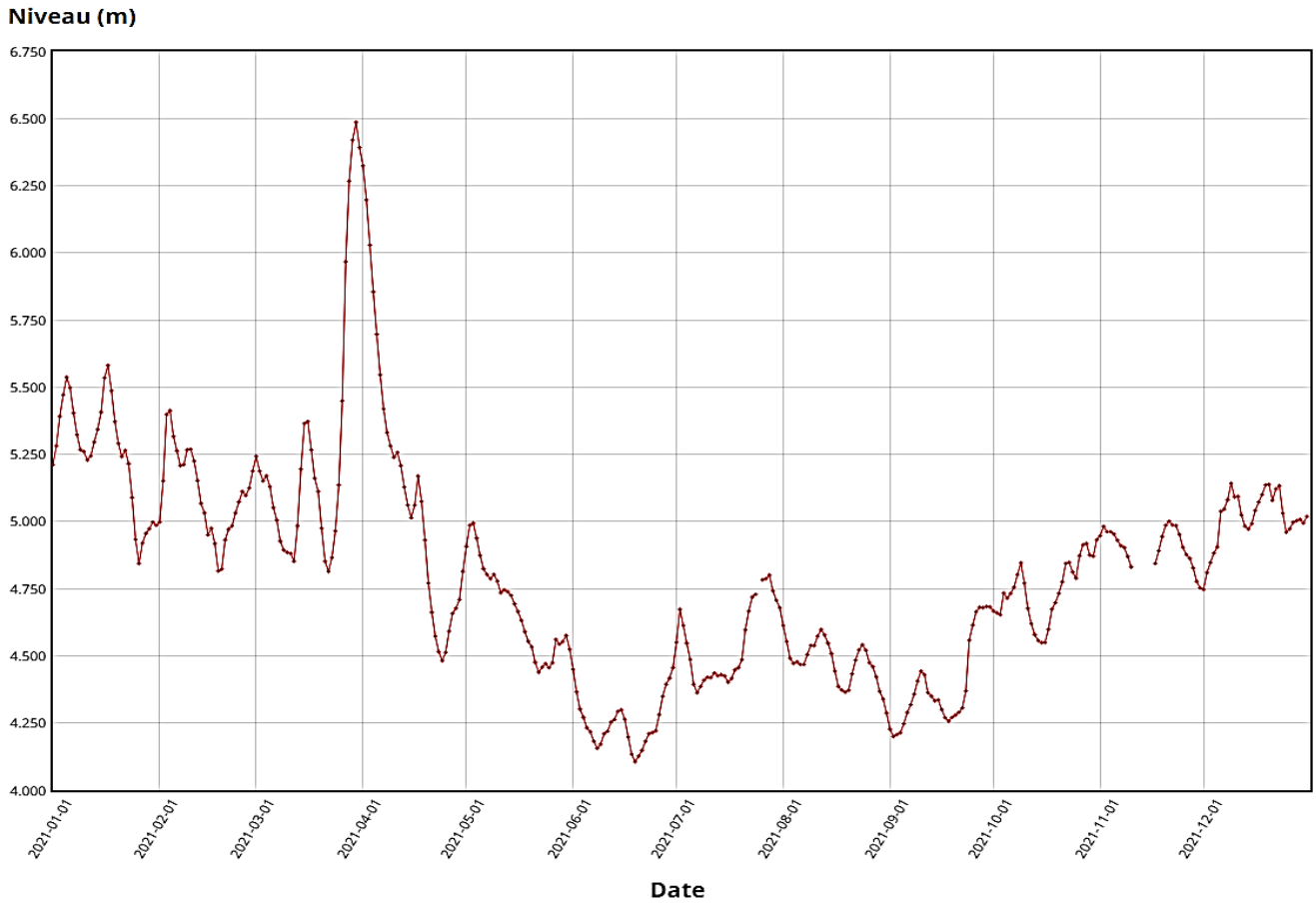


Figure 5.1 Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure)

Bien que la zone d'étude ne soit pas soumise aux effets de la marée, l'hydrogramme tiré des données historiques de la station hydrométrique 02OB011 (Environnement Canada, 2023), à 5 km en amont du quai de QSL, montre que la zone est soumise à des variations de niveaux d'eau de 2 m et plus (figure 5.2). En 2021, les niveaux les plus bas (étiage) sont mesurés pendant la saison estivale; le niveau d'eau le plus bas est atteint le 19 juin (4,11 m) alors que le niveau d'eau le plus élevé (crue) est atteint au début du printemps, le 3 mars (6,49 m).



Environnement Canada, 2023

Figure 5.2 Variations du niveau d'eau quotidien pour l'année 2021 à la station hydrométrique 02OB011 du Fleuve Saint-Laurent, à Lanoraie, à 5 km en amont du secteur d'étude

Aucune donnée portant sur les vagues n'existe pour le secteur du quai de Sorel. Une analyse des conditions de vagues a alors été réalisée par CIMA+ (2024) à partir de données de vagues produites au large des infrastructures à l'étude afin d'en faire ressortir les données du régime de vagues du secteur. Les résultats d'analyse montrent que la hauteur de vague significative estimée est de 1,70 m pour une récurrence de 50 ans et de 0,80 m pour une récurrence de 2 ans (CIMA+, 2024).

5.2.3 Facteurs climatiques et météorologiques

Comprise dans le tronçon fluvial du fleuve Saint-Laurent, la zone d'étude est soumise aux processus glaciels, un phénomène naturel qui se traduit par l'action des glaces sur la rive lors du gel-dégel. Ce phénomène est principalement important vers la fin de l'hiver lorsque le mercure atteint des températures près du point de congélation. En période de dégel, les glaces fixées à la berge peuvent arracher des sédiments sur lesquels elles reposent. L'action des glaces a pour effet de modifier la dynamique hydrologique, notamment les phénomènes d'érosion et du transport sédimentaire. Par conséquent, les glaces participent à l'érosion des berges, à la perte d'habitats riverains et à la dégradation des installations anthropiques (Bernier et coll., 2020). Le régime des glaces sur le tronçon fluvial du Saint-Laurent dans le secteur du projet contribue alors à la dynamique de transport sédimentaire.

L'ensemble des facteurs naturels énumérés précédemment (ex. : la vitesse des courants, les débits, les niveaux d'eau et les glaces), jouent un rôle dans la dynamique des berges. Le pouvoir érosif de ces éléments provient des forces hydrodynamiques induites sur les berges qui découlent elles-mêmes des phénomènes météorologiques et hydrologiques du milieu. En conjuguant les facteurs météorologiques, voire climatiques, avec les facteurs morphologiques, certains milieux deviennent plus sujets à l'érosion.

Le tableau 5.2 présente les paramètres météorologiques pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy. Les températures annuelles moyennes, pour la période de 1991-2020, varient entre 6,4 et 6,6 °C. Les températures moyennes les plus basses sont atteintes en hiver (-8,5 °C) alors que les températures moyennes les plus chaudes sont atteintes en été (20,1°C) (Ouranos, 2023a).

La dynamique de formation et de fonte de la glace sur le fleuve est conditionnée par les températures hivernales. L'analyse des cartes de glace faite par CIMA+ (2024) permet de conclure que l'épaisseur de glace consignée sur les cartes de glace du Service canadien des glaces (SCG), pendant le mois de janvier, ne dépasse jamais 30 cm dans la zone d'étude. Les glaces sont prédominantes pendant les mois de février et de mars où le nombre de jours d'englacement d'une épaisseur de plus de 15 cm et de concentration supérieure à 50 % est de 14 jours et 16 jours respectivement. La fréquence d'occurrence de ce type de couverture est donc de 50 % et de 52 % pour février et mars. Des épaisseurs de plus de 30 cm sont parfois observées au début du mois d'avril.

En ce qui concerne la présence de banquises et de sarrasins de moins d'un mètre d'épaisseur, leurs fréquences d'occurrence se situent respectivement à 49 % et à 33 % en moyenne. La présence de sarrasins de plus d'un mètre d'épaisseur est beaucoup plus rare et survient moins de 5 jours par saison typique de 100 jours. La banquise est particulièrement importante pendant le mois de février, où sa fréquence d'occurrence est de 89 %.

Dans un contexte de changements climatiques, les projections indiquent une tendance au réchauffement (Ouranos, 2023b). La hausse des températures hivernales influencera la formation du couvert de glace (épaisseur et nombre de jours de glace) et, par conséquent, il est possible que le couvert de glace diminue (Bernier et coll., 2020). Le couvert de glace agit comme un système de protection des berges. Son amincissement, causé par des températures plus chaudes, et la modification de sa distribution sur le fleuve induit par les activités anthropiques, diminuent cet effet de protection des berges (Bernier et coll., 2020). La fréquence, l'intensité et l'occurrence de l'englacement et de la fonte des glaces au Québec pourraient se produire plus tôt dans l'année. Par ailleurs, l'analyse de l'épaisseur maximale annuelle du couvert de glace entre 1990 et 2017 montre une tendance à la baisse; le principal impact attendu sur la dynamique des glaces dans le secteur consiste en une prise plus tardive de la banquise en rive. La présence des infrastructures devrait favoriser la stabilisation de la banquise et ainsi permettre une plus large couverture de glace vers le large et l'amont et plus longtemps en saison (CIMA+, 2024).

Tableau 5.2 Températures annuelles moyennes et précipitations totales pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy entre 1991 et 2020

Saison	Température moyenne (°C)	Précipitations totales (mm)
Annuel	Entre 6,4 et 6,6	Entre 1093 et 1099
Hiver	Entre -8,5 et -7,8	261
Printemps	5,2	Entre 255 et 257
Été	Entre 20,0 et 20,1	291
Automne	Entre 8,3 et 8,7	Entre 283 et 287

Ouranos (2023a)

5.2.4 Facteurs anthropiques

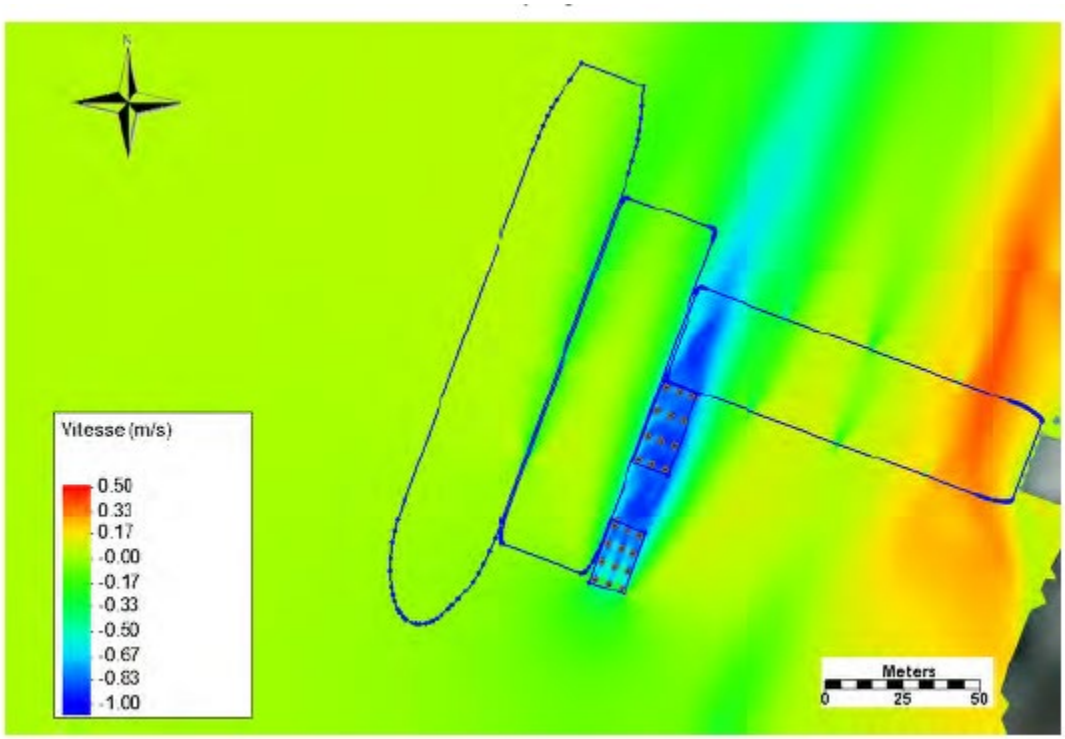
Les pressions anthropiques exercées par les activités humaines sur les milieux côtiers sont principalement les aménagements d'infrastructures routières ou ferroviaires, le développement industriel ou résidentiel, l'enrochement des rives et la construction de murets, la présence de marinas, etc. Le fleuve Saint-Laurent est la région la plus densément peuplée du Québec et les aménagements et activités humaines sur les rives du tronçon fluvial ont fortement modifié sa morphologie (Bernier et coll., 2020). Leurs répercussions sont observables sur le recul accéléré des lignes de rivage et la dégradation des berges et des habitats naturels (Bhiry et coll., 2013).

Situées dans la zone de navigation des navires commerciaux, les berges dans la zone du terminal portuaire projetée sont aussi soumises à l'érosion induite par le batillage des nombreux navires commerciaux ou de plaisance qui empruntent le chenal de navigation dans le fleuve. Le battement de vagues contre les berges d'un cours d'eau est un phénomène naturel amplifié par le sillage généré par le passage de bateaux (Bernier et coll., 2020). De plus, la pression exercée sur les berges par l'action du batillage est majoritairement présente dans le secteur du tronçon fluvial compris entre Montréal et Sorel où près de 85 % de l'érosion totale entre Cornwall (Ontario) et Montmagny (Québec) peut être attribuée aux vagues produites par les navires commerciaux (Bernier et coll., 2020). Dauphin (2000) a estimé à 35 % l'influence des navires commerciaux sur l'érosion des berges dans la zone d'étude, comme déterminé à l'aide des données sur l'érosion pour la période de 1964 à 1983.

Dans les zones sensibles du tronçon Montréal−Lac Saint-Pierre, les navigateurs doivent volontairement abaisser leur vitesse à 10 nœuds vers l'amont et à 14 nœuds vers l'aval. En présence de niveaux d'eau élevés, cette mesure peut cependant accentuer l'effet des vagues (Environnement Canada et MDDEP, 2010; dans Allard, 2015).

5.3 Effets de la présence du quai actuel et futur

L'étude hydraulique réalisée par CIMA+ en 2024 montre que les structures projetées entraîneraient une réduction des vitesses d'écoulement moyennes en aval des pieux et ducs-d'Albe composant le nouveau quai et une diminution de la largeur de la zone de faibles vitesses en rive au droit des caissons (figure 5.3). Une augmentation de vitesses d'écoulement en rive (de 0,2 m/s à 0,4 m/s) est cependant obtenue en condition de crue. En fonction de la nature et du calibre des sédiments, une augmentation des vitesses d'écoulement de cet ordre représente un faible risque d'érosion pour les sédiments sableux et silteux à la périphérie des pieux et en rive au pied des caissons actuels en période de crue. Par prudence, une mesure de protection comme un enrochement de pierres de petit calibre pourra être installée au pied des pieux et des caissons. En condition moyenne d'écoulement, l'augmentation des vitesses modélisées en 2D est toutefois négligeable et ne suggère pas d'augmentation du risque d'érosion du lit ou des berges.



CIMA+, 2024.

Figure 5.3 Différentiel de vitesse dans la zone du quai – scénario actuel versus projeté en crue 2 ans

6. Conclusions

Les rives dans la zone sont constituées de remblais végétalisés, stables avec enrochements du talus. Le milieu humide présent du côté ouest des infrastructures existantes exerce un rôle de protection de la rive. La partie aval de la zone d'étude est sujette au transport sédimentaire local dû principalement au degré d'exposition de la côte aux vents du nord.

En période hivernale, la zone d'étude est exposée aux processus glaciaires et les changements climatiques modifieront le régime des glaces du secteur avec une prise plus tardive de la banquise en rive. La présence des infrastructures devrait favoriser la stabilisation de la banquise et ainsi permettre une plus large couverture de glace vers le large et l'amont et plus longtemps en saison.

Quant aux vitesses d'écoulement moyennes, les structures projetées entraîneraient une réduction des vitesses en aval des pieux et ducs-d'Albe composant le nouveau quai et une accélération des vitesses d'écoulement en rive, de même qu'une diminution de la zone de faibles vitesses en rive du côté est. Sans mesure de protection contre l'érosion près de la rive, là où les vitesses s'accélèrent, il en résulterait une augmentation du transport sédimentaire vers l'est dont l'étendue pourrait varier en fonction de la nature et du calibre des sédiments.

7. Références

AECOM (2016). *Centrale thermique de Tracy – Projet de démantèlement – Caractérisation des sédiments*. Rapport présenté à Hydro-Québec.

Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec (AGRCQ) (2017). *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*. En ligne : https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1095/1/AGRCQ_2016_Guide-sur-la-gestion-des-cours-d%27eau_Ch1-6_A.pdf

Allard, A. (2015). *Navigation commerciale sur le Saint-Laurent : entre perspectives économiques et développement durable*. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, 134 p. + annexes. En ligne : https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2015/Allard_Lauriane_MEnv_2015.pdf

Bernier, J.-F., Chassiot, L., Ouellette, C. et Lajeunesse, P. (2020). *Caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent*. Rapport soumis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Laboratoire de géosciences marines, Département de Géographie, Université Laval. En ligne : https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/8301c7ed-6b27-4319-9150-435246634b90/resource/a5d514c3-9356-40f5-9362-35967808be9b/download/caracterisationbergesulmars2020.pdf

Bhiry, N., Cloutier, D., Audrée Gervais, Couillard, L., Lamarre, P. et Normandeau, M. (2013). *Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques*. En ligne : https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2100.2327

Buffin-Bélanger (2018). *Hydrogéomorphologie et analyse des dynamiques fluviales*. Laboratoire de recherche en géomorphologie et dynamique fluviale. UQAR. Rendez-vous des OBV. En ligne : https://robvq.qc.ca/wp-content/uploads/2021/09/13h00_buffin_ROBVQ2018_compressed.pdf

CIMA+ (2024). *Étude hydraulique Nouveau Port Sorel – Construction d'un quai*. Rapport préparé pour QSL – Arrimage Québec, dans le cadre du projet no Q213012A. 70 p. + annexes

Dauphin, Diane (2000). *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*. Rapport final présenté au Ministère des Transports du Québec, Service du transport maritime et aérien. Dans Bibliothèque et Archives nationales du Québec (BAnQ). En ligne : https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/42302?docref=gMLHjJmAX793Q8zkA2qZ0w&docsearchtext=batillage

Environnement Canada (2023). *Niveau d'eau et débit*. En ligne : https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?stn=02OB011

Geoselec (2024). Boutique en ligne. Geoselec. En ligne : https://geoselec.com/fr/recherche

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (2019). Imagerie aéroportée forestière historique [Service des pavés cartographiques Web (WMTS)]. Données Québec. https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/imagerie-historique#:~:text=L'imagerie%20a%C3%A9roport%C3%A9e%20foresti%C3%A8re%20historique,foresti%C3%A8re%20(planification%20foresti%C3%A8re%20op%C3%A9rationnelle%2C%20suivis

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (2022). *Guide d'interprétation de l'indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP5 et IQBP6)*. En ligne : https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/guide-interpretation-indice-qualite-bacteriologique-physicochimique-eau.pdf

Ouranos (2023a). Températures – Changements projetés. Ouranos. En ligne : https://www.ouranos.ca/fr/temperatures-changements-projetes#:~:text=La%20partie%20nord%20du%20Nunavik,situe%20autour%20de%202%20jours

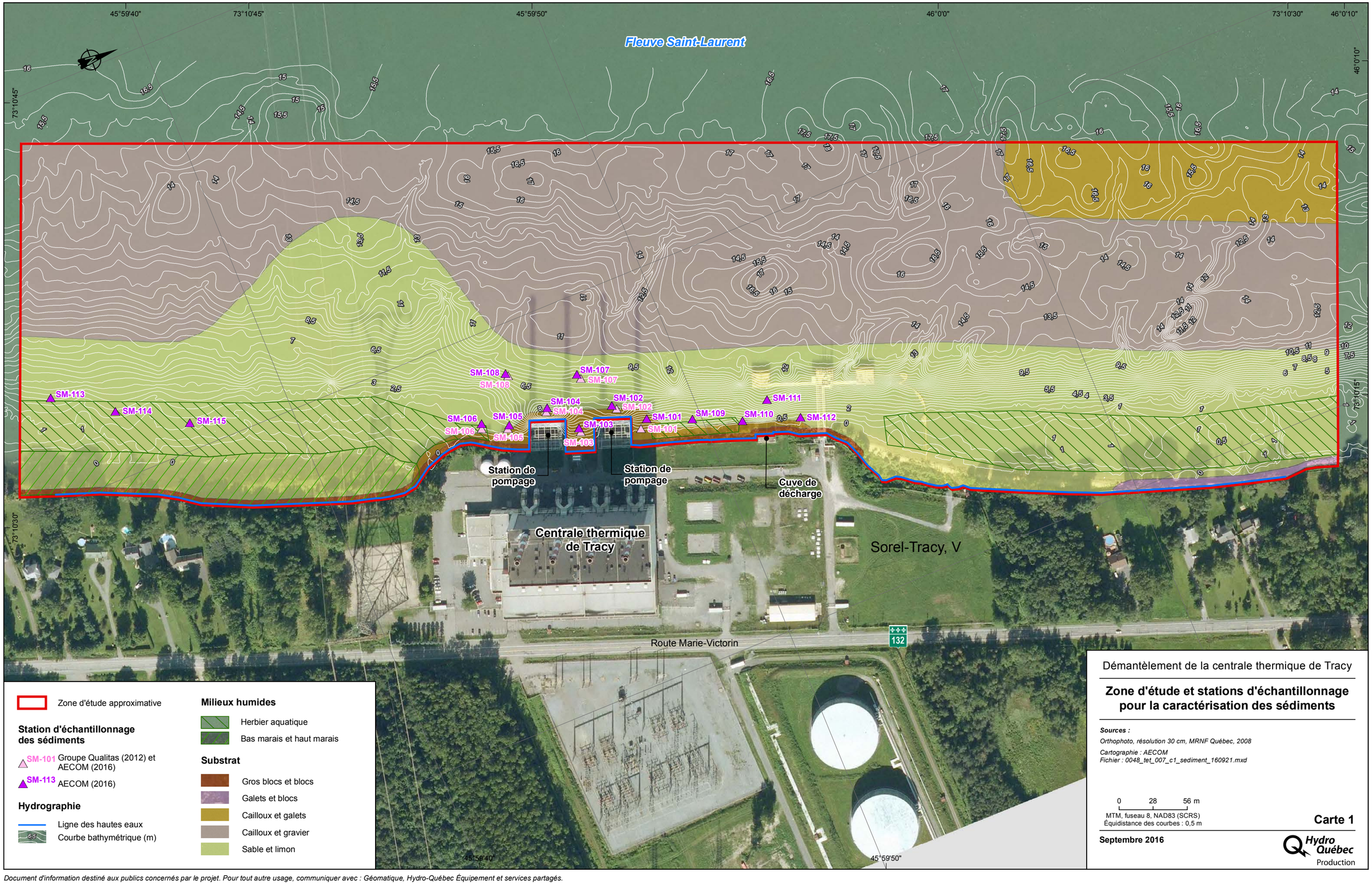
Ouranos (2023b). Portraits climatiques. Ouranos. En ligne : https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques

PACES-Montérégie Est (2013). *Portrait des ressources en eau souterraine en Montérégie Est, Québec, Canada*. Projet réalisé conjointement par l'INRS, la CGC, l'OBV Yamaska et l'IRDA dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines, rapport final INRS R-1433.

SNC-Lavalin (2022). *Zone Industrialo-portuaire Sorel-Tracy ; Caractérisation biophysique initiale pour l'installation d'un quai flottant* – Inventaires 2021.

A

Annexe A
Stations échantillonnées par AECOM (2016)



Zone d'étude approximative

Station d'échantillonnage des sédiments

SM-101 Groupe Qualitas (2012) et AECOM (2016)

SM-113 AECOM (2016)

Hydrographie

Ligne des hautes eaux

Courbe bathymétrique (m)

Milieux humides

Herbier aquatique

Bas marais et haut marais

Substrat

Gros blocs et blocs

Galets et blocs

Cailloux et galets

Cailloux et gravier

Sable et limon

Démantèlement de la centrale thermique de Tracy

Zone d'étude et stations d'échantillonnage pour la caractérisation des sédiments

Sources :

Orthophoto, résolution 30 cm, MRNF Québec, 2008

Cartographie : AECOM
Fichier : 0048_tet_007_c1_sediment_160921.mxd

0 28 56 m

MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)
Équidistance des courbes : 0,5 m

Carte 1

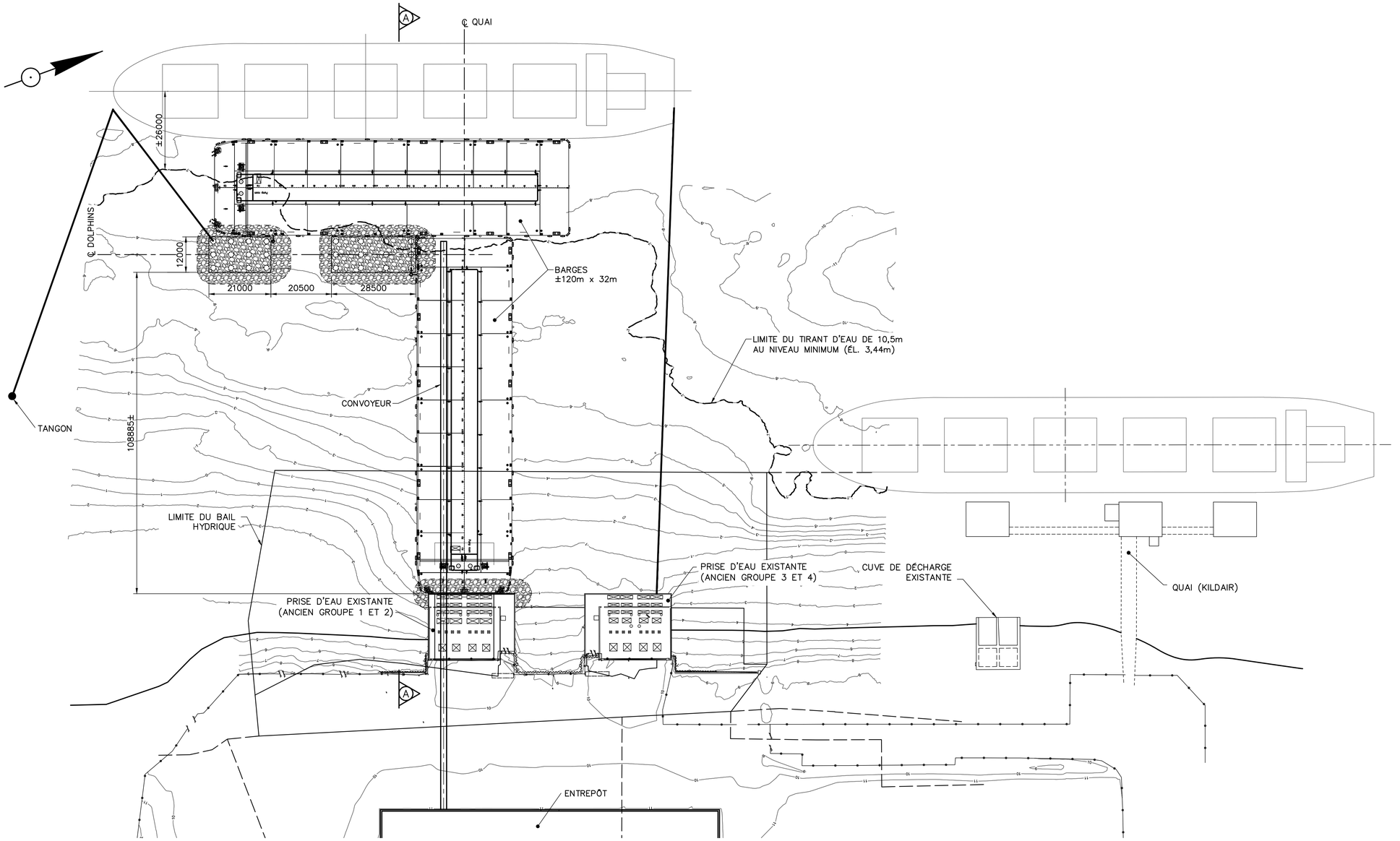
Septembre 2016

Hydro Québec Production

Document d'information destiné aux publics concernés par le projet. Pour tout autre usage, communiquer avec : Géomatique, Hydro-Québec Équipement et services partagés.

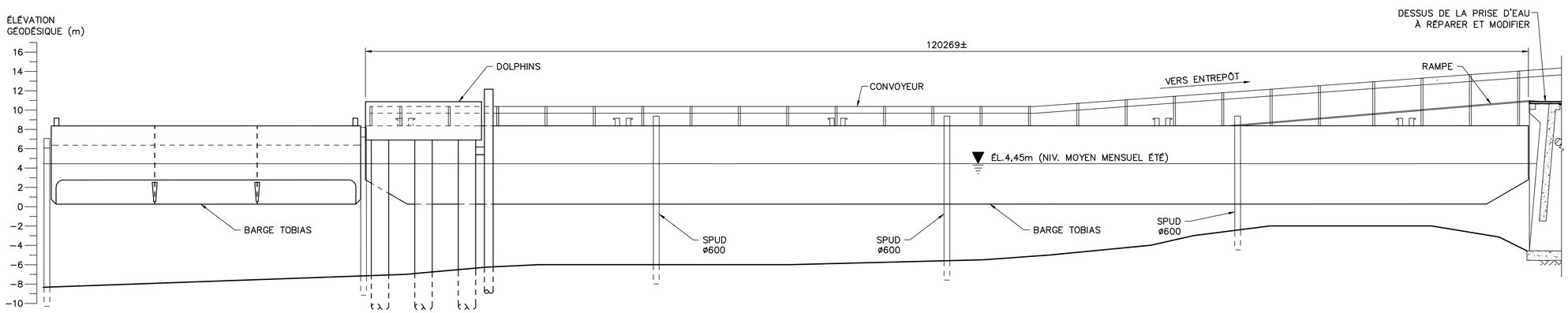
D

Annexe D
Vue en plans des protections typiques contre l'affouillement



VUE EN PLAN

ÉCH. 1:750



COUPE A–A

ÉCH. 1:250

PROPRIÉTAIRE:

QSL

PROJET:

ZIP ST-LAURENT
SOREL-TRACY
AIRE D'ENTREPOSAGE

CONSULTANTS

GÉRANT DE PROJET: **François Paradis, ing. Ph. D.**

INGÉNIERIE: **François Paradis, ing. Ph. D.**
Raphaël Fulham–Lebrasseur, ing. M. Sc.
Camille Gélinas, ing.
Jean–François Dufour, tech. princ.
Jean Morin, tech. princ.

INGÉNIERIE: Q213012A

CIMA+

T: 418-623-3373
300–1145, boul. Lebourgneuf, Québec QC G2K 2K8 CANADA

LÉGENDE

NOTES:
–L'entrepreneur est tenu de vérifier toutes les dimensions sur ce dessin. Toute erreur ou omission devra être signalé à l'ingénieur avant de procéder aux travaux.
–Aucune dimension ne devra être mesuré directement sur ce dessin.

A – NUMÉRO DU DÉTAIL
B – No. DE LA FEUILLE D'OÙ PROVIENT LE DÉTAIL
C – No. DE LA FEUILLE OÙ EST DESSINÉ LE DÉTAIL

SCEAU:

Signature du chargé de projet: _____

No	DESCRIPTION	PAR	DATE
A	EMPIÈTEMENT	F.P.	2023-10-23

REVISIONS

TITRE:

QUAI
OPTION A AVEC BARGES
1 DE 2

CONCU: François Paradis, ing. Ph. D.	VÉRIFIÉ:	
DESSINÉ: Jean–François Dufour, techn.	APPROUVÉ:	
No. PROJET:	DATE: 2023–10–23	ÉCHELLE: INDIQUÉE

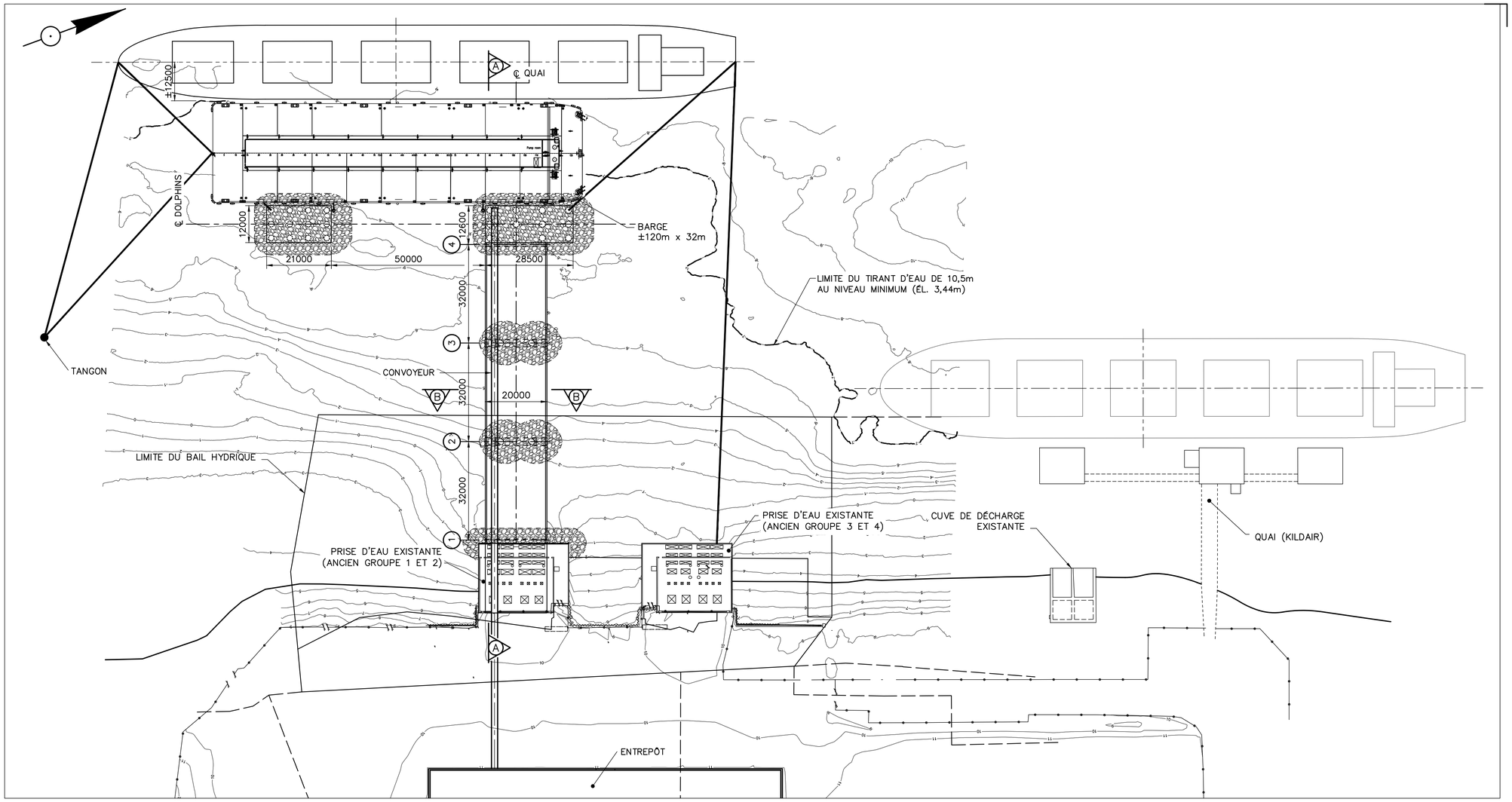
No. DESSIN CONSULTANT: Q213012A–Quai–AM–2023–10–23_Option A–2–BARGE.dwg

No. DESSIN: 00000-02-02-001

REVISION: A

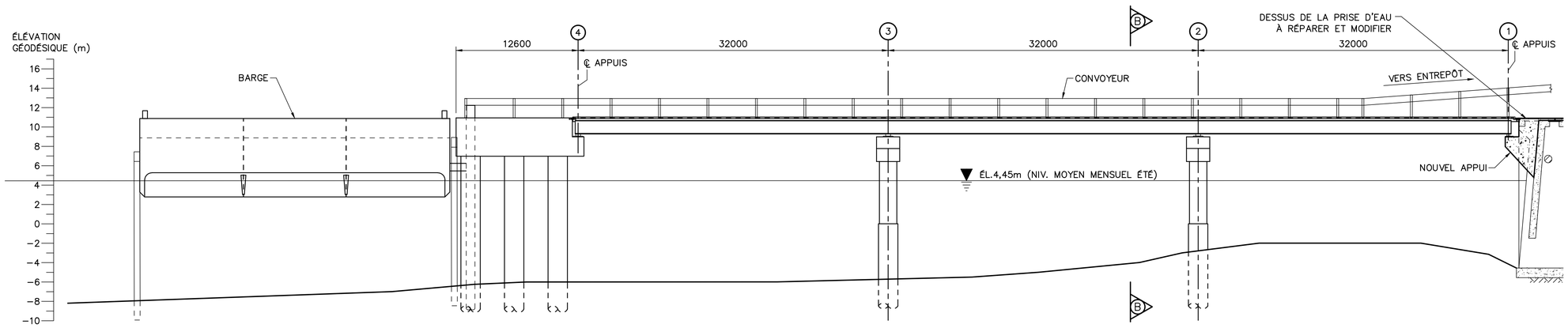
FORMAT A1 594 X 841

CIVIL - 01



VUE EN PLAN

ÉCH. 1:750



COUPE A–A

ÉCH. 1:250

PROPRIÉTAIRE:

QSL

PROJET:

ZIP ST-LAURENT
SOREL-TRACY
AIRE D'ENTREPOSAGE

CONSULTANTS

GÉRANT DE PROJET: **François Paradis, ing. Ph. D.**

INGÉNIERIE: **François Paradis, ing. Ph. D.**
Raphaël Fulham–Lebrasseur, ing. M. Sc.
Camille Gélinas, ing.
Jean–François Dufour, tech. princ.
Jean Morin, tech. princ.

INGÉNIERIE: Q213012A

CIMA+

T: 418-623-3373
300–1145, boul. Lebourgneuf, Québec QC G2K 2K8 CANADA

LÉGENDE

NOTES:
–L'entrepreneur est tenu de vérifier toutes les dimensions sur ce dessin. Toute erreur ou omission devra être signalé à l'ingénieur avant de procéder aux travaux.
–Aucune dimension ne devra être mesuré directement sur ce dessin.

A – NUMÉRO DU DÉTAIL
B – No. DE LA FEUILLE D'OÙ PROVIENT LE DÉTAIL
C – No. DE LA FEUILLE OÙ EST DESSINÉ LE DÉTAIL

SCEAU:

Signature du chargé de projet: _____

No	DESCRIPTION	PAR	DATE
A	EMPIÈTEMENT	F.P.	2023-10-23

REVISIONS

TITRE:

QUAI - OPTION B
PONT AVEC BARGE
1 DE 2

CONCU: François Paradis, ing. Ph. D.		VÉRIFIÉ:	
DESSINÉ: Jean–François Dufour, techn.		APPROUVÉ:	
No. PROJET:	DATE: 2023–10–23	ÉCHELLE: INDIQUÉE	
No. DESSIN CONSULTANT: Q213012A–Quai–AM–2023–10–23_Option B–BARGE.dwg			
No. DESSIN: 00000-01-02-002		REVISION: A	

FORMAT A1 594 X 841

CIVIL - 01

E

Annexe E
Localisation des herbiers aquatiques – AtkinsRéalis

5 095 000

5 095 500

330 000

330 000

330 500

330 500

5 095 500

Fleuve Saint-Laurent

N

Quai projeté

Quai de Kildair Service Ltée

Route Marie-Victorin

132

132

PROJET

- Zone du projet
- Empreinte du quai

CARACTÉRISATION DE L'HABITAT DU POISSON

- Zone caractérisée
- Limite du littoral (LL)

RÉSULTATS DES INVENTAIRES DU MILIEU AQUATIQUE

Densité de mollusques (individus/m^2)

- 1 à 9
- 10 à 24
- 25 à 49
- 50 à 74
- 75 et +

Individus ou habitats répertoriés

- Elliptio de l'Est
- Lampsile rayée
- Herbier aquatique

Faune aquatique

(AECOM, 2015)

- Zone d'élevage confirmée (alevins et juvéniles)
- Zone d'élevage confirmée (larves)

ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

- Moule zébrée

HYDROGRAPHIE

- Cours d'eau permanent

INFRASTRUCTURES

- Route

QSL

AtkinsRéalis

ÉTUDE D'IMPACT

Nouveau terminal portuaire de Sorel-Tracy - secteur Saint-Laurent

Carte 9-8

Poissons et faune benthique

Sources :

Adresses Québec, MERN Québec, décembre 2019
Base de données des zones à risque d'inondation (BDZI), MELCC Québec, 2020
Milieu naturel, AECOM, décembre 2015
MAXAR image, résolution 31 cm, ESRI, 7 septembre 2022

Projet : 695075
Fichier : 695075-E4-EI-C9-8-poissons_benthique-240530.mxd

EN COURS DE PRODUCTION

0 30 60 m

1/3 000

MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)

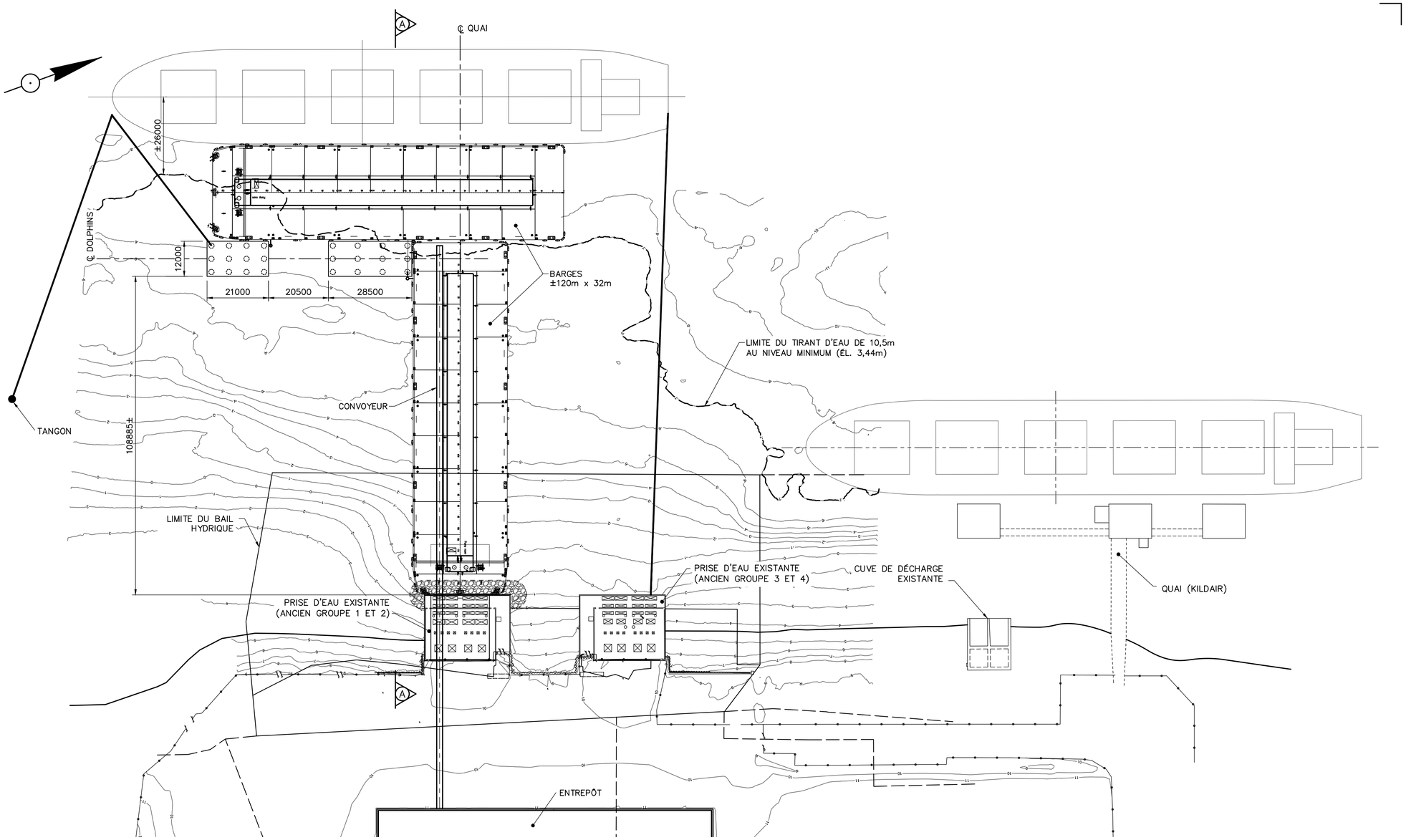
Mai 2024

Carte 9-9

V:\Projets\695075_QSL_Sorel_Port_EIE\GEOMATIQUE\interne\diffusion\Produits\01-EtudeImpact\Faune\Habitats\Poissons\695075-E4-EI-C9-8-poissons_benthique-240530.mxd

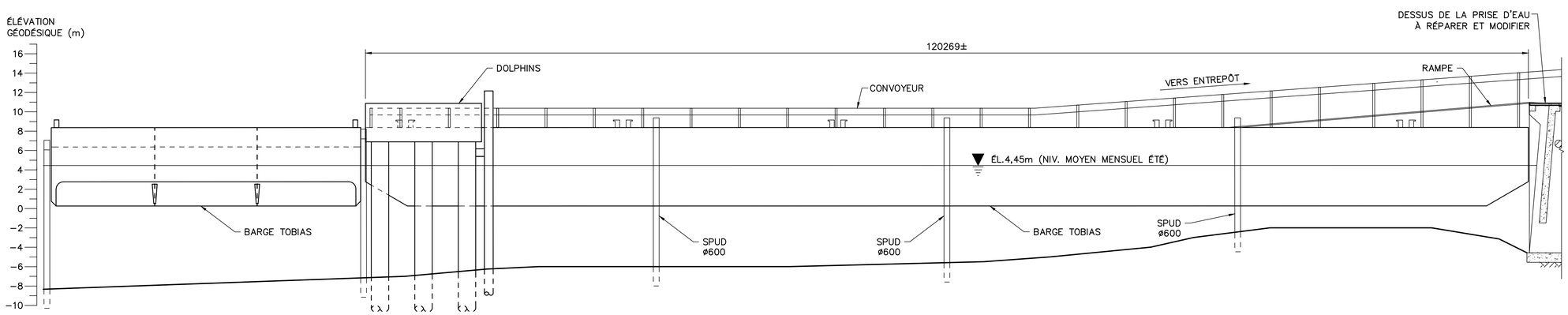
F

Annexe F
Vue en plans des protections retenues contre l'affouillement



VUE EN PLAN

ÉCH. 1:750



COUPE A–A

ÉCH. 1:250

PROPRIÉTAIRE:

QSL

PROJET:

ZIP ST-LAURENT
SOREL-TRACY
AIRE D'ENTREPOSAGE

CONSULTANTS

GÉRANT DE PROJET: **François Paradis, ing. Ph. D.**

INGÉNIERIE: **François Paradis, ing. Ph. D.**
Raphaël Fulham–Lebrasseur, ing. M. Sc.
Camille Gélinas, ing.
Jean–François Dufour, tech. princ.
Jean Morin, tech. princ.

INGÉNIERIE: Q213012A

CIMA+

T: 418-623-3373
300–1145, boul. Lebourgneuf, Québec QC G2K 2K8 CANADA

LÉGENDE

NOTES:
–L'entrepreneur est tenu de vérifier toutes les dimensions sur ce dessin. Toute erreur ou omission devra être signalé à l'ingénieur avant de procéder aux travaux.
–Aucune dimension ne devra être mesuré directement sur ce dessin.

A – NUMÉRO DU DÉTAIL
B – No. DE LA FEUILLE D'OÙ PROVIENT LE DÉTAIL
C – No. DE LA FEUILLE OÙ EST DESSINÉ LE DÉTAIL

SCEAU:

Signature du chargé de projet: _____

No	DESCRIPTION	PAR	DATE
A	EMPIÈTEMENT	F.P.	2023-10-23

REVISIONS

TITRE:

QUAI
OPTION A AVEC BARGES
1 DE 2

CONCU: François Paradis, ing. Ph. D.	VÉRIFIÉ:	
DESSINÉ: Jean–François Dufour, techn.	APPROUVÉ:	
No. PROJET:	DATE: 2023–10–23	ÉCHELLE: INDIQUÉE

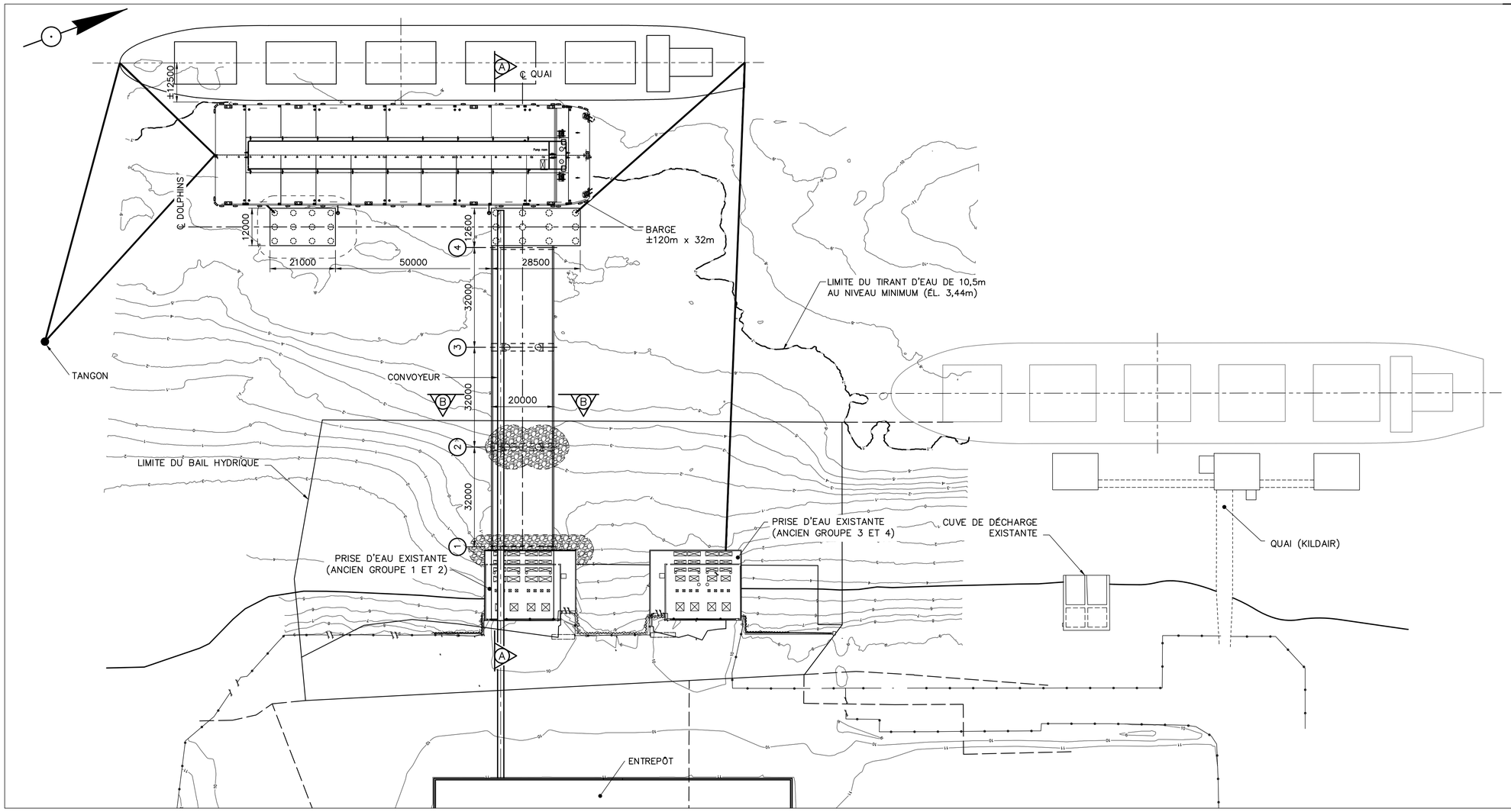
No. DESSIN CONSULTANT: Q213012A–Quai–AM–2023–10–23_Option A–2–BARGE.dwg

No. DESSIN: 00000-02-02-001

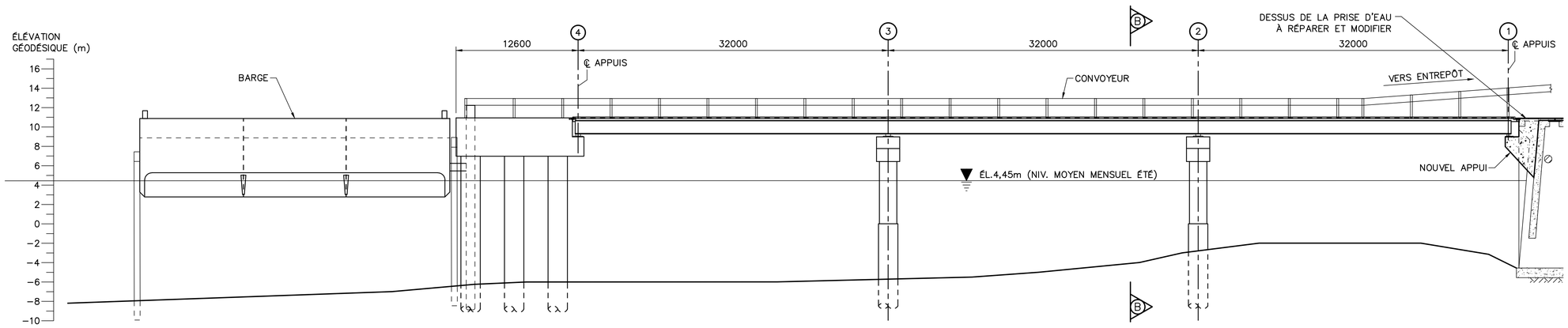
REVISION: A

FORMAT A1 594 X 841

CIVIL - 01



VUE EN PLAN
ÉCH. 1:750



COUPE A–A
ÉCH. 1:250

PROPRIÉTAIRE:

QSL

PROJET:

ZIP ST-LAURENT
SOREL-TRACY
AIRE D'ENTREPOSAGE

CONSULTANTS

GÉRANT DE PROJET: **François Paradis, ing. Ph. D.**

INGÉNIERIE: **François Paradis, ing. Ph. D.**
Raphaël Fulham–Lebrasseur, ing. M. Sc.
Camille Gélinas, ing.
Jean–François Dufour, tech. princ.
Jean Morin, tech. princ.

INGÉNIERIE: Q213012A

CIMA+

T: 418-623-3373
300–1145, boul. Lebourgneuf, Québec QC G2K 2K8 CANADA

LÉGENDE

NOTES:
–L'entrepreneur est tenu de vérifier toutes les dimensions sur ce dessin. Toute erreur ou omission devra être signalé à l'ingénieur avant de procéder aux travaux.
–Aucune dimension ne devra être mesuré directement sur ce dessin.

A – NUMÉRO DU DÉTAIL
B – No. DE LA FEUILLE D'OÙ PROVIENT LE DÉTAIL
C – No. DE LA FEUILLE OÙ EST DESSINÉ LE DÉTAIL

SCEAU:

Signature du chargé de projet: _____

No	DESCRIPTION	PAR	DATE
A	EMPIÈTEMENT	F.P.	2023-10-23

REVISIONS

TITRE:

QUAI - OPTION B
PONT AVEC BARGE
1 DE 2

CONCU: François Paradis, ing. Ph. D.		VÉRIFIÉ:	
DESSINÉ: Jean–François Dufour, techn.		APPROUVÉ:	
No. PROJET:	DATE: 2023–10–23	ÉCHELLE: INDIQUÉE	
No. DESSIN CONSULTANT: Q213012A–Quai–AM–2023–10–23_Option B–BARGE.dwg			
No. DESSIN: 00000-01-02-002		REVISION: A	

FORMAT A1 594 X 841

CIVIL - 01

19. Dynamique sédimentaire, Nouveau port de Sorel – Construction d’un quai

Dynamique sédimentaire

Rapport final révisé

Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai

Rapport préparé pour QSL-Arrimage Québec



Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
Avril 2024 – Émission 01

Dynamique sédimentaire

Rapport final révisé

Nouveau port de Sorel – Construction d'un quai

Rapport préparé pour QSL-Arrimage Québec

Préparé par :

Marie-Ève Lajeunesse, M. Sc. biogéo.
Professionnelle en environnement

Vérifié par :

Danielle Cloutier, Ph. D. océanographie
Chargée de projet

1145, boulevard Lebourgneuf, bureau 300
Québec QC G2K 2K8

Numéro de projet CIMA+ : Q213012A
Avril 2024 – Émission 01

Équipe de réalisation

CIMA+ s.e.n.c.

Danielle Cloutier, Ph. D. océanographie	Chargée de projet
Marie-Ève Lajeunesse, M. Sc. biogéo.	Rédaction
Michel Germain, M. Sc. eau	Géomorphologue
Joëlle Renauld	Graphiste, adjointe aux projets

Registre des émissions			
N° d'émission	**Révisé par**	**Date**	**Description de l'émission**
00	DC	2024-03-13	Version finale
01	DC	2024-04-23	Version finale révisée

Propriété et confidentialité

À moins d'entente entre CIMA+ s.e.n.c. et son client à l'effet contraire, tous les documents, qu'ils soient imprimés ou électroniques, ainsi que tous les droits de propriété intellectuelle qui y sont contenus, appartiennent exclusivement à CIMA+ s.e.n.c., laquelle réserve tous ses droits d'auteur. Toute utilisation ou reproduction sous quelque forme que ce soit, même partielle, est strictement interdite à moins d'obtenir l'autorisation de CIMA+ s.e.n.c.

Table des matières

1. Mise en contexte 1
1.1 Objectifs 1
2. Méthodologie 2
3. Zone d'étude 3
4. Caractérisation de la berge 4
4.1 Nature du substrat 4
5. Régime sédimentaire 9
5.1 Transport sédimentaire et source de sédiments 9
5.2 Processus d'érosion 9
5.2.1 Facteurs géomorphologiques 9
5.2.2 Facteurs hydrodynamiques 10
5.2.3 Facteurs climatiques et météorologiques 11
5.2.4 Facteurs anthropiques 13
5.3 Effets de la présence du quai actuel et futur 13
6. Conclusions 15
7. Références 16

Liste des tableaux

Tableau 5.1 IQBP pour la station 00000086 du fleuve Saint-Laurent en 2020 9
Tableau 5.2 Températures annuelles moyennes et précipitations totales pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy entre 1991 et 2020 12

Liste des figures

Figure 3.1 Localisation de la zone d'étude 3
Figure 4.1 Type de substrat dans la zone d'étude 5
Figure 5.1 Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure) 10
Figure 5.2 Variations du niveau d'eau quotidien pour l'année 2021 à la station hydrométrique 02OB011 du Fleuve Saint-Laurent, à Lanoraie, à 5 km en amont du secteur d'étude 11
Figure 5.3 Différentiel de vitesse dans la zone du quai – scénario actuel versus projeté en crue 2 ans 14

Liste des cartes

Carte 1 Caractérisation de la rive du fleuve Saint-Laurent dans la zone d'étude 6
Carte 2 Caractérisation des types de structures artificielles au niveau de la berge du secteur d'étude 7
Carte 3 Évolution morphologique de la rive dans le secteur d'étude, entre 1964 et 2018 8

Liste des annexes

Annexe A Stations échantillonnées par AECOM (2016)

1. Mise en contexte

L'entreprise QSL-Arrimage Québec a confié à CIMA+ le mandat de conception d'un futur quai de transbordement sur l'ancien site d'une centrale thermique d'Hydro-Québec en bordure du fleuve Saint-Laurent à Sorel-Tracy. Cette nouvelle infrastructure sera arrimée à la structure des fondations de l'une des deux anciennes stations de pompage de la centrale thermique, soit celle située du côté amont.

Dans ce contexte, CIMA+ a été mandatée pour documenter les composantes du milieu physique portant sur le régime sédimentaire dans la zone d'étude. Ces informations permettront d'évaluer les impacts du projet sur le milieu naturel. Plus précisément, le rapport présente :

+ Le régime sédimentaire (source, transport, zones d'accumulation des sédiments) et les lieux potentiels de dépôt de sédiments en milieu hydrique;
+ Les processus d'érosion (vagues, patrons d'écoulement, glaces, gel-dégel, dessiccation-hydratation, variations du niveau d'eau, drainage, courants, etc.);
+ La prise en compte de la dynamique du cours d'eau ou du plan d'eau ou de la dynamique côtière.

1.1 Objectifs

Le principal objectif de la présente étude est de présenter les données et les informations visant à documenter les composantes du milieu physique dans la zone d'étude. Ces informations permettront d'évaluer les impacts du projet sur le milieu naturel dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement du projet de construction de quai, confiée à la firme AtkinsRéalis.

2. Méthodologie

Les informations présentées proviennent principalement d'une revue de la littérature disponible. Des analyses cartographiques ont été réalisées à l'aide de photographies aériennes récupérées à partir de l'analyse de photographies aériennes historiques obtenues sur la plateforme de la boutique Geoselec (Geoselec, 2024) et à partir de l'imagerie aéroportée forestière historique du ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles pour les années 2009 et 2018 (MERN, 2019).

La méthodologie sommaire employée pour répondre aux objectifs spécifiques est la suivante :

+ La revue de la documentation disponible;
+ Le traitement des données disponibles;
+ L'analyse des photographies aériennes de la zone d'étude.

3. Zone d'étude

La zone d'étude se situe dans le tronçon fluvial du fleuve Saint-Laurent entre le secteur de l'île Saint-Ours à l'amont et de la ville de Sorel-Tracy à l'aval, soit environ 18 km (figure 3.1). Le tronçon fluvial provient des Grands Lacs et se termine à l'exutoire du lac Saint-Pierre; il est caractérisé par la présence de lacs fluviaux peu profonds, tels que les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre, et de plusieurs îles constituées de dépôts fins entre l'île de Montréal et la tête du lac Saint-Pierre. Le tronçon fluvial draine les eaux des rivières des Outaouais, Châteauguay, Richelieu, Saint-François et Nicolet; leurs eaux longent les rives nord et sud sans mélange important jusqu'à Portneuf.

La zone d'étude est caractérisée par la présence d'eau douce; le courant est unidirectionnel et sans aucune influence de la marée. La largeur du fleuve, dans la zone d'étude, est d'environ 1,2 km et l'écoulement est en direction du nord-est, avant de se séparer en plusieurs chenaux entourant l'archipel du lac Saint-Pierre.



Figure 3.1 Localisation de la zone d'étude

4. Caractérisation de la berge

Le type de berge dans la zone d'étude a été documenté à l'aide de l'étude de Bernier et coll. (2020) qui porte sur la caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent. Les principaux éléments morphologiques du type de berge ont été cartographiés (carte 1) et sont décrits ci-dessous. De manière générale, les berges de la zone d'étude sont constituées de remblais artificialisés stables ou végétalisés et formées d'enrochements (Bernier et coll., 2020).

Une portion de la berge dans le secteur ouest du terminal est meuble, non artificialisée, stable et végétalisée; on note la présence d'un milieu humide situé au pied du talus. Ce dernier agit comme une barrière naturelle et une protection de la rive contre l'érosion (carte 2).

La partie aval de la zone d'étude, à l'est du quai Kildair, comprend une plage de dépôts meubles (sables) au pied du talus muni d'un mur de protection. L'exposition de la plage aux vents du nord entretient une cellule hydrosédimentaire en équilibre avec les conditions hydrodynamiques locales.

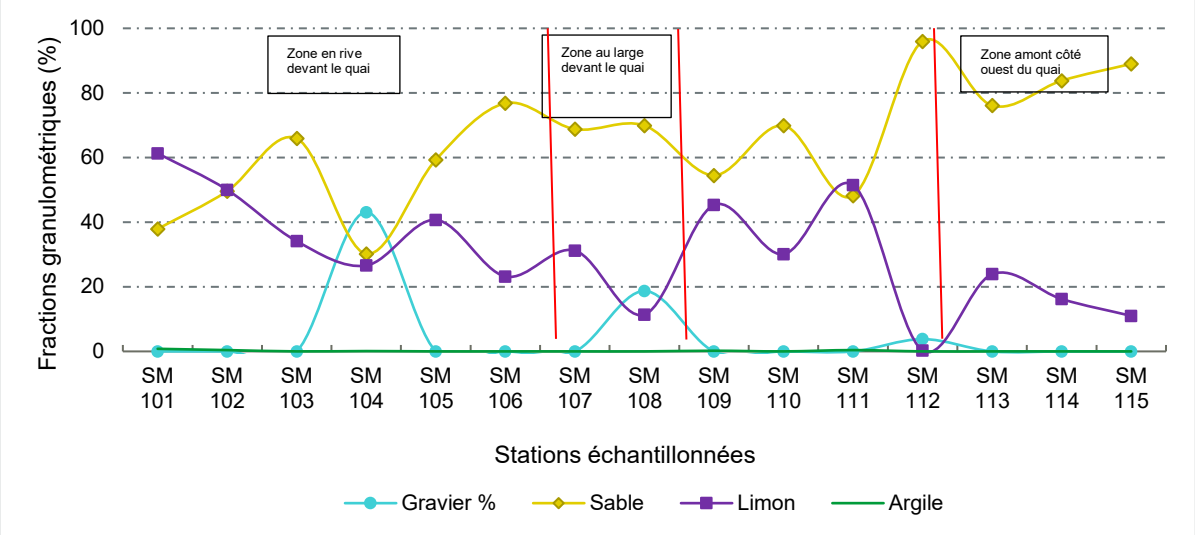
L'évolution du trait de côte a été analysée avec des photographies aériennes datant de 1964, 2009 et 2018 (carte 3). L'analyse des orthophotographies de 1964 et 2018 révèle que la rive est stable dans toute la zone d'étude, sans formes de régression ou d'accumulation notables.

De manière générale, la rive de la zone d'étude est en équilibre avec les conditions hydrodynamiques locales depuis plusieurs années. La présence du marais à l'est du quai contribue à la stabilité côtière de ce secteur. Par ailleurs, la végétation couvre plus de 75 % de la zone d'étude et aucune indication d'érosion n'est apparente. L'état d'artificialité de la berge dans ce secteur du fleuve est bon, c'est à dire que plus de 75 % des rives sont naturelles (Bernier et coll., 2020).

4.1 Nature du substrat

Le substrat de la zone d'étude a été caractérisé par AECOM en 2016 à différentes stations et à des profondeurs inférieures à 10 m. La zone caractérisée est présentée à l'annexe A et la répartition des classes granulométriques est présentée à la figure 4.1. La zone échantillonnée présente une granulométrie dominée par les sables. Les sédiments en rive comprennent principalement des sables fins (allant de 30 à 90 %), la plus grande proportion de sable étant du côté aval du futur quai. Les limons sont présents en plus grande proportion dans les sédiments de la zone amont et devant le quai (50 à 60 %) et diminuent vers l'est (zone aval du quai). Cette distribution suggère des conditions hydrodynamiques locales favorisant l'accumulation de sable du côté aval du futur quai.

Une faible proportion du substrat est marquée par la présence de gravier en rive devant le quai (station SM 104), pour lequel le gravier compte pour 43,1 % des sédiments prélevés. Leur présence est possiblement due aux activités anthropiques (remblais, aménagement, etc.), notamment en bordure du fleuve. Une campagne de forage, réalisée en août 2021 à l'emplacement du nouveau quai, a permis de caractériser la couche de surface qui est décrite comme étant majoritairement constituée de silt ou de silt sableux, avec une couche de 0,8 m d'épaisseur de gravier dans un des forages.



Source : AECOM, 2016

Figure 4.1 Type de substrat dans la zone d'étude



Type de berge

- Berge meuble non-artificialisée stable ou végétalisée
- Berge meuble haute non-artificialisée stable ou végétalisée
- Berge remblayée artificialisée stable ou végétalisée
- Berge remblayée artificialisée avec accumulation sédimentaire

Caractérisation des traits complémentaires

- Raccord entre des segments éloignés
- Milieu humide
- Sommet de l'ouvrage à l'arrière
- Sommet du talus à l'arrière



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 1

Caractérisation de la rive du fleuve Saint-Laurent dans la zone d'étude

Q213012A

mars 2024

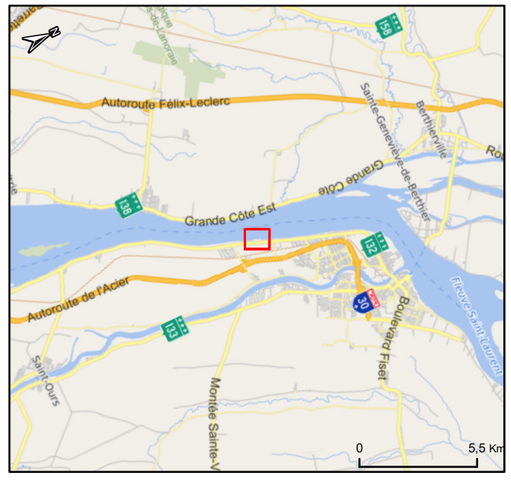
Échelle: 1:5 000
Projection: NAD 1983 SCRS MTM zone 8
Fichier: Q203012A Localisation.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024) et MRNF (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+



Type de structure artificielle au niveau de la berge

- Enrochement
- Mur de protection
- Remblai sans protection



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 2

Caractérisation des types de structures artificielles au niveau de la berge du secteur d'étude

Q213012A

mars 2024

Échelle: 1:3 500
Projection: NAD 1983 SCRS MTM zone 8
Fichier: Carte 3_2024-03-11.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024) et MERN (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+



Localisation

Ligne des hautes eaux (2021)

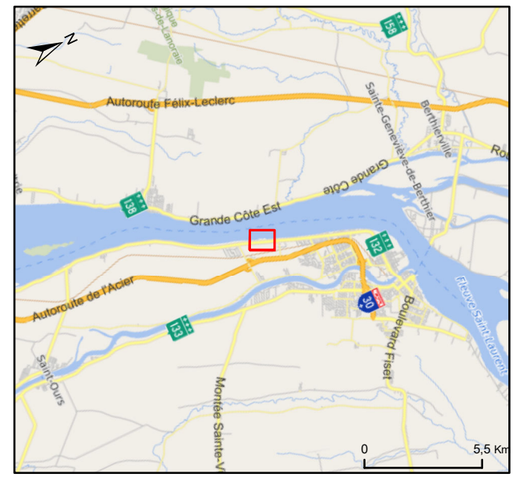
Ligne des hautes eaux (1990)

Évolution du trait de côte par l'analyse de photographies historiques

1964

2009

2018



QSL

PROJET DE CONSTRUCTION D'UN QUAI
DANS LA ZONE INDUSTRIALO-PORTUAIRE
DE SOREL-TRACY

Carte 3

Évolution morphologique de la rive dans le secteur d'étude, entre 1964 et 2018

Q213012A

mars 2024

Échelle: 1:3 500
Projection: NAD 1983 CSRS MTM 8
Fichier: Q203012A Évolution.mxd
Source: Bernier et al. (2020), CIMA+ (2024), Geoselec (2024) et MERN (2019)
Préparé par : Marie-Ève Lajeunesse
Vérifié par : Danielle Cloutier

CIMA+

5. Régime sédimentaire

5.1 Transport sédimentaire et source de sédiments

La charge sédimentaire qui transite dans le tronçon fluvial provient à environ 15 % du canal de Beauharnois, 40 % entre Montréal et Les Grèves et 45 % entre Port Saint-François et Portneuf (Bernier et coll., 2020). Les tributaires contribuent aussi, mais dans une proportion moindre, et fourniraient 32 % des sédiments en suspension. Le principal tributaire situé à proximité de la zone d'étude est la rivière Richelieu, à environ 8 km en aval. Les eaux turbides de la rivière Richelieu s'écoulent vers le nord-est en longeant la rive sud du fleuve et, par conséquent, n'influencent pas la dynamique sédimentaire de la zone d'étude.

La source principale de sédiments en suspension dans le tronçon fluvial proviendrait de l'érosion des berges et du lit du fleuve (Rondeau et coll., 2000, dans Bernier et coll., 2020). Les processus d'érosion sont abordés à la section 5.2.

Les eaux qui caractérisent la zone d'étude sont de qualité satisfaisante avec un indice de qualité bactériologique et physicochimique (IQBP) qui classait, en 2021, la région d'étude avec un IQBP médian de 74/100 (MELCCFP, 2022). Il est toutefois à noter que les eaux du fleuve Saint-Laurent, à la hauteur de la zone d'étude, sont relativement claires avec des valeurs de matières en suspension (MES) et de turbidité moyennes de 6 mg/L et 4,2 mg/L respectivement (tableau 5.1). Les eaux plus turbides de la rivière Richelieu en aval entraînent une détérioration de la qualité de l'eau dans ce secteur et une augmentation des MES pouvant atteindre 14,5 mg/L.

Tableau 5.1 IQBP pour la station 00000086 du fleuve Saint-Laurent en 2020

Paramètres	Unités	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum
Matières en suspension (MES)	mg/L	6,5	3,0	6,0	11,0
Température	°C	20,5	12,8	21,9	25,8
Turbidité	UTN	4,2	1,6	3,8	8,7

MELCCFP, 2022

5.2 Processus d'érosion

Les processus d'érosion sont principalement régis par des facteurs naturels tels que la géomorphologie, l'hydrodynamisme (vagues, courants, glaces, etc.), le climat de la zone d'étude et également par des facteurs anthropiques comme la présence de murets en rive et le batillage des navires.

5.2.1 Facteurs géomorphologiques

Sur le plan physiographique, le site à l'étude est situé sur la rive sud du tronçon fluvial du Saint-Laurent en amont du lac Saint-Pierre. Le secteur est compris dans la sous-province géologique de la Plate-forme des Basses-Terres du Saint-Laurent de la province géologique de la Plate-forme du Saint-Laurent. Cette province géologique est caractérisée par une topographie à faible relief et se distingue par une épaisse couverture argileuse (> 10 m). Les pentes, le type de dépôts et la granulométrie sont des paramètres inhérents à sa stabilisation des berges. La zone d'étude repose sur des matériaux fins et peu cohésifs. En effet, selon le PACES-Montérégie Est (2013), le secteur de Sorel présente les épaisseurs de dépôts meubles estimées les plus importantes dans la province, pouvant aller jusqu'à 80 m. Son territoire est principalement constitué de sédiments alluviaux anciens d'une épaisseur de plus de 10 m associés au proto-Saint-Laurent.

Le relief plat et les types de dépôts meubles, constitués principalement de dépôts alluviaux, classent ce segment du fleuve Saint-Laurent de style fluvial *à méandre divagant*. Ce type fluvial est généralement caractérisé par des migrations latérales et des bancs d'accumulation centraux (AGRCQ, 2017) et un mode de transport sédimentaire alternant entre en suspension et en charge de fond (Buffin-Bélanger, 2018).

5.2.2 Facteurs hydrodynamiques

Sur le plan hydrodynamique, l'axe d'écoulement des eaux du fleuve est orienté sud-ouest – nord-est, et présente un mouvement parallèle à la rive. Ce secteur ne subit pas l'influence des marées semi-diurnes. La présence de la voie maritime a comme effet de concentrer près de 70 % du courant dans le chenal, avec des vitesses de 2,0 à 3,0 m/s, comparativement à 0,05 à 0,2 m/s dans les masses d'eau périphériques.

À la hauteur du site même, les débits calculés par Géophysique GRP International sont de 13 875 m³/s et les vitesses en rive varient entre 0,3 m/s et 0,85 m/s, principalement en raison de la profondeur du lit du cours d'eau. Les secteurs peu profonds (0 à 4 m) présentent des vitesses inférieures à 0,3 m/s, et de 0,3 à 0,5 m/s dans les profondeurs comprises entre 4 et 10 m. Finalement, les zones de profondeurs supérieures à 10 m présentent généralement des vitesses supérieures à 1,0 m/s et peuvent atteindre 1,2 à 1,6 m/s dans les secteurs plus au large de la zone d'étude, au centre du chenal (figure 5.1).

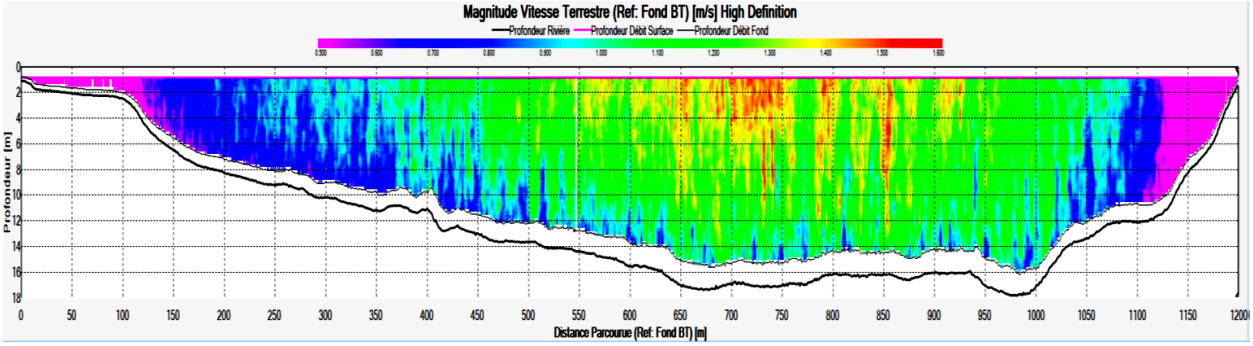
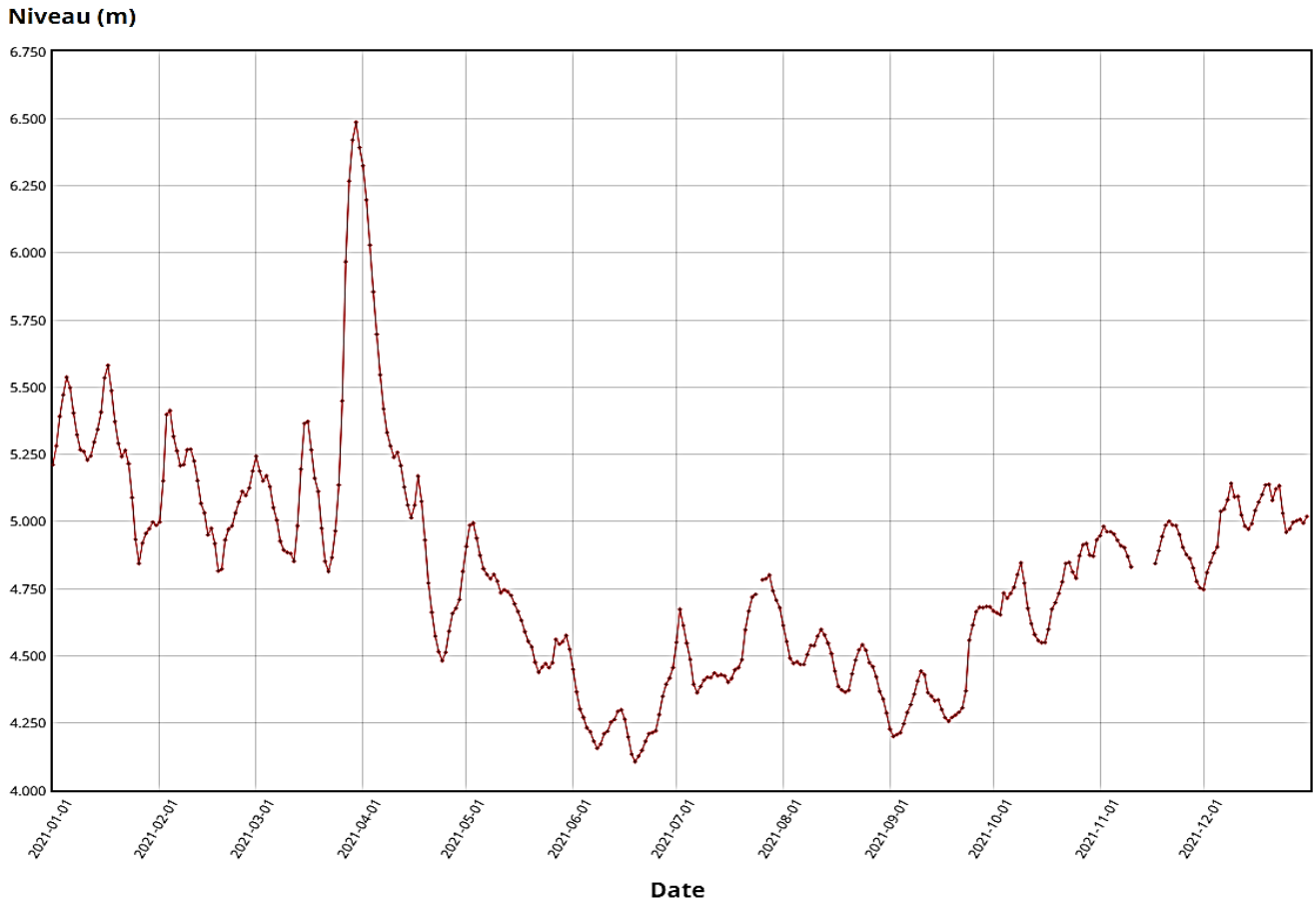


Figure 5.1 Profil transversal de vitesse mesuré par Géophysique GRP International (rive est du fleuve à droite de la figure)

Bien que la zone d'étude ne soit pas soumise aux effets de la marée, l'hydrogramme tiré des données historiques de la station hydrométrique 02OB011 (Environnement Canada, 2023), à 5 km en amont du quai de QSL, montre que la zone est soumise à des variations de niveaux d'eau de 2 m et plus (figure 5.2). En 2021, les niveaux les plus bas (étiage) sont mesurés pendant la saison estivale; le niveau d'eau le plus bas est atteint le 19 juin (4,11 m) alors que le niveau d'eau le plus élevé (crue) est atteint au début du printemps, le 3 mars (6,49 m).



Environnement Canada, 2023

Figure 5.2 Variations du niveau d'eau quotidien pour l'année 2021 à la station hydrométrique 02OB011 du Fleuve Saint-Laurent, à Lanoraie, à 5 km en amont du secteur d'étude

Aucune donnée portant sur les vagues n'existe pour le secteur du quai de Sorel. Une analyse des conditions de vagues a alors été réalisée par CIMA+ (2024) à partir de données de vagues produites au large des infrastructures à l'étude afin d'en faire ressortir les données du régime de vagues du secteur. Les résultats d'analyse montrent que la hauteur de vague significative estimée est de 1,70 m pour une récurrence de 50 ans et de 0,80 m pour une récurrence de 2 ans (CIMA+, 2024).

5.2.3 Facteurs climatiques et météorologiques

Comprise dans le tronçon fluvial du fleuve Saint-Laurent, la zone d'étude est soumise aux processus glaciels, un phénomène naturel qui se traduit par l'action des glaces sur la rive lors du gel-dégel. Ce phénomène est principalement important vers la fin de l'hiver lorsque le mercure atteint des températures près du point de congélation. En période de dégel, les glaces fixées à la berge peuvent arracher des sédiments sur lesquels elles reposent. L'action des glaces a pour effet de modifier la dynamique hydrologique, notamment les phénomènes d'érosion et du transport sédimentaire. Par conséquent, les glaces participent à l'érosion des berges, à la perte d'habitats riverains et à la dégradation des installations anthropiques (Bernier et coll., 2020). Le régime des glaces sur le tronçon fluvial du Saint-Laurent dans le secteur du projet contribue alors à la dynamique de transport sédimentaire.

L'ensemble des facteurs naturels énumérés précédemment (ex. : la vitesse des courants, les débits, les niveaux d'eau et les glaces), jouent un rôle dans la dynamique des berges. Le pouvoir érosif de ces éléments provient des forces hydrodynamiques induites sur les berges qui découlent elles-mêmes des phénomènes météorologiques et hydrologiques du milieu. En conjuguant les facteurs météorologiques, voire climatiques, avec les facteurs morphologiques, certains milieux deviennent plus sujets à l'érosion.

Le tableau 5.2 présente les paramètres météorologiques pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy. Les températures annuelles moyennes, pour la période de 1991-2020, varient entre 6,4 et 6,6 °C. Les températures moyennes les plus basses sont atteintes en hiver (-8,5 °C) alors que les températures moyennes les plus chaudes sont atteintes en été (20,1°C) (Ouranos, 2023a).

La dynamique de formation et de fonte de la glace sur le fleuve est conditionnée par les températures hivernales. L'analyse des cartes de glace faite par CIMA+ (2024) permet de conclure que l'épaisseur de glace consignée sur les cartes de glace du Service canadien des glaces (SCG), pendant le mois de janvier, ne dépasse jamais 30 cm dans la zone d'étude. Les glaces sont prédominantes pendant les mois de février et de mars où le nombre de jours d'englacement d'une épaisseur de plus de 15 cm et de concentration supérieure à 50 % est de 14 jours et 16 jours respectivement. La fréquence d'occurrence de ce type de couverture est donc de 50 % et de 52 % pour février et mars. Des épaisseurs de plus de 30 cm sont parfois observées au début du mois d'avril.

En ce qui concerne la présence de banquises et de sarrasins de moins d'un mètre d'épaisseur, leurs fréquences d'occurrence se situent respectivement à 49 % et à 33 % en moyenne. La présence de sarrasins de plus d'un mètre d'épaisseur est beaucoup plus rare et survient moins de 5 jours par saison typique de 100 jours. La banquise est particulièrement importante pendant le mois de février, où sa fréquence d'occurrence est de 89 %.

Dans un contexte de changements climatiques, les projections indiquent une tendance au réchauffement (Ouranos, 2023b). La hausse des températures hivernales influencera la formation du couvert de glace (épaisseur et nombre de jours de glace) et, par conséquent, il est possible que le couvert de glace diminue (Bernier et coll., 2020). Le couvert de glace agit comme un système de protection des berges. Son amincissement, causé par des températures plus chaudes, et la modification de sa distribution sur le fleuve induit par les activités anthropiques, diminuent cet effet de protection des berges (Bernier et coll., 2020). La fréquence, l'intensité et l'occurrence de l'englacement et de la fonte des glaces au Québec pourraient se produire plus tôt dans l'année. Par ailleurs, l'analyse de l'épaisseur maximale annuelle du couvert de glace entre 1990 et 2017 montre une tendance à la baisse; le principal impact attendu sur la dynamique des glaces dans le secteur consiste en une prise plus tardive de la banquise en rive. La présence des infrastructures devrait favoriser la stabilisation de la banquise et ainsi permettre une plus large couverture de glace vers le large et l'amont et plus longtemps en saison (CIMA+, 2024).

Tableau 5.2 Températures annuelles moyennes et précipitations totales pour le territoire de la ville de Sorel-Tracy entre 1991 et 2020

Saison	Température moyenne (°C)	Précipitations totales (mm)
Annuel	Entre 6,4 et 6,6	Entre 1093 et 1099
Hiver	Entre -8,5 et -7,8	261
Printemps	5,2	Entre 255 et 257
Été	Entre 20,0 et 20,1	291
Automne	Entre 8,3 et 8,7	Entre 283 et 287

Ouranos (2023a)

5.2.4 Facteurs anthropiques

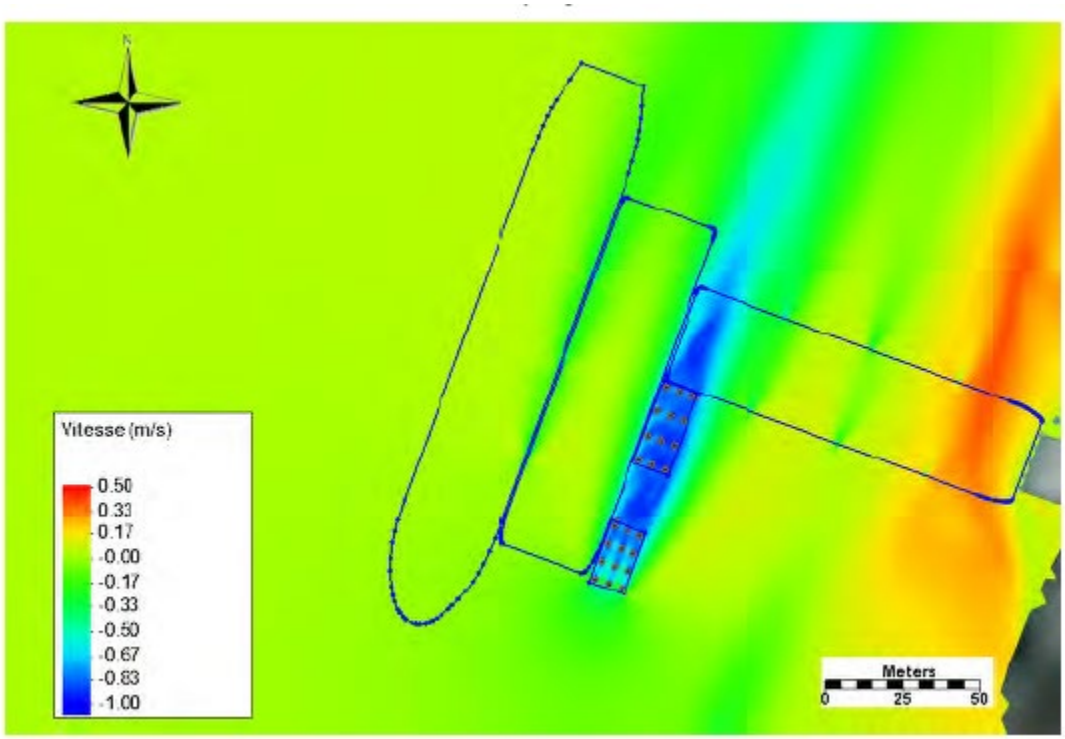
Les pressions anthropiques exercées par les activités humaines sur les milieux côtiers sont principalement les aménagements d'infrastructures routières ou ferroviaires, le développement industriel ou résidentiel, l'enrochement des rives et la construction de murets, la présence de marinas, etc. Le fleuve Saint-Laurent est la région la plus densément peuplée du Québec et les aménagements et activités humaines sur les rives du tronçon fluvial ont fortement modifié sa morphologie (Bernier et coll., 2020). Leurs répercussions sont observables sur le recul accéléré des lignes de rivage et la dégradation des berges et des habitats naturels (Bhiry et coll., 2013).

Situées dans la zone de navigation des navires commerciaux, les berges dans la zone du terminal portuaire projetée sont aussi soumises à l'érosion induite par le batillage des nombreux navires commerciaux ou de plaisance qui empruntent le chenal de navigation dans le fleuve. Le battement de vagues contre les berges d'un cours d'eau est un phénomène naturel amplifié par le sillage généré par le passage de bateaux (Bernier et coll., 2020). De plus, la pression exercée sur les berges par l'action du batillage est majoritairement présente dans le secteur du tronçon fluvial compris entre Montréal et Sorel où près de 85 % de l'érosion totale entre Cornwall (Ontario) et Montmagny (Québec) peut être attribuée aux vagues produites par les navires commerciaux (Bernier et coll., 2020). Dauphin (2000) a estimé à 35 % l'influence des navires commerciaux sur l'érosion des berges dans la zone d'étude, comme déterminé à l'aide des données sur l'érosion pour la période de 1964 à 1983.

Dans les zones sensibles du tronçon Montréal−Lac Saint-Pierre, les navigateurs doivent volontairement abaisser leur vitesse à 10 nœuds vers l'amont et à 14 nœuds vers l'aval. En présence de niveaux d'eau élevés, cette mesure peut cependant accentuer l'effet des vagues (Environnement Canada et MDDEP, 2010; dans Allard, 2015).

5.3 Effets de la présence du quai actuel et futur

L'étude hydraulique réalisée par CIMA+ en 2024 montre que les structures projetées entraîneraient une réduction des vitesses d'écoulement moyennes en aval des pieux et ducs-d'Albe composant le nouveau quai et une diminution de la largeur de la zone de faibles vitesses en rive au droit des caissons (figure 5.3). Une augmentation de vitesses d'écoulement en rive (de 0,2 m/s à 0,4 m/s) est cependant obtenue en condition de crue. En fonction de la nature et du calibre des sédiments, une augmentation des vitesses d'écoulement de cet ordre représente un faible risque d'érosion pour les sédiments sableux et silteux à la périphérie des pieux et en rive au pied des caissons actuels en période de crue. Par prudence, une mesure de protection comme un enrochement de pierres de petit calibre pourra être installée au pied des pieux et des caissons. En condition moyenne d'écoulement, l'augmentation des vitesses modélisées en 2D est toutefois négligeable et ne suggère pas d'augmentation du risque d'érosion du lit ou des berges.



CIMA+, 2024.

Figure 5.3 Différentiel de vitesse dans la zone du quai – scénario actuel versus projeté en crue 2 ans

6. Conclusions

Les rives dans la zone sont constituées de remblais végétalisés, stables avec enrochements du talus. Le milieu humide présent du côté ouest des infrastructures existantes exerce un rôle de protection de la rive. La partie aval de la zone d'étude est sujette au transport sédimentaire local dû principalement au degré d'exposition de la côte aux vents du nord.

En période hivernale, la zone d'étude est exposée aux processus glaciaires et les changements climatiques modifieront le régime des glaces du secteur avec une prise plus tardive de la banquise en rive. La présence des infrastructures devrait favoriser la stabilisation de la banquise et ainsi permettre une plus large couverture de glace vers le large et l'amont et plus longtemps en saison.

Quant aux vitesses d'écoulement moyennes, les structures projetées entraîneraient une réduction des vitesses en aval des pieux et ducs-d'Albe composant le nouveau quai et une accélération des vitesses d'écoulement en rive, de même qu'une diminution de la zone de faibles vitesses en rive du côté est. Sans mesure de protection contre l'érosion près de la rive, là où les vitesses s'accélèrent, il en résulterait une augmentation du transport sédimentaire vers l'est dont l'étendue pourrait varier en fonction de la nature et du calibre des sédiments.

7. Références

AECOM (2016). *Centrale thermique de Tracy – Projet de démantèlement – Caractérisation des sédiments*. Rapport présenté à Hydro-Québec.

Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec (AGRCQ) (2017). *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*. En ligne : https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1095/1/AGRCQ_2016_Guide-sur-la-gestion-des-cours-d%27eau_Ch1-6_A.pdf

Allard, A. (2015). *Navigation commerciale sur le Saint-Laurent : entre perspectives économiques et développement durable*. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, 134 p. + annexes. En ligne : https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2015/Allard_Lauriane_MEnv_2015.pdf

Bernier, J.-F., Chassiot, L., Ouellette, C. et Lajeunesse, P. (2020). *Caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent*. Rapport soumis au ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Laboratoire de géosciences marines, Département de Géographie, Université Laval. En ligne : https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/8301c7ed-6b27-4319-9150-435246634b90/resource/a5d514c3-9356-40f5-9362-35967808be9b/download/caracterisationbergesulmars2020.pdf

Bhiry, N., Cloutier, D., Audrée Gervais, Couillard, L., Lamarre, P. et Normandeau, M. (2013). *Évolution des hauts marais de l'estuaire d'eau douce du Saint-Laurent et stratégies de protection des espèces en situation précaire dans une perspective de changements climatiques*. En ligne : https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2100.2327

Buffin-Bélanger (2018). *Hydrogéomorphologie et analyse des dynamiques fluviales*. Laboratoire de recherche en géomorphologie et dynamique fluviale. UQAR. Rendez-vous des OBV. En ligne : https://robvq.qc.ca/wp-content/uploads/2021/09/13h00_buffin_ROBVQ2018_compressed.pdf

CIMA+ (2024). *Étude hydraulique Nouveau Port Sorel – Construction d'un quai*. Rapport préparé pour QSL – Arrimage Québec, dans le cadre du projet no Q213012A. 70 p. + annexes

Dauphin, Diane (2000). *Influence de la navigation commerciale et de la navigation de plaisance sur l'érosion des rives du Saint-Laurent dans le tronçon Cornwall-Montmagny*. Rapport final présenté au Ministère des Transports du Québec, Service du transport maritime et aérien. Dans Bibliothèque et Archives nationales du Québec (BAnQ). En ligne : https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/42302?docref=gMLHjJmAX793Q8zkA2qZ0w&docsearchtext=batillage

Environnement Canada (2023). *Niveau d'eau et débit*. En ligne : https://eau.ec.gc.ca/report/historical_f.html?stn=02OB011

Geoselec (2024). Boutique en ligne. Geoselec. En ligne : https://geoselec.com/fr/recherche

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN) (2019). Imagerie aéroportée forestière historique [Service des pavés cartographiques Web (WMTS)]. Données Québec. https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/imagerie-historique#:~:text=L'imagerie%20a%C3%A9roport%C3%A9e%20foresti%C3%A8re%20historique,foresti%C3%A8re%20(planification%20foresti%C3%A8re%20op%C3%A9rationnelle%2C%20suivis

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (2022). *Guide d'interprétation de l'indice de qualité bactériologique et physicochimique de l'eau (IQBP5 et IQBP6)*. En ligne : https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/suivi_mil-aqua/guide-interpretation-indice-qualite-bacteriologique-physicochimique-eau.pdf

Ouranos (2023a). Températures – Changements projetés. Ouranos. En ligne : https://www.ouranos.ca/fr/temperatures-changements-projetes#:~:text=La%20partie%20nord%20du%20Nunavik,situe%20autour%20de%202%20jours

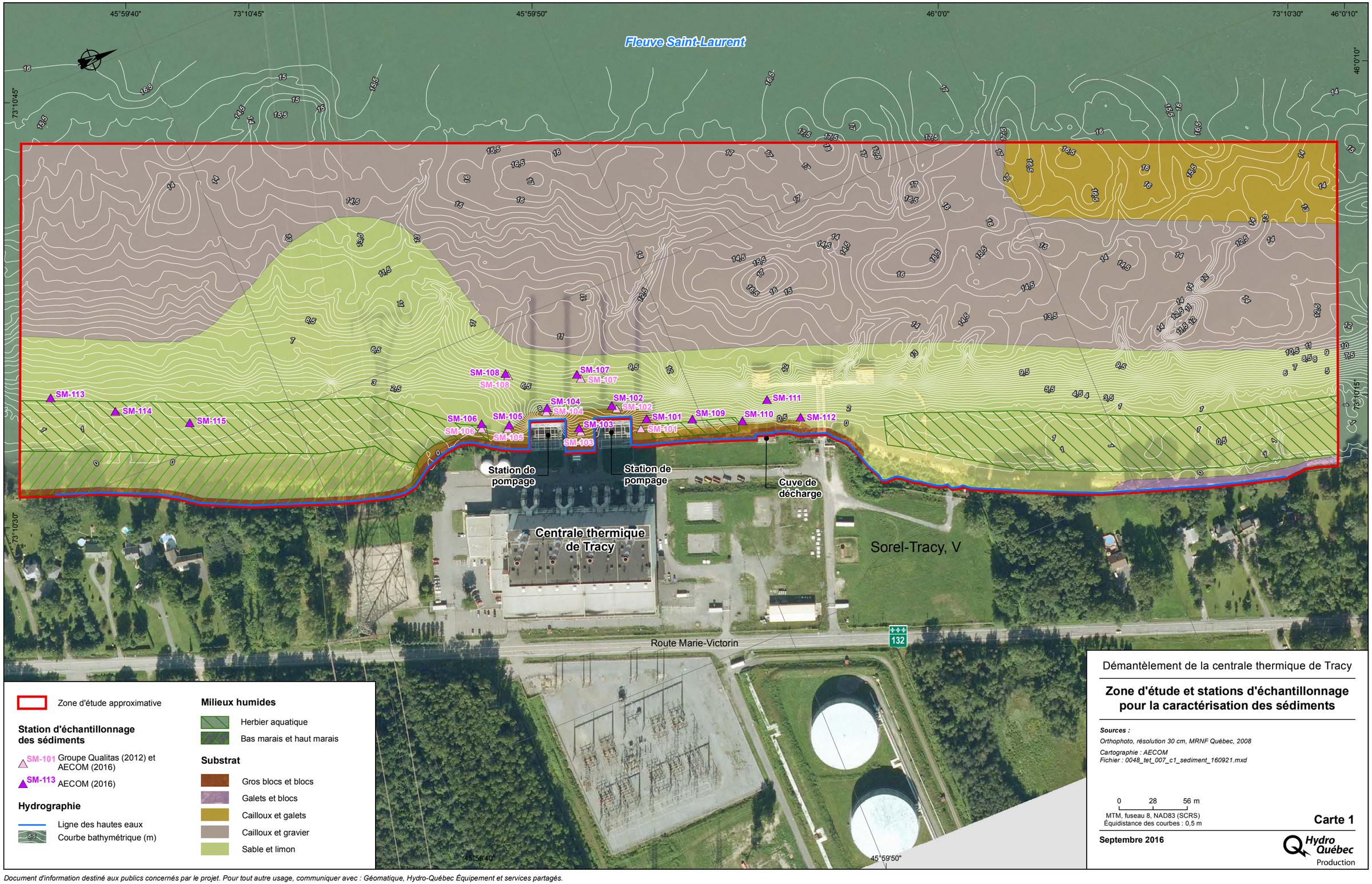
Ouranos (2023b). Portraits climatiques. Ouranos. En ligne : https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques

PACES-Montérégie Est (2013). *Portrait des ressources en eau souterraine en Montérégie Est, Québec, Canada*. Projet réalisé conjointement par l'INRS, la CGC, l'OBV Yamaska et l'IRDA dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines, rapport final INRS R-1433.

SNC-Lavalin (2022). *Zone Industrialo-portuaire Sorel-Tracy ; Caractérisation biophysique initiale pour l'installation d'un quai flottant* – Inventaires 2021.

A

Annexe A
Stations échantillonnées par AECOM (2016)



Zone d'étude approximative

Station d'échantillonnage des sédiments

SM-101 Groupe Qualitas (2012) et AECOM (2016)

SM-113 AECOM (2016)

Hydrographie

Ligne des hautes eaux

Courbe bathymétrique (m)

Milieux humides

Herbier aquatique

Bas marais et haut marais

Substrat

Gros blocs et blocs

Galets et blocs

Cailloux et galets

Cailloux et gravier

Sable et limon

Démantèlement de la centrale thermique de Tracy

Zone d'étude et stations d'échantillonnage pour la caractérisation des sédiments

Sources :

Orthophoto, résolution 30 cm, MRNF Québec, 2008

Cartographie : AECOM
Fichier : 0048_tet_007_c1_sediment_160921.mxd

0 28 56 m

MTM, fuseau 8, NAD83 (SCRS)
Équidistance des courbes : 0,5 m

Carte 1

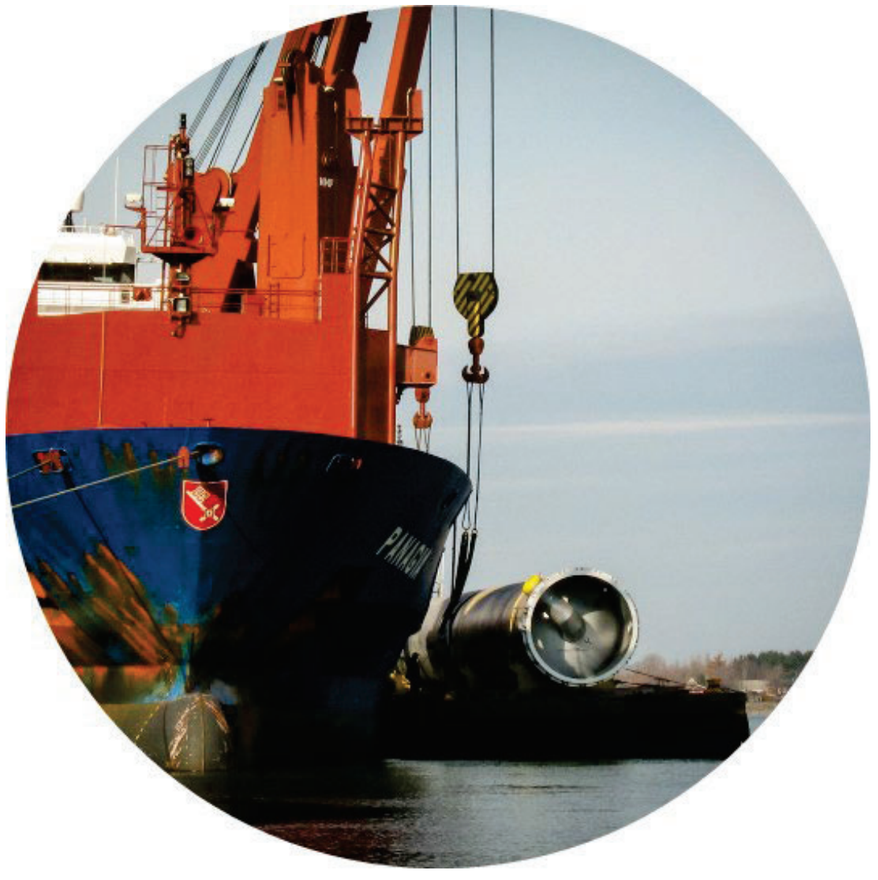
Septembre 2016

Hydro Québec Production

Document d'information destiné aux publics concernés par le projet. Pour tout autre usage, communiquer avec : Géomatique, Hydro-Québec Équipement et services partagés.

20. Étude de la contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy

Deloitte.



Étude de la contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy

28 janvier 2022

Remarque à l’intention du lecteur

Les estimations présentées dans ce rapport ont été fournies à **QSL** aux fins de l’analyse de la contribution économique des activités d’exploitation et des dépenses d’investissement de QSL dans la région de Sorel-Tracy.

Cette étude ne constitue pas une analyse des coûts et des avantages réalisée pour le compte de QSL ou toute autre partie prenante et ne constitue pas une comparaison de l’incidence économique potentielle des activités de QSL par rapport à l’incidence potentielle d’une autre utilisation des ressources. En outre, cette étude ne tient pas compte du coût d’opportunité des dépenses de QSL, y compris les coûts de renonciation pour QSL et les autres parties prenantes.

Deloitte se dégage de toute responsabilité ou obligation à l’égard d’éventuelles pertes subies par qui que ce soit par suite de la publication, de la distribution, de la reproduction ou de l’utilisation de la présente analyse qui seraient contraires aux fins visées.

La présente analyse a été effectuée uniquement pour les fins énoncées, et ne doit être utilisée à aucune autre fin. Par ailleurs, ni cette analyse (y compris les références à cette dernière) ni toute partie de son contenu (y compris, sans s’y limiter, l’identité de Deloitte ou de tout signataire du présent rapport ou de toute personne associée à ce rapport, ou des associations ou organismes professionnels auxquels ils sont affiliés) ne doit être communiquée à des tiers par quelque moyen que ce soit, notamment dans un document, sans le consentement et l’autorisation préalables écrits de Deloitte. Notre rapport et nos travaux ne peuvent être inclus, ou cités, dans un document public ou relatif aux investissements sans le consentement préalable de Deloitte.

L’analyse contenue dans ce rapport est valable en date du 28 janvier 2022. Deloitte ne s’engage pas à aviser qui que ce soit d’un éventuel changement des faits ou des sujets influant sur ces analyses qui pourrait être porté à son attention après cette date. Sans limiter ce qui précède, si un fait ou un sujet influant sur nos analyses devait subir un changement important après cette date, nous nous réservons le droit de changer, de modifier ou de retirer ces analyses.

Nos observations sont formulées en fonction des conditions de l’économie, du secteur, de la concurrence et du contexte commercial général à la date des présentes. Dans nos analyses, il se peut que nous ayons formulé des hypothèses relatives à l’état du secteur, à la conjoncture économique, au contexte commercial dans son ensemble et à d’autres facteurs dont bon nombre sont indépendants de notre volonté, notamment la réglementation de l’État et du secteur.

Nous n’avons aucune intention de fournir d’opinion, d’avis ou d’interprétation sur les questions qui nécessitent des conseils juridiques ou d’autres conseils professionnels appropriés. Nous supposons que ces opinions, avis ou interprétations ont été, ou seront, obtenus auprès des sources professionnelles appropriées. En présence de problèmes juridiques liés à la conformité aux lois, règlements et politiques applicables, nous n’assumons aucune responsabilité en ce sens.

Nos analyses doivent être prises en compte dans leur ensemble. Isoler une partie des analyses ou des facteurs sur lesquels elles portent, en passant outre l’ensemble des facteurs et des analyses considérées, risque de procurer une vision trompeuse des questions abordées dans le rapport. La modification de l’une ou l’autre des hypothèses posées ici et là dans le rapport pourrait avoir une incidence importante sur les analyses qu’il contient. Si l’une des principales hypothèses est inexacte ou que les informations qui nous ont été fournies sont erronées ou non fidèles à la réalité, les analyses exprimées dans le rapport pourraient être fort différentes.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Table des matières



1 **Sommaire exécutif** 4

2 **Introduction** 7

3 **Contribution économique de QSL entre 2017 et 2021** 11

4 **Contribution économique de QSL en 2021** 13

5 **Annexe – Méthodologie du modèle d'entrées-sorties** 15

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Sommaire exécutif

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

A propos de cette étude

Vue d’ensemble de QSL et de son activité dans la région de Sorel-Tracy

À propos de QSL

QSL est une entreprise spécialisée dans l’opération de terminaux portuaires, l’arrimage, les services maritimes, la logistique et le transport. Son réseau de sites portuaires s’étend au Canada et aux États-Unis.

QSL est, entre autres, propriétaire du terminal de Sorel-Tracy, situé à l’embouchure de la rivière Richelieu à Saint-Joseph-de-Sorel. Au cours des dernières années, QSL a investi d’importantes sommes dans cette région pour construire trois nouveaux entrepôts et un nouveau terminal portuaire en partenariat avec la ville de Sorel-Tracy afin de répondre à une demande croissante dans les secteurs de l’acier, des produits surdimensionnés et des produits agricoles.

À propos de cette étude

QSL a demandé à Deloitte de **quantifier et de formaliser la contribution socio-économique** de ses investissements récents ainsi que de ses dépenses d’exploitation dans la région de Sorel-Tracy entre 2017 et 2021. Les contributions économiques directes, indirectes et induites sont estimées à partir d’une simulation du modèle d’entrées-sorties de Statistique Canada.

Les résultats représentent donc uniquement les effets des dépenses de QSL dans les environs de Sorel-Tracy. Aux fins de l’étude, la région comprend les territoires des six municipalités régionales de comté (MRC) suivantes:

- Drummond
- La Vallée-du-Richelieu
- Les Maskoutains
- Marguerite-D’Youville
- Nicolet-Yamaska
- Pierre-De Saurel



★ MRC comprises dans la zone d’étude.

Source: Gouvernement du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Sommaire executif

Aperçu de la contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy

Contribution économique dans la région de Sorel-Tracy entre 2017 et 2021

75,1 $M
Dépenses (investissement et exploitation)

87,5 $M
Contribution au PIB

57,2 $M
Revenu du travail

192
Emplois annuels moyens (ETP)
(chaque année entre 2017 et 2021)

Contribution économique dans la région de Sorel-Tracy en 2021

21,7 $M
Dépenses (investissement et exploitation)

24,2 $M
Contribution au PIB

14,8 $M
Revenu du travail

227
Emplois annuels moyens (ETP)
(2021)

Notes:
1. Contributions économiques totales (c.-à-d. directes, indirects et induites); Toutes les valeurs sont exprimées en dollars de 2021.
2. ETP: Équivalent temps plein, comptés en fonction de la durée de l'emploi et non en fonction du statut à temps plein ou à temps partiel des employés.
3. En 2017 et 2018, QSL n'a pas effectué de dépenses en infrastructures, expliquant le nombres d'emplois annuels moyens plus important pour 2021 que pour la période 2017-2021.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Introduction

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

À propos de QSL

QSL est un important arrimeur et opérateur de terminaux maritimes de l'Est canadien

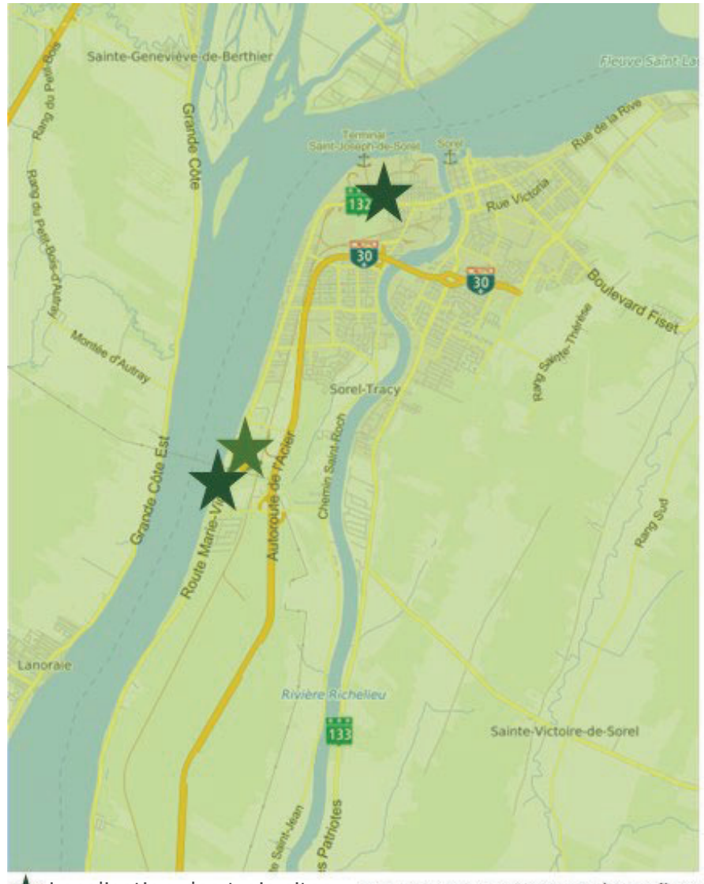
Le réseau QSL

QSL est une entreprise spécialisée dans l'opération de terminaux portuaires, l'arrimage, les services maritimes, la logistique et le transport. Son réseau de sites portuaires s'étend au Canada et aux États-Unis. QSL est, entre autres, propriétaire du terminal de Sorel-Tracy, situé à l'embouchure de la rivière Richelieu à Saint-Joseph-de-Sorel. Au cours des dernières années, QSL a investi d'importantes sommes dans cette région pour construire trois nouveaux entrepôts et un nouveau terminal portuaire en partenariat avec la ville de Sorel-Tracy afin de répondre à une demande croissante dans les secteurs de l'acier, des produits surdimensionnés et des produits agricoles.

Le terminal de Sorel-Tracy

QSL est propriétaire d'un terminal portuaire situé à Saint-Joseph-de-Sorel à 70 km à l'est de Montréal à l'embouchure de la rivière Richelieu. Le terminal est l'unique port privé multi usagers de la voie maritime du Saint-Laurent et est spécialisé dans la manutention de produits d'acier, des cargaisons générales et d'engrais. Il est situé dans le périmètre de la zone industrialo-portuaire (IP) de Sorel-Tracy, lui permettant d'être desservi par deux voies ferrées du Canadien National (CN) et par les principales autoroutes nord-américaines.

Au cours des cinq dernières années, QSL a effectué des dépenses d'exploitation de 62 M$ dans la région et investi environ 25 M$ (dont plus de 13 M$ auprès de fournisseurs locaux) dans la construction de trois nouveaux entrepôts et un nouveau terminal portuaire en partenariat avec la ville de Sorel-Tracy afin de répondre à une demande croissante dans les secteurs de l'acier, des produits surdimensionnés et des produits agricoles.



Localisation des trois sites. Source: Gouvernement du Québec

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

L’activité économique de QSL

Plus de 75 M$ investis dans la région de Sorel-Tracy au cours des cinq dernières années

Dépenses d’exploitation

Au cours des cinq dernières années, les **dépenses d’exploitation de QSL ont dépassé les 62 M$.** Ces dépenses incluent les salaires et avantages sociaux annuels d’environ 100 employés, dont les arrimeurs de la région de Sorel-Tracy. Les autres dépenses courantes réalisées dans la région comprennent les achats de produits manufacturiers, des services en construction, d’aménagement paysager et de transport.

Le tableau 1 résume les dépenses d’exploitation de QSL entre 2017 et 2021.

Tableau 1: Dépenses d’exploitation de QSL dans la région de Sorel-Tracy entre 2017 et 2021

	Dépenses d’exploitation
2017	8,2 M$
2018	10,6 M$
2019	12,2 M$
2020	14,7 M$
2021	16,3 M$
Total	**62,0 M$**

Note: Toutes les valeurs sont exprimées en dollars de 2021.

Dépenses d’immobilisation

Entre 2019 et 2021, QSL a investi 24,8 M$ en nouvelles infrastructures dans la région, dont plus de **13,1 M$ auprès de fournisseurs locaux**. Les dépenses effectuées dans la région comprennent une gamme de services en support au chantier de construction tels que la location d’équipements, la location de terrains, l’achat de produits manufacturiers, ainsi que des honoraires professionnels pour des services en architecture et en construction.

Le tableau 2 présente la répartition annuelle des dépenses d’immobilisation de QSL à Sorel-Tracy entre 2019 et 2021.

Tableau 2: Dépenses d’investissement de QSL dans la région de Sorel-Tracy entre 2019 et 2021

	Dépenses d’immobilisation	
	Dépenses totales	**Dépenses auprès de fournisseurs de la région de Sorel-Tracy**
2019	6,1 M$	3,6 M$
2020	8,3 M$	4,1 M$
2021	10,5 M$	5,4 M$
Total	**24,8 M$**	**13,1 M$**

Note: Toutes les valeurs sont exprimées en dollars de 2021.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Cadre analytique de l’étude

Les contributions économiques directes, indirectes et induites sont estimées à partir d’une simulation du modèle d’entrées-sorties de Statistique Canada.

Contribution directe

Associée directement aux dépenses d’investissement et d’exploitation de QSL. Par exemple, l’achat de biens et services auprès de fournisseurs, les salaires versés aux employés, les taxes payées sur la production et le revenu du travail.

Contribution indirecte

Associée à l’apport économique des fournisseurs de QSL découlant de la demande de biens et services provenant des activités de QSL. Par exemple, de l’activité économique engendrée dans les secteurs de la manutention spécialisée, de l’achat de matériaux de construction tels que le béton pour le pavage.

Contribution induite

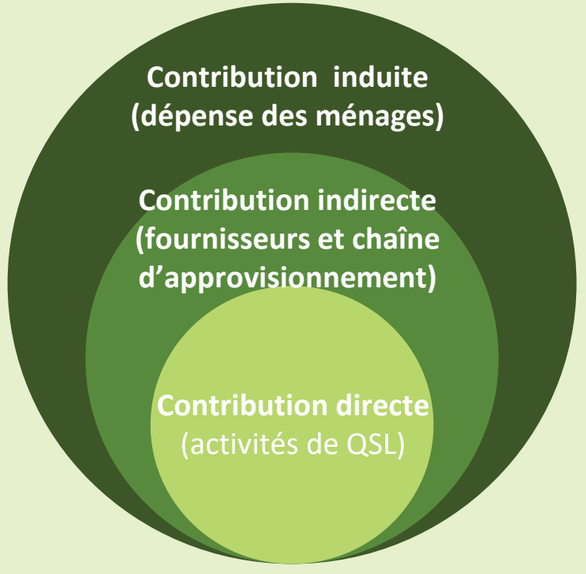
Associée aux dépenses des ménages grâce aux salaires et traitements versés par QSL et par ses fournisseurs locaux. Par exemple, les dépenses en biens et services des employés de QSL.

La contribution économique se chiffre comme suit :

La valeur ajoutée (produit intérieur brut, ou PIB) est une mesure de la valeur totale, sans double compte, des biens et des services produits sur le territoire économique d’un pays ou d’une région au cours d’une période donnée. Le PIB englobe le revenu des ménages découlant des activités productives courantes (salaires, traitements et revenus des entreprises non constituées en société) de même que les bénéfices et d’autres revenus gagnés par les entreprises constituées en société.

Le revenu du travail représente le total des gains des employés (y compris les employés des fournisseurs), à savoir les salaires, les traitements et le revenu supplémentaire du travail (cotisations de l’employeur aux régimes de retraite, aux fonds de pension, au fonds de l’assurance-emploi et à la caisse d’indemnisation des accidentés du travail).

L’emploi est estimé en équivalent temps plein, une mesure utilisée pour représenter une année-personne complète.



© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

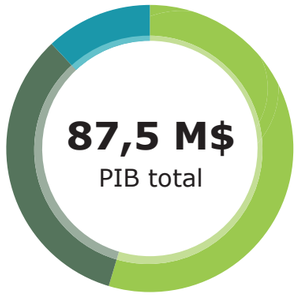
Contribution économique de QSL entre 2017 et 2021

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy entre 2017 et 2021

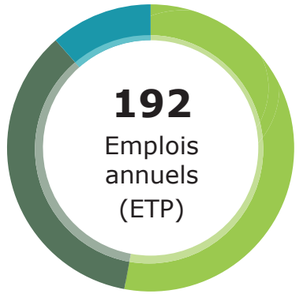
Entre 2017 et 2021, les dépenses de QSL ont contribué 87,5 M$ au PIB régional, 57,2 M$ en revenu du travail et permis de maintenir 192 emplois annuels.

Contribution économique estimée de QSL | Sur la base de dépenses de 75,1 M$ dans la région de Sorel-Tracy entre 2017 et 2021



Produit intérieur brut

- Effet direct: **47,8 M$**
- ✚
- Effet indirect: **29,2 M$**
- ✚
- Effet induit: **10,5 M$**



Emploi annuel (ETP)

- **101** emplois directs annuels
- ✚
- **68** emplois indirects annuels
- ✚
- **22** emplois induits annuels



Revenu du travail

- Effet direct: **33,5 M$**
- ✚
- Effet indirect: **18,8 M$**
- ✚
- Effet induit: **5,0 M$**

- Pour chaque dollar dépensé par QSL, **environ 1,2 $ en activité économique (en termes de PIB) a été apporté à l'économie de la région de Sorel-Tracy**, prenant en compte les impacts direct, indirects et induits.
- Pour chaque million de dollars dépensés par QSL, environ **12 emplois (ETP) ont été créés ou maintenus dans la région de Sorel-Tracy**, prenant en compte les impacts direct, indirects et induits.

Note: Toutes les valeurs sont exprimées en dollars de 2021. Les chiffres totaux peuvent être légèrement différents en raison des arrondis. Les dépenses ont été extrapolées pour la fin d'année 2021

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Contribution économique de QSL en 2021

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

La contribution économique de QSL dans la région de Sorel-Tracy en 2021

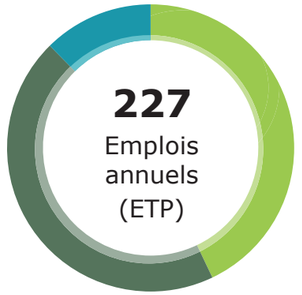
Les investissements de QSL en 2021 ont contribué à hauteur de 24,2 M$ en valeur ajoutée (PIB), 14,8M$ en salaires et avantages sociaux et a maintenu 227 emplois annuels.

Contribution économique estimée de QSL | Sur la base de dépenses de 21,7 M$ dans la région de Sorel-Tracy en 2021



Produit Intérieur Brut

- Effet direct: **10,3 M$**
- **+**
- Effet indirect: **10,8 M$**
- **+**
- Effet induit: **3,0 M$**



Emploi annuel (ETP)

- **97** emplois directs annuels
- **+**
- **101** emplois indirects annuels
- **+**
- **28** emplois induits annuels



Revenu du travail

- Effet direct: **6,6 M$**
- **+**
- Effet indirect: **6,8 M$**
- **+**
- Effet induit: **14,8 M$**

- Pour chaque dollar dépensé par QSL en 2021, environ **1,1 $ en activité économique (en termes de PIB) a été apporté à l'économie de la région de Sorel-Tracy**, prenant en compte les impacts direct, indirects et induits.
- Pour chaque million de dollar dépensé par QSL en 2021, environ **10 emplois (ETP) ont été crées ou maintenus dans la région de Sorel-Tracy**, prenant en compte les impacts direct, indirects et induits.

Note: Toutes les valeurs sont exprimées en dollars de 2021. Les chiffres totaux peuvent être légèrement différents en raison des arrondis. Les dépenses ont été extrapoles pour la fin d'année 2021

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Annexe – Méthodologie pour les simulations à l’aide du modèle entrées-sorties

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Modélisation d’entrées-sorties

Le modèle d’entrées-sorties de Statistique Canada

Au Canada, la source faisant autorité et complète pour le calcul des variables économiques est le modèle d'entrées-sorties de Statistique Canada (2018). Ce modèle permet de simuler les retombées économiques d’une dépense sur un ensemble donné de biens et services, ou les sorties d’un ou de plusieurs secteurs et le commerce interprovincial aux niveaux de juridiction provinciale et nationale.

Le modèle permet d’estimer l’effet des dépenses, d’une hausse de la demande ou des investissements sur l’économie d’une région. Pour ce faire, le lien entre la production des produits et services et chaque secteur est établit, et les intrants intermédiaires utilisés dans la production de chaque bien ou service utilisé par les consommateurs, destiné à l’exportation ou acheté par un gouvernement sont déterminés. Ensuite, le modèle peut regrouper toutes les retombées liées à l’emploi et à la valeur ajoutée générées dans la chaîne d’approvisionnement au fil de la production des produits de base. Le modèle d’entrées-sorties tient également compte du rôle des importations, qui créent un lien entre la chaîne d’approvisionnement et l’économie mondiale.

La contribution économique au niveau régional

Afin d’estimer les retombées économiques dans la région de Sorel-Tracy spécifiquement, QSL a d’abord circonscrit les dépenses effectuées spécifiquement dans la zone d’étude à partir des codes postaux des fournisseurs. Ensuite, Deloitte a estimé les retombées économiques de ces dépenses pour l’ensemble du Québec à l’aide du modèle d’entrées-sorties de Statistique Canada et estimé la contribution à l’échelle régionale en appliquant des quotients de localisation calculés à partir des données sur l’emploi par secteur de l’économie dans les six MRC étudiées et au Québec. Les quotients de localisation mesurent l'intensité de l'emploi dans un secteur donné d'une région par rapport au niveau de l'emploi dans ce secteur à l'échelle nationale.

Hypothèses et limitations du modèle d’entrées-Sorties

Le modèle d'entrées-sorties de Statistique Canada est une norme de l’industrie pour estimer les contribution économiques, mais un certain nombre d’hypothèses et de limitations générales y sous-tendent:

- Le modèle reflète une structure macroéconomique simplifiée et ne tient pas compte de certaines variables qui seraient pertinentes pour une analyse macroéconomique, telles que les taux d’intérêt, de chômage ou d’imposition.
- Le modèle présume que l’économie canadienne a la capacité de produire les biens et les services rendus nécessaires par le choc économique. Il n’est pas en mesure de prédire des situations où la demande serait supérieure à la capacité de produire les biens et les services requis; cependant, il permet d’évaluer la part des biens et services provenant des autres provinces du Canada et d’ailleurs dans le monde.

Les estimations de Deloitte donnent un aperçu de l'activité économique susceptible d'être associée aux investissements de QSL. Toutefois, nos résultats ne tiennent pas compte du coût d'opportunité des ressources utilisées. En tant que telles, les estimations ne représentent pas de nouveaux impacts économiques nets.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Autres ajustements et calculs

Ajustement pour l’inflation

QSL a fourni ses données de dépenses en dollars courants, c’est-à-dire la valeur de la monnaie au moment où la dépense a été effectuée. Deloitte a converti les dollars courants en dollars constants de 2021 afin de comparer les dépenses sur la même base et pouvoir présenter l’impact cumulatif entre 2017 et 2021. Les dépenses annuelles ont été converties en dollars constants au moyen de l’Indice des prix à la consommation (IPC) du Québec, qui reflète les habitudes de dépenses moyennes des consommateurs au Québec.

Le tableau ci-dessous présente les taux annuel de l’IPC utilisés pour cette étude. Les informations proviennent de Statistique Canada, Tableau 18-10-0005-01 Indice des prix à la consommation, moyenne annuelle, non désaisonnalisé et de l’Institut de la Statistique du Québec, Tableau Indice des prix à la consommation (IPC), indice d'ensemble, Canada, Québec, RMR de Montréal et RMR de Québec, données mensuelles non désaisonnalisées.

Tableau 3: Indice des prix à la consommation, Québec, taux annuels, 2002=100

	Taux annuels de l’IPC
2017	126,9
2018	129,0
2019	131,7
2020	132,8
2021 **(Moyenne de l’IPC mensuel entre Jan et Nov)**	137,6

Extrapolation des dépenses pour 2021

Cette étude étant réalisée en novembre 2021, les données pour les deux derniers mois de l’année 2021 n’étaient pas disponibles.

En accord avec QSL, Deloitte a extrapolé les dépenses d’exploitation, incluant les salaires pour les mois de novembre et décembre 2021. Ces dépenses ont été extrapolées au pro rata des dépenses de QSL au cours des dix premiers mois de l’année.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Définition des contributions économiques

Produit intérieur brut (PIB)

Le PIB est la « valeur totale, sans double compte, des biens et des services produits sur le territoire économique d'un pays ou d'une région au cours d'une période donnée ».

Le PIB englobe le revenu des ménages découlant des activités productives courantes (salaires, traitements et revenus des entreprises non constituées en société) de même que les bénéfices et d'autres revenus gagnés par les entreprises constituées en société.

Dans le cadre de cette étude, le PIB sert de mesure de la valeur économique totale découlant de la production de biens et services générée par les facteurs (capital humain et financier) de production de QSL.

Emploi

Cette étude évalue la contribution à l'emploi en équivalents d'années complètes d'emploi continu (contribution à l'emploi associée aux dépenses annuelles).

Les équivalents d'années complètes sont comptés en fonction de la durée de l'emploi et non en fonction du statut à temps plein ou à temps partiel des employés. Ainsi, deux employés travaillant à mi-temps ont été considérés comme un équivalent d'année complète si le temps consacré à leur emploi respectif totalisait une année d'emploi.

Cette méthode est conforme à la pratique usuelle dans le domaine statistique. Au niveau direct, la contribution de QSL à l'emploi comprend les employés directs et les employés contractuels inscrits à la paie de l'entreprise, mais ne comprend pas les sous-traitants externes. Au niveau indirect, la contribution de QSL à l'emploi comprend la création et le maintien d'emplois découlant de la demande de biens et de services engendrée pas ses activités dans les secteurs des fournisseurs.

Revenu du travail

Le revenu du travail représente le total des gains des employés (y compris les employés des fournisseurs dans le cadre des projets), à savoir les salaires, les traitements et le revenu supplémentaire du travail (cotisations de l'employeur aux régimes de retraite, aux fonds de pension, au fonds de l'assurance-emploi et à la caisse d'indemnisation des accidentés du travail).

Au niveau direct, la contribution de QSL au revenu du travail comprend les traitements, les salaires et le revenu supplémentaire du travail versés aux employés directs.

Au niveau indirect, la contribution de QSL au revenu du travail comprend les traitements, les salaires et le revenu supplémentaire du travail associés aux emplois créés et maintenus en raison de la demande de biens et services que les activités et les dépenses d'investissement de QSL ont généré auprès des fournisseurs.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

Deloitte.

Deloitte, l’un des cabinets de services professionnels les plus importants au Canada, offre des services dans les domaines de la certification, de la fiscalité, de la consultation et des conseils financiers. Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l., société à responsabilité limitée constituée en vertu des lois de l’Ontario, est le cabinet membre canadien de Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

Deloitte désigne une ou plusieurs entités parmi Deloitte Touche Tohmatsu Limited, société fermée à responsabilité limitée par garanties du Royaume-Uni, ainsi que son réseau de cabinets membres dont chacun constitue une entité juridique distincte et indépendante. Pour obtenir une description détaillée de la structure juridique de Deloitte Touche Tohmatsu Limited et de ses sociétés membres, voir www.deloitte.com/ca/apropos. L’information contenue dans le présent document ne peut remplacer les conseils d’un spécialiste.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.

© AtkinsRéalis sauf indication contraire

AtkinsRéalis
455, René-Lévesque Ouest
Montréal, Québec, H2Z 1Z3