

DIRECTION DES STRUCTURES

AVIS TECHNIQUE

Pont de l'autoroute 40 – Charles-de-Gaulle
Au-dessus de la rivière des Prairies
Municipalité : Montréal / Terrebonne
Projet n° : P-09782

Préparé
par :

Philippe-H. Roy-Gosselin, ing. M. Sc.
N° OIQ : 5 016 295
Module hydraulique
Service de la conception

Vérifié
par :

Christian Poirier, ing. M. Sc.
N° OIQ : 45 257
Chef du Module hydraulique
Service de la conception

Le 11 mars 2015

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
2. PRÉCISIONS DEMANDÉES PAR LE MDDELCC	5
3. MÉTHODOLOGIE RETENUE POUR RÉPONDRE AUX DEMANDES DU MDDELCC	5
3.1 Utilisation d'un modèle par élément finis 2D	5
3.2 Mesure des impacts hydrauliques des différentes solutions proposées	7
3.3 Acquisition d'informations sur les glaces et calculs de force d'impact	8
4. HYDROLOGIE ET CONDITIONS LIMITES	8
4.1 Position des conditions limites du modèle	9
4.2 Rivière des Prairies	10
4.3 Rivière des Mille-Îles	10
4.4 Rivière L'Assomption	11
4.5 Sommaire hydrologique	13
4.6 Niveau d'eau à l'aval du modèle	14
4.7 Débits estivaux maximums	14
5. INTRANTS DU MODÈLE 2D	16
5.1 Importation des données Hydrosim/Modeleur du CEHQ	17
5.2 Calibration du modèle H2D2	17
5.3 Éléments permanents modélisés au pont Charles-de-Gaulle	19
5.4 Éléments permanents modélisés aux ponts Le Gardeur	22
5.5 Ligne d'Hydro-Québec	25
5.6 Éléments temporaires au pont Charles-de-Gaulle	27
5.7 Évaluation du scénario le plus pénalisant	28
6. IMPACTS PERMANENTS DES TRAVAUX EFFECTUÉS	30
6.1 Rehaussement causé par les réparations aux ponts 09782 et 01372	30
6.2 Variation des vitesses causée par les réparations aux ponts 09782 et 01372	33

7. IMPACTS HYDRAULIQUES LORS DES TRAVAUX	35
7.1 Impacts des éléments individuels	35
7.2 Impacts des éléments combinés et analyse du scénario le plus pénalisant avec le pont Le Gardeur et les pylônes d'Hydro-Québec	36
8. IMPACTS SUR LE RÉGIME DE GLACES	38
9. CHOIX DU CALIBRE DE PIERRES POUR L'ENROCHEMENT	40
10. RÉPONSES AUX PRÉCISIONS DEMANDÉES PAR LE MDDELCC	41
11. CONCLUSION	43

Annexes

Annexe A	Plan de localisation
Annexe B	Vérification du calcul des débits de récurrence à l'embouchure de la rivière L'Assomption
Annexe C	Pile en rivière, protection du remplissage des excavations pour une semelle sur sol ou sur pieux, exposée à l'écoulement (sans palplanches)

1. INTRODUCTION

Ce rapport fait suite à une demande d'avis technique, en date du 18 juillet 2014, de monsieur Patrice Joly, ing., chargé d'activités à la Direction de l'Île-de-Montréal (DÎM), concernant la réfection du pont Charles-de-Gaulle de l'autoroute 40 sur la rivière des Prairies (P-09782). La réparation prévue implique des surépaisseurs de béton sur les piles et la mise en place de protections contre l'affouillement. Cet avis technique répond à plusieurs questions adressées au Service des projets de la DÎM par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) à la suite de l'étude d'impact qui leur avait été transmise. La figure 1.1 qui suit présente le plan de localisation du secteur à l'étude. Ce plan est aussi disponible à l'annexe A du présent rapport.

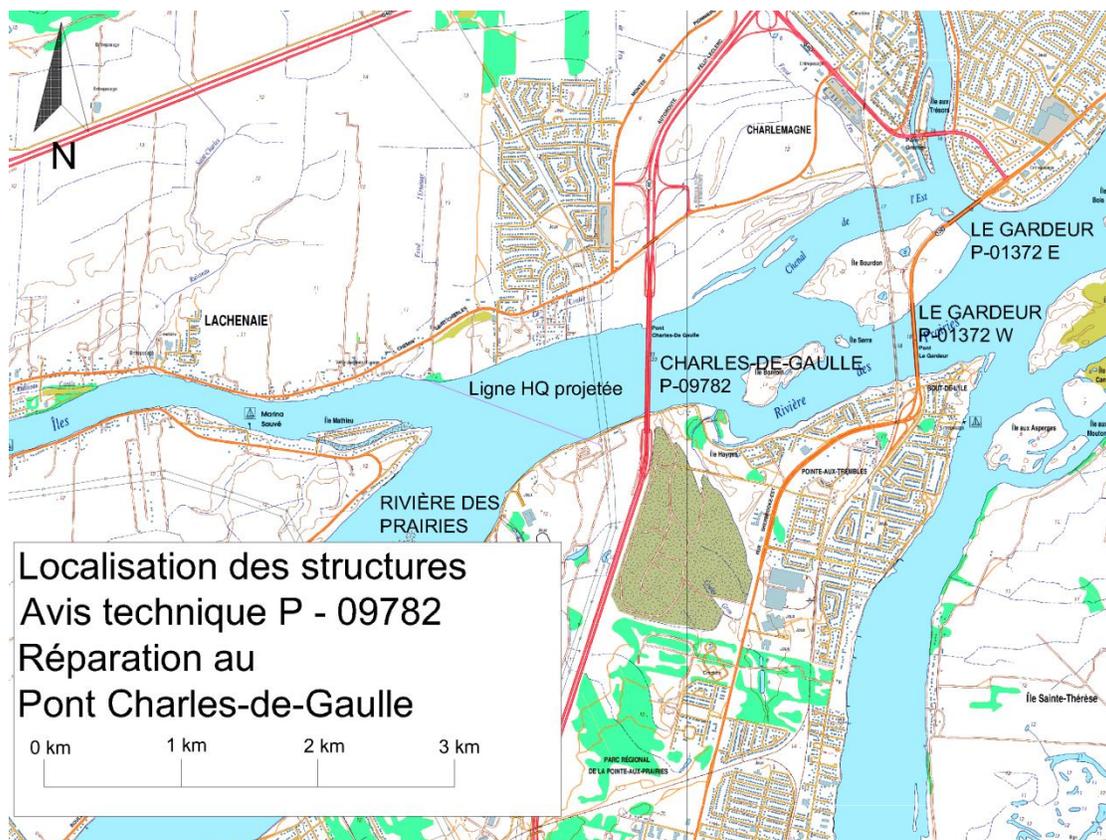


Figure 1.1 Localisation des structures dans le secteur à l'étude

2. PRÉCISIONS DEMANDÉES PAR LE MDDELCC

Le MDDELCC a effectué plusieurs demandes de précision à la suite de l'étude d'impact. Les demandes qui ont été acheminées à notre Service sont les suivantes :

- QC-4 : Présenter une caractérisation fine des niveaux et des vitesses aux abords des piles dans le but d'optimiser les travaux et les enrochements aux semelles afin d'éviter l'affouillement.
- QC-5 : Nommer et quantifier les impacts des structures temporaires et permanentes sur le régime des glaces en tenant compte des impacts cumulatifs associés aux travaux sur le pont Le Gardeur (P-01372W) et sur *la ligne de 735 kV d'Hydro-Québec*¹.
- QC-23 : Préciser l'épaisseur de la surépaisseur employée pour réparer les fissures et les impacts de ces surépaisseurs sur les conditions hydrauliques.
- QC-24 : Préciser la surface d'écoulement qui sera réduite avec la mise en place des enrochements et les méthodes de mise en place.
- QC-25 : Justifier le calibre de pierres utilisé pour l'enrochement à l'aide de paramètres hydrauliques.
- QC-35 : Nommer et décrire les impacts cumulatifs lors des travaux sur le pont Charles-de-Gaulle, le pont Le Gardeur et la ligne de 735 kV d'Hydro-Québec (LHQ). Planifier les mesures d'atténuation pour ces travaux.

3. MÉTHODOLOGIE RETENUE POUR RÉPONDRE AUX DEMANDES DU MDDELCC

3.1 Utilisation d'un modèle par élément finis 2D

Pour évaluer les niveaux d'eau et les vitesses à proximité des structures P-09782, P-01372W et LHQ, un modèle numérique de l'écoulement doit être opéré. Les structures à évaluer se situent près de la confluence de la rivière des Prairies avec la rivière des Mille-Îles et la rivière l'Assomption. Il y a aussi une présence d'îles et de chenaux sur la rivière des Prairies. Les modèles numériques 1D tel HEC-RAS ou WSPRO, prescrits par la procédure ISO PRO-007 de la Direction des structures, s'avèrent insuffisants pour bien évaluer les impacts hydrauliques des travaux comme les augmentations de vitesse et les variations des niveaux d'eau dans de telles conditions. L'emploi d'un modèle hydrodynamique bidimensionnel par éléments finis intégré sur la verticale, ci-après appelé modèle 2D est requis.

¹ La ligne d'Hydro-Québec n'était pas incluse initialement dans la demande d'avis technique. Elle a été ajoutée le 20 octobre 2014.

Contrairement aux modèles 1D qui ne donnent que la vitesse moyenne uniforme sur une section du cours d'eau, un modèle 2D a l'avantage de distribuer des valeurs de vitesse sur toute la largeur de la section et donc de mieux identifier les mises en vitesse autour des piles et autres obstacles situés dans le cours d'eau. Les figures 3.1 et 3.2 qui suivent permettent de comparer les deux types de modèles.

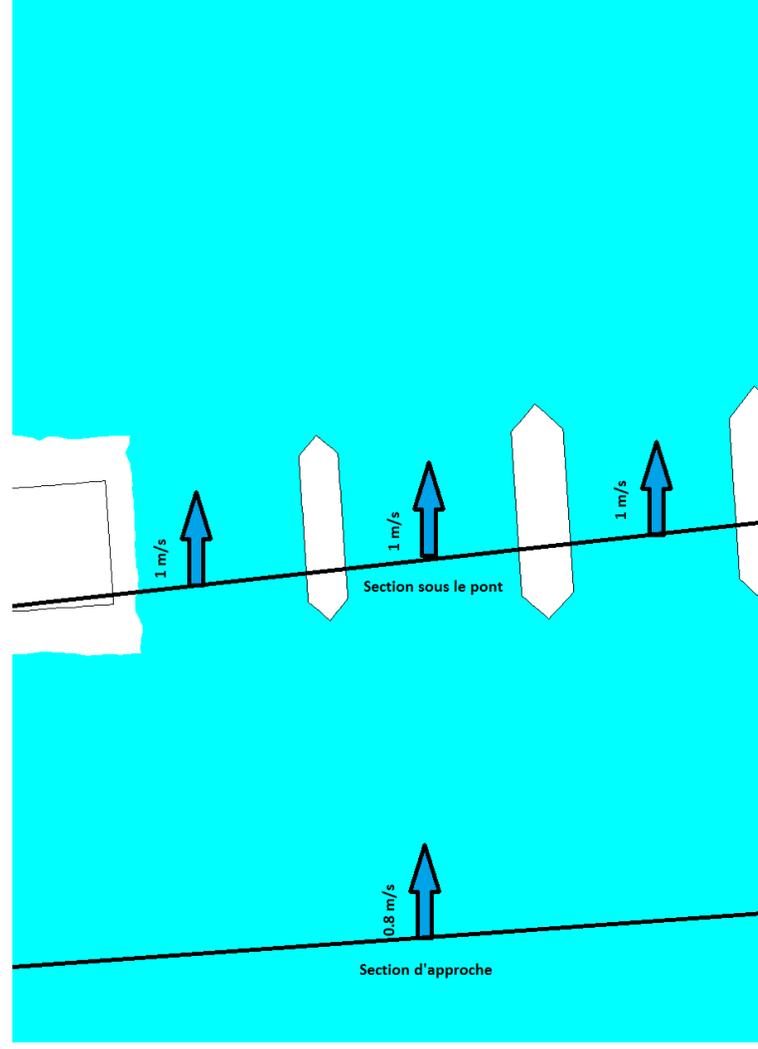


Figure 3.1 Vitesses moyennes sur la section dans un modèle 1D. L'orientation, la distribution des vitesses et les écoulements secondaires ne peuvent être obtenus.

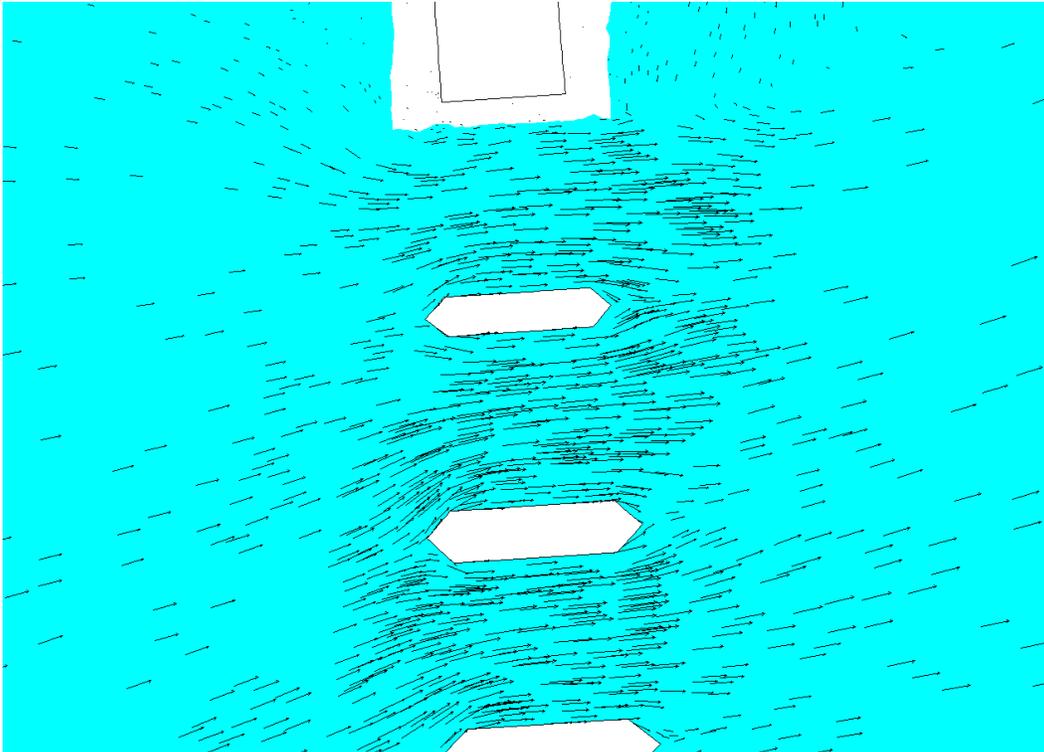


Figure 3.2 Représentation d'un champ de vitesses par des vecteurs autour d'obstacles dans un cours d'eau à l'aide d'un modèle 2D.

3.2 Mesure des impacts hydrauliques des différentes solutions proposées

Les structures temporaires et les modifications aux structures ont été ajoutées dans le modèle 2D. Ces éléments ont été intégrés seuls pour mesurer l'impact hydraulique de chacun puis ont été intégrés ensemble pour mesurer l'impact cumulatif. Les structures temporaires à chaque pont ont été évaluées seules puis en tenant compte de la présence d'ouvrages temporaires aux autres ponts. Il est à noter qu'aucune combinaison de structures temporaires qui obstrueraient davantage que 33 % de la largeur au miroir du cours d'eau n'a été évaluée.

Les résultats de chacune de ces simulations sont abordés en détail dans cet avis technique.

Le tableau 3.1 qui suit résume les différentes simulations qui ont été réalisées dans le cadre de cet avis technique.

Tableau 3.1 Simulations réalisées

Simulation	Charles-de-Gaulle	Le Gardeur	Structures temporaires
1	Actuel	Actuel	Aucune
2	Réparé	Actuel	Aucune
3	Réparé	Réparé	Aucune
4	Réparé	Réparé	Jetée au sud du pont P-09782
5	Réparé	Réparé	Jetée au nord du pont P-09782
6	Réparé	Réparé	Batardeaux au pont P-09782
7	Réparé	Réparé	Jetée au sud et batardeaux au pont P-09782
8	Réparé	Réparé	Jetée au sud et batardeaux au pont P-09782, Jetée au nord et batardeaux du pont P-01372W, Jetées au nord et au sud ainsi que batardeaux au pont P-01372E, ligne d'Hydro-Québec

3.3 Acquisition d'informations sur les glaces et calculs de force d'impact

L'impact des structures sur le régime des glaces a été évalué à l'aide de cartes et d'information provenant des intervenants sur le terrain. Des recommandations concernant les glaces sont discutées plus loin dans cet avis technique.

4. HYDROLOGIE ET CONDITIONS LIMITES

L'apport en eau aux structures à l'étude se fait à partir de la rivière des Prairies, de la rivière des Mille Îles et de la rivière L'Assomption. Les rivières des Prairies et des Mille Îles convergent en amont du pont Charles-de-Gaulle. Le confluent avec la rivière L'Assomption se situe entre le pont Charles-de-Gaulle et le pont Le Gardeur. La rivière des Prairies rejoint ensuite le fleuve Saint-Laurent. L'apport en eaux se fait donc par trois affluents. Ces trois affluents sont jaugés par les stations hydrométriques RHC-02OA003 (Mille Îles), RHC-02OA004 (Prairies) et CEHQ-052219 (L'Assomption). Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a déjà opéré un modèle 2D dans le secteur à l'étude pour établir les cotes de crues des rivières des Mille Îles et des Prairies.

4.1 Position des conditions limites du modèle

Les débits et niveaux d'eau utilisés pour les conditions limites du modèle ont été appliqués aux endroits présentés à la figure 4.1 qui suit.

La ligne rouge montre les frontières du modèle. Les lignes bleues les endroits où les conditions limites ont été appliquées.



Figure 4.1 Limites du modèle et emplacement des conditions aux limites

Sur la figure précédente, il est aussi possible de voir en jaune la ligne ayant été suivie pour l'élaboration des profils en long qui sont présentés plus loin dans le présent rapport. Ces profils en long ont été réalisés à des fins de comparaisons des niveaux de surface selon différents scénarios. Cette ligne suit le chenal principal de la rivière.

Les rapports de détermination des cotes de crues dans ce secteur font mention de débits de récurrence 2 ans, 20 ans et 100 ans déjà calculés pour chacune des rivières. Notre Service a procédé à une vérification des débits de récurrence calculés par le CEHQ.

4.2 Rivière des Prairies

L'affluent principal dans le secteur à l'étude est la rivière des Prairies. Selon le CEHQ, les débits de récurrence pour cette rivière ont été calculés à partir des données de la station hydrométrique à la tête des rapides du Cheval Blanc (RHC-02OA004). L'analyse a été réalisée à partir d'une loi Gamma et les résultats sont présentés au tableau 4.1.

Tableau 4.1 Débits pour différentes récurrences sur la rivière des Prairies

Récurrence (an)	Débit (m ³ /s)
2	2 327
5	2 728
10	2 955
20	3 152
50	3 383
100	3 543

Après vérification, notre Service obtient des débits très similaires, avec un écart de moins de 2 % pour toutes les récurrences. Cet écart est probablement dû aux nouvelles données disponibles aux stations depuis la réalisation du rapport de détermination des cotes de crues². Étant donné cette similarité des résultats, notre Service a conservé les débits calculés par le CEHQ pour établir la condition limite de la rivière des Prairies. Cela a pour but de faciliter la comparaison des résultats du présent avis technique avec les cotes de crues préalablement établies par le CEHQ.

4.3 Rivière des Mille-Îles

Le deuxième affluent en importance dans le secteur à l'étude est la rivière des Mille-Îles. Le CEHQ a effectué une analyse à partir des maximums annuels enregistrés à la station hydrométrique de Bois-des-Filions (RHC-02OA003). Les débits obtenus sont tirés de l'application d'une loi statistique Pearson type III dont les résultats sont présentés au tableau 4.2.

Tableau 4.2 Débits pour différentes récurrences sur la rivière des Mille-Îles

Récurrence (années)	Débit (m ³ /s)
2	810
5	1 015
10	1 127
20	1 222
50	1 333
100	1 408

² S. Dubé, W. Larouche et J.-F. Cyr (2006), *Détermination des côtes de crues – Rivière des Prairies*, Centre d'expertise hydrique du Québec, Québec, 85 pages, ISBN 978-2-550-50255-5

Après vérification, notre Service obtient des débits légèrement plus faibles, de l'ordre de 2 à 4 % plus faible pour les crues de récurrence 100 ans et 20 ans respectivement. Pour les crues plus courantes comme la crue annuelle, notre Service obtient des débits environ 10 % plus faibles que les débits calculés par le CEHQ. L'écart provient principalement d'une hypothèse de reconstruction des débits posée par le CEHQ pour les années suivant la construction du barrage du Grand-Moulin. Notre Service n'a pas retenu cette hypothèse dans ses calculs. Néanmoins, étant donné les faibles écarts pour la crue 20 ans et la crue 100 ans, nous avons conservé les débits du CEHQ pour la réalisation du présent avis technique pour conserver une cohérence avec les cotes de crues.

4.4 Rivière L'Assomption

Le dernier affluent à considérer dans la modélisation du secteur à l'étude est la rivière L'Assomption. Cette rivière a été largement jaugée à Joliette, de manière presque ininterrompue entre 1921 et 2013 par les stations 052202, 052211 et 052219 du CEHQ. Elle a aussi été jaugée sur près de 55 ans à Saint-Côme par la station 052201 du CEHQ.

L'aire de bassin versant jaugée dans les environs de Joliette varie entre 1 286 km² et 1 340 km². L'aire de bassin versant jaugée à Saint-Côme est plutôt de 549 km². À l'embouchure, la rivière L'Assomption draine une superficie de 4 203 km². Le rapport du CEHQ détaille très peu les calculs réalisés pour obtenir les débits de crue de la rivière L'Assomption. Il n'y a aucune information sur la loi statistique retenue, le calcul du facteur de pointe et le calcul du transfert de débit vers une aire supérieure de bassin versant.

Dans son modèle hydraulique pour déterminer les cotes de crues de la rivière des Prairies et de la rivière des Mille-Îles, le CEHQ a retenu les débits présentés au tableau 4.3 à l'embouchure de la rivière L'Assomption.

Tableau 4.3 Débits calculés par le CEHQ à l'embouchure de la rivière L'Assomption pour différentes récurrences

Récurrence (années)	Débit (m ³ /s)
2	564
20	931
100	1 120

Notre Service a procédé à des calculs dont les résultats ont différé avec ceux du CEHQ. Les calculs ont été effectués selon la méthode présentée brièvement ci-après. Les équations et données employées sont fournies en détail à l'annexe B du présent rapport.

Tout d'abord, un facteur de pointe a été calculé aux stations situées à Joliette. À l'aide des données instantanées et des maximums journaliers, il a été possible d'établir un facteur de pointe moyen de 1,118 aux stations de Joliette. La rivière présentant plusieurs pointes historiques de plus forte envergure, un écart-type a été ajouté au facteur de pointe moyen, ce qui donne un facteur de pointe total de 1,277. Étant donné que le facteur de pointe journalière a tendance à diminuer à mesure que le bassin versant augmente en superficie, le facteur a été pondéré avec la nouvelle aire et a été ramené à 1,105.

La rivière ayant été jaugée durant près de 55 ans en simultanément à Saint-Côme et à Joliette, il a été possible de calculer un exposant a pour la transposition des débits entre des superficies de bassin versant différentes pour la rivière l'Assomption. Le facteur a obtenu sur la rivière l'Assomption est de 0,75. Ce facteur correspond aux facteurs de superficie des méthodes HP-33 (0,73) et HP-40 (0,76) pour ce secteur.

Par la suite, les débits enregistrés aux stations de Joliette ont tous été ajustés selon leur aire de bassin versant jaugée pour qu'ils correspondent aux débits d'un territoire ayant une aire de 1 340 km². Une analyse statistique par le logiciel *Hyfran plus* avec différentes méthodes de classe D a permis d'obtenir les débits de récurrence présentés au tableau 4.4. La méthode statistique retenue est la méthode Pearson de type III.

Tableau 4.4 Débits calculés à Joliette selon différentes récurrences

Récurrence (années)	Débit hyfran (m ³ /s)
2	187
5	241
10	272
20	300
50	333
100	356

Les débits ainsi obtenus ont par la suite été transposés à l'embouchure de la rivière l'Assomption en les augmentant avec le rapport d'aire approprié auquel a été appliqué l'exposant a . Le facteur de pointe transposé de 1,105 a aussi été appliqué. Le tableau 4.5 montre les débits de pointe calculés par notre service à l'embouchure de la rivière l'Assomption pour différentes récurrences.

Tableau 4.5 Débits de pointe calculés à l’embouchure de la rivière L’Assomption selon différentes récurrences.

Récurrence (années)	Débit (m ³ /s)
2	529
5	682
10	769
20	849
50	942
100	1 007

Les écarts obtenus avec les valeurs du CEHQ sont relativement importants. Le CEHQ obtient un débit supérieur de 7 % pour la crue 2 ans, de 10 % pour la crue 20 ans et de 11 % pour la crue 100 ans. Dans un esprit de sécurité, étant donné que le débit de la rivière L’Assomption est peu important au site à l’étude par rapport aux rivières des Prairies et des Mille-Îles et par souci de cohérence avec les cotes de crues actuelles, notre Service a employé les débits utilisés par le CEHQ dans la modélisation du secteur. Le calcul du débit à la rivière L’Assomption par notre Service est tout de même présenté à l’annexe B du présent avis technique.

4.5 Sommaire hydrologique

La somme des débits des différents affluents calculés par le CEHQ est de 2,6 % à 3,6 % supérieure, selon la récurrence, aux débits calculés par notre Service. Cet écart a été jugé comme acceptable et les données du CEHQ ont donc été utilisées dans les modélisations de cet avis technique. Le tableau 4.6 qui suit résume les débits utilisés comme conditions limites dans le modèle.

Tableau 4.6 Résumé des débits utilisés dans la modélisation

Récurrence (années)	Assomption (m ³ /s)	Mille-Îles (m ³ /s)	Prairies (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
2	564	810	2 327	3 701
20	931	1 222	3 152	5 305
100	1 120	1 408	3 543	6 071

4.6 Niveau d'eau à l'aval du modèle

Les niveaux d'eau utilisés à l'aval du modèle sont ceux tirés d'une analyse statistique des mesures de niveau à la station hydrométrique de Varennes, numérotée 02OA050. Ces mesures sont légèrement majorées pour prendre en compte la différence de niveau entre Varennes et l'embouchure de la rivière des Prairies. Cette différence est trouvée en utilisant la relation calculée à l'annexe 2 du rapport *Détermination des cotes de crues - Rivière des Prairies*³. Le tableau 4.7 qui suit donne les niveaux d'eau employés à l'aval du modèle.

Tableau 4.7 Niveaux d'eau employés comme conditions limites aval du modèle

Réurrence (années)	Niveau d'eau à la station 02OA050 (m)	Niveau aval de la rivière des Prairies (m)
2	7,60	7,65
20	8,75	8,81
100	9,36	9,42

Les niveaux d'eau calculés à la station 02OA050 l'ont été en utilisant une loi statistique Log-Pearson III employée avec le logiciel Hyfranplus. Notre Service a procédé à la vérification des calculs et est arrivé à une différence de moins de 4 cm pour les différentes récurrences. Les niveaux utilisés par le CEHQ ont donc été considérés comme adéquats et ont été retenus comme condition limite aval du modèle 2D.

4.7 Débits estivaux maximums

Étant donné qu'il est prévu de construire des ouvrages temporaires dans la rivière des Prairies pour effectuer les travaux sur les structures, il est important d'évaluer brièvement les débits estivaux maximums pouvant atteindre les ouvrages en question.

La station hydrométrique de la rivière des Prairies (043301) indique que depuis 1970, le débit de crue 2 ans de 2 327 m³/s n'a jamais été excédé entre le 15 juin et le 31 décembre. La figure 4.2, tirée du site web du CEHQ, montre cet état de fait.

³ Dubé, S., Cyr, J.-F. et Larouche, W. (2006), *Détermination des cotes de crues – Rivière des Prairies*, Québec, Centre d'expertise hydrique du Québec, 85 pages, ISBN 978-2-550-50255-5

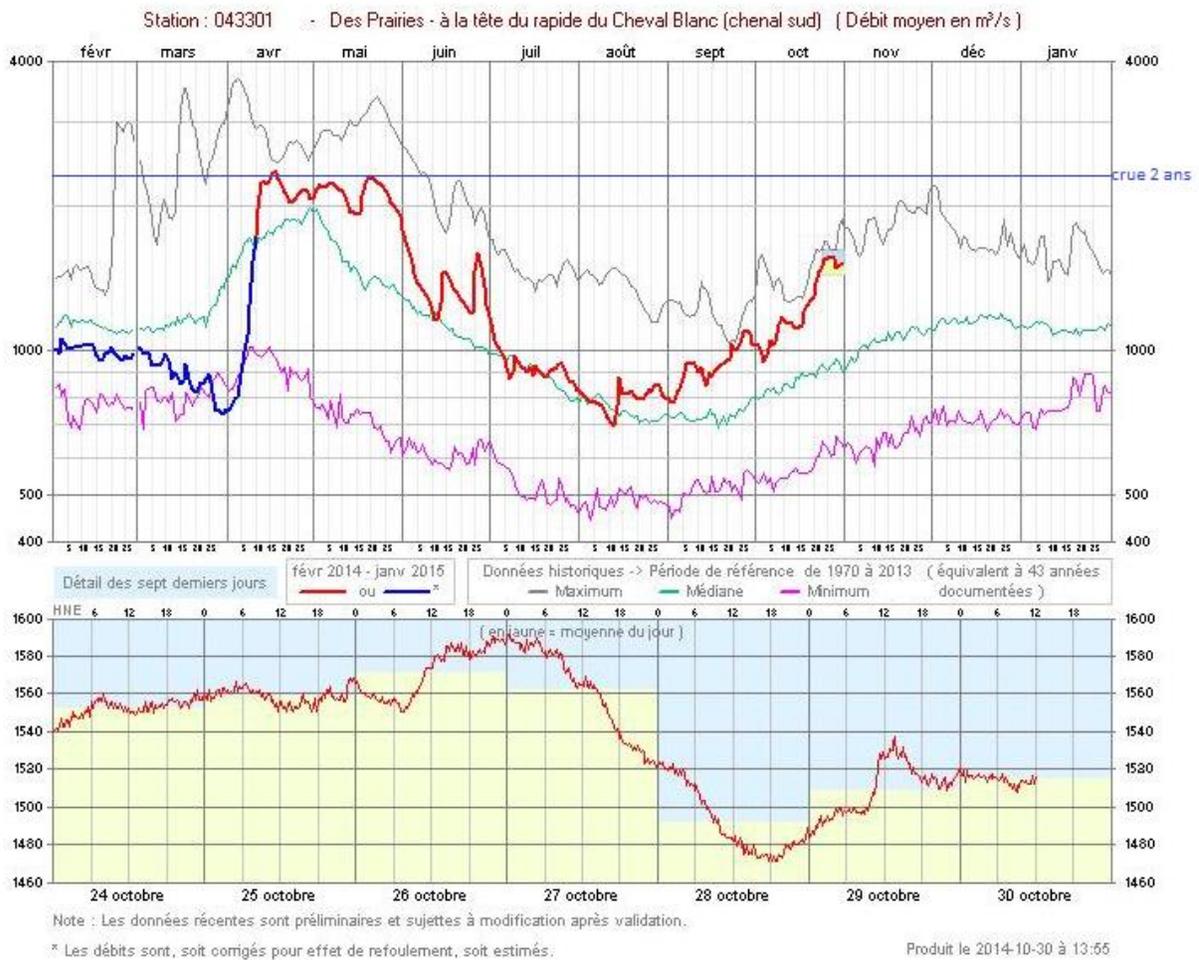


Figure 4.2 Statistiques sur les débits à la station hydrométrique 043301 depuis 1970

Le même constat doit être fait à la station hydrométrique de la rivière des Mille-Îles, le débit de récurrence 2 ans de 810 m³/s n'a jamais été excédé à cette rivière non plus entre le 15 juin et le 31 décembre. La figure 4.3, tirée du site web du CEHQ, montre les débits mesurés à la station hydrométrique de la rivière des Mille Îles (043201).

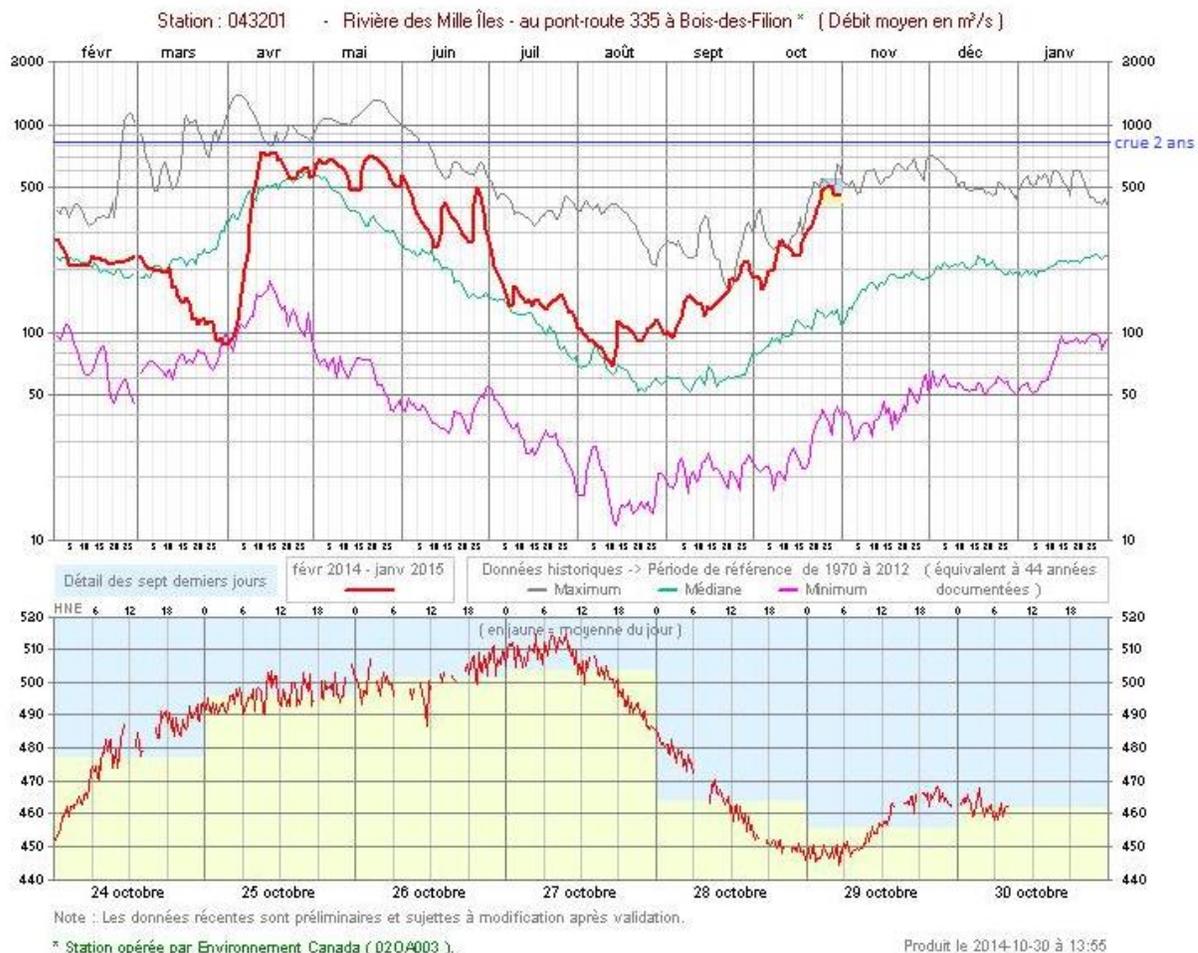


Figure 4.3 Statistiques sur les débits à la station hydrométrique 043201 depuis 1970

La crue 2 ans sera donc celle employée pour évaluer les impacts hydrauliques des structures temporaires dans la rivière des Prairies.

5. INTRANTS DU MODÈLE 2D

Le CEHQ a déjà développé et opéré un modèle 2D sur les rivières des Mille Îles et des Prairies. Un jaugeage de la rivière en conditions de crue a aussi été réalisé. Le modèle a été développé lors de la révision des cotes de crue des deux rivières.

Le modèle numérique terrain (MNT) du CEHQ a été développé dans l'environnement Modeleur développé par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) et la modélisation s'est faite à l'aide du logiciel de modélisation Hydrosim aussi développé par l'INRS et conçu pour être utilisé en parallèle avec Modeleur.

Notre service a obtenu le MNT dans l'environnement modeleur du CEHQ ainsi que les résultats des simulations Hydrosim. Le CEHQ nous a aussi transmis les rapports de révision des cotes de crues des rivières des Mille Îles et des Prairies. La présente étude a donc été réalisée à partir des données obtenues du CEHQ.

Pour cette étude, les calculs hydrauliques ont été réalisés à partir du modèle 2D H2D2, une version améliorée d'Hydrosim, le modèle 2D initialement employé par le CEHQ. Le modèle H2D2 a été validé à plusieurs reprises dans différents projets et est robuste.

5.1 Importation des données Hydrosim/Modeleur du CEHQ

H2D2 utilise le même logiciel de construction du MNT qu'hydrosim, *Modeleur*. Les maillages, la topographie et les valeurs de frottement employés par le CEHQ dans leur modèle hydrosim ont pu être importés pour être utilisés à nouveau ou être mis à niveau dans H2D2. Ces données sont pleinement compatibles et ont été transmises à notre Service par le CEHQ le 9 mai 2014.

5.2 Calibration du modèle H2D2

Le CEHQ n'utilisait pas les mêmes paramètres physiques et globaux de simulation que ceux préconisés aujourd'hui dans H2D2. Certains écarts dans la viscosité laminaire, le lissage de la solution et la pénalisation de Manning ainsi que l'absence de coefficient de longueur de mélange font que l'écoulement ne se comporte pas de manière identique dans le modèle Hydrosim et dans le modèle H2D2.

Ce comportement légèrement différent de l'écoulement entre les deux modèles fait qu'un léger ajustement des coefficients de Manning a été nécessaire sur les valeurs fournies par le CEHQ pour que le modèle H2D2 soit bien calibré sur le jaugeage. En conservant le même maillage, les mêmes conditions limites, la même topographie et en ajustant quelque peu les coefficients de Manning, le modèle H2D2 est capable de reproduire avec une bonne précision la simulation d'Hydrosim de calibration calée sur le jaugeage. La figure 5.1 montre une comparaison entre les niveaux de surface sur un profil en long entre la simulation H2D2 et la simulation Hydrosim pour les conditions de jaugeage du 23 avril 2002.

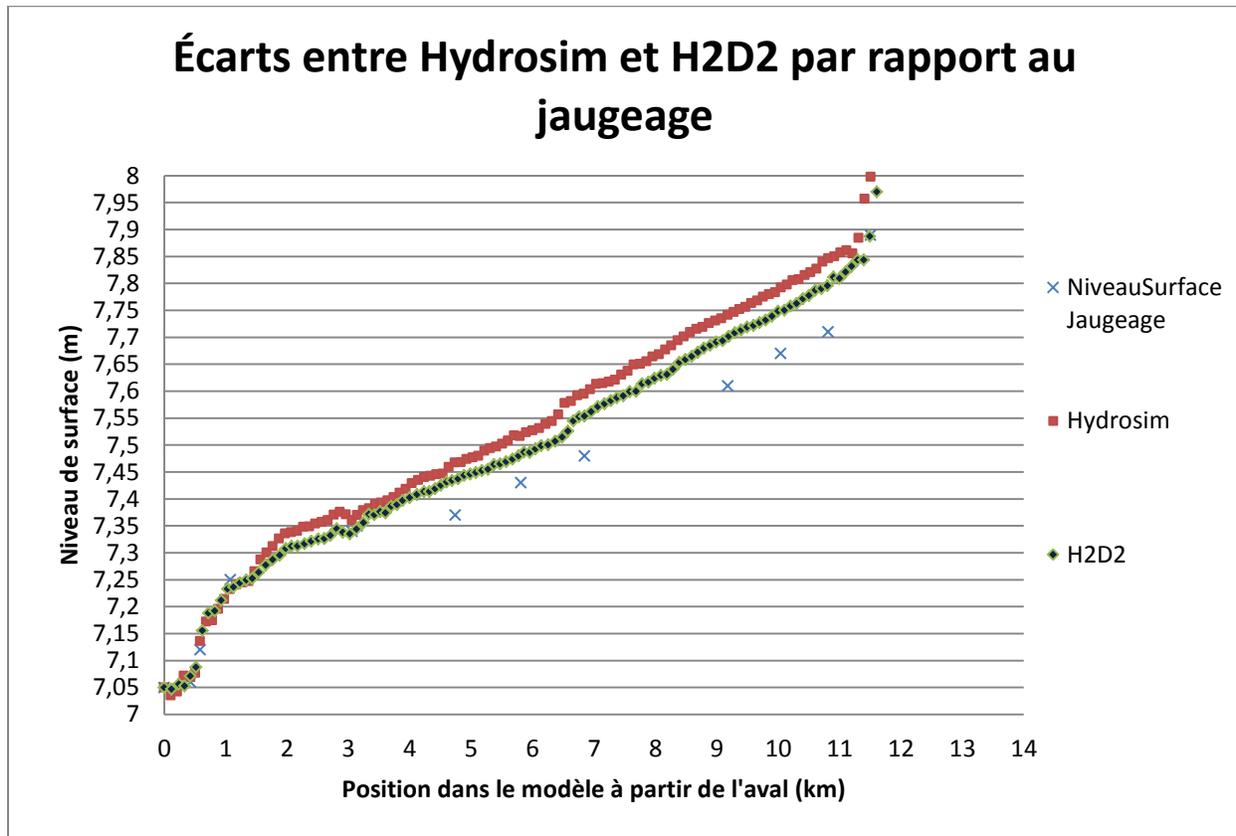


Figure 5.1 Écart entre Hydrosim et 2D2 par rapport au jaugage

L'écart entre les modèles reste dans une marge inférieure à 100 mm sur les 14 km du modèle des rivières des Mille Îles et des Prairies. Le précédent modèle Hydrosim du CEHQ fournissait des niveaux d'eau trop élevés pouvant aller jusqu'à 150 mm par rapport au jaugage du 23 avril 2002. Le modèle H2D2 semble donc combler en partie cette erreur d'Hydrosim puisque les résultats de H2D2 sont plus proches des valeurs jaugées sur le terrain. Les écarts sont de moins de 50 mm entre les deux modèles et les erreurs d'Hydrosim sont corrigées en partie par rapport au jaugage. Le modèle H2D2, avec les coefficients de Manning légèrement modifiés et les paramètres physiques et globaux de simulation ajustés et raffinés, est donc bien calibré pour effectuer les simulations hydrauliques requises dans la présente étude hydraulique.

La qualité des valeurs sortantes du modèle H2D2 dépend de la qualité des données entrantes. C'est-à-dire que le modèle a une marge d'erreur liée aux données bathymétriques, à la précision du jaugage et à la détermination des conditions limites. Cette marge d'erreur est difficile à évaluer précisément. Notre Service considère que d'appliquer une marge d'erreur de ± 150 mm (6 po) aux niveaux de surface donnés par le modèle est généralement sécuritaire. Dans le cadre de cette étude, avec les écarts maximums de 50 mm par rapport au jaugage, 150 mm est une marge d'erreur sécuritaire.

5.3 Éléments permanents modélisés au pont Charles-de-Gaulle

Le modèle original du CEHQ n'incluait pas les structures et leurs éléments de fondation sur la rivière des Prairies. Certains ajustements au coefficient de frottement de Manning avaient été faits pour simuler la présence des structures et calibrer le modèle Hydrosim aux valeurs du jaugeage. Dans la migration du modèle vers H2D2, cette hypothèse de remplacement des structures de la rivière des Prairies par des coefficients de Manning a été conservée hormis au droit des structures à l'étude. Les ponts et leurs éléments de fondation ont été ajoutés au modèle H2D2 en délimitant le pourtour des piles avec des frontières à écoulement nul. Il en va de même pour l'incorporation des jetées et des batardeaux dans le modèle, qui ont été considérés comme totalement imperméables à l'écoulement, une hypothèse conservatrice et sécuritaire pour le rehaussement des niveaux d'eau à l'amont et le développement des vitesses. Le maillage a été raffiné autour des nouveaux éléments structuraux ajoutés au modèle pour bien représenter les formes des piles et pour avoir suffisamment de mailles entre chaque pile. Les maillages de trois secteurs sont montrés dans cette section du rapport. Les secteurs sont identifiés à la figure 5.2 qui suit.

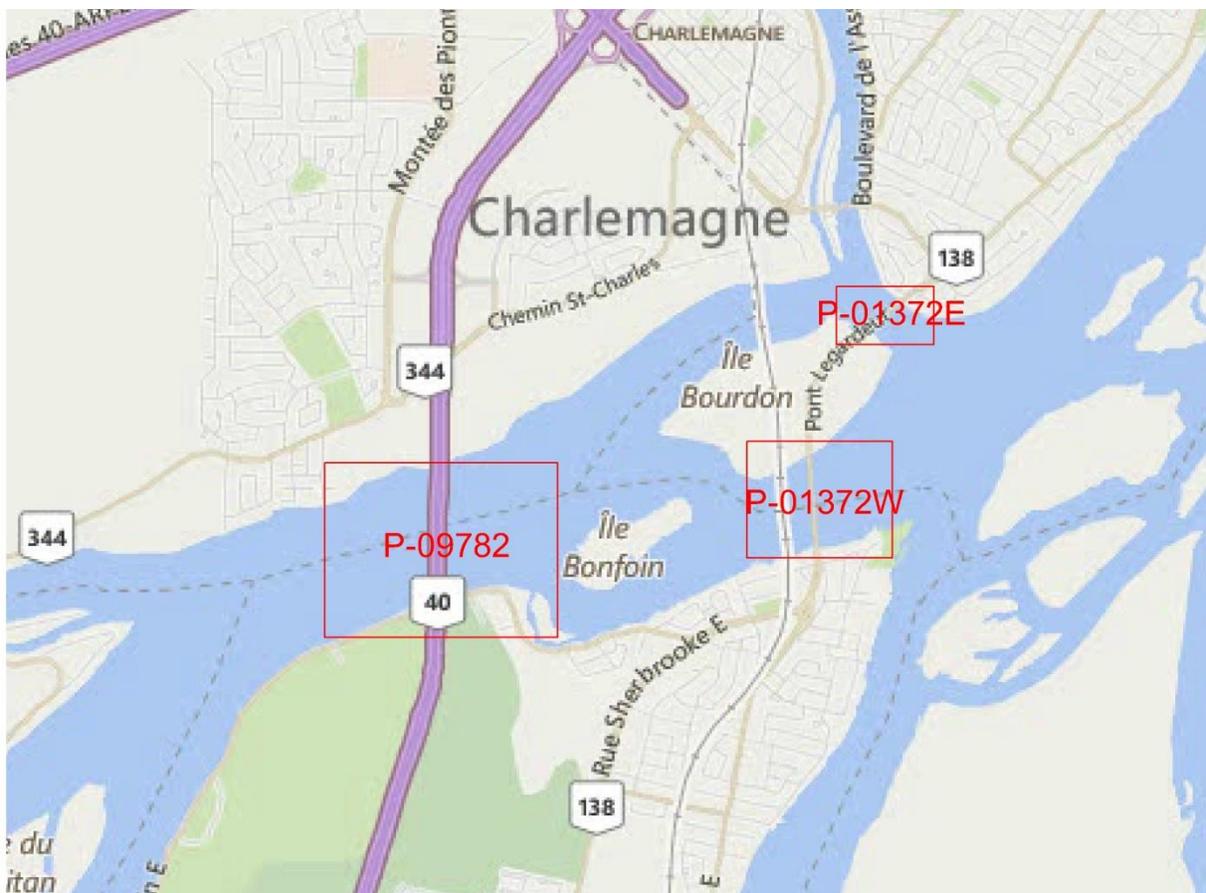


Figure 5.2 Secteurs desquels sont tirés les maillages et les bathymétries présentés dans cette section du rapport.

Le pont Charles-de-Gaulle (P-09782) est situé en amont de l'île Bourdon. Il rejoint Terrebonne et Montréal. Différents maillages ont été employés pour simuler le comportement de la rivière des Prairies à ce pont. Les figures 5.3, 5.4 et 5.5 qui suivent montrent respectivement un maillage naturel sans structure, un maillage avec les piles actuelles et un maillage avec les piles réparées.

Les piles sont numérotées selon le même ordre que dans le rapport de l'avant-projet pour cette structure. C'est-à-dire que le mur de front de la culée sud est numéroté 3 et celui de la culée nord est numéroté 19, avec les piles numérotées 4 à 18.

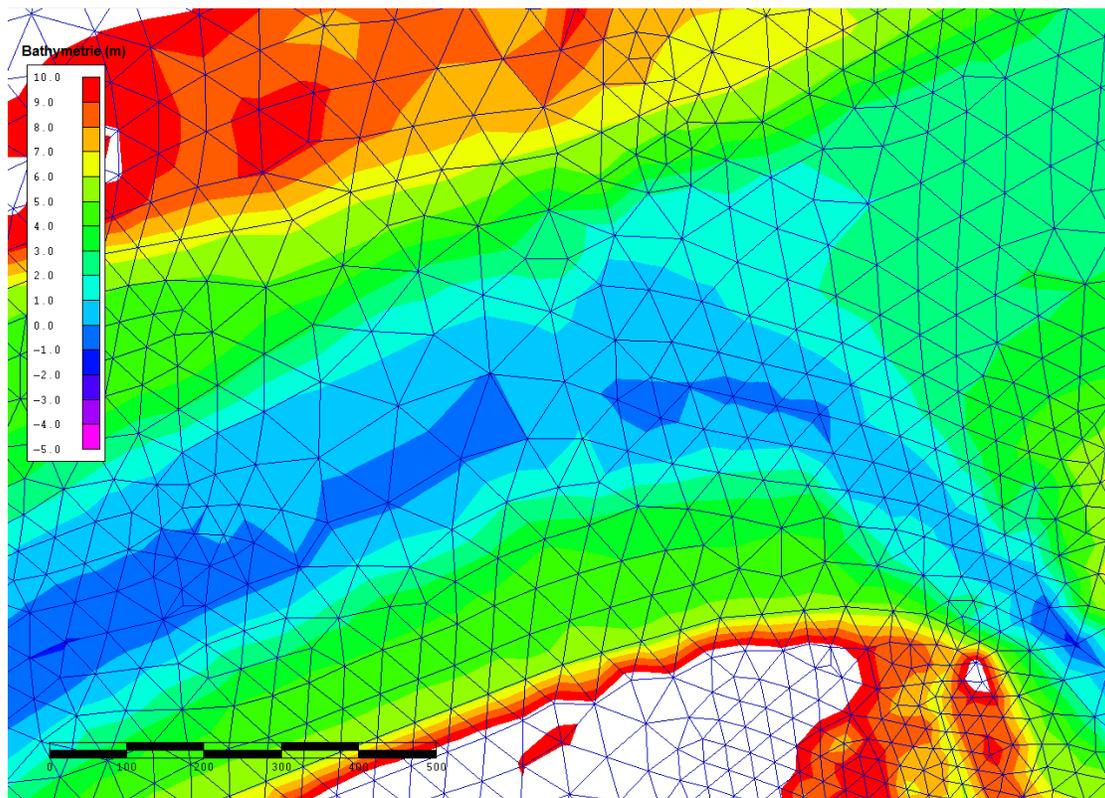


Figure 5.3 Maillage au pont Charles-de-Gaulle P-09782 sans structure

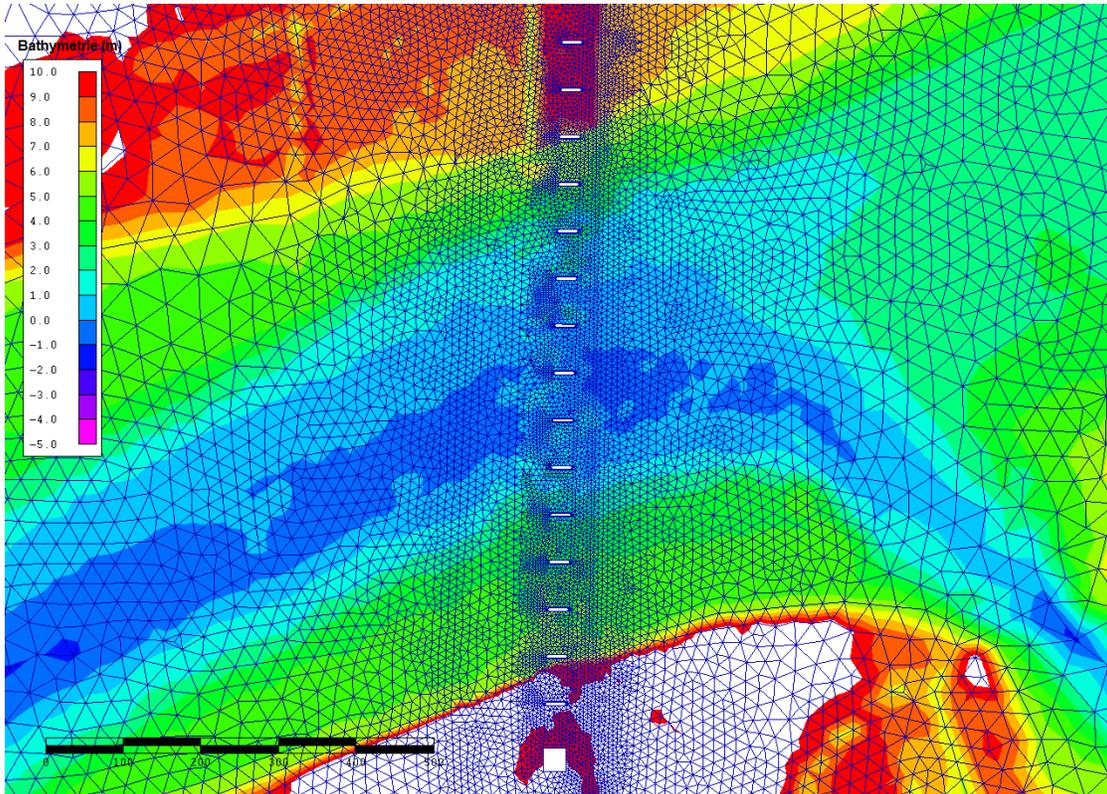


Figure 5.4 Maillage au pont Charles-de-Gaulle P-09782 avec la structure actuelle

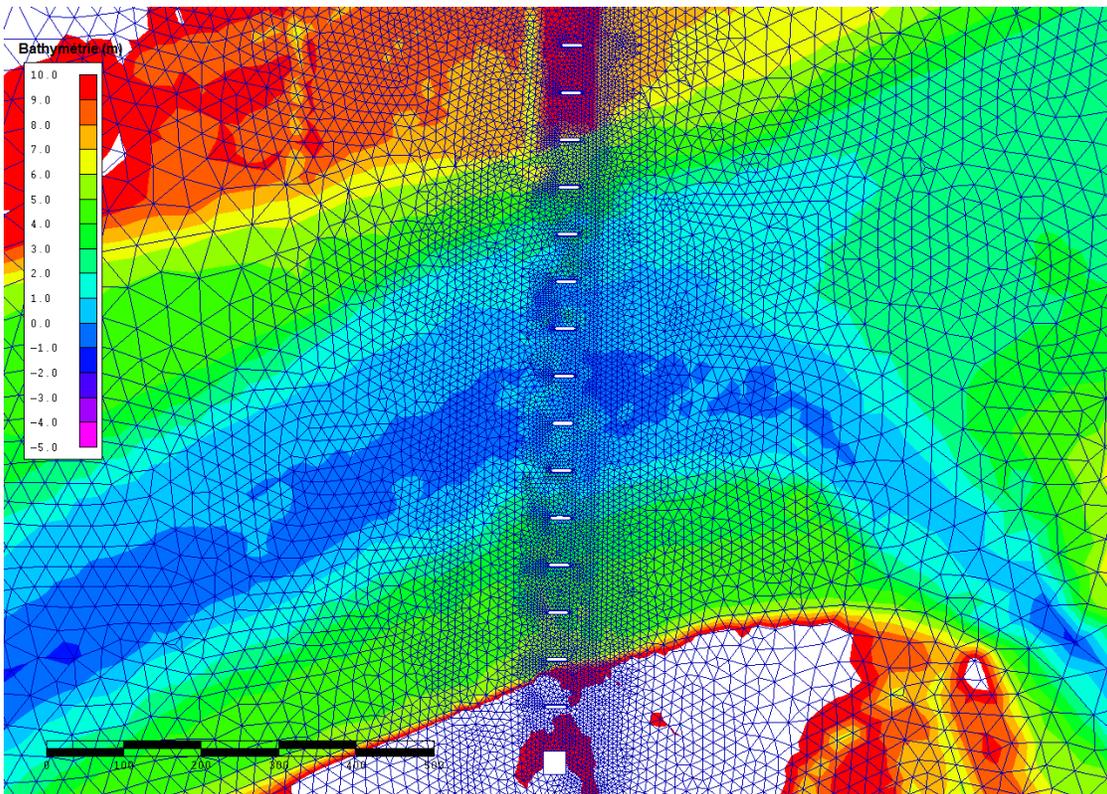


Figure 5.5 Maillage au pont Charles-de-Gaulle P-09782 avec la structure réparée

Il est assez facile de remarquer que la différence entre la structure actuelle et la structure réparée au niveau du maillage est très faible. Cela est dû à la surépaisseur de béton sur les piles, qui est somme toute très minime (150 mm) à comparer de la largeur de la rivière des Prairies en crue de récurrence 2 ans (700 m à la structure). Les cotes de crues sur la rivière des Prairies à l'amont de la structure Charles-de-Gaulle ont été calculées à partir des hypothèses et des maillages montrés précédemment. Ces cotes de crues ont été simulées pour des débits de récurrence 2 ans, 20 ans et 100 ans. Les résultats de ces simulations et les rehaussements des cotes de crues sont présentés à la section 6 du présent rapport.

5.4 Éléments permanents modélisés aux ponts Le Gardeur

La demande d'avis technique ainsi que les questions du MDDELCC insistaient pour que l'impact cumulatif des travaux sur les ponts Le Gardeur et Charles-de-Gaulle soit calculé. Il a donc été nécessaire d'ajouter les ponts Le Gardeur dans le modèle 2D ainsi que les différents éléments permanents et temporaires de ceux-ci. Les ponts Le Gardeur (P-01372E/W) sont deux ponts situés respectivement au nord (E) et au sud (W) de l'île Bourdon. Ils rejoignent les villes de Repentigny et Montréal. Différents maillages ont été employés pour simuler le comportement de la rivière des Prairies à ces ponts. Les figures 5.6a, 5.6b, 5.7a, 5.7b, 5.8a et 5.8b qui suivent montrent respectivement un maillage naturel sans structure, un maillage avec les piles actuelles et un maillage avec les piles réparées.

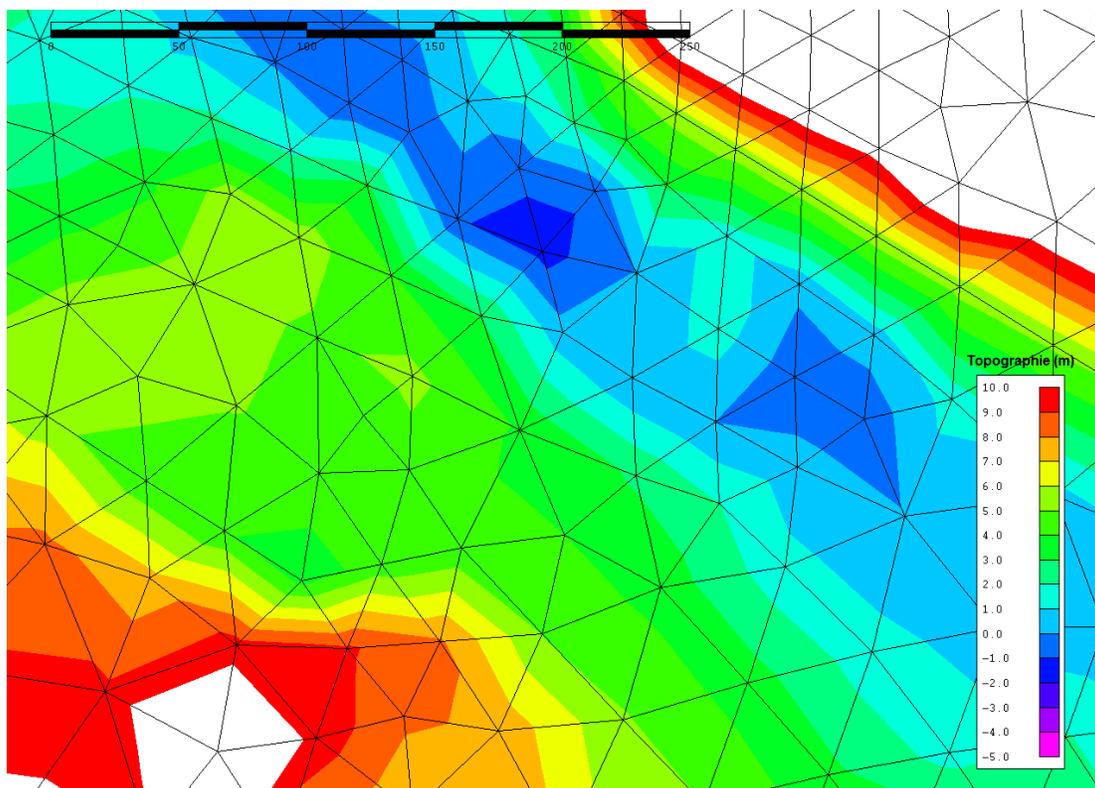


Figure 5.6a Maillage en conditions naturelles au pont P-01372^E

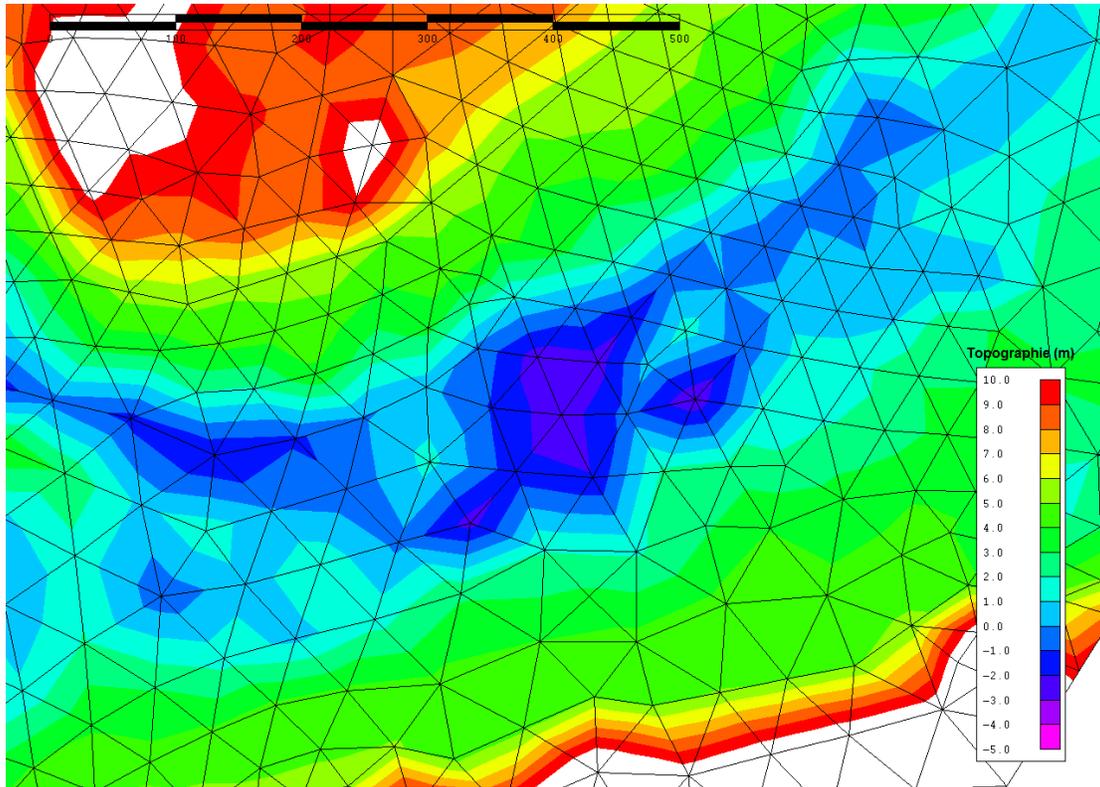


Figure 5.6b Maillage en conditions naturelles au pont P-01372W

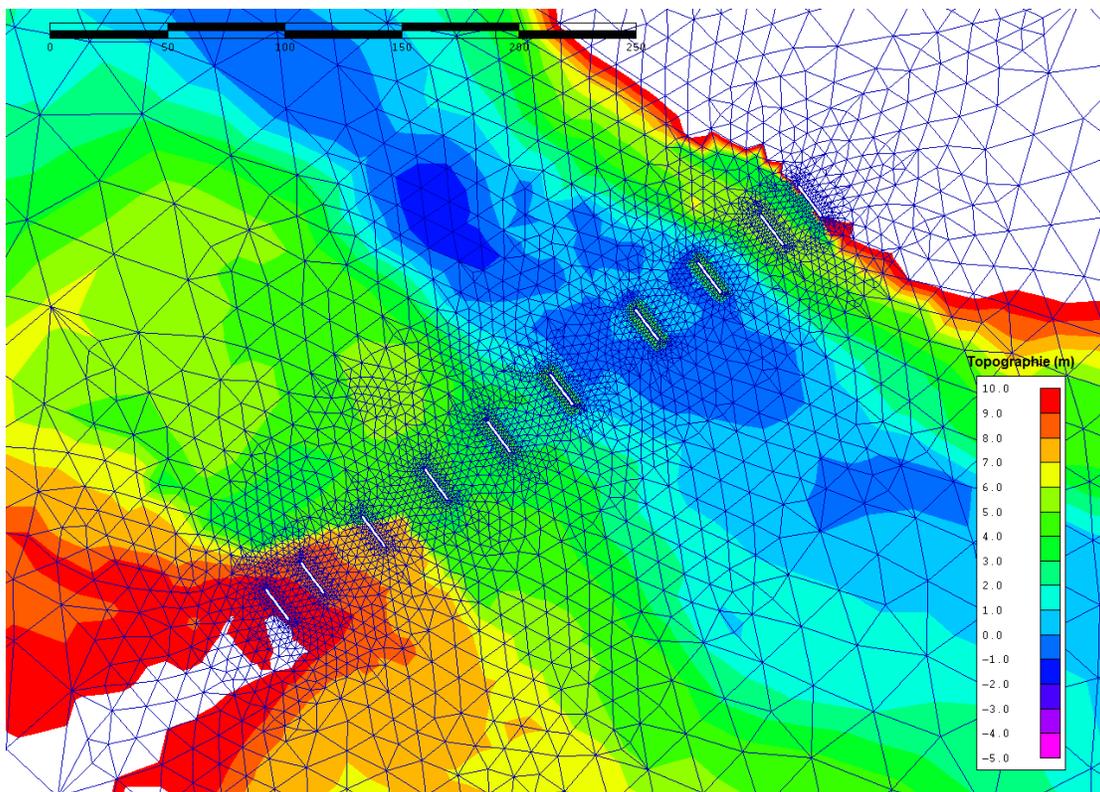


Figure 5.7a Maillage en présence de la structure actuelle au pont P-01372^E

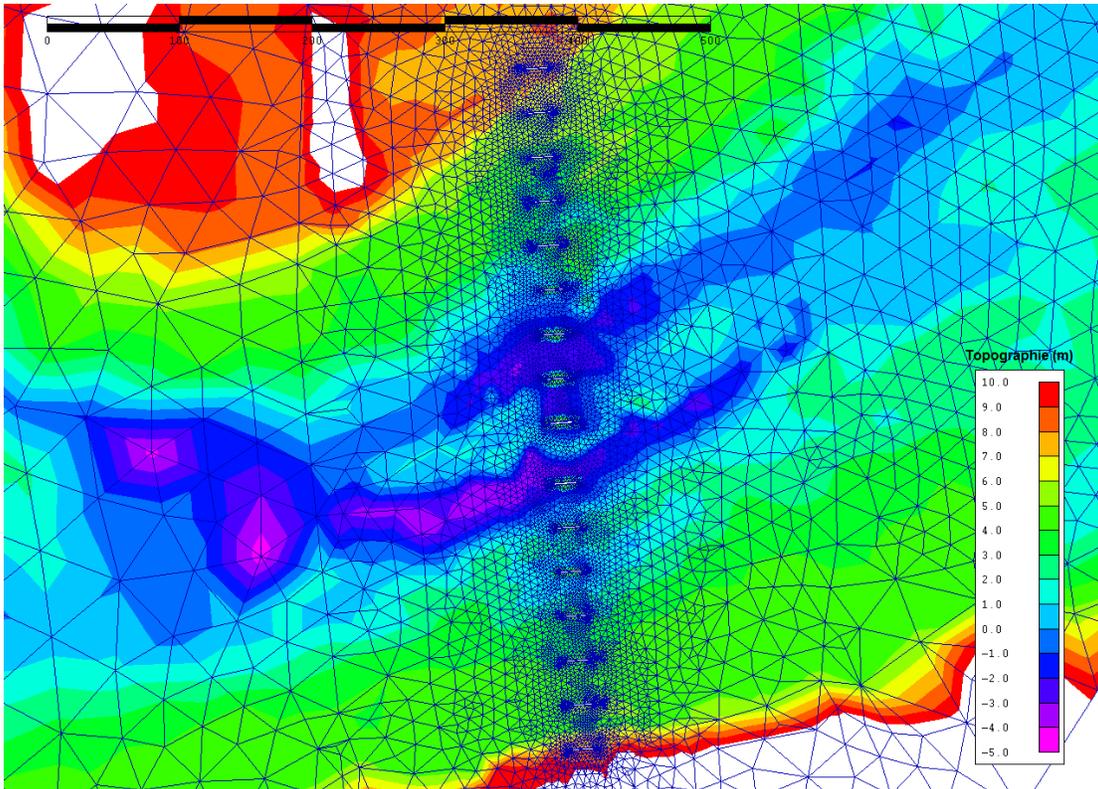


Figure 5.7b Maillage en présence de la structure actuelle au pont P-01372W

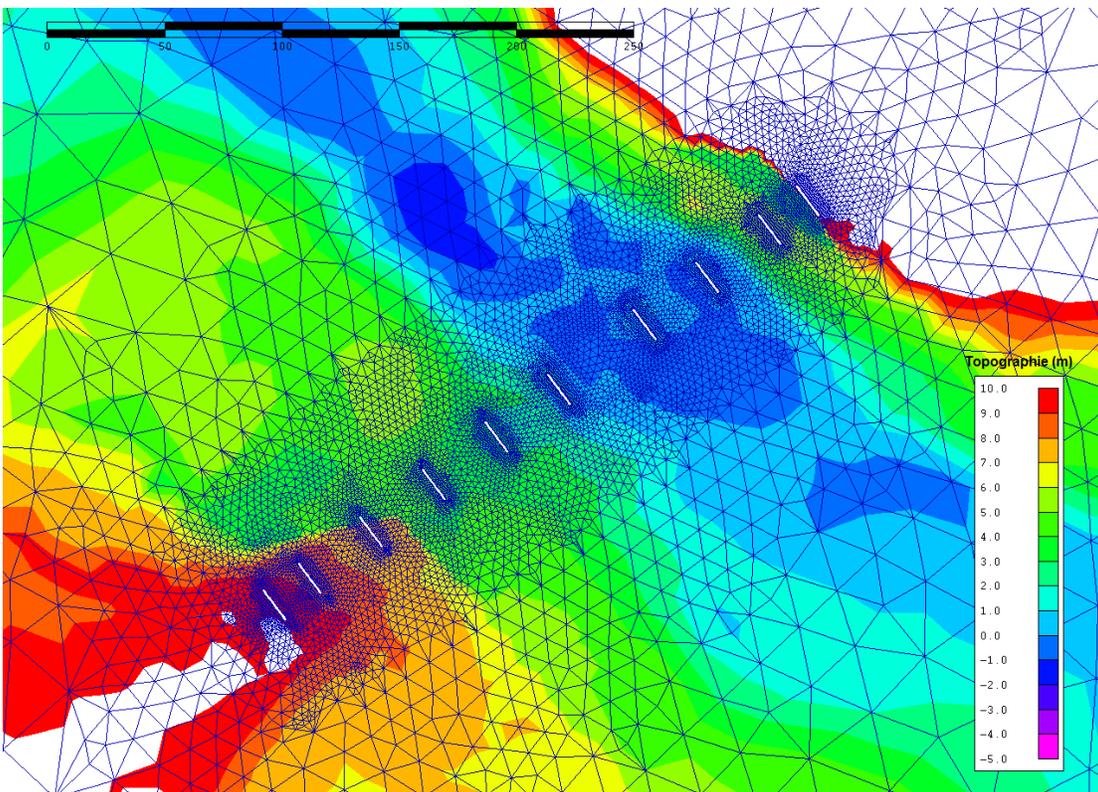


Figure 5.8a Maillage en présence de la structure réparée au pont P-01372^E

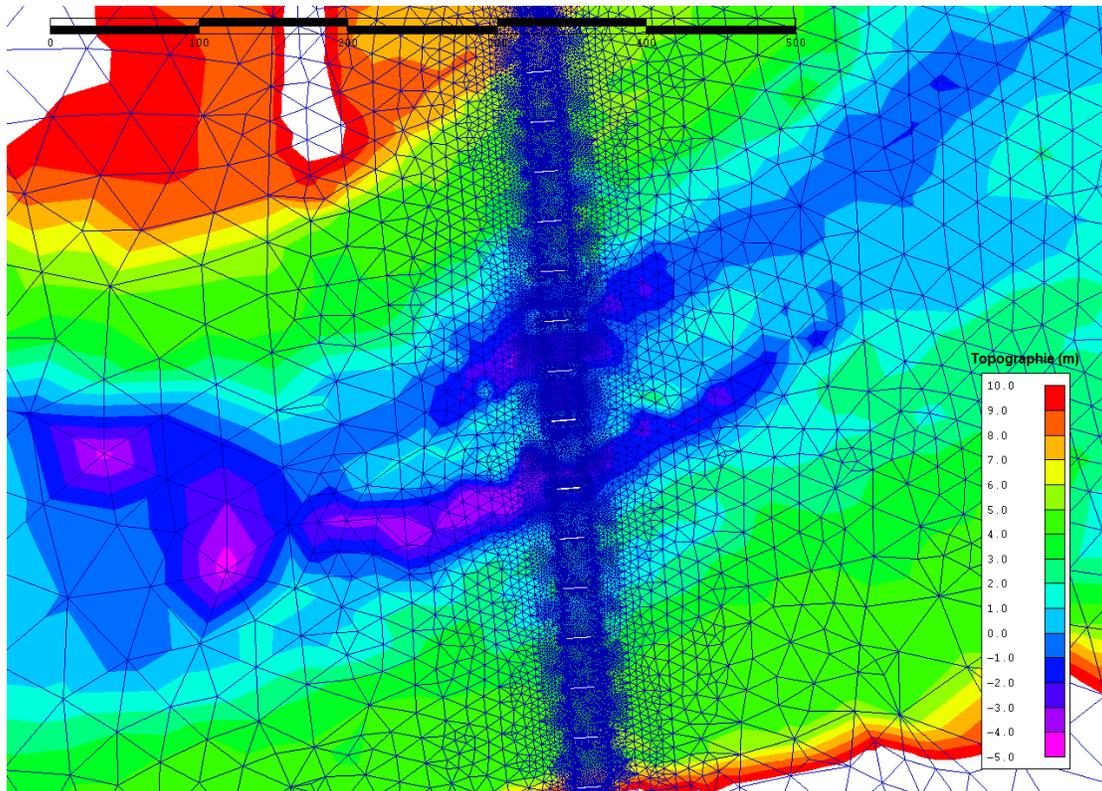


Figure 5.8b Maillage en présence de la structure réparée au pont P-01372W

La différence notable entre les maillages et les relevés de topographie des structures actuelles par rapport à celles proposées est sans aucun doute l'enlèvement des anciennes palplanches, qui abaissent la topographie du terrain autour des piles ainsi que l'ajout de tapis d'empierrement à la base des piles. La perte de section d'écoulement est de 1,5 % une fois les palplanches enlevées et les tapis mis en place.

5.5 Ligne d'Hydro-Québec

Le 20 octobre 2014, notre Service a été avisé qu'Hydro-Québec prévoyait la construction de fondations pour des pylônes à l'amont du pont Charles-de-Gaulle. Notre Service a donc procédé à des simulations additionnelles avec les fondations proposées pour en mesurer l'impact cumulatif avec les travaux réalisés aux ponts Charles-de-Gaulle et Le Gardeur. La position du pylône n'était pas connue de notre Service. Nous l'avons donc positionné au lieu le plus pénalisant du point de vue hydraulique.

Les figures 5.9 et 5.10 qui suivent montrent les maillages et les topographies en présence du pont Charles-de-Gaulle réparé. Un des maillages est sans pylônes et l'autre avec les pylônes situés à l'endroit le plus pénalisant du point de vue hydraulique dans la rivière des Prairies. Il est aisé de constater que la fondation pour les pylônes est très minime par rapport à la largeur de la rivière.

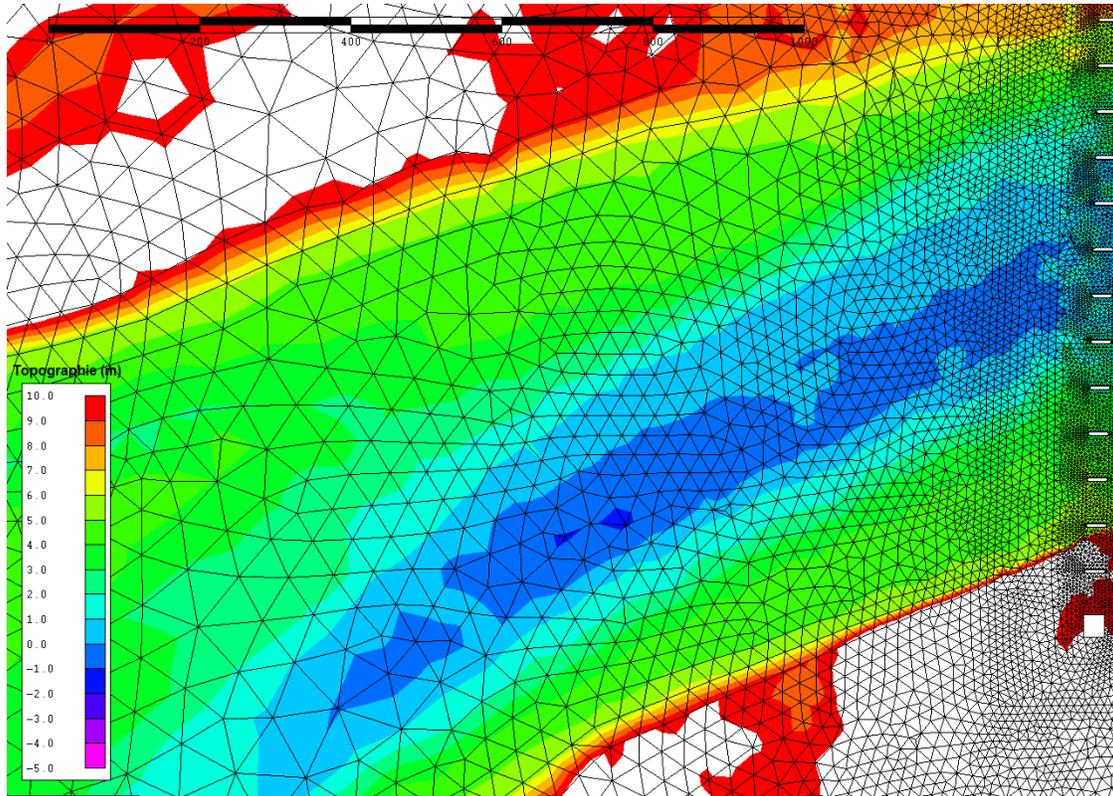


Figure 5.9 Topographie et maillage en absence des pylônes

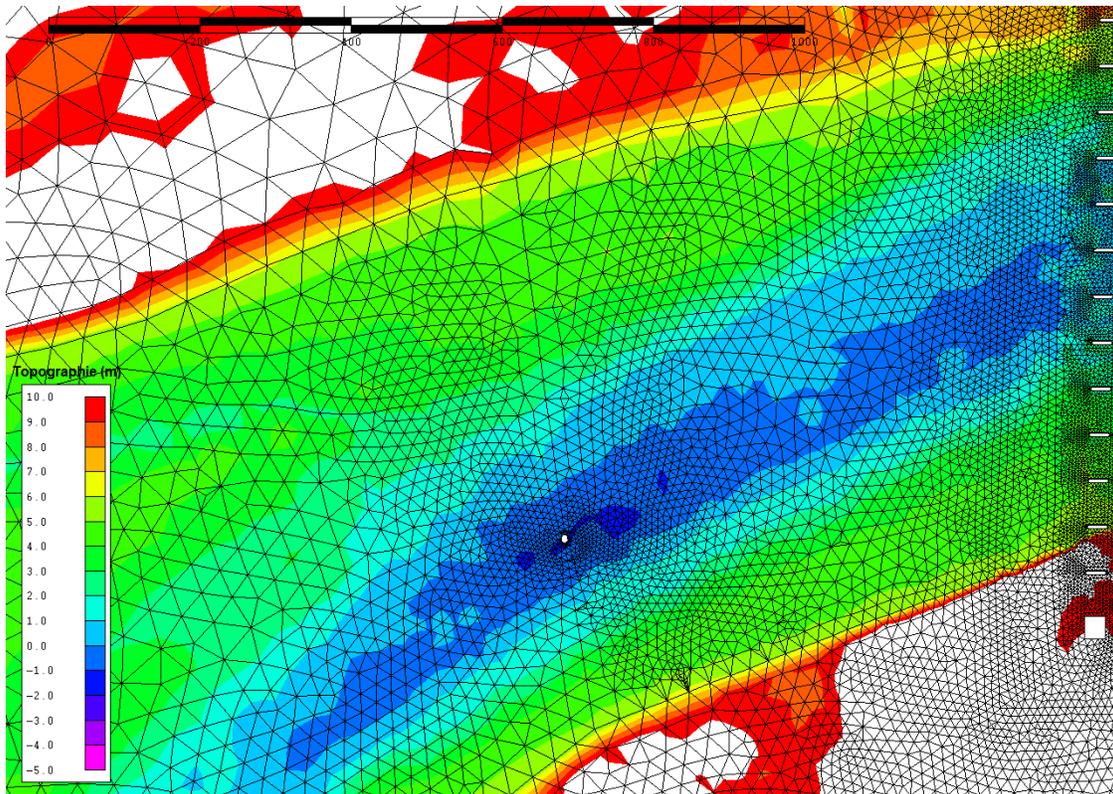


Figure 5.10 Ajout des fondations de pylônes d'Hydro-Québec dans la rivière des prairies

5.6 Éléments temporaires au pont Charles-de-Gaulle

LE MDDELCC demande d'évaluer les impacts des ouvrages temporaires sur le comportement hydraulique de la rivière des Prairies. Au pont Charles-de-Gaulle, la mise en place temporaire de deux jetées et de sept batardeaux est prévue en tout lors des différentes phases des travaux.

La jetée située au sud doit se projeter de la culée sud jusqu'à la pile numéro 7. La jetée nord doit se projeter de la culée nord jusqu'à la pile numéro 15. Des batardeaux doivent être mis en place autour des piles numéro 8 à 14, toujours selon la numérotation du rapport d'avant-projet.

Les figures 5.11 et 5.12 qui suivent montrent les ouvrages temporaires au pont Charles-de-Gaulle. Pour alléger le rapport, les batardeaux ont été montrés sur la même figure que la jetée nord.

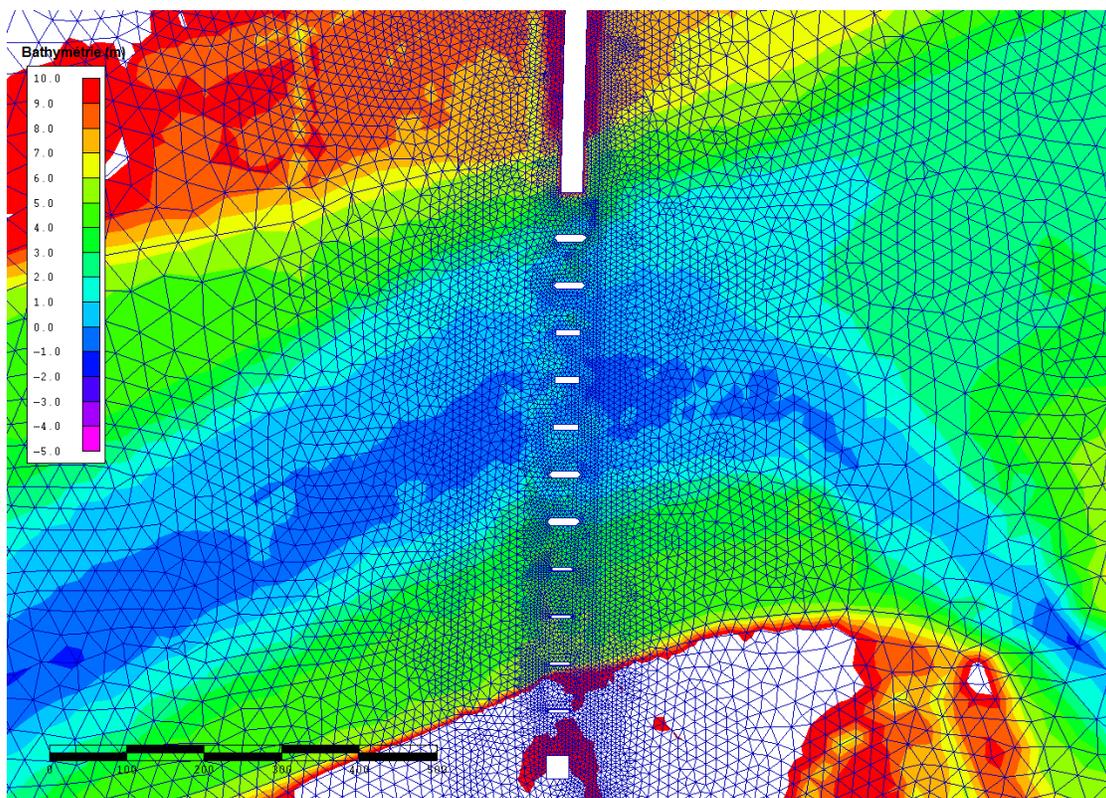


Figure 5.11 Maillage au pont P-09782 avec jetée au nord et batardeaux

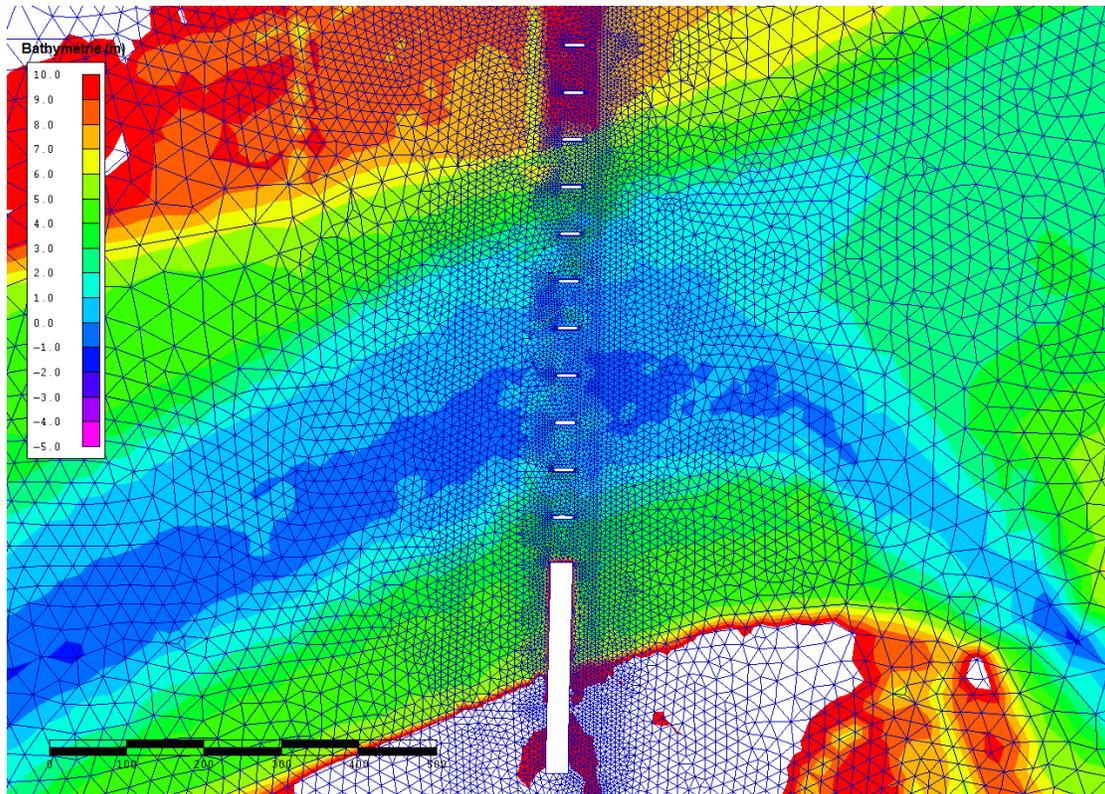


Figure 5.12 Maillage au pont P-09782 avec jetée au sud

Les simulations pour ces ouvrages temporaires ont été réalisées pour le débit de crue de récurrence 2 ans, qui n'a jamais été excédé au droit de l'ouvrage entre le 15 juin et le 31 décembre. Chaque élément temporaire a été évalué à part pour mesurer son impact spécifique sur le régime d'écoulement. Par la suite, chaque jetée a été simulée en présence des batardeaux. Les obstructions de cours d'eau qui excèdent un tiers (1/3) de la section naturelle du cours d'eau ne peuvent être couvertes par *l'autorisation générale du ministre du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs en vertu de l'article 128.8 de la loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*. Étant donné que la présence simultanée des jetées avec les piles excède une obstruction d'un tiers du cours d'eau, notre Service n'a pas évalué un scénario où les deux jetées seraient présentes en même temps dans le cours d'eau.

5.7 Évaluation du scénario le plus pénalisant

Il a été demandé d'évaluer l'impact hydraulique cumulatif des ouvrages temporaires aux ponts Charles-de-Gaulle, Le Gardeur et avec l'ajout de la ligne d'Hydro-Québec.

Étant donné la vaste combinaison d'ouvrages temporaires qui pourraient être en fonction en même temps sur les trois ponts, notre Service a évalué le scénario le plus pénalisant au point de vue hydraulique. C'est ce scénario qui est présenté dans ce rapport. Notre Service peut produire des résultats pour d'autres combinaisons moins pénalisantes sur demande.

Le scénario le plus pénalisant est la présence de deux jetées au pont P-01372E, d'une jetée située au nord à la structure P-01372W, d'une jetée située au sud au pont P-09782, de batardeaux à toutes les structures et d'une fondation de pylône d'Hydro-Québec à l'amont du pont P-09782.

La figure 5.13 montre les jetées avec batardeaux au pont P-01372E. La figure 5.14 montre la jetée au nord du pont P-01372W avec les batardeaux.

Les résultats de ces simulations sont présentés à la section 7 du présent rapport.

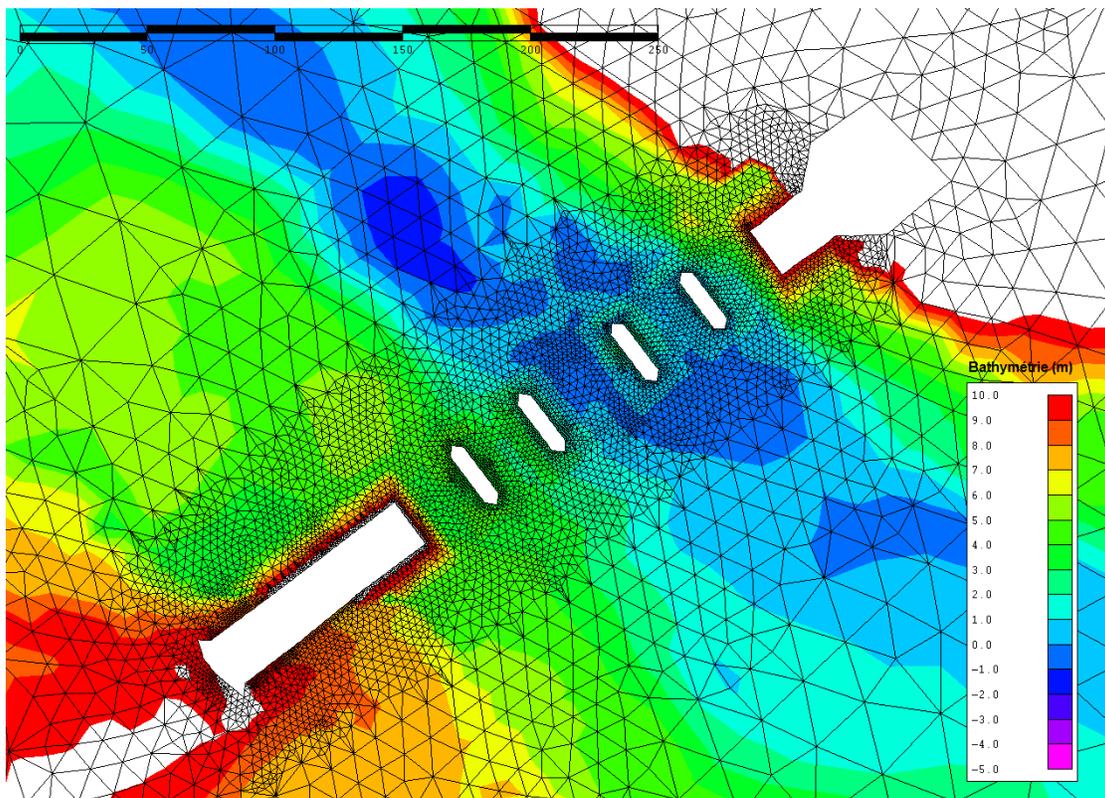


Figure 5.13 Maillage au pont 01372E avec deux jetées et batardeaux

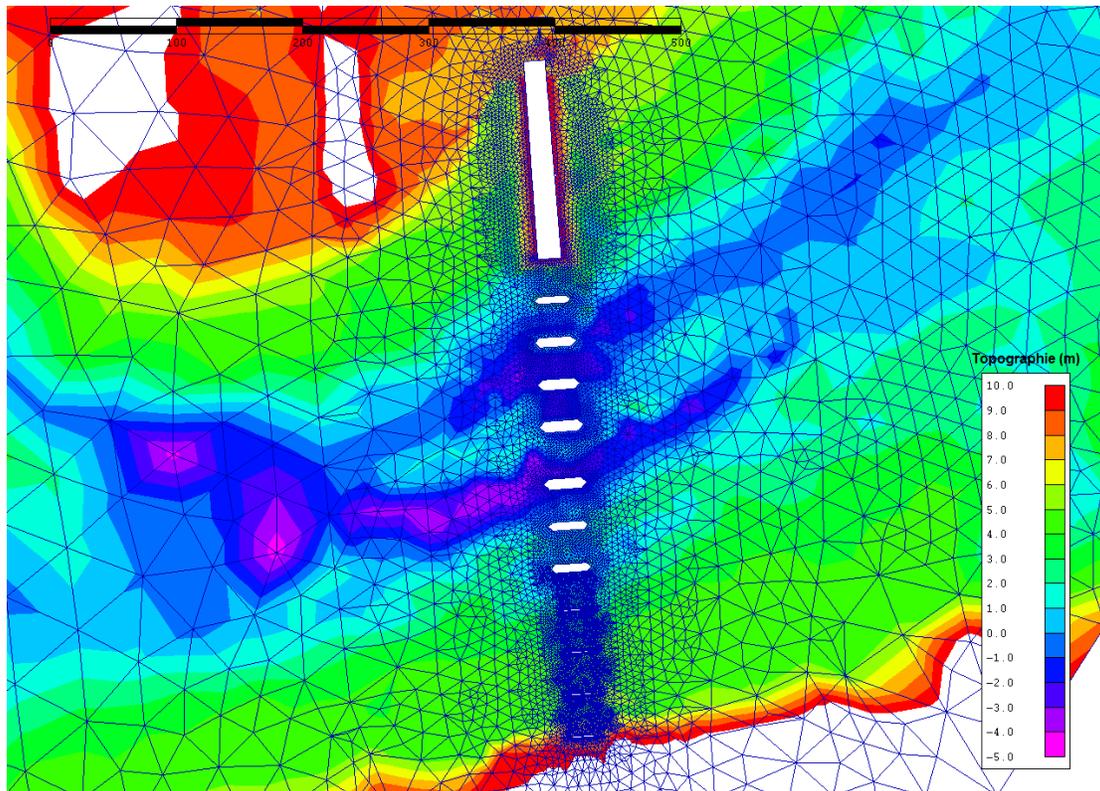


Figure 5.14 Maillage au pont 01372W avec jetée au nord et batardeaux

6. IMPACTS PERMANENTS DES TRAVAUX EFFECTUÉS

Les questions QC-4, QC-23, QC-24 et QC-25 concernent les impacts hydrauliques des solutions de réparations retenues aux structures P-09782 et P-01372. Les impacts de la structure rénovée Charles-de-Gaulle ont d'abord été évalués pour les crues de récurrence 2 ans, 20 ans et 100 ans. Les impacts cumulatifs avec la structure Le Gardeur ont par la suite été ajoutés. Finalement, l'impact des travaux d'Hydro-Québec a été évalué. Les sections qui suivent détaillent les résultats des simulations hydrauliques. Les positions dans le modèle représentent la position le long de la ligne d'eau de la figure 4.1.

6.1 Rehaussement causé par les réparations aux ponts 09782 et 01372

Pour la crue de récurrence 2 ans, il est possible de conclure que l'ajout d'une surépaisseur de béton au pont P-09782 de 150 mm sur les piles ne provoque qu'un rehaussement de 1 mm du niveau de l'eau en présence de la crue 2 ans. L'impact combiné des réparations aux deux structures provoque un rehaussement de 7 mm, ce qui est encore très négligeable à comparer de la marge d'erreur du modèle de 150 mm. Les pylônes d'Hydro-Québec n'ont pas d'impacts significatifs lors de la crue 2 ans. La figure 6.1 montre les niveaux de surface pour une crue 2 ans en présence des structures actuelles et réparées ainsi qu'en présence de la ligne d'Hydro-Québec.

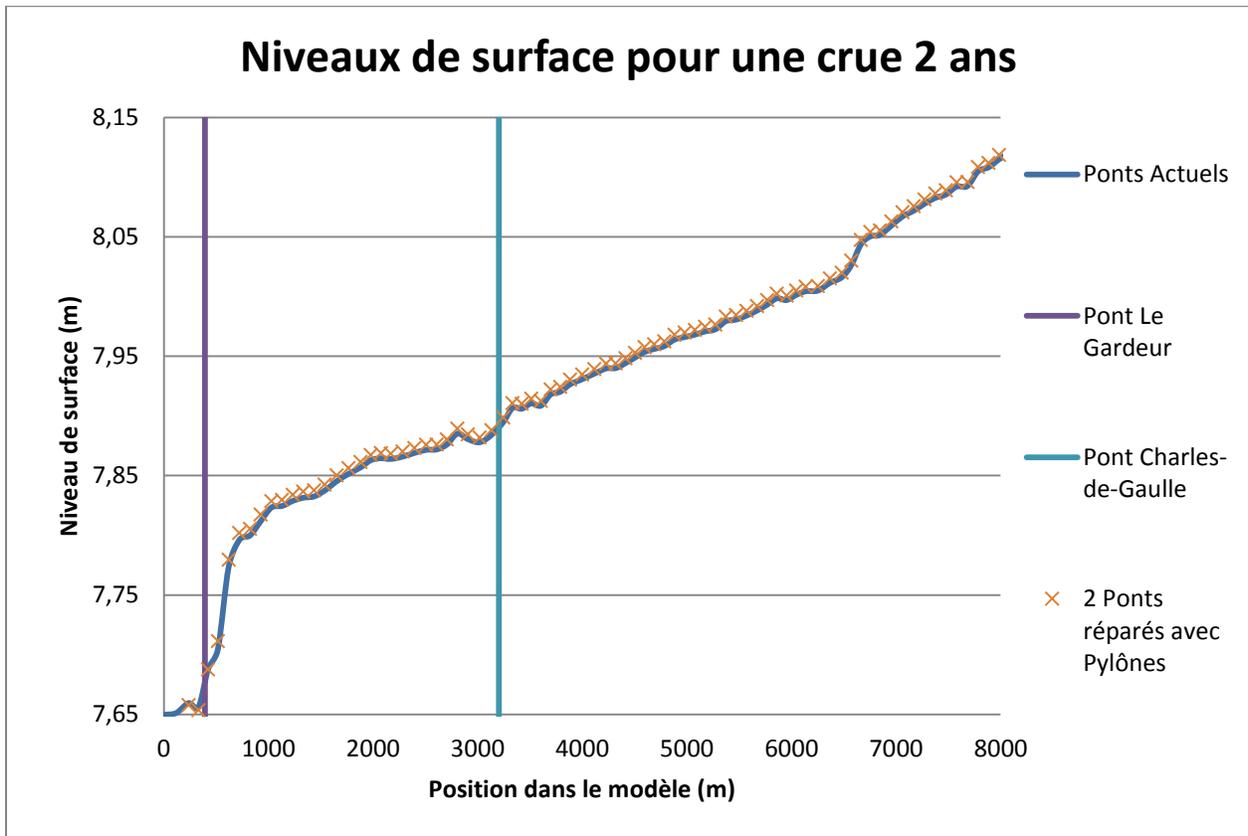


Figure 6.1 Comparaison des niveaux de surface pour une crue de récurrence 2 ans

Les mêmes conclusions s'imposent pour les variations de niveau d'eau lors de la crue 20 ans. Ces variations restent négligeables, à moins de 9 mm une fois les travaux complétés. La figure 6.2 montre les faibles variations entre les structures à l'état actuel et les structures réparées.

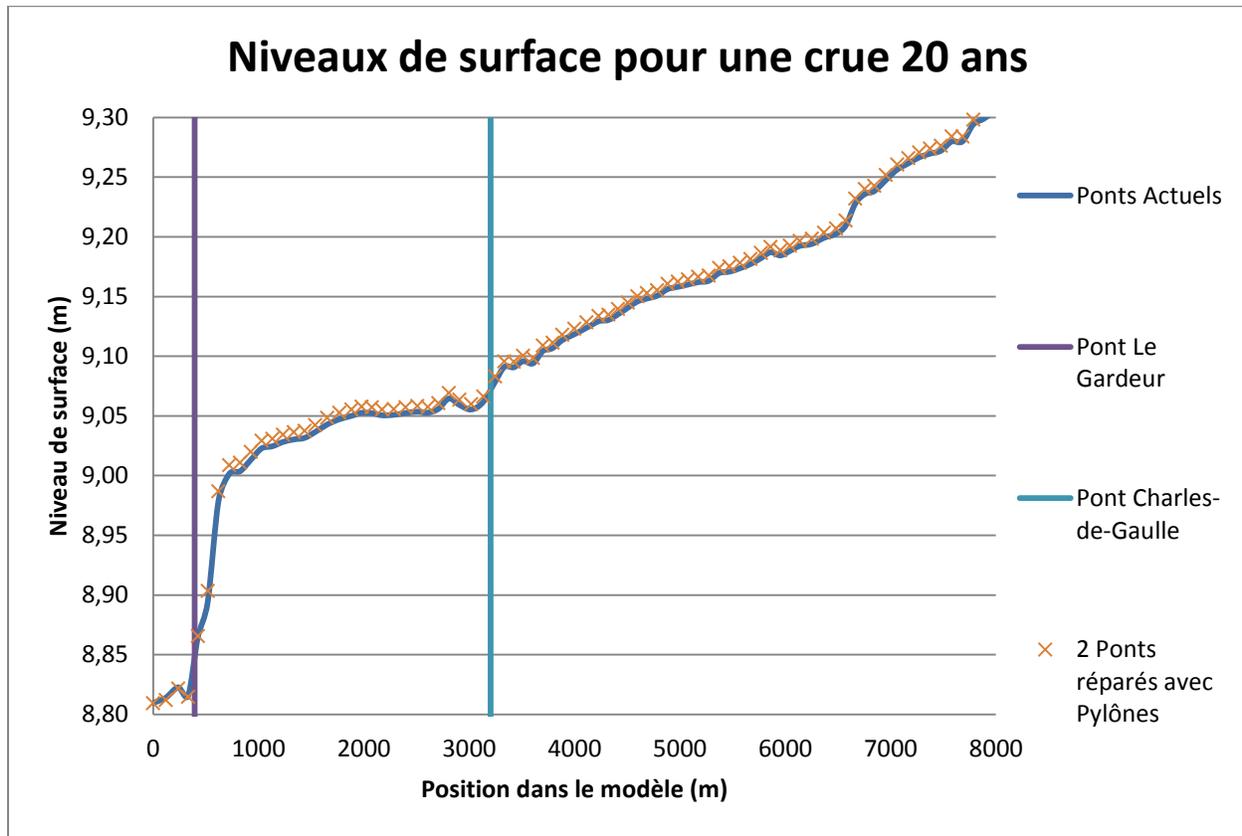


Figure 6.2 Comparaison des niveaux de surface pour une crue de récurrence 20 ans

Pour la crue de récurrence 100 ans, les variations de niveau d'eau restent encore une fois très négligeables. Un rehaussement de 11 mm est prédit au pont P-09782. Le modèle prédit aussi une diminution de 11 mm du niveau de surface directement à l'amont de la structure P-01372 qui se maintient jusqu'à la structure P-09782. Cette diminution vient contrecarrer le rehaussement à la structure P-09782. Elle doit cependant être considérée comme négligeable au même titre que les augmentations prévues lors des crues de récurrence 2 ans et 20 ans étant donné qu'elle est largement inférieure à la marge d'erreur du modèle. Cette oscillation autour du *statu quo* vient confirmer que les structures réparées se comporteront de manière semblable aux actuelles.

La figure 6.3 montre les niveaux de surface pour une crue de récurrence 100 ans.

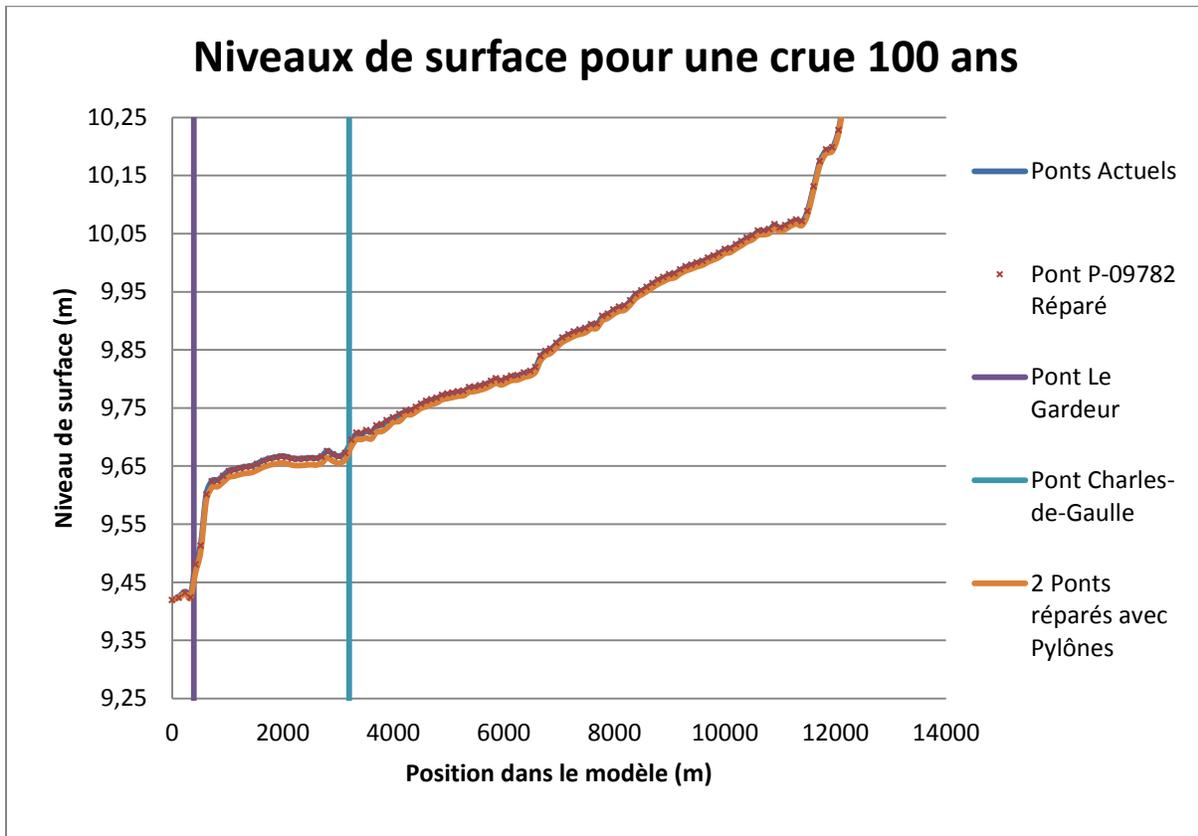


Figure 6.3 Comparaison des niveaux de surface pour une crue de récurrence 100 ans

6.2 Variation des vitesses causée par les réparations aux ponts 09782 et 01372

L'impact des réparations sur les vitesses autour du pont Charles-de-Gaulle est négligeable. Les figures 6.4 et 6.5 montrent le champ de vitesse autour des piles avant et après réparation au passage d'une crue de récurrence 100 ans.

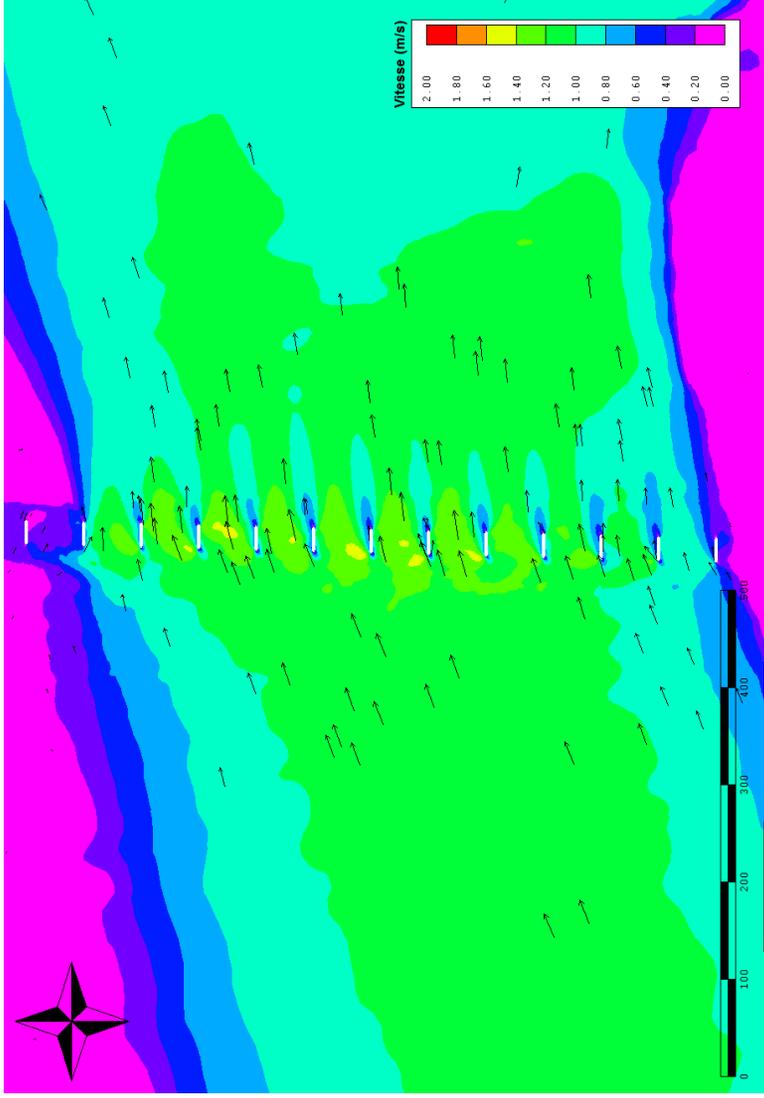


Figure 6.4 Champ de vitesse au pont Charles-de-Gaulle – Crue de récurrence 100 ans – Structure actuelle

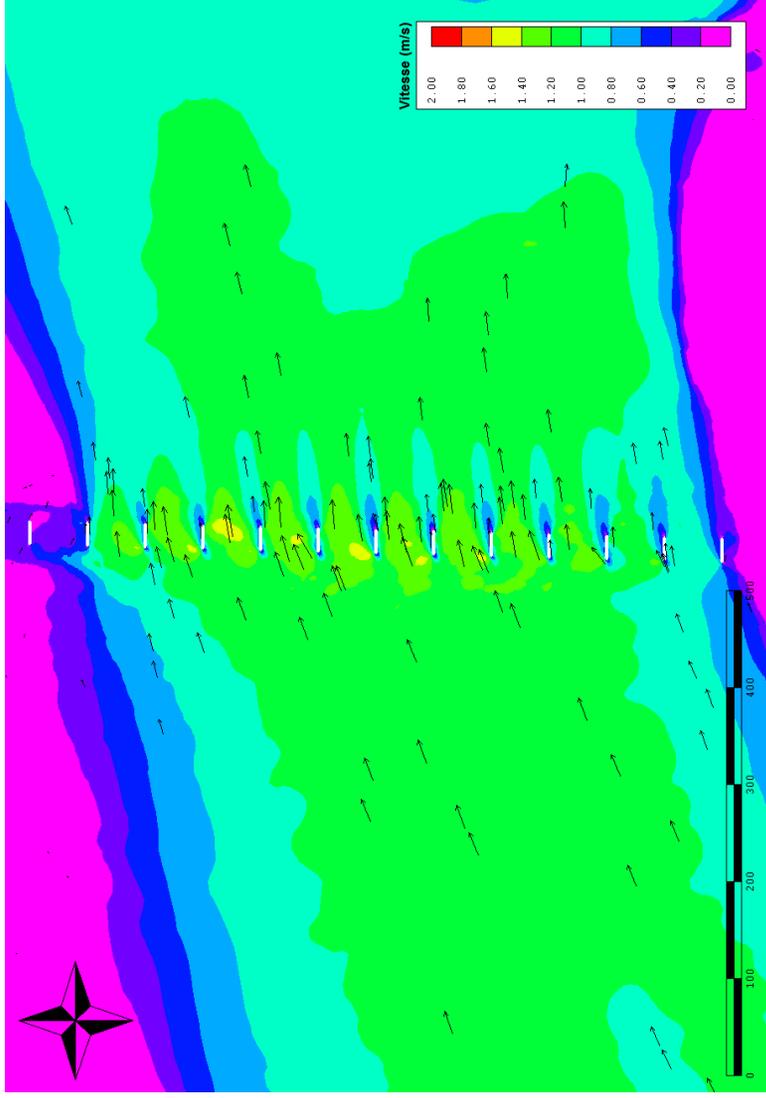


Figure 6.5 Champ de vitesse au pont Charles-de-Gaulle – Crue de récurrence 100 ans - Structure réparée

La vitesse maximale rendue par le modèle 2D au pont Charles-de-Gaulle dans son état actuel est de 1,49 m/s entre les piles 11 et 12. En présence des piles réparées, la vitesse maximale atteinte ne monte pas au-delà de 1,52 m/s, encore une fois entre les piles 11 et 12. Comme mentionné précédemment, cet écart pour une crue de récurrence 100 ans est négligeable.

Les simulations pour les crues de récurrence 2 ans et 20 ans vont dans le même sens, c'est-à-dire des variations négligeables.

Les réparations aux ponts Le Gardeur en aval et l'ajout de pylônes d'Hydro-Québec en amont n'influencent pas les vitesses de manière significative au pont Charles-de-Gaulle.

Le tableau 6.1 résume les impacts hydrauliques une fois la structure réparée mise en service.

Tableau 6.1 Impact hydraulique des travaux au pont P-09782

Crue évaluée	Rehaussement du niveau (m)	Rehaussement du niveau avec travaux aux ponts P-01372 (m)	Rehaussement de la vitesse (m/s)	Vitesse max (m/s)
2 ans	0,001	0,007	0,01	1,50
20 ans	0,009	0,011	0,02	1,51
100 ans	0,011	0,000	0,03	1,52

7. IMPACTS HYDRAULIQUES LORS DES TRAVAUX

La mise en place de jetées et de batardeaux temporaires aura des impacts hydrauliques sur l'écoulement dans la rivière des Prairies. Ces ouvrages temporaires ont été simulés tout d'abord au pont Charles-de-Gaulle pour répondre aux interrogations du MDDELCC. L'effet cumulatif des ouvrages temporaires aux ponts Le Gardeur et à la ligne d'Hydro-Québec devaient aussi être calculés et donc des simulations ont aussi été réalisées avec tous ces ouvrages. Les simulations pour les impacts des ouvrages temporaires ont été réalisées avec des débits de crue de récurrence 2 ans, comme expliqué à la section 4.7 du présent rapport.

7.1 Impacts des éléments individuels

Le tableau 7.1 qui suit résume les impacts causés par chaque élément temporaire pour une crue de récurrence 2 ans.

Tableau 7.1 Impacts hydrauliques des éléments temporaires au pont Charles-de-Gaulle.

Élément modélisé	Rehaussement du niveau (m)	Rehaussement de la vitesse (m/s)	Vitesse maximum (m/s)
Jetée Nord du pont P-09782	0,003	0,11	1,44
Jetée Sud du pont P-09782	0,013	0,19	1,52
Batardeaux du pont P-09782	0,005	0,12	1,45

Les rehaussements du niveau de surface restent somme toute plus faibles que la marge d'erreur du modèle et sont donc négligeables, à plus ou moins 1 cm. La largeur de la rivière des Prairies au droit des travaux est considérable à comparer des obstructions prévues.

7.2 Impacts des éléments combinés et analyse du scénario le plus pénalisant avec le pont Le Gardeur et les pylônes d'Hydro-Québec

Les combinaisons des batardeaux avec chacune des jetées ont été analysées. De plus, le scénario le plus pénalisant qui soit a été analysé, c'est-à-dire la présence de batardeaux aux deux ponts P-01372E/W, deux jetées au pont P-01372E, une jetée au nord du pont P-01372W, tous combinés à une jetée au sud et des batardeaux au pont P-09782 et à des pylônes d'Hydro-Québec. Les résultats sont présentés au tableau 7.2.

Tableau 7.2 Impacts hydraulique de différentes combinaisons d'ouvrages temporaires

Éléments modélisés	Rehaussement du niveau (m)	Rehaussement de la vitesse (m/s)	Vitesse max (m/s)
Jetée sud et batardeaux au pont P-09782	0,015	0,33	1,66
Jetée nord et batardeaux au pont P-09782	0,008	0,16	1,49
Scénario le plus pénalisant	0,068	0,37	1,70

Pour le scénario le plus pénalisant, la vitesse maximale à la structure P-09782 passerait de 1,33 m/s en conditions actuelles à 1,70 m/s lors du passage d'une crue d'une période de retour de 2 ans.

Le rehaussement, présenté à la figure 7.1 qui suit, est de 68 mm à l'amont de la structure P-09782. Les fondations des pylônes d'Hydro-Québec ne rehaussent pas davantage le niveau de surface. Par rapport au niveau de surface de la crue de récurrence 20 ans, qui sert à déterminer les zones inondables, le niveau de surface reste à 1 176 mm sous le niveau de la crue de récurrence 20 ans lorsque le scénario le plus pénalisant est calculé avec la crue de récurrence 2 ans.

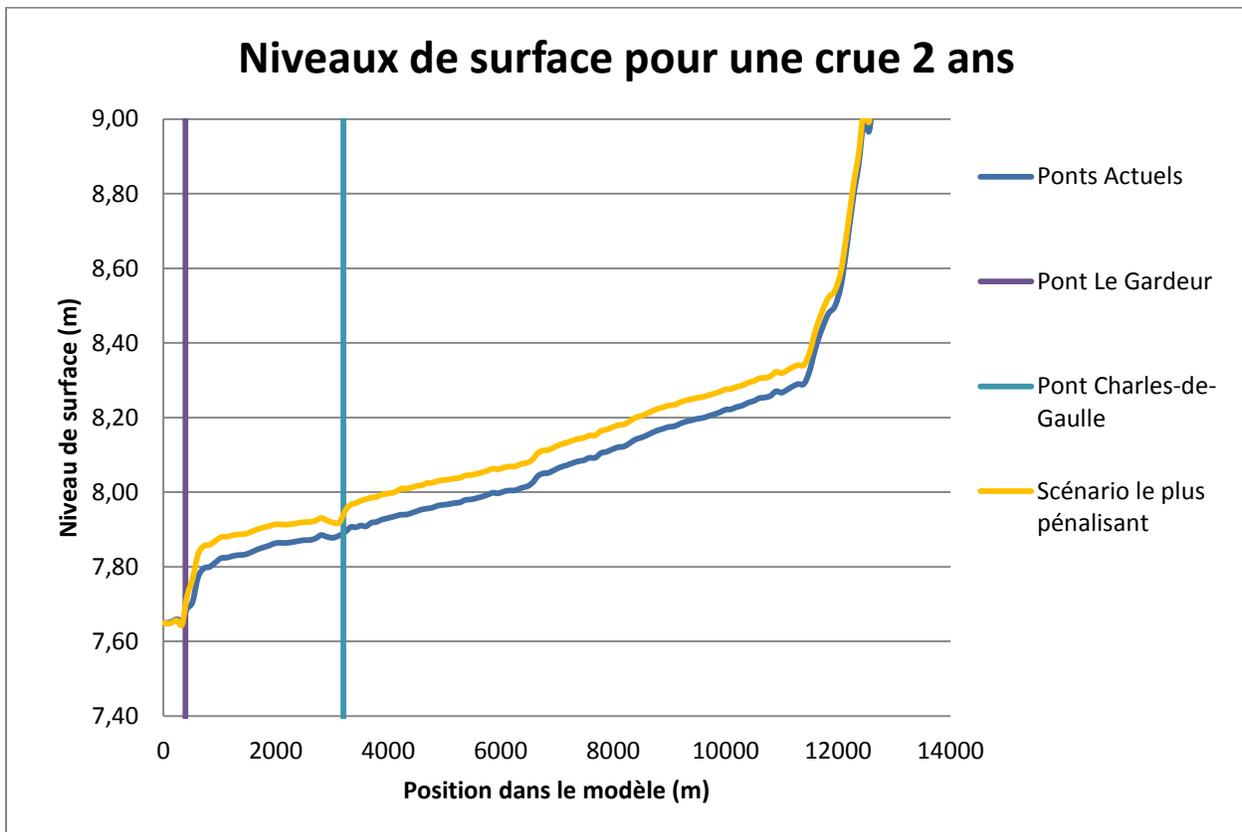


Figure 7.1 Niveaux de surface pour une crue 2 ans en pour le scénario le plus pénalisant

Les vitesses restent à des valeurs acceptables même dans le cas du scénario le plus pénalisant. Le rehaussement du niveau de surface reste aussi très faible, à moins de 7 cm, ce qui est en deçà de la marge d'erreur attribuée au modèle. Le niveau de surface reste en tout à plus d'un mètre sous le niveau de la crue de récurrence 20 ans, généralement utilisé dans l'élaboration des cartes de zones inondables.

8. IMPACTS SUR LE RÉGIME DE GLACES

Une discussion téléphonique avec le Centre de sécurité civile de la ville de Montréal le 15 octobre 2014 a confirmé que des problèmes d'embâcles récurrents se produisaient aux alentours de la structure P-09782. De la machinerie est nécessaire chaque printemps pour défaire les embâcles. La garde côtière est aussi requise dans ce secteur. La figure 8.1 qui suit, une carte des glaces produite à partir d'imagerie satellite, montre des amoncellements de glace consolidée autour des structures P-09782 et P-01372.

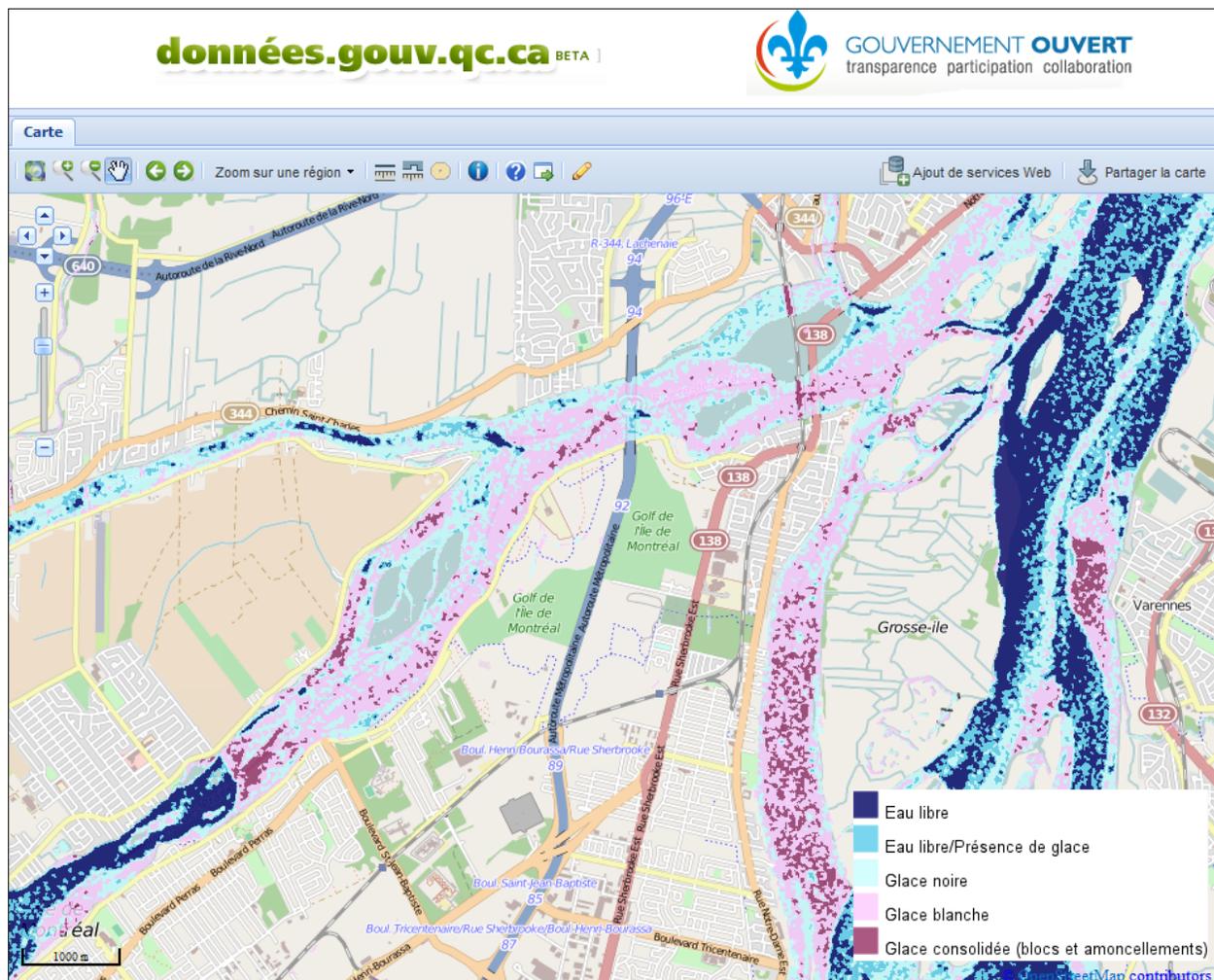


Figure 8.1 Carte des glaces du 19 janvier 2014 pour la région de Montréal – Tirée du site web des données ouvertes du gouvernement du Québec

L'ajout d'une surépaisseur de béton de 150 mm provoquera une réduction de la section d'écoulement d'environ 0,064 %. Cette réduction est négligeable et ne devrait pas avoir d'impacts sur les embâcles dans le secteur. La figure 8.2, une carte de la sécurité civile de la ville de Montréal, indique des secteurs touchés par des inondations. Le secteur avoisinant les ponts au nord de l'île est marqué en bleu.

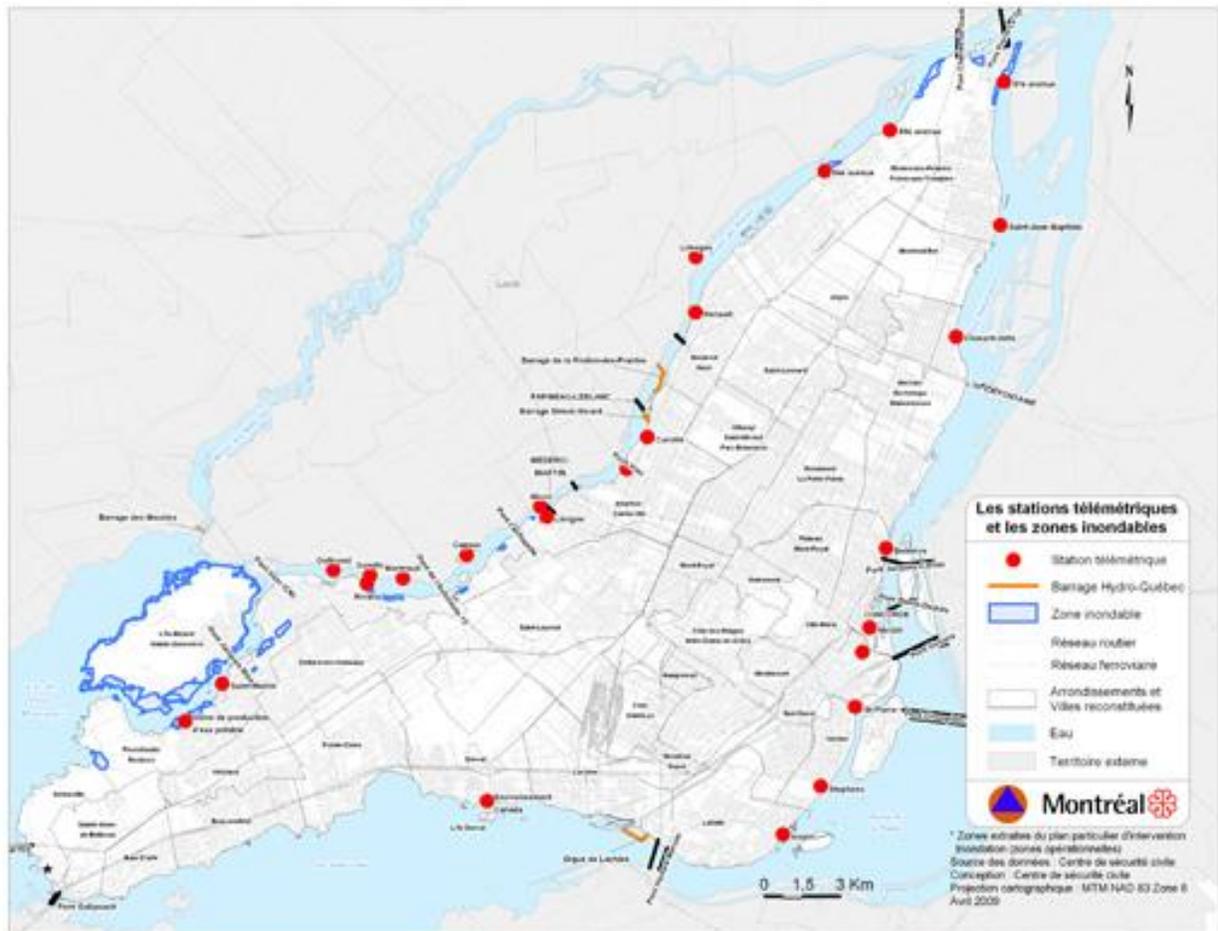


Figure 8.2 Zones inondables sur l'île de Montréal – Centre de sécurité civile de Montréal

Avec les connaissances actuelles, la présence d'embâcle et d'inondation causés par ceux-ci au droit de la structure fait **qu'aucun ouvrage temporaire qui obstruerait la section d'écoulement ne doit être mis en place entre le 15 décembre et le 30 avril**. Tout ouvrage temporaire mis en place et pouvant obstruer l'écoulement naturel devra être retiré avant le 15 décembre.

Il est cependant possible d'effectuer des études plus spécialisées sur le régime des glaces à cet endroit pour améliorer les connaissances sur le comportement des glaces dans ce secteur complexe et ainsi déterminer si des structures temporaires peuvent être laissées en place.

9. CHOIX DU CALIBRE DE PIERRES POUR L'ENROCHEMENT

Notre Service suggère la mise en place de tapis d'enrochement préventifs pour contrer l'affouillement sur le pourtour des semelles des piles numéro 8, 11, 12, 13 et 14. La vitesse maximale observée au droit de la structure pour une crue de récurrence 100 ans est de 1,5 m/s. Cette vitesse doit être modulée par un facteur 1,5 pour prendre en compte les vortex verticaux qui ne sont pas calculés par le modèle 2D intégré sur la verticale. Le rapport de SPG Hydro International qui a réalisé la dernière inspection sous-marine en 2014 mentionne que le lit a peu bougé depuis la précédente inspection. Les autres piles ne présentent pas de risque lié à l'affouillement et l'ajout de protection n'est donc pas nécessaire. Dans tous les cas, le lit est toujours situé au-dessus du point bas des semelles, les interventions ne sont donc pas urgentes. Le tableau 9.1 donne les propriétés de l'enrochement à utiliser.

Tableau 9.1 Propriétés des tapis d'enrochement à mettre en place

Ouvrage	Vitesse modulée d'affouillement (m/s)	Dimensions de la protection (mm)		
		D ₅₀	Calibre	Épaisseur
Structure en service	2,25	250	200 – 300	500

Un tapis de protection dont les pierres ont un calibre, un D₅₀ et une épaisseur correspondant aux valeurs du tableau 9.1 devra être disposé au pourtour des piles sans entraver l'écoulement. La norme est présentée à l'annexe C du présent rapport « **Pile en rivière, protection du remplissage des excavations pour une semelle sur sol ou sur pieux, exposée à l'écoulement (sans palplanches)** » (*Tome III-Ouvrage d'art*, chapitre 2, page 12, 2010-01-30).

Les pierres utilisées pour le revêtement doivent satisfaire la norme 14501 du Ministère. Elles doivent notamment être des pierres de carrière provenant du dynamitage ou des pierres d'une sablière provenant du concassage. Elles doivent également être massives et présenter des arêtes vives.

Pour des questions d'habitat faunique, il est possible de recouvrir l'enrochement avec des pierres naturelles de plus petites dimensions. Cependant, avec les vitesses prévues en crue annuelle bien que certaines s'enrôleront dans la protection de pierres, plusieurs des pierres de plus petites dimensions pourraient être déplacées et se retrouver plus loin à l'aval, s'intégrant au lit naturel.

La mise en place doit être conforme à l'article 15.2.5.6 du *Cahier des charges et devis généraux*. Les pierres doivent être placées avec soin, enchâssées et serrées solidement les unes contre les autres en toutes directions.

L'enrochement suggéré dans cette section a été pris en compte dans les calculs hydrauliques liés à la structure réparée.

Il est à noter que les semelles des piles à protéger ne sont pas exposées aux glaces.

10. RÉPONSES AUX PRÉCISIONS DEMANDÉES PAR LE MDDELCC

QC-4 : Présenter une caractérisation fine des niveaux et des vitesses aux abords des piles dans le but d'optimiser les travaux et les enrochements aux semelles afin d'éviter l'affouillement.

Les sections 6 et 7 montrent les niveaux et vitesses autour des piles du pont Charles-de-Gaulle durant les travaux et une fois la structure réparée mise en service. Les vitesses maximales atteintes lors des travaux ne dépassent pas 1,70 m/s et n'atteignent que 1,52 m/s lors d'une crue de récurrence 100 ans une fois la structure mise en service. Cette augmentation est très faible à comparer de la vitesse de 1,49 m/s actuellement observable lors d'une crue de récurrence 100 ans. L'élévation de l'eau maximale durant la période des travaux est de 7,95 m pour une crue inférieure à 2 ans. Une fois la structure réparée mise en service et en présence d'une crue de récurrence 100 ans, les niveaux pourraient atteindre l'élévation 9,71 m. Le rehaussement de l'élévation du niveau d'eau une fois les travaux complétés pour le pont Charles-de-Gaulle sera uniquement sera de l'ordre de 11 mm, ce qui est très négligeable et est largement sous la marge d'erreur du modèle.

QC-5 : Nommer et quantifier les impacts des structures temporaires et permanentes sur le régime des glaces en tenant compte des impacts cumulatifs associés aux travaux sur le pont Le Gardeur (P-01372W) et sur la ligne de 735 kV d'Hydro-Québec.

Les modifications permanentes à la structure auront des impacts négligeables sur le comportement des glaces au droit de la structure. La structure étant située dans une zone de formation d'embâcles et d'inondations récurrentes, il ne doit pas y avoir aucune structure temporaire dans le lit de la rivière entre le 15 décembre et le 30 avril. Des études complémentaires peuvent être entreprises. Les détails sont donnés à la section 8.

QC-23 : Préciser l'épaisseur de la surépaisseur employée pour réparer les fissures et les impacts de ces surépaisseurs sur les conditions hydrauliques.

Notre Service a évalué l'impact de la pire réparation proposée du point de vue hydraulique. Cette réparation est celle impliquant l'ajout d'une surépaisseur de 150 mm de béton sur la totalité de la surface des fûts de toutes les piles. L'impact est détaillé à la section 6. Il est négligeable et il est même possible d'assister à un abaissement du niveau de surface lorsque l'impact de la réparation au pont Le Gardeur est ajouté à celui du pont Charles-de-Gaulle.

QC-24 : Préciser la surface d'écoulement qui sera réduite avec la mise en place des enrochements et les méthodes de mise en place.

La mise en place d'un tapis d'enrochement se fait normalement sans entraver l'écoulement, si on se fie au dessin normalisé de l'annexe C.

QC-25 : Justifier le calibre de pierres utilisé pour l'enrochement à l'aide de paramètres hydrauliques.

La section 9 justifie l'emploi d'un enrochement de calibre 200-300 mm, ayant un diamètre médian de 250 mm et dont la carapace a une épaisseur minimale de 500 mm. Cette pierre a été choisie en fonction d'une vitesse modulée d'affouillement de 2,25 m/s.

QC-35 : Nommer et décrire les impacts cumulatifs lors des travaux sur le pont Charles-de-Gaulle, le pont Le Gardeur et la ligne de 735 kV d'Hydro-Québec (LHQ). Planifier les mesures d'atténuation pour ces travaux.

L'impact cumulatif des travaux, s'ils sont réalisés simultanément aux différentes structures, consiste dans le pire des cas à un rehaussement du niveau de surface de moins de 70 mm lors de la crue de récurrence 2 ans. Les vitesses restent faibles, à 1,70 lors de l'évaluation du scénario le plus pénalisant.

11. CONCLUSION

Le présent avis technique répond aux six interrogations du MDDELCC. Un modèle 2D du CEHQ a été mis à jour et a été opéré avec succès pour effectuer l'évaluation du comportement hydraulique à la structure P-09782. Sommes toutes, les réparations une fois terminées n'auront que des impacts négligeables sur l'écoulement, c'est-à-dire un maintien du niveau de surface et un maintien des vitesses actuelles. Les ouvrages temporaires auront des impacts cumulatifs limités, avec un rehaussement de moins de 70 mm du niveau de surface et des vitesses restant assez faibles à environ 1,70 m/s.

La présence d'embâcles récurrents et les inondations dans le secteur exigent que toute structure temporaire qui obstruerait l'écoulement soit retirée de la rivière des Prairies à cet endroit lors de la période hivernale. Les détails sont donnés à la section 8 du présent avis.

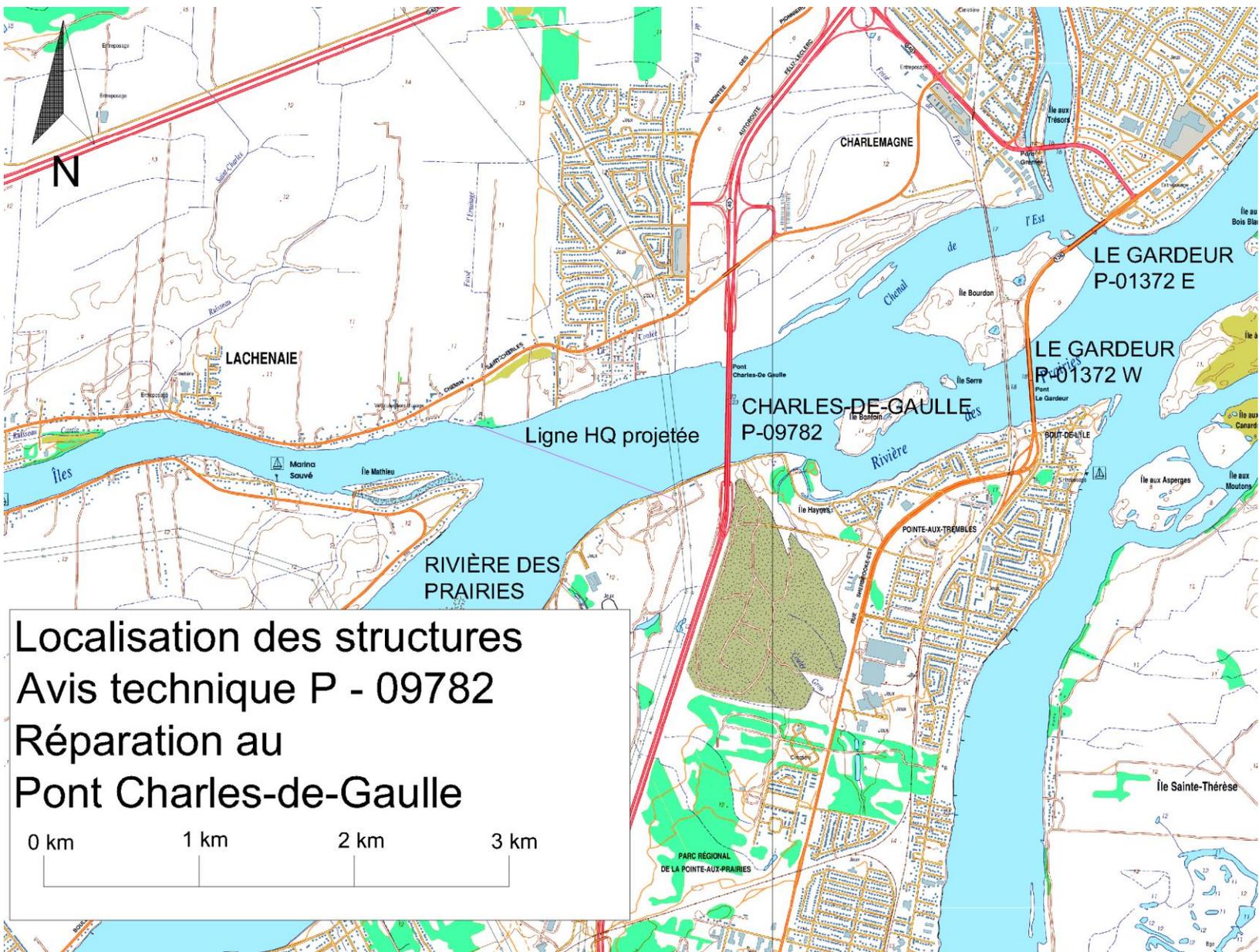
Un dimensionnement basé sur les paramètres hydrauliques locaux a été proposé pour la mise en place de l'enrochement de protection contre l'affouillement à certaines piles. Les détails sont donnés à la section 9 du présent avis.

Il est à souligner que les conclusions et recommandations élaborées dans le cadre de cette étude hydraulique ne sont valides que pour la structure P-09782 et ne pourront être utilisées pour d'autres sites, même contigus, sans avoir fait l'objet d'une étude complémentaire.

PHRG/phrg/mcf

ANNEXE A

PLAN DE LOCALISATION



Localisation des structures
Avis technique P - 09782
Réparation au
Pont Charles-de-Gaulle

0 km 1 km 2 km 3 km

A N N E X E B

Vérification du calcul des débits de récurrence à
l'embouchure de la rivière L'Assomption

Tableau B.1 Débits observés aux stations 052202, 052211 et 052219 du CEHQ

Observation (m ³ /s)	Année	Probabilité empirique
157	1922	0.306
179	1923	0.4501
279	1924	0.9157
123	1925	0.1175
178	1926	0.4279
81.8	1927	0.0067
323	1928	0.9823
294	1929	0.949
245	1930	0.8049
125	1931	0.1286
153	1932	0.2727
311	1933	0.9712
257	1934	0.8381
198	1935	0.5499
275	1936	0.8936
186	1937	0.4945
226	1938	0.7273
243	1939	0.7827
188	1940	0.5166
133	1941	0.1619
206	1942	0.6053
228	1943	0.7384
159	1944	0.3392
216	1945	0.6718
95.1	1946	0.051
203	1947	0.5831
93.2	1948	0.0399
140	1949	0.1951
144	1950	0.2173
202	1951	0.5721
171	1952	0.3725
204	1953	0.5942
153	1954	0.2838
182	1955	0.4612
86.9	1956	0.0288
110	1957	0.0843
161	1958	0.3503
101	1959	0.0621
249	1960	0.816
147	1961	0.2395
107	1962	0.0732
175	1963	0.4058
132	1964	0.1508
134	1966	0.1729

Tableau B.1 suite Débits observés aux stations 052202, 052211 et 052219 du CEHQ

Observation (m ³ /s)	Année	Probabilité empirique
112	1967	0.0953
129	1968	0.1397
136	1969	0.184
364	1970	0.9933
145	1971	0.2284
178	1972	0.439
185	1973	0.4834
222	1974	0.7051
183	1975	0.4723
272	1976	0.8825
221	1977	0.694
148	1978	0.2506
296	1979	0.9601
158	1980	0.3171
278	1981	0.9047
213	1982	0.6386
287	1983	0.9268
195	1984	0.5388
216	1985	0.6608
171	1986	0.3836
224	1987	0.7162
174	1988	0.3947
141	1989	0.2062
187	1990	0.5055
212	1991	0.6275
217	1992	0.6829
206	1993	0.6164
165	1994	0.3614
86	1995	0.0177
231	1996	0.7494
261	1997	0.8603
252	1998	0.8271
119	1999	0.1064
178	2000	0.4169
158	2001	0.3282
270	2002	0.8714
156	2003	0.2949
148	2004	0.2616
244	2005	0.7938
192	2006	0.5277
260	2007	0.8492
287	2008	0.9379
199	2009	0.561
213	2010	0.6497
237	2011	0.7716
233	2012	0.7605

Tableau B.2 Pearson type III – Maximum de vraisemblance

T	q	XT	Écart-type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	488	48.2	393 - 582
2000	0.9995	444	38.7	369 - 520
1000	0.999	425	34.7	357 - 493
200	0.995	378	25.6	327 - 428
100	0.99	356	21.8	313 - 398
50	0.98	333	18.2	297 - 368
25	0.96	308	14.8	279 - 337
20	0.95	300	13.7	273 - 327
10	0.9	272	10.8	251 - 293
5	0.8	241	8.42	224 - 257
3	0.6667	214	7.26	200 - 229
2	0.5	187	6.69	174 - 200

Tableau B.3 Paramètres estimés

Paramètres estimés	
alpha	0.0622634
lambda	14.0773
m	-33.6811
Taille	90
N. Confiance	95%

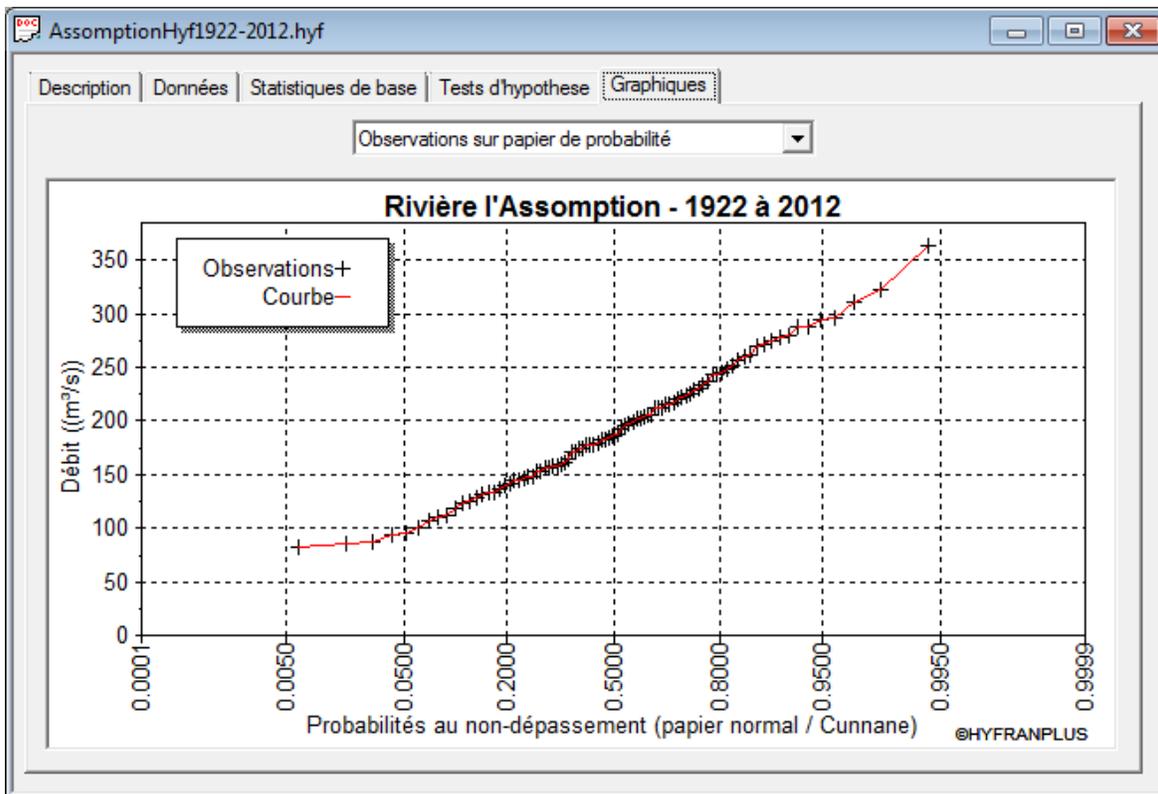


Figure B.1 Observations sur papier de probabilité (Obtenu de Hyfran plus)

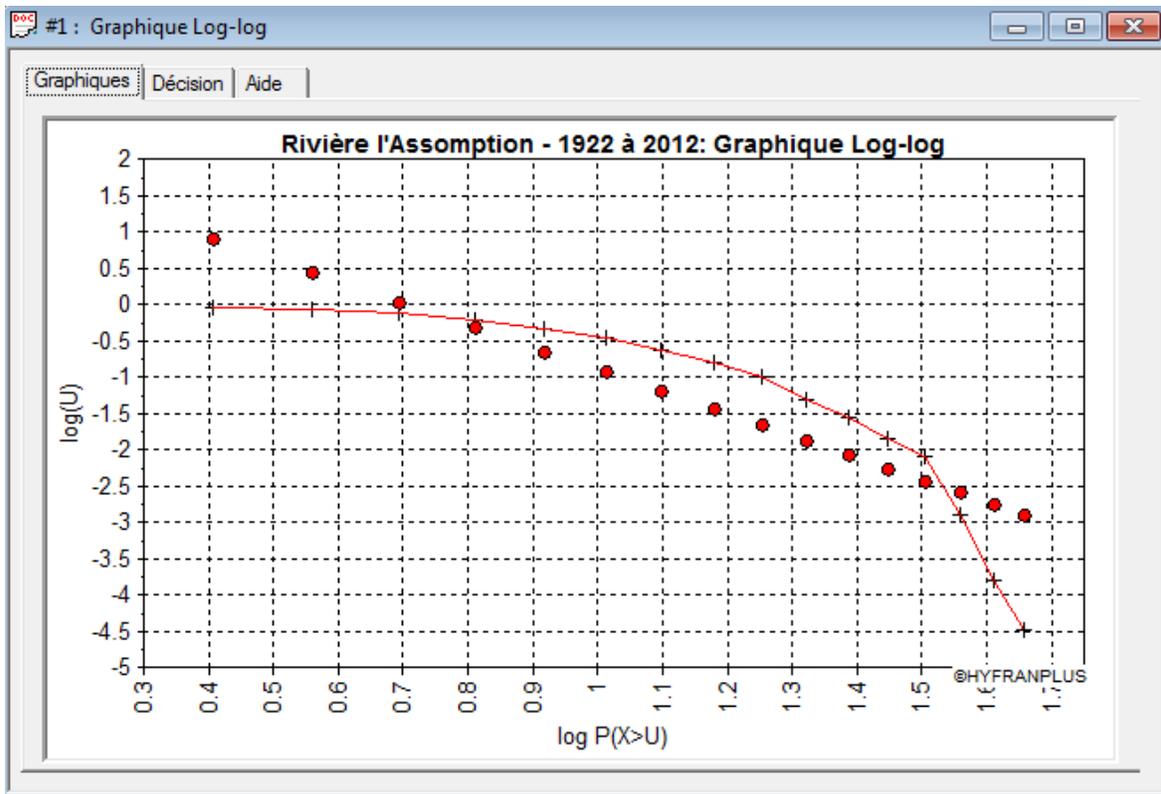


Figure B.2 Graphique Log-log pour SAD (Obtenu de Hyfran plus)

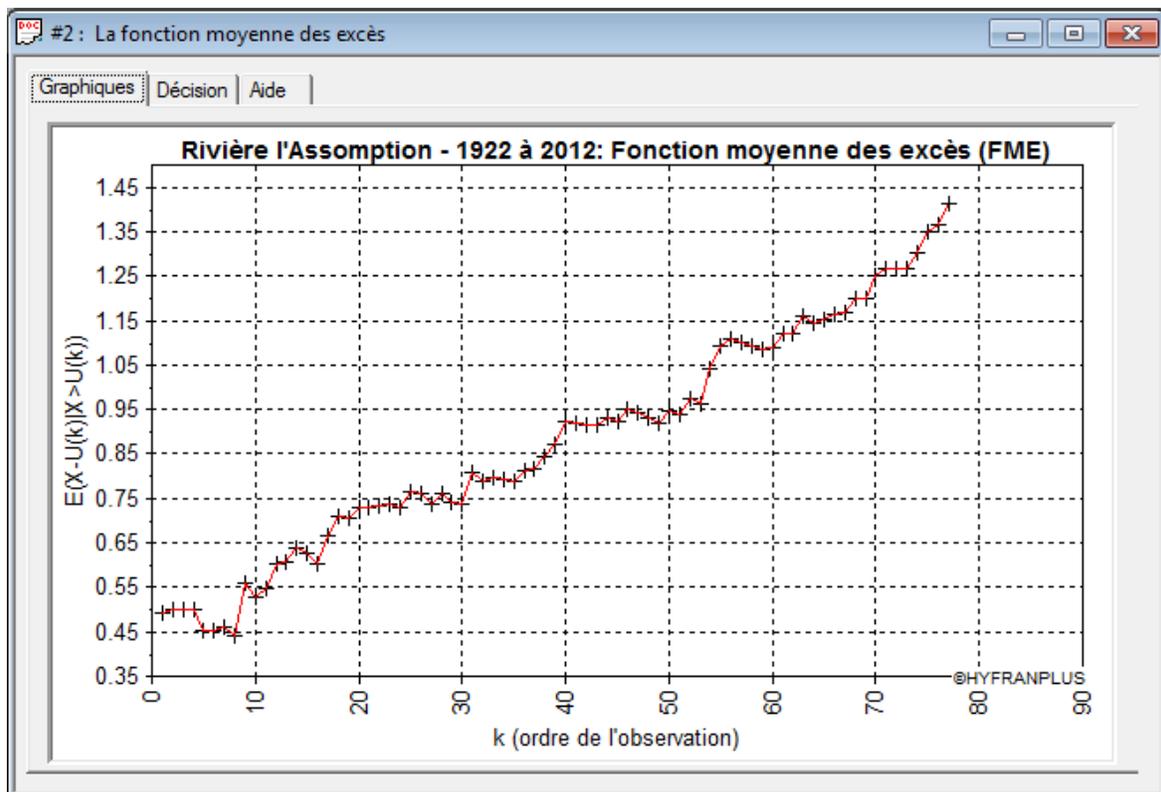


Figure B.3 Graphique fonction moyenne des excès (Obtenu de Hyfran plus)

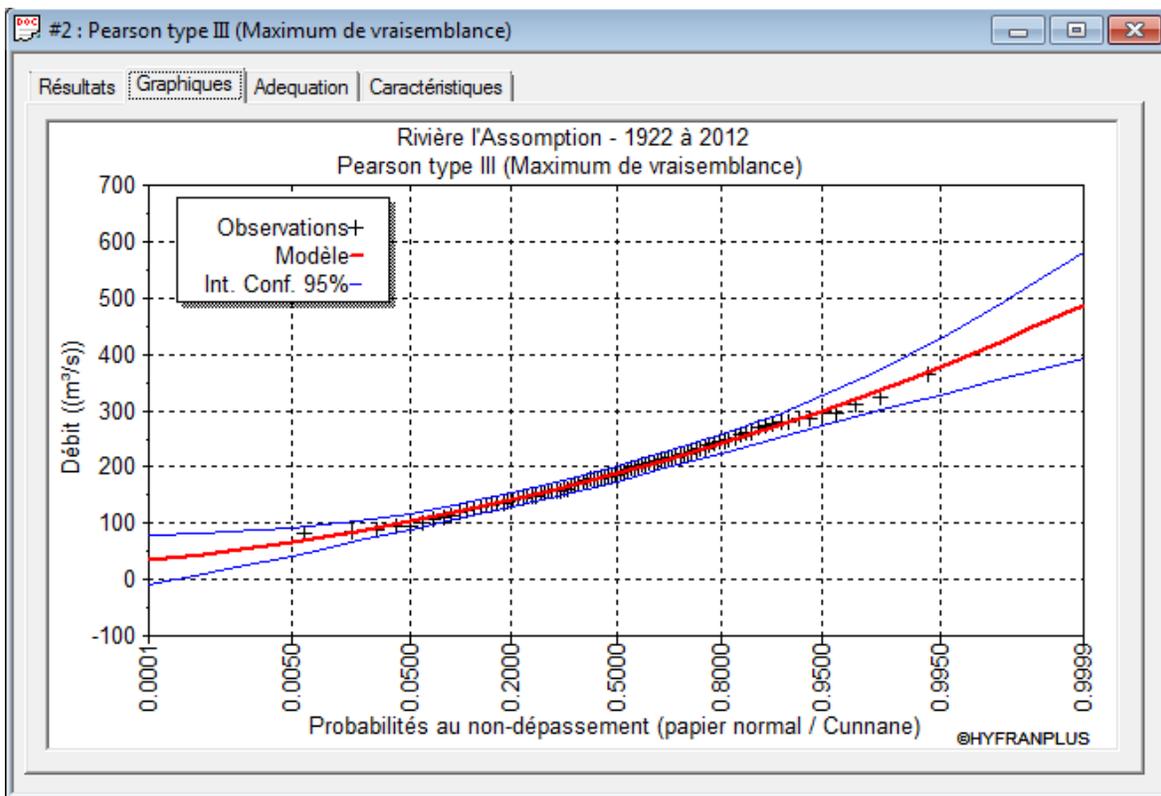


Figure B.4 Comparaison des observations avec le modèle Pearson III

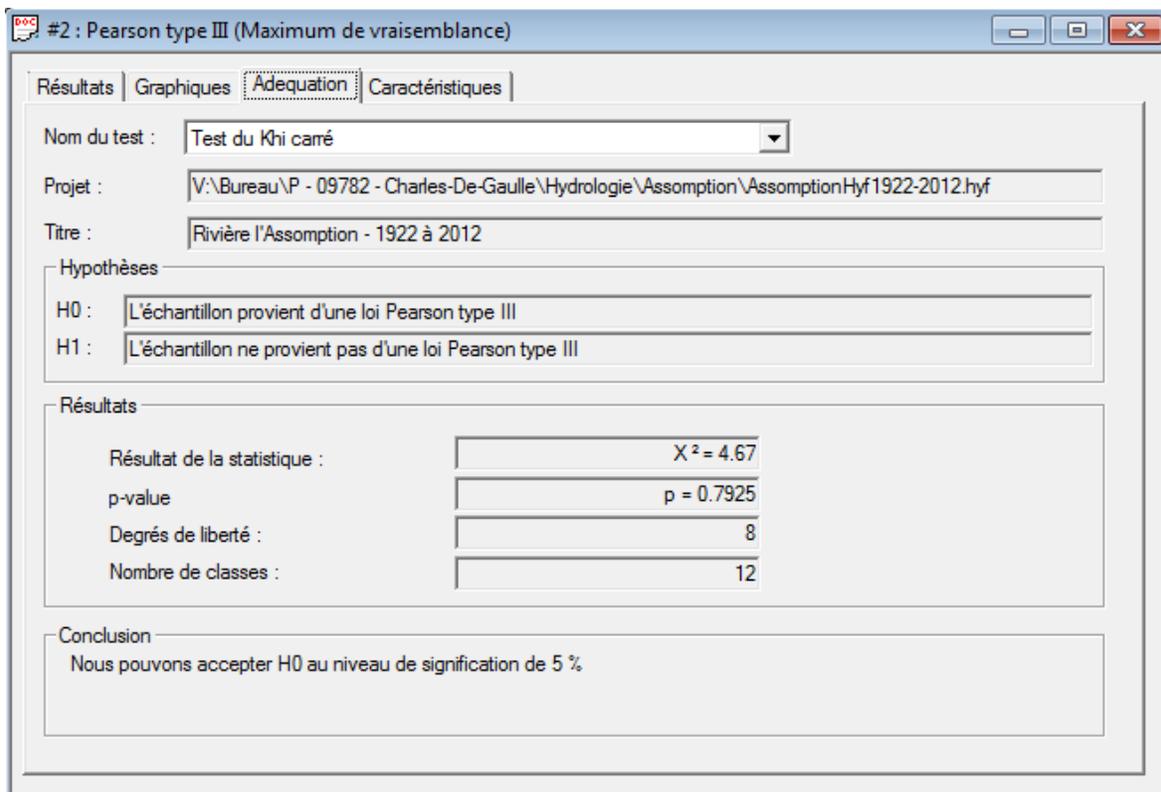


Figure B.5 Test du Khi-carré (obtenu de Hyfran plus)

Tableau B.4 Rapport des maximums annuels

Joliette (m ³ /s)	St-Côme (m ³ /s)	Rapport
157	91.7	1.71
179	106	1.69
279	118	2.36
123	64	1.92
178	73.9	2.41
81.8	68	1.20
323	222	1.45
294	169	1.74
245	107	2.29
125	49.8	2.51
153	53.5	2.86
311	167	1.86
257	171	1.50
198	122	1.62
275	141	1.95
186	118	1.58
226	155	1.46
243	177	1.37
188	122	1.54
133	86.6	1.54
206	113	1.82
228	183	1.25
159	124	1.28
216	121	1.79
95.1	30.6	3.11
203	137	1.48
93.2	56.1	1.66
140	88.9	1.57
144	47.6	3.03
201	163	1.23
171	88.6	1.93
204	64.3	3.17
153	82.4	1.86
182	82.1	2.22
86.9	44.5	1.95
110	39.9	2.76
161	84.4	1.91
101	64.6	1.56
249	102	2.44
147	60.9	2.41
107	63.1	1.70
175	47.9	3.65
132	65.4	2.02

La moyenne du rapport des maximums annuel correspond au résultat de l'équation suivante :

$$\left(- \right)$$

Il est donc possible, connaissant la valeur de A2 et de A1, de déterminer le facteur de transposition **a** de la rivière L'Assomption. La valeur est de 0,75 ce qui correspond aux facteurs de superficie des méthodes HP-33 et HP-40 pour cette région.

Le calcul du facteur de pointe s'effectue en faisant la moyenne des rapports de débits de crues de pointe par rapport aux débits journaliers moyens maximums. Dans le cas de la rivière L'Assomption, il arrive à plusieurs reprises et lors de crues de fortes intensités que le facteur de pointe soit largement plus élevé que la moyenne des facteurs de pointe. Pour des raisons de sécurité, il a été jugé adéquat d'ajouter un écart-type à la moyenne pour la sélection du facteur de pointe retenu. Le tableau B.5 montre les données utilisées pour calculer le facteur de pointe.

Le facteur de pointe doit aussi être transposé au bassin plus grand de la rivière L'Assomption à son embouchure.

La transposition s'est faite avec l'équation suivante :

Où K vaut

$$\underline{\mathbf{(Fp \quad 1)}}$$

Le facteur de pointe transposé retenu est de 1,20.

Tableau B.5 Calcul du facteur de pointe

ANNÉE	Q (m ³ /S)	date	Qp (m ³ /s)	date	Fp
1969	136	1969-04-01	144	04--18	1.06
1970	351	05--03	354	05--03	1.01
1971	140	1971-05-01	141	05--12	1.01
1972	172.2	05--08	176.1	05--08	1.02
1973	178	04--24	202	04--24	1.13
1974	214	05--01	221	05--01	1.03
1975	176	05--06	180	05--06	1.02
1976	262	04--20	271	04--24	1.03
1977	213	04--23	219	04--23	1.03
1978					
1979	285	04--29	298	04--29	1.05
1980	152	04--11	157	04--10	1.03
1981	268	02--25	385	02--25	1.44
1982	205	04--28	207	04--28	1.01
1983	277	05--04	299	05--04	1.08
1984	188	04--18	194	04--18	1.03
1985	208	04--28	211	04--28	1.01
1986	165	04--04	254	04--04	1.54
1987	216	04--01	277	04--01	1.28
1988	151	04--30	181	04--08	1.20
1989					
1990	180	04--28	188	04--28	1.04
1991	204	04--11	213	04--11	1.04
1992	209	04--24	215	04--23	1.03
1993	199	04--12	269	04--13	1.35
1994	159	04--17	255	04--17	1.60
1995	78.3	04--23	81.6	04--23	1.04
1996	223		233		1.04
1997	252		270		1.07
1998	241		274.3		1.14
1999	114		120.9		1.06
2000	171.3		242.5		1.42
2001	152.5		164.3		1.08
2002	260.6		275.3		1.06
2003	128.3	2003-04-24	133	2003-04-24	1.04
2004	143.1	2004-04-21	148.9	2004-04-21	1.04
2005	234.7	2005-04-29	245.5	2005-04-29	1.05

**Facteur de pointe
moyen 1.118**
Écart-Type 0.159
Addition 1.277

Tableau B.6 - Débits transposés à l'embouchure

Réurrence (années)	Débit Pearson III (m ³ /s)	Facteur de transposition A	(A2/A1) ^a	Facteur de pointe	Débit de pointe à l'embouchure (m ³ /s)
2	187	0.75	2.357	1.20	529
5	241	0.75	2.357	1.20	682
10	272	0.75	2.357	1.20	769
20	300	0.75	2.357	1.20	849
50	333	0.75	2.357	1.20	942
100	356	0.75	2.357	1.20	1 007

A N N E X E C

Pile en rivière, protection du remplissage des excavations
pour une semelle sur sol ou sur pieux, exposée à
l'écoulement (sans palplanches)

Tome III-Ouvrage d'art, chapitre 2, page 12, 2010-01-30

Tome III
Chapitre 2
Page 12
Date 2010 01 30

**CONCEPTION
DES OUVRAGES D'ART**

NORME

