

Étude préliminaire de renaturalisation d'un tributaire du ruisseau Savard

Par Stéphane Savary, Étienne Foulon et Alain Rousseau

Contexte

Entre 1973 et 1974, dans le quartier de Val-Bélair, une section d'un tributaire du ruisseau Savard a été fortement perturbée lors d'un développement résidentiel. À ce jour, cette section est canalisée, dans une conduite pluviale d'un diamètre de 1350 mm sur une longueur d'environ 250 mètres, avant de retrouver un écoulement naturel à son arrivée dans le ruisseau Savard. Cette étude vise à évaluer le potentiel pour recréer un lit d'écoulement avec des caractéristiques naturelles pour cette section canalisée (Figure 1).

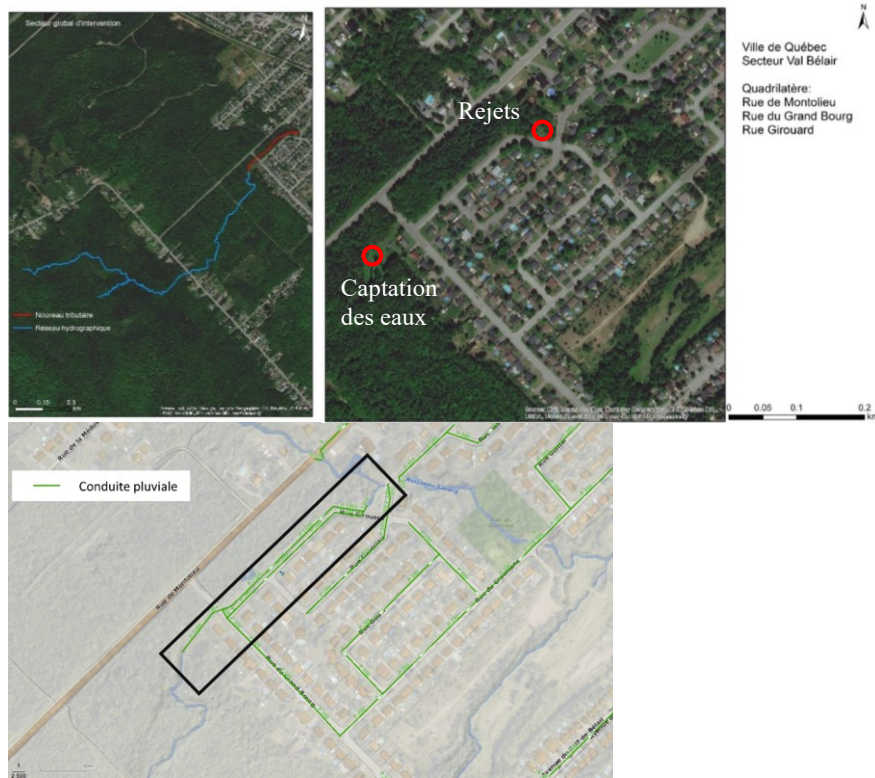


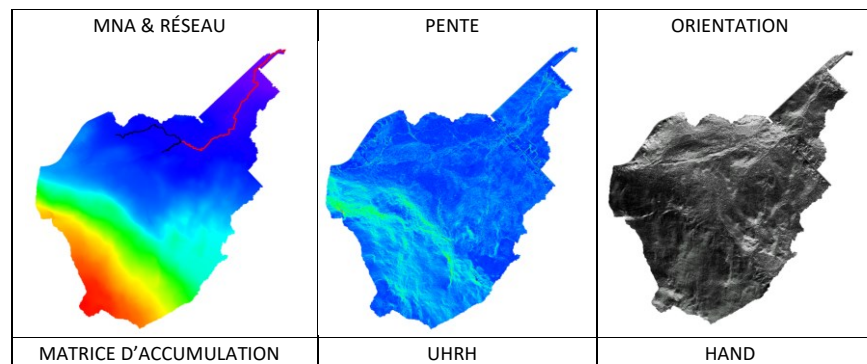
Figure 1: Localisation du secteur d'intervention et du tronçon à restaurer

Le petit sous-bassin versant du tributaire au ruisseau Savard à renaturaliser couvrent une superficie de 2.73 km² avec des altitudes allant de 162 à 335m. L'occupation du sol est essentiellement forestière avec quelques milieux humides alors que les types de sol en surface sont des loam sableux. Hormis la présence actuelle d'une conduite sous-terrainne, les écoulements en eau demeurent naturels et très peu perturbés.

Afin d'évaluer le potentiel de restauration d'un lit d'écoulement naturel du cours d'eau, des modélisations hydrologiques et hydrauliques ont été nécessaires puisque le tronçon de rivière n'existe pas. La modélisation hydrologique permet, à partir d'un tracé fictif intégré au modèle HYDROTEL existant Spolidorio (2019) de simuler les débits journaliers aux 6 heures et ainsi calculer les indicateurs hydrologiques typique du tronçon à restaurer. La modélisation hydraulique permet de proposer un premier dimensionnement de ce tronçon et d'évaluer les volumes d'excavation nécessaires.

Modélisation hydrologique

À partir des intrants structurés par Spolidorio (2019) pour l'ensemble du bassin versant de la rivière Saint-Charles dans la plateforme de modélisation PHYSITEL-HYDROTEL, un sous-modèle a été produit pour le bassin versant du ruisseau Savard. La Figure 2 regroupe les étapes importantes d'intégration du secteur d'étude au SIG PHYSITEL. Dans un premier temps, le modèle numérique d'altitude (MNA) et le réseau hydrographique sont mis à jour pour intégrer le tronçon à restaurer, les matrices de la pente, de l'orientation et d'accumulation sont ensuite recalculées pour permettre la définition des unités hydrologiques relativement homogènes (UHRH) de type versant et le calcul de la matrice HAND (*Height above the nearest drainage*), ou la quantification de la lame d'eau nécessaire pour inonder un pixel du MNA.



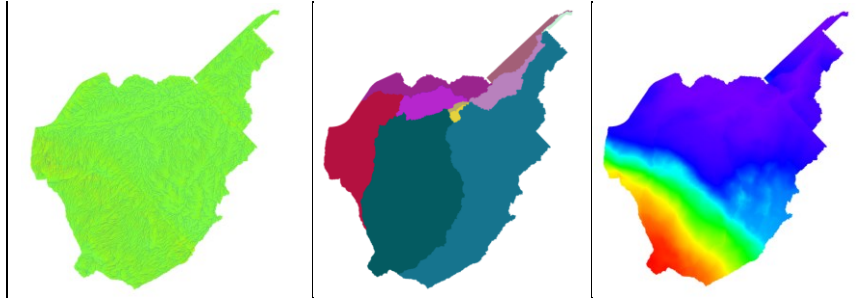
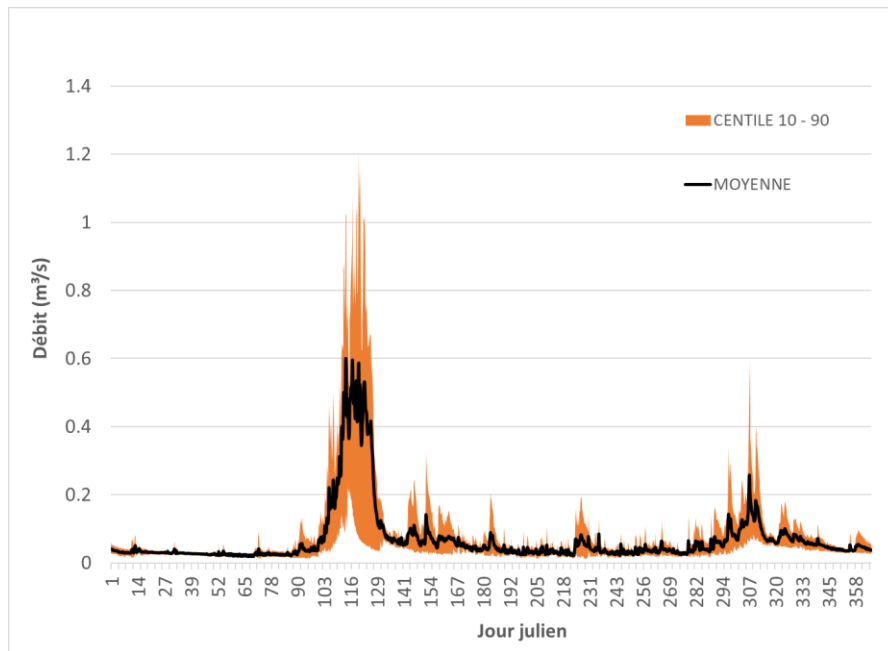


Figure 2: Étapes importantes d'intégration du secteur d'étude au SIG PHYSITEL.

À l'aide des divers jeux de paramètres associés aux données météorologiques utilisés pour la calibration de la plateforme de modélisation HYDROTEL (Spolidorio, 2019), il a été possible de simuler les débits à l'exutoire du secteur d'intervention à un pas de temps intra-journalier de 6 heures. La Figure 3 présente les résultats de la modélisation produite dans HYDROTEL sous forme d'hydrogramme annuel des débits 6 heures moyens simulés entre 2013 et 2018 à l'exutoire du tributaire au ruisseau Savard. La représentation des centiles 10 et 90 permet d'illustrer l'étendue des débits intra journaliers modélisés. Ainsi, à l'exutoire du ruisseau, le débit moyen évolue entre 0,025 m³/s et 0,6 m³/s. L'hydrogramme annuel présente un pic printanier (jours 92 à 130 ou du 2 avril au 30 mai) et un pic automnal (entre les jours 294 et 320 ou du 21 octobre au 16 novembre) pendant lesquels l'écart interannuel moyen (plage orange) est la plus importante. Les pics printaniers et automnaux atteignent ainsi 10% du temps des valeurs respectives d'environ 1,2 m³/s et 0,6 m³/s.



Commenté [DJ(1)]: LA figure est illisible. Il me semble qu'une seule année est représentée. On parle de modélisation 2013-2018 mais l'Axe de x semble représenter 365 jours. Agrandir l'image.

Aussi le titre apparaît en haut et en bas de l'image. N'en conserver qu'un

Commenté [DJ(2R1)]: Proposition de reformulation du titre pour aider à la compréhension : Débits sub-journaliers moyens simulés entre 2013-2018 représentés avec les 10e et 90e centiles pour illustrer l'étendue des débits simulés entre 2013-2018

Commenté [EF3R1]: Un hydrogramme annuel présente par définition la moyenne des débits de chaque jour calendaire.

Le 01 présente ainsi la moyenne des débits du 1er janvier des années 2013 à 2018
De même, le jour 59 présente la moyenne des débits du 28 février des années 2013 à 2018

Figure 3: Hydrogramme annuel des débits 6 h calculé à partir des données 2013-2018 à l'exutoire du tributaire au ruisseau Savard visé par des travaux de restauration.

La série des débits ainsi produite a servi d'intrant à la modélisation hydraulique HEC-RAS. Ces débits ont été introduits juste à la frontière amont de la section renaturalisée reproduite dans HEC-RAS.

Modélisation hydraulique

À l'aide d'un relevé Lidar d'une résolution horizontale de 20 cm, il a été possible d'établir une ébauche d'un tracé d'écoulement de cours d'eau basé, dans un premier temps, uniquement sur la topographie (présenté à la Figure 1). À partir de cette ébauche, nous avons mis en place une modélisation hydraulique de la section renaturalisée. Celle-ci a impliqué la construction d'un MNT et d'un maillage hydrodynamique représentatif du tracé d'écoulement proposé. Ceux-ci ont été réalisés principalement avec le logiciel HEC-RAS 6.4¹, un outil développé pour le Corps des Ingénieurs de l'Armée américaine (USACE).

La zone du cours d'eau renaturalisé a été partagée en deux zones principales :

1. La topographie du lit majeur d'après le relevé LiDAR de résolution horizontale 20 cm;
2. La bathymétrie synthétique construite par le modélisateur pour décrire le lit mineur du cours d'eau.

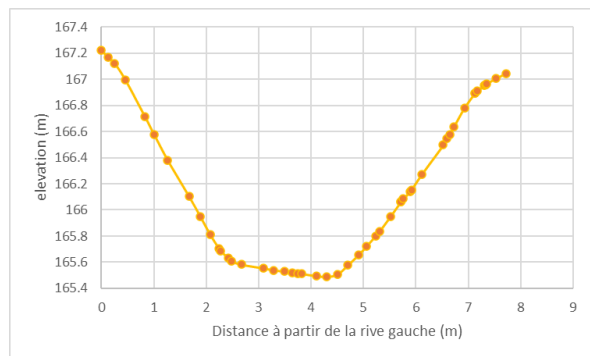


Figure 4 : Section transversale naturelle en amont de la zone renaturalisée.

L'imposition d'une bathymétrie synthétique pour la partie renaturalisée du cours d'eau devrait selon nous suivre une logique de la moindre intervention. La ligne de Thalweg suit le tracé proposé selon la topographie existante. L'emprise du ruisseau renaturalisé est fixée à 7 m, soit la même largeur que le ruisseau existant avant le point de captation des eaux identifiés à la Figure 1. Les 4 m centraux seront creusés. La profondeur du ruisseau renaturalisé est fixée à 1,50 m de manière cohérente avec la profondeur existante, puis à 1,20 m, 100 m avant l'exutoire pour minimiser les

¹ En complément, des fonctionnalités d'ArcGIS ont été utilisées pour la préparation de la modélisation, notamment l'extension HEC-GeoRAS.

volumes excavés. La Figure 4 illustre le profil en travers de la rivière dans la section existante qui a servi de modèle au design de la section d'écoulement de la partie renaturalisée. Cette section est également identifiée sur la Figure 6. Elle se situe à 420 m de l'exutoire. La bathymétrie proposée, vise une analyse de préfaisabilité, toutefois dans les études subséquentes de conceptions, l'aménagement d'un lit d'écoulement à deux niveaux devrait être étudié.

La mise en place en place de la section renaturalisée représente des travaux d'excavation d'un volume approximatif de 1164 m³. Ce volume est calculé selon la différence entre le terrain actuel et le terrain modifié après renaturalisation selon le scénario proposé (emprise totale de 7 m, largeur centrale de 4 m creusée, lit mineur de forme triangulaire de profondeur 1,5 m sur 310 m puis 1,20 m sur 100 m). La Figure 5 illustre la différence de bathymétrie au niveau du Thalweg avant et après renaturalisation.

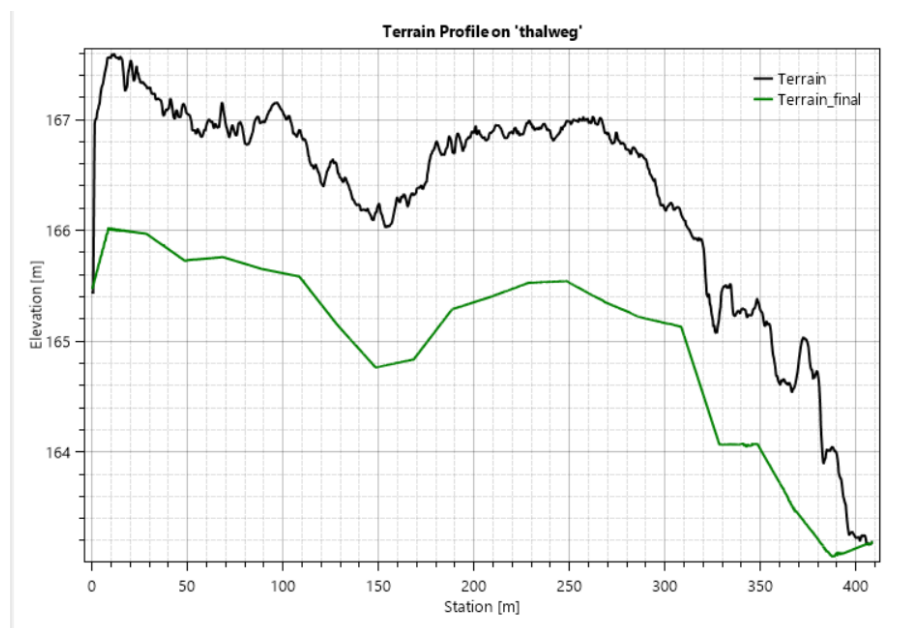


Figure 5: Différence entre les terrains naturels et creusés pour la renaturalisation du cours d'eau selon la distance à l'exutoire en m.

Le nouveau tracé, selon les caractéristiques précédentes, demande l'implantation de deux ouvrages hydrauliques à savoir (1) un ponceau sous la route du Grand Bourg, et (2) un ouvrage de contrôle (seuil) permettant l'évacuation éventuelle des eaux dans la conduite pluviale lors de d'évènements climatiques extrêmes, soit ceux résultant en un pic de crue dépassé 1 fois sur 10 en moyenne (Figure 6). Les choix apposés aux deux ouvrages sont effectués pour assurer un impact nul sur la modélisation et permettre une réutilisation du modèle pour un dimensionnement ultérieur adéquat. Pour le ponceau, celui-ci a été inséré sous la rue du Grand Bourg sous la forme d'une conduite de 1 mètre de diamètre en béton. Son plan d'implantation est présenté à l'Annexe A, sa localisation est incluse à la Figure 6. L'ouvrage de contrôle inséré est un seuil de largeur 1 m et de hauteur 167 m soit la hauteur actuelle des berges. Lors études détaillées de conception, une firme

spécialisée devra statuer sur le type d'ouvrage à utiliser selon les technologies disponibles. Il serait par exemple envisageable d'insérer un ponceau dont l'ouverture serait asservie à une condition de hauteur d'eau, assurant la mobilisation de la conduite pluviale uniquement en cas de coup d'eau. Le plan de cet ouvrage n'est pas présenté car il permet actuellement uniquement de s'assurer que l'eau s'écoule sans la section renaturalisée à condition que le niveau d'eau soit inférieur à 167 m, ce que les différents scénarios hydrauliques modélisés ensuite vont permettre de vérifier. Sa localisation est présentée à la Figure 6.

Le maillage de calcul comporte 7520 cellules sous la forme de mailles carrées majoritairement ou polygonales à 8 faces maximum. Il couvre une superficie de 0.02 km² (Figure 6). C'est ce maillage qui permet l'évaluation des zones inondées en fonction du débit sur l'intégralité du secteur à restaurer.

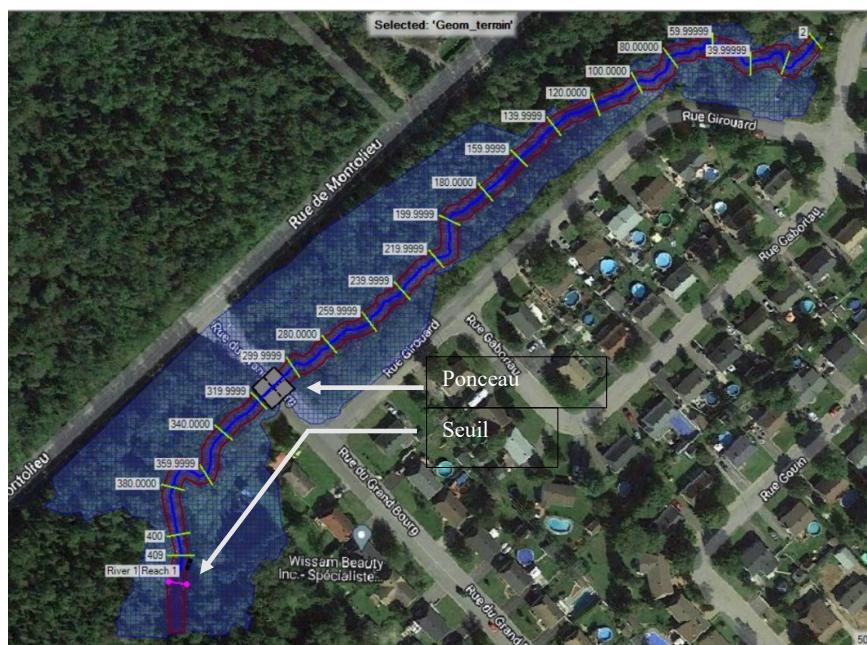


Figure 6: Maillage hydrodynamique de la section de cours d'eau renaturalisée et ses ouvrages hydrauliques. Les sections transversales vertes et les chiffres associés présentent la distance à l'exutoire. La ligne rose figure la section transversale naturelle du cours d'eau.

L'exercice de modélisation hydraulique réalisé a pour objectif de valider si la conception sommaire proposée est réaliste et si elle permet d'évacuer l'eau la majorité du temps par la rivière renaturalisée plutôt que par la conduite d'évacuation pluviale existante. Pour ce faire, un espace-solution couvrant le champ hydrodynamique des possibles a été créé (Tableau 1). Les débits de l'espace solution couvrent l'intervalle 0,2 m³/s à 1 m³/s soit la majorité (débit dépassé 1 année sur 10 en période de crue printanière uniquement) des événements aux 6 heures possibles selon l'hydrogramme des débits (Figure 3). Le coefficient de Manning en rivière varie de 0,025 à 0,1. Le premier correspond à une rivière naturelle propre, le second à une rivière naturelle particulièrement

enherbée ou enrochée. Ces éléments permettent de simuler l'ensemble des possibles selon les choix de végétation qui seront réalisés (Tableau 1).

Tableau 1 : Présentation de l'espace solution hydrodynamique et de la nomenclature associée aux simulations.

Débit (m ³ /s)	0.2	0.2	0.5	0.5	0.75	0.75	1	1
Manning(s/m ^{1/3})	0.025	0.1	0.025	0.1	0.025	0.1	0.025	0.1

La confiance dans le modèle HEC-RAS 6.4 construit est très élevée puisque le bilan de masse, pour tous les cas de figure évoqués au tableau 1 est systématiquement inférieur à 10E-3%, soit une erreur très négligeable, là où dans la pratique on tolère des erreurs l'ordre de 1%.

L'ensemble des résultats de simulation sont présentés à la Figure 7. La nomenclature associée correspond à la valeur du débit et le coefficient de Manning (ex : 0.2_0.025 pour un débit d'entrée de 0,2 m³/s et un Manning en rivière de 0,025). Une condition d'écoulement normal est imposée à l'aval du modèle. Aucune des lignes d'eau ne dépasse la cote de 167 m ce qui permet d'affirmer que la rivière renaturalisée dans les conditions de cet exercice permettra de faire passer jusqu'à 1 m³/s (débit dépassé 1 année sur 10 en moyenne en période de crue printanière uniquement) sans mobiliser la conduite pluviale. Les résultats détaillés et spatialisés présentés à la Figure 8 illustrent cependant que le seuil inséré a été mobilisé puisque de l'eau se trouve en amont de la rivière juste après le seuil. Ce que la modélisation permet de constater toutefois, c'est que le cas-limite a été atteint mais que seul 4E-4 m³/s transitent par le seuil. L'espace solution proposé dans les conditions de restauration du cours d'eau proposée permet donc bien de répondre à la problématique de cette section. Le lecteur trouvera à l'Annexe B une description du maillage hydrodynamique global ainsi que le MNT sous-jacent. Le lit mineur de la rivière est couvert par des cellules de 1 m pour assurer la représentation adéquate du débit (5 cellules sont considérées nécessaires pour la précision des résultats). Les zones de la rivière sont traitées de manière différenciée pour assurer une précision optimale des résultats et une intégration transparente du secteur reconstruit synthétiquement au secteur naturel.

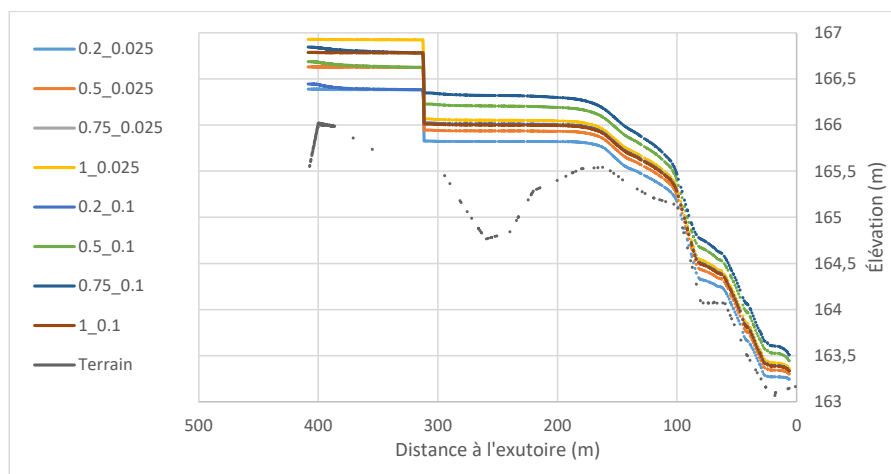


Figure 7: Lignes d'eau projetée sur le Thalweg de la section renaturalisée de la rivière. (nomenclature : valeur du débit et le coefficient de Manning, par exemple 0.2_0.025 pour un débit d'entrée de 0.2 m³/s et un Manning en rivière de 0.025)

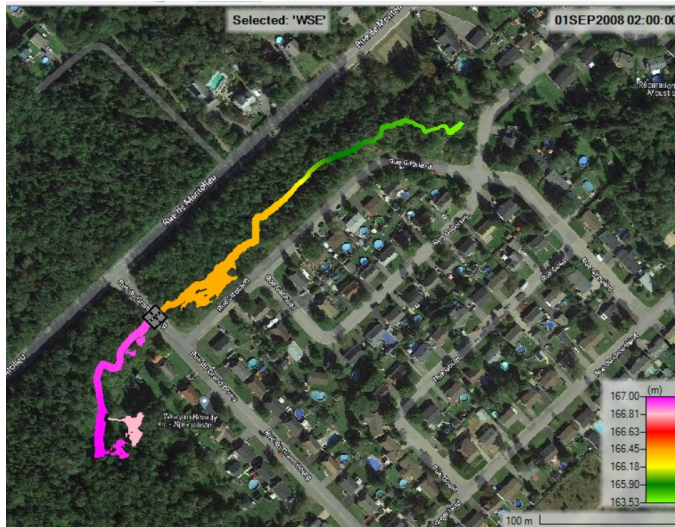
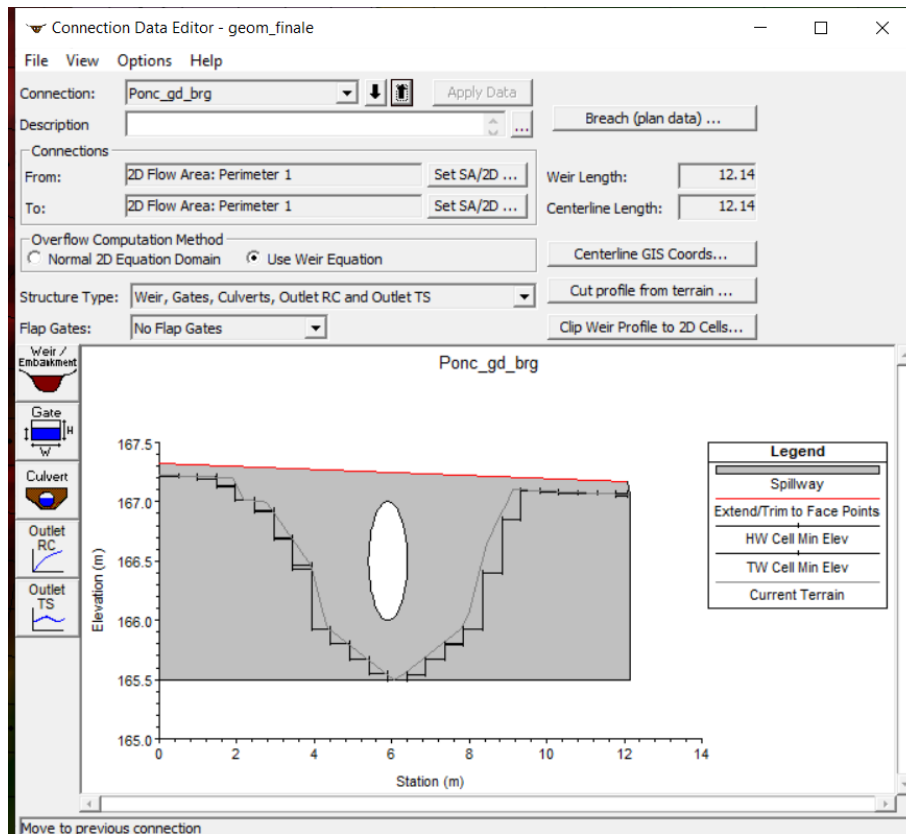


Figure 8: Ligne d'eau maximum atteinte pour un débit de 1 m³/s et un Manning en rivière de 0,1. Le fond de carte est issu de Google Maps.

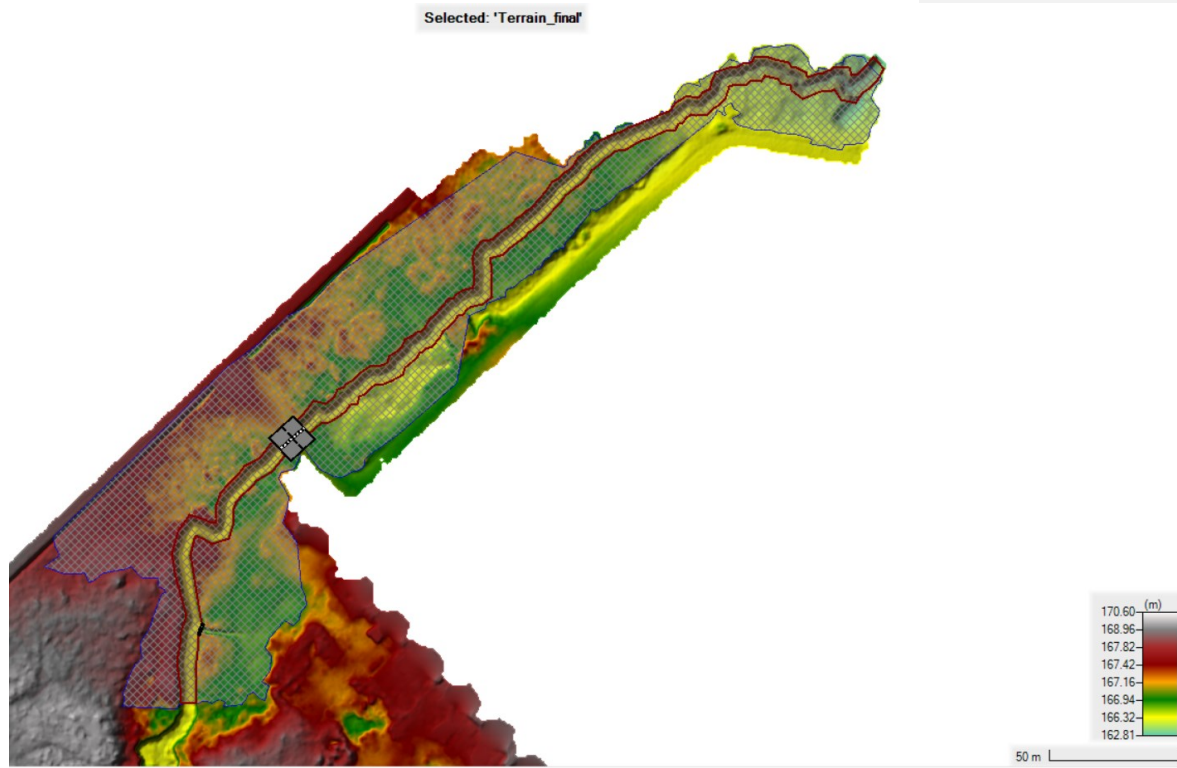
Conclusion

Les exercices de modélisation hydrologique et hydraulique mis en place permettent la détermination d'un tracé de première instance d'un tronçon de rivière restauré dont l'objectif est de recréer un lit d'écoulement avec des caractéristiques naturelles pour une section canalisée dans le quartier de Val-Bélair, sur un affluent du ruisseau Savard. Le tronçon à restaurer mesure 410 m de long. Les 4 m centraux seront creusés. La profondeur du ruisseau renaturalisé est fixée à 1,50 m, puis à 1,20 m, 100 m avant l'exutoire. Les travaux nécessiteront la construction de deux ouvrages hydrauliques à savoir (1) un ponceau sous la route du Grand Bourg, et (2) un ouvrage de contrôle (seuil) permettant l'évacuation éventuelle des eaux dans la conduite pluviale lors de d'évènements climatiques extrêmes, soit ceux résultant en un pic de crue dépassé 1 fois sur 10 en moyenne. Ainsi renaturalisé le tronçon renaturalisé évacuera un débit pouvant atteindre 1m³/s.

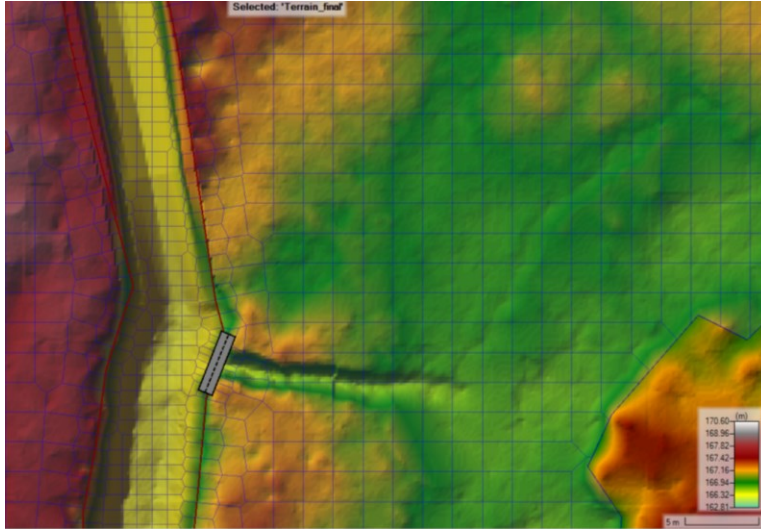
Annexe A : Implantation du ponceau sous la rue du Grand Bourg dans HEC-RAS 6.4



Annexe B : Maillage hydrodynamique



Maillage hydrodynamique de la section de cours d'eau renaturalisée et son MNT.



Zoom sur le maillage hydrodynamique de la section de cours d'eau renaturalisée à la jonction entre les zones synthétiques et naturelles, MNT en arrière-plan.