Les hauts et les bas de la rivière Quinchien

Dans le cadre du cours BREE 495-Engineering Design 3

Cassandra Rodrigue--Isabelle Côté-Laurin--Pernilla Talec

Travaille présenté à Dr. Grant Clark

Université Mcgill- Campus Macdonald

19 avril 2013

RÉSUMÉ **3**

INTRODUCTION **4**

ANALYSE ET SPÉCIFICATIONS **4**

Débit d'eau **4**

Enrochement **9**

Diamètre des roches 9

Boutures **11**

Types de plantes 11

Compost 13

Délimitations **14**

MODÉLISATION, OPTIMISATION ET MISE À L'ESSAI **18**

Modèle de l'érosion des berges **18**

Obtention de permis pour effectuer les travaux **22**

Ministère des Péches et Océans Canada (MPO) 22

Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec (MDDEFP) 23

Analyse des coûts **24**

Excavation 25

Roches 25

Arbres, arbustes et plantes 25

Géotextile 25

Main-d'oeuvre additionnelle 26

Compost 26

Imprévus 26

Analyse des risques **27**

CONCLUSION **28**

REMERCIEMENTS **28**

RÉFÉRENCES **29**

ANNEXE **31**

RÉSUMÉ

Dans le cadre du cours Design 2 du programme de Génie des bioressources de McGill, une analyse d'une berge érodée de la rivière Quinchien dans la municipalité de Vaudreuil-Dorion a été faite afin de comprendre les causes de l'érosion et d'évaluer les conditions du site à prendre en considération pour le développement d'une solution optimale au problème. La conclusion du rapport soumis en décembre était qu'une combinaison d'enrochement, de géotextile de lits de plants et plançons ainsi que de boutures pourrait efficacement prévenir l'érosion sur la berge excavée à un angle de 30 degrés en plus d'avoir des bénéfices environnementaux et esthétiques et d'être optimal sur le plan économique.

Cette analyse s'est poursuivie dans le cadre du cours Design 3 en développant plus précisément la conception préconisée. Des calculs ont permis d'établir le diamètre minimal moyen des roches à 40cm; les recommandations du gouvernement du Québec et le "Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec" ont aidé dans le choix du type de plante à utiliser, soit le cornouiller stolonifère; des calculs de débit d'eau ainsi que des informations obtenues des résidents ont aidé à déterminer la hauteur de chaque composantes, soit, de bas en haut, 1.5m d'enrochement, 1m de lits de plants et plançons et 1m de boutures avec géotextile.

Ensuite, le modèle "Bank Stability Toe Erosion Model" a été utilisé afin d'évaluer l'efficacité de la conception contre l'érosion. La combinaison de composantes décrites ci-dessus permettra donc à la berge de se protéger des impacts de l'eau qui mèneraient éventuellement à un autre affaissement.

L'obtention de deux permis est nécessaire afin d'avoir l'autorisation des différents gouvernements de procéder à l'implantation. Il y a deux autorisations à obtenir dans le cadre de ce projet: une émise par le Ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) et une autre émise par le Ministère du Développement Durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec (MDDEFP) pour des projets en milieux aquatiques, humides et riverains. Dans les deux cas, des formulaires doivent être remplis, décrivant le projet et ses impacts, afin de procéder aux travaux.

Les coûts et les risques ont aussi été évalués. L'implantation du design sur le site engendrerait des frais totaux de 15 000$ incluant les imprévus, et les risques liés à un échec du design en tant que mesure de protection de la berge seraient d'ordre monétaire seulement.

Donc, le design proposé et détaillé dans ce rapport est une excellente solution aux problèmes d'érosion de la berge étudiée et est complémentaire aux efforts de gestion intégrée du bassin versant de la rivière Quinchien faits par la municipalité de Vaudreuil-Dorion et par le COBAVER-VS.

INTRODUCTION

L'érosion est un problème grandissant dans les villes, majoritairement à cause de l'urbanisation de terrains agricoles et forestiers des bassins versants. Lors du premier rapport, l'étude d'un site spécifique a été choisi conjointement avec la municipalité de Vaudreuil-Dorion dans le but de stabiliser une berge fortement érodée par les crues de la rivière Quinchien. Suite à plusieurs visites du site choisi, la présence d'un méandre d'environ 90 degrés, d'un sol argileux, d'une forte pente et d'une zone résidentielle ont été les facteurs identifiés comme causant l'érosion. Différentes méthodes de stabilisation des berges ont été analysées afin de déterminer lesquelles seraient les mieux adaptées à une éventuelle implantation. L'étude de solutions conventionnelles, végétales et biotechniques comme l'enrochement, les murs de soutènement, les boutures, les matelas de branches ainsi que les lits de plants et plançons ont été considérées lors de l'élaboration du design préliminaire. Une liste de critères fut élaborée afin de déterminer quelles techniques seraient les plus efficaces pour la prévention de l'érosion, tout en étant durable et relativement abordables lors de l'installation. De plus, les valeurs biologiques, d'entretien et d'esthétique furent examinées afin de respecter plusieurs recommandations gouvernementales. Une solution fut donc choisie, consistant d'une combinaison d'enrochement, de lits de plants et plançons, de boutures et de géotextile, qui nécessiterait un suivi après la construction pour assurer son efficacité. Dans la deuxième partie de ce projet, de plus amples analyses ont été effectuées afin de déterminer la hauteur de chacune des trois composantes, de façon à obtenir un résultat final optimal. Ces analyses incluent la détermination du débit d'eau, du diamètre des roches optimal et du type de plantes. Par la suite, la faisabilité du projet a été évaluée en modélisant le design proposé à l'aide du logiciel "Bank Stability and Toe Erosion Model". Finalement, une analyse des coûts et des risques ainsi que l'identification des permis gouvernementaux requis pour l'implémentation du projet ont été établis.

ANALYSE ET SPÉCIFICATIONS

Débit d'eau

L'étude hydraulique de la rivière Quinchien (Bélanger et Wang, 2005) a été utilisée afin de déterminer les débits d'eau au site. Les deux limites du secteur étudié et les chaînages de section correspondants sont l'avenue André-Chartrand, chaînage 3,724, ainsi que le

pont de la rue des Floralies, dont le chaînage a été estimé par la moyenne des chaînages à l'aval et à l'amont du pont, soit 2,561. La distance entre les deux points est donc :

$$3724m - 2561m = 1163m$$

Les distances suivantes ont été calculées avec l'outil « Distance Measurement Tool » de Google Map.
De l'avenue André-Chartrand au site : 624.905m
Du site au pont de la rue des Floralies : 209.2m
La distance entre l'avenue André-Chartrand et le pont de la rue des floralies est donc :

$$624.9m + 209.2m = 834.1m$$

Il y a un écart considérable entre les calculs de Google Map et les informations obtenues de l'étude hydraulique de la rivière Quinchien. Cela peut être dû au manque de précision de Google Map quant au tracé de la rivière. Donc, les distances entre le site et les points de référence mesurées par Google Map seront prises en tant que ratio, et les distances estimées entre le site et les points de référence sont calculées comme suit.
De l'avenue André-Chartrand au site :

$$\frac{624.9m}{834.1m} = \frac{d_1}{1163m}$$

$$d_1 = \frac{1163m \times 624.9m}{834.1m} = 871.3m$$

Du site au pont de la rue des Floralies :

$$\frac{209.2m}{834.1m} = \frac{d_2}{1163m}$$

$$d_2 = \frac{1163m \times 209.2m}{834.1m} = 291.7m$$

Le chaînage correspondant est donc :

$$2{,}561 + 0{,}292 = 2{,}853$$

Le débit d'eau au site est estimé selon une interpolation linéaire. Cette hypothèse est raisonnable puisque plus la rivière se rapproche du point où elle se déverse dans le lac des Deux-Montagnes, plus le débit augmente en raison de l'eau provenant de la ville s'y ajoutant en cours de route. Les chaînages et le débit associé utilisés pour l'estimation ainsi que le résultat de l'interpolation est résumé dans la table 1 ci-dessous.

Table 1. Débits d'eau du site selon différents évènement de pluie.

	En amont du site	En aval du site	Interpolation
Chaînage (m)	3+641	2+543	2+853
Événements de pluie	Débits d'eau (m^3/s)		
1:2	8.79	9.07	8.99
1:5	11.01	11.23	11.17
1:10	12.45	12.72	12.64
1:25	13.98	14.21	14.15
1:100	19.77	19.39	19.49

Ensuite, afin de déterminer la hauteur de l'eau pour ces événements de pluie, la formule de Chezy a été utilisée (CSPI, 2009).

$$Q = A \times c \times \sqrt{(R \times S)}$$

$$V = c \times \sqrt{(R \times S)}$$

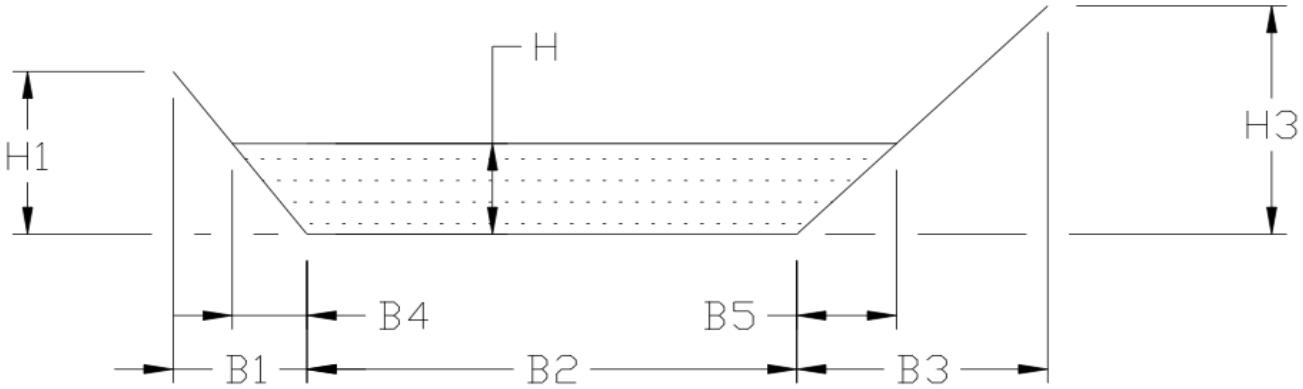
$$c = \frac{R^{1/6}}{n}$$

Où
Q = débit, m3/s
A = aire de la coupe transversale de la rivière au site, m2
c = coefficient de rugosité dépendant de la surface sur laquelle l'eau coule, m0.5/s
R = rayon hydraulique, m = A / WP
S = pente du lit de la rivière, m/m
V = vitesse moyenne de l'eau, m/s
WP = périmètre mouillé, m
n = coefficient de rugosité
Donc,

$$Q = A \times \frac{R^{1/6}}{n} \times \sqrt{R \times S} = A \times \frac{A^{1/6}}{n \times WP^{1/6}} \times \sqrt{\frac{A \times S}{WP}} = \frac{A^{5/3} \times S^{1/2}}{n \times WP^{2/3}}$$

$$\frac{Q \times n}{S^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{WP^{2/3}}$$

La forme géométrique déterminée à l'aide de la carte topographique (Ville de Vaudreuil-Dorion, 2012) est un trapèze inversé. Les mesures sont référencées comme suit, et tel qu'illustré ci-dessous:



B1 = Longueur de la berge opposée à la zone érodée au lit de la rivière, m
B2 = Longueur du lit de la rivière, m
B3 = Longueur de la berge de la zone érodée au lit de la rivière, m
B4 = Longueur mouillée de la berge opposée à la zone érodée au lit de la rivière, m
B5 = Longueur mouillée de la berge de la zone érodée au lit de la rivière, m
H = Hauteur de l'eau, m
H1 = Hauteur de la berge opposée à la zone érodée, m
H3 = Hauteur de la berge de la zone érodée, m

L'aire ainsi que le périmètre mouillé peuvent être exprimés en fonction de la hauteur de l'eau, ce qui est démontré par les équations ci-dessous.

$$WP = \sqrt{{B_4}^2 + H^2} + B_2 + \sqrt{{B_5}^2 + H^2} = \sqrt{\left(\frac{B_1 \times H}{H_1}\right)^2 + H^2} + B_2 + \sqrt{\left(\frac{B_3 \times H}{H_3}\right)^2 + H^2}$$

$$A = \frac{B_4 \times H}{2} + B_2 \times H + \frac{B_5 \times H}{2}$$

Considérant que, dans des triangles semblables,

$$\frac{B_4}{B_1} = \frac{H}{H_1}$$

$$\frac{B_5}{B_3} = \frac{H}{H_3}$$

$$A = \frac{B_1 \times H \times H}{2 \times H_1} + B_2 \times H + \frac{B_3 \times H \times H}{2 \times H_3} = \frac{B_1 \times H^2}{2 \times H_1} + B_2 \times H + \frac{B_3 \times H^2}{2 \times H_3}$$

Donc,

$$\frac{Q \times n}{S^{\frac{1}{2}}} = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{WP^{\frac{2}{3}}} = \frac{\left(\frac{B_1 \times H^2}{2 \times H_1} + B_2 \times H + \frac{B_3 \times H^2}{2 \times H_3}\right)^{\frac{5}{3}}}{\left(\sqrt{\left(\frac{B_1 \times H}{H_1}\right)^2 + H^2} + B_2 + \sqrt{\left(\frac{B_3 \times H}{H_3}\right)^2 + H^2}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

Le coefficient de rugosité a été choisi selon les données du livre “Handbook of Steel Drainage & Highway Construction” (CSPI, 2009). Il a été déterminé que la berge, une fois la solution implantée, aurait un coefficient de rugosité à mi-chemin entre un canal excavé avec des cailloux au fond et un canal naturel avec une densité d’arbustes légère à moyenne, ce qui résulte en un facteur de 0.045, comme expliqué dans la table 2.

Table 2. Coefficients de rugosité.

Type de canal et caractéristiques	Coefficient de rugosité
Canal excavé, fond de cailloux et berge nue	0.04
Canal naturel, berge avec densité légère d’arbustes	0.035-0.05
Canal naturel, berge avec densité élevée d’arbustes	0.05-0.07
Site à l’étude	(0.05+0.04)/2 = 0.045

Les hauteurs de l'eau au site ont été calculées à l'aide du logiciel Excel. Les résultats sont présentés en Annexe C. On peut y voir que les différentes coupes transversales ont un grand effet sur la hauteur de l'eau lors de pluies de différentes intensités, et que le design doit s'adapter à une hauteur de plus de 1,5m d'eau relativement fréquemment. Ces informations sont ensuite prises en considération afin de délimiter la hauteur de chaque composante de la solution, tel qu'expliqué dans la section "Délimitations".

Enrochement

Diamètre des roches

L'enrochement est une technique régulièrement employée lors de restaurations de berges en milieu urbain. Cette méthode est opportune lorsqu'un cours d'eau subit de fortes sollicitations d'un point de vue hydraulique (Génie végétal, 2008), comme dans le cas de la rivière Quinchien lors des crues printanières. Les calculs faits permettent de déterminer le diamètre optimal des roches. Effectivement, des pierres de trop petite dimension seraient emportées par le courant tandis que des pierres trop imposantes pertuberaient l'écoulement naturel de la rivière. La formule utilisée pour ce projet provient du livre Soil and Water Conservation Engineering (Fangmeier, Elliot, Huffman, Schwab, Workman 2006) :

$$\tau_C = k \times g \times (\rho_s - \rho) \times D$$

Où

τ_C = contrainte de cisaillement critique de l'eau sur la surface enrochée ($MT^{-2}L^{-1}$)

k = facteur Shields; Le facteur Shields, k, is of 0.03 'for bed grain size less than 0.7mm' (Fangmeier, Elliot, Huffman, Schwab, Workman 2006), which is appropriate for clay according to McKyes (1989).

g = accélération gravitationnelle (LT^{-2}) = $9.8 m/s^2$

ρ_s = masse volumique des roches (ML^{-3}) = 1.7t/m3 = 1700kg/m3 (Batiproduits 2012).

ρ = masse volumique de l'eau (ML^{-3}) = $1000 kg/m^3$

D = diamètre des particules (L)

Les crues peuvent produire différents types de contraintes. La première est une contrainte d'arrachement qui permet d'estimer la force tactrice, ou contrainte de cisaillement, s'exerçant sur le substrat. La contrainte de cisaillement de l'eau peut être trouvée par l'équation suivante (CRFC) :

$$\tau = \gamma \times z \times S_w$$

Où
τ = contrainte de cisaillement ($MT^{-2}L^{-1}$)
γ = poids volumique de l'eau (ML^{-3})
z = profondeur moyenne de l'eau (L) = 1.5m
S_w = pente du cours d'eau (L/L)

Selon le site The Engineering Toolbox (TETa), à 10°C, le poids spécifique de l'eau est:

$$\gamma = \frac{62.41lb}{ft^3} \times \frac{kg}{2.2lb} \times \left(\frac{ft}{0.3048m}\right)^3 \times \frac{9.8N}{kg} = \frac{9817.77N}{m^3} = \frac{9.82kN}{m^3}$$

Afin de déterminer la pente approximative du cours d'eau, une carte topographique appartenant au département de Génie des bioressources du campus Macdonald de l'Université McGill a été consultée. Pour environ 2278m de distance horizontale, l'élévation change de 20 pieds, donc la pente est:

$$S_w = \frac{20ft \times \frac{0.3048m}{ft}}{2\,278m} = 0.0027m/m$$

Il est ensuite possible de déterminer la contrainte de cisaillement:

$$\tau = \frac{9817.77N}{m^3} \times 3m \times 0.0027 = \frac{79.52N}{m^2}$$

Le diamètre minimal des roches est ainsi calculé :

$$D = \frac{\tau_C}{k \times g \times (\rho_s - \rho)} = \frac{\frac{79.52N}{m^3}}{0.03 \times \frac{9.8m}{s^2} \times \left(\frac{1700kg}{m^3} - \frac{1000kg}{m^3}\right)} = 0.39m$$

Une autre contrainte à prendre en considération est la contrainte de submersion. Lors des crues printanières, le niveau de l'eau atteint un seuil maximal qui enseveli plusieurs végétaux. Certaines plantes ne survivent pas à une immersion alors que d'autres le peuvent, jusqu'à une certaine durée. Il faut donc choisir des plantes qui peuvent être en repos végétatif lors de la submersion.

Boutures

Plusieurs éléments sont à considérer pour ce qui a trait aux boutures. Tout d'abord, il faut choisir le type de plantes idéal à utiliser pour mettre en bouture, et cela en considérant les caractéristiques des différentes espèces. Ensuite, comme les boutures seront plantées dans un sol argileux, un compost sera utilisé afin de facilité la croissance de racines. Le type de compost ainsi que la quantité à appliquer doivent être déterminés. De plus, en annexe A se trouve le protocole à suivre pour la préparation des boutures, ainsi que les personnes ressources pouvant aider en cas de réel implantation, par exemple le contact pour l'autorisation d'utilisation de la serre ainsi que le contact pour trouver du cornouiller stolonifère sur le campus Macdonald de l'Université McGill.

Types de plantes

Selon le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2011), «le saule arbustif, les aulnes rugueux et crispés, la spirée à larges feuilles, le cornouiller stolonifère et le myrique baumier sont les espèces indigènes les plus couramment utilisées à cause de leur facilité de régénération ». Le document « Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec » (2008) a ensuite été utilisé pour déterminer quelle espèce serait la plus appropriée en tenant compte des conditions environnementales du site, à l'exception du saule arbustif dont les caractéristiques considérées proviennent du site GROUPENAÏADES (2007). Les paramètres considérés sont: la zone de rusticité, l'exposition au soleil, l'humidité et le type de sol requis, la localisation sur la berge, le type d'enracinement, le facteur de stabilisation et la protection contre l'érosion mineure des glaces. Les informations obtenues pour chaque arbuste recommandé par le MDDEP sont résumées dans la table 3.

Table 3. Propriétés des différents arbustes (MDDEP).

Espèce	Caractéristiques			
Saule arbustif	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	2a	S, M-O	Élevée	Tous
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	Ma	Ma	Oui	Ma
Aulne rugueux	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	1a	S, M-O	Élevée	Graveleux à loameux
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	B, M, R	Superficiel	Oui	Non
Aulne crispé	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	1a	S	Moyenne à élevée	Tous
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	B, M, R	Superficiel	Oui	Non
Spirée à larges feuilles	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	4	S	Moyenne	Tous
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	B, M, R	Superficiel	Oui	Non
Cornouiller stolonifère	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	2a	S, M-O, O	Faible à élevée	Tous
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	B, M, R	Superficiel	Oui	Non
Myrique baumier	**Zone de rusticité**	**Exposition**	**Humidité du sol**	**Type de sol**
	2a	S, M-O	Élevée	Loameux
	Localisation	**Type d'enracinement**	**Stabilisation**	**Protection contre l'érosion mineure des glaces**
	B	Superficiel	Oui	Non

Légende :
S = soleil
M-O = mi-ombre
O = ombre
B = bas
M = milieu
R = replat
Ma = Donnée manquante

La zone de rusticité de la rivière Quinchien est 5a (AAC, 2000), ce qui ne correspond à aucune des essences ci-dessus. Par contre, tel qu'expliqué par Passion Jardins (2012), la rusticité indique la capacité d'une plante à pousser dans les milieux rudes ou moins rudes, donc « une plante dont la zone de rusticité est 5a peut être cultivée dans les zones 6, 7, 8, et 9, et difficilement ou pas dans la zone 4 ». Ainsi, toutes espèces d'arbustes considérées sont aptes à se régénérer dans les bandes riveraines de la rivière Quinchien.
L'exposition de la zone érodée se situe entre les termes soleil et mi-ombre puisque la présence d'arbres et arbustes près de la zone peut créer de l'ombre à certains moments de la journée. Une estimation conservatrice des plantes appropriées pour le site éliminerait les essences qui ne peuvent survivre à une grande ou moyenne exposition : l'aulne crispé et la spirée à larges feuilles ne seront donc pas utilisés pour la stabilisation de la rive.
L'humidité d'un sol argileux est typiquement élevé (Davet, 1996), indiquant que le saule arbustif, l'aulne rugueux, le cornouiller stolonifère et le myrique baumier sont tous des espèces adéquates au site pour ce paramètre.
Le type de sol du site est argileux, ce qui élimine des choix l'aulne rugueux et le myrique baumier, car ces espèces survivent difficilement dans ce type de sol, lui préférant les sols gravelieux à riche en terreau.
Les données sur la localisation sur la bande riveraine du saule arbustif sont manquantes mais l'on sait qu'elle est appropriée pour le cornouiller stolonifère. De plus, selon l'AQPP et le FIHOQ (2008), le cornouiller stolonifère « tolère les sols compacts » et est « excellent pour stabiliser les talus abrupts ». C'est donc cette essence qui sera choisie pour la végétalisation de la bande riveraine de la rivière Quinchien et ce, autant pour les lits de plants et plançons que pour les boutures.

Compost
Un problème rencontré fut le fait que le sol dans lequel les plants et plançons vont être établis est un sol argileux. Le problème vient du fait que les sols argileux sont lourds et compacts, ce qui rend plus difficile le développement des racines. Suite à une discussion avec Caroline Begg, enseignante et chercheure dans le département de sciences végétales de l'Université McGill, il a été jugé que le mieux à faire était d'appliquer du compost forestier BIOFOR, produit par la compagnie Fafard. Ce compost est composé d'écorces

de conifères vieillies, de fumier composté, de tourbe de sphaigne et de chaux. En raison de sa composition et de ses propriétés, son utilisation serait idéale pour les objectifs de ce projet. Afin de maximiser le potentiel de ce compost, il doit être déposé autour de l'extrémité de la bouture se trouvant dans le sol. Effectivement, le compost forestier procurera non seulement un sol plus léger, mais aussi un médium de valeur nutritive supérieur. De plus, il améliorera la résistance du sol et des plantes aux attaques des insectes et des maladies (compost forestier BIOFOR, 2013). Pour faciliter la formation initiale d'un système racinaire bien développé, il n'est pas nécessaire de mélanger le compost avec le sol argileux du talus entier. L'application de l'équivalent d'une sphère de 15 centimètres de diamètre du compost à l'extrémité de bouture sera suffisante. En effet, mixer le compost avec l'argile aurait comme résultat non désiré de réduire la force cohésive du sol. Cependant, lorsque appliqué localement, les impacts sur la cohésion du sol sont négligeables (communication personnelle, Caroline Begg, 8 mars 2013). Malgré les avantages du compost forestier BIOFOR, d'autres types de compost pourraient être utilisés tant qu'ils procureront un médium plus aéré et plus nutritif que l'argile.

Délimitations

Afin de déterminer les délimitations des différentes composantes du design, c'est-à-dire l'enrochement, les lits de plants et de plançons et les boutures, plusieurs critères ont du être considérés. Tout d'abord, les pierres de dimensions mesurées, à savoir 40 centimètres de diamètre, doivent idéalement atteindre la ligne des hautes eaux. Dans le but de déterminer cette hauteur, la coupe transversale de la rivière a été dessinée à l'aide de la plus récente carte topographique trouvée ainsi que des observations des gens locaux. La carte topographique utilisée (voir figure 1) a été faite en avril 2009, soit il y a 4 ans. En raison de l'érosion, une visite au site permet de constater que la carte n'est plus précise, à vrai dire, les pentes semblent nettement plus abruptes et la rivière plus large. Les lignes bleues sur la figure 1 représentent l'emplacement des sections transversales de la figure Y.

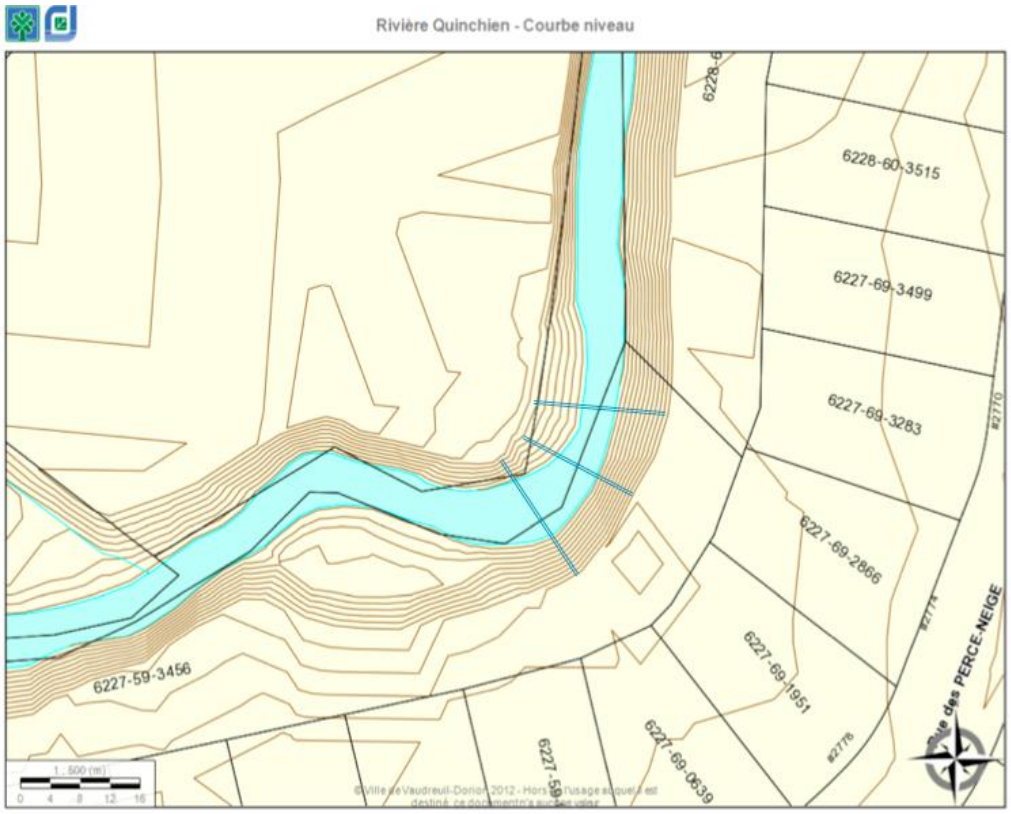


Figure 1. Carte topographique (ville de Vaudreuil-Dorion).

Sur la figure 2, l'érosion se produit sur la rive droite, le stationnement d'autobus Bissonnette Lucien se trouve du côté gauche et la section pointillée représente l'eau. Les sections transversales permettent de constater que les deux rives n'ont pas la même hauteur, à savoir 2.5 m et 3.5m, ce qui signifie que le dernier mètre du côté érodé ne sera jamais immergé puisque l'eau innonderait le stationnement en premier lieu. Selon le propriétaire du stationnement d'autobus, depuis au moins vingt ans le stationnement n'a pas été inondé, ni n'a été près d'être inondé (communication personnelle, M. Bissonnette, 27 février 2013). À la lumière de ces informations, il a été estimé qu'il est nécessaire de mettre des pierres jusqu'à 1.5m de hauteur comme il s'agit approximativement de la ligne des hautes eaux ainsi que de la limite naturelle de végétation de la berge non-érodée, selon les estimations faites lors de visites au site. Comme la section "Débit d'eau" le démontre, cette hauteur sera périodiquement dépassée par les crues suivant les événements de pluie de récurrence 2 ans, 5 ans, 10 ans, 25 ans et 100ans. Lors de ces événements, la méthode de lit de plants et de plançons offre une protection pour la rive. Les plantes survivraient à une immersion de courte durée, ce qui serait le cas aussi lors de la fonte des neiges au printemps qui ne dure qu'une semaine ou deux (communication personnelle, M. Bissonnette, 27 février 2013).

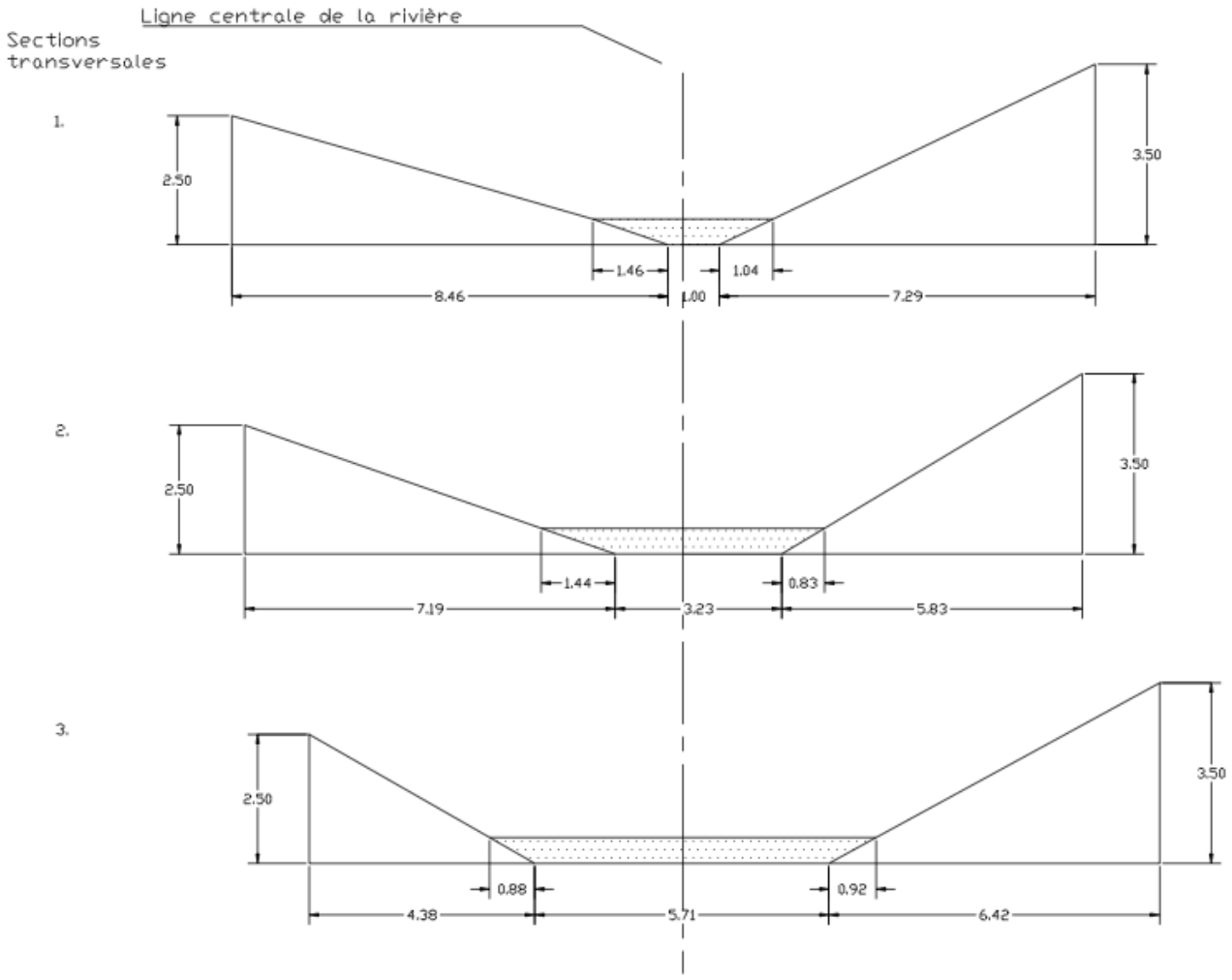


Figure 2. Sections transversales (AutoCAD).

Le design final se présentera donc comme suit: le premier 1.5 m sera enroché, le mètre suivant aura 5 étages de lits de plants et de plançons, pour finir avec un mètre de boutures (voir figure 3 et 4). Des photos du site après implementation du design, modélisées à l'aide du logiciel '*Landscaping and Deck Designer 9.0',* se trouvent en annexe B. La ligne pointillée représente la ligne d'excavation, tout en gardant en tête qu'afin de créer une pente de 2:1 horizontal-vertical, plus de volume que ce qui est visible des coupes transversales ci-dessus requiert d'être excavé, puisque la pente est maintenant plus prononcée. Les lignes plus foncées symbolisent les membranes géotextiles.

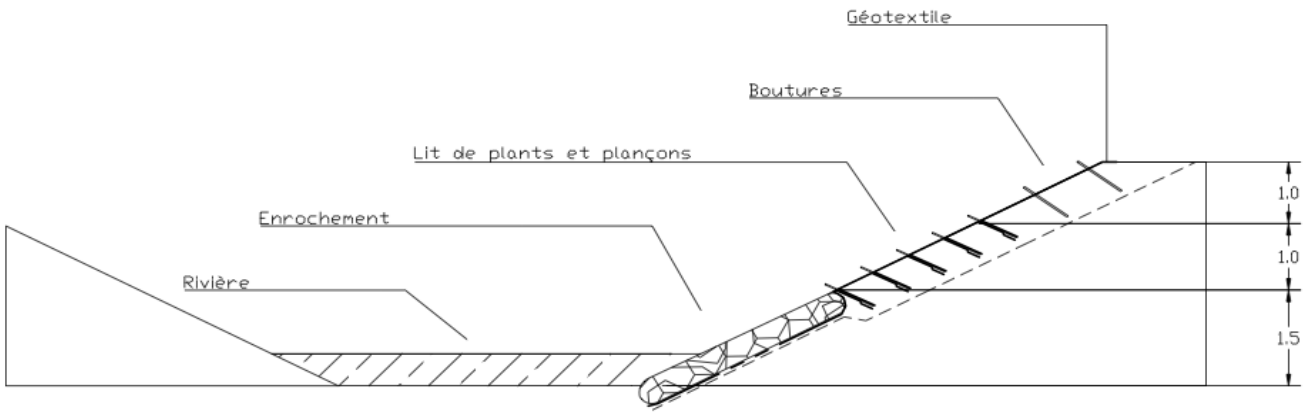


Figure 3. Design final (AutoCAD).

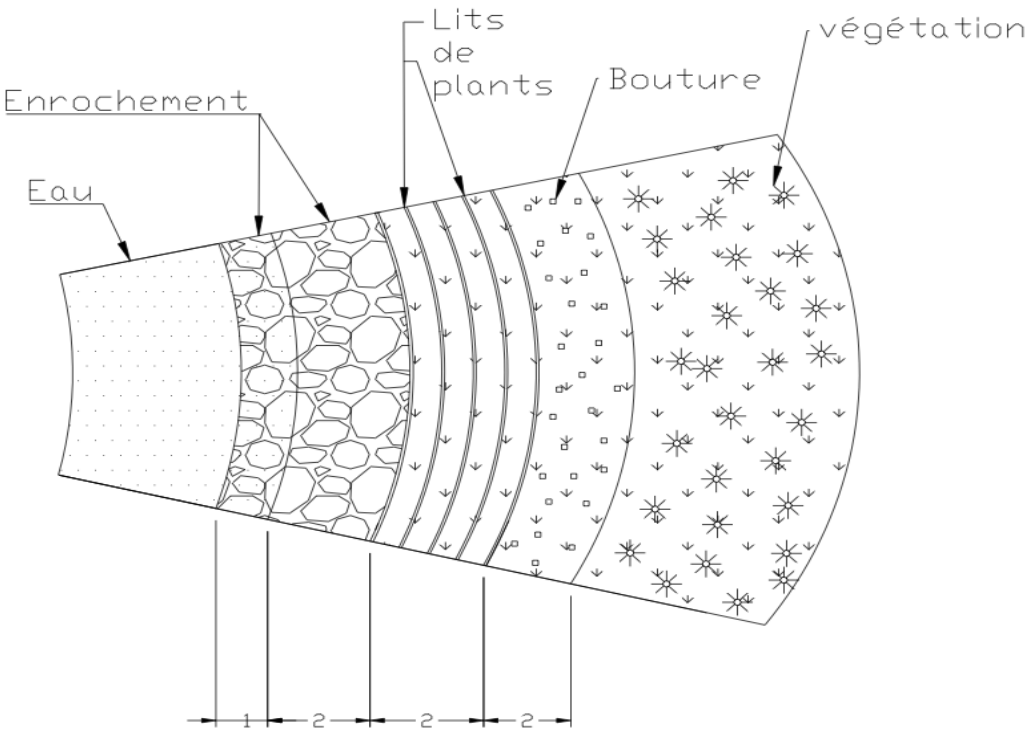


Figure 4. Vue Élévation du design final (AutoCAD).

La figure 4 est une vue rapprochée du design final, permettant de mieux visualiser les membranes géotextiles, en bleu pale sur ce dessin. Deux types de membranes sont utilisées, une biodégradable et une faite de géotextiles synthétiques. La première sorte de membrane, celle biodégradable, est posée lors de la mise en place des lits de plants et plançons. Elle permet de tenir en place les couches de sol, offrant ainsi une protection contre l'érosion. De plus, elle agit en tant qu'engrais en se décomposant. La membrane synthétique est placée sous les pierres et agit en tant que barrière, ne laissant passer que

l’eau et empêchant les particules plus fines du sol de se faire emporter par le courant. Elle est faite de matériaux résistants afin de ne pas se détériorer au fil des années.

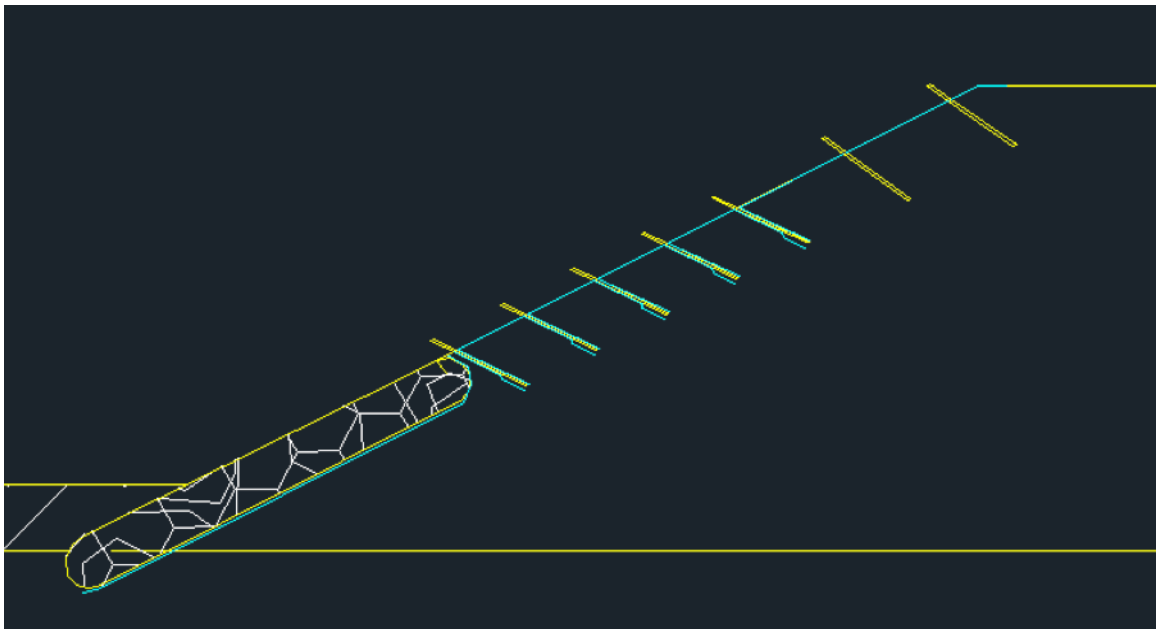


Figure 5. Vue rapprochée du design final (AutoCAD).

MODÉLISATION, OPTIMISATION ET MISE À L’ESSAI

Modèle de l’érosion des berges

Le modèle utilisé, “Bank Stability and Toe Erosion Model” (USDA, 2009), permet de calculer le coefficient de sécurité d’une berge ayant plusieurs couches de sol. Ces dernières peuvent être horizontales, verticales avec possibilité de fissures sous tension ou sur le point de subir un glissement de terrain. De plus, ce modèle permet d’incorporer les effets du géotextile et d’autres méthodes affectant la résistance du sol à l’érosion. Aussi, jusqu’à cinq couches différentes de sols peuvent être analysées. Les composantes étudiées avec ce programme sont l’effet de la porosité et de la pression du débit de l’eau, le renforcement des sols et la surcharge provenant des végétaux. Ce programme permet d’ailleurs de simuler les effets sur la force du sol lors de la saturation de ce dernier par l’eau. Grâce à ce modèle, il est possible de visualiser les effets qu’auront les différentes mesures sur les berges de la rivière Quinchien. À l’aide de données recueillies, ces dernières sont inscrites dans les champs vides du modèle. Par la suite, le modèle calcule les forces incluses selon les diverses méthodes de stabilisation.

La période des crues printanières, d'une durée d'environ trois semaines, a été considérée pour l'élaboration des résultats. La hauteur de l'eau qui a été utilisée est de 2.5 mètres, ce qui est un estimé conservateur pour la hauteur des crues printanières. Ce chiffre a été obtenu suivant les mesures de la hauteur de la berge opposée au site à l'étude, qui est de 2.5 mètres. Les autres paramètres qui sont constants au travers des simulations du modèle sont:

- une longueur d'application du profil transversal de 2 mètres, estimée selon la carte topographique de la municipalité de Vaudreuil-Dorion;
- une pente de la rivière de 0.0027 m/m, tel que calculé précédemment ;
- un angle de friction de 0 degrés (communication personnelle avec Dr. Edward McKyes, mercredi le 27 mars 2013) ;
- une cohésion de 5kPa, valeur minimale des cohésions mesurées par le torsimètre lors d'une visite au site à l'automne, les résultats étant montrés dans le précédent rapport.

La première simulation n'inclut aucune protection de la zone riveraine étudiée, c'est-à-dire si la rivière restait dans l'état qu'elle est présentement. La pente moyenne a été estimée à 54 degrés lors du dernier rapport. Ainsi, les impacts à court et long terme peuvent être évalués selon l'estimation obtenue.

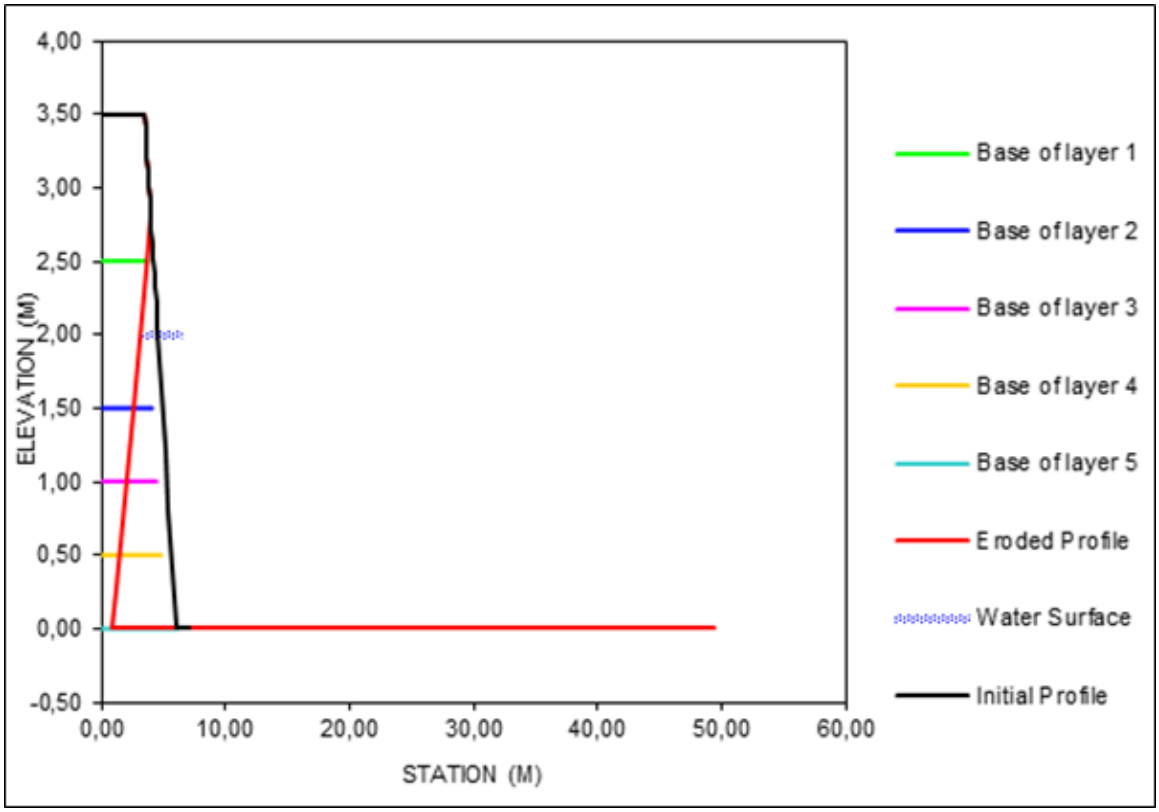


Figure 6. Érosion de la berge, conditions actuelles.

L’image ci-dessus, figure 6, permet de visualiser ce qui adviendra de la zone érodée suite aux crues printanières si aucune méthode de stabilisation n’est instaurée. La ligne noire indique le profil initial de la berge avant les crues printanières, tandis que la ligne rouge représente le profil de la berge suite à la fonte des neiges. La pression érosive permise calculée par le modèle est de 0,10Pa tandis que la pression érosive de l’eau sur la berge est de 23,8Pa. Le volume maximal de sol érodé correspond à 13.8 mètres cubes sur une distance de berge de 2 mètres. Le volume total maximal de sol érodé serait donc de 311 mètres cubes pour une durée de 3 semaines, la longueur de la berge érodée étant estimée à 45 mètres. Il est possible de constater, avec le profil érodé présenté ci-dessus, que la zone subit de l’érosion qui pourrait mener à un affaissement de terrain. Donc, il est impératif de prendre les mesures nécessaires afin d’éviter que le problème persiste et empire durant les années suivantes.

Les trois composantes de la solution préconisée sont, de bas en haut, l’enrochement, les lits de plants et de plançons ainsi que les boutures. Le modèle utilisé ne permet pas une telle combinaison des mesures de protection de la berge et n’inclut pas les lits de plants et plançons dans le choix de mécanismes de protection. Il est toutefois possible de simuler l’effet du géotextile, des boutures, de l’enrochement et de la croissance des racines. La simulation présentée ci-dessous rend compte des effets du géotextile et des boutures juste après l’implantation, ce qui implique que l’excavation a diminué l’angle de la pente de 54 degrés à 30 degrés.

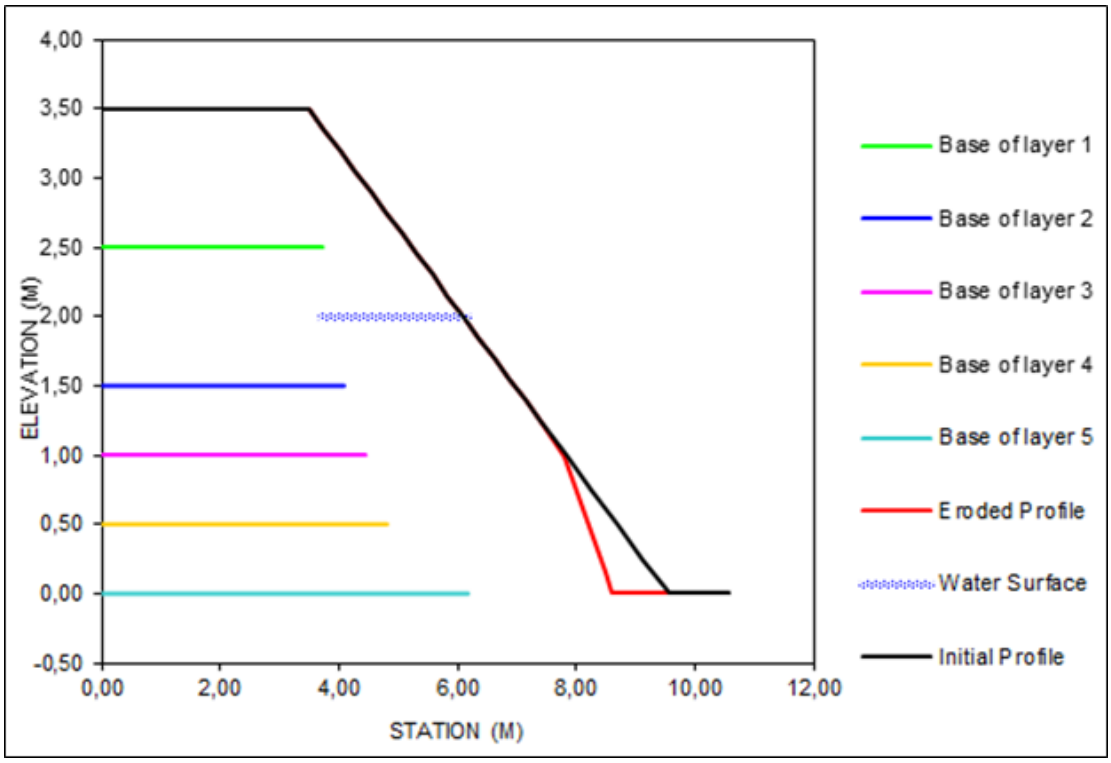


Figure 7. Érosion de la berge après excavation, avec boutures et géotextile.

Selon les données intégrées au modèle, le géotextile permet à la berge de résister à 22Pa de pression érosive, et les boutures permettent une résistance additionnelle de 17Pa. Le modèle indique qu'en moyenne, la pression de l'eau sur la berge équivaut à 27,64Pa. Le volume maximal de sol érodé correspond à 0,25m3 sur une distance de berge de 2m. Le volume total maximal de sol érodé serait donc de 5,6m3 pour une durée de 3 semaines. Le profil érodé de la berge résultant de la simulation permet de constater la nécessité de l'enrochement au bas de la pente, non seulement pour une question de survie des plantes mais aussi pour l'aspect physique de la protection de la berge. En effet, l'enrochement avec des pierres de diamètre de 0,26m augmente la pression permissible à 204Pa. On peut voir ci-dessous le profil non-érodé de la berge grâce à l'enrochement.

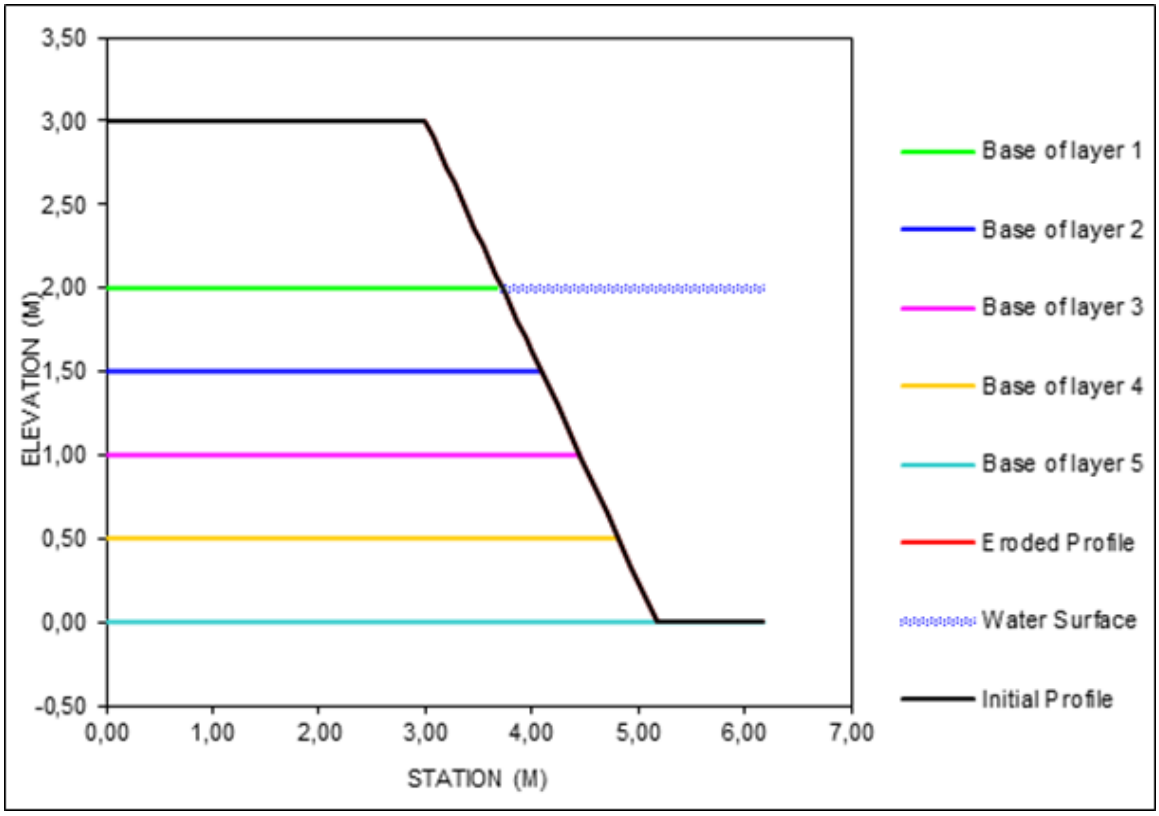


Figure 8. Érosion de la berge après excavation, avec enrochement.

La croissance des racines avec le temps ajoute de la cohésion à la berge, et il est possible de simuler cet effet avec le modèle utilisé. Le type d'arbuste sélectionné, le cornouiller stolonifère, n'était pas inclus dans les choix de plantes. Un arbuste similaire, la spirée de Douglas, a été sélectionné comme remplacement du cornouiller stolonifère. Selon le modèle, après un an, les racines offrent une résistance à l'érosion additionnelle de 100Pa; après 5 ans, une résistance additionnelle de 1000Pa; et après 10 ans, une résistance additionnelle de 4500Pa.

Obtention de permis pour effectuer les travaux

Dans le premier rapport, plusieurs règles furent élaborées, ces dernières étant à suivre lors de travaux impliquant une modification de l'environnement. En effet, en plus d'un cadre normatif défini par le gouvernement du Québec, des permis doivent être généralement obtenus lors de travaux dans des cours d'eau. Il y a deux autorisations à obtenir dans le cadre de ce projet: une émise par le Ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) et une autre émise par le Ministère du Développement Durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec (MDDEFP) pour des projets en milieux aquatiques, humides et riverains.

Ministère des Péches et Océans Canada (MPO)

Selon le Ministère des Péches et Océans Canada (2013), une des obligations majeures à respecter est l'habitat des poissons. L'article 35 de la Loi sur les Pêches (MPO, 2013), cite: "Il est interdit d'exploiter un ouvrage ou une entreprise ou d'exercer une activité entraînant la détérioration, la destruction ou la perturbation de l'habitat du poisson." Cependant, il est possible, selon l'article 35(2), " d'exploiter un ouvrage ou une entreprise ou d'exercer une activité sans contrevenir à:

(a) l'ouvrage, l'entreprise ou l'activité est visé par règlement ou est exploité ou exercé dans les eaux de pêche canadiennes visées par règlement;

(b) l'exploitation de l'ouvrage ou de l'entreprise ou l'exercice de l'activité est autorisé par le ministre et est conforme aux conditions que celui-ci établit;

(c) l'exploitation de l'ouvrage ou de l'entreprise ou l'exercice de l'activité est autorisé par toute autre personne ou entité précisée par règlement et est conforme aux conditions réglementaires;

(d) la détérioration, la destruction ou la perturbation de l'habitat du poisson est entraînée par l'accomplissement d'un acte requis, autorisé ou autrement permis sous le régime de la présente loi;

(e) l'exploitation de l'ouvrage ou de l'entreprise ou l'exercice de l'activité est conforme aux règlements."

Cet article de la loi sur les Pêches oblige donc toute organisation à demander une autorisation pour une détérioration, la destruction ou la perturbation de l'habitat du poisson, en présentant des mesures d'atténuation et de compensation. Il est important de prendre en considération que ces règlements s'appliquent à tous les cours d'eau, plus spécifiquement à tout ce qui est situé sous la ligne des hautes eaux (LHE) de ces derniers. En effet, selon le Ministère des Pêches et Océans Canada, la ligne des hautes eaux est considéré comme la limite de l'habitat des poissons. Il faut donc être judicieux quant aux décisions sur les différentes mesures qui seront appliquées au site. Comme notre design est fait majoritairement de matériaux naturels, biodégradables ainsi que de plantes indigènes, il y aura même une amélioration de l'environnement autour de la

rivière. La rivière ne sera pas négativement modifiée à long terme. La possible hausse de température de l'eau due à l'élargissement de cette section de la rivière sera diminuée à long terme grâce à l'ombrage que procurera la végétation grandissante. Aussi, l'existence du méandre de 90 degrés au site diminue l'impact relatif additionnel d'une hausse de turbulence de l'eau causée par l'enrochement. De plus, les travaux à effectuer se retrouvent majoritairement au-dessus de la ligne des hautes eaux de la rivière, ce qui n'affectera pas l'habitat des poissons. Donc, le design proposé démontre que les effets sur les rives seront atténués le plus possible, et que moins de débris, tels les plantes et la terre, se retrouveront dans la rivière, ce qui consiste en une amélioration des conditions environnementales..

Afin d'obtenir ce permis, il suffit de remplir les formulaires expliquant les travaux à effectuer. L'obtention de ce dernier peut se faire rapidement, cependant, il se peut que l'émissaire ait des questions sur le projet. Donc, il est possible que des dessins ou des plans supplémentaires soient réclamés suite à la demande initiale de permis. Il se pourrait que le gouvernement propose des suggestions ou impose des modifications au projet. Dans le cas du Ministère des Pêches et Océans Canada, il n'est pas toujours exigé qu'une demande d'autorisation officielle lui soit faite lors de travaux mineurs, se contentant souvent d'émettre des autorisations non officielles pour les plus petits projets dans les cours d'eau, appelée lettre d'avis. Enfin, il se peut que la loi ait changé lorsque l'implantation du projet se fera. La loi sur les Pêches a d'ailleurs été modifiée le 29 juin 2012, suite à ce qui a été accepté lors de l'adoption de la loi omnibus du gouvernement fédéral de l'année dernière. L'article 35, celui concerné lors de ce projet, sera apparemment affaibli lors des nouvelles dispositions de cette loi. Cette nouvelle mesure mentionne que l'application de la loi sera vraisemblablement restreinte à certains cours d'eau plus importants et à certaines espèces de poissons, principalement celles qui font l'objet d'une exploitation commerciale (Le Devoir, 2012). Selon le site de Pêches et Océans Canada (2013), la nouvelle loi cite: " Les projets qui sont menés à l'intérieur ou à proximité de cours ou de plans d'eau, s'ils sont planifiés, situés, conçus et construits comme il se doit par des entreprises ou des particuliers expérimentés et qualifiés, peuvent éviter les répercussions sur le poisson et l'habitat du poisson. La *Loi sur les pêches* autorise la réalisation de tels projets sans que les promoteurs soient tenus de contacter le MPO aux fins d'examen ou de conseils."

Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec (MDDEFP)

Le MDDEFP, tel que mentionné plus haut, exige qu'un certificat d'autorisation soit émis pour les travaux effectués en milieu aquatique, humide ou riverain. C'est donc d'une portée encore plus large que ce que le Ministère des Pêches et Océans Canada vise, soit uniquement ce qui concerne le littoral. Sur le site, plusieurs règlements sont élaborés et

qui doivent être suivis lors de travaux. La plupart de ces règlements s'appliquant au projet de ce travail ont été dictés lors du premier rapport. Afin d'obtenir une demande d'autorisation, il faut d'abord remplir un formulaire décrivant la localisation des acitivités, la description technique des travaux, les méthodes de travail, comme la machinerie et les équipements, le calendrier de réalisation, l'utilisation actuelle et projetée du milieu environnant, les aspects économiques, ainsi qu'une description des impacts des activités sur la faune, son habitat et l'environnement. Il est d'ailleurs possible d'envoyer la demande d'autorisation à la direction régionale du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs ou au ministère des Ressources naturelles et de la Faune. L'organisme récepteur s'occupera d'acheminer vers l'autre ministère la demande pour décision. Cependant, quand les travaux se font à petite échelle et ne sont pas de grande envergure, la demande de certificat d'autorisation est généralement remplacée par un processus qui débouche sur l'octroi d'un décret municipal qui autorise les travaux.

Analyse des coûts

Avant de commencer l'implantation du design, il est primordial d'effectuer une analyse des coûts, composée de frais directs et indirects. La table 4 suivante indique les divers coûts associés aux travaux de la rivière Quinchien.

Table 4. Coûts.

	Coûts
Excavation	9150$
Roches	3000$
Arbres, arbustes et plantes	Variable / gratuit
Géotextile	375$
Compost	907$
Imprévus (15% des dépenses)	~ 2000$
TOTAL	14927$

Excavation

La zone à excaver a une longueur de 45 m et une largeur d'environ 8 mètres. Suite à une rencontre avec un estimateur de la compagnie Excavation Rodrigue et Fils (communication personnelle, André Rodrigue, le 4 avril 2013), le coût total est approximativement 6000$. Cela inclût la main-d'oeuvre et l'usage de la pelle mécanique. Le temps requis pour effectuer les travaux est d'environ 60 heures, à un tarif de 100$/h, pour un total de 6000$. Par la suite, la terre retirée pour diminuer la pente devra être acheminée vers un autre site. Le déblayage et le transport de la terre vers un autre site nécessitera de 40 à 50 voyages. Pour les calculs, une estimation de 45 voyages à été considérée. Un voyage coûte 70$, ce qui donne un montant de 3150$. Donc, le coût total pour l'excavation est de 9150$.

Roches

Le coût total des roches a aussi été estimé à l'aide de la compagnie Excavation Rodrigue et Fils(communication personnelle, André Rodrigue, 4 avril 2013). Les roches seront utilisées comme méthode pour remédier à l'érosion de la rivière Quinchien. La zone couverte sera de 45 mètres de longueur et 1.5 m de largeur. Le prix des roches est de 265$ à 300$ pour 10 mètres cube de roches, le transport étant inclus dans ces prix. Les roches incluses dans cet écart de prix sont rondes et communément appelées "cabochons". Elles ont un diamètre de 0 à 20", ce qui convient à l'estimation du diamètre minimal calculé plus haut, c'est-à-dire 0.39 m (15.35"). Il faudra environ 10 voyages, chacun coûtant 300$, pour un prix total de 3000$.

Arbres, arbustes et plantes

Une communication personnelle avec Isabelle Rodrigue de COBAVER a permis d'obtenir des ressources afin d'obtenir des arbres pour le design. Il y a la "Journée de la Terre", qui donne des arbres dans le cadre de son programme Corridors verts (Jour de la Terre Québec, 2013). Ce dernier s'adresse aux organisations qui souhaitent réaliser une plantation au cours de l'année. Il suffit de soumettre une demande en ligne et d'expliquer le projet. Sinon, selon Isabelle Rodrigue, il serait possible de trouver un arrangement avec divers groupes afin d'obtenir les arbres à un coût moindre.

Géotextile

Il y aura deux types de géotextiles à utiliser pour le design: un pour aider les arbustes à bien s'implanter et l'autre qui sera utilisé sous les roches. Le premier, qui est biodégradable, possède des prix qui varient en fonction de l'espace à recouvrir ainsi que de la qualité du matériau. Pour un rouleau de 40" x 50' x 2.5 OZ, le prix se situe autour de 25$ chez Réno-Dépôt (2013). Avec ce type de géotextile, les racines auront la possibilité de bien s'implanter. Il faut un minimum de 3 rouleaux pour couvrir la

longueur de 45 m. Un surplus de 2 rouleaux a été ajouté pour couvrir la largeur, pour un prix total de 125$. Le deuxième, normalement fait de plastique, sera utilisé pour maintenir les roches en place. Son prix varie de 1.50 - 2.78$ par mètre carré. Il y aura environ une largeur de 1.50 mètre de roches, mais il est plus sécuritaire de prévoir plus que la limite. Donc, une largeur de 2 mètres et une longueur de 45 mètres ont été utilisées pour un montant total de 250.20$, considérant que le prix est de 2.78$ par mètre carré.

Main-d'oeuvre additionnelle

Il est possible d'obtenir de l'aide de divers organismes lors de la plantation des arbustes et de l'installation du design. Pour cette partie, la participation du public sera encouragée. Alors, un coût de 0$ est attribué à la main-d'oeuvre pour les travaux excluant l'excavation et l'enrochement.

Compost

Le compost forestier BIOFOR est celui qui sera utilisé afin que les plantes aient une croissance plus rapide. Le prix est d'environ 5.93$ par sac, qui contiennent chacun 30 litres. Selon les calculs faits plus haut, il est possible de savoir combien de sacs devront être utilisés pour une distance de 20 mètres:

Cylindre de 15 cm de diamètre *20m *5 étages = 1.77m^3 = 1770 litres / (30 litres/ sacs) = 59 sacs

Donc, pour la longueur de 45 mètres du site, il faudra 133 sacs. Le coût total serait donc 907$ avec taxes pour couvrir toute la zone.

Imprévus

Une partie du budget a été consacrée aux imprévus qui pourraient survenir durant l'implantation du design ou par la suite. Le coût total des frais décrits plus haut est de 13432$. C'est sur ce montant que 15% supplémentaire sera ajouté. Donc, la marge monétaire dans le cas d'imprévus est estimée à 2000$. Un exemple de frais qui pourraient s'ajouter est l'enfouissement de la terre retirée du site. Il est possible que la terre soit amené à un autre endroit où elle sera utilisée à d'autres fins. Cependant, si ce n'est pas le cas, certains sites facturent ce type de dépôt. De plus, il faut considérer que des frais indirects se rapportent habituellement à l'administration d'un projet. En ce qui concerne le site choisi, un suivi devra être fait suite à l'implantation. Un superviseur, externe ou interne à la municipalité, devra se rendre occasionnellement sur le site. Comme il faut stabiliser le design en profondeur, il en sera davantage important au début, car il faudra s'assurer que les plantes poussent comme prévu et que le design est bien stable sur la pente. S'il y a bris ou défectuosité, des ajustements pourront être effectuer pour ainsi garantir l'efficacité et la durabilité du projet.

Analyse des risques

Dans ce cas particulier de la restauration d'un site de la rivière Quinchien, il n'y a pas de conséquence majeure à court terme, excepté un faible affaissement de terrain. Les maisons avoisinantes sont à une distance raisonnable, alors le problème d'érosion n'est pas encore une menace. Cependant, à long terme, les conséquences pourraient se faire ressentir. La distance séparant le pied d'érosion et les terrains résidentiels va éventuellement se raccourcir, comme il a été possible de constater en utiliser le modèle de l'érosion des berges. Dans les zones à risque, comme le site choisi, il est primordial de remédier à l'érosion avant que les vrais problèmes se manifestent. Si l'implantation du design est faite, les risques associés deviendront très faibles. Quant à l'opérationnalité du design, cela réside en majorité dans les plantes. Si leur croissance est régulière, le design devrait se stabiliser assez rapidement. Cependant, dans le cas de pluies abondantes ou de sécheresse, il est possible que leur développement soit affecté. Cela pourrait retarder la stabilisation, mais la fonction première du design serait toujours possible. Si l'aspect social est considéré, il y a peu probable que le projet soit rejeté par différents partis, comme les citoyens ou la ville. L'implantation n'aurait pratiquement aucun effet sur la vie quotidienne des gens ou sur l'aspect visuel de la ville. Quant au projet, les étapes d'implantation sont spécifiques, mais une erreur lors de son exécution ne serait pas néfaste pour la rivière. Les conséquences seraient d'ordre locales, où certaines zones continueraient d'être érodées. Advenant que le design n'est pas efficace ou s'il prenait plus de temps que prévu à s'établir, des ajustements devront éventuellement être faits. De plus, il est possible que lors d'un événement exceptionnel, comme une inondation ou une tornade, le design soit détruit. Il faudra alors refaire une étude de la rivière et des nouvelles zones à risque. Dans tous ces cas, les conséquences seront exclusivement monétaires. Il est donc important de prévoir et d'approuver une partie 'imprévus' dans le budget du projet pour ce genre de risques. En tout temps, la stabilité des berges est un atout important pour contrôler les mouvements de masse par un cours d'eau et pour éviter un affaissement de terrain. Le prix rattaché à ce type de conséquences est beaucoup plus élevé, et beaucoup plus difficile à contrôler que si des précautions sont prises. Heureusement, lors de la construction du quartier résidentiel, les maisons ont été construites à un niveau plus élevé afin d'éviter que la rivière inonde les terrains avoisinants. En effet, des bassins de rétention ainsi que des sytèmes de pompage ont été installés le long de la rivière, afin de contrôler l'écoulement de l'eau (Cassagnol, O'Neil & Wang, 2007). Comme l'employé de la station d'autobus Lucien Bissonnette a mentionné, cela fait très longtemps que le niveau de l'eau n'a pas été assez élevé pour inonder le stationnement de la station. L'installation de ces divers système a grandement contribué à un niveau constant de la rivière et à un contrôle plus accru. Selon Bruce (2011), les projections climatiques pour la région de Montréal ne vont pas varier de façon

importante. Les niveaux de pluie resteront presque les mêmes d'ici 2050, ainsi que les périodes de températures extrêmes. Cependant, le ratio de neige et des précipitations totales sera réduit en automne, à l'hiver et au printemps. De plus, les périodes d'intense précipitations augmenteront de 5 à 10%. Comme il a été mentionné plus haut, les systèmes de pompages vont grandement contribuer au maintien d'un niveau régulier de la rivière Quinchien. Il sera important d'observer ces changements et de s'ajuster à l'aide d'un design adaptatif. Si les changements environnementaux sont assez importants pour justifier des mesures concrètes, deux mesures d'optimisation possibles seraient, dans le cas de crues trop importantes, l'ajout de roches et, dans le cas de crues diminuées, l'ajout de boutures combiné au retrait d'une quantité non-nécessaire de roches.

CONCLUSION

Une étude plus approfondie a été faite dans cette deuxième partie du cours. Par la suite, les composantes du design ont été vérifiées à l'aide du modèle de l'érosion des berges. Il a d'ailleurs été conclu que l'implantation du design suggéré serait bénéfique afin de réduire le problème d'érosion. Plusieurs facteurs, comme les coûts et le facteur de risque, ont été considérés pour pouvoir s'assurer de la faisabilité complète du projet. Pour conclure, afin de promouvoir la stabilité de la rivière Quinchien et des zones avoisinantes, il est important de prendre les mesures appropriées, et ce rapport est un point de départ vers un projet durable.

REMERCIEMENTS

Un merci spécial à nos superviseurs Dr. Edward McKyes et Dr. Grant Clark, à Isabelle Rodrigue et Julie Cyr du COBAVER-VS, à Ariane Leroux de la municipalité de Vaudreuil-Dorion, aux employés de la station d'autobus Lucien Bissonnette, à Mr. Pierre Beauchamp et à André Rodrigue d'Excavation Rodrigue & Fils pour leur aide.

RÉFÉRENCES

AAC. 2000. Zones de rusticité des plantes au Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada. http://atlas.agr.gc.ca/agmaf/index_fra.html#context=phz-zrp_fr.xml&extent=1500145.9574042,-206871.36577975,1766581.2301954,-103419.33831067&layers=place37M,place25M,place15M,place5M,place1M,place500K,place250K;rivers25M,rivers15M,rivers5M,rivers1M,rivers500K,lakes37M,lakes25M,lakes15M,lakes5M,lakes1M,lakes500K,Roads25M,Roads15M,Roads5M,Roads1M,Roads500K,ferry500K,bndy5-37M,bndy1M,BndyLn1-5M;PlantHardinessZone2000. Accédé le 5 mars 2013.

Adam, P. 2008. *Le génie végétal: un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques.* Paris: Documentation française.

AQPP&FIHOQ. 2008. Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec . Bibliothèque et Archives Nationales du Québec.

Bélanger et Wang. Étude hydraulique de la rivière Quinchien. CSPI. 2009. Handbook of Steel Drainage & Highway Construction. 2nd ed. Washington, DC: Corrugated Steel Pipe Institute.
des Sinistres Catastrophiques.

Bruce, James P. 2011. Climate change information for adaptation: Climate trends and projected values for Canada from 2010 to 2050. Institut de Prévention

Cassagnol, José J. O'Neil, Luc. Wang, Hui. 2007. Étude de rétention de la rivière Quinchien. MRC Vaudreuil-Soulanges. Les Consultants LBCD Inc. Vérifié par Pierre Labbé, le 5 novembre 2007.

CFRC. 2006. Shear Stress. Corvallis Forestry Research Community. http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Shear_Stress.htm. Accédé le 13 février 2013.

FAFARD. "Compost forestier BIOFOR." http://www.fafard.ca/index.php?module=AxialBoutique&func=view_one_product&id=130. Accédé le 5 mars 2013.

Davet, P. 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. Paris : INRA Editions.

Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., Huffman, R. L., Schwab, G. O., Workman, S. R. (2006). Soil and Water Conservation Enigneering. Fifth edition. Clifton Park, NY, USA : Thomson Delmar Learning.

Francoeur, Louis-Gilles. 2012. Ottawa songe à émasculer la Loi sur les pêches. Le Devoir. 15 mars 2012.
http://www.ledevoir.com/politique/canada/345101/ottawa-songe-a-emasculer-la-loi-sur-les-peches. Accédé le 6 mars 2013.

GROUPENAÏADES. 2007. Salix sp. Guide des végétaux. GROUPENAÏADES : partenaire en environnement et restauration de cours d'eau. http://www.banderiveraine.com/guide_vegetaux_fiche.php?id=23#. Accédé le 6 mars 2013.

Jour de la Terre Québec. 2013.
http://www.jourdelaterre.org/. Accédé le 4 avril 2013.

McKyes, E. 1989. Agricultural Engineering Soil Mechanics. New York: Elsevier. Batiproduits. 2012. Cailloux pour voirie. Batiproduits – La base de données des produits du bâtiment. http://produits-btp.batiproduits.com/Betons-Granulats-Sylvestre/Graves/fiche/r?id=1000141642. Accessed February 15th, 2013.

MDDEP. 2011. Fiche technique sur la stabilisation des rives. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
http://www.mddefp.gouv.qc.ca/index_en.asp. Accédé le 6 mars 2013.

Ministère du Développement durable, Environnement, Faune et Parcs du Québec (MDDEFP). 2013. Milieux Aquatiques, Humides et Riverains.
http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/rives/autorisation.htm. Accédé le 6 mars 2013.

Ministère des Pêches et Océans Canada (MPO). 2013. Loi sur les Pêches. Site Web de la Législation.
http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/guide/page07-fra.asp Accédé le 6 mars 2013.

Passion Jardins. 2012. La rusticité des plantes. Passion Jardins. http://www.passionjardins.com/index.php?view=article&id=17%3Ala-rusticite-des-plantes&option=com_content&Itemid=12. Accédé le 6 mars 2013.

Ponce, V.M. The Reynolds Number Revisited. San Diego State University. http://reynoldsnumber.sdsu.edu/. Accédé le 27 février 2013.

Réno-Dépôt. 2013. Produits: Géotextiles. http://www.renodepot.com/webapp/wcs/stores/servlet/RenoSearchDisplayView?searchTerm=géotextile&catalogId=10551&searchKey=RenoDepotFR&urlLangId=-2&langId=-2&storeId=10701. Accédé le 8 mars 2013.

TETa. Water – Specific Volume and Weight Density. The Engineering Toolbox. http://www.engineeringtoolbox.com/water-specific-volume-weight-d_661.html. Accédé le 15 février 2013.

TETb. Reynolds Number. The Engineering Toolbox. http://www.engineeringtoolbox.com/reynolds-number-d_237.html. Accédé le 27 février 2013.

TETc. Hydraulic Diameter. The Engineering Toolbox. http://www.engineeringtoolbox.com/hydraulic-equivalent-diameter-d_458.html. Accédé le 27 février 2013.

ANNEXE

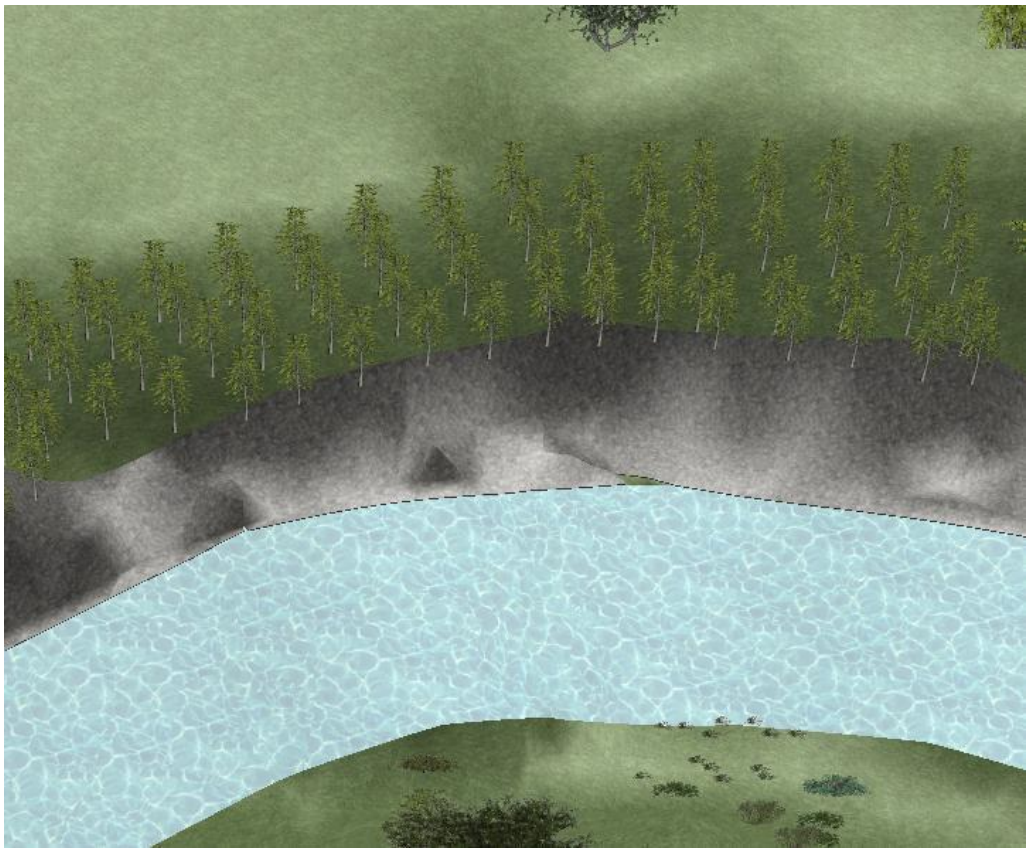
A. Protocole à suivre pour les boutures.

Lors d'une discussion avec Danielle Donnelly, professeur dans le département de "plant Science" à McGill, plusieurs éléments important quant à une possibel implementation ont été receuillis. Tout d'abord, à la bibliothèque du campus Macdonald se trouve le livre "Plant propagation" par Hurtmam, sous réserve au nom de Danielle Donnelly. La partie s'appliquant à notre type de propagation étant celle des "hard wood cuttings" dans la section des "stem cuttings". Des branches d'arbustes d'un an ou deux seraient prises, comme ce sont les âges qui assure une meilleure chance de propagation.

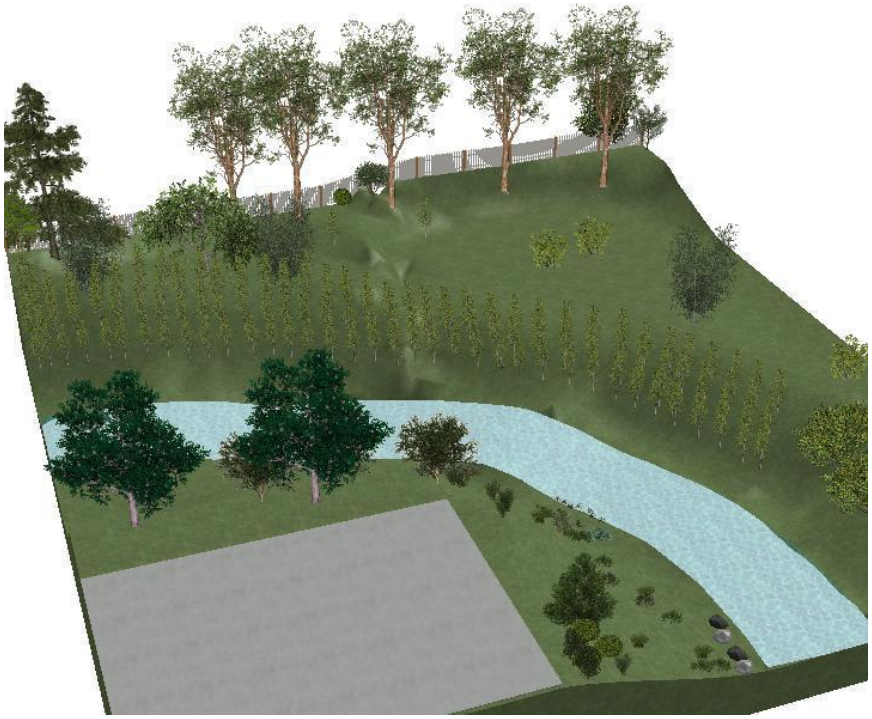
Nous pouvons demander a Marshall Waterway, au Horticultural center, de nous indiquer où se trouve les cornouillers stolonifères sur le campus puisqu'elle possède la carte de tous les arbres se trouvant sur le campus.

Une fois les arbres trouvés nous devons couper de façon inclinée/ à la diagonale, les branches sous un noeud, puis tremper les bouts coupés dans une poudre prévue à cet effet. Ensuite il suffit d'attacher ensemble un gros paquet de boutures puis de laisser les racines pousser en les mettant dans une section de la serre possédant un chauffage provenant du bas et "mist frame". La personne a contacter en ce qui concerne l'autorisation pour utiliser une partie de la serre est Guy Rimmer (guy.rimmer@mcgill.ca). Il est important de savoir qu'il ne faut pas planter les boutures avant le 21 mai. Finalement, Christie-Anna Lovat <christie-anna.lovat@mail.mcgill.ca>, étudiante à la maitrise, serait en mesure de nous aider dans notre processus en ce qui a trait aux boutures, comme elle a de l'expérience dans le domaine, cela nous garantirait que nous faisons bien les choses.

B. Vue de haut du site après implementation du design (*Landscaping and Deck Designer 9.0*).



Landscaping and Deck Designer 9.0



Landscaping and Deck Designer 9.0

C. Évènements de pluie

Événement de pluie récurrence 1:2 ans

	Débit	Pente	Coefficient de rugosité	Mesures de section transversale de la rivière							Ratio théorique
	Q	S1/2	n	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H3	(A5/3)/(WP2/3)
	m3/s	m/m	dimensionless	m	m	m	m	m	m	m	m3/s
Coupe tranversale 1 (A)	8.99	0.05196152	0.045	8.46	1	7.29			2.5	3.5	7.78556838
Coupe tranversale 2 (C)	8.99	0.05196152	0.045	7.19	3.23	5.83			2.5	3.5	7.78556838
Coupe tranversale 3 (H)	8.99	0.05196152	0.045	4.38	5.71	6.42			2.5	3.5	7.78556838

Hauteur essais	Aire		Périmètre mouillé	Ratio expérimental							
H	A	A5/3	WP	WP2/3							
m	m2		m								
1.6155	8.74931191	37.1498016	10.43312564	4.77466557	7.78060809						
1.362	8.61179992	36.1817764	10.02328481	4.64879127	7.78305031						
1.128	8.72244628	36.959876	10.34209213	4.74685102	7.78618833						

Événement de pluie récurrence 1:5 ans

	Débit	Pente	Coefficient de rugosité	Mesures de section transversale de la rivière							Ratio théorique
	Q	S1/2	n	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H3	(A5/3)/(WP2/3)
	m3/s	m/m	dimensionless	m	m	m	m	m	m	m	m3/s
Coupe tranversale 1	11.17	0.05196152	0.045	8.46	1	7.29			2.5	3.5	9.67350376
Coupe tranversale 2	11.17	0.05196152	0.045	7.19	3.23	5.83			2.5	3.5	9.67350376
Coupe tranversale 3	11.17	0.05196152	0.045	4.38	5.71	6.42			2.5	3.5	9.67350376

Hauteur essais	Aire		Périmètre mouillé	Ratio expérimental							
H	A	A5/3	WP	WP2/3							
m	m2		m								
1.77	10.3335584	49.024875	11.33527229	5.04608588	9.7154262						
1.515	10.1055781	47.2355094	10.78640711	4.88185121	9.67573723						
1.27	10.1438601	47.5341157	10.92521011	4.92364273	9.6542577						

Événement de pluie récurrence 1:10 ans

	Débit	Pente	Coefficient de rugosité	Mesures de section transversale de la rivière							Ratio théorique
	Q	S1/2	n	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H3	(A5/3)/(WP2/3)
	m3/s	m/m	dimensionless	m	m	m	m	m	m	m	m3/s
Coupe tranversale 1	12.64	0.05196152	0.045	8.46	1	7.29			2.5	3.5	10.9465611
Coupe tranversale 2	12.64	0.05196152	0.045	7.19	3.23	5.83			2.5	3.5	10.9465611
Coupe tranversale 3	12.64	0.05196152	0.045	4.38	5.71	6.42			2.5	3.5	10.9465611
Hauteur essais	Aire		Périmètre mouillé	Ratio expérimental							
H	A	A5/3	WP	WP2/3							
m	m2		m								
1.86	11.3165695	57.0415508	11.86079461	5.20086831	10.9676976						
1.61	11.0865888	55.1226261	11.26024122	5.02379369	10.9723109						
1.36	11.082197	55.0862377	11.29479193	5.03406505	10.9426949						

Événement de pluie récurrence 1:25 ans

	Débit	Pente	Coefficient de rugosité	Mesures de section transversale de la rivière							Ratio théorique
	Q	S1/2	n	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H3	(A5/3)/(WP2/3)
	m3/s	m/m	dimensionless	m	m	m	m	m	m	m	m3/s
Coupe tranversale 1	14.15	0.05196152	0.045	8.46	1	7.29			2.5	3.5	12.25425946
Coupe tranversale 2	14.15	0.05196152	0.045	7.19	3.23	5.83			2.5	3.5	12.25425946
Coupe tranversale 3	14.15	0.05196152	0.045	4.38	5.71	6.42			2.5	3.5	12.25425946
Hauteur essais	Aire		Périmètre mouillé	Ratio expérimental							
H	A	A5/3	WP	WP2/3							
m	m2		m								
1.95	12.3438621	65.930308	12.38631693	5.35338066	12.3156398						
1.7	12.0537771	63.3682815	11.70913669	5.15643939	12.2891547						
1.445	11.9950771	62.854794	11.64384143	5.13725182	12.2351008						

Événement de pluie récurrence 1:100 ans

	Débit	Pente	Coefficient de rugosité	Mesures de section transversale de la rivière							Ratio théorique
	Q	S1/2	n	B1	B2	B3	B4	B5	H1	H3	(A5/3)/(WP2/3)
	m3/s	m/m	dimensionless	m	m	m	m	m	m	m	m3/s
Coupe tranversale 1	19.49	0.05196152	0.045	8.46	1	7.29			2.5	3.5	16.87883512
Coupe tranversale 2	19.49	0.05196152	0.045	7.19	3.23	5.83			2.5	3.5	16.87883512
Coupe tranversale 3	19.49	0.05196152	0.045	4.38	5.71	6.42			2.5	3.5	16.87883512
Hauteur essais	Aire		Périmètre mouillé	Ratio expérimental							
H	A	A5/3	WP	WP2/3							
m	m2		m								
2.215	15.6258156	97.6647459	13.9336882	5.79042879	16.8665827						
1.975	15.2370121	93.648255	13.08076174	5.5516493	16.8685466						
1.72	15.1260338	92.5142102	12.77311921	5.46425943	16.9307866						