No de projet : 300.236

CERIU - Ville de Laval

Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques des réseaux de types combiné, pseudo-séparatif et pluvial du bassin tributaire de l'ouvrage de surverse Belgrand à Laval

Septembre 2011
Révision Novembre 2011

DOSSIER : 111-17205-00

Support technique :

Kamal Hamaï, ing., M.Sc.

No OIQ : 141098

Préparé et vérifié par :

Pierre Lamarre, ing.
Directeur de projet

No OIQ : 34974

GENIVAR Inc.
2525, boulevard Daniel-Johnson
Bureau 600
Laval (Québec) H7T 1S9
Tél. : (450) 686-0980
Fax : (450) 686-0987

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1
1.1 MISE EN CONTEXTE 1
1.2 LE PROTOCOLE DU CVIIP 2
2. L'OUVRAGE BELGRAND ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE 4
2.1 DESCRIPTION DU PROJET 4
2.1.1 Description générale de l'ouvrage Belgrand 4
2.1.2 Sources d'information 8
2.1.3 Variables climatiques 9
2.1.4 Cadre temporel 9
2.1.5 Considérations réglementaires 10
2.1.6 Visite sur les lieux 10
2.2 COLLECTE ET EXHAUSTIVITÉ DES DONNÉES 11
2.2.1 Définition des éléments d'infrastructure à l'étude 11
2.2.2 Administration / Opération 12
2.2.3 Réseaux tributaires amont 14
2.2.4 Structures fixes 16
2.2.5 Systèmes mécaniques 19
2.2.6 Systèmes d'alimentation électrique 20
2.2.7 Systèmes de contrôle et de supervision 21
2.2.8 Système de télécommunication 28
2.2.9 Systèmes de sécurité 28
2.2.10 Impact des conditions futures sur les infrastructures à l'étude 29
2.3 ÉVALUATION DU RISQUE 30
2.3.1 Analyse climatologique 30
2.3.2 Évaluation du risque – Méthodologie 47
2.3.3 Atelier de travail 48
2.4 ANALYSE DE L'INGÉNIERIE 51
2.4.1 Analyse de l'ingénierie - Méthodologie 51
2.4.2 Sommaire des résultats - Analyse de l'ingénierie 54
2.5 RECOMMANDATIONS 56
2.5.1 Limites et hypothèses de base 56
2.5.2 Recommandations 58
3.0 CONCLUSION 62
4.0 RÉFÉRENCES 64
4.1 DONNÉES SUR L'INFRASTRUCTURE 64
4.2 DONNÉES SUR LE CLIMAT 65
5.0 SOMMAIRE EXÉCUTIF 67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Bassin La Pinière – Pluvial - Sanitaire
Figure 2 Localisation – Ouvrage Belgrand
Figure 3 Bâtiment de service
Figure 4 Bâtiment de service – toit vert
Figure 5 Chemin d'accès – aval Belgrand
Figure 6 Bâtiment de service- ventilation
Figure 7 Bâtiment de service – chauffage
Figure 8 Ruisseau La Pinière sud
Figure 9 Ponceau Belgrand – La Pinière sud
Figure 10 Dérivation Monette – Bâtiment
Figure 11 Dérivation Monette – contrôle
Figure 12 Implantation des structures de l'ouvrage Belgrand
Figure 13 Structure de dérivation (plan)
Figure 14 Structure de dérivation (profil)
Figure 15 Structure de déversement
Figure 16 Dissipateur d'énergie
Figure 17 Murs latéraux (1999)
Figure 18 Murs latéraux (2002)
Figure 19 Vanne à crête
Figure 20 Treuil motorisé – vanne à crête
Figure 21 Vanne modulante motorisée
Figure 22 Vanne d'isolement
Figure 23 Actuateur – vanne d'isolement
Figure 24 Panneau d'alimentation principal
Figure 25 Génératrice d'appoint
Figure 26 Système d'alimentation sans coupure (UPS)
Figure 27 Salle de contrôle
Figure 28 Automate – vanne crête
Figure 29 Limnimètre bulle-à-bulle
Figure 30 Enregistreurs de débordement
Figure 31 Appareil de mesure de débit Accusonic
Figure 32 Stations pluviométriques – 12 – Territoire de Laval
Figure 33 Transmetteur radio/modem
Figure 34 Antenne
Figure 35 Détecteur de fumée
Figure 36 Détecteur de mouvement
Figure 37 Clôture – affiche – alarme sonore d'ouverture de la vanne
Figure 38 Comparaison des hydrogrammes aux conditions actuelles et futures pour le bassin versant du Nord Québécois
Figure 39 Visite de l'ouvrage Belgrand
Figure 40 Atelier de travail
Figure 41 Atelier de travail

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Inventaire des éléments d'infrastructure
Tableau 2 Facteurs d'échelle de probabilité – Méthode A
Tableau 3 Facteurs d'échelle de gravité – Méthode E
Tableau 4 Éléments d'infrastructures vulnérables aux changements climatiques

ANNEXES

Annexe A Programme de l'atelier de travail
Matrices de l'évaluation du risque
Tableau « Comparaison des risques existants et futurs »
Annexe B Matrice de l'analyse de l'ingénierie
Annexe C Formulaire du Protocole du CVIIP complété
Annexe D Normales climatiques au Canada 1971-2000 à la station Pierre-Elliott Trudeau

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

Le présent mandat fait partie d'une entente entre Ingénieurs Canada (aussi désigné « Conseil canadien des ingénieurs »), la Ville de Laval, propriétaire et exploitant des infrastructures à l'étude, et le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), qui pilote le projet.

Celui-ci s'inscrit dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité des infrastructures aux changements climatiques, laquelle est supervisée par le « Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques » (CVIIP), créé par Ingénieurs Canada en 2005. Ce comité regroupe des représentants des différents paliers de gouvernements (municipal, provincial et fédéral) ainsi que d'organismes non-gouvernementaux, dont le CERIU, dans le but de réaliser une évaluation exhaustive de la vulnérabilité des infrastructures publiques, incluant les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées, aux changements climatiques.

Au cours des dernières années, diverses études préliminaires sur la détermination de la capacité de différents types d'infrastructures à s'adapter aux changements climatiques, de même que divers projets-pilotes et études de cas ont été menées en certaines régions du Canada. Ces études ont permis d'établir un protocole d'évaluation de risque structuré (le « Protocole » du CVIIP) définissant les principales étapes du processus d'analyse, qui sera utilisé dans le cadre du présent projet.

L'objectif de l'étude consistera donc à déterminer la vulnérabilité aux changements climatiques des éléments d'infrastructure associés à l'ouvrage de surverse Belgrand, à Laval. Cet ouvrage de régulation et de contrôle des débordements en temps de pluie, dont la Ville est le propriétaire et l'exploitant, constitue une composante majeure du système d'interception des eaux usées du bassin versant La Pinière, un territoire largement urbanisé d'une superficie de 45 km², desservi par des réseaux d'égout de types combiné, pseudo-séparatif et pluvial.

Un comité consultatif formé d'experts en infrastructures et en climatologie appuiera la démarche. Parmi ceux-ci, on compte des membres du consortium Ouranos, qui regroupe des spécialistes des changements climatiques et de l'adaptation de la société à ce phénomène, du CERIU, d'Ingénieurs Canada, de la Ville de Laval et de GENIVAR.

1.2 Le Protocole du CVIIP

Le « Protocole d'ingénierie du CVIIP pour l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures au changement climatique », version 9, avril 2009, sera utilisé dans le cadre du présent mandat. Le Protocole est la propriété intellectuelle d'Ingénieurs Canada, qui accorde l'autorisation pour son utilisation par la signature d'un contrat de licence.

Le Protocole est un processus structuré qui définit les étapes à suivre pour réaliser l'étude de vulnérabilité de l'ingénierie. Ces cinq étapes sont décrites et résumées ci-après:

- Étape 1 – Définition du projet
- Étape 2 – Collecte et exhaustivité des données
- Étape 3 – Évaluation du risque
- Étape 4 – Analyse de l'ingénierie
- Étape 5 – Recommandations

1- Définition du projet

À cette étape sont définis les paramètres du projet global et les conditions limites de l'évaluation de la vulnérabilité de l'ingénierie. On y précise notamment les caractéristiques physiques et fonctionnelles de l'infrastructure à l'étude, de même que les facteurs climatiques à prendre en considération.

2- Collecte et exhaustivité des données

Les données décrivant l'infrastructure à l'étude sont recueillies et évaluées à cette étape, de même que les informations et références pertinentes relativement aux variables climatiques susceptibles de causer un impact significatif. Les interactions potentielles entre les divers éléments d'infrastructures et les phénomènes climatiques sont identifiées en vue des étapes subséquentes de l'évaluation.

3- Évaluation du risque

Cette étape consiste à évaluer le degré de risque associé à chacune des interactions entre les éléments d'infrastructure et les facteurs climatiques identifiés, à partir d'une matrice d'évaluation. Un atelier de travail réunissant les principaux intervenants est tenu à cette fin.

4- Analyse de l'ingénierie

Les interactions présentant un risque jugé élevé à l'étape précédente font ensuite l'objet d'une analyse plus approfondie, à partir d'une méthodologie faisant intervenir un jugement professionnel multidisciplinaire. Cette analyse permet d'établir un diagnostic de vulnérabilité faisant ressortir les éléments les plus à risque nécessitant une attention à court ou moyen terme.

5- Recommandations

La dernière étape consiste à formuler les recommandations à mettre en œuvre pour faire face aux vulnérabilités identifiées aux étapes précédentes. Ces recommandations peuvent prendre la forme de mesures correctives d'ingénierie, de mise en observation de certains éléments ciblés, ou de définition de termes de référence d'études ou de toute autre mesure de gestion à prévoir, avec établissement au besoin d'un ordre de priorité.

2. L'OUVRAGE BELGRAND ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

2.1 Description du projet

2.1.1 Description générale de l'ouvrage Belgrand

L'ouvrage Belgrand est localisé à l'exutoire du collecteur La Pinière, à l'intersection de la rue Belgrand, au sud de l'autoroute 440, à environ 0,7 km à l'ouest de l'autoroute Pie-IX. Le collecteur unitaire de 2745 mm à 4 475 mm en fer-à-cheval suit un tracé d'ouest en est sur plus de 10 km au sud de l'autoroute 440, au centre de l'île Jésus. Le bassin desservi occupe une superficie de plus de 4 500 ha, urbanisée à plus de 90 %. L'occupation du territoire se compose de zones industrielles et commerciales, principalement concentrées autour des autoroutes Laval (440) et des Laurentides (15), et de quartiers résidentiels dans les secteurs Chomedey à l'ouest, Champfleury au centre et Vimont à l'est.

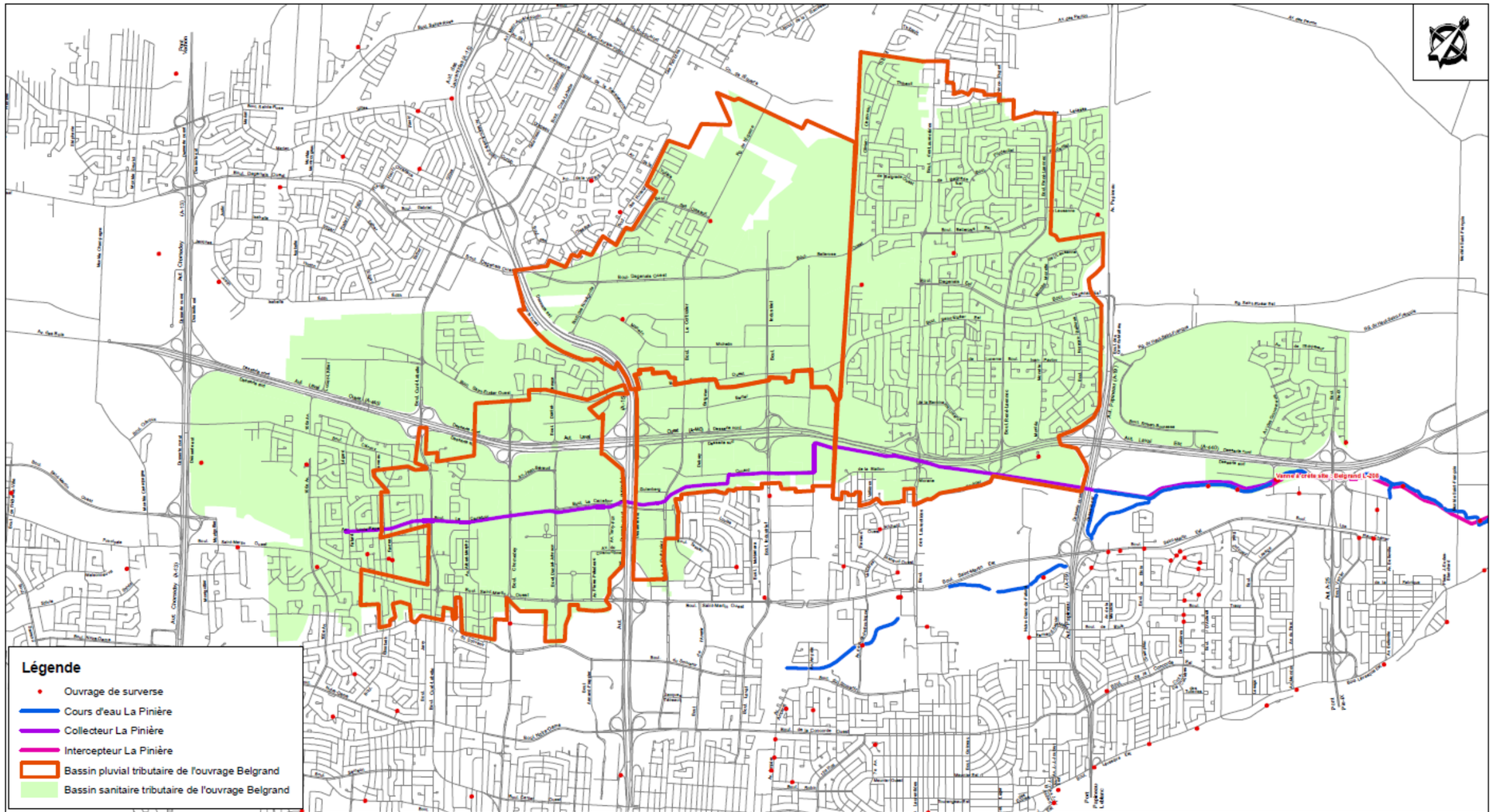


Figure 1 : Bassin La Pinière – Pluvial (rouge) – Sanitaire (vert)

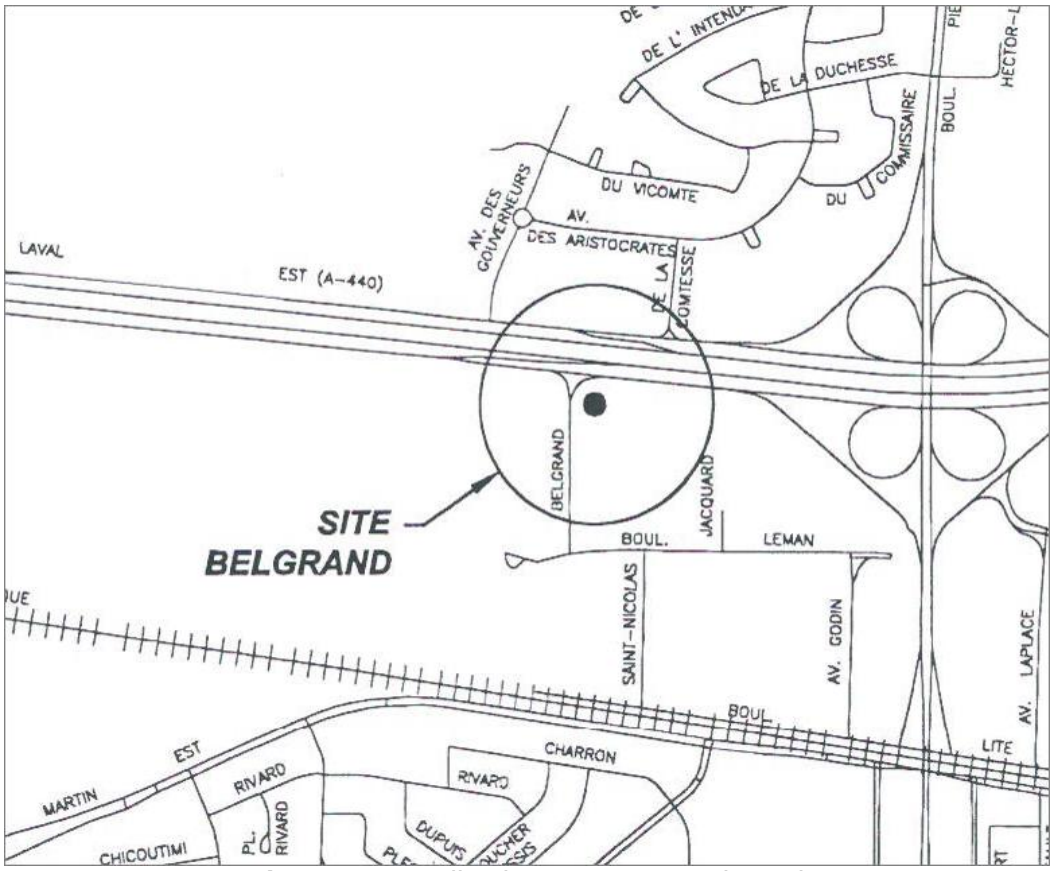


Figure 2 : Localisation –Ouvrage Belgrand

Les réseaux d'égouts du bassin de drainage tributaire de l'ouvrage de surverse Belgrand sont unitaires dans une proportion d'un peu moins de 40 %, les autres réseaux étant majoritairement de type pseudo-séparatif. Seuls les secteurs développés après 1982 sont de types séparatifs. Les sous-bassins unitaires ont été développés en grande partie entre 1970 et 1980.

Les eaux usées en temps sec ainsi que les eaux de ruissellement en temps de pluie ou de fonte des neiges sont donc véhiculées par le collecteur La Pinière jusqu'à son exutoire à la rue Belgrand. À cet endroit, un ouvrage de contrôle avec vanne modulante automatisée a été aménagé pour acheminer les eaux usées vers l'intercepteur et la station d'épuration, tandis que les eaux pluviales contaminées sont retenues dans le collecteur par l'action d'une vanne à crête basculante automatisée, jusqu'à un volume maximal de l'ordre de 23 000 m³.

Lorsque le volume de rétention maximal est atteint, la vanne à crête est abaissée et le surplus se déverse vers la rivière des Prairies par l'intermédiaire du ruisseau La Pinière.

La fréquence et le volume de ces débordements est fonction de la fréquence et de l'intensité des précipitations, de même que du mode de contrôle de l'ouvrage. Par conséquent la planification et la mise en œuvre de mesures visant l'atteinte des objectifs de contrôle doit nécessairement prendre en compte les éventuelles augmentations d'intensité et de fréquences des précipitations liées aux changements climatiques.

Les débordements sont dénombrés au moyen de sondes et capteurs divers mesurant d'une part la hauteur de l'eau dans le collecteur, et, d'autre part, le positionnement de la crête de la vanne. Ceci permet d'évaluer la période d'occurrence des débordements, (début, durée et fin de l'épisode), mais sans toutefois mesurer le volume débordé. La réduction du volume des eaux débordées constitue un gain sur le plan environnemental, qui n'est cependant pas quantifié selon la méthode actuelle de mesure des débordements.

Ainsi, dans les conditions actuelles, on aurait enregistré une cinquantaine d'épisodes de débordement par an au cours des années 2009 et 2010, survenant en période de pluies ou de fonte des neiges.

Ceci rencontre les exigences de rejet convenues avec le MAMROT pour cet ouvrage de surverse, lesquelles permettent les débordements en situation d'urgence, de pluie ou de fonte des neiges (UPF). Cette fréquence est toutefois nettement supérieure à l'objectif de contrôle visé dans le futur.

Les exigences de rejet reflètent le fonctionnement attendu de l'ouvrage, basé sur les résultats du suivi d'opération suite à sa mise en fonction à la fin des années 1990. Il est toutefois reconnu que cet ouvrage de contrôle a été conçu à titre temporaire afin de minimiser dans la mesure du possible la fréquence et le volume des surverses en profitant du volume de rétention disponible dans le collecteur existant de 4575 mm.

Il était alors entendu que des ouvrages futurs seraient requis pour atteindre des niveaux de contrôle répondant aux critères attendus pour une récupération effective des usages. Ces fréquences de contrôle cibles, ou objectifs de rejet selon la nomenclature utilisée par les gestionnaires gouvernementaux, ont été établis à une valeur de 7 débordements par saison estivale, du 1er mai au 30 novembre. Il est acquis qu'un tel niveau de contrôle nécessiterait l'implantation de solutions impliquant des travaux majeurs, par exemple, de type rétention en tunnel, qui avaient fait l'objet d'études détaillées à l'époque. Il est à noter que la solution de séparation exhaustive des réseaux unitaires existants avait alors été étudiée puis rejetée en raison des coûts et des contraintes techniques qu'elle supposait.

2.1.2 Sources d'information

Les principales sources d'information fournies par la Ville de Laval relativement à l'ouvrage Belgrand sont :

- Collecteur mixte, Mise en service des intercepteurs Marigot et La Pinière, lot 32, plans de détail, tels qu'exécutés, Vallée, Lefebvre et associés, janvier 1999, réf: 41113;
- Travaux correctifs - Structure de régulation Belgrand - dissipateur d'énergie, plans de détail, Triax, mars 2002, réf: 411-13;
- Ville de Laval, Bassin de l'usine La Pinière, Cahier des exigences environnementales, chapitre II, Description des ouvrages d'assainissement de la municipalité de Laval, Volet 1 - Interception et ouvrages en réseau - Volumes 1 à 7 - Plans d'ensemble, croquis et fiches techniques (L-208 - Belgrand), Ville de Laval, novembre 2000;
- Manuel d'exploitation - Intercepteurs Marigot et La Pinière (section 5.7 - Collecteur mixte 1), Société québécoise d'assainissement des eaux (SQAE), février 2000;
- Vanne crête - Description fonctionnelle, Groupe Enico Inc. - Triax, octobre 2003;
- Fiches de suivi des ouvrages de surverse, Ville de Laval, 2002 à 2011;
- Rapport - Évaluation complémentaire des débits et des charges à l'usine La Pinière, Asseau, septembre 1995;
- Rapport - Mise en service des intercepteurs Marigot et La Pinière, Asseau, avril 1997.

Les principales sources d'information relativement à l'analyse climatologique sont:

- Environnement Canada - Normales climatiques 1971-2000
- Environnement Canada - Dangers atmosphériques - Québec
- Environnement Canada - Données climatiques en ligne
- Environnement Canada - Données climatiques quotidiennes canadiennes
- Réseau canadien des scénarios de changements climatiques
- Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique
- Articles scientifiques divers

2.1.3 Variables climatiques

Les variables climatiques suivantes ont été sélectionnées dans un premier temps pour évaluation, conformément au processus décrit au protocole. Certains d'entre eux (trois derniers) ont été éliminés subséquemment à l'étape de l'évaluation du risque.

- Température maximale
- Température minimale
- Vague de chaleur
- Vague de froid
- Variabilité de la température
- Gel / Dégel
- Fortes pluies
- Fortes pluies durant 5 jours
- Pluies hivernales
- Pluies verglaçantes
- Tempêtes de verglas
- Fortes chutes de neige
- Poudrerie
- Foudre
- Précipitations de grêle
- Vitesse des vents
- Tornades
- Périodes de sécheresse
- Orages
- Refroidissement éolien
- Humidex
- Accumulation de neige
- Ouragans / Tempêtes tropicales
- Brouillard

2.1.4 Cadre temporel

Il a été convenu pour ce projet que la vulnérabilité des infrastructures sera évaluée autant dans les conditions climatiques existantes que dans les conditions futures.

Dans la mesure du possible, le cadre temporel retenu pour les projections de changements climatiques correspond à la période de 30 ans comprise entre les années 2041 et 2070. L'évaluation de la vulnérabilité des ouvrages à l'étude au-delà de cet horizon ne sera pas effectuée, en raison notamment du fait que la configuration actuelle possède un caractère temporaire et que certains de ces ouvrages devront être

remplacés ou modifiés de façon significative d'ici une dizaine d'années afin de rencontrer les objectifs de contrôle des débordements établis par les organismes gouvernementaux. Ces nouveaux aménagements dont la conception reste à définir affecteront significativement le comportement de l'ensemble des éléments d'infrastructures traités dans cette étude.

2.1.5 Considérations réglementaires

Conformément aux dispositions du Protocole, les différentes responsabilités administratives et les considérations réglementaires concernant l'ouvrage à l'étude sont décrites ci-après.

La Ville de Laval est propriétaire et exploitant du réseau municipal d'égouts et du système d'assainissement des eaux usées, incluant par conséquent l'ouvrage Belgrand et toutes les infrastructures qui s'y rattachent.

Les ouvrages d'assainissement, incluant l'ouvrage Belgrand ont été construits dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux du Québec (PAEQ) entre les années 1980 et 2000. Le suivi de ces ouvrages répond aux normes convenues avec le Ministère québécois des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT), qui applique une grille de suivi appelée « Suivi des Ouvrages municipaux d'assainissement des eaux » (SOMAE), dans laquelle sont fixés notamment les exigences et objectifs de rejet que doivent respecter les ouvrages.

L'ensemble des lois et règlements régissant la qualité de l'eau et l'exploitation des réseaux d'égouts au Québec sont contenus dans la « Loi sur la qualité de l'environnement » administrée par le Ministère québécois du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP).

2.1.6 Visite sur les lieux

Une visite sur les lieux a été effectuée en compagnie des représentants de la Ville le 28 juin 2011. Les représentants de GENIVAR étaient MM. Pierre Lamarre et Kamal Hamaï, et ceux de la Ville, M. Sylvain Houde et Mme Martine Galarneau.

En général, il se dégage de la visite que :

- Le site ainsi que le bâtiment de service et les structures fixes et mobiles (vanne à crête) sont en bon état et bien entretenus.

- Tous les éléments mécaniques, électroniques, de télécommunication et d'instrumentation /contrôle sont fonctionnels.

Nous avons noté certaines observations :

- L'opération combinée de la vanne crête et de la vanne de régulation font en sorte de réduire le volume des débordements en temps de pluie.

- La fréquence des débordements demeure toutefois élevée, soit environ 50 fois par saison estivale, à chaque pluie significative (± 2mm et plus).

- On note la présence de sédiments accumulés dans le lit du ruisseau La Pinière en aval de l'ouvrage Belgrand, en amont de la traverse de l'A Pie-IX.

- Certaines sections de matelas de gabions posées sur le lit du ruisseau La Pinière ont été soulevées, en aval de l'Autoroute Pie-IX.

2.2 Collecte et exhaustivité des données

2.2.1 Définition des éléments d'infrastructure à l'étude

Les principales infrastructures faisant l'objet de l'évaluation ainsi que leurs composantes sont détaillées au tableau suivant, conformément au processus du Protocole.

Tableau 1 Inventaire des éléments d'infrastructure

Élément d'infrastructure	Composante
Administration/Opération	Personnel
	Archivage de données
	Bâtiment de service
	Procédures opérationnelles
	Chemins d'accès
	Accès sur le site
Réseaux tributaires amont	Collecteur Lapinière
	Ruisseau Lapinière sud
	Dérivation Monette
Structures fixes	Canal transversal d'interception
	Intercepteur Lapinière (1500 mm)
	Murs Latéraux

	Dissipateur d'énergie
	Ruisseau Lapinière aval
Systèmes mécaniques	Vanne à crête
	Vanne d'isolement
	Vanne modulante
Système d'alimentation électrique	Panneau d'alimentation
	Génératrice
	Batteries d'urgence (UPS)
Système de contrôle et de supervision	Automates programmables (MOSCAD, Schneider)
	Équipements d'acquisition de données (Sondes H-V, flottes, Limnimètres, Accusonic)
	Stations pluviométriques
	Système superviseur FIX (SCADA)
Système de télécommunication	Transmetteur radio/modem
	Antenne
	Téléphonie
Système de sécurité	Clôture
	Détecteur de fumée/Détecteur de mouvement
	Système d'ouverture d'urgence de la vanne à crête

2.2.2 Administration / Opération

Les activités d'administration et d'opération ont été subdivisées en 6 catégories, soit le personnel, l'archivage des données, le bâtiment de service, les procédures opérationnelles, les chemins d'accès et l'accès au site.

Aux fins de l'évaluation de risque le personnel considéré inclut les responsables de la gestion, de l'opération et de l'entretien des ouvrages en réseau de la station La Pinière, incluant l'ouvrage Belgrand. Ceux-ci sont essentiellement basés à la station La Pinière, située à environ 3 km de l'ouvrage Belgrand. La disponibilité du personnel à effectuer certaines opérations de gestion et d'entretien sous diverses conditions climatiques peut avoir une influence sur le rendement des ouvrages.

L'archivage des données est effectué de façon informatique à partir des informations collectées par les systèmes superviseur et traitées au centre de supervision de la station La Pinière.

Le bâtiment de service (extérieur et intérieur) ainsi que le chemin d'accès adjacent sont illustrés aux figures 3 à 7.

Figure 3 Bâtiment de service

Figure 4 – Bâtiment de service –toit vert

Figure 5 – Chemin d'accès – aval Belgrand

Figure 6 – Bâtiment de service – ventilation

Figure 7 – Bâtiment de service - chauffage

2.2.3 Réseaux tributaires amont

Les réseaux tributaires amont comprennent principalement le collecteur La Pinière, une conduite de forme Fer-à-cheval d'un diamètre variant de 2745 mm à 4475 mm à son exutoire à l'ouvrage Belgrand, qui recueille les apports des réseaux tributaires amont de type combiné, pseudo-séparatif et pluvial dont la délimitation principale apparaît à la figure 1.

Le collecteur La Pinière véhicule donc un débit de temps sec qui est intercepté et dirigé vers l'intercepteur La Pinière adjacent, à travers la structure d'interception décrite plus loin. Les volumes supplémentaires générés en temps de pluie sont emmagasinés dans le collecteur jusqu'à une capacité de l'ordre de 23 000 m³, par l'action de la vanne crête, puis l'excédent est déversé dans le ruisseau La Pinière en aval.

La dérivation Monette est un ouvrage qui permet de dériver le débit pluvial issu du sous-bassin Vimont-nord en période de forte pluie, soulageant ainsi le collecteur La Pinière d'un important débit. Les eaux qu'il véhicule sont toutefois également contaminées par des ouvrages de surverse internes à son sous-bassin, ce qui doit être pris en compte dans ses règles d'utilisation.

Cet ouvrage est localisé un peu à l'ouest de l'autoroute Papineau (19), au nord de la voie ferrée qui longe le collecteur La Pinière dans l'axe est-ouest parallèlement à l'autoroute 440.

Les eaux dérivées à la structure Monette sont déversées dans le ruisseau La Pinière sud, un axe majeur de drainage pluvial qui se déverse au ruisseau La Pinière immédiatement à l'est de la rue Belgrand, au site de l'ouvrage Belgrand.

Le ruisseau La Pinière sud est donc considéré également comme une composante importante des réseaux amont de l'ouvrage Belgrand.

Les figures 8 à 11 illustrent le ruisseau la Pinière sud et le ponceau qu'il emprunte sous la rue Belgrand avant sa confluence avec le ruisseau la pinière en aval de l'ouvrage Belgrand, ainsi que la dérivation Monette et son bâtiment de service.

Figure 8 - Ruisseau La Pinière sud

Figure 9 – Ponceau Belgrand – La Pinière sud

Figure 10 – Dérivation Monette – Bâtiment

Figure 11 – Dérivation Monette – contrôle

2.2.4 Structures fixes

Les structures fixes de l'ouvrage Belgrand comprennent la structure de dérivation avec son canal d'interception des débits de temps sec, le dissipateur d'énergie en aval de la vanne à crête ainsi que les murs latéraux. On considère également l'intercepteur la Pinière ainsi que le ruisseau La Pinière en aval de l'ouvrage comme des structures fixes inhérentes à l'ouvrage Belgrand puisque leur comportement est intimement lié au fonctionnement de celui-ci.

L'implantation générale de ces structures est montrée à la figure 12. Le détail de la structure de dérivation en plan et profil apparaît aux figures 13 et 14. Les figures 15 et 16 illustrent respectivement la structure de déversement (vue du ruisseau en aval) et le dissipateur d'énergie, alors que les figures 17 et 18 montrent les murs latéraux lors de la construction initiale de l'ouvrage en 1999, et après l'ajout du dissipateur d'énergie et le prolongement des murs latéraux en 2002.

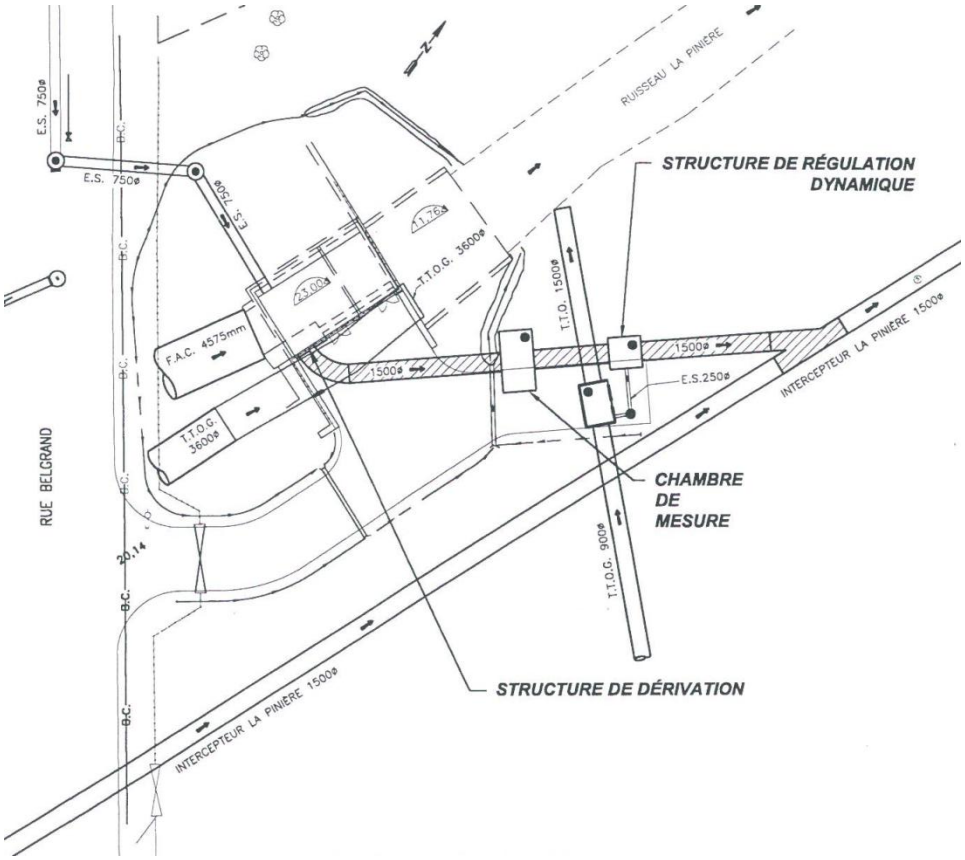


Figure 12 – Implantation des structures de l'ouvrage Belgrand

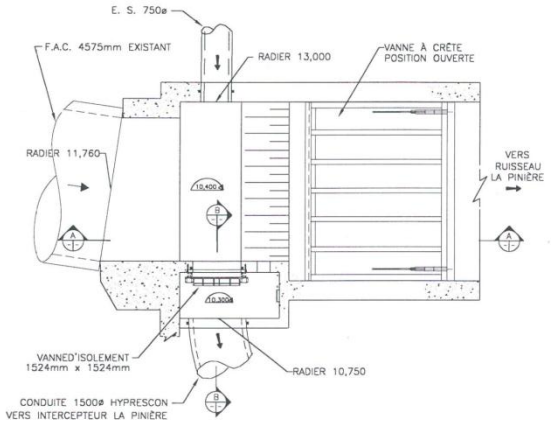


Figure 13 – Structure de dérivation (plan)

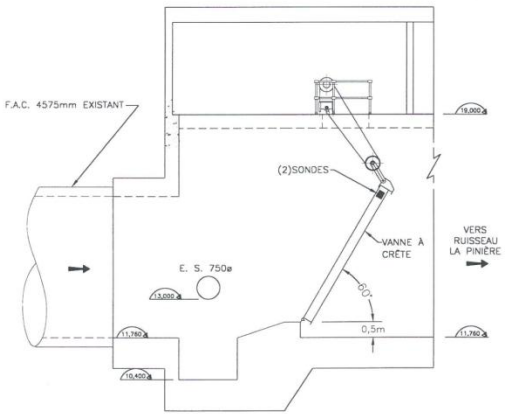


Figure 14 – Structure de dérivation (profil)

Figure 15 – Structure de déversement

Figure 16 – Dissipateur d'énergie

Figure 17 – Murs latéraux - (1999)

Figure 18 – Murs latéraux (2002)

2.2.5 Systèmes mécaniques

Les systèmes mécaniques de l'ouvrage Belgrand comprennent la vanne à crête qui contrôle l'emmagasinement en temps de pluie dans le collecteur et le déversement des surplus vers le ruisseau, la vanne modulante de la structure de régulation qui contrôle l'apport de débit vers l'intercepteur, et la vanne d'isolement qui permet d'interrompre l'écoulement vers l'intercepteur lors des opérations d'entretien ou de réparation.

Ces trois ouvrages sont illustrés aux figures 19 à 23.

Figure 19 – Vanne à crête

Figure 20 – Treuil motorisé – vanne à crête

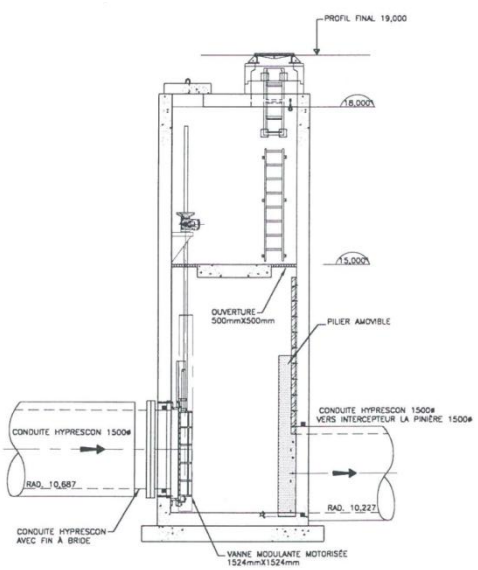


Figure 21 – Vanne modulante motorisée

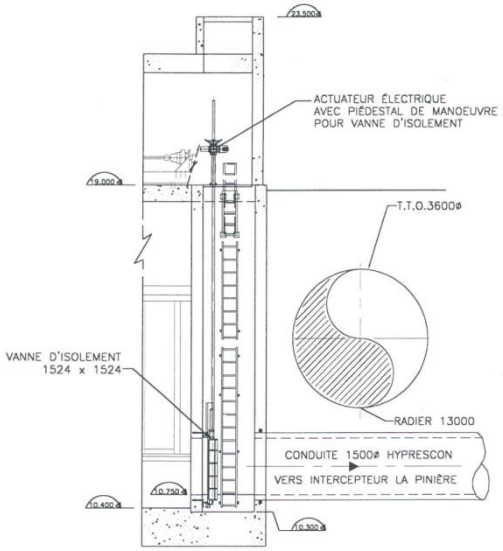


Figure 22 – Vanne d'isolement

Figure 23 – Actuateur – vanne d'isolement

2.2.6 Systèmes d'alimentation électrique

Les systèmes d'alimentation électrique de l'ouvrage Belgrand comprennent le panneau d'alimentation principal, montré à la figure 24, le système d'alimentation d'appoint (génératrice, illustrée à la figure 25, avec commutateur de transfert automatique), ainsi que les batteries d'urgence avec stabilisateur de tension (système d'alimentation sans coupure UPS), montrées à la figure 26. Ces dernières permettent l'alimentation des automates de supervision et contrôle même en cas de panne de courant et de dysfonctionnement de la génératrice.

Figure 24 – Panneau d'alimentation principal

Figure 25 – Génératrice d'appoint

Figure 26 – Système d'alimentation sans coupure (UPS)

2.2.7 Systèmes de contrôle et de supervision

Les systèmes de contrôle et de supervision se subdivisent en trois grandes catégories :

- les systèmes d'acquisition de données (sondes hauteur-vitesse, flottes, limnimètres, appareil de mesure de débit Accusonic) reliés aux automates programmables (MOSCAD, MODICON, Schneider) qui gèrent le fonctionnement automatisé de la vanne crête et de la vanne de régulation vers l'intercepteur et recueillent les informations (niveaux d'eau, débits) à transmettre par télémétrie via le système de télécommunication;

- le système superviseur SCADA (logiciel de marque FIX) qui recueille et interprète et enregistre l'ensemble des données transmises par tous les ouvrages en réseau (régulateurs, stations de pompage) incluant l'ouvrage Belgrand, et génère les alarmes;

- les stations pluviométriques (12) réparties sur l'ensemble du territoire, qui recueillent l'information servant au suivi des débordements et à la gestion des ouvrages.

Les automates programmables, enregistreurs de débordement, appareils de mesures de niveaux avec compresseur d'air de type bulle-à bulle (limnimètres) situés dans la salle de contrôle chauffée, sont montrées aux figures 27 à 31.

Le système superviseur est localisé à la salle de contrôle des ouvrages en réseau, à la station La Pinière.

Figure 27 – Salle de contrôle

Figure 28 – Automate – vanne crête

Figure 29 – Limnimètre bulle-à-bulle

Figure 30 – Enregistreurs de débordement

Figure 31 – Appareil de mesure de débit Accusonic

Le plan de localisation des pluviomètres apparaît à la figure 32. Ces stations installées progressivement entre 1985 et 2010 ne fournissent que des données pluviométriques. Notons que la période couverte par les données disponibles pour les plus anciennes d'entre elles (1985-2010) ne correspond pas à celle retenue pour les conditions de référence dans le cadre de la présente étude, soit 1971-2000 (voir section 2.3.1).

Une meilleure densité de couverture pluviométrique permet un diagnostic plus précis et améliore le calage des modèles de simulation, en tenant compte adéquatement de la répartition spatio-temporelle des précipitations.

Les données recueillies par ces pluviomètres permettront également de constituer une banque de données utile pour établir des statistiques pluviométriques propres au territoire lavallois.

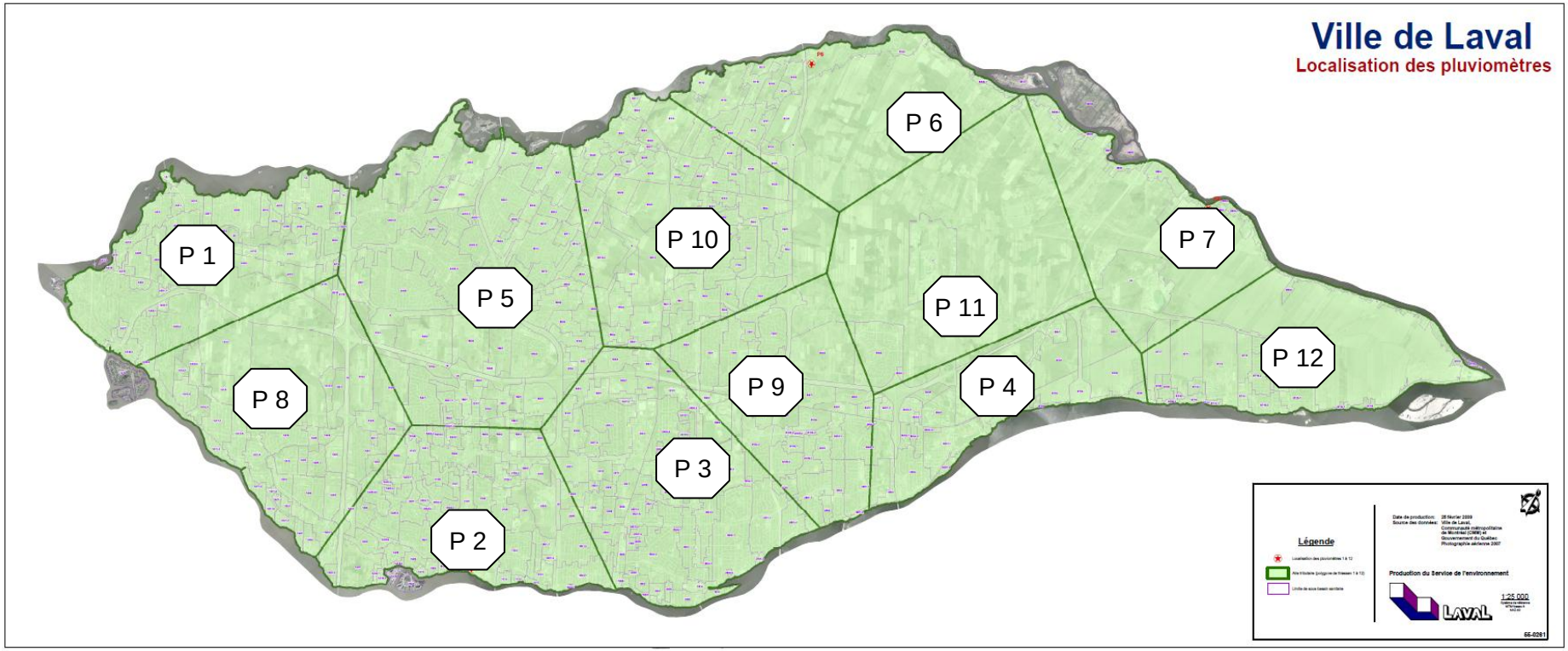


Figure 32 – Stations pluviométriques – 12 – Territoire de Laval

2.2.8 Système de télécommunication

Les systèmes de télécommunication comprennent le transmetteur radio/modem, et l'antenne située sur le toit du bâtiment de service, tel qu'illustré aux figures 32 et 33. La mise en place d'un système de téléphonie par fibre optique est actuellement en cours de réalisation.

Figure 33 – Transmetteur radio/modem

Figure 34 - Antenne

2.2.9 Systèmes de sécurité

Les systèmes de sécurité comprennent des détecteurs de fumée et de mouvement (anti-intrusion) installés au plafond de la salle de contrôle, un système d'ouverture d'urgence de la vanne crête en cas de panne du mécanisme d'activation motorisé, le tout relié à une sirène annonçant l'ouverture de la vanne, ainsi qu'une clôture entourant le site, tel qu'illustré aux figures 34, 35 et 36.

Figure 35 – Détecteur de fumée

Figure 36 – Détecteur de mouvement

Figure 37 – Clôture – affiche - alarme sonore d'ouverture de la vanne

2.2.10 Impact des conditions futures sur les infrastructures à l'étude

Les systèmes décrits ci-haut dont la durée de vie est de moins de 30 ans (électricité, contrôle et supervision, télécommunication, sécurité) vont demander des mises à niveau significatives pour maintenir leur fonctionnalité. Certains de ces équipements ont déjà été remplacés et/ou remis à niveau depuis leur installation initiale il y a un peu plus de 10 ans, et d'autres interventions similaires devraient être considérées à court ou moyen terme. On envisage notamment l'implantation d'un système de télécommunication par téléphonie d'ici quelques années.

L'ouvrage Belgrand a été construit en 1999 et sa vie utile restante devrait théoriquement être d'environ 70 ans pour le génie civil (bâtiment, murs latéraux, dissipateur d'énergie) et d'une quarantaine d'années pour les systèmes mécaniques (vanne à crête, vanne de régulation). La performance du réseau tributaire à l'ouvrage Belgrand pourrait être affectée par les changements climatiques en raison notamment de l'augmentation des débits de pointe en temps de pluie. Des mesures de contrôle devront être appliquées le cas échéant dans certains réseaux existants présentant des défaillances. Par ailleurs, dans l'hypothèse peu probable où l'ouvrage Belgrand serait encore en place sans modifications dans 30 ans, malgré qu'il ne rencontre pas actuellement les objectifs de rejet, on peut supposer que la fréquence et le volume des débordements, déjà excessifs, seraient accrus. Toutefois, tel que mentionné plus haut, il est acquis que ces ouvrages devront être modifiés avant d'atteindre la durée de vie utile théorique afin de rencontrer les objectifs de contrôle de débordement établis par les organismes gouvernementaux.

Par ailleurs, l'urbanisation du territoire tributaire de l'ouvrage Belgrand, qui atteint plus de 90 % actuellement, devrait se poursuivre au cours des prochaines années pour atteindre le stade ultime de développement d'ici une vingtaine d'années. La densification de certaines zones urbaines est également envisagée. Du point de vue hydraulique, ceci se traduira par de légères augmentations des débits de temps sec. Par ailleurs, pour les débits en temps de pluie, des mesures devront être envisagées pour d'une part, contrôler les débits de ruissellement de pointe, par une gestion des eaux de ruissellement innovante favorisant notamment l'infiltration et le maintien de zones perméables, et par la mise en œuvre d'autres techniques de rétention et de régulation déjà en application.

Ces diverses mesures de contrôle appliquées aux secteurs existants et à ceux à développer devraient permettre de conserver les ouvrages fixes existants (cours d'eau La Pinière et ponceaux) en évitant d'augmenter le débit de pointe d'une manière significative par rapport à la situation actuelle. Par ailleurs, l'atteinte des objectifs de contrôle des débordements demandera la construction de nouveaux ouvrages (tunnel de rétention ou autre), tel qu'établi précédemment.

2.3 Évaluation du risque

Le processus d'évaluation du risque auquel sont confrontés les différents éléments d'infrastructure à l'étude face aux facteurs climatiques considérés sera effectué autant aux conditions existantes qu'aux conditions futures résultant des changements climatiques anticipés, tel qu'établi à la section 2.1.4.

Pour ce faire, les variables climatiques retenues à la section 2.1.3 feront d'abord l'objet d'une analyse climatologique visant à établir leur probabilité d'occurrence aux conditions actuelles et futures, selon la méthodologie décrite au Protocole.

Les risques liés à chaque interaction climat-infrastructure seront ensuite évalués à l'aide de la matrice-type proposée par le Protocole, le tout faisant l'objet de discussions en atelier de travail avec l'ensemble des participants à l'étude.

2.3.1 Analyse climatologique

La méthode retenue pour l'analyse de la probabilité d'occurrence des variables climatiques est la méthode A, qui associe un indice de probabilité variant de 0 à 7 à différentes plages d'occurrences annuelles évaluées quantitativement (de 0 à plus de 2 fois par an), avec une appréciation qualitative (de très improbable à très probable), en

fonction du nombre d'occurrences par année de la variable considérée, tel que défini au tableau 2.

Tableau 2 Facteurs d'échelle de probabilité – Méthode A

Indice de probabilité d'occurrence	Probabilité	Nombre d'occurrences par an
0	négligeable ou non applicable	0
1	improbable / très improbable	0 à 0,05
2	faible	0,05 à 0,1
3	occasionnelle	0,1 à 0,25
4	modérée/possible	0,25 à 0,75
5	souvent	0,75 à 1,25
6	probable	1,25 à 2
7	certaine/ très probable	> 2

Les sources des données climatiques sont indiquées à la section 2.1.2. La période considérée pour les conditions existantes est généralement l'intervalle de 30 ans compris entre 1971 et 2000, soit la période la plus couramment citée dans les études climatiques actuellement disponibles. L'horizon 2041-2070 est retenu pour l'évaluation des conditions futures

Les données climatiques d'Environnement Canada de la station de l'aéroport international Montréal-Trudeau (Dorval) ont été de façon générale utilisées en raison de la proximité de la station avec les ouvrages à l'étude et de l'exhaustivité de ces données récoltées depuis plus de 60 ans.

Pour les fins de l'attribution des probabilités d'occurrence aux variables à l'étude, nous devons distinguer deux catégories de variables, soit les évènements rares (catégorie 1) et les évènements fréquents (catégorie 2, soit cycles gel/dégel, pluies verglaçantes, poudrerie et brouillard). Cette distinction permet d'éviter de fausser le calcul du risque en surestimant indûment la probabilité, et par conséquent le risque, associée à des évènements survenant fréquemment.

Dans le cas des variables climatiques de catégorie 1, nous déterminerons dans certains cas (exemple : Température maximale) un seuil critique permettant d'établir une probabilité représentative des conditions jugées critiques aux fins de l'étude (exemple : Température maximale : supérieure à 33°c, soit 0,63 fois par année sur 30 ans, donc probabilité de 4, ou modérée/possible aux conditions actuelles).

Pour les variables de catégorie 2, nous attribuerons une probabilité de 0,5 fois par an (une année sur 2) au nombre moyen d'évènements par année calculé durant la période de référence (exemple : cycles gel/dégel : 73 fois par année en moyenne, soit une

probabilité de 4, modérée/possible aux conditions actuelles). Cette probabilité moyenne pour les événements fréquents permet d'éviter de fausser les calculs de risque. En effet, si nous avions suivi la même démarche que celle des variables de la catégorie 1, la probabilité accordée à un événement qui revient 70 fois par année serait de 7, ce qui ne laisserait pas de marge pour évaluer une augmentation ou diminution de la probabilité de ce paramètre dans le futur. Cela donnerait des risques élevés pour des gravités modérées (Ex. : probabilité de 7 x gravité 3 = risque 21) en regard des autres interactions étudiées. Cette démarche a d'ailleurs été expliquée en détail dans un rapport produit en juin 2010 par GENIVAR (Toronto) dans le cadre d'une évaluation de vulnérabilité des infrastructures suivant le Protocole du CVIIP, soit : « *National Engineering Vulnerability Assessment of Public Infrastructure to Climate Change – Toronto and Region Conservation Authority Flood Control Dam Water Resources Infrastructure Assessment.* »

Enfin, nous déterminerons et validerons en atelier les probabilités à associer aux conditions futures, en se basant essentiellement sur une appréciation qualitative des tendances observées et des prédictions des modèles climatiques, en s'appuyant sur la documentation scientifique disponible (section 2.1.2). Ainsi, si la probabilité actuelle d'observer une température maximale supérieure à 33°c est qualifiée de modérée à possible durant une année donnée, soit un indice de 4 dans les conditions actuelles, nous convenons qu'elle passera potentiellement (sans toutefois que cela puisse être démontré hors de tout doute raisonnable) à 5, ou souvent, entre 0,75 à 1,25 fois par année, durant la période future considérée (2041-2070), en raison des changements climatiques.

Le choix des seuils des variables climatiques est établi en fonction des données disponibles pour la station de Dorval et il a fait l'objet de discussions en atelier. Le tableau résumé de ces variables est tiré du site internet d'Environnement Canada. Il est joint en annexe D.

Les résultats de l'analyse de chacune des 24 variables climatiques retenues initialement (section 2.1.3) sont détaillés ci-après.

i) Température maximale (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur maximum enregistrée durant la période : 37,6°C en 1975

Sommaire des données	Jours/année
Nombre de jours avec une température >20°C	112.7
Nombre de jours avec une température >30°C	7.57
Nombre de jours avec une température >33°C	0.63
Nombre de jours avec une température >35°C	0.03

Nous retiendrons pour cet élément un seuil de 33°C définissant une température très élevée, ou température maximale. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,63 par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des températures maximales à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 5 (souvent, 0,75 à 1,25 fois par année).

ii) Température minimale (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur minimum enregistrée durant la période: -37,8°C en 1957

Sommaire des données	Jours/année
Nombre de jours avec une température <-10°C	67,3
Nombre de jours avec une température <-20°C	16,94
Nombre de jours avec une température <-30°C	0,50

Nous retiendrons pour cet élément un seuil de -30°C définissant une température très basse, ou température minimale. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une diminution des occurrences

de températures très basses à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 3 (occasionnelle, de 0,1 à 0,25 fois par année).

iii) Vague de chaleur (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

L' « Encyclopédie canadienne » en ligne définit une vague de chaleur comme une période d'au moins 3 jours consécutifs avec des températures supérieures ou égales à 32^{o}c (référence : www.thecanadianencyclopedia.com).

De 1971 à 2000, 5 vagues ont été observées, ce qui présente un ratio de 0,17 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,17 par année, l'indice de probabilité est de 3 (occasionnelle, 0,1 à 0,25 fois par année).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des vagues de chaleur à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 4 (modérée/possible, 0,25 à 0,75 fois par année).

iv) Vague de froid (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Les vagues de froid ne sont pas définies de façon uniforme dans la documentation disponible. Pour les besoins de notre analyse, nous l'associerons à une période de trois jours consécutifs ou plus où la température maximale est inférieure à -10^{o}c et la température minimale inférieure à - 25 ^{o}c.

De 1971 à 2000, dix périodes répondant à ce critère ont été enregistrées à Montréal, soit une fréquence d'occurrence de 0,33 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,33 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une diminution des vagues de froid à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 3 (occasionnelle, 0,1 à 0,25 fois par année).

v) Variabilité maximale de la température (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Il n'y a pas de définition reconnue de la variabilité maximale de température. Pour les besoins de l'analyse, nous l'établirons comme étant le nombre de jours par année où la température varie de plus 25 °c.

De 1971 à 2000, on a observé six jours répondant à ce critère, soit une fréquence d'occurrence de 0,2 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,2 fois par année, l'indice de probabilité est de 3 (occasionnelle).

Probabilité aux conditions futures : indice de 3 (occasionnelle, aucun changement significatif prévisible pour cette variable selon les tendances observées et les modèles de climat futur).

vi) Cycles de gel et dégel (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Les cycles de gel-dégel sont quantifiés comme étant le nombre de jours par année où la température maximale est supérieure à 0^0c et la température minimale inférieure à 0^0c. Durant la période considérée, nous avons dénombré 2187 jours, répondant à ce critère, pour une fréquence annuelle de 72,9 jours/année.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 73 cycles de gel –dégel, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures et les scénarios de climat futur: Il a été convenu que le nombre de cycles de gel-dégel ne variera pas significativement dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070), mais que la période d'occurrence pourrait se déplacer plus tôt en saison hivernale. Ce déplacement plus tôt en hiver fera augmenter le débit de pointe et le volume des pluies hivernales. Ce changement est déjà inclus dans Pluies hivernales. À titre indicatif, le déplacement de la pointe des débits dans le futur est illustré par un graphique comparant l'hydrogramme aux conditions actuelles

(1961-2007) à celui des conditions futures (2041-2070) selon divers scénarios climatiques pour le bassin versant du Nord Québécois. Ce graphique, montré à la figure 38, est tiré de la page 32 d'un document publié en 2010 par l'organisme Ouranos et qui a pour titre ‘*'Savoir s'adapter aux changements climatiques"*. Il est important de souligner que le nombre de cycles gel-dégel pourrait demeurer le même car la longueur de la saison hivernale diminuera. Des cycles gel-dégel pourront toutefois apparaître au cours de la saison hivernale, pendant des mois où il est moins habituel d'en avoir.

L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

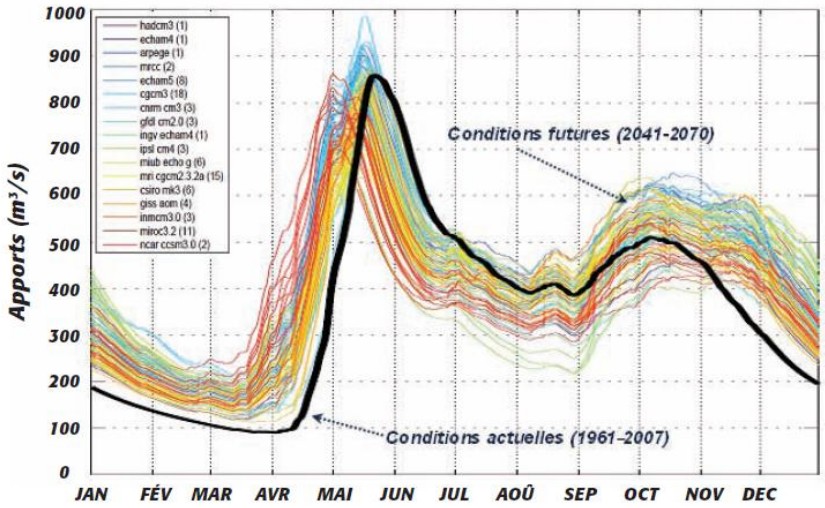


Figure 38 – Comparaison des hydrogrammes aux conditions actuelles et futures pour le bassin versant du Nord Québécois

vii) Fortes pluies (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

La fréquence des fortes pluies est généralement définie comme étant le nombre de jours par année pendant lesquels 50 mm ou plus de pluie sont enregistrés durant une période de 24 heures.

À la station de l'aéroport Montréal- Trudeau, de 1971 à 2000, on a dénombré 12 jours où on a enregistré 50 mm de pluie ou plus pendant 24 heures, pour une fréquence d'occurrence de 0,4 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,4 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des fortes pluies à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 5 (souvent, 0,75 à 1,25 fois par année).

viii) Épisodes de fortes pluies durant 5 jours (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Les épisodes de fortes pluies seront définis pour les besoins de l'analyse comme étant le nombre de périodes de 5 jours consécutifs par année où on a enregistré des précipitations de plus de 100 mm de pluie, pour la période de 1971 à 2000. Selon les données analysées, trois périodes répondent à ce critère durant l'intervalle de 1971 à 2000, soit une fréquence de 0,1 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Il est à noter que si l'on abaissait le seuil à 90 mm. Le nombre d'épisodes dénombrés doublerait, passant à six pour une fréquence de 0,2 durant la période analysée.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrence de 0,1 fois par année, l'indice de probabilité est de 3 (occasionnelle, de 0,1 à 0,25 fois par année), à la limite inférieure de la plage, près de la cote 2, ou fréquence faible.

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des fortes pluies à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeurera donc à 3, mais avec augmentation possible de la fréquence à l'intérieur de la fourchette (occasionnelle, 0,1 à 0,25 fois par année).

ix) Pluies hivernales (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Pour les besoins de l'analyse, la variable « pluies hivernales » représente le nombre de jours dans une année où on a enregistré 25 mm ou plus de pluie pendant les mois de janvier, février et mars.

Les données provenant de la station de l'aéroport Montréal-Trudeau indiquent que dix journées répondent à ce critère durant la période 1971 à 2000, pour une fréquence d'occurrence de 0,33 jours par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrence de 0,33 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible, de 0,25 à 0,75 fois par année).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation de la fréquence des pluies hivernales à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc fixé à 5 (0,75 à 1,25 fois par année).

x) Pluies verglaçantes (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau. Cette variable représente le nombre de jours par année où l'on a enregistré de la pluie verglaçante. Durant la période considérée, de 1971 à 2000, Environnement Canada a établi cette fréquence à 13,08 jours par année.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 13 journées avec pluie verglaçante, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des pluies verglaçantes dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

xi) Tempête de verglas

Sources des données :

- Université de Sherbrooke : http://bilan.usherbrooke.ca/bilan/pages/evenements/1416.html

- Météo média : http://www.meteomedia.com/index.php?product=glossary&pagecontent=glossaryindex&pagecontent=verglas

Il y a eu deux tempêtes majeures de verglas au cours des cinquante dernières années, correspondant en gros à la période d'analyse de référence, soit en février 1961

(référence : Université de Sherbrooke) avec 30 mm de pluie verglaçante et en janvier 1998 avec plus de 100 mm de pluie verglaçante (références : Université de Sherbrooke et Météomédia).

Ceci représente une fréquence annuelle de l'ordre de 0,04. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,04 fois par année, l'indice de probabilité est de 1 (improbable/très improbable).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des tempêtes de verglas dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 1 (improbable/très improbable).

xii) Précipitations de neige (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur maximum enregistrée durant la période : 43,2 cm en 1971

Sommaire des données	Jours/année
Nombre de jours avec une neige > 5 cm	14,3
Nombre de jours avec une neige > 10 cm	5,6
Nombre de jours avec une neige > 25 cm	0,4

Nous retiendrons pour cet élément un seuil de 25 cm définissant une précipitation de neige abondante. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,4 par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des précipitations de neige abondante dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

xiii) Accumulation de neige (neige au sol) (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur maximum enregistrée durant la période : 102 cm en 1971

Sommaire des données	Jours/année
Nombre de jours avec une couverture de neige > 5 cm	86,8
Nombre de jours avec une couverture de neige > 10 cm	65,4
Nombre de jours avec une couverture de neige > 20 cm	33,1
Nombre de jours avec une couverture de neige > 50 cm	2,5
Nombre de jours avec une couverture de neige > 70 cm	0,53

Nous retiendrons pour cet élément un seuil de 70 cm définissant une accumulation importante de neige au sol.

Selon les données analysées pour la période de 1971 à 2000, une fréquence de 0,53 journée par année répond à ce critère. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,53 par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une diminution de l'accumulation de neige au sol à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 3 (occasionnelle, 0,1 à 0,25 fois par année).

N.B : Cette variable n'a pas été retenue suite à la discussion en atelier.

xiv) Poudrerie (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Selon les données analysées, on a enregistré 10,64 journées par année avec poudrerie durant la période de référence.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 11 journées de poudrerie dans une année, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des épisodes de poudrerie dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

xv) Foudre (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada (http://www.ec.gc.ca/foudre-lightning/default.asp?lang=Fr&n=4871AAE6-1)

La fréquence de foudroiement nuage-sol par km^2 et par année à Montréal a été établie à 0,80. Cette donnée provient d'une étude menée par Environnement Canada pour la période de janvier 1999 à décembre 2008.

Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,8 fois par année, l'indice de probabilité est de 5 (souvent).

Probabilité aux conditions futures : Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des épisodes de foudre dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 5 (souvent).
La probabilité que la foudre affecte le système à l'étude serait toutefois vraisemblablement plus faible.

xvi) Précipitations de grêle (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

La grêle se définit comme une précipitation qui tombe sous forme de grains de glace ou grêlons de différentes formes qui sont généralement observés au cœur des orages. Environnement Canada définit un grêlon comme un grain de glace de 5 mm de diamètre ou plus (http://pnr.hazards.ca/hail_fr.html).

Selon les données analysées, on a enregistré 0,96 journée par année avec précipitations de grêle durant la période de référence. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrence de 0,96 fois par année, l'indice de probabilité est de 5 (souvent, de 0,75 à 1,25 fois par année).

Probabilité aux conditions futures : Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des épisodes de grêle dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 5 (souvent).

xvii) Ouragans et tempêtes tropicales

La région de Montréal ne subit pas directement les effets des ouragans formés au large des côtes des États-Unis. Ces ouragans engendrent seulement des tempêtes de pluie en automne. Ce phénomène est déjà considéré dans l'élément « Fortes pluies ».

Nous associons donc une probabilité de 1 (fortement improbable) à cette variable aux conditions existantes, avec possibilité d'une légère augmentation d'occurrence à l'horizon futur (2041-2070), soit un indice de 2 (faible de 0,05 à 0,1 fois par année).

N.B : Cette variable n'a pas été retenue suite à la discussion en atelier.

xviii) Vitesse des vents (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur maximum enregistrée durant la période : 161 km/h en 1964 (rafales) et 90 km/h en 1959 (vitesse extrême)

Sommaire des données	Jours/année
Nombre de jours avec une vitesse des vents > 52 km/h	13,5
Nombre de jours avec une vitesse des vents > 63 km/h	3,3

Nous retiendrons pour cet élément un seuil de 63 km/h définissant des vents violents.

Selon les données analysées pour la période de 1971 à 2000, 3,3 journées par année répondent à ce critère.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 4 journées de vents violents dans une année, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des épisodes de vents violents dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

xix) Tornades (1971-2000)

Source des données : Climat Québec (http://www.climat-quebec.qc.ca/home.php?id=p23&mpn=ev_mto_sig)

Selon le site Climat-Québec.qc.ca, une seule tornade, celle du 11 juin 2003, a été enregistrée dans la région de Laval entre 1985 et 2009, soit pendant une période de 24 années comprise dans la période de référence de 1971 à 2000. Ceci représente une fréquence d'occurrence de 0,04 tornade par année.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,04 fois par année, l'indice de probabilité est de 1 (improbable /très improbable).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des tornades dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité associé aux conditions futures demeure donc inchangé, à 1 (improbable /très improbable).

xx) Périodes de sécheresse (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Pour les besoins de l'analyse, les périodes de sécheresse sont définies comme étant des épisodes de 10 jours ou plus sans précipitation. Durant la période de 1971 à 2000, on a dénombré 38 périodes répondant à ce critère sur l'année entière, incluant les mois d'hiver, pour une fréquence d'occurrence de 1,27.

Toutefois, si l'on exclut les mois d'hiver, retenant ainsi les évènements jugés critiques pour leur impact sur les infrastructures à l'étude, le nombre de périodes de sécheresse en saison estivale seulement (comprise entre les mois de mai et septembre) est réduit à 18, pour une fréquence de 0,6 fois par année. Il s'agit d'une variable de catégorie 1.

Probabilité aux conditions existantes : avec une fréquence d'occurrence de 0,6 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures : Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des périodes de sécheresse à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 5 (souvent, 0,75 à 1,25 fois par année).

xxi) Brouillard (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Cette variable est définie comme étant le nombre de jours par année avec un brouillard réduisant la visibilité à moins de 1 km.

Durant la période de référence de 1971 à 2000, le brouillard a été observé une moyenne de 16,68 jours par année. Toutefois, il est précisé que la visibilité a été réduite sur une distance de moins de 1 km durant 62,7 heures par année, sur une distance de 1 à 9 km, durant 1092,1 heures par année, et enfin, sur une distance de plus de 9 km durant 7610,8 heures par année. Il est jugé pour les fins de l'analyse que le premier critère (visibilité réduite sur moins de 1 km) doit être utilisé.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 63 heures de brouillard, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Il a été convenu que rien ne nous permet de prédire une modification significative de la fréquence d'occurrence des épisodes de brouillard dans les conditions climatiques de l'horizon futur (2041-2070). L'indice de probabilité aux conditions futures demeure donc inchangé, à 4 (modérée/possible).

N.B : Cette variable n'a pas été retenue suite à la discussion en atelier.

xxii) Orages (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Cette variable représente le nombre de jours par année où l'on a observé des orages. Selon le site de Météo média (www.meteomedia.com), l'orage naît d'un cumulonimbus, ce gigantesque nuage en forme d'enclume qui, une fois mature, provoque pluie, grêle, tonnerre, éclairs et vents violents.

Durant la période de référence de 1971 à 2000, les orages ont été observés une moyenne de 24,4 jours par année dans la région de Montréal.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 24 journées d'orage dans une année, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation de l'intensité et de la fréquence des orages à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 5 (souvent, 0,75 à 1,25 fois par année).

xxiii) Refroidissement éolien (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur minimum enregistrée durant la période: -49.1^{0}c en 1976

Sommaire des données – températures ressenties	Jours/année
Nombre de jours avec une température ressentie <-20^{o}c	47,07
Nombre de jours avec une température ressentie <-30^{o}c	11,5
Nombre de jours avec une température ressentie <-40^{o}c	0,86

Nous retiendrons pour cette variable un seuil critique de -30°c. La fréquence observée est par conséquent de 11,5 jours par année.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 12 jours avec une température ressentie inférieure à -30°c, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une diminution des occurrences de températures très basses à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 3 (occasionnelle, de 0,1 à 0,25 fois par année).

xxiv) Humidex (1971-2000)

Source des données : Environnement Canada, station de l'aéroport Montréal-Trudeau.

Valeur minimum enregistrée durant la période: 46,8^{0}c en 1975

Sommaire des données –températures ressenties	Jours/année
Nombre de jours avec une température ressentie >30^{o}c	44,7
Nombre de jours avec une température ressentie >35^{o}c	13,5
Nombre de jours avec une température ressentie >40^{o}c	2,1

Nous retiendrons pour cette variable un seuil critique de 35°c. La fréquence observée est par conséquent de 13,5 jours par année.

Il s'agit d'une variable de catégorie 2 (évènement fréquent). Par conséquent, on peut donc attribuer à une année sur deux la possibilité de dépasser le nombre de 14 jours avec une température ressentie supérieure à 35°c, ce qui correspond à une probabilité d'occurrence de 0,5.

Probabilité aux conditions existantes : avec un nombre d'occurrences de 0,5 fois par année, l'indice de probabilité est de 4 (modérée/possible).

Probabilité aux conditions futures: Les tendances observées au cours de la dernière décennie et les modèles de climat futur penchent pour une augmentation des températures maximales à l'horizon 2041-2070. L'indice de probabilité associé aux conditions futures sera donc de 5 (souvent, 0,75 à 1,25 fois par année).

xxv) Événements climatiques successifs

Il a été convenu lors de l'atelier de travail que les combinaisons des événements climatiques successifs se retrouvaient dans tous les cas considérés indirectement dans l'une ou l'autre des variables climatiques, ce qui nous a amené à les rejeter, compte tenu qu'il n'est pas possible de traiter ces combinaisons d'événements sur la même base probabiliste que les événements individuels.

2.3.2 Évaluation du risque – Méthodologie

La méthodologie d'évaluation du risque décrite au Protocole utilise une formule reliant le degré de risque (R) pour chaque interaction climat-infrastructure à sa probabilité d'occurrence (P) et à sa gravité (G), soit :

$$R = P \times G$$

Les probabilités d'occurrence des variables climatiques ont été déterminées suite à l'analyse climatologique de la section précédente, sujet à discussion et validation en atelier.

Le degré de gravité pour chaque interaction sera attribué suite aux discussions en atelier. La méthode E proposée au Protocole, de nature qualitative, est retenue pour cet exercice (voir tableau 3). L'échelle de gravité varie de 0 (négligeable ou non applicable) à 7 (perte de ressources extrême/fréquente/permanente).

Tableau 3 Facteurs d'échelle de gravité – Méthode E

Indice de gravité	Gravité des conséquences et des effets
0	Négligeable ou non applicable
1	Changement mesurable très faible/peu probable/rare
2	Changement dans l'aptitude au service faible/rare/limité
3	Perte occasionnelle d'une certaine capacité
4	Perte modérée d'une certaine capacité
5	Perte de capacité et perte d'une certaine fonction probablement régulières
6	Perte de fonction importante/probable/critique
7	Perte de ressources extrême/fréquente/permanente

Le risque lié à chaque interaction doit être évalué selon différents critères de performance. À partir des « considérations relatives à la réaction sur la plan de la performance » suggérées au Protocole, nous avons retenu les critères suivants :

- Conception structurelle
- Fonctionnalité
- Bassin versant, eaux de surface et eaux souterraines
- Exploitation, entretien et performance des matériaux
- Intervention en cas d'urgence
- Aspects relatifs aux assurances
- Considérations liées aux politiques
- Effets sociaux

Deux matrices d'évaluation de risque reprenant le modèle suggéré au Protocole (conditions climatiques existantes et futures) ont été constituées pour discussion en atelier.

Pour chaque élément d'infrastructure, il était requis d'établir s'il y a ou non une interaction avec chacune des variables climatiques, et, le cas échéant, d'en établir la gravité.

Le résultat prend la forme d'une grille où les risques sont quantifiés sur une échelle de 0 à 49. Le degré d'intensité du risque peut être qualifié selon les seuils indiqués au tableau suivant.

Échelle de risque	Seuil	Réaction
< 12	Risque faible	Aucune mesure nécessaire dans l'immédiat
12 - 36	Risque moyen	Mesures (analyse de l'ingénierie) p-e requises
> 36	Risque élevé	Mesures immédiates requises

2.3.3 Atelier de travail

Un atelier a été tenu le 13 juillet 2011 à la station d'épuration La Pinière, précédé d'une visite sur le site de l'ouvrage Belgrand la veille (figures 39,40 et 41).

Figure 39 – Visite de l'ouvrage Belgrand

Figure 40 – Atelier de travail

Figure 41 – Atelier de travail

Le programme de l'atelier et de la visite est fourni en annexe A.

Les participants à l'atelier ont été répartis en trois groupes, chacun responsable d'évaluer le risque associé à deux ou trois catégories d'éléments d'infrastructure, selon le tableau suivant.

Groupes	Participants	Éléments d'infrastructures
	Guy Félio – Ingénieurs Canada	
# 1	Denis Burroughs – Ville de Laval	Administration/opération
	Jean-François Morin – Ville de Laval	Systèmes de sécurité
	Pierre Lamarre - GENIVAR	
	Pierre Gyselinck –Ville de Laval	Réseaux tributaires amont
#2	Martine Galarneau – Ville de Laval	Structures fixes
	Dominique Chartray – Ville de Laval	Systèmes mécaniques
	Mario Gagné – Ville de Laval	
	Caroline Larrivée - Ouranos	
#3	Raynald Macher-Poitras - CERIU	Systèmes d'alimentation électrique
	Sylvain Houde – Ville de Laval	Systèmes de contrôle et supervision
	Kamal Hamaï - GENIVAR	Systèmes de télécommunication

Les résultats de l'ensemble de l'évaluation de risque ont ensuite été révisés en groupe avant la clôture de l'atelier.

Les matrices résultant de l'exercice sont fournies à l'annexe A. Les valeurs de risque égales ou supérieures à 12 ont été surlignées en jaune.

Les principales conclusions de l'évaluation de risque sont les suivantes.

- Au total, 630 interactions ont été identifiées, parmi lesquelles 158 ont été considérées comme ayant un potentiel de risque à évaluer;
- 105 interactions (66 %) ont été jugées à faible risque (< 12) aux conditions climatiques existantes et futures;
- 50 interactions (32 %) ont été jugées à risque moyen (entre 12 et 36) aux conditions climatiques existantes et futures;
- 3 interactions (2%) ont été jugées à faible risque aux conditions existantes, mais à risque moyen aux conditions climatiques futures;
- Aucune interaction n'a été jugée à risque élevé (> 36), la valeur la plus élevée résultant de l'évaluation étant de 30 (automates programmables /humidex, futur);
- 72 interactions (46 %) ont vu leur degré de risque augmenter par suite des changements climatiques selon l'évaluation, la plus forte augmentation, soit 6, étant attribuée aux interactions entre les variables climatiques « vagues de chaleur » et « humidex », et les éléments d'infrastructure « génératrice », « batterie d'urgence (UPS) » et « automates programmables ».
- 11 interactions (7 %) ont vu leur degré de risque diminuer par suite des changements climatiques selon l'évaluation, la plus forte diminution, soit 5, étant

attribuée aux interactions entre les variables climatiques « vagues de froid » et « température très basse », et l'élément d'infrastructure « antenne ».

- 75 interactions (47 %) ont vu leur degré de risque inchangé par suite des changements climatiques selon l'évaluation. Celles-ci sont principalement associées aux variables climatiques suivantes : variabilité de la température quotidienne, cycle gel-dégel, fortes pluies durant 5 jours consécutifs, pluie verglaçante, tempête de verglas, fortes neiges, poudrerie, foudre, grêle, forts vents et tornades.
- Les risques les plus élevés (valeur entre 24 et 30) ont été attribués aux interactions entre les variables climatiques vagues de chaleur et humidex, et les éléments d'infrastructure suivants : automates programmables, génératrice, batterie d'urgence (UPS), transmetteur radio/modem, antenne et système de téléphonie.

Le tableau intitulé « Comparaison des risques existants et futurs » fourni à l'annexe A présente un sommaire des facteurs de risque avec leur variation pour chaque interaction aux conditions climatiques existantes et futures, les risques supérieurs à 12 étant surlignés en jaune.

2.4 Analyse de l'ingénierie

Les interactions climat-infrastructure auxquelles on a attribué une valeur de risque comprise entre 12 et 36 à l'étape 3 feront l'objet de l'analyse plus approfondie proposée à l'étape 4 du Protocole.

Cette analyse consiste en résumé à établir la capacité de l'infrastructure à supporter les charges générées aux conditions climatiques actuelles et futures, donc à en déterminer la vulnérabilité.

Les matrices exposant les résultats de cette analyse, qui reprennent le modèle proposé au protocole, sont fournies à l'annexe B.

2.4.1 Analyse de l'ingénierie - Méthodologie

Les principales étapes de cette analyse se résument comme suit.

i) Détermination de la charge existante et future

La charge existante correspond à la probabilité d'occurrence de la variable climatique considérée, tel qu'établie à l'analyse climatologique de l'étape 3. Lorsqu'une fréquence d'occurrence pouvait être calculée, cette valeur correspond à la charge existante. Dans les cas où une fréquence d'occurrence ne pouvait être établie, la charge existante correspond à la valeur supérieure de l'intervalle d'occurrence associé à l'indice de probabilité attribué à la variable en cause.

Par exemple, dans le cas des fortes pluies, définies comme étant le nombre de jours par année avec des précipitations de plus de 50 mm de pluie, la fréquence historique a été établie à 0,4 fois par année. La valeur de 0,4 sera donc retenue comme charge existante.

Dans le cas de la variable «orages», définie comme étant le nombre de jours d'orage par année, un indice de probabilité de 4 a été attribué aux conditions existantes, soit une probabilité « modérée », en comparaison à la probabilité de 5 (souvent) attribuée pour cette même variable aux conditions futures. La valeur de la charge existante sera donc établie à 0,75, soit la valeur supérieure de l'intervalle de l'indice 4 (0,25 à 0,75) au tableau 2 de la section 2.3.1. La valeur supérieure de l'intervalle est retenue puisqu'elle représente le scénario le plus défavorable, donc une approche conservatrice.

Quant à la charge future, ou charge totale, elle résulte des changements climatiques, ainsi que des autres changements tels que ceux liés au développement urbain, à la réhabilitation des réseaux et autres modifications à venir. Ces derniers changements n'étant toutefois pas quantifiables selon la même approche probabiliste, ils seront considérés de façon qualitative dans l'évaluation de la capacité de l'infrastructure et de sa vulnérabilité, aux étapes subséquentes de l'analyse.

La charge future sera donc considérée comme étant la valeur supérieure de l'intervalle d'occurrence correspondant à l'indice de probabilité attribuée aux conditions futures. Dans les cas où la probabilité demeure inchangée dans le futur, cette valeur reste aussi inchangée par rapport aux conditions existantes.

Ainsi, dans le cas des fortes pluies, on a convenu que l'indice de probabilité passerait à 5 dans les conditions futures, soit un intervalle d'occurrence de 0,75 à 1,25. La charge future, ou charge totale, sera donc de 1,25 pour cette variable, la variation (augmentation de 1,25 – 0,4 = 0,85) étant consignée à la colonne « charge liée aux changements climatiques ».

Dans le cas de la variable «orages», la charge future correspondant à la valeur supérieure de l'intervalle de l'indice de probabilité 5 est de 1,25, et la variation

(augmentation de 1,25 – 0,75 = 0,5) est consignée à la colonne de la charge liée aux changements climatiques.

ii) Détermination de la capacité existante et future

Comme il est difficile de représenter la capacité des différents .éléments d'infrastructure selon une approche probabiliste compatible avec la méthodologie de l'évaluation de risque proposée, celle-ci sera évaluée de façon qualitative, à partir d'un jugement d'ingénierie. Des commentaires seront ajoutés à cet effet à la colonne « commentaires » de la matrice d'analyse d'ingénierie, et le tout sera discuté aux étapes ultérieures de l'analyse.

La mention « n/a » apparaissant aux colonnes « capacité due au vieillissement » et « capacité additionnelle de l'élément d'infrastructure » ne signifie donc pas que ces valeurs sont nulles, mais plutôt qu'aucune valeur numérique ne leur a été attribuée (non/attribuée).

Par conséquent, les indications apparaissant aux colonnes capacité existante et future (colonne « capacité totale » de la matrice) prendront la forme de comparaison avec les charges existante et future, selon qu'elles sont soit égales (aucun cas relevé), supérieures ou inférieures à celles-ci.

iii) Détermination de la vulnérabilité et du déficit de capacité

Le Protocole définit la vulnérabilité (V_R) de l'infrastructure aux changements climatiques comme étant le rapport entre la charge future Ch_T (ou charge totale selon la désignation du Protocole) et la capacité future C_T (ou capacité totale), soit

$$V_R = Ch_T / C_T$$

Compte tenu de la démarche proposée pour l'évaluation des capacités et charges, ce rapport prendra la forme d'une relation comparative >1 ou <1, selon que la charge future est évaluée potentiellement supérieure ou inférieure à la capacité future présumée de l'infrastructure considérée.

Dans le cas d'une vulnérabilité supérieure à 1, le déficit de capacité C_D sera considéré supérieur à 0, et dans le cas d'une vulnérabilité inférieure à 1 (pas de vulnérabilité), ce déficit de capacité sera alors considéré nul.

Tel que mentionné précédemment, les commentaires appropriés pour chaque interaction faisant l'objet de l'analyse détaillée seront ajoutés à la colonne prévue à cette fin à la matrice, et ils feront l'objet de discussions aux étapes ultérieures de l'analyse.

2.4.2 Sommaire des résultats - Analyse de l'ingénierie

Les résultats complets de l'analyse de l'ingénierie apparaissent à la matrice fournie à l'annexe B.

La méthodologie proposée par le Protocole a permis d'établir explicitement la vulnérabilité des éléments d'infrastructure aux changements climatiques, en tenant compte du rapport entre la charge totale future et la capacité future présumée de l'ouvrage. On peut résumer les résultats de cette analyse comme suit.

- 53 interactions ont été analysées à cette étape;
- 24 interactions (45 %) ont été jugées vulnérables, tel que résumé au tableau 4;
- 5 (21 %) de ces interactions jugées vulnérables le sont sous réserve d'une validation ultérieure de la capacité des ouvrages futurs – soit celles mettant en cause le collecteur La Pinière et le ruisseau La Pinière aval, en relation aux fortes pluies (> 50 mm), aux fortes pluies consécutives sur 5 jours et aux orages;
- 19 (79 %) de ces interactions jugées vulnérables concernent les équipements électriques et électroniques (automates, alimentation électrique, télécom, etc.) en relation à la chaleur et l'humidité élevées;
- 22 (92 %) des 24 interactions jugées vulnérables avaient vu leur degré de risque augmenter entre les conditions existantes et futures à l'étape 3;
- Les 2 interactions jugées vulnérables dont le risque avait été jugé inchangé par suite des changements climatiques sont celles impliquant le collecteur La Pinière et les fortes pluies durant 5 jours.

Tableau 4 Éléments d'infrastructure vulnérables aux changements climatiques

Élément d'infrastructure	Interaction variable climatique	Commentaires
Collecteur La Pinière	Fortes pluie (> 50 mm) Fortes pluies 5 jours Orages	Déficit possible de capacité aux conditions ultimes à valider – mesures de gestion des eaux pluviales, pluie de conception, ouvrages futurs constituent des éléments-clés de cette analyse à venir.
Ruisseau La pinière aval	Fortes pluie (> 50 mm) Fortes pluies 5 jours Orages	Idem commentaire précédent
Panneau d'alimentation	Vague de chaleur	Les équipements actuels d'alimentation électrique et instrumentation/contrôle présentent certaines déficiences dans des conditions de chaleur et d'humidité élevées. Cette vulnérabilité pourra être surmontée lors de leur remplacement.
Génératrice	Vague de chaleur	Idem commentaire précédent
Batterie d'urgence (UPS)	Vague de chaleur	Idem commentaire précédent
Automates programmables	Vague de chaleur Humidex	Idem commentaire précédent
Équipements acquisition données (sondes, etc)	Vague de chaleur Humidex Fortes pluies Orages	Idem commentaire précédent + Certains équipements (Sondes hauteur-vitesse) peuvent être affectés par des débits élevés.
Station pluviométrique	Vague de chaleur Humidex	Les appareils d'enregistrement de données pluviométriques présentent certaines déficiences dans les conditions de chaleur et d'humidité élevées. Cette vulnérabilité pourra être surmontée lors de leur remplacement.
Transmetteur radio/modem	Vague de chaleur Humidex Orages	Les équipements de télécommunication présentent certaines déficiences dans des conditions de chaleur et d'humidité élevées. Cette vulnérabilité pourra être surmontée lors de leur remplacement.
Antenne	Vague de chaleur Humidex	Idem commentaire précéd**ent**
Téléphonie	Vague de chaleur Humidex	Idem commentaire précédent

2.5 Recommandations

2.5.1 Limites et hypothèses de base

i) Limites

Cette étude traite de l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures aux conditions climatiques existantes et futures. Dans la mesure du possible, le cadre temporel retenu pour les projections de changement climatique correspond à la période de 30 ans comprise entre les années 2041 et 2070. L'évaluation de la vulnérabilité des ouvrages à l'étude au-delà de cet horizon n'a pas été effectuée, en raison notamment du fait que la configuration actuelle possède un caractère temporaire et que certains de ces ouvrages devront être remplacés ou modifiés de façon significative d'ici une dizaine d'années afin de rencontrer les objectifs de contrôle des débordements établis par les organismes gouvernementaux. Ces nouveaux aménagements dont la conception reste à définir affecteront significativement le comportement de l'ensemble des éléments d'infrastructures traités dans cette étude.

Les données climatiques d'Environnement Canada issues de la station de l'aéroport international Montréal-Trudeau (Dorval) ont été principalement utilisées en raison de la proximité de la station avec les ouvrages à l'étude, et de l'exhaustivité de ces données récoltées depuis plus de 60 ans. Dans le cas de certains paramètres climatiques (verglas, foudre, ouragan, tornade), l'information était ou bien non-disponible sous la forme voulue à partir des sources identifiées ci-haut, ou bien elle s'appliquait à une région plus vaste, d'où une précision moindre à l'échelle du territoire étudié. Il a alors été nécessaire de recourir à d'autres sources (sites internet, articles de journaux, etc.) qui sont identifiées dans la section traitant de l'analyse climatologique au rapport d'étude.

L'évaluation des tendances climatiques a été effectuée à partir des données recueillies dans divers articles scientifiques, et par suite de discussions avec les membres du comité consultatif possédant une expertise en climatologie. Aucune étude climatologique spécifique n'a été réalisée dans le cadre de ce mandat.

Les recommandations de cette étude sont influencées par l'expérience et les connaissances des auteurs de l'étude ainsi que des participants à l'atelier et au Comité consultatif, soit des ingénieurs et du personnel technique issu du domaine municipal et de l'hydrologie urbaine ainsi que des spécialistes en adaptation aux changements climatiques de l'organisme Ouranos. D'autres intervenants comme, par exemple, des représentants des travaux publics, des spécialistes de l'aménagement urbain ou du

domaine des assurances auraient pu contribuer à cette étude en apportant un point de vue différent.

ii) Sources d'information – Infrastructures

Les sources et données fournies par Ville de Laval concernant l'infrastructure comprennent:

- Plans de détail de conception - construction initiale (1999) et travaux correctifs (2002);
- Cahier des exigences environnementales, chapitre II, Volet 1, Bassin de l'usine La Pinière, volumes 1 à 7, - Plans d'ensemble - Croquis et Fiches techniques - Ouvrage L-208 (Belgrand);
- Rapports d'étude d'avant-projet (1995 et 1997);
- Manuel d'exploitation (2000) et fiches d'entretien des équipements (SRC1);
- Fiches de suivi des ouvrages de surverse.

iii) Sources d'information – autres changements

Par ailleurs, la Ville de Laval nous a communiqué certains rapports d'étude traitant des solutions envisagées au cours des années 1990-1994 pour l'atteinte d'un niveau de contrôle des débordements se rapprochant des objectifs poursuivis par les organismes gouvernementaux.

La Ville de Laval nous a également informés des projections de développements futurs dans le territoire du bassin de l'ouvrage Belgrand, à l'aide de plans-concepts d'aménagement de nature confidentielle.

La stratégie de contrôle de débordement à venir sera l'occasion d'actualiser les études initiales en tenant compte notamment de l'évolution des connaissances technologiques, des données les plus récentes sur la pluie et le climat, des projections de développement urbain ainsi que des objectifs de contrôle à respecter.

iv) Sources d'information – climat

L'analyse climatologique a été réalisée à partir de diverses sources d'information.

- Environnement Canada - Normales climatiques 1971-2000;
- Environnement Canada - Dangers atmosphériques - Québec;
- Environnement Canada - Données climatiques en ligne;
- Environnement Canada - Données climatiques quotidiennes canadiennes;
- Réseau canadien des scénarios de changements climatiques 1971-2000;

- Panel intergouvernemental sur le changement climatique - rapport de l'atelier de travail 1;
- "Changes in Daily and Extreme Temperature and Precipitation Indices for Canada over the Twentieth Century", Lucie A. Vincent et Éva Mekis, Atmosphere-Ocean 44 (2) 2006, 177 -193, Canadian Meteorological and Oceanographic Society;
- Articles scientifiques et sites internet divers.

2.5.2 Recommandations

i) Recommandations relatives aux éléments d'infrastructure jugés vulnérables

Les éléments d'infrastructure jugés vulnérables aux changements climatiques tel qu'apparaissant au tableau 4 (section 2.4.2) se regroupent essentiellement en deux catégories :

(a) Le collecteur et le ruisseau La Pinière en aval de l'ouvrage Belgrand, pour lesquels on a identifié une vulnérabilité potentielle aux fortes pluies (orages et autres) aux conditions futures;
(b) Les équipements d'alimentation électrique, d'instrumentation et contrôle et de télécommunication, qui présentent une vulnérabilité aux conditions de chaleur et d'humidité élevées.

a) Dans le premier cas, il est généralement reconnu que la fréquence et l'intensité des débits de pointe de ruissellement urbain risquent d'augmenter avec les changements climatiques. En d'autres termes, pour une récurrence donnée, par exemple, 10 ans, l'intensité de la pluie (courbe Intensité-durée-fréquence) établie statistiquement risque d'être plus élevée dans le futur en raison des changements climatiques, générant de ce fait un débit de pointe plus élevé. À ce phénomène s'ajoute l'effet de l'urbanisation qui entraîne une augmentation de l'imperméabilisation des surfaces causant aussi une augmentation des débits de pointe de ruissellement.

Il faut toutefois mentionner que le collecteur et le ruisseau La Pinière ont été conçus dans les années 1970-1980 pour véhiculer des débits de pointe d'une intensité considérable et qu'il n'est pas jugé souhaitable ni économiquement, ni au plan environnemental, d'accroître la capacité de ces ouvrages et conséquemment, les débits maximum qu'ils véhiculent.

Il est plutôt recommandé d'établir un plan directeur actualisé intégrant l'implantation de mesures d'aménagement urbain appropriées et l'utilisation de techniques de

gestion des eaux de ruissellement à la source, dont certaines sont déjà en application (contrôle à la source réglementé, réseaux mineur/majeurs, etc.). Ces mesures permettent, entre autres bénéfices, de contrôler les débits évacués vers les collecteurs récepteurs à des taux reflétant le plus possible les conditions naturelles, suivant les tendances actuelles mises de l'avant notamment par les organismes gouvernementaux en matière de gestion des eaux pluviales (guides du MDDEP et du MAMROT pour la gestion des eaux pluviales). La définition précise des types de mesures les plus appropriées en fonction du développement à venir devra se faire à l'intérieur du plan directeur actualisé mais ces mesures devraient notamment inclure des pratiques permettant de réduire les volumes de ruissellement et d'effectuer un contrôle à la source pour les événements de faible ampleur (rediriger le ruissellement des surfaces imperméables vers des surfaces perméables; puits/tranchée d'infiltration; aires de biorétention et jardins de pluie).

Considérant le pourcentage important des zones déjà urbanisées dans le bassin versant de l'ouvrage Belgrand, le plan directeur à actualiser devra non seulement évaluer des mesures pour les nouveaux développements mais aussi les bénéfices possibles associés à certaines mesures pouvant être mise en place dans des secteurs existants. Un programme de débranchement de gouttières et de minimisation des surfaces imperméables directement raccordées aux réseaux serait un exemple d'interventions à examiner de façon plus approfondie. L'optimisation des ouvrages de contrôle déjà en place à l'intérieur du bassin versant serait une autre avenue potentielle à considérer.

Malgré ces pratiques de contrôle qui pourront être analysées tant pour les zones de développement à venir que pour les secteurs déjà construits, le plan directeur actualisé mettra vraisemblablement en évidence que des ouvrages de rétention relativement importants devront être mis en place pour rencontrer les objectifs de surverse. Le dimensionnement de ces ouvrages devra nécessairement inclure une remise en question du suivi et des modes d'opération des structures intégrant les différentes interventions qui auront pu être définies.

En vue de pouvoir caler le modèle qui devra être développé dans le cadre du plan directeur, il serait également approprié de prévoir une campagne de mesures de débits sur une période suffisamment longue pour comprendre plusieurs mois de suivi. La connaissance plus précise de la réponse hydrologique du bassin tributaire constitue un élément fondamental pour effectuer un dimensionnement adéquat des ouvrages de contrôle qui devront être mis en place.

Le plan directeur devrait également comprendre une analyse détaillée des données pluviométriques qui ont été accumulées à la Ville depuis une quinzaine d'années à différentes stations. Ces données pourront être utilisées notamment pour établir par

modélisation si les ouvrages qui seront préconisés pourront effectivement permettre de rencontrer les objectifs de surverse. Des courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) pourront également être établies à partir de ces données et ensuite comparées à celles de Dorval, qui sont actuellement utilisées pour la conception des réseaux sur le territoire de la Ville de Laval. Considérant la courte période d'enregistrement, il sera probablement difficile de déceler une tendance qu'on pourrait associée directement aux changements climatiques. Malgré cela, il y aurait quand même lieu dans ces analyses d'évaluer la pertinence de majorer les données pluviométriques actuellement utilisées pour la conception afin de tenir compte des changements climatiques.

b) Dans le second cas, ces éléments d'infrastructure ou systèmes dont la durée de vie est de moins de 30 ans (électricité, contrôle et supervision, télécommunication, sécurité) vont demander inévitablement des mises à niveau significatives pour maintenir leur fonctionnalité. Certains de ces équipements ont déjà été remplacés et/ou remis à niveau depuis leur installation initiale il y a un peu plus de 10 ans, et d'autres interventions similaires devraient être considérées à court ou moyen terme. On envisage notamment l'implantation d'un système de télécommunication par téléphonie avec fibre optique d'ici quelques années. Ces interventions devraient être l'occasion d'améliorer le rendement de ces équipements en ajustant les exigences de performances au besoin et en sélectionnant des équipements les plus aptes à les satisfaire.

ii) Recommandations générales

L'ouvrage Belgrand ayant été construit en 1999, sa vie utile restante devrait donc théoriquement être d'environ 70 ans pour le génie civil (bâtiment, murs latéraux, dissipateur d'énergie) et d'une quarantaine d'années pour les systèmes mécaniques (vanne à crête, vanne de régulation). Toutefois, tel que mentionné plus haut, ces ouvrages devront être modifiés avant cette échéance afin de rencontrer les objectifs de contrôle de débordement établis par les organismes gouvernementaux.

Ainsi, de nouveaux ouvrages comportant possiblement l'ajout de volumes additionnels de rétention (tunnel d'interception /rétention ou autre) devront être envisagés dans un proche avenir afin de permettre l'atteinte des objectifs de contrôles des débordements, de l'ordre de 7 fois par saison estivale qui sont largement dépassés dans les conditions actuelles, avec une fréquence de débordement observée de l'ordre de 50 fois par saison estivale. Les ouvrages actuels ont en effet été conçus pour réduire autant que faire se peut le fréquence et le volume des débordements d'eaux usées en temps de pluie en utilisant le volume de rétention disponible dans le collecteur La Pinière existant, en

reportant à plus tard les investissements majeurs à consentir pour un contrôle répondant aux objectifs visés.
Pour cette raison, il serait recommandable de consentir à court terme les efforts nécessaires à la détermination des solutions à considérer dans le cadre d'une stratégie de contrôle des débordements répondant aux objectifs visés, plutôt qu'à une remise à niveau des ouvrages actuels ne pouvant répondre à ces objectifs à long terme. Les tendances en termes de changement climatique et autres facteurs déterminants identifiés dans le cadre de la présente étude devront par ailleurs être prises en considération dans l'élaboration des nouvelles solutions. Ainsi, il est possible d'envisager l'utilisation de facteurs de majoration des pluies futures comme le recommandent certaines études climatologiques.

Les données historiques sur le comportement des ouvrages actuels constituent une mine précieuse d'informations permettant une conception optimale des ouvrages futurs, autant en ce qui à trait à l'établissement des paramètres de conception hydraulique qu'au choix de solutions techniques facilitant l'exploitation et l'entretien sur une base continue. À cet égard, il est recommandé de poursuivre et même d'intensifier les mesures de pluie et de débits (temps sec et temps de pluie), ce qui permettra notamment la calibration des modèles utilisés pour l'analyse des solutions à venir.

L'urbanisation du territoire tributaire de l'ouvrage Belgrand, qui atteint plus de 90 % actuellement devrait se poursuivre au cours des prochaines années pour atteindre le stade ultime de développement d'ici une vingtaine d'années. La densification de certaines zones urbaines est également envisagée. Ceci se traduira par des augmentations des débits de temps sec. Par contre, en ce qui a trait aux débits en temps de pluie, des mesures devront être envisagées pour contrôler les débits de ruissellement de pointe par une gestion des eaux de ruissellement innovante favorisant notamment l'infiltration et le maintien de zones perméables, et les autres techniques de rétention et de régulation déjà en application.

3.0 CONCLUSION

L'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques de l'ouvrage Belgrand et de ses infrastructures connexes selon le processus défini au Protocole du CVIIP a permis de dégager certaines conclusions et de mettre en lumière certains aspects importants, au-delà des constats et recommandations issus directement de la démarche.

Avant tout, il convient de rappeler qu'il ressort de l'ensemble des documents étudiés - rapports d'étude d'avant-projet, cahier des exigences environnementales, manuel d'exploitation, fiches de suivi des ouvrage de surverse – que l'ouvrage Belgrand a été conçu pour permettre de réduire dans la mesure du possible les débordements d'eaux usées non traités en temps de pluie directement au ruisseau La Pinière et à la rivière des Prairies, par l'utilisation d'une capacité volumétrique de l'ordre de 23 000 m³ disponible dans le collecteur La Pinière.

Il s'agit donc, pour sa fonction « rétention », d'un ouvrage à caractère temporaire dans la mesure où les objectifs de surverse visés à long terme, exprimés essentiellement en terme de fréquence maximale permise, sont actuellement largement dépassés. Ceci était d'autant prévisible quand on réalise l'écart considérable entre les volumes disponibles (23 000 m³) et ceux requis pour atteindre des objectifs se rapprochant de ceux visés par les organismes gouvernementaux (>100 000 m³). De nouveaux ouvrages seront vraisemblablement aménagés d'ici l'horizon 2041-2070 considéré dans cette étude, et leur conception devra tenir impérativement compte des changements climatiques.

La présente étude aura permis de réaliser que les changements climatiques auront des impacts significatifs sur des éléments d'infrastructure autres que ceux uniquement structurels et à fonction hydrauliques, essentiellement influencés surtout par la variable climatique « pluie ».

Ainsi, quels que soient les ouvrages futurs à construire dans le cadre de la mise en œuvre d'une stratégie de contrôle des débordements, on peut conclure que les équipements électroniques, électriques, de télécommunication et d'instrumentation/contrôle devront être mieux adaptés aux nouvelles conditions, avec des chaleurs et des taux d'humidités plus élevés, durant de plus longues périodes.

Quant à eux, les ouvrages structuraux - collecteurs, ruisseaux aménagés, éléments de protection contre l'érosion - sont évidemment davantage sensibles aux fluctuations des régimes d'écoulement ainsi qu'aux pointes de débits, et ils pourraient de ce fait être affectés par des débits accrus dans le futur en raison notamment des changements climatiques. Nous sommes d'avis toutefois que les nouvelles approches d'aménagement

urbain intégrant les techniques de gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration et la rétention des eaux à la source plutôt que leur évacuation le plus vite possible vers l'exutoire, constituent une avenue prometteuse pour l'avenir, et permettront de surmonter ces vulnérabilités en diminuant les débits à la source, respectant davantage les conditions naturelles.

Enfin, quels que soient les impacts prévisibles des changements climatiques et ceux peut-être négligés ou peu considérés dans l'état actuel de la connaissance, il ressort que la clé de la résistance à la vulnérabilité des infrastructures liées à l'ouvrage Belgrand réside dans l'application des pratiques optimales à partir de la planification et de la conception des ouvrages, jusqu'à leur exploitation et leur entretien.

4.0 RÉFÉRENCES

4.1 Données sur l'infrastructure

Asseau Inc.,(1995),Rapport d'étude; Évaluation complémentaire des débits et charges à l'usine La Pinière.

Asseau Inc., Vallée, Lefebvre et associés, Société québécoise d'assainissement des eaux, (17 avril 1997), Rapport d'étude; Mise en service des intercepteurs Marigot et La Pinière.

Consortium Asseau-GL,(mars 1994), Rapport final; Étude intégrée du fonctionnement des intercepteurs Centre et Marigot, Étape 2, phase iia, Développement des solutions, Tome 1 de 2.

Consortium Asseau-GL,(mars 1994), Rapport final; Étude intégrée du fonctionnement des intercepteurs Centre et Marigot, Étape 2, phase iia, Développement des solutions, Tome 2 de 2.

Consortium Asseau-GL,(28 avril 1994), Sommaire exécutif; Étude intégrée du fonctionnement des intercepteurs Centre et Marigot, Étape 2, phase iia, Développement des solutions.

Dupuis, Routhier, Riel et associés,(2 mars 1984), Rapport d'étape 2, étude préliminaire; Règlement L-5806-T; Collecteur La Pinière, de la rue Belgrand à la rivière des Prairies.

Dupuis, Routhier, Riel et associés (1er octobre 1984), Rapport d'étape 3, étude préliminaire; Projet d'assainissement, Intercepteur La Pinière de la rue Belgrand à l'intercepteur Marigot, Règlement L-5805-T; Collecteur La Pinière, de la rue Belgrand à la rivière des Prairies, Règlement L-5806-T.

Gendron, Lefebvre et associés, (7 mai 1984), Ville de Laval, Programme d'assainissement des eaux usées, Rapport d'étape 2, Résolution no CE-84/52; Ruisseau La Pinière sud.

Gendron, Lefebvre et associés, (24 septembre 1984), Ville de Laval, Programme d'assainissement des eaux usées, Rapport d'étape 3, Résolution no CE-84/52; Ruisseau La Pinière sud.

Gendron, Lefebvre et associés, (1er novembre 1984), Ville de Laval, Programme d'assainissement des eaux usées, Rapport d'étape 3 révisé, Résolution no CE-84/52; Ruisseau La Pinière sud.

Groupe Enico Inc. et Triax, (2 octobre 2003), Ville de Laval, Vanne à crête, station Belgrand, Description fonctionnelle.

Société québécoise d'assainissement des eaux, (février 2000), Intercepteurs Marigot et La Pinière, Manuel d'exploitation, Collecteur mixte 1.

Triax, (mars 2002), Plans de détails; Travaux correctifs, Structure de régulation Belgrand, référence 411-13 dissipateur d'énergie.

Vallée, Lefebvre et associés, (janvier 1999), Plans de détail (tels qu'exécutés); Mise en service des intercepteurs, Collecteur mixte, Marigot et La Pinière, lot 32, référence 41113.

Ville de Laval, (novembre 2000), Plans d'ensemble, croquis et fiches techniques; Bassin de l'usine la pinière, Cahier des exigences environnementales, chapitre ii, Description des ouvrages d'assainissement de la municipalité de Laval, Volet 1 – Interception et ouvrages en réseau – volumes 1 à 7.

Ville de Laval, (novembre 2002 à 2011), fiches de suivi des ouvrages de surverse; bassin de la station La Pinière.

Ville de Laval, (25 février 2009), Plan d'ensemble; Service de l'environnement, Localisation des pluviomètres.

Ville de Laval, (2011), Données descriptives (format géomatique) sur les réseaux d'égouts du bassin tributaire de l'ouvrage Belgrand.

Ville de Laval, (2011), Plans concepts d'aménagement; Vocation du sol à l'ultime pour le bassin de l'ouvrage Belgrand (confidentiel).

4.2 Données sur le climat

Environnement Canada (2011), *Normales et moyennes climatiques au Canada 1971-2000*, tirées de http://climate.weatheroffice.gc.ca/climate_normals/index_f.html.

Environnement Canada (2011), *Données climatiques en ligne,* tirées de http://climate.weatheroffice.gc.ca/climateData/canada_f.html.

Environnement Canada (2007), *Données climatiques quotidiennes canadiennes,* tirées de ftp://arcdm20.tor.ec.gc.ca/pub/dist/CDCD/

Environnement Canada (2010), *Dangers atmosphériques de la région du Québec,* tiré de http://quebec.hazards.ca/intro-f.html

Environnement Canada (2010), *Dangers atmosphériques de la région des Prairies et du Nord, La grêle*, tiré de http://pnr.hazards.ca/hail_fr.html

Environnement Canada (2011), *Réseau canadien des scénarios de changements climatiques,* tiré de http://cccsn.ca/

Environnement Canada (2011), *La foudre dans les principales villes canadiennes,* tiré de http://www.ec.gc.ca/foudre-lightning/default.asp?lang=Fr&n=4871AAE6-1

Environnement Canada – Consortium Ouranos (2010), *Climat-Québec,* tiré de http://www.climat-quebec.qc.ca/home.php?id=accueil&mpn=&from=m&lg=fr

GIEC, 2007 : Résumé à l'intention des décideurs. *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail 1 au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. (Solomon, S.,D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.Marquis, K.B.Averyt, M.Tignor et H.L. Miller (éds), Cambridge University Press, Cambridge, UK et New York, NY,USA.

INRS –Eau, Terre et environnement (Janvier 2007), pour le Fonds d'action sur les changements climatiques (FACC) –Ressources naturelles Canada et Consortium Ouranos, Rapport no R-874; *Impacts et adaptations liés aux changements climatiques (CC) en matière de drainage urbain au Québec* (Alain Mailhot, Gilles Rivard, Sophie Duchesne et Jean-Pierre Villeneuve).

INRS –Eau, Terre et environnement, Consortium Ouranos et Université Laval, département de génie civil (Juin 2008), pour) Ressources naturelles Canada, Programmme sur les impacts et adaptation liés aux changements climatiques, Projet A-1368 et le consortium Ouranos, et Consortium Ouranos, Rapport de recherche no R-920; *Conception et planification des interventions de renouvellement des infrastructures de drainage urbain dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques* (Alain Mailhot, Sophie Duchesne, Caroline Larrivée, Geneviève Pelletier, Samuel Bolduc, Frédéric Rondeau, Ahmadi Kingumbi et Guillaume Talbot).

Météo Média (2010), tiré de http://www.meteomedia.com/

Université de Sherbrooke, Bilan du siècle, *Tempête de verglas sur la région de Montréal*, tiré http://bilan.usherbrooke.ca/bilan/pages/evenements/1416.html

Vincent, L.A., et Mekis,E. (2006). « Changes in daily and extreme temperature and précipitation indices for Canada over the twentieth century ». *Atmosphere-Ocean*, 44(2), 177-193.

5.0 SOMMAIRE EXÉCUTIF

Introduction

Le présent mandat fait partie d'une entente entre Ingénieurs Canada (aussi désigné « Conseil canadien des ingénieurs »), la Ville de Laval, propriétaire et exploitant des infrastructures à l'étude, et le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU), qui pilote le projet.

Celui-ci s'inscrit dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité des infrastructures aux changements climatiques, laquelle est supervisée par le « Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques » (CVIIP), créé par Ingénieurs Canada en 2005. Ce comité regroupe des représentants des différents paliers de gouvernements (municipal, provincial et fédéral) ainsi que d'organismes non-gouvernementaux, dont le CERIU, dans le but de réaliser une évaluation exhaustive de la vulnérabilité des infrastructures publiques, incluant les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées, aux changements climatiques.

Au cours des dernières années, diverses études préliminaires sur la détermination de la capacité de différents types d'infrastructures à s'adapter aux changements climatiques, de même que divers projets-pilotes et études de cas ont été menées en certaines régions du Canada. Ces études ont permis d'établir un protocole d'évaluation de risque structuré (le « Protocole » du CVIIP) définissant les principales étapes du processus d'analyse, qui sera utilisé dans le cadre du présent projet.

L'objectif de l'étude consistera donc à déterminer la vulnérabilité aux changements climatiques des éléments d'infrastructure associés à l'ouvrage de surverse Belgrand, à Laval. Cet ouvrage de régulation et de contrôle des débordements en temps de pluie, dont la Ville est le propriétaire et l'exploitant, constitue une composante majeure du système d'interception des eaux usées du bassin versant La Pinière, un territoire largement urbanisé d'une superficie de 45 km², desservi par des réseaux d'égout de types combiné, pseudo-séparatif et pluvial.

Un comité consultatif formé d'experts en infrastructures et en climatologie appuiera la démarche. Parmi ceux-ci, on compte des membres du consortium Ouranos, qui regroupe des spécialistes des changements climatiques et de l'adaptation de la société à ce phénomène, du CERIU, d'Ingénieurs Canada, de la Ville de Laval et de GENIVAR.

Le Protocole du CVIIP

Le « Protocole d'ingénierie du CVIIP pour l'évaluation de la vulnérabilité des infrastructures au changement climatique », version 9, avril 2009, sera utilisé dans le cadre du présent mandat. Le Protocole est la propriété intellectuelle d'Ingénieurs Canada, qui accorde l'autorisation pour son utilisation par la signature d'un contrat de licence. Les 5 étapes du Protocole sont décrites et résumées ci-après.

1- Définition du projet

À cette étape sont définis les paramètres du projet global et les conditions limites de l'évaluation de la vulnérabilité de l'ingénierie. On y précise notamment les caractéristiques physiques et fonctionnelles de l'infrastructure à l'étude, de même que les facteurs climatiques à prendre en considération.

2- Collecte et exhaustivité des données

Les données décrivant l'infrastructure ainsi que les données climatiques pertinentes sont recueillies et évaluées à cette étape. Les interactions potentielles entre les divers éléments d'infrastructures et les phénomènes climatiques sont également identifiées.

3- Évaluation du risque

Le degré de risque associé à chacune des interactions entre les éléments d'infrastructure et les facteurs climatiques est évalué à cette étape, à partir d'une matrice d'évaluation. Un atelier de travail réunissant les principaux intervenants est tenu à cette fin.

4- Analyse de l'ingénierie

Les interactions présentant un risque jugé élevé à l'étape précédente font ensuite l'objet d'une analyse plus approfondie. Celle-ci permet d'établir un diagnostic de vulnérabilité faisant ressortir les éléments les plus à risque.

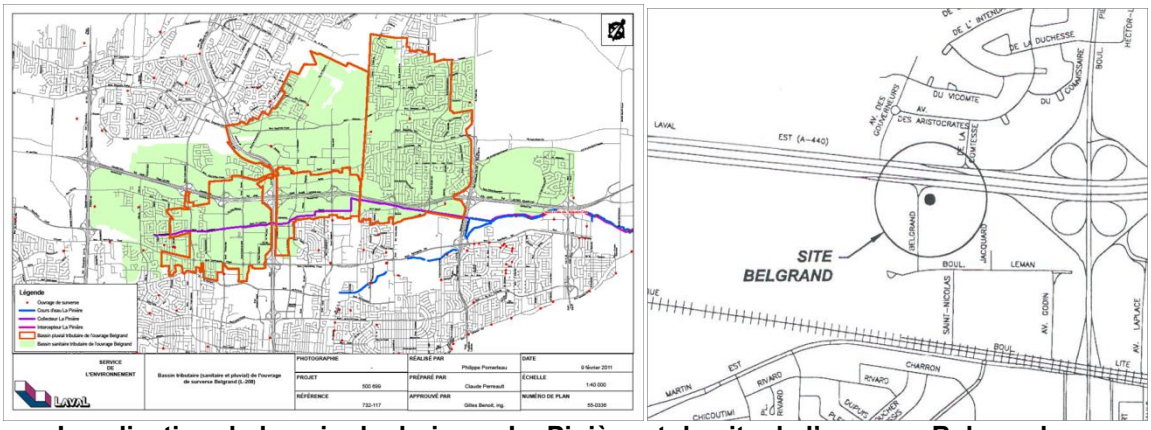
5- Recommandations

Les recommandations à mettre en œuvre pour faire face aux vulnérabilités identifiées aux étapes précédentes sont formulées à la dernière étape. Elles peuvent prendre la forme de mesures correctives d'ingénierie, de mise en observation de certains éléments ciblés, ou de définition de termes de référence d'études ou de toute autre mesure de gestion à prévoir, avec établissement au besoin d'un ordre de priorité.

L'ouvrage Belgrand et les changements climatiques

Description du projet (étape 1)

L'ouvrage Belgrand est localisé à l'exutoire du collecteur La Pinière, à l'intersection de la rue Belgrand, au sud de l'autoroute 440, à environ 0,7 km à l'ouest de l'autoroute Pie-IX. Le collecteur unitaire de 2745 mm à 4 475 mm en fer-à-cheval suit un tracé d'ouest en est sur plus de 10 km au sud de l'autoroute 440, au centre de l'île Jésus. Le bassin desservi occupe une superficie de plus de 4 500 ha, urbanisée à plus de 90 %.



Localisation du bassin de drainage La Pinière et du site de l'ouvrage Belgrand

Les réseaux d'égouts du bassin de drainage tributaire de l'ouvrage de surverse Belgrand sont de type combiné, pseudo-séparatif et séparatif. Les eaux usées en temps sec ainsi que les eaux de ruissellement en temps de pluie ou de fonte des neiges sont donc véhiculées par le collecteur La Pinière jusqu'à son exutoire à la rue Belgrand. À cet endroit, un ouvrage de contrôle avec vanne modulante automatisée a été aménagé pour acheminer les eaux usées vers l'intercepteur et la station d'épuration, tandis que les eaux pluviales contaminées sont retenues dans le collecteur par l'action d'une vanne à crête basculante automatisée, jusqu'à un volume maximal de l'ordre de 23 000 m³.

Lorsque le volume de rétention maximal est atteint, la vanne à crête est abaissée et le surplus se déverse vers la rivière des Prairies par l'intermédiaire du ruisseau La Pinière. La fréquence et le volume de ces débordements est fonction de la fréquence et de l'intensité des précipitations, de même que du mode de contrôle de l'ouvrage. Par conséquent la planification et la mise en œuvre de mesures visant l'atteinte des objectifs de contrôle doit nécessairement prendre en compte les éventuelles augmentations d'intensité et de fréquences des précipitations liées aux changements climatiques.

Les débordements sont dénombrés au moyen de sondes et capteurs divers mesurant d'une part la hauteur de l'eau dans le collecteur, et, d'autre part, le positionnement de la crête de la vanne. Ceci permet d'évaluer la période d'occurrence des débordements, (début, durée et fin de l'épisode), mais sans toutefois mesurer le volume débordé. La réduction du volume des eaux débordées constitue un gain sur le plan environnemental, qui n'est cependant pas quantifié selon la méthode actuelle de mesure des débordements.

Ainsi, dans les conditions actuelles, on aurait enregistré une cinquantaine d'épisodes de débordement par an au cours des années 2009 et 2010, survenant en période de pluies ou de fonte des neiges.

Ceci rencontre les exigences de rejet convenues avec le MAMROT pour cet ouvrage de surverse, lesquelles permettent les débordements en situation d'urgence, de pluie ou de fonte des neiges (UPF). Cette fréquence est toutefois nettement supérieure à l'objectif de contrôle visé dans le futur.

Les exigences de rejet reflètent le fonctionnement attendu de l'ouvrage, basé sur les résultats du suivi d'opération suite à sa mise en fonction à la fin des années 1990. Il est toutefois reconnu que cet ouvrage de contrôle a été conçu à titre temporaire afin de minimiser dans la mesure du possible la fréquence et le volume des surverses en profitant du volume de rétention disponible dans le collecteur existant de 4575 mm.

Il était alors entendu que des ouvrages futurs seraient requis pour atteindre des niveaux de contrôle répondant aux critères attendus pour une récupération effective des usages. Ces fréquences de contrôle cibles, ou objectifs de rejet selon la nomenclature utilisée par les gestionnaires gouvernementaux, ont été établis à une valeur de 7 débordements par saison estivale, du 1er mai au 30 novembre. Il est acquis qu'un tel niveau de contrôle nécessiterait l'implantation de solutions impliquant des travaux majeurs, par exemple, de type rétention en tunnel, qui avaient fait l'objet d'études détaillées à l'époque.

Collecte et exhaustivité des données (étape 2)

Les principales infrastructures faisant l'objet de l'évaluation ainsi que leurs composantes sont détaillées au tableau 1 de la section 2.2.1, conformément au processus du Protocole. Les groupes d'infrastructures considérés sont les suivants:

- Administration/Opération
- Réseaux tributaires amont

- Structures fixes
- Systèmes mécaniques
- Système d'alimentation électrique
- Système de contrôle et de supervision
- Système de télécommunication
- Système de sécurité

Ces éléments d'infrastructures sont décrits et illustrés en détail à la section 2.

Évaluation du risque (étape 3)

Le processus d'évaluation du risque sera effectué autant aux conditions existantes qu'aux conditions futures résultant des changements climatiques anticipés, tel qu'établi à la section 2.1.4. La période de référence représentant le climat futur sera l'intervalle de 30 ans compris entre les années 2041 et 2070.

Pour ce faire, les variables climatiques retenues à la section 2.1.3 feront d'abord l'objet d'une analyse climatologique visant à établir leur probabilité d'occurrence aux conditions actuelles et futures, selon la méthodologie décrite au Protocole.

Ces variables climatiques sont les suivantes : Température maximale, Température minimale, Vague de chaleur, Vague de froid, Variabilité de la température, Gel / Dégel, Fortes pluies, Fortes pluies durant 5 jours, Pluies hivernales, Pluies verglaçantes, Tempêtes de verglas, Fortes chutes de neige, Poudrerie, Foudre, Précipitations de grêle, Vitesse des vents, Tornades, Périodes de sécheresse, Orages, Refroidissement éolien, Humidex, Accumulation de neige, Ouragans / Tempêtes tropicales, Brouillard.

Les risques liés à chaque interaction climat-infrastructure seront ensuite évalués à l'aide de la matrice-type proposée par le Protocole, le tout faisant l'objet de discussions en atelier de travail avec l'ensemble des participants à l'étude. L'échelle des risques varie de 0 à 49. Les risques dont la cote est inférieure à 12 sont jugés faibles, entre 12 et 36, moyens et, supérieure à 36, élevés.

L'atelier de travail a été tenu le 13 juillet 2011 à la station d'épuration La Pinière, précédée d'une visite sur le site de l'ouvrage Belgrand la veille. Il réunissait des participants de Ville de Laval (7), du CERIU (1), d'Ouranos (1), d'Ingénieurs Canada (1) et de GENIVAR (2).

Les principales conclusions de l'évaluation de risque sont les suivantes.

- Des 158 interactions évaluées, 105 interactions (66 %) ont été jugées à faible risque (< 12) et 53 (34%), à risque moyen (entre 12 et 36), aux conditions climatiques existantes ou futures; aucune interaction n'a été jugée à risque élevé (> 36).

- 72 interactions (46 %) ont vu leur degré de risque augmenter par suite des changements climatiques selon l'évaluation, la plus forte augmentation, soit 6, étant attribuée aux interactions entre les variables climatiques « vagues de chaleur » et « humidex », et les éléments d'infrastructure « génératrice », « batterie d'urgence (UPS) » et « automates programmables ».
- 11 interactions (7 %) ont vu leur degré de risque diminuer par suite des changements climatiques selon l'évaluation, la plus forte diminution, soit 5, étant attribuée aux interactions entre les variables climatiques « vagues de froid » et « température très basse », et l'élément d'infrastructure « antenne ».
- 75 interactions (47 %) ont vu leur degré de risque inchangé par suite des changements climatiques selon l'évaluation.

Analyse de l'ingénierie (étape 4)

Les interactions climat-infrastructure auxquelles on a attribué une valeur de risque comprise entre 12 et 36 à l'étape 3 feront l'objet de l'analyse plus approfondie proposée à l'étape 4 du Protocole.

Cette analyse consiste en résumé à établir la capacité de l'infrastructure à supporter les charges générées aux conditions climatiques actuelles et futures, donc à en déterminer la vulnérabilité. La démarche tient compte non seulement des changements climatiques anticipés mais également des modifications aux ouvrages (améliorations, réhabilitation, nouveaux ouvrages, etc.) et aux conditions d'opération (augmentation de population, mise à niveaux des systèmes, etc.) que l'on peut raisonnablement prévoir.

L'approche suivie est essentiellement de nature qualitative, basée sur un jugement d'ingénierie utilisant les connaissances acquises et les conclusions de l'évaluation des risques selon une procédure structurée décrite à la section 2.4.

On peut résumer les résultats de cette analyse comme suit.

- 53 interactions ont été analysées à cette étape;
- 24 interactions (45 %) ont été jugées vulnérables, tel que résumé au tableau 4 de la section 2.4.2;
- 5 (21 %) de ces interactions jugées vulnérables le sont sous réserve d'une validation ultérieure de la capacité des ouvrages futurs – soit celles mettant en

cause le collecteur La Pinière et le ruisseau La Pinière aval, en relation aux fortes pluies (> 50 mm), aux fortes pluies consécutives sur 5 jours et aux orages;

- 19 (79 %) de ces interactions jugées vulnérables concernent les équipements électriques et électroniques (automates, alimentation électrique, télécom, etc.) en relation à la chaleur et l'humidité élevées;
- 22 (92 %) des 24 interactions jugées vulnérables avaient vu leur degré de risque augmenter entre les conditions existantes et futures à l'étape 3;
- Les 2 interactions jugées vulnérables dont le risque avait été jugé inchangé par suite des changements climatiques sont celles impliquant le collecteur La Pinière et les fortes pluies durant 5 jours.

Recommandations (étape 5)

i) Limites de l'étude

Les recommandations de cette étude sont influencées par l'expérience et les connaissances des auteurs de l'étude ainsi que des participants à l'atelier et au Comité consultatif, soit des ingénieurs et du personnel technique issu du domaine municipal et de l'hydrologie urbaine ainsi que des spécialistes en climatologie de l'organisme Ouranos. D'autres intervenants comme, par exemple, des spécialistes de l'aménagement l urbain et ou du domaine des assurances auraient pu contribuer à cette étude en apportant un point de vue différent.

ii) Recommandations relatives aux éléments d'infrastructure jugés vulnérables

Les éléments d'infrastructure jugés vulnérables aux changements climatiques tel qu'apparaissant au tableau 4 (section 2.4.2) se regroupent essentiellement en deux catégories :

(a) Le collecteur et le ruisseau La Pinière en aval de l'ouvrage Belgrand, pour lesquels on a identifié une vulnérabilité potentielle aux fortes pluies (orages et autres) aux conditions futures;
(b) Les équipements d'alimentation électrique, d'instrumentation et contrôle et de télécommunication, qui présentent une vulnérabilité aux conditions de chaleur et d'humidité élevées.

a) Dans le premier cas, il est généralement reconnu que la fréquence et l'intensité des débits de pointe de ruissellement urbain risquent d'augmenter avec les changements climatiques. En d'autres termes, pour une récurrence donnée, par exemple, 10 ans, l'intensité de la pluie (courbe Intensité-durée-fréquence) établie statistiquement risque d'être plus élevée dans le futur en raison des changements climatiques, générant de ce fait un débit de pointe plus

élevé. À ce phénomène s'ajoute l'effet de l'urbanisation qui entraîne une augmentation de l'imperméabilisation des surfaces causant aussi une augmentation des débits de pointe de ruissellement.

Il faut toutefois mentionner que le collecteur et le ruisseau La Pinière ont été conçus dans les années 1970-1980 pour véhiculer des débits de pointe d'une intensité considérable et qu'il n'est pas jugé souhaitable ni économiquement, ni au plan environnemental, d'accroître la capacité de ces ouvrages et conséquemment, les débits maximum qu'ils véhiculent.

Il est plutôt recommandé d'établir à court terme un plan directeur actualisé intégrant l'implantation de mesures d'aménagement urbain appropriées et l'implantation de techniques de gestion des eaux de ruissellement à la source, dont certaines sont déjà en application (contrôle à la source réglementé, réseaux mineur/majeurs, etc.). Ces mesures permettent, entre autres bénéfices, de contrôler les débits évacués vers les collecteurs récepteur à des taux reflétant le plus possible les conditions naturelles, suivant les tendances actuelles mises de l'avant notamment par les organismes gouvernementaux en matière de gestion des eaux pluviales.

b) Dans le second cas, ces éléments d'infrastructure ou systèmes dont la durée de vie est de moins de 30 ans (électricité, contrôle et supervision, télécommunication, sécurité) vont demander inévitablement des mises à niveau significatives pour maintenir leur fonctionnalité. Certains de ces équipements ont déjà été remplacés et/ou remis à niveau depuis leur installation initiale il y a un peu plus de 10 ans, et d'autres interventions similaires devraient être considérées à court ou moyen terme. On envisage notamment l'implantation d'un système de télécommunication par téléphonie avec fibre optique d'ici quelques années. Ces interventions devraient être l'occasion d'améliorer le rendement de ces équipements en ajustant les exigences de performances au besoin et en sélectionnant des équipements les plus aptes à les satisfaire.

iii) Recommandations générales

L'ouvrage Belgrand ayant été construit en 1999, sa vie utile restante devrait donc théoriquement être d'environ 70 ans pour le génie civil (bâtiment, murs latéraux, dissipateur d'énergie) et d'une quarantaine d'années pour les systèmes mécaniques (vanne à crête, vanne de régulation). Toutefois, tel que mentionné plus haut, ces ouvrages devront être modifiés avant cette échéance afin de rencontrer les objectifs de contrôle de débordement établis par les organismes gouvernementaux.

Ainsi, de nouveaux ouvrages comportant possiblement l'ajout de volumes additionnels de rétention (tunnel d'interception /rétention ou autre) devront être envisagés dans un proche avenir afin de permettre l'atteinte des objectifs de contrôles des débordements, de l'ordre de 7 fois par saison estivale qui sont largement dépassés dans les conditions actuelles, avec une fréquence de débordement observée de l'ordre de 50 fois par saison estivale. Les ouvrages actuels ont en effet été conçus pour réduire autant que faire se peut la fréquence et le volume des débordements d'eaux usées en temps de pluie en utilisant le volume de rétention disponible dans le collecteur La Pinière existant, en reportant à plus tard les investissements majeurs à consentir pour un contrôle répondant aux objectifs visés.

Pour cette raison, il serait recommandable de consentir à court terme les efforts nécessaires à la détermination des solutions à considérer dans le cadre d'une stratégie de contrôle des débordements répondant aux objectifs visés, plutôt qu'à une remise à niveau des ouvrages actuels ne pouvant répondre à ces objectifs à long terme. Les tendances en termes de changements climatiques et autres facteurs déterminants identifiés dans le cadre de la présente étude devront par ailleurs être prises en considération dans l'élaboration des nouvelles solutions. . Ainsi, il est possible d'envisager l'utilisation de facteurs de majoration des pluies futures comme le recommandent certaines études climatologiques.

Les données historiques sur le comportement des ouvrages actuels constituent une mine précieuse d'informations permettant une conception optimale des ouvrages futurs, autant en ce qui à trait à l'établissement des paramètres de conception hydraulique qu'au choix de solutions techniques facilitant l'exploitation et l'entretien sur une base continue. À cet égard, il est recommandé de poursuivre et même d'intensifier les mesures de pluie /débit (temps sec et temps de pluie) permettant notamment la calibration des modèles utilisés pour l'analyse des solutions à venir.

L'urbanisation du territoire tributaire de l'ouvrage Belgrand, qui atteint plus de 90 % actuellement devrait se poursuivre au cours des prochaines années pour atteindre le stade ultime de développement d'ici une vingtaine d'années. La densification de certaines zones urbaines est également envisagée. Ceci se traduira par des augmentations des débits de temps sec. Par contre, en ce qui a trait aux débits en temps de pluie, des mesures devront être envisagées pour contrôler les débits de ruissellement de pointe par une gestion des eaux de ruissellement innovante favorisant notamment l'infiltration et le maintien de zones perméables, et les autres techniques de rétention et de régulation déjà en application.

CONCLUSION

L'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques de l'ouvrage Belgrand et de ses infrastructures connexes selon le processus défini au Protocole du CVIIP a permis de dégager certaines conclusions et de mettre en lumière certains aspects importants, au-delà des constats et recommandations issus directement de la démarche.

Ainsi, il ressort de l'ensemble des documents étudiés que l'ouvrage Belgrand a été conçu à l'origine pour permettre de réduire dans la mesure du possible les débordements d'eaux usées non traités en temps de pluie directement au ruisseau La Pinière et à la rivière des Prairies, par l'utilisation d'une capacité volumétrique de l'ordre de 23 000 m³ disponible dans le collecteur La Pinière.

Il s'agit donc, pour sa fonction « rétention », d'un ouvrage à caractère temporaire dans la mesure où les objectifs de surverse visés à long terme, exprimés essentiellement en terme de fréquence maximale permise, sont actuellement largement dépassés. De nouveaux ouvrages seront vraisemblablement aménagés d'ici l'horizon 2041-2070 considéré dans cette étude, et leur conception devra tenir impérativement compte des changements climatiques.

La présente étude aura permis de réaliser que les changements climatiques auront des impacts significatifs sur des éléments d'infrastructure autres que ceux uniquement structurels et à fonction hydrauliques, essentiellement influencés surtout par la variable climatique « pluie ».

Ainsi, quels que soient les ouvrages futurs à construire dans le cadre de la mise en œuvre d'une stratégie de contrôle des débordements, on peut conclure que les équipements électroniques, électriques, de télécommunication et d'instrumentation/contrôle devront être mieux adaptés aux nouvelles conditions, avec des chaleurs et des taux d'humidités plus élevés, durant de plus longues périodes.

Quant à eux, les ouvrages structuraux - collecteurs, ruisseaux aménagés, éléments de protection contre l'érosion - sont évidemment davantage sensibles aux fluctuations des régimes d'écoulement ainsi qu'aux pointes de débits, et ils pourraient de ce fait être affectés par des débits accrus dans le futur en raison notamment des changements climatiques. Nous sommes d'avis toutefois que les nouvelles approches d'aménagement urbain intégrant les techniques de gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration et la rétention des eaux à la source plutôt que leur évacuation le plus vite possible vers l'exutoire, constituent une avenue prometteuse pour l'avenir, et permettront de surmonter ces vulnérabilités en diminuant les débits à la source, respectant davantage les conditions naturelles.

Enfin, quels que soit les impacts prévisibles des changements climatiques et ceux peut-être négligés ou peu considérés dans l'état actuel de la connaissance, il ressort que la clé de la résistance à la vulnérabilité des infrastructures liées à l'ouvrage Belgrand réside dans l'application des pratiques optimales à partir de la planification et de la conception des ouvrages, jusqu'à leur exploitation et leur entretien.