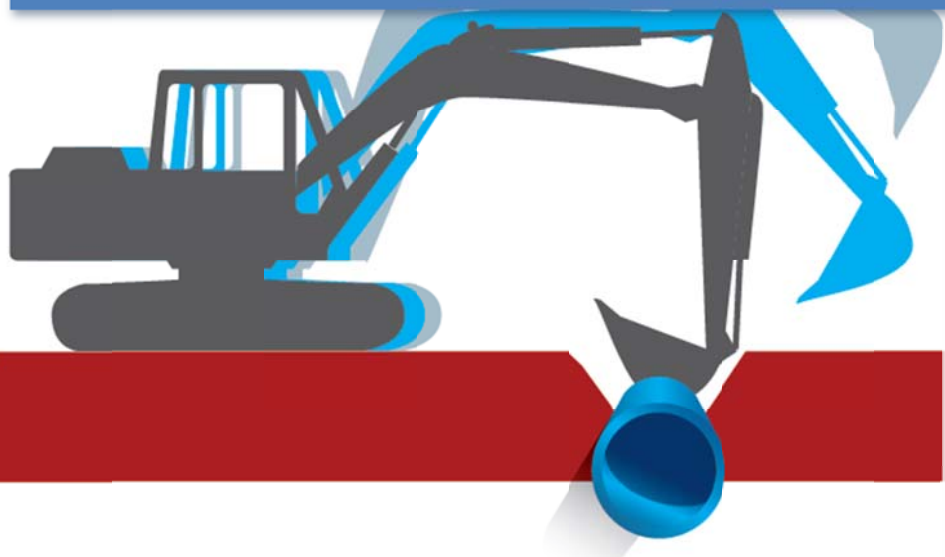


Rapport de recherche
2013RP-22

ÉVALUATION DES COÛTS SOCIO-ÉCONOMIQUES RELIÉS AUX BRIS DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES AU QUÉBEC



Novembre 2013

Nathalie de Marcellis-Warin, PhD

Ingrid Peignier, Ing., M.Sc.A

Vincent Mouchikhine, M.Sc.A

Mohamed Mahfouf, M.Eng

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations membres, d'une subvention d'infrastructure du Ministère du Développement économique et régional et de la Recherche, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Québec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the Ministère du Développement économique et régional et de la Recherche, and grants and research mandates obtained by its research teams.

LES PARTENAIRES DU CIRANO

PARTENAIRE MAJEUR

Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation

PARTENAIRES CORPORATIFS

Banque de développement du Canada
Banque du Canada
Banque Laurentienne du Canada
Banque Nationale du Canada
Banque Royale du Canada
Banque Scotia
Bell Canada
BMO Groupe financier
Caisse de dépôt et placement du Québec
Fédération des caisses Desjardins du Québec
Financière Sun Life, Québec
Gaz Métro
Hydro-Québec
Industrie Canada
Investissements PSP
Ministère des Finances du Québec
Power Corporation du Canada
Raymond Chabot Grant Thornton
Rio Tinto
State Street Global Advisors
Transat A.T.
Ville de Montréal

PARTENAIRES UNIVERSITAIRES

École Polytechnique de Montréal
HEC Montréal
McGill University
Université Concordia
Université de Montréal
Université de Sherbrooke
Université du Québec
Université du Québec à Montréal
Université Laval

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web.

© 2013 Nathalie de Marcellis-Warin, Ingrid Peignier, Vincent Mouchikine, Mohamed Mahfouf, Tous droits réservés. *All rights reserved.* Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©.
Short section may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.



REMERCIEMENTS

La réalisation d'une étude de cette nature nécessite l'implication d'un grand nombre de partenaires et de personnes.

Nous tenons tout d'abord à remercier Info-Excavation - L'Alliance pour la protection des infrastructures souterraines du Québec (APISQ) et plus particulièrement Nathalie Moreau pour sa collaboration et son implication tout au long du projet. Nous tenons aussi à remercier les divers propriétaires d'infrastructures souterraines ainsi que tous les collaborateurs qui ont rendu possible l'estimation des coûts réels que représente un bris d'infrastructure souterraine au Québec. Nous nous réjouissons de leur accueil et de leur générosité dans le partage de diverses informations qui ont mené à la rédaction de ce rapport. Ces collaborateurs, en plus de proposer des études cas concrets permettant d'illustrer notre étude, ont proposé leur aide en ce qui concerne la collecte de diverses données.

Nous souhaitons remercier plus particulièrement le Service de Sécurité Incendie de Montréal, le Service de Police de la Ville de Montréal, la ville de Gatineau, le Société de Transport de Montréal, Gaz Métro, Hydro-Québec et Bell.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement Claude Montmarquette Président-directeur général du CIRANO ainsi que tous les collègues du CIRANO et de Polytechnique Montréal qui nous ont apporté leur soutien dans les diverses phases du projet. Nous souhaitons remercier MITACS (organisation nationale de recherche à but non-lucratif) pour son support dans le cadre du programme de stage de recherche Mitacs-Accélération. Ce programme a offert au stagiaire Vincent Mouchikine l'occasion de mettre en pratique ses connaissances théoriques en situation réelle. Nous remercions aussi l'étudiant Christophe Rutyna qui a participé au démarrage du projet.



LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

APISQ	Alliance pour la protection des infrastructures souterraines du Québec
dBA	Décibel audible
CAA	Association canadienne des automobilistes
CD	Coût direct
CIRANO	Centre Interuniversitaire de Recherche en Analyse des Organisations
CI	Coût indirect
Cli	Consommation moyenne par kilomètre initiale pour un véhicule de type i
CPI	Consommation moyenne par kilomètre en régime perturbé pour un véhicule de type i
SIM	Service de sécurité incendie de Montréal
SPVM	Service de Police de la Ville de Montréal
Tc	Temps de parcours supplémentaire dû à la congestion
Tdminimum	Temps de parcours supplémentaire minimum pour un détour

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	14
1. Mise en contexte.....	14
2. Objectifs de la recherche.....	16
3. Plan général du rapport.....	18
CHAPITRE 1 : DÉFINITION DES DIFFÉRENTS TYPES DE COÛTS RELIÉS À UN BRIS D'INFRASTRUCTURE SOUTERRAINE	19
1. Les coûts directs.....	19
2. Les coûts indirects.....	20
CHAPITRE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE ET MÉTHODES DE CALCULS DES COÛTS INDIRECTS	21
1. Les coûts directs, nécessaires à la remise en état des infrastructures souterraines touchées	21
1.1. Coûts des matériaux de remplacement	21
1.2. Coûts de l'équipement utilisé pour la remise en état des infrastructures....	22
1.3. Coûts de la main-d'œuvre utilisée pour la remise en état des infrastructure	22
1.4. Coûts administratifs nécessaires à la remise en état des infrastructures endommagées	22
2. Les coûts indirects applicables aux bris d'infrastructures souterraines.....	23
2.1. Coûts des pertes de produits dues au bris.....	24
2.2. Interruption des services pour les infrastructures touchées et des infrastructures adjacentes	26
2.3. Intervention des services d'urgence	28
2.4. Évacuation des résidents et des commerces	30
2.5. Perturbation des sols et réduction de la durée de vie des infrastructures adjacentes	31
2.6. Fermeture ou perturbation d'une section de route et impacts sur les déplacements et le trafic	32
2.6.1. Difficulté d'accès pour les véhicules d'urgence dans la zone où a eu lieu le bris	32
2.6.2. Perte d'espaces de stationnement proches du bris	32
2.6.3. Perte de temps et augmentation de la distance à parcourir pour les véhicules et les piétons	34
2.6.4. Augmentation possible du nombre d'accidents de la circulation	42
2.6.5. Augmentation des coûts de maintenance et de la consommation de carburant des véhicules	42

2.7.	Impacts environnementaux.....	48
2.7.1.	Impact de la pollution de l'air et gaz à effet de serre	48
2.7.1.1.	Augmentation de l'émission de particules et de gaz nocifs	48
2.7.1.2.	Émission de particules poussiéreuses	50
2.7.2.	Effet de la pollution des eaux et des sols	50
2.7.3.	Impact sur la valeur immobilière en raison du bruit et des vibrations....	51
2.8.	Impacts économiques.....	54
2.8.1.	Baisse de la productivité	54
2.8.2.	Retard et absence au travail	56
2.8.3.	Pertes de revenus	57
2.8.4.	Pertes de taxes	57
2.8.5.	Retards pour les travaux à venir	58
2.8.6.	Baisse de la qualité de vie	58
2.9.	Conclusion.....	58

CHAPITRE 3 : DÉMARCHE SUIVIE LORS DES ÉTUDES DE CAS.....

1.	Choix des études de cas.....	62
2.	Collecte des données pour les études de cas	63
2.1.	Collecte d'informations sur les lieux des bris	63
2.2.	Collecte de données a posteriori	64
2.2.1.	Données concernant les interventions des services et des entreprises	64
2.2.2.	Données concernant les causes du bris	64
2.2.3.	Données concernant les commerçants situés aux alentours du bris	65
2.2.4.	Autres données secondaires pouvant être utilisées pour l'évaluation des coûts	65

CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DES ÉTUDES DE CAS RETENUES.....

1.	Bris d'une conduite de gaz dans le centre ville d'une grande agglomération	67
1.1.	Localisation du bris	67
1.2.	Le bris	68
1.3.	Les causes du bris	71
1.4.	Les divers coûts engendrés	72
1.5.	Les coûts directs	72
1.5.1.	Les coûts de la main d'œuvre et des équipements	73
1.5.2.	Les coûts des matériaux	75
1.5.3.	Les coûts administratifs	75
1.5.4.	Bilan des coûts directs	76

1.6.	Les coûts indirects.....	77
1.6.1.	Intervention du service de sécurité incendie de Montréal (SIM).....	78
1.6.2.	Intervention du service de police de la ville de Montréal (SPVM).....	79
1.6.3.	Coûts liés aux diverses interruptions de services	81
1.6.3.1.	Interruption du service de transport en commun de la ville de Montréal	81
1.6.3.2.	Interruption des services de gaz et d'électricité	82
1.6.4.	Reclamations extérieures liées au bris	83
1.6.5.	Préjudices et autres coûts	83
1.7.	Conclusion.....	84
2.	Bris d'une conduite de télécommunication dans une grande agglomération au Québec.	86
2.1.	Localisation du bris	86
2.2.	Les circonstances du bris	87
2.3.	Les coûts directs du bris	88
2.4.	Les conséquences du bris et les coûts indirects associés	88
2.4.1.	Coûts reliés à la perturbation de la circulation	89
2.4.1.1.	Coûts reliés à la perte de temps dans la congestion	90
2.4.1.2.	Coûts reliés à la perte de temps dans les détours	92
2.4.1.3.	Coûts reliés à la surconsommation des véhicules	93
2.4.1.4.	Coûts reliés à la pollution	95
2.4.1.5.	Coûts reliés à l'utilisation accrue des véhicules	96
2.4.1.6.	Coûts reliés à l'affaiblissement de la sécurité	97
2.4.2.	Les coûts reliés à la sécurisation des lieux du bris	98
2.4.3.	Impacts économiques et interruption de service	99
2.4.4.	Perturbation des réseaux de transports collectifs de Montréal	99
2.4.5.	Impact sur la réputation de l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine	99
2.4.6.	Récapitulatif des coûts indirects.....	100
2.5.	Conclusion.....	100
3.	Bris mineur d'une canalisation d'eau dans une agglomération de taille moyenne au Québec	103
3.1.	Localisation du bris	103
3.2.	Déroulement du bris et intervention des services spécialisés : coûts de réparation des infrastructures touchées	104
3.3.	Les conséquences du bris et les coûts indirects associés	106
3.3.1.	Déclaration d'avis d'ébullition.....	107
3.3.2.	Perte d'eau.....	108

3.3.3. Congestion et détours.....	108
3.4. Coûts totaux.....	109
4. Bris majeur d'une conduite d'eau dans une ville québécoise	111
4.1. Locaition du brie.....	111
4.2. Déroulement du brie et intervention des services specialisés.....	111
4.2.1. Les services de sécurité incendie et de police.....	111
4.2.2. Les équipes en charge de l'eau du reseau secondaire	112
4.2.3. Les équipes en charge de l'eau du réseau primaire	112
4.3. Les conséquences du brie	112
4.4. Évaluation des couts directs engendrés par un brie majeur (CDI).....	114
4.4.1. Les équipes de la ville en charge de l'eau du réseau secondaire	115
4.4.2. Intervention des équipes de la ville en charge de l'eau du réseau d'aqueduc primaire	116
4.5. Évaluation des coûts indirects reliés au brie majeur de la canalisation principale (cii).	118
4.5.1. Coûts reliés à l'intervention des services d'urgence.....	119
4.5.2. Coûts des réclamations pour les dommages	120
4.5.3. Coûts reliés au détour du trafic automobile	121
4.5.4. Coûts reliés à la coupure d'electricité	122
4.5.5. Récapitulatif de l'ensemble des coûts liés au brie de la canalisation principale..	123
4.6. Évaluation des coûts reliés aux effets dominos engendrés par le brie de la canalisation principale (CDS et CIS).....	124
4.6.1. Les interventions des équipes de la ville en charge du réseau secondaire	124
4.6.2. Les interventions des équipes du service de securité incendie de la ville	127
4.6.3. Coûts des reclamations pour les dommages liés aux brie des effets dominos	128
4.6.4. Coûts divers.....	128
4.6.5. Bilan des coûts reliés aux effets dominos	128
4.7. Bilan général.....	129
5. Bilan et discussions autour des études de cas	132
CHAPITRE 5 : COÛT INDIRECT ANNUEL TOTAL DES BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES AU QUÉBEC EN 2012.....	134
1. Analyse de la base de données des brie déclarés au Québec.....	135
2. Évaluation annuelle des coûts indirects de tous les brie d'infrastructures causés par des tiers au Québec.....	136

DISCUSSIONS ET CONCLUSION.....	142
RECOMMANDATIONS.....	144
BIBLIOGRAPHIE.....	145
 Annexe 1 : Valeurs numériques du taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec.....	 147
Annexe 2 : Durée du temps de parcours supplémentaire dû à la congestion, fonction du temps.....	148
Annexe 3 : Évolution du nombre de véhicules perturbés, en fonction du temps.....	149
Annexe 4 : Évolution d'un facteur de dépréciation sonore.....	150
Annexe 5 : Ajustement des données de coûts en fonction des années d'estimations passées.	151

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coûts estimés pour une interruption de service électrique en fonction du type de client touché (LaCommare & Eto, 2006) et comparaison avec les types de clients de Hydro-Québec (Communication personnelle Hydro-Québec 2013)	28
Tableau 2 : Taux horaires des différents véhicules d'intervention des services d'urgence	31
Tableau 3 : Taux horaire selon le type de camion utilisé (Gourvil & Joubert, 2004)	39
Tableau 4 : Coût moyen par type d'accident (Manuilova, et al., 2009)	45
Tableau 5 : Coûts métriques des matières polluantes (Gourvil & Joubert, 2004)	52
Tableau 6 : Table de facteurs de dépréciation sonore (Matthews & Allouche, 2010).....	56
Tableau 7 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des coûts directs et indirects engendré par un bris d'infrastructure souterraine	63
Tableau 8 : Coûts directs du bris de conduite de gaz facturés par Gaz Métro.....	82
Tableau 9 : Facteurs de coûts évalué et illustrés dans l'étude du cas 1.....	83
Tableau 10 : Données significatives et coûts allouables au SIM	84
Tableau 11: Chiffres et coûts liés à l'intervention des services du SPVM	86
Tableau 12 : Récapitulatif des clients impactés par la coupure d'électricité due au déclenchement d'artère	88
Tableau 13 : Estimation du coût total d'un bris de conduite de gaz dans une artère résidentielle	90
Tableau 14 : Estimation des coûts directs liés au bris d'un câble de télécommunication ..	94
Tableau 15 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 2	95
Tableau 16 : Taux horaire selon le type de véhicule sur la rue Jean Talon	98
Tableau 17 : Estimation des coûts reliés à la perte de temps dans la congestion en fonction des semaines.....	98
Tableau 18 : Coûts des détours dus au bris de la rue Jean Talon.....	99
Tableau 19 : Récapitulatif des coûts reliés à la perte de temps dus au bris pour les automobilistes	99
Tableau 20 : Coûts hebdomadaires dus à la surconsommation (détours).....	101

Tableau 21 : Coûts hebdomadaires dus à la surconsommation (congestion).....	101
Tableau 22 : Rappel des divers coûts liés au bris.....	110
Tableau 23 : Historique des bris du croisement rue d'Auvergne et rue des Flandres	111
Tableau 24 : Coûts directs de remise en état des infrastructures touchées	113
Tableau 25 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 3	115
Tableau 26 : Coûts indirects reliés au trafic automobile	118
Tableau 27 : Ensemble des coûts imputables au bris de la canalisation au croisement des rues d'Auvergne et des Flandres	118
Tableau 28 : Coûts estimés de remise en état assuré par les équipes en charge du réseau secondaire.....	124
Tableau 29 : Coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau primaire	126
Tableau 30 : Ensemble des coûts de remise en état par les équipes en charge de l'eau .	127
Tableau 31 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 4	128
Tableau 32 : Mobilisation humaine des services d'urgence.....	129
Tableau 33 : Montants de l'intervention des services d'urgence.....	130
Tableau 34 : Montant et répartition des coûts des réclamations liés au bris de la canalisation principale	131
Tableau 35 : Montants des coûts affectant le trafic automobile	132
Tableau 36 : Récapitulatif de l'ensemble des coûts liés au bris de la canalisation principale	133
Tableau 37 : Ensemble des coûts reliés à l'intervention des équipes en charge de l'eau pour la réparation des bris d'aqueduc du réseau secondaire dus aux surpressions causées par le bris principal de la rue Albert combiné à l'état vétuste des conduites.....	136
Tableau 38 : Coûts reliés à l'intervention des équipes en charge de l'eau du réseau secondaire de la ville pour la réparation de l'ensemble des bris dus aux surpressions causés par le bris principal de la rue Albert combiné à l'état vétuste des conduites	137
Tableau 39 : Coût des interventions du service de sécurité incendie	139
Tableau 40 : Coûts reliés aux 19 bris engendrés par les effets dominos du bris principal	140



Tableau 41 : Part des différents coûts dans les coûts totaux	142
Tableau 42 : Données clés de la base ORDI 2012	146
Tableau 43 : Coûts indirects estimés pour l'année 2012 selon le type d'infrastructure touchée	152

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Iceberg identifiant les types de coûts indirects d'un bris d'infrastructure souterraine qui représentent la partie cachée	25
Figure 2 : Taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec (Gourvil & Joubert, 2004)	39
Figure 3 : Temps de parcours supplémentaire dû à la congestion en fonction du temps ..	42
Figure 4 : Évolution du profil du nombre de véhicules perturbés (congestion et contournement).....	43
Figure 5 : Coûts d'utilisation des véhicules en fonction de la vitesse en situation de congestion, hors coût du carburant, en CA\$ 1998 (Gourvil & Joubert, 2004)	46
Figure 6 : Profil de consommation d'un véhicule (2013).....	48
Figure 7 : Facteur de réduction de la productivité en fonction du bruit (Gilchrist & Allouche, 2005)	59
Figure 8 : Méthodologie générale adoptée lors des études de cas.....	70
Figure 9 : Aperçu du 3459 Avenue Coloniale.....	73
Figure 10 : Pelle mécanique responsable du bris	74
Figure 11 : Conduite de gaz touchée	75
Figure 12 : Table du poste de commandement des services de la SIM	76
Figure 13 : Disposition type des équipes d'intervention lors d'un bris de gaz	79
Figure 14 : Véhicule d'intervention de Gaz Métro et véhicules d'urgence	80
Figure 15 : Coûts directs associés au bris survenu au 3459 Avenue Coloniale	81
Figure 16 : Comparaison des coûts directs avec les coûts indirects liés aux services d'urgence	86
Figure 17 : Croisement Rue Jean-Talon-Ouest – Côte-des-Neiges (Montréal)	92
Figure 18 : Zone de congestion 2 jours après le bris à l'heure de pointe du matin	97
Figure 19 : Comparaison des coûts, en \$CA, dus à la perte de temps pour les automobilistes	100

Figure 20 : Évolution quotidienne des coûts de surconsommation de carburant	102
Figure 21 : Coûts reliés à la surutilisation des véhicules dans les détours lors du bris	103
Figure 22 : Engagement d'un véhicule ambulancier à contre sens lors des travaux de remise en état sur la rue Jean Talon	104
Figure 23 : Exemple de signalisation utilisée pour sécuriser les lieux d'un bris	106
Figure 24 : Répartition des coûts indirects liés au bris	108
Figure 25 : Répartition des coûts directs et indirects du bris survenu sur la rue Jean Talon	109
Figure 26 : Localisation du bris	111
Figure 27 : Carrefour où les bris ont eu lieu	112
Figure 28 : Répartition des coûts de remise en état des infrastructures touchées	113
Figure 29 : Répartition de l'ensemble des coûts imputables au bris de canalisation	119
Figure 30 : Représentation des coûts totaux du bris de canalisation survenu sur la rue Albert	123
Figure 31 : Répartition des coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau secondaire	125
Figure 32 : Plan d'intervention des équipes en charge du réseau primaire	126
Figure 33 : Répartition des coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau primaire	127
Figure 34 : Répartition des montants des interventions des services d'urgence	130
Figure 35 : Répartition de l'ensemble des coûts liés au bris de la canalisation principale	134
Figure 36 : Localisation des bris qui ont suivi l'accident survenu sur la rue Albert	135
Figure 37 : Répartition des coûts des équipes de la ville en charge de l'eau entre le bris principal et les bris dus aux effets dominos	138
Figure 38 : Répartition de l'ensemble des coûts liés au bris survenu sur la rue Albert et ceux reliés aux effets dominos	141

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

Sous terre se trouve un vaste réseau caché de conduits et de câbles qui acheminent des produits et des services essentiels à la société d'aujourd'hui. Ces infrastructures souterraines comprennent notamment les câbles de télécommunication, les câbles électriques, les conduites de gaz, les égouts, les canalisations d'eau, les tuyaux d'évacuation des eaux pluviales, les oléoducs, etc. Leur enfouissement généralement peu profond et leur densité croissante amènent les entrepreneurs à les heurter lors de travaux de réparation ou de réhabilitation en tout genre.

1. MISE EN CONTEXTE

Des statistiques de bris alarmantes

En 2012 au Québec, plus de 5 bris d'infrastructures souterraines ont été recensés en moyenne par jour ouvrable. À la vue de cette statistique, l'Alliance pour la protection des infrastructures souterraines du Québec (APISQ)¹ a entrepris d'évaluer les coûts que représentaient ces bris. L'APISQ est la seule organisation dont l'activité est entièrement dédiée à la promotion de la prévention des dommages sur les infrastructures souterraines pour la province du Québec. Sa mission principale est de participer au développement des bonnes pratiques d'excavation en ce qui concerne la prévention des dommages sur les infrastructures souterraines. Les objectifs principaux sont d'assurer la sécurité générale pour les travailleurs et pour les citoyens et de maintenir les services en place. Elle regroupe à ce jour un grand nombre de membres. La plupart des membres sont des propriétaires d'infrastructures souterraines sur le territoire québécois. Son rôle est central en ce qui concerne la protection des réseaux souterrains au Québec.

¹ L'Alliance pour la protection des infrastructures du Québec a fusionné depuis Novembre 2013 avec Info-Excavation et la nouvelle entité s'appelle désormais « Info-Excavation – L'Alliance pour la protection des infrastructures souterraines ».



La base de données ORDI (Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures qui recense les bris au Québec) gérée par Info Excavation - l'Alliance pour la protection des infrastructures souterraines nous donne certaines précisions quant aux types et aux circonstances des bris survenus au Québec. Dans 37 % des cas, les services nécessaires à la localisation des réseaux souterrains (demandes de localisation auprès d'Info-Excavation²) n'ont pas été contactés, 35 % ont nécessité le déploiement des services d'urgence des municipalités et 83 % ont occasionné des interruptions de service (APISQ, 2012). Ce bilan est assez inquiétant compte tenu des coûts que cela engendre. En outre, ce bilan est certainement en dessous de la réalité des bris du fait du manque de données, puisque la déclaration est faite de façon volontaire et que de nombreux propriétaires d'infrastructures ne participent pas au programme de recensement des bris mis en place par l'APISQ.

Des bris qui mettent en danger la santé et la sécurité des travailleurs

Ces bris mettent en danger les ouvriers participant aux travaux en les exposant à des blessures graves et parfois à des situations qui pourraient s'avérer mortelles. Au Canada, il n'existe pas à ce jour de base de données structurée sur les travailleurs blessés ou morts spécifiquement reliés aux bris des infrastructures souterraines. Des données sont toutefois disponibles. Nous savons en effet, qu'au Québec, aucun décès n'est à déplorer suite à un bris d'infrastructure souterraine. Par contre, de nombreux quasi-accidents surviennent, comme en mars 2012 où un travailleur aurait pu se noyer à la suite d'un bris sur une conduite d'eau primaire dans l'arrondissement Ville Marie à Montréal. Toutefois, des accidents avec décès sont survenus dans d'autres provinces.

En Ontario, depuis 2003, il y a eu 7 morts. Depuis 2008, en Colombie-Britannique, il y a eu 2 morts et 6 blessés graves dus à des bris d'infrastructures souterraines à la suite de travaux d'excavation (sur en moyenne plus de 1600 infrastructures « accrochées »

² Les services d'Info Excavation- L'alliance pour la protection des infrastructures souterraines, disponibles 24 heures par jour, sont gratuits et offrent, entre autre, un guichet unique afin d'informer quiconque, avant de creuser le sol, la nature et l'emplacement des installations souterraines de ses membres. Cette vérification n'est cependant pas obligatoire au Québec.

annuellement).

En ce qui concerne les États-Unis, le US Department of Transportation, section Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration compile chaque année les incidents graves pour chaque type d'opérateur de pipeline. Il est à noter que les lois américaines sévères obligent l'appel avant les travaux d'excavation et imposent aux propriétaires/exploitants de réseaux souterrains une affiliation avec les centres d'appels uniques. Les contrevenants sont d'ailleurs passibles d'amendes très élevées. Aujourd'hui, tous les états américains disposent de législations orientées sur la protection des infrastructures souterraines et chaque état possède un centre d'appels unique. Cette initiative a permis de réduire grandement (de l'ordre de 70%³) le nombre de dommages aux réseaux enfouis. Les statistiques américaines sont néanmoins alarmantes : 16 blessés et 2 morts en 2011 dus à des bris d'infrastructures reliés à un travail d'excavation⁴.

2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Les impacts d'un bris d'infrastructure peuvent être différenciés en deux types de coûts. En effet, en plus des coûts reliés aux équipements utilisés, à la main-d'œuvre et aux matériaux de remplacement nécessaires à la remise en état des infrastructures touchées (coûts que l'on appellera coûts directs), de nombreux autres coûts viennent s'ajouter. On retrouve, notamment, le coût des interventions des services d'urgence, le coût d'interruption de service de l'infrastructure endommagée et de certaines infrastructures environnantes et les coûts dus à la perturbation du réseau routier (congestion, perte de

³ Assemblée législative de l'Ontario, 2012, « Comptes rendus: Comité permanent des affaires gouvernementales - 18 avril 2012 - Projet de loi 8, Loi de 2012 sur un système d'information sur les infrastructures souterraines en Ontario », disponible à l'adresse suivante : http://www.ontla.on.ca/web/committee-proceedings/committee_transcripts_details.do?locale=fr&BillID=2543&ParlCommID=8958&Date=2012-04-18&Business=&DocumentID=26223

⁴ US DOT, PHMSA Serious Pipeline Incidents, disponible à l'adresse suivante : http://primis.phmsa.dot.gov/comm/reports/safety/SerPSIDet_2011_2011_US.html?nocache=8372#_all

temps, détours, surconsommation, etc.). À cela s'ajoutent les coûts liés aux impacts environnementaux (bruit, vibrations, pollutions en tous genres) et les coûts liés aux impacts économiques (perte de chiffre d'affaires, absentéisme et retard au travail, etc.). Certains de ces facteurs de coûts témoignent d'une baisse de la qualité de vie des citoyens. Dans certains cas, ces coûts additionnels sont supportés par la société. Ces coûts additionnels, qui découlent du bris seront appelés coûts indirects. Des définitions précises seront apportées dans le chapitre suivant.

L'objectif général de ce projet de recherche est donc de présenter une étude précise des coûts indirects liés aux bris d'infrastructures souterraines, à des fins de prévention et d'incitation au développement de bonnes pratiques. C'est une étape incontournable qui va permettre, en fournissant une typologie exhaustive des coûts socio-économiques ainsi que l'estimation réaliste du coût d'un bris, de convaincre les entrepreneurs de l'importance de la prévention et par le fait même de réduire la facture liée à ces bris pour les entreprises, la population, les municipalités, les services d'urgences, etc.

Ce projet est d'autant plus pertinent que l'enfouissement des réseaux techniques urbains est de plus en plus fréquent, que ce soit pour des raisons esthétiques (réappropriation de paysages) ou pour des raisons de sécurité (diminution du risque associé aux incidents climatiques, élimination du risque associé à la présence de végétation en milieu urbain). Dans ce contexte, l'importance de mieux gérer les interventions sur les réseaux enfouis prend une dimension encore plus grande.

Afin de mener à bien le projet de recherche, nous avons défini trois objectifs spécifiques auxquels nous avons répondu :

- 1. Développer une typologie des coûts directs et indirects qui permet de faire émerger l'importance et la grande diversité de ces coûts. Mettre à jour et développer une méthodologie ainsi que des modèles qui nous permettront de calculer ces coûts**
- 2. Chiffrer les coûts totaux de quatre cas de bris d'infrastructure souterraine au Québec et estimer le rapport coûts directs / coûts indirects.**
- 3. Analyser les résultats obtenus afin de rendre compte de l'ampleur des coûts réels totaux indirects reliés aux bris d'infrastructures pour le Québec.**

3. PLAN GÉNÉRAL DU RAPPORT

Afin de parvenir aux objectifs fixés, nous avons suivi une démarche rigoureuse. Celle-ci se structure au travers des 5 chapitres du rapport :

- Le **premier chapitre** vise à définir les différents types de coûts qui seront abordés dans l'étude. Nous verrons ainsi ce qui différencie les coûts directs des coûts indirects.
- Le **deuxième chapitre** présente les résultats d'une revue de la littérature académique et technique identifiant l'ensemble des facteurs de coûts liés à des bris d'infrastructure souterraine. Pour chacun des facteurs de coûts identifiés, nous proposons une définition. Ce chapitre propose aussi pour chaque facteur de coûts identifiés une méthode permettant de les estimer (c'est à dire permettant de leur accorder une valeur économique)
- Dans le **troisième chapitre**, nous exposons le choix des études de cas servant d'illustration à l'étude ainsi que la méthodologie retenue pour analyser ces cas.
- Le **quatrième chapitre** présente l'estimation des coûts directs et indirects des 4 études de cas retenues. Cela permet d'évaluer l'importance que représentent les coûts indirects liés à un bris d'infrastructure souterraine
- Le **cinquième et dernier chapitre** permet de rendre compte de l'importance des coûts indirects totaux reliés à l'ensemble des bris d'infrastructures souterraines déclarés annuellement au Québec.

Une conclusion générale reprenant les principaux constats et des recommandations pour chacune des parties prenantes en jeu lors d'un bris d'infrastructures souterraines termine ce rapport.

CHAPITRE 1

DÉFINITION DES DIFFÉRENTS TYPES DE COÛTS RELIÉS À UN BRIS D'INFRASTRUCTURE SOUTERRAINE

Dans un premier temps, il est important de définir les différentes catégories de coûts engendrés par un bris d'infrastructures souterraines. En effet, lors d'un bris d'infrastructure souterraine, les coûts qui peuvent être liés à l'évènement sont nombreux. Avant d'effectuer une revue de littérature détaillée, il est nécessaire d'apporter certaines définitions aux termes qui seront utilisés dans la suite de l'étude. Lorsque l'on regarde la littérature concernant les coûts reliés aux bris ou aux remplacements des infrastructures souterraines, on remarque que de nombreuses définitions ont été proposées.

1. LES COÛTS DIRECTS

Définition des coûts directs

Nous définissons les coûts directs comme étant les coûts reliés à la réparation du bris (remplacement du matériel endommagé et mobilisation de techniciens pour les réparations). Il s'agit donc des coûts nécessaires à la remise en état des infrastructures touchées telles qu'elles étaient avant l'incident (Rahman, Vanier, & Newton, 2005).

Ainsi, les coûts directs considérés sont les suivants :

- Les coûts des matériaux de remplacement utilisés ;
- Les coûts du matériel utilisé ;
- Les coûts de la main-d'œuvre ;
- Les coûts administratifs nécessaires à la remise en état des infrastructures endommagées.

2. LES COÛTS INDIRECTS

Depuis la fin des années 90, de nombreuses études ont été menées dans le but de définir les autres types de coûts qu'engendre un bris, mais ne pouvant pas être considérés comme des coûts directs au sens de la définition précédente.

Définition des coûts indirects

Nous définissons les coûts indirects comme étant ceux qui découlent du bris. Ces coûts correspondent à l'évaluation économique de toutes les perturbations ayant un lien plus ou moins important mais avéré avec le bris (Allouche, Ariaratnam, & AbouRizk, 2000).

Les coûts indirects sont variés et peuvent balayer un large éventail de domaines. Ils peuvent représenter la coupure du service aux usagers, les dommages à la santé et sécurité des travailleurs, la perturbation de la circulation routière, la mobilisation des services d'urgence, la santé et la sécurité des membres des services d'urgences (on pense ici plus particulièrement aux pompiers) ou encore les frais administratifs liés aux procédures découlant de l'accident. À cela s'ajoutent les coûts liés aux impacts environnementaux (bruit, vibrations, pollutions en tous genres) et les coûts liés aux impacts économiques (perte du chiffre d'affaires, absentéisme et retard au travail, etc.). Dans la plupart des cas, ces coûts additionnels sont supportés par la société.

L'ensemble de ces coûts (directs et indirects) représente les coûts totaux attribuables à un bris d'infrastructure souterraine :

Équation 1 : Coûts totaux liés à un bris d'infrastructure souterraine

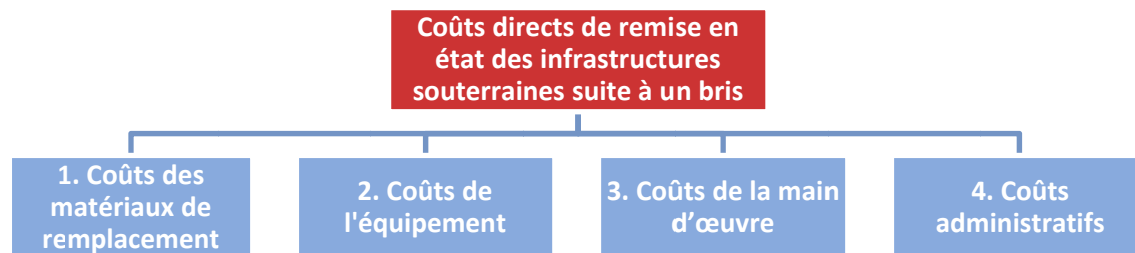
$$\text{Coûts Totaux} = \text{Coûts Directs} + \text{Coûts Indirects}$$

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE ET MÉTHODES DE CALCULS DES COÛTS INDIRECTS

1. LES COÛTS DIRECTS, NÉCESSAIRES À LA REMISE EN ÉTAT DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES TOUCHÉES

Dans cette partie, nous allons donc nous pencher sur les coûts directs reliés à la remise en état des infrastructures souterraines touchées.



1.1 COÛTS DES MATÉRIAUX DE REMPLACEMENT

Les premiers coûts à prendre en compte suite à un bris d'infrastructures souterraines sont ceux reliés aux matériaux nécessaires pour le remplacement et la remise en état des infrastructures touchées. Qu'il s'agisse d'un réseau d'aqueduc, d'une conduite d'égout, de gaz, d'un pipeline ou encore de câbles de télécommunication, la rupture partielle ou totale nécessite une remise en état complète afin de permettre le retour du service initial. Ces coûts peuvent donc être variés, allant des coûts de remplacement d'une canalisation en fonte, en passant par les coûts de conduites de gaz répondant à des normes de sécurité très particulières, ou encore aux coûts de remplacement de câbles de fibre (Khogali & Mohamed, 1999).

1.2 COÛTS DE L'ÉQUIPEMENT UTILISÉ POUR LA REMISE EN ÉTAT DES INFRASTRUCTURES

La remise en état de ces infrastructures nécessite l'utilisation d'équipement plus ou moins spécialisé, et ainsi pouvant devenir coûteux (Rylska et al., 2006). Cela peut être dû à deux facteurs différents. Le premier est la valeur propre des équipements utilisés lors des travaux de réfection. Notamment pour les conduites de gaz, les pipelines ou les câbles de télécommunication, le matériel utilisé est très onéreux et le coût horaire d'utilisation s'en trouve également élevé. Le second facteur déterminant, celui-ci d'avantage lié aux aqueducs, est relatif à la taille des infrastructures touchées. En effet, la taille de ces dernières pouvant atteindre des dimensions très importantes, les équipements doivent être dimensionnés en proportion afin de permettre une remise en état correcte et efficiente.

1.3 COÛTS DE LA MAIN-D'ŒUVRE UTILISÉE POUR LA REMISE EN ÉTAT DES INFRASTRUCTURES

Les coûts attribués à la main-d'œuvre sont également importants. En plus de la prise en compte du temps de réparation et donc du nombre d'employés nécessaire à la remise en état des infrastructures souterraines touchées, il est important de prendre en compte l'aspect formation de la main d'œuvre. Certains intervenant sur les lieux du sinistre peuvent être des personnes hautement qualifiées et ayant parfois dû suivre des formations spécialisées. Ces particularités ont un impact sur le coût horaire, alors plus élevé, faisant ainsi augmenter le montant total des coûts directs. À cela, il faut également prendre en compte les conditions de réparation des infrastructures endommagées (Rahman, et al., 2005). L'aspect urgence est souvent important. Il peut donc arriver que les heures de travail des employés présents sur les lieux du sinistre soient considérées comme des heures supplémentaires, augmentant une fois de plus les coûts de remise en état des infrastructures touchées.

1.4 COÛTS ADMINISTRATIFS NÉCESSAIRES À LA REMISE EN ÉTAT DES INFRASTRUCTURES

Des coûts administratifs sont aussi à prendre en compte. Il s'agit des coûts liés à la gestion du projet et des frais de suivi du dossier. Toute réparation, qui plus est en situation d'urgence, nécessite la mise en place d'un plan d'urgence par des équipes de gestion de projet. Ce plan a pour but d'assurer le bon déroulement des opérations malgré les conditions particulières (Khogali & Mohamed, 1999). Par ailleurs, un plan d'urgence nécessite la mise à disposition de ressources qualifiées (ingénieurs, gestionnaires de projets, etc.). À cela, il est important d'ajouter les frais relatifs au suivi des dossiers. Pour la plupart des propriétaires d'infrastructures, cela implique souvent la création d'un service spécialisé.

Si les coûts de réparation de la conduite brisée vus précédemment sont en général relativement faciles à identifier et à imputer à un bris car ils correspondent aux coûts qui apparaissent communément sur les bordereaux (Modieli Amadou et al., 2010), les coûts indirects **sont, quant à eux, difficilement quantifiables et rarement pris en compte dans les décisions en matière de travaux ou de prévention.**

2. LES COÛTS INDIRECTS APPLICABLES AUX BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES

Une revue de la littérature nous a permis de définir les différents types de coûts indirects reliés aux bris d'infrastructures souterraines. Le but était également d'associer à chaque élément de coût une méthode d'estimation, ce qui est présenté dans la prochaine section. Les coûts directs sont la partie visible de l'iceberg et ce que l'on voit est nettement moins important que ce qui est caché. En effet, la liste de coûts indirects est souvent longue et certains de ces coûts sont souvent oubliés. L'aspect de situation d'urgence ne fait qu'augmenter l'importance que représentent ces derniers.

La figure suivante liste les différents types de coûts indirects identifiés dans la littérature.



Figure 1 : Schématisation de l'ampleur des coûts indirects par rapport aux coûts directs d'un bris d'infrastructure souterraine

Les sections suivantes vont permettre de définir et de présenter les méthodes de calcul retenues pour chacun de ces coûts.

2.1 COÛTS DES PERTES DE PRODUITS DUES AU BRIS

Un autre type de coût indirect pouvant être imputé à un bris d'infrastructure souterraine est celui relié à la perte de produit présent dans l'infrastructure (Rylska, et al., 2006). Ce coût dépend fortement du type et de la taille de l'infrastructure touchée. Si cela ne peut s'appliquer à des infrastructures de télécommunication ou électriques, il n'en est pas de même en ce qui concerne les infrastructures contenant du gaz, des hydrocarbures ou encore de l'eau. Même si au Québec la consommation de l'eau potable n'est pas facturée

au consommateur⁵ à proprement parler, un coût économique doit lui être associé. En effet, avant sa distribution, l'eau a dû être traitée dans des usines spécialisées et cela représente un coût réel pour la société. Même si celui-ci semble très faible et particulièrement difficile à chiffrer (entre 0,22 et 0,55 dollar par mètre cube) il n'en reste pas moins qu'une fuite d'eau représente un coût pour le Québec (Gouvernement du Québec, 2013).

Que ces pertes soient facturées ou non, elles représentent une somme que l'on doit estimer. Pour cela, la façon la plus efficiente est la mesure du débit observé pour l'infrastructure brisée durant la période précédant l'interruption du flux. Le volume perdu peut ainsi être estimé de la façon suivante :

Équation 2 : Volume du produit perdu

$$\begin{aligned} &\text{Volume de fluide perdu (m}^3\text{)} \\ &= \text{Débit de la conduite (m}^3\text{/h)} \times \text{temps avant intervention (h)} \end{aligned}$$

En utilisant le prix volumique de chaque fluide, cela nous permet d'obtenir une estimation du premier coût occasionné :

Équation 3 : Coût de la perte de produit

$$\begin{aligned} &\text{Coût de la perte de fluide} \\ &= \text{Volume de fluide perdu (m}^3\text{)} \\ &\quad \times \text{prix volumique du fluide (\$/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

En ce qui concerne les prix volumiques utilisés dans la suite des études de cas, le taux volumique pour l'eau potable sera de 0,40 \$/m³ (Ville de Gatineau, 2013). Pour le gaz de ville, le coût que représente la perte de produit est visible directement sur les factures transmises par le propriétaire d'infrastructure gazière.

⁵ Sauf pour certains très gros consommateurs

2.2 INTERRUPTION DES SERVICES POUR LES INFRASTRUCTURES TOUCHÉES

Lorsqu'un bris d'infrastructure souterraine survient, il est presque toujours accompagné d'une interruption des services de l'infrastructure touchée (peu importe le type de bris, on peut penser à des coupures d'eau, de gaz, d'électricité, d'internet, etc.). Il est important d'ajouter que le service de certaines infrastructures adjacentes peut se retrouver également perturbé. Ces perturbations de service représentent un coût pour la société. Pour les infrastructures électriques par exemple, une interruption de service représente parfois pour un seul client un coût horaire de plusieurs milliers de dollars. Ce coût peut rapidement augmenter lorsque les clients touchés sont des commerces, des institutions ou des industries.

Méthode d'estimation des coûts reliés à une interruption de service

Il existe plusieurs méthodes servant à calculer les coûts d'interruption de service pour un bris notamment électrique (Cromwell & Pearson, 2002). La première consiste en une approche agrégée des données. En prenant en compte le PIB par kilowatt/heure consommé, le salaire moyen, la moyenne du prix de l'électricité par kilowatt ou encore d'autres paramètres, cela permet d'établir une estimation pour un bris de très grande ampleur (ville ou pays de mêmes caractéristiques). La deuxième méthode vise à observer le comportement des clients. Plusieurs méthodes ont vu progressivement le jour, l'idée générale étant l'analyse du comportement de consommation et la bonne volonté du consommateur à accepter le désagrément.

Dans les études de cas qui seront traitées dans les chapitres suivants, il semblerait qu'une étude prenant en compte le coût horaire moyen par type d'infrastructure touchée soit préférable. Ainsi, en se basant sur l'étude de LaCommare et Eto (2006), il est possible d'estimer le préjudice engendré par la coupure d'électricité. Cela est également le cas pour des interruptions liées à d'autres services, tels que l'eau, le gaz ou encore les services de télécommunication (Modieli Amadou, et al., 2010).

Dans le but de ne pas surestimer les coûts engendrés par une interruption de service électrique, nous avons établi des équivalences entre les différentes catégories de client. En effet, pour le principal prestataire de service électrique au Québec, Hydro-Québec, les clients sont répertoriés⁶ selon 3 grandes catégories : mineurs, moyens et majeurs. Le tableau suivant présente les coûts estimés du préjudice engendré par une coupure d'électricité en fonction du type de client touché.

Tableau 1 : Coûts estimés pour une interruption de service électrique en fonction du type de client touché (LaCommare & Eto, 2006) et comparaison avec les types de clients de Hydro-Québec

Types de clients Hydro-Québec	Types de clients touchés	Coûts horaires moyens (en CA\$ 2012)
Client mineur	Client résidentiel	3,50 \$/h
Client moyen	Commerce ou entreprises et industries de moins de 50 personnes	1149,65 \$/h
Client majeur	Entreprises et industries de plus de 50 personnes	4221,01 \$/h

À partir de ces équivalences, il devient possible, en déterminant la durée d'interruption de service, d'établir une estimation du coût que représente cette coupure de service électrique :

Équation 4 : Coût d'une interruption de service électrique

Coût d'une interruption de service électrique

= Durée de l'interruption (h)

$$\times \sum_{i=1}^N (\text{Coût horaire moyen } i \text{ (\$/h)} \times \text{Nombre de clients } i \text{ touchés})$$

Avec N : le nombre de types de clients touchés.

⁶ Communication personnelle avec Hydro-Québec.



Cette technique de calcul sera utilisée pour estimer les coûts des interruptions de service électrique dans nos études de cas. Toutefois, il est important de mentionner que les estimations qui seront faites dans les études de cas ne tiennent pas compte des mesures d'atténuation pouvant être mise en place par certains clients (par exemple, les hôpitaux et certaines industries possèdent des génératrices ou des systèmes auxiliaires permettant de pallier la coupure électrique).

2.3 INTERVENTION DES SERVICES D'URGENCE

De nombreux bris sont à l'origine d'une intervention de la part des services d'urgences, ce qui peut engendrer des coûts relativement élevés. Il paraît donc important de regarder point par point les différents coûts associables à ce type de services (Rylska, et al., 2006).

Les services de sécurité incendie peuvent être mobilisés lorsque la vie des citoyens est mise en danger, quelle qu'en soit la cause. Ainsi, pour tout ce qui concerne les bris d'infrastructures gazières, de pipeline, ou de canalisation provoquant de fortes inondations, des interventions types sont préétablies (selon différents degrés de danger). Il existe à ce titre des manuels qui définissent pour chaque situation (urbain, proche d'habitation, présence de substances dangereuses) le service minimum requis. Les principaux services publics pouvant être appelés sont le service incendie, le service de police et les ambulances.

Lors d'un bris d'une conduite de gaz à Montréal, une équipe de pompiers est obligatoirement dépêchée sur les lieux. Les coûts reliés à la mobilisation des véhicules et des pompiers sont non négligeables et peuvent s'accompagner de **coûts d'opportunité** tout aussi importants si par exemple le fait d'être sur les lieux d'un bris empêche les pompiers de répondre dans un temps normal à un appel nécessitant une intervention immédiate (arrêt cardiaque par exemple).



De plus, lors d'un bris majeur pouvant mettre en danger la population ou nécessitant par exemple des fermetures de rues, il est pratiquement indispensable de dépêcher sur les lieux d'autres services d'urgence comme les services de police par exemple. Dès les premières minutes du bris, un service minimum d'unités de police est réquisitionné sur place afin de sécuriser les lieux et de réguler les flux de circulation. Dans un nombre important de cas, des unités de police supplémentaires sont nécessaires afin d'assurer une sécurité plus élargie.

En outre, suite à une interruption de service reliée à un bris d'infrastructure souterraine, la mise en place d'un service de substitution peut être nécessaire. Ce service est très souvent offert par les services d'urgence. Par ailleurs, si pour certains services tels que l'eau potable, une substitution est possible au cas par cas pour les utilisateurs victimes du bris (achat de bouteilles d'eau), cela est impossible pour d'autres services comme l'électricité ou le gaz (Modieli Amadou, et al., 2010). Ainsi, pour ces bris particuliers, la mise en place d'infrastructures parallèles de substitution va venir augmenter le coût total lié au bris.

Dans tous les cas, que cela soit pour le service incendie, le service de police ou pour les services hospitaliers (intervention de véhicules ambulanciers), les coûts reliés à l'utilisation de ces ressources peuvent être importants.

En plus des interventions des services publics tels que le service de police ou celui de sécurité incendie, certaines sociétés privées peuvent être appelées lors de l'intervention. Il est donc important lors d'une intervention de récupérer le maximum d'informations afin de ne pas oublier des coûts additionnels. Cela fut notamment le cas lors d'une intervention sur une fuite de gaz où un serrurier et une dépanneuse furent contactés pour avoir accès au lieu du sinistre.

Il en est de même pour les propriétaires d'infrastructures adjacentes. Même si le bris principal n'est pas à relever sur l'une de leurs infrastructures, il est possible que par

mesure de prévention, une intervention de services spécialisés soit nécessaire et ordonnée. Cela engendre des surcoûts à ajouter à l'ensemble.

Méthode d'estimation des coûts reliés au déploiement des services d'urgence

Afin d'estimer les coûts reliés au déploiement des services d'urgence, il faut déterminer à la fois le taux horaire et le temps d'intervention de chaque unité d'intervention. Après avoir pris contact avec les services identifiés (Service de sécurité incendie de Montréal (SIM) et Service de police de la ville de Montréal (SPVM)), nous avons obtenu pour chaque type de véhicule les taux horaires d'utilisation suivants :

Tableau 2 : Taux horaires des différents véhicules d'intervention des services d'urgence

Type de véhicule	Taux horaire d'utilisation
Véhicule de chef aux opérations (SIM)	49 \$/h
Véhicule d'assistance (SIM)	200 \$/h à 400 \$/h
Véhicules autopompe (SIM)	515 \$/h
Véhicule d'élévation (SIM)	728 \$/h
Véhicule d'intervention (SPVM)	62 \$/h

Il est important de noter que le taux horaire d'utilisation des véhicules prend aussi en compte le taux horaire des personnes présentes à bord des véhicules. Si l'on prend l'exemple d'un véhicule autopompe, le taux horaire estimé de 515 \$/h mis dans le tableau ci-dessus prend en compte le salaire de 4 pompiers présents à bord du véhicule.

Ainsi, pour chaque intervention, il devient possible, en prenant en compte le temps d'intervention, de calculer le coût total de l'utilisation des services publics de sécurité.

Équation 5 : Coût total d'intervention des services publics de sécurité

Coût total d'intervention des services publics de sécurité

$$= \sum_{i=1}^N (\text{Taux horaire d'un véhicule de type } i \text{ (\$/h)}) \\ \times \text{Temps d'intervention d'un véhicule de type } i \text{ (h)}$$

avec N : le nombre de véhicules d'intervention déployés lors de l'accident

2.4 ÉVACUATION DES RÉSIDENTS ET DES COMMERCES

Dans certains cas, lorsque la sécurité de la population est menacée, les résidents et les commerces proches du bris sont évacués. Des coûts spécifiques peuvent accompagner ces évacuations.

2.5 PERTURBATION DES SOLS ET RÉDUCTION DE LA DURÉE DE VIE DES INFRASTRUCTURES ADJACENTES

Lors d'un bris d'infrastructure souterraine, il se peut que certaines perturbations aient un impact sur les infrastructures adjacentes. De nombreuses études font référence à la réduction de la durée de service de la chaussée à la suite de travaux (Khogali & Mohamed, 1999). Cependant, il est important d'ajouter que ces perturbations peuvent avoir lieu sur d'autres types d'infrastructures (Rahman, et al., 2005), qu'elles soient privées ou publiques.

Un bris d'infrastructure souterraine oblige son propriétaire ou son exploitant à remettre en état ses infrastructures, mais oblige également parfois les propriétaires d'infrastructures adjacentes ainsi que les municipalités à remettre en état leurs infrastructures endommagées elles aussi. Il existe plusieurs techniques d'excavation : soit en réalisant des coupes « traditionnelles » dans la chaussée, soit en ayant recours à des « tranchées », ce qui permet de ne pas trop perturber l'activité environnante (Modieli Amadou, et al., 2010). Cependant, ces 2 techniques ont des effets pratiquement semblables au niveau des infrastructures adjacentes. Elles provoquent dans un nombre de cas assez important l'affaissement voir la chute des parois latérales, ou moins la

fragilisation du sol. Cela augmente le risque d'effondrement de la zone considérée et ainsi la déstabilisation des réseaux adjacents. Intuitivement, on remarque que plus l'infrastructure est proche de la zone du sinistre, plus elle risque d'être touchée. Ce phénomène est par ailleurs accentué par la présence des machineries. Bien que ces dernières soient nécessaires pour la remise en état des infrastructures touchées, elles modifient les contraintes mécaniques et accélèrent les éboulements et la diminution de la durée de vie des infrastructures du secteur.

Il est également important de noter que la réparation de ces infrastructures souterraines peut induire fortement sur la perte de valeur des infrastructures, notamment routières. Des études conduites dans des villes américaines, dont New York et Cincinnati démontrent un effet négatif sur la performance de la chaussée dont l'amplitude dépend du climat, de la densité du trafic, de la méthode et des conditions de remblai (Shahin & Croveti, 1987). Par conséquent, les dommages provoqués par ces travaux peuvent aussi réduire la durée de vie de la chaussée et augmenter la fréquence des programmes de maintenance engendrant ainsi la prise en charge de nouveaux coûts.

Afin d'estimer les coûts de ces perturbations et de la réduction de la durée de vie des infrastructures adjacentes, il est nécessaire d'étudier au cas par cas les réparations qui vont suivre un bris d'infrastructure souterraine. Les mêmes méthodes que celles utilisées pour déterminer les coûts directs liés à un bris d'infrastructure seront utilisées.

2.6 FERMETURE OU PERTURBATION D'UNE SECTION DE ROUTE ET IMPACTS SUR LES DÉPLACEMENTS ET LE TRAFIC

Nombreux sont les bris qui ont un impact sur le trafic routier qu'il s'agisse d'une fermeture partielle ou totale d'une section de route (Gourvil & Joubert, 2004). Diverses méthodes permettent de calculer le coût des perturbations affectant le trafic routier. Dans les paragraphes suivants, nous allons énoncer les différents facteurs de coûts associés à une perturbation de la circulation ainsi que les méthodes qui permettent de les estimer.

2.6.1. DIFFICULTÉ D'ACCÈS POUR LES VÉHICULES D'URGENCE DANS LA ZONE OÙ A EU LIEU LE BRIS

Dans leur étude, Modieli Amadou et al. (2010) mentionnent un point important relié à l'encombrement du réseau routier lors de congestion même si cela ne peut être chiffré de façon monétaire. En effet, la congestion du trafic est un facteur de ralentissement pour les véhicules d'intervention d'urgence (pompiers, ambulances, services de police, etc.). Cet aspect impacte ainsi la qualité des services de secours et peut le cas échéant devenir déterminant, selon la situation considérée (Rylska, et al., 2006).

2.6.2. PERTE D'ESPACES DE STATIONNEMENT PROCHES DU BRIS

Lors de la remise en état d'infrastructures souterraines localisées à proximité d'une voie urbaine, il peut être important de prendre en compte l'aspect réduction de l'espace disponible sur la chaussée. Cela se répercute donc sur les voies de circulation, mais également sur les espaces dédiés au stationnement de véhicules (Boyce & Bried, 1994). Ainsi, cette perte d'espace représente un manque à gagner pour les municipalités et peut être chiffrée comme un coût indirect.

Ces coûts comprennent la perte de revenus liée à l'impossibilité de stationner sur les lieux. Cette perte d'espace impacte immédiatement le taux d'occupation total et donc les gains liés au stationnement des véhicules. Il est possible de calculer ce coût à partir du modèle suivant :

Équation 6 :

Coût de la perte d'espaces de stationnement

$$\begin{aligned} &= \text{Nombre de places de stationnement non accessibles} \\ &\times \text{Taux du parcomètre (\$/h)} \\ &\times \text{Nombre d'heure opérationnelles par jour (h/jour)} \\ &\times \text{Taux d'occupation de l'espace concerné (\%)} \\ &\times \text{Durée de l'intervention (jour)} \end{aligned}$$

De plus, toute zone de stationnement ouverte au public, que celle-ci soit payante ou non, est régie par une réglementation locale. Cependant, il arrive souvent que cette dernière soit enfreinte laissant place à la distribution de sanctions, telles que des amendes de stationnement (McKim, 1997). Ces amendes représentent également une source de revenus pour les municipalités. Pucker et al (2006) ont mis en place un modèle pour évaluer ce type de coûts :

Équation 7 : (Pucker, et al., 2006)

Coût des pertes dues à l'absence d'amendes de stationnement

$$\begin{aligned} &= \text{Coût moyen d'une amende (\$)} \\ &\times \text{fréquence des amendes (nombre/h)} \\ &\times \text{Nombre d'heure opérationnelles par jour (h/jour)} \\ &\times \text{Durée de l'intervention (jour)} \\ &\times \frac{\text{espaces de stationnement interdits perdus (m}^2\text{)}}{\text{espaces de stationnement interdits totaux (m}^2\text{)}} \end{aligned}$$

Afin d'illustrer les modèles précédemment énoncés, nous proposons l'exemple d'une remise en état d'une infrastructure souterraine durant une période de 10 jours.

Exemple 1

Estimons une zone supprimant, en raison de la fermeture d'une des 2 voies, 15 place de stationnement dont le taux horaire se chiffre à 2 \$ par heure de 9 h à 18h. Considérons

que ces stationnements sont occupés aux 2 tiers et que le tiers de cette zone corresponde à une interdiction de stationnement. Avec une fréquence de 4 amendes par heure au coût de 52 \$ par amende (Service de Police de la Ville de Montréal, 2013), le coût total de la perte de revenu est le suivant :

Coût de la perte de stationnement

$$\begin{aligned} &= 15(\text{stationnements}) \times 2(\$/\text{h}) \times 9 (\text{h}) \times 2/3 (\%) \times 10(\text{j}) \\ &= 1800 \$ \end{aligned}$$

Coût des pertes dues aux amendes de stationnement

$$\begin{aligned} &= 52 (\$) \times 4 (\text{billets}/\text{h}) \times 10 (\text{j}) \times 9 (\text{h}/\text{jour}) \\ &\quad \times 0,5(\% \text{ des espaces de stationnement interdits perdus}) \\ &= 9\,360 \$ \end{aligned}$$

Coût total = 1 800 \$ + 9 360 \$ = 11 160 \$

On remarque ainsi que pour un bris qui nécessite une remise en état de la chaussée d'une dizaine de jours, la somme totale perdue atteint plus d'une dizaine de milliers de dollars.

2.6.3. PERTE DE TEMPS ET AUGMENTATION DE LA DISTANCE À PARCOURIR POUR LES VÉHICULES ET LES PIÉTONS

Le point crucial lié à la perturbation du trafic routier lors d'une étude de bris d'infrastructures souterraines est celui de la congestion du trafic. De nombreuses études font ainsi l'état de ce problème. Il apparaît plusieurs grandes méthodes permettant de calculer les coûts de congestion. La première analyse possible se situe au niveau du choix de l'itinéraire (Cromwell & Pearson, 2002). Cela consiste à opter pour un parcours de substitution plutôt que pour celui impacté par le bris. Mais cette solution nécessite une très bonne connaissance de l'état du trafic. Or bien souvent, lors d'un bris d'infrastructure, il n'est pas évidemment voire impossible de connaître en temps réel la



situation. Cette option ne peut donc être applicable qu'au-delà de plusieurs jours et uniquement pour les automobilistes et piétons utilisant fréquemment cet itinéraire.

La deuxième façon d'appréhender le problème est d'adopter une analyse s'appuyant sur le choix de la vitesse (Cromwell & Pearson, 2002). Le fait qu'un automobiliste tente de récupérer le temps perdu dans les congestions en adoptant une conduite plus rapide est un postulat facilement envisageable et acceptable. Cependant, cela dépend de nombreux facteurs : la distance restante à parcourir, le type de voies empruntées, les conditions météorologiques et surtout le comportement du conducteur⁷.

La dernière analyse est celle utilisant le temps supplémentaire nécessaire pour parcourir la même distance. Très souvent utilisée (Boyce & Bried, 1994; Rahman, et al., 2005), elle est, la plupart du temps, très proche de la réalité et nous permet de chiffrer correctement et facilement les coûts de congestion d'un bris d'infrastructure. En effet, dans la majorité des cas, les automobilistes ou les passagers de transports en commun ne sont pas au courant qu'un bris est survenu sur leur parcours. Cette méthode peut également s'appliquer à la perte de temps de piétons (Zhang, Boardman, Gillen, & Waters, 2004).

Contrairement à ce que nous avons pu voir dans différentes études relatives à la congestion du trafic routier, nous aborderons une analyse conciliant la perte de temps et l'augmentation de la distance de parcours en cas de congestion. Deux cas de figure se présentent pour ce type d'étude. Soit une section de route s'avère être totalement fermée, ce qui entraîne un détour inévitable pour l'ensemble des personnes circulant

⁷ (Cromwell & Pearson, 2002) évoquent également l'option du choix du logement (en fonction du lieu de travail). Ici, il est impossible, dans le cas de bris accidentel d'appliquer cette approche. On comprendra aisément qu'en aucun cas, les automobilistes n'adopteront un tel comportement lorsqu'un bris d'infrastructure survient entre leur lieu de domicile et leur travail.

Une autre approche intéressante est celle reposant sur le choix du mode de transport. Cependant, en cas de congestion routière, seul le réseau de transport souterrain (métro) reste épargné par la congestion. Une autre partie de la population semble être épargnée en partie par la congestion à savoir les cyclistes. Cependant, cela ne représente qu'une très faible partie du transport et ne concerne que les déplacements de courte distance.

(voitures et piétons), soit une partie de voie reste ouverte, auquel cas des comportements particuliers peuvent se produire.

Dans le premier cas, les formules reprises par Modeili et al. (2010) permettent un calcul des coûts engendrés par le bris en appliquant la formule suivante :

Équation 8 : Coût de la perte de temps dû au détournement des véhicules

Coût de la perte de temps dû au détournement des véhicules

$$= \sum_{i=1}^N (\text{Nombre de véhicules de type } i \text{ par jour} \\ \times \text{Taux d'occupation des véhicules de type } i \\ \times \text{Taux horaire d'un passager présent dans un véhicule de type } i (\$/h)) \\ \times \text{Temps de détournement (h)} \times \text{Nombre de jours}$$

Avec N : le nombre de véhicules de type i.

Parmi les différents types de véhicules, on retrouve les bus, les véhicules de particuliers (voitures), les camions de livraison, les poids-lourds, les taxis etc.

De la formule précédente découle une formule semblable pour les piétons :

Équation 9 : Coût de la perte de temps dû au détournement des piétons

Coût de la perte de temps dû au détournement des piétons

$$= \text{Taux horaire moyen d'un piéton } (\$/h) \times \text{Temps de détournement (h)} \\ \times \text{Nombre de piétons par jour} \times \text{Nombre de jours}$$

Cela amène un nouveau problème quant à l'estimation du taux horaire des différents types de véhicules ainsi que du taux de remplissage de ces derniers. En ce qui concerne le taux horaire, il est important comme le mentionnent Gourvil et Joubert, (2004) de prendre en compte l'ensemble des facteurs tels que le salaire annuel, le nombre d'heures travaillées, le type d'emploi, les impôts sur le revenu, etc. Ainsi, d'après cette étude, il

devient possible d'obtenir une formule définissant le taux horaire à partir du revenu annuel des passagers :

Équation 10 : Estimation du taux horaire en fonction du revenu annuel

$$\begin{aligned} &\text{Estimation du taux horaire en fonction du revenu annuel (\$/h)} \\ &= 4,15 \times 10^{-3} (\text{h}^{-1}) \times \text{Revenu annuel}^{0,783} (\$) \end{aligned}$$

Nous obtenons la courbe suivante en ce qui concerne le taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec :

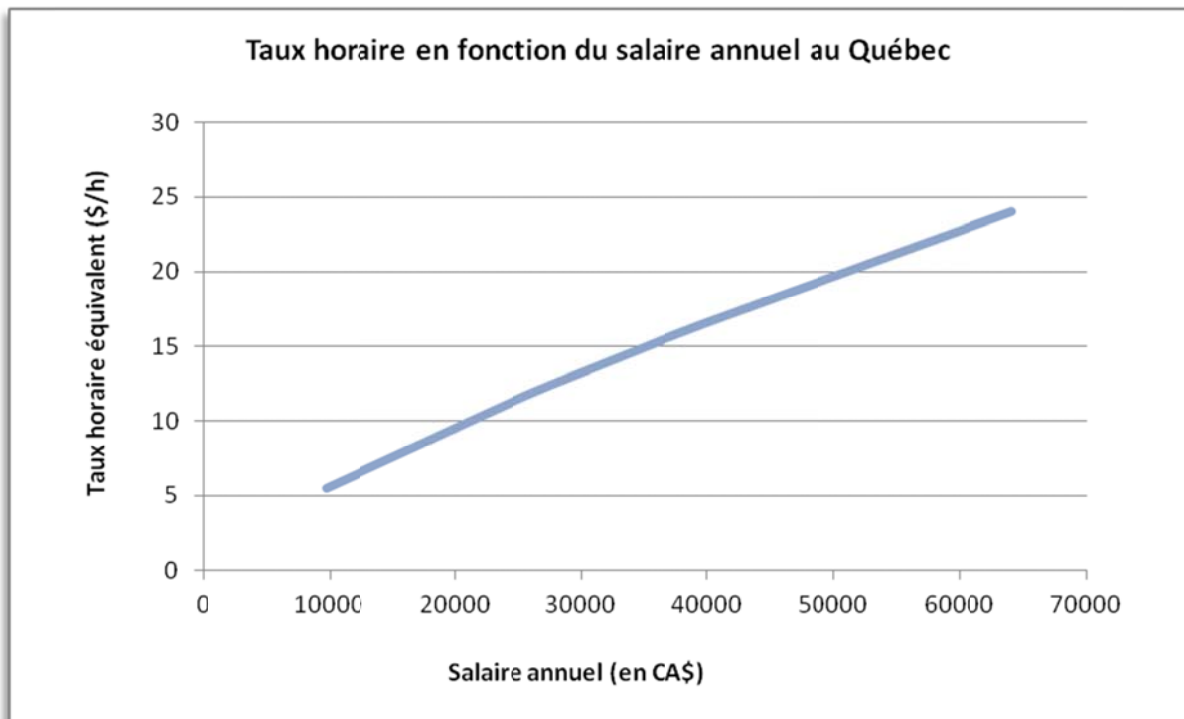


Figure 2 : Taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec (Gourvil & Joubert, 2004)

L'annexe 1 présente certaines valeurs numériques en ce qui concerne le taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec.

En ce qui concerne le taux horaire d'utilisation d'un véhicule lourd, nous nous baserons sur les chiffres de Gourvil et Joubert (2004). Les estimations sont les suivantes :

Tableau 3 : Taux horaire selon le type de camion utilisé (Gourvil & Joubert, 2004)

Type de camion	Taux horaire (CA\$1998/h)	Taux horaire (CA\$2012/h)
Camion régulier	26,50 \$/h	37,80 \$/h
Camion lourd	28,90 \$/h	41,23 \$/h

L'autre configuration lors d'une congestion de trafic est la fermeture partielle de la chaussée permettant de laisser place à des travaux de remise en état. En ce qui concerne les piétons, le temps perdu est négligeable, ces derniers n'ayant dans la plupart des cas qu'à traverser la voie pour avoir accès au côté de la chaussée dégagé.

En revanche, en ce qui concerne le trafic automobile, le calcul semble plus complexe. En effet, lors de congestion de grande ampleur, il existe un phénomène d'apprentissage de la part des automobilistes. Ainsi, certains vont au fur et à mesure du temps, préférer utiliser des voies de contournement plutôt que d'être coincé dans la congestion. On a donc le choix entre être dans la congestion ou allonger sa distance à parcourir en utilisant des détours. Nous avons observé à la suite de collectes de données sur le terrain qu'aux mêmes heures, le temps d'attente était moins long d'une semaine sur l'autre. En effectuant des mesures sur le terrain, nous avons constaté que le temps d'attente suivait de près la loi suivante :

Équation 11 : Décroissance du temps de parcours supplémentaire

$$T_c(t) = \frac{T_c(t_{-5}) + T_{d\text{minimum}}}{2}$$

Avec

$T_c(t)$: le temps de parcours supplémentaire dû à la congestion à l'instant t

$T_{d\text{minimum}}$: le temps de parcours supplémentaire minimum pour un détour

Il devient alors nécessaire d'introduire des conditions limites au modèle que nous désirons mettre en place. Tout d'abord, nous considérerons qu'au bout d'un mois de travaux, c'est-à-dire 20 jours travaillés en semaine, le temps de congestion est égal au temps de détour minimum, les automobilistes ayant pris connaissance des perturbations présentes sur les

lieux. Les temps de congestion le jour de l'accident et le temps de parcours supplémentaire pour le détour minimum sont des données connues. Ainsi, le temps de parcours supplémentaire dû à la congestion en fonction du temps peut suivre la loi suivante :

Équation 12 : Temps de parcours supplémentaire dû à la congestion

$$\begin{aligned}\text{Temps de parcours supplémentaire dû à la congestion}(t) &= T_c(t) \\ &= A + B \times (T_0 - t)^\alpha\end{aligned}$$

Avec :

Équation 13 : Conditions limites du temps de détour

$$T_c(t) = \frac{T_c(t_{-5}) + T_{d\text{minimum}}}{2}$$

$$T_c(t = 1)$$

= Temps de parcours maximum mesuré pour les véhicules congestionnés

$$T_c(t \geq 20) = T_{d\text{minimum}}$$

$$T_0 = 20 \text{ jours}$$

$$T_c'(t = 20) = 0 \text{ avec } T_c'(t) = \frac{dT_c(t)}{dt}$$

Exemple 2

En prenant comme exemple un temps de congestion initial de 8 minutes et un temps de détour minimum de 5 minutes, cela nous donne pour les temps de parcours supplémentaire dû à la congestion les profils suivants :

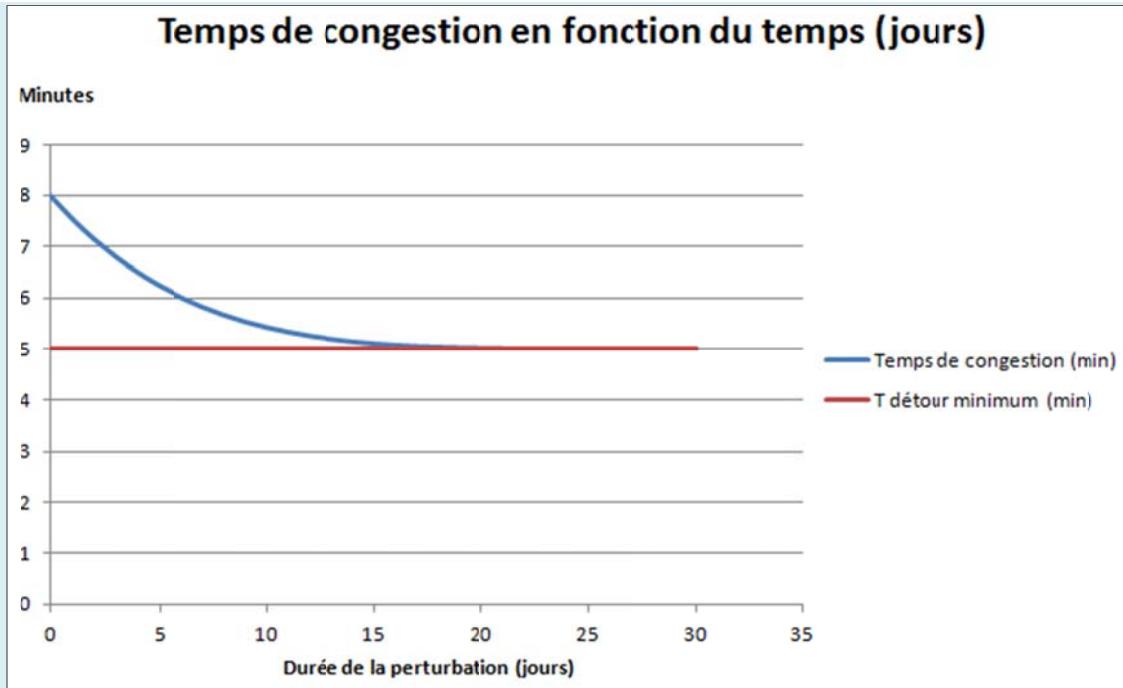


Figure 3 : Temps de parcours supplémentaire dû à la congestion en fonction du temps

En annexe 2, se trouvent les données numériques pour le même exemple.

Cependant, une telle diminution du temps de parcours supplémentaire dû à la congestion est conjuguée avec une diminution partielle du trafic local. Ainsi, en prenant comme référence le nombre de véhicules circulant sur l'axe lors du bris, le profil du trafic suivra le modèle suivant :

Équation 14 : Nombre de véhicules impactés par la congestion en fonction du temps

$$\begin{aligned}
 &\text{Nombre de véhicules impactés par la congestion (t)} \\
 &= \text{Nombre de véhicules impactés par la congestion (t}_{-1}) \\
 &\times \frac{\text{Temps de parcours dû à la congestion (t)}}{\text{Temps de parcours dû à la congestion (t}_{-1})}
 \end{aligned}$$

Intuitivement, nous pouvons rapidement remarquer que ce modèle suppose un nombre constant de véhicules au cours du temps. D'ailleurs, la relation suivante est applicable quel que soit l'instant considéré :

Équation 15 : Nombre de véhicules perturbés

$$\begin{aligned} \text{Nombre de véhicules perturbés (t)} \\ &= \text{Nombre de véhicules congestionnés (t)} \\ &+ \text{Nombre de véhicules détournés (t)} = \text{constante} \end{aligned}$$

Le reste des véhicules non congestionnés utilisera un itinéraire de substitution. Ce dernier itinéraire sera au fur et à mesure du temps de plus en plus emprunté. En reprenant l'exemple précédant et en supposant un trafic de 7000 véhicules par jour, cela nous donne le profil suivant :

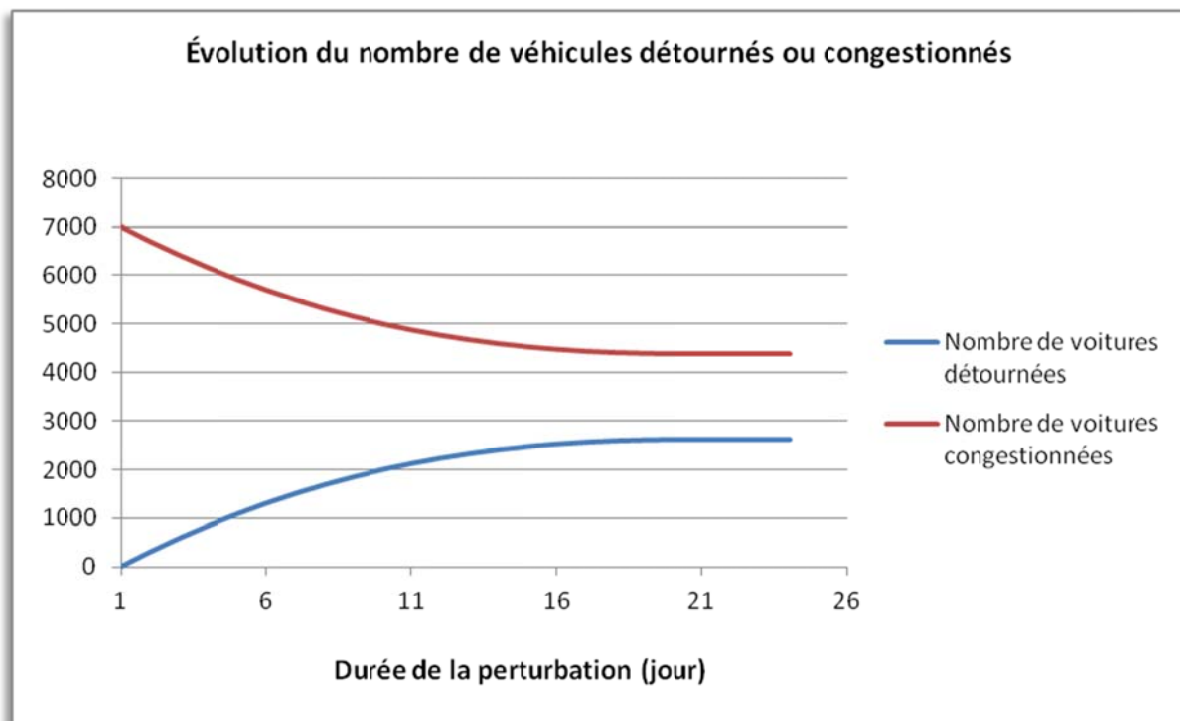


Figure 4 : Évolution du profil du nombre de véhicules perturbés (congestion et contournement)

En annexe 3, se trouvent les données numériques pour le même exemple.

Ainsi, il est possible d'évaluer le coût que représente la congestion au niveau de la perte de temps, tant pour les véhicules congestionnés que pour ceux effectuant un contournement de la zone sinistrée.

Tout d'abord, il est important de calculer le coût que représente la perte de temps pour les véhicules victimes de la congestion.

Équation 16 : Nombre de véhicules perturbés

Coût de la perte de temps dû à la congestion des véhicules

$$= \sum_{j=1}^M (\text{Nombre de véhicules le jour } j \times \text{Temps de parcours supplémentaire dû}) \sum_{i=1}^N (\text{Pourcentage de véhicules de type } i \times \text{Taux horaire des véhicules de type } i (\$/h))$$

avec

N : le nombre de véhicules de type i

M : le nombre de jours pour la durée des travaux.

Ensuite, il est important de calculer le coût de la perte de temps pour les véhicules qui ont recours à un détour.

Équation 17 : Coût de la perte de temps dû au détour des véhicules

Coût de la perte de temps dû au détour des véhicules (perte de temps) (\$/h)

$$= \sum_{j=1}^M \text{Nombre de véhicules le jour } j \times \text{Temps de détour (h)} \times \sum_{i=1}^N (\text{Pourcentage de véhicules de type } i \times \text{Taux horaire des véhicules de type } i (\$/h))$$

avec

N : le nombre de véhicules de type i

M : le nombre de jours pour la durée des travaux.

2.6.4. AUGMENTATION POSSIBLE DU NOMBRE D'ACCIDENTS DE LA CIRCULATION

Les changements de comportement au volant dus à la congestion peuvent être la cause d'accident de la circulation. Cela représente ainsi un coût, qu'il soit à la charge de la victime ou de la société (frais d'hospitalisation). Manutova et al. (2009) ont établi une estimation des coûts relatifs à différents types d'accident, ces derniers pouvant aller de quelques milliers de dollars à presque cent mille dollars. Ces coûts ne prennent en compte que les aspects matériels et la mobilisation de ressources lors d'accident. Ils ne prennent pas en compte l'aspect moral que représente un décès ou encore les coûts impliquant une perte partielle ou totale de mobilité suite à un accident.

Tableau 4 : Coût moyen par type d'accident (Manuilova, et al., 2009)

Accidents avec :	Coût moyen (CA\$ 2006)
Dommages aux véhicules	3 500 \$
Blessures	16 000 \$
Décès	96 000 \$

2.6.5. AUGMENTATION DES COÛTS DE MAINTENANCE ET DE LA CONSOMMATION DE CARBURANT DES VÉHICULES

La congestion est à l'origine d'une augmentation des coûts d'utilisation des véhicules ((Rahman, et al., 2005). Cela prend en compte les véhicules ayant recours à des détours. En effet, la consommation et la maintenance des véhicules étant proportionnelles à la distance parcourue, l'augmentation de cette dernière entraîne une inévitable augmentation des coûts liés aux deux facteurs cités précédemment.

Ainsi, il est possible selon la vitesse et le type de véhicules d'établir un coût moyen d'entretien au kilomètre (Gourvil & Joubert, 2004). On remarque sur la figure suivante

que les coûts d'utilisation sont plus importants pour les faibles vitesses (qui correspondent à des situations de congestion). Ce phénomène est marqué pour les automobiles, mais il est surtout visible pour les véhicules lourds, comme les camions.

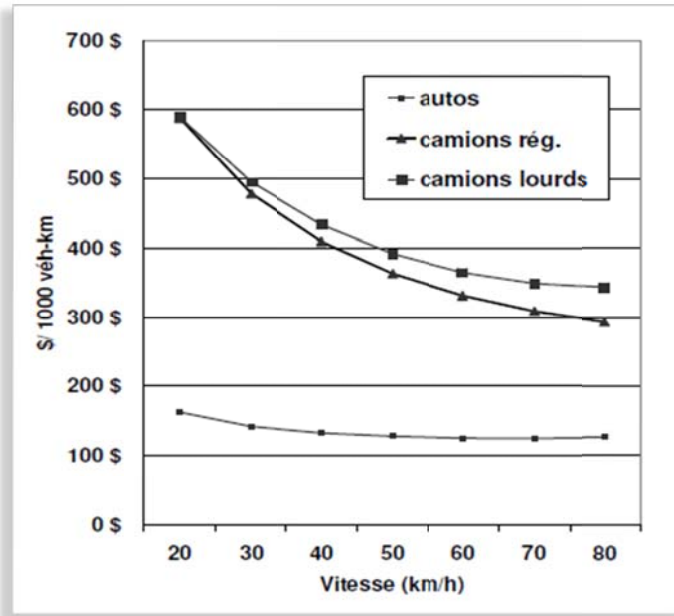


Figure 5 : Coûts d'utilisation des véhicules en fonction de la vitesse en situation de congestion, hors coût du carburant, en CA\$ 1998 (Gourvil & Joubert, 2004)

Il convient d'ajouter la consommation moyenne des différents types de véhicule, présents sur l'ensemble du trafic. Cette augmentation de la consommation représente une autre grande partie des coûts liés aux perturbations du réseau routier.

Afin d'évaluer ces coûts, nous étudierons dans un premier temps les coûts supplémentaires d'utilisation des véhicules, puis nous étudierons comment calculer les coûts de surconsommation.

Plusieurs paramètres sont essentiels pour calculer les coûts supplémentaires d'utilisation des véhicules. En conjuguant la distance supplémentaire parcourue, les coûts d'utilisation des véhicules, le nombre de véhicules et la durée des travaux, cela nous donne la formule suivante :

Équation 18 : Coût d'utilisation des véhicules

Coûts supplémentaires d'utilisation des véhicules

= distance supplémentaire minimum parcourue (km/véhicule)

$\times \sum_{i=1}^N$ (coûts d'utilisation au kilomètre des véhicules de type i (\$/km)

$\times \sum_{j=1}^M$ nombre de véhicules de type i impactés le jour j (véhicules/jour))

avec

N : le nombre de véhicules de type i

M : le nombre de jours pour la durée des travaux.

Exemple 3

Ainsi, en reprenant les chiffres de CAA datant de 2012, pour une Honda Civic LX, le coût d'utilisation kilométrique est de 11,06 cents/km (en prenant une distance annuelle parcourue de 18 000 km). En prenant en compte un détour d'un kilomètre pour 2000 véhicules légers pendant 3 jours, cela nous donne :

Coûts supplémentaires d'utilisation des véhicules

$$= 1 \text{ (km/véhicule)} \times 0,1106 \text{ (\$/km)} \times 2000 \text{ (véhicules/jour)} \\ \times 3 \text{ (jours)} = 663,60 \$$$

Un détour à priori anodin représente en réalité un coût s'élevant à plusieurs centaines de dollars. Une fois encore, si le coût unitaire paraît dérisoire, ce facteur se doit d'être pris en compte quand on regarde plus largement un incident sur une voie urbaine.

À cela, il est important d'ajouter le facteur de la surconsommation pour des véhicules. Cela se constate dans un premier temps pour les véhicules dans une situation de congestion du trafic. En effet, pour des vitesses très réduites, le graphique suivant nous montre les différences de consommations moyennes visibles d'un régime à un autre.

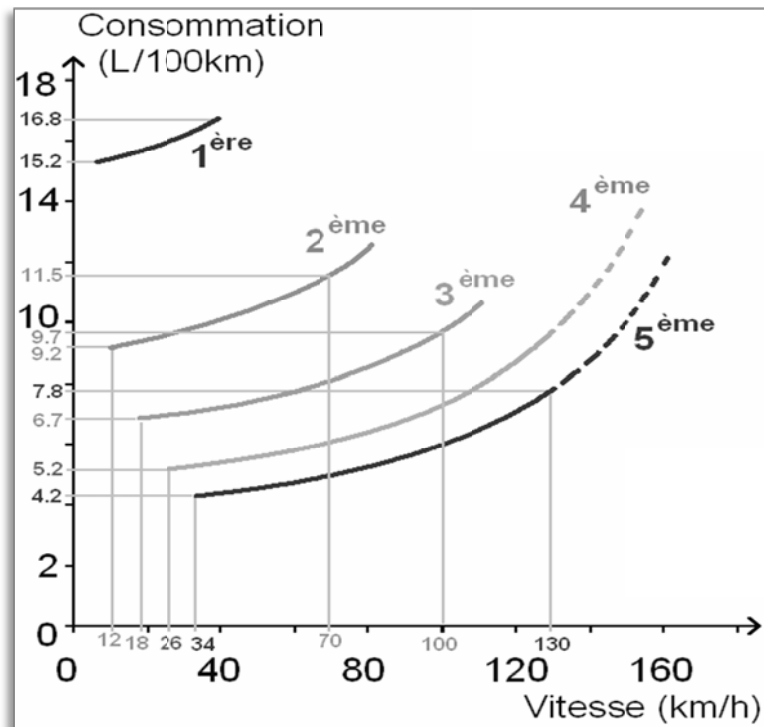


Figure 6 : Profil de consommation d'un véhicule

Ainsi, nous remarquons pour une vitesse inférieure à 15 km/h, la consommation sera forcément plus importante que pour des vitesses comprises entre 15 et 90 km/h (changement de régime). Différentes méthodes d'évaluation de la consommation existent. Cependant, nous avons retenue celle visant à comparer la quantité de carburant consommée dans les deux types de situation (Michielsen, 2006). Ainsi, en appliquant la formule suivante, il est possible pour une situation définie de calculer l'augmentation de la consommation générale.

Équation 19 : Coût de surconsommation dû à la congestion

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la surconsommation dû à la congestion}(\$) \\ &= \text{Consommation en régime perturbé} - \text{Consommation initiale} \\ &= \text{Distance perturbée (km)} \times \text{prix du carburant (\$/L)} \\ &\quad \times \sum_{i=1}^N (C_{Pi} - C_{Li})(L/km) \\ &\quad \times \sum_{j=1}^M \text{véhicules de type } i \text{ impactés le jour } j \text{ (véhicules/jour)} \end{aligned}$$

Avec

N : le nombre de véhicules de type i

M : le nombre de jours pour la durée des travaux

C_{Pi} : la consommation moyenne par kilomètre en régime perturbé pour un véhicule de type i

C_{Li} : la consommation moyenne par kilomètre initiale pour un véhicule de type i.

Exemple 4

Ainsi, on en considérant une perturbation durant 3 jours, impactant en moyenne 2000 véhicules par jour (axe mineur) sur 500 mètres et obligeant les automobilistes de réadapter à diminuer leur vitesse de 40km/h à 10km/h (congestion significative) cela nous donne :

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la surconsommation due à la congestion (\$)} \\ &= \text{Consommation en régime perturbé} - \text{Consommation initiale} \\ &= 0,5 \text{ (km)} \times 1,3 \text{ (\$/L)} \times (0,152 - 0,053)(L/km) \times 3 \text{ (jours)} \\ &\quad \times 2000 \text{ (véhicules/jour)} = 386,10 \$ \end{aligned}$$

On remarque ainsi que pour une perturbation pouvant être considérée comme mineure, le coût total dû à la surconsommation s'élève déjà à plusieurs centaines de dollars.

Il devient nécessaire de prendre en compte l'aspect surconsommation dans le calcul des coûts indirects.

Également, le facteur surconsommation se fait ressentir lorsque l'on aborde l'aspect augmentation de la distance parcourue. Ainsi, la formule applicable sera la suivante :

Équation 20 : Coût de surconsommation dû aux détours

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la surconsommation due aux détours (\$)} \\ &= \text{Consommation avec un détour} - \text{Consommation initiale sans détour} \\ &= \text{Distance supplémentaire parcourue (km)} \times \text{prix du carburant (\$/L)} \\ &\times \sum_{i=1}^N (\text{consommation moyenne par kilomètre des véhicules de type } i \text{ (\$/km)}) \\ &\times \sum_{j=1}^M \text{nombre de véhicules de type } i \text{ impactés le jour } j \text{ (véhicules/jour)} \end{aligned}$$

Avec

N : le nombre de véhicules de type i

M : le nombre de jours pour la durée des travaux

Exemple 5

En reprenant l'exemple précédent (partie augmentation des coûts d'entretiens) avec une vitesse moyenne de 30km/h (trafic urbain), nous obtenons le coût de surconsommation suivant :

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la surconsommation due à un détour (\$)} \\ &= \text{Consommation avec un détour} - \text{Consommation initiale (sans détour)} \\ &= 0,08 \text{ (L/km)} \times 1 \text{ (km)} \times 1,3 \text{ (\$/L)} \times 3 \text{ (jours)} \times 2000 \text{ (véhicules/jour)} \\ &= 624 \$ \end{aligned}$$

Encore une fois, le montant s'élève à plusieurs centaines de dollars. Et en additionnant les différents coûts de surconsommation, le montant total est le suivant :

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la surconsommation totale} \\ &= \text{Coûts de surconsommation due à la congestion} \\ &+ \text{Coût de la surconsommation due au détour} = 386,10 + 624 \\ &= 1\,010,10 \$ \end{aligned}$$

2.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Au-delà des perturbations ayant un impact visible sur les citoyens, de nombreux autres impacts n'ont pas une répercussion sur la société à première vue. Pourtant, il s'avère que les perturbations au niveau environnemental sont importantes. Nous allons ainsi développer cela au travers des paragraphes suivants.

2.7.1. IMPACT DE LA POLLUTION DE L'AIR ET GAZ À EFFET DE SERRE

Un des coûts indirects est celui lié à la pollution de l'air et à l'augmentation des gaz à effet de serre. Ces derniers sont le produit des activités liées aux opérations de construction, mais également à la surconsommation liée soit aux détours, soit à la congestion (Rahman, et al., 2005). Nous séparerons cette pollution en deux parties. La première traitera de la pollution due aux différents gaz émis par le trafic, l'autre partie sera axée sur la pollution des particules de poussières.

2.7.1.1. AUGMENTATION DE L'ÉMISSION DE PARTICULES ET DE GAZ NOCIFS

La surconsommation des véhicules en situation de congestion ou de détour provoque une augmentation de l'émission de particules et de gaz nocifs. Ces produits se différencient en plusieurs familles. Outre les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), on note également la présence d'autres substances toxiques telles que le méthane (CH₄), les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x) et d'autres particules. On y retrouve entre autres des composés organiques dits volatils (COV), du monoxyde de carbone et des particules de matières (PM) de divers hydrocarbures (HC) ((Gilchrist & Allouche, 2005)). Cependant, dans le but d'harmoniser les différents coûts de ces substances, des grilles d'équivalence ont été mises au point. Il est possible de comparer les différents gaz ainsi que leurs effets. Les équivalences suivantes sont donc communément admises. Un gramme de méthane sera alors équivalent à 21 grammes de CO₂ et un gramme de N₂O sera quant à lui comparé à non moins de 310 g de CO₂ (Gourvil & Joubert, 2004).

Il est donc possible de répertorier le coût de chaque matière. Ceux-ci se retrouvent dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Coûts métriques des matières polluantes (Gourvil & Joubert, 2004)

	CO ₂	CO	HC	NO _x	SO _x	PM
Coûts en \$CA 1998 par tonne métrique	29,97	1359	4945	6307	2687	3740

Ainsi, il devient possible de calculer le coût des émissions en prenant en compte les différents gaz et particules rejetés dans l'atmosphère.

La formule suivante semble être la plus juste pour calculer le coût que représente la pollution de l'air ainsi que le coût des émissions de différentes matières :

Équation 21 : Coût de l'absence au travail

Coût de la pollution de l'air et des émissions de gaz et de particules

$$= \sum_{i=1}^N (\text{Coût volumique de l'élément } i \text{ (\$/tonne métrique)}) \\ \times \text{Volume de l'élément } i \text{ émis (tonne métrique))}$$

avec N : le nombre total d'éléments émis.

Cependant, il est très difficile, voire, impossible d'évaluer l'ensemble des particules émises et de calculer ainsi de cette façon le coût que représentent la pollution de l'air et l'émission des gaz à effet de serre.

En nous basant sur d'autres études, il est possible d'appréhender différemment le problème. Il est facile d'établir un réel lien entre ces émissions de gaz à effet de serre et la pollution de l'atmosphère avec la surconsommation des véhicules, que celle-ci soit due à l'augmentation de la distance parcourue ou aux différents phénomènes de congestion. On sait ainsi que les coûts des carburants (sans taxes) représentent à eux seuls 1,4 % des coûts socio-économiques annuels que l'on peut attribuer à la congestion récurrente sur le réseau routier de Montréal (Gourvil & Joubert, 2004). De leur côté, les émissions de

polluants de l'atmosphère et des gaz à effet de serre en représentant respectivement 0,8% et 0,4%. Ainsi, une méthode de substitution pour le calcul de ces coûts pourrait être la suivante :

Équation 22 : Coût de l'absence au travail

$$\begin{aligned} & \text{Coût de la pollution de l'air et des émissions de gaz à effet de serre} \\ &= \text{Coût totaux dus à la surconsommation des véhicules} \\ &\times \frac{\text{Pourcentage des coûts attribuables aux divers émissions}}{\text{Pourcentage des coûts attribuables à la surconsommation total}} \\ &= \text{Coûts totaux dus à la surconsommation des véhicules} \\ &\times \frac{0,8 + 0,4}{1,4} \\ &= \frac{6}{7} \times \text{Coûts totaux dus à la surconsommation des véhicules} \end{aligned}$$

avec N : le nombre total d'éléments émis.

Cette méthode apparaît comme la plus pertinente étant donné le fait que les mesures effectuées par Gourvil et Joubert (2004) se basent sur une étude de très grande ampleur et donc censée ne pas représenter un phénomène particulier, mais plutôt un phénomène général.

2.7.1.2. ÉMISSION DE PARTICULES POUSSIÉREUSES

Lors d'un bris d'infrastructure souterraine, la remise en état des équipements impliquant des travaux est à l'origine d'émission de poussières et de saletés en tous genres. Cela oblige les résidents, commerçants ou entrepreneurs locaux à faire soit appel à des sociétés de nettoyage, soit à nettoyer eux-mêmes les lieux. Ces coûts peuvent se calculer de différentes façons. Ils seront souvent identifiés sur une facture en cas de sollicitation

de professionnels ou ils correspondront au temps passé à nettoyer pour un particulier (Ormsby, 2009)⁸.

2.7.2. EFFET DE LA POLLUTION DES EAUX ET DES SOLS

Lors de certains bris de canalisation d'eau potable ou d'une conduite de gaz, il est possible qu'une pollution des eaux ou des sols environnants survienne (Gilchrist & Allouche, 2005). Cela peut engendrer de nombreuses complications, tant environnementales que sanitaires. Ainsi, Gilchrist et Allouche (2005) montrent que ces effets engendrent des coûts de dépollution, mais également des coûts médicaux. Malgré les mesures de précaution vis-à-vis de la consommation de l'eau ou de l'utilisation des sols, cette pollution peut provoquer des maladies ou infections de toutes sortes, étant à l'origine d'une hausse des frais de santé.

Pour ce qui est de la pollution des eaux, un avis d'ébullition de l'eau peut être décrété. Celui-ci peut être déclenché quand les risques liés à une baisse trop importante de la qualité de l'eau sont élevés. Par exemple, à Gatineau, il y a un avis d'ébullition décrété pour un quart des cas de bris de conduites d'eau. Cela nécessite des coûts de laboratoire et implique un temps d'attente lié à l'incubation en laboratoire. Durant ce temps, la distribution de l'eau est bloquée. Les citoyens sont obligés de trouver des moyens de substitution, comme l'achat de bouteilles d'eau provoquant des dépenses supplémentaires, ou doivent porter à ébullition l'eau courante, ce qui fera augmenter leur consommation d'électricité ou de gaz. Ces changements de comportement s'accompagnent d'une perte de temps pour l'ensemble des citoyens. Il est donc nécessaire pour chaque cas de relever les différents coûts liés à un avis d'ébullition. Ces coûts dépendent du lieu où les analyses sont faites ainsi que du nombre d'analyses réalisées.

⁸ À ces coûts de nettoyage, il est important d'ajouter les coûts liés à la santé des personnes se trouvant sur les lieux. Ainsi, il arrive qu'un excès de poussière devienne dangereux pour la santé. Cela implique donc un contrôle pour l'ensemble des lieux touchés, mais également les coûts reliés aux personnes affectées et hospitalisées (Modieli Amadou, et al., 2010).

Il est important de mentionner que les cas de contamination de l'eau peuvent entraîner d'autres coûts. Il existe plusieurs situations au sein desquelles des maladies peuvent survenir. Si l'avis d'ébullition n'a pas été décrété alors que cela était pourtant nécessaire, ou si celui-ci a été décrété trop tard, ou encore si la communication n'a pas été assez complète, il est probable que les citoyens soient victimes de différentes maladies ayant une cause hydrique. On peut notamment penser à des maladies dermatologiques ou encore digestives. Dans tous les cas, les coûts de prise en charge des patients malades viendront s'ajouter à la précédente liste des coûts.

2.7.3. IMPACT SUR LA VALEUR IMMOBILIÈRE EN RAISON DU BRUIT ET DES VIBRATIONS

Les derniers facteurs environnementaux que nous allons prendre en compte sont le bruit et les vibrations. Ceux-ci peuvent représenter une source notable de désagréments, pouvant aussi bien affecter les citoyens qui résident aux alentours des lieux du bris que les personnes travaillant dans un environnement proche. Ainsi, le bruit et les vibrations sont la une source de la perte de valeur, entre autres pour les habitations environnantes, mais il représente surtout une diminution de la qualité de vie et un facteur de réduction de la productivité au travail (Gilchrist & Allouche, 2005). Les bruits sont d'origines différentes. Ils proviennent principalement de la circulation et de l'augmentation du trafic, mais peuvent également provenir de l'activité des machineries de construction (Gilchrist, Allouche, & Cowan, 2003). Ainsi, on remarque qu'une augmentation de bruit de l'ordre d'un dBA peut représenter pour une propriété une perte de valeur estimée entre 0,2% et 1% (Gilchrist & Allouche, 2005) selon la durée des travaux. Certaines personnes sont même prêtes à payer pour ne pas avoir à souffrir du bruit des machineries (Kolator, 1998). Comme le notent (Gilchrist, Cowan, & Allouche, 2002) le niveau sonore résidentiel maximum d'acceptation est estimé à 75 décibels (dBA). On estime que le bruit d'une machinerie ordinaire se situe pour sa part entre 75 et 95 dBA. En ce qui concerne le facteur de dépréciation sonore ajusté, il dépend de la durée du projet et ainsi de l'habitude des individus vis-à-vis des nuisances sonores. En reprenant les travaux de

(Matthews & Allouche, 2010), plusieurs hypothèses furent posées ou ajoutées. La première est qu'au-delà d'un an, le facteur de dépréciation sonore devient constant, la perte de valeur due au bruit n'augmentant plus. Également, ce dernier évolue symétriquement entre les six premiers mois et les six derniers mois de la première année. Cela nous donne les résultats suivants :

Tableau 6 : Table de facteurs de dépréciation sonore (Matthews & Allouche, 2010)

Durée du projet	Facteurs de dépréciation sonore (%/dBA) pour différentes valeurs finales			% de réduction
2 semaines	0,001	0,002	0,003	0%
4 semaines	0,003	0,008	0,014	1%
6 semaines	0,006	0,019	0,031	3%
2 mois	0,011	0,033	0,056	6%
3 mois	0,025	0,075	0,125	13%
4 mois	0,044	0,133	0,222	22%
5 mois	0,069	0,208	0,347	35%
6 mois	0,100	0,300	0,500	50%
7 mois	0,131	0,392	0,653	65%
8 mois	0,156	0,467	0,778	78%
9 mois	0,175	0,525	0,875	88%
10 mois	0,189	0,567	0,944	94%
11 mois	0,197	0,592	0,986	99%
12 mois	0,200	0,600	1,000	100%

L'annexe 4 expose une représentation graphique du facteur de dépréciation sonore pour une valeur finale de 0,60%/dBA. En prenant en compte ces différents paramètres, il est possible d'estimer un facteur de réduction de valeur ou de dépréciation dépendant du bruit pour l'immobilier dans un projet de construction (Matthews & Allouche, 2010).

Celui-ci servira alors à estimer le coût relatif du bruit, ce dernier pouvant être exprimé sous la forme suivante :

Équation 23 :

Coût (ou perte de valeur) dû à la pollution sonore sur la valeur des propr

$$\begin{aligned} &= (\text{Bruit lors des travaux de remise en état (dBA)} \\ &\quad - \text{Bruit hors période de remise en état (dBA)}) \\ &\times \text{Facteur de dépréciation sonore ajusté (\%/dBA)} \\ &\times \sum_{i=1}^N (\text{Valeur de la propriété } i (\$)) \\ &\times \text{Pourcentage d'ajustement conservateur pour la propriété } i \text{ affectée (\%)} \end{aligned}$$

Ces coûts sont très visibles en ce qui concerne la location. Afin d'illustrer cette perte de valeur, nous allons prendre l'exemple d'une location d'appartement dans un milieu résidentiel.

Exemple 6

Le loyer mensuel est de 2000 \$. Durant 6 mois, des travaux de remise en état vont provoquer une augmentation du volume sonore de 10 dBA. La perte de valeur de l'appartement sera la suivante :

Coût de la pollution sonore sur la valeur de l'appartement

$$\begin{aligned} &= 10 \text{ (dBA)} \times 0,010 \text{ (\%/dBA)} \times (2000 (\$) \times 6 \text{ (mois)}) \\ &\times 0,50 (\%) = 600 \$ \end{aligned}$$

Ces 600 dollars représentent une perte qui sera à la charge du locataire habitant l'appartement ou à la charge du loueur si ce dernier est contraint de diminuer le prix du loyer. On remarque ainsi que le bruit représente déjà un important coût pour la société.

2.8 IMPACTS ÉCONOMIQUES

Un autre point très important lorsque l'on parle de coûts indirects est celui relié à l'activité économique. Que cela se répercute au niveau des clients ou bien des employés, l'activité générale des commerces ou des industries se voit très souvent impactée par ces bris.

2.8.1. BAISSÉ DE LA PRODUCTIVITÉ

En lien direct avec ce que nous avons cité précédemment quant à la perte de valeur immobilière en cas d'augmentation du bris, il en est de même avec la productivité des employés des commerces ou des entreprises touchés. L'augmentation ponctuelle de l'activité environnante est le premier facteur d'augmentation du niveau sonore. Il devient alors possible d'établir une estimation quant au coût que représente cette pollution sonore sur le lieu de travail :

Équation 24 :

Coût de la pollution sonore dans le milieu professionnel

= Durée du projet (h)

$\times \sum_{i=1}^N$ (Facteur de réduction de productivité pour un travailleur i

$\times$ Taux horaire moyen d'un travailleur i (\$/h)

$\times$ Nombre de travailleurs i affectés)

Sachant que : N étant le nombre de types de travailleurs affectés

Il est important de noter que le facteur de réduction de productivité s'avère être très important dès la première augmentation du volume sonore.

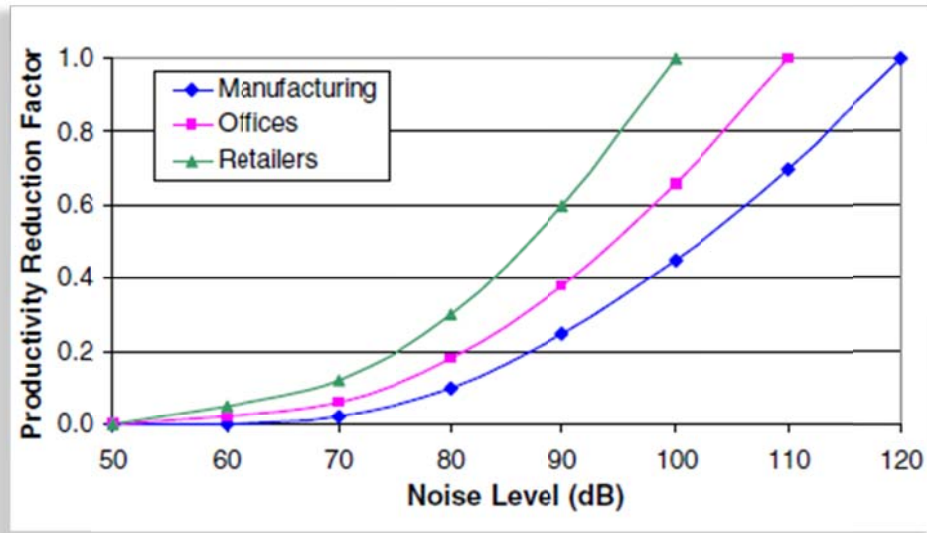


Figure 7 : Facteur de réduction de la productivité en fonction du bruit (Gilchrist & Allouche, 2005)

Un autre désagrément s'accompagne avec le bruit. Il s'agit des vibrations dues aux travaux de remise en état et de l'activité des machineries utilisées, mais aussi les vibrations dues au trafic routier, principalement les camions et autres véhicules lourds. Ces vibrations entravent le bien-être et la productivité des employés. Elles représentent une irritation et un désagrément certains pouvant être à la base de gênes fonctionnelles (perturbation du sommeil, productivité au travail, etc.). En reprenant les travaux déjà établis de (Gilchrist & Allouche, 2005) une estimation du coût des vibrations serait la suivante :

Équation 25 : Impacts monétaires des vibrations sur les travailleurs (Gilchrist & Allouche, 2005)

Coût des vibrations sur les travailleurs

$$\begin{aligned} &= \text{Durée du projet (h)} \times \text{Nombre de personnes affectées} \\ &\times \text{Facteur de réduction de productivité} \\ &\times \text{Taux horaire moyen (\$/h)} \end{aligned}$$

On remarque que tout comme pour la baisse de productivité due au bruit, celle due à la présence de vibrations impacte la productivité du travail.

2.8.2. RETARD ET ABSENCE AU TRAVAIL

Les retards et absences au travail sont également à la base de divers coûts. En plus de la valeur du temps perdu par les employés, il est important de prendre en compte le préjudice moral. Goetzel et al. (2004) ont évalué que la perte de productivité liée à un trouble de la santé, notamment les troubles psychologiques, pouvait être évaluée à 348 \$ par employé et par an. À cela, il ajoute que le présentéisme coûte également, entre 8% et 60% de plus que les soins médicaux nécessaires.

Le coût du retard et de l'absence au travail est calculable de la façon suivante :

Équation 26 : Coût de l'absence au travail

Coût de l'absence au travail

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^N (\text{Taux horaire d'un employé de type } i \text{ (\$/h)} \\ &\quad \times \text{nombre d'employés de type } i \\ &\quad \times \text{temps d'absence au travail moyen des employés de type } i \text{ (h)}) \end{aligned}$$

avec N : le nombre d'employés de type i.

Ce coût peut devenir très élevé lorsque, par exemple, l'accès à un bâtiment se trouve bloqué en raison d'un bris d'infrastructure souterraine.

2.8.3. PERTES DE REVENUS

Un bris d'infrastructure souterraine s'accompagne fréquemment d'une baisse du chiffre d'affaires des commerces localisés à proximité de la zone du sinistre (Gilchrist & Allouche, 2005). L'activité des commerçants se retrouve fortement impactée par de nombreux

aspects cités précédemment. Cela est principalement dû à l'accessibilité des lieux. En effet, comme nous l'avons vu, un événement du type bris d'infrastructure souterraine entraîne à différents niveaux une congestion. Et que cela se répercute au niveau de la circulation ou au niveau des piétons, le manque d'accès aura un impact très fort. Cependant, lorsque l'on analyse plus largement la situation, on peut considérer que cette baisse de chiffre d'affaires va se répercuter dans d'autres commerces par une hausse égale de ce chiffre d'affaires, l'activité économique étant déplacée.

Les seules pertes qui seront comptabilisées en ce qui concerne les commerçants sont les pertes dues à une destruction partielle ou totale de leurs produits et de leurs marchandises (pertes de nourritures suite à une interruption de l'alimentation en électricité, etc.).

2.8.4. PERTES DE TAXES

Avec cette perte du chiffre d'affaires s'accompagne une inévitable perte de taxes provenant des revenus générés par l'activité locale. Dépendamment de l'activité, de l'importance du commerce ou de l'entreprise (etc.) les taxes varient (Lefebvre & Mayer, 1991). Une baisse de l'activité économique représente une baisse de rentrée d'argent pour l'exécutif en place et donc représente un coût réel. Au Québec, cela représente des pertes en ce qui concerne la taxe de vente du Québec (TVQ) et la taxe sur les produits et services (TPS) s'élevant respectivement à 9,975% et 5% du prix hors taxes (RevenuQuébec, 2013).

2.8.5. RETARDS POUR LES TRAVAUX À VENIR

Lorsque l'on étudie les coûts indirects d'un bris d'infrastructures souterraines, il est important de regarder les étapes qui vont suivre le bris. Ainsi, bien que les perturbations immédiates soient les plus importantes, il reste nécessaire de prendre en compte les perturbations se faisant ressentir ultérieurement (Rahman, et al., 2005). Ces perturbations

se font notamment ressentir au niveau de la gestion des travaux prévus avant l'accident, notamment au niveau de l'immobilisation des ressources, qu'elles soient matérielles ou humaines. Ces retards qui peuvent ainsi s'appliquer à l'entreprise excavatrice, mais également aux corps de métiers dont les travaux étaient prévus et qui vont être retardés (et parfois à l'origine de pénalités de retard).

2.8.6. BAISSÉ DE LA QUALITÉ DE VIE

La plupart des facteurs de coûts indirects présentés ont comme impact en plus des coûts énumérés précédemment une baisse de la qualité de vie des citoyens touchés (Gilchrist & Allouche, 2005). De la perte de temps à l'énervement, en passant par les maladies et les désagréments occasionnés, nombreux sont les coûts attribuables à un bris d'infrastructure souterraine. Mais il n'est pas forcément possible de chiffrer monétairement cette diminution de bien-être général pour les populations affectées. Il apparaît donc que l'aspect moral est à prendre en compte à côté de l'aspect plus financier que représente ce type de perturbations.

2.9 CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de faire état de la revue de la littérature et des méthodes de calcul existantes pour pouvoir évaluer le coût socio-économique des bris d'infrastructures souterraines.

À de nombreuses reprises, les rapports ou études font état de données datant de plusieurs années et provenant de pays différents. Afin de pouvoir utiliser les données de ces précédentes études, il est important de les ajuster et de les convertir afin d'apporter une précision aux études. Ainsi, pour l'ensemble de l'étude, le réajustement des différentes données se fera de la façon énoncée précédemment (voir Annexe).

Ainsi pour calculer les coûts totaux, les coûts directs représentent les coûts communément facturés lors de travaux planifiés de longue date. La vraie difficulté consiste à répertorier l'ensemble des données. En ce qui concerne les calculs exacts des coûts, ceux-ci sont quasi systématiquement réalisés sur les bordereaux ou sur les factures, que ces dernières soient transmises ou non à l'excavateur. Ainsi, les coûts des matériaux de remplacement utilisés, les différents taux horaires, ou encore les frais de gestion et de suivi de dossier se trouvent dans la plupart des cas sur le même document, détenu par le propriétaire de l'infrastructure ayant subi un bris. Cette première partie ne relève donc pas de calculs ou d'estimation à proprement parlée, mais plutôt de collecte de données auprès des différents intervenants lors de la remise en état des infrastructures. En revanche, pour ce qui est des coûts indirects reliés à l'accident, ceux-ci ne peuvent être calculés aussi facilement que les coûts directs. Comme nous avons pu le constater dans la revue de littérature, un certain nombre de formules existe pour quantifier les coûts liés à un bris d'infrastructures souterraines, notamment en milieu urbain. Selon les coûts observés, il existe plusieurs méthodes possibles pour calculer la somme totale de ces derniers. Toutefois, dans certains cas, l'absence totale de données ou l'observation de phénomène sur le terrain vont nous nous obliger à avoir recours à de nouvelles hypothèses ou de nouvelles formules d'estimation.

Tableau 7 : Tableau récapitulatif de l'ensemble des coûts directs et indirects engendré par un bris d'infrastructure souterraine

Coûts directs	Coûts des matériaux de remplacement
	Coûts du matériel utilisé pour la remise en état des infrastructures
	Coûts de la main-d'œuvre
	Coûts administratifs
Coûts indirects	Coûts des pertes de produits dues au bris
	Interruption de service de l'infrastructure touchée et des infrastructures parallèles

	Coûts associés aux diverses interventions d'urgences	Intervention des services publics de sécurité
		Mise en place d'infrastructures de substitution
	Perturbation des sols et réduction de la durée de vie des infrastructures adjacentes	
	Fermeture ou perturbation d'une section de route et impacts sur les déplacements et le trafic	Difficulté d'accès pour les véhicules d'urgence dans la zone où a eu lieu le bris
		Perte d'espaces de stationnement proches du bris
		Perte de temps et augmentation de la distance à parcourir pour les véhicules et les piétons
		Augmentation possible du nombre d'accidents de la circulation
		Augmentation des coûts de maintenance et de la consommation de carburant des véhicules
	Impacts environnementaux	Augmentation de l'émission de particules et de gaz nocifs
		Émission de particules poussiéreuses
		Effet de la pollution des eaux et des sols
		Impact sur la valeur immobilière en raison du bruit et des vibrations
	Impacts économiques	Baisse de la productivité
		Retard et absence au travail
		Pertes de revenus
		Pertes de taxes
		Retards pour les travaux à venir
		Baisse de la qualité de vie

CHAPITRE 3

DÉMARCHE SUIVIE LORS DES ÉTUDES DE CAS

1. CHOIX DES ÉTUDES DE CAS

Afin d'illustrer les méthodes d'estimation des différents types de coûts proposées et pour évaluer le ratio coûts indirects / coûts directs, quatre études de cas ont été réalisées. Ces études de cas se veulent représentatives des bris d'infrastructures souterraines au Québec. Les cas ont été choisis afin d'illustrer :

- les différents types d'infrastructures qui peuvent être touchées (télécommunication, gaz, eau) ;
- des bris d'ampleur différente ;
- les différents éléments de coûts présentés dans la revue de littérature.

Les quatre études de cas suivantes ont été retenues :

Étude de cas (1) : Bris d'une conduite de gaz dans le centre-ville d'une grande agglomération au Québec

Étude de cas (2) : Bris d'une conduite de télécommunication dans une grande agglomération au Québec

Étude de cas (3) : Bris mineur d'une canalisation d'eau dans une agglomération de taille moyenne au Québec

Étude de cas (4) : Bris majeur d'une conduite d'eau dans une ville québécoise

Les trois premiers bris sont relativement fréquents et récurrents. Par contre le dernier cas concerne un bris majeur à faible occurrence. L'étude de ces cas permet ainsi de couvrir un grand nombre de type de bris auxquels les propriétaires ou exploitants d'infrastructure sont confrontés.



Il est également important de préciser que les deux premières études de cas décrivent les coûts associés à des bris d'infrastructures souterraines occasionnés par des tiers alors que les deux derniers représentent des bris d'infrastructure causés soit par la vétusté du réseau ou par la corrosion. Toutefois en cas de bris, les conséquences sont les mêmes qu'elle qu'en soit la cause.

Pour les études de cas, il y a deux configurations possibles :

- Les études de cas de bris *a posteriori* (qui ont eu lieu avant notre étude et pour lesquels nous avons collecté des données auprès des différentes parties prenantes)
- Les études de cas de bris qui ont eu lieu pendant la réalisation de notre étude (« en direct ») et pour lesquels nous avons pu collecter des données durant l'événement et interviewer les parties prenantes en plus de collecter des données secondaires après l'événement.

2. COLLECTE DES DONNÉES POUR LES ÉTUDES DE CAS

Lors de la réalisation de nos études de cas, nous avons conduit des entrevues et mener des cueillettes d'informations dans le but d'obtenir le maximum de données provenant des acteurs qui étaient sur les lieux du bris. Selon le type d'infrastructures touchées, nos investigations ne se sont pas dirigées vers le même type de personne. Une fois l'ensemble des intervenants et des personnes en charge des différents dossiers consultés, nous avons complété les éventuels coûts additionnels en nous basant sur les différents coûts indirects énoncés tout au long de la revue de littérature.

2.1. COLLECTE D'INFORMATIONS SUR LES LIEUX DES BRIS

Lors de la collecte d'informations et de données à propos d'un bris, il est tout d'abord très important de se familiariser avec les lieux du sinistre. En effet, l'environnement proche est très important. Zone de forte activité ou non, point déterminant d'une agglomération ou

place sans distinction particulière, etc., cette première approche est primordiale, car elle conditionne ainsi une grande partie des analyses futures.

Parmi les premières actions menées, on retrouve les entrevues avec les différents services d'intervention d'urgence présents sur place. Qu'ils soient des services de sécurité incendie, des services de police ou bien des équipes d'intervention spécialisées rattachées à une entreprise, il est très important de rentrer le plus rapidement en contact avec ces équipes. En effet, celles-ci détiennent un grand nombre d'informations cruciales et très rapidement perdues si personne ne les répertorie immédiatement. C'est la raison pour laquelle un guide d'entrevue préalablement élaboré pour chaque partie prenante permettait de rassembler un maximum d'informations nécessaires pour la suite.

Il est également important d'effectuer certains relevés qui ne pourront plus être effectués après. On pense notamment au comptage des véhicules présents dans la congestion, mais également à l'agencement de la circulation, aux nouveaux délais, etc. Ces relevés peuvent être nombreux et variés, mais sont nécessaires afin de se rapprocher le plus près de la réalité lors des études qui seront menées par la suite. Également, des entrevues sont menées avec les commerçants et les résidents impactés. Une fois encore, des guides d'entrevue ont été développés afin de récolter le maximum d'informations.

2.2. COLLECTE DE DONNEES A POSTERIORI

La démarche à adopter est quelque peu différente de celle énoncée précédemment lorsqu'il s'agit de l'étude d'un bris qui a déjà eu lieu, tant sur le déroulement de la recherche de données que sur la nature des informations recherchées auprès des différents interlocuteurs.

2.2.1. DONNÉES CONCERNANT LES INTERVENTIONS DES SERVICES ET DES ENTREPRISES

Lors des collectes *a posteriori*, il est nécessaire dans un premier temps de rentrer en contact avec les services qui sont intervenus lors du bris. Qu'il s'agisse des services

d'urgence tels que les pompiers ou la police, ou des autres services (service de l'eau, département d'intervention d'urgence de diverses entreprises), les informations liées au déroulement du bris, les circonstances, les mesures d'urgence ou encore les plans d'intervention adoptés permettent de comprendre en détail la situation alors présente sur les lieux au moment du bris.

2.2.2. DONNÉES CONCERNANT LES CAUSES DU BRIS

La prise de contact avec les différents services permet de connaître la ou les causes principales du bris. La connaissance des causes et circonstance du bris permet ainsi d'appréhender de façon juste les coûts applicables ou non. Par exemple, nous pouvons considérer que la présence de travaux avant l'apparition du bris était déjà la source d'une congestion. Du coup dans un tel cas nous ne prendrons pas en compte de coûts supplémentaires de congestion ou de détour.

2.2.3. DONNÉES CONCERNANT LES COMMERÇANTS SITUÉS AUX ALENTOURS DU BRIS

Un autre point essentiel pour l'analyse de la situation est le retour avec les commerçants et les habitants situés aux alentours du lieu du bris. Au-delà des chiffres estimatifs de la perte de revenu due aux perturbations, qui sont utilisables pour le calcul final des coûts, ces témoignages nous renseignent sur le degré d'importance du bris comme la durée des perturbations ainsi que leur ampleur. Ce type de données est parfois difficile à recenser par l'intermédiaire des différents services d'urgence.

2.2.4. AUTRES DONNÉES SECONDAIRES POUVANT ÊTRE UTILISÉES POUR L'ÉVALUATION DES COÛTS

Les autres données importantes pour l'étude ont été obtenues par plusieurs sources. Par exemple, des données sur le flux de circulation dans les rues de Montréal sont accessibles



via le portail de données ouvertes de la Ville. Un fichier fait état du comptage des véhicules et des piétons à la majorité des intersections munies de feux de circulation, ainsi que certaines intersections où l'installation de feux était à l'étude. Pour chacune de ces intersections, le nombre de véhicules et de piétons a été relevé à différentes périodes d'une journée type (Ville de Montréal, 2013).

La figure 8 récapitule les différentes démarches suivies lors de nos différentes études de cas :

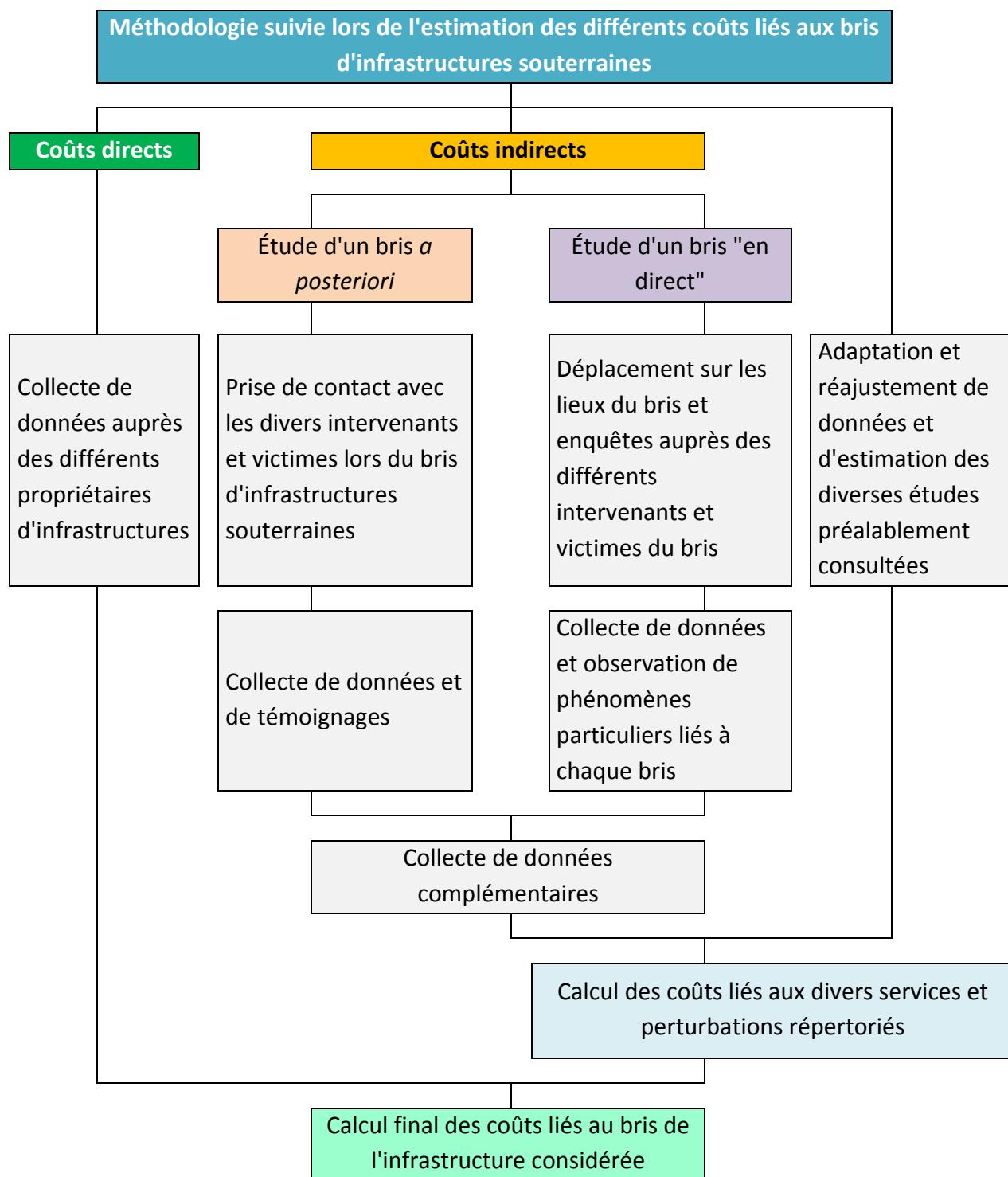


Figure 8 : Méthodologie générale adoptée lors des études de cas



CHAPITRE 4

PRÉSENTATION DES ÉTUDES DE CAS RETENUES

Dans les études de cas qui vont suivre, nous avons utilisé les formules énoncées et expliquées dans les paragraphes précédents. Par souci de clarté, la totalité de ces formules ne sera pas réécrite pour toutes les études de cas. Chaque cas sera documenté avec le plus de détails disponibles.

1. BRIS D'UNE CONDUITE DE GAZ DANS LE CENTRE VILLE D'UNE GRANDE AGGLOMÉRATION

L'étude de cas fait état d'un bris survenu sur une canalisation de gaz de ville lors d'une remise en état de la chaussée. Ce bris a eu lieu en milieu résidentiel au début du mois de novembre 2012, à Montréal.

1.1. LOCALISATION DU BRIS

La section de l'avenue Coloniale dans laquelle est survenu le bris se situe dans un quartier du Plateau-Mont-Royal de la ville de Montréal, entre la rue Sherbrooke Est, l'avenue des pins, la rue Saint-Denis et le Boulevard Saint-Laurent. Ce quartier résidentiel regroupe un grand nombre d'habitations (de type triplex pour la plupart) ainsi que des commerces et des petites entreprises (dentiste, restaurants, etc.). Cette rue s'avère être une artère en sens unique assez peu empruntée. Ce cas permet donc d'illustrer le bris d'une infrastructure souterraine situé dans une rue au sein d'un quartier résidentiel de Montréal ou d'une ville à forte densité démographique.



Figure 9 : Aperçu du 3459 Avenue Coloniale

1.2. LE BRIS

Le bris est survenu, le mardi 6 novembre 2012 vers 11h. Le Service de sécurité incendie de Montréal (SIM) a reçu un appel pour une fuite de gaz de type 10.09 pour une catégorie 3, signal spécifique lié à une fuite de gaz majeure sur le territoire montréalais. Nous nous sommes alors rendus sur les lieux avec le Chef aux Opérations et membre de la direction de la planification stratégique. Cela nous a permis d'accéder à la zone de sinistre, où se trouvent les équipes d'intervention, moins de 10 minutes après que l'alerte ait été déclenchée. Le bris a été causé par une entreprise d'excavation qui a accroché les installations souterraines de Gaz Métro⁹ avec une pelle mécanique. Il s'agissait d'une conduite principale de 2 pouces de diamètre, alimentée des 2 côtés et dont la pression intérieure atteignait 400kPa.

⁹ Principal distributeur de gaz naturel de ville au Québec



Figure 10 : Pelle mécanique responsable du bris

À notre arrivée sur les lieux du bris, les équipes d'intervention spécialisées du SIM ainsi que le Service de police de la ville de Montréal (SPVM) étaient déjà sur place. Ils avaient eu le temps de fermer la section de rue au sein de laquelle les risques étaient considérés comme élevés. Toutes formes de circulation ou d'activité humaine y étaient interdites. Leur première mission a été l'évacuation de l'ensemble de la population civile présente dans cette zone de danger soit environ une trentaine de personnes. Aucun bâtiment sensible (école, hôpital, etc.) ne se trouvait à proximité.



Figure 11 : Conduite de gaz touchée

Un aspect important de ce bris est que les équipes de Gaz Métro ne pouvaient pas intervenir sans une coupure générale de l'électricité car les risques d'explosion étaient trop grands. Les services de la SIM étaient alors en charge de la supervision des opérations durant la période de gestion de crise¹⁰, ont demandé aux services d'Hydro Québec de procéder à un « déclenchement d'artère ». Cette opération vise à couper l'ensemble du service électrique pour tout un secteur autour de la zone du bris afin d'éviter tous les risques possibles liés à l'électricité.

¹⁰ Procédure habituelle pour tous les événements de fuite de gaz qui surviennent à Montréal

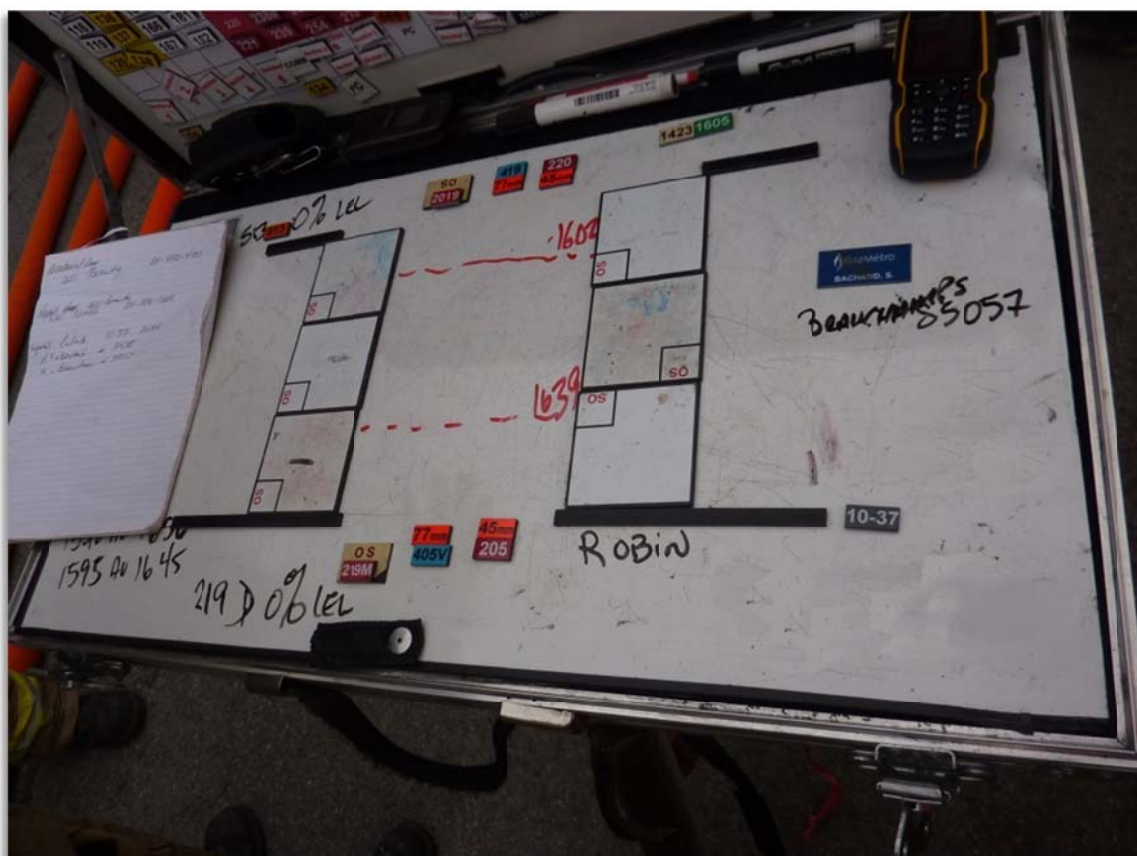


Figure 12 : Table du poste de commandement des services de la SIM

C'est avec l'appui des pompiers, placés en soutien pour une éventuelle intervention en cas d'explosion, que les services d'intervention d'urgence de Gaz Métro ont commencé leur progression vers la fuite de gaz. L'alimentation de la conduite endommagée était coupée mais il a été tout de même nécessaire de vérifier si les concentrations dans les habitations voisines étaient sécuritaires. En effet, si la concentration de gaz dans l'air se situe entre 10 et 15%, les risques d'explosion se situent au niveau le plus élevé. À cela, il est également important d'ajouter les risques d'intoxication mettant en danger la santé des résidents.

1.3. LES CAUSES DU BRIS

L'entreprise d'excavation, qui effectuait les travaux de remise en état de la chaussée sur l'avenue Coloniale, avait effectué une demande de localisation auprès de l'organisme

spécialisé au Québec Info Excavation¹¹. À la suite de cette demande, les services d'Info Excavation ont transféré cette demande aux différentes sociétés propriétaires d'infrastructures souterraines présentes sur les lieux des travaux. La localisation de leurs réseaux souterrains a été ainsi complétée sous la responsabilité des différents propriétaires. Conformément aux pratiques habituelles, Gaz Métro avait localisé sur les lieux la position des installations gazières afin que l'excavateur puisse procéder en toute sécurité aux travaux prévus. Il est toutefois important de prendre en compte lors d'une excavation **l'aspect tridimensionnel**, et donc de ne pas oublier la profondeur à laquelle est enterrée la conduite. Ainsi, dans le cas à l'enquête, bien que les marquages de peinture au sol aient été effectués correctement, la profondeur à laquelle se situait la conduite était inconnue de la part des équipes d'excavation au moment du bris car les plans de localisation n'avaient pas été amenés sur le chantier. L'excavation avait donc été réalisée « **à l'aveugle** » comme le stipule le rapport d'intervention. La pelle mécanique a heurté l'infrastructure gazière, ce qui a provoqué une interruption de service de gaz pour **9 clients de Gaz Métro** présents dans le secteur.

1.4. LES DIVERS COÛTS ENGENDRÉS

À la suite de cet événement, une réclamation a été déposée par l'entreprise Gaz Métro à l'encontre de la ville de Montréal. Comme pour une grande majorité des réclamations, elle a été reçue dans un premier temps par les services des réclamations de la ville de Montréal. Cette particularité repose sur les conditions de procédure d'une réclamation. En effet, toute réclamation mettant en cause la ville de Montréal doit être déposée au cours des 10 jours ouvrables suivant le bris. Si tel n'est pas le cas, la réclamation sera rejetée. Afin de se protéger en cas de responsabilité de la ville, Gaz Métro a donc transféré sa réclamation aux services de la ville. Ce n'est qu'une fois la non-implication de la municipalité avérée que la réclamation a été transmise à l'entreprise d'excavation.

¹¹ Mentionné dans le rapport d'intervention des équipes de Gaz Métro

1.5. LES COÛTS DIRECTS

Dans cette partie, nous allons répertorier l'ensemble des coûts liés à la réparation du bris de la conduite de gaz qui apparurent dans la réclamation déposée par Gaz Métro. Dans un premier temps, ce type de coûts est absorbé par l'entreprise de distribution de gaz. Cependant, si Gaz Métro considère que sa responsabilité n'est pas engagée dans le bris, l'entreprise se retourne alors vers l'excavateur qu'elle juge fautif afin qu'il supporte les coûts et que le préjudice subi soit réparé. Les coûts directs pour les bris de conduite de gaz se répartissent en 3 catégories :

- La main d'œuvre nécessaire sur place ainsi que le matériel utilisé,
- Les matériaux utilisés pour la réfection des infrastructures,
- Les coûts administratifs pour l'ensemble de la gestion du dossier.

1.5.1. LES COÛTS DE LA MAIN D'ŒUVRE ET DES ÉQUIPEMENTS

Dans un premier temps, une estimation de la main d'œuvre mise à disposition (service d'urgence ainsi que les équipes pour la remise en état) est faite. Ce poste budgétaire constitue le plus élevé, compte tenu du nombre important de personnes nécessaires pour les interventions en raison du risque généré par les conditions de travail. En cas d'intervention, au moins 3 personnes de Gaz Métro sont dépêchées sur les lieux, un superviseur auquel il convient d'ajouter deux opérateurs effectuant les mesures dans la «zone chaude ». Cette dernière correspond à la zone à l'intérieur de laquelle le danger est élevé et où les dommages matériels ainsi que les dangers pour les personnes en cas d'explosion seraient importants.

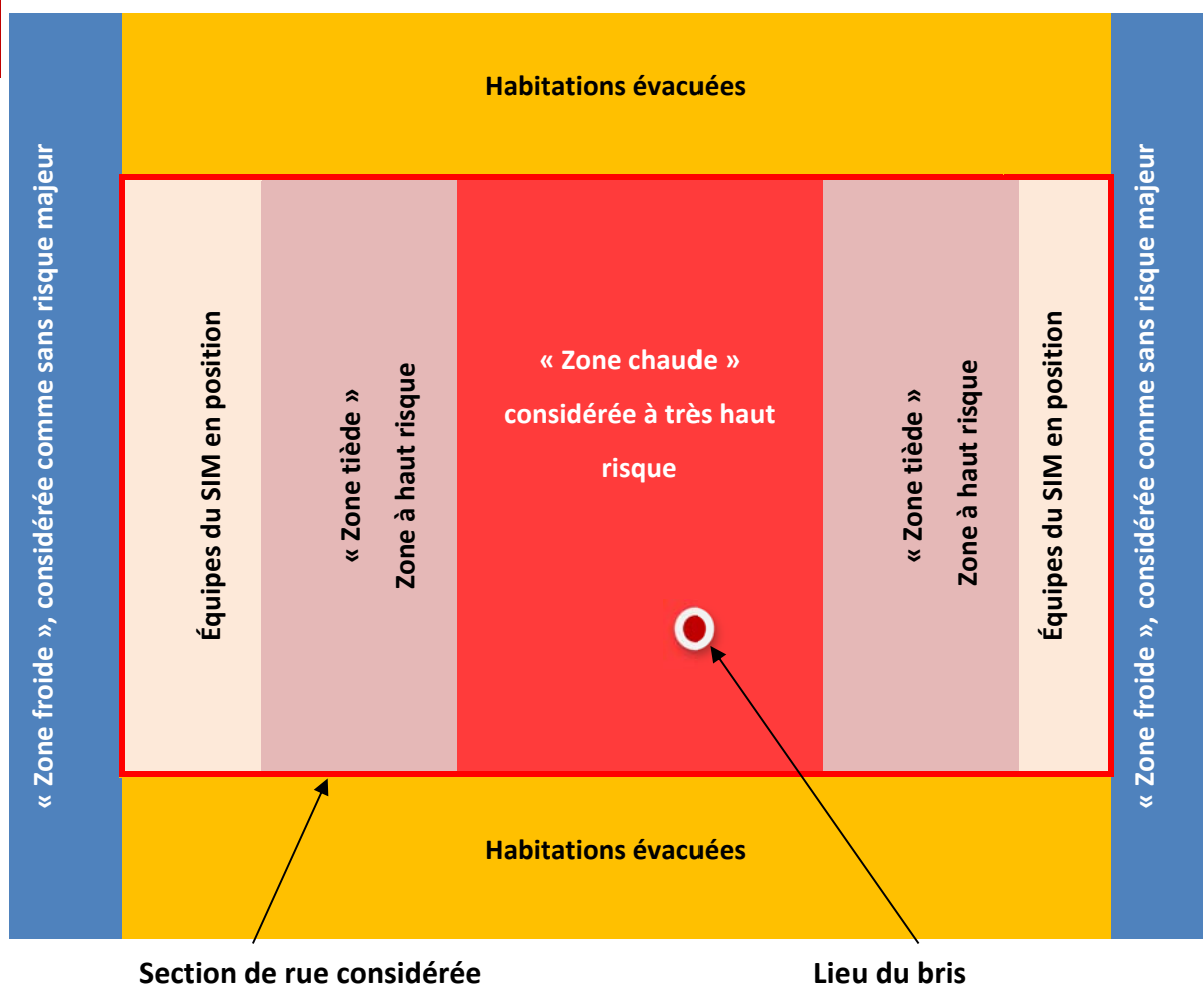


Figure 13 : Disposition type des équipes d'intervention lors d'un bris de gaz

A cela, il est également important d'inclure **les coûts d'entretien** des véhicules, les coûts du **renouvellement du parc automobile** des véhicules d'intervention¹² et les coûts du matériel spécialisé utilisé durant ces interventions. Au sein de ces coûts on peut retrouver par exemple des coûts totalement externes à l'entreprise, tels que l'appel d'un serrurier lorsque les équipes d'urgence doivent s'introduire à l'intérieur d'un logement ou encore la sollicitation d'une entreprise de remorquage afin de permettre un meilleur accès à la zone considérée. Ainsi, pour cette intervention, ce sont 5 employés de Gaz Métro (1 chef de groupe et 4 techniciens) qui ont été dépêchés sur les lieux.

¹² Les véhicules d'intervention doivent être remplacé régulièrement afin d'assurer les meilleurs résultats possibles, tant d'un point de vue performance que sécurité lors des interventions

1.5.2. LES COÛTS DES MATÉRIAUX

Cette catégorie de coût est généralement la moins dispendieuse, correspondant dans la plupart des cas au coût des matériaux de remplacement, ici une canalisation flexible. En effet, la majorité des cas de bris d'infrastructures sont des petits bris touchant des canalisations en matériau flexible, peu coûteuses, mais très fragiles.



Figure 14 : Véhicule d'intervention de Gaz Métro et véhicules d'urgence

1.5.3. LES COÛTS ADMINISTRATIFS

Les coûts administratifs représentent l'ensemble des coûts liés à la gestion du dossier. Ils correspondent aux coûts liés à la constitution et au suivi du dossier de réclamation mis en place par Gaz Métro et au suivi de ce dernier. Ils peuvent éventuellement lors de

réclamations importantes absorber d'autres coûts, tels que les prestations d'experts ou de juristes externes.

1.5.4. BILAN DES COÛTS DIRECTS

Pour le bris survenu sur l'avenue Coloniale, les coûts directs sont répartis de la façon suivante :

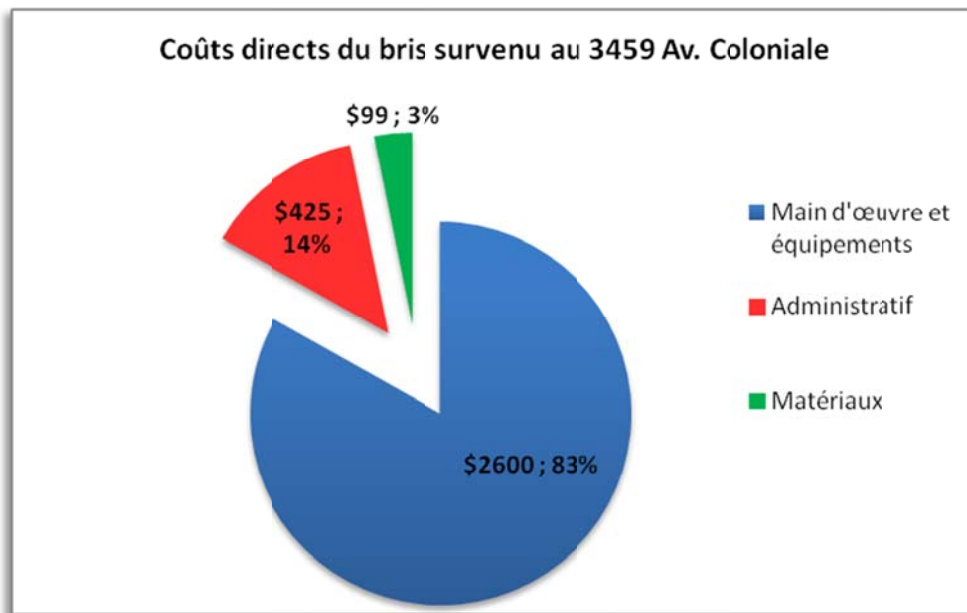


Figure 15 : Coûts directs associés au bris survenu au 3459 Avenue Coloniale
(Communication personnelle GazMetro, 2012)

On remarque ici que la plus grosse part des coûts est due à la main d'œuvre utilisée sur place. En effet, le retour à la situation initiale durant plusieurs heures, il n'est pas étonnant de voir ce coût s'élever à 83% du montant total. Finalement, **le coût total facturé** par Gaz Métro à l'entreprise excavatrice s'élève à : 3124 \$.

Tableau 8 : Coûts directs du bris de conduite de gaz facturés par Gaz Métro

Coûts directs du bris de conduite de gaz	Montant estimé
Coût de main-d'œuvre et des équipements	2 600 \$
Coût administratif	425 \$
Coût des matériaux	99 \$
Coûts directs totaux¹³	3 124 \$

1.6. LES COÛTS INDIRECTS

Il devient à présent intéressant de se pencher sur les coûts indirects qu'un tel bris peut engendrer. Comme nous avons pu l'appréhender au sein de la revue de littérature, nous savons qu'une intervention de ce type peut être à l'origine de **nombreuses perturbations** et donc de nombreux coûts pour la société, que cela se répercute au niveau de la ville, des commerçants ou des citoyens environnants.

Pour cette étude de cas, différents facteurs de coûts identifiés dans la littérature vont être pris en compte. Pour certains, une évaluation économique sera présentée alors que pour d'autres, seule une illustration et une discussion autour du concept seront fournies. Les différents facteurs et la façon dont ils sont pris en compte dans l'étude de cas se reflètent dans le tableau ci-dessous. Les lignes grisées représentent un facteur de coûts qui ne s'est pas manifesté dans cette étude de cas.

¹³ Il est important de noter que d'après une base de données fournie par les services de Gaz Métro, le montant associé à ce bris est du même ordre de grandeur que la majorité des cas de bris répertoriés par l'entreprise.

Tableau 9 : Facteurs de coûts évalué et illustrés dans l'étude du cas 1

	Facteur de coûts évalué dans l'étude de cas	Facteur de coûts illustrés dans l'étude de cas
Interruption des services	X	
Déploiement des services d'urgence	X	
Évacuation des résidents		X
Risques de blessures ou de décès pour les travailleurs		
Perte de produit		
Impacts environnementaux		
Impacts économiques pour les commerces et entreprises		
Retards dans l'exécution des travaux		X
Frais administratifs ou légaux		
Atteinte à la réputation de l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine		
Perturbation des sols		
Perturbation de la circulation		

Nous allons à présent aborder chronologiquement les différents coûts rattachés aux différentes interventions ayant eu lieu le 6 novembre 2012.

1.6.1. INTERVENTION DU SERVICE DE SÉCURITÉ INCENDIE DE MONTRÉAL (SIM)

Le premier service d'urgence qui a été présent sur les lieux, si l'on exclut Gaz Métro, a été le SIM. Il s'agissait ici d'une intervention de type 10-09 pour une catégorie 3. Cela correspond à une fuite de gaz en milieu résidentiel avec demande d'un premier niveau de

renforts en comparaison avec le niveau d'alerte de base. Immédiatement, les véhicules présents et disponibles aux alentours ont été dépêchés sur les lieux. Ainsi, 4 chefs aux opérations (superviseurs lors des interventions), 7 autopompes, 2 véhicules d'élévation, et 2 camions d'assistance ont été sollicités. Dans ce genre d'opération, la difficulté est de sécuriser la zone dans son intégralité. Pour cela, il est indispensable de bloquer les 2 côtés de la rue afin que personne ne puisse se rendre dans la « zone chaude » et ainsi mettre **sa santé voir sa vie** en péril. Dans une telle situation, l'ensemble des services doit être d'une certaine façon doublé afin d'assurer la sécurité de part et d'autre de la rue. **Cela représente un dispositif de 41 pompiers, présents pendant 1h40 et même jusqu'à 2h30 pour certaines équipes.**

Comme pour les « fausses » alertes incendie, le coût d'une intervention de la part des services du SIM peut être estimé. Nous avons repris les estimations du SIM pour évaluer le coût total de l'intervention.

Tableau 10 : Données significatives et coûts allouables au SIM

Catégories	Chiffres clés
Nombre de pompiers	41 personnes
Nombre de pompiers prêts à intervenir ¹⁴	37 personnes
Nombre de véhicules	15 véhicules
Nombre de véhicules d'intervention	11 véhicules d'intervention
Temps total humain cumulé de l'intervention	88 h et 19 min
Coût total de l'intervention	12 845 \$

¹⁴ Certains pompiers sont affectés à la gestion des opérations sur place et ne sont pas présents à des fins d'intervention. C'est notamment le cas des différents chefs aux opérations.

On remarque que le montant des coûts directs associés à la réparation de la conduire ont été largement dépassés. En effet, les coûts liés au service d'intervention du SIM représentent à eux seuls plus de **4 fois les coûts directs**.

Bien évidemment, il est indéniable **qu'un service d'urgence pouvant être considéré comme minimum** doit être maintenu en place dans le but d'assurer la sécurité de l'ensemble des citoyens. Toutefois, il est important d'ajouter les coûts d'opportunité que représentent de telles interventions. En effet, les unités mobilisées sont autant de ressources en moins pour tous les autres types d'intervention. Considérant que les bris par des tiers sont évitables, on peut donc conclure que ces ressources pourraient être utilisées pour d'autres interventions moins facilement évitables.

1.6.2. INTERVENTION DU SERVICE DE POLICE DE LA VILLE DE MONTREAL (SPVM)

Comme dans la majorité des interventions du SIM, ces derniers font appel au **Service de police de la ville de Montréal (SPVM)** afin de les aider dans la protection des citoyens dans un large rayon ainsi que la régulation du trafic routier environnant¹⁵.

Dans le cas étudié, quelques minutes après leur arrivée sur les lieux, le SIM a demandé l'assistance des équipes du SPVM. Même si, pour ce qui est de la zone d'action proche de l'intervention, c'est-à-dire la zone chaude et la zone froide, la prévention est assurée par les pompiers neutralisant le secteur à risque, le Service de police s'occupe de redistribuer la circulation des véhicules pour un périmètre plus large. En fonction des aléas, leur travail consiste à réguler l'activité environnante autour de la zone d'intervention tout en réduisant voir en interdisant l'accès à certaines zones proches du lieu du bris.

Mais une **intervention liée au gaz peut très rapidement prendre de l'ampleur**. Et même si cette dernière n'a pas excédé 3 heures, les chiffres suivants nous renseignent sur les moyens mis en place lors d'un tel évènement :

¹⁵ Communications personnelles avec le SIM

Tableau 11: Chiffres et coûts liés à l'intervention des services du SPVM

Catégories	Chiffres clés
Nombre total de policiers sollicités	22 policiers
Temps total humain cumulé de l'intervention	22 h et 3 min
Coût total de l'intervention	1 367 \$

Une fois encore, il est important de préciser, comme pour le SIM, que les ressources mises à disposition pour ce bris existaient de toute façon. Cependant, ces unités auraient pu être allouées à d'autres tâches.

Les coûts indirects prenant uniquement en compte les services de sécurité de première urgence s'élèvent donc à plus de 14 000 dollars, et représentent plus de 4 fois les coûts directs estimés.

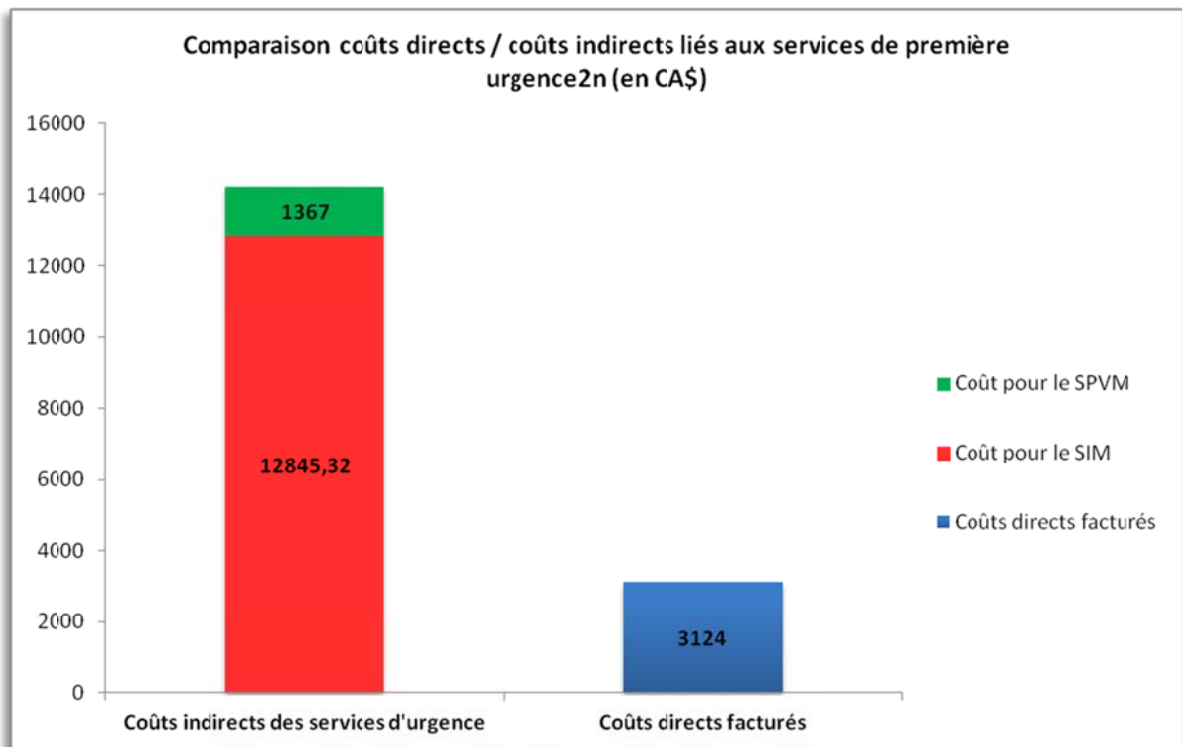


Figure 16 : Comparaison des coûts directs avec les coûts indirects liés aux services d'urgence

1.6.3. COÛTS LIÉS AUX DIVERSES INTERRUPTIONS DE SERVICES

Un autre point important à prendre en compte est l'interruption de plusieurs services pour les utilisateurs. En effet, que cela soit au niveau du service de gaz ou d'électricité, tout cela peut être estimé et chiffré.

1.6.3.1. INTERRUPTION DU SERVICE DE TRANSPORT EN COMMUN DE LA VILLE DE MONTRÉAL

La particularité de ce cas réside en partie dans sa localisation. En effet, le numéro 3459 de l'avenue Coloniale à Montréal, entre les rues Sherbrooke et Prince-Arthur, se situe dans une **section de rue exigüe**. Cette portion, à sens unique, n'accueille aucune ligne de bus et aucune sortie de station de métro. Cependant, même si ce n'est pas le cas dans notre étude, il arrive parfois que les services de transport soient également touchés par ce genre de bris, amplifiant encore les coûts indirects totaux. Car même en supposant qu'un autobus d'une société de transport telle que la STM (Société de Transport de la ville de Montréal) ne soit rempli qu'en partie, le nombre de personnes impactées peut rapidement dépasser 25, entraînant une perte de temps cumulée considérable. A cela, il faut rajouter qu'en cas de congestion, le déplacement d'un autobus ne fait qu'amplifier le phénomène énoncé, sa taille l'empêchant de sortir rapidement de la zone de congestion.

1.6.3.2. INTERRUPTION DES SERVICES DE GAZ ET D'ÉLECTRICITÉ

Lors d'une rupture de canalisation, particulièrement pour une conduite principale, toute l'alimentation en aval, et parfois en amont pour des problèmes de sécurité, se retrouve hors service. Or, on sait qu'au Québec, et particulièrement dans les grandes agglomérations telles que Montréal, le gaz naturel est une source d'énergie couramment utilisée. Nous pouvons extrapoler et considérer qu'une coupure de gaz entraîne une coupure du chauffage pour les utilisateurs et donc les foyers touchés. 30 personnes ont été évacuées durant l'intervention des services d'urgence. Mais nous savons également

que 9 foyers ont été touchés par cette interruption de service. On peut donc imaginer que des personnes qui n'ont pas été évacuées ont quand même subi un désagrément, surtout qu'on sait qu'au mois de novembre 2012, dans la région de Montréal, les températures étaient négatives (entre 14,2°C et -8,2°C (Government of Canada & Meteorological Service of Canada, 2013)).

Comme l'incident a touché une canalisation de gaz, par mesure de sécurité, **un déclenchement d'artère** a été décrété par les équipes du SIM afin d'éviter tout risque d'explosion durant l'intervention (explosion qui aurait pu être provoquée par une étincelle). Cependant, lorsqu'un déclenchement d'artère est décrété, c'est l'ensemble d'un quartier (ce qui correspond à plusieurs blocs) qui est privé d'électricité durant le temps de l'intervention. Cette coupure, bien que très dérangeante pour les utilisateurs résidentiels, est surtout très préjudiciable pour les commerçants se trouvant dans le secteur considéré. Et bien que la rue soit à forte majorité résidentielle, il n'en reste pas moins qu'elle se situe à quelques dizaines de mètres du boulevard Saint-Laurent et donne accès à la rue Sherbrooke, deux des principaux axes et zones commerciales de la ville. L'interruption a duré de 11h45 à 13h28, soit plus d'une heure et demie. Hydro-Québec nous a communiqué les informations sur le nombre et le type de clients touchés.

Tableau 12 : Récapitulatif des clients impactés par la coupure d'électricité due au déclenchement d'artère

Type de client	Nombre
Mineurs	1 201
Moyens	484
Majeurs	35
Total des clients touchés par l'incident	1 720

D'après l'équation 4, le coût d'une interruption de service électrique se calcule de la façon suivante :

Coût d'une interruption de service électrique

= Durée de l'interruption (h)

$$\times \sum_{i=1}^N \text{Coût horaire moyen } i \text{ (\$/h)} \times \text{Nombre de clients } i \text{ touchés}$$

Ainsi les coûts indirects liés à l'interruption de service s'élèvent à 1 031 506 \$. Ce montant est, donc, plus de 400 fois supérieur aux coûts directs estimés par Gaz Métro et transmis à l'entreprise d'excavation pour un remboursement.

1.6.4. RECLAMATIONS EXTERIEURES LIÉES AU BRIS

Un autre volet important consiste à explorer la partie relative aux réclamations extérieures liées au bris. En effet, lorsqu'un incident survient, il n'est pas rare que les citoyens, résidents et commerçants, déposent des réclamations auprès du bureau des réclamations. Ici, après investigation aux côtés des services spécialisés du bureau des réclamations de la ville de Montréal, il s'est avéré que seule la plainte de Gaz Métro avait été déposée.

1.6.5. PRÉJUDICES ET AUTRES COÛTS

Contrairement à de nombreux autres bris d'infrastructures souterraines, on ne peut imputer à celui-ci d'autres coûts que ceux énoncés précédemment. En effet, étant donné que des travaux de longue date étaient déjà en cours sur les lieux (ce sont d'ailleurs ces travaux qui sont à l'origine du bris), **les coûts générés par le bris lui-même ne représentent pas d'augmentation des coûts de congestion, de pollution sonore ou de pollution visuelle, ces derniers étant déjà présents à cause des travaux.**

Les seuls coûts éventuels que nous pourrions prendre en compte seraient ceux dus **aux délais** que le bris a entraînés sur le déroulement des travaux de construction pour les autres entreprises que l'entreprise d'excavation. Mais étant donné la taille du chantier (la

quasi-totalité de la rue), on peut considérer qu'il n'y a pas eu d'impact réel de ce bris sur le **délai total du projet**.

On pourrait également ajouter d'autres coûts auxquels on ne pense pas dans un premier temps, mais qui sont pourtant bien réels. Parmi ces coûts, l'un des plus importants représente **les coûts de déplacement des véhicules**. Dans des cas similaires à celui survenu sur l'avenue Coloniale, il a parfois été nécessaire de déplacer des véhicules afin de permettre l'accès pour les services d'intervention de Gaz Métro et du SIM. Dans ces cas-là, une entreprise de remorquage est sollicitée et cela généralement **à la charge de la municipalité**. On remarque donc une fois encore que les coûts indirects liés à un bris d'infrastructures souterraines peuvent s'étendre à de nombreux niveaux et ainsi représenter de très importantes sommes.

1.7. CONCLUSION

Le bris survenu le 6 novembre 2012 au 3459 de l'avenue Coloniale à Montréal montre assez bien les coûts indirects engendrés lors d'un bris d'infrastructure gazière souterraine dans un milieu à forte densité résidentielle. Lorsque l'on récapitule l'ensemble des coûts directs et indirects qui sont reliés à ce bris, le constat est le suivant :

Tableau 13 : Estimation du coût total d'un bris de conduite de gaz dans une artère résidentielle

Coûts	Montant estimé	Pourcentage du montant total
Coût pour le Service de Sécurité Incendie de Montréal	12 845 \$	1,22 %
Coût pour le Service de Police de la Ville de Montréal	1 367 \$	0,13 %
Coût de l'interruption de service électrique	1 031 506 \$	98,35 %
Coûts indirects totaux chiffrés	1 045 718 \$	99,70 %
Coût direct total chiffré	3 124 \$	0,30 %
Coût total du bris	1 048 842 \$	100%



On remarque que la valeur des coûts directs ne représente même pas 0,5% des coûts totaux (directs et indirects), soit 3 124 \$, alors que la coupure d'électricité correspond à pratiquement 98,5% des coûts totaux, pour une somme de 1 031 506 \$. De plus, l'absence d'un certain nombre de coûts indirects additionnels (congestion non présente, pas de transport en commun, etc.) nous permet d'estimer assez convenablement le coût minimum que représente un bris de gaz pour la société.

2. BRIS D'UNE CONDUITE DE TELECOMMUNICATION DANS UNE GRANDE AGGLOMERATION AU QUÉBEC

La deuxième étude de cas est un **bris d'infrastructure souterraine de télécommunication survenu dans une grande agglomération (Montréal)** au coin des rues Jean-Talon et Côte-des-Neiges. Ce cas permettra entre autre d'illustrer et d'évaluer les impacts d'un bris d'infrastructure souterraine sur le trafic automobile.

2.1. LOCALISATION DU BRIS

Placée au croisement de la rue Jean Talon Ouest, des Chemins de la Côte-des-Neiges et Saint Claire et du boulevard Laird, l'intersection où a eu lieu le bris du câble de télécommunication est un carrefour important compte tenu du flux de véhicule quotidien empruntant ces artères. En effet, chaque jour, 4800 véhicules circulent de l'Ouest vers l'Est sur la rue Jean Talon aux heures de pointe (Ville de Montréal, 2013). D'après les statistiques de comptage des véhicules disponibles sur le portail de partage de données de la Ville de Montréal, ce sont près de 14 000 véhicules qui empruntent cette intersection (tous sens de circulation confondus) chaque jour aux heures de pointe (Ville de Montréal, 2013).

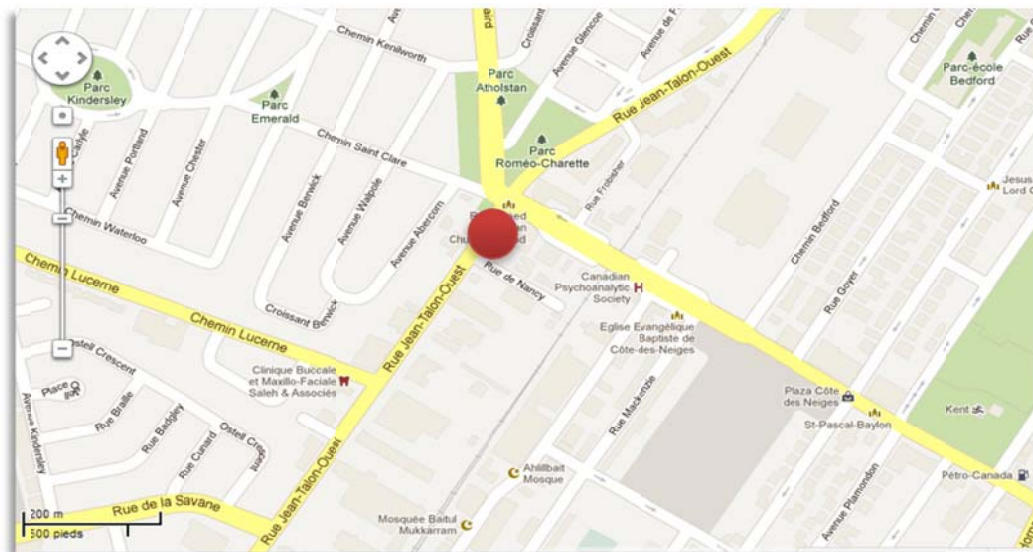


Figure 17 : Croisement Rue Jean-Talon-Ouest – Côte-des-Neiges (Montréal)



En outre, de nombreux commerces sont installés sur cette artère très empruntée. On recense des agences de location de voiture, des services spécialisés (carrossier, détaillant de pièces automobiles, etc.), des restaurants et également un certain nombre de concessionnaires de voitures de luxe. Ces particularités seront importantes à prendre en compte lors de l'évaluation des coûts. Après une brève description du bris, nous présenterons ses impacts, notamment sur la circulation et sur les commerces environnants.

2.2. LES CIRCONSTANCES DU BRIS

Le bris est survenu le samedi 13 octobre 2012 aux alentours de 14h00, lorsqu'une entreprise d'excavation effectuait des travaux de forage de gaz sur la rue Jean Talon. En raison de leur fragilité, les câbles de fibre optique ont immédiatement rompu lors du contact avec les machineries d'excavation, entraînant la coupure instantanée des services de la compagnie de télécommunication touchée, pour les clients du quartier.

Ce bris a donc obligé l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine de télécommunication à mettre en place un service de réparation d'urgence dans le but premier de fournir à nouveau et rapidement un service convenable à ses clients, mais également de remplacer l'infrastructure sectionnée. Cependant, cette remise en état ne pouvait se faire aussi simplement et aussi rapidement qu'espéré. Comme le bris a eu lieu au milieu de la chaussée, il est nécessaire pour l'entreprise d'obtenir un permis d'entrave auprès de la ville de Montréal avant d'entreprendre des travaux de réparation. Une fois ce permis d'entrave obtenu, l'entreprise de télécommunication a ainsi pu commencer la remise en état de son réseau en remplaçant la partie sectionnée. La zone de travail se situait en plein milieu de la rue Jean Talon, juste avant le feu de signalisation situé au sud-ouest du croisement du Chemin de la Côte-des-Neiges.

2.3. LES COÛTS DIRECTS DU BRIS

Le remplacement des câbles de télécommunication touchés nécessite diverses ressources humaines et matérielles. Les éléments de coûts de réparation relatifs à ce bris nous ont été communiqués par l'entreprise propriétaire de l'infrastructure de télécommunication.

Le premier facteur de coût est relatif à la main d'œuvre utilisée pour les travaux. Plusieurs équipes ont été sollicitées pour la remise en état des installations. Cependant, le bris ayant eu lieu le samedi et la situation présentant une certaine urgence, les équipes ont travaillé nuit et jour ce qui a occasionné de nombreuses heures supplémentaires. Sur 328 heures travaillées, pratiquement 50% (151 heures) ont ainsi été comptabilisées en heures supplémentaires. La main d'œuvre représente 61% des coûts de remise en état.

Autres coûts importants, ceux reliés au matériel et aux véhicules automobiles utilisés. Pour une intervention de ce type, il est nécessaire d'avoir recours à du matériel de haute technologie, très coûteux. Celui-ci, présent dans les camions d'intervention, entraîne ainsi l'immobilisation des véhicules et de tout autre matériel présent à l'intérieur de ceux-ci. 39% des coûts des travaux sont associés à cette utilisation et à cette immobilisation de matériel et de véhicules, nécessaires pour la remise en état des infrastructures touchées lors de l'excavation.

Tableau 14 : Estimation des coûts directs liés au bris d'un câble de télécommunication

Facteurs de coût direct	Montants	Proportion des coûts directs
Coûts de la main d'œuvre	29 600 \$	61 %
Coûts des matériaux utilisés	15 200 \$	32 %
Coûts d'utilisation et d'immobilisation de véhicules spécialisés	3 200 \$	7 %
Total	48 000 \$	100 %

2.4. LES CONSÉQUENCES DU BRIS ET LES COÛTS INDIRECTS ASSOCIÉS

Pour cette étude de cas, différents facteurs de coûts identifiés dans la littérature vont être pris en compte. Pour certains, une évaluation économique sera présentée alors que pour d'autres, seule une illustration et une discussion autour du concept seront fournies. Les différents facteurs et la façon dont ils sont pris en compte dans l'étude de cas se reflètent dans le tableau ci-dessous. Les lignes grisées représentent un facteur de coûts qui ne s'est pas manifesté dans cette étude de cas.

Tableau 15 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 2

	Facteur de coûts évalué dans l'étude de cas	Facteur de coûts illustré dans l'étude de cas
Interruption des services		X
Déploiement des services d'urgence		
Évacuation des résidents		
Risques de blessures ou de décès pour les travailleurs	X	
Perte de produit		
Impacts environnementaux		X
Impacts économiques pour les commerces et entreprises		X
Retards dans l'exécution des travaux		
Frais administratifs ou légaux		
Atteinte à la réputation de l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine		X
Perturbation des sols		
Perturbation de la circulation	X	

2.4.1. COÛTS RELIÉS À LA PERTURBATION DE LA CIRCULATION

La réfection définitive des infrastructures brisées a été complétée le 05 novembre 2012, soit 23 jours après le bris. Ce bris a fortement perturbé la circulation. En effet, la chaussée,

à la base constituée de 5 voies de circulation (3 dans le sens ouest-est et 2 dans le sens est-ouest) a été réduite d'une voie dans chacun des sens. Cette artère a donc été pendant la durée des travaux un point important de congestion (de surcroît, des travaux d'entretien d'une conduite de gaz pour un bâtiment voisin étaient en cours, ce qui réduisait encore un peu plus l'espace disponible pour la circulation).

Les coûts liés à la perturbation de la circulation peuvent se diviser en 4 grandes catégories que nous exposerons tour à tour :

1. les coûts liés à la perte de temps ;
2. les coûts liés à la surconsommation de carburant ;
3. les coûts liés à la surutilisation des véhicules (maintenance et entretien) ;
4. les coûts liés à la pollution (ceux-ci entrent dans la catégorie des impacts environnementaux dans la revue de littérature).

2.4.1.1. COÛTS RELIÉS À LA PERTE DE TEMPS DANS LA CONGESTION

Le lundi matin à l'heure de pointe, soit deux jours après le début du bris, nous sommes allés sur les lieux afin de faire un comptage des véhicules et estimer le temps d'attente dans la congestion. La zone de congestion s'étalait sur une distance de 500 mètres environ. Le temps de parcours habituel de cette portion de route est de 25 secondes alors que le temps de parcours relevé sur les lieux à l'heure de pointe deux jours après le bris était de 8 minutes et 30 secondes.

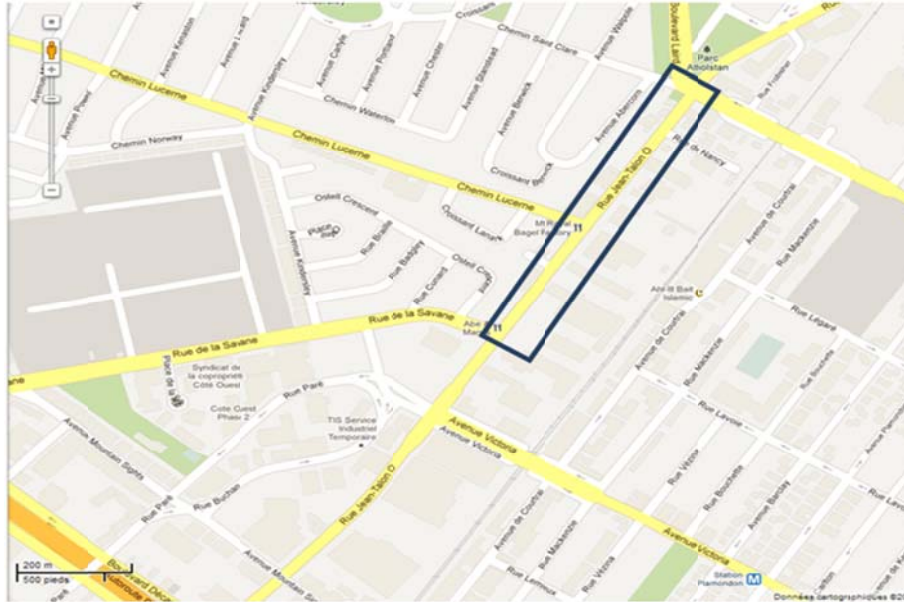


Figure 18 : Zone de congestion 2 jours après le bris à l'heure de pointe du matin

Le nombre de véhicules impacté par la congestion provient des statistiques de comptage des véhicules disponibles sur le portail de partage de données de la Ville de Montréal. Par contre, le comptage de véhicule au moment du bris a été réalisé pour avoir une connaissance du type de véhicule empruntant cette artère et pour ainsi attribuer des proportions à chaque type de véhicule. Nous avons pu noter des voitures classiques, des taxis, des camions de livraison mais aussi des autobus, des ambulances et également des voitures de luxe (de nombreux concessionnaires de voiture de luxe sont implantés sur cette artère). Ce portrait est très important afin d'attribuer un coût adéquat à la perte de temps propre à chacun des utilisateurs.

Plusieurs hypothèses de calcul ont été adoptées dans le calcul des coûts de congestion. Ces hypothèses ont toutes été expliquées dans la partie de revue de littérature. Tout d'abord, nous avons considéré un phénomène d'apprentissage de la part des conducteurs. Ainsi afin d'éviter la congestion, on considère que les automobilistes apprennent et se souviennent de la congestion sur la rue Jean Talon et qu'un nombre de plus en plus important au fur et à mesure des semaines va utiliser des détours quitte à ce que cela allonge sa distance de parcours. Ainsi, nous avons fait l'hypothèse que le temps

d'attente était réduit d'une semaine sur l'autre en raison d'une réduction du trafic total sur cette portion de route. En effet, nous pouvons considérer que jour après jour, les conducteurs réguliers décident un à un d'utiliser un itinéraire différent afin d'éviter ce point de congestion. Dans le but de ne pas surestimer la valeur du temps perdu, nous avons pris en compte uniquement la circulation durant les heures de pointe. Aucune congestion durant les fins de semaines n'a été comptabilisée. Le coût horaire des automobilistes varie en fonction des salaires moyens au Québec et des différents types de véhicules circulant sur cet axe.

D'après l'équation 8, nous obtenons les taux horaires suivants :

Tableau 16 : Taux horaire selon le type de véhicule sur la rue Jean Talon

Type de véhicule	Part du trafic total	Taux horaire	Justification
Voitures classiques	85%	15,25 \$/h	Basé sur le salaire moyen au Québec
Taxi	3%	59,37 \$/h	Taux horaire moyen au Québec plus surcoût dû à la tarification du taxi
Camions	10%	41,23 \$/h	Réactualisation du coût horaire d'un camion (2012) (Gourvil & Joubert, 2004)
Voitures de luxe	2%	46,70 \$/h	Basé sur un salaire annuel de 150 000 \$

Il nous est à présent possible d'appliquer les formules évoquées précédemment dans le rapport :

Tableau 17 : Estimation des coûts reliés à la perte de temps dans la congestion en fonction des semaines

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Total
Nombre de véhicules impactés	21 000	17 087	15 364	53 452
Temps supplémentaire pour parcourir la distance	8 min	6 min 30 sec	5 min 40 sec	-
Coûts reliés à la perte de temps dans la congestion	58 371 \$	38 506 \$	31 090 \$	127 967 \$

Nous pouvons donc conclure que les coûts reliés à la perte de temps dans la congestion, sont plus de deux fois supérieurs aux coûts directs.

2.4.1.2. COÛTS RELIÉS À LA PERTE DE TEMPS DANS LES DÉTOURS

Pour les véhicules qui ont emprunté un itinéraire de substitution, il est indéniable qu'une perte de temps est toujours effective. En se basant sur les données du site Google Maps, on observe que le temps de détour minimum s'élève à 5 minutes par trajet. Ainsi, en reprenant les formules précédentes et en prenant en compte ce nouvel aspect, de nouveaux coûts apparaissent. En appliquant les formules développées précédemment, nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 18 : Coûts des détours dus au bris de la rue Jean Talon

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Total
Nombre de véhicules impactés	2 340	6 253	7 975	16 568
Coûts reliés à la perte de temps dans les détours	4 493 \$	12 006 \$	15 313 \$	31 812 \$

Cela donne donc :

$$\begin{aligned}
 &\text{Coûts totaux reliés à la perte de temps pour les automobilistes} \\
 &= \text{Coûts reliés à la perte de temps dans la congestion} \\
 &+ \text{Coûts reliés à la perte de temps dans les détours}
 \end{aligned}$$

Tableau 19 : Récapitulatif des coûts reliés à la perte de temps dus au bris pour les automobilistes

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Total
Coûts reliés à la perte de temps dans la congestion	58 371 \$	38 506 \$	31 090 \$	127 967 \$
Coûts reliés à la perte de temps dans les détours	4 493 \$	12 006 \$	15 313 \$	31 812 \$
Coûts reliés à la perte de temps totale	62 864 \$	50 512 \$	46 403 \$	159 779 \$

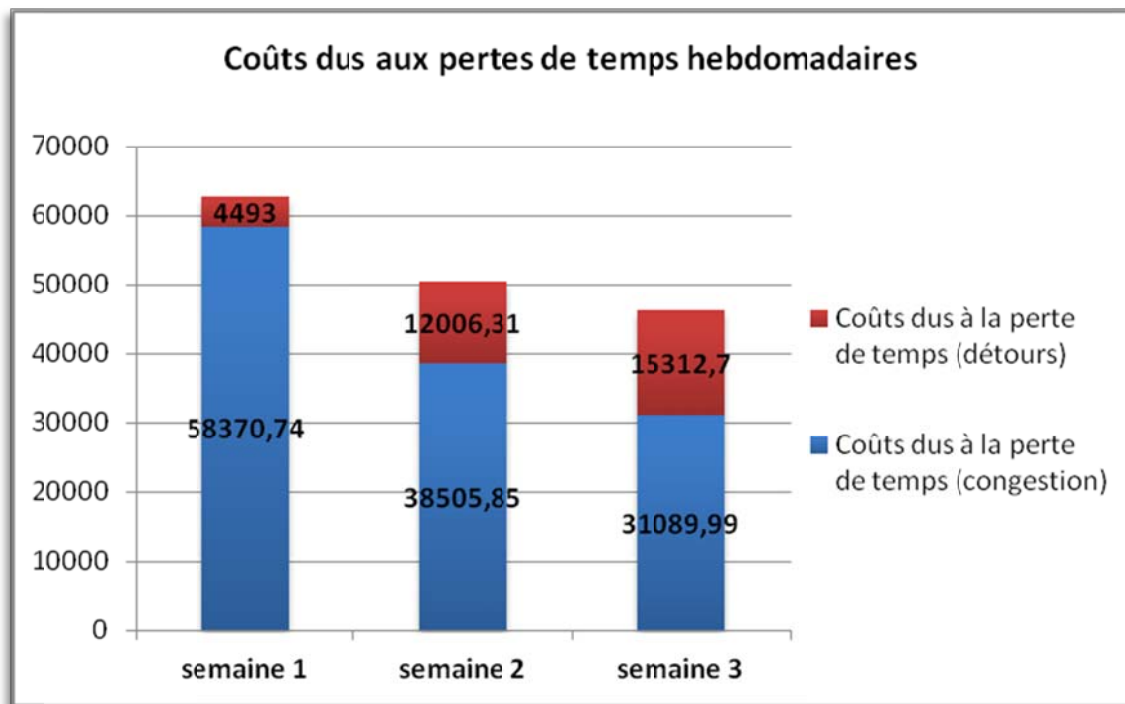


Figure 19 : Comparaison des coûts, en \$CA, dus à la perte de temps pour les automobilistes

On remarque donc que les coûts indirects reliés à la perte de temps dans la congestion et dans les détours représentent à eux seuls plus de 3 fois et demie les coûts directs liés à la réparation.

2.4.1.3. COÛTS RELIÉS À LA SURCONSOMMATION DES VÉHICULES

Un autre point important pour une congestion et des détours d'une telle ampleur est celui lié à la surconsommation des véhicules. Cette surconsommation peut dans un premier temps être séparée selon deux causes : celle liée aux détours occasionnés et celle due à la conduite en situation de congestion. Au fur et à mesure du temps, le fait que de plus en plus de véhicules ont emprunté un parcours de substitution a entraîné une hausse croissante de la consommation de carburant.

En prenant comme hypothèse une vitesse moyenne de 40km/h entraînant une consommation de 0,08 litre par kilomètre, avec une augmentation de parcours minimum

de 1 kilomètre et un prix moyen du carburant de 130 cents par litre, nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 20 : Coûts hebdomadaires dus à la surconsommation (détours)

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Total
Coûts dus à la surconsommation (dans les détours)	244 \$	650 \$	829 \$	1 723 \$

En situation de congestion, les accélérations et décélérations à bas régime ainsi que le changement fréquent de rapport de vitesse entraînent une augmentation importante de la consommation instantanée. Ainsi, en reprenant les données énoncées précédemment dans ce rapport, et en l’adaptant à notre étude de cas, nous pouvons estimer un coût reliés à la surconsommation dans la congestion.

Tableau 21 : Coûts hebdomadaires dus à la surconsommation (congestion)

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Total
Coûts dus à la surconsommation (dans la congestion)	1 351 \$	1 100 \$	989 \$	3 440 \$

Finalement, on estime les coûts totaux reliés à la surconsommation pour ce bris d’un réseau de télécommunication à 5 163\$ pour les trois semaines.

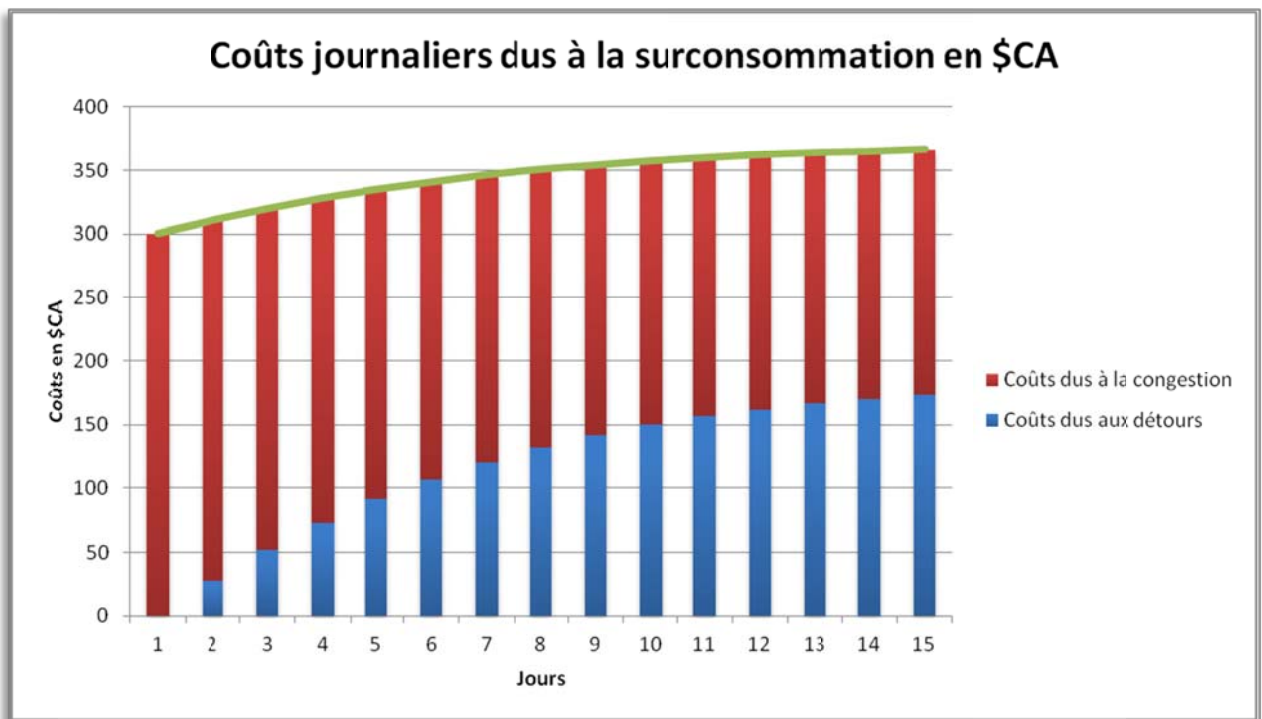


Figure 20 : Évolution quotidienne des coûts de surconsommation de carburant

On remarque que les coûts dus aux détours augmentent plus rapidement que ceux dus à la congestion ne diminuent. Cela résulte du fait que, même si l'automobiliste perd plus de temps dans une situation de congestion, le fait de parcourir une distance plus importante fait augmenter rapidement sa consommation de carburant.

2.4.1.4. COÛTS RELIÉS À LA POLLUTION

Avec la surconsommation viennent s'ajouter des coûts dus à la pollution générée par ce surplus de carburant consommé. Entre le dioxyde de carbone, les SOx ou les autres particules mobiles, la liste des produits émis est longue et diverse. Nous allons donc utiliser la méthode proposée dans la première partie du rapport afin de calculer les coûts que représentent les particules émises ainsi que les gaz à effet de serre. Nous avons précédemment évalué la surconsommation reliée au bris à 5 163 \$.

Coût de la pollution de l'air et des émissions de gaz à effet de serre

= Coût de la surconsommation total

$\times \frac{\text{Pourcentage des coûts attribuables aux divers émissions}}{\text{Pourcentage des coûts attribuables à la surconsommation total}}$

$$= 5\,163 \times \frac{(0,8 + 0,4)}{1,4} = 4\,425 \$$$

On remarque que les simples coûts liés aux matières polluantes représentent à elles seules pratiquement 10% des coûts directs en ce qui concerne ce bris d'infrastructure.

2.4.1.5. COÛTS RELIÉS À L'UTILISATION ACCRUE DES VÉHICULES

Un dernier point à aborder en ce qui concerne les automobiles est l'utilisation accrue des véhicules. Dans cette partie, nous ne prendrons pas en compte l'usage prématuré des véhicules victimes de la congestion, notamment pour leur boîte de vitesses, mais uniquement pour les véhicules ayant emprunté un parcours de substitution.

Ainsi, en réutilisant les hypothèses précédentes et en supposant un coût d'utilisation de 13,3 cents par véhicule et par kilomètres (12% de camions et 88% de voitures), nous obtenons le profil suivant :

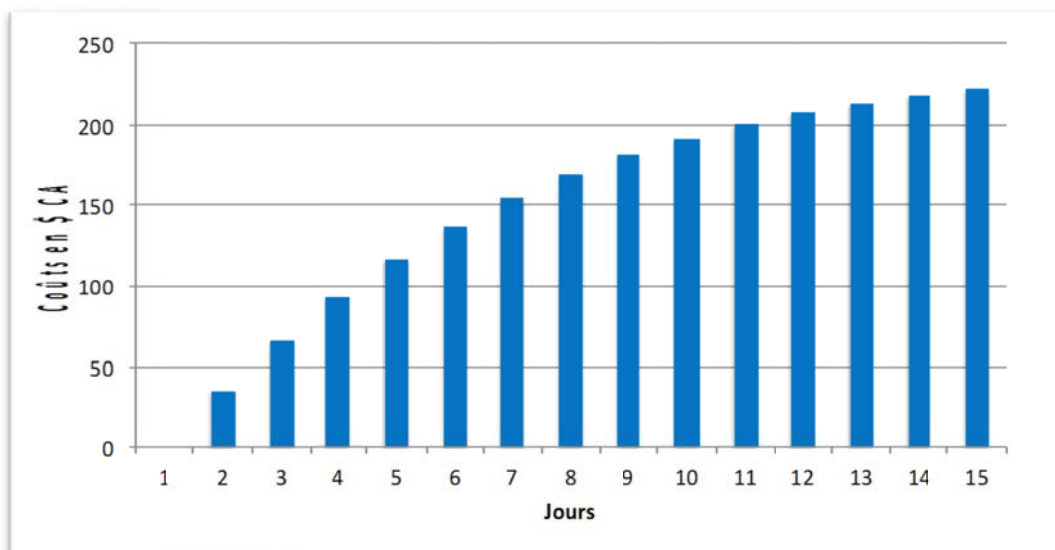


Figure 21 : Coûts reliés à la surutilisation des véhicules dans les détours lors du bris

2.4.1.6. COÛTS RELIÉS À L'AFFAIBLISSEMENT DE LA SÉCURITÉ

Les personnes n'ont pas nécessairement les mêmes réactions en conduite normale et en conduite dans une situation de congestion. Ainsi, lors de nos présences sur les lieux du bris, plusieurs réactions ou comportements inappropriés ont pu être constatées. Des entrevues avec des automobilistes ont permis de mettre en avant un certain énervement et une tension importante chez ceux-ci. Ces deux facteurs ont provoqué des actions pour le moins dangereuses de la part de certains individus. Il a été ainsi fréquent de remarquer des voitures faire demi-tour en plein milieu de la circulation, mettant ainsi les automobilistes empruntant la voie opposée en danger. Nous avons même assisté à l'engagement à contre sens d'une ambulance, une fois encore sans la moindre visibilité. Au-delà du risque pris par le conducteur de l'ambulance vis-à-vis de sa propre santé, ce dernier a également mis en danger la santé des automobilistes se présentant en face de lui (cette partie de la route ne possédant qu'une seule voie de circulation) mais aussi celle des ambulanciers et du patient probablement à bord.



Figure 22 : Engagement d'un véhicule ambulancier à contre sens lors des travaux de remise en état sur la rue Jean Talon

Même si l'on ne peut pas associer un coût à des réactions ou des comportements, il n'en reste pas moins que la congestion due au bris a entraîné un affaiblissement considérable de la sécurité.

2.4.2. LES COÛTS RELIÉS À LA SÉCURISATION DES LIEUX DU BRIS

Certains services sont nécessaires afin d'assurer un minimum de sécurité sur les lieux du bris. Comme nous pouvons le voir sur les photos suivantes, une grande quantité de matériel de signalisation (blocs et les plots de signalisation) a été nécessaire afin d'assurer la sécurité des équipes de travail, mais également des automobilistes sur les lieux du bris (bien que des comportements inappropriés ont quand même été remarqués). En plus de la location longue durée de ces équipements, du personnel a dû être employé afin de positionner l'ensemble de ce matériel. La manutention des blocs de béton constitue notamment une grande partie des coûts associés à la sécurisation des lieux par la signalisation s'élevant au total à 32 000 \$.

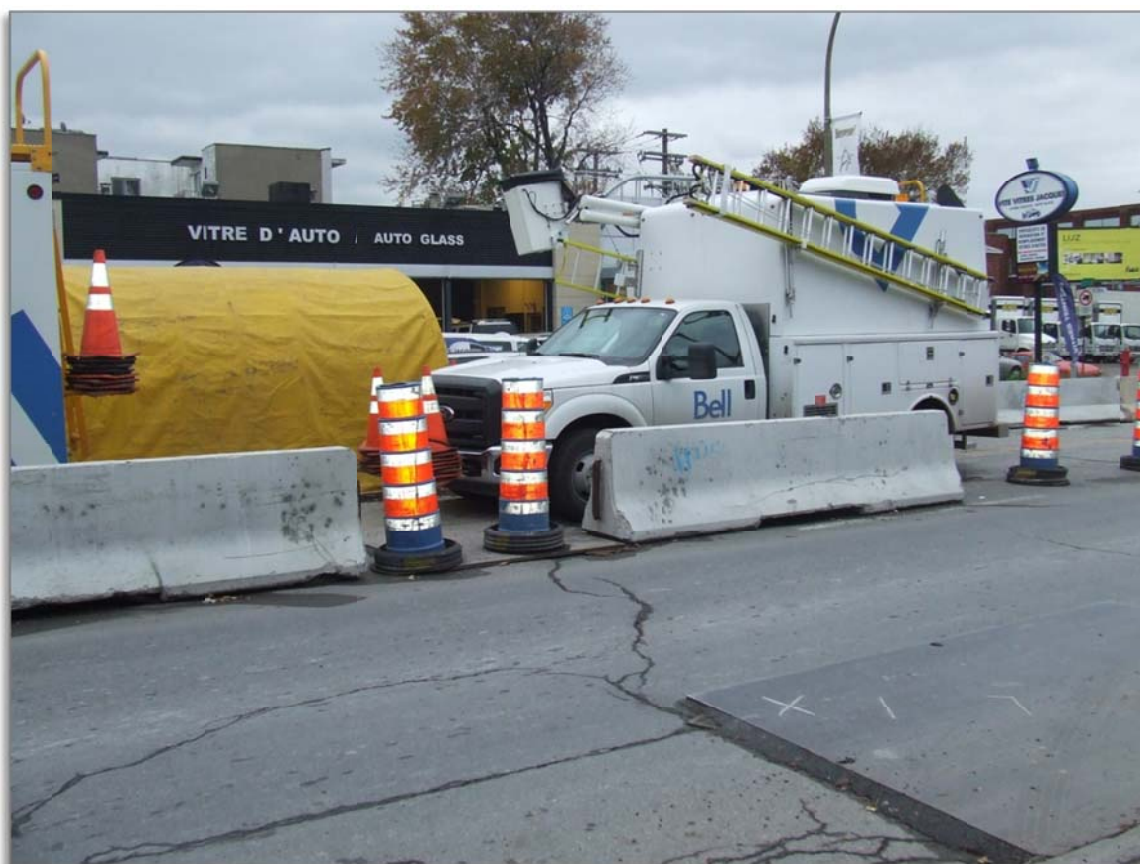


Figure 23 : Exemple de signalisation utilisée pour sécuriser les lieux d'un bris

Ce montant, représentant les deux tiers des coûts directs, est une étape obligée dans le bon déroulement des opérations et continue de faire croître la somme des coûts indirects, déjà très importants en raison de la congestion occasionnée.

2.4.3. IMPACTS ÉCONOMIQUES ET INTERRUPTION DE SERVICE

La congestion ainsi que l'interruption de service de télécommunication pendant une durée de 6h30 ont engendré certains impacts économiques pour les commerçants. Ces impacts sont toutefois difficilement quantifiables. Certains commerçants se sont plaints de voir l'accès à leur succursale difficile voir même impossible. Par exemple, une firme de location de voiture a dû exiger des frais de pénalités à certains de ces clients ayant rapporté la voiture de location en retard. D'autres commerces ont mentionnés des retards de leurs employés pouvant aller jusqu'à 30 minutes. D'autres encore, particulièrement

des enseignes de restauration rapide et de livraison de pizzas ont eu des plaintes de clients pour des retards de livraison. Ces différents aspects, même si nous ne leur avons pas associé un coût monétaire, représentent un réel coût moral important.

2.4.4. PERTURBATION DES RÉSEAUX DE TRANSPORTS COLLECTIFS DE MONTRÉAL

Non seulement un bris a un impact sur la circulation automobile « classique » mais peut également avoir des conséquences sur les réseaux de transports collectifs. Dans notre cas, le bris a eu un impact sur le service de la Société de Transport de Montréal qui a dû supprimer un arrêt sur la ligne de bus 92. Toutefois, aucune plainte de client n’a été faite auprès de la Société de Transport de Montréal.

2.4.5. IMPACT SUR LA RÉPUTATION DE L’ENTREPRISE PROPRIÉTAIRE DE L’INFRASTRUCTURE SOUTERRAINE

Il ne faut pas oublier de prendre en compte les coûts difficilement quantifiables reliés à la perte de réputation de l’entreprise de télécommunication. En effet, lors du bris et des 23 jours qui ont suivi, de nombreux camions de l’entreprise de télécommunication étaient sur les lieux du bris et entravaient la circulation. En interrogeant les automobilistes, piétons et commerçants du quartier, on s’aperçoit très clairement que la faute est rejetée sur l’acteur visible, ici, l’entreprise de télécommunication présente sur les lieux pour la réparation du bris, alors que le bris au départ a été causé par un tiers.

2.4.6. RÉCAPITULATIF DES COÛTS INDIRECTS

À la suite de ces diverses évaluations, nous pouvons estimer les coûts indirects totaux occasionnés par le bris des câbles de télécommunication à 203 574 \$. La répartition de ces coûts indirects est résumée sur le graphique suivant :

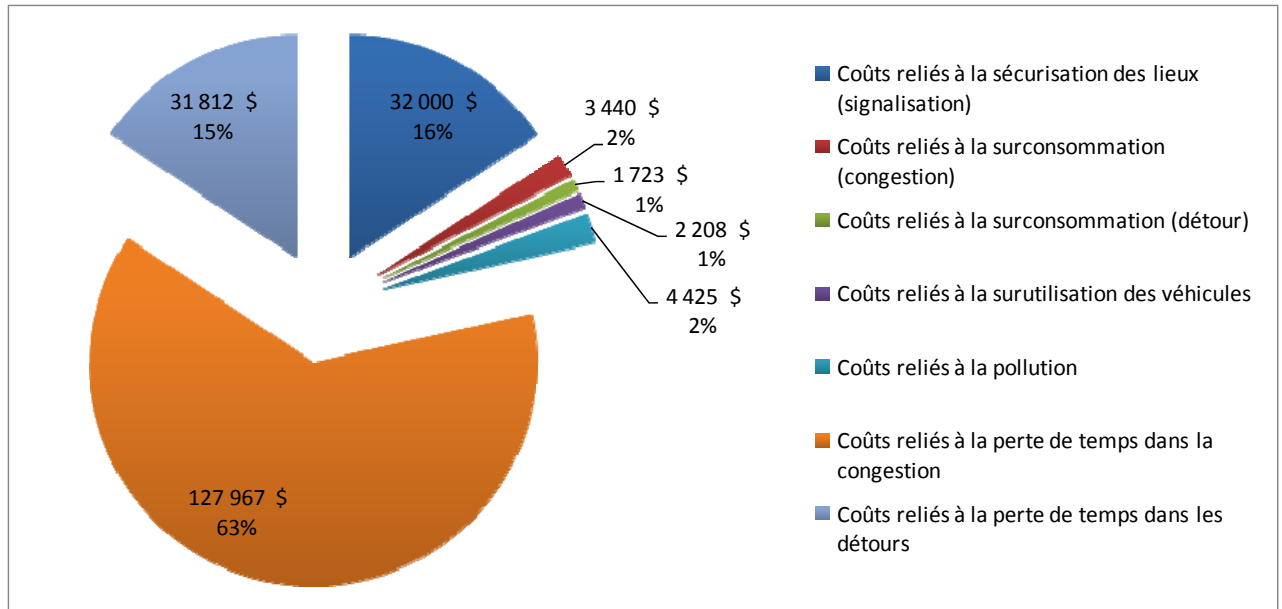


Figure 24 : Répartition des coûts indirects liés au bris

2.5. CONCLUSION

Comme nous avons pu le constater tout au long de l'étude de cas, le montant des différents coûts indirects et leur importance vis-à-vis des coûts directs semblent élevés. Les facteurs de coûts directs sur le graphique ci-dessous sont tous représentés dans des teintes de vert.

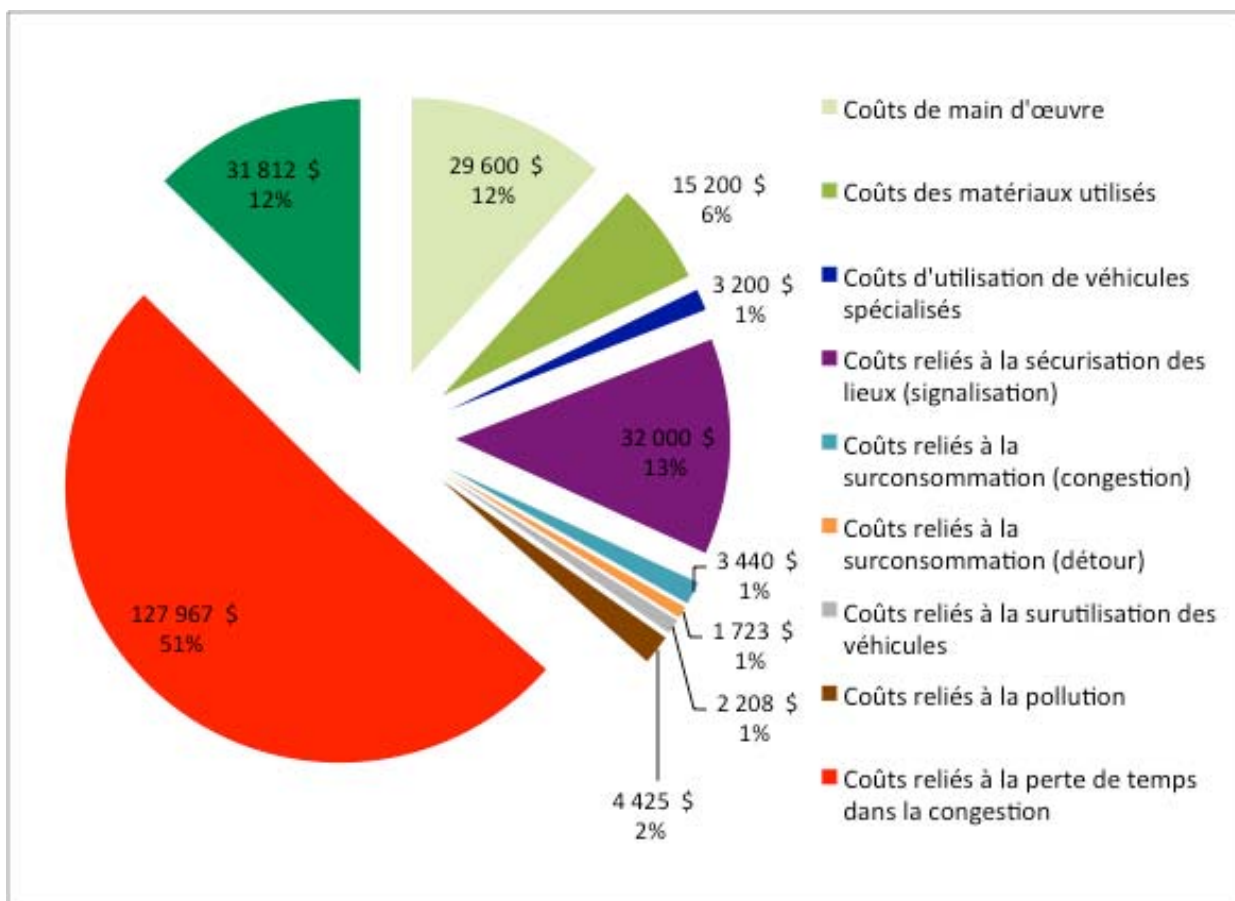


Figure 25 : Répartition des coûts directs et indirects du bris survenu sur la rue Jean Talon

La part la plus importante des coûts totaux est associée à la perte de temps dans la congestion, qui est estimée à plus de 127 900 \$ soit plus de 51 % du coût total final estimé. Finalement les coûts indirects sont estimés à 203 575 \$ sur un montant total estimé pour le bris à 251 575 \$ (voir tableau ci-dessous). La répartition CD/CI pour le bris survenu au croisement Jean-Talon Côte-des-Neiges s'élève à 19%-81%.

Tableau 22 : Rappel des divers coûts liés au bris

Coûts	Montant	Part des coûts totaux
Coûts de main-d'œuvre	29 600 \$	12 %
Coûts des matériaux de remplacement	15 200 \$	6 %
Coûts de l'utilisation des véhicules	3 200 \$	1 %
Total des coûts directs	48 000 \$	19 %
Coûts reliés à la sécurisation des lieux (signalisation)	32 000 \$	13 %
Coûts reliés à la surconsommation (congestion)	3 440 \$	1 %
Coûts reliés à la surconsommation (détour)	1 723 \$	1 %
Coûts reliés à la surutilisation des véhicules	2 208 \$	1 %
Coûts reliés à la pollution	4 425 \$	2 %
Coûts reliés à la perte de temps dans la congestion	127 967 \$	51 %
Coûts reliés à la perte de temps dans les détours	31 812 \$	13 %
Total des coûts indirects	203 575 \$	81 %
Total	251 575 \$	100%

3. BRIS MINEUR D'UNE CANALISATION D'EAU DANS UNE AGGLOMÉRATION DE TAILLE MOYENNE AU QUÉBEC

Le bris suivant que nous avons étudié représente un cas « classique » de bris de canalisation d'eau dans un quartier résidentiel d'une agglomération de taille moyenne.

3.1. LOCALISATION DU BRIS

Situé au croisement d'Auvergne et des Flandres à Gatineau, le bris a eu lieu le vendredi 2 mars 2012. Ce bris n'est pas le premier dans ce secteur résidentiel. Entre 1991 et 2012, ce croisement fut le lieu d'une dizaine de bris de même type.

Tableau 23 : Historique des bris du croisement rue d'Auvergne et rue des Flandres

1991-01-06	1993-05-28	1994-02-28	2003-03-09	2003-03-11
2003-04-27	2003-05-02	2005-04-05	2011-04-11	2012-03-02

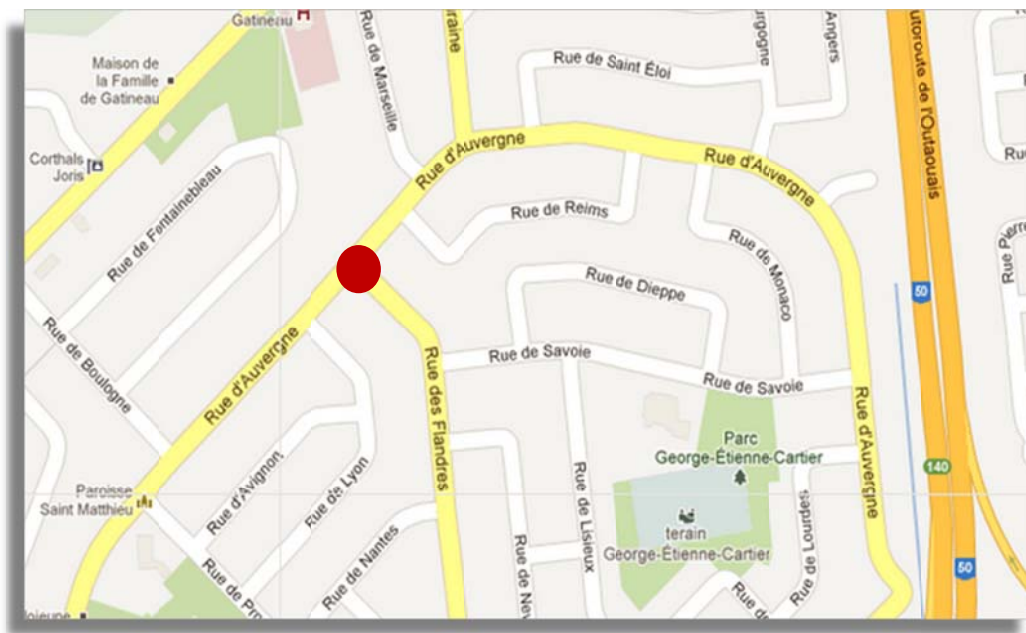


Figure 26 : Localisation du bris

On peut remarquer sur la photo ci-dessous la présence de nombreuses sections d'asphaltes qui correspondent aux travaux de réparation des différents bris survenus durant les dernières années. Il est ainsi plus facile de comprendre les préoccupations de la municipalité de Gatineau quant au problème récurrent de bris d'aqueducs et de canalisations souterraines.



Figure 27 : Carrefour où les bris ont eu lieu

La cause principale de la récurrence des bris est la composition géologique du sol dans cette partie de l'Outaouais donnant lieu à un phénomène accru de corrosion sur les conduites souterraines. La municipalité de Gatineau a connu 243 bris en 2012. Ce chiffre se démarque fortement de celui pour 2011 (187 bris) et marque ainsi une progression de 25%.

Le bris que nous avons étudié a eu lieu sur une conduite d'eau potable de 200mm de diamètre. Ce cas peut être considéré comme typique et récurrent pour la ville de Gatineau. Son analyse est donc importante pour mieux évaluer l'ampleur de la récurrence de bris.

3.2. DÉROULEMENT DU BRIS ET INTERVENTION DES SERVICES SPÉCIALISÉS : COÛTS DE RÉPARATION DES INFRASTRUCTURES TOUCHÉES

Comme lors de tout bris sur un aqueduc d'eau potable, ce sont les services de l'eau de la ville qui sont en charge de la remise en état des infrastructures souterraines touchées. Compte tenu de la localisation du bris, les services d'urgence (police ou pompiers) n'ont pas été sollicités. Le bris a nécessité la remise en état de la canalisation, mais également de la chaussée endommagée pour effectuer les travaux. Les coûts peuvent se répartir selon 2 grandes catégories, exposées dans le tableau suivant :

Tableau 24 : Coûts directs de remise en état des infrastructures touchées

Nature des coûts directs	Montant estimé
Coût de la main-d'œuvre et des équipements	3 841 \$
Coût des matériaux	3 621 \$

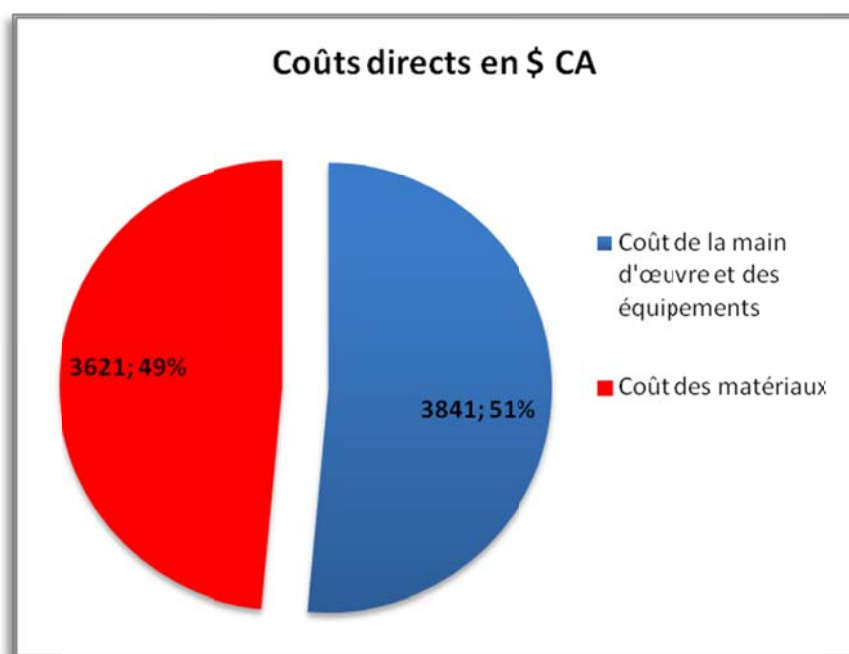


Figure 28 : Répartition des coûts de remise en état des infrastructures touchées

Contrairement à la plupart des cas de bris, la part du coût des matériaux dans le coût de remise en état correspond pratiquement à la moitié, ce qui peut paraître surprenant quand on sait que lors de travaux civils, la majorité des coûts est souvent due à la main-d'œuvre employée et aux coûts d'utilisation des équipements. Cette particularité est en fait due à la saison durant laquelle le bris est survenu. Comme les travaux se sont déroulés en hiver, les matériaux utilisés pour la réparation de la route notamment n'ont pas été les mêmes que si le bris était survenu en été. En effet, afin de permettre une prise plus rapide de la chaussée, le goudron utilisé n'a pas les mêmes propriétés chimiques que celui utilisé par temps chaud. Selon les services d'ingénierie de la ville de Gatineau, les coûts liés aux matériaux pour des travaux se déroulant en hiver sont évalués à environ deux fois plus que lors de travaux qui sont effectués à d'autres saisons.

3.3. LES CONSÉQUENCES DU BRIS ET LES COÛTS INDIRECTS ASSOCIÉS

En raison de la présence d'habitations et d'activités aux alentours de la zone qui a été touchée par le bris de la canalisation d'eau, plusieurs perturbations ont eu lieu.

Pour cette étude de cas, différents facteurs de coûts identifiés dans la littérature vont être pris en compte. Pour certains, une évaluation économique sera présentée alors que pour d'autres, seule une illustration et une discussion autour du concept seront fournies. Les différents facteurs et la façon dont ils sont pris en compte dans l'étude de cas se reflètent dans le tableau ci-dessous. Les lignes grisées représentent un facteur de coûts qui ne s'est pas manifesté dans cette étude de cas.

Tableau 25 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 3

	Facteur de coûts évalué dans l'étude de cas	Facteur de coûts illustrés dans l'étude de cas
Interruption des services	X	
Déploiement des services d'urgence		
Évacuation des résidents		
Risques de blessures ou de décès pour les travailleurs		
Perte de produit	X	
Impacts environnementaux		
Impacts économiques pour les commerces et entreprises		
Retards dans l'exécution des travaux		
Frais administratifs ou légaux		
Atteinte à la réputation de l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine		
Perturbation des sols		
Perturbation de la circulation	X	

3.3.1. DECLARATION D'AVIS D'EBULLITION

Une rupture d'aqueduc contenant de l'eau potable va souvent entraîner la réalisation de tests liés à la qualité de l'eau. Si cela est nécessaire, la municipalité, émet un avis d'ébullition. Cela se décompose en plusieurs phases. Des tests sont menés en laboratoire afin d'évaluer la qualité de l'eau. Ceux-ci visent à détecter la présence ou non de plusieurs bactéries, dont la bactérie coliforme (totale ou fécale), la bactérie *Escherichia coli* ou encore la bactérie entérocoque. Les coûts de laboratoire pour le bris étudié se sont élevés

à 209 dollars (cela comprend le coût du test mais aussi un surcoût de 100 dollars car les tests ont du être menés en fin de semaine)¹⁶.

Cependant, ces tests ne donnent pas de résultats immédiats et un temps d'incubation est nécessaire afin de détecter la présence ou non de ces bactéries. Pendant ce temps, l'eau est jugée comme possiblement impropre à la consommation ce qui justifie la nécessité d'avoir recours à l'ébullition avant de pouvoir la consommer ou l'utiliser sans danger. Il devient donc indispensable d'avertir la population d'une possible menace pour la santé. Cela entraîne automatiquement le lancement d'un plan de communication visant à informer les habitants des risques sanitaires encourus. Ces annonces peuvent se faire de différentes façons : par la presse, par la voix de la radio, etc. Pour la ville de Gatineau, cela se fait par l'intermédiaire du CANU, centre d'appel spécialisé pour la diffusion d'information.

Lors du traitement d'un dossier lié à un avis d'ébullition, un préposé travaille entre 16 et 21 minutes afin de transmettre correctement l'information et les différentes mises en garde. Avec un taux horaire variant de 21,55 à 26,96 \$/h, plus les avantages sociaux (35%), cela correspond ainsi à un coût de 10 dollars par appel.

À ce coût de communication, il faut également ajouter le coût de l'augmentation de la consommation d'énergie, consommation nécessaire dans le but de porter l'eau à ébullition. Toutefois, il est difficile d'estimer le coût que représente cette augmentation de la consommation d'énergie.

¹⁶ Ce coût peut sembler minime, mais si l'on considère les bris sur l'ensemble de l'année 2012, en ne prenant en compte qu'un quart des bris sont suivis d'un avis d'ébullition, et que ces bris surviennent de façon aléatoire (au courant des différents jours d'une semaine) étant donnée la cause naturelle, cela nous donne comme coût un montant de 8 205 dollars, uniquement pour ce qui concerne les coûts liés aux avis d'ébullition.

3.3.2. PERTE D'EAU

Une rupture de canalisation s'accompagne souvent d'une perte importante d'eau potable. Le coût de purification et d'acheminement de l'eau est estimé à 0,40 dollar par mètre cube. Ainsi, après enquête sur le terrain, il s'avère que la fuite a provoqué une perte d'eau potable d'environ 1 590 164 litres, ce qui représente donc un coût de 636 \$.

3.3.3. CONGESTION ET DÉTOURS

Même si le secteur est résidentiel, il est important de prendre en compte la congestion et les retards occasionnés par la survenance du bris. Dans le cas du bris étudié, le secteur a été interdit à l'ensemble de la circulation et l'ensemble du trafic a été détourné via d'autres itinéraires, plus longs. Outre l'augmentation du temps de transport, ces détours ont également occasionné une augmentation des coûts d'entretien des véhicules, une surconsommation de carburant, etc. Pour estimer ces coûts, nous avons estimé l'état du trafic dans un contexte normal. Dans ce secteur, 1 400 véhicules circulent par jour, dont 50 bus citadins. Le détour, en moyenne de 800 m. a occasionné un allongement du trajet d'une minute 30 secondes. Nous prendrons comme hypothèses, en raison des lieux du bris, un salaire annuel moyen estimé à 50 000 dollars par année. En ce qui concerne les taux d'occupation des véhicules, nous avons fait l'hypothèse de 1,25 personne par véhicule pour les automobiles et de 20 personnes par véhicule pour les autobus. Ainsi, considérant une perturbation du trafic de 2 jours, période durant laquelle les travaux ont eu lieu, les coûts attribuables à cet incident sont les suivants :

Tableau 26 : Coûts indirects reliés au trafic automobile

Cause des surcoûts	Montant estimé
Perte de temps	1 774 \$
Surconsommation de carburant	233 \$
Utilisation accrue des véhicules	298 \$
Pollution occasionnée	200 \$
Total	2 505 \$

3.4. COÛTS TOTAUX

Nous pouvons récapituler l'ensemble des coûts engendrés par le bris et les analyser en fonction des différents paramètres et particularités de cette étude de cas. Ainsi, lorsque l'on regarde d'une façon générale les coûts imputables à l'incident du croisement des rues d'Auvergne et des Flandres, nous obtenons la répartition suivante (coûts classés par ordre croissant) :

Tableau 27 : Ensemble des coûts imputables au bris de la canalisation au croisement des rues d'Auvergne et des Flandres

Coûts totaux	Montant estimé
<u>Coûts directs</u>	7 462 \$
Coût des matériaux de remplacement	3 841 \$
Coût de la main-d'œuvre et des équipements	3 621 \$
<u>Coûts indirects</u>	3 360 \$
Coûts dus à la perte d'eau	636 \$
Coûts dus à la perte de temps (détours)	1 774 \$
Coûts dus à la surconsommation (détours)	233 \$
Coûts dus à la surutilisation des véhicules (détours)	298 \$
Coûts dus à la pollution additionnelle (détours)	200 \$

Coûts de laboratoire (avis d'ébullition)	209 \$
Coûts de la campagne d'information (avis d'ébullition)	10 \$
Total	10 822 \$

Comme nous pouvons le remarquer, les coûts les plus importants sont à imputer à la main-d'œuvre et aux équipements utilisés lors des travaux, aux matériaux de remplacement, à la perte d'eau et aux détours. La répartition des coûts liés au bris de canalisation est la suivante :

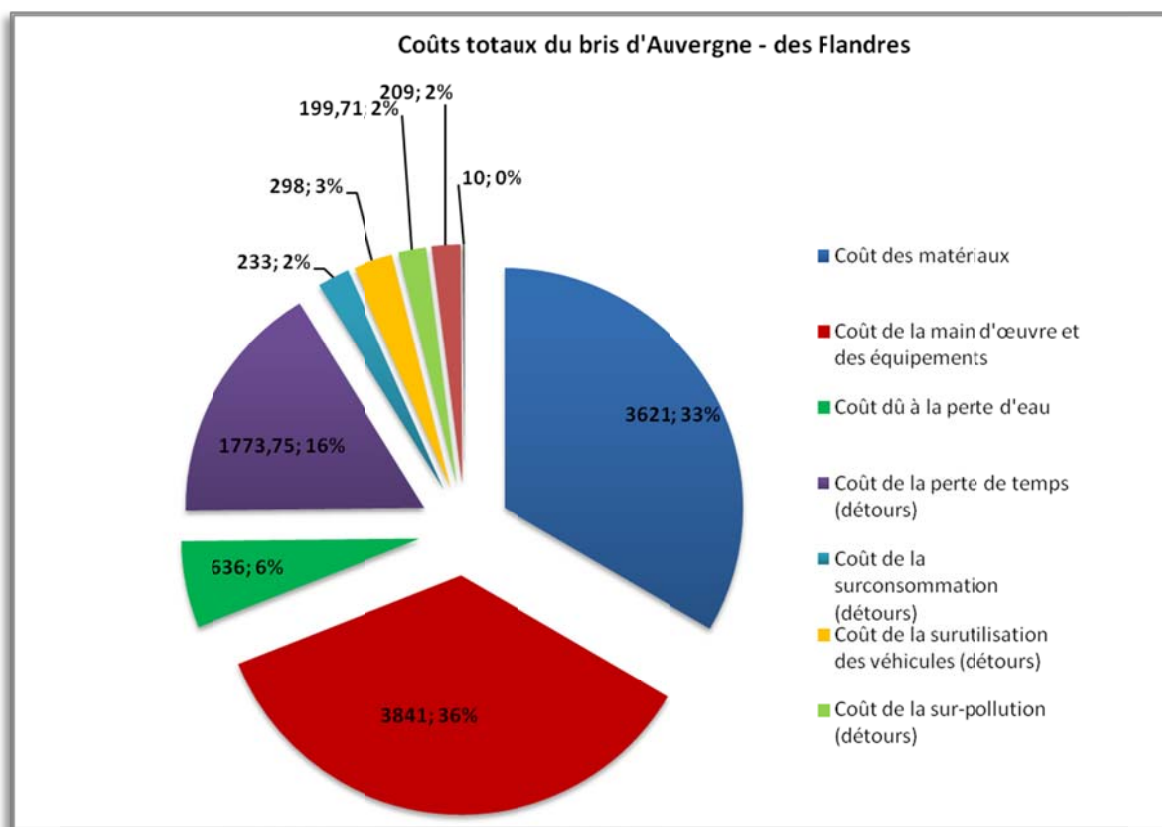


Figure 29 : Répartition de l'ensemble des coûts imputables au bris de canalisation

Comme nous pouvons le remarquer, les coûts directs (coûts de matériaux et coûts de la main d'oeuvre et des équipements) représentent 69 % du coût total. Cela prend en compte le facteur hivernal. Comme cela a été mentionné, les coûts des matériaux

s'avèrent environ deux fois plus chers en hiver, ceux-ci devant répondre à certaines caractéristiques liées au froid. Ainsi, en reprenant les chiffres précédents, mais en diminuant ceux attribués aux matériaux, la répartition coûts directs/coûts indirects se serait portée à 63% / 37% pour le même bris en été. Cela nous permet d'estimer qu'au courant de l'année, l'ensemble de ce genre de bris est constitué d'un ratio coûts directs/coûts indirects d'environ 65%/35% en supposant 4 mois d'hiver rude.

4. BRIS MAJEUR D'UNE CONDUITE D'EAU DANS UNE VILLE QUÉBÉCOISE

Le bris analysé dans cette section est un bris majeur d'une canalisation d'eau du réseau principal d'une ville du Québec survenu sur la rue Albert. La cause la plus probable est attribuée à de la corrosion et à une usure prématurée de l'infrastructure. Ce cas est très intéressant pour de nombreuses raisons. Tout d'abord, l'ampleur de ce bris permet de balayer une grande palette de coûts directs et indirects attribuables à des bris d'infrastructure souterraine. D'autre part, compte tenu de son importance, ce bris a été à l'origine de multiples effets dominos, générant à leur tour des coûts directs et indirects.

4.1. LOCALISATION DU BRIS

L'autoroute Albert est l'un des axes majeurs de circulation d'une agglomération. Elle est empruntée par des centaines de milliers de voitures tous les jours. La rue Albert, qui constitue la voie de service de l'autoroute du même nom, comprend deux voies de circulation. Le bris a eu lieu sur la rue Albert. L'autoroute et la rue Albert représentent des axes majeurs et indispensables à une fluidité de la circulation, tant par leur localisation que par leur rôle au sein du réseau routier.

4.2. DÉROULEMENT DU BRIS ET INTERVENTION DES SERVICES SPECIALISÉS

4.2.1. LES SERVICES DE SÉCURITÉ INCENDIE ET DE POLICE

Le jour du bris, tôt le matin, le Service de sécurité incendie de la ville a reçu un appel pour une fuite d'eau à hauteur de la rue Albert, entre la rue B et la rue C. Après avoir fait état de la situation, le service de sécurité incendie a contacté le service de police de la ville afin de bloquer rapidement les accès et éviter de mettre en danger les citoyens. Étant donné l'importance de la fuite, de nombreux véhicules ont été mobilisés dans le but d'assurer au mieux la sécurité des habitants du quartier. Ainsi, plusieurs véhicules autopompes et véhicules d'élévation ont été dépêchés sur les lieux afin de pouvoir répondre rapidement en cas de besoin. Le bris aurait pu en effet, potentiellement affecter le mur de soutien de l'autoroute Albert qui est située en contrebas de la rue Albert.

4.2.2. LES ÉQUIPES EN CHARGE DE L'EAU DU RESEAU SECONDAIRE

Également sur place dès les premières minutes, les équipes de l'eau en charge de l'entretien et de la réparation du réseau secondaire des aqueducs ont fait état des lieux afin de juger de la gravité du bris. Compte tenu de la gravité du bris qui venait de survenir sur une conduite d'eau principale de la ville, la présence et l'intervention du service en charge du réseau primaire des aqueducs ont été requises. En effet, la conduite touchée était d'un diamètre de 36 pouces et ne pouvait être prise en charge par les services responsables du réseau secondaire.

4.2.3. LES ÉQUIPES EN CHARGE DE L'EAU DU RÉSEAU PRIMAIRE

Une heure après que le bris ait été déclaré, les équipes de la ville en charge de l'eau du réseau primaire sont arrivées sur les lieux. Après une analyse rapide de la situation, les équipes de la ville se sont aperçues qu'en plus des flots en surface provoqués par le bris de la conduite, la chaussée avait été soulevée sur plusieurs dizaines de mètres (entre 120 et 150 mètres), ce qui signifiait des dégâts considérables en sous-sol. Les équipes

d'intervention ont donc tout d'abord fermé totalement les conduites d'alimentation situées en amont du bris afin de stopper le déversement des eaux sur la rue Albert. Dix heures après le bris, l'eau ne s'écoulait plus sur cette partie de route, fermée à la circulation depuis le début de la matinée.

Les travaux sur la rue restaient toutefois considérables. Le travail a duré une partie de la nuit afin de permettre une remise en état de presque 200 mètres de chaussée le plus rapidement possible.

4.3. LES CONSÉQUENCES DU BRIS

L'intérêt de l'étude de ce bris réside dans la diversité de ses conséquences et surtout dans l'illustration du concept des effets dominos. On constate effectivement les conséquences relativement classiques d'un bris d'infrastructure souterraine, notamment les inondations, la congestion, les retards des transports en commun, les pertes de chiffre d'affaires, les biens perdus, etc. D'autres bris ont néanmoins eu lieu suite au bris initial de la conduite d'eau primaire. En effet, la fermeture de la conduite principale a occasionné des augmentations de pression dans le quartier limitrophe qui, en raison de la vétusté et de la fragilité des canalisations, ont entraîné d'autres bris mineurs sur les conduites secondaires. 19 bris ont été recensés.

Dans cette étude de cas, il est donc important de considérer à la fois les coûts indirects du bris initial mais également tous les coûts des effets dominos, c'est à dire, tous les coûts reliés aux bris qui ont découlé du premier. Même si chacun des bris induits par le bris majeur ne représente individuellement qu'une faible partie du coût total, lorsque l'on prend en compte les 19 bris, la part des coûts est plus importante.

Ainsi trois grandes catégories de coûts vont être étudiées dans les sections qui suivent :

- 1) les coûts directs du bris initial majeur de la rue Albert ;
- 2) les coûts indirects du bris initial majeur de la rue Albert ;
- 3) les coûts totaux (directs et indirects) des 19 bris engendrés par la surpression dans le réseau suite au bris initial majeur de la rue Albert combinée à l'état vétuste des conduites.

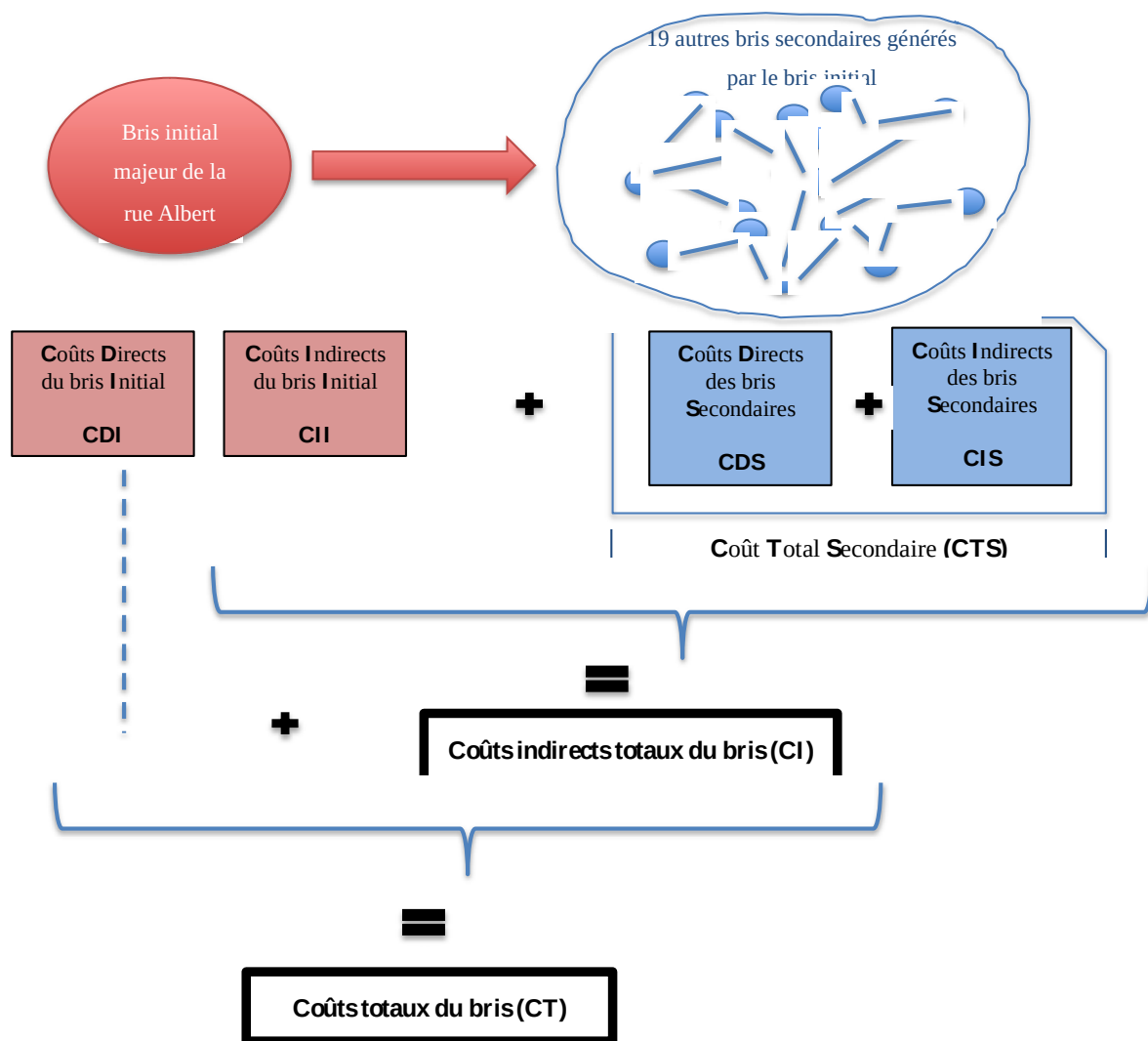


Figure 30 : Représentation des coûts totaux du bris de canalisation survenu sur la rue Albert

4.4. ÉVALUATION DES COUTS DIRECTS ENGENDRÉS PAR UN BRIS MAJEUR (CDI)

Bien que ce bris ne soit pas le résultat de travaux d'excavation réalisés par un tiers, nous pouvons tout de même analyser ce bris en suivant la même méthodologie que celle utilisée précédemment et rendre compte ainsi du rapport existant entre les coûts directs et les coûts indirects pour un évènement majeur.

4.4.1. LES ÉQUIPES DE LA VILLE EN CHARGE DE L'EAU DU RÉSEAU SECONDAIRE

Comme évoqué précédemment, les équipes de la ville en charge de l'eau du réseau d'aqueducs secondaire ont été les premières à être dépêchées sur les lieux. En arrivant sur les lieux du bris, les équipes d'intervention ont mesuré la gravité du bris et estimé qu'un tel flux ne pouvait pas être provoqué par une conduite de moins de 16 pouces, diamètre maximal du réseau dont elles ont la responsabilité. Après avoir sécurisé le périmètre, les équipes d'intervention ont contacté les équipes en charge de l'eau du réseau primaire afin que celles-ci puissent procéder à la fermeture des vannes en amont puis aux réparations nécessaires. Elles ont également débuté la remise en état des installations. Comme pour toute intervention des services de la ville, les coûts se sont répartis à travers deux grandes catégories : le coût de la main-d'œuvre employée pour la remise en état des installations (auquel il faut y ajouter le taux horaire d'utilisation des équipements tels que les véhicules de transport ou de réparation) et les matériaux utilisés.

Tableau 28 : Coûts estimés de remise en état assuré par les équipes en charge du réseau secondaire

Coûts	Montant
Coût de la main d'œuvre et des équipements utilisés	10 183 \$
Coût des matériaux	7 930 \$
Total estimé des coûts de remise en état	18 113 \$

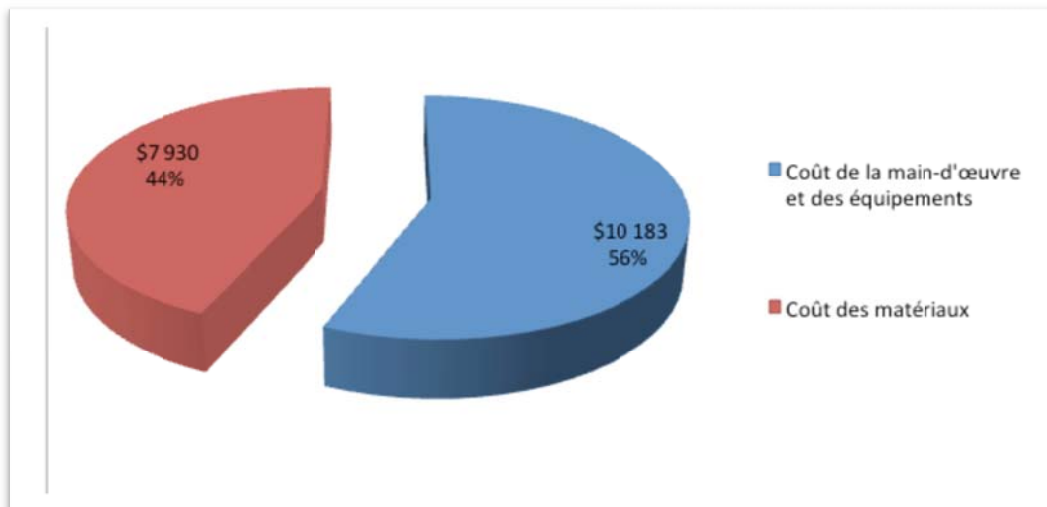


Figure 31 : Répartition des coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau secondaire

4.4.2. INTERVENTION DES ÉQUIPES DE LA VILLE EN CHARGE DE L'EAU DU RÉSEAU D'AQUEDUC PRIMAIRE

Le bris ayant touché une conduite de 36 pouces, ce sont les équipes en charge de l'eau du réseau primaire qui ont poursuivi les travaux de réparation. La fermeture des vannes a eu lieu dans le courant de la matinée. Cependant, la quantité d'eau échappée étant très importante, la situation ne fut stabilisée qu'en début de soirée. Entre-temps, les équipes de la ville ont mis en place un plan d'intervention et de détournement du trafic afin de réguler au mieux la circulation avoisinante.

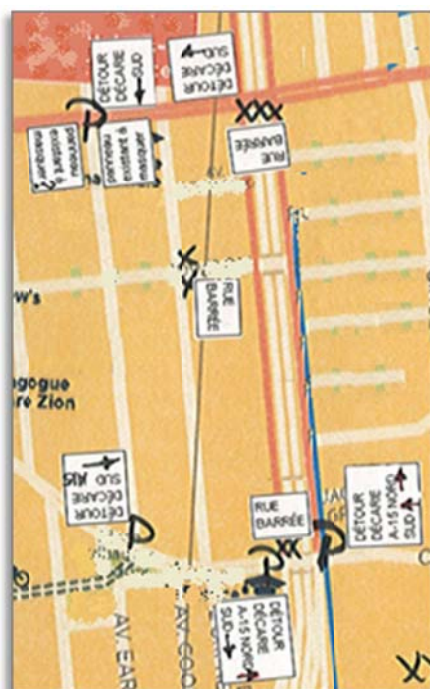


**Figure 32 : Plan d'intervention des équipes en charge
du réseau primaire**

Durant plus d'une semaine, des travaux ont été entrepris sur la rue Albert afin de remettre le plus rapidement possible les installations en état et permettre au quartier touché de reprendre ses activités. Le bris a nécessité le remplacement de toute une section de canalisation. La conception d'une canalisation est telle que l'assemblage général se fait grâce à un assemblage de type mâle-femelle. Il a donc fallu retirer deux parties afin de pouvoir remettre en état l'ensemble de la section considérée. En outre, la remise en fonctionnement du réseau a entraîné la rupture d'un joint de pression annexe, gonflant ainsi les coûts liés au bris.

Tableau 29 : Coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau primaire

Coût	Montant
Coût de la main-d'œuvre et des équipements	128 553 \$
Coût des matériaux	74 131 \$
Total estimé des coûts de remise en état	202 684 \$

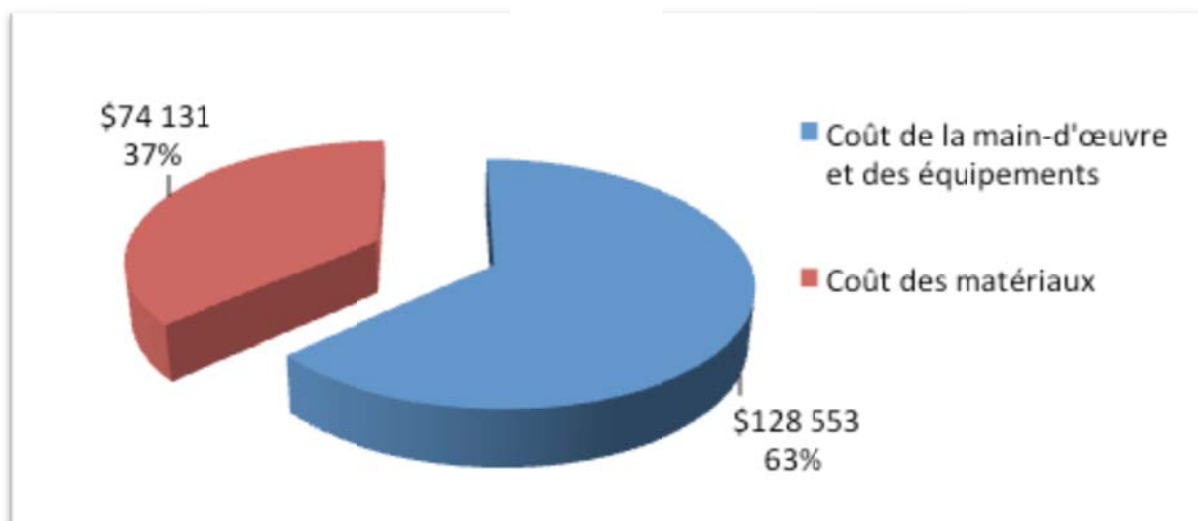


Figure 33 : Répartition des coûts de remise en état assurée par les équipes en charge du réseau primaire

En additionnant les coûts supportés par les différents services de l'eau, on s'aperçoit que les coûts estimés totaux s'avèrent très élevés.

Tableau 30 : Ensemble des coûts de remise en état par les équipes en charge de l'eau

Coût	Montant
Coût de la main d'œuvre et des équipements	138 736 \$
Coût des matériaux	82 061 \$
Total estimé des coûts de remise en état (CDI)	220 797 \$

4.5. ÉVALUATION DES COÛTS INDIRECTS RELIÉS AU BRIS MAJEUR DE LA CANALISATION PRINCIPALE (CII)

Pour cette étude de cas, différents facteurs de coûts identifiés dans la littérature vont être pris en compte. Pour certains, une évaluation économique sera présentée alors que pour d'autres, seule une illustration et une discussion autour du concept seront fournies. Les différents facteurs et la façon dont ils sont pris en compte dans l'étude de cas se reflètent

dans le tableau ci-dessous. Les lignes grisées représentent un facteur de coûts qui ne s'est pas manifesté dans cette étude de cas.

Tableau 31 : Facteurs de coûts évalués et illustrés dans l'étude de cas 4

	Facteur de coûts évalué dans l'étude de cas	Facteur de coûts illustrés dans l'étude de cas
Interruption des services	X	
Déploiement des services d'urgence	X	
Évacuation des résidents		X
Risques de blessures ou de décès pour les travailleurs		
Perte de produit		X
Impacts environnementaux		
Impacts économiques pour les commerces et entreprises	X	
Retards dans l'exécution des travaux		
Frais administratifs ou légaux	X	
Atteinte à la réputation de l'entreprise propriétaire de l'infrastructure souterraine		
Perturbation des sols	X	
Perturbation de la circulation	X	

Une intervention d'une telle envergure a nécessité la présence d'autres services que les équipes en charge de l'eau. En effet, les torrents qui se sont déversés sur la rue Albert au moment du bris, ont mis en danger la sécurité des résidents, ce qui a immédiatement entraîné le déploiement du Service de sécurité incendie et du Service de police de la ville.

4.5.1. COÛTS RELIÉS À L'INTERVENTION DES SERVICES D'URGENCE

Le matin du bris, 11 camions d'intervention et 3 véhicules de supervision du service de sécurité incendie ont été dépêchés sur les lieux. Les véhicules autopompes ou les véhicules d'élévation, sont communément utilisés lors de fortes inondations afin d'apporter les premiers secours aux citoyens sur place. Il est important de noter le changement des équipes alors que l'équipe du matin a remplacé l'équipe de nuit. Une telle rotation entraîne la plupart du temps des coûts supplémentaires reliés au temps de déplacement.

Le Service de sécurité incendie fut assisté par le Service de police de la ville afin de réguler la circulation automobile et l'accès aux piétons aux abords du bris. Ainsi, ce n'est pas moins de 55 policiers qui ont été sollicités lors de ce bris.

En faisant le bilan de la mobilisation humaine liée à cet événement, on se rend très rapidement compte de l'ampleur de ce dernier, qu'il s'agisse du nombre de personnes réquisitionnées ou du nombre d'heures travaillées.

Tableau 32 : Mobilisation humaine des services d'urgence

Services	Personnel sollicité	Nombre d'heures travaillées
Service de sécurité incendie	37	110
Service de police	55	160

En combinant les coûts du personnel d'urgence et les coûts d'utilisation et d'immobilisation des véhicules, on obtient une évaluation des coûts totaux pour l'intervention des services d'urgence de près de 30 000\$.

Tableau 33 : Montants de l'intervention des services d'urgence

Coûts	Montant
Coûts pour le service de sécurité incendie	19 923 \$
Coûts pour le service de police	9 940 \$
Total des coûts estimés pour l'intervention des services d'urgence	29 863 \$

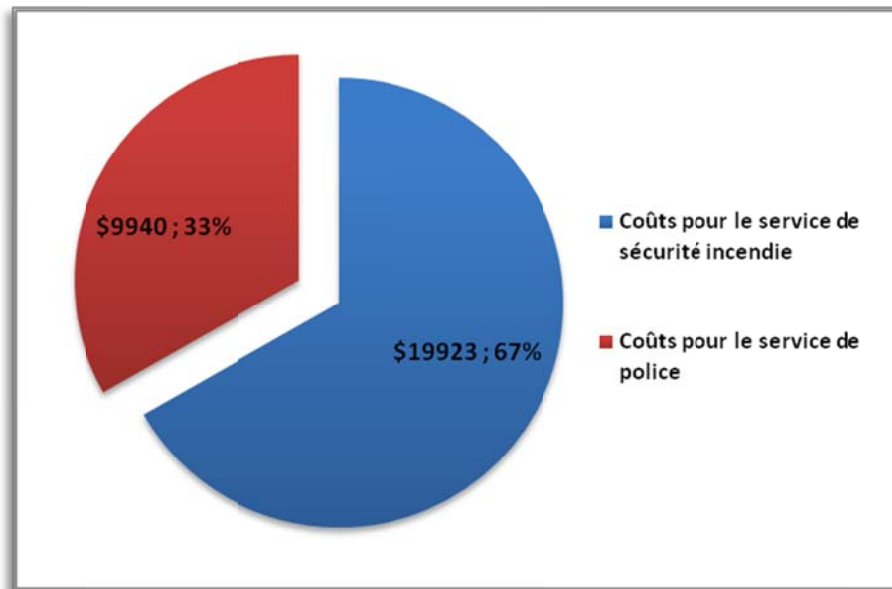


Figure 34 : Répartition des montants des interventions des services d'urgence

4.5.2. COÛTS DES RÉCLAMATIONS POUR LES DOMMAGES

Dans le quartier touché par le bris, on dénombre de nombreux appartements ou commerces en demi-sous-sol. Lors de fortes inondations, comme cela a été le cas suite au bris sur la rue Albert, les préjudices pour les habitants ou commerçants du secteur peuvent être considérables. Il peut s'agir de dommages aux infrastructures (mur, infiltration d'eau, etc.), aux biens (voitures, meubles, appareils électroniques, etc.) ou encore de pertes en termes de denrées alimentaires (nourriture perdue, etc.). Dans le cas du bris sur la rue Albert, 37 réclamations ont été ainsi déposées auprès du service des

réclamations de la ville afin de couvrir le coût des dommages. 29 d'entre elles ont été jugées recevables.

Lorsque l'on évalue les coûts des réclamations, il est important de prendre en compte à la fois le montant des allocations données aux plaignants mais aussi les coûts administratifs de traitement des dossiers.

Tableau 34 : Montant et répartition des coûts des réclamations liés au bris de la canalisation principale

Nombre de réclamations	37
Montant total du traitement des dossiers	886 681 \$
Part des coûts de traitement de dossier	8 %
Part des coûts de remboursement	92 %

La somme totale atteignant pratiquement la somme de 900 000 \$ est un montant considérable pour la ville et représente plus de 4 fois les coûts directs liés au bris évalués à 220 800\$.

4.5.3. COÛTS RELIÉS AU DÉTOUR DU TRAFIC AUTOMOBILE

Bien que ce ne soit pas l'autoroute Albert mais la voie de service qui ait été touchée, cela représente tout de même un flux de circulation très important, surtout pendant les heures de pointe. Comme indiqué précédemment, un détournement a été mis en place. Un détournement peut entraîner des pertes de temps pour les automobilistes, une augmentation de la consommation d'essence ainsi qu'une augmentation des émissions de gaz et particules polluantes.

Examinons de plus près le détour préconisé dans le plan d'urgence déployé lors du bris de conduite sur la rue Albert et ses coûts associés.

Considérons tout d'abord les coûts reliés à la perte de temps. En se basant sur les données de Google Maps, un détour par la rue D allonge la durée de parcours de 2 minutes. Afin d'évaluer les coûts engendrés par le détour, nous avons utilisé les hypothèses suivantes :

un salaire moyen au Québec de 21,57 dollars par heure, estimé après une dépréciation liée aux impôts à 15,25 dollars par heure et une durée des travaux de 2 semaines. En ne prenant en compte que les heures de pointe (correspondant à un probable temps de travail), nous pouvons calculer un coût relié à la perte de temps en fonction du trafic sur cette section de route. Le temps hors heure de pointe n'étant pas significatif, il n'est pas pris en compte dans l'évaluation des coûts de congestion.

En plus des coûts reliés à la perte de temps, il est important de noter que ce détour en allongeant le parcours de 500 mètres, engendre d'autres coûts. En effet, il représente une source de surconsommation d'essence et donc de pollution (gaz à effet de serre et particules mobiles) ainsi qu'une source de sur-utilisation des véhicules (donc d'usure prématurée). Un détour de 500m peut paraître minime, mais en considérant un trafic journalier de plus de 16 800 véhicules aux heures de pointe, ce détour ne peut être omis. En reprenant l'ensemble des hypothèses de l'étude, nous avons pu obtenir les résultats suivants (en se basant sur les formules de calcul présentées dans le chapitre 3) :

Tableau 35 : Montants des coûts affectant le trafic automobile

Coûts dus au détournement du trafic routier	Montant
Coût de la perte de temps	85 771 \$
Coût de la surconsommation	8 774 \$
Coût de la pollution additionnelle	7 521 \$
Coût de la sur-utilisation des véhicules	11 241 \$
Coût total	113 307 \$

Ainsi, l'augmentation du temps de parcours due au détour mis en place représente des coûts estimés à 113 307 \$. Ces coûts indirects s'élèvent à plus de 50% des coûts directs.

4.5.4. COÛTS RELIÉS À LA COUPURE D'ÉLECTRICITÉ

Comme cela est fréquent lors d'inondations de grande ampleur, le service électrique a été interrompu, et ce pendant 1h41. D'après les informations d'Hydro Québec, environ 914 clients (882 particuliers et 32 professionnels) ont été privés d'électricité.

Nous avons appliqué la méthodologie, présentée précédemment, qui permet d'évaluer les coûts reliés aux interruptions de service électrique en fonction du nombre et du type de clients touchés. Les coûts estimés pour la coupure électrique s'élèvent ainsi à 67 129 dollars. Cela représente approximativement 30% des coûts directs du bris.

4.5.5. RÉCAPITULATIF DE L'ENSEMBLE DES COÛTS LIÉS AU BRIS DE LA CANALISATION PRINCIPALE

L'ensemble des éléments que nous venons de décrire nous permet d'établir un premier bilan concernant les facteurs de coûts directs et indirects reliés au bris de la conduite principale sur la rue Albert. Le tableau suivant synthétise l'information.

Tableau 36 : Récapitulatif de l'ensemble des coûts liés au bris de la canalisation principale

Coûts	Montant
Coût pour le service de l'eau en charge du réseau primaire	202 684 \$
Coût pour le service de l'eau en charge du réseau secondaire	18 113 \$
Coûts directs (CDI)	220 797 \$
Coûts pour les services d'urgence	29 863 \$
Coûts dus aux modifications du trafic routier	113 307 \$
Coût du à la coupure du service électrique	67 129 \$
Coût du aux réclamations suite à l'évènement survenu sur la rue A	886 681 \$
Coûts indirects (CII)	1 096 980 \$
Coûts totaux reliés au bris de la conduite principale (CTI)	1 317 777 \$

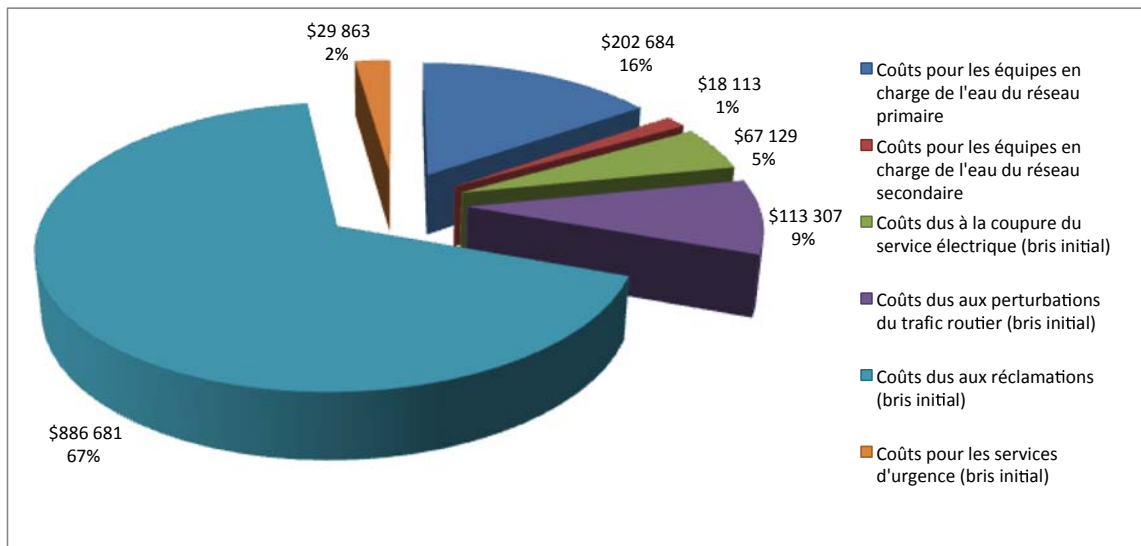


Figure 35 : Répartition de l'ensemble des coûts liés au bris de la canalisation principale

Nous remarquons aisément que les coûts directs pour un bris majeur tel que celui qui a eu lieu sur la rue Albert ne représentent que 17% des coûts totaux (soit une somme de 220 797\$ pour un coût total estimé à 1 317 777 \$) alors que les coûts indirects représentent 83%.

Nous observons ainsi que pour un événement majeur, la proportion coûts directs/coûts indirects se situe au-delà de l'estimation 20/80 avancée lors de la revue de littérature.

En outre, il est important de ne pas oublier, dans ce cas particulier, les coûts reliés aux autres bris, engendrés par le bris principal. En effet, les coûts de ces effets dominos viennent s'ajouter aux 1096980\$ de coûts indirects cités précédemment.

4.6. ÉVALUATION DES COÛTS RELIÉS AUX EFFETS DOMINOS ENGENDRÉS PAR LE BRIS DE LA CANALISATION PRINCIPALE (CDS ET CIS)

Rappelons que 19 bris ont eu lieu en raison des suppressions créées sur le réseau secondaire au cours des 10 jours suivants le bris de la conduite principale de même qu'en raison de l'état vétuste et fragile des conduites. Comme pour le bris survenu sur la rue

Albert, de nombreux services ont été sollicités tant au niveau des interventions d'urgence sur les lieux des différents sinistres que pour de la remise en état des infrastructures touchées.

4.6.1. LES INTERVENTIONS DES ÉQUIPES DE LA VILLE EN CHARGE DU RÉSEAU SECONDAIRE

Comme nous avons pu le constater dans la première partie de l'étude de cas, les équipes en charge de l'eau du réseau secondaire ont été sollicitées pour remettre en état les 19 canalisations touchées par ces bris. Contrairement au bris principal, aucune équipe responsable du réseau primaire n'a été sollicitée.

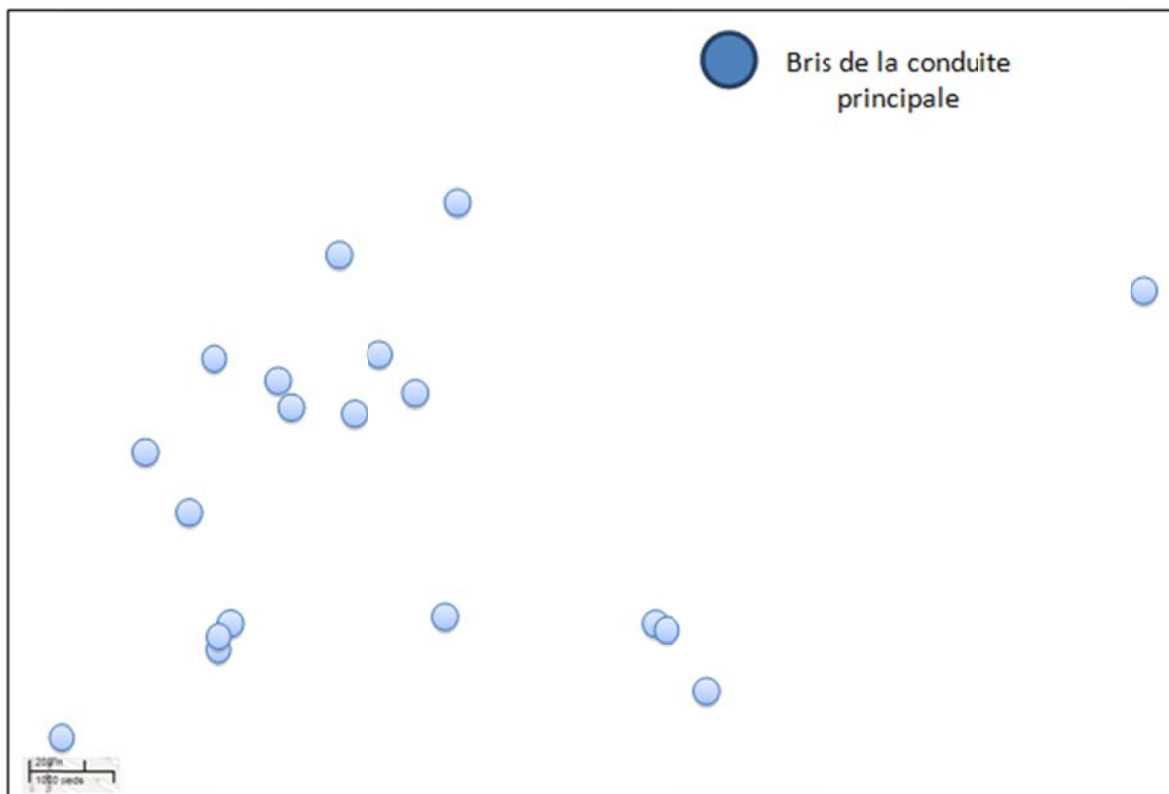


Figure 36 : Localisation des bris qui ont suivi l'accident survenu sur la rue Albert

Le tableau ci-dessous récapitule les coûts associés à chacun des bris engendrés par le bris principal. Il fait état d'une part des coûts reliés à la main-d'œuvre et aux équipements et d'autre part des coûts des matériaux.

Tableau 37 : Ensemble des coûts reliés à l'intervention des équipes en charge de l'eau pour la réparation des bris d'aqueduc du réseau secondaire dus aux surpressions causées par le bris principal de la rue Albert combiné à l'état vétuste des conduites.

Localisation	Coûts de la main d'œuvre et des équipements	Coûts des matériaux	Total
Localisation 1	5 896 \$	2 072 \$	7 968 \$
Localisation 2	7 301 \$	3 830 \$	11 131 \$
Localisation 3	6 014 \$	1 873 \$	7 887 \$
Localisation 4	4 257 \$	1 292 \$	5 549 \$
Localisation 5	2 648 \$	1 242 \$	3 890 \$
Localisation 6	4 327 \$	1 430 \$	5 757 \$
Localisation 7	7 597 \$	4 852 \$	12 449 \$
Localisation 8	5 003 \$	2 986 \$	7 989 \$
Localisation 9	4 527 \$	2 633 \$	7 160 \$
Localisation 10	10 468 \$	2 444 \$	12 912 \$
Localisation 11	11 888 \$	4 117 \$	16 005 \$
Localisation 12	8 427 \$	1 610 \$	10 037 \$
Localisation 13	8 253 \$	3 826 \$	12 079 \$
Localisation 14	7 400 \$	1 288 \$	8 688 \$
Localisation 15	12 340 \$	5 264 \$	17 604 \$
Localisation 16	5 593 \$	1 279 \$	6 872 \$
Localisation 17	5 075 \$	4 141 \$	9 216 \$
Localisation 18	11 174 \$	6 916 \$	18 090 \$
Localisation 19	6 194 \$	2 902 \$	14 727 \$
Total	140 015 \$	55 997 \$	196 012 \$

Globalement, on remarque que la répartition des coûts pour la réparation des 19 bris suit sensiblement la même que celle du bris principal, en terme de coûts liés à la main-d'œuvre et aux équipements et coûts liés aux matériaux.

Tableau 38 : Coûts reliés à l'intervention des équipes en charge de l'eau du réseau secondaire de la ville pour la réparation de l'ensemble des bris dus aux suppressions causés par le bris principal de la rue Albert combiné à l'état vétuste des conduites

	Montant	Part des coûts totaux de réparation
Coûts de la main d'œuvre et des équipements	140 015 \$	71%
Coûts des matériaux	55 997 \$	29%
Coûts totaux estimés de remise en état des 19 bris par les services de l'eau de la ville (CDS)	196 012 \$	100%

Nous pouvons ici remarquer un fait très intéressant. Au-delà de l'ampleur des coûts reliés à la réfection des 19 conduites du réseau secondaire, qui s'élèvent à 196 012 \$, on remarque également que ce coût direct total est pratiquement le même que celui déboursé pour la remise en état de la canalisation principale de la rue Albert (220 797 \$) par les équipes en charge de l'eau de la ville.

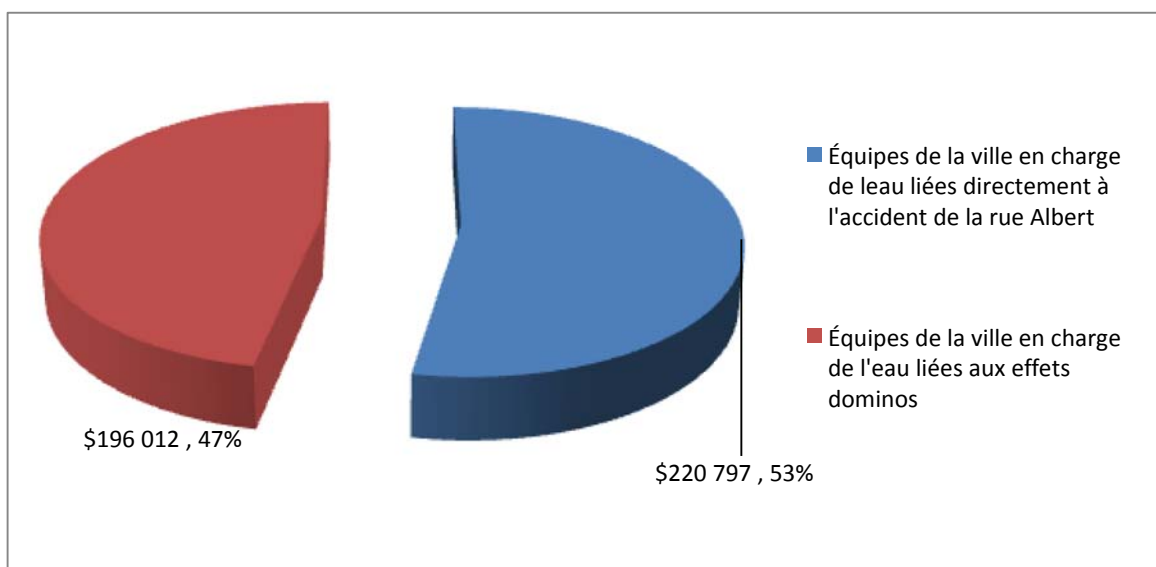


Figure 37 : Répartition des coûts des équipes de la ville en charge de l'eau entre le bris principal et les bris dus aux effets dominos

Les coûts des équipes de la ville en charge de l'eau sont sensiblement aussi élevés pour la rue Albert (53%) que pour les autres rues, correspondant aux effets dominos (47%).

4.6.2. LES INTERVENTIONS DES ÉQUIPES DU SERVICE DE SÉCURITÉ INCENDIE DE LA VILLE

Même si les 19 bris sont considérés comme mineurs, il n'en reste pas moins que certains ont nécessité une intervention des services d'urgence. Nous avons des données concernant les sorties du service de sécurité incendie, mais il nous a toutefois été impossible d'obtenir des informations concernant d'éventuelles interventions du service de police de la ville.

Sur les 19 bris, 5 ont requis une intervention des services de sécurité incendie. Les interventions ont provoqué le déplacement de plusieurs équipes pour parfois seulement quelques minutes. Un seul déplacement a nécessité une intervention avec 9 camions au total (il s'agit du bris situé à la localisation 7). Au total, cela représente pratiquement 77 heures de travail cumulées pour des coûts estimés à 17 057\$.

Tableau 39 : Coût des interventions du service de sécurité incendie

Nombre d'heures travaillées	76 h 52 min
Coût total pour le service de sécurité incendie	17 057 \$

4.6.3. COÛTS DES RECLAMATIONS POUR LES DOMMAGES LIÉS AUX BRIS DES EFFETS DOMINOS

Comme cela a été le cas pour le bris survenu sur la rue Albert, des réclamations ont été déposées par les citoyens victimes de ces divers bris. Bien que le nombre de bris engendrés par les effets dominos soit important, le nombre de réclamations est resté relativement faible, les dommages étant moindres.

La ville n'a effectivement reçu que 10 réclamations, celles-ci étant relatives à 5 bris. Allant de quelques centaines de dollars à plusieurs dizaines de milliers de dollars, le coût estimé pour ces 10 réclamations s'est élevé à 142 931 \$.

4.6.4. COÛTS DIVERS

L'ensemble des nuisances pour la population répertoriées pour le bris principal, s'applique également sur l'ensemble des bris survenus sur le réseau secondaire. Certaines nuances peuvent toutefois être apportées concernant l'ampleur des nuisances qui dépend bien entendu de la durée et de la localisation des bris. En effet, l'impact d'un bris sur un réseau secondaire est généralement proportionnellement plus faible qu'un bris qui survient sur une conduite principale. Ces nuisances sont toutefois à prendre en compte.

4.6.5. BILAN DES COÛTS RELIÉS AUX EFFETS DOMINOS

L'ensemble des coûts reliés aux 19 bris engendrés par les effets dominos du bris principal représente en réalité des coûts indirects reliés à ce bris initial. S'élevant à près de 356 000

\$ au total, les coûts reliés aux effets dominos viennent donc gonfler le montant des coûts indirects reliés au bris initial de la rue Albert.

Tableau 40 : Coûts reliés aux 19 bris engendrés par les effets dominos du bris principal

Coûts des effets dominos	Montant	Part dans le coût total des effets dominos
Coûts directs secondaires (CDS)		
Coûts pour le service de l'eau	196 012 \$	55%
Coûts indirects secondaires (CIS)		
Coûts des réclamations	142 931 \$	40%
Coûts pour le service de sécurité incendie	17 057 \$	5%
Coûts totaux estimés des effets dominos (CTS)	356 000 \$	100%

La répartition des coûts directs des effets dominos (excluant le coût des services de la Police) est toutefois quelque peu différente de celle des coûts directs du bris initial. En effet, les coûts reliés à la réfection de la conduite correspondent à 55% des coûts totaux pour les 19 bris confondus (CTS), alors qu'ils représentent seulement 17% des coûts totaux du bris initial (CTI). À l'inverse, les coûts reliés aux réclamations ne représentent que 40% des coûts totaux des 19 bris, alors qu'ils représentent 67% des coûts totaux du bris initial.

4.7. BILAN GÉNÉRAL

Cette étude de cas illustre la complexité de l'évaluation des coûts d'un bris majeur. En effet, au-delà des coûts qui sont associés au bris principal, nous avons pu remarquer que d'autres événements, directement reliés, avaient eux aussi contribué au coût total. En regardant précisément la part qu'occupent les coûts dus aux effets dominos (CTS), on

remarque que ceux-ci représentent 21% du coût total et qu'ils représentent plus d'une fois et demi les coûts directs associés au bris initial (CDI).

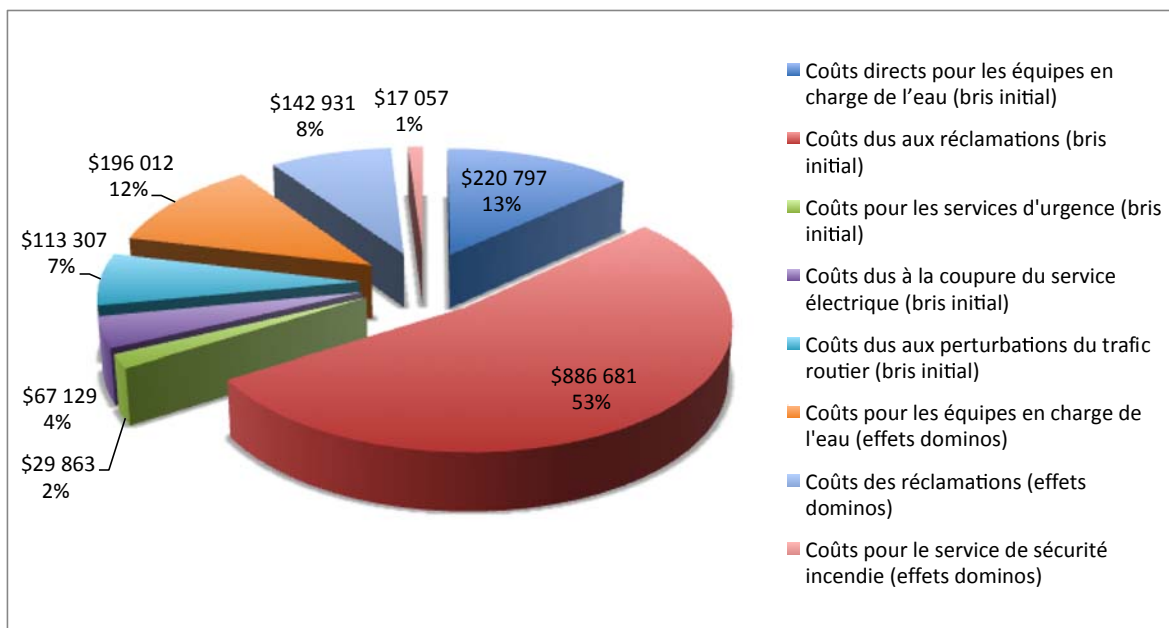


Figure 38 : Répartition de l'ensemble des coûts liés au bris survenu sur la rue Albert et ceux reliés aux effets dominos

Tableau 41 : Part des différents coûts dans les coûts totaux

Coûts	Montant	Proportion des coûts totaux du bris initial (CTI) ou des bris secondaires	Proportion des coûts totaux du bris (CT)
Coûts totaux liés au bris initial survenu sur la rue Albert (CTI)	1 317 777 \$		79 %
<i>Coûts directs bris initial (CDI)</i>	220 797 \$	17%	13 %
<i>Coûts indirects bris initial (CII)</i>	1 096 980 \$	83%	66 %
Coûts totaux liés aux bris secondaires (CTS)	356 000 \$		21 %
<i>Coûts directs liés aux bris secondaires (CDS)</i>	196 012 \$	55%	12%
<i>Coûts indirects liés aux bris secondaires (CIS)</i>	159 988 \$	45%	9%
COÛT TOTAL DU BRIS (CT)	1 673 777 \$		100%

Dans ce cas particulier, nous remarquons que les coûts directs du bris initial (qui représentent en réalité aussi les coûts directs du bris au sens large) atteignent 13% du coût total du bris, soit 220 797 \$ sur un montant total estimé d'environ 1 673 777 \$. Cela s'éloigne donc de la répartition 20/80%, évoquée pour la majorité des cas, le rapport étant ici d'environ 13/87%. Comme on pouvait ainsi s'y attendre, plus le bris initial est grand, plus l'importance des coûts indirects augmente. L'ampleur initiale d'un bris influence les possibles effets dominos et ainsi le coût final global que représente un bris.

5. BILAN ET DISCUSSIONS AUTOUR DES ÉTUDES DE CAS

Les 4 études de cas exposées montrent la part des divers coûts indirects liés aux bris d'infrastructures souterraines et l'importance qu'ils représentent dans les coûts totaux d'un bris. Rappelons que deux de ces bris (celui de la conduite de gaz et celui du réseau de télécommunication) ont été causés par des tiers alors que les deux autres bris, concernant



des bris de conduite d'eau, ont été causés « naturellement » soit par la vétusté du réseau ou encore par la corrosion de la conduite. Mais peu importe la cause du bris, les conséquences en termes de coûts indirects sont très semblables. Les variations dans le rapport entre les coûts directs et indirects dépendent plutôt du type de bris considéré, de l'importance de celui-ci ainsi que de sa localisation. Nous proposons donc ici d'apporter quelques précisions quant à l'importance de ces coûts en fonction de différents facteurs.

En ce qui concerne l'étude de cas liée au bris d'une conduite de gaz dans un secteur résidentiel de Montréal, les deux facteurs de coûts les plus importants sont l'intervention des services d'urgence et l'interruption de service d'électricité. Il est important toutefois de relever que ces deux facteurs de coûts sont spécifiques compte tenu du fait que le bris a eu lieu à Montréal. En effet, dans de nombreuses municipalités du Québec, les interventions du service de sécurité incendie sont assurées par des pompiers volontaires, ayant des procédures et des moyens d'interventions différents et plus restreints. Cela engendre deux modifications de taille. Premièrement, moins d'hommes et de matériel sont mis à disposition. Ensuite, la procédure de déclenchement d'artère (coupure d'électricité ordonnée par le service de sécurité incendie pour diminuer les risques) ne sera pas forcément demandée. En conjuguant ces deux points avec la durée plus ou moins importante de l'intervention, de nombreux facteurs de coûts indirects ne seraient pas présents ou seraient moindres pour une intervention en dehors de l'île de Montréal. Finalement, comme au moment du bris, la rue était déjà barrée à cause des travaux en cours, aucun coût de congestion n'a été associé à ce bris.

Le cas du bris d'infrastructure souterraine de télécommunication sur la rue Jean Talon nous permet de prendre conscience de l'importance des coûts que représente la congestion. Nous avons ainsi pu remarquer que pour des perturbations significatives sur le trafic routier, les montants liés à la surconsommation, à la pollution, à la surutilisation et surtout aux pertes de temps peuvent rapidement devenir importants (particulièrement pour une perturbation de plusieurs semaines). Cette étude de cas a permis d'établir des proportions entre les différents coûts dus à la congestion, mais également aux détours.



Ces derniers ont d'ailleurs été à l'origine d'une recherche approfondie sur le détournement d'une partie du trafic pendant la durée des travaux. Les coûts estimés pour la congestion dans cette étude de cas sont très semblables aux estimations faites par (Gourvil & Joubert, 2004) sur l'évaluation de la congestion routière générale dans la région de Montréal.

Le cas de la rupture de la canalisation survenue à Gatineau représente pour sa part une préoccupation majeure pour les services d'ingénierie de la ville de Gatineau. On remarque que pour ce type de bris, les coûts directs représentent une plus grande part des coûts totaux que les coûts indirects. Toutefois, comme la Ville de Gatineau connaît plus de 200 bris similaires annuellement, c'est la récurrence de ce type de bris qui en fait une réelle préoccupation, tant au niveau des coûts qu'au niveau de la sécurité et de la qualité de vie des habitants des localités touchées.

Le deuxième cas de bris de canalisation présente une étude qui permet de mettre en lumière un événement de très grande envergure et ayant des impacts importants. Ce bris nous a ainsi permis d'illustrer clairement ce que représentent les effets dominos et l'importance que ces derniers représentent. Ces événements sont le fruit d'un premier aléa. Cependant, leur prise en compte est nécessaire et ne fait qu'alourdir le bilan final des coûts totaux.

CHAPITRE 5

COÛT INDIRECT ANNUEL TOTAL DES BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES AU QUÉBEC EN 2012

Nous avons présenté une large revue de la littérature exposant l'ensemble des coûts qui peuvent se matérialiser en cas de bris d'infrastructure. Cette revue de littérature a été illustrée au travers de quatre études de cas de bris qui sont survenus au Québec. Afin d'avoir un portrait complet de la situation au Québec, nous avons fait une estimation des coûts indirects annuels totaux des bris d'infrastructures survenus au Québec en 2012.

Avant toute chose, rappelons les étapes à suivre recommandées avant tout travaux d'excavation. Il faudrait en premier lieu faire une demande de localisation des réseaux souterrains auprès d'Info Excavation¹⁷. Ce dernier, après avoir obtenu des informations sur les particularités des travaux à réaliser par l'excavateur, va les transmettre aux entreprises qui ont des infrastructures souterraines à proximité du lieu des travaux. Une fois cette étape effectuée, les entreprises transmettent les plans exacts de leurs infrastructures et effectuent des marquages afin de les repérer au sol. Par la suite, l'entrepreneur en excavation devrait suivre le guide des pratiques d'excellence en prévention des dommages, élaboré par l'APISQ en collaboration avec ses partenaires, afin d'éviter tout bris sur des infrastructures souterraines lorsqu'il effectuera ses travaux d'excavation. Les bris aux installations souterraines peuvent habituellement être évités et se produisent généralement à cause d'une rupture dans le processus de prévention des dommages. Lorsque les meilleures façons de faire sont respectées par les différentes parties prenantes dans un projet de construction ou de réhabilitation, il en découle des chances accrues d'une excavation sans bris, sans dommage et sans accident (APISQ, 2009) Afin d'évaluer les coûts indirects pour le Québec de l'ensemble des bris d'infrastructures

¹⁷ Pour simplifier la lecture du texte, nous avons utilisé dans cette section le nom abrégé d'Info Excavation pour parler d'Info Excavation- L'Alliance pour la protection des infrastructures souterraines.

souterraines causés par des tiers, nous nous sommes servis des informations d’une base de données où les différents intervenants peuvent enregistrer en ligne de l’information relative à un évènement afférant à une infrastructure souterraine (dommage, quasi-dommage ou temps d’arrêt). Cette base de données appelée DIRT (Damage Information Reporting Tool), en français ORDI (Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures), a été créée en 2003 pour la Common Ground Alliance (CGA). Notre collaboration avec Info Excavation - l’Alliance pour la protection des infrastructures souterraines nous a permis d’avoir accès à la base de données pour le Québec.

La base de données ORDI est construite à partir d’un questionnaire à remplir lors d’un bris d’infrastructure souterraine. Elle se compose de plusieurs grandes parties. On retrouve notamment des renseignements sur l’intervenant, sur l’infrastructure souterraine concernée, sur la date et le lieu de l’évènement. Il est également possible de savoir si une demande de localisation a été placée auprès d’Info-Excavation et comment le repérage a été fait. Enfin, des informations complémentaires sur l’évènement sont fournies (coûts directs divers, nombre de victimes, etc.).

1. ANALYSE DE LA BASE DE DONNÉES DES BRIS DÉCLARÉS AU QUÉBEC

L’analyse de la base de données ORDI pour l’année 2012 ainsi que le rapport annuel des bris de l’APISQ ("Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures (ORDI)," 2012), permettent de relever certains éléments intéressants.

Tableau 42 : Données clés de la base ORDI 2012

Données clés	
Nombre de demandes de localisation à Info-Excavation	196 605
Nombre de bris totaux	1 413
Nombre de bris sans demande préalable de localisation auprès d’Info-Excavation	449

On constate clairement que le taux de bris¹⁸ pourrait chuter à moins de 1 % si une demande de localisation était formulée. Par ailleurs, 449 bris ont eu lieu alors qu'il n'y avait pas eu de demande de localisation à Info-Excavation, ce qui signifie (en appliquant le % précédent¹⁹) que près du tiers des bris survenus en 2012 auraient pu être évités si Info-Excavation avait été contacté. Ces éléments ne font qu'appuyer l'importance que représente la prévention, surtout lorsque l'on prend en considération les coûts totaux liés à chaque bris et non seulement les coûts directs.

2. ÉVALUATION ANNUELLE DES COÛTS INDIRECTS DE TOUS LES BRIS D'INFRASTRUCTURES CAUSÉS PAR DES TIERS AU QUÉBEC

Il est intéressant dans ce contexte d'avoir une estimation des coûts indirects totaux reliés aux bris d'infrastructures souterraines au Québec.

Il est important de préciser que l'analyse qui suit ne considère que les bris d'infrastructures causés par des tiers puisque ce sont ces données qui se retrouvent dans la base de données ORDI. Toutefois, nous avons pu constater au travers des études de cas réalisées que les conséquences d'un bris en termes de coûts indirects étaient sensiblement les mêmes que le bris soit causé par un tiers ou soit causé « naturellement » par la vétusté d'un réseau. Nous n'avons malheureusement pas de données sur le nombre de bris d'infrastructure non causés par des tiers au Québec, ce qui fait en sorte que l'estimation des coûts indirects totaux qui va suivre représente un minimum. Si l'on avait accès à des données sur le nombre total de bris d'infrastructures (causés par des tiers et autres), le montant estimé pour le Québec serait sans doute beaucoup plus important.

¹⁸ Ce taux de bris correspond effectivement au nombre de bris lorsqu'il y a eu appel à Info Excavation sur le nombre de demande de localisation. Toutefois, certaines limites sont à prendre en compte : (1) toute demande de localisation n'entraîne pas nécessairement des travaux d'excavation (projet annulé, demande à titre informatif seulement), (2) la validité d'une demande est de 30 jours, donc si les travaux se prolongent au-delà de 30 jours, il est nécessaire de faire revalider la demande.

¹⁹ On a calculé que seulement 0,48% des demandes de localisation se soldaient par un bris. Cela veut dire que si lors des 449 bris sans appel au préalable, les bonnes pratiques d'excavations avaient été suivies, 446 bris auraient été évités, soient 99,52% des 449 bris recensés. 31 % des bris survenus en 2012 auraient pu être évités si les bonnes pratiques d'excavation avaient été suivies par les excavateurs.



Afin d'estimer les coûts indirects de tous les bris d'infrastructures causés par des tiers au Québec en 2012, les informations de la base de données ORDI ont été regroupées et analysées en fonction des méthodes de calcul élaborées dans le projet et également en fonction des résultats des études de cas. Une méthodologie rigoureuse en plusieurs étapes a été suivie.

(1) La première étape a été de regrouper les 1 413 cas de bris d'infrastructures causés par des tiers recensés en 2012 en 4 catégories (ces catégories reflètent celles renseignées dans la base de données ORDI) :

- Les bris sur des infrastructures électriques
- Les bris sur des infrastructures gazières
- Les bris sur des infrastructures de télécommunication
- Les bris sur des infrastructures publiques diverses (canalisations, etc.).

(2) La deuxième étape a été l'estimation des coûts indirects par type de bris d'infrastructure considérée. En raison du nombre important de données non renseignées dans la base de données ORDI de 2012 et aussi afin de s'assurer d'une plus grande rigueur, nous n'avons pas utilisé une méthode d'estimation basée sur un rapport CD/CI de 20%-80%. Nous avons utilisé des méthodes de substitution. Compte tenu des données limitées de la base de données ORDI, nous ne sommes pas en mesure de prendre en compte tous les facteurs de coûts indirects qui ont été relevés dans ce rapport.

- **BRIS SUR DES INFRASTRUCTURES ELECTRIQUES**

Compte tenu des données limitées de la base de données ORDI, nous avons uniquement considéré les coûts reliés à l'interruption de service et les coûts de congestion pour l'estimation des coûts indirects des bris sur des infrastructures électriques. Nous nous sommes servis des 2 études de cas durant lesquelles une interruption de service électrique a été rapportée. Toutefois, afin d'ajuster le coût de cette interruption de service en fonction du nombre de clients touchés, nous avons réajusté les données des 2



études de cas en utilisant les densités de population autour des adresses où les bris ont eu lieu (l'approximation utilisée est donc de considérer que le nombre total de clients touchés est proportionnel à la densité de population – la répartition entre les différents types de clients suivant les proportions de l'étude de cas 1 qui semble être représentative du portrait des clients sur un territoire donné (70% de clients mineurs, 28% de clients moyens et 2% de clients majeurs)). En outre, lorsque la durée de l'interruption de service n'était pas indiquée dans la base de données, nous avons considéré une interruption de service d'une heure et 30 minutes.

En ce qui concerne les coûts de congestion, nous n'en avons associés qu'à des bris étant survenus sur une voie publique (données issues d'ORDI). Les hypothèses retenues sont les suivantes : un trafic journalier sur la rue touchée par le bris de 5000 véhicules et un détour moyen de 1 kilomètre entraînant une augmentation du temps de parcours de 1 minute. Le taux horaire des véhicules a été estimé en fonction du salaire moyen au Québec en 2012. Enfin, afin de déterminer la durée de la perturbation, nous avons considéré le temps d'interruption supplémentaire dû aux travaux (variable apparaissant dans la base ORDI). Si ce temps n'était pas renseigné, nous avons considéré une perturbation de la circulation d'une durée de 2 heures. Toutes ces informations nous ont permis d'évaluer le coût de la perte de temps, de la surconsommation, de la surutilisation des véhicules mais également de la pollution pour chaque bris. Peu importe le type d'infrastructure touché, les coûts de congestion ont tous été estimés en suivant ces hypothèses.

- **BRIS SUR DES INFRASTRUCTURES GAZIÈRES**

Compte tenu des données limitées reportées dans la base de données ORDI, nous avons uniquement considéré pour l'estimation des coûts indirects des bris sur des infrastructures gazières :

- lorsque le bris avait lieu à Montréal, les coûts reliés à l'intervention des services incendies et ceux reliés à l'interruption de service électrique, et

- 
- pour tous les bris de gaz peu importe leur localisation (Montréal ou autre), les coûts reliés à la congestion.

À Montréal, pour un bris de conduite de gaz, le service incendie est déployé. Il est toutefois difficile de généraliser à l'ensemble des villes du Québec qui n'ont pas nécessairement les mêmes approches en matières de bris de conduite de gaz. En outre, dans les petites municipalités, il s'agit essentiellement de pompiers volontaires. Pour ces raisons, nous avons considéré des coûts reliés à une intervention du service incendie que pour des bris survenus à Montréal (cette hypothèse engendre encore une fois une estimation des coûts indirects totaux plus faible que la réalité). Par ailleurs, à Montréal encore, les méthodes d'intervention du service incendie dans les cas de bris d'infrastructures avérés suggèrent d'ordonner une coupure du service électrique. Ainsi, lorsque le bris avait lieu à Montréal, des coûts reliés à l'intervention des services incendies et des coûts reliés à l'interruption de service électrique étaient pris en considération pour une durée d'une heure et 30 minutes. Les mêmes hypothèses de calcul que dans le cas de bris d'infrastructure électrique ont été retenues pour estimer les coûts de l'interruption de service électrique. Pour ce qui est du coût d'intervention du service incendie de Montréal, nous avons repris les données traitées dans l'étude de cas 1.

- **BRIS SUR DES INFRASTRUCTURES DE TELECOMMUNICATION**

En ce qui concerne les bris sur des infrastructures de télécommunication, nous avons considéré uniquement les coûts de congestion.

- **BRIS SUR DES INFRASTRUCTURES PUBLIQUES EN TOUS GENRES**

Pour les bris sur les infrastructures publiques en tous genres, nous nous sommes basés sur les deux études de cas de bris de canalisation. Pour cela, nous avons supposé un lien entre les coûts directs et les coûts indirects liés à un bris d'infrastructure souterraine. Nous avons utilisé le modèle suivant :

Équation 27 : Estimation des CI en fonction des CD d'un bris de canalisation ou d'infrastructure souterraine publique (1/2)

$$CI = a \times CD^b$$

Ce modèle permet d'assurer que l'absence de coût direct doit impliquer l'absence de coûts indirects et vice versa. À partir des résultats des deux études de cas, nous avons pu déterminer les valeurs de a et de b.

Coefficient	Valeur
a	$3,9 \times 10^{-4}$
b	1,79

Équation 27 : Estimation des CI en fonction des CD d'un bris de canalisation ou d'infrastructure souterraine publique (2/2)

$$CI = 3,9 \times 10^{-4} \times CD^{1,79}$$

Ce résultat nous conforte dans le modèle utilisé. On remarque que la valeur du coefficient b est supérieure à 1 (d'après nos deux études de cas : b=1,79). Cela signifie que l'augmentation des coûts indirects s'accroît plus rapidement que celle des coûts directs. Ce phénomène est lié à l'existence d'effets dominos.

Après application de l'ensemble des hypothèses définies précédemment, les coûts indirects totaux estimés s'élèvent à un peu plus de 74,5 millions de dollars pour 2012. Le détail des coûts est le suivant :

Tableau 43 : Coûts indirects estimés pour l'année 2012 selon le type d'infrastructure touchée

Type d'infrastructure touchée	Coûts indirects estimés pour l'année 2012
Infrastructures électriques	23 76 286 \$
Infrastructures gazières	50 429 293 \$
Infrastructures de télécommunication	38 333 \$
Infrastructures publiques diverses	302 287 \$
COÛTS INDIRECTS TOTAUX ESTIMÉS	74 546 210 \$

Les résultats précédents montrent plusieurs points importants. D'une part, les coûts indirects des bris d'infrastructures électriques et gazières sont très élevés et représentent plus de 99% du montant total des coûts indirects estimé. D'autre part, le montant estimé pour les coûts indirects totaux pour l'année 2012 des bris d'infrastructures souterraines au Québec qui s'élève à 74,5 millions de dollars, représente une somme conséquente. En outre, il est important de mentionner que ce coût estimé représente un minimum compte tenu des données limitées que nous avons.

- En effet, rappelons tout d'abord que cette estimation ne considère que les bris d'infrastructures causés par des tiers puisque ce sont ces données qui se retrouvent dans la base de données ORDI. Toutefois, nous avons pu constater au travers des études de cas réalisées que les conséquences d'un bris en termes de coûts indirects étaient sensiblement les mêmes que le bris soit causé par un tiers ou soit causé par la vétusté d'un réseau. Nous n'avons malheureusement pas de données sur le nombre de bris d'infrastructure non causés par des tiers au Québec, ce qui fait en sorte que l'estimation des coûts indirects totaux qui va suivre représente un minimum. Si l'on avait accès à des données sur le nombre de bris d'infrastructures total (causés par des tiers et autres), le montant estimé pour le Québec serait beaucoup plus important.

- D'autre part, il est important de rappeler également que l'évaluation repose sur des données provenant d'un recensement des bris effectué sur une base volontaire, ce qui donne un portrait partiel de la réalité.



- L'autre élément important est l'absence de prise en compte d'événements majeurs (coupure d'électricité pour un hôpital ou pour un aéroport, fuite de gaz majeure, arrêt d'une usine, etc.) que nous n'avons pas pu identifier.

- Finalement, compte tenu du nombre de champs de données de la base de données ORDI et aussi du fait que tous les champs ne sont pas systématiquement remplis, nous ne sommes pas en mesure de prendre en compte tous les facteurs de coûts indirects qui ont été relevés dans ce rapport.

L'ensemble de ces éléments nous fait dire qu'il est possible que le montant de 74,5 millions de dollars associés au coût indirect annuel total des bris d'infrastructures souterraines au Québec pour 2012 soit réajusté à plusieurs centaines de millions de dollars.

Après avoir fait cet exercice d'estimation des coûts indirects annuels totaux reliés aux bris d'infrastructures pour le Québec, nous pouvons émettre certaines recommandations au sujet de la base de données ORDI :

- Les champs du formulaire de déclaration de bris sont très nombreux et couvrent une grande partie des données importantes, toutefois, il serait souhaitable que l'ensemble de ces champs soit rempli plus systématiquement. On constate par exemple, que certains champs ne sont remplis que dans 10% des bris ce qui limite les analyses détaillées ;
- d'autres champs devraient être ajoutés au formulaire de déclaration de bris de l'APISQ, incluant mais ne se limitant pas au nombre de clients touchés par l'interruption de service, le temps d'intervention du service de sécurité incendie, une description sommaire de l'environnement du bris (zone résidentiel, urbaine, commercial, industriel, etc.), l'heure à laquelle s'est produit le bris...

DISCUSSIONS ET CONCLUSION

Ce rapport a permis de faire un portrait des coûts totaux liés aux bris d'infrastructures souterraines au Québec. Les études d'(Ormsby, 2009), (Rahman, et al., 2005), (Gilchrist & Allouche, 2005) et (Allouche, et al., 2000) nous ont aidé dans un premier temps à établir des définitions précises en ce qui concerne les coûts directs et les coûts indirects. Par la suite, en se basant en plus sur d'autres études, (Manuilova, et al., 2009), (Khogali & Mohamed, 1999), (Rylska, et al., 2006) et (LaCommare & Eto, 2006) entre autres, nous avons expliqué et défini chaque facteur de coût direct et indirect lié à des bris d'infrastructures souterraines, ainsi qu'énoncé un certain nombre de méthodes d'estimation de ces coûts. Ces méthodes de calcul ont été utilisées tout au long des études de cas.

Nous avons par la suite présenté la démarche suivie lors des études de cas. Que ces études aient été réalisées lors du bris ou plusieurs mois après, un protocole a été établi dans le but de rassembler un maximum d'informations permettant d'apporter du crédit et de la justesse aux coûts répertoriés.

Les quatre études de cas ont permis d'illustrer de nombreux facteurs de coûts indirects liés aux bris d'infrastructures souterraines et l'importance que ceux-ci représentent dans les coûts totaux. Nous avons pu constater que selon le type de bris considéré, son importance ainsi que sa localisation, le ratio coûts directs sur coûts indirects pouvait varier.

Nous avons estimé pour 2012 que les bris d'infrastructures souterraines au Québec étaient à l'origine d'un coût indirect total d'environ 74,5 millions de dollars. Il est très important de souligner que ce chiffre est conservateur et pourrait être beaucoup plus élevé. Tout d'abord, cette estimation est basée sur les bris recensés dans la base de données ORDI sur une base volontaire, ce qui donne un portrait partiel de la réalité. Comme nous l'avons signalé précédemment, ce chiffre reste conservateur et ne prend pas en compte un certain nombre de paramètres, tels que les événements de grande envergure, les bris non causés par des tiers, les coûts reliés à la perte de réputation de



l'entreprise propriétaire d'infrastructure souterraine, les coûts reliés aux retards dans les travaux pour les entrepreneurs, etc. Il faut signaler aussi qu'à ce jour, aucune victime liée à un bris d'infrastructure souterraine n'est encore à déplorer au Québec. Cela n'est malheureusement pas le cas dans d'autres provinces du Canada (en Ontario notamment), aux États-Unis, ou même en Europe.

Rappelons encore que cette étude recense les facteurs de coûts indirects reliés à des bris d'infrastructures souterraines. Nous l'avons illustré par 4 études de cas, deux causés par des travaux d'excavation par un tiers, et deux autres non causés par des travaux d'excavation mais plutôt par la vétusté des équipements. Peu importe la cause du bris, nous avons pu noter l'ampleur des coûts indirects associés à chaque bris. Les conclusions à tirer de ces estimations se retrouvent donc à deux niveaux, dépendamment de la cause du bris considéré.

Ainsi, l'évaluation réalisée des coûts réels des bris d'infrastructures souterraines causés par des tiers au Québec peut permettre :

- **d'appuyer l'importance de la prévention** et de justifier par conséquent certains investissements en prévention et en formation sur les bonnes pratiques pour les entrepreneurs en construction et en réparation. En effet, du succès à faire évoluer un certain nombre de comportements de la part des intervenants en lien avec des travaux d'excavation et des autorités publiques, dépendent des vies épargnées, des coûts évités et, de façon globale, un meilleur environnement urbain ;
- d'aider les municipalités et tous les autres intervenants du domaine (les services incendies, Info-Excavation, les compagnies propriétaires des infrastructures, les entrepreneurs en construction, en réparation, etc.) à estimer les risques réels des projets et donc à identifier la solution la plus économique basée sur une minimisation des coûts globaux, que ce soit pour des constructions à réaliser, des mesures de prévention à prendre, etc.
- d'évaluer la pertinence de mettre en place des partenariats (par ex, avec les assureurs ou avec d'autres intervenants en mesures d'urgence).



L'évaluation réalisée des coûts réels des bris d'infrastructures souterraines non causés par des tiers au Québec, quant à elle, peut permettre d'aider les décisions publiques concernant l'allocation des ressources pour les services de prévention des bris et le maintien d'un réseau de qualité.

RECOMMANDATIONS

Compte tenu de l'ensemble des constats et résultats de notre recherche, nous pouvons émettre des recommandations pour les différents acteurs intervenant lors d'un bris d'infrastructure :

POUR LES ENTREPRISES OU LES PARTICULIERS FAISANT DES TRAVAUX D'EXCAVATION

- Il faudrait que les entreprises suivent des formations en prévention des dommages et connaissent les guides à leur disposition sur les bonnes pratiques d'excavation.
- Il serait important de rendre obligatoire une demande de localisation auprès d'Info-Excavation avant tout travaux d'excavation au Québec.

POUR LES PROPRIÉTAIRES D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES

- Il faudrait obliger tout propriétaire d'infrastructures souterraines au Québec à s'enregistrer et à déclarer la localisation de ses réseaux auprès d'Info-Excavation.
- Il faudrait que les propriétaires d'infrastructures souterraines améliorent la qualité de leurs données concernant la localisation de leur réseau souterrain et poursuivent leurs efforts pour répertorier leurs installations.

POUR LES DONNEURS D'OUVRAGES

- Il faudrait obliger les donneurs d'ouvrages à contacter Info-Excavation avant la rédaction des documents d'appel d'offres afin que les estimés initiaux soient plus précis et que les plans et devis soient plus détaillés en terme de contraintes de creusage pour les entreprises qui vont soumissionner
- Il faudrait que les donneurs d'ouvrage incluent dans leurs appels d'offres une clause obligeant une demande de localisation auprès d'Info-Excavation avant tout travaux d'excavation.

POUR LES MUNICIPALITÉS

- Les municipalités devraient utiliser les résultats de cette étude afin de les intégrer dans leur prise de décision pour la planification de la maintenance de leurs réseaux souterrains.

BIBLIOGRAPHIE

- Allouche, E., Ariaratnam, S., & AbouRizk, S. (2000). *Multi-Dimensional Utility Model for Selection of a Trenchless Construction Method*.
- Boyce, G., & Bried, E. (1994). Benefit-cost analysis of microtunneling in an urban area. *Proceedings of North American No-Dig*, 94.
- Cromwell, J. E., & Pearson, N. (2002). *Costs of infrastructure failure*: Amer Water Works Assn.
- Gilchrist, A., Allouche, E., & Cowan, D. (2003). Prediction and mitigation of construction noise in an urban environment. *Canadian journal of civil engineering*, 30(4), 659-672.
- Gilchrist, A., & Allouche, E., N. (2005). Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review. *Tunnelling and underground space technology*, 20(1), 89-104.
- Gilchrist, A., Cowan, D., & Allouche, E. (2002). *Modeling the impact of construction projects on urban environments*. Paper presented at the Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montréal, Québec, Canada.
- Goetzel, R. Z., Long, S. R., Ozminkowski, R. J., Hawkins, K., Wang, S., & Lynch, W. (2004). Health, absence, disability, and presenteeism cost estimates of certain physical and mental health conditions affecting US employers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 46(4), 398-412.
- Gourvil, L., & Joubert, F. (2004). *Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal*: Québec: Transports Québec.
- Gouvernement du Québec. (2013). Gestion de l'eau - Consultation publique, from <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/consultation/themes3.htm#prix>
- Government of Canada, E. C. M. S. o. C., & Meteorological Service of Canada, E. C. G. o. C. (2013). Canadian Climate, from http://www.climate.weatheroffice.gc.ca/climateData/dailydata_e.html?StationID=5415&timeframe=2&Month=11&Year=2012&cmdB1=Go
- Khogali, W. E., & Mohamed, E. H. (1999). *Managing utility cuts: Issues and considerations*. Paper presented at the NCRR/CPWA Seminar Series: Innovations in Urban Infrastructure.
- Kolator, R. (1998). The inclusion of social cost components in pipeline construction-preparation of an assessment scheme. *International No-Dig'98. Lausanne, Switzerland*, 25-34.
- LaCommare, K. H., & Eto, J. H. (2006). Cost of power interruptions to electricity consumers in the United States (US). *Energy*, 31(12), 1845-1855.
- Lefebvre, P., & Mayer, F. (1991). Les réformes fiscales de 1988 au Canada et au Québec: une analyse d'équilibre général des implications pour le Québec. *Économie & prévision*, 98(2), 101-112.

- Manuilova, A., Dormuth, D., W., & Vanier, D., J. (2009). MIIP Report: A Case Study of Use and External Components of Social Costs that are Related to Municipal Infrastructure Rehabilitation.
- Matthews, J. C., & Allouche, E. N. (2010). *A Social Cost Calculator for Utility Construction Projects*. Paper presented at the NASTT No-Dig Conference.
- McKim, R. A. (1997). Bidding strategies for conventional and trenchless technologies considering social costs. *Canadian journal of civil engineering*, 24(5), 819-827.
- Michielsen, K. (2006). Trench Vs jacking cost comparison. *T & T international(MAI)*, 23-26.
- Modieli Amadou, S., Palacios, M., Picard-Courtois, R., Tardif, I., Québec . Ministère des affaires municipales, d. r. e. d. l. o. d. t., & Centre d'expertise et de recherche en infrastructures, u. (2010). Guide pour l'évaluation des coûts socio-économiques des travaux de renouvellement des conduites d'eau potable et d'égout guide destiné au milieu municipal québécois
- Ormsby, C. M. (2009). A framework for estimating the total cost of buried municipal infrastructure renewal projects.
- Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures (ORDI). (2012).
- Pucker, J., Allouche, E., & Sterling, R. (2006). *Social Costs Associated with Trenchless Projects: Case Histories in North American and Europe*. Paper presented at the NASTT No-Dig Conference, Paper C-4-04.
- Rahman, S., Vanier, D., J., & Newton, L., A. (2005). MIIP Report: Social Cost Considerations for Municipal Infrastructure Management.
- RevenuQuébec. (2013). Revenu Québec - TPS/TVH et TVQ.
- Rylska, N. L., McCracken, M. C., Reza, A., Limited, I., Staff, I. L., Alliance, O. R. C. G., et al. (2006). *Societal Costs of Excavation Due to Excavation Damage to Underground Infrastructure in Ontario During 2000-03*: Informetrica Limited.
- Service de Police de la Ville de Montréal, V. d. M. (2013).
- Shahin, M., & Croveti, J. (1987). *DETERMINING THE EFFECTS OF UTILITY CUT PATCHING ON THE SERVICE LIFE PREDICTION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS*. Paper presented at the 2nd North American conference on managing pavements, proceedings.
- Ville de Gatineau, S. d. l. i. (2013).
- Ville de Montréal, P. d. d. (2013). Feux de circulation – comptage des véhicules et des piétons aux intersections munies de feux | Portail données ouvertes, from <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/fiche/comptage-vehicules-pietons/>
- Ye, J., & Kankanhalli, A. (2013). Exploring innovation through open networks: A review and initial research questions. *IIMB Management Review*, 1-14. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.iimb.2013.02.002>
- Zhang, A., Boardman, A. E., Gillen, D., & Waters, I. (2004). Towards estimating the social and environmental costs of transportation in Canada. *Report for Transport Canada*.

ANNEXE 1 – Valeurs numériques du taux horaire en fonction du salaire annuel au Québec

Salaire annuel (\$)	Taux horaire (\$/h)
12 000 \$	6,47 \$/h
15 000 \$	7,70 \$/h
22 000 \$	10,39 \$/h
35 000 \$	14,95 \$/h
50 000 \$	19,76 \$/h
75 000 \$	27,14 \$/h
120 000 \$	39,21 \$/h

ANNEXE 2 – Durée du temps de parcours supplémentaire dû à la congestion, fonction du temps

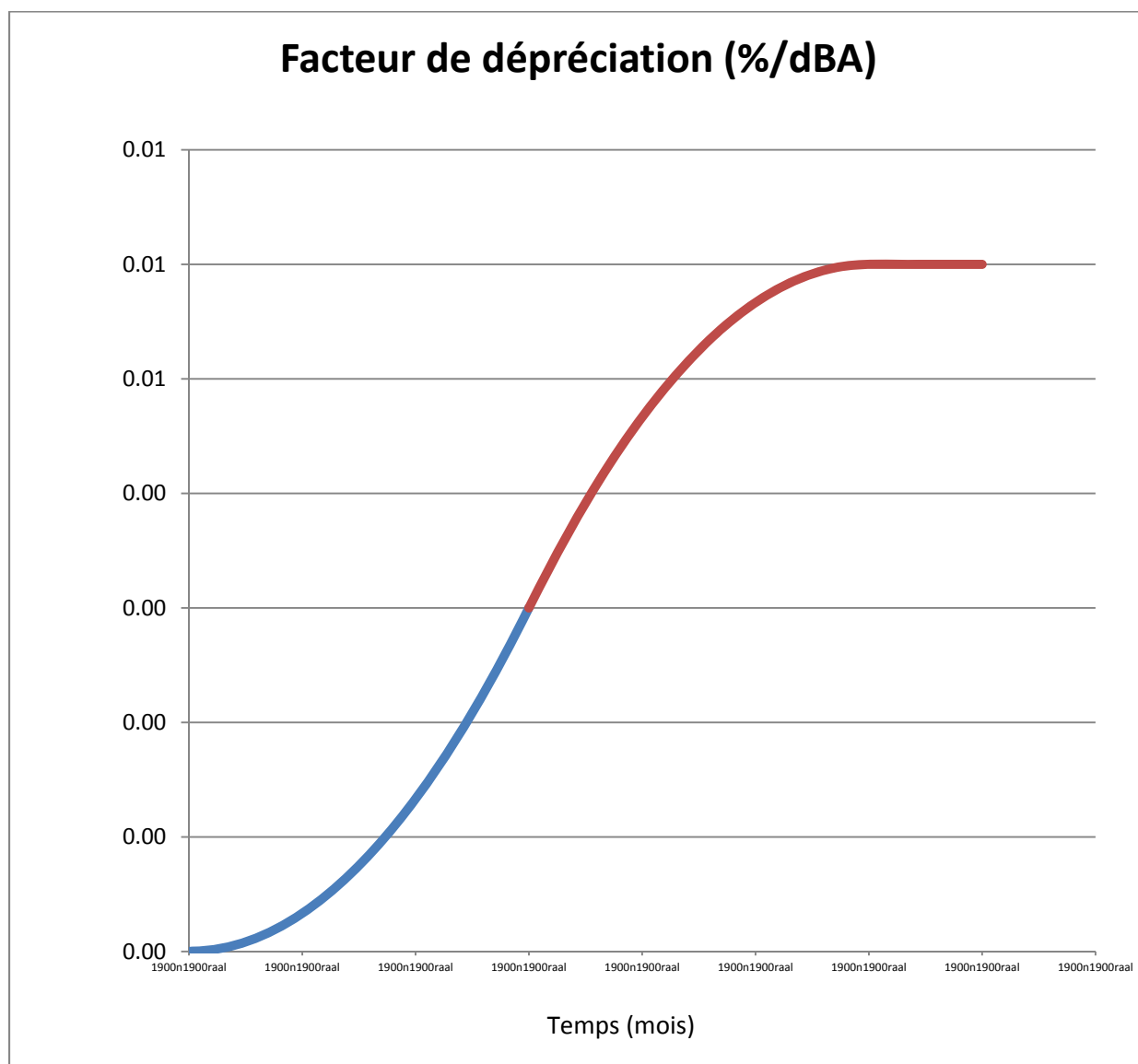
t (jours)	Tc (t) (en minute)	Tdminimum (en minute)
1	8,00	5,00
2	7,65	5,00
3	7,33	5,00
4	7,03	5,00
5	6,75	5,00
6	6,50	5,00
7	6,27	5,00
8	6,06	5,00
9	5,88	5,00
10	5,71	5,00
11	5,56	5,00
12	5,44	5,00
13	5,33	5,00
14	5,24	5,00
15	5,16	5,00
16	5,11	5,00
17	5,06	5,00
18	5,03	5,00
19	5,01	5,00
20	5,00	5,00
21	5,00	5,00
22	5,00	5,00
23	5,00	5,00
24	5,00	5,00

ANNEXE 3 – Évolution du nombre de véhicules perturbés, en fonction du temps

t (jours)	Nombre de voitures détournées	Nombre de voitures congestionnées
1	0	7000
2	306	6694
3	589	6411
4	851	6149
5	1092	5908
6	1313	5687
7	1514	5486
8	1696	5304
9	1859	5141
10	2004	4996
11	2131	4869
12	2242	4758
13	2337	4663
14	2416	4584
15	2481	4519
16	2532	4468
17	2571	4429
18	2598	4402
19	2615	4385
20	2624	4376
21	2624	4376
22	2624	4376
23	2624	4376
24	2624	4376

ANNEXE 4 – Évolution d'un facteur de dépréciation sonore

Profil pour une valeur finale de 0,60%/dBA



ANNEXE 5 – Ajustement des données de coûts en fonction des années d'estimations passées

À de nombreuses reprises, les rapports ou études font état de données datant de plusieurs années et provenant de pays différents. Afin de pouvoir utiliser les données de ces précédentes études, il est important de les ajuster et de les convertir afin d'apporter une précision aux études. Quand nous parlons de conversion, nous ne parlons pas uniquement de la valeur intrinsèque du dollar, mais plutôt de la valeur qu'il représente pour un citoyen. Il est donc nécessaire de convertir la valeur d'une devise par rapport à une autre, mais également de regarder l'évolution de la devise à travers le temps. Ainsi, nous prendrons en compte le « GDP Deflator ». Cet indice permet d'évaluer la valeur d'une devise au cours du temps. Il prend en compte l'inflation du pays, le pouvoir d'achat changeant, etc. Nous allons pour cette étude nous baser sur les données de la banque mondiale. Afin d'illustrer la méthode a été adoptée, l'illustration suivante est proposée.

Exemple

Soit un coût estimé à 1000 dollars pour un américain en 2002. En reprenant les données de la banque mondiale, ayant une base 100 pour l'année 2005, le coût pour un Canadien en 2012 sera le suivant :

Coût réel pour un canadien (\$2012)

= Coût initial pour un américain réajusté (\$2002)

= Coût initial(\$2002) $\times \frac{\text{GDP Deflator (2012, Canada)}}{\text{GDP Deflator (2002, États Unis)}}$

= $1000 \times \frac{119,6346}{92,1985} = 1297,58 \$$

Si l'on applique l'ajustement, un coût de 1000 \$ pour un Américain en 2002 représente un coût réel de 1297,58 \$ pour un Canadien en 2012.

Ainsi, pour l'ensemble de l'étude, le réajustement des différentes données se fera de la façon énoncée précédemment.