



CIRANO

Allier savoir et décision

Identification des risques liés aux bris d'infrastructures souterraines pour la santé et la sécurité des travailleurs

NATHALIE DE MARCELLIS-WARIN

INGRID PEIGNIER

2018RP-10
RAPPORT DE PROJET

RP

Identification des risques liés aux bris d'infrastructures souterraines pour la santé et la sécurité des travailleurs

Nathalie de Marcellis-Warin, Ingrid Peignier

Rapport de projet *Project report*

Montréal
Mai 2018

© 2018 Nathalie de Marcellis-Warin, Ingrid Peignier. Tous droits réservés. *All rights reserved.* Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©. *Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.*



Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations

CIRANO

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Québec Companies Act.

Les partenaires du CIRANO

Partenaires corporatifs

Autorité des marchés financiers
Banque de développement du Canada
Banque du Canada
Banque Laurentienne
Banque Nationale du Canada
Bell Canada
BMO Groupe financier
Caisse de dépôt et placement du Québec
Énergir
Hydro-Québec
Innovation, Sciences et Développement économique Canada
Intact Assurance
Investissements PSP
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation
Ministère des Finances du Québec
Mouvement Desjardins
Power Corporation du Canada
Rio Tinto
Ville de Montréal

Partenaires universitaires

École de technologie supérieure
HEC Montréal
Institut national de la recherche scientifique
Polytechnique Montréal
Université Concordia
Université de Montréal
Université de Sherbrooke
Université du Québec
Université du Québec à Montréal
Université Laval
Université McGill

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

ISSN 1499-8629 (Version en ligne)



REMERCIEMENTS

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

Nous aimerions prendre le temps de remercier Zineb Rougui, stagiaire de l'École Polytechnique de Montréal, pour sa grande contribution dans le travail de recherche qui a permis la rédaction de ce rapport.

Nous remercions également un évaluateur externe pour ses commentaires et remarques pertinentes ayant permis de bonifier le présent rapport.

Nous remercions sincèrement tous les entrepreneurs en excavation, les représentants des municipalités et les propriétaires d'infrastructures qui ont accepté de participer aux *Focus Group* ou à des rencontres individuelles ainsi que tous ceux qui ont répondu au questionnaire administré lors du Congrès Annuel 2017 d'Info-Excavation.

SOMMAIRE EXECUTIF

MISE EN CONTEXTE

La méconnaissance de la localisation précise des réseaux d'infrastructures souterraines ainsi que les mauvaises techniques d'excavation conduisent à de nombreux incidents lors de travaux à proximité de réseaux. **En 2017 au Québec, on dénombre plus de 5 bris d'infrastructures souterraines en moyenne par jour** (dont 44% impliquent du gaz naturel ou de l'électricité) (rapport de bris 2017 - Info-Excavation, 2018). Il est alors important, dans ce contexte, de mieux comprendre les risques auxquels sont exposés les travailleurs afin de mieux adapter les efforts de sensibilisation et de mieux cibler les mesures de prévention. D'autant plus lorsque l'on constate que le nombre de bris augmente au cours des années (+11 % par rapport à 2016).

Même si au Québec, aucun décès n'est à déplorer suite à un bris d'infrastructure souterraine, des accidents avec décès sont survenus dans d'autres provinces. En Ontario par exemple, 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 une moyenne annuelle de plus de 1600 bris d'infrastructures. Même si l'on est conscient que le type et le nombre d'infrastructures souterraines ne sont pas comparables entre le Canada et les États-

Unis, les statistiques américaines sont assez alarmantes et confirment qu'un risque est bien réel et présent. Depuis 2011, en ne considérant que les impacts causés par des bris sur des pipelines de pétrole et de gaz, on compte 302 blessés et 65 morts aux États-Unis (compilation du US Department of Transportation).

Malgré les évolutions réglementaires en cours et la présence de décès et de blessés liés à des bris d'infrastructures à travers le Canada, peu d'études analytiques existent sur l'identification et l'analyse des risques pour la santé et sécurité des travailleurs exposés aux bris d'infrastructures.

OBJECTIFS

Il est important dans ce contexte de mieux comprendre les risques auxquels sont exposés les travailleurs afin de mieux adapter les efforts de sensibilisation et de mieux cibler les mesures de prévention. Le projet de recherche avait donc pour objectif de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les risques pour les travailleurs en cas de bris de conduites souterraines ?
- Quelles sont les conséquences les plus courantes ?
- Quel type d'équipement est le plus souvent en cause lors d'un accident ?
- Quels sont les facteurs de risque qui augmentent la probabilité que ces risques se manifestent au Canada (et plus particulièrement au Québec) ?

MÉTHODOLOGIE

Afin de déterminer les dangers pour les travailleurs exposés aux bris d'infrastructures souterraines dans le cas d'excavation, différentes étapes de recherche ont été adoptées :

➤ Étape 1 : Revue de littérature

- Pour identifier les dangers lors de bris d'infrastructures souterraine pour la santé et la sécurité des travailleurs.
- Pour identifier les facteurs de risque associés à la SST lors de bris d'infrastructures.

➤ Étape 2 : Analyse statistique de plusieurs bases de données (États-Unis, Canada et Québec) d'accidents de bris d'infrastructures souterraines pour quantifier les risques que peuvent subir les travailleurs et identifier les causes entraînant des conséquences en termes de santé / sécurité.

Plusieurs techniques d'analyse ont été utilisées : statistiques descriptives, régressions logistiques et arbres de décision.






➤ Étape 3 : Consultation des différentes parties prenantes touchées par les bris d'infrastructures souterraines au Québec pour identifier les facteurs de risque qui augmentent la probabilité qu'il y ait des décès ou des blessures pour les travailleurs exposés à des bris d'infrastructures ainsi que pour nous fournir des exemples concrets d'accidents passés.

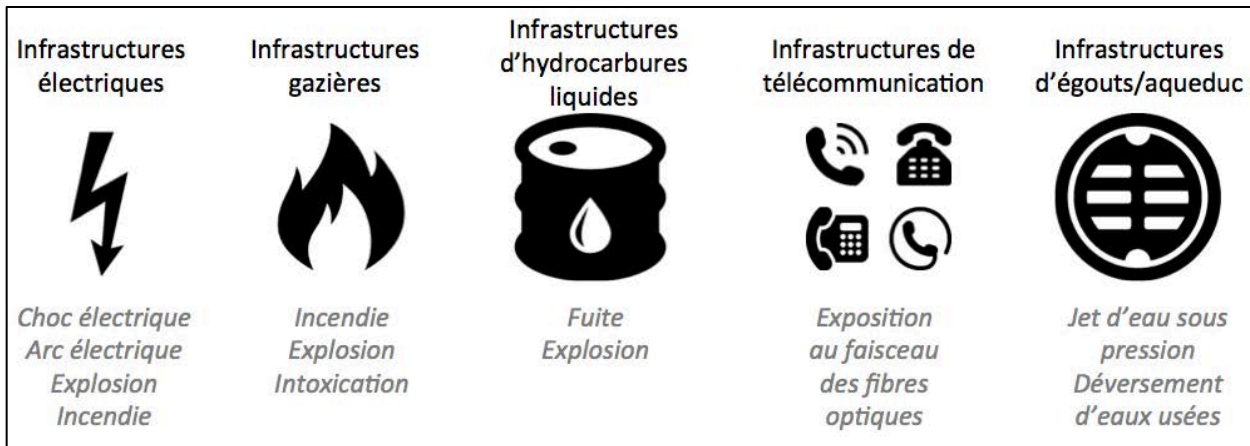
- Entrevues avec des propriétaires d'infrastructures souterraines, des entrepreneurs en excavation, des municipalités et une école de formation (6 entrevues).
- *Focus group* avec des propriétaires d'infrastructures souterraines, des représentants des municipalités et des entrepreneurs en excavation (13 participants).
- Enquête interactive auprès des participants du Congrès annuel 2017 d'Info-Excavation tenue à Saint-Sauveur (QC) (88 répondants)

RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

1) Identification des dangers auxquels sont exposés les travailleurs en cas de bris d'une infrastructure souterraine

Les dangers sont relativement importants et diffèrent en fonction de l'infrastructure en question. Pour chaque infrastructure, les dangers associés ont été identifiés ainsi que quelques exemples d'accidents qui ont eu lieu au Québec ou ailleurs dans le monde.

				
<ul style="list-style-type: none">• BDD –PHMSA Gaz aux États Unis• 2010-2016• 219 bris (dûs excavation)• 12 morts• 76 blessés	<ul style="list-style-type: none">• BDD –PHMSA Hydrocarbures aux Etats-Unis• 2002-2016• 287 bris (dûs excavation)• 6 morts• 8 blessés	<ul style="list-style-type: none">• BDD-ONE Gaz & hydrocarbures au Canada• 2008-2016• 940 bris (pas uniquement causés par une excavation)• 6 bris avec décès• 13 bris avec blessés	<ul style="list-style-type: none">• ORDI• 2010-2016• 8167 bris (excavation)• 30 blessés	<ul style="list-style-type: none">• Rapports d'intervention de la CNESST 2007-2014• 155 interventions



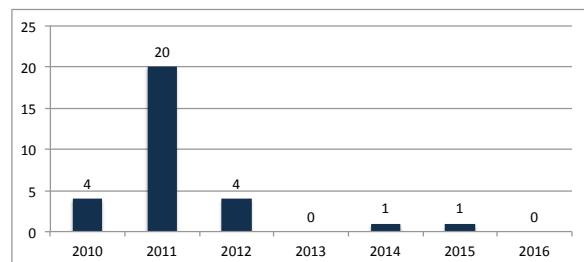
Les infrastructures gazières et électriques sont celles qui engendrent davantage de risques pour les travailleurs.

2) Portrait des bris d'infrastructures souterraines au Canada et au Québec

Pour le Canada, l'étude des bris d'infrastructures souterraines s'est basée sur l'analyse de la base de données extraite des bases documentaires de l'Office national de l'énergie (ONE). Celle-ci contient les accidents produits principalement au niveau des infrastructures gazières et d'hydrocarbures liquides sur une période de 8 ans (entre 2008 et septembre 2016). Sont recensés sur la période 2008-2016, 30 blessés et 6 décès, ce qui donne en moyenne 2 blessés suite à un bris de pipeline par année au Canada.

Aucun bris de pipeline régi par l'ONÉ avec décès ne s'est produit au Québec. Deux bris avec décès ont eu lieu en Saskatchewan, 2 en Colombie-Britannique, 1 en Alberta et 1 en Ontario.

Pour le Québec, une analyse de la base de données de déclaration ORDI (Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures) des bris d'infrastructures souterraines, gérée par Info-Excavation, a été réalisée. Il s'agit d'une base de données à déclaration volontaire. Des statistiques descriptives sont présentées dans le rapport. Aucun bris n'a occasionné de morts.



Distribution du nombre de blessés de 2010 à 2016 (Source : Compilation CIRANO à partir des données de la base de données ORDI)

Dossiers de la CNESST : Une analyse de 155 rapports d'intervention de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) en lien avec des travaux d'excavation a également été faite pour la période s'étalant de 2007 à 2014.

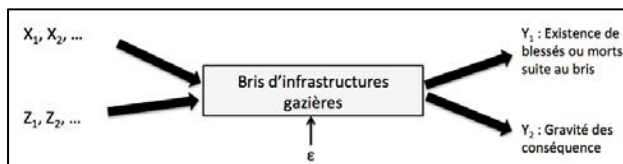
3) Identification des facteurs qui augmentent la probabilité d'avoir des blessés ou des morts suite à un bris d'infrastructures aux États-Unis

Les infrastructures de gaz et d'électricité étant celles qui engendrent le plus de risques pour les travailleurs, notre analyse s'est tournée vers la base de données américaine de la PHMSA (*Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration*) qui compile l'ensemble des incidents de pipeline déclarés en vertu du 191.3 CFR 49.

La proportion des bris causés par une excavation représente 31 % du total des bris d'infrastructures gazières aux États-Unis sur la période 2004-2016. Sur la même période, 16 % des bris causés par une excavation se sont soldés par des blessés ou des morts.

Analyse économétrique pour identifier les déterminants des blessés et décès suite à un bris d'infrastructure aux États-Unis

Le processus de bris d'infrastructure gazière peut être représenté ainsi :



où

- X_1, X_2, \dots facteurs explicatifs continus (ex : diamètre de la conduite, etc.)
- Z_1, Z_2, \dots facteurs explicatifs discrets (ex : marquage visible, explosion, conduite en plastique, conduite localisée sur un terrain privé, etc.)
- Y_1 et Y_2 sont les variables de réponse à expliquer (Y_1 existence de décès ou blessés suite au bris et Y_2 gravité des conséquences)
- ϵ l'ensemble de tous les facteurs inconnus non mesurés

Une technique d'analyse multivariée (régression logistique binaire) a permis

d'identifier le poids des variables pertinentes qui ont un impact direct sur la probabilité qu'il y ait un blessé ou un mort à la suite du bris aux États-Unis. Les résultats montrent que quatre facteurs peuvent être considérés comme des facteurs augmentant la probabilité qu'il y ait des blessés ou des morts à la suite d'un bris sur une conduite de transmission de gaz aux États-Unis :

- Un **bris avec une explosion** est 18 fois plus susceptible d'induire des morts ou des blessés.
- Les bris lorsque **le marquage est visible** et que **l'excavation est faite par un entrepreneur** ont plus de chance de ne pas avoir de morts ni de blessés.
- **Les bris sur des tuyaux de diamètre plus petits** sont plus susceptibles de faire partie du groupe des bris engendrant des blessés ou des décès. Les travailleurs ne perçoivent peut-être pas nécessairement le risque réel posé par ces tuyaux de petit diamètre et ainsi prennent possiblement moins de précaution.

Deux de ces facteurs dépendent de la nature même de la conduite. Toutefois, que l'on parle de marquage ou de procédure d'excavation, les notions de réglementation et de formation prennent tout leur sens. Dans ce contexte, il serait important de développer d'autres façons de localiser les conduites que le marquage avec de la peinture. À ce titre, l'utilisation de carte géoréférencée pourrait être une alternative permettant de limiter l'effacement du marquage avec le temps en plus de permettre un partage d'information plus rapide entre toutes les parties prenantes.

4) Extrapolation des résultats au Québec

Une extrapolation des résultats américains au Québec a été discutée tout en comparant le réseau de distribution du gaz au Québec et aux États-Unis.

Différents éléments rendent toutefois complexe l'extrapolation des résultats de l'analyse de la base de données américaine PHMSA au Québec comme par exemple : (1) les réglementations différentes entre le Québec et les États-Unis, (2) le système One Call qui est obligatoire aux États-Unis, (3) la profondeur d'enfouissement des réseaux gaziers qui ne sont pas nécessairement identiques (ces infrastructures sont généralement enfouies entre 90 à 120 cm de profondeur aux États-Unis, alors qu'au Québec, la profondeur d'enfouissement varie selon la localisation mais ne dépasse pas 150 cm), (4) le fait que l'industrie de la distribution du gaz est très différente entre les États-Unis et le Québec (nombreux propriétaires différents aux États-Unis alors qu'il n'existe que 2 acteurs au Québec, dont un majeur, Énergir) ou encore (5) le fait qu'il semble y avoir de grandes différences en termes d'acteurs des travaux d'excavation (au Québec, les bris sont en très grande majorité causés par des entrepreneurs travaillant pour le compte des municipalités alors qu'il semble qu'aux États-Unis, ce soient les municipalités elles-mêmes qui exécutent leurs travaux).

Une conclusion peut être tirée de cette extrapolation (tout en ne perdant pas de vue les limites liées à celle-ci) : comme on constate plus de bris au Québec qu'aux

États-Unis ramené à la longueur du réseau, il semble que la législation obligatoire qui prévaut aux États-Unis a une influence sur cet aspect. Ainsi, on peut supposer que si une législation était implantée au Québec rendant obligatoire la localisation des conduites souterraines et l'inscription de toutes les entreprises propriétaires d'infrastructures souterraines à un centre d'appel unique, le nombre de bris causés par une excavation diminuerait mais aussi potentiellement le nombre de bris avec des blessés ou des morts associés. En outre, le fait d'avoir une législation rendant obligatoire la déclaration des bris permettrait d'avoir un retour d'expérience sur les accidents de travail pour le Québec beaucoup plus efficace et juste puisqu'il serait représentatif de la réalité et non basé sur des bris déclarés volontairement.

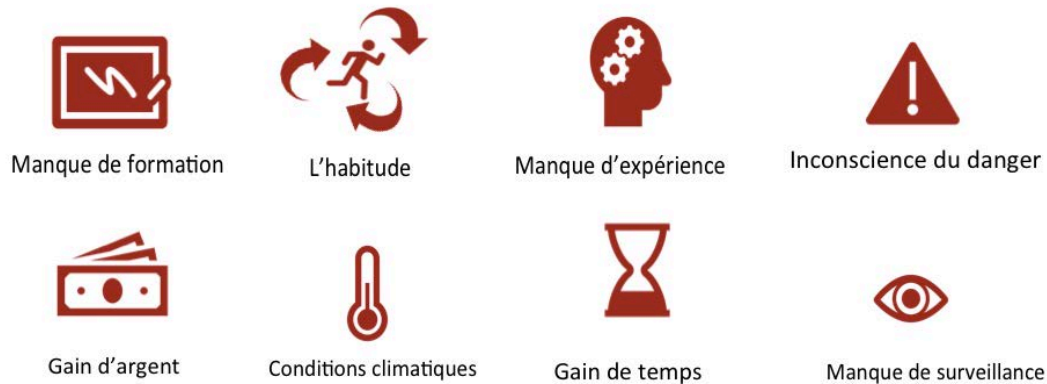
Les conclusions permettent de valoriser l'importance d'une réglementation stricte encadrant les travaux d'excavation à proximité d'infrastructures souterraines.

ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES

Suite à l'analyse des différentes bases de données qui retracent les bris au niveau des infrastructures souterraines au Québec, au Canada et aux États-Unis, il s'avère qu'il existe diverses causes entraînant ces accidents. Généralement, celles-ci reviennent pour tous les types d'infrastructure. Comment peut-on alors expliquer ces causes ? Quels sont les facteurs qui ont une influence sur la

survenue d'un bris et plus précisément sur la survenue d'un bris avec des blessés ou des morts ? 8 facteurs ont été retenus :

Le manque de formation représente un des facteurs non négligeables. Il est intéressant d'avoir un portrait du type de formations



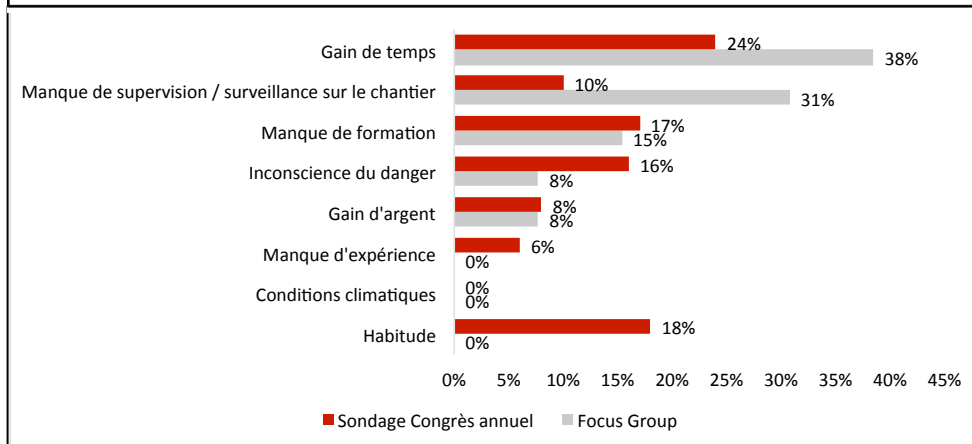
Afin d'évaluer les perceptions des parties prenantes du Québec par rapport au poids des différents facteurs de risque, nous avons effectué deux enquêtes par questionnaire qui comprennent des questions similaires : (1) une, destinée en particulier aux entrepreneurs en excavation et (2) une autre, destinée à toutes les personnes présentes au congrès provincial d'Info-Excavation (entrepreneurs, municipalités, associations, propriétaires d'infrastructures, etc.).

liées à l'excavation actuellement suivies par les employés. Il existe divers types de formations qu'offrent les entreprises et les propriétaires d'infrastructures à leurs employés. Selon nos résultats de sondage, les entrepreneurs développent plus de documentations à l'interne sous forme de guides destinés à leurs employés (42% de notre échantillon affirment en développer). Les répondants issus du Congrès annuel d'Info-Excavation (donc acteurs plus variés) couplent davantage des rencontres de formation à l'interne avec des

documentations.

Leurs employés reçoivent aussi des formations à l'externe, que ce soit des formations gratuites offertes par Info-Excavation ou des rencontres avec des représentants des commissions scolaires ou l'APSAM.

Comparaison de l'importance de différents facteurs de risque qui pourraient mener à un accident entre les deux groupes de répondants



Si une formation devait être développée et donnée à vos employés, sous quel format préférez-vous qu'elle soit ? C'est la dernière question qui a été posée aux participants aux deux sondages. Une grande majorité des répondants préfèrent des formations sur le chantier afin de percevoir de près les risques auxquels ils peuvent faire face lors d'une excavation. Ensuite, une application mobile dédiée à l'auto-apprentissage reste une seconde solution interactive que peuvent envisager les entrepreneurs, les propriétaires d'infrastructures et les municipalités. En parallèle, une formation en salle serait aussi un complément pour l'apprentissage théorique.

CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude ont apporté un éclairage important dans le développement des connaissances sur les dangers pour les travailleurs exposés à des bris d'infrastructures souterraines.

L'identification des facteurs augmentant la probabilité d'avoir des décès ou des blessés à la suite d'un bris va permettre de concentrer les efforts de prévention au bon endroit.

L'ensemble de ces éléments pourra être intégré à la prise de décision en prévention que ce soit par les entreprises directement, par les autorités publiques ou les organismes en lien avec la problématique.

Comment réduire le risque de blessés ou de morts lors de travaux d'excavation ?



Responsabiliser toute la chaîne :

propriétaire d'infrastructure, entrepreneur d'excavation, municipalités, travailleurs



Mettre l'accent sur la formation :

revoir la forme de la formation, établir un processus de suivi, motiver les travailleurs à faire part de cette formation



Réévaluer les procédures de localisation



Proposer des **changements réglementaires rendant obligatoire la localisation des conduites souterraines** et encadrant les travaux d'excavation à proximité d'infrastructures souterraines

Il est évident qu'il faut poursuivre les efforts de communication, formation et sensibilisation tout en encourageant l'adoption d'une législation claire qui encadrerait rigoureusement les travaux d'excavation.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 1 - CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	14
1 MISE EN CONTEXTE	15
2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	18
3 PLAN GÉNÉRAL DU RAPPORT.....	19
CHAPITRE 2 - MÉTHODOLOGIE	21
4 REVUE DE LA LITTÉRATURE	22
5 ANALYSE DES BASES DE DONNÉES D'ACCIDENTS DE BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES	23
6 CONSULTATION DES PARTIES PRENANTES.....	25
6.1 <i>Rencontres individuelles avec diverses parties prenantes</i>	25
6.2 <i>Organisation d'un Focus Group</i>	26
6.3 <i>Enquête par questionnaire interactif</i>	27
CHAPITRE 3 - REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES DANGERS POUR LES TRAVAILLEURS EXPOSÉS À DES BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES	28
7 INFRASTRUCTURES ÉLECTRIQUES.....	29
7.1 <i>Dangers associés</i>	29
7.1.1 Choc électrique.....	30
7.1.2 Arc électrique	31
7.1.3 Explosion	32
7.2 <i>Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs</i>	33
7.2.1 Décès de deux travailleurs en Australie suite à un choc électrique.....	33
7.2.2 Décès d'un opérateur au sol suite à une électrocution en Alberta	34
7.2.3 Dommages psychologiques pour un travailleur au Québec.....	35
8 INFRASTRUCTURES GAZIÈRES	35
8.1 <i>Dangers associés</i>	35
8.1.1 Incendie.....	35
8.1.2 Explosion	36
8.1.3 Intoxication	37
8.2 <i>Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs</i>	37
8.2.1 Le cas d'une explosion d'une conduite de gaz à Canmore (Alberta) suite à une excavation	38
8.2.2 Explosion et incendie d'une conduite de gaz à Wilmington aux États-Unis.....	38
9 INFRASTRUCTURES D'HYDROCARBURES LIQUIDES.....	39
9.1 <i>Dangers associés</i>	39
9.1.1 Fuite.....	39
9.1.2 Explosion	40
9.1.3 Emission de nuage toxique.....	40
9.2 <i>Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs</i>	41
9.2.1 Fuite d'une conduite de pétrole suite à un bris en Colombie-Britannique	41
10 INFRASTRUCTURES DE TÉLÉCOMMUNICATION.....	43
10.1 <i>Dangers associés</i>	43
10.2 <i>Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs</i>	44

10.2.1	Bris de fibres optiques au Québec entraînant un grand impact sur les services de santé	44
11	INFRASTRUCTURES D'ÉGOUT ET D'AQUEDUC	45
11.1	<i>Dangers associés</i>	<i>45</i>
11.1.1	Jet d'eau sous pression	45
11.1.2	Déversement des eaux usées	46
11.2	<i>Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs</i>	<i>46</i>
11.2.1	Inondation de plusieurs rues à Montréal suite à un bris de conduite d'eau.....	47
11.2.2	Décès d'un travailleur piégé dans une tranchée remplie d'eau lors d'un projet d'installation d'égout à Longmeadow, aux États-Unis.....	47
11.2.3	Blessures graves sur le visage d'un travailleur causées par une scie lors de la découpe de la canalisation en fonte grise à Montréal	48
	CHAPITRE 4 - ANALYSE DES BASES DE DONNÉES D'ACCIDENTS.....	49
12	INFRASTRUCTURES GAZIÈRES AMÉRICAINES	50
12.1	<i>Description de la base de données</i>	<i>50</i>
12.2	<i>Statistiques descriptives.....</i>	<i>53</i>
12.2.1	Distribution des bris et des conséquences en fonction des circonstances du bris	53
12.2.2	Distribution des conséquences pour des bris lors d'excavation.....	56
12.3	<i>Analyses statistiques et économétriques pour identifier les déterminants des blessés et décès</i>	<i>62</i>
12.3.1	Sélection des types d'analyses.....	63
12.3.2	Sélection des variables	63
12.3.3	Identification des prédicteurs potentiels à l'aide de tests de comparaison de moyennes	65
12.3.4	Développement d'un modèle de régression logistique binaire pour prédire la probabilité qu'il y ait des décès ou des blessés suite à un bris de gaz.....	72
12.3.5	Extrapolation des résultats au Québec.....	77
13	INFRASTRUCTURES D'HYDROCARBURES LIQUIDES AMÉRICAINES	79
13.1	<i>Description de la base de données</i>	<i>79</i>
13.2	<i>Statistiques descriptives.....</i>	<i>79</i>
13.2.1	Distribution des bris et des conséquences en fonction des circonstances du bris	79
14	INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES CANADIENNES	83
14.1	<i>Description de la base de données et préparation des données</i>	<i>83</i>
14.1.1	Description de la base de données	83
14.1.2	Sélection des variables.....	83
14.1.3	Qualité des données	84
14.2	<i>Analyse de la distribution des données.....</i>	<i>84</i>
14.2.1	Distribution temporelle.....	84
14.2.2	Distribution selon le fait qu'il y ait des blessés ou des morts.....	85
14.2.3	Distribution selon l'importance de l'accident	86
14.2.4	Distribution selon le niveau d'urgence.....	86
14.2.5	Relation entre le niveau d'urgence et l'importance de l'accident.....	87
14.3	<i>Analyse des causes.....</i>	<i>87</i>
15	INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES AU QUÉBEC	88
15.1.1	Description de la base de données	88
15.1.2	Sélection des variables.....	88
15.1.3	Évaluation de la qualité des données.....	89
15.2	<i>Analyse des facteurs</i>	<i>89</i>

15.2.1	Distribution temporelle des bris	89
15.2.2	Distribution des bris selon le type d'infrastructures	90
15.2.3	Distribution des bris selon le type d'équipement	91
15.2.4	Analyse des causes des bris d'infrastructures souterraines au Québec	92
16	ANALYSE DES RAPPORTS D'INTERVENTION DE LA CNESST	97
16.1	<i>Présentation des rapports d'intervention de la CNESST</i>	97
16.2	<i>Analyse des rapports</i>	98
16.2.1	Sélection des variables.....	98
16.2.2	Distribution des interventions selon le type de danger.....	98
16.2.3	Analyse des causes.....	99
17	COMPARAISON DES BRIS DE CONDUITES DE GAZ AUX ÉTATS-UNIS ET AU QUÉBEC.....	105
17.1	<i>Comparaison des principales causes</i>	105
17.2	<i>Comparaison des équipements d'excavation</i>	106
17.3	<i>Comparaison des travaux pendant lesquels les bris sont enregistrés</i>	107
18	CONCLUSION PARTIELLE.....	109
CHAPITRE 5 - ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES ET PROBLÈMES PERSISTANTS		110
19	FACTEURS DE RISQUES.....	111
19.1	<i>Manque de formation</i>	112
19.2	<i>Manque d'expérience</i>	113
19.3	<i>L'habitude</i>	114
19.4	<i>Le manque de supervision sur le chantier</i>	114
19.5	<i>Le gain de temps /gain d'argent</i>	115
19.6	<i>L'inconscience du danger/mauvaise perception du risque</i>	115
19.7	<i>Les conditions climatiques</i>	115
20	RÉSULTATS DES SONDAGES.....	116
20.1	<i>Nature des répondants</i>	116
20.2	<i>Distribution des facteurs de risque</i>	117
20.3	<i>Formation suivie par les employés</i>	118
20.4	<i>Type de formation à envisager</i>	118
20.5	<i>Problèmes sujets aux discussions</i>	119
CONCLUSION.....		120
ANNEXE : RAPPEL THÉORIQUE SUR LA RÉGRESSION LOGISTIQUE BINAIRE		121
21	RÉFÉRENCES.....	122



CHAPITRE 1

CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

1 MISE EN CONTEXTE


De nombreux bris sur les infrastructures souterraines au Québec

Sous la surface de la terre, que ce soit en ville ou à la campagne, 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. Parmi les équipements installés sous terre, il y a 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 canaux d'irrigation et les oléoducs et gazoducs (Zimmer, 2011). Au Québec, que ce soit dans les régions urbaines ou rurales, les infrastructures souterraines représentent plus d'un million de kilomètres de réseaux enfouis. Ces réseaux s'avèrent être particulièrement denses en milieu urbain et il devient difficile d'effectuer des travaux sans les heurter. En 2017, **plus de 5 bris** ont d'ailleurs été quotidiennement enregistrés au niveau de ces infrastructures, soit une augmentation de 11% par rapport à 2016. Sur les 5 dernières années, cela représente en moyenne plus de 1200 bris par année (Info-Excavation, 2018).

Une législation limitée

Des études analytiques effectuées par Info-Excavation (un centre de référence en Amérique du Nord, spécialisé dans le traitement des demandes de localisation et la prévention des dommages liés aux travaux d'excavation) ont permis de constater que ces accidents pouvaient être dus à différentes causes. Ainsi, en 2017, 57 % des bris au Québec ont eu pour cause principale des pratiques d'excavation déficientes et 34 % sont dus à une absence de demande de localisation avant de creuser (Info-Excavation, 2018). Aujourd'hui, au Québec, l'article 3.15.1 du Code de sécurité pour les travaux de construction au Québec exige que l'employeur vérifie s'il y a des canalisations souterraines dans le périmètre des travaux à exécuter et, le cas échéant, situe leur emplacement exact sur le terrain (Gouvernement du Québec, 2010). Mais il n'existe aucune loi obligeant clairement les propriétaires d'infrastructures ou les entrepreneurs à effectuer une demande de localisation auprès d'Info-Excavation. L'Ontario, pour sa part, a pris des mesures afin de prévenir les bris par des tiers et ainsi diminuer les conséquences associées en adoptant le 19 juin 2012, la Loi 8, instaurant un système d'information obligatoire sur les infrastructures souterraines (Gouvernement de l'Ontario, 2012).

Au printemps 2017, en prenant exemple sur l'Ontario et sur tous les États américains et en raison du taux persistant de négligence, le Sénat a adopté le projet de loi fédérale S-229 sur la prévention des dommages aux infrastructures souterraines (Sénat du Canada, 2017). Le projet de loi inclut notamment les points suivants : (1) que les propriétaires et exploitants d'une infrastructure souterraine relevant de la compétence fédérale inscrivent l'infrastructure souterraine à un centre de notification et fournissent les renseignements exigés sur celle-ci. De



plus, qu'ils marquent au sol son emplacement suite à une demande de localisation (2) que les personnes prévoyant effectuer des travaux qui entraînent une perturbation du sol sur un territoire de compétence fédérale avisent de ce projet les propriétaires ou exploitants de l'infrastructure souterraine qui se trouve sur ce territoire et qui pourrait être endommagée par les travaux d'excavation.

Au Québec également, le gouvernement se questionne sur la mise en place d'une législation spécifique pour les infrastructures sur des terres provinciales (ce qui constitue la majeure partie des infrastructures au Québec). Ces nouvelles législations reposent toutes sur les mêmes principes :


- obligation pour les propriétaires d'infrastructures souterraines de s'inscrire à un centre de notification,
- obligation pour les entrepreneurs de présenter une demande de localisation avant de creuser,
- obligation de localiser leur réseau pour les propriétaires d'infrastructures à la suite d'une demande de localisation.

Le pourcentage de bris causés par l'absence d'une demande de localisation demeure élevé sachant que ces bris sont facilement évitables. Finalement, la méconnaissance de la localisation précise des réseaux d'infrastructures souterraines (télécommunications, électricité, gaz, eau...) ainsi que les mauvaises techniques d'excavation conduisent à de nombreux accidents lors de travaux à proximité de ces réseaux (Info-Excavation, 2016; Madryas, 2008).

Des bris qui occasionnent des coûts et des risques pour les travailleurs

Si l'infrastructure souterraine est endommagée par des travaux d'excavation mal effectués, alors la sécurité du public et des travailleurs, ainsi que l'intégrité de ce réseau souterrain sont exposées à des risques (CERIU & Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, 2012; Conference Board du Canada & Union des Municipalités du Québec, 2003; Info-Excavation, 2016; Parlement du Canada, 2014). En outre, ces bris entraînent un coût important, évalué par le CIRANO à **123 millions de dollars** en 2016, une augmentation de 13 % par rapport à 2015. Les coûts peuvent être de différents ordres : frais de remplacement des matériaux, frais des outils de réparation, coûts de la main-d'œuvre et frais généraux administratifs ainsi que des coûts indirects liés à plusieurs aspects sociaux, économiques et environnementaux tels que l'interruption des services (**79% des bris** en ont occasionné en 2016), le retard dans l'exécution des travaux et la perturbation de la circulation (De Marcellis-Warin et al. 2015).

Ces accidents engendrent ainsi, certes des coûts matériels, mais mettent aussi en danger les ouvriers participant aux travaux d'excavation ainsi que le personnel des services d'urgence en les



exposant à des blessures graves et parfois à des situations qui pourraient s'avérer être mortelles (David J. Edwards & Gary D. Holt, 2008, 2010; Haslam et al., 2005; Lingard Helen, Cooke Tracy, & Gharaie Ehsan, 2013; Woodroffe & Ariaratnam, 2008).


Les principaux risques auxquels sont exposés les travailleurs qui œuvrent dans les excavations sont les risques d'ensevelissement, les risques d'électrocution en présence de lignes électriques et aussi les risques de blessures en cas de bris accidentel de canalisations souterraines (ASP Construction, 2012). Lorsque l'on considère les bris de conduite de gaz, le danger pour les travailleurs et les pompiers est très important car il existe un risque non négligeable d'explosion. Une attention particulière sera donc portée aux infrastructures gazières et électriques, d'une part parce qu'elles occasionnent des risques additionnels pour les travailleurs (y compris les travailleurs des entreprises propriétaires des infrastructures et des services d'urgence) et la société en général, et d'autre part parce que ces deux types d'infrastructures représentent, en 2017, 43,7 % des infrastructures endommagées par des tiers (Info-Excavation, 2018). Plus particulièrement, les seuls bris liés à des travaux effectués à proximité des réseaux de gaz représentent en fonction des années de 30 à 40% de tous les bris par des tiers au Québec et sont une source d'inflammation ou d'explosion susceptibles d'entraîner des conséquences dramatiques pour les travailleurs.

Importance d'identifier précisément les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs pour une meilleure prévention

Même si au Québec aucun décès n'est à déplorer suite à un bris d'infrastructure souterraine, des accidents avec décès sont survenus dans d'autres provinces. En Ontario par exemple, 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 une moyenne annuelle de plus de 1600 bris d'infrastructures (Assemblée législative de l'Ontario, 2012).

Aux États-Unis, le *US Department of Transportation*, section *Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration* compile chaque année les incidents graves pour chaque type d'opérateurs de pipeline (pétrole et gaz). Même si l'on est conscient que le type et le nombre d'infrastructures souterraines ne sont pas comparables entre le Canada et les États-Unis, les statistiques américaines sont assez alarmantes et confirment qu'un risque est bien réel et présent. Depuis 2011, en ne considérant que les impacts causés par des bris sur des pipelines de pétrole et de gaz, on compte 302 blessés et 65 morts aux États-Unis (*US DOT Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, 2016*).

Ainsi, malgré les évolutions réglementaires en cours et le nombre somme toute important de décès ou blessures liés à des bris d'infrastructures à travers le Canada, il n'existe pas à l'heure actuelle d'étude analysant et traitant spécifiquement des risques pour les travailleurs lors de bris d'infrastructures souterraines. Au Canada, il n'existe pas à ce jour de bases de données



structurées sur les travailleurs blessés ou morts spécifiquement reliés aux bris des infrastructures souterraines. Actuellement, nul ne sait au Québec avec un degré de précision acceptable combien il y a de blessés chez les travailleurs en lien avec des bris d'infrastructures ni les circonstances qui ont amené à leurs blessures. On imagine, intuitivement, qu'il y a des coûts affectant les entreprises et la société en général reliés à ces blessés. Mais il faut être en mesure de témoigner plus précisément de la teneur de ce risque pour les travailleurs. Jusqu'à présent, peu d'études analytiques sur l'identification et l'analyse des risques pour la santé et sécurité des travailleurs exposés aux bris d'infrastructures ont été réalisées. Le présent projet de recherche s'attaque donc à un sujet important, mais jusqu'à maintenant encore peu étudié.

2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE


Ce contexte de changement législatif, les bris fréquents au Québec et les dommages potentiels qui en découlent justifient le besoin d'une étude précise sur l'identification des risques pour la sécurité et santé des travailleurs dans le cas des bris d'infrastructures souterraines pendant des travaux d'excavation. En effet, il est important de mieux comprendre les risques auxquels sont exposés les travailleurs afin de mieux adapter les efforts de sensibilisation et de mieux cibler les mesures de prévention.

Les principaux objectifs du projet sont :

- Identifier les dangers présents au niveau des infrastructures souterraines ainsi que les différentes conséquences induites pouvant nuire à la santé des travailleurs ;
- Analyser les circonstances et des variables conduisant à des bris ainsi que les relations qui existent entre elles ;
- Analyser les facteurs de risque associés à la santé et sécurité des travailleurs lors de bris d'infrastructures ;
- Étudier les problèmes persistants liés aux méthodes d'excavation, la précision de la localisation et les infrastructures souterraines abandonnées ;
- Identifier les bonnes pratiques de l'industrie ;
- Proposer des recommandations pour les différentes parties prenantes basées sur les bonnes pratiques et la littérature.

L'identification des risques que nous nous proposons de réaliser est donc une étape importante qui va permettre, en identifiant les facteurs qui augmentent leur probabilité, d'aider Info-Excavation ainsi que tous les organismes qui œuvrent en prévention à mieux cibler leurs activités et par le fait même de réduire la facture reliée à ces bris pour les entreprises, la population, les municipalités, les services d'urgences, etc.

Ce projet est d'autant plus pertinent que les réseaux techniques urbains sont de plus en plus enfouis et que les chantiers d'infrastructures (que l'on parle de rénovation ou de nouvelles




constructions), bien qu'en ralentissement au Québec (Commission de la Construction du Québec, 2016), sont encore bien présents. À Montréal, la situation est même à une augmentation des chantiers de construction : en 2016, la Ville prévoyait l'ouverture de 400 chantiers totalisant des investissements record de 531 millions de dollars (Touchette, 2016).

L'importance de ce projet réside dans le fait que ces résultats vont permettre à Info-Excavation d'avoir une meilleure connaissance des risques liés à la santé des travailleurs et de cibler ses efforts de prévention en termes de communication auprès des parties prenantes pour améliorer les pratiques d'excavation, les encourager à faire une demande de localisation avant tout travail d'excavation, être conscient de la réalité des dangers et les responsabiliser de plus en plus. En ayant une meilleure connaissance des risques pour les travailleurs, Info-Excavation pourra œuvrer activement dans la prévention des bris au Québec et espérer améliorer les pratiques d'excavation en faisant de la sensibilisation aux risques d'accident ainsi que limiter les bris avant qu'un drame de ce type ne survienne au 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 4 chapitres du rapport :

- Le **premier chapitre** vise à présenter la **méthodologie de recherche** qui a été suivie dans ce projet afin de répondre aux objectifs de la recherche.
- Le **deuxième chapitre** présente les résultats d'une **revue de littérature** académique et technique identifiant les principaux dangers associés aux infrastructures souterraines ainsi que leurs conséquences sur la santé des travailleurs se trouvant à proximité des conduites. Pour chaque type d'infrastructures, nous proposons une liste des différents dangers associés. Finalement, chaque type de dangers est illustré par des exemples concrets de bris qui se sont produits au Québec, au Canada ou dans d'autres pays. L'objectif de cette revue des écrits est de présenter un état des connaissances existantes sur les risques pour les travailleurs lors de bris d'infrastructures.
- Le **troisième chapitre** fera l'objet d'une **analyse statistique de bases de données d'accidents** pour identifier les facteurs pouvant induire des bris d'infrastructures souterraines ainsi que les variables qui rentrent en jeu dans la gravité d'un accident. Différentes bases de données ont été identifiées et ce chapitre est divisé en fonction de la base analysée : la base de données des conduites de distribution de gaz aux États-Unis, la base de données des conduites de distribution des hydrocarbures liquides aux États-Unis, la base de données des infrastructures de gaz et d'hydrocarbures au Canada, la base de données ORDI de toutes les infrastructures au Québec gérée par Info-Excavation et les rapports d'enquête de la CNESST sur les conditions de travail sur les chantiers d'excavation.

- 
- Le **quatrième chapitre** se focalisera sur l'identification des principaux facteurs de risque qui augmentent la probabilité qu'il y ait des décès et blessures au Québec pour les travailleurs exposés à des bris d'infrastructures. Ils seront identifiés dans la littérature et nous tenterons de les prioriser par ordre d'importance grâce à des rencontres avec des représentants des propriétaires d'infrastructures ou des entreprises d'excavation et également grâce à des enquêtes.

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 2

MÉTHODOLOGIE

Afin de déterminer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs qui sont exposés à des bris d'infrastructures souterraines suite à une excavation, nous avons adopté une démarche en cinq étapes qui ont été menées en partie successivement avec certains éléments réalisés néanmoins en parallèle :

- **Étape 1 : Revue de littérature**
 - Pour identifier les dangers lors de bris d'infrastructures souterraines pour la santé et la sécurité des travailleurs.
 - Pour identifier les facteurs de risque associés à la SST lors de bris d'infrastructures.
- **Étape 2 : Analyse statistique de plusieurs bases de données** (États-Unis, Canada et Québec) d'accidents de bris d'infrastructures souterraines pour quantifier les risques que peuvent subir les travailleurs et identifier les causes entraînant des conséquences en termes de santé / sécurité.
- **Étape 3 : Consultation des différentes parties prenantes touchées par les bris d'infrastructures souterraines au Québec** pour identifier les facteurs de risque qui augmentent la probabilité qu'il y ait des décès ou des blessures pour les travailleurs exposés à des bris d'infrastructures ainsi que pour nous fournir des exemples concrets d'accidents passés.
 - Entrevues avec des propriétaires d'infrastructures souterraines, des entrepreneurs en excavation, des municipalités et une école de formation (6 entrevues).
 - Focus group avec des propriétaires d'infrastructures souterraines, des représentants des municipalités et des entrepreneurs en excavation (13 participants).
 - Enquête interactive auprès des participants du Congrès annuel 2017 d'Info-Excavation tenue à Saint-Sauveur (QC) (88 répondants).

4 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans l'objectif de déterminer et classifier les dangers associés aux infrastructures souterraines (infrastructures électriques, infrastructures gazières, infrastructures d'hydrocarbures liquides, infrastructures de télécommunication et infrastructures d'égouts/aqueduc) ainsi que les différents types de conséquences sur la santé des employés exposés à des bris d'infrastructures, une revue de la littérature a été menée.

Les premières recherches focalisées sur les dangers liés aux bris d'infrastructures souterraines en cas d'excavation, ont révélé un manque de ressources scientifiques et d'études dans ce domaine. Ainsi, une stratégie de recherche plus générale a été effectuée en incluant des mots clés en français et en anglais *risk, safety worker, facilities, buried*. Après avoir bien cerné la portée et les enjeux de l'étude, des recherches relatives à chaque type d'infrastructures ont été réalisées.

Cette revue de la littérature a été basée globalement sur des bases documentaires d'institutions comme l'Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ), l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), l'*Infrastructure Health & Safety Association* (IHSA), *Canadian Common Ground Alliance* (CCGA) et la Commission des normes, de l'équité, de la Santé et de la Sécurité du Travail au Québec (CNESST) ainsi que des mémoires sur des sujets de recherche connexes à notre étude. Les principaux documents sélectionnés sont des guides techniques réalisés par des propriétaires d'infrastructures à l'égard des entrepreneurs, des réglementations et normes, des rapports scientifiques, des mémoires et des livres. D'autres recherches ont été menées pour illustrer les dangers identifiés auparavant par des exemples concrets d'accidents produits au Québec et outre-mer. Ces exemples ont été tirés des bases documentaires des organismes tels que la CNESST ou des articles de journaux sur la sécurité comme OHSInsider.

Une deuxième revue de littérature a été réalisée afin d'identifier les facteurs de risque associés à la santé et à la sécurité des travailleurs lors de bris d'infrastructures. Cette revue de littérature a été complétée par une consultation des différentes parties prenantes impliquées en cas de bris d'infrastructures.

5 ANALYSE DES BASES DE DONNÉES D'ACCIDENTS DE BRIS D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES

Afin de mieux comprendre, d'expliquer et de quantifier les risques auxquels sont exposés les travailleurs dans le cas des bris d'infrastructures souterraines, plusieurs études d'exploration des bases de données ont été menées.

a. Pour les États-Unis :

- L'*US Department of Transportation, section Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration* compile chaque année les incidents graves pour chaque type d'opérateurs de pipeline (pétrole et gaz) et la base de données est disponible en ligne (*US DOT Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, 2016*).

Nous nous sommes tout d'abord attardés sur les accidents de **bris de conduites de gaz naturel aux États-Unis entre 1970 et 2016** puisqu'il s'agit d'une base de données complète regroupant des variables concernant les conditions de travail, la nature du gaz, les méthodes d'excavation, le nombre de blessés et de morts ainsi qu'une variable détaillée sur le scénario de l'accident. Par ailleurs, le nombre de bris en cas d'excavation entraînant des conséquences sur la santé et sécurité des personnes à proximité du chantier est relativement important (335 blessés et 64 morts pendant 1124 accidents enregistrés) et nous a permis de tirer des conclusions intéressantes.

La même méthodologie de préparation a été réalisée pour la **base de données des bris de canalisations des hydrocarbures aux États-Unis**.

- Le *Common Ground Alliance* compile de la même façon qu'Info-Excavation au Québec, l'ensemble des bris d'infrastructures souterraines causés par des tiers peu importe le type d'infrastructures : réseau électrique, réseau gazier, réseau d'eau, réseau de télécommunication, etc. Cette base de données DIRT¹ (*Damage Information Reporting Tool*) est remplie sur une base volontaire. Une carte interactive et des rapports annuels présentent des analyses des bris en fonction de l'État, du type de travaux, etc. Toutefois, après discussion avec des représentants de la gestion de cette base de données, il s'est avéré que le nombre de blessés et de morts n'était jamais correctement renseigné et que les analyses statistiques que nous souhaitions faire seraient alors dans ce cas non représentatives de la réalité du terrain.

b. **Pour le Québec :**

- une analyse de la **base de données de déclaration ORDI (Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures) des bris d'infrastructures souterraines** a été réalisée. Cette base de données a été créée en 2003 pour la *Common Ground Alliance* (CGA) et est gérée par Info-Excavation au Québec. Les différents intervenants peuvent y enregistrer de façon volontaire en ligne de l'information relative à un événement afférant à une infrastructure souterraine (dommage ou quasi dommage). Une analyse comparative des bris selon le type d'infrastructures (électrique, gazière, hydrocarbures, télécommunication et égouts/aqueduc) a été mise en exergue grâce à l'analyse de la **base de données ORDI des bris enregistrés au Québec**.
- Pour compléter l'étude des causes des bris d'infrastructures souterraines, une étude des **dossiers d'enquête de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) pour lesquels il y a eu infraction à l'article 3.15.1 du Code de construction** (l'article 3.15.1 du Code de sécurité pour les travaux de construction au Québec exige que l'employeur vérifie s'il y a des canalisations souterraines dans le périmètre des travaux à exécuter et, le cas échéant, situe leur emplacement exact sur le terrain (Gouvernement du Québec, 2010)). Il s'agit de rapports disponibles en version papier incluant les descriptions d'intervention des inspecteurs de la CNESST sur des chantiers de construction. Concrètement, les deux variables qui ont été extraites sont la cause d'intervention et les dangers que peuvent subir les travailleurs dans ces circonstances.

¹ De nombreuses analyses de la base de données DIRT sont consultables en ligne à l'adresse suivante : <http://commongroundalliance.com/media-reports/dirt-reports>

c. **Pour le Canada**, nous avons analysé la base de données de l'Office national de l'énergie qui recense l'ensemble des incidents de pipelines (gaz naturel et hydrocarbures) au Canada. Cette base de données affiche les données de 2008 jusqu'à présent pour les incidents signalés en vertu du *Règlement de l'Office national de l'énergie sur les pipelines terrestres* dans le cas de pipelines de compétence fédérale (Office national de l'énergie, 2016).

6 CONSULTATION DES PARTIES PRENANTES

La protection des réseaux et canalisations souterraines est une responsabilité partagée entre tous les nœuds de la chaîne des travaux de construction : les propriétaires d'infrastructures, les entrepreneurs, les municipalités et les écoles de formation. Ainsi, pour compléter la revue de littérature et l'analyse des facteurs de risque entraînant un bris de conduites souterraines, et savoir l'opinion de chaque acteur selon sa situation, plusieurs rencontres ont été organisées.

6.1 Rencontres individuelles avec diverses parties prenantes

Des rencontres et réunions téléphoniques avec trois propriétaires d'infrastructures, deux municipalités québécoises différentes et une école de formation ont été menées pour approfondir davantage les risques liés aux bris d'infrastructures. Les entrevues ont servi à bonifier la revue de littérature pour avoir des exemples précis et concrets illustrant certains risques pour les travailleurs et le contexte dans lequel les accidents pouvaient survenir. Il ne s'agissait en aucun cas d'utiliser ces entrevues pour dégager des statistiques ou pour faire des analyses quantitatives, celles-ci étant de nature purement qualitative.

Il s'agissait d'entrevues semi-guidées d'une durée allant de 30 min à 1h30, qui se sont déroulées durant les mois de janvier et février 2017. Les entrevues étaient précédées de l'envoi d'une lettre de présentation et d'un formulaire de consentement, tel que prescrit par le certificat d'éthique CER-1617-07 reçu de l'École Polytechnique de Montréal. Un questionnaire personnalisé selon la position et le rôle de chaque partie prenante dans la chaîne d'excavation était également inclus dans les invitations de rencontre. Ce type d'entrevues permet d'orienter la discussion vers les informations précises utiles dans le cadre du projet et de pouvoir comparer les résultats entre les parties prenantes.

Les objectifs de la rencontre étaient d'(e) :

- Partager leurs expériences concernant les accidents des travailleurs exposés aux bris de câbles souterrains en cas d'excavation (causes, circonstances, facteurs de risque, etc.) ;
- Discuter des mesures qu'ils mettent à la disposition des entrepreneurs ou de leurs employés pour éviter de tels accidents ;
- Identifier les bonnes pratiques en place pour diminuer les risques de blessures chez leurs employés en cas d'exposition à un bris d'infrastructures ;
- Comprendre le statut et la responsabilité du donneur d'ouvrage ou de l'entrepreneur dans le processus d'excavation par des tiers.

6.2 Organisation d'un Focus Group

Les principes de base derrière la conception de la structure des groupes de discussion s'appuient sur quatre éléments :

- Créer un environnement de transfert d'information par lequel les participants peuvent émettre une opinion sur des questions spécifiques, sans subir la pression du groupe ;
- Comprendre les grandes lignes du projet et prendre connaissance des différentes options ;
- Exprimer d'une manière confidentielle leurs besoins, appréhensions à propos du projet ;
- Prendre conscience de l'opinion de l'ensemble du groupe.

Un focus group a été tenu le 9 février 2017 avec huit représentants d'entreprises d'excavation autour de différents sujets comme les méthodes d'excavation utilisées, les réseaux enfouis abandonnés, la précision de la localisation, les risques pour les travailleurs, la formation actuelle et les besoins de formation futurs et les idées d'amélioration en termes de prévention. Le Focus Group s'est articulé autour des grandes questions suivantes :

- *58% des bris d'infrastructures enregistrés au Québec sont causés par des pratiques d'excavation déficientes. Comment peut-on expliquer cela ? Quels sont les problèmes que vous rencontrez sur le terrain ?*
- *Quels sont les risques potentiels que rencontrent vos employés exposés à des bris d'infrastructures souterraines ? Appliquez-vous un processus de sécurisation en parallèle ?*
- *Est-ce que vos employés suivent des formations sur les risques liés aux risques de la présence de réseaux souterrains lors d'excavation ? Si oui, qui donne cette formation (une entreprise de formation, votre propre entreprise, la compagnie propriétaire des infrastructures souterraines ?)*
- *Si une formation devait être développée et donnée à vos employés, seriez-vous prêts à ce qu'ils y participent ? Pensez-vous qu'Info-Excavation pourrait tenir un rôle de formateur sur les risques liés aux travaux d'excavation en présence d'infrastructures souterraines ?*

Il s'agissait donc de partager les expériences des entreprises concernant les risques pour les travailleurs dans leur organisation lorsqu'ils sont exposés à des infrastructures souterraines lors de travaux d'excavation et de discuter des problèmes et contraintes auxquels peut faire face un entrepreneur lors de travaux d'excavation.

Une lettre d'invitation avait été envoyée au préalable au participant afin de lui expliquer comment allait s'articuler la rencontre. En plus des discussions libres, les participants ont été amenés à répondre à des questions plus précises en utilisant un logiciel en ligne. Les résultats étaient projetés en temps réel, permettant ainsi aux participants d'évaluer la tendance générale tout en préservant l'anonymat des répondants

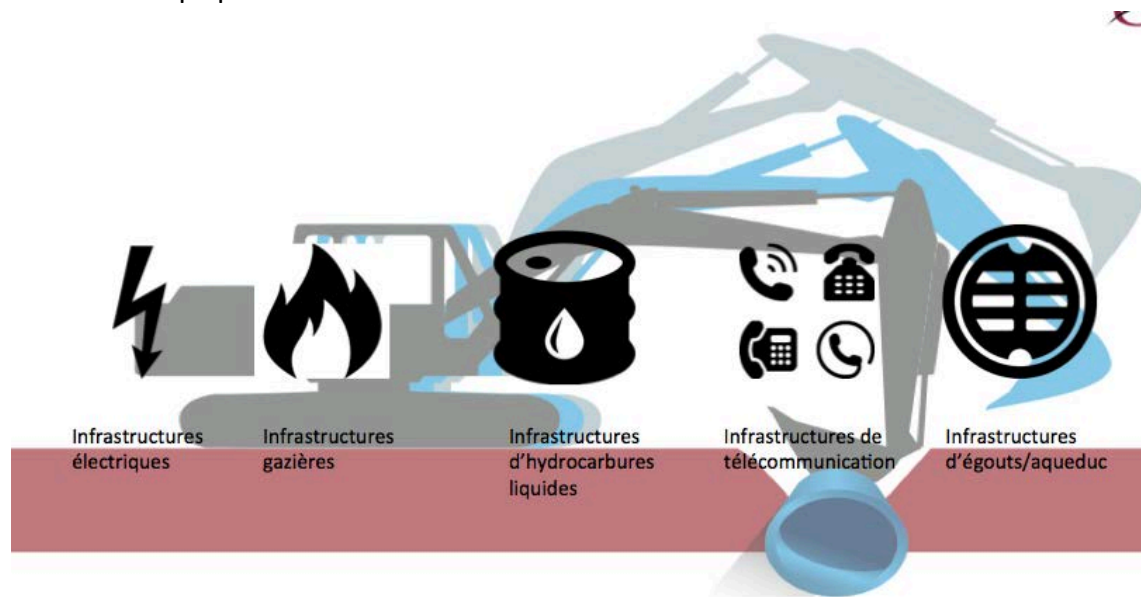
6.3 Enquête par questionnaire interactif

Les échanges lors du Focus Group ont permis d'affiner le questionnaire interactif et ce questionnaire plus élaboré a été administré lors du 11^e congrès annuel d'Info-Excavation. 88 participants au Congrès ont participé au questionnaire interactif qui comprenait cinq questions concernant la formation des travailleurs sur les chantiers de construction et les facteurs de risques pouvant entraîner un accident.



CHAPITRE 3
REVUE DE LITTÉRATURE SUR LES
DANGERS POUR LES TRAVAILLEURS
EXPOSÉS À DES BRIS
D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES

Les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs dépendent de l'infrastructure touchée. Ainsi, dans ce chapitre, nous allons identifier les dangers pour chaque type d'infrastructure souterraine qui peut être heurté.



Pour chaque infrastructure, nous présenterons les dangers associés ainsi que quelques exemples d'accidents qui ont eu lieu au Québec ou ailleurs dans le monde. Ces exemples ont été choisis en fonction de différents critères : leur pertinence par rapport au sujet à l'étude et leur localisation, de préférence au Québec. Le fait que ce type d'accident soit relativement fréquent a également été un critère de sélection. Toutefois, il est important de noter que les exemples présentés ne sont surtout à titre illustratif et ne se veulent pas être exhaustifs de tout ce qui peut survenir lors de bris d'infrastructures souterraines.

7 INFRASTRUCTURES ÉLECTRIQUES



Plusieurs incidents de contact avec des lignes de transport d'électricité souterraines surviennent lors de travaux d'excavation. Ils peuvent générer différents dangers qui nuisent à la santé et sécurité des travailleurs (Association ontarienne de la sécurité dans la construction 2008).

7.1 Dangers associés

Un risque électrique se définit comme une situation dangereuse où un travailleur pourrait avoir un contact électrique avec un équipement ou un fil sous tension dont le choc pourrait lui causer une blessure ; et /ou, la possibilité d'infliger au travailleur une brûlure de coup d'arc, une brûlure thermique ou une blessure par souffle. Nous distinguons quatre types de dangers (Poisson 2009):

- Choc électrique
- Arc électrique

- Incendie
- Explosion

7.1.1 Choc électrique

Le choc électrique provient du passage d'un courant électrique à travers le corps. Ce contact électrique peut causer des mouvements physiques involontaires qui résultent de la transmission des flux nerveux vers les muscles. La contraction des muscles peut entraîner des conséquences diverses, selon les muscles qui sont stimulés (Hébert 2013).

L'intensité d'un choc électrique dépend de la tension du câble électrique, de la durée du contact, du degré d'humidité à proximité de la surface du contact et de la dureté de la peau (Venditti 2014). Il engendre ainsi différentes conséquences :

- **Tétanisation** : Un choc électrique peut conduire à une contraction involontaire des muscles connue sous le nom de tétanie. Ceci empêche l'individu de lâcher le conducteur sous tension. Dans certains cas, les muscles du cœur peuvent aussi être contractés ce qui entraîne l'asphyxie et à terme la mort.
- **Projection** : Dans certaines situations, la victime peut être projetée loin de la source. La durée du choc est alors plus courte, et les conséquences directes s'en trouvent donc réduites. Toutefois, la projection peut entraîner d'autres effets, comme la chute de la victime (Hébert, 2013).
- **Brûlures électriques** : C'est le résultat de la chaleur libérée par le choc électrique dans le corps. Les câbles électriques souterrains distribuent un courant de haute tension susceptible de causer des brûlures internes graves engendrant des lésions musculaires. Elles peuvent avoir comme conséquences la perte de fonctions musculaires, les amputations et le décès.
- **Fibrillation ventriculaire** : C'est une irrégularité totale du rythme des battements du cœur qui peut survenir immédiatement lors d'un choc électrique ou dans les 24h qui suivent l'accident. Dans cette situation, l'individu perd conscience et a une crise cardiaque s'il ne subit pas rapidement un autre choc électrique par un défibrillateur (ISHA 2008).
- **Troubles nerveux** : Des dommages aux nerfs peuvent apparaître lors d'un choc électrique à haute tension. Ils dépendent de l'importance de la chaleur libérée dans le corps et peuvent se manifester dans la perte de mémoire ou même des troubles psychiatriques (Hydro Québec 2016).

L'échelle ci-dessous fournit un aperçu des effets ressentis selon l'intensité du courant au moment du choc, pour une durée de passage de courant d'environ 2 secondes.

300 mA	Brûlures
80 mA	Fibrillation ventriculaire
50 mA	Arrêt respiratoire
10 mA	Non-lâcher
3 mA	Douleur
1 mA	Perception

Tableau 1 : Effets du passage d'un courant électrique dans le corps humain en fonction de la tension (pour une durée de passage d'environ 2 secondes) (Source : (Ross 2007))

7.1.2 Arc électrique

Un arc électrique est une décharge d'énergie produite entre deux conducteurs. Elle est sous forme d'étincelle lumineuse souvent arquée lumineuse, d'une température qui s'élève à plus de 3 000 °C.

L'arc électrique se produit dans différents cas :

- Court-circuit : lors de travaux d'excavation, les isolations peuvent être endommagées. Ce qui conduit à une liaison à faible résistance entre deux conducteurs.
- Dommages mécaniques : Plusieurs câbles peuvent subir des ruptures dues à des dommages mécaniques et des mouvements de terrain.

Ce type d'accident peut avoir des conséquences néfastes sur la santé et sécurité des travailleurs qui se trouvent près de la source. En effet, l'arc électrique libère une énergie thermique qui est souvent accompagnée d'une source de radiation. Il cause aussi une expansion explosive de l'air et du métal (Forma TIS 2014).

Parmi les conséquences générées par l'arc électrique, nous distinguons les :

- Traumatismes oculaires : Suite à une projection de métal à très haute température, l'individu peut subir une blessure au niveau des yeux. Il peut s'agir d'une inflammation de la membrane muqueuse recouvrant le devant de l'œil et se manifeste dans des douleurs plus ou moins graves selon l'intensité de l'éclat et une rougeur de l'œil. La lumière intense peut causer des problèmes permanents de la vision (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail 2011).
- Brûlures par flash électrique : La chaleur dégagée par l'étincelle peut être intense, elle peut entraîner des brûlures cutanées profondes souvent graves et ayant des conséquences néfastes à long terme comme les brûlures mixtes dues à l'arc électrique (Jowdar et al. 1996).
- Traumatismes auditifs : L'éclat électrique émet une dangereuse onde sonore. Ce bruit peut aller à 141.5 décibels à 60 cm de la source. Parmi les dommages d'une telle onde de pression sonore, l'individu peut subir une rupture des tympons (Poisson 2009).

7.1.3 Explosion

L'explosion d'un câble électrique souterrain se produit souvent lorsqu'il est percé par un objet tranchant comme le cas d'un excavateur. Elle peut être extrêmement grave lorsqu'elle est accompagnée d'une surchauffe du câble. Dans certains cas, le cuivre peut atteindre sa température de fusion qui est 1085 °C. Ainsi, une expansion peut avoir lieu et entraîner une multitude de blessures aux employés à proximité de la source (Forma TIS 2014) :

- Problèmes pulmonaires : l'explosion s'accompagne de projections de métaux en fusion, ainsi qu'une chaleur émise par le gaz libéré. Ceci peut entraîner des dommages pour les poumons. Il s'agit du blast pulmonaire qui est un traumatisme créé par la surpression de l'air. En effet, l'onde de choc frappe la poitrine et provoque des dégâts à l'intérieur de l'organisme et précisément au niveau des poumons (Bertin-Maghit et Tan, 2006).
- Blessures : L'explosion libère des débris de différentes natures qui peuvent causer des blessures au niveau des yeux, la peau et même des blessures internes.
- Chute : Suite à l'explosion, l'individu se voit obligé de s'éloigner au maximum de la source de l'explosion et risque ainsi des conséquences nuisant à sa vie.



Figure 1 : Expansion explosive au niveau d'un câble (Source : Forma TIS, 2014)

Incendie

Les incendies d'origine électrique sont les plus courants parmi ceux enregistrés au Canada. Ils peuvent se déclencher (Poisson 2009) :

- Suite à un court-circuit, dans la présence d'un combustible qui peut être sous forme de gaz qui s'enflamme rapidement.
- En cas d'arc électrique, les matériaux isolants subissent une surchauffe et une carbonisation. La présence d'arc électrique et du carbone entraîne une flamme.

Un incendie génère plusieurs conséquences dépendant de la gravité de la situation dangereuse (Préventica 2014) :

- **Asphyxie** : La fumée dégagée par l'incendie contient souvent du monoxyde de carbone qui, une fois inhalé, entrave la capacité de l'individu à inspirer et expirer de l'oxygène, ce qui entraîne le phénomène d'asphyxie. Il peut provoquer des comas irréversibles ou une mort instantanée.
- **Intoxication** : Elle est due au monoxyde de carbone, qui constitue souvent le produit principalement toxique. Cette intoxication peut avoir des effets à long terme sur le système nerveux central comme des troubles de la mémoire.
- **Brûlures** : la température des phénomènes thermiques engendre des risques de brûlures très élevés. Il peut s'agir de brûlures cutanées superficielles ou des brûlures graves induisant une amputation complète de l'organe.
- **Problèmes pulmonaires** : Parmi les conséquences qui surviennent à long terme, nous signalons des dégradations de la fonction pulmonaire, dont une affection respiratoire réactionnelle, ou asthme.

7.2 Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs

Bien que les bris d'infrastructures électriques ne représentent que 5,7 % du nombre total des bris enregistrés au Québec en 2017 (Info-Excavation, 2018), leurs conséquences peuvent être néfastes en matière de sécurité des individus qui se trouvent à proximité de l'accident.

Pour illustrer ceci, nous allons présenter dans cette section des exemples de ce type d'accidents:

- Décès de deux travailleurs en Australie suite à un choc électrique (1991).
- Décès d'un opérateur au sol suite à une électrocution en Alberta (2011).
- Dommages psychologiques d'un travailleur au Québec (2012).

7.2.1 Décès de deux travailleurs en Australie suite à un choc électrique

En 1991, un travailleur a subi un choc électrique pendant des travaux d'excavation en Australie. En effet, il était chargé de réparer une fuite d'eau principale, quand il a brisé un câble enterré de 415 volts avec le pied-de-biche qu'il utilisait. Suite au choc électrique, un superviseur a subi un choc électrique mineur par contact avec la victime alors qu'il tentait de l'aider. Les deux personnes ont été réanimées, mais en vain, elles sont mortes (State Energy Commission of Western Australia 1991).

Les causes de cet accident sont multiples :

- Aucune demande de permis d'excavation n'a été demandée (alors qu'il devait le faire).
- Le plan d'infrastructures souterraines qui a été consulté avant le début des travaux n'était pas mis à jour et n'a pas ainsi permis d'indiquer la présence de câbles électriques.

- Des investigations du site de l'accident ont révélé que le câble était non protégé. Il devait être enterré directement dans le sol adjacent à deux conduites d'eau et une canalisation de gaz. Des protections normalement prévues pour protéger les câbles électriques ont été installées au-dessus de la conduite de gaz laissant ainsi le câble non protégé.

7.2.2 Décès d'un opérateur au sol suite à une électrocution en Alberta

Un travailleur a subi un choc électrique en 2011 dans la province de l'Alberta suite à un bris de câbles électriques. Une équipe de 2 travailleurs a été assignée par un superviseur à réparer une fuite d'eau à proximité d'une maison. Le superviseur a considéré qu'un marquage au sol n'était pas nécessaire au départ puisque les travaux devaient uniquement se faire à la pelle (OHSInsider 2011).

Toutefois, la fuite se situait sous le trottoir. Un des deux travailleurs a donc commencé à creuser avec une rétrocaveuse pour soulever les sections de béton, en l'absence du superviseur. Quelques instants plus tard, il a brisé un câble électrique souterrain de 48 pouces qui transmettait un courant électrique de 4100 volts .

Or, l'autre opérateur, debout proche de la rétrocaveuse, tenait une clé métallique lui servant à ouvrir ou couper l'eau pour essayer de trouver d'où vient la fuite. La clé a été le conducteur d'électricité. En effet, le courant a voyagé de la ligne électrique dans l'eau stagnante, alimentant le tuyau d'eau de cuivre dans la tranchée. Le courant s'est déplacé à travers le tuyau à la soupape souterraine et à la clé métallique, électrocutant le travailleur. L'opérateur au sol est décédé d'un arrêt cardiaque suite à une électrocution. L'opérateur qui manoeuvrait la rétrocaveuse n'a pas subi de dommages physiques.



Les principales causes de cet accident sont :

- L'absence de demande de localisation des infrastructures souterraines ;
- Le manque de formation de l'opérateur sur la rétrocaveuse ;
- L'absence de supervision ;
- L'utilisation d'outils conducteurs en présence de ligne électrique.

7.2.3 Dommages psychologiques pour un travailleur au Québec

En 2012, un travailleur a subi un choc psychologique lorsqu'il était en train de scier le pavage d'un trottoir. En effet, en ne sachant pas l'existence des fils électriques sous le pavage, le travailleur les a sciés ce qui a entraîné beaucoup de dommages matériels. Le travailleur a eu peur et a été victime d'un choc psychologique grave. Il a dû être en arrêt de travail pour une longue période (Source : communication personnelle lors des entrevues).

Un risque d'électrification sur les branchements d'eau potable en cuivre lorsque la mise à la terre est mauvaise nous a été rapporté pour le Québec lors de nos consultations auprès des parties prenantes. Une analyse plus approfondie de ce phénomène devrait être faite pour mieux connaître l'ampleur du problème ainsi que les moyens de prévention adéquats à mettre en œuvre.

8 INFRASTRUCTURES GAZIÈRES



On dispose de plus de 10 000 kilomètres de réseau de distribution de gaz au Québec (GazMétro, 2016). En 2017, au Québec, 481 bris ont été enregistrés au niveau de ces canalisations lors de travaux d'excavation (38 % de tous les bris), ce qui a entraîné des coûts directs et indirects considérables ainsi que de multiples dangers pouvant nuire à la sécurité et santé des travailleurs (Info-Excavation 2018).

8.1 Dangers associés

Plusieurs accidents peuvent avoir lieu au niveau des infrastructures souterraines de distribution de gaz entraînant différentes conséquences sur la sécurité et santé des travailleurs, les superviseurs ou toute autre personne collaborant près des conduites. Ces dangers sont liés au fait que le gaz est explosif quand il est sous pression, qu'il est inflammable et que ses produits de combustion peuvent être toxiques (Burlet-Vienney 2015).

8.1.1 Incendie

Le gaz naturel est un combustible. Donc s'il y a fuite de gaz, en présence d'oxygène et d'une source de chaleur, il peut s'enflammer et exploser pour une concentration de gaz naturel dans l'air comprise entre 5 et 15%². Cet accident peut avoir des conséquences néfastes sur la santé et

² Site internet Connaissance des énergies, fiche pédagogique « Gaz naturel, quels dangers ? », disponible à la page <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gaz-naturel-quels-dangers>, consulté le 11 avril 2017.


la sécurité des travailleurs (Commission universitaire pour la santé et sécurité au travail romande 2010) :

- Des agressions thermiques : Elles se représentent souvent dans des brûlures cutanées qui résultent soit d'une manière directe, c'est-à-dire au contact de la peau avec une flamme, soit d'une manière indirecte, par exemple suite à une agression thermique des fumées. Ces brûlures peuvent être superficielles ou profondes selon la durée d'exposition à l'incendie et la rapidité et l'efficacité de l'intervention.
- Des agressions traumatiques : Durant les travaux d'excavation, le travailleur est souvent exposé à des risques liés à l'environnement de travail tels que l'effondrement des parois de l'excavation ou à un objet à proximité de lui ou de chute. Cela fait aggraver la situation en cas d'incendie, et peut lui causer des fractures ou de graves blessures. Par ailleurs, il est possible qu'il subisse un état de stress post-traumatique faisant suite à un événement dans un contexte de mort.
- Des agressions toxiques : Elles sont dues à l'inhalation des fumées d'incendie. En effet, suite à l'accident l'atmosphère devient impropre à la respiration humaine, et ainsi l'individu trouve une grande difficulté à respirer. S'ajoute à cela le fait que les substances libérées pendant un incendie sont toxiques, ce qui augmente le risque d'intoxication chez le travailleur et peut même causer un syndrome de détresse respiratoire.

8.1.2 Explosion

Le risque d'explosion est engendré lorsqu'une inflammation du mélange gaz/air a lieu à l'intérieur de la canalisation de gaz ou à cause d'une importante fuite de gaz qui se propage dans d'autres conduites telles que les égouts. Il est important de préciser que pour qu'il y ait explosion, en cas d'inflammation d'un mélange air/gaz, il faut que le milieu soit confiné. En milieu libre (non confiné), le gaz naturel ne détonne pas car il se dilue rapidement dans l'atmosphère (Connaissances des énergies, 2011). Un rejet de gaz naturel sous pression est aussi responsable de projections d'objets (terre, pierres, objets métalliques). Différentes conséquences peuvent résulter de l'explosion et nuisent à la sécurité et santé des travailleurs (Debien et al. 2006).

- Problèmes auditifs : L'explosion génère souvent une onde de choc due au déplacement d'air. Celle-ci peut engendrer des blessures chez les personnes à proximité de la source et touche très rapidement leurs fonctions vitales comme l'appareil auditif. Les lésions aux tympans peuvent aussi apparaître suite à la forte détonation qu'accompagne l'explosion. Ainsi, le travailleur peut subir une surdité, un étourdissement et voire même une perforation des tympans.
- Des agressions traumatiques : Sous le même effet de l'onde de choc, celle-ci cause des déplacements des obstacles dans sa direction. Ainsi, le travailleur risque non seulement



une projection s'il se trouve très proche de la source de l'explosion, mais aussi l'écrasement avec un objet dangereux. Sous ces circonstances, il peut subir des fractures, des amputations ou même la mort.

8.1.3 Intoxication

Le gaz peut se propager ou s'accumuler dans un milieu confiné. Selon sa composition, il peut rendre l'atmosphère toxique, diminuer la concentration de l'oxygène dans l'air et augmenter le risque de combustion. Ces situations sont particulières, dans la mesure où la zone d'excavation possède généralement un moyen facile d'évacuation et le travailleur n'est pas exposé au gaz pendant une longue durée.

Dans le cas d'une combustion en milieu appauvri en oxygène, ce qui entraîne une production de monoxyde de carbone à partir du gaz naturel, il y a un risque d'intoxication qui dépend de la concentration du gaz dans l'air, de la durée de la fuite de gaz, de la durée d'exposition du travailleur et aussi de son état de santé.

Les conséquences d'une intoxication sont :

- Des symptômes mineurs : Ils se manifestent par les nausées, la fatigue et les maux de tête. Dès l'apparition de ces symptômes, il faudrait prendre les mesures nécessaires avant qu'une asphyxie progressive ne se produise (Connaissances des énergies, 2011).
- Asphyxie : Lors d'inhalation de gaz, celui-ci peut intoxiquer l'organisme en se fixant sur l'hémoglobine et remplace progressivement l'oxygène. L'individu peut sentir quelques symptômes de l'asphyxie comme l'étourdissement et les nausées. Si ces premiers états ne sont pas traités rapidement ou s'il s'agit d'une intoxication au monoxyde de carbone, celle-ci peut être mortelle (Comité régional de sécurité civile, 2002).

8.2 Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs

Les canalisations gazières sont susceptibles de subir un bris, ce qui entraîne alors des dangers très importants pouvant nuire à la santé et sécurité des travailleurs. Pour mettre en exergue ceci, nous allons présenter deux cas d'accidents :

- Explosion d'une conduite de gaz à Canmore en Alberta : Un accident qui s'est produit lors de travaux d'excavation. Nous signalons que cette province a connu 47% du nombre total des bris de conduites de gaz au Canada (Info-Excavation, 2015).
- Explosion et incendie d'une conduite de gaz à Wilmington aux États-Unis : Cet accident datant de 2003 met en jeu les trois dangers, à savoir la fuite du gaz, l'explosion et l'incendie.

8.2.1 Le cas d'une explosion d'une conduite de gaz à Canmore (Alberta) suite à une excavation

Le 26 juin 2015, une fuite de gaz naturel s'est produite dans la ville de Canmore en Alberta, lors de travaux d'excavation. Ce qui a déclenché l'explosion de la conduite et a engendré des blessures mineures chez les individus qui étaient proches de la source et des dégâts matériels. L'accident est survenu à Canmore en Alberta le 26 juin 2015 sur un chantier de construction. Lors d'une excavation, une conduite de gaz a été accrochée. Une importante quantité de gaz s'est propagée dans les environs de la source et a notamment migré vers les maisons voisines, où il s'est accumulé. Après avoir reçu l'appel d'urgence, la compagnie de gaz a envoyé une équipe pour évacuer les 18 maisons des environs et prendre les mesures nécessaires pour arrêter la fuite du gaz.

Vers 17h, l'explosion d'une maison s'est produite. Ceci a engendré des projections de débris, les véhicules stationnés ont été gravement endommagés, et trois personnes ont été blessées et transportées à l'hôpital. Par ailleurs, 430 résidences et commerces ont été privés de gaz et 40 personnes ont subi des blessures mineures (CBC News, 2015).

8.2.2 Explosion et incendie d'une conduite de gaz à Wilmington aux États-Unis

Il s'agit du même type d'accident que celui en Alberta cité précédemment sauf que dans ce cas, des mesures d'évacuation n'ont pas été prises immédiatement, ce qui a entraîné des conséquences plus importantes.

Le 2 juillet 2003, un entrepreneur a été mandaté par la ville de Wilmington dans l'État du Delaware aux États-Unis pour réaliser des travaux publics (réaménagement des trottoirs). Au cours des activités d'excavation, le travailleur a creusé avec une rétrocaveuse car il pensait que c'était sécuritaire, ne voyant pas de marque visible indiquant la présence de réseaux gaziers.

Le bris a entraîné une explosion et un incendie. En effet, suite à la rupture, le gaz s'est propagé dans le sous-sol d'un bâtiment voisin où il s'est accumulé.

Des mesures nécessaires n'ont pas été prises immédiatement puisque le gaz était inodore et l'on ne croyait pas qu'il y ait un danger imminent (*National Transportation Safety Board* 2003).

Vers 13h44, une explosion a détruit quatre bâtiments et a endommagé deux autres résidences à proximité. Trois travailleurs ont subi des blessures graves et onze autres personnes ont subi des blessures mineures.

9 INFRASTRUCTURES D'HYDROCARBURES LIQUIDES

Le Canada dispose de milliers de kilomètres de canalisations transportant différents types d'hydrocarbures : le pétrole, brut c'est-à-dire le pétrole issu d'un gisement naturel, et que l'on exploite sous forme liquide à la pression atmosphérique, l'essence, le diesel, l'asphalte, l'huile à moteur, le carburant pour navire, le mazout de chauffage à usage résidentiel et le carburant pour avions, de même que des centaines d'autres produits.



Plusieurs accidents peuvent se produire au niveau des conduites d'hydrocarbures et principalement du pétrole brut et peuvent entraîner alors une multitude de risques en lien avec la sécurité et la santé des travailleurs.

9.1 Dangers associés

Parmi les dangers susceptibles de se produire lorsqu'une conduite d'hydrocarbure liquide est heurtée lors d'une excavation, on retrouve :

- Fuite
- Explosion
- Émission de nuage toxique

9.1.1 Fuite

La fuite d'hydrocarbures est souvent due à des défaillances naturelles comme la corrosion externe, à des défauts de construction ou même aux facteurs d'ordre humain qui peuvent se manifester lors des travaux d'excavation des terrains. Des analyses menées sur le réseau d'hydrocarbures en France ont confirmé la corrélation qui existe entre le diamètre de la canalisation et le nombre de fuites qui se produisent. En effet, plus le diamètre de la canalisation est petit, plus le nombre de fuites ou de ruptures par kilomètre est moins élevé. La gravité de la fuite dépend aussi de l'engin qui est mis en jeu lors des travaux. Les travaux d'excavation ont conduit à plus de 24% des fuites d'hydrocarbures en France (INERIS, 2005).

Ces bris engendrent différents risques pour la sécurité et la santé des travailleurs exposés :

- Problèmes oculaires : En fonction du type et de la quantité du produit déversé, l'individu peut subir des irritations et des douleurs au niveau des yeux.
- Problèmes respiratoires et nerveux : L'inhalation est une des voies les plus courantes d'exposition aux hydrocarbures. Elle génère des effets tels que des irritations à la gorge et des problèmes au niveau des poumons. Elle peut aussi provoquer une toxicité chronique qui crée des troubles du système nerveux dont les symptômes peuvent se manifester dans une fatigue psychique, une tendance dépressive ou un ralentissement des temps de réaction (Généstal, Cabot, and Anglés 2009).

9.1.2 Explosion

L'explosion est un des dangers les plus graves au niveau des canalisations d'hydrocarbures. Elle peut se produire dans différents scénarios qui peuvent être liés au cycle de vie de la conduite ou à des circonstances associées au manque d'activités de maintenance ou encore à un bris provoqué pendant des travaux d'excavation.

Dans la majorité des cas, l'explosion est le résultat d'une réaction chimique (Margossian 2006) :

- Il peut s'agir d'une combustion lors d'une combinaison d'un hydrocarbure avec l'oxygène. Par exemple en cas de fuite de produits pétroliers.
- En présence d'une source de chaleur, les produits explosifs se décomposent spontanément en créant ainsi une explosion.

Une explosion est souvent accompagnée d'un incendie qui dure plus longtemps et peut générer une fumée noire qui empêche la détection et l'extinction de la source du feu. De tels accidents peuvent avoir des conséquences catastrophiques allant jusqu'au décès des personnes se trouvant proches de l'explosion. Les conséquences les plus courantes de l'explosion et l'incendie concernent surtout l'exposition cutanée et se manifestent dans la plupart des cas par des brûlures aiguës dues à l'inflammation des hydrocarbures. Elles sont souvent non cicatrisables, peuvent entraîner des troubles qui persistent après la guérison ou même parfois une greffe de la peau (Captier, Lebreton, and Griffe 2013).

9.1.3 Emission de nuage toxique

Un dégagement d'un nuage toxique peut se produire suite à une fuite d'hydrocarbures des canalisations. Il peut également être dégagé pendant un incendie qui met en jeu des produits toxiques et non toxiques et se propage ainsi dans l'environnement de l'accident.

Selon la concentration des produits et le temps d'exposition, l'individu peut subir des risques allant d'une blessure légère au décès. Les principaux risques liés à la santé et sécurité des travailleurs se résument dans (Transport Canada, 2016) :

- Asphyxie : Certains types d'hydrocarbures peuvent être toxiques par inhalation et peuvent entraîner des irritations au niveau de la gorge et même une asphyxie lorsque la teneur de l'oxygène descend en dessous de 15%. Cela peut se produire lors d'incendie.
- Intoxication : Suite à une émission des hydrocarbures toxiques, le travailleur peut ressentir des symptômes tels qu'une fatigue, des nausées, un mal de gorge et des yeux en larmes et de la toux.

9.2 Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs

La section précédente a fait l'objet de l'explication des différents dangers et blessures que peuvent subir les personnes à proximité des accidents de bris des conduites d'hydrocarbures. Afin d'illustrer ceci, nous allons présenter un exemple d'accident qui s'est produit :

- Fuite de pétrole suite à un bris lors de travaux d'excavation en 2007 en Colombie-Britannique.
- Explosion d'une conduite d'essence suite à un bris en 2004 en Californie. 4 blessés et 5 décès parmi les travailleurs.

9.2.1 Fuite d'une conduite de pétrole suite à un bris en Colombie-Britannique

En juillet 2007, en Colombie-Britannique, il y a eu un déversement de 234 mètres cubes de pétrole, engendrant des impacts matériels qui auraient pu mettre en danger la santé des individus.

Accident : La conduite de transfert de 24 pouces du quai Westridge, appartenant à la Trans Mountain Pipeline L.P. et exploitée par la Kinder Morgan Canada Inc., a été heurtée et percée par le godet d'une excavatrice d'un entrepreneur pendant des travaux de creusage d'une tranchée en vue de la construction d'un égout pluvial le long d'Inlet Drive, à Burnaby (Colombie-Britannique) (BST, 2008).

Conséquence : La fuite a été arrêtée après 30 minutes, mais un jet de pétrole s'est propagé comme un geyser jusqu'à une hauteur de 12 à 15 m pendant une vingtaine de minutes. 250 habitants des maisons voisines ont dû être évacués. Onze maisons ont été souillées par le pétrole brut ; de nombreuses autres résidences ont dû être remises en état, et quelque 250 résidents du secteur ont évacué volontairement leurs domiciles. L'accident n'a pas causé d'explosion ou d'incendie, et n'a causé aucune blessure ; toutefois, des intervenants d'urgence et deux pompiers appelés sur les lieux de l'incident ont été éclaboussés par le pétrole brut. Deux personnes du public ont aussi été éclaboussées (BST, 2008).

Facteurs contributifs : Différentes causes ont mené à l'accident et à ses conséquences. Avant le début des travaux, il s'est avéré qu'il existait une différence entre la position des conduites sur le dessin de conception, et celle sur un autre dessin d'exécution utilisé dans un précédent chantier de construction, ce qui a entraîné un conflit d'alignement affectant la construction de la tranchée. Mais ceci n'a pas été pris en compte puisque la déclaration n'a pas été faite par écrit par l'entrepreneur. Par ailleurs, il s'avère que le godet de l'excavatrice a heurté la canalisation à cinq reprises avec suffisamment de force pour laisser des rayures sur la canalisation, avant que se produisent les impacts qui ont percé la paroi de la canalisation. N'importe lequel de ces cinq impacts, dont les deux qui ont entraîné la fuite de pétrole, aurait pu alerter les superviseurs sur place du fait qu'il y avait un problème et qu'on venait de heurter une structure souterraine.

Finalement, au moment où l'accident s'est produit, l'inspecteur était absent vu que sa présence était jugée non requise quelques heures avant l'accident (Bureau de la sécurité des

transports du Canada, 2008).

Bien que cet accident n'ait pas engendré des blessures ou des décès, il s'avère être très grave dans la mesure où s'il n'y avait pas eu d'interventions rapides, les individus auraient pu être intoxiqués. En outre, la fuite a généré des résidus d'hydrocarbures (environ 24 mètres cubes) qui se sont installés dans le littoral, dans les marais tout le long de la route. Le déversement de pétrole brut a affecté l'environnement marin de l'Inlet Burrard et a souillé le rivage sur environ 1200 m. Un certain nombre d'oiseaux de rivage ont été contaminés par le pétrole.

3.2.2. Explosion due à la fuite d'essence suite à un bris en Californie

Le 9 novembre, une conduite transportant de l'essence à San Jose, en Californie, a été heurtée par une excavatrice. L'excavatrice était utilisée par un excavateur employé par *East Bay Municipal Utilities District* pour des travaux liés à l'agrandissement d'une conduite d'approvisionnement en eau de grand diamètre à Walnut Creek, en Californie.

Le propriétaire du pipeline et l'*East Bay Municipal Utilities District* avaient travaillé de concert pour réaliser les plans liés à la construction car il était connu qu'il y avait un conflit potentiel entre l'installation de la nouvelle ligne d'eau et le pipeline de pétrole existant.

Toutefois, bien qu'un marquage ne fût pas présent sur le terrain au moment de l'excavation, le plan de construction stipulait que "l'entrepreneur devait vérifier l'emplacement des pipelines de pétrole de 10" avant toute construction entre les stations de traitement de 100 + 00 à 101 + 00 ". Or, les travailleurs de la compagnie d'excavation n'ont pas exposé le pipeline de pétrole à l'aide d'outils à main à cet endroit. Ils ont plutôt utilisé l'excavatrice qui a finalement heurté le pipeline avec l'une des dents du godet d'excavation.

Au moment de la perforation du pipeline, de l'essence à haute pression a été immédiatement relâchée dans la zone environnante. Les opérateurs du centre de contrôle ont immédiatement remarqué la forte chute de pression et ont commencé à fermer la canalisation. Plusieurs secondes après que la conduite ait été heurtée, de l'essence s'est enflammée à cause de travaux de soudeurs employés d'une compagnie travaillant également sur la nouvelle conduite d'approvisionnement en eau.

L'explosion et le feu qui ont suivi ont entraîné la mort de quatre opérateurs et d'un superviseur et cinq autres travailleurs ont été gravement blessés. Une structure adjacente de deux étages a été brûlée et d'autres biens ont été endommagés.

Selon les résultats des investigations réalisées, la cause directe de l'accident a été le coup de l'excavatrice frappant le pipeline et le perforant. Cependant, plusieurs facteurs ont contribué de manière significative à cet accident. Il s'agit notamment d'une localisation insuffisante des

conduites, d'un contrôle et d'une supervision inadéquats de la sécurité des projets et de la communication, et du non-respect de la réglementation relativement à la demande auprès d'un centre d'appel unique avant toute excavation (Office of the State Fire Marshal (California) 2005).

10 INFRASTRUCTURES DE TÉLÉCOMMUNICATION

Les services de télécommunication offerts sur le marché concernent majoritairement la téléphonie fixe et mobile, la télédiffusion, l'accès Internet et les services connexes comme l'hébergement de données. Ils sont transmis par le biais d'infrastructures de télécommunication qui se matérialisent dans l'ensemble des câbles en cuivre, des fibres optiques, ainsi que de tous les équipements de raccordement ou de répartition.



Depuis de nombreuses années, le Québec s'est lancé dans l'enfouissement de la plupart des infrastructures de télécommunication dans les zones urbaines (Ferland 2010). Aujourd'hui, on dispose de milliers de kilomètres de câbles transmettant les services de télécommunication. En 2017, selon la base de données ORDI, gérée par Info-Excavation, 619 bris par des tiers ont été dénombrés sur des infrastructures souterraines de télécommunication (Info-Excavation 2018). Cela représente 49% du nombre de bris enregistrés au Québec en 2017, toutes infrastructures confondues. Ceux-ci peuvent engendrer différents dangers.

10.1 Dangers associés

Les bris d'infrastructures de télécommunication représentent presque la moitié des bris qui se produisent au Québec. Ceci est dû à plusieurs facteurs, dont la profondeur d'enfouissement des câbles de télécommunication. En effet, les câbles de télécommunication se trouvent à quelques centimètres de profondeur. De plus, ces conduites sont majoritairement fabriquées en PVC, donc sont plus susceptibles de briser.

Il y aurait peu de dangers liés à la sécurité et santé des individus qui se trouvent à proximité d'un accident de bris des câbles de télécommunication. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'un bris de fibre optique, le risque de blessure peut être plus important (Department of Labour, Wellington 2002) :

- Exposition au faisceau des fibres optiques

Les câbles contenant des fibres optiques transportent des signaux lumineux générés par des lasers de classe 3B (Classe 3B : Lasers toujours dangereux en vision directe ou en réflexion spéculaire. Les réflexions diffuses de ces lasers ne représentent normalement pas un danger, mais une évaluation des risques doit être faite en fonction du type de montage et de son

utilisation). Ils émettent des rayons infrarouges qui ne sont pas visibles à l'œil nu, ce qui peut augmenter la gravité du problème.

Cela signifie que l'exposition au faisceau peut être nocive pour le corps et peut engendrer des blessures (Ross 2004) :

- Blessures aux yeux : Une exposition oculaire de 5 secondes à une distance de 110 mm ou moins peut endommager la rétine en créant ainsi des brûlures. Ce qui peut entraîner en cas extrême une perte de vue localisée ou permanente. Par ailleurs, la cornée peut subir des brûlures dues aux rayons infrarouges qui pourront être guéries en quelques jours si elles sont superficielles. Si elles sont profondes, une intervention chirurgicale peut être nécessaire.
- Lésions sur la peau : Les blessures causées par l'exposition au faisceau d'un laser de classe 3B sont thermiques. Il peut s'agir de brûlures ou de sécheresse excessive de la peau.

Toutefois, suite à nos consultations avec des experts, il semble que le risque d'une exposition à de la fibre optique pour la santé et la sécurité des travailleurs soit minime puisque la fibre a tendance à s'étirer. Ainsi, lorsque l'excavatrice accroche la fibre optique, elle cède rarement, mais elle tend plutôt à s'allonger.

10.2 Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs

Les dangers liés à la sécurité des individus en cas de bris d'infrastructures de télécommunication sont donc principalement associés aux fibres optiques et même, dans ce dernier cas, sont très limités.

Les conséquences d'un bris d'infrastructures de télécommunication sont alors davantage des conséquences d'ordre économiques liées à l'interruption des services. Un bris cause beaucoup d'impacts sur les services à la population car la dépendance aux technologies est accrue. Bien que la sécurité des travailleurs n'était pas en danger dans ce cas, nous allons présenter tout de même un exemple d'accident qui a eu lieu au Québec en 2009 (Info-Excavation, 2016b) : un bris de fibres optiques a engendré un arrêt des applications informatiques dans certains établissements de santé. Dans ce cas, indirectement, la santé de la population pouvait être en danger.

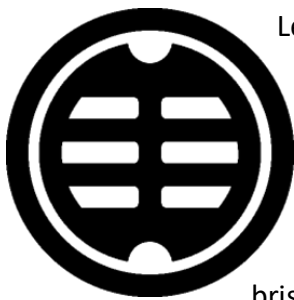
10.2.1 Bris de fibres optiques au Québec entraînant un grand impact sur les services de santé

Le 9 janvier 2009, un câble de fibres optiques a été sectionné entre deux villes au Québec et a généré d'importantes conséquences sur les services de santé. En effet, des établissements n'étaient plus en mesure de joindre le centre de traitement informatique d'une autre ville

puisqu'ils n'avaient plus aucun accès à l'application informatique. Par ailleurs, un laboratoire a dû être fermé (Info-Excavation, 2016b).

Un tel accident représente un important impact sur la réputation et la crédibilité de l'hôpital, mais surtout a pu mettre indirectement la santé des citoyens en danger, surtout qu'il s'agit de services d'urgence pour la plupart. En effet, il n'était pas possible de visualiser des images médicales archivées, ce qui pouvait retarder le diagnostic et mettre en danger la vie des individus.

11 INFRASTRUCTURES D'ÉGOUT ET D'AQUEDUC



Les infrastructures d'égout et d'aqueduc sont aussi susceptibles de subir des bris lors de travaux d'excavation. En 2017, plus de 18% des demandes (ce qui correspondait à 42 000 demandes) étaient reliées à des travaux d'égouts et d'aqueduc, donc des travaux nécessitant de creuser profondément en évitant les autres infrastructures souterraines qui se situent dans le premier mètre. Ces travaux sont responsables de 35% des bris (Info-Excavation 2017).

11.1 Dangers associés

Les dangers associés aux infrastructures d'égout/aqueduc peuvent se manifester généralement soit par un jet d'eau sous pression soit par un déversement des eaux usées.

11.1.1 Jet d'eau sous pression

En cas de bris d'un égout ou d'un aqueduc, une grande quantité d'eau peut inonder la zone d'excavation. Par ailleurs, il se peut qu'il y ait un jet d'eau sous pression dans les canalisations qui peut engendrer d'importants dégâts comme l'effondrement, la destruction des objets à proximité et surtout des risques sur la santé des travailleurs se trouvant à proximité des conduites (INERIS, 2012) :

- Noyade : Dans certaines situations, les travailleurs sont amenés à creuser à des niveaux profonds. Ainsi en cas de bris d'un égout ou un aqueduc, ils peuvent risquer de se noyer au cas où ils se trouvent au fond de l'excavation.
- Projection : Le jet puissant d'eau peut conduire à une projection des individus se trouvant dans la même direction de la canalisation, ce qui peut engendrer des conséquences allant des blessures superficielles légères sur le corps à des lésions internes importantes.

11.1.2 Déversement des eaux usées

Les égouts sont des canalisations qui servent à collecter les eaux pluviales et les eaux usées. Celles-ci sont transportées ensuite aux stations d'épuration avant d'être évacuées.



Figure 2 : Réseau des ouvrages d'assainissement (Source : INERIS, 2012)

Ces canalisations sont souvent fabriquées de PVC ou de béton et sont susceptibles au bris et notamment à l'éclatement ou au déversement. Dans ce cas-là, des impacts sur la sécurité et santé des travailleurs pourraient être associés (INERIS, 2012). En effet, en cas de déversement des eaux usées, les personnes qui se trouvent à proximité de la rupture peuvent être exposées à des émanations chimiques dont la plus connue et redoutée est le sulfure d'hydrogène (H_2S) et ainsi subir différentes conséquences (Égoutiers de France, 2014) :

- Intoxication : Même si la zone d'excavation est ouverte, un travailleur qui se trouve au fond de la tranchée est susceptible d'être intoxiqué en cas de présence de gaz toxique et/ou explosif, à savoir le sulfure d'hydrogène. Cette situation peut être précédée par des symptômes tels que la sensation de vertige et l'évanouissement, surtout si l'intervention des secours n'a pas lieu rapidement.
- Problèmes respiratoires : À cause de l'inhalation d'éventuels gaz par voie orale, le travailleur peut avoir des problèmes respiratoires qui se manifestent par une difficulté à respirer, des malaises au niveau de la cage thoracique, voire même une asphyxie au cas où il soit resté exposé au danger pendant une longue durée.

11.2 Exemples d'accidents réels survenus avec des travailleurs

Les dangers des bris produits au niveau des égouts/aqueduc sont souvent entraînés par de mauvaises pratiques dans l'environnement de travail. Pour illustrer ceci, nous allons présenter trois exemples d'accidents :

- Bris d'une conduite d'eau à Montréal en 2016 entraînant un jet d'eau puissant suivi d'une inondation.

- Bris d'une conduite d'eau en 2015 suite à des travaux d'excavation à Longmeadow aux États-Unis ayant entraîné l'effondrement de la tranchée et le décès d'un travailleur.
- Blessures graves sur le visage d'un travailleur causées par une scie lors de la découpe de la canalisation en fonte grise à Montréal.

11.2.1 Inondation de plusieurs rues à Montréal suite à un bris de conduite d'eau

En août 2016, une conduite d'eau de 30 pouces a été brisée dans le quartier de Saint-Henri à Montréal lors de travaux de construction effectués par un entrepreneur privé. Suite à cet accident, un puissant jet d'eau a été engendré, ce qui a entraîné une inondation qui s'est propagée dans les rues voisines et a endommagé la chaussée (Millette, 2016).

Les services d'électricité et d'alimentation en gaz ont été interrompus et un avis de la nécessité de bouillir l'eau potable avant sa consommation a été mis en vigueur.

Certes, un tel bris d'infrastructures n'a pas eu d'impact direct sur la sécurité et santé des travailleurs, mais les circonstances de l'accident auraient pu aboutir à des dégâts importants. Le jet d'eau engendré a en effet atteint plusieurs mètres de hauteur et aurait pu heurter des personnes à proximité.

11.2.2 Décès d'un travailleur piégé dans une tranchée remplie d'eau lors d'un projet d'installation d'égout à Longmeadow, aux États-Unis

Le 31 juillet 2015 vers 8h du matin, un opérateur travaillait sur l'installation d'une canalisation d'égout à Longmeadow aux États-Unis quand une partie de la chaussée au-dessus de l'excavation s'est effondrée et a brisé une canalisation d'eau de six pouces. Suite à la rupture, l'eau a inondé la tranchée d'eau et le travailleur est resté coincé et s'est noyé.

Les enquêtes menées sur ce décès par la police de Longmeadow et OSHA « *Occupational Safety and Health Administration* » ont révélé que l'effondrement de la tranchée aurait pu être évité si l'employeur avait suivi les mesures de sécurité appropriées (OSHA, 2015).

En effet, l'entrepreneur en construction n'avait pas pris de mesures de prévention contre les dommages à la conduite d'eau lors des travaux, d'autant plus qu'il y avait probablement eu un affaiblissement des parois de l'excavation suite aux pluies produites la veille de l'accident. Suite à cet accident, l'entreprise de construction a fait face à des amendes s'élevant à 14 000 \$.

11.2.3 Blessures graves sur le visage d'un travailleur causées par une scie lors de la découpe de la canalisation en fonte grise à Montréal

Pendant la saison hivernale, un tuyauteur de 30 ans d'expérience mandaté par la ville pour faire la réparation d'une conduite d'égout s'est fait scier sur 18 pouces au visage.

En effet, normalement deux travailleurs étaient censés rester dans l'excavation, mais le second a choisi de rester dans le camion compte tenu de la température extrêmement froide.

À cause du manque d'entretien de la scie et des problèmes d'axes de coupe causés par la présence des autres infrastructures, la scie est restée bloquée sur la fonte grise du tuyau. La tenant entre ses mains, le premier travailleur a subi de graves blessures sur son visage.

Ce chapitre a permis de dresser un portrait des risques pour les travailleurs qui sont exposés à des bris d'infrastructures souterraines. Différents exemples d'accidents ont permis d'illustrer les dangers présents pour les travailleurs. Il va être important dorénavant d'identifier les facteurs qui peuvent expliquer des bris d'infrastructures souterraines, mais surtout de faire ressortir les variables qui ont un impact sur la gravité d'un accident.



CHAPITRE 4

ANALYSE DES BASES DE DONNÉES D'ACCIDENTS

12 INFRASTRUCTURES GAZIÈRES AMÉRICAINES

La revue de littérature a montré que les infrastructures de gaz et d'électricité étaient celles qui engendraient le plus de risques pour les travailleurs. Nous avons donc axé notre analyse vers des bases de données d'accidents qui traitaient d'infrastructures gazières et électriques.

12.1 Description de la base de données

Le titre 49 du *Code of Federal Regulation* (49 CFR Parts 191, 195) oblige les opérateurs de pipelines à présenter des rapports d'incident dans les 30 jours suivant un incident ou un accident de pipeline. C'est donc une base de données à déclaration obligatoire.

L'article 191.3 du CFR 49 définit un incident comme étant ³:

"Incident" means any of the following events:

(1) *An event that involves a release of gas from a pipeline, or of liquefied natural gas, liquefied petroleum gas, refrigerant gas, or gas from an LNG facility, and that results in one or more of the following consequences:*

(i) A death, or personal injury necessitating inpatient hospitalization;

*(ii) Estimated **property damage of \$50,000 or more**, including loss to the operator and others, or both, but excluding cost of gas lost;*

*(iii) Unintentional estimated **gas loss of three million cubic feet or more**;*

(2) *An event that results in an emergency shutdown of an LNG facility. Activation of an emergency shutdown system for reasons other than an actual emergency does not constitute an incident.*

(3) *An event that is significant in the judgment of the operator, even though it did not meet the criteria of paragraphs (1) or (2) of this definition.*

Distinction dans les définitions d'un incident : Il est important toutefois de noter que la définition d'un incident a évolué au cours des années. Voici un schéma qui synthétise les changements.

³ <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/191.3>

	1970	1984	2004	2010
	Rapport par téléphone	Rapport par écrit	Modifications au rapport de déclaration d'accident	
SUBSTANCES		+ GNL	+ GPL	
CRITÈRES DE DÉCLARATION	1) Un mort ou un blessé avec hospitalisation 2) Interruption de service 3) Incendie de gaz 4) Coûts des dommages pour l'opérateur : 5 000\$ Non obligatoire si seulement critère (2) ou (3) et si le bris se produit pendant le résultat ou est relié à des travaux de maintenance ou de construction planifié ou de routine	1) Un mort ou un blessé avec hospitalisation 2) Coûts des dommages aux infrastructures : 50 000\$ incluant le coût du gaz perdu CRITÈRES RETIRÉS : 1) Interruption de service 2) Incendie de gaz	1) Un mort ou un blessé avec hospitalisation 2) Coûts des dommages aux infrastructures : 50 000\$ excluant le coût du gaz perdu 3) Perte de gaz non de plus de 3 millions de m ³	

Figure 3 : Modification des principaux critères de déclaration des incidents de pipeline de gaz aux États-Unis (Source : adapté de PHMSA, 2014).

Ainsi, pour étudier l'impact des bris d'infrastructures de gaz sur la sécurité et santé des travailleurs, nous nous sommes focalisés sur la base de données américaine extraite de la banque de données de la PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) qui compile l'ensemble des incidents déclarés en vertu du 191.3 CFR 49.

La base de données compile les incidents de bris de conduites de gaz naturel aux États-Unis depuis 1970 et regroupe des variables concernant les conditions de travail, la nature du gaz, les méthodes d'excavation, le nombre de blessés et de morts ainsi qu'une variable détaillée sur le scénario de l'accident.

Comme les critères de déclarations ont changé au fil du temps, les rapports d'accidents ont également fait l'objet de modifications, et par le fait même certaines variables de la base de données. En réalité, les données sont réparties en quatre bases de données distinctes, chacune s'étalant sur une période de temps (1970 à 1984 ; 1984 à 2004 ; 2004 à 2009 ; 2010 à 2016).

Distinction de la cause du bris :

Les bris de conduites de distribution de gaz enregistrés aux États-Unis se produisent non seulement au cours des travaux d'excavation, mais peuvent être aussi dus à différentes circonstances telles que :

- La corrosion ;
- Les défaillances de matériau ;
- Des forces naturelles ;
- Les travaux d'excavation ;
- Des défaillances lors des opérations de maintenance.

Nous avons considéré uniquement les bris sur des conduites de distribution de gaz, et nous avons établi des comparaisons du nombre de bris en fonction des circonstances de l'accident. En effet, la base de données retrace certains accidents ayant lieu dans les conduites de distribution du gaz que ce soit pendant des travaux d'excavation ou non⁴. Nous avons limité notre analyse aux bris en cas d'excavation, puisque les autres circonstances de bris se situent hors de notre étude.

Toutefois, la distinction entre ces deux types d'événements a été une contrainte. En effet, les bases de données entre 1970 et 2004 ne contiennent pas de variable qui décrit clairement la cause de l'accident et en particulier s'il s'agit d'une excavation, ce qui a rendu difficile le filtrage des accidents qui ont lieu en cas d'excavation. Pour remédier à cela, nous avons utilisé la variable « cause » qui pouvait prendre des valeurs différentes en fonction des années⁵. Le tableau suivant résume les termes retenus pour parler des bris d'infrastructures gazières causés par des travaux d'excavation.

Années	1970-1984	1984-2004	2004-2009	2010-2016
Variable de discrimination pour les bris causés par des excavations	Damage by equipment by outside party	Cause Outside / Third Party	Excavation damage	Excavation damage

Tableau 2 : Tableau indiquant les éléments retenus pour discriminer les bris causés par une excavation des autres bris

Dans un premier temps, des statistiques descriptives vont être présentées et permettront de se rendre compte de la proportion des bris causés par des excavations parmi tous les autres bris ainsi que de la distribution des bris selon le nombre de morts ou de blessés par bris.

Par la suite, des analyses statistiques plus poussées permettront d'identifier les facteurs qui peuvent influencer les conséquences des bris en termes de santé et sécurité des travailleurs, c'est-à-dire sur le fait qu'un bris conduise à des blessés ou des morts. Des tests de comparaison de moyennes seront ainsi utilisés pour analyser les liens entre des variables prédictives (nature de la conduite, préalables des travaux, localisation du bris, nature des travaux, etc.) et le fait qu'il y ait des morts ou des blessés suite au bris.

⁴ L'ensemble des bases de données de PHMSA sont téléchargeables à partir du lien suivant : <https://phmsa.dot.gov/portal/site/PHMSA/menuitem.6f23687cf7b00b0f22e4c6962d9c8789/?vgnnextoid=fdd2dfa122a1d110VgnVCM1000009ed07898RCRD&vgnnextchannel=3430fb649a2dc110VgnVCM1000009ed07898RCRD&vgnnextfmt=print>, consulté le 12 mai 2017.

⁵ Nous avons dans un premier temps fait une première analyse de la variable « narration » afin d'extraire les accidents ayant lieu pendant des travaux d'excavation, mais nous estimions qu'il y avait un biais de sous-estimer les bris causés par des excavations car la variable « narration » jouissait systématiquement d'un très haut taux de non-réponse.

Afin de quantifier le risque d'un accident de bris d'infrastructures souterraines, une variable de gravité a été ajoutée en se basant sur une échelle élaborée par la Division de la santé publique du Québec. Néanmoins, il est important de préciser que la gravité définie n'est qu'approximative en l'absence d'informations précises sur les blessures enregistrées.

L'analyse des relations de dépendance entre les différentes variables et les conséquences en termes de santé et sécurité au travail ne permet pas de connaître quelle variable a le plus d'influence sur le fait qu'il y ait des morts ou des blessés suite au bris. Ainsi, afin d'identifier le poids des variables pertinentes qui ont un impact direct sur la probabilité qu'il y ait un blessé ou un mort à la suite d'un bris, nous présentons dans une dernière section, les résultats d'une technique d'analyse multivariée, une régression logistique binaire.

12.2 Statistiques descriptives

12.2.1 Distribution des bris et des conséquences en fonction des circonstances du bris

Les bris de conduites de distribution de gaz enregistrés aux États-Unis se produisent non seulement au cours des travaux d'excavation, mais peuvent être aussi dus à différentes circonstances telles qu'énoncées précédemment.

Depuis 1970 jusqu'à 2016, **19 115** bris d'infrastructures de gaz ont été analysés. En retenant les critères de différenciation des bris établis dans le Tableau 2, on constate que globalement le nombre de bris enregistré pendant des travaux d'excavation représente 36 % de tous les accidents signalés, c'est-à-dire 6937 bris durant les 45 dernières années.

	1970-1984	1984-2004	2004-2009	2010-2016
Nombre de bris	14611	2841	897	766
Nombre de bris causé par une excavation	5214	1201	303	219
Proportion des bris causé par une excavation	36%	42%	34%	29%

Tableau 3 : Comparaison du nombre de bris d'infrastructures gazières aux États-Unis en fonction des circonstances du bris

Voici un graphique qui montre l'évolution du nombre de bris, du nombre de blessés et du nombre de morts, toutes circonstances confondues depuis 1997.



Figure 4 : Évolution du nombre de bris toutes circonstances confondues, du nombre de morts et du nombre de blessés de 1997 à 2016 (source : compilation CIRANO à partir de la base de données PHMSA)

L'ensemble des bris, toutes circonstances confondues a entraîné **785** morts et **5750** blessés. Si l'on se limite aux 20 dernières années, on constate que, toutes circonstances confondues, le nombre de bris oscille entre 90 et 170 bris par année.

Qu'en est-il du ratio du nombre de morts ou de blessés par bris ? En moyenne, les pourcentages de morts et blessés par bris suivent des tendances parallèles et assez aléatoire, comme le montre la Figure 5. Par ailleurs, la proportion maximale a été atteinte en 2014 où **109 bris ont entraîné 93 blessés et 18 morts**. Une analyse plus détaillée nous a révélé qu'il y a eu une explosion de conduite de gaz survenue le 12 mars 2014 dans l'État de New York ayant entraîné la mort de 8 personnes et 42 blessés, ce qui explique les chiffres élevés pour 2014. Il ne s'agissait pas d'un bris par un tiers, mais plutôt d'un bris résultant d'une défaillance dans un joint causé lui-même par une ancienne brèche dans une conduite d'aqueduc qui a entraîné un mouvement des sols.

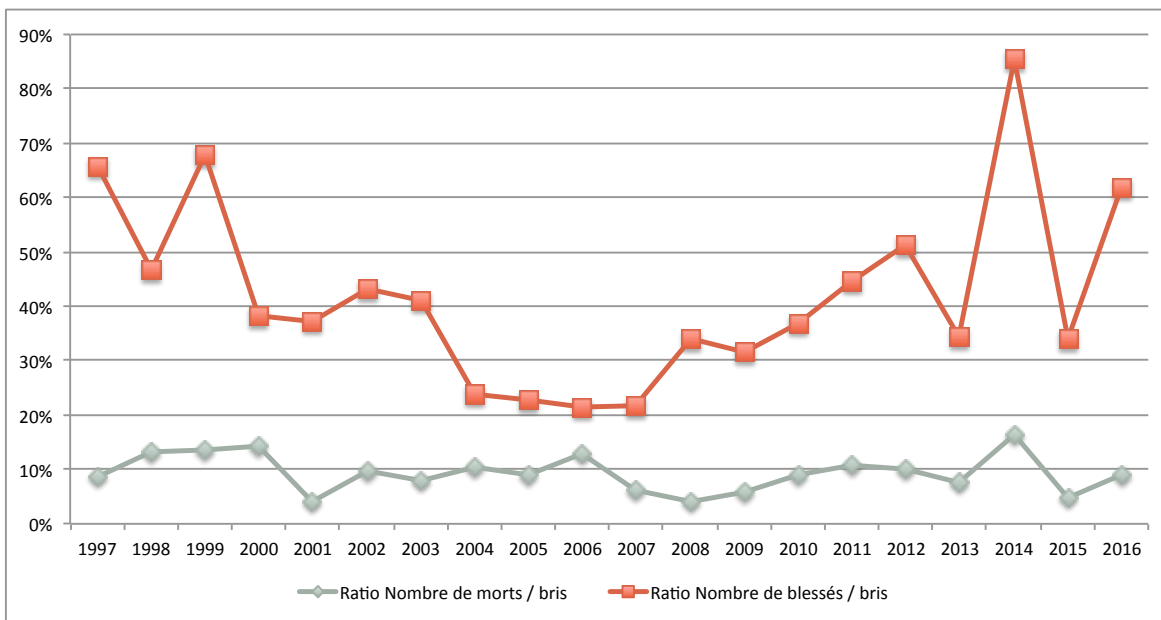


Figure 5 : Évolution des ratios morts et blessés/bris liés à des bris de conduites de gaz aux États-Unis sur les 20 dernières années

Une étude comparative du nombre de morts et de blessés en fonction du type de circonstances a été réalisée. Les Figure 6 et Figure 7 montrent le nombre de morts et de blessés lors de bris de conduites de distribution du gaz aux États-Unis selon que le bris ait été causé par une excavation ou non. Du fait que les définitions d'un incident ont changé au fur et à mesure des années et qu'il est difficile d'isoler de façon certaine les incidents causés par une excavation avant 2004, ces statistiques sont données à titre indicatif et non pour une analyse détaillée.

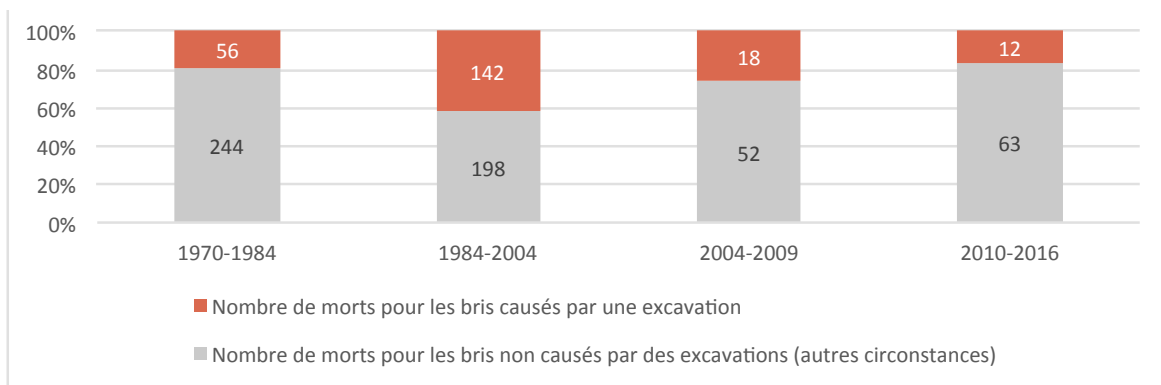


Figure 6 : Évolution du nombre de morts en fonction du type de circonstances du bris de conduites de gaz (causé par une excavation ou non) aux États-Unis

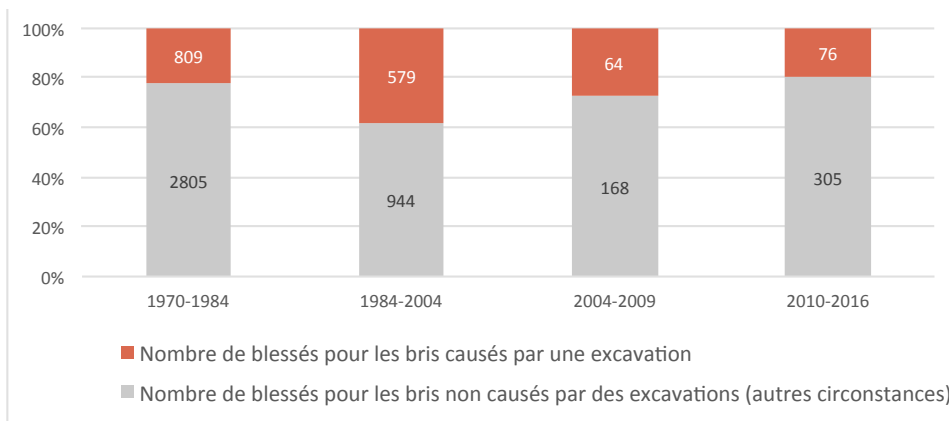


Figure 7 : Évolution du nombre de blessés en fonction du type de circonstances du bris de conduites de gaz (causé par une excavation ou non) aux États-Unis

Comme notre recherche traite de la santé et sécurité des travailleurs lors de bris d'infrastructures souterraines pendant des travaux d'excavation, nous allons analyser ces derniers plus en détail.

12.2.2 Distribution des conséquences pour des bris lors d'excavation

Pour quantifier ces conséquences, nous nous sommes basés sur le nombre de morts et de blessés. Ce sont les seules informations présentes parmi les variables de la base de données américaine à partir desquelles nous pouvons extraire des conclusions sur le type, la gravité et la fréquence des conséquences.

Distribution selon le total du nombre de blessés et de morts

Voici la distribution des accidents selon le nombre de morts et de blessés.

Année	Nombre de bris lors de travaux d'excavation	Proportion par rapport à tous les bris	Morts	Proportion par rapport à tous les morts	Blessés	Proportion par rapport à tous les blessés
1970-1984	5214	36%	56	19%	809	22%
1984-2004	1201	42%	142	42%	579	38%
2004-2009	303	34%	18	26%	64	28%
2010-2016	219	29%	12	16%	76	20%

Tableau 4 : Proportion des taux de décès et taux de blessés en fonction de la circonstance du bris aux États-Unis

Les analyses qui suivent se restreignent à la période 2004-2016 puisqu'il s'agit selon nous de la période la plus représentative de la réalité pour plusieurs raisons :

- Il a été possible, seulement pour ces années, d'isoler de façon certaine les bris causés par une excavation des autres circonstances.
- La définition d'un accident n'a pas changé sur la période
- La période est plus représentative des nouvelles techniques d'excavation.

Sur la période 2004-2016, il y a eu 522 bris qui ont occasionné 30 décès et 140 blessés. En moyenne par année sur la période 2004-2016, il s'est produit environ 40 bris de conduite de distribution de gaz aux États-Unis à la suite de travaux d'excavation entraînant en moyenne 2,3 décès et 11 blessés.

Aucune tendance ne ressort de l'évolution des conséquences des bris sur la période 2004-2010 comme l'illustre la Figure 8.

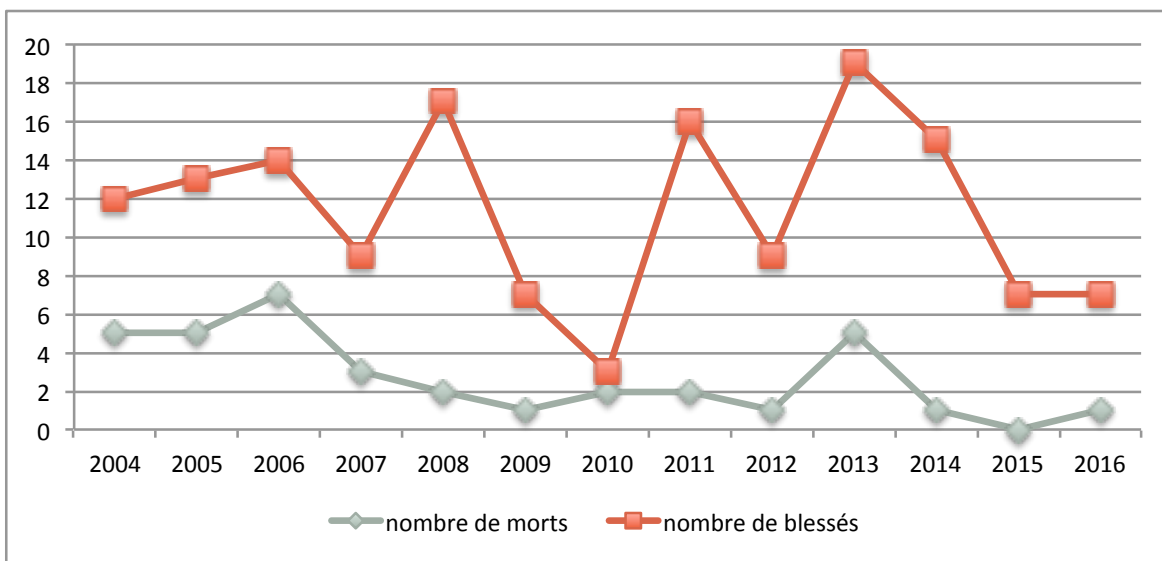


Figure 8 : Évolution du nombre de blessés et de morts suite à un bris de conduite de gaz causé par une excavation aux États-Unis

Le nombre de morts/bris a atteint son maximum en 2005 où 3 morts se sont produits en un seul accident (ainsi que 2 blessés). Il s'agit d'une rupture d'une conduite de gaz en acier dans l'État du New Jersey lors de travaux d'excavation pour retirer un réservoir d'huile à chauffage situé proche d'un immeuble de 3 étages avec 24 appartements. La compagnie d'excavation avait pourtant fait une demande de localisation auprès du centre d'appel unique et le marquage était présent avec de la peinture.

Si l'on compare avec l'analyse englobant tous les bris d'infrastructures (et non seulement ceux lors de travaux d'excavation), on constate que les courbes illustrant le nombre de morts/bris et de blessés/bris suivent des tendances assez différentes. Il semble que la proportion de morts / bris soit relativement plus faible lorsqu'il s'agit de bris causés par une excavation plutôt que toutes les circonstances confondues.

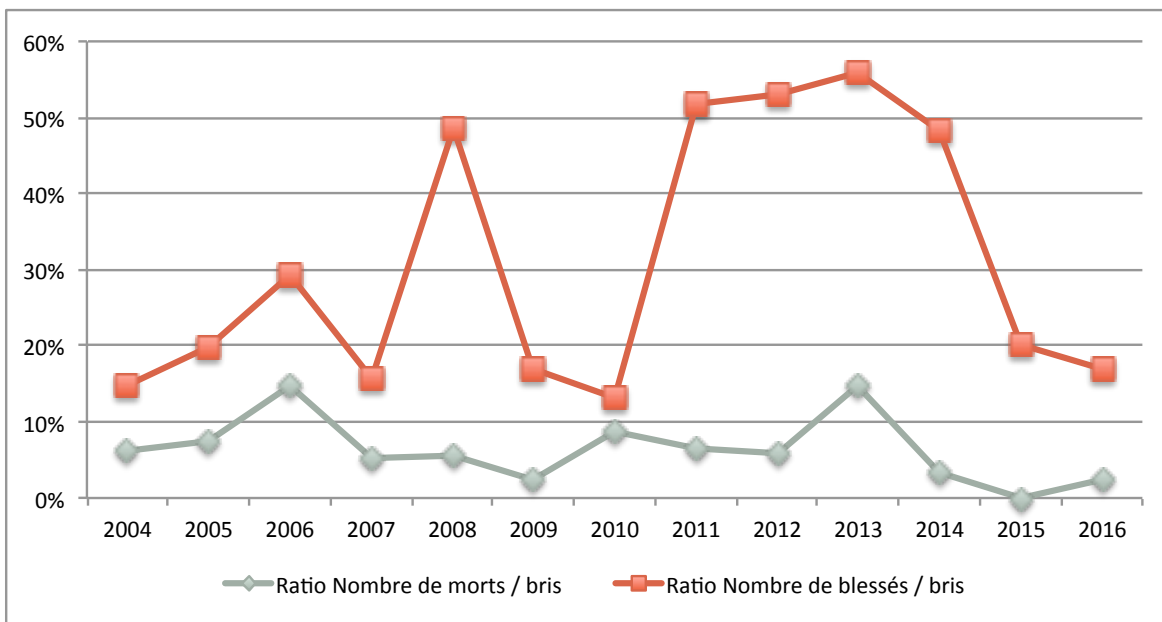


Figure 9: Évolution du nombre de blessés/bris et de morts/bris au niveau des conduites de distribution du gaz aux États-Unis

Distribution selon le nombre de morts ou de blessés par bris

Il est intéressant de connaître la proportion des bris pour laquelle il y a des conséquences. Le graphique ci-dessous dresse la distribution des bris de conduites de gaz enregistrés aux États-Unis entre 2004 et 2016 en fonction du type de conséquence. On constate que 16% des bris de conduites de distribution de gaz aux États-Unis ont entraîné des conséquences pour la santé et la sécurité des travailleurs.

Les 16 % de bris lors de travaux d'excavation (86) ayant entraîné des conséquences sont répartis comme suit : 12 % (64) ont conduit à l'enregistrement de blessés seulement, 1,7 % (9 bris) ont conduit à des morts et 2,5 % (13 bris) ont eu comme conséquence des morts et des blessés.

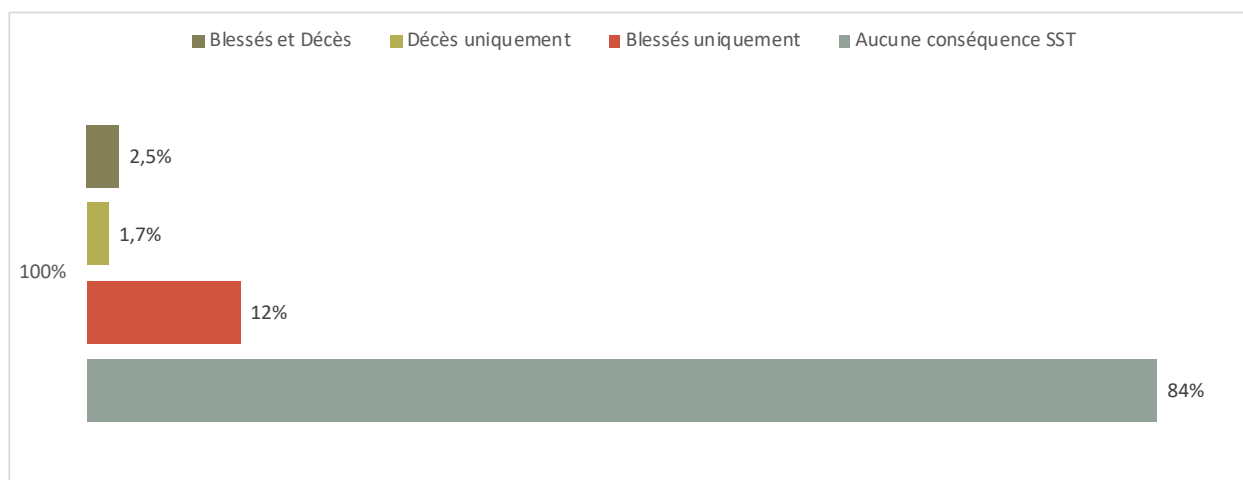


Figure 10 : Distribution des accidents aux États-Unis selon le type de conséquence – période 2004-2016

Distribution selon la gravité du dommage

Un des objectifs du projet est d'évaluer les risques des bris de conduites de gaz sur la sécurité et santé des travailleurs. Cette évaluation prend en considération la fréquence d'exposition des travailleurs au danger, la probabilité d'occurrence et la gravité potentielle des conséquences. Division Santé et sécurité au travail, 2010

La gravité exprime les conséquences qui peuvent être engendrées suite à un accident. Il peut s'agir des blessures, des morts ou des dommages matériels et environnementaux. La procédure sur l'identification des dangers et l'évaluation des risques propose cinq niveaux de gravité pour un accident allant d'une gravité mineure à une gravité catastrophique et qui tient compte de la gravité des blessures, le nombre de morts, la conséquence sur l'avancement du travail et la valeur des dommages matériels.

Cependant, notre étude se focalise plus particulièrement sur la santé et sécurité des travailleurs et la seule information qui quantifie les conséquences du bris sur cet aspect est le nombre de morts et blessés sans autre indication du degré de gravité ou du type de blessures. En se basant sur la distribution des blessés et des décès dans le cas particulier de la base de données étudiée, nous proposons une échelle de gravité de 5 niveaux tels que :

Niveau	Description
0	Aucun blessé et aucun décès
1	Un blessé et aucun décès
2	Deux blessés et aucun décès
3	Moins de 3 blessés et un décès ou plus de 2 blessés et aucun décès
4	Le reste des cas

Tableau 5 : Description des niveaux de gravité

Concentrons-nous encore une fois sur la période 2010-2016. Le graphique ci-dessous représente la distribution des bris en fonction des 5 niveaux de gravité préalablement définis.

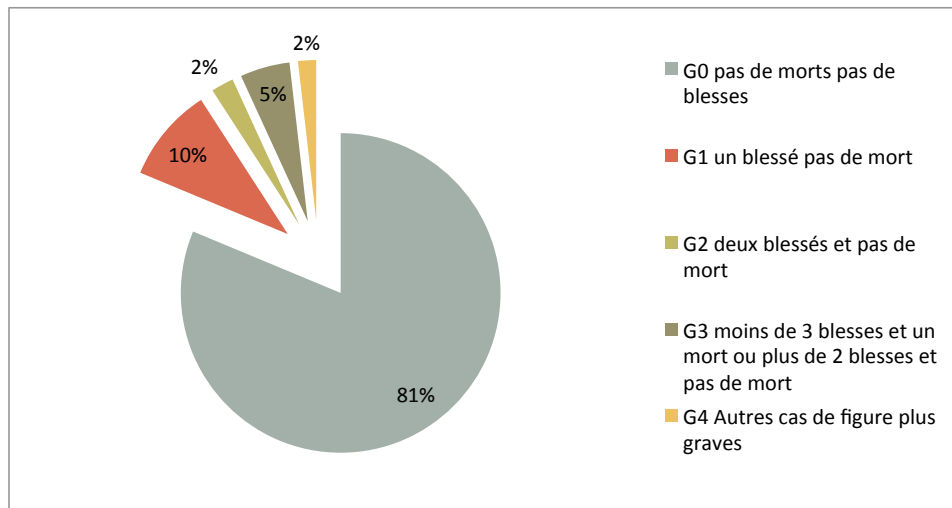


Figure 11 : Distribution des bris de conduites de distribution de gaz aux États-Unis selon la gravité sur la période 2010-2016 (Source : à partir des données des bases de données de PHMSA)

Comme le montre la Figure 11, 178 accidents sur 219, c'est-à-dire 81,3 % des bris ont un niveau de gravité 0, c'est-à-dire qu'ils n'ont entraîné aucune mort et aucune blessure. **10 % des bris de conduites de gaz correspondent à des accidents de premier niveau de gravité et ont donc engendré un blessé par accident (aucun décès).**

Distribution des bris selon la provenance des blessés et décès

Il est intéressant également de prendre en considération le type de personne qui est blessé ou mort. Il peut en effet s'agir

- d'un employé de l'opérateur (il s'agit ici du propriétaire d'une infrastructure souterraine gazière),
- d'un employé de l'excavateur travaillant pour l'opérateur,
- d'intervenants d'urgence,
- d'un travailleur œuvrant sur l'emprise, mais qui n'est pas associé à l'opérateur, ou encore,
- d'une personne de la population générale.

La base de données de PHMSA permet de faire certaines de ces distinctions depuis 2004, tout en ayant des sous-groupes plus précis à partir de 2010 seulement. Nous allons donc dans un premier temps, présenter des données pour la période 2004-2016 puis pour la période 2010-2016 spécifiquement.

Période 2004-2016

3 catégories sont retenues pour la période 2004-2016, soit : travailleurs de l'opérateur (employés du propriétaire de l'infrastructure souterraine), travailleurs non employés de l'opérateur et population générale.

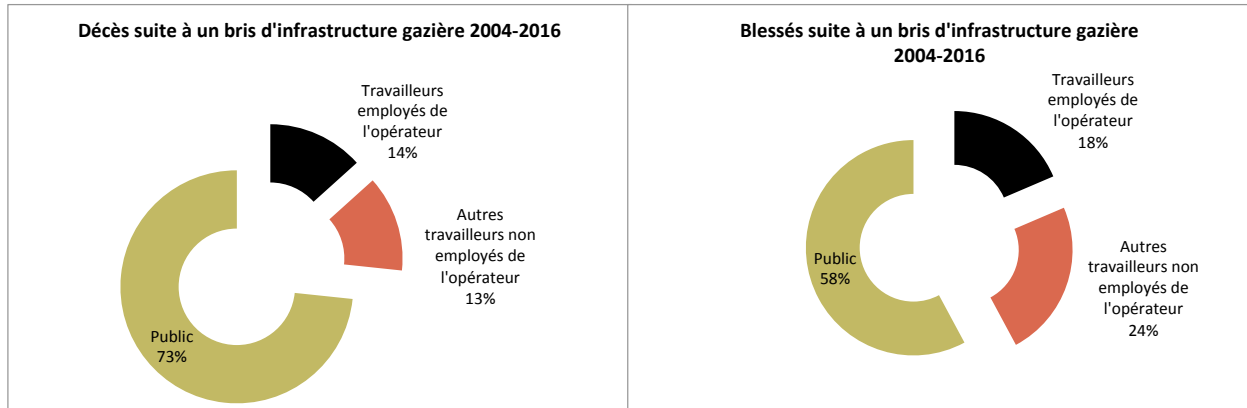


Figure 12 : Provenance des blessés et décès suite à un bris d'infrastructure gazière aux États-Unis sur la période 2004-2016

On constate que la plus grande proportion des décès et des morts suite à un bris d'infrastructures gazières se retrouve toujours dans la population générale et non chez les travailleurs. Il n'est pas surprenant de constater que la proportion de blessés parmi les travailleurs qui ne sont pas des employés de l'opérateur (comme des travailleurs employés de l'excavateur par exemple), est plus importante que la proportion des blessés parmi les travailleurs employés de l'opérateur. Par contre, il est intéressant de remarquer que cette proportion est identique lorsque l'on considère les décès.

Période 2010-2016

Sur cette période, les différentes catégories sont davantage détaillées. Voici le portrait des blessés et décès sur cette période. Sensiblement, les mêmes constats que sur la période 2004-2016 ressortent. En plus, on constate qu'il y a des blessés parmi les répondants d'urgence et aussi que la proportion des travailleurs travaillant sur le chantier de construction mais n'étant pas associés à l'opérateur, est également très élevée.

Ces constatations nous amènent naturellement à insister sur l'importance de la prévention non seulement pour les employés de la compagnie d'excavation, mais aussi pour les travailleurs du chantier et pour le public. Les coûts liés à la perte de réputation pour une entreprise qui est fautive dans le décès ou la blessure d'une personne du public peuvent être très importants.

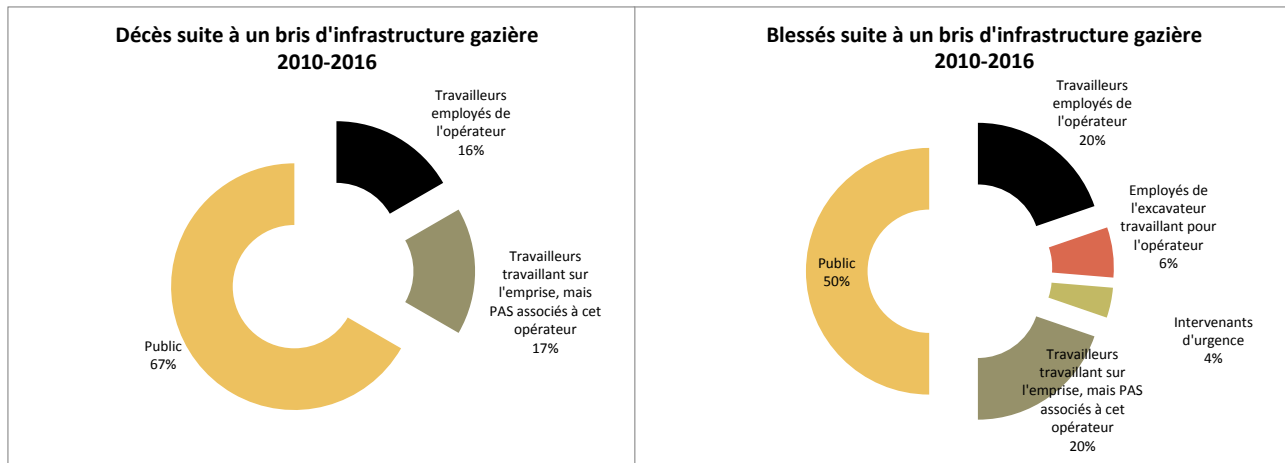
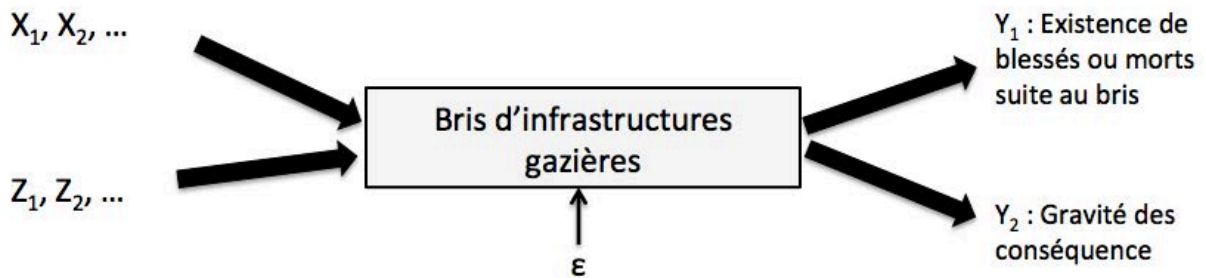


Figure 13 : Provenance des blessés et décès suite à un bris d'infrastructure gazière aux États-Unis sur la période 2010-2016

12.3 Analyses statistiques et économétriques pour identifier les déterminants des blessés et décès

Rappelons l'objectif de l'étude qui est de mieux comprendre les facteurs qui augmentent la probabilité d'avoir des blessés ou des morts suite à un bris d'infrastructure. Le système/processus de bris d'infrastructure gazière peut être représenté par le schéma suivant :



- où
- X_1, X_2, \dots facteurs explicatifs continus (ex : diamètre de la conduite, etc.)
 - Z_1, Z_2, \dots facteurs explicatifs discrets (ex : marquage visible, explosion, conduite en plastique, conduite localisée sur un terrain privé, etc.)
 - Y_1 et Y_2 sont les variables de réponse à expliquer
 - ϵ l'ensemble de tous les facteurs inconnus non mesurés

L'analyse statistique consiste à déterminer des relations de causes à effet entre les variables explicatives (X, Z) et les réponses Y . Toute analyse statistique prend l'une des deux formes générales suivantes :

- décider, à l'aide d'un test, si un facteur explicatif influence ou non une réponse
- établir une équation prédictive entre (X, Z) et Y

12.3.1 Sélection des types d'analyses

Choix de la période 2010-2016

Le choix de la période de référence est important. Nous avons considéré la période 2010-2016 pour plusieurs raisons :

- il n'y a pas eu de changements méthodologiques au cours de cette période – pas de changements non plus dans le formulaire de déclaration d'accident ;
- La réglementation est encore en vigueur ;
- Cette période est plus représentative des nouvelles techniques d'excavation utilisées aujourd'hui ;
- Les autres périodes auraient pu créer du bruit dans le modèle.

Choix des types d'analyses statistiques

a) Au préalable de l'élaboration d'un modèle économétrique, nous avons réalisé des tests de comparaison de moyennes pour faire émerger des tendances dans les déterminants des blessés et morts lors d'un bris d'infrastructures gazière aux États-Unis. Nous avons utilisé des tests de Mann-Whitney qui sont des tests non paramétriques permettant de comparer les moyennes de deux échantillons. Des tests de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour les facteurs avec 3 modalités et plus. Ces tests de moyenne doivent être réalisés afin de cibler les prédicteurs potentiels. Les variables significatives sont alors retenues et incluses dans le modèle économétrique.

b) Par la suite, nous avons utilisé des régressions logistiques. Un modèle de régression permet de montrer une relation de dépendance entre une variable à expliquer (variable dépendante) et une série de variables explicatives (variables indépendantes). Là réside la différence fondamentale entre les tests de Mann-Whitney (ou Kruskal-Wallis) et les modèles de régression logistique : pour le test de Mann-Whitney, les variables indépendantes sont considérées séparément alors que pour la régression, l'ensemble des variables sont prises en compte simultanément. Dans le modèle de régression logistique, la variable dépendante peut uniquement prendre 2 valeurs, par exemple, 1= il y a eu des blessés ou des morts suite au bris ou 0= il n'y a pas eu de blessé ni de mort suite au bris.

12.3.2 Sélection des variables

Comme l'objectif du projet est de comprendre les facteurs qui contribuent à un type de conséquences, ainsi que de voir à l'inverse la gravité d'un bris suite à différentes conditions, nous nous sommes focalisés sur les aspects liés à la sécurité des travailleurs et ainsi nous avons sélectionné les variables suivantes.

Nous allons faire des analyses sur 2 variables dépendantes :

- Conséquence en santé et sécurité au travail (c'est-à-dire, y a-t-il eu des morts ou des blessés suite au bris), et
- Gravité des conséquences (telle que définie plus haut)

Les variables indépendantes sont synthétisées dans le tableau suivant :

	Variable	Type	Description
NATURE DE LA CONDUITE	Type de matériau de la canalisation	Discrète	Il peut s'agir de l'acier, du fer, du Polyéthylène Plastique ou d'autre type de Plastique Nous avons crée une variable dichotomique plastique ou non.
	Diamètre de la conduite	Continue	
	Année d'installation de la conduite	Continue	
	Présence d'un système de contrôle et d'acquisition de données (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> , SCADA)	Discrète	Variable dichotomique 1 ou 0
VARIABLE TEMPORELLE	Mois	Discrète	La variable peut prendre 2 valeurs : 1 : si le bris a eu lieu entre mai et octobre (été) 0 : si le bris a eu lieu entre novembre et avril
PRÉALABLES PRÉ-TRAVAUX	Notification d'activité d'excavation à un centre d'appel	Discrète	Une notification auprès du service de traitement des demandes de localisation peut avoir eu lieu ou non
	Type de localisateur	Discrète	La variable peut prendre 3 valeurs : 1: Localisateur - Propriétaire d'infrastructure 2 : Localisateur : Localisateur de l'entrepreneur 3 : Localisateur : autre ou inconnu
	Marquage visible	Discrète	Variable dichotomique
	Marquage fait correctement	Discrète	Variable dichotomique prenant les valeurs 1 ou 0
LOCALISATION DU BRIS	Emplacement du bris	Discrète	La variable peut prendre 3 valeurs pour caractériser le lieu où ont lieu les travaux 1: Propriété publique 2 : Propriété privée 3: Droit de passage ou servitude de service public
	Bris sur une traverse	Discrète	Variable dichotomique. Le bris peut se produire sur une traverse de pont, de chemin de fer, de route ou de cours d'eau
NATURE DES TRAVAUX	Type de travaux d'excavation	Discrète	La variable peut prendre 5 valeurs pour caractériser le type de travaux en cours 1 : Travaux de gaz naturel 2 : Travaux routiers 3 : Travaux d'égouts / aqueducs 4 : Travaux de télécommunications 5 : Autres
	Type d'excavateur	Discrète	La variable peut prendre 5 valeurs pour caractériser le type d'excavateur 1: Entrepreneur 2 : Municipalité 3 : Occupant 4 : Propriétaire d'infrastructure 5 : Autre
	Type d'équipement	Discrète	La variable peut prendre 3 valeurs pour caractériser le type d'équipement utilisé 1 : Équipement de forage (auger, boring, Directional drilling) 2 : Rétrocaveuse 3 : Autre
CONSÉQUENCE DU BRIS	Incendie	Discrète	Le gaz peut s'être enflammé suite au bris
	Explosion	Discrète	Le gaz peut avoir explosé suite au bris
	Quantité de gaz rejeté	Continue	Représente une évaluation de la quantité de gaz rejeté exprimée en millier de pied cube
CAUSES	Cause du bris	Discrète	La variable peut prendre 4 valeurs pour caractériser la cause du bris : 1 : Aucune notification à un centre d'appel unique 2 : Pratiques de localisation inadéquates 3 : Pratiques d'excavation inadéquates 4 : Autres causes

Tableau 6 : Description des variables indépendantes sélectionnées

12.3.3 Identification des prédicteurs potentiels à l'aide de tests de comparaison de moyennes

Nous nous sommes intéressés à analyser les liens entre les variables sélectionnées et le fait qu'il y ait des conséquences en santé et sécurité au travail d'une part (c'est-à-dire, des morts ou des blessés) et d'autre part la gravité en utilisant des tests de comparaison de moyenne en choisissant un niveau de confiance à 95%. En effet, nous estimons que les conséquences en termes de SST peuvent être différentes en fonction de certaines caractéristiques du bris : sa localisation, les travaux en cours, le localisateur, le type d'excavateur, etc. Nous allons identifier les résultats qui sont statistiquement significatifs. En statistique, un résultat est dit statistiquement significatif lorsqu'il est improbable qu'il puisse être obtenu par un simple hasard. Habituellement, on utilise un seuil de probabilité p de 0,001 à 0,05, ce qui signifie que le résultat observé a moins de 5 % de chances d'être obtenu par hasard. Il est donc jugé significatif. Par opposition, un résultat non significatif est un résultat qui a probablement (à plus de 5 % de chances) été obtenu par hasard.

Ainsi, dans notre cas, lorsque la p -value est inférieure à 0.05, nous rejetons l'hypothèse nulle qui stipule qu'il n'y a pas de différence entre les moyennes des 2 groupes à l'étude (ici, il s'agit de la proportion des bris avec des morts ou des blessés ou encore de la moyenne de la gravité) et nous pouvons conclure que les deux moyennes ne proviennent pas de la même population.

Test de comparaison des moyennes sur 18 variables explicatives potentielles à la variable « Décès ou blessés suite au bris »

Le tableau⁶ suivant présente les résultats des tests de comparaison de moyennes (Mann-Whitney) entre les variables indépendantes dichotomiques et les deux variables dépendantes à savoir 1) le fait qu'il y ait des blessés ou des morts et 2) la gravité de l'accident.

Pour les variables à plus de 3 modalités, des tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés et les résultats sont présentés dans des tableaux⁷ séparés. Pour ce qui est des variables continues, des tests de corrélation⁸ ont été utilisés. Les éléments apparaissant en rouge ont une influence significative.

⁶ Le tableau doit se lire comme ceci : les éléments préalables aux travaux ont une influence significative sur le fait d'avoir des conséquences SST (c'est-à-dire, on le rappelle, des morts ou des blessés suite au bris). Plus particulièrement, 16 % des bris qui ont lieu alors que le marquage était visible se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de 28 % des bris lorsque le marquage n'était pas visible ($p = 0,083$).

⁷ Les tableaux doivent se lire comme ceci : le type de localisateur a une influence sur le fait d'avoir des morts ou des blessés suite au bris. Plus particulièrement, 16 % des bris qui ont lieu alors que le localisateur était le propriétaire d'infrastructure se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de 20 % des bris lorsque la localisation est faite par un entrepreneur et de 24% des bris lorsque la localisation est faite par une autre partie prenante. Ces différences ne sont toutefois pas significatives ($p=0,643$)

⁸ Le tableau se lit comme ceci : plus le diamètre de la conduite diminue, plus la probabilité d'avoir des blessés ou des morts suite au bris augmente de façon significative ($p=0,000$).

VARIABLES		Proportion des bris avec des morts ou des blessés		Taux de signification
		Si VI=0	Si VI=1	p
NATURE DE LA CONDUITE	Type de matériau de la canalisation (plastique ou autre)	14%	23%	0,094
	Présence d'un système de contrôle et d'acquisition de données (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> , SCADA)	22%	10%	0,038
VARIABLE TEMPORELLE	Mois (été ou non)	18%	19%	0,835
PRÉALABLES PRÉ-TRAVAUX	Notification d'activité d'excavation à un centre d'appel	20%	18%	0,687
	Marquage visible	28%	16%	0,083
	Marquage fait correctement	15%	20%	0,407
LOCALISATION DU BRIS	Bris sur une traverse	20%	5%	0,100
CONSÉQUENCE DU BRIS	Incendie	3%	17%	0,000
	Explosion	8%	61%	0,000

Tableau 7 : Synthèse des résultats des tests de Mann-Whitney pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés »

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Type de localisateur	1: Localisateur - Propriétaire d'infrastructure	16%
	2 : Localisateur : Localisateur de l'entrepreneur	20%
	3 : Localisateur : autre ou inconnu	24%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,643
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,581
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,351
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,587

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Emplacement du bris	1: Propriété publique	16%
	2 : Propriété privée	39%
	3: Droit de passage ou servitude de service public	8%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,000
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,001
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,169
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,000

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Type de travaux d'excavation	1 : Travaux de gaz naturel	29%
	2 : Travaux routiers	11%
	3 : Travaux d'égouts / aqueduc	17%
	4 : Travaux de télécommunications	20%
	5 : Autres	19%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,691
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,346
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,263
	1 vs 4 (Signification asymptotique)	0,487
	1 vs 5 (Signification asymptotique)	0,339
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,486
	2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,400
	2 vs 5 (Signification asymptotique)	0,371
	3 vs 4 (Signification asymptotique)	0,757
	3 vs 5 (Signification asymptotique)	0,755
	4 vs 5 (Signification asymptotique)	0,924

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Type d'excavateur	1: Entrepreneur	14%
	2 : Municipalité	40%
	3 : Occupant	38%
	4 : Propriétaire d'infrastructure	35%
	5 : Autre	18%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,029
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,031
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,077
	1 vs 4 (Signification asymptotique)	0,014
	1 vs 5 (Signification asymptotique)	0,710
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,965
	2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,778
	2 vs 5 (Signification asymptotique)	0,359
	3 vs 4 (Signification asymptotique)	0,912
	3 vs 5 (Signification asymptotique)	0,440
	4 vs 5 (Signification asymptotique)	0,371

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Type d'équipement	1 : Équipement de forage (auger, boring, Directional drilling)	20%
	2 : Rétrocaveuse	21%
	3 : Autre	15%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,640
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,886
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,474
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,355

		Proportion des bris avec des morts ou des blessés
Cause du bris	1 : Aucune notification à un centre d'appel unique	19%
	2 : Pratiques de localisation inadéquates	12%
	3 : Pratiques d'excavation inadéquates	23%
	4 : Autres causes	17%
<i>Kruskall-Wallis</i>	Signification asymptotique	0,514
<i>Mann-Whitney</i>	1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,378
	1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,600
	1 vs 4 (Signification asymptotique)	0,869
	2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,137
	2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,543

Tableau 8 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal-Wallis pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés »

	Bris avec des morts ou des blessés	
	Coefficient de corrélation de Spearman	p
Diamètre de la conduite	-0,411	0,000
Année d'installation de la conduite	-0,087	0,202

Tableau 9 : Synthèse des résultats des tests de corrélation de Spearman pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés »

Interprétation

À la lecture des différents tableaux, on peut retenir les éléments suivants :

- 23 % des bris qui ont lieu sur un **tuyau en plastique** se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de 14 % des bris sur un tuyau qui n'est pas en plastique ($p = 0,094$)
- 10 % des bris qui ont lieu alors qu'il y avait un **système de contrôle et d'acquisition de données (SCADA)** se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de 22 % des bris lorsqu'il n'y a pas de système SCADA ($p=0,038$). Nous pouvons interpréter ce résultat en mentionnant que le système SCADA permet peut-être de détecter la fuite liée au bris plus tôt et ainsi d'avertir immédiatement l'équipe sur le chantier pour qu'elle s'éloigne du bris.
- 16 % des bris qui ont lieu alors que le **marquage** était visible se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de 28 % des bris lorsque le marquage n'était pas visible ($p = 0,083$). Ce résultat peut sembler intuitif si nous regardons la probabilité qu'un bris survienne, mais nous nous intéressons ici à la probabilité qu'une fois le bris survenu, il y ait des morts ou des blessés. On constate que même dans ce cadre d'analyse, le marquage est important.
- Sans surprise, lorsque le bris s'accompagne d'un **incendie ou d'une explosion**, la probabilité d'avoir des blessés ou des morts suite au bris est plus grande.
- **L'emplacement du bris** a une influence sur la probabilité qu'il y ait des conséquences humaines au bris. En effet, 39 % des bris qui ont lieu sur une propriété privée se soldent par des blessés ou des morts alors que c'est le cas de seulement 16 % des bris sur des propriétés publiques ($p=0,001$) et seulement 8 % sur des droits de passage ou des servitudes de service public ($p=0,000$). Ainsi, de façon significative, on constate plus de décès ou morts suite à un bris lorsque le bris a lieu sur une propriété privée que sur un autre terrain. On peut interpréter ce résultat en avançant l'hypothèse que lorsque l'on parle de terrain privé, il s'agit surtout de terrains agricoles par exemple. Sur un terrain privé, la personne qui fait l'excavation peut avoir la perception de bien connaître son terrain et donc peut-être de relâcher sa vigilance. On constate d'ailleurs que la répartition des blessés et des décès lorsque le bris a lieu sur un terrain privé diffère de la répartition moyenne exposée à la Figure 13. Ainsi 86 % des décès se retrouvent au niveau de la population générale (contre 67 % en moyenne pour tous les bris sur la même période) et également 59 % des blessés (contre 50 %) sont des personnes du public.
- Le **type d'excavateur** a une influence sur la probabilité qu'il y ait des morts ou des blessés suite au bris. Plus particulièrement et de façon significative, la probabilité est plus faible lorsque l'excavateur est un entrepreneur. Pour les municipalités, comme pour les propriétaires d'infrastructures, on pourrait penser qu'ils travaillent davantage dans

l'urgence ce qui pourrait expliquer une vigilance moins accrue en raison de l'urgence de la situation, l'excavation devant être faite rapidement pour une réparation.

- Le **diamètre de la conduite** a une influence significative sur la probabilité qu'il y ait des morts ou des blessés suite au bris. Ainsi, plus le diamètre de la conduite diminue, plus la probabilité d'avoir des morts ou des blessés augmente ($R=-0,411$, $p=0,000$).

Le tableau suivant récapitule les facteurs aggravants ou minimisant la probabilité d'avoir des morts ou des blessés à la suite d'un bris :

Facteurs	Aggravant	Minimisant
Tuyau en plastique	↗	
Présence d'un système SCADA		↘
Marquage visible		↘
Emplacement du bris sur une propriété privée	↗	
Excavateur est un entrepreneur		↘
Survenue d'un incendie	↗	
Survenue d'une explosion	↗	
Plus petit diamètre de la conduite	↗	

Tableau 10 : Facteurs affectant la probabilité d'avoir des morts ou des blessés advenant un bris d'infrastructures gazières aux États-Unis

Test de comparaison des moyennes sur 18 variables explicatives potentielles à la variable « gravité des conséquences SST ».

Nous avons fait le même exercice que pour la variable « Morts ou blessés suite au bris ». Toutefois, l'objectif ici n'est pas de comparer la probabilité qu'il y ait ou non des morts ou des blessés, mais plutôt de comparer la moyenne de la gravité des conséquences en SST.

Le tableau suivant présente les résultats des tests de comparaison de moyennes entre les variables indépendantes et la variable dépendante gravité de l'accident. Rappelons que la gravité a été définie comme une variable pouvant prendre des valeurs de 0 à 4, avec 0 correspondant à aucune conséquence et 3 correspondant à 1 mort et moins de 3 blessés ou aucun décès et plus de 2 blessés, et 4 correspondant au reste des scénarios (pires que les précédents).

On retrouve sensiblement les mêmes variables significatives que pour les autres tests sur la variable « conséquence ». Ainsi, la présence d'un système SCADA diminue de façon significative la gravité des conséquences en cas de bris. De la même façon, lorsque le bris est sur une traverse,

la gravité est moindre de façon statistiquement significative. À l'inverse, lorsque le bris a lieu sur un terrain privé, la gravité est plus importante de façon statistiquement significative. Lorsqu'il y a un incendie ou explosion, la gravité est plus forte de façon significative.

VARIABLES		Moyenne de la gravité		Taux de signification
		Si VI=0	Si VI=1	p
NATURE DE LA CONDUITE	Type de matériau de la canalisation (plastique ou autre)	0,3208	0,4071	0,129
	Présence d'un système de contrôle et d'acquisition de données (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> , SCADA)	0,4276	0,2239	0,045
VARIABLE TEMPORELLE	Mois (été ou non)	0,4574	0,296	0,922
PRÉALABLES PRÉ-TRAVAUX	Notification d'activité d'excavation à un centre d'appel	0,3623	0,3667	0,746
	Marquage visible	0,5217	0,3516	0,102
	Marquage fait correctement	0,2941	0,4066	0,404
LOCALISATION DU BRIS	Bris sur une traverse	0,397	0,05	0,091
CONSÉQUENCE DU BRIS	Incendie	0,0588	0,73	0,000
	Explosion	0,095	1,3913	0,000

Tableau 11 : Synthèse des résultats des tests de Mann-Whitney pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »

		Moyenne de la gravité	
Type de localisateur	1: Localisateur - Propriétaire d'infrastructure	,2836	
	2: Localisateur : Localisateur de l'entrepreneur	,4158	
	3: Localisateur : autre ou inconnu	,5152	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,584
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,518
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,301
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,583

		Moyenne de la gravité	
Emplacement du bris	1: Propriété publique	,2752	
	2: Propriété privée	,8571	
	3: Droit de passage ou servitude de service public	,1311	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,000
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,001
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,168
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,000

		Moyenne de la gravité	
Type de travaux d'excavation	1: Travaux de gaz naturel	,5294	
	2: Travaux routiers	,1579	
	3: Travaux d'égouts / aqueduc	,2813	
	4: Travaux de télécommunications	,3600	
	5: Autres	,4362	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,678
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,330
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,248
		1 vs 4 (Signification asymptotique)	0,503
		1 vs 5 (Signification asymptotique)	0,408
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,498
		2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,382
		2 vs 5 (Signification asymptotique)	0,335
		3 vs 4 (Signification asymptotique)	0,702
		3 vs 5 (Signification asymptotique)	0,638
4 vs 5 (Signification asymptotique)	1,000		

		Moyenne de la gravité	
Type d'excavateur	1: Entrepreneur	,2733	
	2: Municipalité	,4000	
	3: Occupant	,8750	
	4: Propriétaire d'infrastructure	,7391	
	5: Autre	,4706	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,035
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,055
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,065
		1 vs 4 (Signification asymptotique)	0,012
		1 vs 5 (Signification asymptotique)	0,643
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,829
		2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,893
		2 vs 5 (Signification asymptotique)	0,473
		3 vs 4 (Signification asymptotique)	0,877
3 vs 5 (Signification asymptotique)	0,475		
4 vs 5 (Signification asymptotique)	0,416		

		Moyenne de la gravité	
Type d'équipement	1: Équipement de forage (auger, boring, Directional drilling)	,5246	
	2: Rétrocaveuse	,3711	
	3: Autre	,1967	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,529
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,903
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,317
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,308

		Moyenne de la gravité	
Cause du bris	1: Aucune notification à un centre d'appel unique	,2500	
	2: Pratiques de localisation inadéquates	,1837	
	3: Pratiques d'excavation inadéquates	,5054	
	4: Autres causes	,4138	
Kruskal-Wallis		Signification asymptotique	0,427
Mann-Whitney		1 vs 2 (Signification asymptotique)	0,398
		1 vs 3 (Signification asymptotique)	0,436
		1 vs 4 (Signification asymptotique)	1,000
		2 vs 3 (Signification asymptotique)	0,105
		2 vs 4 (Signification asymptotique)	0,478

Tableau 12 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal-Wallis pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »

	Bris avec des morts ou des blessés	
	Coefficient de corrélation de Spearman	p
Diamètre de la conduite	-0,401	0,000
Année d'installation de la conduite	0,096	0,155

Tableau 13 : Synthèse des résultats des tests de corrélation de Spearman pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »

Le tableau suivant résume les facteurs augmentant la gravité des conséquences en SST advenant un bris d'infrastructures gazières aux États-Unis.

Facteurs	Aggravant	Minimisant
Présence d'un système SCADA		↘
Emplacement du bris sur une propriété privée	↗	
Bris sur une traverse		↘
Excavateur est un entrepreneur		↘
Présence d'un incendie	↗	
Présence d'une explosion	↗	
Plus petit diamètre de la conduite	↗	

Tableau 14 : Facteurs augmentant la gravité des conséquences advenant un bris d'infrastructures gazières aux États-Unis

12.3.4 Développement d'un modèle de régression logistique binaire pour prédire la probabilité qu'il y ait des décès ou des blessés suite à un bris de gaz

Cadre de l'étude

L'analyse des relations de dépendance entre les différentes variables et les conséquences en termes de santé et sécurité au travail ou la gravité d'un bris de conduite de gaz aux États-Unis a permis de tirer certaines conclusions. Toutefois, ces analyses ont été faites indépendamment les unes des autres. Il est important de voir, lorsque plusieurs variables sont considérées ensemble, quelle est celle qui a le plus d'influence sur le fait qu'il y ait des conséquences ou non.

Sélection du modèle et des variables

L'objectif principal est d'identifier le poids des variables pertinentes qui ont un impact direct sur la probabilité qu'il y ait un blessé ou un mort à la suite du bris.

Pour résoudre le problème qui consiste à prédire la probabilité qu'il y ait des morts ou des blessés suite à un bris de conduite de gaz, nous avons appliqué une technique d'analyse multivariée : la régression logistique binaire. Elle permet de prédire une probabilité qu'un événement se produise à partir des poids de chacune des variables indépendantes. Celles-ci peuvent être continues ou discrètes et la variable dépendante est de type binaire. Cette méthode n'exige pas

une distribution normale des prédicteurs ni l'homogénéité des variances (Desjardins, 2005). Un rappel théorique sur cette régression est fourni en Annexe 1.

Comme il s'agit d'une étude exploratoire, nous allons utiliser une régression logistique (avec la méthode ascendante pas à pas) avec un seuil critère de 0,10 afin que des variables moins importantes ne soient pas totalement exclues. Il faut conserver autant d'information que possible. Il ne s'agit pas en effet de conserver uniquement les meilleurs prédicteurs, mais bien de comprendre l'ensemble du phénomène et tous les facteurs explicatifs. Le tableau suivant synthétise les variables sélectionnées. 7 variables (en grisé dans le tableau), correspondantes aux variables significatives, parmi les 18 utilisées dans les comparaisons de moyenne ont été retenues dans le modèle.

NATURE DE LA CONDUITE	Type de matériau de la canalisation
	Diamètre de la conduite
	Année d'installation de la conduite
	Présence d'un système de contrôle et d'acquisition de données (<i>Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA</i>)
VARIABLE TEMPORELLE	Mois
PRÉALABLES PRÉ-TRAVAUX	Notification d'activité d'excavation à un centre d'appel
	Type de localisateur
	Marquage visible
	Marquage fait correctement
LOCALISATION DU BRIS	Emplacement du bris / Propriété privée
	Bris sur une traverse
NATURE DES TRAVAUX	Type de travaux d'excavation
	Type d'excavateur / Entrepreneur
	Type d'équipement
CONSÉQUENCE DU BRIS	Incendie
	Explosion
	Quantité de gaz rejeté
CAUSES	Cause du bris

Tableau 15 : 7 variables retenues dans le modèle de régression logistique

Réglage des paramètres du modèle de régression logistique binaire

L'analyse de régression logistique s'est effectuée sous le logiciel SPSS.

La méthode de régression choisie est celle qui est progressive ascendante pas à pas. En effet, le logiciel SPSS introduit la variable ayant le score le plus élevé en premier jusqu'à ce qu'aucune variable n'ait un rapport de vraisemblance significatif. Il est à noter quand même qu'un test avec la méthode de Wald ascendante a été aussi réalisé, et les résultats ont été semblables.

Le nombre maximal d'itérations a été fixé par défaut à 20 itérations pour réduire la complexité du modèle. L'intervalle de confiance pour le rapport de cote Exp (bi) a été maintenu à 95%. Les points de coupure pour la sélection des variables ont été fixés à 0,05 pour l'ajout des variables et à 0,10 pour le retrait.

Résultats du modèle de régression logistique binaire

- *Test de Hosmer et Lemeshow*

4 itérations ont été effectuées afin d'obtenir un résultat optimal en termes de rapport de vraisemblance. Le Tableau 16 montre que la différence entre les valeurs observées et les valeurs prédites est devenue de plus en plus significative lors de l'introduction de la deuxième et troisième variable au modèle.

Etape	Khi-Chi-deux	ddl	Sig.
1	0,000	0	
2	1,382	2	,501
3	3,123	4	,537
4	6,017	8	,645

Tableau 16 : Test de Hosmer-Lemeshow

- *Vérification de la force d'association du modèle*

Le modèle obtenu explique 54,7 % de la variance de la probabilité d'avoir des blessés ou des décès suite à un bris d'infrastructures souterraines (R^2 de Nagelkerke)

Récapitulatif des modèles

Etape	-2log-vraisemblance	R-deux de Cox & Snell	R-deux de Nagelkerke
1	123,502 ^a	,241	,383
2	112,973 ^b	,286	,455
3	107,338 ^b	,309	,491
4	98,363 ^c	,345	,547

Tableau 17 : Tableau récapitulatif des modèles

Le modèle classe correctement les sujets dans 89,5 % des cas. En d'autres termes, si un bris présente les caractéristiques énumérées dans le modèle, il fera partie du groupe « avec des blessés ou des décès » dans 89,5% des cas.

Tableau de classement^a

Observations	Prévisions				
	CONSEQUENCE		0	1	Pourcentage correct
	0	1			
Étape 1	CONSEQUENCE	0	125	13	90,6
		1	11	23	67,6
	Pourcentage global				
Étape 2	CONSEQUENCE	0	125	13	90,6
		1	11	23	67,6
	Pourcentage global				
Étape 3	CONSEQUENCE	0	134	4	97,1
		1	21	13	38,2
	Pourcentage global				
Étape 4	CONSEQUENCE	0	128	10	92,8
		1	8	26	76,5
	Pourcentage global				

a. La valeur de césure est ,500

Tableau 18 : Tableau de classement

- *Signification des prédicteurs et interprétations des rapports de cote*

Dans un premier temps, nous avons examiné la pertinence des coefficients estimés des variables indépendantes conservées dans l'équation en se basant sur la statistique Wald.

Le tableau suivant montre les caractéristiques des variables retenues à la dernière étape.

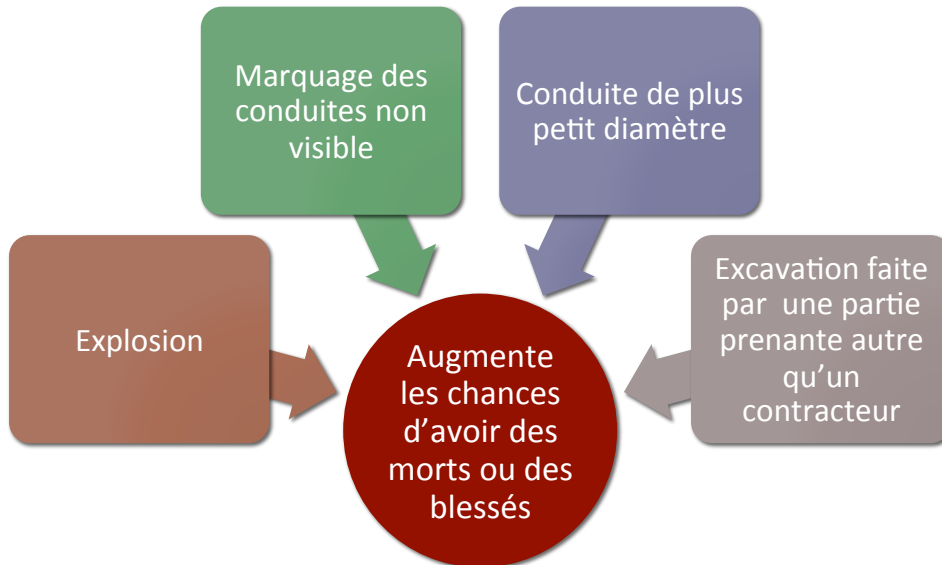
	A	E.S.	Wald	ddl	Sig.	Exp(B)	IC pour Exp(B) 95%	
							Inférieur	Supérieur
Étape 4 ^a								
EXPLOSION	2,920	,582	25,171	1	,000	18,539	5,925	58,006
MARQUAGE VISIBLE	-1,361	,565	5,800	1	,016	,256	,085	,776
EXCAVATEUR = ENTREPRENEUR	-1,555	,581	7,163	1	,007	,211	,068	,660
DIAMETRE DU TUYAU	-,401	,162	6,165	1	,013	,669	,488	,919
Constante	,804	,730	1,215	1	,270	2,235		

Tableau 19 : Tableau de résultats du modèle de régression logistique binaire

Le modèle montre que :

- Lorsqu'il y a une **explosion**, le bris est plus susceptible d'engendrer des blessés ou des décès (A=2,920, p=0,000), le rapport de cote étant de 18. (Force de la relation). Cela signifie qu'un bris avec une explosion est 18 fois plus susceptible d'induire des morts ou des blessés.
- Les bris lorsque **le marquage est visible (A=-1,361, p=0,016) et que l'excavation est faite par un entrepreneur (A=-1,555, p=0,007)** ont plus de chance de ne pas avoir de conséquences en termes de SST (i.e., pas de morts ni blessés)
- De plus, il est montré que **les bris sur des tuyaux de diamètre plus petits** sont plus susceptibles de faire partie du groupe des bris engendrant des blessés ou des décès (A=-0,401, p=0,013).

Ainsi 4 facteurs peuvent être considérés comme des facteurs augmentant la probabilité qu'il y ait des blessés ou des morts à la suite d'un bris sur une conduite de transmission de gaz aux États-Unis telle que l'illustre la figure ci-dessous.



L'objectif de l'étude était d'identifier les facteurs associés à l'augmentation de la probabilité qu'un bris de conduite de distribution de gaz s'ensuive d'un blessé ou d'un mort.

Le modèle de régression logistique a prouvé que les 4 facteurs énoncés plus haut sont les principaux facteurs qui influencent la probabilité d'avoir des conséquences en SST.


La probabilité qu'une conséquence se produise peut s'écrire ainsi :

$$p(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(0,804 + 2,920 \text{Explosion} - 1,361 \text{Marquage_visible} - 1,555 \text{excavateur_entrepreneur} - 0,401 \text{diamètre_tuyau})}}$$

Ce modèle permet de prédire 89,5% d'avoir des conséquences en SST.

Différents éléments sont à retenir ici :

- Le marquage et plus globalement la localisation des conduites a donc un impact réel sur les conséquences en termes de santé et sécurité du travail advenant un bris d'une conduite de gaz aux États-Unis. Ce résultat montre toute l'importance à accorder à avoir une localisation adéquate. Dans ce contexte, il serait important de réfléchir éventuellement à développer et implanter d'autres façons de localiser les conduites



que le marquage avec de la peinture. À ce titre, l'utilisation de carte géo référencée pourrait être une alternative permettant de limiter l'effacement du marquage avec le temps en plus de permettre un partage d'information plus rapide entre toutes les parties prenantes.

- Le diamètre du tuyau semble avoir une importance dans la probabilité qu'il y ait des morts ou des blessés suite à un bris. Une interprétation pourrait être que les travailleurs ne perçoivent peut-être pas nécessairement le risque réel posé par ces tuyaux de petit diamètre et ainsi prennent peut-être moins de précautions. Pourtant les risques sont réels.
- Lorsque l'excavation est faite par une partie prenante autre qu'un contracteur (entrepreneur), la probabilité d'avoir des blessés ou des morts augmente. Ce résultat vient mettre en relief toute l'importance de la formation et de la sensibilisation de tous les acteurs pouvant avoir un lien avec l'excavation, y compris les propriétaires d'infrastructures souterraines et les municipalités.

12.3.5 Extrapolation des résultats au Québec

Différents éléments rendent complexe l'extrapolation des résultats de l'analyse de la base de données américaines PHMSA au Québec :

- Les réglementations sont différentes entre le Québec et les États-Unis.
- Le système One Call est obligatoire aux États-Unis.
- Les formations aux travailleurs sont différentes.
- La culture de travail est très certainement différente.
- La profondeur d'enfouissement des réseaux gaziers n'est pas nécessairement identique : aux États-Unis, ces infrastructures sont généralement enfouies entre 90 à 120 cm de profondeur alors qu'au Québec, la profondeur d'enfouissement varie selon la localisation, mais ne dépasse pas 150 cm.
- L'industrie de la distribution du gaz est très différente entre les États-Unis et le Québec : il y a de nombreux propriétaires différents aux États-Unis alors qu'il n'existe que 2 acteurs au Québec, dont un majeur, Énergir.
- Le climat n'est pas le même entre les États-Unis et le Québec, ce qui fait que dans de nombreux états plus chauds, les conduites sont enterrées moins profondément.
- Aux États-Unis, la déclaration des bris est faite sur une base obligatoire alors qu'elle se fait sur une base volontaire au Québec. Toutefois, nous ne savons pas dans quelle mesure la déclaration obligatoire est contrôlée. Comment s'assure-t-on que tous les bris par des tiers soient rapportés ? Surtout ceux qui n'impliquent pas de morts ou blessés ?
- Aux États-Unis, les propriétaires d'infrastructures souterraines sont obligés d'être membres d'un système One Call.

- ❑ Il semble y avoir de grandes différences en termes d'acteurs des travaux d'excavation (au Québec, les bris sont en très grande majorité causés par des entrepreneurs travaillant pour le compte des municipalités alors qu'il semble qu'aux États-Unis, ce soient les municipalités elles-mêmes qui exécutent leurs travaux).

Extrapolation en utilisant la taille du réseau

Les bris enregistrés au niveau des conduites de gaz au Québec appartiennent au réseau de distribution, de transport et d'alimentation. Celui-ci est détenu principalement par Gaz Métro et s'étend à plus de 10000km. Quant aux bris concernant les conduites de gaz américaines, notre étude a été restreinte au réseau de distribution qui s'étale sur 2 069 000 km.

Sur la période de 2010 à 2016, aux États-Unis, 219 bris de gaz dû à une excavation ont été recensés pour un réseau de 2 069 000 km. Sachant que le réseau de distribution de gaz au Québec a une longueur de plus de 10 000 km (Gaz Métro, 2016), au niveau théorique et en utilisant le ratio des États-Unis (sans oublier les limites liées aux facteurs listés plus haut), on devrait ne recenser qu'un seul bris de conduite de gaz par un tiers. Le résultat observé est plutôt de 3 000 bris sur la même période.

Considérons maintenant le nombre de bris de conduites de gaz dû à une excavation et ayant entraîné des morts ou des blessés. On recense aux États-Unis, 41 bris avec des morts ou des blessés, toujours pour un réseau de 2 069 000 km. En extrapolant ces résultats, au niveau théorique, pour le Québec, on ne devrait pas avoir de bris entraînant des morts ou des blessés compte tenu de la taille moindre du réseau. Toutefois, le résultat observé au Québec est de 20 bris ayant entraîné des blessés.

Une conclusion peut être tirée de cette extrapolation (tout en ne perdant pas de vue les limites liées à celle-ci) : comme on constate plus de bris au Québec qu'aux États-Unis ramené à la longueur du réseau, il semble que la législation obligatoire qui prévaut aux États-Unis a une influence sur cet aspect. Ainsi, on peut supposer que si une législation était implantée au Québec rendant obligatoire la localisation des conduites souterraines et l'inscription de toutes les entreprises propriétaires d'infrastructures souterraines à un centre d'appel unique, le nombre de bris causé par une excavation diminuerait, mais aussi potentiellement le nombre de bris avec des blessés ou des morts associés. En outre, le fait d'avoir une législation obligatoire permettrait d'avoir un retour d'expérience sur les accidents de travail pour le Québec beaucoup plus efficace et juste puisqu'il serait représentatif de la réalité et non basé sur des bris déclarés volontairement. Nous avons en effet constaté la difficulté d'extrapoler des résultats de banques de données américaines au Québec.

13 INFRASTRUCTURES D'HYDROCARBURES LIQUIDES AMÉRICAINES

13.1 Description de la base de données

La base de données des accidents de bris de conduites de distribution d'hydrocarbures liquides a été extraite de la banque de données de la PHMSA qui compile, comme détaillé précédemment, l'ensemble des incidents déclarés en vertu du 191.3 CFR 49.

L'objectif principal ici est de dresser la distribution des bris selon les conséquences produites (blessures et morts), d'identifier les causes principales ainsi que les relations entre les différentes variables mises en jeu. Ainsi, de la même façon que pour les bris d'infrastructures gazières, dans un premier temps, des statistiques descriptives vont être présentées et permettront de se rendre compte de la proportion des bris causés par des excavations parmi tous les autres bris ainsi que de la distribution des bris selon le nombre de morts ou de blessés par bris.

La base de données, tout comme elle le fait pour les infrastructures gazières, compile les incidents de bris de conduite d'hydrocarbures liquides aux États-Unis depuis 1968. La présentation des données est morcelée en 4 groupes d'années : de 1968 à 1985, de 1986 à 2001, de 2002 à 2009 et de 2010 à aujourd'hui. Pour les mêmes raisons qui ont motivé ce choix pour les bris d'infrastructures gazières, nous allons restreindre nos analyses à la période 1986 à nos jours pour ce qui est des statistiques descriptives et de 2010 à aujourd'hui pour les tests de moyenne et les analyses économétriques.

13.2 Statistiques descriptives

13.2.1 Distribution des bris et des conséquences en fonction des circonstances du bris

Les bris de conduites de distribution de gaz enregistrés aux États-Unis se produisent non seulement au cours des travaux d'excavation, mais peuvent être aussi dus à différentes circonstances telles que :

- Corrosion interne et externe ;
- Forces naturelles (vent fort, température élevée, pluie, séisme) ;
- Excavation ;
- Autres forces externes.

Tout comme pour les bris de conduites de gaz, la base de données retrace certains accidents ayant lieu dans les conduites d'hydrocarbure liquide que ce soit pendant des travaux d'excavation ou non⁹. Nous avons limité notre analyse aux bris en cas d'excavation, puisque les autres circonstances de bris se situent hors de notre étude.

⁹ L'ensemble des bases de données de PHMSA sont téléchargeables à partir du lien suivant : <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/pipeline-incident-20-year-trends>, consulté le 12 mai 2017.

Toutefois, la distinction entre ces deux types d'événements a été une contrainte. En effet, les bases de données ne contenaient pas nécessairement les mêmes arguments pour les variables qui décrivaient clairement la cause de l'accident et en particulier s'il s'agissait d'une excavation, ce qui a rendu difficile le filtrage des accidents qui ont lieu en cas d'excavation. Pour remédier à cela, nous avons utilisé la variable « cause » qui pouvait prendre des valeurs différentes en fonction des années. Le tableau suivant résume les termes retenus pour parler des bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide causés par des travaux d'excavation.

Années	1986-2001	2002-2009	2010-2016
Variable de discrimination pour les bris causés par des excavations	Outside force damage / damage by operator or its contractor / damage by others	Excavation damage	Excavation damage

Tableau 20 : Tableau indiquant les éléments retenus pour discriminer les bris causés par une excavation des autres bris

La Figure 14 montre l'évolution du nombre de bris, du nombre de blessés et du nombre de morts, toutes circonstances confondues depuis 2002.

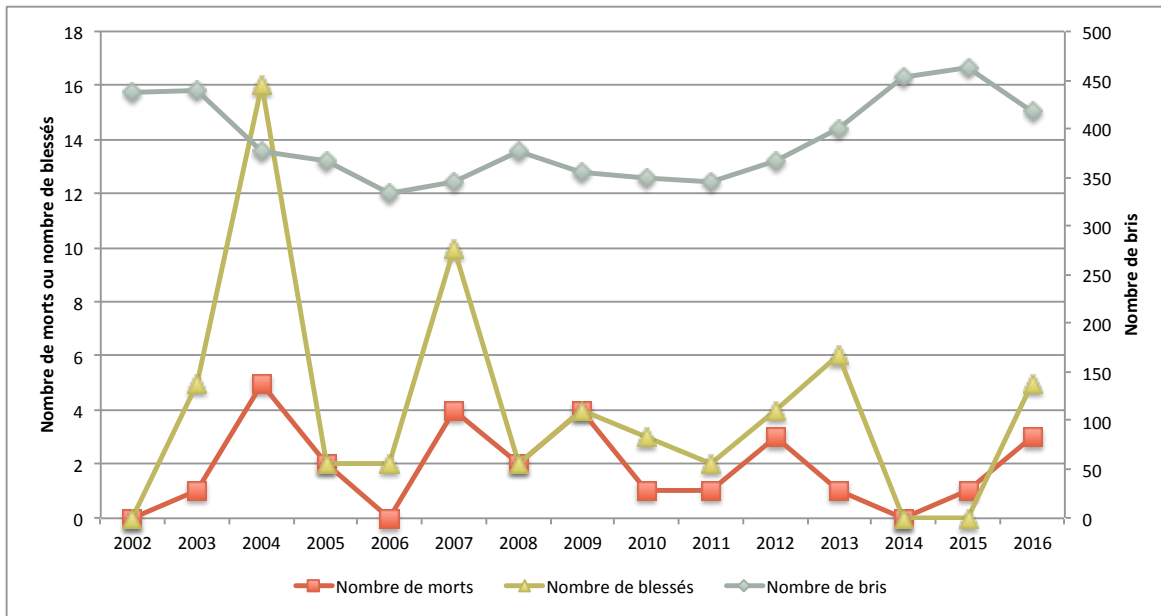


Figure 14: Évolution du nombre de bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide toutes circonstances confondues, du nombre de morts et du nombre de blessés de 1997 à 2016 (source: compilation CIRANO à partir de la base de données PHMSA)

Si l'on se limite aux 15 dernières années, on constate que, toutes circonstances confondues, le nombre de bris oscille autour de 350 à 400 bris par année, ce qui est un chiffre beaucoup plus

élevé que le nombre de bris pour des infrastructures gazières. Par contre, le nombre de morts et le nombre de blessés sont moindres : 28 morts et 61 blessés pour 5825 bris qu'ils soient causés ou non par une excavation.

Depuis 1986 jusqu'à 2016, **9 083** bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide ont été répertoriés. En retenant les critères de différenciation des bris établis dans le Tableau 21, on constate que la proportion de bris enregistré pendant des travaux d'excavation se maintient aux alentours de 5% de tous les bris depuis 2002. Il est plus difficile d'établir des comparaisons dans le temps pour la période avant 2002, étant donné que la cause du bris n'est pas renseignée de la même façon dans les bases de données, ce qui laisse supposer une surestimation pour la période 1986-2001.

	1986-2001	2002-2009	2010-2016
Nombre de bris	3085	3029	2969
Nombre de bris causé par une excavation	697	183	104
Proportion des bris causé par une excavation	23%	6%	4%

Tableau 21 : Comparaison du nombre de bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide aux États-Unis en fonction des circonstances du bris

On constate une légère baisse dans la proportion des bris causés par une excavation entre les périodes 2002-2009 et 2010-2016. Cette récente baisse pourrait être due aux efforts effectués en termes de sensibilisation aux dangers présents dans le cas d'un chantier d'excavation. Toutefois, il est important de noter que le nombre de bris moyen par année causé par une excavation a légèrement augmenté entre ces 2 périodes.

Une étude comparative du nombre de morts et de blessés en fonction du type de circonstances a été réalisée. Les Figure 15 et Figure 16 montrent le nombre de morts et de blessés lors de bris de conduites de distribution d'hydrocarbure liquide aux États-Unis selon que le bris ait été causé par une excavation ou non. Du fait que les définitions d'un incident ont changé au fur et à mesure des années et qu'il est difficile d'isoler de façon certaine les incidents causés par une excavation, ces statistiques sont données uniquement à partir de 2002.

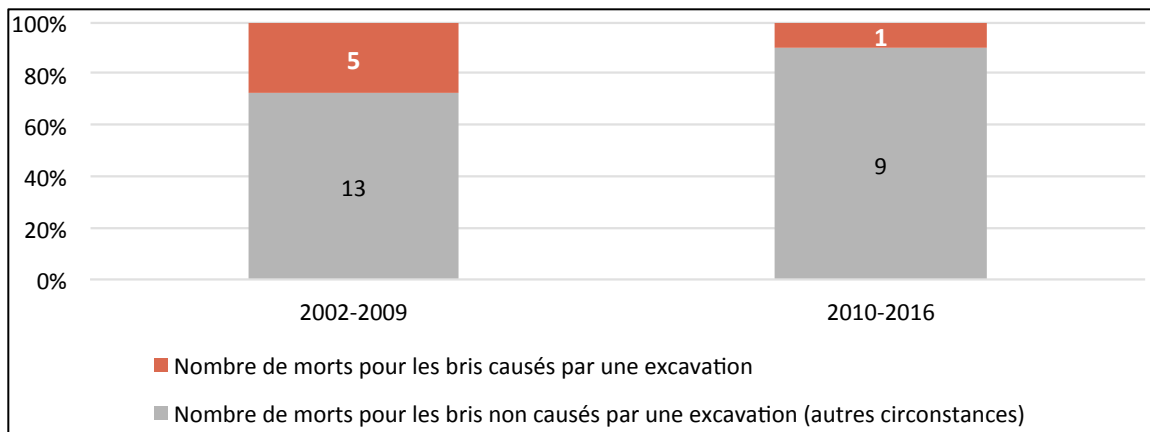


Figure 15 : Évolution du nombre de morts en fonction de la circonstance du bris de la conduite d'hydrocarbure liquide aux États-Unis (causé par une excavation ou non)

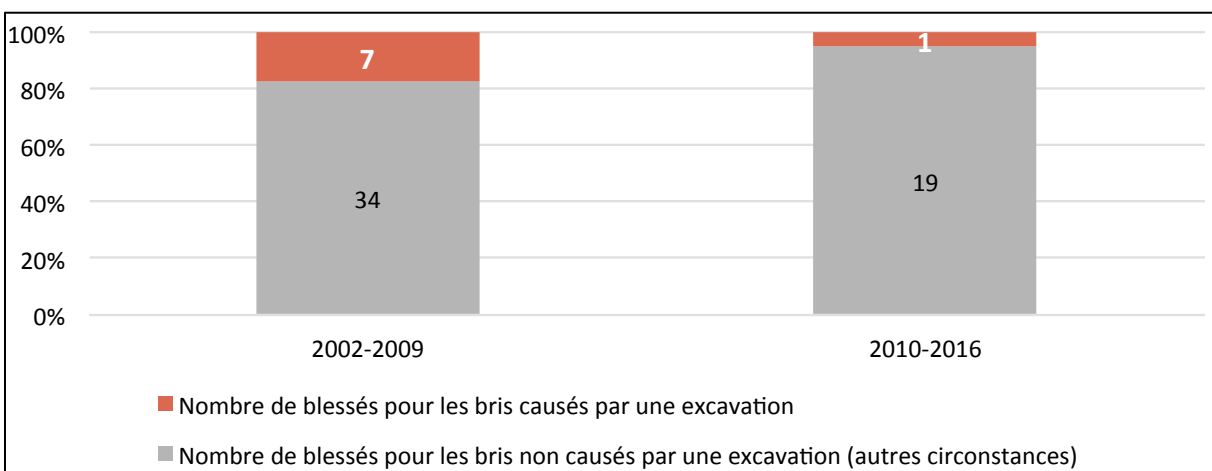


Figure 16 : Évolution du nombre de blessés en fonction de la circonstance du bris de la conduite d'hydrocarbure liquide aux États-Unis (causé par une excavation ou non)

Compte tenu du très faible nombre de blessés et nombre de morts lors de bris de conduites d'hydrocarbure liquide causés par une excavation aux États-Unis, nous ne pouvons pas réaliser les mêmes analyses économétriques qui ont été utilisées pour les bris d'infrastructures gazières. Seulement 6 bris sur les 287 (0,02%) bris causés par des excavations sur la période 2002-2016 ont eu des conséquences en termes de santé et sécurité (à savoir des morts ou des blessés ou les 2). Une masse critique de bris avec des conséquences en termes de santé et sécurité au travail étant absente, les analyses ne convergeraient pas vers des conclusions fiables. En outre, sur les 6 décès à la suite de bris de conduites d'hydrocarbure liquide aux États-Unis causés par une excavation sur la période 2002-2016, la totalité représente des décès au sein de la population en général et non des travailleurs. Aussi, sur les 8 blessés à la suite de bris de conduites d'hydrocarbure liquide aux États-Unis causés par une excavation sur la période 2002-2016, 6 (75%) sont des blessés au sein de la population en général et non des travailleurs.

14 INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES CANADIENNES

L'étude des bris d'infrastructures souterraines canadiennes s'est basée sur l'analyse de la base de données extraite des bases documentaires de l'Office national de l'énergie (ONE). Celle-ci contient les accidents produits principalement au niveau des infrastructures gazières et d'hydrocarbures liquides sur une période de 8 ans (entre 2008 et septembre 2016).

14.1 Description de la base de données et préparation des données

14.1.1 Description de la base de données

Les étapes les plus importantes de l'analyse sont d'identifier les facteurs pertinents, de prendre en compte le traitement des données manquantes et d'évaluer la distribution et l'hétérogénéité des données afin d'en extraire une information fiable. La base de données originale comporte 940 enregistrements et 76 variables d'entrée relatives à la date de l'occurrence, la localisation de l'accident, le type de déversement, les causes directes, les conditions de travail et les paramètres de la conduite souterraine. Les variables de sortie concernant notre étude comprennent le nombre et le type de blessures, le nombre de morts, le niveau d'urgence et l'importance de l'accident.

Compte tenu du cadre de notre projet, nous avons décidé de les ajuster : réduire et transformer les données.

14.1.2 Sélection des variables

- Sélection des variables

Parmi les 76 variables existantes dans la base de données, nous avons décidé de ne garder que les variables pouvant répondre aux problématiques posées. Celles-ci concernent 3 principaux volets : type de l'accident, les conséquences sur la santé des travailleurs à proximité et les causes.

Variables	Description
Année	
Type de déversement	Gaz- hydrocarbures liquides
Nombre de décès	
Type de blessures	
Nombre de blessés	
Niveau d'urgence	Niveau 1- Niveau 2-Niveau 3
Important	Oui -Non
Cause immédiate	Corrosion ; Défaillance de l'équipement ; Dégradation du matériau ; Erreur d'exploitation ; Forces de la nature
Activité en cours lorsqu'est survenu le décès	Accident de véhicule ; Utilisation d'engins

Tableau 22 : Variables sélectionnées dans la base de données des infrastructures canadiennes

- Gestion des points aberrants

Un des problèmes rencontrés lors de la préparation des données est le manque de variables renseignées, en particulier celles qui sont sélectionnées pour notre étude. À titre d'exemple, 43% des enregistrements ne sont pas renseignés par le type de déversement (hydrocarbures ou gaz naturel). Nous avons décidé de les conserver dans l'analyse de la distribution des données.

14.1.3 Qualité des données

Même s'il existe des variables très intéressantes pour quantifier le risque des bris sur la santé des travailleurs : le nombre et type de blessures, le nombre de morts, l'importance et le niveau d'urgence de l'accident, ces variables sont rarement renseignés. En effet, il y a seulement 7 enregistrements parmi 940 qui sont accompagnés du nombre de blessés et de morts. Quant au type de blessure, cette donnée ne peut pas être exploitée vu l'absence d'un nombre raisonnable d'enregistrements en cas de blessures et/ ou morts.

Par contre, le fait qu'il y ait eu un décès ou un blessé suite à un bris peut également être visualisé sous la variable « Types d'incident ». Si l'on se fie uniquement sur cette variable, alors on constate qu'il y a plutôt 30 bris pour lesquels il y a eu un ou plusieurs blessés et 6 bris pour lesquels il y a eu un ou plusieurs décès.

Le problème est que pour plusieurs bris classifiés pour la variable « types d'incident » comme « Blessure grave » ou « décès », les variables « nombre de morts » et « nombre de blessés » sont soit vides, soit renseignés avec un 0. Ces contradictions au sein même de la base de données complexifient grandement notre analyse et surtout sa fiabilité. Devrait-on privilégier l'utilisation de la variable « types d'incident » ou « nombre de morts » dans les analyses statistiques ?

Finalement, parmi les causes directes existantes, il n'y a aucune mention de l'excavation ni de mise en œuvre de méthodes de construction inadéquates. En l'absence d'une description détaillée du scénario de chaque accident, il n'est pas facile de restreindre l'étude aux travaux d'excavation. Ainsi, il est difficile d'extraire des conclusions par rapport aux dangers courants au niveau des conduites de gaz et d'hydrocarbures au Canada ni d'évaluer leur gravité dans le cas d'excavation. Toutefois, nous allons analyser la distribution des déversements des substances d'une manière globale et la comparer avec celle des États-Unis.

14.2 Analyse de la distribution des données

14.2.1 Distribution temporelle

La Figure 17 montre l'évolution des bris de conduites de gaz et d'hydrocarbures liquides au Canada. Nous remarquons que la majorité des accidents enregistrés concerne le gaz. En effet, 474 accidents parmi 534 accidents se sont produits au niveau des conduites de gaz et le nombre de bris d'infrastructures gazières n'a cessé d'augmenter entre 2008 et 2012 alors que le nombre de bris d'infrastructures d'hydrocarbures était en baisse pendant la même période. Entre 2012 et 2014, la tendance s'est inversée entre les deux types de déversements.

En moyenne, plus de 52 déversements de gaz et 6 déversements d'hydrocarbures se sont produits annuellement. Le nombre maximal de déversements du gaz est de 72 et a été atteint en 2012 alors que le nombre maximal de déversements d'hydrocarbures est de 9 et a été atteint plusieurs fois.

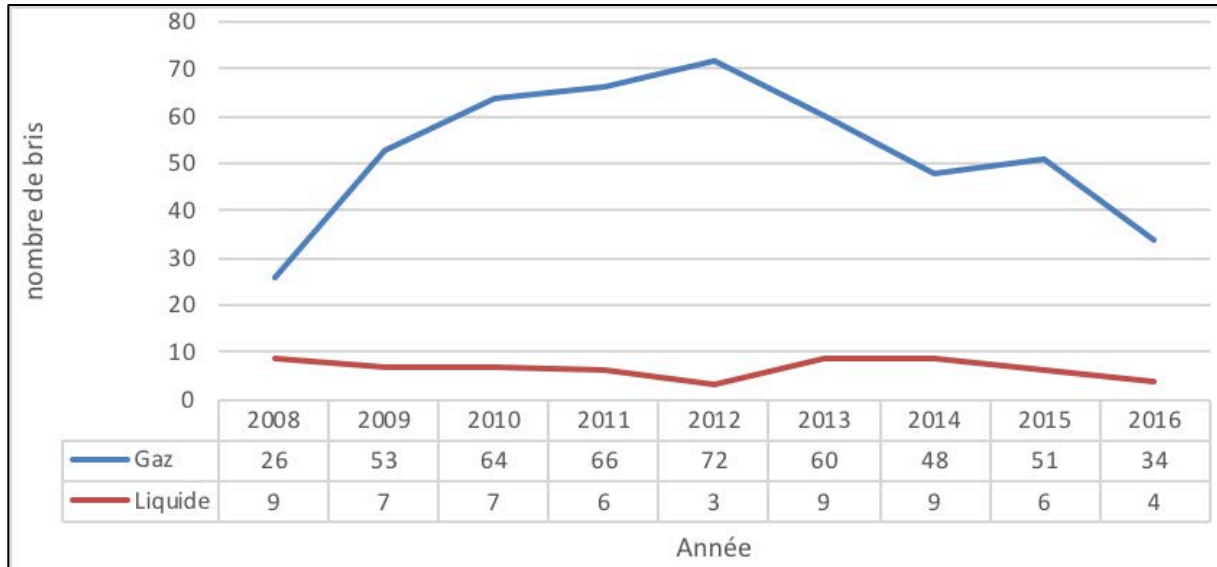


Figure 17: Évolution des déversements du gaz et des hydrocarbures au Canada

14.2.2 Distribution selon le fait qu'il y ait des blessés ou des morts

Compte tenu des contradictions évoquées précédemment sur certaines variables, nous avons fait le choix d'utiliser la variable « Types d'incident » pour visualiser les bris pour lesquels il y a eu des morts ou des blessés.

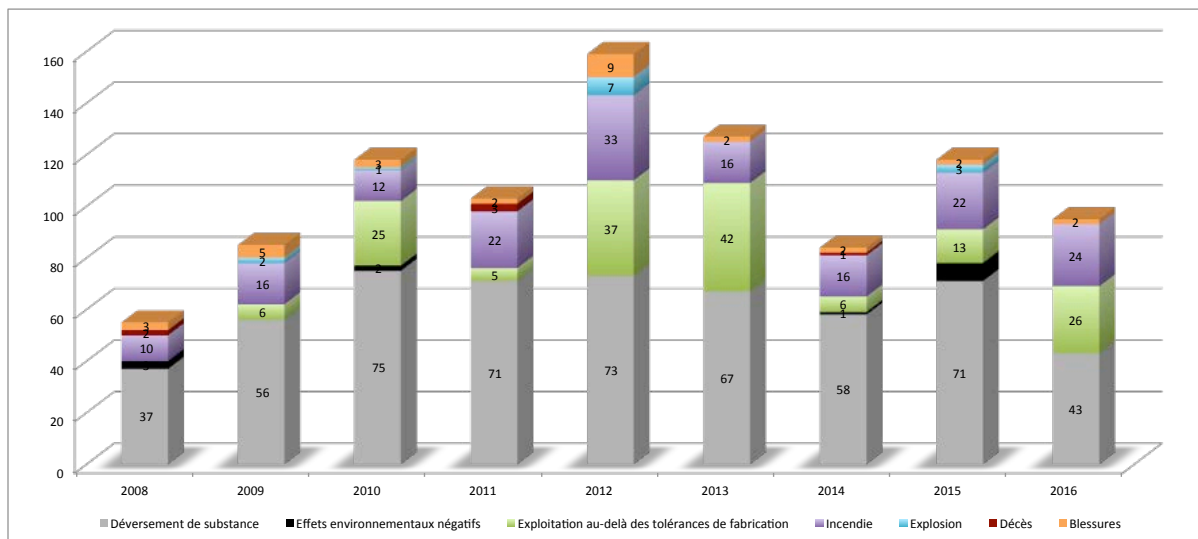


Figure 18 : Évolution des bris de conduites de gaz et d'hydrocarbures au Canada en fonction du type d'incident

On constate tout d’abord que le nombre de bris avec blessés se maintient à environ 2 par année. Pour seulement 3 années, on déplore des décès : 2008, 2011 et 2014. Aucun bris avec décès ne s’est produit au Québec. Deux bris avec décès ont eu lieu en Saskatchewan, 2 en Colombie-Britannique, 1 en Alberta et 1 en Ontario.

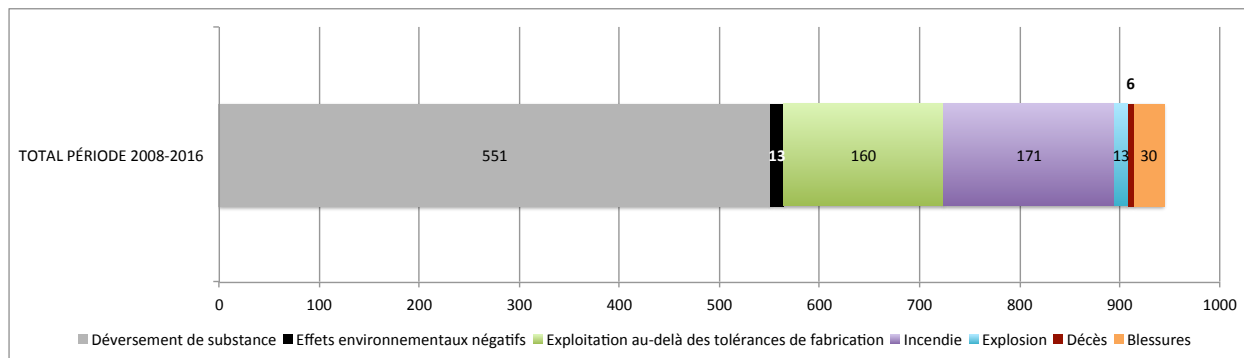


Figure 19 : Total des bris de conduites de gaz et d’hydrocarbures au Canada en fonction du type d’incident sur la période 2008-2016

14.2.3 Distribution selon l’importance de l’accident

L’importance d’un déversement de gaz ou d’hydrocarbures liquides a été basée sur les conséquences de l’accident en termes de coûts directs et indirects. Environ 6% des accidents représentent des déversements importants alors que le reste n’a pas été considéré comme important.

14.2.4 Distribution selon le niveau d’urgence

Chaque accident a été caractérisé par un niveau d’urgence (niveau I, niveau II, niveau III). Celui-ci est identifié par la chaîne d’intervention d’urgence qui établit ce critère en fonction de la gravité de l’accident sur la sécurité et santé des personnes à proximité du déversement ainsi que pour l’environnement. Suite à cela, l’office national de l’énergie déclenche la procédure d’urgence la plus appropriée. (L’office national de l’énergie, 2017)

641 accidents parmi les 940 enregistrements ont été renseignés par le niveau d’urgence accordé. Le tableau montre que plus de 96% des accidents appartiennent au premier niveau d’urgence alors que seulement 8 accidents parmi 641 se révèlent être urgents (niveau 3).

Niveau d’urgence	Nombre d’accidents
Niveau 1	617
Niveau 2	16
Niveau 3	8
Total général	641

Tableau 23 : Répartition des accidents selon le niveau d’urgence

14.2.5 Relation entre le niveau d'urgence et l'importance de l'accident

Nous nous sommes intéressés à vérifier s'il existe une relation de dépendance entre le niveau d'urgence et l'importance de l'accident. En d'autres termes, si un accident ayant un niveau d'urgence 3 est automatiquement important et un accident ayant un niveau d'urgence 1 n'est pas important. Cette étude a été réalisée puisqu'on ne dispose pas de plus de détails sur les critères d'importance d'un accident.

Niveau d'urgence	Important	
	Non	Oui
Niveau 1	608	9
Niveau 2	8	8
Niveau 3	2	6
Null	260	38

Tableau 24 : Matrice de contingence du niveau d'urgence et d'importance d'un accident

Il s'avère que le critère d'importance dépend du niveau d'urgence puisque nous obtenons après un test d'indépendance $\chi^2 = 156.63$, $df=3$ et ainsi une p valeur $< 2.2e-16$

14.3 Analyse des causes

Il existe diverses causes qui peuvent entraîner un déversement de gaz naturel ou d'hydrocarbures. Les trois principales causes sont :

- Défaillance d'équipement : Il s'agit d'une panne au niveau d'un équipement utilisé dans l'exploitation de l'installation. Elle est la cause d'environ 32% des accidents ;
- Matériau défectueux : On fait référence au matériau de la conduite qui est souvent en acier. 18% des accidents sont dus à cette cause ;
- Conditions d'exploitation : une exploitation représente toute activité de réparation, d'entretien et de maintenance. Elle représente environ 15% des accidents enregistrés.

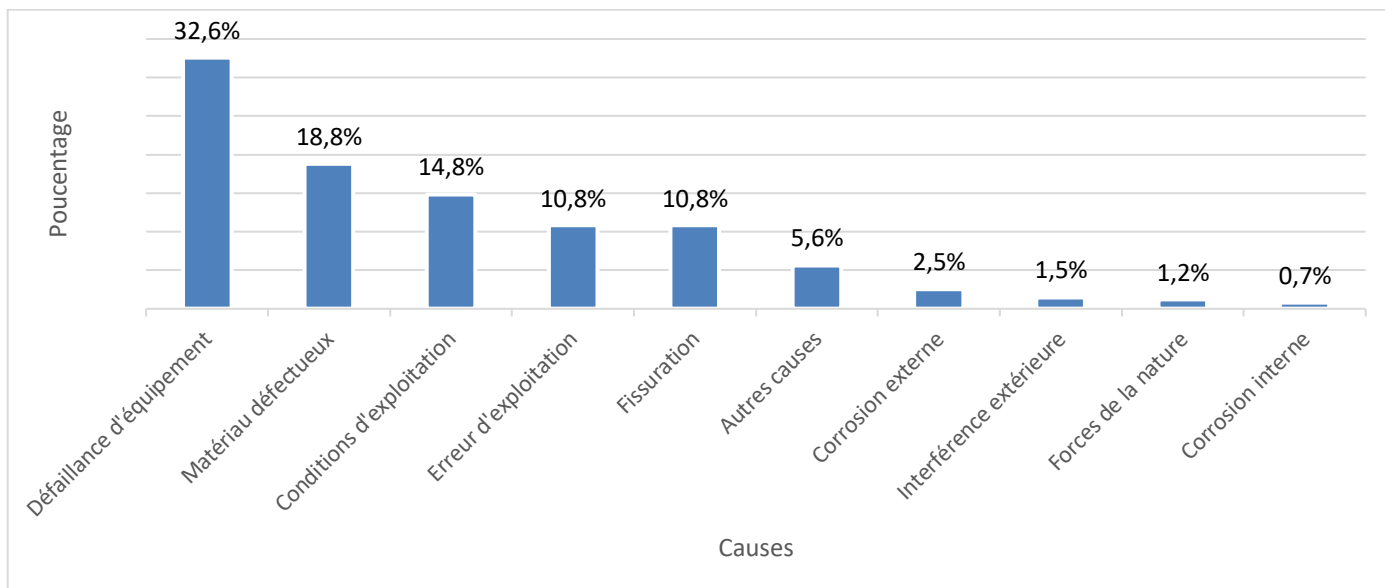


Figure 20 : Distribution des accidents selon les causes de déversement du gaz ou des hydrocarbures liquides

15 INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES AU QUÉBEC

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés à l'analyse des bris d'infrastructures souterraines au Québec.

15.1.1 Description de la base de données

Une analyse de la base de données de déclaration ORDI (Outil de rapport sur les dommages aux infrastructures) des bris d'infrastructures souterraines a été réalisée. Cette base de données a été créée en 2003 pour la *Common Ground Alliance* (CGA) et est gérée par Info-Excavation au Québec depuis 2010. Les différents intervenants peuvent y enregistrer de **façon volontaire** en ligne de l'information relative à un évènement afférant à une infrastructure souterraine (dommage ou quasi dommage). Une analyse comparative des bris selon le type d'infrastructures (électrique, gazière, hydrocarbures, télécommunication et égouts/aqueduc) a été mise en exergue grâce à l'analyse de la base de données ORDI des bris enregistrés au Québec.

15.1.2 Sélection des variables

La base de données originale comporte 8167 enregistrements et 49 variables relatives aux renseignements sur l'intervenant, à la date d'occurrence, la localisation, les causes, les conditions de travail et les conséquences.

Compte tenu de la problématique du projet, nous avons décidé de garder les variables suivantes :

Variables
Année
Type d'infrastructures
Équipement d'excavation
Travaux
Cause
Nombre de Blessés
Nombre de Morts

Tableau 25 : Variables sélectionnées

15.1.3 Évaluation de la qualité des données

Il est judicieux d'évaluer la pertinence des données étudiées afin d'en extraire des conclusions fiables. Bien que la base de données analysée comprenne plusieurs variables intéressantes pour notre sujet, il existe certaines d'entre elles qui ne sont pas renseignées. Environ 30% des enregistrements ne sont complétés que par le type de travaux en cours et le type d'équipement d'excavation mis en jeu et 76% des enregistrements manquent du nombre de blessés et de morts. Par ailleurs, lorsque cette donnée est renseignée, elle correspond souvent soit à une valeur nulle ou à des valeurs très élevées, par exemple il existe deux accidents qui ont peut-être entraîné 100 blessés. Après investigation, il s'est avéré qu'il s'agit en effet de valeurs aberrantes. Ainsi, nous avons décidé de nous contenter de l'analyse des facteurs des bris d'infrastructures souterraines et non pas à l'étude des conséquences puisque nous ne disposons pas d'un échantillon suffisant pour la réaliser.

15.2 Analyse des facteurs

15.2.1 Distribution temporelle des bris

Les bris d'infrastructures étudiés sont enregistrés entre 2010 et 2016. Comme le montre la Figure 21, le nombre des bris a été relativement stable durant les six dernières années. En effet, l'année 2010 a connu le nombre le plus élevé de bris au Québec (1524 bris) puis il a connu une légère baisse en 2011 avant qu'il augmente en 2012. À partir de cette année, le Québec a enregistré une tendance de décroissance en termes de nombre de bris d'infrastructures souterraines dus éventuellement aux efforts réalisés et les changements apportés dans la démarche de prévention de ces accidents. En 2016, le nombre de bris a atteint une valeur de 1151 c'est-à-dire à 129 au-dessous de la moyenne enregistrée pendant cette période.

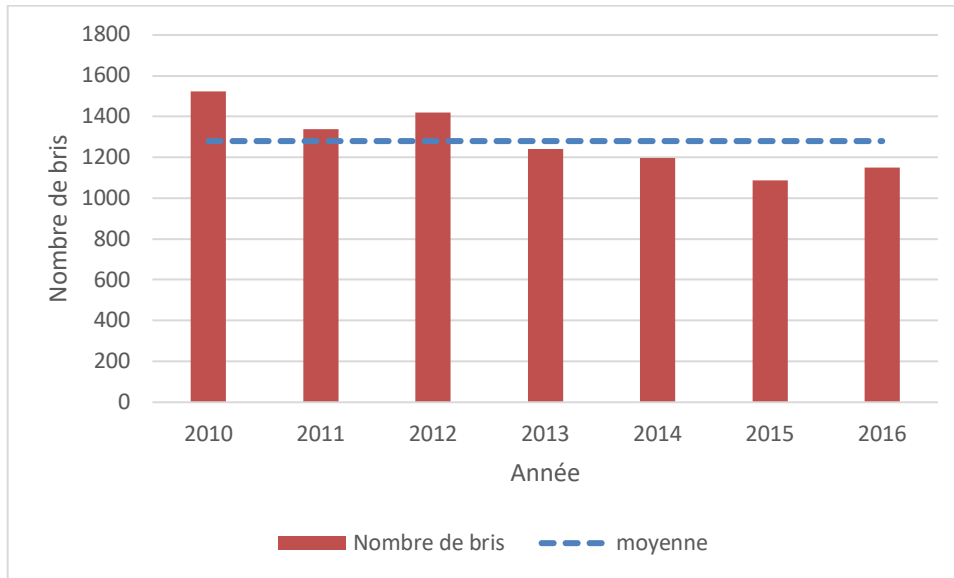


Figure 21 : Distribution temporelle des bris d’infrastructures souterraines au Québec de 2010 à 2016

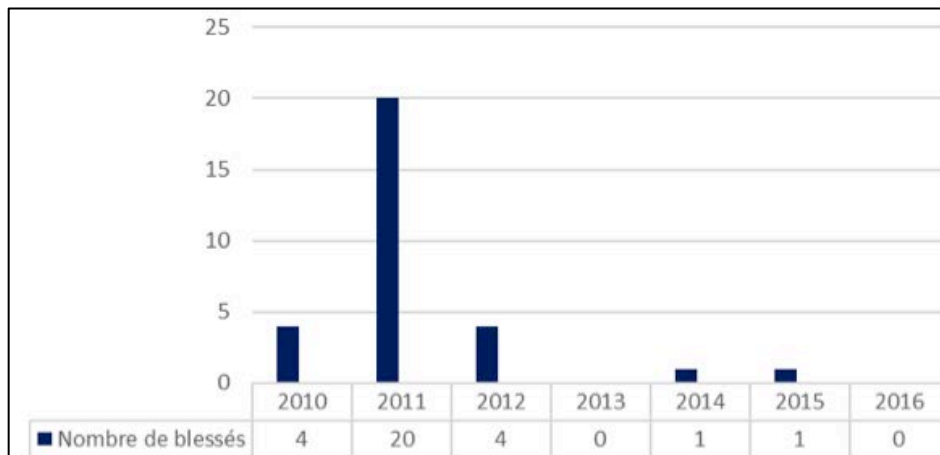


Figure 22 : Distribution du nombre de blessés de 2010 à 2016 (Source : Compilation CIRANO à partir des données de la base de données ORDI – Info-Excavation)

15.2.2 Distribution des bris selon le type d’infrastructures

Cette fois, nous nous sommes intéressés à analyser les accidents enregistrés selon le type d’infrastructures. La Figure 23 montre que les infrastructures de télécommunication sont les plus susceptibles à des dommages de bris en cas d’excavation (4700 bris pendant 6 ans), en précisant que ces bris ne représentent généralement pas de danger remarquable sur la santé et sécurité des personnes se trouvant à proximité. Ensuite, les conduites de gaz naturel se positionnement

en deuxième rang avec 3151 bris entre 2010 et 2016. 581 bris ont été enregistrés au niveau des câbles électriques.

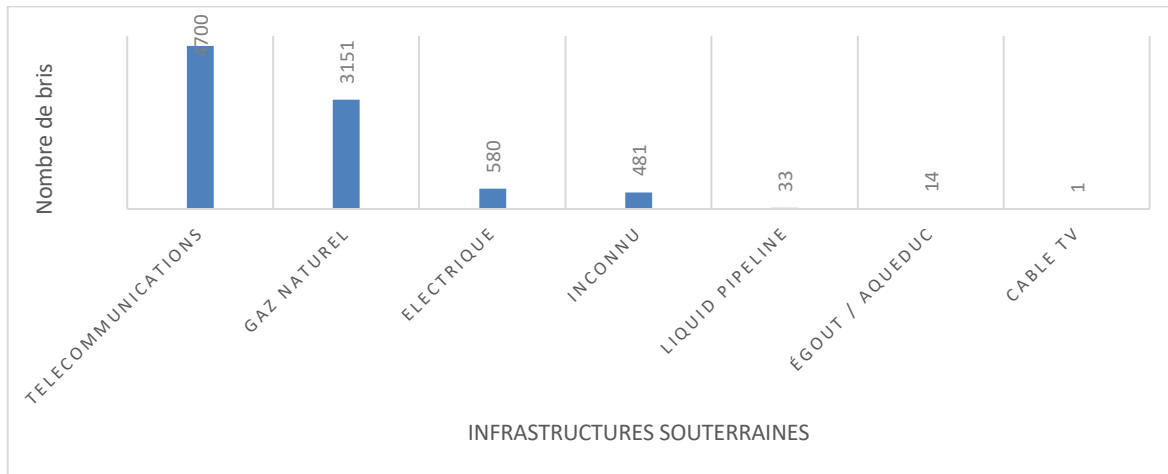


Figure 23 : Distribution des bris d'infrastructures souterraines au Québec selon le type d'infrastructures touchées

15.2.3 Distribution des bris selon le type d'équipement

Il existe plusieurs outils et méthodes qui peuvent être utilisés dans des travaux d'excavation. Le choix de l'équipement peut avoir un impact sur la probabilité d'endommager une infrastructure souterraine. En effet, il existe des méthodes d'excavation douces comme l'excavation à la pelle ou l'hydro-excavation qui peuvent réduire le risque de bris. La Figure 24 montre les équipements les plus utilisés et qui ont entraîné des bris d'infrastructures au Québec entre 2010 et 2016. La rétrocaveuse est l'équipement le plus susceptible à endommager les infrastructures, quel que soit son type alors que l'équipement de forage se positionne en deuxième rang pour les infrastructures de télécommunication et électriques et en troisième rang pour les conduites de gaz naturel.

Généralement, il paraît que les équipements utilisés en cas d'excavation ne dépendent pas du type d'infrastructures.

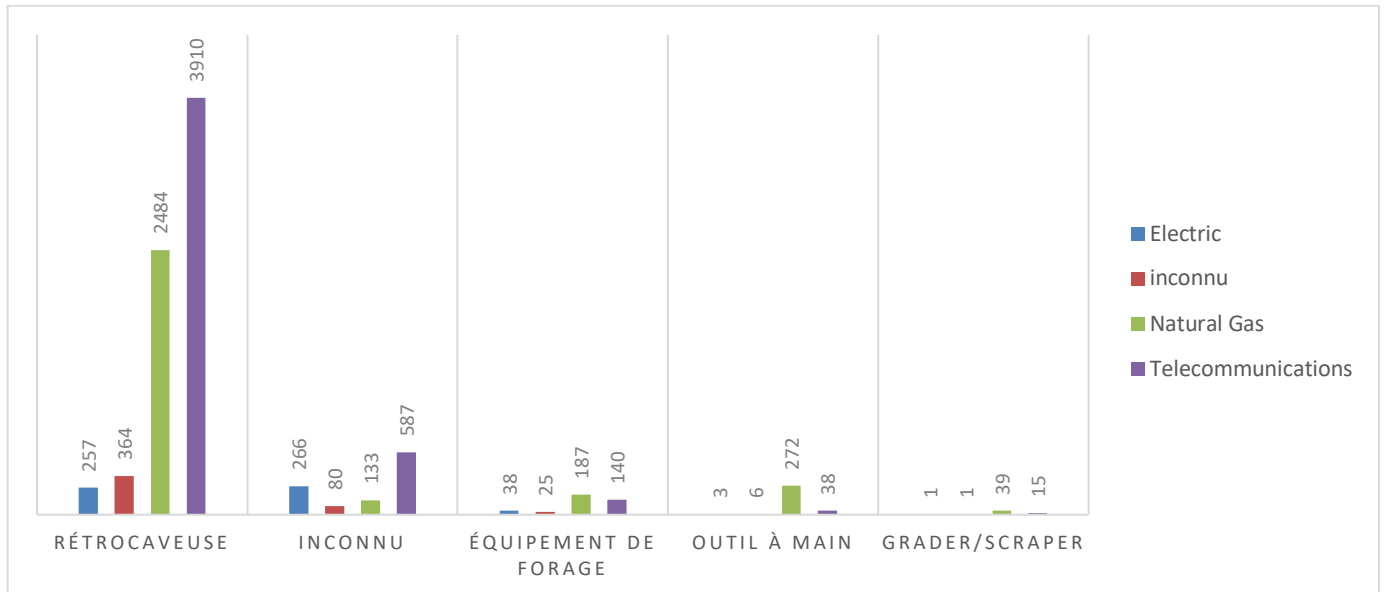


Figure 24 : Distribution des bris selon le type d'équipement utilisé pendant les travaux d'excavation

15.2.4 Analyse des causes des bris d'infrastructures souterraines au Québec

La base de données ORD1 permet d'identifier certaines causes aux bris. Le choix des causes est prédéterminé dans le formulaire de déclaration de bris et compte les possibilités suivantes : (Common Ground Alliance (CGA), 2013) :

- Aucune demande de localisation : Aucune demande n'a été faite auprès du centre d'appels unique Info-Excavation ;
- Erreur de localisation : Une telle erreur peut se produire lorsque l'excavateur ne fournit pas des informations suffisantes ou transmet de faux renseignements tels qu'une mauvaise adresse des travaux d'excavation ou lors d'une mauvaise communication entre le centre d'appels et les autres parties prenantes ;
- Marquage inadéquat : Il peut arriver lorsque les repères ne sont pas exacts ou insuffisants (il arrive souvent que la donnée sur la profondeur soit absente ce qui empêche d'avoir une localisation précise) ;
- Pratiques d'excavation inadéquates : Cette cause se produit lorsqu'un travailleur suit mal les bonnes pratiques prescrites. En effet, plusieurs cas de figure peuvent être présents : repères non protégés, techniques douces requises non utilisées, mauvaises pratiques de remblayage, zone tampon d'un mètre non respectée lors de l'utilisation d'un équipement motorisé, et autres ;
- Information erronée : Il s'agit de toute information transmise ou reçue qui peut être mal saisie ou erronée ;

- Données non recueillies : Ce sont des données qui ne sont pas actuellement recueillies par l'intervenant faisant le rapport ;
- Inconnu : À la différence de « données non recueillies », la valeur « inconnue/autre » est accordée lorsque l'intervenant n'arrive pas à déterminer le type de la cause ;
- Autres.

Analyse globale

Dans un premier temps, une étude des causes a été réalisée, quel que soit le type de l'infrastructure avant de les analyser chacune à part.

La Figure 25 fait l'objet de la distribution des facteurs de risque d'un bris de conduite souterraine. En effet, les pratiques d'excavation représentent la cause principale de 37% des bris au Québec alors que l'absence de demande de localisation vient en deuxième rang et englobe plus de 26% des bris. Il est à noter que 30% des bris n'ont pas été renseignés par le type de cause et on leurs a attribué la dénomination « données non recueillies ».

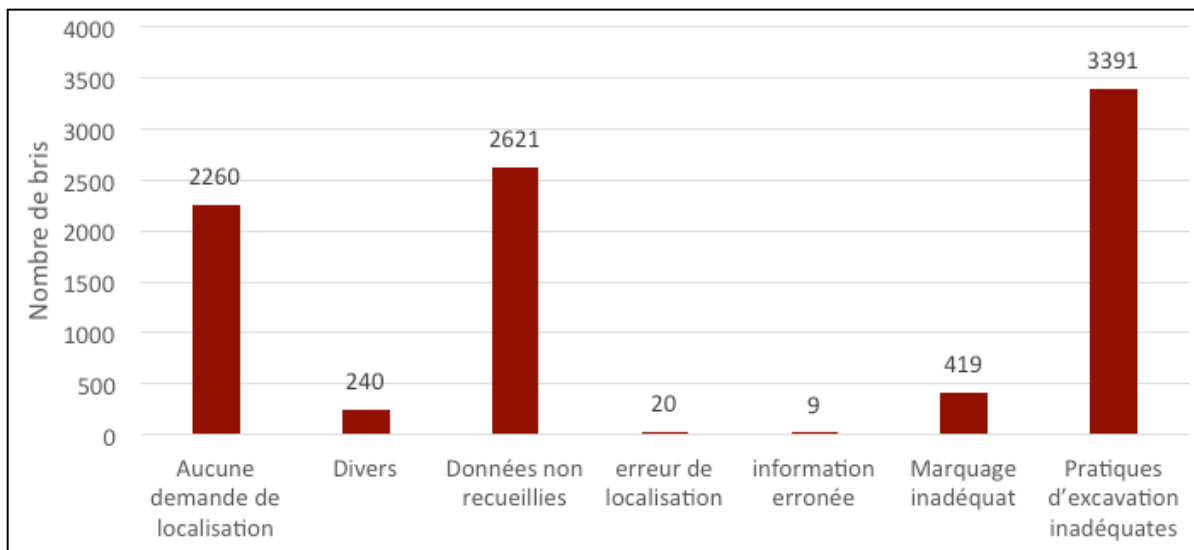


Figure 25 : Distribution globale des causes des bris d'infrastructures souterraines au Québec sur la période 2010-2016 telles que renseignés dans la base de données ORDI

Distribution par type d'infrastructure

- **Infrastructures de télécommunication**

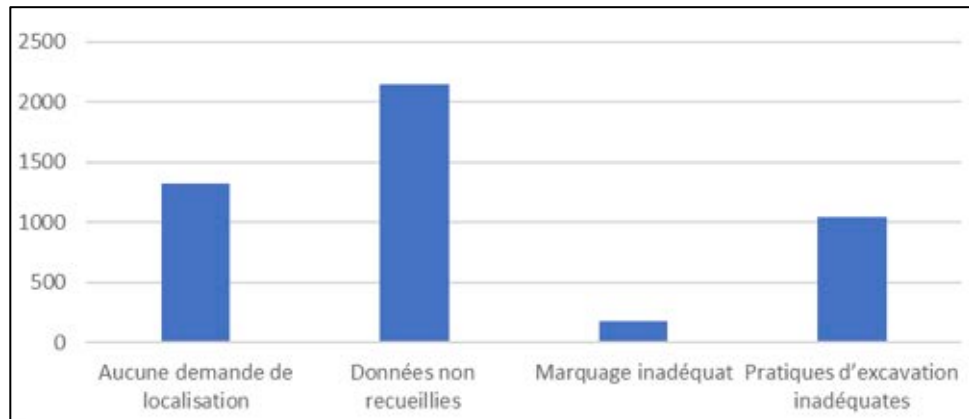


Figure 26 : Distribution des causes des bris au niveau des infrastructures de télécommunication de 2010 à 2016

Comme le montre la Figure 26 les principales causes qui entraînent des bris au niveau des infrastructures de télécommunication sont l'absence de demande de localisation, les pratiques d'excavation non adéquates et le marquage inadéquat.

- **Infrastructures de gaz naturel**

À la différence des infrastructures de télécommunication, la principale cause des bris au niveau des infrastructures de gaz naturel est les pratiques d'excavation inadéquates (plus de 50% des accidents).

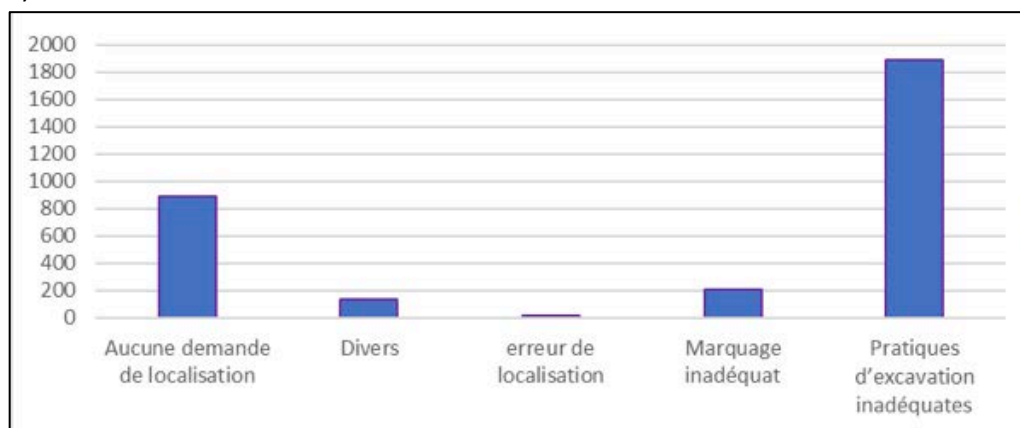


Figure 27 : Distribution des causes au niveau des infrastructures de gaz naturel de 2010 à 2016

- **Pipelines liquides**

Il s'agit de toute infrastructure souterraine qui contient ou transporte du liquide autre que de l'eau, y compris des produits pétroliers. Il s'agit relativement de causes identiques

qu'auparavant, mais l'ordre diffère. En effet, la principale cause est l'absence de demande de localisation suivie par les pratiques d'excavation inadéquates.

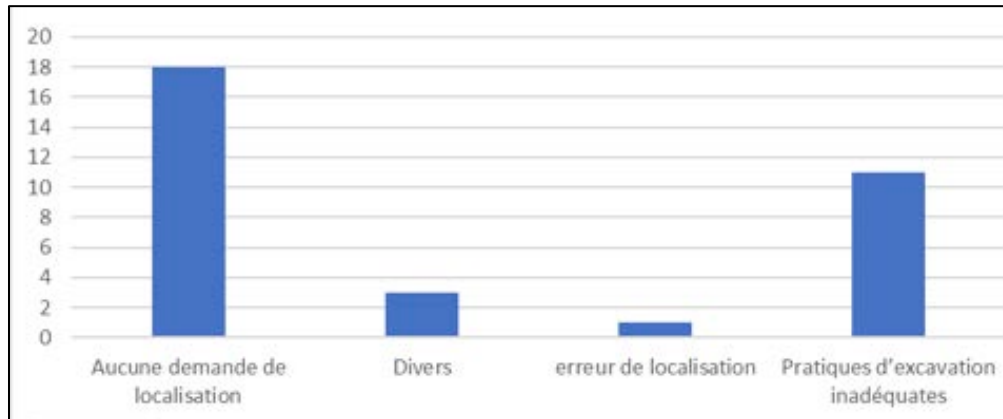


Figure 28 : Distribution des causes au niveau des pipelines liquides

- **Infrastructures électriques**

Plus de 85% des bris au niveau des infrastructures n'ont pas été renseignés par la cause immédiate. Alors que ceux qui ont été renseignés sont principalement dus à mauvaises pratiques d'excavation ou à une absence de demande de localisation.

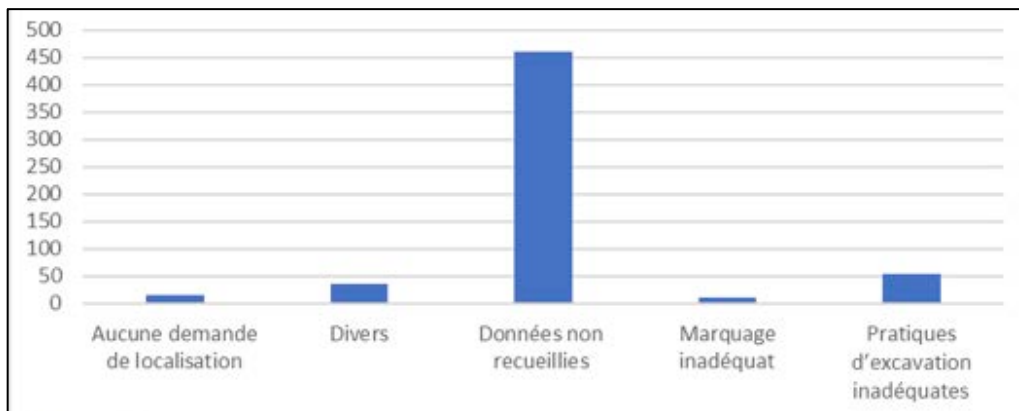


Figure 29 : Distribution des causes au niveau des infrastructures électriques

- **Infrastructures d'égout/aqueduc**

Les causes des accidents enregistrés au niveau des conduites d'égouts/aqueduc sont identiques à celles des infrastructures électriques et gaz naturel.

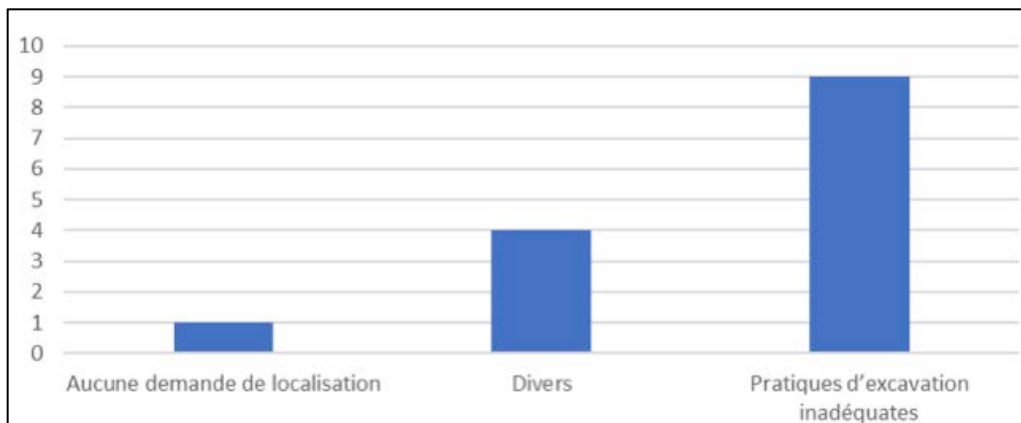


Figure 30 : Distribution des causes au niveau des infrastructures d'égouts/aqueduc

16 ANALYSE DES RAPPORTS D'INTERVENTION DE LA CNESST

L'étude sur l'identification des dangers présents lors des travaux d'excavation a révélé qu'il existe plusieurs risques non liés à la nature des infrastructures souterraines qui peuvent être endommagées, mais plutôt aux conditions de travail. Ces principaux dangers concernent l'ensevelissement et le glissement et peuvent causer des conséquences allant d'une blessure légère à une asphyxie suite à un étouffement dû à la zone étroite de l'excavation.

Afin de les mettre en exergue, une analyse des rapports d'intervention de la Commission des normes, de l'équité, de la Santé et de la Sécurité du Travail au Québec (CNESST) lors de travaux d'excavation au Québec a été réalisée.

16.1 Présentation des rapports d'intervention de la CNESST

Nous allons analyser certains rapports d'intervention de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) en lien avec des travaux d'excavation. Qu'est-ce qu'un rapport d'intervention ? La CNESST est consciente de l'importance de la prévention des dangers liés aux travaux de construction et a ainsi défini un processus d'intervention sur le chantier réalisé par un inspecteur. Il est chargé d'observer les procédures de travail, le respect des différentes lois. En fonction de son appréciation de la situation, l'inspecteur identifie les dangers à conséquences graves justifiant une décision.

Suite à l'appréciation du risque éventuellement présent, il prend une décision selon la gravité de la situation. En effet, si un travailleur est exposé à une situation qui peut entraîner de graves conséquences pouvant nuire à sa santé et sa sécurité et ainsi subir une incapacité permanente ou temporaire prolongée ou même la mort, alors l'inspecteur peut décider un arrêt des travaux. En cas de non-respect de la loi sur la sécurité et santé au travail (LSST), l'inspecteur décide des mesures. L'inspecteur exige de l'employeur qu'il mette en place des mesures pour identifier et corriger les dangers et des mesures qui feront en sorte que les dangers soient éliminés ou contrôlés en permanence.

Toutes les constatations et les décisions sont justifiées par la description des conditions dangereuses ainsi que les opérations correspondantes et sont décrites dans un rapport d'intervention. Le rapport contient donc :

- La description du danger ;
- Les décisions et les avis de correction ;
- Les résultats attendus par la CNESST.

Le suivi consiste à transmettre les décisions prises ainsi que s'assurer que l'employeur a mis en œuvre les mesures nécessaires et recommandations inscrites dans le rapport d'intervention pour maintenir de bonnes conditions de travail (CSST, 2013).

Pour notre projet de recherche, nous avons ainsi analysé l'ensemble des rapports d'intervention dans lesquels il y avait eu infraction à l'article 3.15.1 du Code de construction (l'article 3.15.1 du Code de sécurité pour les travaux de construction au Québec exige que l'employeur vérifie s'il y a des canalisations souterraines dans le périmètre des travaux à exécuter et, le cas échéant, situe leur emplacement exact sur le terrain (Gouvernement du Québec, 2010)). Les rapports d'intervention nous ont été fournis pour la période s'étalant de 2007 à 2014. Pour chacun des rapports d'intervention

16.2 Analyse des rapports

16.2.1 Sélection des variables

Parmi les informations pertinentes recueillies et présentées par l'inspecteur, nous avons sélectionné celles qui nous permettent de décrire au mieux la relation de cause à effet qui existe dans une situation où un travailleur est exposé à un risque lié aux travaux d'excavation.

Les variables qui rentrent en jeu sont :

- Mois : cette variable a été introduite afin de vérifier le caractère climatique sur l'application des bonnes pratiques et la gravité du danger ;
- Ville : l'importance de cette variable consiste à tirer des conclusions sur l'impact de la géographie sur les dangers présents et d'autre part à relever la relation entre les efforts fournis en termes de sensibilisation et le nombre d'infractions enregistrées ;
- Danger : l'inspecteur décrit clairement les différents dangers présents ;
- Cause : Différentes causes sont fournies sur le rapport d'intervention, de plus un danger peut être lié à plusieurs causes en même temps.

16.2.2 Distribution des interventions selon le type de danger

L'analyse a été réalisée sur **155 rapports d'intervention s'étalant entre 2007 et 2014** au Québec. Différents dangers ont été enregistrés lors de l'observation des travaux d'excavation par les inspecteurs, il s'agit principalement :

- Ensevelissement ;
- Glissement ;
- Accident Sécurité et santé : c'est tout type de danger auquel peut être exposé un travailleur qui n'utilise pas les équipements de protection individuelle, un employeur qui ne respecte pas une loi liée à la construction ou qui n'a pas obtenu un avis d'ouverture de chantier, etc. ;
- Explosion (conduite de gaz) ;
- Fuite de gaz ;
- Choc électrique ;
- Dommages liés aux bris d'infrastructures.

Ces interventions ont été ciblées spécifiquement pour des chantiers d'excavation afin d'observer les conditions de travail et l'application des bonnes pratiques. Cependant, il s'avère que plusieurs dangers relevés concernent directement les infrastructures souterraines et en particulier les conduites de gaz. La Figure 31 montre la distribution des 155 rapports d'intervention analysés selon le type de danger.

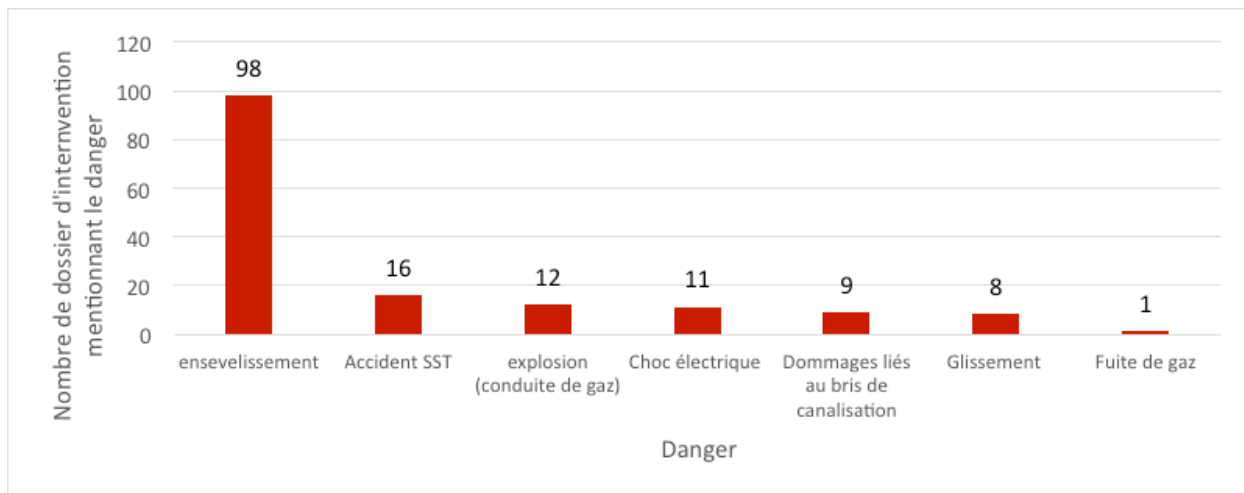


Figure 31 : Distribution des rapports d'interventions en fonction du type de danger y figurant sur la période 2007-2014 au Québec (Source : compilation CIRANO à partir des rapports d'intervention fournis par la CNESST)

63% des interventions ont révélé un danger d'ensevelissement pour les travailleurs à proximité du chantier. Généralement, dans ce cas-là l'inspecteur décide d'un arrêt des travaux jusqu'à ce que les mesures nécessaires soient prises. L'ensevelissement peut être dû à différentes causes, celles-ci feront l'objet du prochain paragraphe.

Les accidents liés à la sécurité et santé des travailleurs d'une manière générale se positionnent en deuxième lieu avec environ 10% des cas. Quant aux dangers liés au type d'infrastructures, comme l'explosion au niveau des conduites de gaz et le choc électrique représentent environ 6% des interventions. Le glissement qui est un danger relatif au lieu du travail ne représente que 5% des cas enregistrés.

16.2.3 Analyse des causes

Une des limites rencontrées lors de l'analyse des rapports d'intervention transmis par la CNESST est leur structure. En effet, chaque rapport est sous format papier et décrit le scénario de l'intervention ainsi que les décisions prises. Ainsi, une étape de collecte et d'enregistrement des données pertinentes ainsi qu'une conversion en base de données a été réalisée afin de retracer clairement les dangers et regrouper les causes correspondantes. Puis, l'analyse s'est effectuée selon chaque danger à part. Notons que nous abordons ici l'ensevelissement qui n'est pas relié à

proprement parler avec un bris d'infrastructures par un tiers. Toutefois, compte tenu de la fréquence de cette cause, nous avons préféré la détailler.

Ensevelissement

L'ensevelissement représente le danger le plus courant lors de travaux d'excavation recensé dans les rapports d'intervention. Il peut être dû à plusieurs facteurs. La Figure 32 montre la classification des causes :

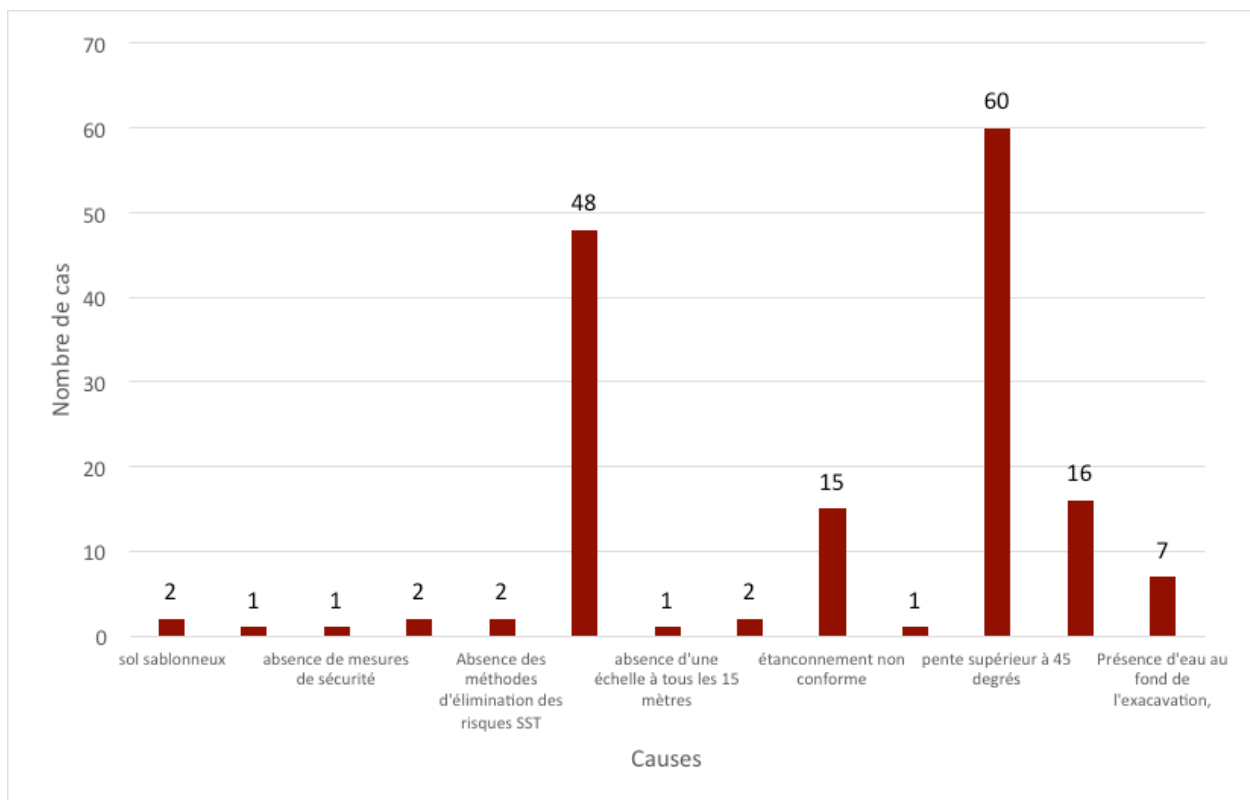


Figure 32 : Distribution des causes de l'ensevelissement pour les rapports d'intervention couvrant la période 2007-2014

Les principales circonstances qui peuvent augmenter la probabilité qu'un travailleur se trouvant à proximité de la tranchée soit enseveli sont :

- Un degré de pente des parois supérieur à 45 degrés : plus de 37% des cas de danger d'ensevelissement sont, d'après les conclusions de l'inspecteur, dus à cela. En effet, il y a danger de glissement de terrain lorsque les pentes des parois du creusement sont supérieures à l'angle de repos du sol ;
- Absence d'éтанçonnement : Elle représente 30% des cas de danger d'ensevelissement observés par l'inspecteur. Selon l'article 3.15.3. du Code de sécurité pour les travaux de construction (S-2.1, r.6), l'éтанçonnement n'est pas obligatoire si une étude technique de la tranchée prouve que le lieu ne représente aucun danger pour le travailleur (CSST, 2011).

Cependant, ces cas ont été enregistrés dans un cadre qui nécessite bien un étaçonnement ;

- Étaçonnement non conforme et la présence d'un objet à moins de 1.2 mètres des parois : Ces deux causes viennent en troisième lieu avec environ 20% du total des observations de danger d'ensevelissement. En effet, les travailleurs sont souvent inconscients du risque que peut induire un objet se trouvant à proximité de la tranchée, ils préfèrent souvent déposer des outils près du milieu de travail.
- Présence d'eau au fond de l'excavation : Selon la nature du sol, il s'avère qu'il peut exister de l'eau au fond d'une excavation ce qui augmente la probabilité de glissement de terrain et ainsi le danger d'ensevelissement. Elle représente plus de 4% du total.

Accident SST

Le danger sécurité et santé peut se produire lorsque les mesures de protection ne sont pas respectées. La Figure 33 montre la distribution des interventions en cas de danger d'accident SST.

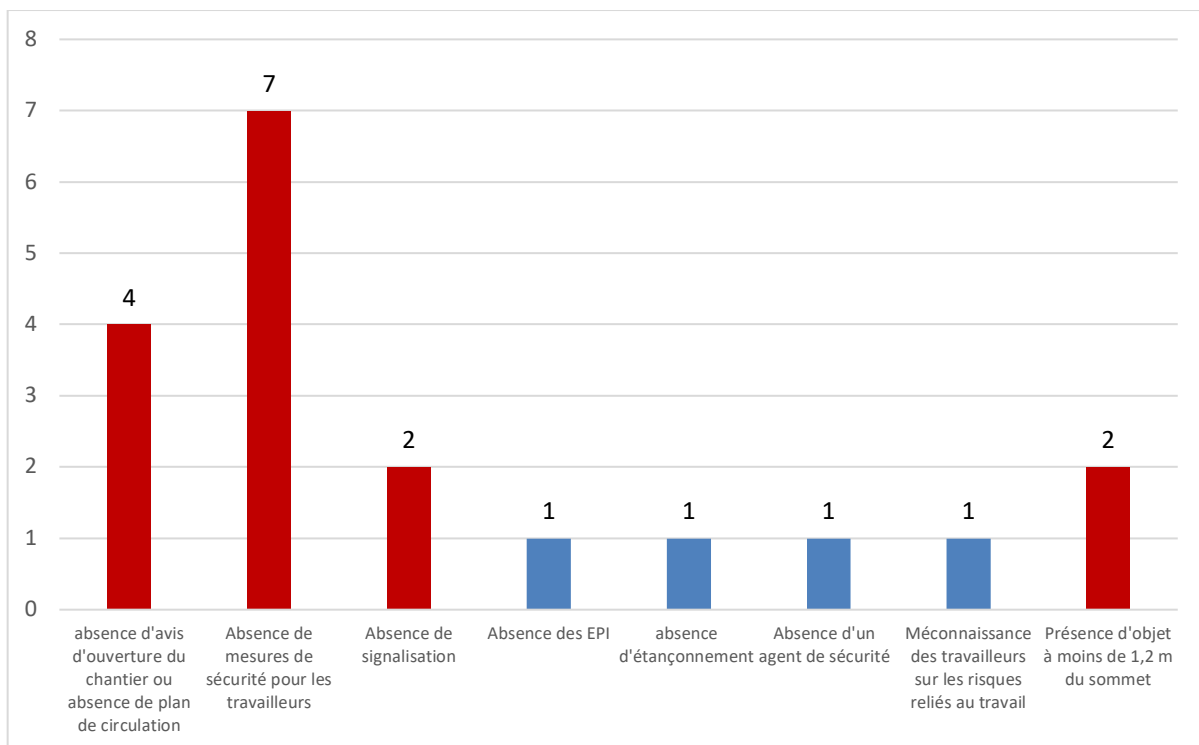



Figure 33 : Distribution des causes des accidents SST pour les rapports d'intervention couvrant la période 2007-2014

Il s'avère que 36% des interventions en cas de danger d'accident SST sont effectuées lorsque les mesures de sécurité pour les travailleurs ne sont pas présentes. Un tel facteur est à la responsabilité aussi bien de l'employeur que le travailleur. En effet, plusieurs employeurs sous-estiment la gravité que peut entraîner une absence des mesures basiques de sécurité dans un chantier de construction : ces mesures commencent par un processus de prévention afin de



former les travailleurs sur les dangers présents et leur fournir les outils de protection nécessaires. En effet, ceci a été retracé dans les interventions effectuées puisqu'un des cas est dû à l'absence des équipements de protection individuels (EPI), parfois le travailleur lui-même prend la décision de ne pas porter le casque ou les bouchons auriculaires. Il peut être aussi méconnaissant des risques auxquels il peut être exposé.

Une des causes des accidents SST est l'absence d'avis d'ouverture du chantier ou l'absence du plan de circulation, qui représente 21% des cas d'intervention. Selon la Loi sur la santé et la sécurité du travail du Québec, le maître d'œuvre a l'obligation d'envoyer à la CNESST un avis écrit de 10 à 180 jours avant l'ouverture d'un chantier de construction, selon l'importance des travaux. Un chantier de grande importance est un chantier où sont employés simultanément au moins 500 travailleurs à un moment donné des travaux (CSST 2015).

L'absence de signalisation représente une des causes enregistrées dans les rapports d'intervention. Il se peut qu'il s'agisse de l'absence d'un agent de signalisation, des plans de signalisation ou des plaques de signalisation pour le public. En effet, il est judicieux d'élaborer un plan de signalisation couvrant toute l'aide du chantier avant d'entreprendre les travaux. Il comprend les informations concernant les procédures d'installation, la localisation des panneaux et l'information pour le public afin de prévenir les usagers de la présence d'un chantier ainsi que les éventuels détours à faire. Une des inspections à réaliser concerne le suivi de la signalisation, cela veut dire vérifier que tout est conforme aux plans de signalisation et que les signaleurs ont bien reçu une formation prévue selon la loi sur l'hygiène et la sécurité au travail (Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick 2009).

Explosion (gaz)

Parmi les dangers qui ont été enregistrés lors des interventions, certains sont liés à la nature des conduites souterraines, en particulier le gaz et l'électricité.

L'explosion au niveau des infrastructures gazières est principalement due à l'application de méthodes déficientes d'excavation (25%) et à l'absence de demande de localisation (16%). Ces facteurs ont bien et bel été présenté dans les chapitres précédents.

Il est pertinent de relever quelques causes qui sont revenues lors des interventions comme la présence de conduite de gaz non protégée sur le trottoir et la non-prise en compte du marquage des infrastructures de gaz. Ces facteurs pouvaient être facilement évités si les travailleurs étaient conscients de la gravité de ces actes et lors d'une meilleure supervision. D'ailleurs, une des causes de la mauvaise application des méthodes de creusement est le manque de supervision.

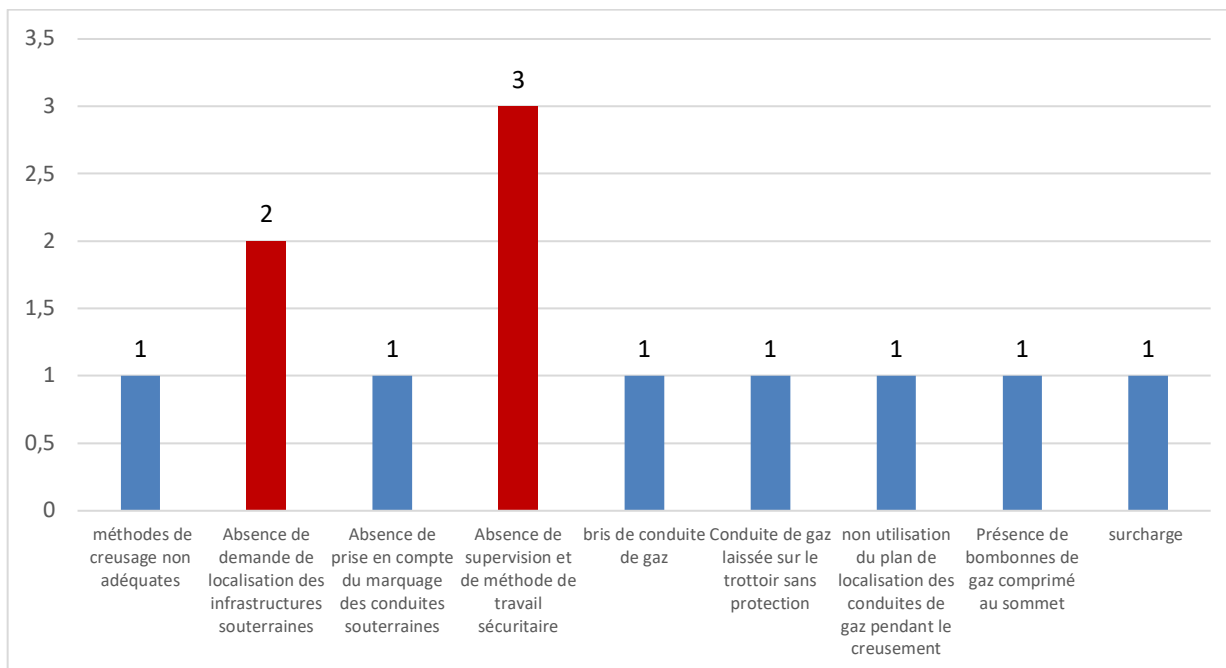


Figure 34 : Distribution des causes de l'explosion (gaz) pour les rapports d'intervention couvrant la période 2007-2014

Choc électrique

Dans 63% des cas de présence d'un danger de choc électrique pour les travailleurs, celui-ci est dû à la présence de rallonges électriques non protégées. En effet, une rallonge électrique sous tension endommagée en contact avec un objet métallique comme un escabeau en aluminium peut faire subir un choc électrique au travailleur.

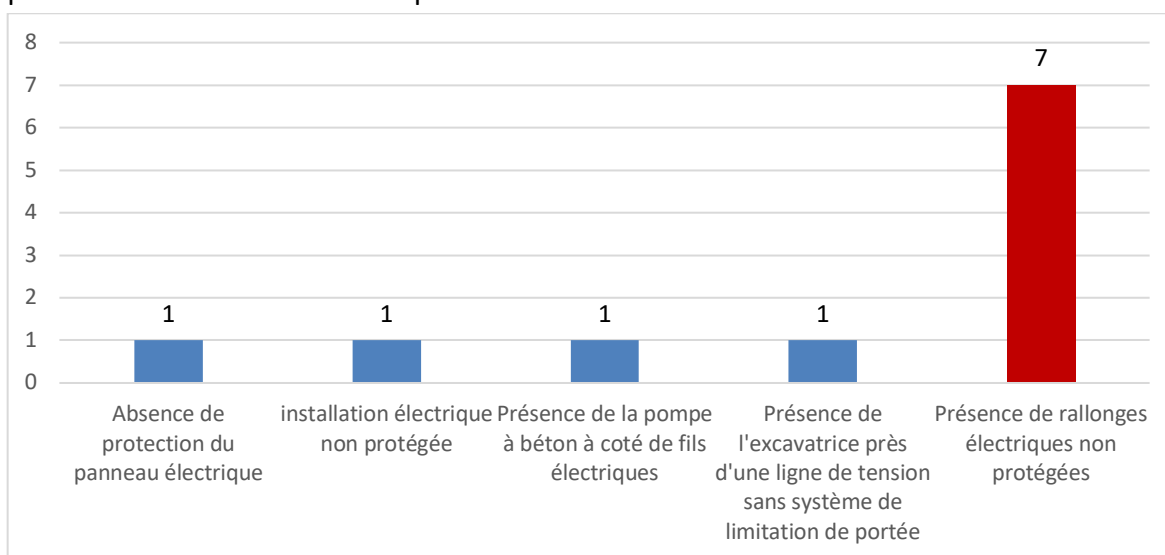


Figure 35 : Distribution des causes du choc électrique

Domages liés aux bris d'infrastructures souterraines

Différents dommages peuvent être subis par un travailleur lors de l'excavation au niveau des infrastructures. Ils sont principalement dus à l'absence de demande de localisation et à la non-protection, c'est le cas des conduites de gaz.

La disparition du marquage des canalisations est un point important à relever. Normalement, un code couleur est défini pour marquer l'emplacement de chaque type de conduites. Ce marquage est souvent effectué par de la peinture, des piquets ou autres, mais il se peut qu'il disparaisse au fil du temps. Dans ce cas-là, il est la responsabilité de l'excavateur de préserver le marquage lors des travaux, mais si cela n'a pas été fait il devra s'informer auprès d'Info-Excavation afin de faire remarquer ces infrastructures.

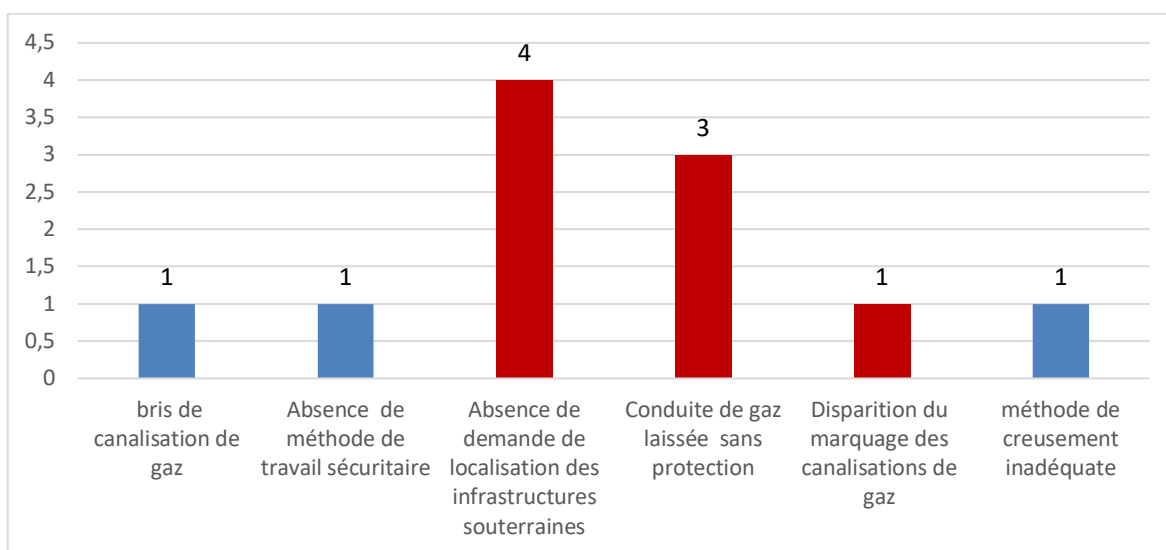


Figure 36 : Distribution des causes des dommages liés aux bris d'infrastructures souterraines

17 COMPARAISON DES BRIS DE CONDUITES DE GAZ AUX ÉTATS-UNIS ET AU QUÉBEC

Afin de compléter l'effort d'extrapolation des données américaines au Québec tel que présentée au paragraphe 12.3.5, nous présentons dans cette section certains éléments de comparaison entre les bris de conduites de gaz aux États-Unis et au Québec en ce qui concerne les causes du bris, les équipements en cause et finalement la nature des travaux réalisés lors du bris. Cela apporte ainsi une mise en contexte.

Les bris de conduites de gaz peuvent se produire sous différentes circonstances liées aux conditions de travail, à la localisation et aux caractéristiques du gaz. Il existe probablement d'autres facteurs indirects comme le cadre législatif actuel, les normes d'excavation, les conditions climatiques qui diffèrent d'un pays à un autre et en particulier entre le Québec et les États-Unis. Pour mettre en exergue ceci, nous nous sommes focalisés sur la comparaison des résultats analytiques des bris enregistrés au niveau des conduites de distribution de gaz. D'une part, celles-ci représentent le plus de danger pour la sécurité et santé des travailleurs et d'autre part, elles sont parmi les infrastructures souterraines qui subissent le plus d'endommagement au Québec.

17.1 Comparaison des principales causes

Nous remarquons, que ce soit aux États-Unis ou au Québec, la principale cause derrière les bris de conduites de gaz enregistrés est la mise en œuvre de pratiques d'excavation déficientes suivie des causes liées à la localisation. Il s'agit généralement soit d'une absence de notification auprès du centre de traitement des demandes de localisation, soit d'une mauvaise localisation. Il est à noter que dans certains États américains comme le cas de la Californie et le Nevada, selon le code 4216, la notification des travaux d'excavation doit se faire obligatoirement au minimum deux jours avant l'ouverture du chantier. Dans le cas où ceci n'est pas respecté des amendes peuvent être appliquées pour les éventuels dommages (Underground Service Alert North 2009).

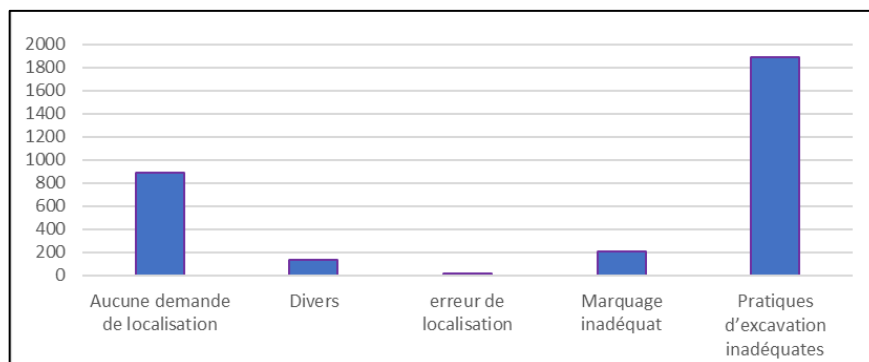


Figure 37 : Distribution des causes des bris de conduites de gaz au Québec sur la période 2010-2016

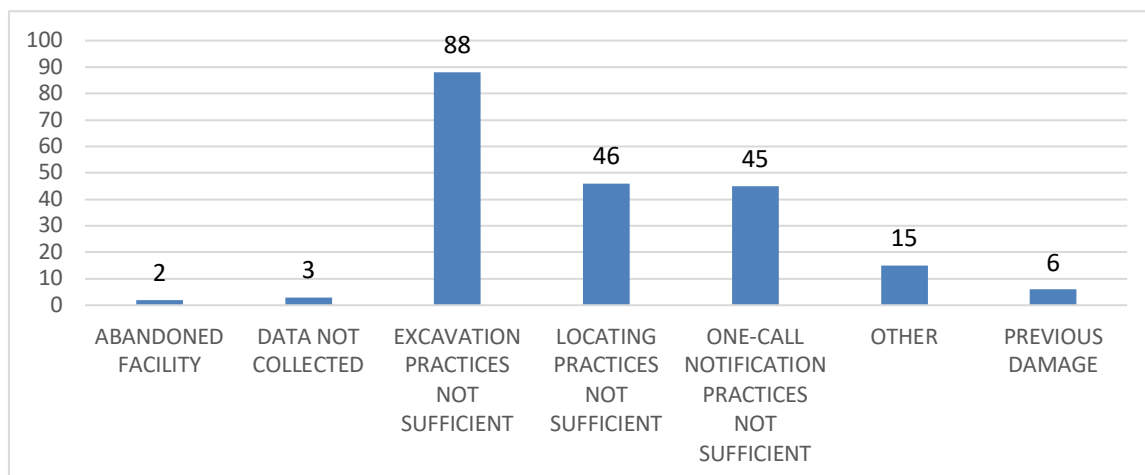


Figure 38 : Distribution des causes des bris de conduites de gaz dus à des excavations aux États-Unis sur la période 2010-2016

Le marquage inadéquat des conduites souterraines de gaz naturel est aussi un facteur important non seulement dans l'occurrence des bris, mais aussi dans leur gravité en termes de sécurité et santé pour les travailleurs.

17.2 Comparaison des équipements d'excavation

Une procédure d'excavation non adéquate est liée au type d'équipement utilisé, pour cela nous nous sommes intéressés à comparer la distribution des bris selon le type d'équipement utilisé. Dans un premier temps, nous avons dû regrouper certains types d'équipement dans la base de données américaine afin de nous aligner avec les catégories utilisées par ORDI. Les Figure 39 et Figure 40 montrent que la plupart des bris au Québec sont produits en utilisant une rétrocaveuse alors qu'aux États-Unis l'équipement de forage demeure également l'un des équipements à retenir dans la classification.

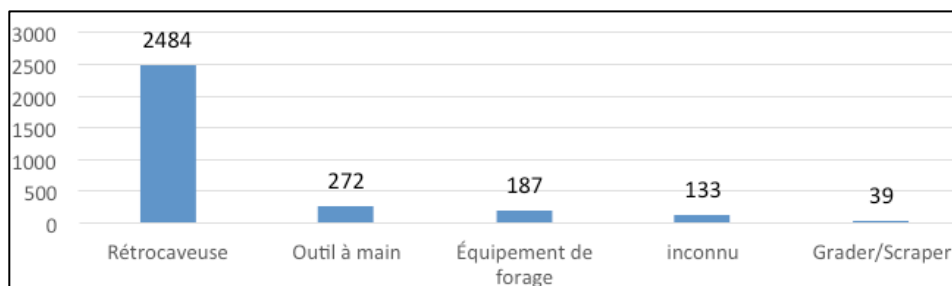


Figure 39 : Distribution des bris selon le type d'équipement d'excavation au Québec

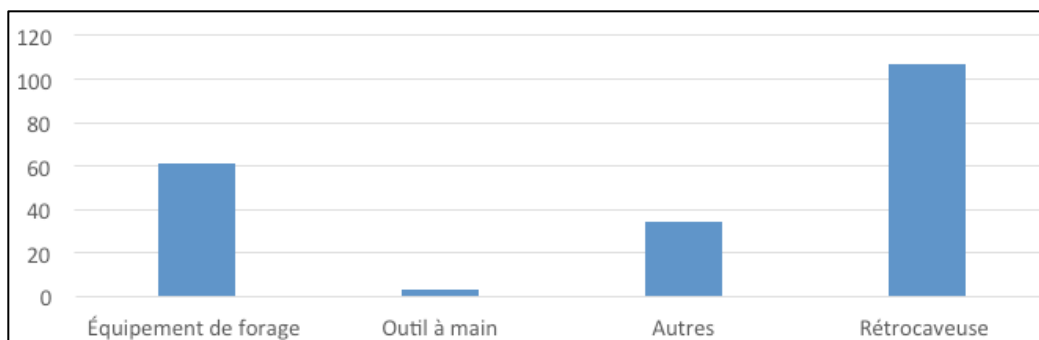


Figure 40 : Distribution des bris selon le type d'équipement d'excavation aux États-Unis

Les outils à la main sont les moins susceptibles de causer des bris de conduite, il s'agit de méthodes d'excavation douces.

17.3 Comparaison des travaux pendant lesquels les bris sont enregistrés

Les bris des conduites de gaz naturel sont produits dans le cadre de différents types de travaux. Que ce soit au Québec ou aux États-Unis, la plupart des accidents concernent des travaux d'aqueduc/égouts. Ceci est probablement dû à la profondeur d'enfouissement des conduites de gaz. En effet, elles sont moins profondes que les conduites d'égouts/aqueduc.

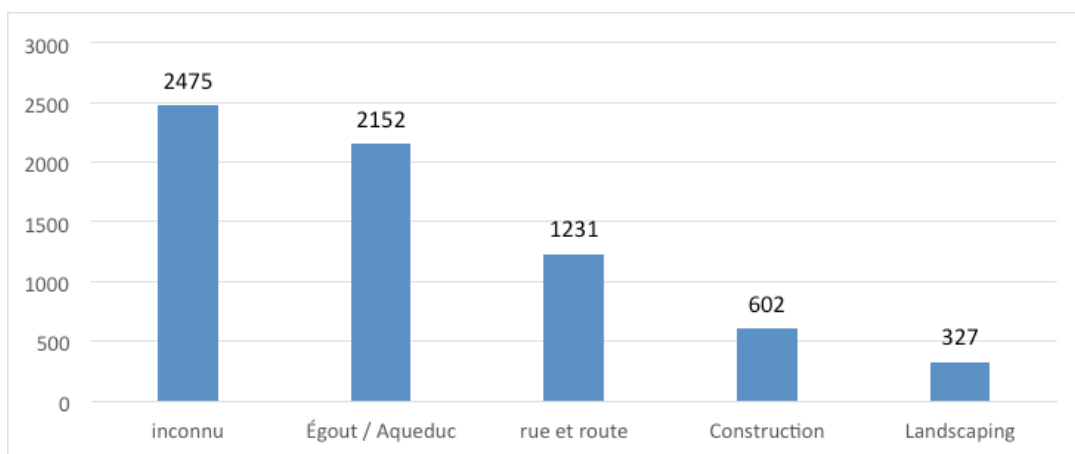


Figure 41 : Distribution des bris selon le type de travaux au Québec

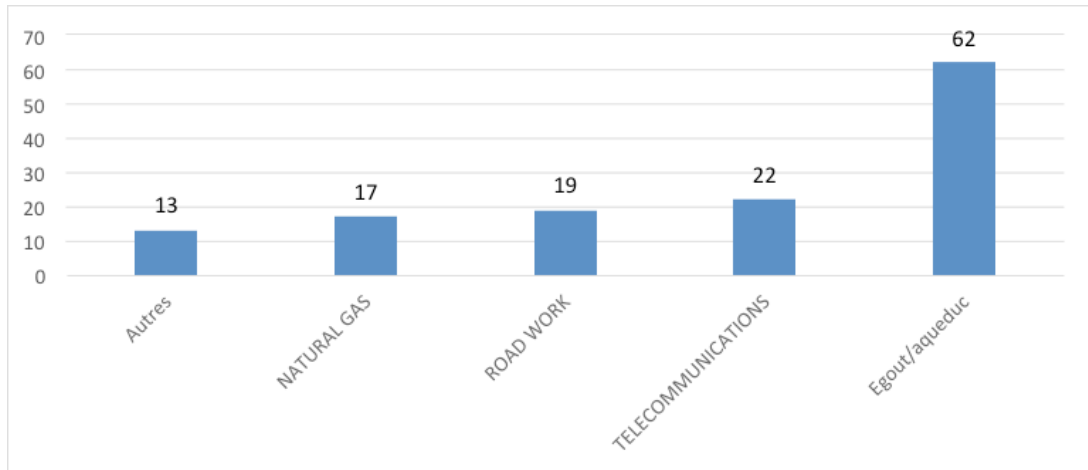


Figure 42 : Distribution des bris selon le type de travaux aux États-Unis

18 CONCLUSION PARTIELLE

L'analyse a concerné les bases de données américaines du gaz et des hydrocarbures, la base de données d'infrastructures gazières canadiennes, la base de données des bris pour toutes les infrastructures souterraines au Québec et les rapports de la CNESST sur les conditions de travail. Les modèles de régression logistique appliquée à la base de données des bris au niveau des conduites de distribution de gaz aux États-Unis ont révélé qu'il existe plusieurs facteurs qui augmentent les probabilités d'avoir des morts ou des blessés à la suite du bris : la survenance d'une explosion, un marquage des conduites non visibles, une conduite de plus petit diamètre et finalement une excavation qui est réalisée par un acteur autre qu'un contracteur.

Deux de ces facteurs sont intrinsèques, c'est-à-dire qu'ils dépendent de la nature de la conduite et des normes prescrites d'installation et non pas de facteurs qui peuvent être maîtrisés au préalable. Toutefois, que l'on parle de marquage ou de procédure d'excavation, les notions de réglementation et de formation prennent alors tout leur sens.


Une extrapolation des résultats américains au Québec a été discutée tout en comparant le réseau de distribution du gaz au Québec et aux États-Unis. Différents éléments rendent toutefois complexes l'extrapolation des résultats de l'analyse de la base de données américaine PHMSA au Québec (comme par exemple : les réglementations différentes entre le Québec et les États-Unis, le système One Call qui est obligatoire aux États-Unis, la profondeur d'enfouissement des réseaux gaziers qui n'est pas nécessairement identique ou encore le fait que l'industrie de la distribution du gaz est très différente entre les États-Unis et le Québec). **Les conclusions permettent néanmoins de valoriser l'importance d'une réglementation stricte encadrant les travaux d'excavation à proximité d'infrastructures souterraines.**

Pour comprendre la perception des parties prenantes vis-à-vis des faits saillants concernant les travaux d'excavation et notamment les différents risques auxquels ils sont associés, une étude collaborative avec les propriétaires d'infrastructures et les entrepreneurs d'excavation a été menée. Ceci fera l'objet du chapitre suivant.



CHAPITRE 5

ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUES ET PROBLÈMES PERSISTANTS



Suite à l'analyse des différentes bases de données qui retracent les bris au niveau des infrastructures souterraines au Québec, au Canada et aux États-Unis, il s'avère qu'il existe diverses causes entraînant ces accidents. Généralement, celles-ci reviennent pour tout type d'infrastructure : infrastructures électriques, infrastructures gazières, infrastructures d'hydrocarbures liquides, infrastructures de télécommunication et infrastructures d'égouts/aqueduc. Comment peut-on alors expliquer ces causes ?

L'objet de ce chapitre est d'aborder plus profondément les facteurs qui ont une influence sur la survenue d'un bris et plus précisément sur la survenue d'un bris avec des blessés ou des morts. Pour ce faire, plusieurs études, sondages et rencontres ont été organisés avec toutes les parties prenantes de la chaîne d'excavation : l'entrepreneur en excavation, le propriétaire d'infrastructures souterraines, la municipalité, les associations industrielles et sectorielles ainsi que les écoles de formation des futurs travailleurs en construction. La méthodologie plus précise a été décrite à la section 6.

19 FACTEURS DE RISQUES

Les premières études réalisées en collaboration avec les propriétaires d'infrastructures, les municipalités et les entrepreneurs ont révélé l'existence des facteurs suivants (V.R Gannapathy 2008) (Manchester Centre for civil and Construction Engineering 2003) :

- Manque de formation ;
- Manque d'expérience ;
- L'habitude ;
- Le manque de supervision sur le chantier ;
- Le gain de temps ;
- Le gain d'argent ;
- L'inconscience du danger/mauvaise perception du risque ;
- Les conditions climatiques ;



19.1 Manque de formation

Il existe actuellement différentes formations que peuvent suivre les employés travaillant ou désirant travailler dans le domaine de la construction, et en particulier ceux qui œuvrent à proximité de tranchées et excavations. En effet, l'association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction (ASP Construction) offre une série de formations dont un cours sur la santé et sécurité générale sur les chantiers de construction. En vertu de l'article 2.4.2.i du Code de sécurité pour les travaux de construction, cette formation de 30h est obligatoire pour toute personne qui exerce un métier dans des chantiers de construction et a pour objectif de sensibiliser les participants à la prévention des risques dans son milieu de travail (ASP Construction, 2014).

Par ailleurs, l'association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur « affaires municipales » (APSAM) propose plusieurs formations dont un module intitulé : *creusements, excavations et tranchées : la santé et la sécurité du travail*. Il consiste à transmettre le cadre législatif lié aux travaux de creusement, identifier les risques qui peuvent exister lors des travaux d'excavation et mettre en place les moyens de prévention. Le soutien de cette formation est sous forme d'exposé théorique ainsi qu'un manuel fourni aux participants (APSAM, 2017).

En plus, Info-Excavation offre des séances de formation (3.5h) aux personnes qui désirent approfondir leurs connaissances dans la prévention des dommages ainsi que la façon de faire une demande de localisation en ligne. À la différence des formations offertes par l'APSAM et ASP Construction, cette formation est gratuite et fournie aux planificateurs et gestionnaires ainsi qu'aux opérateurs sur des sites d'excavation (Info-Excavation 2016a).

En parallèle, certains propriétaires d'infrastructures fournissent gratuitement des formations appuyées par des guides sur les bonnes pratiques d'excavation.

Néanmoins, il n'existe pas de processus de formation qui consiste à bien cadrer les formations suivies par les employés, à clarifier les objectifs à atteindre et planifier des formations continues afin de mettre à jour des notions acquises.

Par ailleurs, les formations offertes actuellement sont générales, elles ne visent pas les employés selon la nature de leur emploi, mais les dangers auxquels ils peuvent faire face. Les guides disponibles ou transmis aux entrepreneurs sont généralement sous forme de documents de bonnes pratiques que doivent suivre les travailleurs et non focalisés sur les risques probables. Ainsi, un travailleur peut se retrouver dans une impasse et ne pas appliquer correctement les bonnes procédures d'excavation lorsqu'il ne sait pas pourquoi il doit les suivre.

À part la formation générale sur la sécurité et santé sur des chantiers de construction, la plupart des formations ne sont pas obligatoires. Ainsi, d'une part l'entrepreneur peut décider de ne pas fournir à ses employés des formations pour diverses raisons qui peuvent éventuellement concerner l'échéancier, le budget de l'entreprise, mais aussi l'inconscience du danger.

19.2 Manque d'expérience

Dans certaines municipalités, une documentation des accidents est élaborée à l'interne. Il s'agit d'un système d'enregistrement des accidents qui sont produits ainsi que leurs caractéristiques en termes de nombre de blessés et de morts, les coûts directs et indirects et les renseignements sur l'intervention. Cette documentation permet non seulement d'archiver les accidents, mais aussi d'apprendre des expériences des autres afin d'éviter de subir les mêmes dangers.

Par ailleurs, il existe aussi un réseau de transmission des savoirs et des compétences « le compagnonnage » ou le « le coaching à la tâche ». Il consiste pour un employé moins expérimenté à acquérir des savoirs de métiers de quelqu'un plus expérimenté. Un tel processus permet une meilleure intégration des nouveaux employés, une acquisition personnalisée, ciblée et plus rapide des compétences ainsi qu'une création d'un milieu de travail propice à l'amélioration et l'entraide. Certaines parties prenantes entreprennent des démarches d'entente avec des commissions scolaires afin de veiller à une bonne formation de la relève.

Toutefois, il est important de mettre le point sur la notion d'ancienneté puisque celle ne garantit pas la compétence. En effet, un employé ayant exercé le métier pendant plusieurs années ne signifie pas directement qu'il possède les compétences requises. Il s'avère qu'il existe des travailleurs ayant acquis plusieurs expériences dans le terrain, mais ils ne possèdent pas les compétences nécessaires ni des savoirs mis à jour pour œuvrer dans un contexte particulier.

D'ailleurs, il existe dans certaines entreprises d'excavation ou même des propriétaires d'infrastructures un roulement de personnel très important ce qui augmente le taux de risque d'erreur. En effet, un départ d'employé et l'arrivée d'un autre coûtent cher non seulement en termes d'argent, mais aussi en termes de productivité et d'accidents de travail puisque l'embauche d'un nouvel employé bien qu'elle soit appuyée par son expérience antérieure est souvent accompagnée de frais liés à la formation, l'intégration et la perte de temps productif. En

parallèle, le départ d'une personne est souvent une perte de savoirs et d'expériences acquis au sein de l'entreprise.

19.3 L'habitude

Au fil des années d'exercice d'un métier, un employé peut tomber dans le piège de l'habitude et reste lié aux anciennes procédures. Il peut même résister au changement sous prétexte qu'il réalise ses tâches selon ce qu'il a appris il y a 10 ans ou 20 ans sans le moindre problème ou accident de travail. Cette perception est accentuée lorsqu'il n'est pas conscient du danger qu'il peut subir. En effet, il est important de revenir sur la sensibilisation des employés à propos des risques liés à leurs tâches et surtout organiser un partage d'expérience des exemples concrets ayant vécu auparavant un accident de travail.

Afin de pallier aux mauvaises habitudes, certaines municipalités québécoises offrent des systèmes d'évaluation continue des connaissances et des bonnes pratiques à leurs employés tels que les checklists. D'autres parties prenantes de la chaîne d'excavation offrent des rappels annuels à leurs employés pour rompre avec les mauvaises habitudes. Ces rappels consistent en des formations théoriques ou pratiques dédiées selon la nature du métier et qui intègrent un volet sur la prévention des dangers liés aux chantiers d'excavation. Suite à cela, une évaluation est parfois prévue.

19.4 Le manque de supervision sur le chantier

Parmi les facteurs des accidents de travail pendant une excavation se retrouvent le manque de supervision et le suivi des travaux dans les chantiers. En effet, il n'existe pas toujours une surveillance régulière du déroulement des procédures et surtout de la mise en œuvre des bonnes pratiques de la part des travailleurs. En cas de répétition d'une mauvaise tâche d'une manière inadéquate, il s'avère que certains travailleurs peuvent recevoir un avertissement, mais qui ne va pas au-delà d'une sanction.

Le manque de supervision peut naître d'une mauvaise habitude chez les travailleurs qui se font contrôler eux-mêmes et peuvent éventuellement ne pas dévoiler une erreur commise.

Pour remédier à cela, un module de formation a été développé pour des entrepreneurs sous-traitants en plus d'un audit annuel afin d'établir un suivi des résultats de la formation et anticiper les problèmes qui persistent.

Par ailleurs, certains propriétaires d'infrastructures optent pour une surveillance des chantiers de leurs entrepreneurs sous-traitants en engageant des inspecteurs qui observent quotidiennement le déroulement des travaux d'une manière aléatoire. Lors de l'intervention, s'ils enregistrent une non-conformité, ils peuvent décider un arrêt des travaux et imposer des frais dus aux conséquences.

19.5 Le gain de temps /gain d'argent

L'évaluation de la gestion de projet en construction est liée aux coûts, délais et qualités. Ces trois indicateurs sont interdépendants : souhaiter améliorer l'un peut avoir un impact négatif sur le l'autre. Un des facteurs les plus courants qui entraîne des accidents de travail dans des chantiers de construction est le gain de temps. En effet, les entrepreneurs signent préalablement un contrat avec le client où le délai de livraison ainsi que le budget prévisionnel alloué sont bien définis, ainsi ils se retrouvent parfois amenés à réaliser les tâches rapidement afin de remettre le projet à temps, sinon une pénalité en fonction des jours de retard aura lieu. D'autre part, certains projets de construction (aménagement, route, etc.) nécessitent une fermeture des rues aux alentours (normalement, une excavation de 4pi en profondeur nécessite un dégagement de 3m pour la circulation) ce qui perturbe la circulation, entraîne des restrictions de stationnement dans la zone des travaux, ainsi que des changements d'arrêts de bus, et peut empêcher l'accès total aux zones voisines. Cette situation peut causer divers inconvénients et impacts chez toutes les parties prenantes. Ainsi, certains entrepreneurs essaient d'avancer rapidement dans les travaux et ne perçoivent pas le danger qui peut résulter.

19.6 L'inconscience du danger/mauvaise perception du risque

Certains travailleurs ne sont pas conscients de la gravité du danger qu'ils peuvent subir suite à une mauvaise mise en œuvre, surtout s'il s'agit d'une mauvaise habitude qui n'a jamais eu d'impact sur sa santé et sécurité. Mais elle a probablement été la cause de blessure ou de mort d'une autre personne qu'il ignore.

Un autre point très important qui a été souligné lors des rencontres avec les parties prenantes est l'exploitation du plan d'infrastructures souterraines. En effet, un plan de localisation n'est pas un permis de creusage. Son obtention n'est qu'une première étape avant de faire une demande de lancement de travaux. Par ailleurs, il existe plusieurs travailleurs qui ne savent pas le lire et il leur suffit de l'apporter au chantier sans aucune exploitation.

19.7 Les conditions climatiques

Les conditions climatiques sont un facteur supplémentaire derrière un accident de travail. En effet, le froid hivernal au Québec et les épisodes de canicule peuvent pousser certains travailleurs à ne pas respecter les règles de sûreté, ce qui entraîne des impacts sur la sécurité et santé. Un des retours d'expérience qui nous a été confié est le cas d'un travailleur qui s'est blessé par une scie mal entretenue au moment où il réparait une conduite d'aqueduc alors que son collègue, qui devait être avec lui dans la tranche, est resté dans le camion vu les conditions climatiques difficiles pendant la saison hivernale.

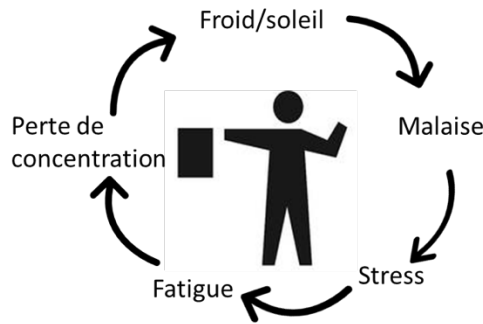


Figure 43 : Cycle d'impact des conditions climatiques sur un travailleur

20 RÉSULTATS DES SONDAGES

20.1 Nature des répondants

Afin d'évaluer l'avis des parties prenantes selon leur position dans la chaîne d'excavation par rapport aux facteurs de risque, nous avons effectué deux sondages qui comprennent des questions similaires, mais destinés à des personnes différentes : le premier a été destiné en particulier aux entrepreneurs d'excavation, et le second a été destiné à toutes les personnes présentes au congrès provincial d'Info-Excavation.

- Premier sondage : 13 répondants représentant des entreprises d'excavation et interrogés lors d'une séance de groupe de discussion
- Deuxième sondage : 88 personnes ont répondu à cette question. Il s'agit principalement des propriétaires d'infrastructures souterraines (43%), et d'autres personnes qui ne sont ni entrepreneurs d'excavation ni ne travaillent dans des municipalités. Ce deuxième sondage a été administré aux participants lors du Congrès annuel d'Info-Excavation.

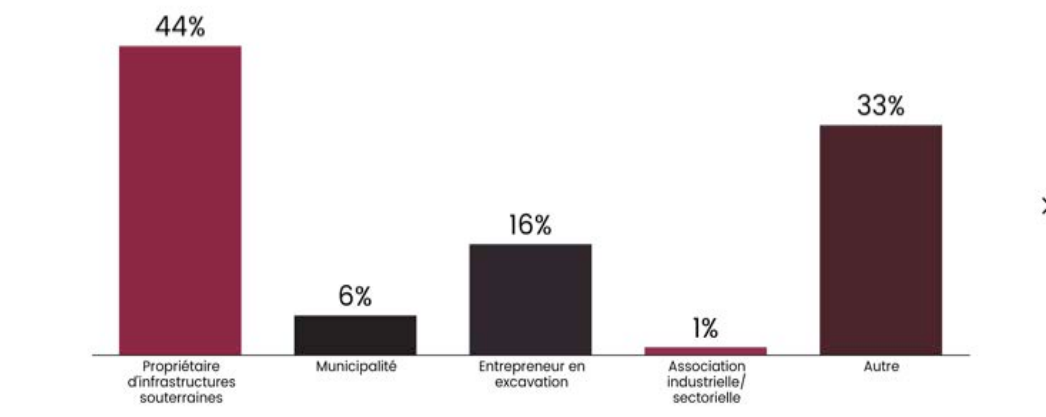


Figure 44 : Répondants au sondage lors du Congrès annuel d'Info-Excavation par type d'entreprise dans laquelle ils travaillent

20.2 Distribution des facteurs de risque

Le gain de temps représente l'aspect le plus important qui peut pousser les parties concernées à appliquer une mauvaise procédure ou à ne pas faire une demande de localisation, ou même à ne pas marquer les infrastructures souterraines, ce qui entraîne un risque d'accident ou quasi-accident lors des travaux d'excavation selon les répondants des deux sondages. Il est suivi de près du manque de supervision (31%) et un peu plus loin du manque de formation (15%) selon les entrepreneurs d'excavation. D'importance presque égale, le gain d'argent et l'inconscience du danger viennent en quatrième place. Les entrepreneurs ne pensent que ni les conditions climatiques, ni l'habitude, ni le manque d'expérience ne sont des facteurs significatifs.

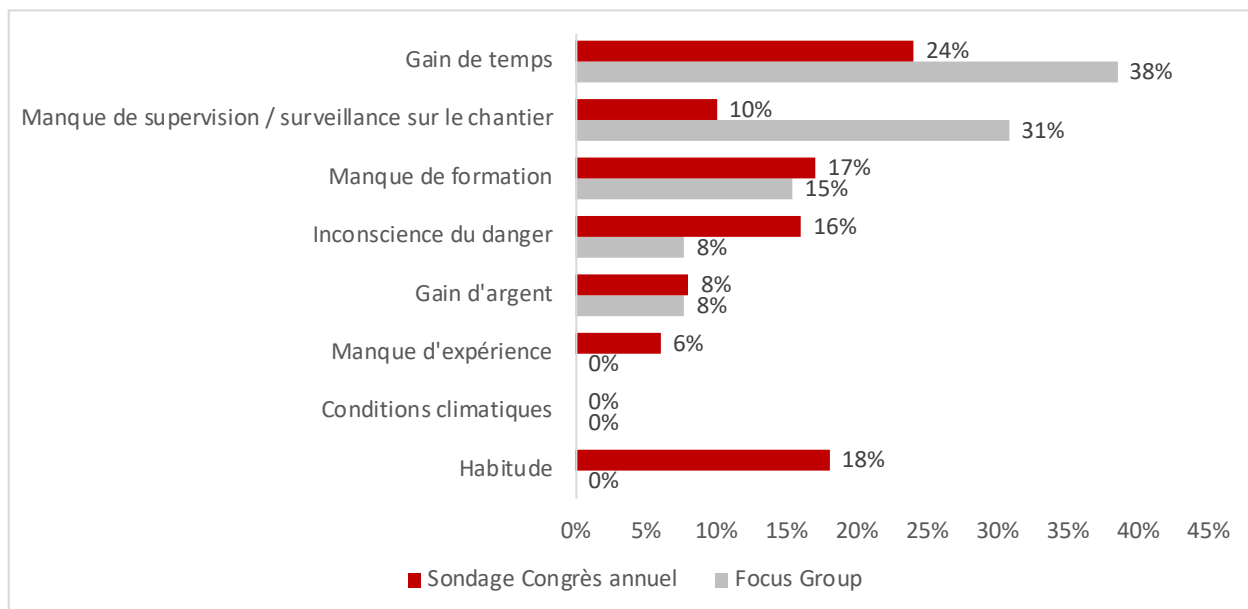


Figure 45 : Comparaison de l'importance de différents facteurs de risque entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group

Contrairement aux entrepreneurs, les répondants du deuxième sondage confirment que l'habitude représente un facteur non négligeable dans la production d'un accident de travail lors de l'excavation. Il est suivi du manque de formation et de l'inconscience du danger. Alors que le manque de supervision, qui est un facteur important pour les entrepreneurs, ne représente ici que 10% des réponses du deuxième sondage.

En conclusion, les parties prenantes se mettent d'accord sur le fait que le gain de temps est la source de pression qui peut les pousser à commettre une des causes directes des bris. Alors que les grandes différences entre les résultats des sondages sont les facteurs suivants : l'habitude, le manque de supervision et l'inconscience du danger telle que le montre la Figure 45.

20.3 Formation suivie par les employés

Le manque de formation représente un des facteurs non négligeables qui revient à chaque rencontre organisée avec les parties prenantes ainsi qu'aux résultats du sondage. Ainsi, nous avons décidé de nous y attarder afin de comprendre les processus de formation, les types de soutien et ce qui peut être amélioré. Il existe divers types de formations qu'offrent les entreprises et les propriétaires d'infrastructures à leurs employés. Les entrepreneurs développent plus de documentations à l'interne sous forme de guides destinés à leurs employés. Les répondants du deuxième sondage organisent des séances de formations en plus de la documentation. Leurs employés reçoivent aussi des formations à l'externe, que ce soit des formations gratuites offertes par Info-Excavation ou des rencontres avec des représentants des commissions scolaires ou l'APSAM.

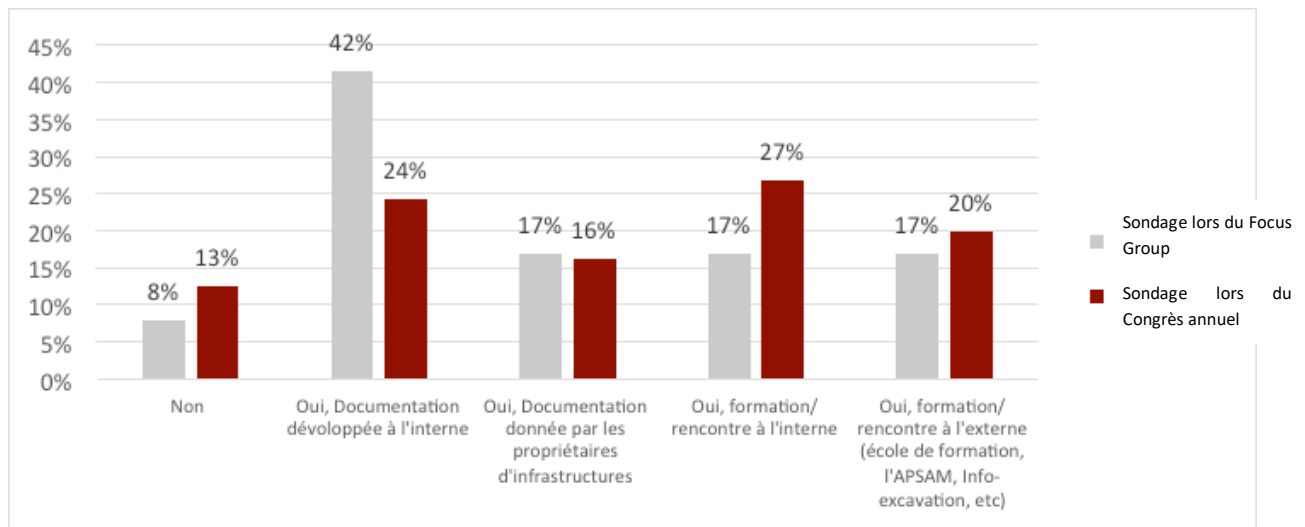


Figure 46 : Comparaison des formations suivies par les employés entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group

À la question « Saviez-vous qu'Info-Excavation offre des formations gratuites sur les meilleures pratiques en prévention des dommages? », 18% des répondants lors du Congrès annuel ont répondu par la négative.

20.4 Type de formation à envisager

Si une formation devait être développée et donnée à vos employés, sous quel format préféreriez-vous qu'elle soit? C'est la dernière question qui a été posée aux participants aux deux sondages.

Une grande majorité des répondants préfèrent des formations sur le chantier afin de percevoir de près les risques auxquels ils peuvent faire face lors d'une excavation.

Ensuite, une application mobile dédiée à l'autoapprentissage reste une seconde solution interactive que peuvent envisager les entrepreneurs, les propriétaires d'infrastructures et les municipalités. En parallèle, une formation en salle serait aussi un complément pour l'apprentissage théorique.

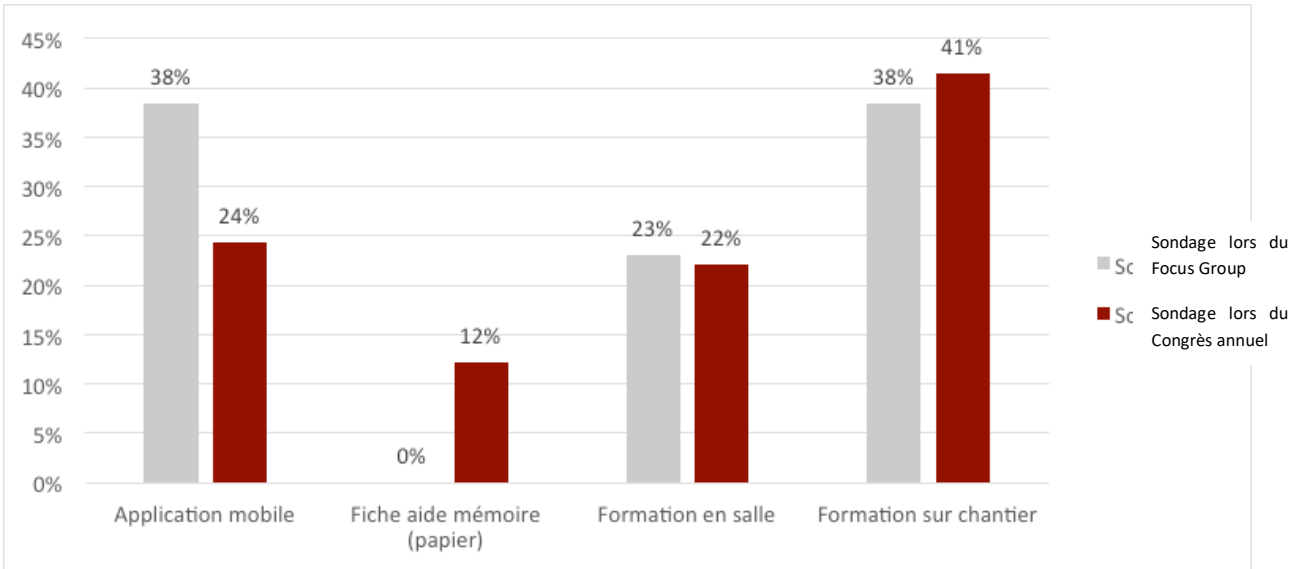


Figure 47 : Comparaison des types de formation à envisager entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group

20.5 Problèmes sujets aux discussions

L'analyse des facteurs de risques nous a révélé l'existence de certains problèmes qui persistent aujourd'hui en dépit des efforts fournis dans la sensibilisation et la prévention :

- Les méthodes d'excavation utilisées ;
- La précision de la localisation ;
- Les infrastructures souterraines abandonnées.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont apporté un éclairage important dans le développement des connaissances sur les dangers pour les travailleurs exposés à des bris d'infrastructures souterraines.

L'identification des facteurs augmentant la probabilité d'avoir des décès ou des blessés à la suite d'un bris va permettre de concentrer les efforts de prévention au bon endroit.

L'ensemble de ces éléments pourra être intégré à la prise de décision en prévention, que ce soit par les entreprises directement, par les autorités publiques ou les organismes en lien avec la problématique.

Comment réduire le risque de blessés ou de morts lors de travaux d'excavation ?



Responsabiliser toute la chaîne :

propriétaire d'infrastructure,
entrepreneur d'excavation,
municipalités, travailleurs



Mettre l'accent sur la formation :

revoir la forme de la formation,
établir un processus de suivi,
motiver les travailleurs à faire part
de cette formation



Réévaluer les procédures de localisation



Proposer des **changements
réglementaires rendant
obligatoire la localisation des
conduites souterraines** et
encadrant les travaux d'excavation
à proximité d'infrastructures
souterraines

Il est évident qu'il faut poursuivre les efforts de communication, formation et sensibilisation tout en encourageant l'adoption d'une législation claire qui encadrerait rigoureusement les travaux d'excavation.

ANNEXE : RAPPEL THÉORIQUE SUR LA RÉGRESSION LOGISTIQUE BINAIRE

Pour résoudre le problème qui consiste à prédire la probabilité qu'il y ait des morts ou des blessés suite à un bris de conduite de gaz, nous avons appliqué une technique d'analyse multivariée : la régression logistique binaire.

Elle permet de prédire une probabilité qu'un évènement se produise à partir des poids de chacune des variables indépendantes. Celles-ci peuvent être continues ou discrètes et la variable dépendante est de type binaire. Cette méthode n'exige pas une distribution normale des prédicteurs ni l'homogénéité des variances. (Desjardins, 2005)

Le modèle est formulé de la manière suivante :

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + \sum_1^n b_i x_i)}}$$

- P(Y) est la probabilité que Y arrive ;
- B_i les coefficients de régression des prédicteurs ;
- B₀ la constante ;
- X_i les valeurs des prédicteurs : s'il s'agit d'une variable discrète alors X_i correspond au cas où cette variable appartienne à une catégorie donnée.

Les coefficients de régression sont obtenus de telle sorte qu'il ait un maximum de vraisemblance entre les valeurs observées et les valeurs prédites. Une probabilité prédite faible correspond à une conséquence prédite de 0 et une probabilité prédite élevée correspond à une conséquence prédite de 1.

La robustesse d'un modèle est définie par différents indicateurs :

- **Test de Hosmer et Lemeshow** : Il évalue l'existence de différences significatives entre les valeurs observées et les valeurs prédites. Il est très sensible à la taille de l'échantillon étudié.
- **Wald** : Cette statistique met en évidence l'apport de chaque variable indépendante dans l'amélioration du modèle. Elle suit une distribution de Chi² et elle est calculée ainsi :

$$Wald\ i = \frac{(b_i^2)}{(\text{erreur type de } b_i)^2}$$

- **Rapport de cote Exp(b_i)** : Il correspond au nombre de fois d'appartenance à un groupe (0 ou 1) lorsque la valeur du prédicteur augmente de 1 s'il est continu ou lorsqu'il appartient à une certaine catégorie lorsqu'il est discret. Un rapport de cote plus grand que 1 indique une augmentation des chances de faire partie du groupe 1, tandis qu'un rapport de cote de moins de 1 diminue les probabilités d'appartenance à ce groupe.

21 RÉFÉRENCES

- APSAM. 2017. "CREUSEMENTS, EXCAVATIONS ET TRANCHÉES : LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL."
<http://www.apsam.com/formation/liste-des-formations/creusements-excavations-tranchees>.
- ASP Construction. 2014. "Cours Santé et Sécurité Générale Sur Les Chantiers de Construction (30 Heures)." In . <http://www.asp-construction.org/cours-sante-et-securite-generale-sur-les-chantiers-de-construction>.
- Association ontarienne de la sécurité dans la construction. 2008. *Manuel de Santé et Sécurité de L'industrie de La Construction*.
- Bertin-Maghit, M, Tan, B.K. 2006. "Blast pulmonaire et brûlure grave." Conférence donnée lors du 48^e Congrès de la SFAR, Paris, http://www.sfetb.org/pdf/blast_pulmonaire_CARB_2006.pdf.
- Bureau de la sécurité des transports du Canada. 2013. "Rapport D'enquête de Pipeline P07H0040."
- Burlet-Vienney, Damien. 2015. "Conception et Évaluation D'un Outil Pour Analyser et Catégoriser Les Risques Multifactoriels Encourus Par Les Travailleurs Lors Des Interventions En Espace Clos Au Québec." Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de philosophiae doctor (génie industriel), Montréal, Québec, Canada: École Polytechnique de Montréal.
https://publications.polymtl.ca/1949/1/2015_DamienBurlet-Vienney.pdf.
- Captier, Lebreton, and Griffé. 2013. "Les Brûlures En Phase Aiguë."
- Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. 2011. "Soudage - Effets Des Radiations Sur Les Yeux et Sur La Peau." http://www.cchst.ca/oshanswers/safety_haz/welding/eyes.html.
- Comité régional de sécurité civile, ed. 2002. "IDENTIFICATION DES RISQUES ASSOCIÉS AU TRANSPORT DE MATIÈRES DANGEREUSES : Etude Des Conséquences D'accidents Sur Le Territoire de La Ville de Trois-Rivières."
- Common Ground Alliance (CGA). 2013. "L'Outil de Rapport Sur Les Dommages Aux Infrastructures (ORDI) GUIDE DE L'UTILISATEUR." In .
- Connaissances des énergies. 2011. "Gaz naturel : quels dangers ?," September 27.
<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gaz-naturel-quels-dangers>.
- CSST. 2011. "Pour Mieux Exécuter Les Travaux de Creusement D'excavation et de Tranchée."
———. 2013. "Le Cadre D'intervention En Prévention-Inspection."
———. 2015. "AVIS D'OUVERTURE ET DE FERMETURE D'UN CHANTIER DE CONSTRUCTION."
- Debien, Bruno, Bernard Lenoir, Thomas Leclerc, Patrick Clapson, Jean-paul Perez, and Bruno Pats. 2006. "Lésions Par Explosion," MAPAR, .
- Department of Labour, Wellington. 2002. "Guide for Safety with Underground Services." New Zealand.
- Division Santé et sécurité au travail. 2010. "Identification Des Dangers et Analyse de Risques- Guide de Référence." ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/.../guide_analyse_risques_15-11-10.pdf.
- Égoutiers de France. 2014. "Les Risques Du Métier Des Egoutiers Selon Le Gouvernement Français."
<http://egoutiersdefrance.e-monsite.com/pages/les-risques-et-maladies-des-egouts.html>.
- Ferland, Jean-François. 2010. "Un Siècle de Réseautique Souterraine À Montréal," Direct informatique edition. <http://www.directioninformatique.com/un-siecle-de-reseautique-souterraine-a-montreal/10647>.

- Forma TIS. 2014. *Liaisons Souterraines, Aériennes HT*. Forma TIS. <http://blog.formatis.pro/liaisons-souterraines-aeriennes-ht>.
- GazMétro. 2016. "Distribution de Gaz Naturel."
- Généstal, Michèle, Claudine Cabot, and Olivier Anglés. 2009. "Principales Intoxications Aiguës." http://www.medicine.ups-tlse.fr/dcem4/module11/urgence/214_pricipales_intox_aigues.pdf.
- Gordain, Stéphanie. 2014. "L'ensevelissement – Syndrome de Bywaters." <http://www.sante-btp-lh.com/ensevellissement/>.
- Gouvernement de l'Ontario. 2012. "Loi de 2012 Sur Un Système D'information Sur Les Infrastructures Souterraines En Ontario." <https://www.ontario.ca/fr/lois/loi/12o04>.
- Hardy, Marie-France. 2006. "Les Tranchées et Excavations, Guide de Prévention." Canada: ASP Construction.
- Hébert, Sylvain. 2013. "Effet d'un choc électrique sur la contraction musculaire : projection vs tétanisation." Montréal, Canada: Université du Québec à Montréal.
- Hydro Québec. 2016. *Effets Du Courant Électrique Sur Le Corps ?* http://www.hydroquebec.com/securite/effet_courant.html.
- INERIS. 2005. "Assistance Technique Dans La Transposition de La Directive Sur Le Contrôle Des Accidents Majeurs Mettant En Cause Des Canalisations – DRA 15." DIRECTION DES RISQUES ACCIDENTELS / UNITÉ "ÉVALUATION DES RISQUES."
- . 2012. "Guide Technique Relatif Aux Travaux À Proximité Des Réseaux."
- Info-Excavation, ed. 2015. "Outil de Rapport Sur Les Dommages Aux Infrastructures (ORDI)."
- . 2016a. "Formation Gratuite." <http://www.info-ex.com/activites/formations/>.
- . 2016b. "LES CONSÉQUENCES D'UN BRIS DE FIBRES OPTIQUES : IMPACTS SUR LA MISSION DES ORGANISATIONS PUBLIQUES 10e Congrès Annuel Info-Excavation." In . Canada.
- . 2017. "Outil de Rapport Sur Les Dommages Aux Infrastructures (ORDI) - Rapport 2016."
- . 2018. "Outil de Rapport Sur Les Dommages Aux Infrastructures (ORDI) - Rapport 2017."
- ISHA, ed. 2008. "Manuel de Santé et Sécurité de L'industrie de La Construction." <https://www.ihsa.ca/PDFs/Products/Id/M029F.pdf>.
- Jowdar, Kismoune, Boudjemia, and Bacha. 1996. "LES BRULURES ELECTRIQUES - ETUDE RÉTROSPECTIVE ET ANALYTIQUE A PROPOS DE 588 CAS SUR UNE DECENNIE 1984-1993." http://www.medbc.com/annals/review/vol_10/num_1/text/vol10n1p20.htm.
- L'office national de l'énergie. 2017. "L'intervention D'urgence." <https://www.nel-one.gc.ca/sftnvrnmnt/mrgnc/rspndmrgnc/rspndmrgnc-fra.html>.
- Manchester Centre for civil and Construction Engineering. 2003. "Causal Factors in Construction Accidents."
- Margossian, Nichan. 2006. *Risques et Accidents Industriels Majeurs*. DUNOD.
- Millette, Lise. 2016. "Importante Fuite D'eau Dans Saint-Henri," Le Journal De Montréal edition. <http://www.journaldemontreal.com/2016/08/13/importante-fuite-deau-dans-saint-henri>.
- Ministère des transports du Nouveau-Brunswick. 2009. "Guide de Signalisation Des Travaux Routiers."
- National Transportation Safety Board. 2003. "Pipeline Accident Brief Accident No.: DCA-03-MP-004." <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB0401.pdf>.
- Office of the State Fire Marshal (California). 2005. "Pipeline Failure Investigation Report - Pipeline System LS-16 (Concord to San Jose)."

- <http://osfm.fire.ca.gov/pipeline/pdf/wcfinalreport/kmwcinprep.pdf>.
- OHSInsider. 2011. "Utility Worker Electrocuted During Excavation Near Home."
<https://ohsinsider.com/top-news-stories/utility-worker-electrocuted-during-excavation-near-home>.
- OSHA. 2015. "Worker Killed in Longmeadow Trench Collapse 'Would Not Have Died If Employer Had Followed Proper Procedures."
http://www.masslive.com/news/index.ssf/2015/11/osha_worker_in_longmeadow_tren.html.
- Poisson, Pascal. 2009. "Les dangers et les moyens de protection en électricité," September.
- Préventica. 2014. "RISQUE INCENDIE : CAUSES, CONSÉQUENCES ET MOYENS DE LUTTE."
<http://www.preventica.com/dossier-risque-incendie-causes-consequences.php>.
- ROSS, Marie-Josée. 2004. "La Sécurité Reliée Aux Lazars." Longueuil, Canada.
- Ross, Maris-Josée. 2007. *La Sécurité Reliée À L'électricité - Comprendre et Prévenir*. Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail.
- Sénat du Canada, 2017, Projet de loi S-229, disponible à l'adresse suivante :
<http://www.parl.ca/DocumentViewer/fr/42-1/projet-loi/S-229/troisieme-lecture>
- State Energy Commission of Western Australia. 1991. "BURIED ELECTRIC CABLE – FATAL ACCIDENT."
"Statistiques À Long Terme Victimes D'avalanches Depuis 1936." 2016.
http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/lawinenstatistik/index_FR.
- Transport Canada. 2016. "Le Risque Transport En Matières Dangereuses."
- Venditti, Tony. 2014. "Prévention Des Risques Électriques." ASFETM. <http://www.asfetm.com/wp-content/uploads/2014/05/RisquesElectriques140507.pdf>.
- V.R Gannapathy. 2008. "Risk Factors in a Road Construction Site."

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effets du passage d'un courant électrique dans le corps humain en fonction de la tension (pour une durée de passage d'environ 2 secondes) (Source : (Ross 2007))	31
Tableau 2 : Tableau indiquant les éléments retenus pour discriminer les bris causés par une excavation des autres bris	52
Tableau 3 : Comparaison du nombre de bris d'infrastructures gazières aux États-Unis en fonction des circonstances du bris	53
Tableau 4 : Proportion des taux de décès et taux de blessés en fonction de la circonstance du bris aux États-Unis.....	56
Tableau 5 : Description des niveaux de gravité.....	59
Tableau 6 : Description des variables indépendantes sélectionnées.....	64
Tableau 7 : Synthèse des résultats des tests de Mann-Whitney pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés ».....	66
Tableau 8 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal-Wallis pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés ».....	67
Tableau 9 : Synthèse des résultats des tests de corrélation de Spearman pour identifier les facteurs influençant la variable « morts ou blessés ».....	67
Tableau 10 : Facteurs affectant la probabilité d'avoir des morts ou des blessés advenant un bris d'infrastructures gazières aux États-Unis	69
Tableau 11 : Synthèse des résultats des tests de Mann-Whitney pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »	70
Tableau 12 : Synthèse des résultats des tests de Kruskal-Wallis pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »	71
Tableau 13 : Synthèse des résultats des tests de corrélation de Spearman pour identifier les facteurs influençant la variable « gravité des conséquences en SST »	71
Tableau 14 : Facteurs augmentant la gravité des conséquences advenant un bris d'infrastructures gazières aux États-Unis.....	72
Tableau 15 : 7 variables retenues dans le modèle de régression logistique	73
Tableau 16 : Test de Hosmer-Lemeshow.....	74
Tableau 17 : Tableau récapitulatif des modèles.....	74
Tableau 18 : Tableau de classement.....	75
Tableau 19 : Tableau de résultats du modèle de régression logistique binaire.....	75
Tableau 20 : Tableau indiquant les éléments retenus pour discriminer les bris causés par une excavation des autres bris	80
Tableau 21 : Comparaison du nombre de bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide aux États-Unis en fonction des circonstances du bris	81
Tableau 22 : Variables sélectionnées dans la base de données des infrastructures canadiennes	83
Tableau 23 : Répartition des accidents selon le niveau d'urgence	86
Tableau 24 : Matrice de contingence du niveau d'urgence et l'importance d'un accident	87
Tableau 25 : Variables sélectionnées	89

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Expansion explosive au niveau d'un câble (Source : Forma TIS, 2014)	32
Figure 2 : Réseau des ouvrages d'assainissement (Source : INERIS, 2012).....	46
Figure 3 : Modification des principaux critères de déclaration des incidents de pipeline de gaz aux États-Unis (Source : adapté de PHMSA, 2014).....	51
Figure 4 : Évolution du nombre de bris toutes circonstances confondues, du nombre de morts et du nombre de blessés de 1997 à 2016 (source : compilation CIRANO à partir de la base de données PHMSA)	54
Figure 5 : Évolution des ratios morts et blessés/bris liés à des bris de conduites de gaz aux États-Unis sur les 20 dernières années	55
Figure 6 : Évolution du nombre de morts en fonction du type de circonstances du bris de conduites de gaz (causé par une excavation ou non) aux États-Unis	55
Figure 7 : Évolution du nombre de blessés en fonction du type de circonstances du bris de conduites de gaz (causé par une excavation ou non) aux États-Unis	56
Figure 8 : Évolution du nombre de blessés et de morts suite à un bris de conduite de gaz causé par une excavation aux États-Unis	57
Figure 9: Évolution du nombre de blessés/bris et de morts/bris au niveau des conduites de distribution du gaz aux États-Unis.....	58
Figure 10 : Distribution des accidents aux États-Unis selon le type de conséquence – période 2004-2016	59
Figure 11 : Distribution des bris de conduites de distribution de gaz aux États-Unis selon la gravité sur la période 2010-2016 (Source : à partir des données des bases de données de PHMSA).....	60
Figure 12 : Provenance des blesses et décès suite à un bris d'infrastructure gazière aux États-Unis sur la période 2004-2016	61
Figure 13 : Provenance des blesses et décès suite à un bris d'infrastructure gazière aux États-Unis sur la période 2010-2016	62
Figure 14: Évolution du nombre de bris d'infrastructures d'hydrocarbure liquide toutes circonstances confondues, du nombre de morts et du nombre de blessés de 1997 à 2016 (source: compilation CIRANO à partir de la base de données PHMSA)	80
Figure 15 : Évolution du nombre de morts en fonction de la circonstance du bris de la conduite d'hydrocarbure liquide aux États-Unis (causé par une excavation ou non)	82
Figure 16 : Évolution du nombre de blessés en fonction de la circonstance du bris de la conduite d'hydrocarbure liquide aux États-Unis (causé par une excavation ou non)	82
Figure 17: Évolution des déversements du gaz et des hydrocarbures au Canada.....	85
Figure 18 : Évolution des bris de conduites de gaz et d'hydrocarbures au Canada en fonction du type d'incident	85
Figure 19 : Total des bris de conduites de gaz et d'hydrocarbures au Canada en fonction du type d'incident sur la période 2008-2016.....	86
Figure 20 : Distribution des accidents selon les causes de déversement du gaz ou des hydrocarbures liquides.....	88

Figure 21 : Distribution temporelle des bris d’infrastructures souterraines au Québec de 2010 à 2016 ..	90
Figure 22 : Distribution du nombre de blessés de 2010 à 2016 (Source : Compilation CIRANO à partir des données de la base de données ORDI – Info-Excavation)	90
Figure 23 : Distribution des bris d’infrastructures souterraines au Québec selon le type d’infrastructures touchées	91
Figure 24 : Distribution des bris selon le type d’équipement utilisé pendant les travaux d’excavation....	92
Figure 25 : Distribution globale des causes des bris d’infrastructures souterraines au Québec sur la période 2010-2016 telles que renseignés dans la base de données ORDI	93
Figure 26 : Distribution des causes des bris au niveau des infrastructures de télécommunication de 2010 à 2016	94
Figure 27 : Distribution des causes au niveau des infrastructures de gaz naturel de 2010 à 2016	94
Figure 28 : Distribution des causes au niveau des pipelines liquides.....	95
Figure 29 : Distribution des causes au niveau des infrastructures électriques.....	95
Figure 30 : Distribution des causes au niveau des infrastructures d’égouts/aqueduc.....	96
Figure 31 : Distribution des rapports d’interventions en fonction du type de danger y figurant sur la période 2007-2014 au Québec (Source : compilation CIRANO à partir des rapports d’intervention fournis par la CNESST)	99
Figure 32 : Distribution des causes de l’ensevelissement pour les rapports d’intervention couvrant la période 2007-2014	100
Figure 33 : Distribution des causes des accidents SST pour les rapports d’intervention couvrant la période 2007-2014	101
Figure 34 : Distribution des causes de l’explosion (gaz) pour les rapports d’intervention couvrant la période 2007-2014	103
Figure 35 : Distribution des causes du choc électrique	103
Figure 36 : Distribution des causes des dommages liés aux bris d’infrastructures souterraines	104
Figure 37 : Distribution des causes des bris de conduites de gaz au Québec sur la période 2010-2016 .	105
Figure 38 : Distribution des causes des bris de conduites de gaz dus à des excavations aux États-Unis sur la période 2010-2016.....	106
Figure 39 : Distribution des bris selon le type d’équipement d’excavation au Québec.....	106
Figure 40 : Distribution des bris selon le type d’équipement d’excavation aux États-Unis	107
Figure 41 : Distribution des bris selon le type de travaux au Québec.....	107
Figure 42 : Distribution des bris selon le type de travaux aux États-Unis.....	108
Figure 43 : Cycle d’impact des conditions climatiques sur un travailleur.....	116
Figure 44 : Répondants au sondage lors du Congrès annuel d’Info-Excavation par type d’entreprise dans laquelle ils travaillent.....	116
Figure 45 : Comparaison de l’importance de différents facteurs de risque entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group	117
Figure 46 : Comparaison des formations suivies par les employés entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group	118
Figure 47 : Comparaison des types de formation à envisager entre les participants au Congrès et les participants du Focus Group	119