

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-928



Développement d'un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos

*Yuvin Chinniah
Ali Bahloul
Damien Burllet-Vienney
Brigitte Roberge*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST. Abonnement : preventionautravail.com

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2016
ISBN : 978-2-89631-887-2 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
Juin 2016

Prévention des risques mécaniques et physiques

Études et recherches

RAPPORT R-928

Développement d'un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*Yuvin Chinniah¹, Ali Bahlouf,
Damien Burlet-Vienney², Brigitte Roberge²*

*¹Polytechnique Montréal
²IRSST*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude à tous les organismes et entreprises qui ont participé au projet, et à toutes les personnes qui ont été rencontrées. Sans leur collaboration, leur disponibilité et leur ouverture, la réalisation de ce projet n'aurait pas été possible.

Nous tenons ensuite à souligner la contribution des membres du comité de suivi paritaire mis en place par Marie-France d'Amours de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), pour leur participation aux orientations de la recherche et à la validation des résultats. Les membres du comité de suivi étaient : Caroline Godin (MultiPrévention), François Granger (Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail), Éline Guénette (Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur affaires municipales), Charbel Mouawad (Association sectorielle – Fabrication d'équipement de transport et de machines), Mireille Pelletier (Confédération des syndicats nationaux), Pascal Rousseau (Associations de la santé et de la sécurité des pâtes et papier et des industries de la forêt du Québec), Geneviève Royer (Hydro-Québec), Jean-François Spence, Elsa Dagenais (Via Prévention) et Bernard Teasdale (Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, Secteur construction). Nous soulignons également l'apport, lors de certaines phases du projet, de Marc-Antoine Busque et Laurent Giraud (IRSST) ainsi que celui de Nicole Goyer, CIH, consultante.

L'équipe de recherche remercie l'IRSST pour le financement du projet et le soutien de son personnel, notamment Chantal Tellier.

SOMMAIRE

Au Québec, le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) définit un espace clos à l'article 1. Un espace clos est totalement ou partiellement fermé et n'est pas conçu pour être occupé par des personnes ni destiné à l'être, mais peut à l'occasion être occupé pour l'exécution d'un travail. Un travailleur peut donc pénétrer dans cet espace qui (i) n'est pas un poste de travail, (ii) a des accès restreints et (iii) présente des risques pour sa santé et sa sécurité. Le travail en espace clos est une problématique qui concerne à la fois les secteurs municipal, manufacturier, chimique, militaire, agricole, de la construction et du transport. Les espaces clos parmi les plus courants en industrie sont les réservoirs, les silos, les cuves, les puits d'accès, les fosses, les égouts, les tuyaux et les citernes de wagon ou de camion qui répondent à certaines caractéristiques définies par le règlement. Les entrées en espace clos sont effectuées pour des raisons de maintenance, de fabrication ou pour effectuer d'autres travaux (ex. : secteur de la construction). Les phénomènes dangereux pour la santé et la sécurité des travailleurs sont principalement atmosphériques, biologiques, physiques et le non-respect des principes ergonomiques. Les risques en espace clos sont souvent élevés à cause du confinement, de la ventilation naturelle déficiente, du travail isolé, et des difficultés d'accès, de sauvetage et de communication. Les accidents en espace clos sont d'ailleurs nombreux. Par exemple, au Québec, entre 1998 et 2011, 40 décès lors de 32 événements ont été dénombrés dans des espaces clos, ce qui représente 4 % des rapports d'enquête de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST)¹.

Les interventions en espace clos sont réglementées au Québec, que ce soit au regard de l'habilitation du personnel, de l'identification des dangers, de la maîtrise de l'atmosphère, de la surveillance des entrées ou encore des procédures de sauvetage. Au Canada, il existe une norme CSA Z1006, intitulée « Gestion du travail dans les espaces clos ». En pratique, avant d'intervenir en espace clos, la personne qualifiée doit effectuer un travail d'appréciation du risque afin de prendre des mesures d'élimination ou de réduction du risque adaptées à la situation.

Cette recherche vise à prévenir les accidents en espaces clos en aidant les entreprises à appliquer la réglementation en vigueur. Les deux objectifs spécifiques sont de (i) mieux comprendre la gestion des risques en espace clos et déterminer les difficultés en se basant sur la littérature et des observations sur le terrain et (ii) développer un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos qui répond aux besoins établis dans la première partie du projet.

La méthode de recherche inclut (i) une revue critique de la littérature sur la gestion des risques en espace clos, (ii) une analyse des enquêtes d'accidents mortels en espace clos au Québec afin, entre autres, de constater des lacunes qui ont menées à ces accidents et (iii) des visites dans quinze entreprises et organismes qui gèrent des entrées en espace clos de leurs travailleurs et sous-traitants. Les résultats ont permis de constater que, premièrement, le nombre d'accidents mortels dus à un problème de maîtrise des énergies liées à de la machinerie fait ressortir l'importance des phénomènes dangereux mécaniques dans les espaces clos. Une approche davantage multidisciplinaire semble donc souhaitable. Deuxièmement, les étapes d'estimation et

¹ La Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) est devenue la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST) le 1^{er} janvier 2016.

d'évaluation du risque sont peu formalisées dans la littérature, hormis pour les risques atmosphériques. La littérature sur les espaces clos permet avant tout de diagnostiquer les phénomènes dangereux lors des différentes interventions. Les principaux outils suggérés dans la littérature pour l'analyse du risque en espace clos (ex. : liste de vérification, matrice de risque) sont souvent incomplets et ne tiennent pas compte de certains facteurs particuliers comme les caractéristiques physiques de l'espace clos, les conditions de sauvetage, les risques de nature variée, ou encore les conditions physique et psychologique de la personne qui y entre. De plus, aucun des organismes visités n'estimait les risques, se basant uniquement sur l'expérience de l'émetteur de permis. Cette façon de faire peut mener, dans certaines circonstances, à une mauvaise appréciation des risques (ex. : oubli ou sous-estimation) et, éventuellement, à des mesures de réduction du risque inadéquates. Troisièmement, dans la littérature, la notion d'espace clos similaire, qui vise à alléger le travail d'analyse du risque, n'est pas accompagnée de critères d'évaluation pratiques. Le concept de catégorisation des espaces clos décrit dans la littérature afin de faciliter la gestion et la communication des risques est peu exploré sur le terrain. Quatrièmement, lors des visites sur le terrain, les procédures de sauvetage n'étaient majoritairement ni éprouvées ni communiquées au service des incendies. Enfin, il est important de souligner que beaucoup d'importance est mise dans la littérature sur les procédures de sauvetage, la formation des intervenants et les conditions à respecter avant d'entrer dans les espaces clos, alors que la conception sécuritaire de ceux-ci est peu abordée bien qu'il s'agisse de la mesure de contrôle des risques à privilégier.

Basé sur ce bilan et inspiré par la norme ISO 12100 « sécurité des machines - principes généraux de conception - appréciation du risque et réduction du risque », un outil d'appréciation du risque en cinq étapes a été développé pour les espaces clos, afin de répondre au deuxième objectif du projet. L'étape 1 de l'outil consiste en une liste de 26 questions fermées permettant de caractériser l'espace clos, son environnement et les conditions d'intervention. L'étape 2 permet de décrire le processus accidentel lié aux risques retenus par l'utilisateur de l'outil. L'étape 3 facilite l'estimation des risques à l'aide d'une matrice de risque et de critères adaptés au contexte des espaces clos. Pour ce faire, des critères de conception d'outil d'estimation du risque récemment proposés en sécurité des machines ont été appliqués. L'étape 4 propose une catégorisation graphique par familles et niveaux de risque. Enfin, l'étape 5 consiste en une boucle de rétroaction pour estimer les risques résiduels une fois que les mesures de réduction du risque ont été choisies. L'utilisation de cet outil permet en outre de déterminer, à l'aide de critères explicites, si deux interventions en espace clos sont réellement identiques afin de simplifier, le cas échéant, le travail de réduction du risque. L'outil permet également d'établir, à l'aide de critères prédéterminés, si le sauvetage sans entrée est *a priori* possible et si les risques résiduels sont acceptables. L'utilité et la pertinence de l'outil ont été testées auprès de 22 experts en espace clos. Celui-ci a également été comparé à d'autres types d'outils préconisés dans la littérature ou en entreprise pour l'analyse des risques d'une intervention en espace clos. L'outil se distingue notamment par (i) l'exhaustivité et la multidisciplinarité de l'identification des risques, (ii) les critères de choix détaillés pour l'estimation du risque, (iii) l'exploitation des résultats de l'analyse des risques et (iv) l'impact des mesures de réduction du risque adaptées aux espaces clos sur les paramètres du risque. Cette recherche permet de soutenir à la fois les concepteurs, les préventeurs et les sauveteurs dans leurs démarches respectives pour améliorer la santé et la sécurité des travailleurs en espace clos. L'outil peut servir à la conception d'un espace clos et à l'évaluation d'un espace clos existant.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	XI
1 INTRODUCTION	1
1.1 Travail en espace clos	1
1.2 Statistiques d'accidents mortels en espace clos	3
1.3 Appréciation et réduction du risque	4
1.4 Besoins du milieu.....	7
2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	9
3 MÉTHODOLOGIE	11
3.1 Revue critique de la littérature	11
3.2 Analyse des accidents du travail.....	13
3.3 Gestion par les entreprises des risques en espace clos.....	14
3.4 Conception et application d'un outil d'appréciation du risque pour les interventions en espace clos	16
3.4.1 Conception de l'outil.....	16
3.4.2 Tests en entreprise.....	17
3.4.3 Tests comparatifs	18

4	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	21
4.1	Bilan théorique et pratique	21
4.1.1	Revue critique sur l'appréciation des risques pour les interventions en espace clos....	21
4.1.2	Accidents du travail en espace clos au Québec	27
4.1.3	Gestion du risque par les entreprises	30
4.1.4	Synthèse des besoins.....	40
4.2	Outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos.....	43
4.2.1	Conception de l'outil.....	43
4.2.2	Validation de l'outil	57
5	CONCLUSION.....	61
5.1	Synthèse des résultats	61
5.2	Limites et pistes de recherche	62
	BIBLIOGRAPHIE.....	65
	ANNEXE A – RÉFÉRENCES NUMÉROTÉES AUX TABLEAUX 3, 7 ET 8 RELATIFS À LA REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	73
	ANNEXE B – GRILLE DE LECTURE POUR LA REVUE DE LA LITTÉRATURE	79
	ANNEXE C – GRILLE DE LECTURE POUR L'ANALYSE DES ACCIDENTS MORTELS EN ESPACE CLOS AU QUÉBEC	81
	ANNEXE D – QUESTIONNAIRES UTILISÉS EN ENTREPRISE POUR ÉTUDIER LA GESTION DES RISQUES LORS DU TRAVAIL EN ESPACE CLOS ..	83
	ANNEXE E – QUESTIONNAIRE UTILISÉ LORS DU TEST DE L'OUTIL D'ANALYSE DU RISQUE	99
	ANNEXE F - SCÉNARIOS ET OUTILS D'ANALYSE DU RISQUE UTILISÉS LORS DES TESTS COMPARATIFS AVEC L'OUTIL DÉVELOPPÉ	103
	ANNEXE G - QUESTIONNAIRE VIERGE POUR CARACTÉRISER LES SITUATIONS À RISQUE LORS D'UNE INTERVENTION EN ESPACE CLOS.....	107
	ANNEXE H – MATRICE DE RISQUE PROPOSÉE PAR LA NORME AS/NZ 2865 :2001.....	111

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Statistiques sur les accidents mortels en espace clos	3
Tableau 2 - Matrice de risque à deux paramètres et six indices (MMMMPIC, 2002).....	5
Tableau 3 - Documents retenus lors de la revue de la littérature et classés par type, origine et thème principal	12
Tableau 4 - Échantillon des quinze organismes visités pour l'analyse de leur gestion du travail en espace clos.....	15
Tableau 5 - Échantillon des dix organismes visités pour l'application de l'outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos.....	18
Tableau 6 - Structure et utilisabilité des quatre types d'outils testés.....	19
Tableau 7 - Phénomènes dangereux en espace clos recensés, par type de documents	22
Tableau 8 - Étapes de gestion du risque incluses dans les documents retenus – Types de combinaison relevés	24
Tableau 9 - Conditions atmosphériques à réunir pour que l'entrée à l'intérieur de l'espace clos soit considérée comme non dangereuse dans différents pays.....	25
Tableau 10 - Nombre d'accidents du travail enquêtés, de décès et de blessés en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par secteur d'activité	28
Tableau 11 - Nombre d'accidents du travail enquêtés et de décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par type d'espace clos	28
Tableau 12 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant l'identification des espaces clos	32
Tableau 13 - Contenu d'un permis d'entrée centralisant les informations nécessaires à une entrée – Section 1 <i>Préparation</i>.....	34
Tableau 14 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant les audits.....	36
Tableau 15 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant la sous-traitance.....	36
Tableau 16 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant le sauvetage	37
Tableau 17 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant l'utilisation des mesures de réduction du risque.....	39
Tableau 18 - Questionnaire pour caractériser les situations à risque lors d'une intervention en espace clos appliqué à un exemple.....	44
Tableau 19 - Table de correspondance entre les réponses fournies à l'étape de caractérisation de l'intervention et les risques potentiels suggérés.....	48

Tableau 20 - Identification des risques et des processus accidentels appliqués en partie à l'exemple retenu.....	50
Tableau 21 - Matrice de risque proposée par la norme AS/NZ 2865:2001	51
Tableau 22 - Échelle de gravité du dommage proposée et critères de choix associés à chaque type de phénomène dangereux	53
Tableau 23 - Échelle de probabilité d'occurrence du dommage et critères à prendre en compte	54
Tableau 24 - Matrice de risque proposée pour l'estimation du risque	54
Tableau 25 - Principes de mesures de réduction du risque et impact sur les composantes du risque.....	56
Tableau 26 – Résultats de l'identification et de l'estimation des risques en appliquant les quatre outils testés sur les trois scénarios	58
Tableau 27 - Avantages et limites répertoriées pour chaque type de méthode pour l'identification et l'estimation du risque.....	59
Tableau 28 - Matrice de risque proposée par la norme AS/NZ 2865:2001	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Puits d'accès.....	2
Figure 2 - Processus d'appréciation et de réduction du risque (ISO, 2010).....	5
Figure 3 - Démarche d'ensemble des travaux de recherche	11
Figure 4 - Répartition du nombre de rapports d'enquête et de décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011	14
Figure 5 - Répartition des décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par type de risques	29
Figure 6 - Trépied et treuils pour la protection contre les chutes et le sauvetage sans entrée; Port d'un harnais de type A	38
Figure 7 - Socle pour potence, échelle et garde-corps intégrés de façon permanente	40
Figure 8 - Synthèse de l'estimation du risque avant et après réduction du risque appliquée à l'exemple retenu	55

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ACGIH®	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AIHA	American Industrial Hygiene Association
ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASSE	American Society of Safety Engineers
BCGA	British Compressed Gases Association
CNAMTS	Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés
CSA	Canadian Standards Association
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (anciennement CSST)
ÉPI	Équipement de protection individuelle
FACE	Fatality Assessment and Control Evaluation
FARSHA	Farm and Ranch Safety and Health Association
HSE	Health and Safety Executive
DIVS	Danger immédiat pour la vie ou la santé
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
ISO	International Organization for Standardization
LIE	Limite inférieure d'explosivité
MIG	Metal Inert Gas
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PEL	Permissible Exposure Limit
PRCS	Permit-Required Confined Space
RSST	Règlement sur la santé et la sécurité du travail
SST	Santé et sécurité du travail
TLV	Threshold Limit Value
VEA	Valeur d'exposition admissible

1 INTRODUCTION

1.1 Travail en espace clos

Les espaces clos sont légalement définis au Québec à l'article 1 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) :

Espace clos : Tout espace totalement ou partiellement fermé, notamment un réservoir, un silo, une cuve, une trémie, une chambre, une voûte, une fosse, y compris une fosse et une préfosse à lisier, un égout, un tuyau, une cheminée, un puits d'accès, une citerne de wagon ou de camion, qui possède les caractéristiques inhérentes suivantes :

- 1° il n'est pas conçu pour être occupé par des personnes ni destiné à l'être, mais qui à l'occasion peut être occupé pour l'exécution d'un travail;
- 2° on ne peut y accéder ou on ne peut en ressortir que par une voie restreinte;
- 3° il peut présenter des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique pour quiconque y pénètre, en raison de l'un ou l'autre des facteurs suivants :
 - a) l'emplacement, la conception ou la construction de l'espace, exception faite de la voie prévue au paragraphe 2°;
 - b) l'atmosphère ou l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique qui y règne;
 - c) les matières ou les substances qu'il contient;
 - d) les autres dangers qui y sont afférents. (Gouvernement du Québec, 2016)

Les conditions générales pour qu'un lieu soit considéré comme étant un espace clos au Québec sont que (i) un travailleur puisse entrer dans l'espace, (ii) l'espace ne soit pas un poste de travail, (iii) les accès soient restreints et (iv) l'espace présente des risques pour la santé et la sécurité du travailleur. Ces critères sont repris sous différentes formes dans la plupart des pays comme aux États-Unis (U.S. Department of Labor, OSHA, 1993), au Canada (Gouvernement du Canada, 2015), au Royaume-Uni (Government of United Kingdom, 1997), en France (Guilleux et Werlé, 2014) ou encore en Australie (Standards Australia, 2001). La réglementation des divers pays diffère de façon importante en ce qui a trait à la présence ou non de risque dans l'espace. Aux États-Unis, la présence de risque n'a pas été retenue dans les critères visant à définir un espace clos puisque cette notion est prise en compte lors de l'émission des permis d'entrée (c.-à-d. permit-required confined spaces). Dans les autres définitions, soit il y est fait mention exclusivement des risques atmosphériques, soit des risques spécifiques (ex. : atmosphérique, ensevelissement, noyade, ou température), soit de la notion de risque en général (ex. :RSST). Certaines définitions sont donc plus restrictives que d'autres ; ce qui peut avoir un impact sur le recensement des espaces clos.

En industrie, les espaces clos parmi les plus courants sont les réservoirs, les silos, les cuves, les puits d'accès (figure 1), les fosses, les égouts, les tuyaux, et les citernes. Le travail en espace clos est une problématique qui concerne à la fois les secteurs municipal, manufacturier, chimique, militaire, agricole, ainsi que ceux de la construction et du transport (Rekus, 1994). Aux États-Unis, une étude menée par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a

démontré qu'entre 1984 et 1988, 40,9 % des accidents en espace clos sont associés au domaine municipal, 20,4 % à l'industrie de la transformation, 15,9 % à la construction, 11,4 % au stockage de produits chimiques, 6,8 % au transport, et enfin 4,6 % à l'agriculture (Rekus, 1994).

Les entrées en espace clos sont effectuées, entre autres, pour des raisons de maintenance (ex. : réparation, inspection, nettoyage, déblocage), de fabrication (ex. : fabrication d'équipements de transport) ou pour effectuer d'autres travaux (ex. : secteur de la construction). Les exemples de phénomènes dangereux pour la santé et la sécurité des travailleurs sont de nature atmosphérique (ex. : intoxication, asphyxie, explosion), biologique (ex. : animaux, insectes et plantes allergènes, moisissures et autres microorganismes), physique (ex. : mécanique, électrique, ensevelissement, chute) ou au non-respect des principes ergonomiques (ex. : postures contraignantes, espace de travail restreint). Les risques en espace clos sont souvent élevés à cause du confinement, de la ventilation naturelle déficiente, du travail isolé, et des difficultés d'accès, de sauvetage et de communication (CSA, 2010).



Figure 1 - Puits d'accès

Au Québec, les employeurs ont l'obligation légale de respecter la section XXVI (articles 297 à 312) du RSST pour le travail en espace clos. Les thèmes mentionnés, comme dans la plupart des règlements, sont :

- l'habilitation, la qualification et l'information des travailleurs concernés;
- la cueillette de renseignements par écrit, préalable à l'exécution d'un travail sur les dangers et les mesures de prévention;
- l'utilisation de la ventilation pour conserver des conditions atmosphériques acceptables;
- la gestion des poussières du travail à chaud;
- les mesures et les relevés des gaz;
- la surveillance obligatoire;
- les procédures de sauvetage;
- l'interdiction d'entrée dans un espace clos si un écoulement est en cours;
- le port et l'attache du harnais obligatoire s'il y a un écoulement libre potentiel.

En complément, la norme canadienne CSA Z1006-10 et la norme américaine ANSI/ASSE: Z117.1-2009 relatives aux espaces clos donnent des balises en ce qui a trait au programme de

gestion à mettre en place, aux rôles et responsabilités des intervenants, à la planification associée (ex. : formation, plan d'urgence) et à la mise en application du programme et sa révision (ex. : permis de travail) (CSA, 2010; ANSI/ASSE, 2009).

1.2 Statistiques d'accidents mortels en espace clos

Les accidents mortels liés au travail en espace clos sont fréquents comme en témoignent les statistiques disponibles dans la littérature (tableau 1). En 1993, l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) a estimé, lors de la préparation de son règlement pour le travail en espace clos, qu'il y avait annuellement aux États-Unis, 1,6 million de travailleurs effectuant 4,8 millions d'entrées en espaces clos et ayant causé 63 décès (U.S. Department of Labor, OSHA, 1993; ANSI/ASSE, 2009).

Tableau 1 - Statistiques sur les accidents mortels en espace clos

Pays	Secteur	Période	Statistique
É-U	Non spécifique	1992-2005	En moyenne par année, près de 38 morts reliés à une intoxication ou une asphyxie en espace clos ont eu lieu aux États-Unis. 20 % de ces accidents ont causé des décès multiples (Wilson et coll., 2012).
		1993-2004	Selon les bases de données consultées, 65 % des morts en espace clos aux États-Unis sont associées à des risques atmosphériques, 10 %, à des ensevelissements (ANSI/ASSE, 2009).
		1993-2010	En moyenne par année, il y a 2,5 morts reliés à une atmosphère inflammable en espace clos aux États-Unis. La majorité de ces accidents est survenue depuis 2003 (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2010).
		1984-1994	86,3 % des intoxications au sulfure d'hydrogène ont eu lieu aux États-Unis dans un espace clos pour un total de 80 décès (Fuller et Suruda, 2000).
	Construction	1990-1999	Dans le secteur de la construction aux États-Unis, 62 % des intoxications au monoxyde de carbone, au sulfure d'hydrogène et des aphasies à l'azote ont eu lieu dans un espace clos (Dorevitch et coll., 2002).
	Agricole	1964-2010	En moyenne par année, 27 morts ont été recensés en espace clos dans le secteur agricole aux États-Unis (le chiffre réel est sûrement plus élevé) dont : <ul style="list-style-type: none"> - 71 % liés à l'entreposage des grains (ex. : ensevelissement); - 10,5 % aux fosses à lisier (ex. : asphyxie, intoxication) dont 77 décès lors de 56 accidents survenus entre 1975 et 2004 (Beaver et Field, 2007). - 9,2 % au transport du grain (ex. : ensevelissement) - 5,7 % lors de l'entreposage de fourrage (ex. : asphyxie). Les travailleurs de moins de 16 ans comptent pour 20 % des victimes (Riedel et Field, 2011).
	Canada	Agricole	1984-1994

Le point commun entre la plupart des accidents mortels recensés est l'improvisation de l'organisation du travail et l'absence de procédures de travail. Les moyens de réduction du risque étaient par le fait même inadaptés, voire inexistant. Les intervenants n'ont pas toujours conscience de travailler dans une zone à risque, et ils interviennent sans réduire les risques de manière appropriée (NIOSH, 1994). D'ailleurs, selon le NIOSH (1994), plus de 30 % des décès seraient dus à des sauvetages improvisés.

1.3 Appréciation et réduction du risque

En pratique, il est admis qu'il faut effectuer un travail d'appréciation du risque afin de prendre des mesures d'élimination ou de réduction du risque adaptées à la situation (ISO, 2009; ISO, 2010; ANSI/ASSE, 2011b). Selon les normes en gestion du risque utilisées dans le domaine de la santé et de la sécurité du travail (SST), l'appréciation du risque consiste à (i) déterminer les phénomènes dangereux, (ii) estimer les risques (c.-à-d. les quantifier) et (iii) les évaluer (figure 2). L'évaluation du risque consiste à porter un jugement destiné à établir si un risque est acceptable ou s'il doit être réduit, en se basant sur une analyse complète de ce risque.

Les normes CSA Z1006-10 et ANSI/ASSE: Z117.1-2009 sur la gestion des espaces clos respectent les mêmes principes à quelques nuances lexicologiques près. En effet, dans ces normes, l'évaluation des risques inclut l'étape d'estimation du risque. L'évaluation des risques y est définie comme « l'évaluation complète de la probabilité et de la gravité des blessures éventuelles ou atteintes à la santé dans une situation dangereuse, dans le but de sélectionner les mesures de contrôle adéquates » (CSA, 2010). Ces normes ne proposent pas d'outil pour estimer les risques.

L'étape d'estimation du risque consiste donc à prendre en considération la gravité possible d'un dommage et sa probabilité d'occurrence pour déterminer l'indice de risque associé. De nombreuses techniques d'estimation du risque quantitatives et qualitatives existent (IEC/ISO, 2009; Chinniah et coll., 2011). En SST, les informations disponibles sont souvent de nature qualitative (ex. : douleur ressentie, temps d'exposition, probabilité d'occurrence d'un événement dangereux, posture de travail, etc.). Cela a mené à l'utilisation d'outils d'estimation tels que des échelles ordinales (ex. : mineur/sérieux/majeur) ou des matrices de risque (tableau 2). De plus, la simplicité d'un outil est importante pour favoriser leur utilisation. Un outil complexe, dont le recours nécessite beaucoup de temps et d'efforts, ne sera pas souvent utilisé. Un équilibre entre efficacité et simplicité est donc recherché. Il convient de mentionner qu'un outil d'estimation du risque n'attribue pas une valeur absolue à un risque, mais il permet plutôt une comparaison avec d'autres niveaux de risques. L'estimation du risque vise à prioriser les interventions de prévention. Quelle que soit la technique, il y aura toujours des incertitudes liées, par exemple : (i) aux paramètres utilisés, (ii) à la modélisation choisie et (iii) à l'exhaustivité des facteurs pris en compte (Abrahamsson, 2002). Duijm (2015) résume d'ailleurs les principales critiques associées aux matrices de risque (ex. : classification subjective, résolution limitée). Chinniah et coll. (2011) énumèrent également une liste de recommandations pour la construction de tels outils (ex. : nombre de niveaux par paramètres, définitions des niveaux des paramètres, influence relative de chaque paramètre, distribution uniforme des niveaux).

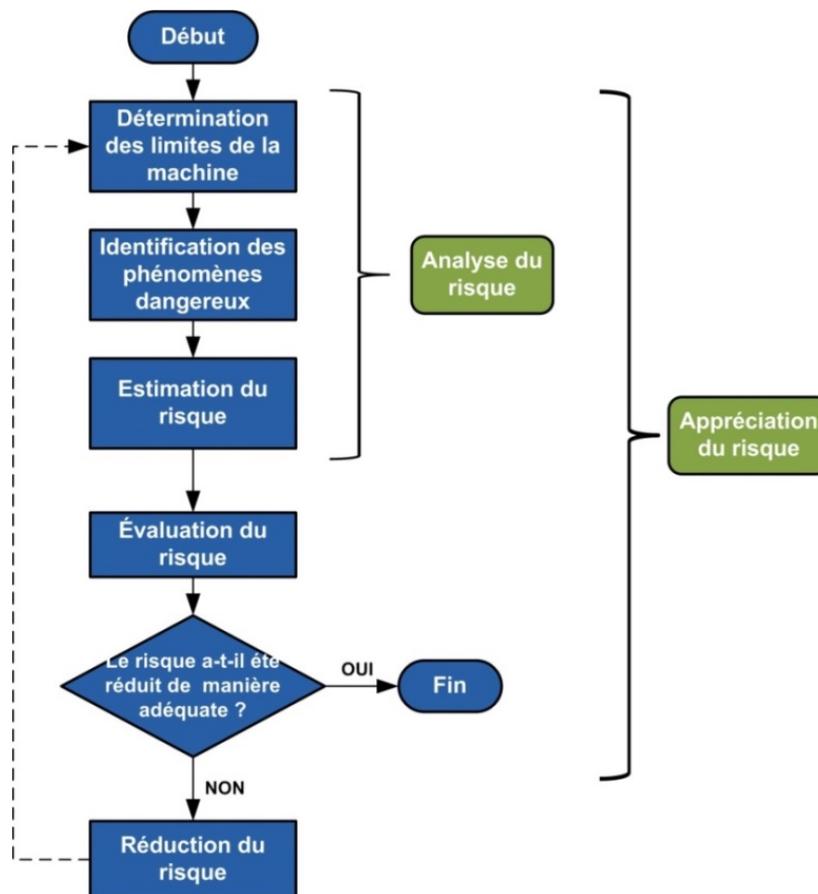


Figure 2 - Processus d'appréciation et de réduction du risque (ISO, 2010)

Tableau 2 - Matrice de risque à deux paramètres et six indices (MMMMPIC, 2002)

Probabilité que l'événement dangereux cause une blessure	Gravité possible de la blessure		
	Mineure	Majeure	Catastrophique
Très improbable	6	5	4
Improbable	5	4	3
Probable	4	3	2
Très probable	3	2	1

Malgré ses limites, l'appréciation des risques selon une démarche structurée permet (i) d'être proactif dans l'identification et le contrôle de pertes potentielles (Eaton et Little, 2011), (ii) de disposer des informations pour les prises de décision et d'améliorer la communication sur les risques (IEC/ISO, 2009), (iii) de privilégier la conception sécuritaire (Main, 2004), ou encore (iv) la réduction des risques à un niveau acceptable (Manuele, 2010).

À la suite de l'évaluation des risques, il faut donc réduire ceux qui n'ont pas été jugés acceptables selon les critères fixés par l'organisme. Les principales mesures de maîtrise, par ordre d'efficacité, sont : (i) éliminer les dangers à la source lors de la conception, (ii) réduire la fréquence d'exposition aux risques ou les dommages potentiels en utilisant des méthodes moins dangereuses, (iii) intégrer des dispositifs de contrôle d'ingénierie (protecteurs, alarmes, etc.), (iv) appliquer des moyens administratifs (ex. : procédures) et (v) fournir des équipements de protection individuelle (ÉPI) (ISO, 2009; ANSI/ASSE, 2011b). Les normes sur la gestion des espaces clos (CSA, 2010; ANSI/ASSE, 2009) prévoient cette démarche de réduction du risque.

Il est important de souligner que beaucoup d'importance est mise dans la littérature sur les procédures de sauvetage, la formation des intervenants et les conditions à respecter avant d'entrer dans les espaces clos. La conception sécuritaire des espaces clos y est peu abordée. Or, en matière de réduction du risque, l'élimination du danger à la source devrait toujours être d'abord préconisée. Les conditions d'utilisation et les travaux effectués dans les espaces clos devraient être envisagés dès la conception de ceux-ci afin de supprimer ou de limiter les risques (ANSI/ASSE, 2011a). Pour assurer une sécurité maximale lors d'interventions en espace clos (AIHA, 2014; CSA, 2010), il faudrait :

1. Éviter de créer des espaces clos que ce soit lors d'une conception ou d'une modification d'un espace existant.
2. Éliminer le besoin d'y entrer. Cela impose souvent un changement dans les méthodes de travail comme :
 - Placer les éléments sur lesquels une intervention sera nécessaire en dehors de l'espace clos (ex. : valves, sectionneurs, débitmètre, cadrans qui nécessitent une action manuelle ou une intervention humaine).
 - Rester à l'extérieur en utilisant des outils spéciaux (ex. : crochet, clé de vanne, perche, outils aimantés ou avec des pinces), de nouvelles technologies (ex. : caméra, robot) ou des modifications mineures à la structure (ex. : ouvertures transparentes qui permettent des lectures de l'extérieur) afin d'atteindre, de voir ou d'enlever des objets se retrouvant dans l'espace clos.
 - Rendre les éléments dans l'espace clos accessibles et manœuvrables depuis l'extérieur afin qu'ils puissent être sortis facilement lors d'activités de maintenance ou de nettoyage).
3. Limiter le besoin d'y entrer grâce à des mesures préventives comme (i) un dispositif d'autonettoyage (ex. : robotisation pour le nettoyage), (ii) des matériaux adaptés aux conditions dans l'espace clos (ex. : humidité, agresseurs chimiques, température) ou (iii) une conception appropriée des installations qui permet d'éviter des blocages de matière à l'intérieur de l'espace clos (ex. : dispositif de balayage de l'espace ou vibratoire pour éviter la formation de ponts de grains pour les silos).
4. S'il faut absolument y entrer, éliminer ou réduire les risques dès la conception en prévoyant, entre autres :
 - Des accès sécuritaires par une échelle à demeure adéquate, une plate-forme ou une passerelle.

- Des entrées/sorties adaptées et suffisamment grandes pour assurer le sauvetage et le port d'équipement de protection individuelle (ex. : minimum 575 mm de diamètre).
- Des socles pour les potences et des points d'ancrage pour la protection des chutes intégrés dans la structure.
- Une ventilation intégrée à la structure de l'espace.
- Des détecteurs de gaz fixes mesurant les niveaux de concentration.
- Des moyens de communication à l'intérieur de l'espace clos.
- Une diminution des distances de pénétration et des sources d'obstruction.
- Une vidange des produits résiduels incorporée.
- Une isolation des conduites et un cadenassage intégré.
- Une mise à la terre.
- Une protection des éléments mécaniques et des pièces sous tension.
- Une substitution des produits dangereux dans le procédé.
- Un éclairage suffisant.
- Une encapsulation des sources de bruit.
- Des espaces de dégagement suffisants afin que le travailleur puisse adopter de bonnes postures, etc.

1.4 Besoins du milieu

D'après les règlements et les normes sur la gestion du travail dans les espaces clos cités précédemment, le processus d'identification des dangers et d'évaluation des risques est une étape primordiale afin de prendre des mesures d'élimination ou de réduction du risque adaptées, que ce soit lors de la conception ou lors de l'utilisation des espaces clos. Toutefois, les statistiques et les rapports d'accidents énumérés nous indiquent qu'une des sources du problème lors du travail en espace clos est une méconnaissance des risques ou une appréciation des risques non adaptée à la situation notamment lors de la conception. Certaines entreprises éprouvent donc des difficultés à appliquer la réglementation relative aux interventions en espace clos. Il existe des besoins de sensibilisation concernant l'appréciation des risques pour les interventions en espace clos. Ainsi, les travaux de recherche présentés dans ce rapport visent à aider les entreprises à appliquer les obligations réglementaires existantes en travaillant spécifiquement sur l'étape d'appréciation du risque, qui est à la base du processus de réduction du risque.

Le premier objectif de la recherche, présenté à la section suivante, a été construit afin de mieux circonscrire la problématique de l'appréciation des risques pour les interventions en espace clos. Le second objectif consiste à proposer un outil d'appréciation du risque adapté, en considérant les lacunes qui sont identifiées dans la première partie de l'étude.

2 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

De nombreux accidents et décès ont encore lieu en espace clos au Québec comme dans le reste du monde. Ce travail de recherche vise donc à prévenir ce type d'accidents. Les résultats doivent (i) générer des connaissances complémentaires aux exigences mentionnées dans les règlements, normes et guides sur les espaces clos et (ii) soutenir les concepteurs, les préventeurs et les sauveteurs dans leurs démarches respectives pour améliorer la santé et la sécurité des travailleurs.

Les deux objectifs spécifiques sont de :

1. Mieux comprendre la gestion des risques en espace clos et de déterminer les difficultés en se basant sur la littérature et sur des observations faites sur le terrain.
2. Développer un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos qui inclut les besoins qui sont établis dans la première partie de l'étude.

Ce document est divisé en cinq chapitres. Le chapitre 1 présente la problématique liée à la gestion des risques lors du travail en espace clos alors que le chapitre 2 contient la définition des objectifs de la recherche. Le chapitre 3 aborde la méthode utilisée pour répondre aux objectifs. Les annexes fournissent des éléments méthodologiques complémentaires. Le chapitre 4 synthétise les besoins issus de la revue critique de la littérature et du bilan des pratiques en entreprise sur la gestion des risques lors des interventions en espace clos. L'outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos est également présenté au chapitre 4. Enfin, le chapitre 5 présente une conclusion qui inclut les contributions originales issues des travaux de recherche, ainsi qu'une analyse des limites et des perspectives de recherche en lien avec la problématique étudiée.

À noter que ce rapport de recherche vise seulement à présenter les spécifications de l'outil d'appréciation du risque qui a été développé. Sa mise à la disposition des intervenants et sa diffusion devront faire l'objet d'une activité de valorisation subséquente en collaboration avec nos partenaires.

3 MÉTHODOLOGIE

Les travaux de recherche sont basés sur cinq blocs successifs comme l'illustre la figure 3. Afin de déterminer les difficultés concernant la gestion des risques lors des interventions en espace clos, la méthode de recherche comprend (i) une revue critique des documents de référence sur la gestion des risques en espace clos incluant les outils d'appréciation du risque disponibles, (ii) une analyse des enquêtes d'accidents mortels en espace clos au Québec afin, entre autres, de mettre en évidence des lacunes qui ont menées à ces accidents et (iii) des visites auprès de quinze organismes et entreprises du Québec qui gèrent des entrées en espace clos de leurs travailleurs et/ou de leurs sous-traitants. Une approche multidisciplinaire a été adoptée afin de prendre en considération les différents risques présents dans les espaces clos. À partir des besoins établis, un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos a été développé et testé auprès d'experts.



Figure 3 - Démarche d'ensemble des travaux de recherche

3.1 Revue critique de la littérature

Une stratégie de recherche par mots-clés a été exécutée en anglais et en français au cours de la période 2000-2012. Les deux concepts qui ont été utilisés sont (i) *espace clos* qui est un terme normalisé dans les deux langues (*espace clos* ou *espace confiné* en français; *confined space* en anglais), et (ii) *danger/risque* qui a permis de centrer la recherche sur les risques et les dangers en espace clos avec les mots-clés suivants : *risque, danger, toxique, asphyxie, explosion, électricité, chute, inflammable, incendie, biologique, ensevelissement, mécanique*. À noter que le domaine lié exclusivement à la modélisation de la ventilation des espaces clos n'a pas été retenu lorsqu'il traitait principalement de la réduction des risques et non des étapes d'analyse ou d'évaluation du risque. Les bases de données consultées ont été COMPENDEX, PASCAL, PUBMED ainsi que les bases documentaires d'institutions comme le NIOSH aux États-Unis, la CNESST au Québec, le HSE au Royaume-Uni et l'INRS en France. Ces critères de recherche ont permis de retenir 77 publications évaluées par des pairs soit (i) 4 normes, (ii) 15 articles scientifiques, (iii) 7 règlements, (iv) 9 rapports scientifiques, (v) 5 livres et (vi) 37 guides techniques ou codes de pratique. La grande majorité des documents (50/77) provient d'Amérique du Nord. Cette quantité de documents s'explique par l'adoption de normes et de règlements sur les espaces clos aux États-Unis et au Canada (ex. : OSHA, ANSI, CSA). Le tableau 3 présente les références des documents selon leur type, leur origine et leur thème principal. Pour plus de clarté, les références dans ce tableau ainsi qu'aux tableaux 7 et 8 ont été numérotées. La correspondance est disponible à l'annexe A.

Tableau 3 - Documents retenus lors de la revue de la littérature et classés par type, origine et thème principal

Références (Les numéros correspondent aux références listées à l'annexe A)		Général/transversal	Atmosphère toxique	Investigation d'accident	Gestion du travail	Travaux à effectuer	Analyse statistique	Sauvetage	Identification risques	Test de gaz	Ventilation	Atmosphère inflammable	Total
Article scientifique	É-U	23	19-21	1			12-15	3	17				11
	Suède		2,24										2
	Canada		28										1
	France		22										1
	Sous-total												15
Code de pratique	R-U	28,29											2
	É-U	27											1
	Australie	31											1
	Canada	30											1
	Sous-total												5
Guide technique	Canada	16,48,70, 73, 74,76			54,66, 67,71			72	56,77				13
	France	50,51,57, 61	55			69				62	63	65	9
	R-U	59,64	49			4							4
	Australie	75			58								2
	É-U	53,68											2
	Autres	52,60											2
	Sous-total												32
Livre	É-U	35,38						36					3
	Canada	37											1
	R-U				39								1
	Sous-total												5
Norme	É-U	6,25											2
	Australie	26											1
	Canada	9											1
	Sous-total												4
Rapport scientifique	É-U			11, 43-47									6
	Canada		40			42							2
	France					41							1
	Sous-total												9
Règlement	Canada	7,8,10,33											4
	É-U	5,32											2
	R-U	34											1
	Sous-total												7
Total		37	10	7	6	4	4	3	3	1	1	1	77

É-U : États-Unis; R-U : Royaume-Uni

La grille de lecture utilisée est disponible à l'annexe B. Elle a été conçue afin d'étudier plus en détail : (i) l'identification des risques, (ii) les activités de travail liées aux entrées en espace clos, (iii) les facteurs influençant les risques, (iv) l'étape d'estimation du risque (ex. : méthode suggérée, paramètres pris en compte, indice de risque) et (v) la catégorisation des espaces clos.

3.2 Analyse des accidents du travail

La CNESST est un assureur public qui couvre près de 95 %² de la main-d'œuvre du Québec. Sa base de données a été consultée afin de compiler les accidents du travail mortels en espace clos au Québec entre 1998 et 2011 (CSST, 2015). La CNESST réalise une enquête dans la majorité des cas d'accident mortel à survenir dans les entreprises sous sa juridiction. L'originalité de cette étude réside dans le fait que tous les rapports d'enquête pour des accidents graves et mortels (819) ayant eu lieu lors de la période ciblée ont été consultés. Il n'y a pas eu d'extraction par mots-clés qui exclut traditionnellement certains accidents en espace clos non reliés aux risques atmosphériques. Les rapports liés aux interventions en espace clos ont été sélectionnés en se basant sur la définition d'un espace clos selon l'article 1 du RSST (cf. section 1.1). Le travail de sélection des cas les plus litigieux a été effectué par deux chercheurs. La grille de lecture de ces accidents est disponible à l'annexe C. L'analyse des rapports d'accident a porté notamment sur (i) la date de l'évènement, (ii) le secteur d'activité, (iii) le type d'espace clos, (iv) la cause principale, (v) la présence de documents d'analyse de risque, de procédures de travail et de sauvetage et (vi) les éléments liés à la conception.

Trente-deux rapports d'enquête ont été retenus pour la période ciblée, soit environ 4 % des dossiers consultés (32/819). Ces événements ont causé le décès de quarante personnes soit une moyenne de près de trois décès par année. Parmi ces événements, près de 20 % (6/32) ont entraîné des décès multiples. Trois de ces événements à décès multiples sont liés à des tentatives de sauvetage, et trois au fait que les travaux étaient réalisés par plusieurs entrants lors de l'incident. Parmi les quarante personnes décédées lors des accidents, on dénombre deux propriétaires, six gestionnaires, 31 opérateurs/techniciens et une tierce personne. Par ailleurs, aucun document d'analyse du risque pour les interventions en espace clos n'était disponible dans les entreprises concernées par les accidents.

Comme l'illustre la figure 4, la tendance du nombre de décès par année semble à la baisse puisqu'il y a eu 28 décès entre 1998 et 2004 puis douze décès pour le même laps de temps entre 2005 et 2011. L'instauration en 2001 au Québec des articles du RSST sur le travail en espace clos pourrait avoir eu une influence significative sur cette baisse.

L'analyse de toutes les lésions professionnelles en espace clos au Québec, et pas seulement les accidents mortels, a été envisagée en complément d'information. Toutefois, le codage utilisé par la CNESST pour décrire les lésions professionnelles ne permettait pas d'extraire les accidents ayant eu lieu dans un espace clos, privant du même coup les préventeurs et les chercheurs d'une base de données importante sur le sujet.

² Selon l'Association des commissions des accidents du travail du Canada, la CNESST couvrait, en 2014, 93,17 % de la main d'œuvre du Québec. *Rapport détaillé sur les mesures statistiques clés (MSC) – 2014*, http://awcbc.org/fr/?page_id=9768

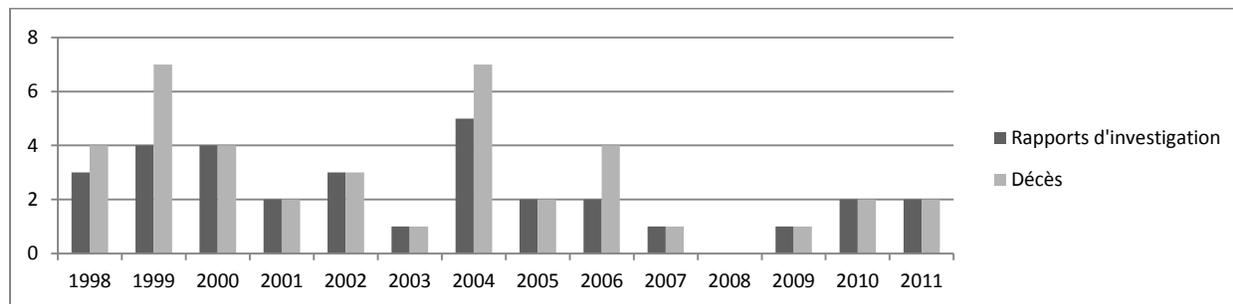


Figure 4 - Répartition du nombre de rapports d'enquête et de décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011

3.3 Gestion par les entreprises des risques en espace clos

Quinze organismes et entreprises ont été visités entre avril 2013 et janvier 2014. Pour participer à l'étude, les établissements devaient avoir implanté un programme de gestion du travail en espace clos depuis plus d'un an. De plus, le recrutement devait être varié selon le secteur d'activité, la localisation, le type d'espace clos, le nombre d'employés et le nombre d'espaces clos. Le nombre de quinze visites a donc été un compromis entre les contraintes de recrutement et l'exploration de diverses situations de travail. Ce nombre de visites est également basé sur le principe de saturation (Gillham, 2000). Cela signifie que la collecte de données cesse lorsque les informations recueillies dans les différentes situations deviennent répétitives.

Les organismes ont été sollicités lors d'un appel à la participation émis dans un bulletin électronique spécialisé en SST, et par l'intermédiaire de relayeurs issus du réseau paritaire québécois en SST. Un formulaire d'information et de consentement a été remis aux personnes contactées lors du processus de recrutement conformément au certificat d'éthique délivré par Polytechnique Montréal. Ce formulaire, dûment signé par les parties concernées, assurait la confidentialité des données recueillies.

Le tableau 4 présente l'échantillon des organismes recrutés et des espaces clos observés. L'échantillon obtenu couvre à parts égales les secteurs public (8) et privé (7). Il couvre également sept secteurs d'activité parmi les plus concernés par le travail en espace clos. Cependant, le secteur agricole n'a pu être inclus dans l'échantillon malgré le fait qu'il soit visé par la problématique des espaces clos. Le respect des critères de sélection (c.-à-d. programme de gestion depuis plus d'un an) et les difficultés de recrutement liées à ce secteur en sont la cause. Toutefois, un membre du comité de suivi en charge du milieu agricole a relayé les problématiques vécues dans ce secteur. Les régions urbaines de Montréal et de Québec comptent pour la moitié des visites. Le fait que les organismes devaient gérer les risques liés au travail en espace clos a majoritairement mené au recrutement d'organismes de plus de 100 employés et bien structurés en matière de SST (ex. : comité de santé-sécurité [14/15]; programme implanté depuis plus de cinq ans [11/15]). Quatre organismes de moins de 50 employés ont toutefois été inclus dans l'étude. Les parcs d'espaces clos gérés allaient d'une trentaine d'unités à plus de mille notamment dans le secteur municipal avec les puits d'accès au réseau d'égouts et d'aqueducs. Dans ces organismes, l'entretien préventif (c.-à-d. inspection et nettoyage), avec ou

sans travaux, était la raison principale des interventions en espace clos, suivi par les bris et les déblocages.

Tableau 4 - Échantillon des quinze organismes visités pour l'analyse de leur gestion du travail en espace clos

	Secteur d'activité	N ^{bre} employé	N ^{bre} espace clos	Entrée/an	Date du programme	Espace clos observé	Profondeur (m)	Pénétration (m)
A	Enseignement	500-1000	10-50	10-50	2012	Vide sanitaire	S.O.	15
B	Administration publique	100-500	> 500	> 500	2008	Chambre de vanne	2,5	3
C	Administration publique	100-500	> 500	> 500	2005	Puits d'accès	4,5	2
D	Transformation du pétrole	100-500	> 500	> 500	< 2000	Réservoir	S.O.	15
E	Fabrication d'équipement	500-1000	100-500	> 500	2003	Réservoir	S.O.	3
F	Administration publique	50-100	> 500	100-500	< 2000	Puits d'accès	3	S.O.
G	Administration publique	< 20	10-50	10-50	2011	Puits d'accès	3,5	S.O.
H	Fabrication d'équipements	> 1000	> 500	100-500	2004	Local technique	2,5	6
I	Production d'énergie	20-50	10-50	100-500	2002	Conduit	9	30
J	Production d'énergie	< 20	10-50	100-500	2002	Puits d'accès	9	6
K	Production d'énergie	20-50	10-50	< 10	< 2000	Puits d'accès	3	3
L	Transport et entreposage	50-100	100-500	> 500	2007	Citerne camion	2	15
M	Transport et entreposage	50-100	10-50	100-500	2004	Citerne camion	2	3,5
N	Construction	> 1000	S.O.	> 500	2002	Puits d'accès	3	S.O.
O	Fabrication d'équipements	100-500	50-100	10-50	2010	Bassin de plaquage	3,5	S.O.

S.O. : sans objet

Les visites sur site, d'une durée de trois à cinq heures, ont eu lieu en présence du conseiller en SST et d'employés clés dans la gestion des espaces clos (ex. : directeur, superviseur, opérateur). Ces visites se sont déroulées en deux temps. Une entrevue semi-dirigée sur le processus de gestion du risque mis en place précédait l'observation d'une équipe d'intervention en espace clos afin d'analyser les conditions réelles de travail. Les visites ont été étalées sur plusieurs saisons afin de couvrir différentes conditions météorologiques et donc différents types d'interventions en espace clos. Deux chercheurs ont effectué cette cueillette de données en utilisant un guide

d'entrevue pour réaliser l'entrevue semi-dirigée, une grille d'observation et une grille de vérification du contenu des programmes de gestion du travail en espace clos (Flick, 2006; Gillham, 2000; Robson et coll., 2001; Silvermann, 2011). Ces outils ont été testés au cours d'une première visite (annexe D).

Le guide d'entrevue a été conçu avec des questions fermées ou à court développement afin que le déroulement des entrevues demeure constant d'une fois à l'autre. La première partie de l'entrevue permettait de récolter des données sur la structure de l'organisme, leurs espaces clos ainsi que sur les personnes concernées. Les documents relatifs à la gestion des espaces clos ont été récupérés à cette étape. Ensuite, en se basant sur le contenu de la réglementation et des normes en vigueur au Québec, les éléments abordés dans le guide d'entrevue ont été (Gouvernement du Québec, 2016; CSA, 2010):

- l'identification du parc d'espaces clos géré;
- le contenu du programme de gestion des interventions en espace clos;
- les audits;
- les formations des intervenants incluant les sous-traitants;
- le travail de préparation lié aux permis d'entrée en espace clos et à la documentation connexes : identification des phénomènes dangereux, estimation et évaluation des risques;
- les moyens de réduction du risque prévus et leur utilisation lors des interventions;
- les mesures de sauvetage et leur organisation.

Les observations ont permis de confronter les réponses théoriques des entrevues à la réalité d'une intervention en espace clos. À l'aide de listes de vérification, l'information suivante a été recueillie : les caractéristiques de l'espace clos, l'environnement de travail, les intervenants et leur perception des risques, le type d'intervention, le permis de travail et la documentation utilisée, les étapes de préparation et d'entrée avec l'installation des mesures de contrôle des risques et de sauvetage. Le tournage de vidéos et la prise de photographies ont complété les observations. Les données issues des quinze entrevues, des observations et des documents obtenus ont été agrégées dans une douzaine de tableaux reprenant les thématiques énoncées précédemment à des fins d'analyses et de comparaison. La norme CSA Z1006 sur la gestion des entrées en espace clos a servi de référence lors des analyses (cf. tableaux de la section 4.1.3)

3.4 Conception et application d'un outil d'appréciation du risque pour les interventions en espace clos

3.4.1 Conception de l'outil

En considérant les difficultés relevées dans la littérature et les besoins en entreprises lors des premiers blocs de la recherche, un outil d'appréciation du risque adapté aux interventions en espace clos a été développé. Dans le cahier des charges, l'hypothèse de travail principale consistait à calquer la structure de la démarche sur les étapes prescrites dans la norme ISO 12100:2010. Pour rappel, les cinq principales étapes prescrites en gestion des risques sont la caractérisation de la situation, l'identification des phénomènes dangereux, l'estimation des

risques, l'évaluation des risques et leur réduction. La transposition d'une norme de conception en sécurité des machines aux espaces clos a été effectuée, car un espace clos est une structure physique qui fait souvent partie des équipements (ex. : réservoir, citerne, cale de navire) ou qui contient des équipements (ex. : tuyauterie, moteur, pompe, panneau électrique). La norme ISO 12100 décortique les composantes du risque, ce qui permet de bien les identifier et de trouver les méthodes de réduction du risque adaptées et efficaces.

Pour répondre aux besoins exprimés, il a été défini que le déroulement de la démarche devait passer par l'élaboration des modules suivants : une liste de questions pour caractériser l'intervention en espace clos, une liste exhaustive des phénomènes dangereux et des processus accidentels, une méthode adaptée pour estimer les risques, une synthèse graphique des résultats de l'estimation des risques. Lors de la conception de l'outil, des consultations ont été effectuées auprès du comité de suivi, composé d'une dizaine de conseillers responsables du dossier espace clos dans leur organisation respective (c.-à-d. associations paritaires en santé et sécurité du travail, organismes parapublics).

3.4.2 Tests en entreprise

Une fois la conception de l'outil terminée, son applicabilité a été testée auprès de dix organismes qui gèrent formellement leurs entrées en espace clos. Les tests en entreprise, d'une durée de deux heures, consistaient à utiliser l'outil lors d'une intervention habituelle de l'organisme. Lors de l'utilisation de l'outil, le préventeur de l'entreprise était accompagné par deux membres de l'équipe de recherche. Afin de faciliter les échanges, un utilitaire basé sur l'outil a été programmé à l'aide du logiciel Excel (2010, Microsoft, WA). De plus, un questionnaire que l'on trouve à l'annexe E a été utilisé afin de recueillir les commentaires puis d'améliorer l'outil. Les questions portaient principalement sur la structure, la logique et la complexité de la démarche, les paramètres utilisés lors des différentes étapes, les résultats obtenus et les possibilités d'amélioration.

Les organismes qui ont accepté de participer aux tests sont principalement de grande taille (>100 employés) et du secteur privé (8/10). Les secteurs d'activité, les types d'espace clos et les interventions étudiés ont été diversifiés afin de tester la démarche sur divers procédés industriels (tableau 5). Un formulaire de consentement dûment signé par les parties concernées assurait la confidentialité des données recueillies.

Tableau 5 - Échantillon des dix organismes visités pour l'application de l'outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos

	N ^{bre} d'employés	Secteur d'activité		Type d'espace clos	Travail à faire
A	> 1000	Privé	Construction	Tranchée	Installation d'équipements
B	50-100	Privé	Transport et entreposage	Citerne de camion	Nettoyage
C	> 1000	Privé	Transport et entreposage	Puits d'accès eaux usées	Remplacement de pompe
D	> 1000	Privé	Fabrication d'équipements	Réservoir	Soudage
E	> 1000	Privé	Pâtes et papiers	Mélangeur de pulpe	Changement de roulements
F	> 1000	Privé	Transformation du pétrole	Colonne de distillation	Soudage
G	> 1000	Privé	Transport et entreposage	Réservoir	Nettoyage
H	> 1000	Public	Administration publique	Réservoir	Nettoyage
I	100-500	Privé	Construction	Puits d'accès électrique	Démolition
J	> 1000	Public	Administration publique	Cheminée d'incinérateur	Inspection

3.4.3 Tests comparatifs

L'outil développé a également été comparé par l'équipe de recherche aux outils d'analyse de risque existants dans la littérature et en entreprise. Trois outils aux approches distinctes, en plus de l'outil élaboré par l'équipe de recherche, ont été testés sur trois scénarios à risque.

Un outil a été retenu pour chacune des différentes structures recensées dans la littérature et en entreprise en matière d'analyse du risque pour les espaces clos : liste de vérification (Entreprise X, 2014), échelle de risque (Government of South Australia, 2011) et calcul du risque (UK Ministry of Defence, 2014). Lors de la sélection des outils ont été exclus ceux conçus seulement pour les risques atmosphériques, et ceux issus du même document de référence qu'un autre outil. Pour chacun des trois types de structure, les outils retenus ont été ceux qui étaient manifestement les plus complets au regard de la liste de risques et des critères de choix. Il fallait également que les outils soient aussi distincts que possible. Seule la partie « analyse du risque » (c.-à-d. identification des risques, estimation des risques) a été testée sur les scénarios à risque. Toutefois, l'ensemble des informations recueillies par ces outils a été analysé. L'utilisation des outils retenus n'est pas obligatoire dans les pays où ils ont fait l'objet d'une publication.

Les trois scénarios développés pour les tests des différents outils ont été inspirés d'interventions observées en entreprises et de rapports d'accident. Les trois scénarios ainsi que l'application de chacun des outils à un des scénarios sont détaillés à l'annexe F. Les scénarios retenus illustrent des situations courantes en entreprise et incluent divers types de risques. Chaque scénario devait également être associé à un niveau de risque global distinct (c.-à-d. faible, moyen, élevé). Aucune mesure de réduction du risque n'a été considérée lors des tests pour les trois scénarios. Les scénarios n° 1 et n° 2 concernent le même espace clos (c.-à-d. puits d'accès), mais ont fait l'objet de deux interventions différentes. Ce choix permet d'illustrer l'importance de ne pas considérer seulement l'espace clos, mais également les activités de travail lors de l'analyse du risque. Le scénario n° 1, qui consistait en une inspection visuelle au premier palier d'un puits

d'accès, a été considéré *a priori* comme un scénario à risque faible. Le scénario n° 2, soit une installation d'instruments de mesure au 4^e palier du puits d'accès, a été considéré comme un scénario à risque intermédiaire notamment à cause des dommages potentiels consécutifs à une chute entre les différents paliers. Le scénario n° 3 au cours duquel une soudure a été réalisée au fond d'une citerne de camion ayant contenu du diesel, a été considéré *a priori* comme un scénario à risque élevé à cause des dommages possiblement mortels pouvant être causés par l'activité de soudage (ex. : intoxication).

Avant l'application d'un outil, sa structure a été évaluée selon les éléments suivants:

- Comparaison par rapport aux étapes de gestion du risque préconisées dans les normes (IEC/ISO, 2009);
- Moyen pour assurer l'exhaustivité et la systématisation de l'analyse de risque;
- Synthèse et mesure pour communiquer les risques obtenus (ex. : catégorisation des risques);
- Construction de l'estimation du risque et critique par rapport à l'architecture retenue (ISO, 2010; Duijm, 2015; Chinniah et coll., 2011; Gauthier et coll., 2012; Cox, 2008).

Par ailleurs, le temps pour chaque analyse, la prise en main de l'outil (c.-à-d. aisée, complexe), la liste des risques ainsi que la subjectivité et la précision des choix de réponses ont été notés pour juger l'utilisabilité de ces outils (Tableau 6).

Tableau 6 - Structure et utilisabilité des quatre types d'outils testés

	Liste de vérification	Échelle de risque	Calcul de risque	Questionnaire + Matrice
Définition du contexte	Espace disponible pour identifier l'espace clos et décrire l'intervention pour les 4 outils			
Identification du risque	Liste de choix de réponse	Liste fixe de risque	S.O.	Questionnaire et validation
Estimation du risque	S.O.	Choix entre 4 niveaux de risque	2 paramètres et 3 niveaux de risque	Matrice à 2 paramètres et 4 niveaux de risque
Évaluation du risque	S.O.	S.O.	Actions requises liées aux 3 niveaux de risque	Niveau de risque acceptable/ajustable par l'utilisateur
Réduction du risque	Liste de moyens de réduction du risque disponibles pour les 4 outils			
Autres étapes	S.O.	S.O.	Estimation des risques résiduels	- Estimation des risques résiduels - Catégorisation de l'intervention - Caractérisation du sauvetage <i>a priori</i>
Temps par scénario	< 5min	5 min	10 min	20 min
Prise en main et compréhension de l'outil	Aisée : cases à cocher	Aisée : niveau de risque à cocher	Pointue : pas d'aide pour identifier les risques	Pointue : très détaillé

S.O. : sans objet

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats et discussions sont présentés en deux parties. La première partie, intitulée « bilan théorique et pratique », présente successivement les résultats et discussions issus de (i) la revue critique de la littérature sur la gestion des risques en espace clos (Burlet-Vienney et coll., 2014), (ii) l'analyse des rapports d'accidents mortels en espace clos au Québec et (iii) les visites menées dans quinze organismes et entreprises (Burlet-Vienney et coll., 2015a). La deuxième partie, intitulée « Outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos », présente l'outil d'estimation de risque (Burlet-Vienney et coll., 2015b), ainsi que sa validation en entreprises, incluant les analyses comparatives avec les outils existants (Burlet-Vienney et coll., 2016).

4.1 Bilan théorique et pratique

4.1.1 Revue critique sur l'appréciation des risques pour les interventions en espace clos

Au cours de l'analyse des 77 documents recensés lors de la revue de la littérature sur l'appréciation du risque spécifique aux espaces clos, une attention particulière a été portée sur les lacunes en lien avec (i) l'identification des phénomènes dangereux, (ii) l'estimation du risque et (iii) l'évaluation du risque.

4.1.1.1 Identification des phénomènes dangereux en espace clos

L'analyse de la littérature a permis de dresser une liste étendue des phénomènes dangereux pertinents lors d'une intervention en espace clos (tableau 7). Cette synthèse nous indique que les phénomènes dangereux atmosphériques sont cités dans plus des deux tiers des documents. Les phénomènes dangereux thermiques, électriques, d'ensevelissement, de chute suivent ensuite en ordre d'importance. À l'inverse, les phénomènes dangereux liés à l'environnement de l'espace clos, à la physiologie et à la psychologie des travailleurs, aux vêtements portés, ou encore à l'accessibilité de l'entrée retiennent moins l'attention. Dans les documents, les risques atmosphériques sont cités majoritairement en premier. Les risques dits physiques viennent ensuite avec moins de détails.

Par ailleurs, les interactions entre les phénomènes dangereux, largement négligées en temps normal lors des analyses de risque, sont un facteur qui prend de l'importance lors des interventions en espace clos à cause de leur nature confinée et restreinte. Ces interactions ont tendance à augmenter la probabilité qu'un événement dangereux se produise et peuvent parfois en amplifier les conséquences (Lyon et Hollcroft, 2012). Un risque estimé non mortel au départ pourrait ainsi conduire à un accident mortel si l'on considère l'interaction entre les phénomènes dangereux. À titre d'exemple, au Québec, en 2004, un travailleur est descendu dans une fosse à lisier pour y désobstruer une pompe. À la fin des travaux, il a fait une chute de l'échelle sur laquelle il se trouvait et est tombé dans la fosse. Cette chute a libéré le sulfure d'hydrogène qui était jusqu'à lors emprisonné sous une mince couche organique en surface du liquide. Le travailleur est mort intoxiqué (CSST, 2015).

Tableau 7 - Phénomènes dangereux en espace clos recensés, par type de documents

Références* Phénomène dangereux	Article scientifique (15)	Norme (4)	Règlement (7)	Code de pratique (5)	Livre (5)	Rapport scientifique (9)	Guide technique (32)	Total
	1-3,12-15,17-24	6,9,25,26	5,7,8,10,32-34	27-31	35-39	11,40-47	4,16,48-77	
Intoxication	13	4	7	5	5	6	29	69
Asphyxie (atmosphérique)	8	4	7	5	4	3	28	59
Explosion, incendie	2	4	7	5	5	3	29	55
Thermique	5	4	4	2	5	6	24	50
Électrique	2	3	4	3	4	3	23	42
Ensevelissement	3	3	6	4	5	2	18	41
Chute de hauteur	1	2	3	2	2	4	23	37
Noyade/écoulement	3	2	3	3	1	1	20	33
Pièce en mouvement	3	3	4	3	3	3	13	32
Bruit et vibration	1	3	1	4	4	2	17	32
Introduction substance	1	2	2	5	5	1	14	30
Activité, équipements utilisés	3	2	3	4	2	1	13	28
Biologique, animaux	1	2	1	2	3	1	18	28
Chute de plain-pied	1	4	1	4	1	1	14	26
Structure de l'espace	2	4	4	3	3	0	8	24
Éclairage/visibilité	0	2	0	2	2	1	14	21
Chute d'objet	1	1	0	1	4	1	12	20
Radiation	1	4	0	4	3	0	8	20
Entrée/sortie restreinte	1	2	1	2	2	1	8	17
Lié aux résidus	1	0	2	1	1	1	10	16
Circulation extérieure	0	3	0	2	1	0	10	16
Environnemental	0	2	1	2	2	0	9	16
Effort excessif/posture	0	1	1	1	2	1	3	9
Psychologie, stress	1	1	0	0	1	0	5	8
Accessibilité de l'entrée	1	0	0	1	0	0	5	7
Lié aux vêtements/ÉPI	0	1	0	2	1	0	2	6

* Les numéros correspondent aux références listées à l'annexe A.

L'interaction des phénomènes dangereux n'a pas fait l'objet d'études spécifiques dans la littérature. Voici toutefois celles signalées lors des interventions en espace clos :

- Une intoxication, une asphyxie ou encore une électrocution peuvent conduire à une chute ou une noyade. C'est l'interaction la plus évoquée (Beaver et Field, 2007; Veasey et coll., 2006; Workplace health and safety Queensland, 2010).
- Une chute peut conduire à une intoxication (ex. : gaz lourd au fond de l'espace) (CSST, 2015) ou à un ensevelissement (ex. : silo à grains) (Cal/OSHA, 2012).
- Une température élevée dans l'espace clos peut faire augmenter (i) les risques d'explosion et d'incendie, (ii) l'activité microbactérienne et (iii) l'exposition aux produits chimiques et toxiques puisqu'une température plus élevée peut rendre un produit plus volatil, augmenter la vasodilatation chez le travailleur et ainsi accroître l'absorption du produit notamment par la peau (Carlton et coll., 2000; Svedberg et coll., 2009; Standards Australia, 2001; Veasey et coll., 2006).
- Les animaux, la température, le bruit, la petite taille de l'espace, etc. peuvent générer un stress élevé chez l'intervenant (Abelmann et coll., 2011; Workplace health and safety Queensland, 2010)
- Les entrées et sorties restreintes et difficiles d'accès influencent les risques pour lesquels le temps d'exposition et de sauvetage est un enjeu majeur comme lors des intoxications, des asphyxies, des ensevelissements, des noyades et des emprisonnements.

4.1.1.2 Estimation du risque en espace clos

Le tableau 8 résume les étapes de gestion du risque incluses dans les 77 documents retenus. Trois types de combinaison ont été relevés. Il est intéressant de noter que tous les documents abordent l'identification et la réduction des risques même si le niveau de détail varie d'un document à l'autre. Concernant l'estimation du risque : (i) 26 documents ne traitent pas de cette étape, (ii) 29 documents prennent seulement en compte les risques atmosphériques en utilisant les limites d'exposition admissibles et (iii) 22 documents abordent l'estimation de tous les risques. De ces 22 documents, seulement neuf suggèrent un outil pour réaliser ce travail (NIOSH, 1994; Standards Australia, 2001; Maritime and Coastguard Agency, 2010; Standards Australia, 2003; UK Ministry of Defence, 2014; Rekus, 1994; BCGA, 2009; Government of South Australia, 2011; Workplace health and safety Queensland, 2010).

Tableau 8 - Étapes de gestion du risque incluses dans les documents retenus – Types de combinaison relevés

Étapes de gestion du risque	Combinaison n°1	Combinaison n°2	Combinaison n°3
Identification des risques	Oui	Oui	Oui
Estimation du risque	Non	Risque atmosphérique seulement	Tous les risques
Réduction du risque	Oui	Oui	Oui
Total/ références*	26/ 1,3,4,12- 15,18,23,39,42,44,50-52,54, 56,61,62,66,68,69,72,74,77	29/ 2,5,10,16,19-22,24,25,27,32,33, 37,38,40,41,43,47, 48,53,57,63- 65,67,70,71,76	22/ 6-9,11,17,26,28-31,34- 36,45,46,49,55,58-60, 75

* Les numéros correspondent aux références listées à l'annexe A.

4.1.1.3 Estimation générale des risques

Premièrement, deux échelles de risque différentes ont été recensées : « High, Medium, Low » ou « Extreme, High, Moderate, Low » (Maritime and Coastguard Agency, 2010; Government of South Australia, 2011). Toutefois, aucune définition ou indication n'est associée à ces termes. Devant l'absence de base solide pour l'estimation, l'utilité de telles échelles est limitée dans une optique de hiérarchisation et de traitement des risques.

Par ailleurs, trois matrices de risque différentes utilisant les deux paramètres, gravité et probabilité d'occurrence du dommage, ont été recensées dans les documents consacrés aux espaces clos (Standards Australia, 2001; UK Ministry of Defence, 2014; Rekus, 1994). Dans ces matrices, les échelles de chacun des deux paramètres sont définies selon quatre ou cinq niveaux. Le risque est défini selon trois à quatre niveaux, et chacun d'eux est associé à une action. Les matrices restent génériques avec des paramètres qui ne sont pas adaptés aux particularités des espaces clos (ex. : influence des caractéristiques physiques de l'espace clos, accès et sortie restreints, risque de multiple nature, etc.). Un exemple est notamment présenté à la fin de l'annexe F (UK Ministry of Defence, 2014).

4.1.1.4 Estimation des risques atmosphériques

Les critères réglementaires pour que l'atmosphère d'un espace clos soit considérée comme non dangereuse varient selon les règlements. Ainsi, le tableau 9 récapitule les conditions pour lesquelles l'atmosphère à l'intérieur de l'espace est considérée comme non dangereuse et l'entrée permise sans mesures supplémentaires. Seuls les principaux règlements et normes ont été pris en considération.

Si l'on considère les minimums et les maximums énoncés au tableau 9 pour le pourcentage d'oxygène, la plage maximale où l'entrée est considérée comme non dangereuse s'étend de 18 à 23,5 %. Les valeurs les plus courantes sont 19,5 % pour le minimum et de 23 à 23,5 % pour le maximum. Concernant les produits explosifs, la valeur la plus commune est inférieure à 10 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE). Toutefois, certains pays comme le Canada ajustent ce

pourcentage en fonction du travail à réaliser (ex. : travail à chaud, à froid, inspection). Pour l'exposition aux produits toxiques ou asphyxiants, tous les documents énoncent le respect des valeurs d'exposition admissibles en vigueur. Toutefois, les références réglementaires et les valeurs limites varient d'un pays à l'autre (ex. : valeur d'exposition admissible (VEA) au Québec; *Permissible Exposure Limit* (PEL) retenue par l'OSHA ou *Threshold Limit Value* (TLV) établie par l'ACGIH®, aux États-Unis) (Gouvernement du Québec, 2016; U.S. Department of Labor, OSHA, 1989; ACGIH®, 2016).

Enfin, quelques informations générales sont disponibles sur la concentration de poussière. Le risque d'explosivité semble faible si la visibilité est de plus de cinq pieds ou encore si la concentration est inférieure à 10 mg/m³.

Les différences entre les valeurs réglementaires proposées au tableau 9 témoignent qu'il n'y a pas de limites précises entre une situation à risque et une situation sans risque. En effet, les valeurs limites réglementaires d'exposition sont plutôt établies pour assurer une protection relative à une majorité des travailleurs exposés (Rekus, 1994). En pratique, il faudra donc viser une exposition la plus basse possible, même lorsque les valeurs d'exposition mesurées sont en dessous des valeurs d'exposition admissibles (Workplace health and safety Queensland, 2010).

Tableau 9 - Conditions atmosphériques à réunir pour que l'entrée à l'intérieur de l'espace clos soit considérée comme non dangereuse dans différents pays

Pays	Règlement/Norme	% O ₂	% LIE*	Toxicité
Australie/ N-Z	Standards Australia (2001)	19,5 - 23,5	< 5 ou < 10 si monitoring continu	< Valeur d'exposition admissible en vigueur
France	CNAMTS (2010)	19 - 21	< 10 si entrée	
Canada	Gouvernement du Québec (2015)	19,5 - 23	< 10	
	Ontario Ministry of Labour (2011)	19,5 - 23	< 5 si travail à chaud < 10 si travail à froid < 25 si inspection	
	CSA (2010)	19,5 - 23	< 5 si travail à chaud < 10 si travail à froid	
	Gouvernement du Canada (2015)	18 - 23	< 10 si travail à chaud < 50 sinon	
États-Unis	OSHA (1989) ANSI (2009)	19,5 - 23,5	< 10	
	NIOSH (1994)	19,5 - 21,4	< 10	

* LIE : Limite inférieure d'explosivité

4.1.1.5 Catégories d'espace clos

Les résultats de l'analyse du risque servent à évaluer les risques puis à déterminer les mesures de réduction adéquates. Le regroupement d'espaces clos similaires ou la catégorisation des espaces clos sont deux approches que l'on retrouve dans la littérature afin de simplifier ce travail, lorsqu'il y a un grand nombre d'espaces clos à gérer.

4.1.1.6 Espaces clos similaires

La notion d'espaces clos similaires est un concept qui tente de réunir des espaces clos identiques. L'objectif est de simplifier la gestion des entrées en espace clos en facilitant l'élaboration de permis et la planification des ressources nécessaires, par type d'espace clos. Les explications données sont, par exemple : « Une même procédure de travail peut s'appliquer à plusieurs espaces clos qui présentent des caractéristiques essentiellement similaires en ce qui a trait à la santé et à la sécurité des travailleurs (CSA, 2010). » Les facteurs énoncés pour déterminer s'il s'agit d'espaces clos similaires sont : sa construction, les risques, l'environnement extérieur et les travaux effectués. Toutefois, les critères pour savoir si deux espaces clos sont similaires manquent souvent de précisions (ex. : « caractéristiques similaires », « mêmes risques », « en raison de leurs similarités », etc.). Par ailleurs, il serait plus juste de parler d'interventions en espaces clos similaires puisque la nature des travaux effectués influence les risques rencontrés. Enfin, pour certains règlements, l'objectif derrière la similarité des espaces clos est de pouvoir faire une seule évaluation du risque sur cet ensemble d'espaces. Cependant, cette logique a ses limites, car pour déterminer si deux interventions sont réellement similaires, il faudrait en théorie se baser sur une analyse de l'intervention.

4.1.1.7 Type de catégorisation dans la littérature

Trois approches sont recensées dans la littérature pour créer des catégories d'espaces clos. Principalement utilisée aux États-Unis, la première approche est basée sur la nécessité d'obtenir un permis d'entrée (ANSI/ASSE, 2009). Ainsi, si un risque sérieux est présent dans l'espace clos, l'employeur devra respecter la réglementation associée au Permit-Required Confined Space (PRCS).

La deuxième approche catégorise les espaces clos selon le niveau des risques. Les trois catégories suivantes synthétisent les notions recensées dans les différentes définitions (NIOSH, 1994; Rekus, 1994; WorkSafe BC, 2008) :

- Classe A : Espaces clos qui présentent des situations immédiatement dangereuses pour la vie ou la santé (DIVS). Il s'agit notamment des espaces qui sont déficients en oxygène, ou dont l'atmosphère est explosive, inflammable ou toxique (ex. : proportion d'oxygène inférieur à 16 %, ou supérieur à 25 %; proportion d'un gaz inflammable supérieur à 20 % de sa LIE; produit toxique en concentration DIVS). Les travailleurs ne peuvent pas sortir de l'espace sans aide dans le cas d'une défaillance du système de ventilation ou de l'appareil respiratoire.
- Classe B : Espaces clos qui ne présentent pas une menace immédiate pour la vie ou la santé, mais qui ont le potentiel de causer des blessures et des maladies si des mesures de protection ne sont pas utilisées (ex. : proportion d'oxygène entre 16,1 et 19,4 % ou 21,5 et 25 %; proportion d'un gaz inflammable entre 10 et 19 %; concentration d'un produit toxique supérieure aux valeurs admissibles). Les conditions ne sont pas susceptibles de nuire à la capacité du travailleur de sortir de l'espace sans aide dans le cas d'une défaillance du système de ventilation ou de l'appareil respiratoire. Il peut y avoir des phénomènes dangereux physiques additionnels (ex. : bruit, contrainte thermique, manutention).
- Classe C : Espaces clos où les dangers présents sont mineurs. Ceux-ci contiennent une atmosphère respirable sans accumulation de contaminants et un niveau d'oxygène normal

(ex. : proportion d'oxygène entre 19,5 et 21,4 %; proportion d'un gaz inflammable inférieur à 10 %; concentration d'un produit toxique inférieure aux valeurs admissibles). Les conditions ne sont pas susceptibles de changer au cours de l'activité de travail.

La norme canadienne propose une autre approche basée sur la nature des risques avec (i) les espaces clos présentant des dangers associés aux entrées et sorties restreintes seulement, (ii) les espaces clos présentant des dangers autres que ceux associés à l'atmosphère et qui nécessitent des mesures de contrôle et (iii) les espaces clos pouvant présenter uniquement des dangers atmosphériques ou en combinaison avec d'autres dangers (CSA, 2010, annexe 17).

4.1.2 Accidents du travail en espace clos au Québec

L'analyse des 40 décès en espace clos (32 rapports d'accident) au Québec pour la période 1998-2011 a permis de déterminer plusieurs facteurs qui peuvent s'avérer prépondérants en matière de prévention à savoir la période de l'année, le type d'espace clos, le secteur d'activité, le type d'accident, la préparation des entrées et les problèmes de conception.

4.1.2.1 Période de l'année

Quarante pour cent (40 %) du nombre de décès répertoriés en espace clos au Québec entre 1998 et 2011 sont survenus durant les mois de juillet et d'août, alors que ces deux mois représentent moins de 20 % de la période d'étude.

Une première hypothèse liée à ce constat (c.-à-d. augmentation du nombre d'accidents mortels pendant la période estivale) serait que l'été est plus propice pour effectuer certaines interventions en espace clos que ce soit à cause des conditions climatiques, des activités agricoles plus nombreuses ou encore des arrêts de production planifiés. Ce phénomène a d'ailleurs été observé sur le terrain où près de la moitié des organismes interrogés concentraient en priorité leurs activités en espace clos durant la période estivale. Une hypothèse complémentaire serait que l'augmentation de la température extérieure l'été pourrait être à l'origine de phénomènes dangereux moins susceptibles de survenir pendant les autres saisons tels que (i) une augmentation de la production de sulfure d'hydrogène (H₂S) dans les réseaux d'assainissement, (ii) une ventilation naturelle moins efficace et (iii) un environnement de travail saturé en humidité ce qui peut augmenter le phénomène de fatigue chez les intervenants.

4.1.2.2 Secteur d'activité et type d'espace clos

Les secteurs d'activité où ont eu lieu les accidents en espace clos au Québec entre 1998 et 2011 sont détaillés au tableau 10. Il faut noter que la CNESST utilise une codification élaborée à l'interne par son personnel. En complément, le tableau 11 résume les types d'espace clos où des accidents ont été recensés lors de l'étude.

Tableau 10 - Nombre d'accidents du travail enquêtés, de décès et de blessés en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par secteur d'activité

Secteur d'activité	N ^{bre} d'accidents enquêtés	N ^{bre} de décès	N ^{bre} de blessés associés
Agriculture	12	12	1
Communications, transport d'énergie, autres services publics	4	6	3
Mines, carrières et puits de pétrole	4	5	1
Autres services commerciaux et personnels	3	5	4
Bâtiment et travaux publics	2	2	-
Industrie chimique	1	3	-
Fabrication de produits en métal	1	2	-
Administration publique	1	1	-
Bois sans scierie	1	1	-
Commerce	1	1	-
Fabrication de produits minéraux non métalliques	1	1	-
Industrie du papier et activités diverses	1	1	-
Total	32	40	9

Tableau 11 - Nombre d'accidents du travail enquêtés et de décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par type d'espace clos

Type d'espace clos	N ^{bre} d'accidents enquêtés	N ^{bre} de décès	N ^{bre} de blessés associés
Silo à grains	9	9	1
Puits/Cheminée	5	6	1
Mélangeur	4	4	-
Cuve	3	5	-
Réservoir à eau/regard/station de pompage	3	5	7
Turbine	3	4	-
Fosse et préfosse	1	1	-
Citerne de camion	1	2	-
Autres	3	4	-
Total	32	40	9

Les interventions et les accidents en espace clos concernent de nombreux secteurs d'activités. Dans cette étude, douze secteurs ont été recensés. Le secteur agricole est celui où ce type d'événement survient le plus souvent avec environ 40 % (12/32) des accidents enquêtés. Les espaces clos abondent dans le secteur agricole avec (i) des silos à grains, (ii) des fosses et des préfosse dans les fermes et (iii) des mélangeurs à foin. Le silo à grains contenant du maïs est le

type d'espace pour lequel on note le plus grand nombre d'accidents en espace clos au Québec au cours de la période étudiée.

Les secteurs les plus exposés après l'agriculture sont :

- Le secteur minier avec ses puits de fonçage et ses cheminées de ventilation.
- Le secteur « Communications, transport d'énergie et autres services publics », qui exige notamment la production d'énergie électrique, et les services pour le traitement des eaux usées où l'on retrouve principalement des turbines, des regards et des camions-aspirateurs.
- Le secteur « Autres services commerciaux et personnels » qui gère les activités de loisirs (ex. : camping, sports d'hiver) et les services de maintenance sous-traités. Dans ces secteurs, les espaces clos sont de diverses natures (ex. : cuve, plénum de ventilation, station de pompage).

On retrouve ensuite les secteurs d'activités liés à l'industrie (ex. : industrie chimique, industrie des pâtes et papiers, fabrication de produits en bois, en métal et autres), à l'administration publique avec le traitement des eaux, ainsi qu'aux bâtiments et travaux publics. Les espaces clos concernés par l'industrie sont principalement les cuves et les mélangeurs.

4.1.2.3 Type d'accident

Les types d'accidents en cause lors des décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011 sont présentés à la figure 5.

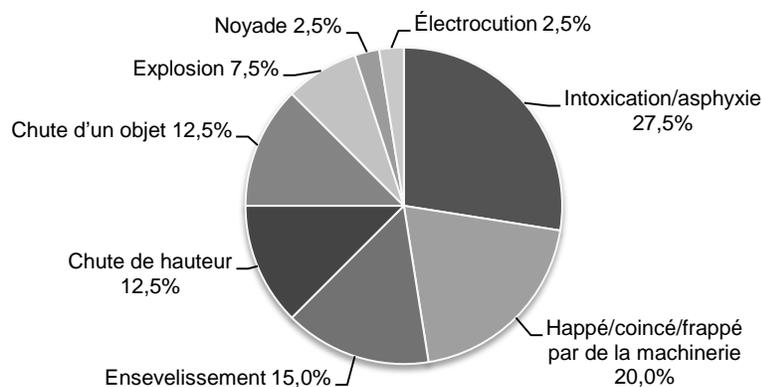


Figure 5 - Répartition des décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011, par type de risques

Les intoxications et asphyxies sont la première cause de décès (11) dans les espaces clos. Sept décès sont attribuables à une exposition au sulfure d'hydrogène (H_2S) que l'on retrouve notamment dans le traitement des eaux usées et les fosses agricoles. Les événements causés par de la machinerie en mouvement sont aussi nombreux que les intoxications/asphyxies, toutefois le nombre de décès qu'on lui attribue (8) est moindre. Les phénomènes dangereux tels que les ensevelissements, les chutes de hauteur et les chutes d'un objet sont également importants. Les accidents d'origine atmosphérique avec une moyenne de plus de 1,75 décès par événement (14

décès en 8 événements) génèrent plus de décès multiples que les accidents d'origine physique (26 décès en 24 événements). Les accidents de type atmosphérique comptent pour un tiers des décès, tandis que les accidents avec des phénomènes dangereux physiques sont associés aux deux tiers restants. Ce rapport est inversé si on le compare aux statistiques citées dans la littérature (ANSI/ASSE, 2009). Cela s'explique par le fait que tous les accidents d'origine physique ont été inclus dans cette étude.

4.1.2.4 Interventions dans les espaces clos

L'intervention initiale lors des décès en espace clos au Québec entre 1998 et 2011 survenait dans deux tiers des cas lors de travaux de réparation, de dépannage ou de déblocage non planifiés. Dans la plupart des accidents, des problèmes d'identification des dangers et de sous-évaluation des risques étaient clairement mentionnés dans le rapport d'enquête. Les activités en espace clos étaient improvisées. Aucun document d'analyse du risque n'était disponible dans les entreprises concernées et aucune procédure de travail n'avait été appliquée. Les moyens de réduction du risque étaient par le même fait inadaptés, voire inexistants. Par ailleurs, aucun plan de sauvetage n'était disponible sur les lieux de travail. Ces résultats confirment ce qui a pu être observé lors d'autres analyses d'accidents mortels (voir tableau 1), et constitue donc un facteur de risque important.

4.1.2.5 Conception des espaces clos

Un problème de conception peut parfois expliquer la cause profonde d'un accident. Les éléments recensés dans les accidents répertoriés sont des exemples concrets que les concepteurs d'espace clos devraient prendre en compte:

- L'accès à un espace clos est dangereux à cause des moyens déficients pour y pénétrer (échelon, échelle), ou encore de l'absence de protection contre les chutes lorsque l'espace clos est ouvert (ex. : garde-corps).
- Des interventions telles qu'un graissage ou un déblocage doivent être faites à l'intérieur d'un espace clos alors qu'aucune contrainte technique n'empêchait de les pratiquer de l'extérieur.
- Le système de commande (ex. : arrêt d'urgence, capteurs, automate programmable) et les mécanismes pour maîtriser les énergies dangereuses (ex. : vannes, sectionneur) ne sont pas intégrés à l'équipement dans les règles de l'art afin de maximiser leur utilisation.
- Les conditions de fonctionnement réelles de l'espace clos ne sont pas prises en compte : températures extérieures pouvant provoquer des engelures, moisissure du matériel stocké ou sous-dimensionnements responsables de blocages.

4.1.3 Gestion du risque par les entreprises

L'analyse des pratiques de quinze organismes et entreprises en matière de gestion du risque pour les interventions en espace clos a porté, d'une part, sur les écrits (c.-à-d. programme et permis) et, d'autre part, sur l'application terrain des mesures prescrites. Le RSST et la norme canadienne CSA Z1006-10 ont servi de points de référence (Gouvernement du Québec, 2016; CSA, 2010).

4.1.3.1 Programme de gestion des espaces clos

Le contenu d'un programme de gestion des espaces clos est abordé à la section 4 de la norme CSA Z1006-10. Une liste de thèmes qui devraient être abordés a ainsi été dressée (cf. annexe D) et sa présence vérifiée dans les programmes recueillis. Ceux-ci étaient constitués de cinq à cinquante pages. Les thèmes les plus traités dans les programmes sont (i) la présence d'un surveillant, (ii) l'identification des dangers, (iii) la ventilation, (iv) les ÉPI, (v) les détecteurs de gaz, (vi) le cadenassage, (vii) les procédures de travail et le permis d'entrée, (viii) les mesures d'urgence, (ix) la formation, (x) les rôles et responsabilités et (xi) la revue du programme. Les thèmes les moins traités dans les programmes (<10/15) ont été (i) l'audit de l'application du programme, (ii) le processus d'évaluation des risques, (iii) les actions concernant la conception sécuritaire des espaces clos, (iv) l'inventaire des espaces clos et la signalisation des accès, (v) l'achat et la gestion du matériel de réduction du risque et (vi) la gestion de la sous-traitance. Les manques observés dans les programmes ont été confirmés lors des entrevues et par des observations (sections 4.1.3.2 à 4.1.3.8). Ces thèmes sont donc les principaux points à développer et à surveiller pour les organismes.

4.1.3.2 Difficultés liées à l'identification des espaces clos

Tous les organismes visités ont utilisé la définition du règlement québécois pour caractériser leurs espaces clos même si cette définition n'est pas formellement mentionnée dans un tiers des programmes recueillis. L'identification d'un espace comme étant un espace clos est une source de désaccord sur le terrain. Les tranchées sont un exemple commun. Pour les identifications litigieuses et les déclassements des espaces clos, deux approches ont été observées (Tableau 12). Toutefois, un espace qui n'est pas clos au sens de la réglementation n'empêche pas l'organisme de devoir gérer adéquatement les risques qu'il comporte.

La signalisation des espaces clos à l'aide d'une affiche ou d'un pictogramme est un moyen essentiel pour prévenir le personnel et interdire l'accès aux personnes non habilitées (Gouvernement du Québec, art. 299, 2015). Ce point est apparu problématique lors des visites. Ainsi, la signalisation était partielle ou absente du parc d'espaces clos pour les deux tiers des organismes visités. Les exemples les plus problématiques sont les puits d'accès et les systèmes de ventilation de par leur nombre et leur emplacement. Des éléments d'amélioration sur ce point sont discutés au Tableau 12.

Tableau 12 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant l'identification des espaces clos

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
- Identification de l'espace comme un espace clos ou non [dans la plupart des organismes].	Deux approches en cas de désaccord: - Considérer systématiquement l'emplacement comme étant un espace clos [H, J et O]. - Obtenir un consensus écrit et basé sur les trois critères de la définition d'un espace clos, entre au moins deux personnes qualifiées [s.A.17; C, D, I et O].
- Signalisation partielle ou inexistante à l'entrée de l'espace clos [A, B, D, F-K, M et O].	- Incrire sur l'affiche les informations recommandées par la norme. Lorsque la signalisation n'est pas possible, des mesures compensatoires formelles doivent être implantées (ex. : contrôle de l'accès) [s.7.2.2.1]. - Incrire des informations spécifiques à la configuration de l'espace clos ou les risques identifiés lors de l'appréciation du risque. De telles informations ne sont pas obligatoires, elles pourraient néanmoins aider à améliorer la communication avec les intervenants lorsqu'il est réaliste de les mettre en place [O]. Cette façon de faire est communément utilisée pour les machines industrielles (ANSI/NEMA, 2011).

4.1.3.3 Difficultés liées à la formation des travailleurs

Le règlement québécois stipule que seuls les travailleurs ayant les connaissances, la formation et l'expérience requise pour effectuer un travail dans un espace clos sont habilités à y effectuer un travail. Cette obligation s'applique à la personne responsable de l'appréciation et de la réduction des risques (ex. : émetteur de permis), à l'entrant et au surveillant. La section 7.1 de la norme CSA Z1006-10 détaille les exigences des formations en fonction du rôle du travailleur.

La formation théorique et pratique pour l'entrant était prévue par tous les gestionnaires des organismes visités. Toutefois, le contenu et le détail des formations différaient selon la personne en charge de celle-ci. Par exemple, l'organisme D offrait une formation d'une durée de 2 h 30 min pour les travailleurs habilités à entrer en espace clos tandis que l'organisme J libérait ses travailleurs pendant trois jours, dont une journée entière consacrée à une pratique sur les installations de l'organisme. Les formations complémentaires pour les rôles de l'émetteur des permis, de surveillant (ex. : mesures de gaz, ventilation, mesures contre les chutes) et de sauveteurs n'étaient pas toujours prévues, même si ces rôles étaient toujours tenus lors des entrées. D'ailleurs, peu de programmes de gestion détaillent (i) les compétences requises selon le rôle, (ii) le contrôle des connaissances acquises et (iii) la périodicité et les moyens pour les remises à niveau. Les principaux manquements relevés lors de nos observations ont été effectués dans les organismes où les formations n'étaient pas spécifiques au rôle des intervenants, notamment celui de surveillant.

4.1.3.4 Difficultés liées à l'analyse du risque, au permis d'entrée et aux documents d'intervention

Pour préparer le permis d'entrée, l'émetteur doit notamment avoir des informations relatives à l'espace clos, au travail à faire et à l'environnement de travail (ex. : conditions changeantes, accès). Beaucoup de paramètres sont à prendre en considération pour choisir les moyens d'intervention et de réduction du risque adéquats. Plus de la moitié des organismes se basait uniquement sur l'expérience de l'émetteur de permis pour effectuer ce travail. Aucun organisme n'avait de procédure écrite pour estimer les risques ou catégoriser les espaces clos. Seule l'identification des risques était structurée autour d'un document dans la moitié des entreprises rencontrées.

Parmi l'échantillon de permis et documents obtenus, les points les plus négligés étaient (i) la description en détail des dangers puisque l'on passe souvent directement aux équipements nécessaires, (ii) la vérification de la formation des intervenants, (iii) le suivi des entrées/sorties dans l'espace clos, (iv) les détails sur la ventilation (ex. : temps), (v) la gestion liée à la vérification de l'atmosphère et (vi) la fermeture et l'annulation du permis. Les principales difficultés énoncées lors des entrevues en lien avec la gestion des permis étaient la disponibilité d'une personne qualifiée en tout temps pour émettre le permis, et la planification avec les autres services en cas de coactivité, d'arrêt de production ou de cadenassage d'équipements connexes. À partir de ce constat, de l'analyse des permis obtenus et des exigences relatives au contenu d'un permis d'entrée telles qu'énumérées dans la norme CSA Z1006-10 (sections 7.2.5.1, 7.2.5.2, annexe B.1), le tableau 13 détaille tous les éléments d'un permis d'entrée. Quel que soit le moyen (ex. : classeur, base de données), la section 1 du permis proposé doit être complétée au préalable, bien avant le début de l'intervention en espace clos. Un tel permis devrait agir comme un aide-mémoire afin que rien ne soit oublié avant et pendant les travaux.

Tableau 13 - Contenu d'un permis d'entrée centralisant les informations nécessaires à une entrée – Section 1 Préparation

Section/Thème		Information à inclure
Section 1 : Préparation	Général	Intervention à faire. Bon de travail. Date de l'intervention. Nom et coordonnées de l'émetteur du permis.
	Identification et localisation de l'espace clos	Numéro de référence. Type d'espace clos. Fonction. Adresse, numéro de local. Informations sur les difficultés d'accès à l'espace clos et les moyens nécessaires pour s'y rendre (ex. : espace clos situé dans un espace clos).
	Caractéristiques de l'espace clos	Dimensions de l'espace (schéma). Hauteur. Profondeur. Type d'accès à l'intérieur. Ouvertures : nombre, emplacement, dimensions. Contenu : produits chimiques, matières résiduelles, équipements, arrivée/sortie de canalisations, etc.
	Description des travaux	Objectif du travail à faire. Durée prévue. Nombre de travailleurs nécessaires. Nature des travaux : quelle partie de l'espace clos, outils prévus et alimentation en énergie.
	Phénomènes dangereux	Identification à l'aide d'une liste de vérification des phénomènes dangereux : 1. inhérents à l'espace clos, son environnement immédiat et aux possibles conditions changeantes. 2. propres au travail en vérifiant les interactions possibles avec les autres phénomènes dangereux. Liste des principaux phénomènes dangereux : - Atmosphérique : intoxication, asphyxie, explosion/incendie, empoussièrément. - Mécanique et physique : électrique, pièce en mouvement, ensevelissement, chute (hauteur, objet, plain-pied), thermique (surface; ambiance), noyade, bruit, vibrations, luminosité, radiation, pression, pièces acérées. - Biologique: animaux, excréments, insectes et plantes allergènes, bactéries, moisissures, virus, autres microorganismes. - Chimique : résidus corrosifs/irritants, toxiques, cancérogènes. - Structure de l'espace : entrée/sortie restreinte, solidité, obstacle, zone de coincement/d'emprisonnement, mobilité de l'espace. - Conditions externes : circulation extérieure, météo, travaux adjacents, accessibilité, introduction de substances. - Lié à l'entrant: psychologie/stress, effort physique/posture, contraintes liées aux vêtements/ÉPI.
	Matériel d'intervention et réduction du risque	Listes à cocher (avec les caractéristiques techniques) : 1. Équipements d'intervention nécessaires pour l'accès et le travail à faire. 2. Équipements de protection/Vêtements spécifiques. 3. Équipements de réduction du risque : qualité de l'air (protection respiratoire, ventilation, détection des gaz), protection incendie, cadenassage, protection contre les chutes, chauffage/air frais, protection auditive, éclairage, périmètre de sécurité, restrictions administratives (ex. : météo, conditions physique et psychologique de l'entrant). 4. Équipements pour la surveillance et le sauvetage. 5. Étapes de préparation de l'espace clos : nettoyage, purge, cadenassage, ventilation.
	Surveillance et mesures d'urgence	Consignes pour le surveillant. Moyen de communication à utiliser. Procédure d'urgence avec le numéro de téléphone à composer puis les étapes générales à suivre. Critères pour permettre un sauvetage sans entrée (ex. : conditions de la victime, port d'un harnais de type AE), ou bien attendre les secouristes et sauveteurs. Consignes pour maintenir des conditions adéquates et préparer l'arrivée des sauveteurs.
	Sauvetage	Plan de sauvetage éprouvé (par qui et quand) pour le sauvetage avec entrée en annexe.

Tableau 13 (suite) – Section 2 Intervention et Section 3 Suivi

Section/Thème		Information à inclure
Section 2 : Intervention	Émission du permis	Date et heure de l'émission du permis. Durée de validité du permis.
	Intervenants et formation	Nom et rôle des différents intervenants lors de l'entrée (surveillant, mesures des gaz, entrants, etc.). Préciser s'il s'agit d'un entrepreneur (sous-traitance).
	Vérifications avant d'entrer	Liste à cocher : <ul style="list-style-type: none"> - Formation des intervenants identifiés précédemment en fonction de leur rôle. - Condition physique des entrants. - Transmission orale aux intervenants des informations de la section 1 <i>Préparation</i>. - Absence de risques additionnels en fonction des conditions réelles d'intervention. - Utilisation et inspection du matériel d'intervention, de surveillance et de réduction du risque (utiliser la liste à cocher de la sous-section 1 <i>Matériel d'intervention et réduction du risque</i>). - Vérification du port adéquat du harnais et de la protection respiratoire le cas échéant. - Préparation selon le mode opératoire : vidange, nettoyage, cadénassage, etc. - Modèle du ventilateur et configuration d'installation. Temps de ventilation à respecter avant l'entrée (Garrison, 1991). - Sauveteurs informés d'une entrée imminente (préciser le numéro de téléphone).
	Gestion liée à la mesure de l'atmosphère	Numéro de l'appareil. Utilisation d'une sonde de longueur appropriée et d'une pompe. Dates du dernier étalonnage et du test de fonctionnalité. Temps d'attente à respecter pour chaque mesure. Fréquence des mesures pendant l'intervention.
	Tableau pour les résultats de la détection des gaz	Chaque ligne correspond à une mesure : <u>avant l'entrée</u> (avant l'ouverture; après préparation; entrée après une sortie) puis mesures périodiques selon la fréquence précisée. La dernière ligne permet de noter une alarme. Chaque ligne peut être fractionnée si l'on doit faire des mesures à différents points dans l'espace clos. Les colonnes comprennent l'heure de la mesure, les initiales du responsable puis les différents gaz mesurés en précisant les valeurs limites acceptées par l'organisme.
Section 3 : Suivi	Signatures	Nom, date et signature des personnes concernées afin d'attester leur compréhension des consignes.
	Entrées/sorties des intervenants	Tableau qui permet au surveillant de faire le suivi des entrées et sorties de l'espace clos. Une ligne par intervenants. Alternance de colonnes Heure d'entrée/Heure de sortie.
	Fermeture/Annulation/Prolongation du permis	Fermeture du permis : points à vérifier (ex. : aviser les sauveteurs de la fin de l'intervention, sortie du matériel et des intervenants, décadénassage), date, heure, commentaires pour amélioration/audit, nom et signature de l'émetteur du permis. Prévoir une possibilité de prolongation du permis qui comprend la justification (ex. : l'émetteur du permis doit quitter les lieux de travail et être remplacé), les mesures de précaution et les signatures nécessaires. Idem pour une annulation.

4.1.3.5 Difficultés liées aux audits

Dans la littérature, il est suggéré d'auditer périodiquement le programme de gestion des interventions en espace clos ainsi que son application afin d'assurer une amélioration continue des pratiques (CSA, 2010; Lindsay, 1992). De tels audits permettent de faire un suivi auprès des employés et des sous-traitants, et de corriger les mauvaises pratiques. Or, un audit formel de l'application des règles d'entrée en espace clos n'a eu lieu que dans le tiers des organismes visités. Des éléments d'amélioration sur ce point sont discutés au tableau 14.

Tableau 14 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant les audits

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
Aucun audit formel de l'application des règles d'entrée en espace clos dans deux tiers des organismes visités [A-G, J, K et O].	<ul style="list-style-type: none"> - Respecter les recommandations normatives [s.8]. - Intégrer les audits aux objectifs du gestionnaire. Préparer une liste de vérification à cet effet [L, M et N]. - Introduire une culture de sécurité grâce à la présence sur le terrain de gestionnaires expérimentés (Huang et coll., 2014). - Enregistrer et consulter les relevés des détecteurs de gaz grâce une station d'accueil (<i>docking station</i>) [D, G, N et L].

4.1.3.6 Difficultés liées aux sous-traitants

La gestion de la santé et de la sécurité des sous-traitants est une obligation légale au Québec, et le maître d'œuvre doit faire preuve de diligence raisonnable (Gouvernement du Québec, 1979). La sous-traitance pour les interventions en espace clos est fréquente notamment pour les travaux majeurs ou spécialisés qui demandent des compétences spécifiques. Treize des quinze organismes visités sous-traitaient ou étaient des sous-traitants pour des interventions en espace clos. D'après les programmes de gestion et les entrevues semi-dirigées, dans la quasi-totalité des cas, les sous-traitants devaient suivre les mêmes règles que l'organisme hôte, recevaient des informations spécifiques sur les espaces clos et leur formation était sommairement vérifiée au préalable. Toutefois, selon les contremaîtres sur le terrain, les sous-traitants ne respectent pas toujours les règles s'il n'y a aucune surveillance de leurs activités. Il semble également insuffisant de vérifier la carte de formation du sous-traitant pour évaluer sa compétence. Des éléments d'amélioration sur ce point sont discutés au tableau 15.

Tableau 15 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant la sous-traitance

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
- Dérives des sous-traitants concernant l'utilisation réelle des permis d'entrée, des mesures de gaz avant l'entrée, le respect des temps de ventilation et l'utilisation des équipements de protection préconisés [D, F, H et N].	- Auditer les sous-traitants [s.5.4.2].
- Carte de formation du sous-traitant pas suffisante pour évaluer sa compétence (Hardison et coll., 2014). Par exemple, dans certains cas, dans le but de gagner du temps, la formation théorique était suivie en ligne par du personnel administratif du sous-traitant, au nom de son personnel de terrain [D].	- Vérifier l'intégration réelle des connaissances reçues en formation lors de l'observation du travail du sous-traitant minimalement au cours du premier contrat [s.7.1.13]. Une façon de faire efficace consiste à ce que l'organisme hôte délivre le permis en présence du sous-traitant, fait la première mesure de gaz, vérifie que tout est adéquatement en place avant l'entrée, puis reste à la disposition du sous-traitant lors des travaux selon les besoins [H et O].

4.1.3.7 Difficultés liées aux mesures de sauvetage

La gestion des risques résiduels en espace clos est basée sur le sauvetage (avec ou sans entrée). Le temps nécessaire à effectuer un sauvetage est critique en espace clos. Or, la mise en place de ces mesures de sauvetage représente son lot de défis. Les difficultés et des améliorations possibles sont présentées au tableau 16.

Pour les sauvetages avec entrée, les deux tiers des organismes visités comptaient sur l'intervention des services des incendies municipaux. Cependant, les procédures de sauvetage n'étaient majoritairement pas éprouvées, comme spécifié dans la réglementation québécoise. De plus, un délai minimum de 60 à 90 minutes a été estimé par plusieurs organismes avant la sortie effective de la victime par les pompiers municipaux en tenant compte des différents délais détaillés par Wilson et coll. (2012). Ces délais sont souvent incompatibles avec des situations d'urgence d'autant plus qu'une minorité de services incendies au Québec (65 sur 800) disposent de pompiers formés pour le sauvetage en espace clos. Ainsi, des compagnies privées offrent des services de sauvetage.

Tableau 16 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant le sauvetage

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
<i>Sauvetage avec entrée</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Délai pour les pompiers pour secourir une victime souvent incompatible avec des situations d'urgence [A-C, F, G, et J-O]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Avoir une meilleure communication entre l'organisme et le service incendie concerné. Tester ensemble les procédures de sauvetage [ss. 6.6.3 et 6.6.4]. - Avoir sur le site ou partager une équipe d'intervention professionnelle adéquatement formée et équipée convenablement [D, E, H et I]. Toutefois, cela demande des investissements qui sont difficiles à assumer pour les plus petits organismes.
<i>Sauvetage sans entrée</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Le sauvetage sans entrée ne peut avoir lieu si le déplacement de la victime aggrave son état de santé. - Le travailleur ne peut pas toujours attacher son harnais au treuil à cause des obstacles, du travail à faire, de la forme de l'espace clos et de la distance de pénétration. - Les entrées horizontales présentent des contraintes de sauvetage différentes des entrées verticales et sont parfois négligées. - Les harnais de classe A, moins coûteux, sont souvent utilisés (anneaux dorsaux; victime pas dans une position droite lors de sa sortie de l'espace) [Dans la plupart des organismes]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Définir dans le programme de gestion les critères pour permettre un sauvetage sans entrée, ou bien attendre les secouristes et les sauveteurs [I]. - Former le surveillant à gérer et faire du sauvetage externe [ss. 7.1.9 et 7.1.10]. - Définir plus précisément dans la procédure d'urgence les mesures pour préparer l'arrivée des secours et stabiliser l'état de santé de la victime que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de l'espace clos. - Utiliser des harnais de type E (anneaux aux épaules) qui permettent de maintenir la victime droite lors d'un sauvetage vertical et de la sortir par un accès restreint (CSA, 2012).

Pour réduire les délais d'intervention, tous les organismes visités ont investi ces dernières années pour assurer des sauvetages sans entrée par le surveillant. Cela se traduit notamment par l'intégration de potence ou de trépied muni d'un treuil de sauvetage lors d'entrées verticales, couplé à l'obligation du port du harnais (figure 6). Toutefois, le sauvetage sans entrée n'est pas toujours possible.



**Figure 6 - Trépied et treuils pour la protection contre les chutes et le sauvetage sans entrée;
Port d'un harnais de type A**

4.1.3.8 Difficultés liées aux mesures de réduction du risque

L'utilisation des détecteurs de gaz, de la ventilation, de la protection respiratoire et des équipements contre les chutes a été accompagnée de difficultés ou d'erreurs par rapport aux règles de l'art. Ces difficultés et des améliorations possibles sont présentées au Tableau 17. Toutes ces données confirment la nécessité d'audits réguliers et suggèrent certains points de contrôle. Les moyens alternatifs aux entrées (ex. : caméra, outils aimantés, dispositifs de lecture, de graissage ou d'isolation à l'extérieur d'un espace clos) n'étaient pas encore appliqués lors de nos visites. Enfin, le travail du coordonnateur SST lors de la conception d'ouvrages comportant des espaces clos ne commençait que dans quelques organismes.

Tableau 17 - Difficultés observées et améliorations possibles concernant l'utilisation des mesures de réduction du risque

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
<i>Détection des gaz</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Pas de mesures (i) avant d'ouvrir complètement l'espace clos notamment pour les gaz inflammables, et (ii) lors de l'entrée après la pause du midi [B, C, F et I]. - Étalonnage pas à jour (ex. : péremption du gaz étalon) [C, G et N]. - Temps de mesure des gaz requis pas respecté [I et L]. - Entrer le détecteur directement dans l'espace clos plutôt que d'utiliser une sonde [La plupart des organismes]. - Les intervenants n'ont pas toujours conscience que seuls quatre gaz sont mesurés par les détecteurs et qu'un écart de quelques dixièmes par rapport au 20,9 % en oxygène peut être une source de contamination par un gaz non ciblé [F, K, M et N]. - Les intervenants se fiaient surtout aux alarmes et pas aux variations de concentrations des gaz (ex. : détecteur de gaz laissé toute la journée dans l'espace clos sans relevé de mesures ni de vérification de la batterie) [K, J et N]. - Les détecteurs par photo-ionisation complémentaires, notamment pour les composés organiques volatils (ex. : solvants) sont peu utilisés [D, E, G et M]. 	<p>Dans le but de gérer toutes ces approximations, l'entretien et l'utilisation des détecteurs devraient être centralisés entre les mains d'une équipe réduite, formée et expérimentée [ss.7.2.8 et A.14; H].</p>
<i>Ventilation</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Pas d'information sur la configuration requise, le temps de ventilation avant l'entrée et la ventilation nécessaire pendant l'entrée [Dans la plupart des organismes]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faire une analyse de la ventilation à mettre en place (ex. : matériel, point de sortie de la ventilation dans l'espace clos) afin d'optimiser la purge de l'espace et supprimer les poches de contaminants [ss.7.2.9.3 et A.15]. - Si des modifications sont prévues à un espace clos, notre recommandation est d'intégrer à la structure de l'espace des conduits de ventilation permanents en tenant compte de la configuration de l'espace et des interventions prévues [ss.6.2.1.3, 6.4.2.3, A.3 et A.7].
<i>Protection contre les chutes</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Difficultés lors de l'installation de la potence et des garde-corps à cause de la taille et du poids de ces équipements [B, D, F, G, K, L et N]. - Harnais pas porté ou pas attaché lors de l'intervention [B, C, E, F, H et I]. - Chute d'objet possible [C et K]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer des socles et des points d'ancrage dans la structure au sol (figure 7) [ss.6.2.1.3, 6.4.2.3, A.3, et A.7). Utiliser un chariot conçu spécialement pour la manutention du matériel [G et H]. - Mener des audits périodiques [ss.4.5 et 8.2]. - Garder la zone autour de l'entrée dégagée, protéger les entrées et prévoir une méthode pour descendre les outils dans l'espace clos [s.7.2.3].

Tableau 17 (suite)

Difficulté [organismes]	Amélioration possible [sections de CSA Z1006-10; organismes où cela a été observé]
<i>Protection respiratoire</i>	
<ul style="list-style-type: none"> - Incertitudes concernant le besoin de porter des demi-masques avec cartouche et de procéder aux tests d'ajustement. (ex. : port de lunettes, rasage de près) [A, D et E]. - Entreposage des cartouches usagées sans précaution particulière [A et D]. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faire une évaluation du risque [ss.6.3, 6.4 et 7.2.10]. - Mener des audits périodiquement [ss.4.5 et 8.2]. - Suivre les instructions du fabricant [s.7.2.10]. Utiliser un sac que l'on peut refermer de façon étanche [A et D].
<i>Configuration spéciale</i>	
Assurer la communication, le sauvetage et la mesure des gaz dans les espaces ayant une grande distance de pénétration (ex. : vide sanitaire) ou pour les espaces clos dans un espace clos (ex. : réservoir dans un local technique souterrain) [A, C, D, H, I et J].	Utiliser un surveillant de fond secouriste ou une caméra qui sert d'intermédiaire entre les entrants et le surveillant de surface [I et J].

**Figure 7 - Socle pour potence, échelle et garde-corps intégrés de façon permanente**

4.1.4 Synthèse des besoins

La mise en commun des résultats obtenus à l'occasion de la revue de la littérature, de l'analyse des accidents et des visites sur le terrain permet de faire ressortir plusieurs besoins quant à l'appréciation des risques lors des interventions en espace clos et le développement d'un outil spécialisé à cette fin. Pour rappel, le développement de cet outil vise à aider les entreprises à appliquer les principes de l'appréciation du risque pour les interventions en espace clos. Ainsi, lors du développement de l'outil, certaines lacunes observées dans la littérature et dans des entreprises qui gèrent activement les risques en espaces clos ont été prises en compte.

4.1.4.1 Approche multidisciplinaire

Les travaux de recherche menés sur la littérature ou en entreprise ont mis en évidence le besoin d'une approche globale et multidisciplinaire pour l'étape d'identification des risques en espace clos afin d'obtenir une meilleure représentation de la réalité lors des interventions. Le nombre d'accidents mortels dus à un problème de maîtrise des énergies liées à de la machinerie a en effet révélé qu'il ne faut pas négliger les phénomènes dangereux mécaniques. Jusqu'à présent, les phénomènes dangereux atmosphériques (c.-à-d. asphyxie, intoxication, explosion) monopolisent l'attention. Lors de l'identification des phénomènes dangereux, ce sont les plus cités et les plus longuement traités. Les listes de vérification proposées pour l'identification du risque sont incomplètes concernant les risques physiques (ex. : chute, ensevelissement, mécanique, ergonomique). Également, les statistiques disponibles portent quasi exclusivement sur les risques atmosphériques (ex. : Wilson et coll., 2012; Dorevitch et coll., 2002). Cette approche s'explique par le fait que ces risques sont spécifiques au confinement des espaces clos. Néanmoins, les risques physiques peuvent eux aussi être sévères, complexifient les situations à risque, et impliquent des mesures de sauvetage adéquates. Par ailleurs, les dangers peuvent être présents en permanence dans l'espace clos, mais également se développer lors de l'intervention (ex. : utilisation d'équipements de soudage, de meulage, etc.). Un tiers des accidents reliés aux phénomènes dangereux atmosphériques sont d'ailleurs introduits par l'activité de travail (WorkSafe BC, 2008). Ainsi, la gestion des risques doit être menée de façon multidisciplinaire et globale pour prendre en compte la réelle complexité des interventions en espace clos.

4.1.4.2 Préparation systématisée des entrées

Il appert dans la plupart des accidents mortels étudiés que les activités en espace clos étaient improvisées et qu'aucune analyse du risque complète ni aucune procédure de travail n'a été appliquée. Les moyens de réduction du risque étaient par le même fait inadaptés, voire inexistants. Les entreprises, confrontées à des contraintes logistiques et des ressources limitées, éprouvent souvent des difficultés dans la mise en œuvre de l'appréciation des risques et des procédures de travail (Chinniah, 2015). Parallèlement, plus de la moitié des organismes visités n'effectuaient aucun travail d'analyse préparatoire (ex. : fiche descriptive des risques) avant l'émission d'un permis d'entrée, et se basaient uniquement sur l'expérience de l'émetteur de permis. Aucune estimation du risque n'a été observée. Étant donné la complexité et la diversité de la tâche, cette façon de faire peut mener à une mauvaise appréciation des risques (ex. : oubli ou sous-estimation d'un risque) et éventuellement à des mesures de réduction du risque insuffisantes ou inadéquates. Comme cela a été observé dans quelques organisations, le développement préalable d'une banque de fiches descriptives détaillant les dangers inhérents à chaque espace clos et aux activités semble limiter la subjectivité individuelle en systématisant les informations disponibles pour l'émetteur de permis. Ces fiches descriptives ainsi que le plan de sauvetage devraient être centralisés dans le permis d'entrée afin de limiter le nombre de documents (tableau 13). Une préparation plus systématique des interventions en espace clos semble donc nécessaire.

4.1.4.3 Estimation du risque

Les étapes d'estimation et d'évaluation des risques, comme prescrites dans les normes sur la gestion des risques, sont peu formalisées dans la littérature et pas appliquées dans les organismes

qui ont été visités, hormis pour les risques atmosphériques. La littérature sur les espaces clos permet avant tout d'identifier les phénomènes dangereux lors des différentes interventions. Les étapes d'estimation du risque et d'évaluation du risque sont largement négligées. Seuls neuf outils qui incluent une étape d'estimation globale des risques en espace clos ont été recensés parmi les 77 documents de référence retenus. Par ailleurs, les principaux outils suggérés dans la littérature pour l'analyse du risque en espace clos (c.-à-d. listes de vérification, échelles de risque, matrices) sont souvent incomplets et ne tiennent pas compte de certains facteurs particuliers comme les caractéristiques physiques de l'espace clos, les conditions de sauvetage, les risques de nature variée, ou encore la condition physique et psychologique de la personne qui entre. Enfin, l'architecture de ces outils d'estimation du risque contient des défauts tels que des définitions de niveaux de paramètres vagues ou une distribution non uniforme des niveaux de risques dans la matrice (Chinniah et coll., 2011; Duijm, 2015).

4.1.4.4 Critères pour catégoriser les interventions en espace clos

Dans la littérature, la notion d'espace clos similaire pour alléger le travail d'analyse du risque est sans critère d'évaluation pratique. Dans les faits, cette décision (c.-à-d. espaces clos similaires) devrait intervenir à la suite d'un travail d'identification et de contextualisation des risques. C'est ce qui a été proposé dans l'outil développé lors de cette étude.

Le concept de catégorisation des espaces clos décrit dans la littérature, afin de faciliter la gestion et la communication des risques, est peu exploré sur le terrain. Ces concepts peuvent être améliorés en se basant sur les résultats d'une analyse du risque multidisciplinaire adaptée aux espaces clos. Ainsi, la catégorisation pourrait combiner des notions comme la nature, l'origine et le niveau des risques. C'est cette solution qui a été retenue dans l'outil développé lors de cette étude.

4.1.4.5 Réduire adéquatement les risques

Les organismes visités ont semblé négliger tant au regard des formalités prescrites que lors des interventions (i) la gestion des sous-traitants, (ii) les audits consacrés à l'utilisation des moyens de réduction du risque et (iii) l'intégration de la conception sécuritaire. De plus, le manque de lignes directrices dans le programme de gestion des organisations limitait l'efficacité réelle des mesures liées à la formation, au sauvetage, à l'utilisation de certaines mesures de maîtrise (ex. : détection des gaz, ventilation, protection respiratoire, protection contre les chutes). Les conditions d'utilisation et les travaux effectués dans les espaces clos n'avaient pas été envisagés lors de la conception, alors qu'il s'agit du moyen le plus efficace de réduire les risques.

4.1.4.6 Anticipation des conditions de sauvetage

Lors des interventions en espace clos, la gestion des risques résiduels était basée sur le sauvetage avec ou sans entrée selon les conditions présentes. D'après l'analyse des accidents mortels au Québec, 15 % des personnes décédées (6) effectuaient une tentative de sauvetage improvisée. Aucun plan de sauvetage n'était disponible sur les lieux de travail. Lors des visites sur le terrain, les procédures de sauvetage n'étaient majoritairement ni éprouvées ni communiquées au service des incendies en charge. Les mesures de sauvetage monopolisaient d'ailleurs une grande partie des échanges, car leur mise en place présente son lot de défis (ex. : délai d'intervention des

services externes, matériel, formation, etc.). L'anticipation des conditions de sauvetage et des mesures à mettre en place (ex. : choisir entre sauvetage sans entrée ou avec entrée) lors des interventions en espace clos constitue un aspect important de la gestion de la SST en entreprise.

4.2 Outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos

Basé sur le bilan de la section 4.1.4 et inspiré par les normes en gestion du risque utilisées en sécurité des machines, un outil d'appréciation du risque constitué de cinq étapes a été développé. L'outil est présenté en l'appliquant à un exemple. Il s'agit d'une réparation par soudage au fond d'une citerne de camion compartimentée. Cet exemple fait intervenir des risques de nature variée (ex. : chute, physique, atmosphérique). Il est inspiré d'une enquête effectuée dans le cadre du programme *Fatality Assessment and Control Evaluation* (FACE) piloté par le NIOSH (NIOSH, 2014).

4.2.1 Conception de l'outil

4.2.1.1 Étape 1. Caractérisation de l'intervention en espace clos

Afin de cibler les éléments à l'origine des phénomènes dangereux lors d'une intervention en espace clos, la technique du diagramme de causes à effets a été mise à profit (Ishikawa, 1979). Cette méthode propose de passer en revue les causes d'un phénomène par l'intermédiaire de cinq éléments : *machine, matière, milieu, méthode, main d'œuvre*. En adaptant, cette technique au contexte des interventions en espace clos, les éléments considérés dans la démarche ont été (i) la configuration de l'espace clos (machine), (ii) son environnement (milieu), (iii) les travaux à faire (méthode, matière) et (iv) les intervenants (main-d'œuvre). Pour chacun de ces thèmes, des questions fermées avec choix de réponses ont été formulées afin de caractériser l'ensemble des situations à risque et pas seulement celles liées à la structure de l'espace clos. Ces questions, appliquées à notre exemple, sont présentées au Tableau 18. Le questionnaire vierge est disponible à l'annexe G.

Les concepts et le vocabulaire retenus sont ceux utilisés dans le RSST. Les questions sur la configuration de l'espace clos concernent principalement l'entrée/sortie, sa forme interne, le contenu passé de l'espace clos (ex. : contenu du réservoir), la mobilité, la ventilation naturelle, les équipements présents à l'intérieur de l'espace et les canalisations. Les questions sur l'environnement reprennent les conditions d'accès à l'espace clos, la configuration de l'aire autour de l'entrée, les travaux adjacents et les conditions changeantes. Enfin, les questions sur le travail à faire et les intervenants ciblent les ressources matérielles et humaines requises pour la réalisation des travaux. Ce questionnement exhaustif permet d'obtenir un portrait global de la situation.

Tableau 18 - Questionnaire pour caractériser les situations à risque lors d'une intervention en espace clos appliqué à un exemple

A. Informations générales (module à remplir une fois)
Nom/Type d'espace clos : Citerne de camion L'espace doit répondre <u>aux 3 critères suivants</u> pour être considéré comme un espace clos au sens du RSST : <input checked="" type="checkbox"/> Il n'est pas conçu pour être occupé par des personnes, ni destiné à l'être, mais peut à l'occasion être occupé pour l'exécution d'un travail; <input checked="" type="checkbox"/> On ne peut y accéder ou on ne peut en ressortir que par une voie restreinte; <input checked="" type="checkbox"/> Il peut présenter des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique pour quiconque y pénètre
N° de référence : /
Fonction : Transport de diesel
Forme : Cylindrique, horizontale Dimensions : 1,4 m de diamètre, 8 m de long Volume intérieur (utile pour la ventilation): 50 m ³
Localisation (adresse, bâtiment) : Station de lavage à l'extérieur des bâtiments
B. Configuration de l'espace clos (sans travaux) (module à remplir une fois)
1. L'espace clos est-il fixe ou mobile? <input type="checkbox"/> Fixe <input checked="" type="checkbox"/> Mobile
2. L'espace clos est-il ouvert (ex. : bassin, fosse, tranchée) ou partiellement/totalement fermé? ** <input type="checkbox"/> Ouvert <input type="checkbox"/> Partiellement fermé <input checked="" type="checkbox"/> Totalement fermé - Matériau de construction des parois : <input type="checkbox"/> Béton <input type="checkbox"/> Acier <input checked="" type="checkbox"/> Inox <input type="checkbox"/> Autres : - Accessibilité des parois de l'espace clos depuis l'extérieur : <input checked="" type="checkbox"/> Accessible <input type="checkbox"/> Pas accessible - Épaisseur des parois : 12,7 mm (½ pouce)
3. Combien d'entrées l'espace clos possède-t-il? Quelle est la dimension de chaque entrée? ** <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> > 3
Forme : <input checked="" type="checkbox"/> Ronde <input type="checkbox"/> Rectangle ; Dimensions : <input checked="" type="checkbox"/> <610 mm (24'') de diamètre ou équivalent
4. L'entrée dans l'espace clos se fait-elle à la verticale ou à l'horizontale? * <input checked="" type="checkbox"/> Verticale <input type="checkbox"/> Horizontale puis verticale - Hauteur : 1.4 m - Moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Échelle fixe <input type="checkbox"/> Échelle amenée par l'équipe <input type="checkbox"/> Échelon - État du moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Dégradé <input type="checkbox"/> Très dégradé <input checked="" type="checkbox"/> Ne s'applique pas <input type="checkbox"/> Horizontale - Moyen d'accès : - État du moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Dégradé <input type="checkbox"/> Très dégradé <input type="checkbox"/> Ne s'applique pas
5. La conception de l'espace clos implique-t-elle l'une ou plusieurs des situations à risque suivantes? <input checked="" type="checkbox"/> Insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique ** <input checked="" type="checkbox"/> Volume intérieur restreint limitant les mouvements possibles dans l'espace ** (ex. : plafond bas, section étroite) <input checked="" type="checkbox"/> Déplacements complexifiés à cause de la présence d'obstacles (au sol ou en hauteur), d'un plancher incurvé, de compartiments, de paliers, ou d'une pente marquée * <input type="checkbox"/> Présence de zone d'emprisonnement à cause de parois convergentes ou en forme d'entonnoir ** <input type="checkbox"/> Présence de faiblesse structurelle telle que fissures, effondrements, corrosion, désaxement de l'entrée ** <input type="checkbox"/> Présence d'éléments structurels coupants, pointus **. <input checked="" type="checkbox"/> Lumière insuffisante ** <input type="checkbox"/> Température/humidité extrême (cf. annexe 5 du RSST) <input type="checkbox"/> Niveau de bruit élevé (sans travaux) ** <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses

Tableau 18 (suite)

<p>6. L'usage habituel de l'espace clos implique-t-il l'une ou plusieurs des situations à risque suivantes?***</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Présence d'agents toxiques ou asphyxiants</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Présence de produits inflammables ou explosifs, de poussières combustibles</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Présence de produits corrosifs, irritants, réactifs, ou cancérogènes</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de produits en décomposition, de sédiments, de résidus, d'oxydation lente (ex. : rouille)</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de moisissure/champignon, ou divers agents biologiques pathogènes (ex. : objet souillé)</p> <p><input type="checkbox"/> Présence d'animaux, d'insectes, d'allergènes</p> <p><input type="checkbox"/> Substances inconnues</p> <p>Précisez les agents concernés, leur état physique et leur densité pour les gaz : Diesel, liquide</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>7. L'espace clos est-il relié à des canalisations ou à des drains qu'il faut cadenasser ou obstruer (risque d'introduction ou de retour non contrôlé de produits, risque de noyade, équipement en amont/aval)?***</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez : Ouvertures pour la vidange cadenassée ouverte</p>
<p>8. Y a-t-il des équipements installés à demeure dans l'espace clos (ou traversant) qui possèdent de l'énergie et qu'il faut cadenasser?*** <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>9. L'espace clos contient-il des matières à écoulement libre (ex. : grain, sable) qui introduisent un risque d'ensevelissement?*** <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>C. L'environnement (module à remplir une fois)</p>
<p>10. L'accès à l'entrée de l'espace clos est-il?*** (plusieurs réponses possibles)</p> <p><input type="checkbox"/> Isolé (ex. : loin d'une autre infrastructure, peu passant, et/ou difficile d'accès en véhicule)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Technique (ex. : en hauteur, passage par un escalier exigü, terrain instable)</p> <p><input type="checkbox"/> Dans un autre espace clos ou dans un local restreint à risque</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>11. La zone de travail autour de l'entrée est-elle? (plusieurs réponses possibles)</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée à la circulation routière ou à une voie de circulation à l'intérieur d'un établissement</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée aux autres travailleurs</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée au public</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée aux conditions climatiques (ex. : intempéries, température extérieure)</p> <p><input type="checkbox"/> Dans une zone de travail (ex. : poste de travail avec machine fixe ou mobile en opération)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Mal aménagée (ex. : peu de place, en pente, herbe à poux, boue)</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>12. Y a-t-il potentiellement des travaux à proximité impactant les conditions dans l'espace clos?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez : Réparation sur le véhicule</p>
<p>13. Y a-t-il des produits dangereux stockés dans un réservoir/espace attenant?</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>14. Les conditions dans l'espace clos sont-elles potentiellement changeantes (ex. : migration de gaz à travers les parois, introduction de substances ou gaz dangereux [gaz d'échappement], etc.)?***</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>D. Le travail à faire / Les entrants (module à remplir le moment opportun pour chaque travail à faire)</p> <p>Travail à faire : <input type="checkbox"/> Nettoyage <input type="checkbox"/> Inspection <input checked="" type="checkbox"/> Maintenance <input type="checkbox"/> Autres :</p> <p>Description du travail : Réparation d'une fissure sur la citerne. Soudage MIG</p> <p>Pour cette intervention, une entrée dans l'espace clos est-elle vraiment nécessaire? <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>
<p>15. Combien d'entrants sont requis en même temps pour l'intervention? <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> > 2</p>
<p>16. Combien de surveillants à l'extérieur sont requis pour l'intervention? <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> > 2</p>

Tableau 18 (suite)

17. L'intervention (entrée et travail) demande-t-elle une expérience/expertise particulière? <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez : Soudage
18. L'intervention (entrée et travail) demande-t-elle une forme physique ou une santé psychologique particulière? <u>Exemples</u> : Pénétration dans l'espace clos longue et exigeante, espace de travail très restreint (claustrophobie), montée/descente à l'échelle à répétition, etc. <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :
19. Quelle est la fréquence d'une telle intervention? <input checked="" type="checkbox"/> Quotidienne <input type="checkbox"/> Hebdomadaire <input type="checkbox"/> Plusieurs fois par année <input type="checkbox"/> Annuellement <input type="checkbox"/> Moins d'une fois année <input type="checkbox"/> En urgence, en priorité <input type="checkbox"/> Non connue
20. À quelle période de l'année habituellement? <input type="checkbox"/> Hiver <input type="checkbox"/> Printemps <input type="checkbox"/> Automne <input type="checkbox"/> Été <input type="checkbox"/> Variable <input checked="" type="checkbox"/> Toute l'année
21. Quels sont la durée de l'entrée et le moment prévu pour une telle intervention? <input type="checkbox"/> Courte durée, < 30 minutes <input checked="" type="checkbox"/> Moins qu'un quart de travail <input type="checkbox"/> Supérieure à un quart de travail <input checked="" type="checkbox"/> De jour <input type="checkbox"/> De nuit
22. Y a-t-il des contraintes temporelles liées à l'intervention (ex. : délai très court, autre département en attente, service essentiel à la population) qui créent une pression sur le travail des intervenants? <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :
23. Le chemin à parcourir entre l'entrée de l'espace clos et le lieu d'intervention implique quel type de progression?*
<input checked="" type="checkbox"/> Progression verticale uniquement <input type="checkbox"/> Progression horizontale uniquement <input type="checkbox"/> Progression verticale et horizontale
24. Lors de l'intervention, le surveillant a-t-il un contact visuel, auditif ou par tout autre moyen avec le travailleur afin de déclencher, si nécessaire, les procédures de sauvetage? <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
25. Le travail à exécuter implique-t-il des risques additionnels? (plusieurs réponses possibles) <input type="checkbox"/> Nettoyage à haute pression** <input checked="" type="checkbox"/> Travail à chaud (ex. : soudure)** <input type="checkbox"/> Travail en hauteur** <input checked="" type="checkbox"/> Utilisation d'outils spécifiques (ex. : mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique)** <input checked="" type="checkbox"/> Éclairage temporaire dans l'espace clos (lampe fixe ou portative)** <input type="checkbox"/> Utilisation d'une génératrice <input checked="" type="checkbox"/> Utilisation de produits chimiques (ex. : peinture, résines, solvants, électrodes de soudure)** <input checked="" type="checkbox"/> Émission de particules, de poussière, d'aérosols** <input type="checkbox"/> Travail sous charge, charge en hauteur, chute d'outils** <input type="checkbox"/> Manutention d'objet lourd <input type="checkbox"/> Chute de plain-pied, glissade à cause des conditions d'intervention** <input checked="" type="checkbox"/> Port de vêtement ou d'EPI (équipement de protection individuelle) qui induisent des contraintes ergonomiques (ex. : visibilité, sudation) <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/> Aucun risque additionnel
26. Lors de l'intervention, le travailleur peut-il potentiellement avoir son harnais attaché en tout temps à une corde d'assurance solidement fixée à l'extérieur de l'espace clos?*
<input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

* Questions qui permettent de déterminer si un éventuel sauvetage pourrait se faire *a priori* sans entrée dans l'espace clos

** Questions qui permettent de déterminer si le sauvetage avec entrée pourrait se complexifier en raison des conditions d'intervention

Le traitement des réponses permet de suggérer une caractérisation des conditions de sauvetage *a priori* selon deux notions : (1) le sauvetage sans entrée est (n'est pas) potentiellement possible, puis (2) les conditions présentes complexifient (ou non) le sauvetage avec entrée. En se basant sur les travaux de Wilson et coll. (2012), pour que le sauvetage sans entrée soit *a priori* possible, il faut au moins que la pénétration dans l'espace clos soit principalement verticale, le chemin sans obstacles, le contact entre le travailleur et le surveillant assuré et les travailleurs attachés en tout temps par leur harnais à une corde d'assurance. Les questions reliées à ces éléments (Q.4, 5, 23, 24, 26) sont marquées d'un astérisque au Tableau 18. À noter que le respect de ces conditions ne garantit pas que le sauvetage sans entrée soit possible. D'autres éléments tels que la nature de la blessure et le nombre d'entrants simultanés peuvent obliger les sauveteurs à entrer dans l'espace clos. La présence de conditions complexes lors d'un sauvetage avec entrée est traitée par l'intermédiaire de l'accessibilité à l'espace clos (Q.10), l'accessibilité à la victime (ex. : ouverture étroite, obstacle/déplacement, matière à écoulement libre) (Q.2, 3, 5, 9 et 23), ainsi que les risques potentiels dans l'espace clos (Q.5-9, 14, 25). Ces éléments sont marqués d'un double astérisque au Tableau 18. Dans l'exemple retenu, un sauvetage sans entrée n'est *a priori* pas possible (présence d'obstacles).

Cette première étape permet de générer une liste de risques potentiels liés à la situation en utilisant une table de conversion qui associe chaque réponse à des phénomènes dangereux potentiels (Tableau 19, en italique ceux liés à l'exemple retenu). Cette table de conversion a été obtenue par consensus au sein de l'équipe de recherche. Les phénomènes dangereux ont été regroupés en sept familles : atmosphérique, chimique, biologique, chute, mécanique, physique et ergonomique. Ce découpage se base sur le processus accidentel lié aux phénomènes dangereux et l'importance relative de certains types de phénomènes dangereux lors des accidents étudiés (ex. : machinerie, chute).

Enfin, cette première étape permet d'aider à statuer si deux situations d'intervention sont réellement identiques en matière de risques, en se basant sur les réponses données (considérant les paramètres espace clos, environnement et travail à faire). Certaines réponses étant ouvertes (ex. : « autres »; « précisez ») ou combinant plusieurs risques, la notion de similarité n'est pas automatiquement fournie par l'outil, l'utilisateur doit trancher la question.

Tableau 19 - Table de correspondance entre les réponses fournies à l'étape de caractérisation de l'intervention et les risques potentiels suggérés

Q.	Réponses	Famille de risque	Type de risque
1	Espace clos mobile	Mécanique	Mobilité de l'espace
3	Dimensions de l'entrée <24''	Ergonomique	Entrée/sortie
4	Entrée totalement ou en partie verticale	Chute	Chute de hauteur, Chute d'objet
5	Volume intérieur restreint	Ergonomique	Posture de travail, Psychologie/stress
	Déplacements complexifiés	Chute	Chute de plain-pied
		Ergonomique	Configuration interne
	Présence de zone d'emprisonnement	Ergonomique	Configuration interne
	Présence de faiblesse structurelle	Mécanique	Défaillance structurelle
	Présence d'éléments structurels coupants	Mécanique	Pièce coupante
	Lumière insuffisante	Ergonomique	Éclairage déficient /Visibilité réduite
	Température/humidité extrême	Ergonomique	Contraintes thermiques
	Niveau de bruit élevé	Physique	Bruit
6	Présence d'agents toxiques, asphyxiants	Atmosphérique	Intoxication, Asphyxie
	Présence de produits inflammables, etc.	Atmosphérique	Explosion/Incendie, Asphyxie, Intoxication
	Présence de produits corrosifs, irritants, etc.	Chimique	Produits irritants/corrosifs, Produits réactifs, Produits toxiques ou cancérigènes
	Présence de produits en décomposition, de sédiments, etc.	Atmosphérique	Intoxication, Asphyxie
		Biologique	Virus, Bactéries, Protozoaires, Toxine Helminthes/Vers, Moisissures/Champignons
	Présence de moisissures/champignons, ou divers agents biologiques pathogènes	Biologique	Virus, Bactéries, Protozoaires, Toxine Helminthes/Vers, Moisissures/Champignons
	Présence d'animaux, d'insectes, etc.	Biologique	Virus, Toxine, Morsures
		Ergonomique	Psychologie/stress
	Substance inconnue ou autre	Atmosphérique	Explosion/Incendie
			Asphyxie
			Intoxication
		Chimique	Produits irritants/corrosifs
			Produits réactifs
			Produits toxiques ou cancérigènes
Biologique		Virus	
		Bactéries	
		Protozoaires	
		Helminthes/Vers	
	Moisissures/ Champignons		
Toxines			
7	Oui (canalisation, drains)	Chimique	Produits irritants/corrosifs, Produits réactifs, Produits toxiques ou cancérigènes
		Physique	Noyade, Thermique (T° matière)
8	Oui (cadenassage)	Mécanique	Pièce en mouvement, Projection, Pièce avec de l'énergie potentielle
		Physique	Électricité, Thermique, Rayonnement optique et ionisant, Bruit, Vibration
9	Oui (écoulement libre)	Physique	Ensevelissement, Noyade
10	Accès à l'entrée technique	Ergonomique	Effort physique, Accès, Pression ambiante
		Chute	Chute de hauteur
	Entrée dans un autre espace clos	Ergonomique	Accès, Éclairage déficient /Visibilité réduite

Tableau 19 (suite)

Q.	Réponses	Famille de risque	Type de risque
11	Entrée exposée à la circulation routière	Mécanique	Circulation extérieure
	Entrée exposée aux autres travailleurs	Chute	Chute d'objet
	Entrée exposée au public	Chute	Chute d'objet
	Entrée exposée aux intempéries	Physique	Électricité (foudre)
		Ergonomique	Contraintes thermiques
	Entrée dans une zone de travail	Ergonomique	Accès
	<i>Zone d'entrée mal aménagée</i>	<i>Chute</i>	<i>Chute de plain-pied</i>
12	<i>Oui (travaux à proximité)</i>	<i>Atmosphérique</i>	<i>Intoxication, Asphyxie, Explosion/Incendie</i>
		<i>Chimique</i>	<i>Produits irritants/corrosifs</i>
		<i>Mécanique</i>	<i>Projection, Circulation extérieure, Défaillance structurelle</i>
		<i>Physique</i>	<i>Thermique, Bruit</i>
13	Oui (produits dangereux stockés)	Atmosphérique	Intoxication, Asphyxie, Explosion/Incendie
		Chimique	Produits irritants/corrosifs, Produits réactifs, Produits toxiques ou cancérigènes
14	Oui (conditions changeantes)	Atmosphérique	Intoxication, Asphyxie, Explosion/Incendie
21	Intervention de nuit	Ergonomique	Éclairage déficient /Visibilité réduite
	<i>Intervention qui n'est pas de courte durée</i>	<i>Ergonomique</i>	<i>Effort physique</i>
22	Oui (contraintes temporelles)	Ergonomique	Psychologie/stress
25	Nettoyage à haute pression	Mécanique	Projection
	<i>Travail à chaud (ex. : soudure)</i>	<i>Atmosphérique</i>	<i>Intoxication, Explosion/Incendie</i>
		<i>Physique</i>	<i>Thermique, Rayonnement optique et ionisant</i>
	Travail en hauteur	Chute	Chute de hauteur
	<i>Utilisation d'outils spécifiques</i>	<i>Mécanique</i>	<i>Pièce en mouvement, Pièce coupante, Pièce avec de l'énergie potentielle, Projection</i>
		<i>Physique</i>	<i>Électricité, Rayonnement optique et ionisant, Thermique, Bruit</i>
	<i>Mise en place d'un éclairage temporaire</i>	<i>Physique</i>	<i>Électricité</i>
		<i>Atmosphérique</i>	<i>Explosion/Incendie</i>
	Utilisation d'une génératrice	Atmosphérique	Intoxication
		Physique	Bruit
	<i>Utilisation de produits chimiques</i>	<i>Chimique</i>	<i>Produits irritants/corrosifs, Produits réactifs, Produits toxiques ou cancérigènes</i>
	<i>Émission de particules, de poussières, etc.</i>	<i>Atmosphérique</i>	<i>Intoxication, Explosion/Incendie</i>
	Travail sous charge, charge en hauteur	Chute	Chute d'objet
	Manutention d'objet lourd	Ergonomique	Effort physique
Chute de plain-pied, glissade	Chute	Chute de plain-pied	
<i>Port de vêtement ou d'EPI</i>	<i>Ergonomique</i>	<i>Effort physique, Posture de travail, Contraintes thermiques</i>	

4.2.1.2 Étape 2. Identification des phénomènes dangereux et du processus accidentel

À partir de la liste de phénomènes dangereux générée à l'étape précédente (Tableau 19), la personne qualifiée sélectionne ceux qui s'appliquent réellement à la situation étudiée.

La quantité de détails requis à associer à chaque phénomène dangereux a été déterminée en testant plusieurs méthodes allant de la liste de vérification (ex. : ANSI/ASSE: Z117.1-2009, annexe C) jusqu'à la décomposition du processus accidentel utilisé en sécurité des machines (c.-à-d. phénomène dangereux, situation dangereuse, événement dangereux, dommage possible) (ANSI/ASSE, 2009). Il se dégage comme conclusion que l'utilisation d'un outil de type « liste de vérification » ne permet pas de cibler dans quel contexte un phénomène dangereux peut avoir un impact. À l'inverse, la décomposition du processus accidentel peut être trop complexe à effectuer sans accompagnement. Un tableau basé sur l'approche de décomposition du processus accidentel a donc été élaboré, en simplifiant les informations requises et en fournissant des listes de choix afin d'harmoniser les réponses. Les listes de choix de réponse ont été élaborées à partir de l'annexe B de la norme ISO 12100:2010 en sécurité des machines (ISO, 2010). Les interactions entre les phénomènes dangereux peuvent être traitées dans la colonne « Événement dangereux » (élément déclencheur). Le résultat est présenté de manière simplifiée au tableau 20 pour quelques phénomènes dangereux liés à l'exemple retenu et notamment ceux reliés à l'activité de soudage et à la présence de résidu de diesel (Carlton et Smith, 2000; Flynn et Susi, 2009). Les informations liées aux phénomènes dangereux (c.-à-d. origine, famille, type, précision) sont automatiquement extraites de la table de conversion (Tableau 19), tandis que le processus accidentel lui doit être précisé par l'utilisateur.

Tableau 20 - Identification des risques et des processus accidentels appliqués en partie à l'exemple retenu

Phénomènes dangereux					Activités à risque			
No	Origine	Famille	Type	Précision	Action dangereuse	Qui	Événement dangereux	Blessure
1	Espace clos	Atmosph.	Intox.	Résidu de diesel	Être dans la citerne	Entrant	Concentration hors norme	Maux de tête
2	Espace clos	Chute	Chute hauteur	Entrée en hauteur	Monter sur la citerne Être sur la citerne	Entrant Surveillant	Glissade	Fracture Décès
3	Espace clos	Ergo.	Entrée sortie	Ouverture <24''	Entrer dans la citerne	Entrant	Trop forcer pour entrer	Contusion TMS
4	Espace clos	Méca.	Mobilité espace	L'espace fixé à un véhicule	Être sur, dans ou à proximité de la citerne	Tous les intervenants	Démarrage intempestif	Contusion Fracture
5	Travail à faire	Atmosph.	Explosion Incendie	Énergie liée au soudage	Entrer dans la citerne	Entrant	Concentration >10% LIE	Décès
6	Travail à faire	Physique	Rayon. optique	Soudage	Être exposé aux rayonnements	Entrant	Exposition hors-norme	Trouble de la vision

4.2.1.3 Étape 3. Estimation du risque

L'élaboration de l'étape d'estimation du risque a été basée sur l'outil proposé dans la norme australienne AS/NZ 2865:2001. D'ailleurs, il s'agit du seul outil d'estimation du risque suggéré dans une norme sur les espaces clos (Tableau 28) (Standards Australia, 2001). Les recommandations issues de la littérature pour concevoir les outils d'estimation du risque ont été prises en compte pour modifier la matrice australienne. Ces recommandations couvrent notamment l'architecture des matrices (ISO, 2010; Duijm, 2015; Chinniah et coll., 2011; Gauthier et coll., 2012; Cox, 2008), l'évaluation subjective des paramètres ainsi que l'élaboration des échelles de gravité et de probabilité (Carey et Burgman, 2008; Patt et Schrag, 2003; Hubbard et Evans, 2010).

Tableau 21 - Matrice de risque proposée par la norme AS/NZ 2865:2001 (Traduction libre (voir ANNEXE H))

	Gravité				
	1 Négligeable Pas de blessure ou de maladie	2 Mineure Premiers soins, déversement sur site maîtrisé immédiatement	3 Modérée Soins médicaux nécessaires, déversement toxique sur site maîtrisé sans aide extérieure	4 Majeure Blessures graves, déversement toxique hors site sans effet néfaste	5 Catastrophique Décès, déversement toxique hors site avec effets néfastes
Probabilité					
A – Très probable: l'événement devrait se produire dans la plupart des cas	I	I	E	E	E
B - Probable: l'événement aura lieu à un moment donné	M	I	I	E	E
C - Possible: l'événement devrait avoir lieu à un moment donné	F	M	I	E	E
D - Improbable: l'événement pourrait avoir lieu à un moment donné	F	F	M	I	E
E – Très improbable: l'événement ne peut avoir lieu que dans des circonstances exceptionnelles	F	F	M	I	I
AVEC: F -FAIBLE: GESTION PAR DES PROCÉDURES COURANTES; M - MOYEN: RESPONSABILITÉS DU GESTIONNAIRE À PRÉCISER; I - IMPORTANT: INTERVENTION D'UN GESTIONNAIRE SENIOR NÉCESSAIRE; E - ÉLEVÉ: RECHERCHE DÉTAILLÉE ET PLANIFICATION DES ACTIONS À UN HAUT NIVEAU DE GESTION.					

Les critères de construction qui ont été pris en considération lors de la modification des échelles de gravité et de probabilité d'occurrence du dommage sont : (i) garder le processus d'estimation simple; (ii) éviter d'être trop strict dans la définition des niveaux, laisser la place au raisonnement de l'utilisateur puisque les estimations du risque se font lors d'une phase préparatoire; (iii) définir clairement ce que signifient les paramètres (ex. : référence temporelle pour la probabilité d'occurrence); (iv) utiliser entre trois et cinq niveaux pour la gravité et la probabilité d'occurrence du dommage; (v) éviter de créer trop de discontinuités ou d'écarts entre les niveaux des paramètres; (vi) éviter l'emploi d'un terme vague sans explication pour définir le seuil d'un paramètre et (vii) pouvoir sélectionner tous les risques sur la même échelle de gravité et de probabilité pour une estimation harmonisée.

Le Tableau 22 et le Tableau 23 détaillent respectivement les échelles de gravité et de probabilité d'occurrence du dommage, modifiées. Pour la gravité du dommage, les définitions des niveaux ont été étoffées en ajoutant une description et des exemples. Des références chiffrées basées sur des valeurs réglementaires internationales ou québécoises ont également été ajoutées pour chaque type de phénomène dangereux.

Pour la probabilité d'occurrence, la référence temporelle retenue a été la durée de l'intervention afin de centrer l'estimation sur l'intervention et réduire les paramètres à prendre en compte. De plus, le niveau de probabilité *Moderate* présent dans la norme AS/NZ 2865:2001 a été enlevé dans le but d'avoir une répartition mieux ventilée des choix (c.-à-d. réduire les chevauchements de définitions). Enfin, des critères ont été ajoutés afin de faciliter le choix de la probabilité (Tableau 23). Ces critères ont été répartis selon les trois sous-paramètres de probabilité d'occurrence du dommage utilisés en sécurité des machines (c.-à-d. exposition au phénomène dangereux, probabilité d'occurrence de l'événement dangereux, possibilité d'évitement ou de limitation du dommage) (ISO, 2010; Aneziris et coll., 2013).

Enfin, des ajustements ont été faits sur les résultats donnés par la matrice australienne (c.-à-d. le niveau de risque obtenu) en prenant en compte des recommandations sur la répartition des niveaux de risque dans une matrice (ex. : *weak consistency, betweenness*) (Cox, 2008; 2009; Gauthier et coll., 2012). Toutefois, plutôt que de prendre une approche totalement théorique/quantitative, la répartition a été faite en prenant en compte les définitions réelles des différents niveaux des deux paramètres (tableau 24). Par exemple, une gravité de premier niveau (c.-à-d. négligeable) ne peut pas engendrer un niveau de risque « 3 » sur les quatre niveaux de probabilité d'occurrence du dommage. Finalement, aucun terme n'a été associé aux quatre niveaux de risque (contrairement à l'exemple de la norme australienne avec *low, moderate, significant* et *high*) afin de ne pas influencer l'utilisateur lors de l'étape d'évaluation du risque subséquente (c.-à-d. est-ce que le risque est acceptable?). Seuls des chiffres de 1 à 4 sont utilisés, 1 étant le niveau de risque le plus faible et 4 le niveau de risque le plus élevé.

À noter que les conditions et le processus de sauvetage ne sont pas pris en compte lors de cette estimation du risque, ils sont plutôt traités subséquemment comme un facteur aggravant global si le sauvetage devra être effectué en entrant dans l'espace clos. En effet, le processus de sauvetage intervient après que le risque se soit matérialisé.

Tableau 22 - Échelle de gravité du dommage proposée et critères de choix associés à chaque type de phénomène dangereux

Niveau		Description - Gravité la plus probable susceptible de résulter
1	Négligeable	Ne requiert pas de premiers secours.
2	Mineur	Requiert des soins, sans arrêt de travail. Exemples: égratignure, contusion, irritation légère.
3	Sérieux	Requiert des soins médicaux, avec arrêt de travail. Exemple : entorse, fracture simple, vomissement, brûlure.
4	Majeur	Traumatisme important, invalidité de longue durée. Exemples : fractures multiples, amputation, atteinte aiguë du système respiratoire.
5	Catastrophique	Décès d'un ou plusieurs intervenants

Atmosphérique/Chimique/Biologique :

- Type de produit/substance, catégorie de matière dangereuse, effets cliniques connus.
- Concentration anticipée et comparaison aux valeurs d'exposition admissibles.
- Temps d'exposition anticipé, parties du corps exposées.

Note : Consulter les valeurs d'exposition admissibles en vigueur.

Chute :

- Hauteur de travail maximale.
- Type surface et obstacle au niveau inférieur.
- Cinématique de chute prévisible.

Note : La réglementation au Québec fixe à 3 mètres de hauteur l'obligation de porter un harnais de sécurité.

Mécanique :

- Masse, forme et vitesse des pièces
- Force/couple/pression en jeu dans les systèmes.

Note : À titre d'exemple, la norme ISO14120 (2002) sur les protecteurs propose des forces de 75-150 N et des énergies cinétiques de 4-10 J pour limiter les risques de blessures.

Physique :

- Intensité du phénomène physique (ex. : ampère, volt, décibel, température, dose radioactive, longueur d'onde, accélération) et comparaison à des valeurs de référence, lorsque disponibles.
- Temps d'exposition dans le cas des rayonnements, bruit et vibrations.

Note :

Électricité : Selon la norme CSA Z462 (2015), pour un courant alternatif de 60 Hz, une intensité de 40 mA peut être fatale (fibrillation cardiaque) si le contact dure une seconde ou plus.

Température (brûlure par contact) : Selon la norme ISO 13732-1, à 70 °C, pour une surface métallique lisse, une seconde suffit pour provoquer une brûlure du second degré (Moritz, 1947; ISO, 2006).

Bruit : Le RSST offre des valeurs réglementaires au Québec (ex. : max. 90 dBA pour une exposition continue de 8 h; nombre d'impacts permis pendant 8 h pour un niveau de bruit de 120-140 dB linéaire valeur de crête) (Gouvernement du Québec, 2016)

Rayonnement ionisant : Selon la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), la limite annuelle de dose efficace pour des travailleurs exposés aux rayonnements, établie sur une période glissante de cinq ans, est de 20 mSv. Au-delà de 50 mSv, l'évacuation est recommandée (Wrixon, 2008).

Rayonnement non ionisant : Par exemple, selon l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®), pour des champs électriques de 60 Hz, la limite d'exposition est fixée à 25 kV/m. Pour des champs magnétiques de 60 Hz, la limite d'exposition est fixée à 1 mT (ACGIH®, 2016). D'autres valeurs de référence sont disponibles (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2010; IEEE, 2002).

Vibration : Selon l'ACGIH®, pour l'exposition des mains aux vibrations, la valeur maximale de l'accélération pondérée en fréquence (m/s²) dans n'importe quelle direction est de 12 m/s² pour une exposition inférieure à 1 h. Elle est de 4 m/s² pour 4 à 8 h d'exposition (ACGIH®, 2016).

Ergonomique (physique) :

- Poids et forme des charges à déplacer, type et longueur des déplacements.
- Contraintes thermiques.
- Posture de travail et contorsion.
- Niveau d'éclairage, pression ambiante.

Note : La réglementation au Québec offre des valeurs de référence concernant les efforts physiques jumelés aux contraintes thermiques. Elle offre des niveaux d'éclairage références en fonction de la tâche (Gouvernement du Québec, 2016).

Tableau 23 - Échelle de probabilité d'occurrence du dommage et critères à prendre en compte

Niveau		Description - Possibilité que le dommage se concrétise lors de l'intervention
A	Très probable	Le dommage est inévitable lors de l'intervention.
B	Probable	Le dommage pourrait survenir lors d'une intervention.
C	Improbable	Le dommage ne devrait pas survenir lors de l'intervention.
D	Très improbable	Le dommage ne surviendra sans doute jamais lors de l'intervention.
<p>Il faut prendre en compte :</p> <p>L'exposition au phénomène dangereux :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ la durée totale de l'intervention (ex. : risque atmosphérique, biologique, chimique, ergonomique) ▪ la durée d'utilisation de certains dispositifs (ex. : risques mécaniques, physiques) ▪ le nombre d'entrée/sortie prévue (ex. : risques de chute), ▪ le nombre de travailleurs exposés <p>La probabilité d'occurrence de l'événement susceptible de causer un dommage :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ l'historique d'incident pour ce type d'intervention et d'espace clos ▪ la durée écoulée depuis la dernière ouverture de l'espace clos qui peut influencer les conditions dans l'espace ▪ le contenu passé ▪ la possibilité d'avoir des conditions changeantes <p>La possibilité d'évitement ou de limitation du dommage :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les connaissances acquises sur l'espace clos et le travail à faire ▪ L'entretien de l'espace clos ▪ Les conditions physiques et psychologiques requises pour l'entrant 		

Tableau 24 - Matrice de risque proposée pour l'estimation du risque

Probabilité d'occurrence du dommage	Gravité du dommage				
	Négligeable	Mineur	Sérieux	Majeur	Catastrophique
Très probable	2	3	3	4	4
Probable	1	2	3	4	4
Improbable	1	2	2	3	4
Très improbable	1	1	1	2	3

4.2.1.4 Étape 4. Synthèse de l'estimation du risque

L'étape de synthèse permet de présenter les risques liés à l'intervention en exploitant les données obtenues à l'étape de l'estimation du risque. La synthèse est faite à l'aide d'un graphique de type « radar ». Ce type de graphe permet de réunir sur un même diagramme les informations liées à la famille des risques, aux niveaux des risques et à l'origine des risques (c.-à-d. configuration de l'espace clos ou nature des travaux). Les branches du radar correspondent aux sept familles de risques établies. La valeur (c.-à-d. 1 à 4) associée à chaque branche du radar correspond au niveau de risque le plus élevé atteint parmi les risques que cette famille de risques inclut. L'approche du maximum est la plus « sévère », car il faut que tous les risques d'une famille de risques associés au niveau le plus haut soient réduits pour diminuer le niveau de risque de cette famille. La figure 8 présente la synthèse pour l'exemple présenté plus tôt. Sans mesure de réduction du risque, les risques atmosphériques (explosion, intoxication), de chute de hauteur,

mécaniques (mobilité de l'espace), et physiques (rayonnements, température, bruit) prédominent dans cet exemple.

Ce graphique peut être fractionné en deux afin de répartir les risques selon qu'ils sont (i) inhérents à l'espace clos et à son environnement (Tableau 18 , Q.1-14) ou (ii) liés au travail à faire (Tableau 18, Q.15-26). En complément d'information, un indice comptabilise les familles de risques parmi les sept qui dépassent un seuil de risque acceptable fixé par l'organisme (ex. : supérieur à 2). À ce chiffre, un (+) est ajouté si un sauvetage sans entrée n'est *a priori* pas possible. La valeur de l'indice est donc comprise entre 0/7 et 7/7+. Pour faire référence à la réglementation de l'OSHA, dès que l'indice est plus grand que 0/7 sans mesure de réduction du risque, cette intervention doit être considérée comme PRCS. Cet indice fournit un critère objectif pour répondre à la notion de risque sérieux présentée dans la réglementation de l'OSHA (notion qui permet de différencier entre un PRCS et un non-PRCS). Pour l'exemple retenu, en fixant le risque acceptable à « 2/4 » et en considérant que le sauvetage sans entrée n'est *a priori* pas possible, l'indice est de 4/7+ (atmosphérique, chute, mécanique, physique).

La catégorisation des interventions en espace clos proposée n'est donc pas constituée d'un nombre fixe de catégories, mais plutôt basée sur une synthèse associant la nature (famille), l'origine et le niveau des risques présents.

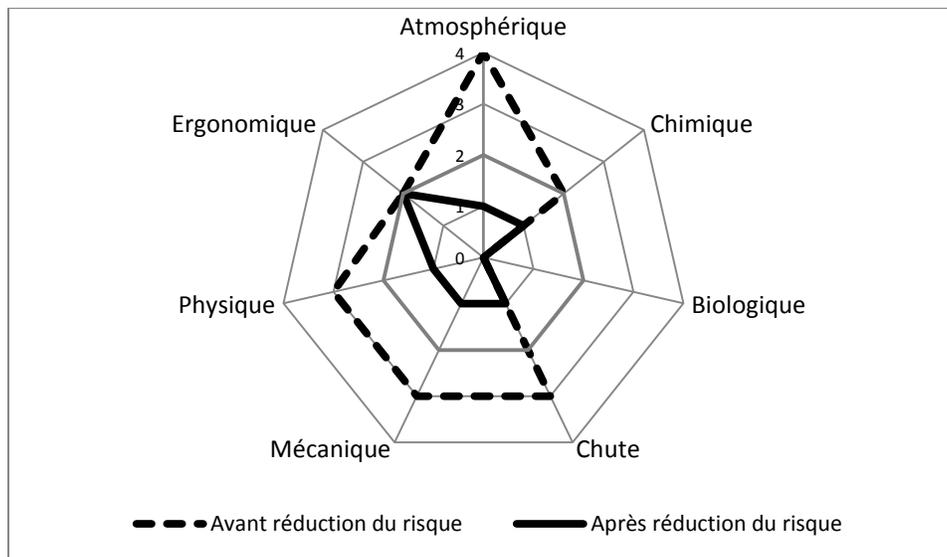


Figure 8 - Synthèse de l'estimation du risque avant et après réduction du risque appliquée à l'exemple retenu

4.2.1.5 Étape 5. Réduction du risque et rétroaction

Les stratégies de réduction du risque couramment utilisées lors des interventions en espace clos sont présentées au tableau 25 (ISO, 2010; ANSI/ASSE, 2011a; AIHA, 2014). Leur impact sur les composants du risque (c.-à-d. gravité et probabilité d'occurrence) est également suggéré. Pour rappel, l'élimination ou la réduction des risques à la source devrait être privilégiée lors de la

conception d'un espace clos. De plus, on devrait toujours réduire le risque autant que possible si on ne peut l'éliminer.

Tableau 25 - Principes de mesures de réduction du risque et impact sur les composantes du risque

Mesure de réduction du risque		Impact* sur la réduction du risque	
		Gravité	Probabilité
1.	Éliminer le risque dès la conception Ex. : éliminer l'espace clos, une source d'énergie, des formes dangereuses, l'utilisation d'un produit toxique, la possibilité d'entrée.	++	++
		Les phénomènes dangereux ou l'exposition sont supprimés.	
2.	Réduire dès la conception l'intensité du phénomène dangereux Ex. : limitation des efforts d'entraînement, des vitesses, de l'ampérage, des décibels, des rayonnements, des vibrations, des concentrations de produits dangereux; substitution de produits; augmentation de l'espace pour l'entrant, etc.	++	0
		L'intensité du phénomène dangereux est diminuée dès la conception/de façon intrinsèque. L'exposition reste la même.	
3.	Réduire dès la conception le besoin d'entrer Ex. : sortir/déplacer certains éléments de l'espace clos; utilisation d'outil depuis l'extérieur, de robot ou de caméra; maintenance préventive comme (i) des dispositifs d'autonettoyage, (ii) des matériaux, une structure, des traitements de surface durables.	0	++
		Le phénomène dangereux en tant que tel n'est pas traité. Toutefois, l'exposition au phénomène dangereux est minimisée.	
4.	Incorporer des moyens de protection collectifs Ex. : protecteurs, garde-corps, échelle/plate-forme adaptée, point d'ancrage, ventilation permanente.	+	+
		Un moyen de protection collectif peut permettre de limiter l'intensité et l'exposition au phénomène dangereux. Toutefois, la source du phénomène dangereux n'est pas traitée.	
5.	Appliquer des procédures techniques Ex. : cadenassage, isolation des canalisations, ventilation portative, nettoyage/vidange de l'espace clos avant l'entrée.	+	+
		Si bien appliquée, une procédure technique permet de limiter le phénomène dangereux et l'exposition. Toutefois, le phénomène dangereux n'est pas traité de façon intrinsèque	
6.	Appliquer des procédures administratives Ex. : relevés des gaz, avertissements, pictogrammes, communication, surveillance, diminution du temps d'entrée, rotation des travailleurs.	0	+
		Si bien appliquée, une procédure administrative permet de limiter les expositions à risque. Le phénomène dangereux n'est pas traité.	
7.	Utiliser des ÉPI Ex. : harnais, protection respiratoire, protection auditive, chaussures de sécurité, casque, gants, protection oculaire, combinaison, etc.	0	+
		Si bien utilisé, un ÉPI permet de limiter les expositions à risque. Son ajout ne modifie pas le phénomène dangereux	

* 0 : Aucun impact; + : impact modéré; ++ impact important

Après avoir appliqué les moyens de réduction du risque, une rétroaction doit être faite pour estimer les risques résiduels. Les résultats liés à ces risques résiduels sont présentés sous la même forme que précédemment (graphique de type « radar »). Les risques avant et après la réduction du risque peuvent ainsi être comparés, comme à la figure 8. Pour l'exemple retenu, afin d'avoir un indice de 0/7 après réduction du risque, il a été choisi de mettre en place en plus du nettoyage de la citerne, un surveillant, une ventilation par dilution dans plusieurs

compartiments et une ventilation par extraction dans le compartiment où a lieu la soudure, une détection des gaz, les équipements de protection individuelle adaptés au travail de soudure (ex. : gants, casque de soudage, bouchons pour les oreilles), un contrôle de la clé de démarrage du camion, la mise en place de cales de roue et un harnais attaché à un point d'ancrage au-dessus du camion. Le risque ergonomique lié à la taille de l'entrée n'a pas été réduit.

4.2.2 Validation de l'outil

L'application de l'outil d'analyse du risque et catégorisation auprès de préventeurs dans dix organismes ainsi que sa comparaison à d'autres outils disponibles ont permis de faire ressortir sa pertinence, son originalité, mais aussi ses limites.

4.2.2.1 Appréciation de l'outil par des préventeurs

Les préventeurs ayant participé aux tests ont apprécié l'outil. Pour preuve, au-delà des avis positifs, les critiques obtenues n'ont pas porté sur les principes mêmes de la démarche, mais plutôt sur l'exhaustivité et la précision de certaines propositions. Les suggestions ont porté sur la formulation des questions, les critères pour déterminer les conditions de sauvetage *a priori*, l'exhaustivité des listes et des choix de réponses, la clarté de la synthèse et l'automatisation de la démarche. Ces éléments ont été corrigés au fil des versions testées.

Selon les préventeurs interrogés, la démarche répond à leur besoin de structuration et d'exhaustivité lors de la préparation des entrées en espace clos. La caractérisation de la situation totalement spécifique aux interventions en espace clos a sans aucun doute été l'élément le plus apprécié et le plus facilement transposable en entreprise (Tableau 18). Les autres points utiles selon les préventeurs sont (i) la liste de risques potentiels qui facilite le travail de l'utilisateur, (ii) les repères chiffrés pour pouvoir justifier certaines demandes auprès des décideurs, (iii) les conditions de sauvetage déterminées *a priori* pour forcer la réflexion des intervenants sur ce point, (iv) la synthèse visuelle pour la communication des risques aux travailleurs et (v) la comparaison de la situation avant et après la réduction des risques pour des questions de diligence raisonnable ou de justification du budget liées à la prévention lors des appels d'offres.

4.2.2.2 Comparaison

Les résultats obtenus par l'équipe de recherche au cours des douze tests (c.-à-d. quatre outils avec trois scénarios) sont présentés au tableau 26. La première colonne du tableau liste les risques identifiés avec les quatre outils pour les trois scénarios. Lorsqu'une case est vide, cela signifie que le risque concerné n'a pas été identifié lors de l'utilisation de l'outil pour le scénario considéré. Ainsi, ce tableau permet de comparer les risques identifiés avec chaque outil et les niveaux de risque estimés pour les outils B, C et D. Les niveaux de risque sont précisés sous la forme « niveau de risque estimé/nombre de niveau de risque dans l'outil ».

En se basant sur les résultats du tableau 6 et du tableau 26, le

tableau 27 présente les avantages et les inconvénients des quatre outils testés (Burlet-Vienney et coll., 2016). Les outils de type liste de vérification et échelle de risque, privilégiés en entreprise, se sont révélés être des outils rapides d'utilisation, basés sur l'instinct et qui donnent des résultats

convenables par rapport aux autres outils. Leurs limites se situent dans le manque de contextualisation des risques identifiés (ex. : pas d'information sur la source et l'origine du risque) et leur dépendance plus importante à la compétence de l'utilisateur pour l'identification des risques, surtout dans le contexte multirisque des espaces clos. La probabilité d'omettre des risques est élevée, limitant ainsi la portée de ces outils. Leur utilisation s'oriente ainsi vers une première analyse globale de la situation. L'outil proposé dans ce rapport de recherche et l'outil de type calcul de risque sont des approches plus systématiques qui permettent de se questionner sur les risques, d'identifier les facteurs de risque et de documenter le processus d'analyse. Leur utilisation permet de soutenir le processus de réduction du risque en fournissant des critères pour évaluer l'acceptabilité des risques et les risques résiduels. L'utilisation de ces outils peut conduire à des résultats plus homogènes d'un utilisateur à l'autre à condition que l'architecture de la matrice de risque soit exempte de biais manifeste (ex. : définitions insuffisantes ou incohérentes des niveaux des paramètres, influence prédominante d'un paramètre). Ces outils demandent plus de temps d'analyse que d'autres, ce qui peut limiter leur utilisation en entreprise.

Tableau 26 – Résultats de l'identification et de l'estimation des risques en appliquant les quatre outils testés sur les trois scénarios

Outil* / Risque	Scénario n° 1				Scénario n° 2				Scénario n° 3			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Manque d'oxygène	X	1/4	1/3	2/4	X	2/4	2/3	2/4	X	2/4	2/3	3/4
Éléments souillés/rouillés	X	1/4	1/3	2/4	X	2/4	3/3	2/4				
Circulation	X	2/4	3/3	4/4	X	2/4	3/3	4/4				
Chute de hauteur (vide)	X	3/4	3/3	4/4	X	3/4	3/3	4/4	X	2/4	3/3	4/4
Chute de hauteur (lors de l'entrée)			3/3	4/4			3/3	4/4			2/3	2/4
Chute de plain-pied	X	2/4	2/3	2/4	X	2/4	2/3	2/4	X		2/3	3/4
Chute d'objet	X	2/4	3/3	4/4	X	2/4	3/3	3/4			1/3	1/4
Outils (mouvements, coupure)			2/3	2/4	X	2/4	1/3	2/4				
Animaux (morsure, stress)				2/4				2/4				
Exposition au climat				2/4				2/4				
Contaminant toxique					X	2/4	3/3	3/4	X	3/4	3/3	4/4
Introduction substances, noyade					X	2/4	1/3	1/4	X	2/4	1/3	1/4
Électricité					X	2/4	2/3	2/4	X	3/4	3/3	3/4
Thermique ambiante					X	2/4	1/3	2/4	X	1/4	1/3	2/4
Bruit					X				X		3/3	3/4
Entrée/sortie restreinte									X	2/4	1/3	2/4
Explosion, incendie									X	3/4	3/3	4/4
Produit chimique (résidu)									X	2/4	1/3	2/4
Produit chimique (autres)												2/4
Thermique surface									X	3/4	3/3	3/4
Posture de travail											2/3	2/4
Mouvement véhicule									X	3/4	2/3	3/4
Rayonnement										4/4	3/3	4/4
Entrée/sortie restreinte									X	2/4	1/3	2/4
Effort physique												2/4

* Outil A : Fiche d'analyse du risque d'une entreprise
Outil C : UK Ministry of Defence

Outil B : Government of South Australia
Outil D : Outil développé dans cette étude

Tableau 27 - Avantages et limites répertoriées pour chaque type de méthode pour l'identification et l'estimation du risque

Identification des risques	Avantage	Limite
Type liste de vérification	<ul style="list-style-type: none"> • Rapide, efficace • Intuitif • Vision d'ensemble convenable • Facilement utilisable sur le terrain 	<ul style="list-style-type: none"> • Manque d'exhaustivité, de systématisation • Variabilité entre les utilisateurs, selon leur compétence • Pas d'information sur la source et l'origine du risque. Il faut refaire l'analyse au complet lors d'un changement d'intervention
Type questionnaire-suggestion (outil proposé dans ce rapport)	<ul style="list-style-type: none"> • Approche dynamique, plus exhaustive et systémique • Risques contextualisés. Pas besoin de reprendre l'analyse au complet lors d'un changement d'intervention • Utile lors de l'étape de conception 	<ul style="list-style-type: none"> • Processus relativement long • Doit être utilisé par une personne qualifiée et dont une partie doit être complétée à l'avance au bureau
Estimation des risques	Avantage	Limite
Type intuitif ou échelle de risque	<ul style="list-style-type: none"> • Rapide, efficace • Niveaux de risque obtenus proches de ceux des outils analytiques • Facilement utilisable sur le terrain 	<ul style="list-style-type: none"> • Facteurs de risque pas explicités et documentés • Variabilité entre les utilisateurs, selon leur compétence
Type calcul de risque ou matrice de risque (outil proposé dans ce rapport)	<ul style="list-style-type: none"> • Questionnement et documentation des facteurs de risque • Critères pour l'acceptabilité des risques et évaluation de l'efficacité de la réduction des risques mise en place • Meilleure convergence des résultats entre les utilisateurs si la matrice de risque est adéquate • Utile lors de l'étape de conception, mais aussi pour évaluation des procédures sur des espaces clos existants 	<ul style="list-style-type: none"> • Processus long • Estimation qui demeure qualitative et en partie subjective, et qui doit être considérée comme telle. • Doit être utilisé par une personne qualifiée. Une partie doit être complétée à l'avance au bureau

L'outil proposé dans ce rapport se distingue par sa structure qui reprend formellement toutes les étapes suggérées dans les normes en gestion du risque. Également, il se distingue par l'exhaustivité de l'étape de l'identification des risques en questionnant l'utilisateur sur les facteurs de risque liés à la configuration de l'espace clos, à son environnement de travail et à l'intervention. Les résultats de l'estimation du risque se comparent à ceux de l'outil « calcul du risque ». Enfin, l'outil proposé exploite l'identification et l'estimation des risques en permettant une catégorisation des risques et des conditions de sauvetage *a priori*, ce que les autres outils ne font pas.

4.2.2.3 Limites de l'outil proposé

La démarche proposée tente de répondre à la complexité des interventions en espace clos. Ainsi, cette démarche s'adresse seulement à des personnes qualifiées qui possèdent les connaissances à ce type d'intervention et en matière de gestion des risques. Ces connaissances doivent lui permettre de répondre adéquatement aux questions de la première étape pour ne pas biaiser les résultats qui en découlent. Dans le même ordre d'idée, cette méthode ne doit pas être utilisée juste avant une entrée dans un espace clos, car elle demande du temps pour la compléter. Enfin, l'outil ne supprime pas totalement la part de subjectivité inhérente à ce type d'analyse (ex. : estimation du risque).

Les préventeurs interrogés ont été unanimes sur le fait que la viabilité de la démarche en entreprise, surtout celles qui gèrent un grand nombre d'espaces clos, passe par un développement informatique qui optimisera son utilisabilité et le potentiel d'utilisation des données obtenues. L'utilitaire Excel© conçu pour les tests était un premier pas dans ce sens afin de montrer le réel potentiel de l'outil. L'étape suivante devra se dérouler dans le cadre d'une activité de valorisation subséquente en collaboration avec nos partenaires.

Par ailleurs, l'impact des modifications apportées à l'outil d'estimation du risque de la norme australienne est difficile à évaluer. L'estimation de la probabilité d'occurrence du dommage reste particulièrement sujette à interprétation. Toutefois, des efforts ont été faits en définissant une période de référence et en énumérant les facteurs à prendre en compte dans le cas des entrées en espace clos. Enfin, il faut noter que plusieurs travaux sur les matrices qualitatives ont soulevé des problèmes de fiabilité et d'interprétation avec cette méthode (Cox, 2008; Ball et Watt, 2013; Hubbard et Evans, 2010). Toutefois, les matrices de risque apportent un soutien dans les cas où une quantification des données n'est pas possible (Duijm, 2015) comme lors des interventions en espace clos.

5 CONCLUSION

5.1 Synthèse des résultats

L'analyse des statistiques et des rapports d'accidents mortels liés aux interventions en espace clos indique une méconnaissance des risques par les intervenants, et une absence d'analyse des risques, de procédures de travail et de procédures de sauvetage lors de ces interventions. Certaines entreprises éprouvent donc des difficultés à appliquer la réglementation relative aux interventions en espace clos. Ainsi, notre approche au cours de cette recherche a été de développer des connaissances et un outil d'appréciation du risque adapté aux particularités du travail en espace clos afin d'aider les entreprises à appliquer les obligations réglementaires existantes. L'outil favorise la communication des risques et la prise de décision lors du processus d'élimination et de réduction du risque. Ainsi, certaines lacunes observées dans la littérature et dans des entreprises qui gèrent activement leurs risques en espaces clos ont été prises en considération.

Les besoins liés au développement d'un tel outil ont été déterminés par les résultats d'une revue de la littérature portant sur la gestion des risques en espace clos, de l'analyse des accidents mortels en espace clos au Québec et de l'étude de la gestion des risques dans quinze organismes et entreprises. Premièrement, le nombre d'accidents mortels attribuables à un problème de maîtrise des énergies liées à de la machinerie a révélé l'importance des phénomènes dangereux mécaniques dans les espaces clos. Une approche davantage multidisciplinaire semble donc souhaitable. Deuxièmement, les étapes d'estimation et d'évaluation du risque sont peu formalisées dans la littérature, hormis pour les risques atmosphériques. La littérature sur les espaces clos permet avant tout d'identifier les phénomènes dangereux lors des différentes interventions. Les principaux outils suggérés dans la littérature pour l'analyse du risque en espace clos sont souvent incomplets et ne tiennent pas compte de certains facteurs particuliers comme les caractéristiques physiques de l'espace clos, les conditions de sauvetage, les risques de nature variée, ou encore la condition physique et psychologique de la personne qui y entre. De plus, aucun des organismes visités n'estimait les risques, se basant uniquement sur l'expérience de l'émetteur de permis. Cette façon de faire peut mener, dans certaines circonstances, à une mauvaise appréciation des risques (ex. : oubli ou sous-estimation) et éventuellement à des mesures de réduction du risque inadéquates. Troisièmement, dans la littérature, la notion d'espaces clos similaires pour alléger le travail d'analyse du risque ne repose sur aucun critère d'évaluation pratique. Le concept de catégorisation des espaces clos décrit dans la littérature afin de faciliter la gestion et la communication des risques est peu exploré sur le terrain. Quatrièmement, lors des visites sur le terrain, les procédures de sauvetage n'étaient majoritairement ni éprouvées ni communiquées au service des incendies. Enfin, les conditions d'utilisation et les travaux effectués dans les espaces clos devraient être envisagés dès la conception afin de supprimer ou de limiter les risques. Les conditions d'accès et l'adéquation des équipements sont des exemples tirés de l'analyse des accidents. Certaines recommandations, comme le contenu requis du permis d'entrée, la planification d'audits et la gestion des sous-traitants, ont été émises pour favoriser l'application des autres mesures de réduction du risque (ex. : ventilation, protection respiratoire).

Basé sur ces constats, un outil d'analyse du risque et de catégorisation des interventions en espace clos en cinq étapes qui reprend les principes des normes en gestion du risque a été développé. L'étape 1 est une liste de 26 questions fermées permettant de caractériser l'espace clos, son environnement et les conditions d'intervention. Les réponses génèrent une liste de risques répartis en sept familles (c.-à-d. atmosphérique, chimique, biologique, chute, mécanique physique et ergonomique). Cette étape assure une identification rigoureuse et multidisciplinaire des risques. L'étape 2 permet de décrire les risques retenus par l'utilisateur (c.-à-d. processus accidentel lié). L'étape 3 consiste à estimer le risque avec une matrice de risques, des paramètres et des critères adaptés. L'étape 4 propose une catégorisation graphique par familles et niveaux de risque. Les conditions de sauvetage *a priori* sont également évaluées à l'aide de critères objectifs. Enfin, l'étape 5 est une boucle de rétroaction permettant d'estimer les risques résiduels une fois les mesures de réduction du risque choisies. L'utilisation de cet outil permet de déterminer à l'aide de critères explicites (i) si deux espaces clos sont réellement identiques, (ii) si l'intervention correspond à la définition d'un PRCS, (iii) si le sauvetage sans entrée est *a priori* possible et (iv) si les risques sont suffisamment réduits. L'utilité et la pertinence de cet outil ont été confirmées lors de tests avec une version automatisée sous Excel© auprès de 22 experts en espace clos. L'outil répond à leur besoin de structuration et d'exhaustivité lors de la préparation des entrées en espace clos.

En complément, l'outil d'appréciation du risque développé a été comparé à trois autres outils préconisés dans la littérature ou en entreprise pour l'analyse du risque consacrée aux interventions en espace clos. Trois approches distinctes ont été testées sur trois scénarios à risque à savoir une liste de vérification sans estimation du risque, une liste de vérification avec échelle de risque, et une matrice de risque sans étape formelle pour l'identification des risques. L'outil conçu dans le cadre de cette recherche se distingue des autres outils par (i) son approche systématique qui permet de se questionner sur les risques, d'identifier les facteurs de risque et de documenter le processus d'analyse, (ii) sa structure qui reprend formellement toutes les étapes suggérées dans les normes en gestion du risque, (iii) l'exhaustivité et la multidisciplinarité de l'étape de l'identification des risques, (iv) les critères de choix détaillés et des définitions de niveaux de paramètres pour l'estimation du risque et (v) l'exploitation des résultats de l'identification et de l'estimation des risques en proposant une catégorisation des risques et des conditions de sauvetage *a priori*.

Ainsi, l'outil élaboré permet de soutenir le processus de réduction du risque en communiquant les risques et en fournissant des critères pour évaluer les conditions de sauvetage *a priori* et les risques résiduels. Aussi, le questionnaire de l'étape 1 peut soutenir le processus de conception sécuritaire.

5.2 Limites et pistes de recherche

Les échantillons d'entreprises et de participants qui ont été prévus dans notre méthodologie n'ont pas de portée statistique. La méthodologie en place avait pour objectif d'explorer la variété des situations plus que leur représentativité. Le critère qui a été fixé pour le nombre d'entrevues (entre dix et quinze) est basé sur le principe de saturation (Gillham, 2000). Il faut également rappeler que le secteur agricole n'a pu être inclus dans l'échantillon pour des raisons méthodologiques (c.-à-d. avoir un programme de gestion) et de recrutement.

De plus, les organismes et les préventeurs rencontrés lors de ces travaux de recherche proviennent uniquement de la province du Québec. Les besoins exprimés et pris en considération sont donc liés aux exigences réglementaires et aux conditions de travail de cette province.

L'outil proposé ne peut pas être utilisé juste avant une entrée dans un espace clos. Il doit l'être lors du processus de planification de l'intervention par une personne qualifiée. De plus, selon nos tests, la durée moyenne pour étudier un scénario à risque est d'une vingtaine de minutes. Il s'agit d'une limite dans le cadre d'une utilisation en entreprise. Les petites entreprises sont particulièrement concernées par ce point puisqu'elles n'ont pas toujours les ressources nécessaires en SST. Aussi, cet outil sera particulièrement intéressant pour traiter des cas complexes et lorsque l'urgence n'est pas une contrainte. Enfin, les préventeurs interrogés ont été unanimes sur le fait que la viabilité de la démarche en entreprise passe par un développement informatique professionnel qui optimisera l'utilisabilité et le potentiel des données obtenues. Ce type de développement dépasse toutefois les objectifs de cette recherche et devra faire l'objet d'une activité de valorisation en collaboration avec nos partenaires.

Également, la liste de risques potentiels proposée à la suite du questionnaire pourrait être optimisée en effectuant des analyses croisées des réponses ou encore en utilisant un algorithme d'apprentissage incrémental³ basé sur les données issues d'un nombre important d'analyses. Un tel algorithme d'apprentissage pourrait même à terme réduire le nombre de questions nécessaire pour passer en revue l'ensemble des facteurs de risque et orienter les choix du niveau des paramètres lors de l'estimation des risques. Enfin, le développement informatique de l'outil pourrait s'intégrer dans le processus global de gestion des risques pour les entrées en espace clos. En s'appuyant sur des travaux de recherche complémentaires, l'utilisation des résultats des analyses de risque pourrait permettre la génération automatique des permis d'entrée.

Enfin, la conception sécuritaire étant le moyen le plus efficace de réduire les risques (tableau 25), une autre avenue de recherche possible serait d'utiliser cet outil comme point de départ pour établir des critères de conception sécuritaire des espaces clos (ex. : silos, égouts, traitement des eaux).

³ Algorithme qui apprend en recevant des données d'entrée et les résultats associés. L'algorithme peut, à terme, prédire le résultat optimal à partir des données d'entrées (Borodin et El-Yaniv, 1998).

BIBLIOGRAPHIE

- Abelmann, A., Lacey, S.E., Gribovich, A., Murphy, C., Hinkamp D., 2011. Hazard evaluation and preventive recommendations for an unusual confined space issue in an opera set design. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 8(9), 81-85.
- Abrahamsson, M., 2002. Uncertainty in quantitative risk analysis- characterisation and methods of treatment. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH®), 2016. TLVs and BEIs. Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents & Biological Exposure Indices. ACGIH®, Cincinnati, OH.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA), 2014. Prevention through Design: Eliminating Confined Spaces and Minimizing Hazards. AIHA, Falls church, VA.
- American National Standards Institute (ANSI), American Petroleum Institute (API), 2001a. Requirements for safe entry and cleaning of petroleum storage tanks (API, ANSI/API: 2015-2001). API, Washington.
- American National Standards Institute (ANSI), American Petroleum Institute (API), 2001b. Guidelines and procedures for entering and cleaning petroleum storage tanks (ANSI/API: RP 2016-2001). API, Washington.
- American National Standards Institute (ANSI), American Society of Safety Engineers (ASSE), 2009. Safety requirements for confined spaces (ANSI/ASSE: Z117.1-2009). ANSI, Washington D.C.
- American National Standards Institute (ANSI), American Society of Safety Engineers (ASSE), 2011a. Prevention through design: guidelines for addressing occupational hazards and risks in design and redesign processes (ANSI/ASSE: Z590.3-2011). ANSI, Washington D.C.
- American National Standards Institute (ANSI), American Society of Safety Engineers (ASSE), 2011b. Risk assessment techniques (ANSI/ASSE Z690.3-2011). ANSI, Washington D.C.
- American National Standards Institute (ANSI), National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 2011. Criteria for safety symbols (ANSI Z535-3-2011). NEMA, Rosslyn, VA.
- Aneziris, O.N, Papazoglou, I.A., Konstandinidou, M., Baksteen, H., Mud, M., Damen, M., Bellamy, L.J., Oh, J., 2013. Quantification of occupational risk owing to contact with moving parts of machines. *Safety science*, 51, 382-396. DOI:10.1016/j.ssci.2012.08.009
- Asbestos Removal Contractors Association, 2007. Guidance note for asbestos removal in confined spaces (N°11). ARCA, Burton upon Trent, UK.
- Antonsen, S., Almklov, P., Fenstad, J., 2008. Reducing the gap between procedures and practice lessons from a successful safety intervention. *Safety science monitor* 12(1), article 2.
- Bahloul, A., Chavez, M., Reggio, M., Roberge, B., Goyer, N., 2012. Modeling ventilation time in forage tower silos. *Journal of Agricultural Safety and Health* 18(4), 259-272.
- Bahloul, A., Roberge, B., Goyer, N., Chavez, M., Reggio, M., 2011. La prévention des intoxications dans les silos de foin (R-672). IRSST, Montréal.

- Ball, D.J., Watt, J., 2013. Further thoughts on the utility of risk matrices. *Risk analysis* 33(11), 2068-78. DOI:10.1111/risa.12057
- Beaver, R.L., Field W.E., 2007. Summary of documented fatalities in livestock manure storage and handling facilities--1975-2004. *Journal of Agromedicine* 12(2), 3-23.
- Bergeron, S., Imbeau, D., Montpetit, Y., 2003. Le travail en espace clos – Nettoyage industriel au jet d'eau sous haute pression et par pompage à vide. CSST, Montréal.
- Borodin, A., El-Yaniv, R., 1998. *Online Computation and Competitive Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- British Compressed Gases Association (BCGA), 2009. BCGA Guidance note GN9. The Application of the Confined Spaces Regulations to the Drinks Dispense Industry. BCGA, Derby, UK.
- Brugnot, C., Beauté, C., Hasni-Pichard, H., Lauzier, F., 2001. Application de résines en espaces confinés dans l'activité BTP. Mise en évidence des expositions et propositions de moyens de prévention (INRS ND 2152-184-01). *Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail* 184, 5-23.
- Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., 2014. The need for a comprehensive approach to managing confined space entry: summary of the literature and recommendations for next steps. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 11(8), 485-498. DOI: 10.1080/15459624.2013.877589.
- Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., Roberge, B., 2015a. Risk Management Implementation for Confined Space Interventions in Quebec. *Safety science* 79, 19-28. DOI:10.1016/j.ssci.2015.05.003
- Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., Roberge, B., 2015b. Design and application of a 5 step risk assessment tool for confined space entries. *Safety science* 80, 144-155. DOI:10.1016/j.ssci.2015.07.022
- Burlet-Vienney, D., Chinniah, Y., Bahloul, A., Roberge, B., 2016. Risk analysis for confined space entries: critical analysis of 4 tools applied to 3 risk scenarios. *Journal of occupational and environmental hygiene*. DOI:10.1080/15459624.2016.1143949
- Burton, N.C., Dowell, C., 2011. Health hazard evaluation report: HETA-2009-0100-3135, evaluation of exposures associated with cleaning and maintaining composting toilets - Arizona. NIOSH, Washington.
- Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, 2008. Cuves et réservoirs. Interventions à l'extérieur ou à l'intérieur des équipements fixes utilisés pour contenir ou véhiculer des produits gazeux, liquides ou solides R 435. INRS, Paris.
- Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, 2010. Prévention des accidents lors des travaux en espaces confinés R 447. INRS, Paris.
- Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, 2003. La sécurité lors de travaux dans des puits, des fosses ou des canalisations. SUVA, Lucerne, Suisse.
- Cal/OSHA, 2012. Is It Safe to Enter a Confined Space? Confined Space Guide. California Department of Education, Sacramento, CA.

- Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2012. Confined space – Introduction. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Ottawa.
- Canadian Standards Association (CSA), 2010. Management of work in confined spaces (CSA Z1006-10). CSA, Mississauga, ON.
- Canadian Standards Association (CSA), 2012. Full body harnesses (CAN/CSA Z259.10-12). CSA, Mississauga, ON.
- Canadian Standards Association (CSA), 2015. Workplace electrical safety (CSA Z462-15). CSA, Mississauga, ON.
- Carey, J.M., Burgman, M.A., 2008. Linguistic uncertainty in qualitative risk analysis and how to minimize it. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1128(1), 13-17.
- Carlton, G.N., Smith, L.B., 2000. Exposures to jet fuel and benzene during aircraft fuel tank repair in the U.S. Air Force. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15(6), 485-491.
- Castaing, G., Petit, J.M., Triolet, J., Falcy, M., 2007. Le dégazage de capacités ayant contenu des solvants, ED 6024. INRS, Paris.
- Ceballos, D.M., Brueck, S.E., 2011. Health hazard evaluation report: HETA-2010-0175-3144, confined space program recommendations for dairy plant inspectors - nationwide. NIOSH, Washington.
- Chinniah, Y., 2015. Analysis and prevention of serious and fatal accidents related to moving parts of machinery. *Safety science* 75, 163-173.
- Chinniah, Y., Gauthier, F., Lambert, S., Moulet, F., 2011. Experimental analysis of tools used for estimating risk associated with industrial machines (Report R-684). IRSST, Montréal.
- Cloutier, C., Paquet, B., Fontaine, F., Éthier, A., Gingras, B., Legris M., 2000. Faites la lumière sur les espaces clos – Fiche de prévention. CSST, Montréal
- Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), 2015. Le centre de documentation. CSST, Montréal.
- Cox, L.A., 2008. What's wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis* 28(2), 497-512. DOI:10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x.
- Cox, L.A., 2009. What's Wrong with Hazard-Ranking Systems? An Expository Note. *Risk Analysis* 29(7), 940-948. DOI:10.1111/j.1539-6924.2009.01209.x.
- Dorevitch, S., Forst, L., Conroy, L., Levy, P., 2002. Toxic inhalation fatalities of US construction workers, 1990 to 1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 44 (7), 657-662.
- Duijm, N.J., 2015. Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety Science* 76(7), 21-31. DOI:10.1016/j.ssci.2015.02.014
- Eaton, G., Little, D.E., 2011. Risk – Assessing & mitigating to deliver sustainable safety performance. *Professional safety* 56(7), 35-41.
- Education Safety Association of Ontario (ESAO), 2007. Confined spaces: Resource book. ESAO, Toronto.

- Enterprise X, 2014. Risk analysis sheet. Unpublished/Confidential.
- Farm and Ranch Safety and Health Association (FARSHA), 2012. Confined space safety in BC agriculture: A resource guide. FARSHA, Langley, Canada
- Flick, U., 2006. An introduction to qualitative research, third ed. SAGE Publications, London.
- Flynn, M.R., Susi, P., 2009. Manganese, Iron, and Total Particulate Exposures to Welders. *Journal of Occupational and Environment Hygiene* 7(2), 115-126. DOI:10.1080/15459620903454600
- Fuller, D.C., Suruda, A.J., 2000. Occupationally related hydrogen sulfide deaths in the United States from 1984 to 1994. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 42(9), 939-942.
- Garrison, R.P., Erig, M., 1991. Ventilation to eliminate oxygen deficiency in a confined space. Part III: heavier-than-air characteristics. *Applied occupational and environmental hygiene* 6(2), 131-140.
- Gauthier, F., Lambert, S., Chinniah, Y., 2012. Experimental Analysis of 31 Risk Estimation Tools Applied to Safety of Machinery. *Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 18(2), 245-265. DOI:10.1080/10803548.2012.11076933
- Gillham, B., 2000. The research interview. Continuum, London.
- Giraud, L., Ait-Kadi, D., Ledoux, E., Paques, J-J., Tanchoux, S., 2008. Maintenance – État de la connaissance et étude exploratoire (R-578). IRSST, Montréal.
- Gouvernement du Québec, 1979. Loi sur la santé et la sécurité du travail (c. S-2.1), s.196. Éditeur officiel du Québec, Québec.
- Gouvernement du Québec, 2008. Code de sécurité pour les travaux de construction (c. S-2.1, r-4). Éditeur officiel du Québec, Québec.
- Gouvernement du Québec, 2016. Règlement sur la santé et la sécurité du travail (c. S-2.1, s.223). Éditeur officiel du Québec, Québec.
- Gouvernement du Canada, 2015. Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail (DORS/86-304), Partie XI. Gouvernement du Canada, Ottawa.
- Government of South Australia, 2011. Confined space procedure (n° 0460/05). Government of South Australia, Adelaide.
- Government of United Kingdom, 1997. The confined spaces regulations 1997 No. 1713. The Stationery Office Limited, Norwich, UK.
- Guilleux, A., Werlé, R., 2014. Les espaces confinés. Assurer la sécurité et la protection de la santé des personnels intervenants (ED 6184). INRS, Paris
- Hardison, D., Behm, M., Hallowell, M.R., Fonooni, H., 2014. Identifying construction supervisor competencies for effective site safety. *Safety science* 65(6), 45-53.
- Harris, M.K., Ewing, W.M., Longo, W., DePasquale, C., Mount, M.D., Hatfield, R. et coll., 2005. Manganese exposure during shielded metal arc welding (SMAW) in an enclosed space. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2(8), 375-382.

- Health and Safety Authority (HSA), 2010. Code of practice for working in confined spaces. Health and Safety Authority, Dublin.
- Health and Safety Executive (HSE), 2013. Safe Work in Confined Spaces. Health and Safety Executive, Bootle, UK.
- Hong-Kong Occupational Safety and health council, 2001. Working in confined spaces. Occupational safety and health council, Hong Kong.
- Huang, Y.-H., Chen, P.Y., Krauss, A.D., Rogers, D.A., 2014. Quality of the execution of corporate safety policies and employee safety outcomes: assessing the moderating role of supervisor safety support and the mediating role of employee safety control. *Journal of Business Psychology* 18(4) (2004), 483–506.
- Hubbard, D., Evans, D., 2010. Problems with scoring methods and ordinal scales in risk assessment. *IBM Journal of Research and Development* 54(3), 246-255. DOI:10.1147/JRD.2010.2042914
- Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2010a. Espaces confinés – Guide pratique de ventilation n°8, ED 703. INRS, Paris.
- Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2010b. Interventions en espaces confinés dans les ouvrages d'assainissement – Obligations de sécurité, ED 6026. INRS, Paris.
- Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2011. Détecteurs portables de gaz et de vapeurs – Guide de bonnes pratiques pour le choix, l'utilisation et la vérification, ED 6088. INRS, Paris.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 2002. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz (C95.6-2002). IEEE, New-York. DOI:10.1109/IEEESTD.2002.94143
- International Association of Classification Societies (IACS), 2007. Confined space safe practice. IACS, London, UK.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health physics* 99(6), 818-836. DOI:10.1097/HP.0b013e3181f06c86
- International Electrotechnical Commission (IEC), International Organization for Standardization (ISO), 2009. Risk management – Risk assessment techniques (IEC/ISO31010:2009). ISO, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (ISO), 2002. Safety of machinery - Guards - General requirements for the design and construction of fixed and movable guards (*ISO14120:2002*). ISO, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (ISO), 2006. Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 1: Hot *surfaces* (ISO13732-1:2006). ISO, Geneva, Switzerland.
- International Organization for Standardization (ISO), 2009. Risk management – Principles and guidelines (*ISO31000:2009*). ISO, Geneva, Switzerland.

- International Organization for Standardization (ISO), 2010. Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction (ISO12100:2010). ISO, Geneva, Switzerland.
- Ishikawa, K., 1979. Guide to Quality Control. Asian Productivity Organization, Tokyo.
- Janes, A., Chaineaux, J., Lesné, P., Mauguen, G., Petit, J.M., Sallé, B., Marc, F., 2011. Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives – Guide méthodologique. ED 945. INRS, Paris.
- Johnson, K.A., 2008. A consistent approach to the assessment and management of asphyxiation hazards. Institution of Chemical Engineers Symposium Series 154, 630-640.
- Kletz, T.A., 1998. What went wrong? Gulf Publishing, Houston, TX.
- Kletz, T.A., 2007. Mining the past. J. Hazard. Mater. 142(3), 618–625.
- Krake, A.M., King, B., McCullough, J., 2003a. Health hazard evaluation report: HETA-2000-0060-290. NIOSH, Washington.
- Krake, A.M., King, B., McCullough, J., 2003b. Health hazard evaluation report: HETA 2000-0065-2899. NIOSH, Washington.
- Lindsay, F.D., (1992). Successful health and safety management. The contribution of management audit. Safety science 15(4-6), 387-402.
- Lucas, D., Loddé, B., Dewitte, J.-D., Jegaden D., 2010. Occupational risk of exposure to carbon monoxide in a harbour environment: Report of eight cases. Archive des maladies professionnelles et de l'environnement 71, 161-166.
- Lyon, B., Hollcroft, B., 2012. Risk Assessments top 10 pitfalls and tips for improvement. Professional Safety 57(12), 28-34.
- Main, B.W., 2004. Risk assessment – A review of the fundamental principles. Professional safety 49(12), 37-47.
- Manuele, F.A. (2010). Acceptable risk. Professional safety 55(5), 30-38.
- Maritime and Coastguard Agency, 2010. Code of safe working practices for merchant seamen. The Stationery Office, Norwich, UK.
- Ménard, L., 2009. Guide de prévention pour l'assainissement des systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air. CSST, Montréal.
- Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee (MMMPIC), 2002. A Guide to Practical Machine Guarding. Queensland Government, Brisbane, Australia.
- Moritz, A.R., Henriques, F.C., 1947. Studies of thermal Injury II. The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns. Amer J. Path 123, 695-720.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1994. Worker deaths in confined spaces. NIOSH, Cincinnati, OH.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 2014. Welder Dies During Welding Repair Inside of Cargo Tank Compartment. NIOSH, Cincinnati, OH.

- Nemhauser, J.B., Ewers, L., 2005. Health hazard evaluation report: HETA-2002-0014-2958. NIOSH, Washington.
- Ontario Ministry of Labour, 2011. Ontario regulation 632/05. Confined spaces. Queen's printer for Ontario, Ontario.
- Ontario Ministry of Labour, 2014. Confined spaces guideline. Queen's printer for Ontario, Ontario.
- Paquet, B., Éthier, A., Fontaine, F., Legris, M., Gingras, B., 2005. La prévention dans les silos. CSST, Montréal.
- Patt, G.A., Schrag, D.P., 2003. Using specific language to describe risk and probability. *Climatic Change* 61, 17-30.
- Pettit, T., Linn, H., 1987. A guide to safety in confined spaces. NIOSH, Cincinnati, OH.
- Rekus, J.F., 1994. Complete confined spaces handbook. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Riedel, S.M., Field, W.E., 2011. Estimation of the frequency, severity, and primary causative factors associated with injuries and fatalities involving confined spaces in agriculture. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2011 2, 943-961.
- Riedel, S.M., Field, W.E., 2013. Summation of the frequency, severity, and primary causative factors associated with injuries and fatalities involving confined spaces in agriculture. *Journal of Agricultural Safety and Health* 19(2), 83-100.
- Robson, L.S., Shannon, H.S., Goldenhart, L.M., Hale, A.R., 2001. Guide to evaluating the effectiveness of strategies for preventing work injuries: How to show whether a safety intervention really works. NIOSH, Cincinnati, OH.
- Ross, P. (2007). Confined space entry – Mitigating risk in general industry. *American Association of Occupational Health Nurses* 55(6), 245-251.
- Sargent, C., 2000. Confined space rescue. Fire Engineering Books and Videos, Saddle Brook, N.J.
- Silvermann, D., 2011. Interpreting qualitative data: a guide to the principles of qualitative research, fourth ed. SAGE Publications, Washington D.C.
- Standards Australia, 2001. Safe working in a confined space (AS/NZS 2865:2001). Standards Australia, Sydney.
- Standards Australia, 2003. Handbook: Guidelines for safe working in a confined space (HB 213:2003). Standards Australia/Standards New Zealand, Sydney.
- Svedberg, U., Petrini, C., Johanson, G., 2009. Oxygen depletion and formation of toxic gases following sea transportation of logs and wood chips. *Annals of Occupational Hygiene* 53(8), 779-787.
- Svedberg, U., Samuelsson, J., Melin, S., 2008. Hazardous off-gassing of carbon monoxide and oxygen depletion during ocean transportation of wood pellets. *Annals of Occupational Hygiene* 52(4), 259-266.

- Syndicat des entreprises de technologie de production, 2006. Guide de mise en œuvre des technologies du soudage - coupage. Symop, Paris.
- Trudel, A., Gilbert, D. 2004. Les espaces clos : Pour en sortir sain et sauf : Guide de prévention. APSAM, Montréal.
- U.S. Chemical safety and hazard investigation board, 2010. Investigation report. Xcel energy hydroelectric plant penstock fire (REPORT NO. 2008-01-I-CO). U.S. Chemical safety and hazard investigation board, Washington.
- U.S. Department of Labor, OSHA, 1989. 29 C.F.R., 1910.1000. Table Z-1. Toxic and hazardous substances – Limits for air contaminants. U.S. Department of Labor, Washington.
- U.S. Department of Labor, OSHA, 1993. 29 C.F.R., 1910.146 - Permit-required confined spaces for general industry. U.S. Department of Labor, Washington.
- UK Ministry of Defence, 2014. Management of health and safety in defence: high risk activities on the defence estate (JSP 375 Part 2 Volume 3). Confined spaces (Chapter 6). Defense Safety and Environment Authority, London, UK.
- Université du Québec à Montréal, 2005. Procédure de travail en espace clos de l'Université du Québec à Montréal. UQAM, Montréal.
- Vaillancourt, C., 2010. Sauvetage sécuritaire en espace clos. CSST, Montréal.
- Veasey, D.A., Craft McCormick, L., Hilyer, B.M., Oldfield, K.W., Hansen, S., Hrayner, T.H., 2006. Confined space entry and emergency response. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J.
- Vida, C., Jones, A.L., 1998. Confined spaces – Law and Practice: Risk assessment management. GEE Publishing Ltd, London.
- Washington state department of labor & industries, 2005. Confined spaces WAC 296-809. Washington state department of labor & industries, Washington.
- Wilson, M.P., Madison, H.N., Healy, S.B., 2012. Confined space emergency response: Assessing employer and fire department practices. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 9(2), 120-128.
- Work Safe Alberta, 2009. Guideline for developing a code of practice for confined space entry. Work Safe Alberta, Edmonton.
- Work Safe Alberta, 2010. Sewer entry guidelines. Work Safe Alberta, Edmonton.
- Workplace health and safety Queensland, 2010. A guide to working safely in confined spaces. The state of Queensland. Department of Justice and Attorney-General, Queensland, Australia.
- WorkSafe BC, 2007. Confined space entry program. A reference manual. The Workers' Compensation Board of British Columbia, Vancouver.
- WorkSafe BC, 2008. Hazards of confined spaces. The Workers' Compensation Board of British Columbia, Vancouver.
- Wrixon, A.D., 2008. New ICRP recommendations. J. Radiol. Prot. 28(2), 161-168. DOI:10.1088/0952-4746/28/2/R02

ANNEXE A – RÉFÉRENCES NUMÉROTÉES AUX TABLEAUX 3, 7 ET 8 RELATIFS À LA REVUE DE LA LITTÉRATURE

1. Kletz, T.A., 2007. Mining the past. *J. Hazard. Mater.* 142(3), 618–625.
2. Svedberg, U., Samuelsson, J., Melin, S., 2008. Hazardous off-gassing of carbon monoxide and oxygen depletion during ocean transportation of wood pellets. *Annals of Occupational Hygiene* 52(4), 259-266.
3. Wilson, M.P., Madison, H.N., Healy, S.B., 2012. Confined space emergency response: Assessing employer and fire department practices. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 9(2), 120-128.
4. Asbestos Removal Contractors Association, 2007. Guidance note for asbestos removal in confined spaces (N°11). ARCA, Burton upon Trent, UK.
5. U.S. Department of Labor, OSHA, 1993. 29 C.F.R., 1910.146 - Permit-required confined spaces for general industry. U.S. Department of Labor, Washington.
6. American National Standards Institute (ANSI), American Society of Safety Engineers (ASSE), 2009. Safety requirements for confined spaces (ANSI/ASSE: Z117.1-2009). ANSI, Washington D.C.
7. Gouvernement du Canada, 2015. Règlement canadien sur la santé et la sécurité au travail (DORS/86-304), Partie XI. Gouvernement du Canada, Ottawa.
8. Ontario Ministry of Labour, 2011. Ontario regulation 632/05. Confined spaces. Queen's printer for Ontario, Ontario.
9. Canadian Standards Association (CSA), 2010. Management of work in confined spaces (CSA Z1006-10). CSA, Mississauga, ON.
10. Gouvernement du Québec, 2016. Règlement sur la santé et la sécurité du travail (c. S-2.1, s.223). Éditeur officiel du Québec, Québec.
11. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1994. Worker deaths in confined spaces. NIOSH, Cincinnati, OH.
12. Fuller, D.C., Suruda, A.J., 2000. Occupationally related hydrogen sulfide deaths in the United States from 1984 to 1994. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 42(9), 939-942.
13. Dorevitch, S., Forst, L., Conroy, L., Levy, P., 2002. Toxic inhalation fatalities of US construction workers, 1990 to 1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 44 (7), 657-662.
14. Beaver, R.L., Field W.E., 2007. Summary of documented fatalities in livestock manure storage and handling facilities--1975-2004. *Journal of Agromedicine* 12(2), 3-23.
15. Riedel, S.M., Field, W.E., 2013. Summation of the frequency, severity, and primary causative factors associated with injuries and fatalities involving confined spaces in agriculture. *Journal of Agricultural Safety and Health* 19(2), 83-100.

16. Farm and Ranch Safety and Health Association (FARSHA), 2012. Confined space safety in BC agriculture: A resource guide. FARSHA, Langley, Canada
17. Abelmann, A., Lacey, S.E., Gribovich, A., Murphy, C., Hinkamp D., 2011. Hazard evaluation and preventive recommendations for an unusual confined space issue in an opera set design. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 8(9), 81-85.
18. Bahloul, A., Chavez, M., Reggio, M., Roberge, B., Goyer, N., 2012. Modeling ventilation time in forage tower silos. *Journal of Agricultural Safety and Health* 18(4), 259-272.
19. Carlton, G.N., Smith, L.B., 2000. Exposures to jet fuel and benzene during aircraft fuel tank repair in the U.S. Air Force. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 15(6), 485-491.
20. Harris, M.K., Ewing, W.M., Longo, W., DePasquale, C., Mount, M.D., Hatfield, R. et coll., 2005. Manganese exposure during shielded metal arc welding (SMAW) in an enclosed space. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2(8), 375-382.
21. Johnson, K.A., 2008. A consistent approach to the assessment and management of asphyxiation hazards. *Institution of Chemical Engineers Symposium Series* 154, 630-640.
22. Lucas, D., Loddé, B., Dewitte, J.-D., Jegaden D., 2010. Occupational risk of exposure to carbon monoxide in a harbour environment: Report of eight cases. *Archive des maladies professionnelles et de l'environnement* 71, 161-166.
23. Ross, P. (2007). Confined space entry – Mitigating risk in general industry. *American Associated Occupational Health Nurses* 55(6), 245-251.
24. Svedberg, U., Petrini, C., Johanson, G., 2009. Oxygen depletion and formation of toxic gases following sea transportation of logs and wood chips. *Annals of Occupational Hygiene* 53(8), 779-787.
25. American National Standards Institute (ANSI), American Petroleum Institute (API), 2001a. Requirements for safe entry and cleaning of petroleum storage tanks (API, ANSI/API: 2015-2001). API, Washington.
26. Standards Australia, 2001. Safe working in a confined space (AS/NZS 2865:2001). Standards Australia, Sydney.
27. American National Standards Institute (ANSI), American Petroleum Institute (API), 2001b. Guidelines and procedures for entering and cleaning petroleum storage tanks (ANSI/API: RP 2016-2001). API, Washington.
28. Health and Safety Authority (HSA), 2010. Code of practice for working in confined spaces. Health and Safety Authority, Dublin.
29. Maritime and Coastguard Agency, 2010. Code of safe working practices for merchant seamen. The Stationery Office, Norwich, UK.
30. Ontario Ministry of Labour, 2014. Confined spaces guideline. Queen's printer for Ontario, Ontario.
31. Standards Australia, 2003. Handbook: Guidelines for safe working in a confined space (HB 213:2003). Standards Australia/Standards New Zealand, Sydney.

32. Washington state department of labor & industries, 2005. Confined spaces WAC 296-809. Washington state department of labor & industries, Washington.
33. Gouvernement du Québec, 2008. Code de sécurité pour les travaux de construction (c. S-2.1, r-4). Éditeur officiel du Québec, Québec.
34. UK Ministry of Defence, 2014. Management of health and safety in defence: high risk activities on the defence estate (JSP 375 Part 2 Volume 3). Confined spaces (Chapter 6). Defense Safety and Environment Authority, London, UK.
35. Rekus, J.F., 1994. Complete confined spaces handbook. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
36. Sargent, C., 2000. Confined space rescue. Fire Engineering Books and Videos, Saddle Brook, N.J.
37. Education Safety Association of Ontario (ESAO), 2007. Confined spaces: Resource book. ESAO, Toronto.
38. Veasey, D.A., Craft McCormick, L., Hilyer, B.M., Oldfield, K.W., Hansen, S., Hrayter, T.H., 2006. Confined space entry and emergency response. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J.
39. Vida, C., Jones, A.L., 1998. Confined spaces – Law and Practice: Risk assessment management. GEE Publishing Ltd, London.
40. Bahloul, A., Roberge, B., Goyer, N., Chavez, M., Reggio, M., 2011. La prévention des intoxications dans les silos de fourrage (R-672). IRSST, Montréal.
41. Brugnot, C., Beauté, C., Hasni-Pichard, H., Lauzier, F., 2001. Application de résines en espaces confinés dans l'activité BTP. Mise en évidence des expositions et propositions de moyens de prévention (INRS ND 2152-184-01). Cahiers de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail 184, 5-23.
42. Giraud, L., Ait-Kadi, D., Ledoux, E., Paques, J-J., Tanchoux, S., 2008. Maintenance – État de la connaissance et étude exploratoire (R-578). IRSST, Montréal.
43. Burton, N.C., Dowell, C., 2011. Health hazard evaluation report: HETA-2009-0100-3135, evaluation of exposures associated with cleaning and maintaining composting toilets - Arizona. NIOSH, Washington.
44. Ceballos, D.M., Brueck, S.E., 2011. Health hazard evaluation report: HETA-2010-0175-3144, confined space program recommendations for dairy plant inspectors - nationwide. NIOSH, Washington.
45. Krake, A.M., King, B., McCullough, J., 2003a. Health hazard evaluation report: HETA-2000-0060-290. NIOSH, Washington.
46. Krake, A.M., King, B., McCullough, J., 2003b. Health hazard evaluation report: HETA 2000-0065-2899. NIOSH, Washington.
47. Nemhauser, J.B., Ewers, L., 2005. Health hazard evaluation report: HETA-2002-0014-2958. NIOSH, Washington.
48. Bergeron, S., Imbeau, D., Montpetit, Y., 2003. Le travail en espace clos – Nettoyage industriel au jet d'eau sous haute pression et par pompage à vide. CSST, Montréal.

49. British Compressed Gases Association (BCGA), 2009. BCGA Guidance note GN9. The Application of the Confined Spaces Regulations to the Drinks Dispense Industry. BCGA, Derby, UK.
50. Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, 2008. Cuves et réservoirs. Interventions à l'extérieur ou à l'intérieur des équipements fixes utilisés pour contenir ou véhiculer des produits gazeux, liquides ou solides R 435. INRS, Paris.
51. Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, 2010. Prévention des accidents lors des travaux en espaces confinés R 447. INRS, Paris.
52. Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, 2003. La sécurité lors de travaux dans des puits, des fosses ou des canalisations. SUVA, Lucerne, Suisse.
53. Cal/OSHA, 2012. Is It Safe to Enter a Confined Space? Confined Space Guide. California Department of Education, Sacramento, CA.
54. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 2012. Confined space – Introduction. Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Ottawa.
55. Castaing, G., Petit, J.M., Triolet, J., Falcy, M., 2007. Le dégazage de capacités ayant contenu des solvants, ED 6024. INRS, Paris.
56. Cloutier, C., Paquet, B., Fontaine, F., Éthier, A., Gingras, B., Legris M., 2000. Faites la lumière sur les espaces clos – Fiche de prévention. CSST, Montréal
57. Guilleux, A., Werlé, R., 2014. Les espaces confinés. Assurer la sécurité et la protection de la santé des personnels intervenants (ED 6184). INRS, Paris
58. Government of South Australia, 2011. Confined space procedure (n° 0460/05). Government of South Australia, Adelaide.
59. Health and Safety Executive (HSE), 2013. Safe Work in Confined Spaces. Health and Safety Executive, Bootle, UK.
60. Hong-Kong Occupational Safety and health council, 2001. Working in confined spaces. Occupational safety and health council, Hong Kong.
61. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2010b. Interventions en espaces confinés dans les ouvrages d'assainissement – Obligations de sécurité, ED 6026. INRS, Paris.
62. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2010a. Espaces confinés – Guide pratique de ventilation n°8, ED 703. INRS, Paris.
63. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2011. Détecteurs portables de gaz et de vapeurs – Guide de bonnes pratiques pour le choix, l'utilisation et la vérification, ED 6088. INRS, Paris.
64. International Association of Classification Societies (IACS), 2007. Confined space safe practice. IACS, London, UK.
65. Janes, A., Chaineaux, J., Lesné, P., Mauguén, G., Petit, J.M., Sallé, B., Marc, F., 2011. Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives – Guide méthodologique. ED 945. INRS, Paris.

66. Ménard, L., 2009. Guide de prévention pour l'assainissement des systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement de l'air. CSST, Montréal.
67. Paquet, B., Éthier, A., Fontaine, F., Legris, M., Gingras, B., 2005. La prévention dans les silos. CSST, Montréal.
68. Pettit, T., Linn, H., 1987. A guide to safety in confined spaces. NIOSH, Cincinnati, OH.
69. Syndicat des entreprises de technologie de production, 2006. Guide de mise en œuvre des technologies du soudage - coupage. Symop, Paris.
70. Trudel, A., Gilbert, D. 2004. Les espaces clos : Pour en sortir sain et sauf : Guide de prévention. APSAM, Montréal.
71. Université du Québec à Montréal, 2005. Procédure de travail en espace clos de l'Université du Québec à Montréal. UQAM, Montréal.
72. Vaillancourt, C., 2010. Sauvetage sécuritaire en espace clos. CSST, Montréal.
73. Work Safe Alberta, 2009. Guideline for developing a code of practice for confined space entry. Work Safe Alberta, Edmonton.
74. Work Safe Alberta, 2010. Sewer entry guidelines. Work Safe Alberta, Edmonton.
75. Workplace health and safety Queensland, 2010. A guide to working safely in confined spaces. The state of Queensland. Department of Justice and Attorney-General, Queensland, Australia.
76. WorkSafe BC, 2007. Confined space entry program. A reference manual. The Workers' Compensation Board of British Columbia, Vancouver.
77. WorkSafe BC, 2008. Hazards of confined spaces. The Workers' Compensation Board of British Columbia, Vancouver.

ANNEXE B – GRILLE DE LECTURE POUR LA REVUE DE LA LITTÉRATURE

Élément d'étude	Document 1	Document 2	...
A/ Risques identifiés			
- Type, nature			
- Description, valeurs limites			
- Blessures liées			
- Interactions risques			
B/ Activités liées à l'entrée dans l'espace clos			
- Type			
- Description, matériel utilisé			
C/ Facteurs de risque (éléments pouvant influencer les risques)			
- Conception, configuration de l'espace clos			
- Utilisation de l'espace clos			
- Psychologie, physiologie du travailleur			
- Autres			
D/ Techniques d'analyse du risque			
- Méthode générale (ex. : liste de vérification, matrice, calcul, etc.)			
- Paramètres composant le risque (déf., n ^{bre} de niveau, etc.)			
- Indice de risques (déf., n ^{bre} de niveau, etc.)			
- Utilisation des résultats, évaluation du risque			
E/ Catégorisation d'un espace clos			
- Type de catégorie			
- Critère de catégorisation			
F/ Conception sécuritaire des espaces clos, méthodes alternatives			
- Techniques suggérées			

ANNEXE C – GRILLE DE LECTURE POUR L'ANALYSE DES ACCIDENTS MORTELS EN ESPACE CLOS AU QUÉBEC

N° Accident	Accident n°1	Accident n° 2	...
Date accident : AA-MM			
Date rapport : AA			
Nom de l'entreprise			
Secteur d'activité			
Type d'espace clos			
Activité lors de l'accident			
Description sommaire de l'accident			
Nombre de décès			
Nombre de blessés			
Causes issues de l'enquête			
Agent causal primaire			
Fonctions travailleurs			
Travailleur seul ou en équipe?			
Méthode de travail adéquate appliquée (procédure)			
Méthode de sauvetage adéquate (plan de sauvetage)			
Éléments de conception			
Divers			

ANNEXE D – QUESTIONNAIRES UTILISÉS EN ENTREPRISE POUR ÉTUDIER LA GESTION DES RISQUES LORS DU TRAVAIL EN ESPACE CLOS

Cette annexe présente les trois outils de collecte utilisés lors des visites en entreprise afin d'étudier leur gestion des risques lors des interventions en espaces clos :

- A. une grille d'entrevue pour les entrevues;
- B. une grille de collecte pour les observations d'entrée en espace clos;
- C. une grille pour la vérification du programme de gestion mis en place.

A. GRILLE D'ENTREVUE

Les questions dans la grille d'entrevue annotées avec un symbole (+) font spécifiquement référence à des obligations réglementaires au Québec.

SYNTHÈSE DE LA VISITE

Compilé par
Coordonnées	Nom de l'organisme : Adresse :
Date de la visite/...../.....
Personne contact	Nom : Fonction : Tél. professionnel : Courriel : Expérience (espace clos) :
Personnes interviewées	Nom : Fonction : Expérience (espace clos) :
	Nom : Fonction : Expérience (espace clos) :
Résumé de la documentation obtenue

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR L'ORGANISME VISITÉ

<p>Organisme visité (10)</p>	<p>Raison sociale (100) :</p> <p>Secteur d'activité économique (selon le portrait de l'établissement) (101) :</p> <p>Nombre de travailleurs dans l'organisme (102) :</p> <p>Nombre et fonction des travailleurs concernés par les espaces clos (103) :</p> <p>Type de production / Services offerts (104) :</p> <p>Organigramme général en lien avec la SST (105) : - - - - -</p> <p>Y a-t-il un comité de SST? (106) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Y a-t-il un sous-comité pour la gestion du travail en espace clos? (107) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Y a-t-il un responsable SST ou de la prévention? (108) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>
---	---

PARC D'ESPACES CLOS

<p>Identification (20)</p>	<p>Qu'est-ce qui a déclenché l'identification des espaces clos? (200)</p> <p>.....</p> <p>Quelle définition d'un espace clos a été utilisée pour leur identification⁺? (201) <input type="checkbox"/> RSST <input type="checkbox"/> CSTC (Code de la construction) <input type="checkbox"/> Autres : </p> <p>.....</p> <p>Par qui l'identification a été faite⁺? (202) <input type="checkbox"/> Personne qualifiée <input type="checkbox"/> Autres :</p> <p>Quand? (203) /</p> <p>Les espaces clos sont-ils physiquement identifiés, et leurs accès contrôlés⁺? (204) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, comment? (205)</p> <p>.....</p> <p>Avez-vous un processus qui permet de déclasser un espace clos en espace restreint (ou isolé à risque)? (206) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pouvez-vous préciser? (207)</p> <p>.....</p>
<p>Parc (21)</p>	<p>Nombre d'espaces clos répertoriés (210) :</p> <p>.....</p> <p>Avez-vous une liste des espaces clos, et est-elle disponible (211) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p><u>Si non</u>, quels types d'espaces possédez-vous (fonction, localisation)? (212) :</p> <p>1.</p> <p>2.</p> <p>3.</p> <p>4.</p> <p>5.</p> <p>6.</p> <p>7.</p>

PROGRAMME DE GESTION DES ESPACES CLOS

<p>Programme ou autre ⁽³⁰⁾</p>	<p>Avez-vous un programme de gestion des espaces clos⁺? ⁽³⁰⁰⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si non, quelles mesures de gestion avez-vous? ⁽³⁰¹⁾</p>																																						
<p>Élaboration du programme de gestion des espaces clos ⁽³¹⁾</p>	<p>Qu'est-ce qui a déclenché l'élaboration du programme? ⁽³¹⁰⁾ Par qui le programme a-t-il été élaboré? ⁽³¹¹⁾ Date d'élaboration ⁽³¹²⁾ :/...../..... Quelles références ont été utilisées? ⁽³¹³⁾ <input type="checkbox"/> RSST <input type="checkbox"/> CSA Z1006-10 <input type="checkbox"/> CSTC (Code de la construction) <input type="checkbox"/> Autres : La direction a-t-elle été impliquée? ⁽³¹⁴⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Les travailleurs ont-ils participé? ⁽³¹⁵⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Quels moyens ont été mis à disposition? ⁽³¹⁶⁾</p>																																						
<p>Utilisation du programme ⁽³²⁾</p>	<p>Comment le programme est-il rendu accessible aux employés? ⁽³²⁰⁾ Comment est-il intégré au système de gestion de la SST? ⁽³²¹⁾</p>																																						
<p>Audit et revue du programme de gestion des espaces clos ⁽³³⁾</p>	<p>Le programme a-t-il déjà été audité? ⁽³³⁰⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non - Si oui, pour quelles raisons ou à quelle fréquence? ⁽³³¹⁾ - Par qui? ⁽³³²⁾ L'application du programme a-t-elle déjà été audité? ⁽³³³⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non - Si oui, pour quelles raisons ou à quelle fréquence? ⁽³³⁴⁾ - Par qui? ⁽³³⁵⁾</p>																																						
<p>Documentation (résumé) ⁽³⁴⁾</p>	<p>Quels documents avez-vous rédigés? ⁽³⁴⁰⁾</p> <table border="1" data-bbox="410 1451 1325 1791"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3" style="text-align: right;"><i>Disponible</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- Programme de gestion :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Liste des espaces clos :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Fiches descriptives des espaces clos :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Fiches de contrôle (permis d'entrée) :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Registre des interventions</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Liste des intervenants (dont sous-traitants) :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Documents de formation :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>- Audit et revue :</td> <td><input type="checkbox"/> Oui</td> <td><input type="checkbox"/> Non</td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table> <p>Les documents sont mis à jour selon quel mécanisme? ⁽³⁴¹⁾</p>				<i>Disponible</i>			- Programme de gestion :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Liste des espaces clos :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Fiches descriptives des espaces clos :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Fiches de contrôle (permis d'entrée) :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Registre des interventions	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Liste des intervenants (dont sous-traitants) :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Documents de formation :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>	- Audit et revue :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>
	<i>Disponible</i>																																						
- Programme de gestion :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Liste des espaces clos :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Fiches descriptives des espaces clos :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Fiches de contrôle (permis d'entrée) :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Registre des interventions	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Liste des intervenants (dont sous-traitants) :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Documents de formation :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				
- Audit et revue :	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/>																																				

INTERVENTIONS EN ESPACE CLOS

<p>Interventions effectuées (40)</p>	<p>Combien d'interventions en espace clos faites-vous par an (400) :</p> <p>Sur quels espaces clos principalement? (401)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Durant quelles périodes de l'année? (402)</p> <p>Pour quels types de travaux et à quelle fréquence (nombre/an)? (403) :</p> <p><input type="checkbox"/> Réparation :</p> <p><input type="checkbox"/> Déblocage / Ajustement / Dépannage :</p> <p><input type="checkbox"/> Construction / Démontage:</p> <p><input type="checkbox"/> Inspection :</p> <p><input type="checkbox"/> Récupération d'objet :</p> <p><input type="checkbox"/> Nettoyage:</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p>
<p>Planification des interventions et difficultés (41)</p>	<p>Quelle est la proportion d'interventions planifiées (par rapport à celles imprévues)? (410)</p> <p>Y a-t-il des situations où vous n'appliquez pas de procédure avant d'entrer? (411)</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pourquoi? (412)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quelles sont les principales difficultés rencontrées lors des interventions en espaces clos? (413)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Avez-vous eu des incidents/accidents lors d'entrée en espace clos? (414)</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, quelle en était la cause? (415)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>

INTERVENANTS

<p>Organisation des intervenants (50)</p>	<p>Quelle est la hiérarchie en place concernant la gestion des espaces clos? (500)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quelle est la composition des équipes d'intervention? (501)</p> <p>- Entrant</p> <p>- Surveillant⁺ : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Surveillant de fond : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>-</p> <p>Combien de personnes interviennent-elles au minimum? (502)</p>
<p>Formation / Information pour les interventions en espace clos (51)</p>	<p>Les entrants sont-ils habilités⁺? (510) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Les différents intervenants sont-ils formés⁺? (511) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Formation (512): <input type="checkbox"/> En interne <input type="checkbox"/> En externe Durée :</p> <p>La formation est-elle adaptée à leur rôle? (Pratique/Théorique, sauvetage, surveillance, analyse de risque, travail à chaud, cadenassage, etc.) (513)</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>.....</p> <p>Les intervenants ont-ils reçu, avant que leur travail débute, des informations spécifiques aux espaces clos du lieu de travail⁺? (514) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Quelle est la fréquence des remises à niveau? (515)</p>
<p>Sous-traitance (52)</p>	<p>Y a-t-il des interventions en espace clos sous-traitées? (520) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pouvez-vous préciser (521) :</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Comment sont gérées les activités exécutées par les sous-traitants? Comment les pratiques sont-elles harmonisées? (522)</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Les sous-traitants ont-ils reçu, avant que leur travail débute, des informations spécifiques aux espaces clos du lieu de travail⁺? (523)</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Lors du devis, assurez-vous que les sous-traitants aient reçu une formation sur les interventions en espace clos? (524) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Les activités des sous-traitants sont-elles documentées? (525)</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>

PROCÉDURES D'ENTRÉE EN ESPACE CLOS

<p>Permis d'entrée Fiches descriptives et de préparation à l'entrée ⁽⁶⁰⁾</p>	<p>Avez-vous une procédure de travail générale pour les entrées en espace clos? ⁽⁶⁰⁰⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Utilisez-vous des fiches de contrôle (permis d'entrée)? ⁽⁶⁰¹⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Préparées à l'avance <input type="checkbox"/> Préparées juste avant l'entrée <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Sur quelles bases vos fiches de contrôle (permis) sont-elles élaborées et validées⁺? ⁽⁶⁰³⁾ <input type="checkbox"/> Fiches descriptives et de préparation à l'entrée</p> <p><input type="checkbox"/> Analyse de risques <input type="checkbox"/> Autre :</p> <p>Qui les prépare⁺? ⁽⁶⁰⁴⁾ <input type="checkbox"/> Personne qualifiée :</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p>Comment la fiche de contrôle (permis d'entrée) et la fiche descriptive et de préparation à l'entrée sont-elles rendues accessibles? ⁽⁶⁰⁵⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Classeur papier <input type="checkbox"/> Poste informatique <input type="checkbox"/> Autres :</p> <p>Comment l'accès au matériel d'intervention est-il organisé (ÉPI, ventilation, instrument de mesure)? ⁽⁶⁰⁶⁾</p>
<p>Procédure de sauvetage ⁽⁶¹⁾</p>	<p>Y a-t-il des mesures de sauvetage mises en place pour les interventions en espace clos⁺? ⁽⁶¹⁰⁾ <input type="checkbox"/> À l'interne <input type="checkbox"/> À l'externe <input type="checkbox"/> Aucune</p> <p>Expliquez (en entrant, depuis l'extérieur, etc.) :</p> <p>Ces mesures sont-elles adaptées en fonction des dangers liés à l'intervention de sauvetage (ex. : environnement contaminé)? ⁽⁶¹¹⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Ces mesures ont-elles été éprouvées⁺? ⁽⁶¹²⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si le sauvetage est géré à l'interne, comment les équipements de sauvetage sont-ils rendus accessibles⁺? ⁽⁶¹³⁾</p> <p>Pouvez-vous élaborer sur les équipements de sauvetage disponibles⁺? ⁽⁶¹⁴⁾</p>
<p>Procédure de cadenassage ⁽⁶²⁾</p>	<p>Un programme de cadenassage a-t-il été développé en complément des interventions en espace clos? ⁽⁶²⁰⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pouvez-vous préciser ⁽⁶²¹⁾ :</p>

GESTION DES RISQUES LORS DES ENTRÉES EN ESPACE CLOS

Identification des phénomènes dangereux⁺ (70)	Les phénomènes dangereux ont-ils été identifiés? (700)		
	<input type="checkbox"/> Par espace clos <input type="checkbox"/> Par intervention <input type="checkbox"/> Non		
		
	Un formulaire a-t-il été utilisé pour effectuer ce travail (ex. : liste de vérification)?		
	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez (701) :		
	Qui effectue ce travail d'identification des phénomènes dangereux? (702)		
	<input type="checkbox"/> Personne qualifiée <input type="checkbox"/> Autres :		
		
	A-t-il été fait en équipe? (703) <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
	Les phénomènes dangereux suivants ont-ils été pris en compte? (704)		
Coter la fréquence de leur présence avec 1 : peu présent, et 3 : très présent			
Intoxication/Asphyxie	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Explosion, incendie, poussière	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Thermique (surface)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Thermique (ambiance)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Électrique	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Ensevelissement/Écoulement libre	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Chute de hauteur	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Pièce en mouvement	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Noyade/Écoulement	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Bruit et vibrations	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Introduction substance/Interconnexion	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Travail à faire (ex. : travail à chaud)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Biologique, animaux	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Chute de plain-pied	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Structure de l'espace (ex. : stabilité)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Éclairage/Visibilité	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Chute d'objet	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Radiation	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Entrée/Sortie restreinte	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Lié aux résidus :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Circulation extérieure	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Environnemental/Météorologique	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Effort excessif/posture	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Accessibilité à l'espace clos	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Psychologie, stress	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Lié aux vêtements/ÉPI	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
Autres :			
.....			
.....			

<p>Estimation du risque* pour les interventions en espace clos ⁽⁷¹⁾</p> <p>* définition de la gravité probable d'un dommage et de la probabilité de ce dommage (ISO12100:2010)</p>	<p>Les risques lors des interventions en espace clos sont-ils estimés? ⁽⁷¹⁰⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Combien d'estimations du risque ont-elles été faites? ⁽⁷¹¹⁾</p> <p>Un outil d'estimation du risque est-il utilisé? ⁽⁷¹²⁾: <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Avez-vous intégré dans l'outil d'estimation du risque des particularités pour l'adapter au contexte des interventions en espace clos (ex. : condition de sauvetage)? ⁽⁷¹³⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Pouvez-vous justifier les choix qui ont été faits lors de la construction ou la sélection de cet outil (ex. : paramètres, niveaux, définitions, etc.)? ⁽⁷¹⁴⁾</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Quels sont, selon vous, les avantages et les inconvénients (difficultés) de votre outil d'estimation du risque? ⁽⁷¹⁵⁾</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Qui effectue ce travail d'estimation du risque⁺? A-t-il été fait en équipe? ⁽⁷¹⁶⁾</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Évaluation du risque* pour les interventions en espace clos ⁽⁷²⁾</p> <p>* jugement destiné à établir, à partir de l'analyse du risque, si les objectifs de réduction du risque ont été atteints (ISO12100:2010)</p>	<p>Les risques résiduels sont-ils évalués (ex. : inacceptable/acceptable)? ⁽⁷²⁰⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, selon quels critères? ⁽⁷²¹⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quels critères sont nécessaires pour autoriser l'entrée en espace clos⁺?</p> <p>Pouvez-vous justifier les choix de ces critères? ⁽⁷²²⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quelles sont les principales difficultés lors de l'évaluation du risque? ⁽⁷²³⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p>

<p>Réduction du risque pour les interventions en espace clos ⁽⁷³⁾</p>	<p>Y a-t-il des catégories d'espace clos qui ont été créées? ⁽⁷³⁰⁾</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, selon quels critères? ⁽⁷³¹⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Travaillez-vous sur la conception des espaces clos pour éliminer les risques à la source? ⁽⁷³²⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pouvez-vous nous donner quelques exemples? ⁽⁷³³⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quels sont les autres principaux moyens mis en place pour réduire les risques? ⁽⁷³⁴⁾</p> <p>- Ventilation⁺ : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Équipement de protection :</p> <p>- Harnais⁺ : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Appareil respiratoire : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Autres :</p> <p>- Détecteur de gaz, test et relevés⁺ : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Moyen de communication : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>- Purge, dégazage ou nettoyage : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>-</p> <p>Avez-vous un programme d'entretien du matériel pour la réduction du risque? ⁽⁷³⁵⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Avez-vous pris des moyens pour faciliter la mise en place des mesures de réduction des risques? ⁽⁷³⁶⁾ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, pouvez-vous nous donner quelques exemples? ⁽⁷³⁷⁾</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Quelles sont les principales difficultés lors de la réduction des risques? ⁽⁷³⁸⁾</p> <p>-</p> <p>-</p>
---	---

CONTEXTE

<p>Espace clos concerné (C)</p>	<p>Type d'espace clos :</p> <p>Fonction :</p> <p>Localisation :</p> <p>Accessibilité à l'espace clos :</p> <p>Description générale de l'espace clos / Schéma:</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <hr/> <p>Nombre entrées/sorties :</p> <p>Dimensions des entrées/sorties : / /</p> <p>Moyen d'accès à l'intérieur :</p> <p>Profondeur :m Distance de pénétration :m</p> <p>Contenu :</p> <p>Équipements présents à l'intérieur : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui :</p> <p>Présence d'obstacles : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui :</p> <p>Préparation avant l'ouverture : <input type="checkbox"/> Purge <input type="checkbox"/> Nettoyage <input type="checkbox"/> Ventilation</p>								
<p>Environnement de travail extérieur (D)</p>	<p>T°C : Conditions climatiques :</p> <p>Bruit environnant : <input type="checkbox"/> Très bruyant <input type="checkbox"/> Bruyant <input type="checkbox"/> Normal</p> <p>Luminosité : <input type="checkbox"/> Suffisante <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Très faible/Obscurité</p> <p><u>Divers :</u></p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Travail en hauteur</td> <td><input type="checkbox"/> Présence de public à proximité</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Véhicules circulant à proximité</td> <td><input type="checkbox"/> Matières dangereuses à proximité</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Travail isolé</td> <td><input type="checkbox"/> Autres :</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Travail en hauteur	<input type="checkbox"/> Présence de public à proximité	<input type="checkbox"/> Véhicules circulant à proximité	<input type="checkbox"/> Matières dangereuses à proximité	<input type="checkbox"/> Travail isolé	<input type="checkbox"/> Autres :		
<input type="checkbox"/> Travail en hauteur	<input type="checkbox"/> Présence de public à proximité								
<input type="checkbox"/> Véhicules circulant à proximité	<input type="checkbox"/> Matières dangereuses à proximité								
<input type="checkbox"/> Travail isolé	<input type="checkbox"/> Autres :								
<p>Raison de l'intervention (E)</p>	<table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Réparation</td> <td><input type="checkbox"/> Entretien préventif</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Déblocage</td> <td><input type="checkbox"/> Nettoyage</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Inspection</td> <td><input type="checkbox"/> Récupération d'objet</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Construction / Démontage</td> <td><input type="checkbox"/> Sauvetage</td> </tr> </table> <hr/> <p>Détails :</p> <p>Durée : <input type="checkbox"/> 15 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> 1 h <input type="checkbox"/> 2 h <input type="checkbox"/> > 2 h :</p> <p>Fréquence d'intervention :</p>	<input type="checkbox"/> Réparation	<input type="checkbox"/> Entretien préventif	<input type="checkbox"/> Déblocage	<input type="checkbox"/> Nettoyage	<input type="checkbox"/> Inspection	<input type="checkbox"/> Récupération d'objet	<input type="checkbox"/> Construction / Démontage	<input type="checkbox"/> Sauvetage
<input type="checkbox"/> Réparation	<input type="checkbox"/> Entretien préventif								
<input type="checkbox"/> Déblocage	<input type="checkbox"/> Nettoyage								
<input type="checkbox"/> Inspection	<input type="checkbox"/> Récupération d'objet								
<input type="checkbox"/> Construction / Démontage	<input type="checkbox"/> Sauvetage								

INTERVENTION

<p>Permis d'entrée ^(F)</p> <p>Obtenu</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>	<p>Permis d'entrée préparé : <input type="checkbox"/> à l'avance <input type="checkbox"/> juste avant l'intervention</p> <p>Utilisation réelle du permis : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Accès au permis :</p>
<p>Étapes observées lors de l'intervention – Activités de travail réelles ^(G)</p>	<p>1. 8.</p> <p>2. 9.</p> <p>3. 10.</p> <p>4. 11.</p> <p>5. 12.</p> <p>6. 13.</p> <p>7. 14.</p> <p>Difficultés et facteurs de risques lors de l'activité réelle :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Phénomènes dangereux présents ^(H)</p>	<p>Intoxication <input type="checkbox"/> Produits, concentrations :</p> <p>Asphyxie <input type="checkbox"/> % O₂ :</p> <p>Explosion, incendie <input type="checkbox"/> Produits, %LIE :</p> <p>Thermique (ambient) <input type="checkbox"/> T°C : Humidité :</p> <p>Thermique (surface) <input type="checkbox"/> T°C :</p> <p>Électrique <input type="checkbox"/> Accès, volt, ampère :</p> <p>Ensevelissement <input type="checkbox"/> Matière à écoulement libre :</p> <p>Chute de hauteur <input type="checkbox"/> Hauteur : Configuration :</p> <p>Pièce en mouvement <input type="checkbox"/> Élément en mvt : Vitesse :</p> <p>Noyade/écoulement <input type="checkbox"/> Matière: Profondeur :</p> <p>Bruit et vibrations <input type="checkbox"/> Source : dB :</p> <p>Introduction substance <input type="checkbox"/> Produits : Source :</p> <p>Activité <input type="checkbox"/> Technique/Outils :</p> <p>Chute de plain-pied <input type="checkbox"/> Surface/Obstacle :</p> <p>Structure de l'espace <input type="checkbox"/> Stabilité, configuration interne :</p> <p>Éclairage <input type="checkbox"/> Lux :</p> <p>Chute d'objet <input type="checkbox"/> Mvt de charge, protection :</p> <p>Radiation <input type="checkbox"/> Source :</p> <p>Entrée/Sortie restreinte <input type="checkbox"/> Nombre/Dimensions/Accès :</p> <p>Lié aux résidus <input type="checkbox"/> Produits:</p> <p>Circulation extérieure <input type="checkbox"/> Route/Piéton :</p> <p>Environnemental <input type="checkbox"/> Météo : Equip. adjacent :</p> <p>Effort excessif <input type="checkbox"/> Manutention : Posture :</p> <p>Accessibilité de l'entrée <input type="checkbox"/> Accès/Isolement/Contrôle :</p> <p>Psychologie, stress <input type="checkbox"/> État psychologique :</p> <p>Lié aux vêtements/ÉPI <input type="checkbox"/> Confort/Visibilité : Elec. statique :</p>

	<p>Détails :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <hr/> <p>Différences entre le permis d'entrée et l'activité de travail réelle :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Réduction des risques (complément d'information) (I)</p>	<p>Moyens utilisés pour réduire les risques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - - - <p>Accessibilité du matériel :</p> <p>.....</p> <p>Difficultés lors de l'utilisation du matériel pour l'intervention :</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Mesure d'urgence (J)</p>	<p>Procédure d'urgence en vigueur :</p> <p>1.</p> <p>2.</p> <p>3.</p> <p>Matériels utilisés pour assurer un éventuel sauvetage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - - <p>Adaptés aux types de risques : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Commentaires</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	

C. GRILLE DE VÉRIFICATION DES PROGRAMMES DE GESTION DES ENTRÉES EN ESPACE CLOS

PROGRAMME DE GESTION DES ESPACES CLOS

Contenu du programme de gestion des espaces clos	Les thèmes suivants sont-ils présents dans le programme?	
	Informations générales (date, objectifs)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Définition espace clos	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Rôles et responsabilités	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Composition des équipes d'intervention	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	- Surveillant	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Formation et communication	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Inventaire des espaces clos	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Signalisation et accès	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Conception des espaces clos	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Identification des dangers	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Estimation des risques	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Évaluation des risques	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Mesures de réduction des risques	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	- Ventilation	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	- ÉPI	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	- Détecteur de gaz et relevé	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	- Cadenassage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Procédures de travail	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Permis d'entrée/Fiche de contrôle	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Gestion des permis d'entrée	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Mesures d'urgence, de sauvetage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Achat et gestion du matériel	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Gestion de la sous-traitance	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Documentation et gestion des changements	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Revue du programme	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Audit de l'application	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

OUTILS D'ESTIMATION DU RISQUE

Estimation du risque* pour les interventions en espace clos	Outil sous forme de matrice : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
	Paramètres utilisés : <input type="checkbox"/> Gravité du dommage <input type="checkbox"/> Probabilité d'occurrence du dommage <input type="checkbox"/> Autres :	
* définition de la gravité probable d'un dommage et de la probabilité de ce dommage (ISO12100:2010)	Chaque paramètre est-il associé à une définition?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Y a-t-il 3 à 5 niveaux par paramètres?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Niveaux des paramètres sont-ils définis et continus?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Un paramètre a-t-il été privilégié?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	Y a-t-il au minimum 4 niveaux de risque?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	La distribution est-elle uniforme?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
	L'outil est-il calibré (ex. : morts multiples)?	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non

ANNEXE E – QUESTIONNAIRE UTILISÉ LORS DU TEST DE L'OUTIL D'ANALYSE DU RISQUE

Cette annexe présente le questionnaire qui a été utilisé pour recueillir les impressions et les commentaires des participants lors du test en entreprise de l'outil d'analyse du risque développé pour les interventions en espace clos.

INFORMATION SUR LA VISITE

Compilé par
Coordonnées	Nom de l'organisme : Adresse :
Date de la visite/...../.....
Personnes rencontrées	Nom : Fonction :
	Nom : Fonction :

VALIDATIONS PRÉCISES

<p>Étapes 1- Caractérisation de la situation (20)</p>	<p>Validation des questions (formulation, manque, superflue) (200) :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Validation de l'approche sur les conditions de sauvetage <i>a priori</i> (201) :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Validation de la notion d'interventions similaires (202) :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Étape 2 – Identification des processus accidentels (21)</p>	<p>Validation des colonnes du tableau et des listes de choix (210) : (type de risque; situation dangereuse; événement dangereux; dommage)</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Étape 3 – Estimation du risque (22)</p>	<p>Validation de l'échelle de gravité et des critères de choix (221) :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

	<p>.....</p> <p>Validation de l'échelle de probabilité et des critères de choix ⁽²²²⁾ :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Validation de l'échelle de la matrice de risque ⁽²²³⁾ :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Étape 4 – Synthèse ⁽²³⁾</p>	<p>Validation du principe de synthèse avec le graphique radar (risque max. par famille ; décomposition par origine du risque) ⁽²³⁰⁾ :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Validation du principe de catégorisation ⁽²³¹⁾ :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>Étape 5 – Boucle de rétroaction ⁽²⁴⁾</p>	<p>Validation du principe de fonctionnement de la boucle de rétroaction ⁽²⁴⁰⁾ :</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

ANNEXE F - SCÉNARIOS ET OUTILS D'ANALYSE DU RISQUE UTILISÉS LORS DES TESTS COMPARATIFS AVEC L'OUTIL DÉVELOPPÉ

1. Description des scénarios d'intervention en espace clos utilisés pour les tests

	n° 1 Puits/Inspection	n° 2 Puits/Installation	n° 3 Citerne camion/Soudage
Utilisation de l'espace clos			
Type	Puits - Réseau de collecte des eaux usées		Citerne de camion
Fonction	Accès à une canalisation d'eaux usées		Transport de diesel
Équipements à l'intérieur	Ancienne canalisation pour les eaux usées au 4 ^e palier. Pression de l'eau faible, peut augmenter lors d'un orage.		Aucun équipement. Drains et entrées pour ravitaillement.
Configuration de l'espace clos			
Localisation	Trottoir. Proximité d'une voie de circulation passante.		Abri attenant au garage
Accessibilité	Entrée accessible sans problème		Entrée sur la citerne (3 m). Accès par une échelle.
Description de l'intérieur	4 paliers de 5 m de haut. Paliers en caillebotis métallique (10 m x 10 m). Pas d'obstacle. Pas de lumière.		Citerne cylindrique : diamètre de 1,5 m, longueur de 8 m. 4 compartiments. Pas de lumière.
Entrées/Sorties	2 : entrée régulière (circulaire, 1 m de diamètre) et annexe (carrée, 2 m de côté)		4, une pour chaque compartiment (< 1 m de diamètre)
Moyen d'accès à l'intérieur	Échelons fixés dans le ciment pour l'entrée régulière. Bon état apparent.		Échelle à placer dans la citerne. Bon état apparent.
Contenu	Aucune substance stockée. Caillebotis humide.		Diesel. Citerne vidangée et rincée à la vapeur et à l'eau.
Conditions extérieures			
Température	25 °C		21 °C
Conditions climatiques	Orageux		Ensoleillé
Bruit environnant	Bruyant		Calme
Produits à proximité	Non		Non
Intervention planifiée			
Travaux	Inspection visuelle du béton au 1 ^{er} palier. 1 travailleur.	Installation d'instruments de mesure 4 ^e palier. 2 travailleurs.	Réparation par soudage au fond d'un compartiment de la citerne. 1 travailleur
Outils	Outils conventionnels (ex. : marteau, spatule)	Outils électriques (120 V) et conventionnels (ex. : pinces). Panier et corde pour les descendre.	Matériel de soudage. Produit pour nettoyer la surface à réparer.
Durée, fréquence	30 min. 2 fois par an.	1 h 30. Une fois aux 3 ans. Plusieurs sorties à prévoir	2 h. Une fois aux 2 ans
Divers	Accès vers palier inférieur ouvert	Accès vers les paliers inférieurs ouvert. 8 °C au 4 ^e palier.	N/A

2. Fiche d'analyse du risque d'une entreprise (outil A) appliqué au scénario no1 (Entreprise X, 2014)

Risque atmosphérique /chimique	Risque biologique	Risque physique			
Manque d'oxygène <input checked="" type="checkbox"/>	Microorganismes pathogènes <input checked="" type="checkbox"/>	Alimentation diverse <input type="checkbox"/>	Chute <input checked="" type="checkbox"/>		
Suroxygénation <input type="checkbox"/>	Éléments souillés/rouillés <input checked="" type="checkbox"/>	Mécanique <input checked="" type="checkbox"/>	Surface glissante <input checked="" type="checkbox"/>		
Contaminants inflammables <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>	Électrique, électrisation <input type="checkbox"/>	Bruit <input type="checkbox"/>		
Contaminants toxiques <input type="checkbox"/>		Thermique (chaleur) <input type="checkbox"/>	Coincement <input type="checkbox"/>		
Produits toxiques <input type="checkbox"/>		Surface chaude (contact) <input type="checkbox"/>	Ensevelissement Noyade <input type="checkbox"/>		
		Brûlures chimiques <input type="checkbox"/>	Configuration interne <input type="checkbox"/>		
		Pression (emmagée) <input type="checkbox"/>	Travailleur isolé <input type="checkbox"/>		
		Visibilité (manque de) <input type="checkbox"/>	Chute d'objet <input checked="" type="checkbox"/>		
		Accès ou sorties difficiles <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>		

3. Échelle de risque (outil B) appliqué au scénario no2 (Government of South Australia, 2011)

L'outil étant disponible uniquement en anglais, il a été décidé de le présenter tel quel afin de ne pas introduire de biais avec une traduction libre.

Potential hazards	Risk			
	Extreme	High	Moderate	Low
Nature of the confined space			X	
Access and Egress				X
Electrical			X	
Lighting				X
Power Failure				X
Contaminated air			X	
Flammable gases				X
Extreme temperatures			X	
Fire				X
Introduced materials			X	
Other contaminants			X	
Activation of plant				X
Method of work selected			X	
Level of oxygen			X	
Possibility of explosion				X
Unauthorised access				X
Floor Access Drop (use ladder)		X		
Lack of PPE				
Other: <i>traffic, falling object</i>			X	

4. Calcul du risque (outil C) appliqué au scénario no3 (UK Ministry of Defence, 2014)

L'outil étant disponible uniquement en anglais, il a été décidé de le présenter tel quel afin de ne pas introduire de biais avec une traduction libre.

Generic hazards	Caused by/Source?	Likelihood (a)	Severity (b)	Risk rating (axb)
Oxygen deficiency	Welding	2	2	4
Restricted entrance	Diameter < 1 m	2	1	2
Fall from height	Tank opening > 3 m high	3	3	9
Fall from height	Vertical entrance (1.5 m)	2	2	4
Falling object	Vertical opening	2	1	2
Fall on same level	Curved, slippery tank	2	2	4
Toxic contaminants	Welding fumes	3	4	12
Flammable contaminants	Diesel + welding	2	4	8
Chemicals	Cleaning products	2	1	2
Hot surface	Welding	4	3	12
Noise	Welding	4	2	8
Body posture at work	Cramped + 2 h of labour	2	2	4
Introduction of substances	Drains	1	2	2
Vehicle movement	Moving truck	2	2	4
Radiation	Welding	4	3	12
Electricity	Welding	2	3	6
Heat stress	Welding	2	1	2

Avec:

Likelihood (a)	Criteria	Rating Value
Most Unlikely	Probability close to zero	1
Unlikely	Injury a conceivable occurrence	2
Likely	High possibility of injury	3
Most Likely	Injury probable	4

Severity (b)	Criteria	Rating Value
Trivial	Injuries that could be treated by local First Aiders from a First Aid box	1
Slight	Injuries that may require more expert treatment, administered at a medical centre / hospital department	2
Serious	Injuries involving urgent hospital treatment	3
Major	Injuries involving major trauma or death	4

Risk Rating (axb)	Action Required
1 or 2	Existing control measures may be considered adequate
3 or 4	Consider introduction of additional controls or supervision
6 or higher	Additional controls are required in the form of a Safety Programme and Permit to Work

ANNEXE G - QUESTIONNAIRE VIERGE POUR CARACTÉRISER LES SITUATIONS À RISQUE LORS D'UNE INTERVENTION EN ESPACE CLOS

A. Informations générales (module à remplir une fois)
Nom/Type d'espace clos : Citerne de camion L'espace doit répondre <u>aux 3 critères suivants</u> pour être considéré comme un espace clos au sens du RSST : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Il n'est pas conçu pour être occupé par des personnes, ni destiné à l'être, mais peut à l'occasion être occupé pour l'exécution d'un travail; <input type="checkbox"/> On ne peut y accéder ou on ne peut en ressortir que par une voie restreinte; <input type="checkbox"/> Il peut présenter des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique pour quiconque y pénètre
N° de référence :
Fonction :
Forme : Dimensions : Volume intérieur (utile pour la ventilation):
Localisation (adresse, bâtiment) :
B. Configuration de l'espace clos (sans travaux) (module à remplir une fois)
1. L'espace clos est-il fixe ou mobile? <input type="checkbox"/> Fixe <input type="checkbox"/> Mobile
2. L'espace clos est-il ouvert (ex. : bassin, fosse, tranchée) ou partiellement/totalement fermé?*** <input type="checkbox"/> Ouvert <input type="checkbox"/> Partiellement fermé <input type="checkbox"/> Totalement fermé - Matériau de construction des parois : <input type="checkbox"/> Béton <input type="checkbox"/> Acier <input type="checkbox"/> Inox <input type="checkbox"/> Autres : - Accessibilité des parois de l'espace clos depuis l'extérieur : <input type="checkbox"/> Accessible <input type="checkbox"/> Pas accessible - Épaisseur des parois :
3. Combien d'entrées l'espace clos possède-t-il? Quelle est la dimension de chaque entrée?*** <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> > 3 Forme : <input type="checkbox"/> Ronde <input type="checkbox"/> Rectangle ; Dimensions : <input type="checkbox"/> <610 mm (24'') de diamètre ou équivalent
4. L'entrée dans l'espace clos se fait-elle à la verticale ou à l'horizontale?* <input type="checkbox"/> Verticale <input type="checkbox"/> Horizontale puis verticale - Hauteur : - Moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Échelle fixe <input type="checkbox"/> Échelle amenée par l'équipe <input type="checkbox"/> Échelon - État du moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Dégradé <input type="checkbox"/> Très dégradé <input type="checkbox"/> Ne s'applique pas <input type="checkbox"/> Horizontale - Moyen d'accès : - État du moyen d'accès : <input type="checkbox"/> Bon <input type="checkbox"/> Dégradé <input type="checkbox"/> Très dégradé <input type="checkbox"/> Ne s'applique pas

<p>5. La conception de l'espace clos implique-t-elle l'une ou plusieurs des situations à risque suivantes?</p> <p><input type="checkbox"/> Insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique**</p> <p><input type="checkbox"/> Volume intérieur restreint limitant les mouvements possibles dans l'espace** (ex. : plafond bas, section étroite)</p> <p><input type="checkbox"/> Déplacements complexifiés à cause de la présence d'obstacles (au sol ou en hauteur), d'un plancher incurvé, de compartiments, de paliers, ou d'une pente marquée*</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de zone d'emprisonnement à cause de parois convergentes ou en forme d'entonnoir**</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de faiblesse structurelle telle que fissures, effondrements, corrosion, désaxement de l'entrée**</p> <p><input type="checkbox"/> Présence d'éléments structurels coupants, pointus**.</p> <p><input type="checkbox"/> Lumière insuffisante**</p> <p><input type="checkbox"/> Température/humidité extrême (cf. annexe 5 du RSST)</p> <p><input type="checkbox"/> Niveau de bruit élevé (sans travaux)**</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>6. L'usage habituel de l'espace clos implique-t-il l'une ou plusieurs des situations à risque suivantes?***</p> <p><input type="checkbox"/> Présence d'agents toxiques ou asphyxiants</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de produits inflammables ou explosifs, de poussières combustibles</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de produits corrosifs, irritants, réactifs, ou cancérogènes</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de produits en décomposition, de sédiments, de résidus, d'oxydation lente (ex. : rouille)</p> <p><input type="checkbox"/> Présence de moisissure/champignon, ou divers agents biologiques pathogènes (ex. : objet souillé)</p> <p><input type="checkbox"/> Présence d'animaux, d'insectes, d'allergènes</p> <p><input type="checkbox"/> Substances inconnues</p> <p>Précisez les agents concernés, leur état physique et leur densité pour les gaz :</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>7. L'espace clos est-il relié à des canalisations ou à des drains qu'il faut cadenasser ou obstruer (risque d'introduction ou de retour non contrôlé de produits, risque de noyade, équipement en amont/aval)?**</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>8. Y a-t-il des équipements installés à demeure dans l'espace clos (ou traversant) qui possèdent de l'énergie et qu'il faut cadenasser?*** <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>9. L'espace clos contient-il des matières à écoulement libre (ex. : grain, sable) qui introduisent un risque d'ensevelissement?*** <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>C. L'environnement (module à remplir une fois)</p>
<p>10. L'accès à l'entrée de l'espace clos est-il?*** (plusieurs réponses possibles)</p> <p><input type="checkbox"/> Isolé (ex. : loin d'une autre infrastructure, peu passant, et/ou difficile d'accès en véhicule)</p> <p><input type="checkbox"/> Technique (ex. : en hauteur, passage par un escalier exigu, terrain instable)</p> <p><input type="checkbox"/> Dans un autre espace clos ou dans un local restreint à risque</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>
<p>11. La zone de travail autour de l'entrée est-elle? (plusieurs réponses possibles)</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée à la circulation routière ou à une voie de circulation à l'intérieur d'un établissement</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée aux autres travailleurs</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée au public</p> <p><input type="checkbox"/> Exposée aux conditions climatiques (ex. : intempéries, température extérieure)</p> <p><input type="checkbox"/> Dans une zone de travail (ex. : poste de travail avec machine fixe ou mobile en opération)</p> <p><input type="checkbox"/> Mal aménagée (ex. : peu de place, en pente, herbe à poux, boue)</p> <p><input type="checkbox"/> Autres :</p> <p><input type="checkbox"/> Aucune de ces réponses</p>

<p>12. Y a-t-il potentiellement des travaux à proximité impactant les conditions dans l'espace clos? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>13. Y a-t-il des produits dangereux stockés dans un réservoir/espace attenant? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>14. Les conditions dans l'espace clos sont-elles potentiellement changeantes (ex. : migration de gaz à travers les parois, introduction de substances ou gaz dangereux [gaz d'échappement], etc.)?*** <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>D. Le travail à faire / Les entrants (module à remplir le moment opportun pour chaque travail à faire)</p> <p>Travail à faire : <input type="checkbox"/> Nettoyage <input type="checkbox"/> Inspection <input type="checkbox"/> Maintenance <input type="checkbox"/> Autres :</p> <p>Description du travail :</p> <p>Pour cette intervention, une entrée dans l'espace clos est-elle vraiment nécessaire? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>
<p>15. Combien d'entrants sont requis en même temps pour l'intervention? <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> > 2</p>
<p>16. Combien de surveillants à l'extérieur sont requis pour l'intervention? <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> > 2</p>
<p>17. L'intervention (entrée et travail) demande-t-elle une expérience/expertise particulière? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>18. L'intervention (entrée et travail) demande-t-elle une forme physique ou une santé psychologique particulière? <u>Exemples</u> : Pénétration dans l'espace clos longue et exigeante, espace de travail très restreint (claustrophobie), montée/descente à l'échelle à répétition, etc. <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>19. Quelle est la fréquence d'une telle intervention? <input type="checkbox"/> Quotidienne <input type="checkbox"/> Hebdomadaire <input type="checkbox"/> Plusieurs fois par année <input type="checkbox"/> Annuellement <input type="checkbox"/> Moins d'une fois année <input type="checkbox"/> En urgence, en priorité <input type="checkbox"/> Non connue</p>
<p>20. À quelle période de l'année habituellement? <input type="checkbox"/> Hiver <input type="checkbox"/> Printemps <input type="checkbox"/> Automne <input type="checkbox"/> Été <input type="checkbox"/> Variable <input type="checkbox"/> Toute l'année</p>
<p>21. Quels sont la durée de l'entrée et le moment prévu pour une telle intervention? <input type="checkbox"/> Courte durée, < 30 minutes <input type="checkbox"/> Moins qu'un quart de travail <input type="checkbox"/> Supérieure à un quart de travail <input type="checkbox"/> De jour <input type="checkbox"/> De nuit</p>
<p>22. Y a-t-il des contraintes temporelles liées à l'intervention (ex. : délai très court, autre département en attente, service essentiel à la population) qui créent une pression sur le travail des intervenants? <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non Si oui, précisez :</p>
<p>23. Le chemin à parcourir entre l'entrée de l'espace clos et le lieu d'intervention implique quel type de progression?*</p> <p><input type="checkbox"/> Progression verticale uniquement <input type="checkbox"/> Progression horizontale uniquement <input type="checkbox"/> Progression verticale et horizontale</p>
<p>24. Lors de l'intervention, le surveillant a-t-il un contact visuel, auditif ou par tout autre moyen avec le travailleur afin de déclencher, si nécessaire, les procédures de sauvetage?*</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p>

25. Le travail à exécuter implique-t-il des risques additionnels? (plusieurs réponses possibles)

- Nettoyage à haute pression**
- Travail à chaud (ex. : soudure)**
- Travail en hauteur**
- Utilisation d'outils spécifiques (ex. : mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique)**
- Éclairage temporaire dans l'espace clos (lampe fixe ou portative)**
- Utilisation d'une génératrice
- Utilisation de produits chimiques (ex. : peinture, résines, solvants, électrodes de soudure)**
- Émission de particules, de poussière, d'aérosols**
- Travail sous charge, charge en hauteur, chute d'outils**
- Manutention d'objet lourd
- Chute de plain-pied, glissade à cause des conditions d'intervention**
- Port de vêtement ou d'EPI (équipement de protection individuelle) qui induisent des contraintes ergonomiques (ex. : visibilité, sudation)
- Autres :
- Aucun risque additionnel

26. Lors de l'intervention, le travailleur peut-il potentiellement avoir son harnais attaché en tout temps à une corde d'assurance solidement fixée à l'extérieur de l'espace clos?*

- Oui Non

* Questions qui permettent de déterminer si un éventuel sauvetage pourrait se faire *a priori* sans entrée dans l'espace clos

** Questions qui permettent de déterminer si le sauvetage avec entrée pourrait se complexifier en raison des conditions d'intervention

ANNEXE H – MATRICE DE RISQUE PROPOSÉE PAR LA NORME AS/NZ 2865 :2001

Tableau 28 - Matrice de risque proposée par la norme AS/NZ 2865:2001

	Consequences				
	1 Insignificant N° injuries or illness	2 Minor First aid treatment, on-site release immediately contained	3 Moderate Medical treatment required, toxic release on-site contained with outside assistance	4 Major Extensive injuries, toxic release off-site release with no detrimental effects	5 Catastrophic Death, toxic release off-site with detrimental effects
Likelihood					
A - Almost Certain: The event is expected to occur in most circumstances	S	S	H	H	H
B - Likely: The event will occur at some time	M	S	S	H	H
C - Moderate: The event should occur at some time	L	M	S	H	H
D - Unlikely: The event could occur at some time	L	L	M	S	H
E - Rare: The event may occur only in exceptional circumstances	L	L	M	S	S
WITH: L - LOW: MANAGE BY ROUTINE PROCEDURES; M - MODERATE: MANAGEMENT RESPONSIBILITY MUST BE SPECIFIED; S - SIGNIFICANT: SENIOR MANAGEMENT ATTENTION NEEDED; H - HIGH: DETAILED RESEARCH AND MANAGEMENT PLANNING REQUIRED AT SENIOR LEVELS.					