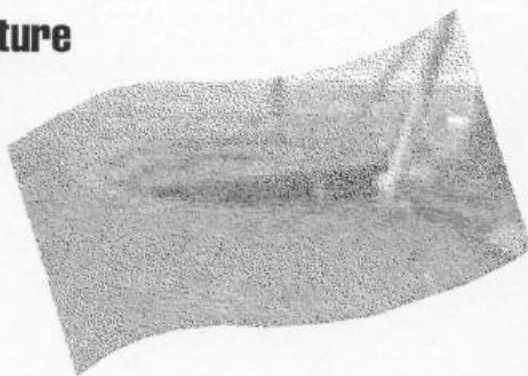


**Évaluation des activités d'ouverture
et de fermeture de couvercles
de puits d'aqueducs et d'égouts**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Daniel Imbeau
Bruno Farbos
Raymond Bêlanger
Serge Massé

Juin 2003

R-331

RAPPORT





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.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

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 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 CSST.
Abonnement : 1-817-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2003

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
juin 2003.

Évaluation des activités d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'aqueducs et d'égouts

ÉTUDES ET RECHERCHES

Daniel Imbeau et Bruno Farbos
Département de mathématiques et de génie industriel
École Polytechnique de Montréal

Raymond Bélanger et Serge Massé
Sécurité-ingénierie, IRSST

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

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.

Sommaire

L'ouverture de tampons d'aqueducs et d'égouts sanitaires ainsi que de grilles d'égouts pluviaux implique des efforts physiques parfois importants, particulièrement pour le dos et les membres supérieurs de l'opérateur. Depuis ces dernières années, les réseaux d'égouts et d'aqueducs ont toutefois été améliorés par l'introduction de nouveaux couvercles dotés de « pattes-guides ». Ces dernières constituent une innovation importante. Néanmoins, l'apport et la diversité de ces nouveaux couvercles donnent lieu à certaines contreparties, notamment celle d'une modification de l'activité de l'opérateur. En réponse aux plaintes exprimées par ces opérateurs sur leur difficulté à ouvrir ces nouveaux types de couvercles (couvercles à pattes), l'APSAM (Association Paritaire pour la Santé et la Sécurité du Travail) a demandé à l'IRSST de réaliser une étude visant à repérer les outils les plus appropriés pour les activités d'ouverture et de fermeture des couvercles de puits d'aqueducs et de puisard.

L'objectif de cette activité de recherche consiste donc à réaliser un recensement des outils existants, en particulier de tous ceux jugés aptes à permettre le levage des nouveaux couvercles, à procéder à leur évaluation en ce qui concerne la sécurité d'utilisation et au terme de la recherche, à recommander l'utilisation de ceux jugés adéquats.

La démarche de cette étude a reposé sur deux phases : une phase préliminaire et une phase d'observations sur le terrain. La phase préliminaire a consisté à identifier les couvercles et outils en usage ainsi que les procédures et méthodes de manutentions. La seconde phase avait comme objectif d'évaluer les conditions de travail des opérateurs à l'aide d'observations et de questions réalisées au cours de leur activité habituelle. Trois municipalités de la province de Québec ont collaboré à cette seconde phase ainsi qu'une entreprise privée. Pour les besoins des observations sur le terrain, cinq opérateurs d'expérience et volontaires, par municipalité et pour l'entreprise privée, ouvrait puis fermait 20 couvercles d'aqueducs ou d'égouts. Au total 400 levées ont été observées puis évaluées.

Les observations réalisées dans cette étude montrent que les opérateurs doivent composer avec des conditions de travail très variées au cours de leurs activités d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs. Les résultats ont montré qu'aucun outil en vigueur apparaissait approprié pour ces activités. Toutefois, l'étude permet d'apporter certaines avenues de solutions ayant trait tant à l'outil qu'au couvercle qui nécessiteront pour leur implantation, la collaboration d'un manufacturier de couvercles. En effet, il ressort de l'étude que la conception de d'outil sécuritaire et performant dépend étroitement de celle du couvercle à ouvrir ou fermer et que pour permettre une certaine standardisation de l'outillage, quelques caractéristiques de design des couvercles devront également être standardisées. L'application des recommandations formulées dans ce rapport devrait permettre de réduire grandement la variabilité des conditions de travail des opérateurs ainsi que les contraintes biomécaniques, améliorant ainsi leur sécurité tout autant que leur productivité.

L'APSAM apparaît bien positionnée pour assurer le leadership dans les nombreuses interactions que des activités de conception de nouveaux équipements supposera entre

manufacturiers et clients. Éventuellement, cette association présente une position propice à la mise sur pied et au maintien d'un mécanisme de rétroaction permettant aux municipalités de faire part aux manufacturiers des problèmes vécus et des nouvelles exigences quant aux équipements de voirie et aux activités de travail qui y sont associées.

Remerciements

Les auteurs tiennent d'abord à remercier les opérateurs ayant participé à cette étude ainsi que les personnes impliquées dans les municipalité et dans l'entreprise privée qui ont rendu possible cette étude.

Les auteurs tiennent également à remercier particulièrement Mme Zohra Derfoul, M. Christian Sirard et M. Pierre Drouin pour leur aide précieuse lors de la collecte des données sur le terrain et pour la préparation de ces données en vue des analyses.

Table des matières

	Page
1.0 Introduction.....	1
2.0 Objectif.....	2
3.0 Méthodologie	2
3.1 Phase préliminaire	2
3.2 Observations sur le terrain.....	3
3.2.1 Sites pilotes.....	3
3.2.2 Sujets.....	3
3.2.3 Données collectées.....	3
3.2.4 Analyses des données	4
4.0 Résultats	4
4.1 Description des couvercles, des outils et de la tâche.....	5
4.1.1 Les couvercles	5
4.1.2 Les outils	10
4.1.3 La tâche d'ouverture et de fermeture des couvercles.....	13
4.2 Résultats des analyses réalisées sur les données	14
4.2.1 Perception générale quant aux outils utilisés et aux couvercles (questionnaire).....	15
4.2.2 Perception de la difficulté et de l'effort lors d'activités d'ouverture et de fermeture de couvercles (observations d'activités d'ouverture et de fermeture de couvercles).....	17
4.2.3 – Analyses des séquences vidéo d'ouverture et de fermeture des couvercles.....	22
4.2.4 – Analyses biomécaniques	24
5.0 Discussion.....	35
5.1 Repères de conception pour les couvercles	37
5.2 Repères de conception pour les outils	30
6.0 Conclusions et recommandations.....	42
7.0 Références.....	43

Liste des tableaux

	Page
Tableau 1 : Répartition des couvercles observés sur le terrain.....	9
Tableau 2 : Usage des différents outils.....	11
Tableau 3 : Usage des différents outils selon la municipalité ou l'entreprise privée.	13
Tableau 4 : Caractéristiques désirables des outils selon les opérateurs.....	15
Tableau 5 : Synthèse des résultats obtenus concernant la perception	20
Tableau 6 : Synthèse des résultats de perception concernant les outils.....	22
Tableau 7 : Actions et durées requises pour l'ouverture des couvercles	23

Liste des figures

	Page
Figure 1 : Grille circulaire à rainures parallèles	5
Figure 2 : Grille circulaire à rainures obliques	5
Figure 3 : Grille carrée à rainures parallèles.....	5
Figure 4 : Grille carrée à petites rainures parallèles	5
Figure 5 : Grille rectangulaire à rainures parallèles	6
Figure 6 : Grille rectangulaire à rainures obliques	6
Figure 7 : Tampon sans pattes	7
Figure 8 : Tampon sans pattes à un trou.....	7
Figure 9 : Tampon avec pattes.....	7
Figure 10 : Pic, crochet et masse	10
Figure 11 : Crochets simple et double	10
Figure 12 : Protol.....	10
Figure 13 : Bras hydraulique	10
Figure 14 : Étapes d'ouverture d'un couvercle (cas d'une grille circulaire).....	14
Figure 15 : Ouverture au pic et à deux d'une grille carrée à rainures obliques	25
Figure 16 : Ouverture d'une grille carrée à rainures parallèles avec un crochet	26
Figure 17 : Ouverture d'une grille circulaire à rainures parallèles avec un crochet	27
Figure 18 : Ouverture d'une grille circulaire à rainures parallèles avec un protol	28
Figure 19 : Ouverture d'une grille circulaire à rainures obliques avec un pic	29
Figure 20 : Ouverture d'un tampon sans pattes à l'aide d'un crochet simple	30
Figure 21 : Ouverture d'un tampon à courtes pattes avec un pic.....	31
Figure 22 : Ouverture d'un tampon avec courtes pattes à l'aide du protol et d'un pic .	32
Figure 23 : Ouverture d'un tampon à longues pattes avec un pic.....	33
Figure 24 : Postures adoptées pour ouvrir (a, b, c, d, e), puis fermer des grilles munies de verrou à ressort (f, g, h)	34
Figure 25 : Situation compliquée pour l'usage du protol.....	35
Figure 26 : Tampon à 4 trous de levage asymétriques	38
Figure 27: Proposition d'un design pour la tête du pic	41
Figure 28: Soulèvement d'un tampon à l'aide d'un bras hydraulique muni de crochets	41

1.0 Introduction

Malgré les progrès technologiques importants survenus dans les secteurs industriels au cours de ces dernières décennies, les interventions périodiques d'inspections et d'entretiens des puits d'aqueducs et d'égouts demeurent nécessaires dans les municipalités du Québec.

L'ouverture de tampons d'aqueducs et d'égouts sanitaires ainsi que de grilles d'égouts pluviaux implique des efforts physiques parfois importants, particulièrement pour le dos et les membres supérieurs. Ces efforts résultent du poids élevé des couvercles mais aussi de leur très grande variété entraînant bien souvent les opérateurs affectés à ces travaux à utiliser des outils variés et mal adaptés.

Depuis ces dernières années, les réseaux d'égouts et d'aqueducs ont toutefois été améliorés particulièrement par l'introduction de nouveaux couvercles dotés de « pattes-guides ». Ces dernières constituent une innovation importante. Elles permettent au couvercle déplacé suite au passage de véhicules lourds sur voies rapides de reprendre sa position sur son cadre pour ainsi garantir la sécurité des usagers de la route.

Les nouveaux équipements offrent ainsi des avantages en terme fonctionnel, de sorte que plusieurs municipalités du Québec procèdent au remplacement progressif des anciens modèles par de nouveaux couvercles. Néanmoins, l'apport et la diversité de ces nouveaux couvercles donnent lieu à certaines contreparties entraînant un changement dans l'activité de l'opérateur. Cette modification reste la conséquence des éléments de conception des tampons ou grilles (trous, encoches, pattes), mais également des outils utilisés par les opérateurs. Ces derniers apparaissent souvent inappropriés et il semble que peu d'innovations technologiques aient été proposées en ce qui les concerne. Ce constat souligne une disparité apparente entre les innovations technologiques apportées aux couvercles et celles, absentes, des outils de levage.

Cette contradiction entre outils de manutention et couvercles rend toutefois prévisibles les risques de lésions musculo-squelettiques des opérateurs tel que le soulignent Aptel, Horwat et Doit (1993). Par exemple, ces auteurs montrent que l'utilisation d'un outil de type « crochet marteau » entraîne une diminution de 67 % des forces de compression sur la colonne vertébrale pour un angle d'inclinaison du dos de 51° comparé à un « crochet léger » avec un angle de 15°. L'effet bénéfique du « crochet marteau » s'explique par la conception de cet outil agissant comme un levier sur le couvercle tout en réduisant l'effort maximum de levage. À l'opposé, le « crochet léger » permet une liberté posturale relative mais implique une contrainte lombaire plus importante. La conception des couvercles contribuerait également au développement des risques de lésions musculo-squelettiques. Par exemple, la disposition du trou de levage agirait sur la phase de décollement, l'effort étant par exemple inférieur au poids du couvercle sur un tampon à trou de levage excentré (Aptel, Horwat et Doit 1993). L'insertion de l'outil de levage participe également à ces risques de lésions. Il sera ainsi plus difficile à l'opérateur d'insérer l'outil au couvercle si ce dernier présente des trous de levage étroits. Cette étroitesse entraîne le plus souvent le glissement de l'outil et par conséquent la chute du couvercle au moment de la levée.

L'encrassement de la plaque d'égout et de son cadre peut également majorer l'intensité de l'effort demandé à l'égoutier lors de sa tâche de levée. L'effort nécessaire pour décoller le

couvercle encrassé serait supérieur de près de 50% à celui d'une grille ou tampon d'égout nettoyé (Aptel, Horwat et Doit 1993). On soulignera enfin que certains modèles de couvercles se coincent dans leur cadre entraînant l'augmentation de l'effort pour le levage de la grille ou tampon.

Les tâches de manutention inhérentes à l'ouverture et à la fermeture de couvercles d'égouts et d'aqueducs sont dépendantes des outils de levage, des caractéristiques des couvercles ainsi que des conditions environnantes. Par ailleurs, la littérature offre peu d'information sur le choix d'outils appropriés ainsi que sur les caractéristiques de conception des couvercles qui sont désirables d'un point de vue de l'opérateur.

Suite aux plaintes de plus en plus nombreuses exprimées par les travailleurs de différentes municipalités quant à la difficulté d'ouvrir les nouveaux types de couvercles (couvercles à pattes), l'APSAM a demandé à l'IRSST de réaliser une étude visant à repérer les outils les plus appropriés pour ces tâches.

2.0 Objectif

L'objectif de cette activité de recherche consiste à réaliser un recensement des outils existants, en particulier, de tous ceux jugés aptes à permettre le levage des nouveaux couvercles, à procéder à leur évaluation en ce qui concerne la sécurité d'utilisation et au terme de la recherche, à recommander l'utilisation des outils jugés adéquats. Dans le cas où aucun outil approprié n'était trouvé, l'étude formulerait des recommandations concernant les caractéristiques de conception désirables pour ce type d'outil.

3.0 Méthodologie

La démarche retenue pour cette étude a reposé sur deux phases: une phase préliminaire et une phase d'observations sur le terrain.

3.1 Phase préliminaire

La phase préliminaire a consisté à identifier les couvercles et outils en usage ainsi que les procédures et méthodes de manutention, à partir de rencontres et de discussions auprès d'une trentaine de personnes travaillant aux réseaux d'égouts et d'aqueducs (ingénieurs en charge de services des travaux publics de municipalités, contremaîtres aux services d'entretien de réseaux d'aqueducs, opérateurs affectés aux réseaux d'égouts ou d'aqueducs, etc.). Cette étape a été réalisée en collaboration avec plusieurs organismes, Hydro-Québec, Bell Canada, Gaz Métropolitain et des municipalités comme Québec, Trois-Rivières, Granby, Sherbrooke et St-Laurent. D'autres associations ont également été sollicitées dont l'Association Paritaire pour la Santé et la Sécurité du Travail – Affaires municipales (APSAM), l'Association des Professionnels à l'Outillage Municipal (APOM), l'Association des Travaux Publics d'Amérique, section Québec (ATPA), la Société Québécoise d'Assainissement des Eaux (SQAE), l'Association Québécoise des Techniques de l'Environnement (AQTE) et l'Association des Entrepreneurs de Services en Environnement du Québec (AESEQ).

Les thèmes abordés lors des rencontres portaient sur l'organisation du travail d'entretien des réseaux, les difficultés liées à ces ouvertures et fermetures des couvercles, les incidents et les accidents survenus lors de leur tâche, les outils utilisés et les divers types de couvercles installés.

3.2 Observations sur le terrain

La seconde phase avait comme objectif d'évaluer les conditions de travail des opérateurs à partir d'observations et à l'aide de questions au cours de leur activité habituelle d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'aqueduc et d'égout.

3.2.1 Sites pilotes

Trois municipalités de la province de Québec ont collaboré à cette étude : St Laurent, Sherbrooke et Longueuil. Une entreprise privée, (Drainamar), a également participé à l'étude.

3.2.2 Sujets

Cinq opérateurs volontaires a l'emploi de chacune des municipalités et de l'entreprise privée ont participé à l'étude. Ces 20 opérateurs travaillaient pour les services d'aqueducs et d'assainissements. L'âge moyen de cet échantillon était de 43,8 ans (écart type de 10,6 ans), l'expérience moyenne à ce travail de 13,7 années (écart type de 9,7 ans) et le poids moyen de ces opérateurs de 83,5 kg (écart type de 14,4 kg). Tous les opérateurs étaient masculins. Pour participer à cette étude, ils devaient avoir un minimum de deux ans d'expérience et ne présenter aucun handicap physique majeur.

3.2.3 Données collectées

Pour les besoins des observations sur le terrain, chaque opérateur devait ouvrir puis fermer 20 couvercles d'aqueducs ou d'égout choisis le long d'un trajet dans une municipalité. Le trajet était établi par les intervenants des municipalités de façon à permettre l'observation l'ouverture et la fermeture de couvercles jugés les plus représentatifs du travail des opérateurs. En ce qui a trait à l'entreprise privée, le trajet correspondait à celui réellement fait par l'opérateur dans le cadre de son travail ce jour là. On demandait aux opérateurs d'utiliser les méthodes de travail et les outils habituels. Au total 400 levées ont été observées. Pour l'une des 3 municipalités ayant participé à cette étude, le même circuit a été réalisé pour les 5 opérateurs. Chaque opérateur était suivi lors de son activité.

Pour chaque opération d'ouverture/fermeture, les caractéristiques du couvercle et de l'environnement étaient notées *in situ* de même que le ou les outils utilisés. Pour le couvercle, on notait le type (grille vs tampon), la forme (circulaire vs carré ou rectangulaire), l'encoche (présente vs absente), l'emboîtement (présent vs absent), la disposition des rainures (parallèles vs obliques), la présence ou non de pattes et leur nombre. Pour l'environnement, on notait l'état du sol (dur vs mou, mouillé vs sec) et l'inclinaison de la surface (en pente vs plat).

Avant chaque opération d'ouverture, on demandait à l'opérateur d'estimer, à l'aide d'une échelle de type CR-0-10 avec ancrage sémantique, la difficulté prévue de l'ouverture du couvercle. Après la fermeture, l'opérateur évaluait la difficulté et l'effort perçus ainsi que le niveau d'adaptation de l'outil à la tâche. Les commentaires émis lors de ces évaluations

étaient notés et chaque opération d'ouverture/fermeture, filmée à l'aide de deux caméras vidéo placées à angle droit lorsque possible afin d'obtenir deux vues de l'opérateur durant la tâche de manutention.

À la fin des 20 opérations d'ouverture et de fermeture, le travailleur devait se prononcer sur l'importance perçue (très important, moyennement important, peu important, pas important) de chacune des 11 caractéristiques référant de façon générale aux outils (peut servir à décoller le couvercle, léger, pratique à ranger, facile à installer sur le couvercle, facile à désinstaller du couvercle, sécuritaire, facile à contrôler durant la manoeuvre, permet une bonne prise dans la main, s'agrippe bien sur le couvercle, permet l'ensemble des opérations –décollage, ouverture, fermeture–, flexible –ouvre un peut tous les types de couvercles–). L'opérateur devait aussi indiquer parmi ces caractéristiques celles qu'il jugeait les plus importantes de façon générale pour un outil servant à l'ouverture et à la fermeture d'un couvercle d'égout ou d'aqueduc. Par la suite, il devait se prononcer sur le niveau avec lequel chacune des caractéristiques était rencontrée pour chacun des outils utilisés au cours des 20 opérations d'ouverture et de fermeture complétées. Il devait enfin indiquer les trois caractéristiques les plus importantes pour chacun des outils. Tout commentaire additionnel formulé par le sujet durant cette évaluation était noté.

3.2.4 Analyse des données

Les informations collectées ont été regroupées en une base de données afin de faciliter les analyses statistiques descriptives. Une analyse sommaire des différentes phases de levages des couvercles a été également réalisée à partir des bandes vidéo en utilisant le logiciel « The Observer ». Ce logiciel a permis de préciser en termes de fréquences et de durées les différentes étapes liées à l'ouverture et à la fermeture d'un couvercle. Il a aussi permis de mettre en évidence certains dysfonctionnements et incidents. Le logiciel JMP a été utilisé pour les analyses statistiques descriptives et univariées sur l'ensemble de ces données.

Par ailleurs, un ensemble d'images extraites des séquences vidéos obtenues sur le terrain a été traité avec le logiciel 3DSSPP (University of Michigan 1993) afin d'estimer les contraintes biomécaniques lors des activités de manutention. Le logiciel estime les efforts résultants au niveau de diverses articulations (ex. dos, épaules) lors de situations de travail impliquant l'application de forces statiques ou quasi-statiques. L'estimation des efforts résultants permet d'évaluer le niveau de sollicitation musculo-squelettique à chaque articulation. L'estimation est rendue possible par une reconstitution de la posture de l'opérateur lors de sa tâche à partir d'un mannequin virtuel.

Les images utilisées pour les analyses de contraintes biomécaniques correspondaient aux moments où les forces appliquées par l'opérateur semblaient les plus importantes. Ces forces ont été estimées à partir des dimensions et de la position de l'outil utilisé et de celles du couvercle soulevé. Des 400 levées observées, 20 n'ont pas été exploitées, celles-ci correspondant à celles effectuées à l'aide d'un dispositif d'aide à la manutention hydraulique (appelé "bras hydraulique").

4.0 Résultats

La section des résultats est divisée en deux parties. La première présente une description des différents couvercles et outils observés. Cette section décrit également la tâche

d'ouverture et de fermeture des couvercles d'égouts et d'aqueducs. La seconde partie présente les principaux résultats de l'étude.

4.1 Description des couvercles, des outils et de la tâche

4.1.1 Les couvercles

Au Québec, deux grandes entreprises fournissent des pièces de voirie en fonte, les compagnies Bibby Ste-Croix (fonderies Laperle et Grand-Mère) et Muller Canada Inc. Chacune d'elles offre entre 50 et 100 modèles de couvercles, répertoriés selon leur numéro, poids, dimensions et fonctions. On peut diviser les couvercles en deux grandes catégories: les grilles et les tampons. Les grilles sont localisées au-dessus des puits de puisard habituellement le long des trottoirs. Elles comportent des fentes permettant l'écoulement de l'eau de pluie. Les Figures 1 à 6 montrent différentes grilles ayant fait l'objet d'observations sur le terrain.



Figure 1a (vue de dessus)



Figure 1b (vue de dessous)

Figure 1: Grille circulaire à rainures parallèles



Figure 2: Grille circulaire à rainures obliques



Figure 3: Grille carrée à rainures



Figure 4: Grille carrée à petites rainures

parallèles



Figure 5: Grille rectangulaire à rainures parallèles et verrou à ressort

rainures parallèles



Figure 6: Grille rectangulaire à rainures obliques

De toutes les grilles ayant fait l'objet d'observations dans cette étude, les grilles circulaires sont nettement plus fréquentes que les carrées ou les rectangulaires (2 grilles observées sur 3 sont circulaires et d'un diamètre d'environ 75 cm). À titre d'exemple, les grilles circulaires représentent 65% de l'ensemble des grilles pour la municipalité de Sherbrooke, soit un total de 4500 circulaires contre 2500 carrées ou rectangulaires. Le dessous des grilles carrées et rectangulaires est typiquement plat alors que l'arête centrale des grilles circulaires présente souvent une forme arrondie (Figure 1b). Certaines grilles comme celle de la Figure 5 ont un mécanisme à ressort permettant de verrouiller la plaque sur son cadre.

Les grilles de puisard comportent souvent des encoches s'emboîtant dans des clés formées à même leur cadre. Ce mécanisme est utilisé pour des raisons de sécurité. En effet, les grilles de puisard sont dotées de larges fentes (rainures) par lesquelles passe l'eau de pluie. Ces fentes ne sont pas sans risque pour les cyclistes puisque les roues d'un vélo peuvent s'y insérer et s'y coincer. Afin de remédier à cette problématique la combinaison encoches/clés permet l'orientation de la grille de telle sorte que ses rainures soient toujours perpendiculaires au trottoir dans le cas des grilles parallèles ou à angle dans le cas des grilles obliques (Figure 2).

Le poids des grilles varie selon la dimension et les caractéristiques dont le matériau. Par exemple, pour une grille circulaire d'un diamètre de 75 cm (diamètre habituel des grilles en bordure des trottoirs à Montréal) le poids peut varier de 77 kg à 114 kg tel qu'indiqué dans les catalogues des manufacturiers. La grille du type de la Figure 1 (modèle P-3A C-20, Bibby-Ste-Croix) pèse typiquement 96 kg alors que la grille du type de la Figure 2 (modèle P-3V C20, Bibby-Ste-Croix) pèse typiquement 86 kg. Les grilles carrées ou rectangulaires ont également des poids très variables selon le type et les dimensions. Les plus lourdes que nous avons rencontrées (du type de la Figure 6, mais de plus grandes dimensions 91 cm x 46 cm) peuvent avoir un poids allant jusqu'à 118 kg.

Les tampons, également appelés couvercles de puits d'accès, sont de 3 types, ces dénominations étant liées à la catégorie de réseaux à laquelle ils appartiennent: tampon de puits d'égout, de chambre de vanne (ex. aqueducs) ou de chambre électrique enfouie. Les tampons sont toujours circulaires. Les Figures 7, 8 et 9 montrent différents types de tampons observés au cours de cette étude. Les Figures 7 et 8 montrent des tampons sans pattes alors que la Figure 9 montre un tampon avec 6 longues pattes.



Figure 7a (vue de dessus)



Figure 7b (vue du dessous)

Figure 7: Tampon sans pattes



Figure 8a (vue de dessus)



Figure 8b (vue de dessous)

Figure 8: Tampon sans pattes à un trou



Figure 9a (vue de dessus)



Figure 9b (vue de dessous)

Figure 9: Tampon avec pattes

Le dessous des tampons sans pattes comporte typiquement des arêtes de renfort multiples comme celles illustrées à la Figure 7b quoique ces couvercles peuvent avoir un dessous de forme beaucoup moins conique. Tout comme les grilles, les tampons peuvent être verrouillés au cadre de différentes façons notamment par un système comportant des boulons ou une « barrure » à canne (système Muller). Les poids des tampons que nous avons observés variaient de 77 kg à 134 kg. Par exemple le couvercle de la Figure 7b (modèle C-6: C24, Bibby-Ste-Croix) pèse 134 kg alors que celui de la figure 9a (modèle C-50M: C-50MS, Bibby-Ste-Croix) pèse 80 kg. Les tampons sont parfois munis d'encoches, mais leur cadre ne comporte souvent pas de clé (Figure 7a et 8a).

Les pattes sur certains tampons (3 à 6 pattes) servent à les empêcher de s'extraire du cadre et ainsi à les maintenir en place (Figure 9a). En effet, la succion provoqué par le passage à haute vitesse d'un véhicule lourd, fait parfois sortir le couvercle de son cadre constituant un risque pour les usagers de la route. La stratégie première a été d'alourdir significativement les couvercles pour réduire ce risque. Dans certains cas, les intervenants ont rapporté qu'il fallait souder les couvercles sur leur cadre sur certaines voies rapide car le poids élevé des couvercles ne parvenait pas à contrer la succion due au passage de certains véhicules. Il semblerait que l'ajout des pattes soit une solution efficace en ce sens qu'elle permet au couvercle de rester en position même s'il est plus léger. Par exemple, les couvercles montrés aux Figures 7b et 9a ont des diamètres identiques de 77.5 cm, mais une différence de poids de 54 kg. La ville de St-Laurent dénombre déjà 20% de couvercles avec pattes par rapport à la totalité des tampons installés, alors que la ville de Sherbrooke ne semble pas en détenir. L'ajout des pattes aux tampons est une modification relativement récente (en usage depuis 1996).

L'espace entre le couvercle et son cadre est variable. Cet espace est important pour deux raisons. D'une part, il permet dans certains cas d'accueillir une garniture de caoutchouc continue, évitant ainsi la pénétration d'eau indésirable notamment dans le cas des chambres électriques. Cette garniture est insérée dans une rainure et peut être facilement remplacée. Citons enfin que ces couvercles étanches se présentent avec des trous de levage ou de pic en forme de "L". La seconde raison de la variabilité de l'espace couvercle-cadre tient à la stabilité du tampon ou de la grille, cette stabilité étant d'autant plus grande que cet espace est réduit. Toutefois, cette réduction d'espace favorise l'adhérence du couvercle au cadre en raison de l'encrassement et donc une difficulté à lever le couvercle. L'effort initial nécessaire au décolllement d'un couvercle encrassé serait supérieur de plus de 50% à celui d'un couvercle propre selon Aptel, Horwat et Doit (1993).

Les catalogues des fonderies indiquent que les couvercles ou tampons peuvent être dotés d'un ou de plusieurs trous permettant d'y insérer un outil pour l'ouverture. Toutefois, certains couvercles peuvent être munis de poignées d'acier ou d'anneaux et de tiges de levage en acier. Ces derniers systèmes de levage, bien que beaucoup moins fréquents, demeurent disponibles et seraient fabriqués le plus souvent à la demande. Les trous de levage présentent des formes, des tailles différentes et des dispositions particulières. Leur forme peut être carrée, rectangulaire ou parfois circulaire, quoique la première soit nettement la plus fréquente. Le côté d'un trou carré ou rectangulaire varie typiquement entre 30 à 40 mm (1.2 et 1.5 po) (Mueller Canada). La disposition des trous sur le couvercle reste variable d'un couvercle à l'autre (Figures 7, 8 et 9).

La plupart des municipalités choisissent parmi les modèles de couvercles offerts par les fonderies. Le choix de concevoir leur propre modèle et de le faire produire par ces fonderies est également possible. C'est le cas des municipalités de Montréal et de Sherbrooke, lesquelles ayant conçu chacune une partie voire l'ensemble de leurs modèles, pour la ville de Sherbrooke. L'analyse des statistiques datant de 1998 indique que la municipalité de Sherbrooke détient plus de 10 000 tampons dont 3 000 pour les chambres de vanne et 7 000 pour les égouts (2 500 grilles carrées ou rectangulaires). Le renouvellement annuel des couvercles étant de 2% par rapport au nombre total des tampons existants alors que celui des grilles s'élève à 7%. Des données correspondantes n'étaient pas disponibles pour d'autres municipalités.

Le tableau 1 résume les caractéristiques des 320 différents couvercles observés sur le terrain. La grille typique est circulaire et d'un diamètre de 75 cm. Elle a des rainures parallèles (54% des grilles circulaires) ou obliques (24% des cas) et pèse 96 kg dans le premier cas, et 86 kg dans le second. Elle est munie d'encoches qui s'emboîtent dans des clés sur le cadre. Le tampon typique a un diamètre de 77.5 cm et pèse 134 kg. Il n'a pas de pattes et a 2 trous ou plus. En ce qui a trait aux tampons, la variabilité est plus grande dans les caractéristiques.

Tableau 1
Répartition des couvercles observés sur le terrain

Forme	Grilles	Tampons
Circulaire	N=128 (71%) Notes: <ul style="list-style-type: none"> 95% ont des encoches chacune s'emboîtant avec une clé sur le cadre 94% ont un diamètre de 74 à 75 cm avec un poids type de 96 kg (rainures parallèles) ou 86 kg (rainures obliques) 76% ont des rainures parallèles 	N=140 (100%) Notes: <ul style="list-style-type: none"> 52% ont un diamètre de 74.5 à 77.5 cm 99% ont des trous: 9% ont un seul trou, 21% en ont 2 et 57% en ont plus de 2 les trous sont de 15 cm à 30 cm du centre du couvercle 52% ont des encoches 24% ont des pattes: longueur de 4 cm à 13.5 cm
Carrée ou rectangulaire	Sans encoche/clé: N=33 (18%) Avec encoche/clé: N=19 (6%) Notes: <ul style="list-style-type: none"> 77% ont des rainures parallèles poids varient de 27 kg à 118 kg 	NA
Total: N=320 (100%)	N=180 (56%)	N=140 (44%)

Selon les observations sur le terrain, le nombre de trous de levage sur un tampon augmente avec son diamètre ($F_{2,172} = 50.0$, $p < 0.0001$). Également, les pattes ont tendance à se retrouver sur les tampons de plus grand diamètre ($F_{1,173} = 41.4$, $p < 0.0001$). Les tampons à pattes ont plus souvent 3 ou 4 trous de levage alors que les tampons sans pattes ont tendance à avoir moins ou plus de trous ($\chi^2_{2,171} = 49.0$, $p < 0.0001$). Enfin, plus le diamètre du tampon est grand, plus il est susceptible de comporter des encoches ($F_{1,173} = 220.0$, $p < 0.0001$).

La proportion de grilles et de tampons ouverts dans cette étude est la même (50% grilles et 50% tampons) et ne varie pas significativement d'une municipalité à l'autre ($\chi^2_{2,296} = 4.6$, $p < 0.1026$). Par contre, pour la firme privée 5 fois plus de grilles ont été ouvertes que des tampons.

4.1.2 Les outils

Les Figures 10, 11, 12 et 13 présentent les outils qui ont été utilisés lors des observations sur le terrain. Ce seraient les outils les plus couramment utilisés selon les discussions qui ont eues lieu avec les différents intervenants. Le Tableau 2 décrit l'usage des différents outils selon les caractéristiques des couvercles (399 ouvertures de couvercles ont finalement été retenues sur les 400 effectuées).



Figure 10: Pic, crochet et masse



Figure 11: Crochets simple et double



Figure 12: Protol



Figure 13: Bras hydraulique

Le pic est muni d'une ou deux pointes (Figure 7b et Figure 10). Lorsqu'il n'a qu'une seule pointe, c'est parce que la seconde pointe de l'outil original a été coupée. La pointe du pic est insérée dans un trou ou une rainure du couvercle puis maintenue coincée pour assurer un contrôle de l'ensemble couvercle-outil durant l'ouverture. Le pic est l'outil le plus utilisé pour ouvrir les couvercles (55% de toutes les ouvertures observées). Il est utilisé moins d'une fois sur trois pour les grilles circulaires (31% des grilles circulaires), moins d'une fois sur deux pour les grilles carrées ou rectangulaires (42% des grilles carrées/rectangulaires) et plus d'une fois sur deux pour les tampons (59% des tampons). Le pic est l'outil privilégié pour les tampons à pattes puisqu'il est utilisé dans 94% des cas que ce soit comme premier choix d'outil (90% des cas: Tableau 2) ou comme outil permettant de terminer l'ouverture (4% des ouvertures de couvercles à pattes) débutée avec le protol. Le pic est l'outil le plus polyvalent puisqu'il peut être utilisé pour ouvrir tous les types de couvercles.

Les crochets peuvent être simple ou double (Figure 11). Le crochet simple est utilisé pour presque tous les types de couvercles alors que le crochet double est utilisé principalement pour les grilles carrées, le double crochet ne pouvant être inséré dans les petits trous des tampons. Le crochet double permet une prise symétrique sur la grille carrée ou rectangulaire à rainures parallèles (Figure 4), une caractéristique importante qui permet un meilleur contrôle lors de la manutention. Le crochet n'est jamais utilisé lorsque le tampon a

des pattes. Pour les grilles circulaires à rainures parallèles, le crochet simple a été utilisé dans 49% des cas. Ce fort pourcentage est dû au fait qu'au moment où l'étude se déroulait, l'entreprise privée procédait exclusivement au nettoyage de puisards et l'outil utilisé pour ouvrir les grilles par cette entreprise est le crochet simple à manche long (Figure 11). Il est intéressant de noter que lorsque les rainures sont obliques sur les grilles circulaires, le pic est utilisé plus souvent que les crochets (24 % vs 5%) alors que c'est l'inverse lorsque les rainures sont parallèles (7% vs 54%)($\chi^2_{1,167} = 49.9, p < 0.0001$). De la même façon, avec les grilles carrées ou rectangulaires les crochets n'ont pas été utilisés lorsque les rainures sont obliques.

Tableau 2
Usage des différents outils

	Grilles	Tampons
Circulaire	N=148 ouvertures (66%) Rainures parallèles (66%): <ul style="list-style-type: none"> • Crochet simple: 49% • Pic: 7% • Crochet double: 5% • Protol: 2.5% • Bras hydraulique: 2.5% Rainures obliques (34%): <ul style="list-style-type: none"> • Pic: 24% • Protol: 4% • Crochet double: 3% • Crochet simple: 2% • Bras hydraulique: 1% 	N=175 ouvertures (100%) Sans pattes (61%): <ul style="list-style-type: none"> • Pic: 24% • Protol: 18% • Crochet simple: 13% • Bras hydraulique: 6% Avec pattes (39%): <ul style="list-style-type: none"> • Pic: 35% • Protol: 4%
Carrée ou rectangulaire	N=76 ouvertures (34%) Rainures parallèles (62%): <ul style="list-style-type: none"> • Pic: 22% • Crochet double: 15% • Crochet simple: 12% • Protol: 5% • Bras hydraulique: 5% • Main: 3% Rainures obliques (16%): <ul style="list-style-type: none"> • Pic: 16% Verrou à ressort (22%): <ul style="list-style-type: none"> • Pelle: 9% • Barre: 9% • Pic: 4% 	NA
Total: N=399 (100%)	N=224 (56%)	N=175 (44%)

Le protol (Figure 12) a été relativement peu utilisé comparé au pic et aux crochets (13% de toutes les ouvertures observés). Le protol a été utilisé trois fois plus souvent pour ouvrir les tampons que les grilles. En ce qui a trait aux tampons, le protol a été utilisé plus souvent que le pic lorsque le couvercle n'a pas de pattes alors que c'est l'inverse lorsqu'il y a des

pattes ($\text{Chi}^2_{1,140} = 23.2$, $p < 0.0001$). Dans les quelques cas où le protol a été utilisé comme premier outil pour ouvrir un tampon à pattes ($N=6$), le pic a été utilisé comme second outil pour terminer l'ouverture, 2 fois sur 3.

Une potence à mécanisme hydraulique montée à l'arrière d'un véhicule de voirie ("bras hydraulique") a été utilisée par l'un des sujets pour ses 20 levées (Figure 13): 10 grilles circulaires et 10 tampons. Dans la moitié des cas, un crochet simple a été utilisé pour repositionner correctement le couvercle sur son cadre (encoche vs clé) lors de la fermeture: 8 fois pour des grilles de formes variées et 2 fois pour des tampons.

La pelle d'acier et la barre ont été utilisées uniquement pour ouvrir les grilles rectangulaires comportant un verrou à ressorts. Dans la majorité des cas (10 fois sur 14), l'opérateur a utilisé ses mains (prise directe sur la grille) pour compléter l'opération d'ouverture/fermeture de ce type de couvercle. Enfin, l'opérateur a utilisé ses mains directement pour ouvrir 2 grilles carrées/rectangulaires.

Un deuxième outil a été utilisé dans 23 opérations d'ouverture/fermeture de couvercles. Le crochet simple compte pour près de la moitié de ces occurrences (combiné avec le bras hydraulique) et le pic pour le tiers (ex. combiné avec le protol). Les mains ont été utilisées comme deuxième "outil" dans 31 cas au total: 18 fois pour des grilles carrées ou rectangulaires (dont 11 à ressorts et 7 à rainures parallèles), 4 fois pour des grilles circulaires à rainures obliques et 8 fois pour des tampons à pattes.

Un outil d'appoint tel qu'une masse (41 cas: 10% de toutes les ouvertures) ou un "cogne-cogne" de fabrication artisanale (3 cas) ont été utilisés pour décoller le couvercle de son cadre. La masse est utilisée pour frapper en divers endroits sur le couvercle alors que le "cogne-cogne" est passé par les rainures de la grille et utilisé pour frapper le dessous de celle-ci. Également, un outil (marteau de maçon ou pic) différent de l'outil principal ayant servi à l'ouverture ou à la fermeture du couvercle a été utilisé pour nettoyer le cadre dans 31 cas (8% de toutes les ouvertures).

Les outils en usage varient selon la municipalité. Par exemple, 97% des ouvertures observées avec les pics l'ont été dans deux municipalités alors que 87% des usages du protol ont été faits dans la troisième municipalité. C'est dans cette 3^e municipalité que le bras hydraulique et le crochet double ont été utilisés. Le crochet simple a été utilisé presque exclusivement par l'entreprise privée. Le Tableau 3 présente la répartition des outils utilisés selon la municipalité ou l'entreprise privée.

Tableau 3
Usage de différents outils selon la municipalité ou l'entreprise privée

Outil	Entreprise privée	Municipalité L	Municipalité S	Municipalité V
Bras hydraulique			20	
Crochet double			23	
Crochet simple	100		7	
Pic double		78	5	
Pic simple				98
Protol		7	45	
Barre		7		
Pelle		5		2
Mains		2		
Total: N=399	N=100	N=99	N=100	N=100

4.1.3 La tâche d'ouverture et de fermeture des couvercles

La fréquence de manipulation des couvercles d'égouts et d'aqueducs est variable selon les saisons, les urgences et le milieu de travail. Par exemple, les employés municipaux rapportent qu'ils peuvent parfois ouvrir une vingtaine de couvercles par jour et ce, en continu pendant 1, 2 ou 3 semaines. Dans le secteur privé, la fréquence d'ouverture des couvercles peut être très différente. À titre d'exemple, les employés de la firme privée ayant participé à l'étude nous ont dit être payé "au couvercle". Ainsi, pour le nettoyage des puisards, certains nous ont rapporté ouvrir et fermer entre 100 et 110 couvercles par jour.

L'ouverture d'une grille ou d'un tampon peut comporter jusqu'à 5 étapes (Figure 14): 1- le dégagement du couvercle; 2- le détachement du couvercle de son cadre; 3- l'installation de l'outil de levage; 4- le décollement puis le tirage du couvercle; et 5- le dégagement complet du trou.

Le dégagement du couvercle (étape 1) consiste à le débarrasser des éléments tels que la neige, les feuilles ou l'asphalte susceptibles de l'obstruer ou ses trous de levage (ex. pour un tampon) et de nuire à son ouverture. Cette étape est réalisée le plus souvent à l'aide d'une pelle (ex. en hiver) et/ou de la pointe d'un pic. Plus cette dernière est fine, plus le nettoyage est facilité, la pointe permettant d'enlever les débris dans les recoins les plus étroits et de briser du même coup la glace plus facilement ou de dégager l'asphalte recouvrant le rebord du couvercle.

Le détachement du couvercle de son cadre (étape 2) consiste à éliminer l'adhérence entre le couvercle et son cadre, le plus souvent au moyen d'une masse. L'une des conséquences d'omettre cette étape est le fait que les efforts requis à l'étape 4 seront plus importants et répétés lorsque le couvercle adhère sur son cadre (ex. poussière, rouille, glace), ce qui est courant particulièrement en hiver et au printemps.

L'installation de l'outil de levage (étape 3) sur le couvercle est variable selon le couvercle à soulever et l'outil utilisé par l'opérateur. Par exemple, dans le cas du pic, il s'agit d'insérer la pointe dans l'un des trous de levage et de s'assurer d'une bonne adhérence entre l'outil et le couvercle. Dans le cas du protol il suffit d'insérer le crochet dans un trou de levage ou à l'extrémité d'une rainure.

Le décollement puis le tirage du couvercle (étape 4) consiste habituellement en un premier déplacement du couvercle par rapport à sa position initiale.

Le dégagement complet du trou (étape 5) consiste à déplacer le couvercle de façon à dégager complètement l'ouverture du puits pour en permettre l'accès. Les étapes 4 et 5 ont été séparées ici, car dans plusieurs cas le dégagement du trou nécessite de réinstaller l'outil et de l'utiliser dans des postures différentes de celles du décollement du couvercle (ex. ouverture d'un tampon avec un pic). Les étapes 4 et 5 sont celles pour lesquelles les efforts déployés par les opérateurs sont les plus importants.

Les 5 étapes ne sont pas réalisées systématiquement dans tous les cas. Par exemple, il arrive fréquemment que l'étape 1 ne soit pas nécessaire (ex. en été) ou que l'étape 2 soit omise. La fermeture du couvercle comporte quant à elle trois étapes correspondant à l'ordre inverse d'étapes d'ouverture: 1- tirage du couvercle au-dessus du trou; 2- positionnement du couvercle; et 3- désinstallation de l'outil. Notons que le positionnement du couvercle peut nécessiter quelques répétitions de désinstallation et de réinstallation de l'outil en un point différent du couvercle (ex. grille manipulée avec un crochet simple).



Étape 1: Dégagement du couvercle (ici avec une pelle).



Étape 2: Détachement du couvercle de son cadre (ici avec une masse).



Étape 3: Insertion de l'outil dans le couvercle (ici un crochet).



Étape 4: Décollement puis tirage du couvercle.



Étape 5: Dégagement de l'ouverture du puits.

Figure 14: Étapes d'ouverture d'un couvercle (ici une grille circulaire)

4.2 Résultats des analyses réalisées sur les données

Cette section comprend quatre parties. La première porte sur la perception que les opérateurs ont eu des outils qu'ils utilisent pour leur travail d'ouverture des couvercles. La seconde porte sur la difficulté perçue lors des opérations d'ouverture et de fermeture des couvercles. La troisième porte sur l'analyse des séquences d'ouverture/fermeture à l'aide du logiciel "The Observer". Enfin, la quatrième partie porte sur les analyses biomécaniques d'opérations d'ouverture de couvercles.

4.2.1 Perception générale quant aux outils utilisés et aux couvercles (questionnaire)

Outils. Le tableau 4 résume les résultats du questionnaire ayant trait à la perception des opérateurs quant aux caractéristiques désirables que doivent avoir les outils.

Tableau 4
Caractéristiques désirables des outils selon les opérateurs

Caractéristique de l'outil	En général	Pic	Protol	Crochet	Bras hydraul.
Permet l'ensemble des étapes	++++	√√	√		
Facile à contrôler pendant l'activité	++++	√√	√√	√√	√√√
Facile à installer sur le couvercle	++++	√√	√		
Sécuritaire	+++	√	√√	√	√
Léger	+++	√√	√√	√	
Pratique à ranger	+++	√√	√	√	
S'agrippe bien sur le couvercle	+++		√√	√√	
Permet une bonne prise de la main	+++	√	√		√√
Permet d'ouvrir tous les types de couvercles (polyvalent)	+++	√√	√		
Peut aider à décoller le couvercle (adhérence)	++	√√			
Facile à désinstaller du couvercle	++	√√	√		
Nombre de sujets qui se sont prononcés	N=9	N=8	N=6	N=2	N=1

+ indique le niveau d'appréciation d'une caractéristique de façon générale

√ indique l'appréciation du niveau avec lequel l'outil rencontre la caractéristique

Les opérateurs indiquent que les trois caractéristiques qu'ils jugent les plus importantes pour un outil sont qu'il permette de réaliser l'ensemble des étapes (décollage, ouverture puis fermeture), qu'il soit facile à contrôler durant l'opération et qu'il soit facile à installer sur le couvercle. Les autres caractéristiques ont été évalués de façon relativement uniforme. Lorsqu'on demande aux opérateurs de se prononcer sur le niveau avec lequel chacun des outils utilisés rencontre ces caractéristiques, ceux-ci donnent une évaluation assez uniforme pour le pic, un outil mieux connu que les autres si on en juge par le nombre de sujets ayant répondu. Les faiblesses du pic sont qu'il ne s'agrippe pas bien au couvercle, il paraît peu sécuritaire et ne permettrait pas une bonne prise sur la main. Six sujets ont commenté le pic en insistant sur le fait qu'il a l'avantage d'être durable et de permettre toutes les opérations: il peut servir à décoller le couvercle lorsqu'inséré dans une encoche (pour laquelle il n'y a pas de clé sur le cadre, ex. pour un tampon), il peut être utilisé pour frapper sur le couvercle, en plus de servir à l'ouverture. Le protol est un peu moins bien évalué que le pic, ses limites étant qu'il ne peut pas être utilisé pour rompre l'adhérence du couvercle sur son cadre, qu'il ne permet pas de réaliser l'ensemble des étapes

d'ouverture/fermeture (un pic peut être nécessaire pour nettoyer le tour du couvercle), il n'est pas facile à installer et à désinstaller sur le couvercle, et est peu polyvalent. Un sujet rapporte que le protol est léger et sécuritaire avec les tampons lourds, mais encombrant. Les résultats concernant le crochet et le bras hydraulique doivent être interprétés avec précaution étant donné le petit nombre de sujets les ayant évalués. Toutefois, un avantage évident du bras hydraulique est le contrôle qu'il permet durant la manoeuvre. Trois sujets disent que le crochet est plus sécuritaire que le pic et l'un d'eux juge que le crochet est forçant. Enfin, trois sujets indiquent que la barre utilisée pour ouvrir les grilles carrées munies d'un système de verrou à ressort sont inadéquates.

Quelques commentaires libres ayant trait aux outils ont été formulés par les opérateurs au cours des observations sur le terrain. L'essentiel de ces commentaires est rapporté ici.

- Les pics s'installent facilement sur les grilles et tampons, toutefois la forme de la pointe du pic ne permet pas une bonne adhérence (ou couplage) avec le couvercle (trou d'un tampon ou rainure d'une grille) ce qui a pour conséquence que le pic échappe de façon inattendue. Le pic n'assure donc pas systématiquement une prise sûre comme les crochets ou le protol.
- L'installation du protol nécessite de s'accroupir jusqu'au sol et requiert du soin pour s'assurer que le crochet est bien inséré. Il faut souvent se pencher à nouveau au sol pour désinstaller le protol. Par ailleurs, une fois installé le protol ne s'échappe pas du trou comme le pic. L'utilisation du protol requiert un sol dur offrant une bonne adhérence.
- Lorsque le couvercle est collé sur son cadre, il faut utiliser un second outil lorsque l'outil principal est le protol (ex. masse ou pic).

Couvercles. Lorsqu'interrogés sur la caractéristique d'un tampon ayant le plus d'impact sur leur travail, les opérateurs rapportent la présence de pattes le plus fréquemment (7 réponses sur 18), la présence d'encoches en deuxième (6 réponses sur 18) et la disposition des trous de levage (3 réponses sur 18). Trois opérateurs sur les 9 ayant formulé des commentaires sur les tampons (2 utilisant le crochet et un le pic) ont indiqué que la forme du dessous du couvercle est déterminante de l'effort à déployer pour ouvrir le couvercle: lorsque le dessous ressemble à la Figure 7b (arêtes fermées donnant une forme conique) le couvercle est plus facile à tirer que lorsque le dessous est plat. Deux autres opérateurs (l'un utilisant le pic et l'autre le bras hydraulique) ont rapporté que 4 trous dans le couvercle est un nombre idéal. Enfin, un autre opérateur a rapporté que lorsqu'il n'y a aucun trou de levage, la présence d'encoches est essentielle pour pouvoir lever le couvercle. L'un des opérateurs a également indiqué que lorsque le tour du couvercle est dentelé (Figure 7b), le nettoyage est plus difficile.

En ce qui a trait aux grilles, les caractéristiques ayant le plus d'impact sont la disposition des rainures qui arrive en premier (7 réponses sur 15) et la forme de la grille en deuxième (5 réponses sur 15). Parmi les commentaires formulés deux opérateurs ont rapporté que les grilles carrées ou rectangulaires sont très lourdes et parfois inutilement longues. Un autre a signalé que la présence d'encoches rend difficile le décollage des grilles (la forme de la grille n'est pas précisée).

Quelques commentaires libres ont été formulés par les opérateurs durant les observations à propos des couvercles. Ces commentaires sont résumés ici.

- Les systèmes de verrou ou de "barrure" rendent les couvercles difficiles à ouvrir lorsqu'ils sont rouillés ou gelés en hiver.
- L'encoche sans clé sur le cadre faciliterait le travail pour certains opérateurs (ex. en permettant d'y insérer la pointe d'un pic pour détacher le couvercle du cadre) alors qu'elle apporterait une difficulté pour d'autres.
- Les grilles de formes carrée ou rectangulaire (ou parfois ovale) présentent toujours le risque de tomber dans le puits, ce qui nécessite du temps et des efforts importants pour la récupérer. Ainsi, l'ouverture de ces types de grilles requiert une attention continue et du soin et ce, particulièrement lorsque le couvercle recouvrant un puisard comporte 2 ou 3 grilles carrées ou rectangulaires juxtaposées.

4.2.2 Perception de la difficulté et de l'effort lors d'activités d'ouverture et de fermeture de couvercles (observations d'activités d'ouverture et de fermeture de couvercles)

En moyenne tous couvercles confondus, le niveau médian de difficulté perçue par les opérateurs avant l'ouverture est jugé "pas facile" (niveau 3 sur l'échelle CR 0-10). La difficulté perçue après l'ouverture est légèrement moindre et est jugée "facile" (niveau 2). Les opérateurs ont eu tendance à sous-estimer la difficulté réelle dans 20% des cas et à sur-estimer dans 32% des cas. Dans les deux cas, l'erreur d'estimation est aussi fréquente pour les tampons que pour les grilles. Le niveau médian de l'effort perçu et celui de l'adaptation de l'outil sont équivalents à la difficulté perçue avant, soit le niveau 3 sur l'échelle. Le coefficient de corrélation de Spearman entre l'effort perçu et la difficulté perçue après est de 0.76 ($p < 0.0001$) et de 0.59 entre l'effort perçu et la difficulté perçue avant ($p < 0.0001$). La corrélation entre les deux mesures de difficulté est de 0.67 ($p < 0.0001$). Le niveau d'adaptation de l'outil est plus faiblement corrélé avec les autres mesures (0.49 à 0.57), mais les relations sont tout de même statistiquement significatives ($p < 0.0001$).

Afin de faciliter la présentation de résultats, les valeurs de difficulté et d'effort données par les opérateurs ont été regroupées en trois classes (Facile ou Effort faible: niveaux 0, 1 et 2 de l'échelle originale; Moyen: niveaux 3 et 4; et Difficile ou Effort élevé: niveaux 5 et plus). Dans les lignes qui suivent, seule la difficulté après l'ouverture (difficulté réelle), l'effort perçu et le niveau d'adaptation de l'outil sont traités.

Le niveau de difficulté après l'ouverture du couvercle ($F_{2,221} = 0.26$, $p < 0.77$) et l'effort perçu ($F_{2,221} = 1.68$, $p < 0.19$) ne sont pas liés au nombre d'opérations de manutention effectuées de sorte qu'aucune fatigue ne semble s'être accumulée chez les opérateurs au cours des 20 ouvertures/fermetures de couvercles effectuées.

Tampons. De façon générale, le niveau (médian) de difficulté pour ouvrir un tampon est jugé facile alors que l'effort est jugé moyen. Par contre, 17% des tampons sont jugés difficiles à ouvrir tandis que 6% requièrent un effort élevé. Le niveau d'adaptation de l'outil est jugé moyen en général, mais dans 20% des cas l'outil est jugé mal adapté pour l'ouverture des tampons.

La difficulté ($F_{2,172} = 7.8$, $p < 0.0006$), l'effort ($F_{2,172} = 22.5$, $p < 0.0001$) et le niveau d'adaptation de l'outil ($F_{2,172} = 7.6$, $p < 0.0007$) augmentent avec le diamètre du tampon. Comme la présence d'encoches et le nombre de trous de levage sont liés au diamètre (section 4.1.1), la difficulté et l'effort sont aussi liés significativement à ces caractéristiques (effort: $\text{Chi}^2_{4,169} = 15.5$, $p < 0.003$). Toutefois, les tampons ayant 6 trous ou plus (grands diamètres) sont perçus comme étant faciles à ouvrir plus souvent mais, ceux ayant 3 ou 4 trous sont perçus difficiles plus souvent que les autres ($\text{Chi}^2_{4,169} = 15.5$, $p < 0.003$). Ce résultat s'explique par le fait que les tampons ayant 3 ou 4 trous de levage sont ceux qui ont des pattes le plus souvent (section 4.1.1). En ce qui a trait au niveau d'adaptation de l'outil, un résultat similaire s'observe: lorsque le tampon a un petit nombre de trous (petit diamètre) l'outil est généralement jugé adapté; lorsque le nombre de trous est élevé (6 et plus, grand diamètre) l'outil est jugé plus ou moins bien adapté; enfin, lorsque le tampon comporte 3 ou 4 trous de levage, l'outil est jugé mal adapté plus fréquemment.

La présence de pattes sur le tampon a un effet significatif sur la difficulté perçue, les ouvertures jugées difficiles étant deux fois plus fréquentes lorsqu'il y a des pattes et les ouvertures jugées faciles trois fois plus fréquentes sans pattes ($\text{Chi}^2_{2,171} = 17.7$, $p < 0.0001$). Un résultat similaire s'observe pour le niveau d'adaptation de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,171} = 42.2$, $p < 0.0001$): lorsqu'il y a présence de pattes, l'outil est jugé plus ou moins adapté 2 fois plus souvent et mal adapté 4 fois plus souvent. Par contre, ce résultat ne s'observe pas pour l'effort: les tampons à pattes sont plus difficiles, mais ne requièrent pas un effort plus élevé que les tampons sans pattes. L'effort apparaît donc davantage lié au diamètre qu'à la présence de pattes.

Le fait que le sol soit dur ou mou n'a pas d'effet sur la difficulté à ouvrir un tampon ni sur le niveau d'adaptation perçue de l'outil. Par contre, lorsque le sol est mou, l'effort rapporté par l'opérateur est jugé élevé plus fréquemment que lorsque le sol est dur ($\text{Chi}^2_{2,171} = 11.0$, $p < 0.004$). Le sol mouillé (vs sol sec) augmente la difficulté ($\text{Chi}^2_{2,171} = 30.8$, $p < 0.0001$) et l'effort ($\text{Chi}^2_{2,171} = 18.4$, $p < 0.0001$) tout en diminuant l'adaptation perçue de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,171} = 26.9$, $p < 0.0001$): l'outil est jugé mal adapté 4 fois plus souvent, la difficulté élevée 6 fois plus souvent et l'effort élevé 12 fois plus souvent lorsque le sol est mouillé. Enfin, la pente inclinée rend le travail difficile ($\text{Chi}^2_{2,171} = 7.3$, $p < 0.026$), l'effort élevé ($\text{Chi}^2_{2,171} = 9.4$, $p < 0.009$) et détériore le jugement d'adaptation de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,171} = 10.6$, $p < 0.005$) plus souvent qu'un sol plat.

En tout, 40 commentaires (pour 175 ouvertures de tampons) ont été formulés par les opérateurs en rapport avec la difficulté: 8 ont rapport avec le fait que le tampon soit collé ou non sur son cadre, 7 ont rapport avec le fait que la difficulté est associée à la fermeture plutôt qu'à l'ouverture du tampon, 4 ont trait à la présence de pattes et 2 ont trait au poids. Les autres commentaires touchent à 13 éléments différents. En ce qui a trait à l'effort, 15 commentaires ont été formulés dont trois portent sur le poids du couvercle, 2 sont à l'effet que la fermeture est plus difficile que l'ouverture et 2 pour lesquels, c'est l'inverse. Les autres commentaires sont répartis entre 6 éléments différents.

Grilles circulaires. En ce qui a trait aux grilles circulaires en général, le niveau médian de difficulté est jugé faible alors que l'effort et l'adaptation de l'outil sont jugés moyens. Une grille sur 6 (16%) est jugée difficile à ouvrir alors que 7% des grilles requièrent un effort élevé. L'outil utilisé pour ouvrir une grille circulaire est jugé mal adapté dans 18% des cas.

L'orientation des rainures a un effet sur la difficulté perçue ($\text{Chi}^2_{2,144} = 17.9$, $p < 0.0001$) et sur l'effort ($\text{Chi}^2_{2,144} = 14.9$, $p < 0.0006$), les rainures obliques entraînant une difficulté et un effort jugés moyens ou élevés deux fois plus souvent que les rainures parallèles. L'orientation des rainures a un effet déterminant sur le niveau jugé d'adaptation de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,144} = 46.5$, $p < 0.0001$): l'outil est jugé mal adapté 11 fois plus souvent lorsque les rainures de la grille sont obliques. L'adhérence au sol (sec vs mouillé) a aussi un effet sur la difficulté ($\text{Chi}^2_{2,141} = 10.6$, $p < 0.005$), sur l'effort ($\text{Chi}^2_{2,144} = 9.7$, $p < 0.008$) et sur le niveau d'adaptation jugé de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,144} = 7.9$, $p < 0.02$). De façon générale, lorsque le sol est mouillé (vs sec) l'opération est jugée moyennement difficile ou difficile 2 fois plus souvent, l'effort moyennement élevé 1.5 fois plus souvent et élevé trois fois plus souvent, et l'outil mal adapté 2 fois plus souvent. La présence d'encoches n'a pas d'effet sur la difficulté ni sur l'effort ni sur le niveau d'adaptation de l'outil. Le nombre insuffisant d'opération d'ouvertures sur un sol incliné et sur un sol mou ne permettent pas de se prononcer sur l'effet de la pente ni de la dureté du sol avec les grilles circulaires.

Sur 148 ouvertures de grilles circulaires, 34 commentaires ont été formulés en rapport avec la difficulté et 8 en rapport avec l'effort. Parmi les commentaires à propos de la difficulté, 14 ont trait au fait que la grille est collée, 11 au fait que la fermeture est plus difficile que l'ouverture à cause de la présence d'encoches, 3 ont trait à l'outil et les autres sont distribués parmi 6 éléments. Pour l'effort, aucune tendance n'émerge des commentaires formulés.

Grilles carrées ou rectangulaires. En ce qui a trait aux grilles carrées ou rectangulaires en général, le niveau médian de difficulté, d'effort et de d'adaptation de l'outil sont jugés moyens. Par ailleurs, 41% des opérations d'ouverture de ces grilles entraînent un niveau de difficulté élevé et 29% un effort élevé. L'outil utilisé pour ouvrir une grille carrée ou rectangulaire est jugé mal adapté dans 42% des cas.

Tout comme pour les grilles circulaires, l'orientation des rainures a un effet sur la difficulté ($\text{Chi}^2_{2,72} = 16.4$, $p < 0.0003$) et l'effort ($\text{Chi}^2_{2,72} = 11.1$, $p < 0.004$) perçus, les rainures obliques entraînant une difficulté et un effort jugés moyens ou élevés trois fois plus souvent que les rainures parallèles. L'orientation des rainures a un effet déterminant également sur le niveau jugé d'adaptation de l'outil ($\text{Chi}^2_{2,72} = 28.3$, $p < 0.0001$): l'outil est jugé mal adapté 4 fois plus souvent lorsque les rainures de la grille ne sont pas parallèles.

L'épaisseur de la grille est liée à la difficulté ($F_{2,73} = 7.45$, $p < 0.001$), à l'effort ($F_{2,73} = 6.4$, $p < 0.003$) et au niveau perçu d'adaptation de l'outil ($F_{2,73} = 10.8$, $p < 0.0001$). La même tendance est observée avec la plus grande dimension de la grille: difficulté ($F_{2,73} = 17.0$, $p < 0.0001$), effort ($F_{2,73} = 22.4$, $p < 0.0001$) et adaptation de l'outil ($F_{2,73} = 10.0$, $p < 0.001$). Lorsqu'on compare les grilles carrées ou rectangulaires à rainures parallèles munies d'un mécanisme à ressort aux autres grilles carrées ou rectangulaires, l'outil est jugé mal adapté 4 fois plus souvent pour les premières ($\text{Chi}^2_{2,60} = 19.7$, $p < 0.0001$). Cette tendance apparaît pour la difficulté perçue, mais elle n'est pas significative et n'apparaît pas pour l'effort perçu.

L'adhérence au sol n'a pas d'effet sur les trois mesures. En ce qui a trait à la dureté du sol et à son inclinaison, les résultats ne sont pas fiables en raison du petit nombre d'observations.

Finalement, lorsqu'on compare les différents types de grilles carrées ou rectangulaires directement entre elles, les tendances suivantes peuvent être observées pour la difficulté perçue:

- Les mécanismes d'encoche et d'emboîtement sur le cadre sont associés à un niveau de difficulté moyen 52% du temps et élevé 27% du temps;
- Les grilles à rainures obliques sont associées à un niveau de difficulté élevé 100% du temps;
- Les mécanismes à ressort sont associés à un niveau de difficulté moyen 29% du temps et élevé 47% du temps;
- Les grilles à rainures parallèles sans mécanisme à ressort sont associées à un niveau de difficulté faible 71% du temps et élevé 21% du temps.

Ces dernières tendances ne sont pas statistiquement significatives étant donné le petit nombre de grilles carrées ou rectangulaires dans l'échantillon. Le tableau 5 résume les résultats concernant la perception des différents couvercles.

Tableau 5
Synthèse des résultats obtenus concernant la perception

Type de couvercle	Difficulté perçue	Effort perçu	Mauvaise adaptation de l'outil
Tampons:	faible: 56% élevée: 17%	faible: 41% élevé: 6%	adapté: 47% mal adapté: 20%
diamètre du tampon	*	*	*
présence d'encoches	*	*	*
nombre trous levage	*	*	*
pattes	*		*
sol mou vs dur		*	
sol mouillé vs sec	*	*	*
sol en pente vs plat	*	*	*
Grilles circulaires:	faible: 53% élevée: 16%	faible: 47% élevé: 7%	adapté: 49% mal adapté: 18%
orientation des rainures	*	*	*
sol mouillé vs sec	*	*	*
Grilles carrées ou rect.:	faible: 37% élevée: 41%	faible: 46% élevé: 29%	adapté: 38% mal adapté: 42%
orientation des rainures	*	*	*
épaisseur	*	*	*
plus grande dimension	*	*	*
mécanisme à ressort	+		+
mécanisme d'encoche et d'emboîtement	+		

Note: un * dénote un effet statistiquement significatif, un + dénote une tendance (non significative)

Outils. Les différents outils (en excluant la pelle, les mains et la barre qui comptent pour 16 occurrences) n'ont pas été évalués de la même façon en ce qui a trait aux trois mesures: difficulté ($\text{Chi}^2_{6,375} = 27.9$, $p < 0.0001$), effort ($\text{Chi}^2_{6,375} = 31.5$, $p < 0.0001$) et adaptation de l'outil ($\text{Chi}^2_{6,375} = 89.6$, $p < 0.0001$).

Globalement, le pic a tendance à être associé à un niveau de difficulté et d'effort élevés plus souvent que les autres outils. Le pic a aussi tendance à être jugé comme mal adapté plus souvent. Il a été utilisé un peu plus souvent pour des tampons (107 tampons vs 77 grilles). Le pic pose un niveau de difficulté élevé particulièrement pour les grilles à rainures obliques ($\text{Chi}^2_{2,193} = 6.8$, $p < 0.0326$). Lorsque celles-ci sont enlevées de l'analyse, le niveau de difficulté est comparable entre les grilles et les tampons ($\text{Chi}^2_{2,146} = 1.7$, $p < 0.426$). En ce qui a trait à l'effort, les tampons sont associés à un niveau d'effort moyen 2 fois plus fréquemment que les grilles qui elles sont associés à un effort élevé 4 fois plus souvent ($\text{Chi}^2_{2,193} = 16.9$, $p < 0.0002$). Si l'on exclut les grilles à rainures obliques, le pic est alors associé à des efforts plus faibles pour les grilles que pour les tampons ($\text{Chi}^2_{2,146} = 13.7$, $p < 0.0011$). Que l'on tienne compte ou non des tampons à pattes, les résultats ne changent pas. Ici encore, les grilles à rainure obliques posent une difficulté pour l'usage du pic. Pour ce qui est du niveau d'adaptation de l'outil, le pic est considéré comme plus ou moins adapté pour les tampons dans 50% des cas, alors qu'il est considéré comme mal adapté deux fois plus souvent avec les grilles ($\text{Chi}^2_{2,193} = 13.7$, $p < 0.0011$). Si l'on exclut les grilles à rainures obliques de l'analyse, le résultat change peu de sorte que les pics sont jugés moins bien adaptés pour les grilles que pour les tampons.

Le protol est associé à un niveau de difficulté et d'effort moyens et est généralement considéré comme assez bien adapté. Il a été utilisé surtout pour des tampons (38 tampons vs 14 grilles). En y regardant de plus près, le protol apparaît beaucoup moins bien adapté pour les grilles que pour les tampons ($\text{Chi}^2_{1,45} = 11.3$, $p < 0.0008$): il est jugé bien adapté pour 85% des tampons mais seulement pour 35% des grilles. Par contre, il est jugé mal adapté pour 15% des tampons et pour 64% des grilles. Le protol présente donc une difficulté avec les grilles.

Le crochet et le bras hydraulique sont évalués de façon semblable au protol quoique le niveau de difficulté et d'effort soient jugés moins importants pour ces deux outils. Le crochet a été utilisé surtout pour les grilles (107 grilles vs 23 tampons). Celui-ci est jugé bien adapté un peu plus souvent pour les tampons que pour les grilles et mal adapté 4 fois plus souvent pour les tampons que pour les grilles. Cette tendance n'est toutefois pas significative en raison du petit nombre de tampons ouverts avec un crochet. Le bras hydraulique a été utilisé aussi souvent pour des grilles que pour des tampons. Ce dernier est jugé comme bien adapté pour tous les tampons, mais adapté une fois sur 2 pour les grilles ($\text{Chi}^2_{1,18} = 6.7$, $p < 0.01$).

Le Tableau 6 résume les résultats obtenus quant à la perception selon l'outil utilisé: les pourcentages dans les colonnes valent pour tous les types de couvercles confondus, alors que la principale difficulté rapportée dans la première colonne s'applique à un seul type de couvercle.

Tableau 6
Synthèse des résultats de perception concernant les outils

Outil	Niveau	Difficulté			Effort			Adaptation outil		
		Faible	Moyen.	Élevée	Faible	Moyen	Élevé	Faible	Moyen.	Élevée
Pic (N=181) Difficulté principale: grilles à rainures obliques		47%	25%	28%	35%	52%	13%	34%	42%	24%
Protol (N=52) Difficulté principale: grilles		35%	48%	17%	33%	60%	7%	27%	10%	63%
Crochet (N=130) Difficulté principale: tampons*		64%	23%	13%	55%	35%	10%	6%	25%	69%
Bras hydraulique (N=20) Difficulté principale: grilles		65%	30%	5%	85%	15%	0%	0%	25%	75%
Ensemble des outils (N=383)		51%	28%	21%	44%	45%	11%	24%	30%	46%

* indique une tendance non significative statistiquement

4.2.3 Analyse des séquences vidéo d'ouverture et de fermeture des couvercles

Les séquences vidéo de toutes les opérations d'ouverture réalisées avec un outil manuel ont été analysées (les opérations utilisant le bras hydraulique ont été exclues). Ainsi, chacune des 379 séquences a été décortiquée en 5 catégories d'actions: dégager le couvercle (ex. en hiver), décoller le couvercle (ex. avec la masse), insertion de l'outil, soulèvement du couvercle et tirage du couvercle. Le Tableau 7 donne la fréquence et la durée moyennes de chaque action selon le type de couvercle et dans certains cas, selon l'outil utilisé.

Globalement, le temps requis pour ouvrir un tampon est un peu plus long que pour les grilles. Si on exclut les grilles carrées ou rectangulaires du calcul, le temps moyen pour ouvrir une grille circulaire tombe à 25 secondes ce qui est presque 8 secondes de moins que pour un tampon. Le décoller des grilles de leur cadre est 2 fois moins fréquent que pour les tampons, mais il dure un peu plus longtemps. L'action de lever le couvercle est plus fréquente pour les grilles, mais dure moins longtemps. Ce résultat est dû principalement aux grilles carrées avec mécanismes de verrou à ressort qui requièrent plusieurs tentatives. Le pic doit être inséré un peu plus fréquemment en moyenne dans les tampons que dans les grilles circulaires. C'est l'inverse pour le protol, qui nécessite près de deux tentatives avec les grilles. Les grilles carrées ou rectangulaires nécessitent plus d'insertion de l'outil que les autres types de couvercle avec le pic. Les grilles circulaires sont levées un peu moins fréquemment que les tampons, mais tirées plus souvent lorsque le pic est utilisé. Une tendance similaire est observée avec les crochets.

Tableau 7
Actions et durées requises pour l'ouverture des couvercles

Action	Grilles (N=214)	Tampons (N=165)
Dégagement du couvercle	N=4 Durée moy = 12.4 s	N=37 Durée moy = 3.8 s
Décollement du couvercle de son cadre	N=117 n = 0.6 Durée moy = 7.9 s	N=190 n = 1.2 Durée moy = 6.2 s
Insertion de l'outil	N=371 n = 1.7 Durée moy = 10.4 s Circulaires: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 1.6 • crochet: n = 1.1 • protol: n = 1.9 Carrées/rect: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 3 • crochet: n = 1 • protol: n = 1 	N=258 n = 1.6 Durée moy = 12.0 s <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 2 • crochet: n = 1 • protol: n = 1
Levage du couvercle	N=493 n = 2.3 Durée moy = 1.6 s Circulaires: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 1.6 • crochet: n = 0.9 • protol: n = 1 Carrées/rect: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 7 • crochet: n = 0.5 	N=272 n = 1.6 Durée moy = 2.0 s <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 2.4 • crochet: n = 1 • protol: n = 1
Tirage du couvercle	N=331 n = 1.5 Durée moy = 1.5 s Circulaires: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 1.7 • crochet: n = 1.3 • protol: n = 4 Carrées/rect: <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 1.6 • crochet: n = 1.5 • protol: n = 1 	N=249 n = 1.5 Durée moy = 1.7 s <ul style="list-style-type: none"> • pic: n = 1.3 • crochet: n = 1 • protol: n = 3
	Durée moy totale = 28.6 s	Durée moy totale = 32.6 s

N: nombre d'occurrences totales

n: nombre moyen d'occurrences de l'étape par couvercle

4.2.4 Analyses biomécaniques

À l'origine nous avons prévu de réaliser une analyse biomécanique pour chaque levée de couvercle, toutefois la posture et les efforts impliqués lors de l'ouverture d'un couvercle sont rapidement apparus comme étant étroitement associés à l'outil utilisé et dans une certaine mesure, au type de couvercle. Nous avons également réalisé que la différence dans les postures adoptées par deux sujets pour ouvrir un même couvercle avec le même outil n'est pas assez importante pour pouvoir être capturée et prise en compte dans les calculs de contraintes biomécaniques effectuées avec le logiciel 3DSSPP: le logiciel ne permet tout simplement pas de tenir compte de petites différences dans la posture adoptée. Ainsi, des séquences représentatives des situations les plus fréquentes ou présentant un intérêt particulier ont été choisies pour les besoins de l'analyse (pour un total de 9 séquences).

Pour chaque séquence, l'analyse porte sur une image correspondant au moment de l'effort jugé le plus important de l'activité de manutention et pour lequel le risque de blessure apparaît le plus élevé. Les images correspondent généralement à l'étape de décollement-tirage initial du couvercle (étape 4) ainsi qu'à celle du dégagement complet du trou (étape 5), décrites à la section 4.1.3. Dans les analyses, on a supposé que les couvercles ne sont pas collés et ne restent pas coincés sur leur cadre. On suppose également que le coefficient de friction est de 0.25 lorsque le couvercle glisse sur son cadre et de 0.5 lorsqu'il glisse sur l'asphalte.

Pour chaque effort appliqué par l'opérateur, les moments résultants ont été obtenus pour chaque articulation d'un homme nord américain de stature moyenne (taille: 1.77 m poids: 75.2 kg) tel que défini par le logiciel. Lorsqu'une valeur est donnée pour le côté gauche et le côté droit ou pour plus d'un axe (ex. pour les épaules), la plus contraignante a été prise en compte. Les valeurs des moments ont ensuite été mises en rapport avec des distribution de force musculaire dans une population de travailleurs en bonne santé afin d'estimer la proportion de la population ayant suffisamment de force musculaire pour réaliser cette tâche.

Dans les figures qui suivent, les résultats sont présentés sous forme de pourcentages de la population des travailleurs industriels nord américains en bonne santé ayant tout juste assez de capacité musculaire à chaque articulation pour exercer l'effort dans la posture adoptée sur l'image analysée et ce, en utilisant le poids réel du couvercle soulevé dans les analyses. Le pourcentage entre parenthèse indique le pourcentage de la population pour qui la combinaison d'effort et de posture sollicite la capacité musculaire à 50% ou moins. La force de compression estimée au disque L5-S1 est également donnée pour chaque combinaison de couvercle et d'outil. Finalement, des résultats sont présentés pour un poids de 100 kg (colonne de droite) lequel permet de comparer entre elles les différentes combinaisons d'outils et de couvercles analysées.

Grilles. La Figure 15 présente les résultats d'analyse pour une grille carrée de grandes dimensions à rainures obliques ouverte par deux opérateurs en utilisant le pic: la première image correspond au lever initial et la seconde au dégagement du trou. Mentionnons que plusieurs de ces grilles ont été ouvertes par un seul opérateur. Les analyses ont été faites pour le travailleur de droite et au cours du lever initial. La grille pèse 118 kg. Pour cette analyse, l'effort vertical a été réparti également entre les deux mains ce qui donne lieu à un

chargement symétrique au niveau des épaules qui résulte en une posture plus stable. Ce scénario nous est apparu le plus plausible.

Les résultats indiquent que les régions les plus sollicitées sont les hanches et les genoux. Une proportion relativement faible (52%) des travailleurs en bonne santé ont suffisamment de force musculaire pour réaliser cette tâche de façon sécuritaire. C'est particulièrement le cas si on tient compte du fait que le pic de l'un des deux opérateurs a lâché prise 6 fois durant la manoeuvre d'ouverture et 1 fois durant la fermeture. Ils ont donc dû récupérer de ces imprévus, relativement fréquents avec les pics. Ce résultat correspond bien à l'évaluation faible que les opérateurs font du pic quant à sa qualité de s'agripper au couvercle et à son niveau de sécurité. Également, le travailleur de droite a dû appliquer 17 efforts successifs vers le haut avant que la grille ne se détache de son cadre parce qu'elle était collée (3 efforts avant l'usage de la masse et 14 efforts après). L'ouverture de cette grille ne consiste donc pas en un effort unique, mais bien en une succession d'efforts exercés dans des postures telles que celles illustrées à la Figure 15.

En ce qui a trait à la force de compression à L5-S1, les valeurs indiquées sont déjà au-delà de la valeur seuil pour une bonne conception (3400 N), mais en deçà de la valeur limite acceptable (6400 N)(NIOSH 1981). Toutefois, un effort imprévu entraînant une augmentation de la contrainte au dos de 56% permettrait d'atteindre la valeur limite acceptable. Un effort supérieur de 50% en raison du fait que la grille est collée (Aptel, Horwat et Doit 1993) permet presque d'atteindre cette limite (16 occurrences ici).



15a

15b

Analyses pour l'image 15a (opérateur de droite)

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 118 kg	poids de 100 kg
Coude	95 (27)	97
Épaule	95 (68)	97
Tronc	94 (79)	95
Hanche	48 (7)	56
Genou	84 (45)	88
Cheville	99 (99)	99
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	4455 ± 329	4107 ± 303

Figure 15: Ouverture au pic et à deux d'une grille carrée à rainures obliques

La Figure 16 présente les résultats de l'analyse pour une grille carrée à rainures parallèles ouverte par un seul opérateur en utilisant un crochet double: la première image correspond au lever initial et la seconde au dégagement du trou. Les analyses portent sur la seconde image. Cette grille pèse 56 kg.

Les résultats indiquent qu'une proportion non négligeable de la population n'a pas suffisamment de capacité musculaire pour exécuter cette tâche (6%). Par ailleurs, les contraintes à L5-S1 sont en deçà du seuil acceptable selon NIOSH (1981). Ce résultat est en bonne partie associé à la posture très favorable dans laquelle l'effort est exercé (posture relativement verticale, effort près du corps et proche du niveau de la ceinture). Notons que le crochet double permet d'assurer un effort de traction réparti de façon symétrique sur la grille ce qui est important ici puisque tout déséquilibre risquerait de faire tomber la grille au fond du puits. Un tel événement n'a pas été observé, toutefois les opérateurs prennent grand soin dans leurs gestes pour qu'il ne se produise pas en raison des difficultés et des efforts importants associés à la récupération d'une grille au fond d'un puits. Ce problème ne se pose pas avec les grilles circulaires.



Analyses portant sur l'image 16b

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 56 kg	poids de 100 kg
Coude	99 (88)	93
Épaule	99 (95)	97
Tronc	96 (84)	89
Hanche	94 (85)	88
Genou	99 (99)	99
Cheville	99 (99)	99
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	2310 ± 156	3121 ± 219

Figure 16: Ouverture d'une grille carrée à rainures parallèles avec un crochet

La Figure 17 présente les résultats de l'analyse pour une grille circulaire à rainures parallèles ouverte par un seul opérateur en utilisant un crochet simple. La première image montre l'opérateur appliquant un effort pour lever la grille, mais celle-ci résiste car elle est collée. La seconde image montre le décollement de la grille en insérant le crochet entre la grille et son cadre, sous la grille. Cette méthode n'a été observée qu'avec les grilles circulaires. Parfois, elle est inefficace et il faut alors recourir à la masse.

La troisième image correspond au lever initial du couvercle. Avec les couvercles circulaires sans pattes (tampons ou grilles) le premier effort vise à déplacer le couvercle en le faisant basculer pour en faciliter le dégagement du trou (image 17d). De là, l'opérateur traîne la grille (image 17e) d'un seul coup en un effort soutenu jusqu'à ce que le trou soit dégagé. Ces efforts ne se font généralement pas en douceur, les opérateurs ont tendance à donner des secousses pour accélérer le couvercle. Cette grille pèse 96 kg. Les analyses portent sur l'image 17e.



Analyses portant sur l'image 17e

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 96 kg	poids de 100 kg
Coude	99 (99)	99
Épaule	98 (74)	98
Tronc	96 (74)	95
Hanche	54 (2)	48
Genou	98 (70)	91
Cheville	100 (22)	100
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	2549 ± 191	2613 ± 197

Figure 17: Ouverture d'une grille circulaire à rainures parallèles avec un crochet

L'image 17f montre le positionnement final de la grille à la fermeture. Pour cette étape, il a fallu à l'opérateur appliquer 10 efforts verticaux au cours desquels il a réinséré son crochet 4 fois et utilisé son pied trois fois pour tenter à chaque fois de repositionner la grille correctement en place (ceci en plus des 2 efforts requis pour amener la grille au-dessus du

trou). La difficulté à repositionner la grille vient essentiellement de la difficulté à aligner les encoches de la grille avec les clés sur le cadre. Dans certains cas, la grille tombe en place presque du premier coup de sorte qu'il ne faut qu'un coup de pied ou un à deux efforts de crochet additionnels pour qu'elle tombe en place. Rappelons que le tiers des commentaires formulés par les opérateurs en rapport avec la difficulté lorsque les grilles sont manipulées sont liés aux encoches devant être alignées correctement sur le cadre lors de la fermeture (section 4.2.2).

Les résultats montrent que les sollicitations sont élevées particulièrement au niveau de la hanche. Une proportion importante de la population n'a pas suffisamment de capacité musculaire pour exécuter cette opération. Il apparaît important de souligner que l'analyse statique considère des efforts exercés en douceur et donc elle sous-estime les sollicitations réelles dans beaucoup de situations. Il est intéressant de noter que la rémunération de ce travail dans les entreprises privées comporte une composante à la pièce qui peut représenter un facteur de risque de blessure additionnel. Toutefois, signalons que cette combinaison d'outil et de couvercle produit peu d'événements imprévus et donc que les efforts sont dans une certaine mesure plus prévisibles (vs pic et grilles). En ce qui a trait aux contraintes à L5-S1, les valeurs obtenues sont à la limite de la valeur seuil de 3400 N.

La Figure 18 présente les résultats de l'analyse pour une grille circulaire à rainures parallèles ouverte par un seul opérateur en utilisant le protocole: la première image correspond au lever initial et la seconde à l'amorce du dégagement du trou. Les analyses portent sur la première image. Cette grille pèse 96 kg.



Analyses portant sur l'image 18a

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 96 kg	poids de 100 kg
Coude	99 (99)	99
Épaule	97 (50)	97
Tronc	99 (98)	99
Hanche	58 (69)	58
Genou	77 (98)	79
Cheville	100 (100)	100
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	1080 ± 68	1088 ± 70

Figure 18: Ouverture d'une grille circulaire à rainures parallèles avec un protocole

Le protol apparaît nettement moins exigeant pour le dos et pour les membres supérieurs que les autres outils. Par contre, il apparaît tout de même relativement exigeant au niveau des hanches et des membres inférieurs. Dans le cas du protol, le poids du couvercle n'est jamais soulevé directement (effort vertical) par le travailleur ce qui constitue certainement un avantage important d'un point de vue biomécanique.

L'usage du protol pour ouvrir les autres types de couvercles (grilles circulaires ou tampons) donne lieu aux mêmes postures et types d'efforts. Par contre, il est important de noter que contrairement aux couvercles de forme circulaire, le protol n'est pas utilisé pour fermer les grilles carrées ou rectangulaires. Pour cette opération, les opérateurs ont utilisé le crochet double (et parfois les mains) pour les raisons citées plus haut en adoptant les postures similaires à celles de la Figure 16.

La Figure 19 présente les résultats de l'analyse pour une grille circulaire à rainures obliques ouverte par un seul opérateur en utilisant le pic: la première image correspond au lever initial et la seconde à l'amorce du dégagement du trou. Dans cette séquence, le travailleur tire par coups successifs la grille et ce, en ligne droite pour dégager le trou. Les analyses portent sur la seconde image, qui en réalité comporte de 2 à 3 efforts successifs dans la même posture. Cette grille pèse 86 kg.



19a

19b

Analyses portant sur l'image 19b

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 96 kg	poids de 100 kg
Coude	100 (99)	100
Épaule	84 (40)	81
Tronc	99 (99)	99
Hanche	87 (85)	85
Genou	99 (92)	99
Cheville	100 (29)	100
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	1278 ± 91	1271 ± 91

Figure 19: Ouverture d'une grille circulaire à rainures obliques avec un pic

Les efforts aux différentes articulations sont tels qu'ici encore, une proportion importante de la population n'a pas la force nécessaire pour exécuter la tâche. Il faut aussi tenir compte

du fait qu'il faut exercer des efforts successifs et qu'il faut maintenir un contrôle constant pour éviter que le pic ne s'échappe de la grille, soit un événement relativement fréquent avec cet outil. Il est impossible de traduire en chiffres l'effort additionnel que le contrôle du pic exige toutefois, les imprévus peuvent facilement accroître les sollicitations musculaires. Les valeurs de compression à L5-S1 sont inférieures à la valeur seuil proposée par NIOSH (1981) ce qui est probablement dû au bras de levier que le pic offre et au fait que les mains sont près du corps durant l'application de l'effort.

Tampons. La Figure 20 présente les résultats de l'analyse pour un tampon sans pattes ouvert avec un crochet simple. La première image montre l'usage de la masse pour décoller le tampon de son cadre: ici il a fallu donner 2 coups de masse, mais 5 pour un couvercle identique précédent. La seconde image montre l'insertion du crochet simple dans l'un des trous de levage. La troisième image correspond au lever initial, la quatrième au premier tirage du tampon hors du trou et la cinquième, au dégagement complet du trou.



20a



20b



20c



20d



20e

Analyses portant sur l'image 20d

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 102 kg	poids de 100 kg
Coude	94 (20)	idem
Épaule	98 (77)	idem
Tronc	95 (75)	idem
Hanche	94 (82)	idem
Genou	99 (99)	idem
Cheville	99 (99)	idem
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	2466 ± 154	idem

Figure 20: Ouverture d'un tampon sans pattes à l'aide d'un crochet simple

Pour cette séquence, l'effort est appliqué en trois coups (vs 2 pour la grille de la Figure 17): il faut donc deux efforts pour dégager le trou une fois le premier lever réalisé (20c). Les analyses portent sur l'image 20d. Ce tampon pèse 102 kg. Les résultats montrent ici que le tronc et les hanches sont les articulations les plus sollicitées. Ici encore, une proportion importante de la population ne peut exécuter cette tâche. Les contraintes au niveau de L5-S1 sont en deçà du seuil jugé acceptable selon NIOSH.

La Figure 21 présente les résultats de l'analyse pour un tampon avec courtes pattes ouvert avec un pic. La première image correspond au lever initial et la seconde au tirage du couvercle. La troisième image montre le levage du couvercle suite au repositionnement du pic au côté opposé à la prise en 21b. La quatrième image montre le dégagement du trou en pivotant le tampon sur son point d'appui. Cette méthode est typique de l'ouverture d'un tampon avec ou sans pattes en utilisant un pic. Elle a aussi été beaucoup observée pour ouvrir les grilles circulaires avec un pic.



21a



21b



21c



21d

Analyses portant sur l'image 21c

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 91 kg	poids de 100 kg
Coude	99 (96)	99
Épaule	99 (99)	99
Tronc	95 (84)	94
Hanche	47 (11)	42
Genou	88 (92)	89
Cheville	93 (68)	92
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	4573 ± 333	4788 ± 349

Figure 21: Ouverture d'un tampon à courtes pattes avec un pic

Pour cette séquence, les analyses portent sur la troisième image (21c). Ce tampon pèse 91 kg et on assume que la charge est distribuée également entre les mains pour les raisons mentionnées plus haut. Les résultats indiquent une combinaison de posture et d'effort qui sollicite particulièrement les hanches et les genoux. Une proportion importante des travailleurs n'ont pas suffisamment de capacité musculaire pour exécuter cette tâche de façon sécuritaire. Ici, il n'y a pas eu d'événements imprévus: tous les gestes ont été exécutés en douceur. En ce qui a trait aux contraintes à L5-S1, elles sont clairement au-dessus de la valeur seuil. Dans ces conditions, le NIOSH suggère que la tâche soit modifiée pour en réduire les exigences physiques.

La Figure 22 présente les résultats de l'analyse pour d'un tampon comme celui de la Figure 21 (91 kg) avec courtes pattes dont l'ouverture est débutée avec le protol et terminée avec un pic: la première image correspond au tirage initial, la seconde à l'amorce du dégagement du trou et la troisième, au dégagement du trou comme à la Figure 21 c et d. Ici, le pic est utilisé parce que les pattes du tampon bloquent sur le bord intérieur du cadre ce qui rend difficile l'utilisation du protol pour le dégagement complet du trou.



22a

22b

22c

Analyses portant sur l'image 22c

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 91 kg	poids de 100 kg
Coude	95 (30)	93
Épaule	99 (99)	99
Tronc	93 (76)	92
Hanche	77 (44)	75
Genou	98 (85)	98
Cheville	91 (62)	89
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	3750 ± 281	3910 ± 293

Figure 22: Ouverture d'un tampon avec courtes pattes à l'aide du protol et d'un pic

L'opérateur aurait pu repositionner le protol en le faisant pivoter de 90 degrés vers la droite (crochet dans le même trou, mais protol appuyé en un point à 90 degrés vers la droite sur le couvercle), puis faire pivoter le couvercle sur le bord du puits juste assez pour déplacer la patte de gauche sur l'asphalte. Cette manoeuvre aurait pu être répétée pour faire sortir la 3^e

patte du puits et ainsi permettre le dégagement complet du trou. Cette technique a été observée avec des opérateurs plus expérimentés avec le protol.

Les résultats indiquent que l'usage du pic annule l'avantage gagné avec le protol. Ce constat est particulièrement évident lorsqu'on compare la force de compression à L5-S1 aux valeurs obtenues pour le protol à la Figure 18 (poids de 100 kg). Ici encore, cette activité est à risque pour une proportion importante de travailleurs et les contraintes à L5-S1 dépassent la valeur seuil.

La Figure 23 présente les résultats de l'analyse pour un tampon à longues pattes ouvert avec un pic. C'est le seul outil manuel pouvant ouvrir les tampons à longues pattes. La première image montre le lever initial (lever à la verticale), la seconde le dégagement vers le côté du trou par un mouvement de rotation du tronc et la troisième le dégagement complet en pivotant le tampon sur son appui un peu comme à la Figure 21c et d. Ici le pic n'est pas repositionné sur le couvercle, il est maintenu en place tout au long de la manoeuvre. L'analyse porte sur la seconde image. Ce tampon pèse 80 kg. La force a été répartie entre les mains à raison de 33% dans la main gauche et 66% dans la main droite étant donné que c'est elle qui dirige le mouvement de l'ensemble pic-couvercle.



Analyses portant sur l'image 23b

Région du corps sollicitée	% de la population ayant suffisamment de force	
	poids de 80 kg	poids de 100 kg
Coude	84 (2)	61
Épaule	97 (58)	93
Tronc	54 (1)	32
Hanche	62 (1)	22
Genou	99 (96)	99
Cheville	99 (97)	99
Compression à L5-S1 (N) (moyenne et écart-type)	7246 ± 536	8413 ± 625

Figure 23: Ouverture d'un tampon à longues pattes avec un pic

Les résultats montrent que cette opération est particulièrement exigeante pour le système musculo-squelettique et qu'une faible portion de la population peut l'exécuter. La force de compression produite à L5-S1 est au-delà de la limite acceptable selon le NIOSH.

Lorsqu'on répartit également la force entre les mains, le pourcentage de la population tend vers zéro pour l'articulation du coude avec le poids réel du couvercle.

Autres observations. La Figure 24 montre certaines des postures adoptées lors de la manipulation de grilles carrées munies d'un dispositif de verrou à ressort. Ces grilles ont un poids d'environ 36 kg. Les outils apparaissent tout à fait inadaptés pour ces grilles: un pic est utilisé sauf aux images d et e où une pelle et la barre sont essayés, respectivement. Le déverrouillage des grilles pose un problème puisque peu importe l'outil, l'opérateur doit trouver la meilleure place pour insérer son outil en y allant par essais et erreurs. La manoeuvre d'ouverture dure aux environs de 25 à 40 secondes durant lesquelles l'opérateur adopte une posture penchée, se relevant brièvement pour changer d'outil. Une fois la grille déverrouillée, l'opérateur doit la prendre dans ses mains pour dégager le trou. La manoeuvre de fermeture est l'inverse: l'opérateur accroupi dépose manuellement la grille sur son cadre (image f) et tente de la faire entrer à sa place en la frappant avec le pied (image g), mais sans succès car elle tombe dans le trou (image h). L'opérateur s'y prendra à trois reprises avant de réussir à fermer correctement la grille ce qui prendra près de 50 secondes, durant lesquelles il est essentiellement penché à manoeuvrer la grille et ne se lèvera que pour la frapper avec son pied (à deux reprises).



Figure 24: Postures adoptées pour ouvrir (a, b, c, d, e), puis fermer des grilles munies d'un verrou à ressorts (f, g, h)

La barre normalement conçue pour ce type de grille est tout à fait inadéquate (image e). En effet, à plusieurs reprises, on observe sur le vidéo le manche plier sous les efforts du travailleur qui tente de déverrouiller la grille. Lorsque le manche est trop plié, l'opérateur inverse l'outil qui par la suite plie dans l'autre sens. L'opérateur finit par utiliser un pic pour réaliser l'opération. Visiblement, l'ouverture et la fermeture de ces grilles pose problème.

La Figure 25 montre une situation où le protol pose particulièrement problème. Dans cette situation, le tampon est situé en bordure de la route et son cadre est plus élevé que le sol d'environ 15 à 20 cm. Le seul endroit où l'opérateur peut appuyer son outil est sur le cadre du puits, lequel n'offre pas une surface adéquate. Également, un garde-fou restreint beaucoup l'espace pour manoeuvrer avec l'outil.



Figure 25: Situation compliquée pour l'usage du protol

5.0 Discussion

Putz-Anderson (1988) recommande que toute tâche requérant plus de 50% de la capacité musculaire d'un travailleur représente un risque accru de blessure musculo-squelettique par effort excessif et donc, une telle tâche devrait être éliminée ou faire l'objet d'une re-conception afin d'en réduire les exigences physiques. Une telle recommandation permet de s'assurer que le travailleur bénéficie d'une réserve de capacité musculaire suffisante pour composer non seulement avec les efforts normalement requis durant l'exécution du travail mais également, avec des efforts imprévus. Cette recommandation est supportée par les travaux de Lavender, Mirka, Schoenmarklin, Sommerich, Sudhakar et Marras (1989). Ces auteurs ont comparé la sollicitation musculaire d'une activité de manutention statique d'une charge (maintien d'une charge dans un bac) à celle d'une manutention imprévue de la même charge (réception dans le bac de la même charge sans avertissement). Leurs résultats montrent que lorsqu'un effort doit être exercé de façon imprévue, la sollicitation musculaire résultante est significativement plus élevée que celle requise dans des conditions statiques. Lorsque l'effort est non seulement imprévu mais asymétrique, l'augmentation de la sollicitation est encore plus élevée, les augmentations allant jusqu'à 99% pour des efforts imprévus et asymétriques, par rapport aux conditions statiques. Ces auteurs indiquent également que les forces de compression exercées sur les disques intervertébraux du bas du dos peuvent être augmentées par un facteur de 3.5 dans le cas d'un effort imprévu. Cette augmentation de la force de compression serait attribuable à un accroissement des forces exercées par les muscles pour le maintien de la stabilité du tronc.

Notre étude montre que pour certaines combinaisons de couvercles et d'outils, les efforts statiques estimés par le logiciel sont si importants pour certaines articulations qu'une proportion non négligeable de la population des travailleurs industriels en bonne santé n'a

pas la capacité musculaire nécessaire pour réaliser l'activité de manutention. Lorsqu'on applique la recommandation de Putz-Anderson aux valeurs statiques obtenues par les analyses biomécaniques, la proportion des travailleurs pouvant réaliser ces activités de manutention avec une certaine marge de sécurité diminue de façon importante comme l'illustrent les valeurs entre parenthèses dans les Figures 15 à 23. Certaines combinaisons d'outils et de couvercles sollicitent la capacité musculaire de façon si importante que le travailleur ne peut pas bénéficier d'une réserve de capacité même dans des conditions purement statiques.

Il apparaît important de souligner ici que les chargements biomécaniques évalués à l'aide du logiciel d'analyse biomécanique utilisé dans cette étude demeurent des estimations qui peuvent comporter une certaine marge d'erreur par rapport aux valeurs réelles. En effet, le logiciel est basé sur un modèle statique et comporte des limites quant à la représentation de la posture dans l'espace, notamment en ce qui a trait à la position des pieds. Malgré ses limites cet outil est conçu pour permettre la comparaison de situations d'application d'efforts variées et il est couramment utilisé à cette fin. À l'heure actuelle, cet outil demeure l'un des plus accessibles pour l'évaluation et la comparaison de situations de travail réelles. Pour une évaluation plus précise, il faut avoir recours à des équipements beaucoup plus sophistiqués dont l'utilisation est confinée au laboratoire. Outre les problèmes de logistique et de coûts de montage parfois importants, les études de laboratoire posent des problèmes de validité en ce qui a trait à la reproduction réaliste et fiable de situations de travail réelles.

Par ailleurs, nos observations montrent que les efforts imprévus sont relativement fréquents avec certaines combinaisons de couvercles et d'outils (ex. pic et grilles à rainures obliques). Dans certains cas, l'imprévu provient du fait que le couvercle est collé sans que l'opérateur ne le sache. Il applique alors un effort et s'attend à un mouvement de la part de l'outil et du couvercle, ce qui ne se produit pas. Aptel, Horwat et Doit (1993) indiquent que l'effort musculaire peut facilement augmenter de 50% lorsque le couvercle est collé. Dans d'autres circonstances, c'est l'outil qui échappe et le couvercle qui tombe ou glisse sur l'outil. Dans ce cas, l'opérateur doit réagir rapidement pour reprendre le contrôle de l'ensemble outil-couvercle ou simplement enlever son pied ou sa jambe de la trajectoire de chute du couvercle. En plus de l'imprévu, les efforts sont souvent exercés dans des postures asymétriques. Dans de telles conditions d'imprévu et d'asymétrie, les chargements aux différentes articulations peuvent atteindre des valeurs si élevées en tenant compte des facteurs multiplicatifs de Lavender et coll. (1989) que le travailleur ne peut plus bénéficier d'une réserve de capacité adéquate. C'est nettement le cas pour certaines combinaisons d'outils et de couvercle particulièrement exigeantes comme les tampons à pattes longues manipulées avec un pic (Figure 23) ou les grilles à rainures obliques manipulées avec un pic (Figure 15).

La bonne pratique en ergonomie suggère d'accommoder au minimum 90% des travailleurs lorsqu'on conçoit un poste de travail. Étant donné que les opérations d'ouverture et de fermeture de couvercles peuvent être répétées à un certain nombre de reprises durant la journée de travail, que chaque opération d'ouverture et de fermeture requiert l'application d'efforts multiples dans des postures souvent contraignantes, que les incidents ou imprévus sont relativement fréquents et qu'ils donnent lieu à des efforts importants en raison des poids manutentionnés et ce, dans des postures asymétriques, que certaines conditions

environnementales peuvent accroître l'intensité et le nombre d'efforts normalement exigés il apparaît que l'application de la recommandation de Putz-Anderson (1988) soit tout à fait appropriée pour les activités d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs. Ainsi, nos analyses montrent que selon les combinaisons d'outils et de couvercle étudiées, entre 16% et 99% de la population des travailleurs industriels en santé ne sont pas accommodés avec les équipements existants. Pour s'en convaincre, il s'agit d'examiner les pourcentage indiqués entre parenthèses dans les Figures 15 à 23. De toute évidence, les analyses biomécaniques indiquent que les activités étudiées mettent une majorité des travailleurs à risques de se blesser. Ce constat ressort assez clairement aussi dans les résultats de perception de difficulté et d'effort pour certaines combinaisons d'outils et de couvercles.

Pour rendre les tâches d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs plus sécuritaire, la meilleure stratégie consiste à éliminer les efforts associés à la manutention. Une solution efficace en ce sens consiste à utiliser systématiquement un dispositif d'aide à la manutention comme le bras hydraulique observé au cours de cette étude pour ouvrir et fermer les couvercles. Ce système pourrait être avantageusement amélioré en modifiant le système d'attache actuel (des crochets et des chaînes) pour le rendre plus facile et rapide à installer et aussi plus polyvalent. Une paire de mors montés sur un mécanisme à ciseaux couramment utilisé pour déplacer les lingots dans les alumineries (autrefois utilisé pour déplacer des cubes de glace) pourrait s'adapter à tous les tampons comportant au moins deux trous et à toutes les grilles. Il ne fait aucun doute que d'autres mécanismes polyvalents de prise sur le couvercle peuvent être imaginés. Un dispositif d'aide à la manutention bien conçu et installé pourra non seulement servir à lever les couvercles, mais également à les détacher de leur cadre permettant ainsi d'éliminer tous les efforts physiques importants.

Dans la mesure où l'ouverture des couvercles doit rester manuelle, il faut trouver des moyens de réduire l'intensité et le nombre des efforts requis et également, de rendre les efforts prévisibles. La meilleure façon consiste à concevoir une combinaison d'outil et de couvercle qui soit bien intégrée. Un tel travail de conception doit être entrepris avec les manufacturiers d'équipements de voirie afin que le design des couvercles qu'ils mettent en marché permette un bon couplage avec l'outil utilisé pour l'ouverture et la fermeture. En ce sens, les repères de conception suivants devraient être pris en considération non seulement pour les équipements existants mais également pour tout nouvel équipement.

5.1 Repères pour la conception des couvercles

- Trou de levage: tout couvercle –tampon ou grille- devrait comporter des trous de levages conçus de façon à permettre à la tête de l'outil de levage de s'y insérer facilement et d'y rester fermement couplée durant toute la durée de la manoeuvre. Les rainures des grilles ne devraient pas être considérées comme des trous de levage. Les grilles devraient comporter des trous spécialement conçus pour le levage. C'est particulièrement vrai pour les grilles à rainures obliques. Il ne fait aucun doute que la conception du trou de levage dépend de celle de la tête de l'outil.
- Les trous de levage doivent être en nombre suffisants. Un nombre de deux trous de levage apparaît comme un minimum. Deux trous de levage permettent à l'opérateur de

choisir sa position de travail en fonction d'obstacles environnants (ex. garde-fou, trottoir, pente).

- Positionnement des trous de levage sur le couvercle: les trous de levage devraient être positionnés de façon symétrique sur le couvercle pour permettre à l'opérateur de prévoir plus facilement le mouvement du couvercle lorsqu'il le manutentionne avec un outil. Par exemple, sur les grilles carrées ou rectangulaires les trous devraient être positionnés aux points milieux d'extrémités opposées. Pour les grilles circulaires et les tampons les trous de levage devraient être positionnés le long d'un axe perpendiculaire à celui des encoches. Ainsi, l'opérateur qui tire la grille avec un crochet peut prédire plus facilement la trajectoire des encoches et les faire tomber vis-à-vis les clés où elles iront s'emboîter sur le cadre. La Figure 26 montre un tampon (modèle C-50M, Bibby-Ste-Croix) sur lequel les 4 trous de levage (petits carrés) sont disposés de façon asymétrique par rapport aux encoches. Lorsque l'opérateur tire le couvercle il ne lui est pas facile de prédire le mouvement des encoches. Un tel design nécessitera vraisemblablement des efforts répétés d'ajustement pour positionner correctement le couvercle tel que nous l'avons observé.

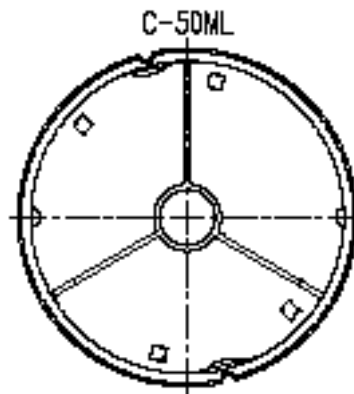


Figure 26: Tampon à 4 trous de levage asymétriques

- Forme des encoches: le dessous des encoches devrait être chanfreiné pour faciliter l'ajustement du couvercle lors de la fermeture. Nous avons observé que le positionnement final du couvercle nécessite souvent des efforts répétés pour le faire pivoter sur son cadre afin que ses encoches puissent s'aligner parfaitement avec les clés du cadre (ex. grilles circulaires). Des chanfreins sous les encoches élimineraient plusieurs de ces efforts de même que ceux pouvant être associés au fait que la grille bloque sur les clés lors de l'ouverture.
- Encoche de décollement: les tampons devraient être munis d'une encoche rectangulaire permettant l'insertion d'une barre de force pour décoller le couvercle de son cadre. Cette barre serait spécialement conçue pour décoller les couvercles. Elle permettrait une posture de travail plus favorable que celle imposée par l'utilisation du pic pour cette opération (plié en deux). Dans le cas des grilles, l'encoche pourrait être faite par en-dessous, vis-à-vis l'une des rainures et près d'un coin. Les grilles pourraient être décollées en utilisant une barre solide munie d'une tête en forme de "L" (la même barre que pour les tampons, mais en utilisant l'autre extrémité). Cette tête pourrait être passée verticalement au travers d'une rainure et la partie en "L" insérée entre le cadre et la grille, sous la grille dans un espace (ou dégagement) prévu à cet effet. Certains travailleurs utilisent le crochet de cette façon pour décoller les grilles circulaires, mais

il faut généralement quelques essais avant de trouver un endroit propice pour l'insérer. L'encoche permettrait de spécialiser cette tâche afin de la rendre plus rapide et efficace. Le même principe peut être envisagé pour les grilles carrées.

- Pattes sur les couvercles: on devrait éviter les couvercles à pattes dans toute la mesure du possible ou alors s'organiser pour que la manutention de ces couvercles ne soit pas manuelle. Par ailleurs lorsque des couvercles à pattes sont absolument nécessaires il y a toujours un risque qu'ils soient éventuellement manutentionnés manuellement et donc, les pattes devraient: 1- être disposées de façon symétrique par rapport aux trous de levage et aux encoches pour les mêmes raisons citées plus haut; 2- le profil des pattes ne devrait pas nuire aux mouvements du couvercle. Par exemple, à la Figure 21d le couvercle est muni de pattes courtes pointues qui ont tendance à planter dans l'asphalte plutôt qu'à glisser. Dans ce cas, il est plus difficile à l'opérateur de tirer le couvercle pour l'approcher du trou. Également, si les petites pattes de la Figure 22c avaient eu un profil à angle dans la direction du trou de levage, elles n'auraient pas bloqué aussi fermement sur le cadre de sorte que le recours au pic n'aurait pas été nécessaire. La manoeuvre aurait donc pu être réalisée au complet avec le protol.

Dans le même ordre d'idée on devrait étudier les différents profils de pattes permettant tout de même l'usage efficace du protol. En effet, quelle est la longueur maximale des pattes (pour conserver la fonctionnalité associée aux pattes) qui permet encore l'usage efficace du protol?

- Forme des couvercles: on devrait éviter dans toute la mesure du possible les couvercles carrés ou rectangulaires à cause du risque réel qu'ils tombent dans le puits. On devrait chercher à les remplacer par des couvercles circulaires. Par ailleurs, là où leur utilisation est absolument nécessaire, l'application de certaines des recommandations précédentes (ex. trous de levage) et le fait d'offrir un cadre dont la surface d'appui est surdimensionnée devrait permettre de minimiser ce risque de chute du couvercle dans le puits.
- Mécanismes de verrouillage: les mécanismes de verrouillage devraient être évités dans la mesure du possible, car la rouille et la saleté causent des inconvénients majeurs aux opérateurs avec ce type de mécanisme.

Il apparaît évident que le choix d'un couvercle de puits devrait prendre en compte le travail d'entretien et particulièrement les moyens mis à la disposition des travailleurs qui y sont affectés. À titre d'exemple, un couvercle ayant les caractéristiques suivantes est évalué favorablement par les opérateurs: il est circulaire; il n'a pas de pattes; il a au moins deux trous de levage; son dessous a une forme relativement conique qui lui permet de basculer facilement à l'ouverture, mais également de s'autocentrer lors de la fermeture; son collet n'est pas dentelé sur le dessous (le dentelé rend le nettoyage plus difficile); son cadre n'a pas de clés ce qui rend son positionnement final aisé et rapide qu'il ait ou non des encoches; il n'est pas muni de mécanisme de verrou (lequel rouille et s'encrasse); il est facile à décoller de son cadre ce qui suppose qu'il possède des encoches permettant l'insertion d'un outil pour le décollage (ex. pointe de pic). Un tel couvercle peut être manipulé avec le protol, ce qui réduit significativement les efforts physiques liés à sa manutention.

5.2 Repères de conception pour les outils

- Dispositif d'aide à la manutention: étant donné les efforts importants associés au poids élevé des couvercles, un dispositif d'aide à la manutention devrait être envisagé dans toute la mesure du possible. Le bras hydraulique observé au cours de cette étude est un exemple de dispositif de ce genre.
- Principe du protocole: si une aide à la manutention ne peut être envisagée, l'outil servant au levage et à la fermeture des couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs devrait dans la mesure du possible exploiter le principe du protocole. Avec ce principe, les efforts exercés par l'opérateur ne sont pas verticaux (lutte contre la gravité) mais horizontaux. Les résultats des analyses biomécaniques, particulièrement en ce qui concerne les épaules et le dos (L5-S1) montrent clairement que le protocole sollicite beaucoup moins le système musculo-squelettique que les autres outils manuels.
- Tête de l'outil: dans tous les cas, et particulièrement pour les outils manuels, la tête de l'outil qui assure le couplage avec le couvercle devrait assurer une prise ferme et fiable: il s'agit ici de minimiser le risque que l'outil "échappe" et en conséquence les actions de réinsertion répétées de l'outil. Le couplage entre l'outil et le couvercle a un effet direct sur le contrôle pendant l'activité, une variable importante et peu présente avec les outils manuels existants selon les opérateurs.

La Figure 27 propose un profil de tête d'outil qui devrait contribuer à améliorer significativement le couplage et la stabilité de l'outil sur les couvercles actuels. Une butée est soudée sur l'avant de la tête d'un pic (butée du dessus) afin de fournir une stabilité latérale de l'outil ainsi qu'un bon appui sur le couvercle. Une autre butée offrant un appui sous le couvercle afin de le prendre en serre lorsque le manche de l'outil est levé est aussi ajoutée (butée arrière). La pointe du pic est enlevée pour empêcher qu'elle plante dans l'asphalte lors du dégagement du couvercle du puits en le tirant. (En fait, l'extrémité de la tête doit probablement avoir un profil qui excède moins du dessous du couvercle que ce qui est illustré.) La dimension des butées doit être telle qu'elle permet d'entrer sans difficulté la tête de l'outil dans les plus petits trous de levage des tampons. Pour les grilles, on peut imaginer une butée arrière aussi large que la butée du dessus: l'ensemble est inséré dans une rainure puis tourné de 90° pour obtenir une bonne prise en serre sur la grille. Ainsi, sur le "pic modifié" on aurait une tête pour les grilles et l'autre pour les tampons. Pour permettre à l'outil de conserver sa polyvalence pour le nettoyage, on pourrait ajouter une troisième pointe perpendiculaire aux têtes de l'outil pour cette fonction. Ces modifications ne devraient pas alourdir significativement le pic actuel tout en améliorant significativement son couplage sur les couvercles actuels.

Évidemment, il faudra faire des essais systématiques sur le terrain avec des prototypes avant de trouver les dimensions permettant une performance robuste de ce design. On trouvera vraisemblablement que l'épaisseur des couvercles et des grilles doit être standardisée pour une utilisation fiable de ce design. La modification demeure très simple à réaliser et conserve au pic ses caractéristiques désirables tout en éliminant certains de ses défauts.

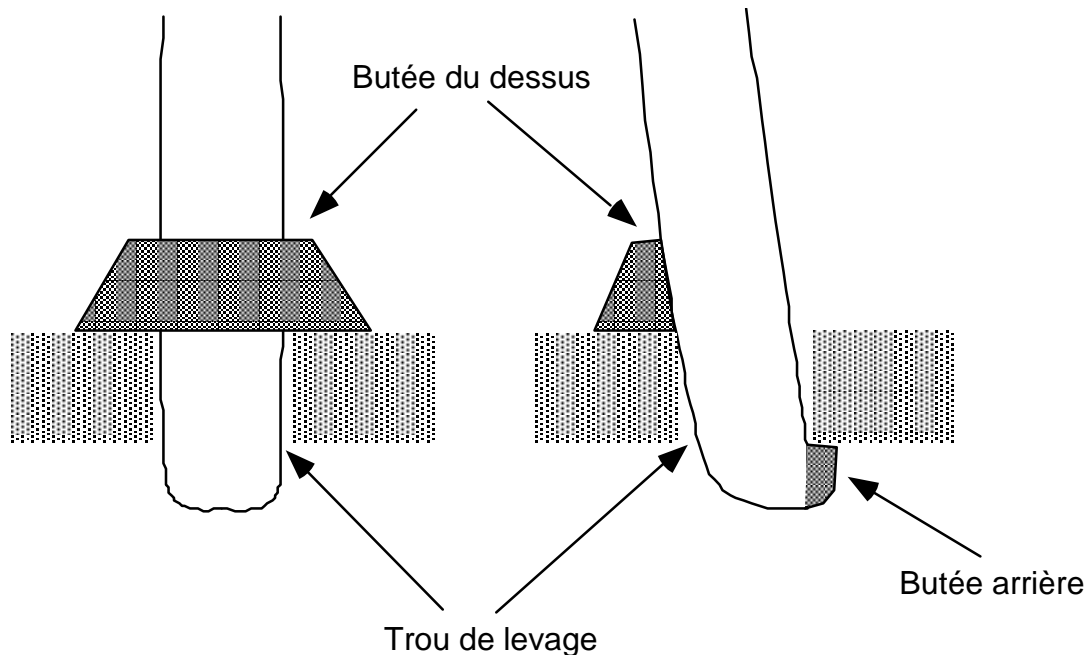


Figure 27: Proposition d'un design pour la tête du pic

Dans le cas d'un dispositif d'aide à la manutention, le mécanisme de couplage devrait permettre de manutentionner le couvercle en le maintenant parallèle au sol pour en faciliter le positionnement final lors de la fermeture et ainsi éviter la situation illustrée à la Figure 28. Dans cette situation l'opérateur doit utiliser un crochet ou ses mains pour orienter correctement le couvercle afin d'être en mesure de le fermer et ce, tout en commandant simultanément le dispositif d'aide à la manutention.



Figure 28: Soulèvement d'un tampon à l'aide d'un bras hydraulique muni de crochets

- Installation de l'outil: que l'outil soit manuel ou qu'il s'agisse d'un dispositif d'aide à la manutention, celui-ci doit s'installer et se désinstaller rapidement et facilement sur tous les types de couvercle et ce, sans nécessiter de se pencher jusqu'au sol: il devrait être relativement aisé d'en arriver à une conception permettant à l'opérateur de travailler en adoptant une bonne posture de travail. Cet aspect d'installation/désinstallation de l'outil est jugé important par les opérateurs.
- Utilisation de l'outil: l'outil devrait pouvoir être utilisé dans des conditions environnementales variées: sol dur ou mou, sec ou mouillé, plat ou en pente, etc. Ces

variables ont eu un effet sur la difficulté perçue et le niveau d'adaptation de l'outil évalué par les sujets de l'étude. Elles doivent donc être prises en compte dans la re-conception de l'outil.

- Spécialisation des outils: le décollage et l'ouverture pourraient être fait avec deux outils différents, chacun spécialisé pour une opération. À vouloir combiner toutes les fonctions ainsi que la polyvalence dans un même outil on en arrive au pic, lequel n'est visiblement pas acceptable selon les analyses réalisées plus haut. Un design de barre de décollage en forme de "L" pourrait être conçu et probablement utilisé avec une majorité des grilles existantes. L'autre bout de l'outil pourrait être conçu pour décoller les tampons munis d'au moins une encoche. Un tel outil permettrait de remplacer avantageusement la masse à plusieurs occasions. Évidemment, un outil rencontrant à la fois toutes les caractéristiques de base et permettant en même temps de réaliser toutes les étapes de l'ouverture et de la fermeture d'un couvercle serait idéal.

Dans cet ordre d'idée, le manche des pics pourrait être allongé de 50% et muni à son extrémité d'une poignée permettant une prise à deux mains perpendiculairement à l'axe du manche (ex. comme les crochets). Ces caractéristiques permettraient de réduire significativement les efforts lors du décollage du couvercle et de permettre de le tirer dans la même posture, plus favorable, qu'avec le crochet. Un tel design spécialiserait le pic. Ici encore, des essais systématiques sur le terrain avec différents prototypes permettront de dégager le design le plus performant.

6.0 Conclusions et recommandations

Aucun outil existant apparaît approprié pour les activités d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs. Chaque outil comporte des avantages et des inconvénients, convenant à certaines combinaisons de couvercles et de conditions environnementales et moins ou pas du tout à d'autres. Néanmoins, cette étude a permis de repérer plusieurs facteurs de difficulté pour lesquels il devrait être possible de trouver des solutions. Certaines avenues ont déjà été proposées dans les lignes qui précèdent sous forme de repères de conception.

Les observations réalisées dans cette étude montrent que les opérateurs doivent composer avec des conditions de travail très variées lors des activités d'ouverture et de fermeture de couvercles de puits d'égouts et d'aqueducs. Les couvercles ont des caractéristiques variables (forme, poids, présence de pattes, encoches) de même que les outils utilisés (pic, pelle, crochet, barre, masse). L'application de principes de base du Design for Assembly (DFA) et du Design for Maintainability (DFM) devrait permettre de réduire grandement l'impact de la variabilité dans les conditions de travail avec laquelle les opérateurs doivent composer ce qui sera plus propice à un travail productif et sécuritaire. À titre d'exemple, la standardisation de plusieurs des caractéristiques des équipements décrites à la section précédente ainsi que l'utilisation de chanfreins contribueront à l'atteinte de cet objectif.

Il apparaît évident que le travail de recherche de solution et de modification de la conception des outils et couvercles existants nécessitera une collaboration étroite entre les manufacturiers et les municipalités afin de s'assurer que le design du couvercle rencontre non seulement toutes les caractéristiques fonctionnelles en matière de voirie mais également, qu'il prenne en compte les activités des opérateurs. Il faut donc envisager de

concevoir le couvercle et l'outil en même temps et ce, comme un ensemble intégré. Également, il apparaît évident que tout nouveau design devra faire l'objet d'essais sur le terrain et d'évaluations systématiques auprès des utilisateurs avant qu'il ne soit généralisé. L'approche utilisée dans cette étude peut être reprise pour de telles évaluations (mesures subjectives et analyses biomécaniques).

L'APSAM apparaît bien positionnée pour assurer le leadership dans les nombreuses interactions qu'une telle collaboration entre manufacturiers et clients suppose. Enfin, l'APSAM jouit d'une position propice à la mise sur pied et au maintien d'un mécanisme de rétroaction permettant aux municipalités de faire part aux manufacturiers des problèmes vécus et des nouvelles exigences quant aux équipements de voirie et aux activités de travail qui y sont associées.

7.0 Références

- Aptel M., Horwat F., Doit J.L. (1993). Estimation de la contrainte lombaire lors du décollement de plaques d'égouts. Cahiers de Notes documentaires, 152, pp. 453-460. INRS, Nancy.
- Lavender, S.A., Mirka, G.A., Schoenmarklin, R.W., Sommerich, C.M., Sudhakar, L.R. et Marras, W.S. (1989). The effects of preview and task symmetry on trunk muscle response to sudden loading. *Human Factors*, 31(1), 101-115.
- National Institute for Occupational Safety and Health (1981). Work practices guide for manual lifting, U.S. Department of Health and Human Services (publication No. 81-122), Cincinnati, OH.
- Putz-Anderson, V., 1988. Cumulative trauma disorders – A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. London: Taylor & Francis.
- University of Michigan, 1993. 3D Static Strength Prediction Program, version 3.0. Center of Ergonomics, 1205 Beal Ave., Ann Arbor, MI 48109.