

Études et recherches

RAPPORT R-539



Travail de nettoyage au jet d'eau HP

Astreinte cardiaque et organisation du travail

*Daniel Imbeau
Frédéric René
Bruno Farbos*



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

Mission *travaillent pour vous !*

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 : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2009

ISBN : 978-2-89631-211-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-212-2 (PDF)

ISSN : 0820-8395

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,
janvier 2009

Études et recherches

■ RAPPORT R-539

Travail de nettoyage au jet d'eau HP

Astreinte cardiaque et organisation du travail

Avis de non-responsabilité

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

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

*Daniel Imbeau, Frédéric René et Bruno Farbos
Chaire de Recherche du Canada en ergonomie,
École Polytechnique de Montréal*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Sommaire

Cette étude a porté sur la mesure de l'astreinte cardiaque durant le travail de nettoyage industriel au jet d'eau sous haute pression et en particulier, durant le travail au fusil. En tout 36 travailleurs ont participé à 73 jours-hommes d'observation du travail réalisé dans des conditions variées. La durée moyenne de la journée de travail était de 5,8 heures. Un Step-Test a été administré à 19 de ces travailleurs afin de permettre l'estimation de leur capacité cardiorespiratoire et celle de leur métabolisme de travail à partir de la fréquence cardiaque mesurée durant le travail. La fréquence cardiaque a pu être mesurée en continu durant le travail. Les extrapulsations cardiaques thermiques (EPCT) ont été estimées lors de pauses prises par chaque sujet au cours de la journée de travail. Toutes les activités de travail ont été notées, de même que les caractéristiques de l'installation du matériel nécessaire aux travaux de nettoyage. Les conditions climatiques ont été mesurées aussi près que possible du travailleur durant chaque période de travail au fusil ainsi qu'aux endroits où les pauses ont été prises.

Le coût cardiaque relatif (CCR) décrit le niveau de sollicitation de la capacité cardiaque lors de l'exécution d'un travail physique; plus il est élevé, plus le travail est exigeant sur le plan physique. Le CCR peut être obtenu pour une activité physique précise ou pour un ensemble d'activités réalisées sur une période de temps donnée. Dans cette étude, le CCR moyen durant une journée de travail type (tous genres d'activités considérés) a été de 27%, alors que lors du travail au fusil spécifiquement il a été d'environ 41% en moyenne (tous sujets considérés). Dans les conditions observées, le travail au fusil tel qu'il est organisé est trop exigeant physiquement pour être prolongé sur une durée de 8 heures de travail par jour sans risque de fatigue excessive pour une majorité de travailleurs. Le travail observé a entraîné des augmentations de la fréquence cardiaque —EPCT de plus de 21 bpm— jugées non sécuritaires pour une large majorité des travailleurs dans 38% des périodes de travail au fusil. L'accumulation de chaleur corporelle apparaît indépendante des conditions d'ambiance thermique.

Les résultats montrent que le CCR durant le travail au fusil peut être estimé facilement à partir des caractéristiques de l'installation du matériel HP qui sera utilisé, suite à quoi une durée maximale sécuritaire de travail au fusil peut être établie. Une démarche est décrite à cet effet ce qui permet la planification d'une organisation temporelle du travail au fusil contribuant à la réduction des risques liés à la fatigue. La grande variabilité dans les résultats d'un travailleur à l'autre et selon la pénibilité du travail réalisé montre qu'un suivi de la fréquence cardiaque par le travailleur lui-même en combinaison avec une meilleure planification de l'organisation temporelle du travail devraient être envisagés dans le cadre d'une approche préventive intégrée.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les travailleurs pour leur participation sans laquelle cette étude aurait été impossible.

Les auteurs tiennent aussi à souligner le travail assidu de feu Maryse Lafrenière de l'ASTE pour la recherche de terrains d'observation.

Les auteurs tiennent enfin à remercier tous les membres du Comité paritaire de l'environnement pour leur support et leur écoute au cours de cette étude.

La contribution de Marie-Josée Bonin et de Sophie Leclerc pour la collecte et la préparation des premières données de ce projet a été très utile. Également, l'aide de Marie-Ève Chiasson pour la poursuite de la collecte de données sur le terrain, pour la recherche de données techniques auprès des manufacturiers et des entreprises de nettoyage industriel, et pour la préparation et l'analyse d'une partie des données de terrain a été d'une très grande utilité. Enfin, les auteurs remercient Mme My Anh Wioland pour son travail de relecture qui a permis d'améliorer grandement la qualité de ce document.

Cette étude a été rendue possible par un financement conjoint de l'IRSST et du CRSNG.

Table des matières

1. Introduction.....	1
1.1 Origine et contexte de l'étude.....	1
1.2 Le secteur du nettoyage au jet d'eau sous haute pression	1
1.3 Connaissances techniques et scientifiques sur le nettoyage au jet d'eau HP	2
1.3.1 Fatigue et alternance travail-repos.....	3
1.3.2 Travail à la chaleur	4
2. Objectifs et hypothèses de recherche.....	6
3. Méthodologie	7
3.1 Structure de l'intervention.....	7
3.2 Population étudiée.....	7
3.3 Mesures	7
3.3.1 Step-Test.....	7
3.3.2 Paramètres physiologiques.....	7
3.3.3 Paramètres de l'ambiance thermique	8
3.3.4 Description des activités de travail.....	8
3.3.5 Évaluations subjectives	9
3.4 Procédure	9
3.5 Traitement des données.....	10
4. Résultats.....	10
4.1 Travailleurs observés	10
4.2 Échantillon des jours d'observation	11
4.3 Astreinte liée au travail	13
4.4 Durée sécuritaire de travail basée sur le CCR	15
4.5 Installation HP et astreinte physique.....	16
4.6 Conditions climatiques.....	18
4.7 Astreinte due à la chaleur.....	18
4.8 Indice WBGT.....	19
5. Discussion.....	20
5.1 L'accès au terrain.....	20
5.2 La planification du travail.....	20
5.3 La condition physique des travailleurs	21
5.4 L'astreinte du travail de nettoyage au fusil HP	21
5.5 Les conditions d'ambiance thermique et le travail à la chaleur	22
5.6 Le CCR selon les paramètres de l'installation HP	23
5.7 Marche à suivre pour déterminer la durée du travail au fusil	24
5.8 Portée et limites de l'étude	25
6. Conclusion	27
7. Bibliographie.....	27

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des sujets de l'étude	11
Tableau 2: Description de l'échantillon dans le temps.....	12
Tableau 3: Coût cardiaque relatif (CCR) selon l'activité	14
Tableau 4: Valeurs de CCR selon la durée du travail.....	16
Tableau 5: Paramètres de l'installation HP	17
Tableau 6: Conditions climatiques.....	18

1. Introduction

1.1. Origine et contexte de l'étude

Les travailleurs de l'industrie de l'environnement regroupent ceux qui travaillent dans le nettoyage industriel (pompage à vide, le nettoyage et le lavage sous pression), les centres de tri ou de transfert, le recyclage ou la récupération de matières résiduelles ainsi que les éboueurs.

Cette industrie comptait environ 5 000 travailleurs en 2001. Au cours des cinq années allant de 1996 à 2000, on y dénombrait 4 025 lésions acceptées soit 3 980 accidents de travail et 45 maladies professionnelles. De plus dix décès s'y sont produits, la plupart survenus au cours d'opérations de nettoyage industriel. Constatant cette situation, en 2000 la CSST a mis sur pied le comité paritaire de l'environnement (CPE). Le comité réunissait les représentants patronaux et syndicaux, les associations sectorielles paritaires du transport et entreposage et des affaires municipales, le ministère de la Santé et des Services sociaux, l'Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail et la CSST. Le comité s'est d'abord attaqué à la situation dans le secteur du nettoyage industriel. Les intervenants de ce secteur ont convenu de travailler ensemble afin d'identifier les risques en santé et en sécurité du travail et trouver des solutions pratiques pour prévenir les accidents de travail. Des solutions seraient ensuite appliquées par le milieu dans tous les établissements de ce sous-secteur au Québec. Les priorités d'action identifiées par le comité étaient, entre autres, le nettoyage sous haute pression, le pompage sous vide, le travail en espace clos, l'organisation des premiers soins et premiers secours et les centres de transfert et d'entreposage. Les liens avec les donneurs d'ouvrage devaient aussi être abordés.

Le CPE a formé deux sous-comités, l'un sur le nettoyage au jet d'eau sous haute pression (Sous-comité HP) et l'autre sur le pompage sous vide. Ces sous-comités avaient le mandat d'élaborer des procédures uniformes et sûres, de proposer des équipements de même que des méthodes adaptées aux risques, et de suggérer des contenus de formation appropriés pour qualifier davantage la main-d'œuvre. Chacun des sous-comités était composé de représentants d'employeurs et de travailleurs désignés par les syndicats et les entreprises du secteur. Les travaux de ces sous-comités ont résulté en la publication par la CSST de trois guides de prévention en 2003. C'est dans la foulée des travaux du Sous-comité HP et à la demande du CPE que la présente étude a été proposée, puis réalisée.

1.2 Le secteur du nettoyage au jet d'eau sous haute pression

Les travaux du comité sectoriel de la main-d'œuvre de l'environnement (CSMOE 2001) indiquaient qu'en 2001 au Québec, 68 établissements répartis entre 32 entreprises oeuvraient dans le secteur des matières dangereuses résiduelles. Le chiffre d'affaire de la plupart de ces entreprises (78%) avait augmenté au cours des années précédentes. Parmi ces entreprises, une très grande majorité offraient des services de nettoyage industriel (nettoyage au jet d'eau HP et pompage), lesquels représentaient près de 55% du chiffre d'affaire. Le nettoyage industriel, qui inclut les travaux de nettoyage au jet d'eau HP et les travaux de pompage, représentait donc la catégorie de services la plus importante du secteur. Les travaux du CSMOE indiquent qu'à l'époque 865 travailleurs (dont 3 travailleuses) étaient affectés au travail de nettoyage industriel. Une très large majorité de ces travailleurs et travailleuses effectuaient tant du nettoyage au jet

d'eau HP que des travaux de pompage.

Les données d'accidents associés au travail de nettoyage au jet d'eau HP étaient impossibles à obtenir des banques de données de la CSST parce que ces accidents étaient regroupés avec ceux associés aux travaux de nettoyage et de décapage au jet de sable, lesquels comportent des risques radicalement différents. Néanmoins, depuis 1995 le sous-secteur du nettoyage industriel avait enregistré à lui seul en moyenne 375 accidents du travail par année, dont 10 accidents mortels entre 1995 et 1999 (Melançon 2002). Cette moyenne apparaissait relativement élevée compte tenu du nombre de travailleurs affectés spécifiquement aux travaux de nettoyage industriel (865 en 2001, selon le CSMOE, quoique ce chiffre peut varier selon les saisons). Selon les entrevues réalisées (Imbeau et al. 2001) et les informations ayant circulées au sein du Sous-comité HP, les accidents lors du nettoyage au jet d'eau HP peuvent entraîner des lésions très graves (ex., mutilation, infections majeures).

1.3 Connaissances techniques et scientifiques sur le nettoyage au jet d'eau HP

Deux ans avant la création du Comité paritaire de l'environnement, à la demande de l'ASTE, une étude visant à décrire les risques liés au travail de nettoyage au jet sous haute pression (HP) a été réalisée (Imbeau et al. 2001). Cette étude était subventionnée par l'IRSST. La demande originale de l'ASTE portait uniquement sur la recherche de bottes de sécurité protégeant les travailleurs contre l'action du jet. Ce mandat a par la suite été élargi à la demande des membres du Conseil scientifique de l'IRSST: l'étude devait faire un survol de l'ensemble des risques liés au travail au jet d'eau HP et non pas se limiter uniquement aux bottes de sécurité. Les résultats de cette étude ont montré que le travail au jet d'eau HP comporte des risques variés et nombreux, dont plusieurs ne sont pas traités dans la littérature.

Lors de leur étude, les auteurs avaient à titre exploratoire mesuré la fréquence cardiaque de 28 travailleurs afin d'obtenir une idée générale de la pénibilité du travail de nettoyage au jet d'eau HP dans des conditions de travail variées. Tous ces travailleurs effectuaient leur travail au fusil. Comme l'étude avait au départ une portée très générale, un protocole systématique d'analyse de la charge de travail physique n'a pas été employé. Néanmoins, l'étude avait permis de dégager les constats suivants:

- les exigences physiques du travail au jet d'eau HP apparaissent très variables, ce type de travail pouvant dans certains cas être classé comme léger et dans d'autres cas, considéré comme du travail pénible à très pénible (ex., AIHA 1971);
- la durée du travail en continu a dépassé la durée maximale acceptable prescrite dans la littérature et ce, dans 20% des situations observées (ex., Rodgers 1986);
- la charge de travail physique était excessive pour une durée de travail de 8 heures dans les deux tiers des cas (Rodgers 1986);
- dans plusieurs situations observées, les conditions d'ambiance (ex., taux d'humidité élevé, température relativement élevée, vitesse de l'air faible) étaient susceptibles de contribuer au risque lié à la contrainte thermique.

Les observations ont aussi montré que les travailleurs ne règlent pas l'organisation temporelle de leur travail en fonction des conditions d'exécution du travail. En fait, peu importe la pénibilité du travail et les conditions d'ambiance thermique, il semble que la rotation entre les coéquipiers se

fasse aux deux heures et parfois après une durée de travail en continu plus longue. Les résultats de l'étude indiquent qu'il existe un risque de fatigue excessive lié principalement à l'organisation temporelle du travail selon la charge de travail physique (régime d'alternance travail-repos et rotation entre les coéquipiers) et que ce risque pourrait être exacerbé par les conditions d'ambiance thermique.

La fatigue excessive associée à une charge de travail élevée et/ou à une récupération inadéquate (nombre et durée insuffisants de pauses) mène à une détérioration de la capacité musculaire ainsi que de la coordination musculaire (Rohmert 1973). Ces détériorations peuvent être à l'origine d'une perte de contrôle de l'équilibre ou de la précision des gestes lors de la manipulation des accessoires de projection HP. Il est aisé de concevoir qu'une fatigue excessive pendant l'exécution d'un travail impliquant l'utilisation d'un outil aussi dangereux qu'un fusil à jet d'eau HP puisse facilement mener à des incidents ou à des mouvements mal contrôlés dont les conséquences peuvent être très graves. De même, dans des conditions de fatigue excessive, l'attention diminue de sorte que les accidents deviennent plus probables parce que l'opérateur n'est plus en mesure de composer aussi efficacement avec les incidents pouvant survenir. Les paramètres à prendre en compte pour évaluer le risque lié à une charge de travail physique excessive dans le cas du travail au jet d'eau HP sont (Rodgers 1986; Werlé 1995):

- la posture de l'opérateur HP en cours de travail;
- l'effort que l'opérateur HP doit exercer pour maintenir l'accessoire de projection HP (poids et force de réaction du jet d'eau HP) ou pour effectuer le travail (force de traction sur le furet);
- la maniabilité, le poids et l'équilibrage des masses des accessoires de projection HP;
- l'effort que l'opérateur HP doit exercer sur la commande d'activation de l'accessoire de projection HP.

Tout comme dans d'autres types de travaux exigeants sur le plan physique, la détermination de régimes d'alternance travail-repos adéquats dans le cas du nettoyage au jet d'eau HP revêt un grand intérêt tant au niveau de la protection de la SST des travailleurs que de leur productivité (ex., pauses inutilement trop nombreuses en raison d'une mauvaise évaluation de la charge de travail physique).

1.3.1 Fatigue et alternance travail-repos. Il est possible et relativement aisé de déterminer un régime d'alternance travail-repos permettant de minimiser les risques de fatigue excessive dans le cas du travail musculaire général (ex., Rodgers 1986; Rohmert 1973; Mital et Shell 1986). Pour ce faire, il importe que l'astreinte physiologique (ou coût du travail pour le travailleur), souvent évaluée par le biais de la dépense énergétique associée au travail, soit connue ou puisse être estimée. Il existe des sources permettant d'estimer la dépense énergétique d'activités de travail très variées (Garg et al. 1978; Spitzer et Hettinger 1965, Ainsworth et al. 1993), mais la littérature ne fournit aucune étude ayant mesuré l'astreinte physiologique associée au travail de nettoyage au jet d'eau HP.

La mesure de la consommation d'oxygène (VO_2) (qui permet d'estimer la dépense énergétique) est souvent privilégiée lorsqu'il est question de quantifier l'astreinte physiologique d'un travail physique. Toutefois elle est impossible dans les conditions réelles d'exécution du travail HP. La mesure de la fréquence cardiaque (F_c) apparaît comme une mesure beaucoup plus adéquate (Meyer et al. 2001; Monod et Pottier 1981). En effet, elle est facile à obtenir et généralement

considérée comme un indice plus complet et valide de l'astreinte physiologique parce qu'elle intègre plusieurs effets liés au travail et à l'environnement (ex., intensité du travail, travail statique, stress, conditions d'ambiance thermique).

Le nettoyage au jet d'eau HP comporte une composante physique qui est associée à la force de recul du fusil. La force de recul dépend directement du débit d'eau et de la pression à la buse (ASTM 1998). Ces paramètres sont modulés par les opérateurs en fonction des travaux de nettoyage à exécuter. Compte tenu du fait que la force de recul peut être facilement estimée dans la mesure où les paramètres de débit et de pression à la buse sont connus, il apparaît aisé d'y relier l'astreinte cardiaque par la mesure de la F_c durant le travail (Monod et Pottier 1981). La consommation d'oxygène équivalente peut être aussi calculée si la relation F_c - VO_2 a été établie pour le sujet, lors d'un test à l'effort sous-maximal par exemple (Meyer et Flenghi 1995).

Vogt et al. (1973) proposent une méthode permettant de décomposer la F_c en deux composantes: l'une motrice (EPCM) et l'autre thermique (EPCT). Ces auteurs indiquent que lors d'un travail physique effectué à la chaleur, l'augmentation de la fréquence cardiaque au-dessus de la valeur de repos (F_{co}) est due à l'effet du travail physique ainsi qu'à l'effet de la chaleur. Ces deux effets peuvent être isolés dans l'augmentation de la F_c de sorte que la contribution relative de chacun peut être évaluée. Cette approche est proposée dans l'ouvrage de Mairiaux et Malchaire (1990) et a déjà été utilisée par Meyer et al. (2001) ainsi que par Imbeau et al. (1995).

1.3.2 Travail à la chaleur. Le risque lié au travail à la chaleur est associé à une combinaison de charge de travail physique et de conditions d'ambiance thermique qui ne permettent pas au travailleur d'évacuer adéquatement la chaleur produite par son corps durant le travail. Lorsque le corps ne peut évacuer le surplus de chaleur produit par les muscles qui travaillent, il y a un réel risque d'atteinte à la SST (ex., fatigue excessive ou épuisement, crampes de chaleur ou coup de chaleur). Quatre paramètres liés aux conditions climatiques influencent le risque de contrainte thermique chaude: la température ambiante élevée, le taux d'humidité relative de l'air ambiant, la vitesse de l'air et le rayonnement thermique (Mairiaux et Malchaire 1990).

Dans le cas du nettoyage au jet d'eau HP, l'air ambiant au poste de travail est habituellement très chargé de vapeur d'eau produite par la projection à haute vitesse du jet d'eau sur la surface à nettoyer. C'est particulièrement le cas lorsque la surface à nettoyer est encore chaude (ex., dans un four) ou lorsque l'eau projetée est réchauffée pour en améliorer l'efficacité de nettoyage. L'humidité ambiante est donc habituellement très élevée ce qui nuit à l'évaporation de la sueur, soit le mécanisme principal d'évacuation de la chaleur du corps humain. Dans les endroits confinés ou restreints ou dans le cas de travaux extérieurs à des moments où il n'y a pas de vent, la vitesse de l'air est faible, de sorte que l'air chargé d'humidité n'est pas évacué facilement de la zone de travail. La faible vitesse de l'air réduit la capacité du corps à évacuer sa chaleur. Enfin, la température ambiante élevée (ex., dans un four insuffisamment refroidi ou en été) nuit à l'évacuation de la chaleur produite par le corps humain durant le travail. Dans le travail au jet d'eau HP, les conditions d'ambiance thermique sont souvent défavorables parce que le travail y est réalisé dans des conditions d'humidité relative de l'air souvent élevée et très souvent dans des endroits où la vitesse de l'air est faible (Imbeau et al. 2001).

Les vêtements et équipements de protection individuelle portés par l'opérateur HP viennent compliquer la situation parce qu'ils constituent des obstacles majeurs à l'évacuation de la chaleur du corps. Comme ils sont imperméables (vêtement, casque, bottes, gants et visière), ils empêchent l'évaporation de la sueur de sorte que celle-ci reste emprisonnée à l'intérieur des vêtements et sur la peau ce qui annule presque complètement le mécanisme de refroidissement du corps par l'évaporation de la sudation. De même, ces vêtements et équipements constituent des barrières aux échanges de chaleur par convection entre le corps et l'environnement. Dans ces conditions, on peut considérer plus souvent qu'autrement que l'opérateur HP travaille dans des conditions d'humidité relative de 100% et de vitesse de l'air nulle. La température ambiante aurait donc un effet déterminant sur le risque de contrainte thermique pour l'opérateur HP.

Les normes sur la contrainte thermique chaude lorsqu'elles sont correctement appliquées permettent de protéger 95% des travailleurs et travailleuses contre ce risque. C'est donc dire que si les normes sont correctement appliquées, peu de travailleurs risquent de subir les conséquences de la contrainte thermique chaude. Cependant, à l'heure actuelle aucune norme sur la contrainte thermique chaude ne permet de prendre en compte les particularités du travail au jet d'eau HP et en particulier, en ce qui a trait à l'habillement utilisé (Malchaire et al. 2001). Dans un tel cas tout comme pour les travaux de retrait d'amiante (INRS 2002) ou pour les sapeurs pompiers, des habits de protection étanches sont utilisés, "... seule une surveillance individuelle directe permettra de comprendre comment évoluent les astreintes et de déterminer quelle organisation du travail instaurer." (Malchaire et al. 2001, p. 111).

La mesure de la fréquence cardiaque est la méthode de surveillance directe la plus facile à implanter et la moins invasive pour les travailleurs, si on la compare à la mesure de la consommation d'oxygène ou à la mesure de la température centrale par voie buccale ou rectale selon Meyer et al. (2001). Ces auteurs proposent une relation simple permettant d'estimer l'augmentation de la température centrale (estimée par la température buccale) à partir de la mesure de la composante thermique de la fréquence cardiaque (EPCT). Ces auteurs établissent que pour protéger 95% des travailleurs contre une augmentation de la température centrale de 1 degré C, l'augmentation de la fréquence cardiaque due à la chaleur ne doit pas dépasser les 21 battements par minute (bpm). La relation a été établie pour des conditions très variées d'ambiance thermique et d'intensité de travail. La relation a également été construite en considérant des travaux effectués dans des habits encapsulants (ex., retrait d'amiante). Ainsi, à partir de la mesure de la Fc au cours de pauses prises tout au long de la journée de travail, il apparaît aisé de déterminer les EPCT (Vogt et al. 1973, Monod et Pottier 1981, Mairiaux et Malchaire 1990, Meyer et al. 2001). Par la suite, une durée limite d'exposition (DLE) peut être facilement calculée par la relation $DLE = \text{durée effective d'exposition} \times (21 \text{ bpm} / EPCT)$. Un régime d'alternance travail-repos sécuritaire peut ainsi être établi dans le cas où il y a risque de contrainte due à la chaleur (Rodgers 1986).

Au Québec, l'indice WBGT (Wet Bulb and Globe Temperature ou en français, température humide naturelle et température du globe noir) est utilisé dans la réglementation (Annexe V du Règlement sur la santé et la sécurité du travail, 2001). Ramsey et al. (2000) ainsi que Reneau et Bishop (1996) proposent de corriger l'indice WBGT pour tenir compte d'un habillement de travail particulier en vue d'établir un régime d'alternance travail-repos permettant de protéger les travailleurs (l'indice WBGT est applicable tel quel, uniquement lorsqu'un habillement léger fait

de coton ou l'équivalent est porté). Ces auteurs proposent d'abaisser les courbes définissant des régimes d'alternance travail-repos de 6 à 10 degrés WBGT pour tenir compte d'un habillement imperméable: la valeur de 6 degrés s'appliquant à un vêtement imperméable léger fait de PVC ou de TYVEK, alors que la valeur de 10 degrés s'applique à un habit encapsulant complètement le travailleur. Dans le cas du travail au jet d'eau HP, la valeur d'ajustement se situe probablement dans le haut de cette plage, soit entre de 8 et 10 degrés WBGT tout dépendant des vêtements portés par le travailleur. Par exemple, dans le cas où des gants se prolongeant jusqu'à l'épaule sont portés et que toutes les ouvertures (poignets, chevilles, côtés du visage) sont fermés pour minimiser le risque d'éclaboussure de produits hautement corrosifs sur la peau, la correction à utiliser est plutôt 10 degrés. Dans de telles conditions, l'habillement plus étanche fait en sorte que la circulation de l'air y est très réduite ce qui empêche l'évacuation de la chaleur du corps.

Si une estimation de la dépense énergétique peut être établie pour le travail au jet d'eau HP tel que décrit plus haut, alors il devient possible d'appliquer la réglementation québécoise (RSST 2001) qui utilise l'indice WBGT. Il faudra cependant appliquer une correction de 10 degrés à cet indice pour tenir compte de l'habillement particulier utilisé lors du nettoyage au jet d'eau HP.

2. Objectifs et hypothèses de recherche

L'objectif principal de cette étude était de relier les paramètres déterminant les exigences physiques d'une situation de travail de nettoyage au jet d'eau HP à l'astreinte cardiaque résultante (mesurée par la fréquence cardiaque) et ce, en vue de faciliter la détermination de régimes d'alternance travail-repos visant à réduire les risques de fatigue excessive. L'étude visait donc à produire un modèle décrivant la relation $F_c = f(\text{paramètres déterminants})$ qui soit simple à utiliser pour les gens du milieu. Ce modèle devait permettre, à partir d'une description a priori des paramètres du travail, d'estimer l'astreinte cardiaque probable et de là, un régime d'alternance travail-repos permettant de réduire le risque de fatigue excessive pour une majorité de travailleurs.

L'étude comportait également les objectifs secondaires suivants:

- estimer la dépense métabolique (M) associée à différentes combinaisons de paramètres déterminant les exigences physiques de ce travail;
- là où une composante thermique était apparente dans la fréquence cardiaque, comparer les durées limites d'exposition calculées par l'indice WBGT (RSST 2001) avec celles calculées à partir de la composante thermostatique de la fréquence cardiaque (relation proposée par Meyer et al. (2001) et dans un dossier de l'INRS 2002).

L'étude portait exclusivement sur le travail au fusil. La question de la contrainte thermique chaude ne faisant pas l'objet principal de cette étude, celle-ci devait être traitée uniquement dans un but descriptif.

L'hypothèse principale est que l'effet de l'astreinte physiologique est directement liée aux paramètres décrivant les exigences physiques du travail, dont principalement, la force de recul du fusil et la posture de travail. La force de recul principalement est déterminée par le débit d'eau et la pression à la buse. Elle est estimée par la relation suivante:

$$\text{Force} = 0.0522 \times \text{débit en GPM} \times (\text{pression en psi})^{0.5} \quad (\text{ASTM 1998}) \quad (1)$$

Où, GPM est le débit d'eau à la buse exprimé en gallons US par minute. L'équivalent dans le système MKSA est:

$$\text{Force} = 0.0519 \times \text{débit en L/min} \times (\text{pression en Bars})^{0.5}$$

3. Méthodologie

La méthodologie proposée ici est essentiellement basée sur les ouvrages de Malchaire (1988), Meyer et al. (2001), Vogt et al. (1973) et de Monod et Pottier (1981).

3.1 Structure de l'intervention

Tout comme pour la première étude financée par l'IR SST (Imbeau et al. 2001), un comité de suivi a été constitué pour les besoins de la présente étude. Il s'agissait du CPE qui rassemblait des représentants de l'ASTE, des employeurs, des syndicats et de la CSST. Ce comité avait un rôle crucial, soit celui d'aider les chercheurs à avoir facilement accès aux terrains pour la collecte des données.

3.2 Population étudiée

À l'origine, on envisageait de réaliser les mesures sur 20 travailleurs ayant une expérience d'au moins 4 années en ce qui a trait au nettoyage au jet d'eau HP. Comme le travail se faisait typiquement en équipe de 2, on prévoyait faire des observations sur 10 équipes de travail différentes. Chaque équipe devait être suivie durant trois jours pour un total de 60 jours-hommes d'observation. Les jours devaient être choisis de façon à varier les conditions d'exécution du travail. Les mesures descriptives habituelles ont été obtenues pour chaque sujet (ex., âge, poids, taille, expérience) au moyen d'un court questionnaire que le sujet remplissait s'il était décidé qu'il participait à l'étude.

3.3 Mesures

3.3.1 Step-Test. La relation individuelle entre la fréquence cardiaque (F_c) et la consommation d'oxygène (VO_2) a été établie par un Step-Test en suivant la procédure établie par Meyer et Flenghi (1995). Chaque marche du Step-Test détermine la VO_2 du sujet effectuant le test. Connaissant sa F_c pour chacune des 4 hauteurs de marche, il est alors possible d'établir la relation F_c - VO_2 du sujet. Cette relation permet ensuite d'estimer la VO_2 d'une activité de travail si on connaît la F_c correspondant à cette activité (Imbeau et al. 1995). Le test proposé par Meyer et Flenghi est simple, facile à réaliser et sécuritaire pour des travailleurs dont on ne connaît pas la santé cardiovasculaire. Ce test présente l'avantage de pouvoir se faire en 30 minutes sur les lieux du travail. Il est normalement interrompu dès que la F_c du sujet atteint les 140-145 bpm. Notons que les valeurs de F_c enregistrées au cours de l'étude de Imbeau et al. (2001) sur le nettoyage au jet d'eau HP étaient souvent très supérieures aux valeurs maximales acceptables (140-145 bpm) pour le Step-Test proposé par Meyer et Flenghi (1995): ce test ne pose donc pas de risques particuliers pour des travailleurs et ce particulièrement pour ceux qui effectuent occasionnellement un travail physique important.

3.3.2 Paramètres physiologiques. La Fc (en battements par minute ou bpm) a été mesurée en continu à intervalles de 5 secondes pour toutes les journée-sujets à l'exception de 3 dont la Fc a été mesurée à intervalles de 1 minute. La Fc a été mesurée à l'aide de cardiofréquencemètres portatifs (Polar Electro, Finlande). Pour chaque travailleur les paramètres suivants ont été obtenus:

- la Fc repos (Fc_{repos}): Fc moyenne mesurée pendant 5 minutes en posture assise avant le début du travail;
- la Fc repos après chaque période de travail continu au fusil et ce, durant une pause assise d'une dizaine de minutes en ambiance neutre (Mairiaux et Malchaire 1990);
- la Fc moyenne de chaque activité durant le travail (Fc_{travail}).

À partir de ces paramètres, le coût cardiaque relatif (CCR) a été calculé en utilisant la relation suivante (Rodgers 1986):

$$\text{CCR} = 100 \times (F_{c\text{travail}} - F_{c\text{repos}}) \div (F_{c\text{max}} - F_{c\text{repos}})$$

La Fc max est obtenue par la relation suivante: $220 - \text{âge}$ (Rodgers 1986).

Deux valeurs de CCR ont été calculées. D'une part, en utilisant directement la Fc telle que mesurée durant le travail on obtient un CCR dit simple parce qu'il représente l'astreinte totale intégrant à la fois l'élévation de la Fc due au travail physique ainsi que celle due à l'accumulation de chaleur corporelle. D'autres part, si on déduit la composante thermique de la Fc mesurée durant le travail, on obtient alors un CCR dit corrigé représentant uniquement l'effet du travail physique.

3.3.3 Paramètres de l'ambiance thermique. Les paramètres de l'ambiance thermique ont été mesurés à l'aide d'un WiBGeT lequel fournit la température de l'air (T_a), la température du globe noir (T_g), la température humide naturelle (T_{hn}) et bien sûr le WBGT. La vitesse de l'air (V_a) a aussi été mesurée à l'aide d'un anémomètre à hélice. Ces mesures ont été faites aussi près de la zone de travail que possible, compte tenu des nombreux risques tant pour le travailleur que pour l'observateur et ses instruments de mesure (ex., jet d'eau, projection de débris, agression par des produits chimiques). Ces paramètres ont été relevés régulièrement et aux heures lorsque possible afin d'en permettre le suivi au cours de la journée. Lorsque possible, les paramètres ont aussi été mesurés à l'endroit où les pauses étaient prises, au moment de la pause.

L'indice WBGT est utilisé ici essentiellement parce que la législation Québécoise en matière de santé et sécurité du travail (RSST 2001) est basée sur cet indice et donc parce que les milieux industriels utilisent cet indice.

Au départ, le travail en hiver ne devait pas être considéré. Toutefois, dès le début du projet il est apparu qu'il serait hautement intéressant et désirable d'obtenir une mesure de ce travail dans des conditions où on peut penser que l'accumulation de chaleur dans le corps est principalement due à la charge physique et pas ou peu en raison des conditions climatiques fraîches ou froides, soit en automne et en hiver. D'autres raisons expliquées plus loin ont aussi contribué à ce choix.

3.3.4 Description des activités de travail. Tout au long de la journée, les différentes activités de travail et leur organisation dans le temps ont été notées de façon à pouvoir interpréter les tracés de fréquence cardiaque. La description des activités de travail devait également inclure les informations suivantes:

- débit et pression estimée à la buse du fusil (pression à la pompe moins les pertes de charge estimées);
- type de fusil utilisé et présence/absence d'appui sur le corps (ex., lance vs épaulière);
- posture/direction du jet durant le travail (ex., jet dirigé vers le bas ou vers le haut);
- configuration de la surface à nettoyer (ex., échangeur de chaleur déposé au sol vs paroi);
- nature de la surface de support (ex., plancher droit, arrondi, jonché d'obstacles);
- étendue de la zone de travail (vs déplacements) (ex., espace confiné vs travail sur une zone étendue).

Lorsque possible, le travail a été filmé avec du matériel vidéo afin de permettre des analyses vidéo post observations. Toutefois, dans plusieurs situations tel que le travail en espaces clos ou dans des environnements corrosifs, il était prévu qu'il ne serait pas possible d'utiliser la vidéo. De même, plusieurs entreprises clientes n'ont pas accepté que la caméra vidéo soit utilisée chez elles.

Dans la mesure du possible, les situations de travail devaient être choisies de façon à obtenir un large éventail de conditions de travail et ce, particulièrement en ce qui concerne le débit et la pression du jet d'eau (déterminants principaux de l'effort).

3.3.5 Évaluations subjectives. Au début de chacune des pauses de travail (i.e., suivant le travail au fusil), on demandait au travailleur d'évaluer sur une échelle allant de 1 à 5, leur perception de la température durant le travail (confortable, assez chaud, chaud, très chaud, chaleur insupportable, INRS 2002) et sur l'échelle RPE de Borg allant de 6 à 20, leur perception de la charge de travail physique. Tout commentaire formulé par le travailleur était noté. On profitait aussi de la rotation entre les co-équipiers pour discuter, avec chacun durant sa période de surveillance (l'autre co-équipier maniant le fusil), des conditions de travail et de leur variabilité ainsi que des facteurs de difficulté.

3.4 Procédure

Les travailleurs étaient rencontrés dès leur arrivée au garage de l'entreprise de nettoyage tôt le matin. Les objectifs de l'étude ainsi que la nature de leur implication leurs étaient communiqués. Suite à l'obtention de leur consentement informé, on leur faisait compléter un questionnaire d'aptitude à l'activité physique (Q-AAP¹) afin de s'assurer que leur état de santé était stable et qu'il ne pourrait pas être aggravé par la réalisation du Step-Test. S'ils étaient jugés aptes à participer à l'étude, on les pesait puis on leur installait un cardiofréquencemètre. On leur demandait ensuite de prendre une pause assise de 5 minutes afin d'obtenir une valeur de base pour la fréquence cardiaque, suite à quoi le Step-Test était administré. Au préalable on avait pris soin de bien régler l'heure des caméras et des moniteurs cardiaques.

¹ Le Q-AAP peut être téléchargé (dernier accès le 26 mai 2007) de:
<http://www.csep.ca/communities/c576/files/hidden/pdfs/q-aap.pdf> (site accédé le 31 août 2007).

Sur les lieux du travail on notait les caractéristiques de l'environnement de travail et celles de l'installation du matériel HP (ex., pression, débit, longueur des boyaux). Suite à chaque période de travail au fusil d'une heure en continu, il était attendu que le travailleur prenne une pause de 10 minutes en position assise dans un environnement neutre durant laquelle on en profiterait pour obtenir les mesures subjectives (température et effort). Suite à cette pause, le travail pouvait reprendre. À la fin de la journée, il était attendu que chaque travailleur prenne une pause de 10 minutes après quoi le cardiofréquencemètre était enlevé et les sujets libérés. En pratique, l'organisation des pauses a parfois été différente de ce qui était attendu. Néanmoins tous les sujets ont pris des pauses au cours de la journée.

3.5 Traitement des données

À partir des données de Fc, les valeurs de Fc moyennes pour chaque activité ont été déterminées, puis les CCR correspondants calculés. Les valeurs de CCR durant le travail au fusil ont ensuite été reliées par régression multiple à différents paramètres descriptifs de la situation de travail dont en particulier, la force de recul du fusil. La régression multiple a aussi pris en compte des variables ayant un effet sur les CCR dont notamment la posture. Enfin, en se basant sur les modèles disponibles dans la littérature (ex., Wu et Wang 2002; Rodgers 1986), une méthode simple de détermination des régimes d'alternance travail-repos utilisant les paramètres descriptifs de la situation de travail (objectif principal) a été élaborée.

À partir des résultats des Step-Tests et des valeurs de Fc par activité, le métabolisme de travail correspondant a été estimé en vue d'établir si la législation québécoise était respectée, et ce en corrigeant le WBGT selon les recommandations de Reneau et Bishop (1996). La composante de la Fc liée à l'élévation de la température centrale provenant de la charge de travail, des conditions climatiques et de l'habillement (EPCT) a été estimée à partir des pauses faisant suite aux périodes de travail. Dans les cas où une telle composante thermique était apparente (EPCT non nulles), une DLE permettant de protéger les travailleurs a été déterminée (objectif secondaire #2).

Mentionnons que dans notre étude, le fusil est un appareil entièrement porté et manié par le travailleur et servant au nettoyage de surfaces diverses. Le furet est essentiellement une buse installée au bout d'un boyau flexible et sert à nettoyer des canalisations. De par sa conception, le furet progresse seul dans une canalisation. Comme la canalisation protège le travailleur des jets d'eau, le furet est de façon générale plus sécuritaire que le fusil. Ces deux types d'équipements exigent des méthodes de travail différentes et par conséquent, engendrent des sollicitations différentes pour le travailleur. Pour plus de détails sur ces équipements, le lecteur est référé à l'excellent document de Werlé (1995).

4. Résultats

4.1 Travailleurs observés

Au total, 36 travailleurs provenant de 6 entreprises différentes ont participé à l'étude. Le tableau 1 décrit les caractéristiques des travailleurs observés (tous des hommes); l'un d'eux n'a pas pu

remplir le court questionnaire sur les caractéristiques personnelles, deux autres n'ont pas indiqué leur poids et un troisième n'a pas indiqué son expérience de travail. En raison de contraintes diverses le Step-Test n'a pu être administré qu'à seulement 19 des 36 sujets observés au travail (ex., contrainte de temps, refus du sujet de faire le test). Le tableau 1 est divisé en deux parties, la première pour l'ensemble des sujets et la seconde pour ceux qui ont fait le Step-Test. Le dernier groupe présente des caractéristiques très semblables à celles de l'ensemble du groupe.

Tenant compte de l'habillement porté au moment de la pesée des sujets (3,5 kg au maximum), en moyenne l'IMC (indice de masse corporelle) correspond à un excès de poids selon Santé Canada (2003): 2 sujets avaient un poids insuffisant ($IMC < 18,5$), 11 avaient un poids normal ($18,5 \leq IMC < 25$), 15 avaient un excès de poids ($25 \leq IMC < 30$), et 5 avaient une obésité de Classe 1. La Fc repos indiquée au tableau est la moyenne des valeurs de Fc repos les plus basses (typiquement le matin avant le début du travail) mesurées sur l'ensemble des journées de travail réalisées par tous les sujets (première colonne) et par les 19 sujets ayant fait le Step-Test (seconde colonne).

Sur les 30 travailleurs ayant fourni l'information, 16 indiquaient fumer régulièrement (médiane à 20 cigarettes par jour, étendue de 4 à 50), 2 à l'occasion et 12 étaient non fumeurs.

Tableau 1: Caractéristiques des sujets de l'étude.

	Tous les sujets		Sujets ayant fait le Step-Test N = 19	
	Moyenne ± Écart type	Étendue	Moyenne ± Écart type	Étendue
Âge (années)	38 ¹ ± 11	20 à 65	37 ± 12	20 à 65
Expérience (années)	9,4 ² ± 7,6	0,5 à 28	8,1 ± 6,7	0,5 à 25
Taille (cm)	178 ¹ ± 7	163 à 193	179 ± 6	170 à 188
Poids (kg)	90 ^{3,4} ± 15	57 à 118	92 ± 15	64 à 118
IMC	29 ³ ± 4	20 à 36	29 ± 4	20 à 36
Fc max (bpm)	182 ¹ ± 11	155 à 200	183 ± 12	155 à 200
Fc repos (bpm)	68 ± 9	50 à 92	68 ± 10	50 à 92
VO ₂ max (mlO ₂ /kg/min)	--	--	36 ± 5	26 à 43

¹ N= 35

² N= 34

³ N= 33

⁴ le poids mesuré sur le terrain inclut un habillement de travail pesant au maximum 3,5 kg (incluant le linge et des bottes de travail), mais exclut l'équipement nécessaire pour le travail au fusil HP (ex., imperméable, bottes de caoutchouc, visière, casque, gants).

Selon Campbell (1988)², la valeur de la VO₂ max estimée est largement inférieure à la moyenne de la population canadienne. Plus précisément, 15 des 19 travailleurs ayant fait le Step-Test ont une VO₂ max se situant largement sous la valeur 15^e centile de leur groupe d'âge correspondant. Un sujet a une valeur se situant au 25^e centile de son groupe d'âge, un autre entre les 25^e et 50^e centiles, un troisième entre les 50^e et 75^e centiles et enfin un dernier au-delà du 85^e centile. C'est donc dire que seuls deux sujets sur les 19 testés ont une condition physique supérieure à la

² Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie. (1988). Données de l'enquête Campbell sur la condition physique et l'anthropométrie (données fournies sous forme de tableaux). Canada, 6 p. http://www.cflri.ca/fra/donnees_provinciales/campbell1988/index.php - site accédé le 31 août 2007.

moyenne pour leurs groupes d'âges respectifs. Les 4 sujets ayant les meilleures valeurs du $VO_{2\text{ max}}$ sont des non-fumeurs.

4.2 Échantillon des jours d'observation

Le tableau 2 décrit l'échantillon des jours d'observations. Au total, il y a eu des observations de travail HP au cours de 37 journées étalées de novembre 2002 à mai 2005 durant lesquelles il a été possible de faire des mesures auprès de 35 travailleurs différents et ce, pour 73 combinaisons de journées et de sujets. Chaque travailleur a été vu en moyenne 2 fois, mais 24 travailleurs ont été vus 1 fois, 5 ont été vus 2 fois et 6 ont été vus 3 fois et plus (de 3 à 10 fois). Ainsi, 54% des combinaisons de journées et de sujets proviennent de 6 sujets. La durée moyenne des combinaisons a été de 5,8 heures (écart-type = 2,6 h; étendue = 53 min à 10,6 h; valeur 25^e centile = 3,8 h; valeur 75^e centile = 8,2 h). Au total, il y a eu 420 heures et 22 min d'observation par rapport à un total prévu à l'origine de 480 heures (section 3.2).

Tableau 2: Description de l'échantillon dans le temps.

Année	Mois	# Jours d'observation	# Journée - sujet	# Journée - sujet fusil	# Journée - sujet furet	# Journée - sujet fusil et furet	# Journée - sujet aucun fusil ni furet
2002	Novembre	2	4	2	1	1	
2002	Décembre	5	13	9			4
2003	Janvier	2	3	1	1	1	
2003	Février	11	24	20			4
2003	Mars	1	3			3	
2003	Juillet	1	2	2			
2003	Août	2	4	3			1
2003	Septembre	3	3	2		1	
2003	Octobre	2	3	3			
2003	Novembre	1	4	1	1	1	1
2003	Décembre	4	6	5			1
2005	Avril	2	3	1		2	
2005	Mai	1	1	1			
	Total:	37	73	50	3	9	11

Il apparaît important dès le départ de préciser un certain nombre d'aspects concernant le contexte particulier de la collecte de données. Tout d'abord, de façon générale au sein des entreprises de nettoyage avec lesquelles nous avons fait des observations, il ne semblait pas exister de plan d'intervention prédéterminé, ni de ligne directrice à suivre, ni de procédure définie pour le travail de nettoyage industriel et ce, indépendamment du client desservi. Une seule entreprise mieux organisée avait produit une procédure de travail pour ses opérateurs HP. La réalité est telle que pour 11 journées sur les 37 jours où des observations ont été faites, l'équipe de travailleurs s'est présentée sur un chantier sans connaître précisément l'installation HP à déployer ni les paramètres auxquels régler l'équipement pour une efficacité optimale. Ceci cause des pertes de temps relativement importantes pouvant aller jusqu'à deux heures d'attente entre l'arrivée sur les lieux de travail et le début des préparatifs. Comme les travailleurs ne savaient pas à l'avance le niveau de difficulté ni la durée du travail à effectuer, ils ne savaient pas non plus à l'avance si

tous les membres de l'équipe auraient à effectuer du travail au fusil durant la journée.

D'une façon générale, les activités à réaliser lors de l'intervention, leur organisation temporelle et leur répartition entre les membres de l'équipe se précisaient au fur et à mesure de l'intervention. Il ne semblait pas y avoir de planification à ces trois niveaux. Ainsi, en moyenne dans presque le tiers des jours d'observation, il est arrivé qu'un des membres de l'équipe n'accomplisse ni travail au fusil ni travail au furet. À l'inverse, il est aussi arrivé qu'un travailleur de l'équipe, fatigué par la journée de travail précédente, qui ne pensait pas devoir effectuer de travail au fusil, se voit dans l'obligation de relayer ses collègues parce que la tâche était trop difficile et qu'en conséquence, le recours à un troisième homme pour accomplir les travaux de nettoyage devenait nécessaire au cours de la journée. Ceci s'est produit à 3 occasions.

En ce qui a trait au travail de nettoyage, il a été parfois impossible pour les travailleurs de savoir à l'avance si du travail au fusil ou au furet serait réalisé ni dans quelle proportion et ce, même lorsque le client était un client régulier. Sur les 37 jours de terrain, 13 fois les travailleurs se sont présentés sans savoir si le travail serait effectué au fusil ou au furet. Et, de ces 13 jours, à 3 occasions les travailleurs étaient certains d'aller faire du travail au fusil alors qu'ils se sont retrouvés à faire du travail au furet. Il semble que ce genre de surprise soit dû à une mauvaise communication entre le donneur d'ouvrage et l'entreprise de nettoyage industriel et/ou à l'intérieur même de celle-ci.

Dans un tel contexte, il a été impossible à l'équipe de recherche de planifier la collecte de données en vue de varier les conditions d'observations; tout comme les travailleurs que nous observons, nous ne savons pas à l'avance quel type de travail HP serait effectué ni dans quelles conditions. Comme les sujets étaient instrumentés avant le début du travail à l'entreprise de nettoyage industriel, ce contexte explique le fait qu'à quelques occasions, pensant aller observer du travail au fusil, nous avons mesuré du travail au furet ou pas de travail du tout (Tableau 2). Il faut aussi souligner le fait que quelque temps après le début du projet, l'accès à des terrains d'observation est devenu plus difficile pour un ensemble de raisons hors du contrôle de l'équipe de chercheurs. Cette situation a aussi contribué à réduire le choix possible des conditions d'observation.

Au long des 37 jours d'observation (ou des 73 journées-sujets), un total de 141 périodes de travail de nettoyage HP ont été enregistrées. Parmi celles-ci, le furet a été utilisé exclusivement dans 9 périodes, le furet et le fusil en combinaison dans 15 périodes, et uniquement le fusil dans 118. La suite du rapport porte pour l'essentiel sur les 118 périodes de travail au fusil, lesquelles ont été réalisées par 31 sujets dont 17 avaient fait un Step-Test. Ces 17 sujets ont réalisé 88 des 118 périodes de travail au fusil.

4.3 Astreinte liée au travail

Le tableau 3 donne les valeurs de coût cardiaque relatif pour chaque activité observée durant le travail ainsi que la proportion du temps durant laquelle chacune des activités a été mesurée. Une première codification des activités plus détaillée comportait 69 catégories. Celles-ci ont été regroupées afin d'obtenir une catégorisation plus simple présentée au tableau 3 qui représente bien les activités principales observées lors du travail au fusil. Quelque 30% du temps de mesure de la fréquence cardiaque, le travail n'a pas pu être observé, car le travailleur ne pouvait être vu

(ex., travail en espace clos). Malgré tout, il a été possible de savoir s'il utilisait son fusil en écoutant; le bruit fait par l'utilisation du fusil étant facile à reconnaître. Ainsi, la catégorie "Non observé" n'inclut aucun travail de nettoyage au fusil comme tel. Cette catégorie inclut une combinaison variable d'autres activités.

La catégorie tâche d'appoint regroupe des activités qui sont spécifiques aux clients. Par exemple, celle qui a été rencontrée le plus souvent (50% de cette catégorie) au cours des observations est le retournement des "paniers", soit des caissons rectangulaires de filtrage pesant 32 kg chacun et devant être soulevés (en deux efforts) de leur logement, retournés sur eux-mêmes, puis réinsérés dans leur logement. Lorsque le travail est réalisé chez ce client, 2 à 3 travailleurs doivent retourner entre 600 et 800 paniers durant le quart de travail, en plus de les nettoyer au fusil (de chaque côté, d'où la nécessité de les retourner). D'autres tâches d'appoint incluent l'utilisation d'une pelle (26%), la manipulation d'objets divers comme de la jute, des plaques de métal, un boyau de pompier, des feuilles de contreplaqué ou encore l'application de forces sur des objets comme tirer (32 kg), ouvrir des valves, etc. Les tâches d'appoint sont typiquement accomplies par le travailleur qui n'a pas prévu faire de nettoyage. Dans 28% des cas les travailleurs ont à faire du nettoyage HP et des tâches d'appoint.

Tableau 3: Coût cardiaque relatif (CCR) selon l'activité (moyenne \pm écart-type).

Activité	Proportion du temps %	CCR %
Toutes activités confondues	100%	27 \pm 16
Nettoyage HP (utilisation d'équipement HP pour nettoyer)	24	41 \pm 18
Tâche d'appoint (tâche particulière à un client: frapper, tirer, pousser, soulever, etc.)	2	36 \pm 14
Désinstallation (enlèvement de l'habillement HP, dé-cadenassage, démontage du matériel HP)	1	35 \pm 14
Déplacement (marcher, descendre, monter, accéder à une nacelle)	3	32 \pm 14
Installation (revêtir l'habillement HP, cadenasser, installer le matériel HP en vue des travaux)	13	27 \pm 11
Non observé	30	25 \pm 14
Surveillance (supervision du coéquipier par contact visuel: assis 57% du temps, debout 43%)	9	21 \pm 11
Transport (déplacement en véhicule motorisé)	4	19 \pm 10
Tâche légère (fumer, attendre, signer des papiers, vérifier l'équipement)	2	18 \pm 12
Repas (manger durant une pause)	12	17 \pm 9

Une analyse de variance tenant compte de l'effet sujet ($F_{9,241944} = 9725$, $P < 0,00001$) indique qu'il existe des différences statistiquement significatives parmi les valeurs de CCR. Un test de comparaison des valeurs moyennes de CCR (Tukey-Kramer HSD, Sall et al. 2005) montre que les différentes activités exigent des valeurs de CCR qui sont statistiquement différentes les unes des autres. Par ailleurs, bien que les différences soient statistiquement significatives, sur le plan pratique, différentes activités ont des exigences comparables (ex., tâches d'appoint et désinstallation).

Quelque 10% des valeurs de CCR enregistrées durant le travail au fusil ont dépassé 65% et 2,5% de ces valeurs dépassaient 79%.

La durée de chacune des 118 périodes de travail au fusil observées est très variable (moyenne de près de 40 min, écart-type de 37 min, étendue de 1 min 10 sec à 154 min 25 sec). Quelque 10% de ces périodes ont eu une durée inférieure à 4 min. Ces courtes périodes peuvent avoir été séparées par des courtes périodes de travail non observé (ex., autre que nettoyage HP) ou d'autres activités.

La perception de l'effort mesurée à l'aide de l'échelle de Borg (6 – 20) immédiatement après la période de travail a pu être obtenue pour 69 des 118 périodes de travail au fusil; elle varie de 6 à 20 avec une moyenne de 14,6 et un écart-type de 3,6. Une relation statistiquement significative, quoique très faible, a été trouvée entre la perception de l'effort et le CCR ($R^2 = 0,08$, $F_{1,67} = 5,76$, $p < 0,0192$). Aucune relation statistiquement significative n'a été trouvée entre l'effort perçu et la durée de la période de travail.

Il est intéressant de noter qu'il existe logiquement une relation statistiquement significative entre la fréquence cardiaque moyenne durant le travail au fusil (et donc aussi le CCR) et la fréquence cardiaque au repos du sujet ($R^2 = 0,39$, $F_{1,117} = 74,7$, $p < 0,0001$). Selon cette relation, une réduction de 10 bpm de la Fc repos est associée à une réduction de la Fc durant le travail au fusil d'environ 15 bpm ou 8,5% du CCR correspondant. Notons enfin que le critère de 85% de la Fc max (220-âge) a été dépassé dans 22% des périodes de travail au fusil de 10 bpm en moyenne (écart-type de 8 bpm).

4.4 Durée sécuritaire de travail basée sur le CCR

La durée de travail au fusil a dépassé la durée maximale recommandée par Wu et Wang (2002) à 4 occasions (3% des périodes de travail au fusil). Lors de ces périodes, le CCR dépassait les 54% et la durée du dépassement a varié de 36 à 90 minutes. Le tableau 4 fournit les valeurs de CCR moyennes dans des fenêtres de durées variables se terminant par du travail au fusil. Ces fenêtres incluent donc des activités autres que le travail au fusil; plus la fenêtre s'allonge, plus la proportion de travail au fusil diminue. Le tableau montre que plus la période considérée s'allonge, plus la proportion des dépassements augmente, atteignant 11% sur une journée de 6 heures. Il montre aussi que le CCR moyen tend à se stabiliser à 27% après 4 heures, ce qui signifie qu'à partir de cette durée, le CCR moyen des activités autres que le travail au fusil est relativement stable et représente une proportion fixe du temps travaillé (ces valeurs peuvent être obtenues au Tableau 3). Ce résultat est réaliste puisque la plupart des autres activités accompagnent systématiquement le travail au fusil (installation, transport et désinstallation de l'équipement, surveillance du coéquipier, tâches légères, etc.).

Le fait que le CCR moyen (toutes activités confondues et incluant les repas) se stabilise à 27% signifie que le travail tel que réalisé ne peut pas être réalisé durant une période de 8 heures selon Wu et Wang (2002); ils fixent la limite à 24,5% pour 8 heures en prenant pour acquis que le sujet prend une pause de 10 minutes à chaque heure de travail (ce qui n'est pas toujours le cas des travailleurs HP). Avec un CCR moyen de 27%, la durée limite est 7 heures selon ces auteurs.

Ainsi, toutes autres conditions étant égales, si le CCR moyen durant le travail au fusil est supérieur à 41%, alors la durée de la journée de travail sera inférieure à 7 heures puisque la moyenne doit être maintenue si la durée doit demeurer constante.

Tableau 4: Valeurs de CCR selon la durée de travail.

	Durée de la fenêtre					
	CCR Fusil seul	CCR 30 min	CCR 1 h	CCR 2 h	CCR 4 h	CCR 6h
Moyenne	41	36	34	30	27	27
Écart-type	15	14	13	11	7	7
N	118	118	116	103	72	44
Dépassements:						
N	4	-	2	4	3	5
Durée (min)	36 - 90	-	15 - 20	4 - 76	22 - 144	41 - 220
CCR	54 - 76	-	74 - 75	54 - 74	41 - 58	33 - 50

Si on pose l'hypothèse que les activités autres que le travail au fusil sont toujours présentes et ce dans une proportion fixe de 76% tel qu'observée dans cette étude et qu'elles entraînent un CCR moyen de 23% (voir Tableau 3), alors il est possible d'estimer une durée maximale pour la journée de travail en utilisant l'équation fournie par Wu et Wang (2002). Par exemple, si une installation HP était telle que le travail au fusil y entraînerait un CCR de 50%, alors le CCR moyen pour la journée serait 29% en tenant compte des autres activités. La durée maximale acceptable de cette journée serait donc de 6,3 heures (ou 380 minutes). Selon nos observations, le travail au fusil représente en moyenne 24% de la durée de la journée, ce qui signifie que chaque travailleur ferait 91 minutes de travail au fusil durant la journée, soit un total de 3 heures de travail productif s'il y a deux travailleurs dans l'équipe. Cette durée totale devrait être répartie au cours de la journée afin d'éviter les risques de fatigue excessive. Par exemple, si chaque travailleur veut maintenir un CCR moyen d'au plus 34% durant chaque heure de travail au fusil (ex. Tableau 4, CCR 1 heure), il faudra limiter la durée du travail au fusil à 24 minutes par heure. Si on voulait protéger 97,5% travailleurs (il faut retrancher $1,96 \times \text{SEE} = 1.07$ heures selon Wu et Wang, 2002), alors la durée correspondante de la journée serait de 4,2 heures (ou 250 minutes) ce qui raccourcirait en proportion la durée de travail au fusil.

4.5 Installation HP et astreinte physique

Le travail observé s'est déroulé dans des environnements variés (cheminées, réservoirs, planchers d'usines, garages, conduites, travail à l'extérieur, etc.) pour des opérations également très variées (nettoyage de filtres chargés de cendres, de résidus d'acide, de résidus de caoutchouc, déglacage, nettoyage de pièces de machineries variées aux formes variées, etc.). Dans la très grande majorité des cas (95%), l'étendue de la zone de travail permettait de courts déplacements et de varier facilement la posture.

L'équipement nécessaire au travail de nettoyage au jet d'eau HP (ex., casque de sécurité, cagoule, visière, lunettes protectrices, protecteurs auditifs, gants, imperméable, dossard, bottes) ajoute en moyenne 5,2 kg additionnels au travailleur.

Une majorité des fusils étaient munis d'un dispositif permettant un appui quelconque sur le corps (ex., épaulière, prise en forme de "T"). La longueur des canons allait de 76 cm pour le plus court jusqu'à 353 cm pour le plus long, permettant ainsi d'atteindre le haut d'un réservoir relativement étroit dont on nettoyait l'intérieur. Les types de buses utilisées le plus fréquemment sont les buses couteau et balai de numéros allant de 5 à 15. À quelques reprises, des têtes rotatives à 2 jets ont été utilisées. Le poids du fusil a varié de 5,5 kg à 9 kg. La longueur des boyaux d'alimentation a varié de 30 m (100 pi) à 90 m (300 pi). Les diamètres ont varié de "3/8 po" à "3/4 po", le "1/2 po" étant de loin le diamètre le plus souvent observé.

Le tableau 5 fournit les valeurs des principaux paramètres observés d'installation HP pour 113 périodes de travail au fusil (des données étaient manquantes pour 5 périodes): pression à la pompe, pertes de charge du circuit, pression à la buse, débit et force de recul. Les valeurs de pression à la pompe ont été lues sur le manomètre de la pompe. Les valeurs de pertes de charge associées à la longueur et aux types de boyaux utilisés ont été estimées à partir de données des manufacturiers. Les débits correspondants ont été estimés à partir du type de buse utilisé et de la pression estimée à la buse (pression à la pompe moins les pertes de charges estimées) en utilisant les spécifications des manufacturiers. Enfin, les forces de recul correspondantes ont été estimées à partir de la pression et du débit estimés à la buse selon l'équation (1)(ASTM 1998).

En moyenne, la force de recul représentait 30% du poids du travailleur habillé et muni de son fusil (écart-type de 6%, étendue de 19% à 45%). La relation entre le CCR et la force de recul estimée montre trois points pour lesquels le CCR apparaît anormalement élevé compte tenu de la force de recul. Après une analyse au cas par cas, il apparaît que ces CCR puissent s'expliquer par un effet de la direction du jet en relation avec la posture.

Tableau 5: Paramètres de l'installation HP.

	Pression à la pompe (psi / kPa)	Perte de charge estimée (psi / kPa)	Pression à la buse estimée (psi / kPa)	Débit estimé (gpm / l/min)	Force de recul estimée (lb / kg-f)
Moyenne ± écart type	12000 ± 3314 574,6 ± 158,7	1415 ± 1562 67,8 ± 74,8	10621 ± 2897 508,5 ± 138,7	11,5 ± 2,5 43,5 ± 9,5	60 ± 9,5 27,3 ± 4,3
Étendue des valeurs	6000 -18000 287,3 – 861,8	60 – 6700 2,9 – 320,8	4600 -16340 220,2 – 782,4	9 – 20,5 34,1 - 77,6	45 – 93 20,5 – 42,3

Bien que la posture debout soit la plus fréquente (96% des séquences observées), dans les trois cas qui nous occupent le travailleur est debout ou accroupi, mais le jet est dirigé soit droit devant ou légèrement au-dessus de l'horizontale et ce, sans possibilité d'appuyer le corps sur une structure (pour reprendre une partie de l'effort). Ces postures sont exigeantes, car la force de recul doit être reprise entièrement par la musculature du tronc et/ou des membres supérieurs. Dans une majorité de situations, le travailleur est debout et le jet est dirigé vers le bas auquel cas il peut alors se servir de son poids pour contrer la force de recul. Dans plusieurs situations observées, lorsque le jet est dirigé vers le haut, le fusil est appuyé sur la jambe (ex., à l'intérieur de la cuisse) laquelle reprend la majeure partie de la force de recul, ce qui ne contribue pas à augmenter autant le CCR. Des postures à genoux ou accroupies ont été observées dans 4% des séquences observées.

Si on utilise une variable catégorique pour décrire la présence d'une posture exigeante compte tenu de la direction du jet (i.e., jet dirigé droit devant ou au-dessus de l'horizontale sans possibilité d'appuyer le corps sur une structure), alors il existe une relation statistiquement significative entre le CCR durant le travail au fusil et le ratio de la force de recul estimée au poids du sujet ainsi qu'avec la fréquence cardiaque de repos ($R^2=0,62$, $F_{3,100} = 53,17$, $p < 0,0001$):

$$\text{CCR} = (1,528 \times \text{ratio}) + (0,007 \times \text{Fc repos}) + (0,195 \times \text{contrainte}) - 0,516 \quad (2)$$

Où:

CCR = CCR tel que mesuré durant le travail;

Ratio = force de recul estimée divisée par le poids du travailleur vêtu pour le travail au fusil (5,2 kg de vêtements de protection);

Contrainte = 0 s'il n'y en a pas, 1 s'il y en a une = jet dirigé près de l'horizontale avec posture de travail ne permettant pas un appui solide comme par exemple sur une structure.

La présence de ce type de contrainte ajoute donc en moyenne autour de 20% au CCR normalement attendu durant le travail. Pour obtenir une borne supérieure permettant de protéger 97,5% des travailleurs sur les valeurs prédites du CCR par cette relation, il faut ajouter 0,186 à la valeur obtenue avec la relation. Par exemple, pour un travailleur pesant 80 kg dont la fréquence cardiaque au repos est 70 bpm, si la force de recul est estimée à 27 kg (60 lb) et qu'il n'y a pas de contrainte (utiliser 0 dans l'équation 2), alors le CCR moyen attendu durant le travail au fusil sera 0,46 (ratio = $27/(80+5,2) = 0,32$). Cette valeur signifie que 50% des travailleurs auront un CCR de 46% ou moins dans ces conditions, c'est-à-dire que la capacité cardiorespiratoire sera sollicitée à 46% chez le travailleur le moins en forme physiquement et à un pourcentage moins élevé pour les autres. La borne supérieure permettant de protéger 97,5% des travailleurs sur cette valeur prédite serait 0,65. Cette valeur signifie que 97,5% des travailleurs auront un CCR de 65% ou moins durant le travail au fusil réalisé dans ces mêmes conditions. Cette valeur signifie que l'individu qui a une capacité cardiorespiratoire supérieure à celle des 2,5% d'individus les moins en forme de toute la population sollicitera son système cardiorespiratoire à 65% de son maximum pour ce travail. Tous ceux qui sont plus en forme que lui (97,5% de la population) seront sollicités à un pourcentage moindre.

En utilisant les valeurs du Tableau 3 et la relation entre le CCR et la durée de travail publiée par Wu et Wang (2002) et ce, en suivant la logique de la section précédente, il devient aisé de déterminer à partir de la connaissance des installations HP pour le travail au fusil, une durée maximale acceptable de la journée de travail ainsi que la durée maximale de travail au fusil durant cette journée et ce en appliquant la même logique qu'au dernier paragraphe de la section 4.4. Il s'agit simplement de remplacer la valeur de CCR de 50% de l'exemple donné à la section 4.4 par la valeur calculée avec la relation (2).

4.6 Conditions climatiques

Le tableau 6 donne un aperçu des conditions climatiques au cours de 37 jours d'observation sur le terrain. Les valeurs sont données pour les périodes de travail. Pour 2 périodes sur les 118, les paramètres d'ambiance n'ont pu être mesurés. Un environnement neutre était rarement disponible

pour prendre les pauses de sorte qu'une majorité de pauses ont été prises près de la zone de travail; la température sèche était en moyenne 1,5°C plus basse lors des pauses et le WBGT, 2°C plus bas. Les conditions étaient généralement stables d'une période de travail à l'autre au cours d'une même journée.

Tableau 6: Conditions climatiques.

	Ta (°C)	% humidité	Tg	Va (m/s)	WBGT
Moyenne	18,6	60	22,1	0,6	16,2
Écart-type	7,1	28	7,0	1,0	7,2
Extrêmes	1 – 35	5 – 99	0 - 45	0 – 4,6	0,2 – 35,7

La perception du confort associé à la température a pu être mesurée pour 62 des 118 périodes (moyenne de $1,8 \pm 1,2$, soit près de "assez chaud"). Une relation statistiquement significative, quoique relativement faible, existe entre le niveau de confort perçu et la température sèche ainsi que la vitesse de l'air ($R^2 = 0,17$, $F_{2,55} = 6,59$, $p < 0,0062$). Aucune relation statistiquement significative n'existe entre les conditions climatiques et le CCR ou la fréquence cardiaque enregistrée durant le travail.

4.7 Astreinte due à la chaleur

L'accumulation de chaleur durant le travail au fusil a contribué à l'augmentation de la fréquence cardiaque (EPCT) dans 89% des périodes et ce, de 17 bpm en moyenne (écart-type de 12 bpm, étendue de 0 à 52 bpm). Ainsi, le CCR durant le travail au fusil, dépouillé de l'effet de l'accumulation de chaleur a été en moyenne 33%. Ainsi, l'augmentation du CCR attribuable uniquement à l'effet de la chaleur accumulé a été de 20% en moyenne ($(41\% - 33\%) \div 41\%$). Les travailleurs avaient déjà accumulé en moyenne 8 bpm (médiane à 5 bpm) d'EPCT au moment de débiter le travail au fusil. Notons cependant que dans 49% des périodes de travail, les EPCT accumulées avant de commencer le travail au fusil étaient inférieures à 3 bpm. Le seuil des 21 bpm a été dépassé dans 40 périodes de travail au fusil (38%) et le seuil des 33 bpm, dépassé dans 8 périodes (8%).

Il existe une relation statistiquement significative entre les EPCT en fin de période de travail et le CCR moyen durant le travail au fusil ($R^2=0,80$, $F_{1,104} = 418,9$, $p < 0,0001$); les deux paramètres étant liés. Il n'y a pas de relation entre la durée de la période de travail et les EPCT. Par contre, il existe une relation statistiquement significative entre le taux d'accumulation des EPCT durant le travail au fusil (EPCT en fin de période de travail au fusil/durée du travail au fusil) et le CCR moyen durant le travail au fusil ($R^2=0,81$, $F_{1,104} = 456,2$, $p < 0,0001$):

$$\text{Taux (EPCT/min)} = 1,196 \times \text{CCR} - 0,194 \quad (3)$$

Il faut ajouter 0,170 à cette valeur pour obtenir une borne supérieure sur les valeurs de taux prédites par cette relation permettant de protéger 97,5% des travailleurs. Par exemple, avec un CCR moyen durant le travail au fusil de 50% (utiliser 0,50 dans l'équation 3), la borne supérieure sur la valeur prédite du taux d'accumulation des EPCT est à 0,57 bpm/min. Tel qu'indiqué plus haut, au moment de débiter le travail au fusil, les sujets avaient déjà accumulé en moyenne 8 bpm d'EPCT à effectuer différentes activités de sorte que pour respecter la limite de 21 bpm, il faudrait limiter la durée du travail au fusil à environ 23 minutes. Si le sujet n'a accumulé aucune

EPCT avant de commencer à travailler, alors la durée maximale avant d'arriver aux 21 bpm d'EPCT est un peu moins de 37 minutes, à un CCR moyen de 50%. Dans un cas comme dans l'autre, il apparaît que la pratique courante d'alterner avec son coéquipier aux heures risque fortement d'entraîner une fatigue excessive chez une majorité de travailleurs avec un CCR de 50% lors du travail au fusil.

4.8 Indice WBGT

La connaissance des EPCT permet d'estimer la portion de la Fc attribuable au travail physique réalisé à partir de laquelle il est possible d'estimer la dépense énergétique pour chaque sujet dont la relation Fc-VO₂ est connue (i.e., ceux ayant fait le Step-Test). Ainsi, durant le travail au fusil, le métabolisme de travail des 19 sujets ayant fait le Step-Test était en moyenne 395 kcal/h (ou 15,1 mL O₂/kgmin; écart-type = 109 kcal/h; 459 Watts). Il s'agit d'un travail moyen selon l'AIHA (1971) et lourd selon le RSST (2001). Par contre, sur une durée d'une heure le métabolisme est inférieur de 10% (357 kcal/h avec un écart-type de 97 kcal/h).

En utilisant une réduction de 10° WBGT pour tenir compte de l'habillement nécessaire pour ce travail (Reneau et Bishop 1996), le WBGT maximum acceptable sur une heure a été dépassé de un degré ou plus à 16 reprises (de 1,6 à 15,0 degrés, moyenne de 6,0 degrés, médiane de 5,2) parmi les 81 périodes de travail HP pour lesquelles il a été possible d'estimer une valeur de dépense énergétique (i.e., périodes de travail de sujets ayant passé un Step-Test)(RSST 2001).

Il existe une relation statistiquement significative, quoique faible entre les EPCT en fin de période de travail au fusil et le WBGT ($R^2=0,05$, $F_{1,98} = 5,4$, $p < 0,0202$). Parmi les 16 périodes où le WBGT a été dépassé, on en compte 9 pour lesquelles le seuil des 21 bpm d'EPCT a aussi été dépassé. Ce seuil n'a pas été dépassé pour les 7 autres périodes. La différence du WBGT entre les deux ensembles de périodes (seuil de 21 bpm d'EPCT dépassé, seuil non dépassé) est de 1 degré et non significative. En résumé, le WBGT ne semble pas permettre de faire la différence entre les périodes de travail au fusil où la chaleur accumulée peut représenter un risque et les périodes où ce risque n'est pas présent.

5. Discussion

Cette étude a porté sur l'évaluation de la charge physique du travail au fusil lors du nettoyage au jet d'eau HP en vue de proposer si possible une organisation temporelle du travail (régime d'alternance travail-repos) visant à réduire les risques de fatigue excessive. De cette étude, quelques résultats importants émergent. Chacun est discuté dans une sous-section séparée.

5.1 L'accès au terrain

Tout comme dans le projet précédent (Imbeau et al. 2001), l'accès aux terrains d'observation a été beaucoup plus difficile que ce qui avait été prévu au départ et ce, en dépit des efforts soutenus et de l'attitude positive tant des membres du CPE que de l'ASTE. Malgré la présence au CPE de représentants des grandes entreprises québécoises du secteur du nettoyage industriel dont certaines sont très présentes dans la région de Montréal, une seule a participé au projet et ce à hauteur de 10% des terrains d'observation. Une telle situation a fait en sorte que l'équipe de

recherche a dû se tourner vers des entreprises de plus petite taille ou plus éloignées en région. Cette situation comporte au moins quatre inconvénients importants. D'abord, il est possible que les équipements utilisés par les plus petites entreprises ne soient pas représentatifs de ceux utilisés dans de grandes entreprises, qui elles, ont généralement des moyens plus importants. Ensuite, il est fort possible que les clients des petites et des grandes entreprises soient différents à certains points de vue, ce qui pourrait avoir un impact sur le travail réalisé et les conditions dans lesquelles il est réalisé. En troisième lieu, le fait d'avoir accès à un nombre d'entreprises de nettoyage industriel plus restreint fait en sorte que ce sont toujours les mêmes qui participent et malgré tous les efforts de l'équipe de chercheurs pour ne pas "déranger", ces entreprises finissent par ne plus vouloir participer, ce qui risque de poser des difficultés lors de recherches futures. Enfin, le fait de devoir aller en région plus souvent augmente significativement les coûts du projet d'autant plus que tel qu'expliqué plus tôt, on ne sait jamais s'il y aura collecte de données ni ce qu'en sera l'ampleur; un certain nombre de voyages "en blanc" ont été faits en région au cours de ce projet.

Dans ces conditions, l'équipe de recherche n'a pas eu le choix anticipé au départ quant aux conditions d'observation qu'il aurait fallu couvrir ni en ce qui a trait à l'échantillon de sujets prévu; à l'origine, 20 équipes devaient être suivies durant trois jours dont l'un devait idéalement être en conditions d'ambiances "chaudes". Cela n'a pas été possible.

5.2 La planification du travail

Dans le guide de prévention sur le nettoyage au jet d'eau sous haute pression publié par la CSST (Imbeau et al. 2003), la planification des travaux est traitée en profondeur car elle apparaît comme un aspect déterminant de la santé et de la sécurité des travailleurs exécutant ce travail. Malgré le fait qu'à quelques occasions, les travailleurs des entreprises de nettoyage industriel ayant participé au projet avaient en main une procédure de travail, il faut constater de façon générale que la planification des travaux était largement déficiente. Tel qu'indiqué plus haut, il est arrivé à de trop nombreuses occasions que les travailleurs ne connaissaient pas la nature des travaux à exécuter ni les équipements qui seraient nécessaires, avant d'arriver chez le client. Pourtant, il est fréquent que ce client ne soit pas nouveau pour les travailleurs. Il apparaît urgent que les entreprises se dotent d'un système permettant de conserver les informations sur les interventions passées pour que les travailleurs puissent mieux se préparer et s'organiser (Imbeau et al. 2003).

5.3 La condition physique des travailleurs

Parmi les 36 travailleurs ayant participé au projet, 19 ont passé le Step-Test. Parmi eux, seulement deux sujets avaient une valeur de $VO_{2\text{ max}}$ supérieure à la moyenne canadienne pour leur groupe d'âge. Tous les autres étaient nettement sous la moyenne et certains aussi bas qu'à deux écart-types sous la moyenne. Les fumeurs faisaient tous partie de ce groupe. Martinet et Meyer (1999) proposent une valeur minimale du $VO_{2\text{ max}}$ de 40 $\text{mlO}_2/\text{kgmin}$ pour le personnel spécialisé exposé à une contrainte thermique forte, ce qui peut certainement être le cas lors du travail au jet d'eau HP. Seulement 6 sujets des 19 sujets ayant fait le step-test dans cette étude rencontrent ce critère. Rappelons également que parmi les 36 sujets ayant participé à cette étude, 20 avaient un excès de poids ou une obésité de Classe 1 selon Santé Canada (2003).

Les sujets ayant une capacité cardiorespiratoire ($VO_2 \text{ max}$) plus faible sont plus à risques de développer une fatigue excessive lors d'un travail exigeant sur le plan physique. Les effets de la fatigue excessive sur la capacité physique, la coordination des gestes et l'attention est bien documentée dans la littérature (Chengalur et al. 2004). La fatigue excessive associée à une charge de travail élevée et/ou à une récupération inadéquate mène à une détérioration de la capacité musculaire et de la coordination musculaire (Rohmert 1973), lesquelles peuvent être à l'origine d'une perte de contrôle de l'équilibre ou de précision dans les gestes lors de la manipulation des outils de travail. Il est aisé de concevoir qu'une fatigue excessive pendant l'exécution d'un travail impliquant l'utilisation d'un outil dangereux —ce qui est exactement le cas du travail au fusil HP— puisse facilement mener à des incidents ou à des mouvements mal contrôlés aux conséquences potentiellement graves. De plus, dans des conditions de fatigue excessive associée à des activités de longue durée, le travailleur peut subir des épisodes hypoglycémiques (Roberts 2002). Dans ce cas, l'attention diminue de sorte que les accidents deviennent plus probables parce que l'opérateur n'est plus en mesure de composer aussi efficacement avec les incidents pouvant survenir.

5.4 L'astreinte du travail de nettoyage au fusil HP

Selon la littérature récente (Wu et Wang 2002), un CCR de 27% correspondant à la moyenne journalière —tous sujets confondus— observée ici (voir Tableau 3), peut être maintenu au maximum durant 7 heures. Cette durée est valable dans la mesure où une pause de 10 minutes est prise à chaque heure. Dans la présente étude, la durée moyenne du travail lors des journées d'observation est de 5,8 heures et d'après la nature des différentes activités observées, le critère de 10 minutes de pause par heure apparaît généralement respecté. Ainsi, au niveau de sollicitation observé ici la durée de la journée pourrait être allongée d'un peu plus d'une heure additionnelle en autant que les proportions de temps des différentes activités indiquées au tableau 3 ainsi que leur CCR moyens soient respectés. Toutefois, la journée ne pourrait pas être allongée jusqu'à 8 heures de travail sans risque de fatigue excessive pour certains sujets. La valeur du CCR maximum acceptable pour une journée de 8 heures est 24,5% selon Wu et Wang (2002). L'intensité du travail observé (27%) est donc trop élevée pour que le travail soit prolongé de façon sécuritaire jusqu'à 8 heures, à moins que le temps additionnel soit alloué à des activités moins exigeantes comme la surveillance et ce, tout en s'assurant que le CCR moyen (toutes les activités considérées) ne dépasse pas 24,5% si la journée de travail dure effectivement 8 heures. Pour une journée de 10 heures, le CCR maximum acceptable est 20% alors que pour une journée de 12 heures, il est de 16%.

Soulignons qu'une activité en elle-même peut exiger un CCR supérieur à la valeur maximale acceptable pour la journée de travail, mais la moyenne des CCR de chaque activité pondérée par la proportion du temps durant laquelle chaque activité est réalisée au cours de la journée, elle, ne doit pas dépasser la valeur maximale acceptable. Comme la valeur maximale acceptable décroît lorsque la durée de la journée allonge, le temps supplémentaire doit être affecté à de la surveillance ou des tâches légères dans le contexte du nettoyage industriel.

À titre d'exemple, le CCR mesuré dans cette étude pendant les activités de surveillance (21%) serait trop élevé pour une journée d'une durée de 10 heures (même si uniquement cette activité

était réalisée). Même en prenant 10 minutes de pause à chaque heure, un CCR de 21% ne serait pas acceptable sur une telle durée selon Wu et Wang (2002). Il apparaît donc assez clairement que tout temps supplémentaire au travail au fusil au-delà de 7 heures de travail mettrait à risques la santé et la sécurité d'une majorité des travailleurs HP observés, si ce temps supplémentaire inclut des activités comptant parmi les plus exigeantes comme le travail au fusil, les tâches d'appoint, l'installation ou la désinstallation du matériel HP ou les déplacements. Dans ce contexte, il apparaît clairement que tout dispositif mécanique permettant de reprendre —au moins en partie— l'effort associé au maniement du fusil HP permettra de réduire le CCR durant ce travail et donc de prolonger la durée de travail productif.

La relation de Wu et Wang (2002) proposant une limite sur le CCR selon la durée de la période de travail apparaît plus appropriée (ex., 24,5% pour 8 heures) que la relation plus classique proposée par Chengalur (2004) ou Rodgers (1986)(ex., 33% pour 8 heures). Bien que les sujets de l'étude de Wu et Wang (2002) étaient plus jeunes que ceux ayant participé à cette étude, leur $VO_{2\text{ max}}$ est 17% plus élevé que celui des 19 sujets qui ont fait le Step-Test. Comme nos sujets apparaissent moins en forme que ceux de leur étude il apparaît plus sécuritaire d'utiliser une limite sur le CCR qui soit inférieure (24,5% vs 33%) afin de minimiser les risques de fatigue excessive.

Enfin, il apparaît important de rappeler que le critère courant de 85% de la F_c max a été dépassé dans 23% des périodes de travail au fusil. Ce critère est habituellement considéré comme le plafond à ne jamais dépasser durant toute activité physique dont le travail. Il apparaît donc très important de mieux contrôler l'intensité du travail physique associé au nettoyage HP afin d'éviter que cette limite soit atteinte. L'intensité du travail de nettoyage HP peut être significativement réduite par l'utilisation de dispositifs mécaniques permettant de reprendre l'effort associé au maintien du fusil. Toutefois, pour assurer un travail productif (ex., installation, désinstallation) et efficace ces dispositifs doivent être développés en fonction du travail à réaliser et de l'environnement où il est réalisé, ce qui nécessite une planification soignée des travaux. Une autre façon de contrôler l'intensité relative de l'effort, est d'améliorer la capacité cardiorespiratoire des travailleurs. Il apparaît donc que cesser de fumer soit un moyen efficace d'y parvenir.

5.5 Les conditions d'ambiance thermique et le travail à la chaleur

Les résultats de cette étude ne supportent aucune relation forte entre les paramètres d'ambiance thermique et l'accumulation de la chaleur corporelle traduite par les EPCT. Les seules variables influençant les EPCT sont le CCR durant le travail en combinaison avec la durée du travail. À première vue, ce résultat peut surprendre. Une explication plausible est le fait que pour réaliser le travail au fusil en toute sécurité, le travailleur doit s'encapsuler littéralement dans un habillement pratiquement étanche. Pour éviter toute infiltration d'eau contaminée dans les vêtements, toutes les ouvertures doivent être scellées ou très bien protégées. Cet habillement imperméable, puisque les projections sont composées d'eau, limite grandement les échanges thermiques entre le corps et l'environnement tel qu'expliqué plus haut. Comme la chaleur est produite par le travail musculaire et que la quantité de chaleur que le corps peut accumuler est limitée, le taux de production de chaleur déterminera le temps avant que cette limite ne soit atteinte. Or, le taux de chaleur est déterminé par l'intensité du travail, laquelle est bien traduite par le CCR. Ainsi,

l'équation (3) permet d'estimer le taux d'accumulation de chaleur selon le CCR mesuré durant le travail. Une fois le taux estimé, il est possible de déterminer la durée de travail maximale qui permettra de limiter l'accumulation de chaleur. Le seuil de 21 bpm est proposé comme une limite permettant de protéger 95% des travailleurs contre une augmentation de la température centrale de 1°C (Meyer et al. 2001). Il s'agira donc de diviser 21 par le taux obtenu à partir de l'équation (2) tel que décrit à la section 4.7.

À la lumière des résultats de cette étude, il apparaît clairement que la pratique courante d'alterner aux heures avec son coéquipier n'est pas toujours appropriée. Cette pratique peut être adéquate lorsque le CCR moyen sur une heure est inférieur à 45%. En effet, en moyenne un travailleur accumulera tout juste 21 bpm d'EPCT (la limite à ne pas dépasser) s'il travaille au fusil durant une heure et que ce travail entraîne un CCR moyen de 45% sur cette heure (équation 3). Dans ces conditions, la durée maximale acceptable de la journée serait 6,8 heures (relation de Wu et Wang 2002) et chaque travailleur pourrait faire un maximum de 1,6 heures (24%) de travail au fusil durant cette journée. Pour allonger la journée de travail ou la durée de travail au fusil au cours de la journée, il faut réduire le CCR moyen durant ce travail, ce qui suppose un choix judicieux des paramètres de l'installation HP, utiliser des appareils permettant d'automatiser/mécaniser le travail au fusil ou avoir recours à plus de travailleurs (Imbeau et al. 2003).

Le WBGT apparaît peu utile pour prévenir la contrainte thermique lors du travail de nettoyage au fusil étant donné que l'accumulation de chaleur corporelle apparaît indépendante des conditions climatiques (équation 3 et section 4.8). Le type de vêtement (étanche) porté durant ce travail explique vraisemblablement ce résultat. La contrainte thermique apparaît déterminée par l'intensité du travail musculaire, lequel est bien décrit par le CCR; c'était l'hypothèse de départ (section 2.0). Afin de prévenir les risques de contrainte thermique, il semble donc qu'il faille assurer un suivi de la Fc du travailleur durant le travail ou alors instaurer une durée limite au travail au fusil basée sur l'intensité anticipée du travail. Les deux approches pourraient avantageusement être utilisées en redondance.

5.6 Le CCR selon les paramètres de l'installation HP

Tel qu'attendu au départ, il est possible d'estimer le CCR durant le travail HP à partir des caractéristiques de l'installation et ce, en utilisant l'équation (3). Le paramètre le plus important est le ratio de la force de recul estimée au poids du travailleur; à force égale, un travailleur plus léger fournira un effort plus grand pour maîtriser son fusil. La force de recul peut être estimée relativement facilement. Il suffit de connaître le diamètre, le type et le nombre de sections de boyaux qui seront installés de même que la pression d'opération à la pompe et le type de buse qui seront utilisés. Il faut aussi avoir sous la main les spécifications du manufacturier concernant chacune de ces composantes (ces spécifications sont disponibles sur Internet). À partir de ces informations, la pression attendue à la buse du fusil ainsi que le débit sont estimés. Ces deux paramètres sont ensuite combinés selon l'équation (1) fournie par ASTM (1998).

Il faut porter une attention particulière à la détermination de la pression et du débit à la buse. Si la pression à la pompe et/ou le débit maximum de la pompe sont utilisés, le calcul surestimera grandement la force de recul réelle. La pression est souvent dictée par le type d'application

prévue et/ou le type de buse qui sera utilisé; elle est donc connue d'avance, ou s'il s'agit d'un cas particulier décidé sur les lieux du travail, elle peut être lue sur le manomètre de la pompe. Quant au débit, celui-ci doit être estimé à partir des spécifications du manufacturier et ce spécifiquement pour les composantes qu'on prévoit utiliser. Pour les cas particuliers décidés sur les lieux du travail, il faut aussi estimer le débit puisqu'il n'existe pas de moyen simple de le vérifier avec précision (les pompes sont rarement munies d'un débitmètre). Presque tous les travailleurs interrogés au cours de cette étude ont fourni des valeurs de débit correspondant à la capacité de la pompe et donc, qui n'étaient pas cohérentes avec les spécifications du manufacturier des composantes qu'ils utilisaient compte tenu de la pression d'opération (ex., pression donnée par le travailleur vs numéro de buse utilisée pour le travail). Les valeurs de débit fournies par les travailleurs donnaient lieu à des forces de recul impossibles à maintenir pendant les durées observées et apparaissaient donc irréalistes (surtout compte tenu des valeurs de $VO_{2\text{ max}}$ obtenues pour ces travailleurs). Le débit d'eau à la buse demeurera toujours un paramètre à estimer.

5.7 Marche à suivre pour déterminer la durée du travail au fusil

Cette étude offre deux moyens complémentaires pour calculer un régime d'alternance travail-repos. La section 4.4 illustre une première approche utilisant uniquement la relation de Wu et Wang (2002) essentiellement basée sur la mesure du CCR en situation de travail. Cette relation permet de déterminer la durée maximale d'une journée de travail connaissant le CCR attendu lors du travail au fusil et la composition des activités durant la journée de travail. La seconde approche décrite à la section 4.7 est basée sur la relation entre le taux d'accumulation de chaleur corporelle (décrite par l'augmentation des bpm d'EPCT) et le CCR en situation de travail. Cette relation propre à cette étude permet de déterminer la durée maximale acceptable de chacune des périodes de travail au fusil, et ce à partir du CCR attendu. Une marche à suivre pour la détermination d'un régime d'alternance travail-repos pour le travail au fusil qui minimise les risques de fatigue excessive est la suivante:

1. Réunir les informations concernant l'installation prévue. Au minimum, il faut connaître les choses suivantes: numéro de buse, pression à la pompe, type de boyaux utilisés (diamètre, pression maximale d'opération, longueur des sections), le nombre de sections de chaque type de boyaux, et les spécifications du manufacturier concernant ces composantes;
2. Estimer les pertes de charge dues à l'installation des boyaux (et aux autres accessoires installés le cas échéant) et les soustraire de la valeur de la pression à la pompe pour obtenir une estimation de la pression à la buse;
3. Estimer le débit à la buse selon les spécifications du manufacturier (ex., pour avoir une pression de 10000 psi à une buse No 8, il faut un débit de 12,6 gpm selon Aqua-Dyne Inc. (<http://www.aqua-dyne.com/NozzleChart/nozzle1.htm>));
4. Estimer la force de recul du fusil selon l'équation (1) (ne pas oublier de transformer le résultat en kg, en divisant par 2,2);
5. Estimer le CCR attendu durant le travail au fusil selon l'équation (2). Si on ne connaît pas le poids du travailleur ni sa fréquence cardiaque de repos, utiliser les valeurs moyennes du tableau 1 (poids = 90 kg et F_c repos = 68);
6. Estimer le taux d'accumulation des EPCT selon l'équation (3);
7. Estimer la durée maximale de chaque période de travail au fusil en divisant 21 par le taux

- obtenu à l'étape 6 (durée maximale = 21/taux);
8. En utilisant les informations du tableau 3 et le résultat du calcul de l'étape précédente, calculer un $CCR_{\text{jour moyen}}$ pour la journée de travail;
 9. Calculer la durée de la journée de travail en utilisant la relation proposée par Wu et Wang (2002):

$$\text{Durée de la journée de travail} = 26,12 \times \text{Exp}(-4.81 \times CCR_{\text{jour moyen}})$$
 10. Si la durée de la journée est plus courte que ce qui était planifié, alors les activités tel qu'envisagées entraînent une astreinte excessive de sorte qu'il faut revoir la composition des activités ou l'installation HP envisagée de façon à réduire le CCR moyen.

Les résultats de l'étude montrent que dans 22% des périodes de travail, la valeur maximale admissible de la fréquence cardiaque durant le travail a été dépassée (section 4.3). Une meilleure condition physique, le fait de ne pas fumer, une meilleure organisation temporelle du travail et l'utilisation de dispositifs permettant de réduire l'intensité du travail contribueraient sans aucun doute à réduire le nombre de ces dépassements. De façon préventive, chaque travailleur devrait donc faire lui-même un monitoring de sa propre fréquence cardiaque que ce soit de façon manuelle ou par le biais d'un cardiofréquencemètre. Les appareils typiquement utilisés dans les sports sont très abordables, faciles à utiliser et suffisamment robustes. Selon Martinet et Meyer (1999), le travail peut reprendre lorsque la fréquence cardiaque durant la pause est redescendue à la valeur de repos (obtenue avant le début du travail en position assise) plus 10 bpm. Cette approche où le travailleur supervise lui-même sa fréquence cardiaque demeurera toujours avantageuse du point de vue de la santé et de la sécurité du travail physique, et tout particulièrement lorsqu'une contrainte thermique est possible.

Pour rendre cette approche faisable d'un point de vue pratique, le travailleur doit se munir d'un moniteur cardiaque portatif (ex., Polar Electro, Finlande) et apprendre à l'utiliser. Il doit se discipliner à mesurer sa fréquence cardiaque au repos assis le matin en arrivant sur les lieux du travail. Ensuite, il doit se discipliner à mesurer sa fréquence cardiaque à chaque pause au cours de la journée. Il doit aussi se discipliner à ne pas recommencer à travailler tant que la fréquence cardiaque n'est pas redescendue à la valeur de repos plus 10 bpm. Nul doute que cette approche exigera de la formation et des ressources pour être implantée et utilisée efficacement. Néanmoins, une telle approche permet d'éviter les périodes de surcharge du système cardiorespiratoire indépendamment de la condition physique du travailleur ou de la nature du travail effectué.

5.8 Portée et limites de l'étude

Les résultats de cette étude permettent essentiellement à un intervenant en SST de planifier une organisation du travail au fusil lors d'opérations de nettoyage sous haute et très haute pression qui soit sécuritaire. Ces résultats fournissent une information descriptive utile sur les sollicitations types de ce travail (niveau d'astreinte et durée), soit une information qui était inexistante jusqu'ici. Ils fournissent également des modèles permettant d'anticiper les astreintes prévisibles à partir d'une planification des installations. Ainsi, pour que les résultats de cette étude puissent être pleinement exploités en pratique, il est nécessaire que l'intervenant ait en main une planification des travaux faisant état des principaux paramètres de l'installation qu'on

prévoit utiliser. Si cette information n'est pas disponible, alors il demeure possible à partir des informations fournies dans ce rapport et de modèles publiés dans la littérature récente de déterminer une organisation du travail qui soit sécuritaire. Il faut dans tous les cas que l'intervenant ait un minimum de connaissances en ergonomie et notamment en ce qui a trait aux principes et connaissances liées au CCR et aux modèles d'alternance travail-repos (ex., ouvrages de Chengalur et al. 2004, Rodgers 1986).

Les relations trouvées entre les différentes variables ont des coefficients de détermination (R^2) qui sont généralement bons compte tenu du fait qu'il s'agit d'une étude sur le terrain où il est impossible d'obtenir un aussi bon contrôle qu'en laboratoire. Par contre, une telle étude ne pourrait pas être réalisée en laboratoire. L'une des principales difficultés dans cette étude a été de ne pas avoir la possibilité de choisir les conditions d'observation en vue d'obtenir une bonne représentativité des conditions de travail habituelles. Néanmoins, nous croyons avoir pu observer un échantillon valide de ces conditions parce qu'elles étaient relativement variées et très semblables à celles observées lors de la première étude (Imbeau et al. 2001). Une autre difficulté est associée à l'identification de façon précise des différentes activités de travail dans le temps. Par exemple, lorsque les travaux se déroulaient en espace clos, il était impossible d'observer le travailleur et donc de classer ses activités et d'en établir la durée précise, sauf dans le cas du travail au fusil qui est facilement identifiable par la présence ou l'absence du bruit associé au jet d'eau. Pourtant, l'examen des tracés de fréquence cardiaque lors du travail en espace clos montrait souvent des profils de récupération indiquant que le travailleur prenait des pauses de durées variables. Mais, celles-ci étaient catégorisées "Non-observé" (Tableau 3) au même titre que d'autres activités que le travailleur pouvait avoir réalisées à un autre moment de la journée alors que l'observateur était en train d'observer un coéquipier utilisant le fusil. Ainsi, pour ces tracés, seul le travail au fusil "pur" a pu être marqué comme tel. Par contre, dans d'autres situations où le travail a pu être observé, le travailleur pouvait alterner fréquemment entre du travail au fusil et des pauses lors desquelles il inspectait son travail ou reprenait son souffle. Dans ces conditions, il était impossible de noter tous les arrêts du travail de sorte que l'ensemble (travail au fusil et inspections ou pauses) a été catégorisé comme du travail au fusil. Ainsi, à force de recul égale, le CCR du travail au fusil en espace clos de cet exemple sera plus élevé que celui du second cas décrit. De telles différences introduisent de la variabilité dans les données, et tout particulièrement dans l'estimation des EPCT et de la durée des périodes durant lesquelles elles sont comptées. Cette difficulté a certainement contribué à réduire les coefficients de détermination (R^2). Néanmoins, un R^2 de plus de 0,6 (équation 2 et 3) est généralement considéré comme excellent dans les études de terrain.

Une autre limite de cette étude réside dans l'estimation de la force de recul à partir des informations fournies par les manufacturiers et des observations faites sur le terrain. Dès que les équipements comme les boyaux et les raccords ont accumulé une certaine usure, on peut s'attendre à ce qu'ils entraînent des pertes de charges plus importantes, contribuant de ce fait à réduire la pression à la buse en deçà de la valeur estimée en prenant pour acquis que tout est neuf. Le fait de surestimer la force de recul permet de protéger plus facilement les travailleurs; si la force de recul réelle est inférieure à celle estimée, alors l'astreinte réelle sera inférieure à celle estimée et les durées de travail estimées seront plus courtes que ce qui est réellement nécessaire. Cette erreur d'estimation de la force de recul est donc du côté positif pour le travailleur. L'usure des équipements HP est certainement l'un des facteurs ayant contribué à augmenter la variabilité

dans nos données et conséquemment, à détériorer le R^2 de l'équation 2.

Enfin, il est fort possible que les conditions climatiques observées ne soient pas représentatives des conditions habituelles. Pour ce qui est du travail en ambiance chaude, c'est certainement le cas (10% des périodes de travail se sont faites à des températures supérieures à 25°C) puisque ces conditions ont été difficiles à observer à cause de la difficulté d'accès aux terrains d'étude. En effet, la durée du projet a été prolongée à deux reprises dans l'espoir d'observer plus de travail en ambiance chaude, mais sans succès. Par exemple, aucune observation n'a pu être faite à l'été 2004 malgré des démarches soutenues. Toutefois, selon les résultats de l'étude, les conditions d'ambiance chaude ne semblent pas liées à l'astreinte ce qui laisse à penser que l'ajout d'observation en conditions d'ambiance chaude n'aurait rien changé aux résultats.

Enfin, en ce qui a trait aux installations HP, le tableau 5 indique que la moyenne des pressions observées à la pompe est 12000 psi, ce qui signifie que plusieurs conditions de pressions moyennes (7000, 8000, 8500 psi) ont été observées. Peut-être aurait-il été plus représentatif de pouvoir mesurer plus de travail fait avec de plus hautes pressions (15000, 18000, 20000). Toutefois, les débits utilisés sont généralement plus hauts aux pressions plus faibles, ce qui contribue plus fortement à l'augmentation de la force de recul que la pression elle-même (c.f. relation 1, section 2).

6. Conclusion

Cette étude sur le travail de nettoyage au fusil à jet d'eau sous haute pression montre qu'il est possible et relativement aisé d'estimer une durée de travail qui soit sécuritaire du point de vue de la santé et de la sécurité du travail, c'est-à-dire une durée de travail qui permet de limiter la fatigue excessive ainsi que l'accumulation de chaleur corporelle dans une proportion connue de la population. Une fois cette durée établie, il est possible de déterminer une durée maximale acceptable pour la journée de travail et de composer une organisation des activités de travail permettant d'éviter la fatigue excessive. Une démarche relativement simple pour autant qu'on ait un minimum de connaissances en ergonomie est fournie à cet effet, mais son utilisation nécessite un minimum de planification des travaux de nettoyage HP. L'étude tend à montrer que l'accumulation de chaleur corporelle durant le travail au fusil est indépendante des conditions climatiques. L'accumulation de chaleur apparaît par contre étroitement liée à l'intensité du travail. Enfin, les résultats de l'étude montrent qu'une majorité des travailleurs observés ont une condition physique sous la moyenne canadienne pour leur groupe d'âge ce qui peut accroître le risque de fatigue excessive et d'incidents durant le travail au fusil HP, un travail généralement considéré dangereux.

7. Bibliographie

- American Industrial Hygiene Association (AIHA) (1971). *Ergonomic guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work*. Akron, OH: AIHA.
- Ainsworth, B.E., Haskell, W. J., Leon, A.S., Jacobs, D.R., Montoye, H. J., Sallis, J. F. et Paffenbarger, R. S. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy cost of human physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 71-80.

- American Industrial Hygiene Association (AIHA) (1971). *Ergonomic guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work*. Akron, OH: AIHA.
- ASTM (1998). *Standard Practice for Pressure Water Cleaning and Cutting*, E 1575 – 98, PA: American Society for Testing and Materials.
- Chengalur, S.N., Rodgers, S.H., and Bernard, T.E. (2004). *Kodak's Ergonomics Design for People at Work*, 2nd Edition, Hoboken, NJ: Wiley.
- Comité sectoriel de main-d'oeuvre de l'environnement (2001). *Résultats d'une étude diagnostique sur la main-d'oeuvre et les entreprises du sous-secteur des matières dangereuses résiduelles*. Québec, Qc: CSMOE, 295 pages.
- Éditeur officiel du Québec (2001). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST)*. R.R.Q., c. S-2.1, r. 19.01, Décret 885, 2001.
- Garg, A., Chaffin, D.B., Herrin, G.D. (1978); Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal* (39) 8, pp. 661-674.
- Imbeau, D., Montpetit, Y. et Bergeron, S. (2001). *Description des risques à la santé et à la sécurité du travail de nettoyage avec jets d'eau sous haute et très haute pression*. Rapport R-285. Montréal: Qc: IRSST. 71 pages.
- Imbeau, D., Bergeron, S. et Montpetit, Y. (2003). *Le nettoyage industriel au jet d'eau sous haute pression - Guide de prévention*. Document produit pour le Sous-comité HP du Comité paritaire de l'environnement et publié par la Commission pour la santé et la sécurité du travail du Québec, Qc, Bibliothèque Nationale du Québec, 108 pages.
- Imbeau, D., Desjardins, L., Dessureault, P.C., Riel, P. et Fraser, R. (1995). Oxygen consumption during scaffold assembling and disassembling work: comparison between field measurements and estimation from heart rate. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15, 247-259.
- Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie (1988). *Données de l'enquête Campbell sur la condition physique et l'anthropométrie* (tableaux). Canada, 6 pages. http://www.cflri.ca/fra/donnees_provinciales/campbell1988/index.php (site accédé le 31 août 2007).
- Institut National de Recherche en Sciences (INRS)(2002). *Atteinte physiologique lors d'opérations de retrait d'amiante* (TL 21 - www.inrs.fr/dossiers/amiante/tl21-int.htm). France: INRS.
- Mairiaux, P. et Malchaire, J. (1990). *Le travail en ambiance chaude – Principes, méthodes, mise en oeuvre*. Paris: Masson.
- Malchaire, J. (1988). Méthodologie générale d'interprétation des enregistrements continus de fréquence cardiaque aux postes de travail. *Cahiers de médecine du travail*, 25 (4), 181-186.
- Malchaire, J., Kampmann, B., Mehnert, P., Gebhardt, H., Piette, A., Havenith, G., DenHartog, E., Holmér, I., Parsons, K., Alfano, G. et Griefahn, B. (2001). Évaluation du risque de contrainte thermique lors du travail en ambiance chaudes. *Médecine du travail et ergonomie*, 28 (3), 101-111.
- Martinet, C. et Meyer, J.-P. (1999). *Travail à la chaleur et confort thermique*. Note scientifique et technique (NS 184). INRS, France, 61 pages.
- Melançon, J. (2002). Le comité paritaire de l'environnement – un nouveau dans le décor. *Prévention au Travail*, 15(4), 42-43.
- Meyer, J.-P. et Flenghi, (1995). Détermination de la dépense énergétique de travail et des

- capacités cardio-respiratoires maximales à l'aide d'un exercice sous-maximal sur step-test, *Documents pour le Médecin du travail*, No 64, 4^e trimestre. France: INRS.
- Meyer, J.-P., Martinet, C., Payot, L., Didry, G. et Horwat, F. (2001). Évaluation de l'astreinte thermique à l'aide de la fréquence cardiaque. *Le travail Humain*, 64 (1), 29-43.
 - Mital, A. et Shell, R. L. (1986). Determination of rest allowances for repetitive physical activities that continue for extended hours. Dans Richard Shell (Éd.) *Work Measurement - Principles and Practices* (pp. 133 à 141). Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia.
 - Monod, H. et Pottier, M. (1981). *Adaptations respiratoires et circulatoires du travail musculaire*. Dans J. Scherrer et coll. (Éds). Précis de physiologie du travail – Notions d'ergonomie (pp. 159-204). Paris: Masson.
 - Ramsey, J.D., Bernard, T.E., Dukes-Dobos, F.N. (2000). *Evaluation and control of hot working environments: Part I – Guidelines for the practitioner*. Dans Mital, Kilbom et Kumar (Éds), *Ergonomics Guidelines and Problem Solving* (pp. 329-336). Amsterdam: Elsevier.
 - Reneau, P.D. et Bishop, P.A. (1996). A review of the suggested Wet Bulb Globe Temperature adjustment for encapsulating protective clothing, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 57, 58-61.
 - Roberts, D. (2002). In-season physiological and biochemical status of reforestation workers. *Journal of occupational and environmental medicine*, 44 (6), 559-567.
 - Rodgers, S.H. (1986). *Ergonomics Design for People at Work – Volume 2*. New-York: Van Nostrand Reinhold.
 - Rohmert, W. (1973). Problems in determining rest allowances. Part 1. *Applied Ergonomics*, 4, 91-95.
 - Sall, J., Creighton, L., and Lehman, A. (2005). *JMP Start Statistics - A Guide to Statistics and Data Analysis Using JMP and JMP IN Software*, 3rd Edition, SAS Institute Inc., Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.
 - Santé Canada (2003). *Lignes directrices canadiennes pour la classification du poids chez les adultes*. Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux du Canada, 2003. http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/nutrition/weights-poids/guide-ld-adult/bmi_chart_java-graph_imc_java_f.html (site accédé le 31 août 2007).
 - Spitzer, H. et Hettinger, T. (1965). Tables donnant la dépense énergétique en calories pour le travail physique, *collection Cahiers du BTE*, #302-04.
 - Vogt, J.J., Meyer-Schwartz, M. Th., Metz, B. et Foehr, R. (1973). Motor, Thermal and Sensory Factors in Heart Rate Variation: A methodology for indirect estimation of intermittent muscular work and environmental heat loads. *Ergonomics*, 16 (1), 45-60.
 - Werlé, R. (1995). *Équipement à jets d'eau sous haute et très haute pression*. ED 784, Paris: INRS, 88 pages.
 - Wu, HC et Wang, MJ. J. (2002). Relationship between maximum acceptable work time and physical workload. *Ergonomics*, 45 (4), 280-289