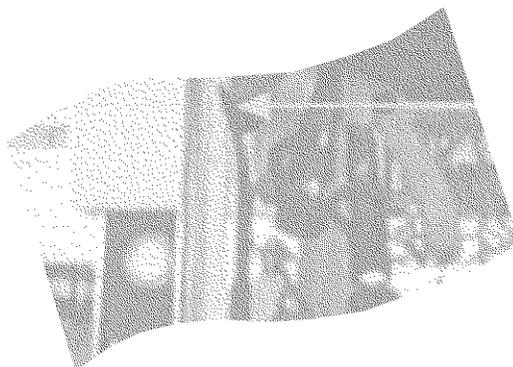


Lombalgies et accidents musculosquelettiques chez les pompiers

Identification et analyse des situations à risque lors de l'accès aux véhicules et de la manutention d'outils



Denis Giguère
Denis Marchand

Septembre 2002 R-313

RAPPORT



La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et subventionne des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut, en téléphonant au 1-877-221-7046.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications ou gratuitement sur le site de l'Institut.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2002

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,
septembre 2002.

Lombalgies et accidents musculosquelettiques chez les pompiers

Identification et analyse des situations à risque lors de l'accès aux véhicules et de la manutention d'outils

Denis Giguère,
Programme sécurité-ergonomie, IRSST

Denis Marchand,
Département de kinanthropologie, UQAM

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

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

REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche désire d'abord remercier M. Alain Langlois, directeur de l'Association sectorielle paritaire - secteur Affaires municipales (APSAM), pour son appui indéfectible à ce projet. Plusieurs éléments de problématique contenu dans cette étude trouvent leur origine dans un document de cette association. Des remerciements doivent plus particulièrement être adressés à Paul Potvin, conseiller à l'APSAM, dont la connaissance du dossier de la santé et de la sécurité du travail des pompiers s'est avérée inestimable, ainsi qu'à Denise Gilbert et Luc Bertrand, qui ont pris sa relève.

La présente étude n'aurait pu être possible sans le dévouement et la disponibilité du comité aviseur paritaire qui a accompagné l'équipe de recherche tout au long de sa démarche. En plus de guider l'équipe de recherche sur les objectifs pratiques de l'étude, les membres de ce comité ont toujours su ouvrir les portes des casernes et assurer la participation de services de protection contre les incendies. Les personnes suivantes ont participé à ce comité :

Luc Bertrand	APSAM
Denis Branchaud	SPI Ville de Québec, puis École nationale des pompiers du Québec (ÉNPQ)
Denis De Lisio	Syndicat des pompiers du Québec (SPQ)
Guy Dussault	SPI Ville-Mont-Royal, puis SPI Ville de Montréal
Richard Ferlatte	SPI Ville St-Laurent
Claude Fortin	Association québécoise des pompiers volontaires et professionnels (AQPVP)
Jean Henrichon	Association des pompiers de Montréal (APM)
Pierre-É. Houde	SPI Ville de Québec
Denis Lauzon	Association québécoise des pompiers volontaires et professionnels (AQPVP)
Martin Morency	Association des pompiers professionnels de Québec (APPQ)
Alain Nault	Association des pompiers de Montréal (APM)
Paul Potvin	APSAM
Jacques Proteau	SPI Ville de Montréal

Les premiers contacts avec ce secteur ont été grandement facilités par l'accueil et la disponibilité de M. Guy Lymburner de l'IPIQ et de M. Denis Branchaud du SPI de la Ville de Québec. Pour passer du protocole aux résultats, les chercheurs principaux ont pu compter sur le talent et le dévouement de plusieurs étudiants du Département de kinanthropologie de l'UQAM, entre autres Cathé Balleux et Martin Letendre, à qui nous devons l'essentiel de la logistique et le recueil des données de terrain. Ils furent assistés par Stéphane Patenaude au début de l'étude ainsi que par Danny Bégin. Nous devons à Caroline Jetté le traitement et l'analyse des données en laboratoire, en particulier l'analyse des contraintes biomécaniques au niveau lombaire. À l'UQAM aussi, nos remerciements vont à Carole Roy, technicienne au Département de kinanthropologie, pour le soutien technique et à Benoît Sansregret, du Département de l'Audio-visuel, pour certaines prises de vue.

Le calcul, le développement, le montage, la mise au point et le calibrage de l'appareil servant à déterminer le centre de masse des équipements manipulés par les pompiers est l'œuvre de Christian Larue, qui vint aussi utiliser son instrument dans les casernes à quelques reprises. L'entreprise privée a également favorisé le déroulement du projet à sa façon. Nous désirons remercier M. Denis Lauzon de Wildfire inc., chez qui nous avons pu faire les premiers essais avec l'appareil servant à mesurer le centre de masse.

À l'IRSST, nous nous devons de remercier Thierry Petitjean-Roget (Direction des opérations) pour son aide inestimable dans le choix des méthodes statistiques ainsi que Esther Cloutier et Danièle Champoux (Programme organisation du travail); dont les travaux sur les accidents dans les services de lutte aux incendies ont grandement contribué à préciser la problématique de l'accès au véhicule. Ilkka Kuorinka a contribué au démarrage et à la définition de la problématique de cette étude. Le déroulement de ce projet fut encadré par Alain Lajoie, puis par Daniel Imbeau et Denise Granger. Nous devons à Christine Lecours la révision des textes et l'édition finale de ce document.

Finalement, cette étude n'aurait pas été possible sans la coopération de sept services de protection contre les incendies du Québec, à qui nous avons promis de garder anonyme leur contribution. Les mesures de terrain purent être effectuées dans neuf casernes différentes réparties dans ces sept services : nos remerciements les plus chaleureux vont donc aux officiers, pompiers et pompières de ces casernes, pour leur patience et leur coopération avec l'équipe de recherche.

SOMMAIRE

La nature du travail des pompiers est propice à l'apparition de problèmes musculo-squelettiques. Les statistiques de la CSST montrent que les foulures et les entorses viennent au premier rang du type de lésion, le dos en est la cible principale suivi des pieds et des chevilles et les agents causals les plus souvent impliqués sont les mouvements du corps, les surfaces de travail et les véhicules. Une étude de l'IRSST (Cloutier et Champoux, 1996) révèle l'existence d'un scénario d'accident, parmi d'autres, impliquant « un effort excessif » et dont les résultats sont des douleurs et des entorses, en particulier au dos, dans 12,4 % des cas d'accidents étudiés.

L'objectif du projet consistait, en regard des accès aux véhicules et à la manutention d'outils et d'équipements qui y sont rangés à : a) identifier les tâches ou situations à risque sur et autour des véhicules d'urgence, b) faire l'analyse du travail et des contraintes biomécaniques des dites tâches ou situations et enfin, c) émettre des recommandations concernant la modification des tâches ou situations pour que ces dernières deviennent moins contraignantes pour le système musculo-squelettique, sans toutefois nuire à la finalité du travail des pompiers.

Un comité de pilotage, dont les membres sont issus du milieu de la lutte aux incendies, participa à l'identification des tâches ou situations potentiellement à risque. De concert avec l'équipe de recherche, ce comité retint les accès aux véhicules, en particulier la descente au sol à partir de différents points sur les camions, ainsi que la manutention des outils et équipements suivants : la scie à découper, la génératrice, le canon à eau, le ventilateur, le système de désincarcération, des échelles de longueurs différentes, les cales pour les vérins hydrauliques ainsi que l'appareil de protection respiratoire autonome. Sept services de lutte aux incendies du Québec acceptèrent de participer à l'étude, qui se déroula dans neuf casernes et sur 15 véhicules d'urgence différents (autos-pompes, camions-échelles, et unités d'urgence). Toutes les mesures et observations se sont faites en caserne avec des pompiers volontaires ou permanents.

Accès aux véhicules

L'étude des accès aux véhicules inclut le recueil des dimensions linéaires des accès et, dans deux des neuf casernes participantes, la mesure des forces de réactions au sol. Celles-ci furent mesurées à l'aide d'une plate-forme de force AMTI et le sentiment de sécurité lors de chaque descente, à l'aide d'une échelle psychophysique. Dans la première caserne, dix pompiers descendirent de trois endroits différents selon deux méthodes différentes, soit « face à la rue » et « face au camion ». Dans l'autre caserne, le même protocole fut appliqué avec huit sujets en quatre endroits différents.

Les cabines de conduite et les cabines-équipées se situent respectivement à $100,7 \pm 22,3$ cm et $103,2 \pm 6,5$ cm du sol et le nombre de marches pour y accéder varie de un à trois. La hauteur, à partir du sol, des marchepieds oscille autour de 50 cm. En moyenne, l'impact au sol lors de la descente atteint 3,6 fois la valeur du poids corporel du pompier lors de la descente « face à la rue ». Cette valeur est significativement moindre pour les descentes « dos à la rue ». Cette dernière méthode est perçue comme sécuritaire dans une des casernes, mais pas dans l'autre. La technique de descente « face à la rue » augmente l'amplitude des forces retransmises au corps lorsque le pied touche le sol alors que descendre « dos à la rue » permet un meilleur contrôle de la vitesse de descente. Outre la hauteur de chute libre et la technique de descente, les facteurs

qui ont influencé les valeurs d'impact au sol sont la présence ou non d'appuis pour les mains (poignées, mains courantes) et la possibilité pour les pompiers de les utiliser.

Manutention des outils et équipements

Trente-deux pompiers d'expérience (28 hommes et 4 femmes) répartis dans neuf casernes, participèrent à ce segment de l'étude. Ils devaient prendre sur le véhicule, puis déposer au sol, les 12 outils et équipements préalablement identifiés par le comité paritaire de suivi du projet. Plusieurs variables furent considérées dans cette étude, dont le poids de l'outil ou de l'équipement, la hauteur de rangement par rapport au sol et le type de compartiment dans lequel il était rangé. Après chaque manutention, chaque pompier évaluait, sur une échelle psychophysique, sa perception de l'effort et de la difficulté à manipuler l'outil ou l'équipement, et son sentiment de sécurité lorsqu'il faisait la manutention. La manutention était enregistrée par vidéo et le niveau de compression lombaire a été calculé avec le logiciel 3D « Static Strength Prediction Program » de l'Université du Michigan. Le poids des outils et équipements manipulés variait de 3,26 à 102 kg

En général, les outils et équipements les plus lourds et qui sont rangés sur le dessus du véhicule d'urgence (canon à eau, échelle de 35 pieds) se distinguent de tous les autres du point de vue de la perception de l'effort, de la maniabilité et du sentiment de sécurité lors de la manœuvre. L'analyse des forces de compression au niveau L5-S1 fut effectuée pour chaque outil ou équipement pour la situation jugée comme « la moins difficile » et pour celle jugée « la plus difficile » selon la perception de l'effort. La limite « acceptable » de 3400 N telle que définie par NIOSH fût dépassée en deux occasions (désincarcération, cales de vérin) parmi les manutentions jugées comme « moins difficiles » et fût également dépassée à deux reprises parmi les manutentions jugées « plus difficiles » (génératrice, canon à eau), dont une fois au delà de la « limite d'action » de 6400 N. Si le poids et la forme (via la prise qu'elle peut offrir) des outils peuvent influencer les valeurs de compression lombaire, les résultats suggèrent aussi que la localisation des outils dans les véhicules et le niveau d'encombrement des compartiments sont aussi des facteurs qui peuvent influencer la charge physique. Des outils moins lourds rangés dans des endroits difficiles d'accès ont généré des forces de compression lombaire supérieures à des outils plus lourds mais permettant un accès sans contrainte. L'aménagement des compartiments peut donc contraindre un pompier à adopter des postures qui ne sont pas favorables pour les manutentions.

Pour la descente des camions, les recommandations proposées incluent de réexaminer l'accès aux véhicules d'urgence à la lumière de la méthode dite « des trois points d'appui », méthode d'ailleurs préconisée dans la norme ULC S-515, et de favoriser la conception de cabine-équipe qui minimise le stress biomécanique aux membres inférieurs tout en facilitant la prise d'information visuelle par les pompiers. Les recommandations pour les manutentions sont plutôt sous la forme d'un rappel des principes généraux de manutention et d'une analyse comparative des avantages et inconvénients des différentes méthodes de rangement sur les véhicules d'urgence.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	PROBLÉMATIQUE	5
2.1	ÉTAT DES CONNAISSANCES	6
2.1.1	Sur le travail des pompiers	6
2.1.2	Sur les lombalgies	7
2.1.3	Le stress aux membres inférieurs lors d'un impact au sol.....	11
2.2	OBJECTIFS DU PROJET	12
3.	MÉTHODOLOGIE	15
3.1	COMITÉ DE PILOTAGE	15
3.2	SÉLECTION DES SITUATIONS À RISQUE	16
3.3	RECUEIL ET ANALYSE DES DONNÉES SUR LE TERRAIN	19
3.3.1	Accès aux véhicules	20
3.3.1.1	Dimensions des accès aux véhicules	20
3.3.1.1.1	Véhicules d'urgence	20
3.3.1.1.2	Dimensions linéaires.....	21
3.3.1.1.3	Traitement et analyse des données	23
3.3.1.2	Forces de réaction au sol	23
3.3.1.2.1	Sujets, matériel et conditions	23
3.3.1.2.2	Instrumentation	25
3.3.1.2.3	Déroulement général.....	26
3.3.1.2.4	Analyses vidéo.....	27
3.3.1.2.5	Perception de la sécurité	27
3.3.1.2.6	Analyses statistiques	28
3.3.2	Manutention des équipements.....	29
3.3.2.1	Déroulement général	29
3.3.2.2	Sujets	30
3.3.2.3	Test d'effort musculaire maximum	31
3.3.2.4	Évaluation psychophysique	31
3.3.2.5	Évaluation biomécanique	33
3.3.2.6	Entrevue semi-dirigée.....	34
3.3.2.7	Synthèse.....	35
4.	RÉSULTATS ET DISCUSSION	37
4.1	POINTS D'ACCÈS AUX VÉHICULES	37
4.1.1	Accès à la cabine de conduite.....	38
4.1.2	Accès à la cabine-équipe	38
4.1.3	Accès aux équipements mécaniques (nacelle, échelle)	39
4.1.4	Accès au dessus du véhicule, par l'arrière.....	39
4.1.5	Accès au dessus du véhicule, par les côtés	40
4.1.6	Accès aux unités d'urgence.....	40
4.1.7	Discussion sur les accès aux véhicules.....	40
4.2	STRESS BIOMÉCANIQUE LORS DE LA DESCENTE	42
4.2.1	Mesures à la caserne « A »	42

4.2.1.1	Impact au sol.....	42
4.2.1.2	Angles d'impact.....	43
4.2.1.3	Temps pour l'impact.....	43
4.2.1.4	Observations vidéo.....	44
4.2.1.5	Perception de la sécurité	45
4.2.2	Mesures à la caserne « B ».....	45
4.2.2.1	Force d'impact au sol.....	45
4.2.2.2	Angles d'impact.....	46
4.2.2.3	Temps pour l'impact.....	47
4.2.2.4	Perception de la sécurité	47
4.2.3	Discussion sur le stress biomécanique lors de la descente.....	47
4.3	MANUTENTION DES ÉQUIPEMENTS	51
4.3.1	Perceptions psychophysiques pour l'ensemble des outils et équipements.....	51
4.3.2	Synthèse par outil ou équipement	52
I -	Découpeuse à usage multiple (DUM)	54
II -	Génératrice	57
III -	Ventilateurs	61
IV -	Le système de désincarcération (compresseur, ciseaux, écarteurs, blocs de stabilisation)	65
V -	Échelles de 12 pieds, 24 pieds et 35 pieds et plus	71
VI -	Canon à eau	78
VII -	Cales de vérin	81
VIII -	Appareil de protection respiratoire autonome (ARA)	84
4.3.3	Tableau de synthèse.....	86
5.	CONCLUSION	89
6.	RECOMMANDATIONS	91
6.1	RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ACCÈS AUX VÉHICULES	91
6.2	RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA MANUTENTION ET LE RANGEMENT DES OUTILS ET ÉQUIPEMENTS	92
A)	PRINCIPES DE BASE POUR UNE BONNE MANUTENTION.....	92
B)	RANGEMENT ET MANUTENTION DES OUTILS ET ÉQUIPEMENTS.....	93
7.	RÉFÉRENCES	113

LISTE DES FIGURES DE L'ANNEXE

(Voir l'Annexe au Rapport de recherche)

	Pages
Figure 3.1 - Cheminement du projet.....	1
Figure 3.2 - Installation de la plate-forme de force dans la caserne « A ». On remarque le véhicule d'urgence monté sur des blocs afin de l'exhausser à la hauteur de la plate-forme de force. Celle-ci est située au niveau de la portière de la cabine de conduite (Condition « Conducteur »).....	2
Figure 3.3 - Descente de la cabine-équipe face à la rue (Condition « cabine-face ») à la caserne « A ».....	3
Figure 3.4 - Descente de la cabine-équipe dos à la rue (Condition « cabine-dos ») à la caserne « A ».....	3
Figure 3.5 - Descente de l'échelle de toit sans l'échelon escamotable (Condition « Toit-haut ») à la caserne « A ».....	4
Figure 3.6 - Descente de la cabine de conduite (Condition « Conducteur ») à la caserne « A ».....	4
Figure 3.7 - Installation de la plate-forme de force dans la caserne « B ».....	5
Figure 3.8 - Descente de la cabine de conduite du camion-pompe face à la rue (Condition « CCP-face ») à la caserne « B ».....	6
Figure 3.9 - Descente de la palette arrière du camion-pompe face à la rue (Condition « PCP-face ») à la caserne « B ».....	7
Figure 3.10 - Descente de la palette arrière du camion-pompe dos à la rue (Condition « PCP-dos ») à la caserne « B ».....	8
Figure 3.11 - Descente de la palette arrière du camion-citerne dos à la rue (Condition « PCC-dos ») à la caserne « B ».....	9
Figure 3.12 - Test d'effort musculaire maximum pour la flexion des épaules. En caserne, un assistant exerce une traction sur le dynamomètre vers le bas.	10
Figure 3.13 - Test d'effort musculaire maximum pour le dos. La longueur de la chaîne qui relie le dynamomètre au socle est ajustée selon la taille du sujet.	10
Figure 4.1 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 10.....	11
Figure 4.2 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 20.....	12
Figure 4.3 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 21.....	13
Figure 4.4 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 40.....	14
Figure 4.5 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 41.....	15
Figure 4.6 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 50.....	16
Figure 4.7 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 61.....	17
Figure 4.8 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 70.....	18
Figure 4.9 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 80.....	19
Figure 4.10 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 81.....	20
Figure 4.11 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 90.....	21
Figure 4.12 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 91.....	22
Figure 4.13 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 10.....	23
Figure 4.14 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 30.....	24
Figure 4.15 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 40.....	25
Figure 4.16 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 50.....	26
Figure 4.17 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 70.....	27
Figure 4.18 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 80.....	28
Figure 4.19 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 10.....	29

Figure 4.20 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 40	30
Figure 4.21 - Même que 4.20, avec l'échelle d'accès abaissée	31
Figure 4.22 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 70	32
Figure 4.23 - Dimensions de l'accès arrière au camion 20.....	33
Figure 4.24 - Dimensions de l'accès arrière au camion 21 (camion citerne)	34
Figure 4.25 - Dimensions de l'accès arrière au camion 30.....	35
Figure 4.26 - Dimensions de l'accès arrière au camion 50.....	36
Figure 4.27 - Dimensions de l'accès arrière au camion 61.....	37
Figure 4.28 - Dimensions de l'accès arrière au camion 60.....	38
Figure 4.29 - Dimensions de l'accès arrière au camion 70.....	39
Figure 4.30 - Dimensions de l'accès arrière au camion 81.....	40
Figure 4.31 - Dimensions de l'accès arrière au camion 90.....	41
Figure 4.32 - Dimensions des accès latéraux du camion 60.....	42
Figure 4.33 - Dimensions des accès latéraux du camion 70.....	43
Figure 4.34 - Dimensions des accès latéraux du camion 20.....	44
Figure 4.35 - Exemple d'accès au dessus du véhicule par le côté.....	45
Figure 4.36 - Dimensions des accès latéraux du camion 30.....	46
Figure 4.37 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 40	47
Figure 4.38 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 40	48
Figure 4.39 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 91	49
Figure 4.40a –Interprétation des diagrammes en boîtes (« Box Plot »).....	50
Figure 4.40b –Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) verticales associées à chacune des conditions de descente pour la caserne « A »	51
Figure 4.41 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) sagittales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « A ».....	52
Figure 4.42 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) frontales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « A ».....	53
Figure 4.43 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et médio-latérales (Fx) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ».....	54
Figure 4.44 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et antéro-postérieures (Fy) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ».....	55
Figure 4.45 – Valeurs médianes et dispersion des temps pour l'impact (ms) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ».....	56
Figure 4.46 – Valeurs médianes et dispersion des perceptions de la sécurité en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ».....	57
Figure 4.47 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) verticales associées à chacune des conditions de descente pour la caserne « B ».....	58
Figure 4.48 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) sagittales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « B ».....	54
Figure 4.49 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) frontales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « B ».....	60
Figure 4.50 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et médio-latérales (Fx) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ».....	61

Figure 4.51 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et antéro-postérieures (Fy) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B »	62
Figure 4.52 – Valeurs médianes et dispersion des temps pour l'impact (ms) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ».	63
Figure 4.53– Valeurs médianes et dispersion de la perception de la sécurité en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ».	64
Figure 4.54 - La perception psychophysique de l'effort lors de la manutention des outils.....	65
Figure 4.55 - La perception psychophysique de la manipulation lors de la manutention des outils.....	66
Figure 4.56 - La perception psychophysique de la sécurité lors de la manutention des outils	67
Figure 4.57 - DUM, scie à chaîne et génératrice sur un tiroir, dans un compartiment à ouverture horizontale.	68
Figure 4.58 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de la scie circulaire pour les différents camions.....	69
Figure 4.59 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de la scie circulaire, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort.	70
Figure 4-60 - Génératrice sur un tiroir, dans un compartiment à porte coulissante vers le haut.....	71
Figure 4.61 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de la génératrice pour les différents camions	72
Figure 4.62 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de la génératrice, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort.....	73
Figure 4.63 - Ventilateur transporté en vrac dans un compartiment à porte coulissante.....	74
Figure 4.64 - La perception psychophysique de la manipulation (a), à l'effort (b) et à la sécurité (c) associée à la manutention du ventilateur pour les différents camions.....	75
Figure 4.65 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du ventilateur, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile A selon la perception psychophysique de l'effort.	76
Figure 4.66 - Système de désincarcération sur un tiroir, dans un compartiment arrière muni de portes à charnières verticales. Le compresseur et les ciseaux sont sur la tablette, et l'écarteur est déposé au sol.	77
Figure 4.67 - Blocs de stabilisation, pour la désincarcération, transportés en vrac dans un compartiment à porte coulissante.	78
Figure 4.68 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention du compresseur pour les différents camions	79
Figure 4.69 - La perception psychophysique de la manipulation (a) et de l'effort (b) associée à la manutention des ciseaux pour les différents camions. La perception psychophysique du sentiment de sécurité n'est pas significatif.	80
Figure 4.70 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention des blocs de stabilisation pour les différents camions	81

Figure 4.71 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du compresseur, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort.	82
Figure 4.72 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des ciseaux, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort.	83
Figure 4.73 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des écarteurs, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	84
Figure 4.74 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des blocs de stabilisation, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	85
Figure 4.75 - Échelles de longueurs différentes transportées sur un support latéral fixe.....	86
Figure 4.76 - Échelles de longueurs différentes transportées sur un support latéral articulé.....	87
Figure 4.77 - Échelles de longueurs différentes transportées à l'horizontal, dans un compartiment latéral	88
Figure 4.78 - Échelles de longueurs différentes transportées à l'horizontale et à la verticale, dans un compartiment accessible par l'arrière	89
Figure 4.79 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'échelle de 12 pieds pour les différents camions	90
Figure 4.80 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'échelle de 24 pieds pour les différents camions	91
Figure 4.81 - La perception psychophysique de la sécurité (a) associée à la manutention de l'échelle de 35 et 45 pieds pour les différents camions. La perception de l'effort et de la manipulation ne sont pas significatifs.....	92
Figure 4.82 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 12 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	93
Figure 4.83 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 24 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	94
Figure 4.84 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 35 – 45 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	95
Figure 4.85 - Deux modèles différents de canons à eau montés sur le toit d'un véhicule d'urgence	96
Figure 4.86 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention du canon à eau pour les différents camions.....	97
Figure 4.87 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du canon à eau, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	98
Figure 4.88 - Cales pour les vérins hydrauliques rangées dans des glissières sous le véhicule (camion 92)	99
Figure 4.89 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention des cales de vérins pour les différents camions.....	100

Figure 4.90 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des cales de vérins, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort	101
Figure 4.91 - Rangement d'ARA dans un compartiment latéral doté d'une porte à charnière horizontale. À l'ouverture de la porte, un tapis se déroule pour protéger le côté du camion	102
Figure 4.92 - Autre exemple de transport d'ARA dans des compartiments latéraux à charnières horizontales.....	103
Figure 4.93 - Transport d'ARA à même le dossier de la banquette de la cabine-équipe	104
Figure 4.94 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'ARA pour les différents camions.....	105
Figure 4.95 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'ARA, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort.....	106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Caractéristiques des véhicules examinés	21
Tableau 3.2	Âge, poids (avec et sans leur équipement) et proportion du poids corporel représenté par l'équipement (PC) des sujets de la caserne "A"	24
Tableau 3.3	Âge, poids (avec et sans leur équipement) et proportion du poids corporel représenté par l'équipement (PC) des sujets de la caserne "B"	25
Tableau 3.4	Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation du sentiment de sécurité	28
Tableau 3.5	Caractéristiques des sujets ayant participé au protocole sur les manutentions.	30
Tableau 3.6	Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation du sentiment de sécurité	32
Tableau 3.7	Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation de l'effort.....	33
Tableau 3.8	Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation de la manipulation	34
Tableau 4.1a	Hauteur des différentes parties des véhicules d'urgence, en cm à partir du sol	37
Tableau 4.1b	Hauteur de la première marche des véhicules d'urgence, en cm à partir du sol	37
Tableau 4.2	Utilisation des mains lors des deux conditions de descente de la cabine-équipe à la caserne « A »	45
Tableau 4.3	Tableau comparatif des valeurs d'impact au sol obtenues par diverses études..	50
Tableau 4.4	Tableau synthèse des manutentions	87

1. INTRODUCTION

En 1994, l'APSAM déposait à l'IRSST un document de problématique concernant plusieurs aspects de la santé et de la sécurité du travail des pompiers. L'IRSST répondait à certains volets de cette problématique en produisant des projets ou des activités de recherche. On s'intéressa entre autres aux accidents dans ce secteur (Cloutier et Champoux, 1996) ainsi qu'au choix de matériaux appropriés pour la confection de gants de protection (Filteau et al., 1999) et à la résistance aux coupures des chaussures de protection (Lara et al., 2000). Cependant, plusieurs éléments du document de l'APSAM discutaient également de la conception des véhicules d'urgence en regard avec la pénibilité physique de certaines tâches.

En effet, le travail de pompiers en situation d'urgence exige des efforts physiques très importants. La majorité de ces efforts semble avoir des liens très serrés avec la nature des tâches qu'ils doivent accomplir lors de chaque intervention. À chaque appel, que ce soit pour secourir une victime ou parce que le feu fait rage, les pompiers doivent exécuter une série de manœuvres complexes pour accomplir leur mission. Lors des interventions directes sur les éléments enflammés, les pompiers sont souvent confrontés à des situations imprévisibles qui augmentent le niveau d'incertitude des actions à poser et par conséquent, influencent la charge physique.

Toutefois, malgré l'environnement ouvert que représentent toutes les situations d'intervention possibles, les premières manœuvres réalisées par les pompiers sont toujours en relation avec les véhicules d'urgences. Dans les tâches qui sont associées au début de l'intervention, on retrouve la montée et la descente du véhicule ainsi que la prise des outils nécessaires pour la recherche de victimes et la lutte au feu. Or ces manœuvres effectuées sur et autour des véhicules d'urgences devraient être réalisées dans un environnement prévisible et compatible avec la capacité physique des pompiers.

La base de cette étude repose donc sur la prémisse que la prévention des troubles musculo-squelettiques implique que certains éléments de la tâche des pompiers devraient se faire dans un environnement bien adapté aux utilisateurs. Or, le seul élément facilement adaptable et contrôlable est l'aménagement des véhicules d'urgences.

Cette étude propose donc un analyse des contraintes physiques associées aux aménagements de différents types de véhicules d'urgences utilisés au Québec. Les contraintes plus particulièrement visées sont la nature et l'amplitude de l'impact au sol sur les membres inférieurs lorsqu'on descend des véhicules, de même que les facteurs de lombalgie lors de la manutention d'outils et d'équipements transportés à divers endroits dans les véhicules d'urgence.

La première partie de ce document expose la problématique de la santé et de la sécurité du travail des pompiers au Québec au moyen de statistiques et de travaux de recherche de l'IRSST, en particulier sur les scénarios d'accident (Cloutier et Champoux, 1996). Elle présente également les éléments de la problématique scientifique concernant le travail physique et les lomalgies, ainsi que le stress biomécanique sur les membres inférieurs. Suite à cet exposé, les objectifs de l'étude se définissent ainsi : a) identifier les tâches ou les situations à risque sur et autour des véhicules d'urgence; b) faire l'analyse du travail et des astreintes biomécaniques des dites tâches et c), émettre des recommandations pour rendre ces tâches ou situations moins contraignantes.

Le chapitre suivant concerne la méthodologie mise en œuvre pour réaliser ces objectifs, en particulier le cheminement suivi pour déterminer, avec le milieu, les tâches et les outils qui devaient être inclus dans l'étude. Un comité de pilotage a été formé pour permettre le choix des situations à risque et aider au recrutement des casernes pour les mesures sur le terrain. Plusieurs étapes et analyses ont permis au comité de pilotage et à l'équipe de recherche d'identifier et de documenter les contraintes associées à la réalisation de certaines manœuvres en lien avec l'aménagement des véhicules d'urgences. Les méthodes de mesure de l'impact au sol lorsqu'un pompier descend du véhicule d'urgence, et celles utilisées pour faire l'évaluation psychophysique et biomécanique de la manutention des outils complètent cette section.

La présentation des résultats comprend trois sections, soit les points d'accès physiques aux véhicules, le stress biomécanique aux membres inférieurs lorsqu'on descend du véhicule et enfin, la manutention des outils et équipements jugés comme problématiques. Vu la quantité importante de données, nous avons choisi de discuter des éléments de résultats au fur et à mesure qu'ils apparaissent dans le texte. Ainsi, pour chaque outil manutentionné, on retrouvera un descriptif de l'outil, une mise en contexte de son utilisation établi à partir d'entrevues, suivi de l'évaluation psychophysique et biomécanique de sa manutention. La conclusion présente les liens entre la problématique, les objectifs et les résultats obtenus.

Le deuxième fascicule de ce rapport est en fait une annexe contenant les figures illustrant les résultats et les photos des nombreux véhicules, outils et équipements observés au cours de l'étude.

Portée et limite de l'étude

Ce rapport n'est pas une évaluation ou un rapport d'inspection des véhicules d'urgence dans les municipalités participantes, ni un regard critique sur la formation dispensée aux pompiers et pompières du Québec. Les auteurs n'étaient pas à la recherche d'un suspect, mais de données scientifiques pour expliquer la présence de facteurs de risque déjà connus. Il s'agissait plutôt de se rendre compte des caractéristiques du parc de véhicules d'urgence et d'équipements actuels, avec la limitation intrinsèque à toute démarche de terrain à savoir, celle de la représentativité de l'échantillon par rapport au reste de la province. Cette étude était centrée sur des tâches spécifiques (descendre du véhicule, sortir un outil, ...), tâches qui pouvaient être réalisées avec des marques et modèles d'outils différents, sur différentes technologies de rangement et sur des véhicules de type et d'âge différents.

Cette recherche s'inscrit donc dans le cadre d'une démarche exploratoire qui vise à recueillir des données sur les contraintes physiques et biomécaniques. Ultimement, la réduction ou l'élimination de ces contraintes relèvera de l'ergonomie de conception; non pas que les ergonomes veuillent se substituer aux concepteurs d'outils, d'équipements et de véhicules d'urgence, mais ils veulent plutôt leur rappeler que des êtres humains les utiliseront pour faire un travail exigeant et dont les paramètres peuvent devenir, pour cette catégorie de travailleurs et travailleuses, critiques. Il est à espérer qu'un cahier des charges contenant des paramètres ergonomiques influencera les concepteurs et les fabricants, sinon les acheteurs. Même si des recommandations sont proposées pour réduire ou éliminer ces contraintes, il s'agit plutôt de pistes de solution. Le détail des solutions techniques n'est donc pas abordé dans ce rapport, mais pourrait l'être dans des activités de valorisation de ce projet.

En ce qui concerne les résultats, il est important de garder en tête lors de leur lecture, qu'ils sont issus de données recueillies dans des conditions idéales, c'est-à-dire sans contrainte de temps ni rythme imposé, et avec toute l'aide nécessaire. Les mêmes gestes répétés avec les mêmes outils et équipements en situation d'urgence pourraient générer des valeurs plus élevées.

Rappelons enfin que nos observations couvrent la manutention que depuis la saisie de l'outil ou de l'équipement sur le véhicule jusqu'à sa dépose au sol. L'utilisation de l'outil ne fait pas partie de cette étude.

2. PROBLÉMATIQUE

Les statistiques d'accidents du travail de 1989, telles que rapportées par l'Association pour la santé et la sécurité du travail - secteur Affaires municipales (APSAM, 1994) font état de la situation suivante pour les pompiers au Québec :

- Type de lésion : les foulures¹ et les entorses, qui représentent 37,3 % des lésions, viennent au premier rang des fréquences;
- Type d'accident : les réactions du corps et les efforts excessifs viennent en tête de liste avec respectivement 20,9 % et 13,7 % des cas;
- Partie du corps affectée : le dos est la cible principale des lésions dans 20,9 % des cas; les pieds et les chevilles viennent ensuite avec 16,7%;
- Agent causal : les mouvements du corps sont impliqués dans 21,1 % des cas et sont en tête de liste; les surfaces de travail et les véhicules suivent avec, respectivement, 18,6 % et 7,4 %.

L'APSAM a complété ces statistiques par ses propres relevés (APSAM, 1994) dans deux services d'incendie du Québec pour les années 1992 et 1993. La somme des foulures, entorses et luxations représente 62 % de tous les accidents indemnisés dans ces deux services, le dos étant impliqué dans 24 % des cas, les membres supérieurs dans 22 % et les membres inférieurs dans 13 %. Pour ces mêmes années, la nature de l'accident à l'origine des lésions est le plus souvent une chute (32 % des cas) mais la manutention et le soulèvement de charges lourdes viennent au second rang dans 24 % des cas rapportés. À titre de comparaison, les brûlures ne représentent que 5,5 % des accidents et les cas d'inhalation de fumée, 1,5 %.

D'autre part, les véhicules de lutte aux incendies, principalement les autos-pompes et les camions-échelles, sont présents lors de la plupart des interventions (SIL, 1993). À titre indicatif, il y a eu 20,612 appels (59,303 sorties de véhicules) pour la seule ville de Montréal en 1993 (SPIM, 1993). Ces véhicules servent au transport vers les lieux du sinistre, de rangement pour les équipements de protection individuelle et les équipements de lutte au feu, ainsi que de source motrice pour pomper l'eau et accéder aux toitures ou aux étages supérieures d'un édifice. À la caserne, ils sont entretenus, nettoyés et rééquipés.

L'examen par les auteurs, dans le cadre de la préparation de ce projet, de 518 formulaires de réclamation (six premiers mois de 1992) d'un service d'incendie du Québec a permis de réaliser que les véhicules étaient impliqués soit directement (se heurter contre, tomber de) ou soit indirectement (accès aux équipements, entretien) dans 19,5 % des accidents compensés, soit pratiquement un accident sur cinq. Les foulures et entorses lors de l'accès aux véhicules représentent 13 % de cette fraction lors de la montée, et 37 % lors de la descente du véhicule. La compilation de ces statistiques d'accident sous forme de scénarios (Cloutier *et al.*, 1996) confirme ces observations et permet de préciser que 13,1 % de tous les cas d'accidents dans une grande et une moyenne municipalité du Québec se produisent à la caserne, dans le garage ou sur

¹ Une foulure est une légère entorse, tel que défini par le Petit Robert, 1993.

le véhicule. D'autres lésions musculo-squelettiques se produisent lorsqu'on doit aller chercher ou rapporter des outils ou des pièces d'équipement sur le véhicule ou dans un de ses nombreux compartiments. L'examen de la situation montre donc que les accidents musculo-squelettiques représentent une part importante des lésions accidentelles chez les pompiers.

2.1 État des connaissances

Ce projet recoupe des connaissances sur le travail des pompiers, sur les lombalgies ainsi que sur les problèmes musculo-squelettiques aux membres inférieurs lors d'un impact au sol.

2.1.1 Sur le travail des pompiers

Une revue de la littérature (Giguère, 1996) a dégagé plus de 1000 titres d'articles issus de périodiques scientifiques et généraux concernant la rubrique générale "santé et sécurité des pompiers". Un nombre important de titres traite de la toxicité, lors de la combustion, de produits chimiques; ceux-ci ont été écartés de la revue. Les titres les plus pertinents (290) ont été conservés et classés selon trois catégories, soit les contraintes et astreintes physiques et physiologiques du travail de pompier, les risques d'accidents et à la santé et enfin, les outils et équipements.

En ce qui concerne les contraintes et les astreintes physiques et physiologiques, (Faff *et al.*, 1989; Smith *et al.*, 1995) par exemple, à la lecture des résumés d'articles, on s'entend pour dire que le travail de pompier est exigeant du point de vue cardio-vasculaire, car il demande des pics de performance en ambiance thermique chaude tout en portant un équipement de protection thermique et respiratoire. Plusieurs articles vont d'ailleurs dans le sens de programmes de conservation de la forme physique de cette catégorie de travailleurs (Fire Administration, 1981). Ces périodes d'activités intenses entrecoupent des périodes d'attente des alarmes qui peuvent devenir une source de stress. Signalons une étude médicale réalisée sur les pompiers de Paris (Genin, 1986) et qui signale que les lésions les plus fréquentes sont les entorses (38 % de tous les accidents rapportés), surtout aux membres inférieurs, qui se produisent dans 59 % des cas lors de l'entraînement et 23 % des cas pendant les interventions; les différences entre les organisations européennes et québécoises ne nous permettent pas d'établir d'équivalence, mais la donnée demeure selon nous intéressante. Enfin, malgré une étude conduite en Belgique (Wendelen, 1994), il faut noter une sous-représentation des recherches sur les aspects culturels de cette profession de même que sur les composantes cognitives (traitement d'information, prises de décision...) du travail de pompier.

La santé des pompiers est officiellement couverte par le réseau de santé du Québec, par l'intermédiaire des unités de santé au travail des centres régionaux de santé publique et des services sociaux (ex - DSC). La protection et le suivi contre les risques chimiques et la conservation d'une forme physique adéquate se retrouvent habituellement au sein des programmes de prévention proposés, et l'approche demeure cardio-vasculaire et orientée vers la bonne forme physique (Bergeron *et al.*, 1982; Tremblay, 1995). Le programme de prévention des pompiers du New Jersey va dans le même sens (Schirmer, 1982).

À la lecture des résumés d'articles traitant des risques à la santé des pompiers, on constate un intérêt des milieux de recherche pour les effets du travail de pompier sur le système respiratoire et cardio-vasculaire. Les études épidémiologiques tentent de relier le travail de pompier à l'apparition de certains types de cancer, mais les résultats varient selon la population à l'étude (géographie) ou le groupe contrôle (Guidotti *et al.*, 1992). En ce qui concerne les statistiques, les études de cas et l'analyse de risques, les résumés ne permettent pas d'avoir une idée de la réalité qui permettrait d'intervenir de façon directe au niveau de la prévention.

Finalement, en ce qui concerne les équipements, les performances des vêtements de protection sont tributaires des développements dans le domaine des textiles spécialisés; peu d'études ont traité, jusqu'à maintenant, du confort et de l'utilisabilité de ces vêtements et aucune n'a été repérée qui traite des problèmes spécifiques au Québec. NIOSH et ASTM (de même que l'ACNOR) encadrent de nombreuses normes pour ces vêtements et équipements, ainsi que pour les véhicules d'urgence (BNQ, 1979; BNQ, 1994; NFPA, 1991; ULC, 1996). Le gros des études sur les gants, les bottes et les casques semble avoir été fait vers 1975. Malgré une abondance relative d'études, des développements récents et significatifs, surtout pour les conditions d'utilisation particulières au Québec, sont absents.

La recherche scientifique et technique sur les pompiers s'est donc principalement penchée sur les risques à la santé (pulmonaire, cardio-vasculaire) et sur la protection contre l'environnement de travail. Deux études seulement se sont intéressées de plus près aux problèmes musculo-squelettiques chez cette profession, soit celle de Nuwayhid (Nuwayhid *et al.*, 1993), qui est en fait une étude épidémiologique sur les lombalgies chez les pompiers de la ville de New York, et une série d'articles de Lusa et al (Lusa, 1994; Lusa *et al.*, 1991) qui s'intéresse aux contraintes biomécaniques; on reviendra sur ces articles plus loin dans cette section.

2.1.2 Sur les lombalgies

L'étude de 1041 accidents chez les pompiers de deux municipalités du Québec (Cloutier *et al.*, 1996) identifie trois scénarios où des lésions se produisent au dos. Dans le premier scénario, qui rassemble 12,4 % de tous les accidents étudiés, les lésions au dos représentent 41,9 % des accidents et sont associés à l'effort dans 41,4 % des cas. L'accident se produit « lors du transport ou de l'installation d'un équipement ou d'un ÉPI » dans 37,2 % des cas, et pendant la phase d'extinction du feu dans 22,5 % des cas. Les lésions qui en résultent sont des entorses au dos. Ensuite, l'examen plus détaillé d'accidents survenus spécifiquement lors de la lutte au feu (487 des 1041 accidents) identifie aussi un scénario, regroupant 11,7 % des cas de ce sous-ensemble, et dans lequel le dos est la cible près d'une fois sur deux. Dans ce scénario-ci, la cause identifiée est « un effort excessif et une réaction à un mouvement volontaire avec une charge ». Il y a deux tâches à risque associées à ce scénario : d'abord (24,6 % des cas), « ...soulever, supporter, tirer ou déplacer une charge, lors du transport ou de l'installation d'un équipement de véhicule, pour l'alimenter en eau, pour démêler les tuyaux, pour changer ou endosser les bonbonnes de l'appareil de respiration individuel autonome (APRIA) » et ensuite, (19,3 % des cas), le « travail lourd » impliquant, par exemple, la démolition et le déblai. En troisième lieu, si on ne retient que des accidents s'étant produits lorsque les pompiers ne sont pas sur une intervention mais en service à la caserne (230 des 1041 accidents), on obtient aussi un scénario d'accident (19 % de ce sous-ensemble) où le dos est la cible, cette fois-ci, dans 55,8 % des cas. Les accidents dans ce scénario se produisent « en réaction avec un mouvement volontaire, ou à un effort excessif lié à

la manutention d'une charge, à l'occasion de l'entretien ou de la réparation d'un véhicule ou d'un équipement (neuf cas sur dix). ».

Au delà des statistiques sur les accidents de travail (APSAM, 1994), l'étude de Cloutier et Champoux met bien en évidence le fait que le dos est souvent la cible de lésions lorsqu'il y a présence d'efforts et des manutentions d'outils et d'équipements dans des tâches réalisées par les pompiers. Cette étude a aussi l'avantage d'identifier plusieurs de ces tâches.

L'étude épidémiologique conduite sur les pompiers de New-York (Nuwayhid *et al.*, 1993), identifie également certaines composantes du travail des pompiers comme étant « à risque » pour le dos. La probabilité d'une première occurrence de lombalgie y est associée au contrôle d'un boyau sous pression dans un édifice, à monter dans une échelle, défoncer une fenêtre, découper une structure, rechercher un foyer d'incendie caché et à lever des objets dont le poids est supérieur à 18 kg. Également, dans une étude finlandaise (Lusa, 1994), on constate que les risques de lésions musculo-squelettiques dans le travail de pompier et de sauvetage sont associés à l'utilisation d'outils et équipements lourds, à l'espace restreint pour entrer ou circuler dans un édifice ainsi qu'au travail à la chaleur.

La lombalgie de nature professionnelle est une manifestation courante chez les travailleurs et les travailleuses qui exercent des tâches manuelles (Frymoyer *et al.*, 1983; Spitzer, 1987). La majeure partie des stress mécaniques qu'absorbent le rachis lombaire et les muscles du tronc proviennent des mouvements symétriques de flexion-extension sagittales et plus particulièrement des mouvements asymétriques de flexion-extension latérales et de torsion (Andersson *et al.*, 1977). L'autre source de contraintes mécaniques auxquelles sont soumises les articulations lombaires et plus particulièrement, celles des membres inférieurs, est produite par la force d'impact résultant du contact du pied avec le sol (Nigg, 1985; Nigg *et al.*, 1987; Nigg *et al.*, 1981).

Toutefois la manutention d'objets très lourds et/ou avec l'utilisation des postures contraignantes (tronc penché, charges éloignées du corps au moment de la saisie, prises asymétriques, etc.) ont pour effet d'entraîner des forces de tension, de compression, de torsion et de cisaillement importantes exercées sur les différentes structures qui composent la colonne vertébrale. Or, c'est principalement de la tension créée par les muscles extenseurs du tronc dont dépend l'amplitude des forces de compression exercées sur les disques intervertébraux. À son tour, les tensions par les muscles sont directement proportionnelles aux moments de force (débalancement) qui sont exercés à la base du rachis lombaire. En 1981, le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 1981) recommandait que les forces de compression au niveau de l'articulation L5-S1 (cinquième vertèbre lombaire et première sacrée) ne devraient jamais excéder 6400 N. Cette valeur exprimait la limite maximale permise. C'est-à-dire que toute manutention entraînant une force supérieure était alors considérée comme néfaste pour le travailleur. À l'autre extrémité, NIOSH proposait que les situations entraînant des forces de compression inférieures à 3400 N soit situées dans une limite d'action acceptable. Entre ces deux valeurs (3400 N et 6400 N) réside une zone grise qui peut devenir potentiellement problématique pour certains travailleurs (Waters *et al.*, 1993).

Pour avoir une limite sécuritaire, il faut aussi tenir compte de l'âge, de la présence des mouvements en torsion et du nombre de répétitions. Au niveau de l'âge, il existe une relation entre la diminution de la résistance des disques intervertébraux aux forces de compression et l'augmentation de l'âge des individus (Genaidy *et al.*, 1993). Pour la torsion, les études sur des cadavres ont permis de démontrer que la torsion entre les vertèbres lombaires réduisait la résistance des disques intervertébraux aux forces appliquées en compression (Schultz *et al.*, 1987). Il existe certains indices qui permettent de vérifier l'effet cumulatif des forces de compression exercées sur le rachis suite à l'application prolongée de ces forces. Un de ces indices réside dans la taille de l'individu, mesurée en position assise ou debout, avant et après la mise en charge des articulations. À cet effet, plusieurs études laissent voir qu'il existe une relation entre la perte en stature et l'amplitude des forces de compression exercées sur le rachis lombaire (Corlett *et al.*, 1987; Leatt *et al.*, 1986).

L'influence des contraintes mécaniques démontre à quel point il devient important d'identifier les situations qui engendrent des forces dont l'amplitude et la durée prédisposent le rachis à des blessures. À ce sujet, certaines études ont démontré que les tracés d'ÉMG rectifiés et filtrés étaient significativement corrélés avec les forces de compression à L5/S1 calculées à partir d'un modèle biomécanique dynamique (Freivalds *et al.*, 1984) ou encore celles mesurées directement dans les disques intervertébraux par une jauge de pression (Andersson *et al.*, 1977; Schultz *et al.*, 1987). Une de ces études a démontré que les forces exercées sur les disques lombaires étaient très différentes pour les postures asymétriques (flexion latérale et/ou torsion) malgré le fait que les moments de force variaient très peu par rapport aux conditions symétriques (Andersson *et al.*, 1977). Généralement les mouvements asymétriques du tronc entraînaient des forces de compression plus élevées sur les disques intervertébraux. Ces forces étaient en relation avec l'augmentation de la demande des muscles controlatéraux à l'asymétrie du mouvement. Ces résultats démontrent bien que les caractéristiques du mouvement sont aussi importantes que le poids de la charge manipulée pour expliquer le niveau d'activation et l'implication de certains muscles.

Un autre facteur souvent négligé par les ergonomes sont les ajustements posturaux anticipés lors d'activité de manutention. Belenkii (Belenkii *et al.*, 1967) ont été les premiers à mesurer l'existence d'activités posturales précédant et accompagnant un mouvement volontaire et rapide d'élévation des membres supérieurs. Ils ont remarqué que l'activité des muscles responsables de stabiliser la posture débutait de 40 à 60 ms avant le début du mouvement (i.e. activité du muscle responsable de la flexion de l'épaule). Le rôle de ces ajustements posturaux anticipés est de minimiser la perturbation de l'équilibre du corps lié aux mouvements intentionnels (Bouisset *et al.*, 1987). Toutefois dans les activités de travail, bien que les mouvements soient intentionnels et bien planifiés, il arrive que les conditions de travail soient parfois difficiles à prévoir (outil de travail qui demeure coincé dans son socle au moment de la saisie, mauvaise synchronisation des actions de deux manutentionnaires sur la même charge, plancher glissant, etc.). Ces situations deviennent donc une source de blessures à cause de l'instabilité qu'elles occasionnent et plus particulièrement des coûts associés au rééquilibrage de la posture. Pour le tronc, la stabilisation lors de conditions susceptibles d'occasionner des déséquilibres posturaux se fait généralement par la contraction de muscles agonistes et antagonistes. Une étude menée par Callaghan et McGill (Callaghan *et al.*, 1995) laisse voir que le contrôle moteur des muscles du tronc (abdominaux et dorsaux) n'est pas organisé pour permettre la réduction des forces exercées sur le rachis lombaire. Toutefois, cette cocontraction des muscles du tronc aurait pour effet

d'augmenter la rigidité de la colonne vertébrale et ainsi de prévenir le « buckling » (Crisco III *et al.*, 1992). Ces résultats démontrent que les situations susceptibles de causer de l'incertitude causent une suractivation des muscles axiaux responsables du contrôle de la posture. Cette situation entraîne une augmentation de la dépense énergétique lorsque le niveau d'activation des muscles axiaux (utilisés pour stabiliser la posture) excède la demande réelle requise par la tâche (Marchand *et al.*, 1997, Patenaude *et al.* 1998).

Dans une des rares études biomécaniques réalisée sur le travail des pompiers, Lusa (Lusa *et al.*, 1991) a simulé une tâche de manutention d'une scie à découper pesant 9 kg. Treize volontaires, tous pompiers, devaient prendre l'outil par terre et le soulever jusqu'à une hauteur de 211 cm. Les chercheurs ont observé quatre méthodes de levage différentes chez les 13 sujets, sans différence notable de performance entre les groupes d'âge et les méthodes utilisées. La compression dynamique au niveau de L5-S1 était cependant de 5998 N plus ou moins 1029 N chez les sujets âgés, et de 6392 N plus ou moins 1916 N chez les plus jeunes. Les valeurs statiques variaient respectivement de 1979 à 3599 pour le groupe « âgé » et de 2110 à 3835 pour les « jeunes ». Notons ici que les valeurs statiques maximales enregistrées par Lusa dépassent, quoique de peu, le seuil de la « limite d'action » de NIOSH

La manutention de certains outils ou équipements, de même que certains éléments de la conception des véhicules, notamment les accès, peuvent être soupçonnés d'être des facteurs contributifs des lésions musculo-squelettiques chez les pompiers, en particulier les lombalgies. Par exemple, lors de la manutention, la masse de l'outil ou de l'équipement, le mode opératoire, les paramètres d'utilisation ainsi que d'autres facteurs peuvent contribuer à l'apparition des lésions. Parmi ces autres facteurs, mentionnons possiblement l'âge de l'individu, le port d'un vêtement de protection et l'utilisation d'un appareil de protection respiratoire individuel autonome (ARA). Quelques outils ou équipements ont déjà été identifiés au Québec dans le cadre d'entrevues préparatoires à ce projet. La manipulation des gaffes, des boyaux, des échelles à béquilles et de la scie circulaire utilisée pour découper des ouvertures d'aération dans les toits ont été cités par les pompiers rencontrés. Cette liste est préliminaire et non exhaustive. Tous les objets cités sont lourds et certaines circonstances peuvent amener les pompiers à les utiliser dans une posture qui n'est pas toujours optimale.

Ainsi, l'usage de la force, combiné à la manipulation des équipements et des outils utilisés en relation avec le travail, sont soupçonnés être des facteurs contributifs importants, ou sont associés à une première occurrence de lombalgie. La littérature scientifique a abondamment documenté l'effet de l'utilisation de l'ARA et des vêtements de protection sur la réponse cardiovasculaire, en présence ou non de chaleur. S'il y a eu quelques études sur des aspects biomécaniques de la manutention chez les pompiers, aucune étude ne s'est penchée sur les contraintes biomécaniques liées au travail véritable des pompiers (ex. dresser une échelle de 35 kg, tirer un boyau de 40 kg ou transporter une scie à découper dans une échelle) dans le contexte québécois, ni de leur répercussion sur le système musculo-squelettique. Des améliorations aux situations de travail ou des modifications aux véhicules, outils, équipements ou procédés sont par le fait même difficiles à entreprendre.

2.1.3 Le stress aux membres inférieurs lors d'un impact au sol

Rappelons d'abord que les services de lutte aux incendies répondent typiquement à 20 612 appels par année pour une ville d'un million d'habitants, ce qui représente 59 303 sorties de véhicules, et autant de fois qu'une équipe de trois à cinq pompiers doit monter et descendre d'un véhicule. Les pompiers portent déjà leur tenue de lutte au feu lorsqu'ils sortent du camion, une fois sur les lieux du sinistre ou de l'accident.

L'étude de Cloutier et Champoux, citée précédemment, s'est également penchée sur les accidents qui se produisent lorsque les pompiers quittent la caserne avec leurs véhicules en réponse à un appel, et y reviennent. Ceux-ci représentent 13 % des 1041 accidents et se produisent en montant ou en descendant du véhicule dans 52 % des cas, « parfois dans le garage, mais surtout sur les lieux de l'intervention ». Les lésions typiquement associées à ces accidents sont des entorses, des déchirements et de la douleur qui se manifestent au niveau de la cheville (22 %), du genou (17 %) et du dos (14 %).

Nous avons examiné de plus près un sous-ensemble de l'échantillon de cette étude, soit 517 rapports d'accident survenus au cours des six premiers mois de 1992. Il en ressort que 19,5 % des accidents impliquent un véhicule soit directement (ex. blessure à l'œil lors de l'entretien) ou indirectement (ex. chute en descendant du véhicule). De ces accidents liés aux véhicules, 13 % se produisent en montant dans le véhicule et 37 %, en descendant du véhicule. La descente du véhicule peut se faire soit « face à la rue », ou « dos à la rue » en utilisant la méthode dite des « trois points d'appui » (Hemmings, 1974).

Le stress sur les membres inférieurs a largement été étudié dans le cadre d'activités sportives (Peterson et al., 1986), mais relativement peu dans le cadre d'activités de travail. La force de l'impact lorsque le pied touche le sol au cours de la marche peut être une fois et demi le poids du corps, pour atteindre de trois à cinq fois le poids du corps lors de la course (Nigg et al., 1981; Nordin et al., 2001). Des forces d'impact atteignant 8,3 fois le poids du corps ont été enregistrées lors de sauts en longueur (Nigg et al., 1985). Même si les forces d'impact se dissipent lorsqu'elles se propagent le long du système osseux et des articulations du corps humain, celles-ci peuvent atteindre des valeurs élevées si les articulations de la jambe sont ouvertes ou fermées à leur limite. Plusieurs facteurs peuvent influencer la force d'impact au sol, dont la vitesse du pied lors de la descente, l'angle sagittal et frontal du pied par rapport à la surface de réception, l'absorption de l'énergie de l'impact par le système musculo-squelettique, la nature et le pattern de la semelle de la chaussure ainsi que la dureté et la qualité de la surface de réception (Nigg 1987).

Dans le secteur des transports, Patenaude et al. (1999) a étudié les forces d'impact au sol sur des camionneurs (n=10) alors qu'ils descendaient de deux modèles différents de cabine de conduite de poids lourds. Les valeurs mesurées furent de 1,36 à 2,16 fois le poids corporel des sujets. La distance entre le sol et la première marche pour ces deux véhicules était respectivement de 41,5 cm et 53,5 cm. Contrairement aux pompiers, les camionneurs ne portaient pas de vêtements et d'équipements de protection qui auraient eu pour effet d'augmenter leur masse. Les résultats ont démontré que l'utilisation d'une technique de descente « face à la rue » entraînait les forces d'impact les plus élevées. La conception de la cabine influençait l'amplitude de forces mesurées, en particulier lorsque les poignées ou les mains courantes ne permettaient pas d'être tenues

jusqu'à la pose du pied au sol. Les forces les plus basses ont été obtenues en combinant la méthode de descente « face au camion » avec l'utilisation d'une main courante adéquate.

Également dans le secteur des transports, la compagnie d'assurance américaine Liberty Mutual (Fathallah et Cotnam, 2000)² a mesuré les forces d'impact au sol lorsque les chauffeurs ou les livreurs descendent de leur camion. L'impact au sol de sujets (n=10) fut mesuré alors qu'ils descendaient de différents endroits situés sur des véhicules lourds : cabine de conduite de camion-tracteur conventionnel et à cabine avancée surbaissée (« *Cab over engine* ») et fourgons de livraison (« *step-van* »), en utilisant ou non les marches et les mains courantes disponibles. Les distances de chute libre (hauteur) variaient de 1,25 m (plancher de la cabine d'un camion tracteur) à 36 cm (marche la plus près du sol d'une fourgonnette). Dans les situations de descente libre (sans appui pour les mains) d'environ un mètre, l'impact au sol équivalait entre 6,4 et 7,1 fois le poids corporel du sujet; le maximum pour cette étude a été enregistré pour cette condition et correspondait à 12 fois le poids corporel du sujet (11 000 N)! Pour des hauteurs moindres et une descente avec possibilité de se maintenir, les valeurs d'impact au sol ont diminué jusqu'à 1,9 fois le poids corporel du sujet. Or, selon les travaux réalisés sur des cadavres par Yoganandan et ses collègues (1997), les fractures aux chevilles peuvent survenir lors de force d'impact excédant le 10200 N; de plus, Klopp et al. (1997), a calculé une probabilité d'une fracture du côté plantaire de la cheville lors d'un impact de 9 300 N. Or, les véhicules d'urgence utilisés par les pompiers sont tous construits sur des châssis de même gabarit que ceux des études de Patenaude et de Liberty Mutual.

Il est possible que la distance entre le sol et la première marche, ou le marchepied, d'un véhicule d'urgence, la nature et la qualité du sol, le poids supplémentaire occasionné par le port de la tenue de lutte au feu, la fréquence des sorties de véhicules et la méthode utilisée pour descendre soient tous des facteurs contributifs au taux élevé de blessures aux membres inférieurs. L'objectif de cette étude est de mesurer l'amplitude des forces d'impact au sol et du stress bio-mécanique subis par les pompiers alors qu'ils descendent de différents endroits d'un véhicule d'urgence. La perception de sécurité associée aux différentes méthode de descente sera également mesurée.

L'accès (monter, descendre, prendre ou rapporter des outils ou équipements) aux véhicules et à ses nombreux compartiments pose un problème, en particulier descendre de la cabine. La dénivellation est importante (marche : 45 cm; garde au sol du véhicule : 54 cm) et les pompiers descendent dans plusieurs cas en portant leur tenue de lutte au feu et leur équipement de protection respiratoire, ce qui peut causer une augmentation de poids jusqu'à 15 kg et un déplacement du centre de gravité.

2.2 Objectifs du projet

L'objectif opérationnel du projet consiste donc a) - à identifier les tâches ou situations à risque sur et autour des véhicules d'urgence, b) - à faire l'analyse du travail et des contraintes biomécaniques des dites tâches ou situations et enfin, c) - d'émettre des recommandations concernant la modification des tâches ou situations pour que ces dernières deviennent moins

² Il faut prendre note que cette étude a été publiée après les mesures sur le terrain de cette étude-ci. Les résultats de l'étude de Liberty Mutual sont ajoutés à la version finale de ce rapport à titre d'information.

contraignantes pour le système musculo-squelettique, sans toutefois nuire à la finalité de la tâche pour les pompiers.

Une hypothèse sera vérifiée d'emblée, car la situation ressort de façon claire dans les statistiques et les entrevues déjà réalisées : c'est la descente du véhicule d'urgence. D'une façon plus précise, nous formulons l'hypothèse que la hauteur de la marche ou du palier, combinée au poids supplémentaire occasionné par le port des vêtements de protection et l'APRIA, génèrent des forces importantes au niveau de l'articulation des chevilles et des genoux.

3. MÉTHODOLOGIE

La présente section décrit les différentes méthodes utilisées pour atteindre les objectifs de recherche du devis. La figure 3.1 présente le cheminement du projet sous forme graphique.

3.1 Comité de pilotage

Les activités de recherche se sont déroulées en collaboration avec les principaux groupes concernés du milieu de la lutte aux incendies du Québec. L'Association paritaire pour la santé et sécurité du travail du secteur des Affaires municipales (APSAM), le demandeur de cette étude, entretient des relations suivies avec les principaux acteurs et intervenants du monde municipal, dont les services de lutte aux incendies. Un des lieux d'échanges utilisés par l'APSAM est le « Groupe de relation avec les pompiers », un comité qui réunit employeurs, employés ainsi que des représentants du milieu de la recherche concernés par un problème de santé et de sécurité du travail. C'est à ce « Groupe de relation avec les pompiers » que l'équipe de recherche présenta, en janvier 1998, les grandes lignes et les objectifs de cette étude et demanda la participation de services d'incendie pour réaliser la phase terrain de l'étude.

Le comité de pilotage de l'étude fut formé en mars 1998 et se compose d'un représentant des organismes suivants :

- Service de prévention des incendies de Montréal (SPIM)
- Association des pompiers de Montréal (APM)
- Service de prévention des incendies de Ville St-Laurent
- Syndicat des pompiers du Québec (SPQ)
- Service de prévention des incendies de la Ville de Québec
- Association des pompiers professionnels de Québec (APPQ)
- Association québécoise des pompiers volontaires et permanents (AQPVP)
- Membres de l'équipe de recherche
- et d'un conseiller de l'APSAM

Un représentant de l'Institut de protection contre les incendies du Québec (IPIQ) a également été invité à se joindre au comité.

Les buts et objectifs de l'étude, ainsi que les moyens nécessaires pour y arriver, furent présentés aux membres de ce comité de pilotage. Le mandat du comité fut établi comme suit :

- Conseiller l'équipe de recherche sur les choix des situations à risque;
- Aider au recrutement des casernes et des volontaires pour les mesures sur le terrain;
- Assurer une validation en continu des travaux de recherche.

3.2 Sélection des situations à risque

Vu le grand nombre d'outils et d'équipements transportés dans les véhicules d'urgence, et vu également le grand nombre de types, de marques et de modèles de ces véhicules d'urgence, il était impensable d'étudier en détail toutes les combinaisons de véhicules et d'équipements. Nous avons donc procédé, de concert avec le comité de pilotage, à une sélection des situations considérées comme « à risque » lors de la manutention et pour les accès. Ces situations pouvaient être des manœuvres (monter, ouvrir,...) ou la manutention d'un outil ou d'un équipement.

A priori, les outils et équipements lourds, ou les outils et équipements considérés comme non lourds mais qui doivent être manipulés avec une flexion ou une torsion du dos prononcées, ou toute manœuvre qui impose une charge importante au système musculo-squelettique, était considéré comme « à risque ».

Une liste préliminaire de manœuvres, d'outils et d'équipements est d'abord établie à partir de deux sources, soit la liste d'outils et d'équipements proposée dans l'Annexe B « *List of typical equipment carried on apparatus* » de la norme ULC S-515-M88 - « *Standard for automobile fire fighting apparatus* » d'une part, et d'autre part, une liste de manœuvres, d'outils et d'équipements observés lors de visites préparatoires sur le terrain. Certaines de ces visites ont été faites lors de la préparation de la demande de fonds à l'IRSST et d'autres, spécifiquement pour compléter l'information dans le cadre de cette étude. La liste préliminaire comprend 56 manœuvres, outils ou pièces d'équipement regroupés selon les catégories « Alimentation » (boyaux, raccords, canon, ...), « Infraction et déblais » (hache, scie circulaire, gaffe, ...) et une catégorie « Divers » (extincteurs, échelles, cales de roue, ...).

Cette liste préliminaire est ensuite utilisée pour confectionner une grille dans laquelle chacun des éléments de la liste est confronté à différentes caractéristiques et paramètres pouvant influencer sa manutention. En effet, le fait qu'un outil ou équipement soit rangé dans un véhicule de lutte aux incendies n'est pas le seul critère pour qu'il soit considéré comme « à risque ». Il faut de plus tenir compte de ses caractéristiques propres et de plusieurs paramètres reliés à sa manutention. La grille se présente sous forme de tableau à deux entrées (rangée, colonne) dans lequel l'utilisateur de la grille coche la caractéristique ou le paramètre correspondant pour chaque élément de la liste.

Les **caractéristiques** se rapportent à l'outil observé et sont :

Poids : Le poids de l'outil, en kilogramme;

Géométrie : La forme générale de l'outil, soit cylindrique, cubique, allongée ou autres.

Rigidité : La résistance à la déformation (rigidité) de l'outils. L'objet peut être rigide (aucune torsion possible), semi-rigide (torsion possible si on force) ou enfin, sans corps (l'objet est flasque).

Poignée : Les prises manuelles disponibles sur l'outil, par exemple, des poignées que l'on peut saisir avec ou sans gants. Les prises peuvent être fixes, amovibles et/ou ajustables ou il peut y en avoir aucune.

Degrés de liberté : Restriction à la liberté d'utilisation de l'outil. L'outil est soit complètement autonome (ex. : hache), relié au véhicule (ex. : lance) ou relié à un objet intermédiaire pouvant être déplacé (ex. : compresseur et pinces de désincarcération).

Les **critères de manutention** qualifient l'utilisation de l'outil :

Fréquence : La fréquence d'utilisation est le nombre de fois que l'outil est sorti et/ou utilisé lors d'une intervention. Tous les types d'intervention sont considérés.

Situation : Le type d'intervention où l'outil est utilisé. Les situations possibles sont : intervention d'incendie, de désincarcération, de sauvetage ou de tout genre.

Nombre de personnes requises : Le nombre de personnes nécessaire pour transporter ou utiliser l'outil ou l'équipement.

Endroit de rangement : L'endroit où est rangé l'outil sur le véhicule, soit dans un compartiment à porte coulissante, dans un compartiment à portes à ouverture latérale, sur le toit, sur les côtés, dans la cabine des passagers ou dans la cabine du chauffeur (conducteur).

Mode de rangement: Comment est rangé l'outil sur le véhicule, soit dans un tiroir, sur une tablette, pêle-mêle, attaché avec fixation ou d'une autre façon.

Accès à l'outil : Si l'outil n'est pas accessible à partir du sol, un des moyens suivants est utilisé pour l'atteindre : marchepied, échelle, appuis-pieds, banc, roue ou un autre accès.

Zone d'atteinte : Hauteur où l'outil est rangé dans le véhicule par rapport à l'utilisateur. La hauteur doit être considérée par rapport au sol. L'objet est soit inaccessible sans aide (impossible de saisir cet objet sans monter sur un appui quelconque), l'outil se retrouve en haut des épaules, au bout des bras (l'outil est récupérable en soulevant les bras au dessus des épaules), l'objet se retrouve entre la ceinture et les épaules, l'objet se trouve sous la ceinture.

Transport : Le transport de l'outil lors de son déploiement : il est soit traîné sur le sol, est porté soulevé du sol, par un ou plusieurs pompiers ou il peut être roulé sur le sol.

Zone de dépôt : Une fois l'outil en main, il est déposé soit au sol, près de la scène (ex. voiture accidentée) ou il est gardé sur le pompier (ex. : appareil respiratoire).

Cette grille est acheminée aux membres du comité de pilotage, accompagnée d'instructions détaillées et d'un lexique des termes utilisés. Elle est également accompagnée d'un formulaire d'évaluation de la contrainte pour les manœuvres et pour la manipulation. Dans ce dernier cas, l'évaluation est double puisqu'il faut évaluer la contrainte lorsqu'on prend l'outil ou l'équipement, et lorsqu'on le remet en place. Pour le répondant en caserne, il s'agit en fait de répondre à la question suivante :

« D'après vous, lorsque vous faites cette manœuvre sur ou autour du camion, vous trouvez que le niveau de contrainte est ... »

en faisant un trait vertical, sur l'échelle de réponse suivante, selon votre évaluation de la situation :

« ...très faible. »	« ...excessif. »

Pour les outils et équipements :

Pour la manipulation d'outils et d'équipements, il faut distinguer lorsqu'on prend (P) l'outil dans le camion et lorsqu'on remet (R) l'outil dans le camion. Il y a donc une double échelle de réponse pour chaque outil dans la liste.

Il s'agit en fait de répondre à la question suivante :

« D'après vous, lorsque vous manipulez cet outil sur ou autour du camion, vous trouvez que le niveau de contrainte est ... »

en faisant un trait vertical, sur les deux échelles de réponse suivantes :

P	
R	
« Très faible »	« Excessif »

Pour les deux questions précédentes, le « niveau de contrainte » est défini comme « la quantité d'effort musculaire ressenti lors de la manœuvre ou de la manipulation de l'outil ou de l'équipement. Ce niveau d'effort peut résulter autant de la posture adoptée et/ou de la force déployée par l'utilisateur, et/ou du poids de l'objet manipulé ».

Ces grilles et formulaires ont été remplis dans sept casernes et les données recueillies sur 25 véhicules différents (12 autos-pompes, 8 camions-échelles, 3 camions-citernes et 2 mini-pompes) concernant 51 manœuvres, outils et équipements différents. La liste des « situations à risque » est ensuite établie à partir de ces informations, en tenant compte de la fréquence d'observation, du type de véhicule, du niveau de contrainte et de l'avis des membres du comité de pilotage. Rappelons ici que, compte tenu de l'échéancier et du budget alloué, il était convenu d'avance que l'équipe de recherche observait en détail tout au plus une douzaine de manœuvres et de manipulations d'outils et d'équipements.

Les manœuvres « à risque » retenues pour l'étude sont donc :

- 1- Monter dans la cabine;
- 2- Descendre de la cabine;
- 3- Monter sur le camion et;
- 4- Descendre du camion.

Les manipulations d'outils et d'équipements « à risque » retenues pour l'étude sont donc :

- 1- Échelles (12, 24, 35 pieds et plus);
- 2- Génératrice;
- 3- Canon à eau;
- 4- Ventilateur;
- 5- DUM (scie circulaire utilisé pour le découpage);
- 6- ARA (appareil respiratoire autonome);
- 7- Cales de vérin hydraulique;
- 8- Système de désincarcération comprenant le compresseur hydraulique,
- 9- Écarteurs et les ciseaux hydrauliques (« mâchoires de survie »), et
- 10- Les blocs de bois nécessaires pour stabiliser un véhicule à désincarcérer.

3.3 Recueil et analyse des données sur le terrain

C'est à partir de cette sélection de situations à risque que l'équipe de recherche a procédé à l'étude détaillée des accès et des manutentions d'outils et d'équipements sur le terrain.

Toutes les mesures et les données d'observation sur les accès et la manutention ont été recueillies entre juin et septembre 1998. Sept services de lutte aux incendies (SPI), tous en territoire québécois, furent recrutés par le comité de pilotage. Trois des SPI participants desservaient des centres urbains et avaient à leur emploi des pompiers engagés à temps complet; dans ce cas, la direction du SPI s'assurait de la collaboration de la caserne et du quart de garde. Quatre autres SPI desservaient des municipalités rurales ou de moins de 70 000 habitants avec des pompiers volontaires; dans ces casernes, il était convenu que le recueil des données se fasse le soir de la semaine où les pompiers volontaires se réunissent pour une pratique régulière, ou lorsqu'il y a des pompiers volontaires disponibles pour participer à l'étude.

Ces SPI désignèrent ensuite une ou des casernes, ainsi que le quart de garde s'il y a lieu, pour participer à l'étude. Au total, neuf casernes participèrent à l'étude et il y eut au total quatorze visites réparties dans ces casernes, certaines d'entre elles ayant été visitées deux fois. Dans tous les cas, on leur faisait parvenir un document qui expliquait brièvement le pourquoi et les objectifs de l'étude, la méthodologie utilisée, et les besoins en véhicules et en volontaires pour l'équipe de recherche. Il était également convenu dans ce document qu'en cas d'appel d'urgence, les mesures et observations cessent immédiatement pour permettre aux pompiers de répondre à l'appel. Les mesures et observations reprenaient soit à leur retour en caserne, soit à une date ultérieure.

Dans la pratique, deux types de visites ont été réalisées en caserne, en fonction du matériel et des instruments nécessaires. Le premier type de visite concernait uniquement la mesure des forces de réaction au sol, ce qui nécessite le transport et l'installation sur place d'une plate-forme de force. Ces mesures furent effectuées dans deux des neuf casernes participantes. L'autre type de visite concernait les manutentions d'outils et d'équipements et la mesure des accès aux véhicules, et fut effectuée dans les neuf casernes participantes.

3.3.1 Accès aux véhicules

Cette section de l'étude a le double objectif de documenter les dimensions linéaires des accès aux véhicules d'urgence ainsi que de mesurer les forces retransmises au corps des pompiers lors de la descente des véhicules.

3.3.1.1 Dimensions des accès aux véhicules

En caserne, le protocole suivant fut répété à chaque visite. En premier lieu, un représentant de l'équipe de recherche rappelait au personnel sur place les objectifs de la démarche à partir du document d'information transmis préalablement, et répondait aux questions des participants. Il vérifiait la disponibilité du ou des véhicules d'urgence. Enfin, l'équipe de recherche s'entendait avec l'officier responsable sur les détails de la marche à suivre en cas d'appel d'urgence. Sur place, les photos et les dimensions des véhicules ont été recueillis par le même membre de l'équipe de recherche lors de toutes les visites en caserne.

3.3.1.1.1 Véhicules d'urgence

Quinze véhicules d'urgence furent examinés. Le choix des types de véhicules s'est fait en collaboration avec le comité de pilotage du projet selon la disponibilité des véhicules dans les casernes participantes.

Tableau 3.1 Caractéristiques des véhicules examinés

Camion	Type	Châssis	Équipementier	Année
10	Plate-forme élévatrice	Freightliner	Bronto Skylift 27m	1990
20	Auto-pompe	GMC 980	Thibault	1966
21	Camion-citerne	Autocar-White-GMC	Citerne	1996
30	Auto-pompe	International 4900 4x2	Superior (Red Deer, Ab)	1993
31	Auto-pompe	Ford 8000	Camions Pierreville	1983
40	Camion-échelle	Fort Garry FireTrucks	Echelle Nova Quintech Skyfive 30 m	1997
41	Unité d'urgence	Freightliner FL70	Maxi-Métal (St-Georges-de-Beauce)	1993
50	Auto-pompe	Kenworth	Laurin	1978
60	Mini-pompe	Ford 450	-	-
70	Pompe-échelle	Thibault	Nova Qintech	1992
80	Auto-pompe	Inter Cargostar 1950B	Pierre Thibault	1979
81	Auto-pompe	Ford L9000	Maxi Métal	1988
90	Auto-pompe	Ford	Camions Pierreville	1967
91	Unité d'urgence	Kurbmaster	Grumman	1987
92	Camion-échelle	Nova Quintech	Nova Skypod	1993

- 8 auto-pompes : ces véhicules transportent une réserve d'eau ainsi que les boyaux nécessaires au branchement sur les bornes-fontaines ; ils sont munis d'une pompe couplée au moteur du véhicule afin de fournir la pression nécessaire, via un panneau de contrôle, pour propulser l'eau à la distance ou la hauteur désirée. C'est également ce type de véhicule qui est, le plus souvent, équipé du système de désincarcération pour les urgences routières.
- 3 camions-échelles et une plate-forme élévatrice : ces véhicules sont équipés d'un système permettant aux pompiers d'accéder aux toitures (échelle télescopique) ou d'attaquer le feu en hauteur à partir d'une plate-forme ou d'une nacelle.
- 2 unités d'urgence : dans certains services, ces véhicules transportent l'équipement spécialisé ou de rechange qui ne peut être transporté dans les autres véhicules d'urgence.
- 1 camion-citerne : ce véhicule assure l'alimentation en eau d'une auto-pompe dans les municipalités ou zones rurales qui ne sont pas équipées d'un réseau de bornes-fontaines.

3.3.1.1.2 Dimensions linéaires

Pour les fins de cette étude, nous distinguons les accès à : a) la cabine de conduite et b) la cabine-équipe, c) la plate-forme d'accès latérale (commandes de la pompe) ou la « palette » arrière (accès aux boyaux) et, d) tout accès pour le dessus des véhicules.

- a) pour la cabine de conduite et
- b) la cabine-équipe :
- la distance entre le sol et le plancher de la cabine;
 - la distance entre le sol et la première marche ou au premier échelon ou palier intermédiaire entre le sol et le plancher de la cabine de conduite ;
 - la distance entre chaque marche, échelon ou palier ;
 - le nombre de marches, d'échelons ou de paliers ;
 - la dimension (largeur et profondeur) d'appui de la marche, échelon ou palier ;
 - la nature de l'appui pour les mains à gauche de l'accès ;
 - la nature de l'appui pour les mains à droite de l'accès ;
 - la nature de l'appui pour les mains sur la porte ou la portière, s'il y a lieu ;
 - la dimension (largeur et profondeur) des appuis pour les mains.
- c) pour les plates-formes d'accès aux commandes et aux boyaux :
- la distance entre le sol et la plate-forme ou le marchepied ;
 - la distance entre le sol et la première marche ou au premier échelon ou palier intermédiaire entre le sol et la plate-forme ou le marchepied;
 - la distance entre chaque marche, échelon ou palier, s'il y a lieu ;
 - le nombre de marches, d'échelons ou de paliers, s'il y a lieu ;
 - la dimension (largeur et profondeur) d'appui de la marche, échelon ou palier ;
 - la nature de l'appui pour les mains à gauche de l'accès ;
 - la nature de l'appui pour les mains à droite de l'accès ;
 - la dimension (largeur et profondeur) des appuis pour les mains .
- d) accès pour le dessus des véhicules :
- la distance entre le sol et la partie supérieure du véhicule d'urgence ou d'un outil ou équipement à atteindre ;
 - la distance entre le sol et la première marche ou au premier échelon ou palier intermédiaire entre le sol et la partie supérieure du véhicule d'urgence ou un outil ou équipement à atteindre ;
 - la distance entre chaque marche, échelon ou palier, s'il y a lieu ;
 - le nombre de marches, d'échelons ou de paliers, s'il y a lieu ;
 - la dimension (largeur et profondeur) d'appui de la marche, échelon ou palier ;
 - la nature de l'appui pour les mains à gauche de l'accès ;
 - la nature de l'appui pour les mains à droite de l'accès ;
 - la dimension (largeur et profondeur) des appuis pour les mains .

3.3.1.1.3 *Traitement et analyse des données*

Chaque point d'accès au véhicule d'urgence est photographié à l'aide d'un appareil-photo numérique. Les dimensions linéaires sont ensuite mesurées et notées sur un schéma de l'accès. Ces dimensions sont ensuite transcrites dans une base de données. De plus, les dimensions sont reportées sur la photo numérique correspondante à l'aide d'un logiciel de traitement d'image.

3.3.1.2 *Forces de réaction au sol*

Cette section de l'étude a comme objectif de mesurer les forces d'impact au sol lorsque les pompiers descendent de leur véhicule d'urgence selon différentes techniques et/ou lieu de descente.

3.3.1.2.1 *Sujets, matériel et conditions*

Deux groupes différents participèrent aux mesures d'impact.

Pour le groupe « A », dix pompiers de sexe masculin, travaillant de façon régulière et à plein temps, furent recrutés par l'officier en poste parmi les pompiers inscrits au quart de travail de la caserne participante (tableau 3.2). L'âge moyen est de 31,6 ans ($\pm 5,9$) et le poids moyen de 83,14 kg ($\pm 8,69$) avec leur uniforme. La tenue de feu consiste en un habit ignifuge de deux pièces comprenant un pantalon et un manteau, les bottes et le casque de sécurité, un appareil de protection respiratoire autonome (ARA, comprenant le cylindre d'air comprimé, le régulateur et le masque), un dispositif d'alerte sonore ainsi qu'une hache. Le poids moyen de cet équipement est de 24,5 kg ($\pm 2,3$) pour $n=8$; deux des pompiers participants sont exclus du calcul car ils portent un équipement légèrement différent à cause de leur rôle dans l'équipe. Le poids de la tenue de feu fut obtenu en soustrayant le poids du sujet en tenue de feu du poids du même individu sans la tenue de feu. Les valeurs obtenues furent validées par des poids spécifiés dans des catalogues d'équipement et en pesant certains équipements sur place.

Dans la caserne « A », le véhicule d'urgence utilisé est une plate-forme élévatrice (Freightliner 1990) muni d'une cabine-équipe. L'impact au sol a été mesuré à la sortie de la cabine équipe, de la cabine de conduite (figure 3.2) et de l'échelle d'accès à la plate-forme. Toutes les mesures ont été effectuées la même journée. Chaque sujet descendait de la cabine-équipe quatre fois, soit deux fois « face à la rue » (condition « Cabine-face », hauteur = 58 cm, $n=10$ sujets) tel qu'illustré dans la figure 3.3, et deux fois « dos à la rue » (condition « Cabine-dos », hauteur = 58 cm, $n=10$ sujets) tel qu'illustré dans la figure 3.4.

Tableau 3.2 Âge, poids (avec et sans leur équipement) et proportion du poids corporel représenté par l'équipement (PC) des sujets de la caserne "A"

Sujets	Âge (an)	Poids (kg) avec équipement	Poids (kg) sans équipement	Proportion du poids corporel de l'équipement (PC)
1	34	116,8	91,8	1,27
2	42	99,8	78,2	1,28
3	31	130,0	103,4	1,26
4	31	109,2	83,8	1,30
5	27	98,8	78,6	1,26
6	27	100,8	84,8	1,19
7	25	108,0	82,0	1,31
8	34	103,6	77,6	1,33
9	40	84,6	74,8	1,13
10	25	101,8	76,4	1,33
Moyenne	31,6	105,3	83,1	1,27 PC
Écart-type	5,9	12,0	8,7	

La descente à partir de l'échelle du toit s'est faite une fois sans utiliser le marchepied rétractable (condition « Toit-haut », hauteur = 56 cm, n=7) et une autre fois, avec (condition « Toit-bas », hauteur = 28 cm, n=7). La figure 3.5 montre la condition « Toit-haut ». Pour la descente du toit, les pompiers descendent « dos à la rue » car il est pratiquement impossible de descendre autrement vu la configuration de l'échelle.

Enfin, la descente de la cabine de conduite (condition « Conducteur », hauteur = 50 cm, n=3) est faite avec trois sujets dont c'est habituellement la tâche de conduire le véhicule (figure 3.6). Pour cette condition, les sujets ont reçu instruction de descendre comme ils le font habituellement.

Le groupe « B » est constitué de huit pompiers volontaires de sexe masculin, rattachés à la caserne d'une municipalité de moins de 70 000 habitants (tableau 3.3). Les données furent recueillies entre 19:00 h et 22:30 h un soir de semaine qui coïncide avec leur séance de pratique régulière. L'âge moyen est de 38,4 ans ($\pm 11,2$) et le poids moyen de 93,2 kg ($\pm 9,3$) sans vêtements de protection. Le poids moyen de la tenue de lutte au feu portée par ces sujets lors de cette prise de mesure est de 9,7 kg ($\pm 1,7$). La différence entre cette valeur et celle calculée pour le groupe « A » s'explique par le fait que les sujets ne portaient pas leur ARA lors de la prise des mesures. Deux véhicules d'urgence furent utilisés dans la caserne « B », soit un auto-pompe (GMC 980, 1966) à cabine avancée et un camion-citerne (Autocar - White, 1996). L'impact au sol a été mesuré au niveau de la palette arrière et de la cabine de conduite du côté du passager (figure 3.7) de l'auto-pompe, et de la plate-forme arrière du camion-citerne. Chaque sujet effectuait deux descentes par condition.

Tableau 3.3 Âge, poids (avec et sans leur équipement) et proportion du poids corporel représenté par l'équipement (PC) des sujets de la caserne "B"

Sujets	Âge (an)	Poids (kg) avec équipement	Poids (kg) sans équipement	Proportion du poids corporel de l'équipement (PC)
1	28	93,1	85,7	1,08
2	27	96,1	86,9	1,10
3	58	91,3	81,9	1,11
4	35	118,7	108,1	1,09
5	45	101,5	88,9	1,14
6	38	108,7	100,9	1,07
7	28	109,5	102,1	1,07
8	48	100,1	90,5	1,11
Moyenne	38	102,3	93,1	1,09
Écart-type	11	9,3	9,3	

Les sujets ont d'abord descendu de la cabine de conduite (côté passager) de l'auto-pompe « face à la rue » (condition « CCP-face », hauteur du plancher = 76,25 cm, n=8) tel qu'illustré à la figure 3.8.

Les autres conditions étaient réalisées à partir de la plate-forme arrière de l'auto-pompe « face à la rue » (condition « PCP-face », hauteur = 50,8 cm, n=8), puis « dos à la rue » (condition « PCP-dos », hauteur = 50,8 cm, n=8) tel qu'illustré dans les figures 3.9 et 3.10.

Enfin, sur le camion-citerne, les sujets descendaient du marchepied de la plate-forme arrière « dos à la rue » (condition « PCC-dos », hauteur = 45,75 cm, n=8) ; la plate-forme est située à 85 cm du sol (figure 3.11).

3.3.1.2.2 Instrumentation

Les forces d'impact au sol furent mesurées avec une plate-forme de force (AMTI S606-4) mesurant 46,4 cm par 50,8 cm. Cet instrument mesure la force d'impact verticale (F_z), la force médio-latérale (F_x) et la force antéro-postérieure (F_y). La plate-forme est elle-même boulonnée sur une plaque d'acier pesant 21,5 kg afin de réduire les vibrations parasites. Un « plancher » de bois mesurant 100 cm par 120 cm, dans lequel est percé un trou de la dimension de la plate-forme, fut ensuite installé autour de la plate-forme de force afin de réduire le risque de chutes des sujets lors des essais. Pour compenser la perte de hauteur lors de la descente occasionnée par la plate-forme et la plaque d'acier, qui forment ensemble une épaisseur de 10,26 cm, les véhicules

d'urgence furent exhaussés en les faisant reculer sur des rampes de bois d'une épaisseur équivalente.

Plusieurs variables furent calculées à partir des trois données brutes issues de la plate-forme de force. Toutes les forces présentées dans cette étude sont exprimées par rapport au poids corporel (PC) du sujet; ainsi, si un volontaire pesant 686,7 N produisait une force d'impact au sol de 1716,75 N, la force au sol est dite alors de 2,5 PC ($1716,75 / 686,7 = 2,5$ PC); dans ce cas-ci, on dit que l'impact au sol pour ce sujet est de 2,5 fois son poids corporel, sans l'habit de lutte au feu. Il est important de noter ici que la conversion en PC des forces mesurées s'est faite à partir du poids du sujet sans son équipement de lutte au feu.

Forces : Trois forces furent calculées à partir des données brutes issues de la plate-forme, soit a) la force verticale (F_z), b) la force sagittale (Fr_{yz}) qui est la résultante de la force verticale (F_z) et de la force antéro-postérieure (F_y) et enfin c) la force frontale (Fr_{xz}) qui est la résultante de la force vertical (F_z) et de la force médio-latérale (F_x). L'utilisation de ces résultantes permet de connaître la quantité de force absorbée par les membres inférieurs dans les plans sagittal et frontal, respectivement. À l'instar de la force verticale (F_z), elles sont exprimées par rapport au poids corporel (PC) du sujet.

Angles d'impact : Il s'agit des angles formés entre les forces résultantes frontale et sagittale et la surface de réception du pied sur la plate-forme de force. Cet angle est un indicateur de la trajectoire du corps du sujet au cours de la descente vers le sol.

Temps pour l'impact : Le temps nécessaire, à partir du premier contact du pied avec la plate-forme, pour atteindre la valeur maximum de la force verticale (F_z); celle-ci est un indicateur de la vitesse à laquelle la force d'impact se propage dans les membres inférieurs.

3.3.1.2.3 *Déroulement général*

Le protocole suivant fut répété pour les deux visites dans deux des neuf casernes participantes. En premier lieu, un représentant de l'équipe de recherche rappelait au personnel sur place les objectifs de la démarche à partir d'un document qui avait été envoyé à la caserne au préalable, et répondait aux questions des participants. Il vérifiait la disponibilité du ou des véhicules d'urgence et des pompiers qui étaient volontaires pour participer aux mesures. Enfin, l'équipe de recherche s'entendait avec l'officier responsable sur les détails de la marche à suivre en cas d'appel d'urgence.

Dans la garage de la caserne, les quatre rampes (deux par essieu) servant à exhauser le véhicule d'une hauteur équivalente à celle de la plate-forme de force, étaient placées derrière les pneus du véhicules, et son chauffeur désigné faisait ensuite reculer le véhicule sur les rampes. Ces rampes faites de contreplaqué et de bois, biseautées à une extrémité, furent fabriquées spécifiquement pour cette étude. L'équipe de recherche procédait ensuite au positionnement de la plate-forme de force sur le plancher de béton de la caserne, vis-à-vis l'endroit où les pompiers touchent habituellement le sol lors de la descente; cette position initiale était ensuite ajustée avec précision en faisant des essais de descentes (sans mesure) jusqu'à ce que la position optimale soit trouvée. On installait enfin le faux plancher autour de la plate-forme de force en faisant passer les fils de branchement sous le faux plancher. Cet exercice préalable permettait également le

positionnement optimal des deux caméras vidéos (cf. 3.3.1.2.4), une dans le plan sagittal et l'autre dans le plan frontal de la descente; leur signal respectif était mixé sous forme d'une mosaïque avant d'être enregistré sur un magnéto. Avant la prise de mesures, sans qu'aucune pression ne soit appliquée à la plate-forme, on mettait la valeur de base à zéro en ajustant les ponts de résistance de son boîtier de contrôle. La plate-forme était ensuite calibrée en y déposant deux poids de 250 N chacun; ceci a permis la conversion des données analogiques (Volts) issues de la plate-forme de force, en données cinétiques (Newtons). La sortie analogique du boîtier de contrôle de la plate-forme était ensuite reliée à un convertisseur analogique à numérique cadencé à 1000 Hz (Data Shuffle Express). Enfin, ce dernier était relié à un ordinateur portable servant à contrôler le convertisseur et à entreposer les données. Cette procédure était répétée à chaque fois que la plate-forme était déplacée d'un point de mesure à un autre.

Tous les pompiers participants furent pesés en uniforme de caserne (chemise, pantalon et souliers), puis revinrent se faire peser en portant leur habit de lutte au feu et leur équipement habituel. On attribuait de plus, à chacun, un numéro séquentiel.

Pour les mesures, les pompiers se plaçaient en rang selon l'ordre de leur numéro séquentiel. Le premier pompier se plaçait alors en position initiale de descente et attendait le signal de l'équipe de recherche. On inscrivait alors sur un petit panneau, un numéro correspondant à la condition sous étude de même que le numéro du premier pompier à descendre, en s'assurant que l'information pouvait être vue lors de l'enregistrement vidéo. Au signal, les enregistrements vidéo et de saisie des données étaient démarrés, et le premier pompier descendait, selon les consignes, sur la plate-forme de force, quittait le faux plancher, puis donnait son évaluation sur la sécurité de la tâche (cf. 3.3.1.2.4). Le numéro séquentiel du sujet sur le panneau était alors augmenté de un et le second pompier était alors appelé à descendre. Le protocole prévoyant deux mesures par pompier par condition, les pompiers qui venaient de descendre allaient aussitôt se remettre en file pour leur second essai, en conservant l'ordre séquentiel attribué. Une fois le dernier pompier passé, les enregistrements vidéo et de saisie des données étaient stoppés et sauvegardés. Pour cette partie de l'étude, un technicien en audio-visuel s'est assuré de la prise de vue et de l'enregistrement vidéo.

3.3.1.2.4 *Analyses vidéo*

Toutes les descentes des véhicules enregistrées furent analysées *a posteriori*. Les descentes ont été analysées à l'aide d'une grille d'observation simple à partir des enregistrements vidéos issus des deux caméras présentés simultanément sous forme de mosaïque sur un même écran. Les variables observées furent la position et l'utilisation de la main gauche et de la main droite lors de la dernière phase de la descente, et quel pied touche la plate-forme de force en premier.

3.3.1.2.5 *Perception de la sécurité*

Aussitôt qu'un sujet terminait sa descente, un assistant lui demandait d'évaluer sa perception de la sécurité associée à cette descente. Le sujet indiquait le niveau de sécurité perçue sur une tablette en pointant son choix parmi dix énoncés sous forme d'échelle de Borg (tableau 3.4). Les énoncés vont de « 1 - je me sens extrêmement en sécurité » à « 10 - je me sens en danger ». L'assistant

prenait note de sa réponse. Les sujets avaient pour consigne de pointer leur réponse du doigt, et non de la dire à voix haute.

Tableau 3.4 - Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation du sentiment de sécurité

« Lorsque je réalise cette descente, je me sens : »

1	Extrêmement en sécurité
2	Très très en sécurité
3	Très en sécurité
4	Assez en sécurité
5	Moyennement en sécurité
6	Un peu en sécurité
7	Très peu en sécurité
8	Très très peu en sécurité
9	Pas du tout en sécurité
10	Extrêmement en danger

3.3.1.2.6 Analyses statistiques

L'analyse de variance simple (One-way ANOVA) a d'abord été utilisée pour mettre en évidence les principaux effets des variables indépendantes : « Cabine-face », « Cabine-dos », « Conducteur », « Toit-haut » et « Toit-bas » pour la caserne « A », et « CCP-face », « PCP-face », « PCP-dos » et « PCC-dos » pour la caserne « B ». L'analyse de variance simple a également été appliquée sur chacune des variables dépendantes suivantes : la force d'impact verticale (F_z), les forces résultantes sagittale (F_{yz}) et frontale (F_{xz}), l'angle d'impact (θ) de ces forces avec la plate-forme, le Temps avant impact ainsi que le niveau perçu de sécurité. Cependant, l'utilisation de l'analyse de variance pose comme condition préalable, la normalité de la distribution des données. Si cette condition est remplie pour plusieurs des variables, les différents tests de normalité³ de NCSS (Hintze, 2001) donnent des résultats inconsistants pour certaines. Ainsi, l'hypothèse de conformité des distributions est acceptée dans certains cas pour tous les tests, alors que dans d'autres, elle est acceptée par un ou plusieurs tests, mais rejetée par d'autres. Nous avons donc choisi l'ANOVA de Kruskal-Wallis, dont l'utilisation est indépendante du mode de distribution des données, et qui s'applique sur la valeur médiane des données (au lieu de la valeur moyenne). Cette analyse a d'abord été utilisée pour vérifier si la

³ Les différents tests de normalité de distribution de données offerts par NCSS dans son module de statistiques descriptives sont : le Shapiro-Wilk, le Anderson-Darling, le Martinez-Iglewicz, le Kolmogorov-Smirnov ainsi que les tests de kurtose et d'aplatissement de D'Agostino.

valeur médiane d'une variable était différente de la médiane d'au moins une autre variable dans le groupe. Dans tel cas, une comparaison *post-hoc* était faite avec un test de comparaison multiple (« Kruskal-Wallis Multiple Comparison Z-Value Test avec le test de Bonferoni ») afin d'identifier quelle variable était différente d'une ou d'autres variables du groupe. Les calculs statistiques ont été faits à l'aide du logiciel "Statgraphics for Windows" et avec « Number Cruncher Statistical Systems (NCSS) » avec un niveau d'erreur α de 0,05 ($p < 0,05$) pour tous les tests.

3.3.2 Manutention des équipements

Cette section de l'étude a comme objectif de documenter comment, sur les véhicules d'urgence, les pompiers prennent, puis déposent au sol, les outils et équipements identifiés dans la section 3.2. Le protocole suivant fut répété à chaque visite. En premier lieu, un représentant de l'équipe de recherche rappelait au personnel sur place les objectifs de la démarche à partir du document circulé préalablement, et répondait aux questions des participants. Il vérifiait la disponibilité du ou des véhicules d'urgence, des outils et des équipements sur ces véhicules et des pompiers qui s'étaient portés volontaires pour faire les manutentions. Enfin, l'équipe de recherche s'entendait avec l'officier responsable sur les détails de la marche à suivre en cas d'appel d'urgence. Sur place, un des membres de l'équipe de recherche procédait à la prise des dimensions linéaires des véhicules identifiés (section 3.3.1.1) puis procédait aux entrevues individuelles (section 3.3.2.6) suite aux essais de manutention. Les deux autres membres de l'équipe de recherche s'occupaient de la prise de données lors des manutentions.

3.3.2.1 Déroutement général

Une séance de mesures nécessite la participation de deux sujets simultanément. On vérifie d'abord la présence et le rangement des outils et équipements « à risque » (section 3.2) sur le véhicule d'urgence et on leur attribue un numéro séquentiel à partir d'une grille de nombres aléatoires. Chaque caserne avait une grille de numéros séquentiels aléatoires différente. Les outils et équipements pouvaient être répartis sur plus d'un véhicule dans la même caserne, en autant que les véhicules demeurent près l'un de l'autre. Pour les outils et équipements qui sont habituellement manipulés par un pompier seul, le premier sujet effectuait la manutention, puis le second sujet faisait de même. Pour les outils et équipements qui sont habituellement manipulés par deux pompiers, les deux sujets faisaient la manutention ensemble une première fois, puis la refaisaient en permutant leur place. Rappelons ici que par manutention, on entend ici prendre et remettre l'outil sur le véhicule d'urgence en utilisant les mains; l'utilisation de l'outil en soi ne fait pas partie de cette étude.

Les outils et équipements sont manipulés dans l'ordre des numéros séquentiels attribués par la grille de nombres aléatoires. Pour un outil, la séquence typique est la suivante. On place la caméra vidéo sur trépied et les lampes d'éclairage d'appoint pour avoir une vue d'ensemble de la scène et surtout, du ou des sujets au complet. Les sujets se placent à proximité de l'endroit où l'outil ou l'équipement est rangé sur le véhicule. La consigne donnée aux sujets était ; « Au signal, prenez l'outil ou l'équipement x sur le véhicule comme vous le faites habituellement et déposez-le par terre ». Après le dépôt au sol, un des assistants recueillait les données sur l'évaluation psychophysique (cf. 3.3.2.4). Pour remettre l'outil ou l'équipement en place, la

consigne était : « Au signal, prenez l'outil ou l'équipement par terre et remettez-le à l'endroit où il était désigné dans le véhicule. » Une fois l'outil ou l'équipement remis en place, l'assistant recueillait les données sur l'évaluation psychophysique de la remise en place de la même façon. Lorsque deux sujets manipulaient l'outil ou l'équipement, chaque assistant procédait à l'évaluation d'un des sujets. Il est important de souligner ici que les participants devaient réaliser la manutentions dans le contexte d'un entretien en caserne, et non dans celui de la réponse à une urgence : aucune limite de temps n'était fixée pour réaliser la manœuvre, et aucune forme de récompense en fonction des performances, n'avaient été proposées aux participants.

3.3.2.2 Sujets

Trente-deux (32) sujets, 28 hommes et 4 femmes, participèrent au recueil de données, dont deux à deux reprises, pour un total de 34 séries de mesures (tableau 3.5). Il y eut quatre sujets par caserne participante, à l'exception d'une caserne avec trois sujets seulement. L'âge des sujets varie de 22 à 59 ans, avec une moyenne de 31,3 ans ($\pm 8,76$); la taille moyenne est de 177 cm ($\pm 4,63$) selon la valeur inscrite sur leur permis de conduire. Le poids moyen est de 80,5 kg ($\pm 10,8$). Vingt-deux (22) des sujets travaillaient comme pompiers réguliers à temps complet et 10 étaient pompiers volontaires ou travaillaient à temps partiel. Leur expérience comme pompier varie de quelques mois à 24 ans; les 2 sujets avec peu d'expérience avaient suivi une formation.

Tableau 3.5 Caractéristiques des sujets ayant participé au protocole sur les manutentions.

	Âge (ans)	Taille (cm)	Poids (kg)	Force max. fléchisseurs des épaules (N)	Force max. lombaire (N)	Expérience au SPI (ans)	Expérience totale (ans)
Moyenne	31,3	177,1	80,5	239,19	1467,28	6,11	6,69
Écart-type	8,76	4,63	10,78	67,10	455,58	6,69	6,44
Max	59,0	185,4	97,5	399,0	2355,0	24,5	24,5
Min	22,0	167,6	59,0	98,0	598,0	0,0	0,2
n	31	30	30	32	32	32	32

Répartition par sexe	Hommes	Femmes	Total
	28	4	32

Répartition par latéralité	Gauchers	Droitiers	Ambidextres ou inconnu	Total
	6	23	3	32

Répartition par statut d'emploi	Réguliers	Volontaires	Total
	22	10	32

3.3.2.3 Test d'effort musculaire maximum

Chaque sujet a été soumis à deux tests d'effort musculaire au début et à la fin de chaque série de mesure. Ces tests d'effort consistaient en un effort statique maximum et volontaire des muscles responsables de l'extension du tronc et de ceux de la flexion des épaules. Les forces étaient mesurées par un dynamomètre (Shimpo FGV 500H) permettant de garder en mémoire la dernière valeur maximale mesurée. Pour le test sur la flexion des épaules, on mesurait la force des fléchisseurs des épaules. Les bras sont placés en flexion à 90° et le sujet, en position debout, reçoit la consigne de tenter de faire un mouvement de flexion au niveau de l'épaule pendant qu'un assistant maintient le dynamomètre (figure 3.12). La valeur moyenne obtenue par les sujets (n=32) pour ce test est de 239,2 N ($\pm 67,1$).

Pour le test sur l'extension du tronc, on mesurait la force des érecteurs du rachis (dos). Le tronc fléchi vers l'avant, le sujet reçoit comme consigne de tirer sur une chaîne fixée à un point d'insertion situé entre ses pieds sur un socle (figure 3.13). Le sujet tire en fait en empoignant le dynamomètre, alors équipé de poignées latérales, et relié au socle par la chaîne. La longueur de la chaîne est ajustée en fonction de la taille de chaque sujet de façon à obtenir un angle de flexion du tronc de 45°. Les bras sont tendus verticalement afin d'éliminer tout moment de force à l'épaule et au coude, ce dernier ne devant pas fléchir pendant le test. Ce dernier test est similaire à celui utilisé par Chaffin et al., (1978), même s'il a tendance à sous-estimer les valeurs obtenues par les sujets ayant des lombalgies, à la différence que nous ajustons la longueur de la chaîne en fonction de la taille du sujet. La valeur moyenne obtenue pour ce test par les sujets (n=32) est de 1467,3 N ($\pm 455,6$).

Pendant les tests, l'assistant encourage le sujet à tirer au maximum de sa force, puis note la valeur gardée en mémoire par le dynamomètre.

3.3.2.4 Évaluation psychophysique

L'évaluation psychophysique de chaque tâche de manutention avait pour but d'objectiver les perceptions des pompiers selon trois mots-clés, soit la perception de la **sécurité**, de la **manipulation** et de **l'effort**. Après chaque manutention d'outils, la perception psychophysique était évaluée à partir de dix énoncés relatifs à ces mots-clés et arrangés selon une échelle de Borg (tableaux 3.6, 3.7 et 3.8). Le premier mot-clé portait sur l'effort; il s'agissait pour le sujet d'estimer le niveau ou l'intensité de l'effort physique fourni lors de la manutention de l'outil ou de l'équipement. Le second mot-clé portait sur la manipulation; il s'agissait pour le sujet d'estimer la manœuvrabilité d'un outil ou d'un équipement en fonction de l'endroit où il est rangé sur le camion et de ses caractéristiques physiques (forme, présence et type de poignées, répartition de la charge). Enfin, le troisième mot-clé portait sur la sécurité; il s'agissait ici pour le sujet d'exprimer le niveau de sécurité qu'il perçoit en effectuant la manutention.

Aussitôt après une manutention, un des assistants présentait au sujet un cartable à trois pans où étaient listés les énoncés pour l'effort, la maniabilité de l'outil et le sentiment de sécurité lors de la manipulation. Le sujet avait la consigne de choisir, pour chacun des mots-clés, l'énoncé qui correspondait le mieux à sa perception et de le pointer du doigt sur la liste, et non de donner sa réponse à voix haute, afin que seul l'assistant puisse prendre connaissance de sa réponse. L'assistant notait la réponse du sujet.

Pour les scores de l'évaluation psychophysique, l'analyse de la variance simple a été utilisée pour montrer les différences de perception entre les outils évalués. Cette analyse a été appliquée pour chacun de mots utilisés : **l'effort**, la **manipulation** et la **sécurité** en fonction des véhicules sur lesquels les manutentions avaient été faites. Une autre analyse fut réalisée pour démontrer les différences de perception pour la manutention de chaque outil entre les casernes participant à l'étude. Les calculs statistiques ont été faits à l'aide du logiciel "Statgraphics for Windows" avec un niveau d'erreur α de 0,05 ($p < 0,05$) pour tous les tests.

Tableau 3.6 - Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation du sentiment de sécurité

« Lorsque j'utilise cet outil ou que j'exécute cette tâche, je me sens : »

1	Extrêmement en sécurité
2	Très très en sécurité
3	Très en sécurité
4	Assez en sécurité
5	Moyennement en sécurité
6	Un peu en sécurité
7	Très peu en sécurité
8	Très très peu en sécurité
9	Pas du tout en sécurité
10	Extrêmement en danger

Tableau 3.7 Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation de l'effort

« Pour moi, le niveau d'effort pour exécuter cette tâche est : »

1	Extrêmement faible
2	Très très faible
3	Très faible
4	Faible
5	Modéré
6	Un peu élevé
7	Élevé
8	Très élevé
9	Très très élevé
10	Extrêmement élevé

3.3.2.5 Évaluation biomécanique

Pour toutes les analyses de manutention, les moments de forces étaient calculés au moment où le poids de l'outil était pris en charge (allègement) par le ou les pompiers. Il n'y a que la force verticale (poids de l'outil) qui a servi à définir l'amplitude de la force exercée et sa direction. Cette section présente aussi les valeurs de compression lombaire calculées à l'aide du logiciel « 3D Static Strength Prediction Program » de l'Université du Michigan. Toutes les mesures de cette section ont été faites par le même membre de l'équipe de recherche. Ces résultats seront discutés en tenant compte des limites recommandées par le National Institute of Safety and Health (NIOSH). Selon NIOSH, les manutentions qui entraînent des forces de compression lombaire inférieures à 3400 N sont situées sous la limite acceptable, alors que celles présentant des forces supérieures à 6400 N seraient au dessus de la limite maximale acceptable. Un autre membre de l'équipe de recherche visionna les mêmes vidéos et nota les incidents et les dysfonctions, par exemple, les risques de chute, les déplacements subits d'outils, les difficultés d'accès ou les problèmes pour prendre ou remettre l'équipement en place. Ces observations étaient notées dans une base de données.

Tableau 3.8 Échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation de la manipulation

« Pour moi, la manipulation de cet outil est : »

1	Extrêmement facile
2	Très très facile
3	Très facile
4	Facile
5	Modéré
6	Un peu difficile
7	Difficile
8	Très difficile
9	Très très difficile
10	Extrêmement difficile

3.3.2.6 Entrevue semi-dirigée

Après la séance de mesures sur les manutentions, chaque sujet participait à une entrevue semi-dirigée avec le membre de l'équipe de recherche responsable des entrevues. Cette entrevue se déroulait en privé, en utilisant toujours le même formulaire. L'entrevue réunissait d'abord des données personnelles sur le participants : poids, taille, latéralité, assignation dans l'équipe, formation et expérience de travail. Elle documentait également les autres occupations outre le travail de pompier et, s'il avait été victime d'un incident ou d'un accident, ou s'il avait été blessé lors d'une intervention passée.

La suite de l'entrevue visait à documenter l'utilisation des outils et des équipements à l'étude en situation réelle de travail. Pour chacun de ces outils ou équipements, on passait en revue la fréquence d'utilisation, les variations dans l'utilisation sur le terrain par rapport à la manipulation qui vient d'être faite en caserne et enfin, les risques lors de l'utilisation de l'outil et ou de l'équipement lors d'une intervention.

Les réponses étaient résumées par le membre de l'équipe de recherche responsable des entrevues, puis consignées dans une base de données.

3.3.2.7 Synthèse

Pour chaque outil ou équipement manipulé, on rédigeait une synthèse des données d'observations, des évaluations psychophysique et biomécanique en tenant compte des commentaires des sujets recueillis lors de l'entrevue. Lorsque les données le permettent, on procède à une comparaison entre la « pire situation » et la « meilleure situation » du point de vue musculo-squelettique, en s'efforçant de pondérer la contribution des facteurs suivants : masse, rangement dans le véhicule, et prises manuelles sur l'équipement.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats concernant les points d'accès aux véhicules (section 4.1) seront d'abord présentés, suivis du stress biomécanique pour les membres inférieurs (section 4.2) lorsqu'on descend des véhicules. La section 4.3 présente les résultats de la manutention des outils et équipements retenus. Pour chacun des douze outils ou équipements, on trouvera un descriptif et les caractéristiques de l'échantillon, les modalités d'utilisation telles que recueillies lors des entrevues et enfin, les évaluations psychophysiques et biomécaniques des manutentions. Les résultats sont discutés dans chacune des sections respectives.

4.1 Points d'accès aux véhicules

Tableau 4.1a Hauteur des différentes parties des véhicules d'urgence, en cm à partir du sol

	Cabine de conduite	Cabine équipe ⁴	Toit ou équipement	Marchepied latéral	Marchepied arrière
Moyenne	100,7	103,2	211,3	49,3	53,37
Écart-type	22,94	6,49	45,18	5,23	4,06
Échantillon	13	9	13	5	8
Nombre d'échelons (écart)					

Tableau 4.1b Hauteur de la première marche des véhicules d'urgence, en cm à partir du sol

	Cabine de conduite	Cabine équipe	Toit ou équipement	Marchepied latéral	Marchepied arrière
Moyenne	50,10	44,40	50,70	-	-
Écart-type	8,16	10,98	7,88	-	-
Échantillon	13,	9,	13,	-	-

Pour les fins de ce rapport, nous avons subdivisé les points d'accès aux véhicules selon les catégories suivantes :

⁴ Nous utiliserons le terme « cabine-équipe » pour désigner les cabines constituées d'une section avant destinée au chauffeur et à l'officier, et d'une section arrière destinée à l'équipe d'intervention, ces deux sections étant accessibles séparément par des portières. Le terme « cabine double » habituellement recommandé en lieu et place de « crew cab » est, à notre avis, limitatif puisqu'il ne fait référence qu'à une « cabine de conduite de véhicule utilitaire léger, de type approfondi, munie d'une banquette à l'arrière du poste de conduite ». Source : Le grand dictionnaire terminologique, CDROM-SNI, 2000

- i - accès aux cabines de conduite
- ii - accès aux cabines-équipes
- iii - accès aux équipements mécaniques (nacelle, échelle)
- iv - accès au dessus du véhicule, par l'arrière
- v - accès au dessus du véhicule, par les côtés
- vi - accès aux unités d'urgence

Vue la diversité des véhicules et des aménagements rencontrés sur le terrain, il ne s'avère pas possible de présenter un portrait précis des paramètres dimensionnels ni de procéder à des comparaisons statistiques, car il y a trop peu d'échantillons dans certaines catégories. De plus, la conception des véhicules a évolué au cours des ans et notre échantillon comprend des véhicules dont l'année de fabrication s'étend de 1966 à 1996. Une approche descriptive est plutôt utilisée. Les tableaux 4.1a et 4.1b présentent les dimensions mesurées sur notre échantillon de véhicules de lutte aux incendies.

4.1.1 Accès à la cabine de conduite

La hauteur moyenne du plancher de la cabine de conduite est de $100,7 \pm 22,94$ cm (n=12). L'écart-type important s'explique par le fait que différents types de châssis de camion sont utilisés pour motoriser les véhicules d'urgence. On retrouve en effet des camions porteurs à cabine avancée, à cabine conventionnelle et un à cabine élevée (*cab over engine*). Les camions à cabine avancée d'avant 1980 (figures 4.2, 4.9 et 4.11) sont dépourvus de mains courantes et dans un cas, l'accoudoir à l'intérieur de la porte manquait. Comme on pourra le voir dans la section suivante (4.2.2 - Descente du véhicule dans la caserne « B »), le rebord de l'aile peut être utilisé comme point d'appui en l'absence de tout autre support pour les mains. Les camions à cabine avancée plus récents (figures 4.1, 4.4, 4.6 et 4.8) sont munis de portières et de marchepieds plus larges. Certains sont équipés de mains courantes extérieures et/ou de poignées installées sur la partie avant et inférieure, à l'intérieur de la cabine. Les camions à cabine avancée (figures 4.3, 4.5 et 4.10), quant à eux, permettent l'accès à la cabine au moyen de marchepieds installés sur les réservoirs d'essence latéraux. Le nombre et l'emplacement des poignées et des mains courantes varient d'un camion à l'autre. Enfin, un des camions est un véhicule d'urgence dérivé d'un camion de livraison; ce véhicule est muni d'une portière coulissante et d'un grand marchepied intérieur.

Le nombre de marchepieds et/ou d'échelons pour atteindre le plancher de la cabine de conduite varie de un à trois. La hauteur moyenne, à partir du sol, pour atteindre le premier échelon ou marchepied est de $50,1 \pm 8,16$ cm, le plus bas étant à 35 cm (figure 4.4) et le plus élevé, à 58 cm (figure 4.11).

4.1.2 Accès à la cabine-équipe

Cinq des six cabines-équipes étaient fabriquées par un équipementier spécialisé (ex. Thibault, NOVA, Superior); celle qui reste provenait d'un fabricant de camion (International). Toutes les portières d'accès s'ouvrent vers l'avant du véhicule. Trois des portes d'accès (figures 4.15, 4.16

et 4.17) étaient partiellement au dessus de l'essieu avant du camion, ce qui réduit la largeur des marches les plus basses à cause de la présence des roues avant. Les deux autres (figures 4.13 et 4.18) offraient une largeur d'accès uniforme sur toute la hauteur de la portière.

Comme on a pu le voir dans le tableau 4.1, la distance moyenne sol – plancher de ces cabines est de $103,2 \pm 6,49$ cm et on y dénombre entre une et trois marches pour y accéder. Deux des véhicules (figures 4.15 et 4.18) avaient des marchepieds, dont un était escamotable, ce qui ramenait la hauteur d'accès entre 30 et 34 cm du sol; dans les autres cas, la hauteur de la première marche variait entre 45,7 et 58 cm du sol. En ce qui concerne la hauteur des marches intermédiaires, on peut voir dans les figures 4.13 à 4.18 qu'elles sont toutes de configuration différente, et que les hauteurs intermédiaires varient de 22 cm à 54 cm. En ce qui concerne les mains courantes et les poignées, on observe également des installations différentes pour chaque véhicule; en général, les mains courantes sont installées à l'extérieur du véhicule, et les poignées, à l'intérieur, et du côté opposé à la charnière. On retrouve également des poignées installées à divers endroits sur l'intérieur de la portière. Signalons finalement qu'aucune des portes ne peut se bloquer en position ouverte.

4.1.3 Accès aux équipements mécaniques (nacelle, échelle)

L'accès à l'équipement installé sur le toit (échelle mécanique ou nacelle) se fait au moyen d'échelles encastrées dans les côtés du camion (figures 4.19 à 4.22). La distance entre les échelons varie de 28 à 30 cm. Étant donné que la mise en opération de ce type de véhicule exige le déploiement des vérins hydraulique, il arrive que tout le véhicule soit levé de terre de plusieurs centimètres. Certaines de ces échelles d'accès sont conçues pour être déployées vers le bas pour permettre l'accès lorsque le camion est levé, mais les dimensions finales pour cette situation n'ont pas été vérifiées. La hauteur de ces équipements varie de 167,6 cm à 203 cm du sol.

4.1.4 Accès au dessus du véhicule, par l'arrière

Cet accès est nécessaire sur les autos-pompes (figures 4.23 et 4.25 à 4.31) afin d'aller chercher un équipement rangé sur le toit (e.g. canon à eau) ou pour y remettre les longueurs de boyaux utilisés après une intervention. L'accès au dessus du camion-citerne (figure 4.24) est nécessaire pour prendre les boyaux de succion. Le premier niveau à franchir pour atteindre le dessus du camion est le marchepied (« palette ») arrière. La hauteur moyenne à partir du sol a été mesurée à $53,37 \pm 4,0$ cm (n=8). Cinq des huit autos-pompes présentaient ensuite un rebord d'une profondeur variant de 10 à 22 cm, et situés à une hauteur variant de 73 à 94 cm du marchepied arrière. Finalement, le compartiment de rangement des boyaux peut lui-même varier de 38 à 63 cm de haut. Trois des huit autos-pompes avaient des marchepieds intermédiaires espacés de 41 à 47 cm. Cependant, la plupart des véhicules n'avait pas d'appuis pour les mains; si, sur les photos, on peut voir des dispositifs qui ressemblent à des mains courantes, il s'agit en réalité de rouleaux servant à faciliter le déploiement des boyaux quand on les tire hors du compartiment de rangement. Enfin, sur certains camions, l'emplacement de raccords d'entrée et de sortie d'eau à l'arrière peut soit permettre des appuis pour monter, mais peut aussi nuire parce qu'elles encombrant l'accès aux marches intermédiaires.

En ce qui concerne le camion citerne (figure 4.24) dont le dessus se trouve à 319 cm du sol, l'accès se fait d'abord par le marchepied arrière, puis par un marchepied intermédiaire et enfin,

au moyen de trois échelons. Le marchepied arrière étant à 85 cm du sol, on y a installé un échelon qui place le premier niveau à monter à 45,75 cm du sol.

4.1.5 Accès au dessus du véhicule, par les côtés

L'accès par les côtés peut être rendu nécessaire pour atteindre un outil ou équipement comme une génératrice. En général, l'accès se fait par le marchepied attendant au panneau de commande ou celui des différents raccords de la pompe (figures 4.32 à 4.34). La hauteur moyenne au sol du marchepied latéral est de $49,3 \pm 5,2$ cm ($n=5$). L'accès au toit se fait ensuite par de petits marchepieds pliables, offrant une superficie d'environ cinq par dix centimètres, dont le nombre varie de deux à cinq par installation. Il est certainement possible d'utiliser ces marchepieds pliables, jusqu'à un certain point, comme appui pour les mains, sinon, aucune autre prise pour les mains n'a été observée. La figure 4.35 donne un exemple d'un accès au dessus du camion par un côté. Enfin, le véhicule d'urgence dans la figure 4.36 est une auto-pompe dont le panneau de commande est situé au centre de l'appareil au lieu de sur un des côtés. On accède au palier de commande, situé à 120 cm du sol, par le marchepied latéral, puis à l'aide d'une marche intermédiaire; des appuis pour les mains sont disponibles des deux côtés de l'accès.

4.1.6 Accès aux unités d'urgence

Un de ces deux véhicules était un camion porteur muni d'un fourgon spécialement aménagé (figures 4.37 et 4.38). L'accès latéral, à 60 cm du sol, disposait d'un marchepied escamotable à 33 cm du sol puis, l'accès au plancher se faisait par deux marches de 20 cm de hauteur. L'accès par l'arrière disposait également d'un marchepied, situé à 34 cm du sol. L'autre unité d'urgence (figure 4.39) était en fait similaire à un fourgon de livraison dont l'intérieur avait été aménagé pour les besoins du service. Outre l'accès par le poste de conduite, munis de portes coulissantes (cf. figure 4.12), il disposait d'un accès par une double porte à l'arrière du fourgon. La hauteur au sol du marchepied était de 41 cm, auquel il faut ajouter 32 cm pour atteindre le plancher.

4.1.7 Discussion sur les accès aux véhicules

Vu les objectifs pour lesquels ils sont conçus, les véhicules d'urgence pour la lutte aux incendies nécessitent l'utilisation, à la base, de châssis et de motorisation de camions lourds. Il suffit de savoir que la quantité d'eau minimum que doit transporter une auto-pompe est de 1125 litres, soit un peu plus qu'une tonne métrique, auquel il faut ajouter de trois à cinq pompiers avec leur équipement de protection ainsi que tous les outils et équipements nécessaires à leur travail. Comme pour tout véhicule devant transporter des charges lourdes, la conception des essieux, des roues et le choix des pneumatiques résultent en des véhicules qui sont beaucoup plus élevés, par rapport au sol, qu'un véhicule automobile, par exemple. Ainsi, en arrondissant les données, on peut dire que le plancher des cabines de conduite et de l'équipe sont à un mètre du sol et que la hauteur des marchepieds arrière et latéraux se situe autour de 50 cm. Ces véhicules affichent également une hauteur totale qui peut atteindre un peu plus de deux mètres pour les autos-pompes et jusqu'à trois mètres pour un camion-citerne.

Il apparaît donc essentiel de munir ces véhicules de moyens d'accès adéquats, en tenant compte du fait que les équipements de protection portés par les utilisateurs peuvent limiter les mouvements au niveau des articulations, limiter la prise d'information visuelle et ajouter un poids supplémentaire lors des déplacements sur et autour du véhicule. De plus, le véhicule lui-

même est soumis à la réglementation provinciale et fédérale sur les véhicules automobiles, ce qui fait qu'il doit respecter un maximum de masse ou de certaines dimensions linéaires, par exemple. Enfin, la norme canadienne ULC S515-M88, spécifique aux véhicules de lutte aux incendies, encadre des caractéristiques propres à ce type de véhicule, en particulier pour la garde au sol et la position de la palette arrière par rapport à l'essieu arrière.

L'appréciation générale des accès aux cabines de conduite rappelle qu'il existe un problème similaire d'accès aux cabines de camions rencontrés dans l'industrie du transport routier (Patenaude, 1998; Patenaude et al., 1999), où la hauteur de la dernière marche et la présence ou non de mains courantes peuvent influencer la vitesse de descente. L'accès à la cabine-équipe est cependant particulier aux camions de pompier, puisque la plupart sont fabriquées par des constructeurs spécialisés, et qu'on retrouve peu ce type d'aménagement dans les autres secteurs d'activités, sauf exception. La problématique des accès à la cabine-équipe est abordée plus en détail dans la section suivante. Enfin, les accès à la partie supérieure des camions se font au moyen de marchepieds de dimension et d'espacement variables d'un véhicule à l'autre, certains étant presque dépourvus de supports pour les pieds ou les mains. L'accès aux équipements comme l'échelle mécanique ou la nacelle fait exception, ces véhicules bénéficiant d'échelles installées à même le camion.

Comme il l'a déjà été mentionné, la section suivante traitera en détail des conséquences, en termes de stress biomécanique sur les membres inférieurs, de certains de ces aménagements. Mais le cadre de cette étude amène un questionnement sur les dimensions et la disposition de ces accès. D'une part, les manuels de conception (Diffrient et al., 1981; Woodson, 1981) définissent un premier échelon « confortable » à 35 cm du sol, distance qui devient « inconfortable » entre 35 et 50 et « très inconfortable » au delà de 50 cm, et ce, pour une femme 161 cm, et un homme de 188 cm, de taille. Il s'agit ici de dimensions anthropométriques américaines et, sans présumer que la population québécoise est plus petite, il faut savoir que la dimension des différents segments corporels n'est pas proportionnelle à la taille; ainsi, une personne peut être « grande » parce qu'elle a un long torse et des jambes courtes. Aussi, tel que déjà mentionné, le port d'un vêtement de protection peut limiter l'amplitude des articulations. Vu dans ce contexte, la « première marche » de plusieurs des véhicules examinés serait dans une zone d'accès inconfortable, sinon difficile d'accès pour les personnes de petite taille ou ayant des jambes courtes.

La problématique de l'accès aux véhicules lourds et hors-routes semble bien connue des concepteurs puisqu'il existe des normes se rapportant spécifiquement aux accès, entre autres, pour les véhicules de plus de 12 tonnes (NF R18-103-87), pour les engins de terrassement (ISO 2867) et pour les véhicules tout-terrains (SAE J185). L'évaluation de l'applicabilité de ces normes aux véhicules de lutte aux incendies, de même que leurs fondements anthropométriques, biomécaniques et ergonomiques, ne sont pas l'objet de ce projet. D'autre part, la méthode dite « des trois points d'appui » est proposée comme moyen sécuritaire d'accès depuis 1974 (Hemmings, 1974). Inspirée de l'alpinisme, celle-ci préconise l'accès aux véhicules « avec un seul membre libre de se déplacer en tout temps », autrement dit, les moyens d'accès doivent prévoir des supports pour au moins deux pieds et une main, ou un pied et deux mains, et ce, en tout temps. Cette « méthode » doit évidemment être valable autant pour l'entrée que la sortie du véhicule. De plus, Hemmings met en garde contre certains pièges inhérents à la conception des accès malgré cette méthode : la disposition des échelons et des poignées devrait suivre le rythme naturel de l'ascension ou de la descente, la première marche devrait toujours être visible et les

supports pour les mains ne devraient pas être installés sur les portières parce que celles-ci sont instables. Un autre auteur (Woodson, 1981) recommande d'éviter aux utilisateurs d'avoir à mettre le pied sur un moyeu, un pneu ou une surface irrégulière lors de l'accès.

Or, la norme ULC S-515 M-88 préconise justement des aménagements qui permettent l'accès selon cette méthode pour la cabine de conduite et la cabine-équipe (art. 3.6.5) de même qu'aux équipements mécaniques (art. 8.8.1.2), mais demeure muette quant aux accès au dessus du camion par les côtés ou l'arrière. Elle ne mentionne pas non plus si cette méthode devrait être applicable avec ou sans l'équipement de protection et la tenue de lutte au feu, lesquels augmentent le volume et diminuent la mobilité de l'utilisateur. Enfin, il n'y a pas, à notre connaissance, de grille ou de critères d'évaluation de l'accessibilité aux véhicules lourds, ni plus spécifiquement aux véhicules de lutte aux incendies.

4.2 Stress biomécanique lors de la descente

Cette section présente les résultats obtenus lors des deux séances de mesures, dans deux casernes différentes. Ces résultats sont discutés par caserne, mais une synthèse en est également faite. Rappelons ici que les pompiers devaient descendre de leur véhicule d'urgence à partir d'endroits déterminés. À titre indicatif, pour la caserne « A », le poids moyen de l'équipement (habit, ARA, hache) est de $24,5 \pm 2,3$ kg (n=8) et celui des sujets (sans équipement) est de $83,1 \pm 8,7$ kg; c'est donc dire que lorsqu'un sujet se tient debout sans bouger (position statique), son système musculo-squelettique maintient en fait une masse correspondant, en moyenne, à 1,26 fois son poids corporel. Pour la caserne « B », où les sujets portaient l'habit de lutte au feu mais sans ARA ni outils, cette valeur était en moyenne de 1,10 fois le poids corporel des sujets. Les résultats sont présentés à l'aide de diagramme « Box plot »; la figure 4.40a aide à interpréter ce genre de diagramme.

4.2.1 Mesures à la caserne « A »

4.2.1.1 Impact au sol

L'analyse des forces d'impact verticales (figure 4.40b) montre que la descente de la cabine-équipe « face à la rue » (condition « Cabine-face ») génère la réaction au sol la plus importante, avec une valeur moyenne de 3,6 fois le poids corporel du sujet sans son vêtement de protection. Les valeurs obtenues dans les autres conditions, soit la descente « dos à la rue » (condition « Cabine-dos »), de la cabine de conduite (condition « Conducteur ») et de l'échelle de toit (conditions « Toit-haut » et « Toit-bas »), sont toutes inférieures. L'analyse de variance confirme⁵ qu'au moins une des conditions est significativement différentes ($F_{(1,4)} = 6,95$, $p < 0,001$), cette condition étant identifiée comme la descente « face à la rue » à l'aide d'une comparaison deux par deux des conditions entre elles. Cette différence de réaction au sol dans les cinq conditions peut s'expliquer par la distance verticale parcourue en chute libre, par les appuis supplémentaires suite à une utilisation des mains pour se tenir après une structure du véhicule et, par le rôle d'absorption d'énergie des muscles des membres inférieurs. En effet, comparé à la descente de la cabine « dos à la rue » où il est possible d'utiliser la « méthode des trois points d'appui », la dernière jambe à quitter la marche dans la descente « face à la rue » ne permet pas

⁵ Rejet de l'hypothèse de l'égalité des variances

un aussi bon contrôle de la vitesse de descente parce que les extenseurs de la hanche et des genoux travaillent de façon excentrique. De plus, dans la condition « Cabine-dos », les muscles responsables de la flexion plantaire (i.e. *triceps surea*) peuvent contribuer à l'absorption d'énergie parce que le pied vient progressivement en contact avec le sol, des orteils au talon. On peut observer ce phénomène dans les figures 3.3 et 3.4. La descente « dos à la rue » facilite ainsi la contribution des membres supérieurs (par l'utilisation des mains courantes et des poignées) ainsi que des flexeurs plantaires pour s'opposer au vecteur gravitationnel de descente.

Les valeurs moindres enregistrées lors de la descente par l'échelle d'accès au toit (conditions « Toit-haut » et « Toit-bas ») s'expliquent par le fait que cette descente est toujours effectuée « dos à la rue » et que l'on ne peut pas ne pas utiliser les mains courantes installées. En ce qui concerne la descente de la cabine de conduite (condition « Conducteur »), un des sujets choisit de descendre « face à la rue » et les deux autres, « dos à la rue ».

On obtient des résultats similaires aux forces d'impact verticales pour la force résultante sagittale (F_{yz}) (figure 4.41) et la force frontale (F_{xy}) (figure 4.42). Encore ici, la descente de la cabine-équipe « face à la rue » génère les valeurs les plus importantes, et qui sont significativement différentes ($F_{(1,4)} = 7,45$, $p < 0,001$ pour la sagittale et $F_{(1,4)} = 7,93$, $p < 0,001$ pour la frontale) des autres conditions. Cette similarité s'explique par le fait que le vecteur F_z contient la plus grande partie de l'énergie de ces forces résultantes.

4.2.1.2 Angles d'impact

L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative pour l'angle entre la force verticale F_z et le sol (figure 4.43) ($F_{(1,4)} = 0,26$; $p = 0,9049$), sauf pour la condition de descente « Cabine-face » dans l'axe frontal ($F_{(1,4)} = 4,66$; $p = 0,003$, figure 4.44), tel que mis en évidence à l'aide d'une comparaison deux par deux des conditions entre elles.

4.2.1.3 Temps pour l'impact

L'analyse des résultats obtenus pour cette variable (figure 4.45) montrent qu'il y a au moins une des conditions qui est significativement différente des autres ($F_{(1,4)} = 13,38$; $p < 0,001$). La comparaison deux par deux des conditions entre elles montre que le délai entre le premier contact avec la plate-forme et l'obtention de la force maximum pour la condition « Cabine-face » est significativement moindre que pour toutes les autres conditions. Ce temps plus court peut expliquer l'augmentation des valeurs de F_z dans cette condition. La descente du camion « face à la rue » semble limiter l'habileté des muscles à absorber l'énergie de l'impact, au contraire d'une descente « dos à la rue ». En effet, cette dernière technique permet aux orteils de toucher le sol en premier, le résultat net étant une meilleure utilisation des muscles flexeurs plantaires de la cheville, ce qui contribue, avec l'action des extenseurs du bassin et du genou, à ralentir la chute. Le temps nécessaire pour atteindre la force maximum est un indicateur du temps de dissipation de l'énergie de l'impact dans le temps. Plus le temps pour l'impact est long, plus l'énergie sera diluée dans le temps. Un temps pour l'impact plus long peut être obtenu en maximisant le travail excentrique des muscles extenseurs du bassin et du genou ainsi que par ceux impliqués dans la flexion plantaire de la cheville.

4.2.1.4 Observations vidéo

Pour toutes les conditions de descente, c'est le pied droit des sujets qui touche le plus souvent la plate-forme de force en premier (61,4 % des cas). C'est également lui qui touche le plus souvent (77,5 % des cas) le sol en premier lors des descentes de la cabine-équipe, que ce soit « face à la rue » ou « dos à la rue ». Mais c'est le pied gauche qui touche le sol en premier lorsqu'on descend de l'échelle du toit (71,4 % des cas). Dans six des 57 essais, le sujet atterrit sur la plate-forme à pieds joints.

L'utilisation des membres supérieurs pour le contrôle de la descente de la cabine-équipe est modulée par la présence d'une main courante sur le côté de la cabine et, du côté opposé, d'une poignée installée à l'intérieur de la portière de la cabine. Leur utilisation est elle-même fonction de la disponibilité des mains pour se tenir, disponibilité qui peut dépendre du rôle du pompier dans l'équipe. Dans la caserne « A », lors de la descente de la cabine-équipe « face à la rue », huit des dix sujets tenaient une hache dans une de leurs mains tandis que les deux autres sujets tenaient soit leur masque respiratoire ou leur casque; la main opposée était soit libre ou soit utilisait la poignée ou la main courante. Lors de la descente « dos à la rue », on observe beaucoup plus d'utilisations de la poignée et de la main courante, en particulier pour la main droite. Une comparaison par χ^2 du ratio d'utilisation des mains pour ces deux conditions de descente (tableau 4.2) confirme cette observation (rejet de l'hypothèse nulle de l'égalité de la distribution de fréquence pour $\chi_2 = 18,3$, $p=0,05$ et 3 degrés de liberté). Les descentes de la cabine-équipe (« Cabine-face » et « Cabine-dos ») sont les seules conditions où les sujets transportaient un outil dans une de leurs mains pendant la descente, dans les deux casernes.

Tableau 4.2 Utilisation des mains lors des deux conditions de descente de la cabine-équipe à la caserne « A »

Conditions Main		"Face à la rue"	"Dos à la rue"
Main gauche	Outil ou objet	11	11
	Main courante	2	1
	Poignée	0	5
	Libre	7	3
	Total	20	20
Main droite	Outil ou objet	7	5
	Main courante	0	12
	Poignée	6	2
	Libre	7	1
	Total	20	20

4.2.1.5 Perception de la sécurité

La figure 4.46 montre la distribution des réponses à l'évaluation psychophysique de la sécurité pour chacune des conditions de descentes. L'analyse de variance indique qu'au moins une condition diffère significativement des autres ($F_{(1,4)} = 8,96, p < 0,001$). La comparaison deux par deux des conditions entre elles montre que les scores les plus élevés ont été rapportés pour la descente de la cabine-équipe « dos à la rue » (condition « Cabine-dos »), indiquant ainsi que les pompiers de la caserne « A » ne se sentent « pas très en sécurité » lorsqu'ils descendent de leur véhicule « dos à la rue », comparativement à toutes les autres conditions de descente.

4.2.2 Mesures à la caserne « B »

4.2.2.1 Force d'impact au sol

Selon les résultats présentés aux figures 4.47, 4.48 et 4.49, ce sont les deux conditions où les sujets descendent face à la rue (conditions « CCP-face et PCP-face ») qui entraînent les forces d'impact les plus élevées. L'analyse de variance montre en effet qu'il existe au moins une condition qui est significativement différente des autres ($F_{(1,3)}=18,40; p < 0,001$ pour l'axe vertical, $F_{(1,3)}=19,56; p < 0,001$ pour les forces sagittales et $F_{(1,3)}=16,86; p < 0,001$ pour les forces frontales. La comparaison deux par deux des conditions entre elles montre sans équivoque que les deux conditions où les sujets descendent face à la rue diffèrent des deux autres conditions où la descente se fait face au camion. Pour la descente de la cabine de conduite, l'importance de la force retransmise au corps est principalement associée au design même de la cabine qui limite

l'utilisation des marchepieds. En effet, l'auto-pompe utilisée dans cette caserne possède une cabine de type avancé. Cette cabine place le poste de conduite et l'accès par la portière juste au dessus des roues avant. Les marchepieds sont donc décentrés par rapport au milieu de la porte d'accès. Cet aménagement rend les marchepieds pratiquement inutilisables lors de la descente. La stratégie usuelle chez les pompiers observés consiste à prendre appui avec une main sur le rebord supérieur de l'aile du camion et l'autre sur la poignée de la portière, avant de se laisser tomber en chute libre sur le sol (voir figure 3.8). Il s'agit d'une technique où le pompier se retrouve face à la rue au moment du contact avec le sol. La réception de la descente se fait habituellement sur les deux jambes à la fois. Cette force élevée (3,2 fois le poids du corps) à la réception au sol est donc principalement reliée à la hauteur de la chute libre qu'engendre l'utilisation de ce mode de descente.

L'autre condition de descente qui présente une force d'impact importante (3,05 fois le poids du corps) se retrouve lors de la descente de la plate-forme arrière de l'auto-pompe avec l'utilisation de la technique « face à rue » (condition « PCP-face »). Dans cette situation, l'utilisation de la main courante est pratiquement inexistante. Les pompiers contrôlent le début de la descente uniquement avec la jambe contralatérale à celle servant à la réception du corps au sol (voir figure 3.9). Dans l'ensemble, les résultats démontrent clairement que les situations où les pompiers se retrouvent « face à la rue » au moment de la descente engendrent toujours des forces d'impact plus importantes que celles obtenues lors des conditions où ils sont « dos à la rue ».

Pour les conditions où les pompiers ont utilisé une technique « dos à la rue » (conditions « PCC-dos » (voir figure 3.10) et « PCP-dos » (voir figure 3.11)), les résultats laissent voir une baisse importante des forces d'impact (entre 1,6 et 1,85 fois le poids du corps). Cette technique contribue donc à réduire de moitié les forces qui sont retransmises au corps au moment de la réception sur le sol.

4.2.2.2 Angles d'impact

Pour la caserne « B », l'analyse de variance des angles d'impact révèle qu'il y a au moins une condition qui est différente des autres pour l'angle frontal (figure 4.50, ($F_{(1,3)} = 22,43$; $p < 0,001$), mais qu'il n'y a aucune différence significative pour l'angle sagittal ($F_{(1,3)} = 0,89$; $p < 0,45$). Pour l'analyse dans le plan frontal, les moyennes des angles mesurés pour les quatre conditions laissent voir que la trajectoire du corps des pompiers induit une certaine force sur l'axe médio-latéral au moment de l'impact au sol. Ces moyennes qui varient entre 73° et 77° (voir la figure 4.50) suggèrent que la descente produit une légère rotation du corps autour de l'axe sagittal. Cette rotation serait plus accentuée pour la descente de la palette arrière de l'auto-pompe. Dans cette situation, les forces médio-latérales imposent donc une éversion⁶ à la cheville et/ou une abduction à la hanche (voir la figure 3.7). Pour le plan sagittal, les moyennes des angles mesurés pour les quatre conditions (celles-ci varient entre $86,6^\circ$ et $87,8^\circ$, voir la figure 4.51) démontrent que les forces d'impact au sol sont davantage associées à la trajectoire verticale du mouvement.

⁶ Action de tourner la face plantaire vers l'extérieur. Source : Le grand dictionnaire terminologique, CDRM-SNI, 2000

4.2.2.3 Temps pour l'impact

Pour la caserne « B », l'analyse de variance montre qu'il n'y a aucune différence significative entre les différentes conditions de descente pour le Temps pour l'impact (figure 4.52, $F_{(1,3)}=1,54$; $p=0,216$). Cependant, lorsque l'on compare ces conditions de descente très similaires, on constate que la descente de l'auto-pompe avec la technique « dos à la rue » (« PCP-dos ») permet d'augmenter de 29 ms le temps pour atteindre la force maximale, par rapport à celle où les pompiers sont « face à la rue » (« PCP-face »). Ces résultats suggèrent que la technique de descente « dos à la rue » assure un meilleur contrôle durant la phase de réception pour ces deux types de véhicule.

4.2.2.4 Perception de la sécurité

L'analyse de variance pour la perception de la sécurité montre qu'au moins une condition est significativement différente des autres (voir la figure 4.53, ($F_{(1,3)}=2,86$; $p=0,045$). La comparaison des conditions de descente deux à deux montre que descendre de la palette du camion-citerne « dos à la rue » est perçu comme « plus sécuritaire » que descendre de la palette de l'auto-pompe « face à la rue ». L'amplitude de l'impact qu'entraînent les descentes « face à la rue » ne semble donc pas être considérée comme étant un facteur majeur pouvant affecter la sécurité des pompiers de la caserne « B » lors de la descente de camion, contrairement à la caserne « A » où la vision du trafic environnant est considérée comme le facteur le plus important pour leur sécurité.

4.2.3 Discussion sur le stress biomécanique lors de la descente

Les résultats suggèrent qu'il y a présence de stress bio-mécanique aux membres inférieurs lorsqu'on descend d'un véhicule d'urgence, mais que ce niveau de stress peut varier selon les conditions de descente. La plus grande partie de la force d'impact transmise au corps provient du mouvement de descente verticale. Ceci explique pourquoi les composantes antéro-postérieures et médio-latérales de la force totale ont peu, sinon pas d'effet sur la force sagittale et frontale, respectivement. Lorsqu'un pompier descend d'un véhicule d'urgence « face à la rue », la force de l'impact peut atteindre 3,6 fois le poids de son corps (sans les vêtements de protection). Les forces mesurées dans cette étude-ci sont supérieures à celles rapportées par Patenaude et al. (1999) dans son étude de la descente de cabines de camion. Elles sont cependant égales ou inférieures à certaines conditions de descente réalisées par Liberty Mutual (Fathallah et Cotnam 2000).

La force de l'impact au sol est fonction de la vitesse de la descente verticale, laquelle dépend de la hauteur de départ mais aussi du contrôle que le pompier peut exercer sur sa descente. En effet, l'analyse des vidéos des descentes montre que le fait d'avoir en main un outil, et la présence ou l'absence d'appuis pour les mains comme des poignées ou des mains courantes, peut influencer le rôle des membres supérieurs pour contrôler la descente. Ainsi, la hauteur de la marche ou du marchepied n'est pas le seul facteur pouvant influencer la force d'impact; le rôle du pompier dans son équipe (qui peut déterminer s'il doit ou non transporter un outil) et la conception des accès du véhicule d'urgence (dont dépend le nombre, la localisation et la dimension des appuis pour les mains et les pieds), peuvent aussi influencer la descente.

À la caserne « A », les forces d'impact au sol les plus importantes ont été mesurées pour la descente « Face à la rue » (condition « Cabine-face »). À titre de comparaison, la descente au même endroit mais « dos à la rue » (condition « Cabine-dos ») génère significativement moins d'impact au sol. Pour cette dernière condition, on a pu observer un meilleur contrôle de la jambe réceptrice et une utilisation plus fréquente des mains pour contrôler la descente. Les forces d'impact F_z les plus faibles ont été enregistrées pour la descente de l'échelle de toit (condition « Toit-bas » et « Toit-haut »), où les sujets n'avaient pas d'outils dans leur main et pouvaient utiliser leurs deux mains sur les mains courantes du véhicule. Des résultats similaires ont aussi été observés chez les pompiers de la caserne « B » lors des descentes avec l'utilisation d'une technique face à la rue.

Les valeurs de temps les plus importantes pour l'impact (donc, la dissipation d'énergie la plus favorable au corps humain) furent enregistrées pour la descente du toit du véhicule, en utilisant le marchepied escamotable (condition « Toit-bas »); la distance verticale au sol est alors de 28 cm, la plus courte de toute l'étude. Si cette condition de descente génère le stress bio-mécanique le plus faible de l'étude, il y a cependant la possibilité que le pied dérape dans le plan frontal, surtout si la surface de réception est inégale ou inclinée. Dans un tel cas, les forces exercées pourraient causer une éversion ou une inversion de la cheville aux limites de sa mobilité articulaire, provoquant ainsi une foulure ou une fracture.

Les résultats suggèrent que l'on est en présence de forces d'impact moindres lors de la descente du véhicule d'urgence « dos à la rue » pour les deux casernes étudiées. Selon nos observations, cette façon de descendre permet un meilleur contrôle de la descente et une meilleure distribution de l'énergie dans le temps lorsque le pied touche le sol. En effet, les sujets font un plus grand usage des poignées et des mains courantes pour se stabiliser, et peuvent contrôler leur vitesse de descente avec la jambe de soutien. De plus, cette technique permet à la jambe réceptrice de toucher le sol plus tôt grâce à la flexion plantaire. Cependant, c'est la condition de descente de la cabine-équipe face à la rue (condition « Cabine-face ») qui est la condition jugée comme la plus sécuritaire par les sujets de la caserne « A », même si c'est cette condition de descente qui amène le plus haut niveau de stress bio-mécanique. Une des explications à ce paradoxe est le meilleur champ de visibilité offert aux pompiers qui descendent du véhicule d'urgence « face à la rue », ce qui leur permet de vérifier la présence d'autres véhicules qui pourraient se trouver sur la voie publique lors d'une intervention. De plus, il serait possible que les pompiers de la caserne « B », desservant une agglomération moins dense et moins peuplée que ceux de la caserne « A », vivent moins la problématique d'une circulation automobile intense autour des véhicules d'urgence. Enfin, les séquences vidéos prises face à la descente montrent une certaine difficulté à faire un volte-face sur les marches ou le palier de la cabine-équipe, surtout lorsque le pompier porte sa bonbonne d'air sur le dos.

Pour les deux casernes, l'ensemble des résultats démontre clairement que l'utilisation d'une technique « face à la rue » pour descendre des camions augmente l'amplitude des forces retransmises aux corps au moment de la réception. La technique « face à la rue » oblige le pompier à déporter le centre de gravité de son corps devant la jambe d'appui. Cette déportation du genou est généralement obtenue par sa flexion contrôlée (travail musculaire excentrique des extenseurs du genou), car il y a très peu de flexion de la hanche avec cette technique. Contrairement à la descente « dos à la rue », cette situation limite considérablement la participation des puissants muscles extenseurs de la hanche (e.g. grands fessiers). De plus, la technique « face à la rue » entraîne un déséquilibre vers l'avant alors que les différentes masses

du corps ne sont plus réparties de façon à conserver une stabilité du corps au dessus de la jambe d'appui (voir la figure 3.3). C'est principalement cette perte d'équilibre qui cause l'augmentation de la vitesse de descente et par conséquent, l'augmentation de la quantité d'impulsion à dissiper au sol au moment de l'impact.

Pour les descentes réalisées avec la technique où le pompier se retrouve « dos à la rue », il est plus facile de contrôler la vitesse de la descente. Premièrement, l'utilisation de la main courante permet par l'intermédiaire de la force de frottement qui est présente entre la main et la poignée de freiner la force exercée par la gravité lors de la descente. L'utilisation de la main courante permet aussi d'améliorer la stabilité du corps avec la jambe d'appui et ce particulièrement, lorsque les pompiers utilisent la main contralatérale à la jambe d'appui (figure 3.4). La stabilité provient aussi du fait que la déportation du corps causée par la flexion de la hanche et du genou de la jambe d'appui est compensée par une légère flexion du tronc. Cette compensation permet donc une meilleure répartition des masses du corps au dessus de la jambe d'appui. Cette technique favorise aussi le dégagement de la jambe de réception loin du marchepied.

Les résultats montrent aussi que le choix de la technique de descente et la conception des accès du véhicule, et non seulement la hauteur de la marche ou les autres facteurs mentionnés par Nigg, peuvent avoir une influence sur l'amplitude des forces d'impact lorsque le pied touche le sol. La conception actuelle des accès ne permet pas de bénéficier des éléments positifs de chacune des méthodes de descente, c'est-à-dire les forces d'impact moindres de la descente « dos à la rue » et un meilleur sentiment de sécurité de la descente « face à la rue ». La descente « face à la rue », pourtant la préférée à la caserne « A », rend difficile l'utilisation de la main courante située sur le côté gauche de la porte lorsqu'on descend. Sa position actuelle, si elle est utilisée, provoque rapidement une rotation externe de l'épaule gauche lorsque le pompier descend la dernière marche de la cabine-équipe. Une solution éventuelle serait l'installation d'une main courante verticale à l'intérieur de la porte, du côté opposé aux pentures. Il serait ainsi possible d'obtenir un meilleur contrôle sur la vitesse de descente par friction de la main sur la main courante, ou en utilisant la force excentrique des extenseurs de l'épaule droite pour diminuer la distance en chute libre depuis la dernière marche. Cette main courante pourrait être stabilisée en bloquant la porte en position ouverte. De plus, l'augmentation de la superficie vitrée de la porte pour améliorer la prise d'information visuelle permettrait aux utilisateurs de mieux contrôler l'affluence des véhicules au moment de la descente.

Le tableau 4.3 résume les différentes valeurs d'impact au sol exprimées en multiple du poids corporel ou en valeurs brutes obtenues dans le cadre d'autres études dans le domaine des sports ou de la sécurité routière. On y remarquera d'abord que ces valeurs sont élevées pour les conditions où la distance au sol lors de la descente est élevée. Dans l'étude de Liberty Mutual (Fathallah et Cotnam, 2000), par exemple, on demandait aux sujets de sauter à pieds joints en position accroupie (« squat jump ») depuis une cabine de conduite de camion se trouvant à 1,07 m ou à 1,25 m du sol, ou depuis le fourgon d'un semi-remorque à 1,14 m du sol. On obtint ainsi des valeurs voisines de sept fois le poids corporel du sujet. Les valeurs les plus élevées mesurées dans cette étude-ci sont de l'ordre de 3,6 fois le poids corporel du pompier. Cependant, il est important de réaliser que les véhicules de lutte aux incendies sont du même gabarit que ceux utilisés dans l'étude de Fathallah et Cotnam, et que des conditions similaires pourraient se reproduire chez les pompiers. Ce tableau met aussi en évidence l'avantage, d'un point de vue biomécanique, de pouvoir contrôler sa descente, en particulier en optant de descendre « face au camion ». Une des valeurs les moins élevées obtenues (1,9 PC) dans l'étude de Fathallah et

Cotnam, est lors de la descente d'un camion de livraison en utilisant les dispositifs prévus pour se tenir, et l'étude de Patenaude et al. obtient des valeurs beaucoup moindre pour des conditions de descente « face au camion » où la « méthode des trois points d'appui » est utilisée.

Tableau 4.3 Tableau comparatif des valeurs d'impact au sol obtenues par diverses études (seules les valeurs minimum et maximum sont citées). L'étude « Marchand et Giguère 2002 » fait référence au présent rapport.

Étude	Condition	Impact au sol	Distance au sol (cm)
Nigg et al. (1981)	Marche Course	1,5 PC 3 à 5 PC	
Nigg et al (1985)	Saut en longueur	8,3 PC	
Patenaude et al. (1999)	Descente « trois points d'appui »	1,36 ± 0,15PC	53,5 - 41,5 cm
Patenaude et al. (1999)	Descente « Face à la rue »	2,15 ± 0,15 PC	53,5 - 41,5 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut de la cabine d'un camion tracteur « COE »	7,1 PC 5794 ± 2273 N	125 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Id., saut à partir de la première marche	1,4 PC 1151 ± 404	38,0 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut de la cabine d'un camion tracteur «conventionnel»	7,2 PC 5832 ± 1920 N	107 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Id., saut à partir de la première marche	1,8 PC 1407 ± 421 N	43 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Descendre d'un « step van » sans se tenir	3,5 PC 2143 ± 688 N	43 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Descendre d'un « step van » en se tenant	1,9 PC 1630 ± 457 N	43 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut à partir du plancher d'une remorque	6,4 PC 4986 ± 1440 N	114 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut à partir de la marche de la remorque	2,1 PC 1661 ± 498 N	36 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut à partir du plancher d'un fourgon	5,5 PC 4410 ± 1638 N	71 cm
Fathallah et Cotnam, 2000	Saut à partir de la marche du fourgon	1,4 PC 1171 ± 471 N	49,3
Marchand et Giguère, 2002	Condition « Cabine-face » de la caserne « A »	3,72 PC 2952 ± 897	58 cm
Marchand et Giguère, 2002	Condition « Toit-bas » de la caserne « A »	1,94 PC 1571 ± 290	28 cm
Marchand et Giguère, 2002	Condition « CCP-face » de la caserne « B »	3,19 PC 3238 ± 919	76,25 cm
Marchand et Giguère, 2002	Condition « PCP-Dos » de la caserne « B »	1,6 PC 1601 ± 219	58,8 cm

Selon les travaux réalisés sur des cadavres frais par Yoganandan et ses collègues (1997), les fractures aux chevilles surviennent lors de force d'impact excédant le 10 200 N. Des travaux similaires (Klopp et al., 1997) mentionnent 50 % de chance de présence d'une fracture à la base du tibia ou du péroné, ou à l'un des os du pied, pour des valeurs d'impact de 9 300 N. Or, dans toutes les conditions de descente analysées dans cette étude-ci, un seul pompier a une force d'impact approchant les 6 000 N. Il s'agissait d'un pompier qui descendait de la cabine face à la rue de façon à tomber sur les deux pieds au moment de la réception. Ce pompier ne contrôlait pratiquement pas sa vitesse de descente avec la dernière jambe en appui sur le marchepied, ce qui causait une chute libre plus importante. Les travaux avec des pièces anatomiques prélevées sur des cadavres frais ont été réalisés dans le cadre d'études sur la traumatologie des accidents de la route. On ne peut pas prétendre que les résultats obtenus dans ce genre d'étude puissent être transposés directement à des études faites avec des volontaires humains, mais certaines conditions présentes chez les pompiers pourraient se rapprocher du point de rupture biomécanique. De plus, il est important de considérer que la surface de réception (sol) lors de la descente des véhicules, dans une situation d'urgence, n'est pas toujours uniforme. Dans ce dernier cas, une force supérieure à trois fois le PC combinée à une éversion ou une inversion de la cheville, entraînerait minimalement une entorse ligamentaire à cette articulation (Petersen et al., 1986).

4.3 Manutention des équipements

4.3.1 Perceptions psychophysiques pour l'ensemble des outils et des équipements

Dans cette section, les résultats présentés et discutés correspondront uniquement à ceux où les analyses statistiques ont permis d'identifier une différence significative (niveau d'erreur α de 0,05 ($p < 0,05$)) de l'effet des variables indépendantes (outils et casernes) sur celles mesurées (perception psychophysique).

Au niveau de l'**effort**, les résultats des analyses de la variance laissent voir des différences significatives de perception entre les outils manutentionnés ($p < 0,05$). En effet, les résultats de la figure 4.54 démontrent clairement que la manutention de l'échelle de 35-45 pieds et des canons (respectivement 5,8 et 5,6 sur l'échelle de Borg) exige une force physique qui est perçue comme étant « un peu élevé » de la part des pompiers. Pour ces deux outils, ces résultats sont principalement attribuables à leur masse importante. Pour les canons, cette masse varie entre 24,9 kg et 54,6 kg d'une caserne à l'autre, alors que celle des échelles de 35-45 pieds se situe entre 38,2 kg et 102 kg.

Au niveau de la **manipulation**, les résultats des analyses de la variance démontrent des différences significatives de perception entre les outils manutentionnés ($p < 0,05$). L'échelle de 35-45 pieds et le canon (respectivement 5,8 et 5,6 sur l'échelle de Borg) obtiennent encore les cotes moyennes les plus élevées qui suggèrent selon les critères établies, une manipulation « un peu difficile » pour les pompiers évalués (voir la figure 4.55). Ces résultats semblent principalement reliés à la localisation de ces outils sur les camions. En effet, pour la majorité des autos-pompes, le canon est situé sur le toit près de la cabine. Cette localisation affecte la manutention de l'outil lorsqu'il devient nécessaire de le transporter en bas du camion. Il existe

cependant certains modèles de canon plus récents démontables en deux ou trois parties. Cela permet de transporter la base dans un des compartiments latéraux de l'auto-pompe. Pour l'échelle de 35-45 pieds, la moyenne élevée des indices psychophysiques est attribuable à la taille, la localisation de celle-ci sur certains camions et à la synchronisation des manœuvres des pompiers lors de sa saisie. Toutefois, le facteur le plus important pour les échelles (12, 24 et 35-45 pieds) demeure leur localisation, celles-ci se retrouvent souvent empilées les unes sur les autres pour plusieurs camions. Cette situation oblige souvent la manutention d'une ou de plusieurs échelles pour atteindre celle qui doit être utilisée. Pour les échelles rangées sur des supports de chaque côté du camion, la principale contrainte est attribuable à l'enlèvement des attaches mécaniques. Celles-ci obligent souvent les pompiers à exercer une force de traction importante dans une position très pénible (le bras tendu au dessus de la tête). Cette position surcharge les muscles fléchisseurs de l'épaule. Pour remédier à cette situation, certains véhicules possèdent des mécanismes qui permettent d'abaisser mécaniquement la position de l'échelle.

Enfin, au niveau de la **sécurité**, les résultats des analyses de la variance présentent aussi des différences significatives de perception entre les outils manutentionnés ($p < 0,05$). C'est encore une fois le canon (5,35) et l'échelle de 35-45 pieds (respectivement 5,35 et 4,9 sur l'échelle de Borg) qui obtiennent les cotes les plus élevées (voir la figure 4,56). Pour les pompiers évalués, la manutention de ces outils les placent dans une situation où ils se sentent « moyennement » en sécurité. Ces résultats semblent principalement attribuables à l'effet combiné de leur localisation (équipements habituellement localisés sur le toit) et de leur poids, qui entraînent des manœuvres souvent périlleuses lors de la descente et ce, particulièrement pour le canon. En effet, la descente du canon vient en tête de liste des situations précaires, et ce même si cette manœuvre n'est pas réalisée très souvent. Pour les échelles de 35-45 pieds, celles-ci sont quelquefois localisées sur un support au dessus des compartiments à boyaux. Cette situation cause souvent des problèmes d'accès majeurs aux équipements. Selon les résultats obtenus pour l'ensemble des outils, les manutentions d'objets lourds à partir d'un rangement localisé en hauteur semblent être celles qui entraînent davantage d'insécurité.

4.3.2 Synthèse par outil ou par équipement

Cette section présente les résultats des manutentions des différents outils et équipements retenus pour l'étude. Nous avons choisi de les présenter en prenant l'outil ou l'équipement comme thème afin de ne pas disperser l'information. La présentation sera la même pour chaque outil, soit :

- une description et une illustration de l'outil ou de l'équipement,
- les données sur l'échantillon recueillies sur le terrain,
- les modalités d'utilisation (usage, rangement, manutention et transport) résumées d'après les entrevues réalisées avec les participants,
- le résumé des observations sur la gestuelle et les incidents fait à partir du vidéo,
- les résultats de l'évaluation psychophysique de la manutention et enfin,

- l'analyse (3DSSPP de l'Université du Michigan) biomécanique de la « meilleure » et de la « pire » situation, selon les perceptions de l'effort.

Les outils et équipements ont été regroupés selon les catégories suivantes :

- a) - les outils et équipement transportés dans des compartiments des véhicules d'urgence, soit :
 - la découpeuse à usage multiple (DUM)
 - la génératrice
 - le ventilateur, ou extracteur de fumée, et
 - le système de désincarcération comprenant le compresseur hydraulique, les ciseaux, les écarteurs ainsi que les blocs de stabilisation.

- b) - les outils et équipements transportés sur ou à l'extérieur du véhicule d'urgence, soit :
 - les échelles (12, 24, 35 et 45 pieds)
 - le canon à eau et,
 - les cales de vérin, et enfin,

- c) - l'appareil de protection respiratoire autonome (APRIA)

Cette section est complétée par un tableau de synthèse.

I - Découpeuse à usage multiple (DUM)

1. - Description :

Essentiellement, une lame circulaire entraînée par un petit moteur à essence, qui sert à pratiquer une ouverture dans les toits pour laisser s'échapper la chaleur et la fumée. Cet équipement est conçu pour être transporté et utilisé par une personne seule. Le démarrage du moteur est manuel.

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur de rangement, en cm, du sol	Camion
1	15,5	112	10
2	12,5	50	-
3	13,2	158	Pesé, non manipulé
4	17,8	54,6	30
5	12,1	147	70
6	12,1	82	-
7	13,4	158	40
8	17,1	60	60

n = 8

Poids moyen : $14,2 \pm 2,2$

La plus légère : 12,1 kg

La plus lourde : 17,8 kg

Situées en moyenne à $92,7 \pm 59$ cm du sol, elles sont rangées dans des compartiments à porte battantes ou coulissantes, et reposent sur des tablettes ou sur un tiroir.

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 24 entrevues) :

3.1 - Utilisation

Les DUM sont principalement utilisées lors de feux dans les édifices afin de pratiquer une ouverture dans le toit pour la ventilation. Ceci implique que la DUM doit être transportée jusque sur le toit. Autres applications : découper les planchers, les portes de garage et des véhicules (avec la lame appropriée).

3.2 - Rangement

Dans les meilleurs cas, la DUM est rangée dans un compartiment à porte coulissante, sur un tiroir, et est accessible directement sans flexion ou torsion importante du tronc (figure 4.57). On rapporte des difficultés dans les situations suivantes :

- il y a plusieurs outils (autre DUM, scie à chaîne,...) dans le compartiment de même qu'un bidon d'essence et un entonnoir, ce qui nuit à la prise directe;
- la DUM est dans un compartiment situé sous la ceinture et est rangée au fond du compartiment;

- vu l'exigüité de certains compartiments, les bras et les épaules peuvent travailler en statique lorsqu'on tente de positionner la DUM au bon endroit; la durée de cette phase s'allonge lorsqu'il y a encombrement par d'autres outils ou que le tiroir bouge.

3.3 - Manutention

Les DUM sont munies de 2 poignées, soit une permettant une prise sur la partie supérieure, l'autre à l'extrémité opposée à la lame; cette dernière est munie de la manette de contrôle des gaz.

3.4 - Transport

Il y a plusieurs méthodes de rapportées pour amener la DUM sur un toit. Quand les effectifs le permettent, elle est hissée sur le toit avec un câble de manœuvre. Quand l'angle de l'échelle n'est pas trop prononcé, elle est tenue d'une main (posture statique) ou sur l'épaule pendant que l'autre main tient la rampe de l'échelle. Elle peut également être montée maintenue en bandouillère par une sangle, mais le commentaire recueilli est que cet arrangement est encombrant dans les échelles étroites.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

Lors du dépôt au sol, deux modes opératoires sont observés pour saisir la DUM. Le premier consiste à saisir la DUM avec les deux mains, soit une main sur la poignée centrale et l'autre sur la poignée munie de la manette des gaz, puis de la dégager du tiroir et du compartiment en la soulevant. L'autre mode observé consiste à placer la DUM dans une position facilitant la saisie à deux mains, ce qui est fait en la tirant ou en la déplaçant en la saisissant par la poignée munie de la manette des gaz; une fois placée d'une façon jugée convenable, la DUM est manipulée selon le premier mode décrit. Le dépôt au sol se fait habituellement d'une main. Dans un seul cas, la DUM a été soulevée puis déposée au sol d'une seule main. Dans d'autres cas observés où la DUM était logée dans la partie postérieure du tiroir, le pompier observé appuyait la partie antérieure de ses jambes ou de ses cuisses sur le bord du tiroir ou de la palette et saisissait la DUM avec une flexion prononcée du dos.

La DUM est déposée au sol avec une flexion du dos dans la moitié des cas observés; on a également observé une flexion combinée du dos et des genoux, la flexion d'une seul genou et, dans un cas, une flexion latérale du tronc.

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour la DUM (figure 4.58), les indices psychophysiques élevés mesurés sur le camion 10 correspondent à un aménagement qui rend difficile l'accès à l'outil. Pour ce camion, la scie se retrouve rangée au fond d'un tiroir dont la tablette se situe à la hauteur des épaules. Dans cette situation, le pompier doit soulever l'outil par dessus ceux qui sont placés sur la partie avant de la tablette. Avec ce rangement, les bras du pompier sont en flexion de 90° (les mains sont portées loin du tronc) avec une charge pouvant atteindre 17,8 kg. Il en résulte un stress physique important aux épaules et modéré au dos à cause de l'effort engendré par cette combinaison : saisie loin du corps et charge importante. De son côté, le rangement de la scie circulaire sur le camion 91 présente des indices psychophysiques peu élevés au niveau de la manipulation et de

l'effort. Ces résultats sont directement attribuables à l'accessibilité et au poids de l'outil. Celui-ci est placé sur une tablette à la hauteur des cuisses et son poids n'est que de 12,5 kg.

4.3 - Évaluation biomécanique

L'analyse des moments de force associés à la manutention de la DUM donne des résultats différents de ceux obtenus à partir de la perception psychophysique de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 1855 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 1157 N (figure 4.59). Dans les deux situations les compressions lombaires mesurées sont inférieures à la limite d'action de 3400 N de NIOSH. Les résultats plus élevés pour la première situation sont attribuables au fait que la scie soit rangée derrière la génératrice sur ce camion. Les pompiers doivent se pencher légèrement pour atteindre l'outil au moment de la saisie. Le moment de force plus élevé mesuré à cet instant vient principalement du poids du tronc qui se retrouve déporté vers l'avant. Dans l'autre situation identifiée comme étant plus pénible, son rangement permet une saisie de l'outil à la hauteur de l'épaule tout en conservant le tronc très droit. Le moment de force le plus élevé se retrouve uniquement au niveau de l'épaule gauche lors de la prise en charge de la scie circulaire.

II - Génératrice

1. - Description :

Équipement transporté ou fixé dans le véhicule d'urgence et qui fournit une source de courant (110 V ac) de façon autonome pour l'éclairage et comme source de puissance pour certains outils. La génératrice est habituellement constituée d'un alternateur entraîné par un petit moteur à essence. L'autonomie est en fonction de la capacité du réservoir. Elle peut être équipée ou non d'un démarreur électrique. Le poids peut varier selon la puissance, la capacité du réservoir et la présence ou non d'une batterie pour le démarreur.

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	70,0	57,0	41
2	78,0	53,0 - 55,0 - 54,6	10, 30, 80
3	89,6	52,0	20
4	18,6	82,0	91
5	49,2		Pesé, non manipulé
6	75,5	52,0	50

n = 7

Poids moyen : 63,6 ± 25,6 kg

La plus légère : 18,6 kg

La plus lourde : 89,6 kg

Situées en moyenne à 57,9 ± 10,7 cm du sol, (sans compter celles qui sont sur le toit des véhicules). Elles sont habituellement rangées dans un compartiment muni soit de portes coulissantes ou de portes battantes; elles peuvent reposer à l'intérieur même du compartiment, ou sur un tiroir qui sort complètement du compartiment. Certaines génératrices sont fixées en permanence au véhicule et peuvent être installées, par exemple, sur le dessus du véhicule; on les dépose au sol seulement pour l'entretien.

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 23 entrevues)

3.1 - Utilisation

La génératrice est utilisée le soir et la nuit pour l'éclairage des lieux du sinistre ou de l'accident. Elle est aussi utilisée s'il y a une panne d'électricité lors d'inondation. La plupart du temps, elle est laissée dans le véhicule d'urgence et le courant est apporté sur les lieux du sinistre au moyen de fils d'extension. Dans un cas, on a rapporté qu'il faut la déposer par terre quand elle fonctionne, à cause des vibrations. Dans un autres cas, elle est utilisée pour faire fonctionner un outil électrique (scie pour désincarcération). C'est un équipement qui est rarement utilisée en première ligne : quand elle doit être transportée, c'est moins urgent. Dans un des SPI visités, il y a une génératrice fixe dans le véhicule d'urgence et une autre, plus petite, qui peut être transportée.

3.2 - Rangement

Les génératrices installées sur des tiroirs qui sortent du véhicule d'urgence sont appréciées à cause de la symétrie de la prise qu'offre cet arrangement (figure 4.60). Les personnes interrogées expriment des réserves pour les compartiments de la génératrice situés du côté du trafic. On rapporte également le risque de se blesser sur les portes qui ont des coins pointus, les autres objets (bidon, entonnoir, ...) rangés dans le même compartiment nuisent à la prise, la position des poignées fait qu'on doit la prendre en torsion dans le compartiment. Il est aussi difficile de la remettre dans ses « coches » dans le compartiment.

3.3 - Manutention

On rapporte que la génératrice est lourde, même pour deux pompiers. Dans le cas où elle est rangée sur le toit, il faut être trois pour la descendre, soit un pompier sur le toit et deux au sol.

3.4 - Transport

Lorsqu'elle doit être déplacée, elle peut l'être sur des distances de 15 à 30 m, parfois par dessus ou autour d'obstacles. On rapporte également qu'on se cogne les genoux sur le châssis lors du transport. Même équipée de roues, elle doit quand même être soulevée pour passer les obstacles;

4 - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

Pour déposer la génératrice au sol, la manutention se fait généralement en deux temps, soit un bref soulèvement, ou une traction de la génératrice pour la placer juste sur le bord du compartiment ou du tiroir, puis un allègement franc pour la déposer au sol. La manœuvre se fait avec les deux mains.

Dans les cas où la porte du compartiment s'ouvrait par une charnière verticale, on pouvait observer une flexion ou une torsion du dos, de même qu'une hyper-extension du bras et de l'épaule, chez le pompier qui saisissait la génératrice du côté de la porte; dans le cas où la porte s'ouvrait par en haut (charnière horizontale), on pouvait observer une flexion plus prononcée de la tête et de la colonne cervicale pour ne pas que la tête et / ou le casque ne heurtent la porte.

Dans un cas où la différence de taille entre les deux pompiers était supérieure à cinq centimètres, on pouvait observer une extension du pied chez le plus petit (levait sur la pointe des pieds). Lorsque d'autres outils et équipements encombraient le compartiment, un des modes opératoires observé était la sortie en cisaillement, i.e. qu'on tirait d'abord vers l'extérieur l'extrémité de la génératrice correspondant à la région la moins encombrée du compartiment, ce qui permettait une meilleure prise pour la déposer au sol;

Pour déposer la génératrice au sol, les pompiers faisaient soit une flexion du dos, soit une flexion des deux jambes ou d'un genou en gardant le dos droit. Dans le premier cas, il est arrivé à deux reprises que les casques ou la tête des pompiers viennent en contact lorsqu'ils étaient face à face pour fléchir le dos; malgré que des points de saisie soient prévus sur les génératrices, elles peuvent aussi être saisies par le carter du moteur ou de l'alternateur. Une fois la génératrice au sol, elle peut servir de point d'appui pour se relever.

Pour remettre la génératrice en place, à l'instar de la dépose, l'opération se fait habituellement en deux phases, soit la levée et le dépôt sur le tiroir ou le compartiment; elle peut également être « balancée » en place, mais ce mode opératoire est moins fréquent. D'une façon générale, la génératrice est levée beaucoup plus haut que la surface du tiroir ou du compartiment, pour ensuite être déposée sur le tiroir ou dans le compartiment. Un segment important de travail statique peut être observé lorsque le tiroir sur lequel les pompiers s'appêtent à déposer la génératrice ne peut se fixer en position sortie; le tiroir se déplace alors lorsqu'on essaie d'y déposer la génératrice, ce qui oblige les pompiers à la maintenir en l'air plus longtemps.

Dans certains autres cas, la génératrice doit être replacée exactement dans des loquets ou des rails, ce qui implique aussi un segment de travail statique; sur d'autres installations, les pompiers « brassent » la génératrice pour qu'elle se place d'elle-même dans les rails. Les cuisses ou le bassin sont utilisés pour pousser le tiroir dans le compartiment;

4.2 - Évaluation psychophysique

Les perceptions psychophysiques mesurées lors de l'utilisation de la génératrice (figure 4.61) démontrent un indice élevé pour le camion 10. Ces résultats sont principalement attribuables à la masse élevée (78 kg) et à la posture très asymétrique que doivent adopter les pompiers pour saisir l'outil. En effet, malgré que la génératrice soit disposée sur une tablette coulissante permettant de la sortir de son compartiment de rangement, son accessibilité est réduite par la présence d'un bidon d'essence placé à ses côtés. Cette situation force un des deux pompiers à demeurer devant la tablette au moment de la saisie. À ce moment, la charge se retrouve entièrement déportée sur la gauche du corps. La saisie des poignées se fait avec le bras gauche placé en abduction de plus de 60° (celle-ci varie en fonction de la taille des pompiers). La manœuvre de débarquement s'effectue en deux temps: (1) la génératrice est d'abord glissée près du rebord de la tablette et (2) soulevée après que les pompiers se soient rapprochés de la charge. Cette stratégie a l'avantage de permettre l'utilisation d'une posture moins asymétrique au moment de la prise en charge totale de la génératrice. De l'autre côté, les perceptions psychophysiques mesurées avec le camion 91 présentent les indices les plus bas. Ces indices peu élevés sont directement reliés à la masse (18,6 kg) et à la disposition de la génératrice qui permettent l'utilisation d'une prise très symétrique de la part de deux pompiers. En effet, la tablette coulissante permet de dégager complètement l'outil de côté du camion de manière à la rendre très accessible de chaque côté pour les pompiers.

4.3 - Évaluation biomécanique

Pour la génératrice, les résultats de l'analyse des moments de force valident la perception de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 1357 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 3908 N. Pour la plus difficile, les compressions lombaires mesurées donne des résultats légèrement supérieurs à la limite d'action de 3400 N proposée par NIOSH. Ce résultat est directement associé à la présence d'un bidon d'essence placé sur le côté gauche de la génératrice. En effet, malgré l'aménagement d'un tiroir coulissant qui permet une sortie complète de l'outil hors de son compartiment de rangement, cette disposition de la génératrice et du bidon a pour effet d'éloigner le pompier de sa prise au moment de la saisie. Comme le démontre la figure 4.62, la plupart des pompiers observés saisissent la génératrice en demeurant à l'avant du tiroir coulissant (45° par rapport à la prise), ce qui occasionne une prise asymétrique avec un moment de force

médio-latéral de 80,1 Nm. Cette stratégie est utilisée pour rapprocher la charge du corps au moment de la saisie car la prise symétrique sur le côté du tiroir entraînerait, selon l'éloignement causé par le bidon d'essence, un moment plus élevé que celui mesuré ici. Pour améliorer cette situation, le bidon pourrait être placé derrière la génératrice et celle-ci orientée dans l'autre direction tout en demeurant sur la bord externe du tiroir.

III - Ventilateurs

1. - Description :

Équipement transporté dans le véhicule d'urgence et qui est utilisé pour chasser ou expulser la fumée d'un bâtiment. Il s'agit en fait de gros ventilateurs fonctionnant soit à l'électricité ou soit à l'aide d'un petit moteur à essence. Certains modèles créent une pression positive (forcent le remplacement de l'air vicié par un apport d'air extérieur) ou à pression négative (forcent la sortie de l'air viciée en faisant un vide).

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur de rangement, en cm, au sol	Camion
1	28	167	10
2	22,2	54,6	30
3	28	65	41
4	28	55,9	-
5	28	48	70
6	28	55	80
Moyenne	27,0	55,7	Excluant A pour
Écart-type	2,4	6,1	la hauteur.
« Helisphere » 1	33,9	57	41
« Helisphere » 2	33,1	55,7	-
Ventilateur « PPV »	52,5	-	91

n = 9

Poids moyen : 27,0 ± 2,4 (N=6; Helisphere et PPV exclus du calcul)

Le plus léger : 22,2 kg

Le plus lourd : 28,0 kg

Situés en moyenne à 55,7 ± 6,1 cm du sol, ils sont généralement rangés dans des compartiments à portes battantes ou coulissantes, et reposent sur des tablettes ou sur un tiroir. Dans certains cas, ils sont transportés par l'unité d'urgence, ou sur le dessus du camion, dans quel cas il faut y accéder au moyen d'échelons.

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 30 entrevues) :

3.1 - Utilisation

Les ventilateurs (figure 4.63) servent à expulser la fumée, ou un gaz comme l'ammoniac, d'un local ou d'une habitation. Ils ne sont pas utilisés pour les feux de véhicules. Ils sont utilisés de façon régulière, même pour les « feux de chaudières » même s'il n'y a que peu de production de fumée, car ils améliorent la visibilité et aident à chasser les odeurs. Même s'ils sont utilisés en deuxième ligne, il faut qu'ils soient sur place rapidement.

3.2 - Rangement

Les commentaires font davantage référence au fait qu'il y a beaucoup d'autre matériel logé dans le compartiment du ventilateur; il faut d'abord sortir ce matériel avant de pouvoir sortir le ventilateur, ce qui prend plus de temps. L'exiguïté des compartiments fait que le travail à deux pompiers pour le sortir est difficile. Dans certains cas, il faut soulever le ventilateur d'un ou deux centimètres pour pouvoir le sortir de son compartiment.

3.3 - Manutention

C'est parfois le chauffeur (et opérateur de la pompe) qui aide à le sortir du compartiment. Ce n'est pas tellement le poids du ventilateur que ses dimensions et le manque de prise (« il n'a pas de poignée ») qui suscitent des commentaires. « Il est trop large pour pouvoir bien le prendre, t'as plus de force »).

3.4 - Transport

Les dimensions du ventilateur plus que son poids le rendent difficile à transporter, surtout dans des endroits exigus comme les escaliers. En principe, il y a toujours deux pompiers pour transporter un ventilateur, mais un seul pompier peut le faire s'il manque du personnel. Également, les deux pompiers peuvent se partager la tâche : pendant que l'un transporte le ventilateur, l'autre amène les fils d'extension électriques et le crochet pour le cadre de porte (ou le tuyau d'échappement si c'est un Helisphere). La forme et les dimensions du ventilateur fait qu'on s'accroche les genoux sur les arêtes lorsqu'on marche; la solution à cet inconvénient est de le transporter plus haut, ce qui amène une fatigue physique supplémentaire. Aussi, lorsqu'on le transporte à deux sur des débris, il faut une bonne coordination, car le pompier qui ferme la marche ne voit pas ce qu'il y a par terre; la solution à ce problème pourrait être de marcher côte à côte, mais ce n'est pas toujours possible sur des débris.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

Dans la plupart des cas, le ventilateur est entreposé dans un compartiment dont la partie inférieure est située entre 48 et 55 cm du sol. Le centre de l'équipement est donc situé au niveau ou en dessous de la taille. La dépose au sol se fait en deux temps soit un bref soulèvement et une traction d'une main pour placer le ventilateur à l'endroit désiré, puis la saisie à deux mains pour le dépôt au sol. Pour obtenir une saisie à deux mains, le ventilateur est le plus souvent amené en équilibre sur le rebord du compartiment (ou de la palette dans certains cas), puis basculé pour faciliter l'accès de la main à l'autre extrémité du ventilateur. On a également pu observer une rotation en cisaillement du ventilateur, ou encore le pompier qui se déplaçait au lieu de déplacer

le ventilateur. Dans les cas où le compartiment donnait sur une palette, le ventilateur était tiré sur la palette puis saisi directement à deux mains.

Sur un des véhicules, le ventilateur était entreposé dans une espèce de cage sur le dessus du camion. Le pompier devait ôter la housse de protection, puis tirer le ventilateur vers le haut pour le sortir de la cage, puis il le déposait en diagonal sur la cage pour pouvoir mieux le reprendre. Il n'y avait de l'espace que pour un seul pompier pour faire cette manœuvre. Le pompier saisissait ensuite le ventilateur à deux mains et devait se pencher dans le vide pour qu'un autre pompier, au sol, le saisisse.

Enfin, dans un autre cas, le ventilateur était logé sur une tablette dans une unité d'urgence. Un des pompiers doit sortir de l'unité d'urgence en se déplaçant de dos, avec une main qui tient le ventilateur et l'autre, un élément de structure du camion pour éviter de perdre l'équilibre. L'autre pompier saisit l'autre extrémité du ventilateur à deux mains et le retient dans la descente.

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour le ventilateur (figure 4.64) les résultats obtenus démontrent que ce sont les pompiers associés au camion 10 qui sont les plus incommodés par la manipulation de cet outil. Cela est principalement attribuable au fait que le ventilateur soit localisé sur le toit du camion. Lors de la saisie, le pompier doit le soulever très haut par rapport à son corps (flexion des épaules à plus de 90°). Ce mouvement est attribuable à la profondeur du support qui permet de stabiliser le ventilateur lors de son transport. Une fois sorti du support, le pompier doit effectuer un mouvement combiné de flexion et de torsion du tronc pour le déposer près de l'échelle d'accès au toit. À part la torsion, l'asymétrie du mouvement est aussi causée par le fait que la charge est décentrée par rapport au tronc du pompier. Finalement pour le descendre, le pompier doit réaliser une flexion du tronc importante pour le passer à son coéquipier qui lui, reçoit cette charge avec les bras placés au dessus des épaules, au pied de l'échelle d'accès. Il s'agit pour ce dernier de manipuler une charge de 28 kg au dessus de sa tête, ce qui rend l'équilibre de la posture précaire. Pour l'indice le plus bas mesuré avec le camion 60, le ventilateur est rangé dans un compartiment (sans tiroir coulissant) qui permet une prise symétrique de l'outil à la hauteur de la ceinture. Cette situation démontre qu'il n'est pas toujours nécessaire d'installer des tiroirs coulissants pour des objets manipulés par un seul pompier et ce, principalement lorsque le rangement est situé sur le côté du camion.

4.3 - Évaluation biomécanique

Pour le ventilateur, les résultats de l'analyse des moments de force appuient la perception de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 2752 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 2792 N (figure 4.65). Il faut cependant noter ici que, pour le calcul des moments de force pour la situation « la moins difficile », l'image vidéo disponible montre que le ventilateur touche les cuisses du pompier. Pour ce cas uniquement, les valeurs de compression lombaire calculées par 3DSSPP seraient légèrement surestimées. Pour le premier camion, la porte à ouverture latérale permet au pompier de s'approcher près de la charge. Toutefois, il est important de noter que les pompiers observés sur ce camion devaient préalablement enlever deux autres outils qui limitaient l'accès au ventilateur avant de commencer la manœuvre. Pour la plupart des pompiers observés, le ventilateur était d'abord tiré sur le rebord du rangement et soulevé au moment de basculer sur

le rebord de la tablette. Cette stratégie de mouvement permet de réduire les contraintes dans ce type d'aménagement.

Pour l'autre camion, l'accès au ventilateur est plus difficile étant donné qu'il est localisé sur le toit. Comme le présente la partie gauche de la figure 4.65, l'outil se retrouve encastré dans un support vertical et l'espace pour les jambes et les pieds est vraiment très restreint. Pour sortir l'outil, les pompiers doivent le soulever uniquement à la verticale. Cette situation implique des contraintes importantes aux épaules (plus spécifiquement la gauche) avec des flexions et abductions supérieures à 90° avec une charge relativement lourde, et une stabilité posturale précaire compte tenu de l'espace restreint pour se former une base de sustentation (support) convenant au déséquilibre possible créé par le soulèvement du ventilateur.

IV - Le système de désincarcération (compresseur, ciseaux, écarteurs, blocs de stabilisation)

1. - Description

Ce système est composé d'une source d'énergie (compresseur entraîné par un moteur à essence) qui alimente les outils (ciseaux et écarteurs). Il sert principalement à découper un véhicule accidenté afin d'en retirer une victime. Les ciseaux sont en fait de grosses pinces actionnées par un piston hydraulique, capable de découper une tôle de voiture. L'écarteur, également actionné par un piston hydraulique, joue le rôle d'une pince inversée et sert, par exemple, à ouvrir de force une portière coincée. La puissance de ces outils provient d'un compresseur hydraulique mû par un petit moteur à essence. La puissance est amenée aux outils par des tuyaux flexibles. Avant de procéder au sauvetage, les pompiers s'assurent que le véhicule accidenté est stable; pour ce faire, ils disposent d'une panoplie de blocs de bois de formes et de tailles différentes qu'ils utilisent pour caler le véhicule accidenté bien en place. Plusieurs informations étant redondantes, ces quatre outils et équipements sont ici traités ensemble.

2. - Échantillon :

2.1 - Compresseur :

Compresseur	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	20,4	52,0	20
2	48,8	54,6	31
3	33,2	58,0	81

n = 3

Poids moyen : 34,1 ± 14,2

Le plus léger : 20,4 kg

Le plus lourd : 48,8 kg

Situé en moyenne à 54,9 ± 3,0 cm du sol

2.2 - Ciseaux

Ciseaux	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	19,2	53,0	31
2	19,4	57,0	41
3	12,0	88,0	60
4	17,3	58,0	81

n = 4

Poids moyen : 16,9 ± 3,4

Le plus léger : 2,0 kg

Le plus lourd : 19,4 kg

Situé en moyenne à 64,0 ± 16 cm du sol

2.3 - Écarteurs

Écarteurs	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	19,0	50,8	20
2	19,4	50,3	31
3	19,2	57,0	41
4	19,0	88,0	60
5	17,3	58,0	81

n = 5

Poids moyen : 18,8 ± 0,8

Le plus léger : 17,3 kg

Le plus lourd : 19,4 kg

Situé en moyenne à 60,8 ± 15,6 cm du sol

2.4 - Blocs de stabilisation

Étant donné qu'il y a plusieurs pièces de bois différentes, nous avons procédé comme suit :

- dans une des casernes où les blocs étaient rassemblés dans un bac de plastique, nous avons pesé le bac et son contenu. Son poids était de 27,9 kg et il était transporté sur le toit du véhicule d'urgence à 194,7 cm du sol.
- dans les autres casernes, les blocs étaient « cordés » dans un compartiment latéral, à une hauteur au sol variant entre 48 cm et 88 cm; dans ce cas, nous avons pesé les plus gros. Les poids variaient de 3,26 kg à 8,6 kg.

3.- Modalités d'utilisation (synthèse de 12 entrevues) :

3.1 - Utilisation

La fréquence d'utilisation varie beaucoup d'une caserne à l'autre, le minimum semble être deux fois par année. Tel que mentionné, ce système est utilisé pour découper des voitures accidentées afin d'en retirer les victimes. Sauf exception, le système est conçu pour être transportable car certains véhicules accidentés se retrouvent en des endroits non accessibles par les véhicules d'urgence.

Selon une procédure, on doit utiliser les pinces ou les écarteurs à deux, mais dans la pratique, les deux pompiers vont utiliser l'outil à tour de rôle. Ces outils ne sont pas utilisés sur de longues périodes de temps. Parmi les éléments rapportés, on note l'emphase sur la bonne technique d'utilisation (« l'écarteur peut te coincer contre le véhicule accidenté et les commandes »). Les pompiers rencontrés apprécient les commandes analogues à celle d'une moto (augmentation de la puissance avec une rotation horaire de la poignée des gaz).

3.2 - Rangement

Le compresseur, les écarteurs et les ciseaux sont habituellement rangés dans un même compartiment (figures 4.66 et 4.67). Dans une des casernes visitées, le compresseur est fixé dans le compartiment, car on dispose de longueurs suffisantes de tuyaux flexibles pour répondre à leur besoin. Les pompiers rencontrés apprécient l'installation dans des compartiments à tiroir, sauf quand il est encombré par d'autre matériel. Une autre remarque portait sur l'importance d'avoir une bonne prise sur l'outil pour le sortir de ses « clips » sur le tiroir. En ce qui concerne les blocs, ceux-ci sont « cordés » dans un des compartiments attenants et le seul commentaire négatif a été qu'on pouvait se cogner les genoux sur le bord inférieur du compartiment en les prenant. Dans une des casernes, l'ensemble des blocs était rangé dans un grand bac de plastique, lui même entreposé sur le dessus de l'auto-pompe; ce bac n'offrait pas une bonne prise aux dires des pompiers de cette caserne. Après l'intervention, il faut les remettre en place : « c'est comme un casse-tête »

3.3 - Manutention

Les pompiers interrogés ne trouvent pas que les compresseurs sont lourds et apprécient les poignées pour la prise et le transport. Les commentaires ont surtout portés sur la manutention lors de l'utilisation des ciseaux et des écarteurs; les pompiers sont sensibles à la répartition du poids de l'outil et à l'encombrement causé par la présence des tuyaux. Les pompiers qui ont une expérience de travail dans plusieurs casernes connaissent le poids relatif de ces équipements, par marque et par année de fabrication. En ce qui concerne les blocs, ceux-ci posent problèmes seulement lorsqu'il sont transportés tous ensemble dans un grand bac, spécialement lorsque ce dernier doit être descendu du dessus du camion « c'est comme un verre d'eau - il faut le tenir pour ne pas qu'il verse ».

3.4 - Transport

Le compresseur n'est pas déplacé souvent puisque la plupart des installations disposent de longueurs de tuyaux suffisantes. Lorsque tout le système doit être transporté, un premier pompier transporte un longueur de tuyau autour de son cou, l'écarteur dans une main et il saisit le compresseur de l'autre main; l'autre pompier procède de la même façon cette fois en transportant les ciseaux. Pour le compresseur, le principal problème rapporté est le transport lorsque le sol est glacé : la cadence des deux pompiers est alors importante, comme pour le transport des échelles. Le poids du compresseur ne semble pas être un problème.

3.5 - Autres considérations

Le respect des victimes semble être une considération importante lors de ce type d'intervention. Ainsi, le faible bruit émis par certains modèles est jugé important, tout comme le fait d'avoir suffisamment long de tuyaux hydrauliques pour stationner le véhicule d'urgence de façon telle à ce que ses gaz d'échappement n'incommodent pas les blessés.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

Compresseur : l'installation du compresseur sur un tiroir qui dégage trois des côtés de l'équipement peut certes limiter le travail en torsion. Cependant, cet agencement oblige à d'abord lever le compresseur du tiroir, puis à l'y maintenir pendant la phase de translation, avant de le déposer au sol, ce qui implique alors une extension des épaules.

Ciseaux et écarteurs : sur la plupart des installations, il est possible de saisir le ciseau et l'écarteur des deux mains et de les lever à la hauteur de la poitrine pour les dégager de leur support, avant de les déposer au sol. Dans les cas où ces équipements ont été saisis d'une seule main, c'est que l'autre main devait tirer sur le tuyau flexible pour avoir assez de longueur pour déposer l'outil au sol.

Blocs de stabilisation : cet équipement varie beaucoup d'une caserne visitée à l'autre, certaines ayant des jeux de blocs de bois fabriqués sur mesure et s'imbriquant les uns dans les autres pour le rangement tandis que dans d'autres, des blocs de bois de différentes tailles étaient simplement entreposés en vrac dans un des compartiments du véhicule d'urgence.

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour le compresseur (figure 4.68), c'est l'aménagement du camion 81 qui présente les indices psychophysiques les plus élevés au niveau de la manipulation, de l'effort et de la sécurité. Il semble que cette perception soit davantage reliée à la présence de la palette arrière qui rend difficile l'ouverture de la porte *roll-up* et au tiroir coulissant qui est difficile à sortir du compartiment. Cette palette gêne les pompiers lors de la prise du compresseur. Ceux-ci doivent se placer à angle par rapport à la charge et utiliser une prise sur le côté du corps (prise asymétrique) pour soulever la charge. Pour la situation identifiée comme étant la moins pénible (camion 20), le rangement sur le côté du camion avec une porte à ouverture latérale permet une saisie à la hauteur des cuisses près du corps. Le compresseur est d'abord amené sur le rebord du compartiment, puis soutenu jusqu'à ce qu'il touche le sol.

Pour la manutention des ciseaux de désincarcération (figure 4.69), l'ensemble des perceptions psychophysiques évaluées laisse voir que les conditions de travail du camion 81 présentent les deux indices (manipulation et effort) les plus élevées. Cette situation est principalement attribuable au fait que les ciseaux sont placés derrière le compresseur. Les pompiers doivent travailler avec une charge très éloignée du centre du corps. À la saisie, la flexion du tronc excède les 30° et l'angle de flexion des bras par rapport au tronc et de 90°. Cette situation entraîne des moments de force importants au niveau de l'articulation L5-S1 causés principalement par la posture (distance importante entre le ciseau et les hanches) et la masse du ciseau manipulé qui est de l'ordre de 33 kg. De son côté, la disposition du ciseau sur le camion 61 présente les indices psychophysiques les plus bas mesurés. Dans cette caserne, le ciseau sur un tiroir coulissant est situé à la hauteur des hanches des pompiers. Le tiroir permet de dégager complètement l'outil de la façade arrière du camion de façon à permettre aux utilisateurs de saisir la charge près du corps et de façon symétrique.

Pour les blocs de stabilisation (figure 4.70), c'est le rangement proposé au camion du 81 qui présente les indices psychophysiques les plus élevés au niveau de l'effort et le camion 20 pour la

manipulation et la sécurité. Pour le camion 81, les blocages sont placés dans un compartiment aménagé sur le côté du camion. Les pompiers doivent ouvrir deux portes pour les atteindre. La première porte est de type « roll-up » et s'ouvre à la verticale. La deuxième porte comprend une charnière et l'ouverture est aussi à la verticale. Cette demi-porte offre un accès restreint par le haut du compartiment des blocs. Cet aménagement rend difficile et contraignante la saisie des blocages rangés au fond du compartiment. Selon nos observations, la pire condition se retrouve davantage sur le camion 20. Sur ce camion, les blocages sont rangés sur le toit, ce qui rend l'accès difficile. Tous les blocages sont contenus dans un panier, ce qui rend la charge à manutentionner plus lourde. Lors de la saisie, la charge est tenue loin sur le côté du corps. Cette situation entraîne des contraintes importantes aux épaules et un travail musculaire asymétrique pour le dos. Pour l'aménagement identifié comme étant le moins pénible au niveau de la manipulation et de l'effort (camion 31), les blocages sont rangés à l'unité dans le compartiment arrière du camion. Plus spécifiquement, les blocages sont placés sur des tablettes situées de chaque côté du compartiment. La seule contrainte est attribuable à la présence de la palette arrière qui garde les pompiers éloignés de la charge au moment de la manutention.

4.3 - Évaluations biomécaniques

4.3.1 - Manutention du compresseur

Les résultats de l'analyse des moments de force (figure 4.71) démontrent une incompatibilité entre la perception de l'effort des pompiers et les contraintes mécaniques exercées à l'articulation L5-S1. La situation perçue comme étant la moins difficile cause même une compression lombaire (3616N) légèrement supérieure à la limite de 3400N. Cette situation semble attribuable au fait que la manutention est réalisée par un seul pompier. Celui-ci doit manipuler un petit compresseur de 20 kg placé dans un compartiment sur le côté du camion. L'absence de tiroir coulissant et la profondeur du compartiment oblige le pompier à faire une flexion du tronc. C'est principalement cette flexion qui augmente le moment de force antéro-postérieur exercé à L5-S1 (-211,6 Nm). Pour l'autre situation jugée plus pénible par les pompiers évalués, l'observation de la manœuvre suggère que cette perception élevée de l'effort provienne de la difficulté à tirer le tiroir coulissant vers l'extérieur. La présence de la palette arrière oblige les pompiers à réaliser des efforts effectués à bout de bras (ouvrir la porte coulissante et sortir le tiroir). Elle oblige aussi les pompiers à saisir la charge sur le côté du corps ce qui entraîne une contrainte asymétrique sur le rachis lombaire. Cette charge asymétrique se manifeste par un moment de force médio-latéral plus élevé pour cette situation (29,8 Nm).

4.3.2 - Manutention des ciseaux

Pour le ciseau, les résultats de l'analyse des moments de force (figure 4.72) valident la perception de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 1931 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 2109 N. Pour le premier camion, le tiroir coulissant permet de dégager complètement la palette. Le pompier peut réaliser une prise de l'outil à la taille sans flexion du tronc pour les personnes de taille moyenne. Sur l'autre camion, la tablette est plus basse (à la hauteur du genou) et ne permet pas un dégagement complet de la palette. De plus, la disposition du compresseur vient obstruer l'accès au ciseau. Les pompiers doivent donc fléchir le tronc pour atteindre le ciseau et le déplacer en bordure du tiroir.

Selon les observations réalisées sur les autres camions, le camion 41 présente aussi une solution intéressante pour le rangement du ciseau. Ce camion dispose de tiroirs coulissants placés à la verticale qui offrent un dégagement complet de l'outil par rapport au côté du camion. Cet aménagement permet une prise très rapprochée du corps et centrée qui limite les contraintes asymétriques exercées sur le dos.

4.3.3 - Manutention des écarteurs

Les résultats de l'analyse des moments de force valident la perception de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 2207 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 2607 N. Dans les deux situations les compressions lombaires mesurées sont bien inférieures à la limite d'action de 3400 N proposée par NIOSH. Au niveau de l'aménagement de la situation la moins pénible (Figure 4.73), la présence du tiroir coulissant permet aux pompiers d'amener la charge à la hauteur de la taille au bord de la palette arrière, ce qui a pour effet de limiter la flexion du tronc. Cette situation favorable pour le dos peut toutefois entraîner des abductions importantes aux épaules pour les pompiers de petites tailles.

Pour la situation perçue comme la plus pénible, les contraintes exercées au dos sont associées au fait que le tiroir coulissant ne permet pas de dégager complètement la palette arrière de l'auto-pompe. Les pompiers doivent donc réaliser des flexions du tronc plus importantes pour saisir l'écarteur, ce qui a pour effet d'augmenter le moment de force à L5-S1 (-148,3 Nm).

4.3.4 - Manutention des blocs de stabilisation

Les résultats de l'analyse des moments de force (figure 4.74) valident la perception de l'effort des pompiers. L'aménagement du camion où l'effort était perçu comme étant plus élevé entraîne les forces de compression lombaire les plus élevées. Toutefois, il est important de noter que la manutention des blocs ne cause pas de contraintes physiques importantes sur l'ensemble des camions évalués. Aucune manutention n'entraîne une compression lombaire supérieure à la limite permise de 3400N. En effet, la situation perçue comme étant la moins difficile donne une compression lombaire de 1072 N et celle considérée difficile produit une force de 1444 N.

V - Échelles de 12 pieds, de 24 pieds, de 35 pieds et de 45 pieds

1. - Définition :

Équipements utilisés pour accéder à des structures en hauteur. Sur les véhicules d'urgence examinés, elles sont habituellement disponibles en trois longueurs, soit 12 pieds (3,65 m), 24 pieds (7,3 m) et une échelle à sections télescopiques pouvant atteindre 35 pieds ou plus (10,6 m) lorsque déployées.

2 - Échantillon :

2.1 - Échelles de 12 pieds (3,65 m)

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	16,8	130	10
2	16,8	223,6	20
3	13,3	183	30
4	13,2	135	40
5	13,6	170	50
6	16,3	184	60
7	16,3	113	70
8	13,2	249	80
9	16,8	178	90

n = 9

Poids moyen : $15,13 \pm 1,75$

La plus légère : 13,2 kg

La plus lourde : 16,8 kg

La hauteur moyenne par rapport au sol est de $173,9 \pm 43,9$ cm

2.2 - Échelles de 24 pieds

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	38,0	130	10
2	33,6	223,6	20
3	33,9	183	30
4	32,3	135	40
5	32,3	170	50
6	38,2	184	60
7	38,2	113	70
8	38,2	249	80
9	38,2	178	90

n = 9

Poids moyen : $35,87 \pm 2,75$

La plus légère : 32,3 kg

La plus lourde : 38 kg

La hauteur moyenne par rapport au sol est de $173,9 \pm 43,9$ cm

2.3 - Échelles de 35 pieds et plus

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	102,9	254	20
2	101,0	135	40
3	100,0	190	60
4	102,0	249	80

n = 4

Poids moyen : $101,47 \pm 1,25$

La plus légère : 100,0 kg

La plus lourde : 102,9 kg

La hauteur moyenne par rapport au sol est de $173,9 \pm 43,9$ cm.

L'écart-type important pour la hauteur de rangement s'explique par le fait que nous avons observé trois façons différentes de fixer les échelles sur les véhicules, soit a) sur un support situé au dessus du rangement des boyaux sur les autos-pompes; b) entreposées à plat dans un compartiment accessible par l'arrière ou sur le côté du véhicule et enfin c), accrochées à un support latéral.

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 24 entrevues) :

3.1 - Utilisation

Pour les interventions demandant un accès en hauteur, c'est l'échelle mécanique du véhicule d'urgence qui est utilisée le plus possible. Les échelles manuelles servent lorsque le véhicule d'urgence ne peut s'approcher suffisamment. L'échelle de 35 pieds est celle qui semble être utilisée le moins souvent.

3.2 - Rangement

Tel que mentionné au point 2.3, nous avons observé trois façons de loger les échelles dans les véhicules d'urgence. Il faut dire également que ces échelles, de dimension et de poids différents, sont habituellement rangés ensemble, la plus légère, qui est souvent la plus étroite, sur le dessus. Ainsi, pour pouvoir prendre l'échelle de 35 pieds accrochée à un support latéral, il faut d'abord décrocher l'échelle de 12 pieds puis celle de 24 pieds. Lorsque les échelles sont rangées à plat dans un compartiment arrière, il faut tirer l'échelle sur toute sa longueur, ce qui s'avère une tâche difficile lorsque le sol est glacé. À l'instar du mode de rangement précédent, il faut sortir l'échelle de 12 pieds puis celle de 24 pieds pour pouvoir accéder à celle de 35 pieds. La même remarque s'applique en ce qui concerne le rangement sur un support installé au dessus des compartiments à boyaux; de plus, pour ce dernier mode de rangement, une partie de la manutention doit se faire en équilibre sur le marchepied du véhicule.

Les véhicules d'urgence équipés d'une échelle mécanique ou d'une plate-forme élévatrice se stabilisent à l'aide de vérins hydrauliques. Lorsque ces vérins sont déployés sur un sol en pente, l'accès aux supports à échelle peut devenir difficile, voire impossible parce que le véhicule peut s'élever de plusieurs centimètres.

Enfin, certaines solutions aux problèmes cités sont déjà en place, par exemple, des patins en Teflon™ pour faciliter le glissement des échelles les unes sur les autres, un système mécanique ou hydraulique pour faire descendre tout le support à échelles ou encore, pour les supports installés sur le dessus des camions, un dispositif qui permet de baisser la partie arrière du support de plusieurs centimètres pour faciliter la prise et la remise des échelles. Les figures 4.75 à 4.78 montrent quelques exemples de rangement d'échelles sur les véhicules.

3.3 - Manutention

Normalement, l'échelle de 12 pieds peut être manipulée par une seule personne et l'échelle de 24 pieds, par deux personnes. Cependant, plusieurs répondants disent pouvoir manutentionner l'échelle de 24 pieds seul s'il y a urgence ou s'il manque d'effectifs. La manutention de l'échelle de 35 pieds pesant 100 kg se fait normalement avec quatre personnes et selon une méthode enseignée d'ailleurs à l'IPIQ, mais il appert qu'on peut le faire avec trois personnes, sauf pour la remettre sur le support où quatre personnes, et parfois six, sont nécessaires.

D'autres répondants rapportent qu'il est plus exigeant physiquement de remettre les échelles en place après une intervention; de plus, à ce moment-là, il n'y a pas d'urgence. Selon le type de support à échelles, la remise en place peut nécessiter deux personnes, car il faut aligner les barreaux de l'échelle avec les crochets avants et arrières du support; aux dires de certains répondants, « on improvise à chaque fois ».

Parmi les autres problèmes potentiels mentionnés, signalons l'importance de la coordination des gestes avec le ou les équipiers, le manque d'espace pour manœuvrer et la présence de glace sur et autour des véhicules d'urgence.

3.4 - Transport

La distance sur laquelle les échelles doivent normalement être transportées n'ont pas été mentionnées dans les entrevues. Les déplacements sur un sol glacé en transportant une échelle, la crainte de tomber en transportant l'échelle et l'importance de marcher « en cadence » avec ses équipiers, sont cependant des préoccupations mentionnées au cours des entrevues. À cela s'ajoute le franchissement d'obstacles comme les bancs de neige, les clôtures et les arbustes.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

Le mode de saisie de l'échelle varie en fonction de l'endroit où elle est remise sur le véhicule d'urgence.

Support sur le toit : même si l'échelle de 12 pieds peut être manipulée par une seule personne, un des pompiers doit monter sur le dessus du camion et la faire glisser vers l'arrière; à mi-longueur de l'échelle, celle-ci bascule dans le vide et c'est le pompier au sol qui la saisit par une extrémité. Pour l'échelle de 24 pieds, il attend que le second pompier, qui était sur le dessus du camion descende au sol pour saisir l'autre extrémité de l'échelle.

Support latéral : il faut d'abord déserrer les attaches de l'échelle, puis la soulever en exerçant une poussée verticale pour qu'elle se décroche du support. Elle est ensuite saisie par le montant le plus près du sol, ou un des barreaux, pour être déposée au sol. Les pompiers de petites tailles travaillent en hyper-extension, ou montent sur la jante ou le moyeu de la roue pour parvenir à atteindre l'attache ou l'échelle. Sur les supports qui basculent vers le bas, le pompier doit ralentir ou arrêter le mouvement de rotation de l'échelle. Pour l'échelle de 24 pieds, on doit le plus souvent ôter l'échelle de 12 pieds au préalable.

Compartiment : les échelles se trouvent entre 1 m et 1,50 m du sol. Si l'accès est par l'arrière, le pompier tire l'échelle vers l'arrière au 2/3 puis va la saisir au niveau de son centre de gravité si c'est l'échelle de 12 pieds. Il doit donner quelques coups secs pour la décoincer. Pour l'échelle de 24 pieds, c'est l'autre pompier qui la saisit par l'autre extrémité.

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour l'échelle de 12 pieds (figure 4.79), c'est le rangement du camion 50 qui présente des indices psychophysiques élevés au niveau de la manipulation, de l'effort et plus spécifiquement de la sécurité. Ces résultats sont principalement attribuables à sa disposition sur le côté du camion. Pour les pompiers de taille moyenne, la prise de l'échelle se fait au dessus de la tête (flexion des épaules de plus de 160°) et sur la pointe des pieds. Cette posture contraint énormément les muscles responsables de la flexion de l'épaule (deltoïdes antérieurs) lorsqu'ils doivent fournir la force nécessaire pour soulever et tirer l'échelle. En effet, la position et l'effort de traction donnent un moment de force très élevé aux épaules alors que les muscles se retrouvent dans une situation très désavantageuse pour produire de la tension. De plus, la manutention de charge au-

dessus de la tête augmente l'instabilité du corps, ce qui rend cette manœuvre peu sécuritaire. Cette situation entraîne aussi très souvent des mouvements d'hyper-extension du tronc qui donnent lieu à une distribution des forces de compression s'exerçant davantage sur les facettes articulaires plutôt que sur les disques intervertébraux. Pour le camion 90 où les résultats des analyses psychophysiques présentent les résultats les moins élevés, l'aménagement est pratiquement similaire à celle discutée précédemment. Selon les observations, cette perception semble associée au fait que cette manœuvre était réalisée par deux pompiers à la fois. Le poids de la charge était donc divisé par deux au moment de la saisie. Toutefois, il est important de noter que le camion 80 présente un type de rangement très intéressant pour les trois types d'échelle (12, 24, 35 et 45 pieds) que l'on retrouve communément sur le terrain. Celui-ci semble confirmé par la perception psychophysique des pompiers sur ce camion. C'est effectivement à cette caserne que l'on retrouve les indices de manipulation et d'effort très près de ceux obtenus pour le camion 90. Sur ce camion, le compartiment de rangement des échelles est placé à l'arrière du véhicule. Les échelles sont disposées les unes à côté des autres avec les barreaux orientés verticalement. Ce mode de rangement permet de sortir seulement une des trois échelles sans avoir à manipuler les autres. Cette disposition permet d'avoir une hauteur de prise tout à fait acceptable (entre la ceinture et l'épaule) pour l'ensemble des pompiers.

Pour l'échelle de 24 pieds (figure 4.80), ce sont les résultats associés au camion 70 qui présentent des indices psychophysiques élevés au niveau de la manipulation, de l'effort et de la sécurité. Ces résultats sont principalement attribuables au fait que la manutention de cette échelle dans cette caserne était effectuée par un seul pompier. En effet, bien que le rangement de ce camion présente plusieurs caractéristiques intéressantes pour la manutention des échelles (voir les avantages décrites à l'échelle de 12 pieds pour ce camion), les pompiers se retrouvaient seul avec une charge importante entre les mains pour la sortie et le remisage de l'échelle. Selon les observations, la perception négative des pompiers face à cette manœuvre serait principalement reliée à la phase de remise en place de l'échelle. Lors du remisage, l'échelle est généralement tenue au centre pour assurer l'équilibre et limiter l'effort. La plus grande difficulté pour les pompiers est d'orienter l'extrémité de l'échelle avec l'entrée du rangement car ceux-ci se retrouvent loin de la cible. La longueur de l'échelle rend les ajustements très difficiles à cause de l'inertie (résistance à la rotation qui est proportionnelle à sa longueur et sa masse). Pour la situation où les cotes psychophysiques sont les plus basses (camion 90), la situation est comparable à celle décrite pour l'échelle de 12 pieds. La manutention de l'outil se fait à deux pompiers, ce qui permet de diviser par deux le poids de la charge. Toutefois, il est étonnant de constater que l'augmentation du poids de l'échelle (12 pieds vs 24 pieds) pour ce type de rangement (support très haut sur le côté du camion) n'a pas de changement sur la perception de l'effort des pompiers concernés à cette caserne. Cette situation remet en question la qualité de l'étalonnage de la perception psychophysique pour chacun des outils manipulés dans cette caserne.

Pour les échelles de 35 ou de 45 pieds (figure 4.81), l'analyse des indices psychophysiques démontre qu'il y a seulement la perception du niveau de sécurité qui donne des différences significatives entre les camions évalués. Selon les résultats, l'insécurité la plus élevée a été perçue lors de la manutention de l'échelle sur le camion 50. Ces résultats sont principalement attribuables à la hauteur du rangement sur le côté du camion. Pour les pompiers de petite taille, la prise de l'échelle se fait au dessus de la tête et sur la pointe des pieds. La manutention de charge au-dessus de la tête augmente les risques de perte de l'équilibre. De plus la posture en

hyper-extension du tronc au moment de la saisie rend la manœuvre peu sécuritaire pour les deux manutentionnaires. Pour le camion 40 le rangement à plat de l'échelle à l'arrière du camion permet une prise plus sécuritaire pour les pompiers évalués. Selon les observations, le confort de la prise permettrait une meilleure synchronisation lorsque plusieurs manutentionnaires sont requis pour saisir le même outil.

4.3 - Évaluation biomécanique

Échelles de 12 pieds : Pour l'ensemble des camions observés, les échelles de 12 pieds sont situées sur des supports élevés qui sont placés généralement sur les côtés des autos-pompes (figure 4.82) ou sur le toit. Le poids des échelles étant relativement peu élevé, certains pompiers réalisent seul cette manutention. Toutefois, pour la situation classée ici comme étant la moins pénible, l'échelle était manutentionnée par deux pompiers. Pour les deux situations retenues, les moments de force exercés à l'articulation L5-S1 sont très bas au moment de la saisie sur le support avec un résultat de 618 N pour la situation identifiée comme étant la moins pénible et un de 758 N pour la plus pénible. En effet, une analyse mécanique au dos ne permet pas de rendre compte des contraintes associées à cette tâche car la charge au moment du soulèvement est gardée près du corps. Pour ce genre de manutention, les stress physiques sont davantage localisés au niveau des épaules qui se retrouvent fléchies au maximum (180°). Dans cette position les principaux muscles responsables de la flexion de l'épaule ont beaucoup de difficulté à générer la tension nécessaire pour assurer le soulèvement de l'échelle et principalement pour enlever le système d'encrage. De plus, la manutention de charge au dessus de la tête peut entraîner des problèmes d'instabilité posturale lorsque l'échelle quitte le support. À ce moment, le centre de gravité de l'ensemble pompier-charge se retrouve à une hauteur élevée qui influence la stabilité statique du corps. Pour les pompiers de petite taille, cette manœuvre est réalisée sur la pointe des pieds, ce qui contribue à augmenter l'instabilité posturale. Dans cette situation, on retrouve souvent des mouvements d'hyper-extension du tronc qui transposent les forces de compression des disques intervertébraux vers les facettes articulaires au niveau lombaire. Le danger est relié au fait que les facettes articulaires lombaires, à cause de leur orientation anatomique ne reçoivent pas ces forces en compression mais plutôt en cisaillement. Le moment de force positif de 17,4 Nm mesuré pour la situation perçue comme la moins difficile représente bien la situation où la charge soulevée exerce une contrainte vers l'arrière du corps. Les manutentions en hauteur doivent être prises au sérieux, et ce, même si le poids des charges manipulées semble peu élevé.

Pour ces échelles, les espaces de rangement constatés sur les camions-échelles semblent beaucoup plus sécuritaires. Ces camions permettent le rangement des échelles à l'intérieur d'un compartiment interne situé à l'arrière. Avec ces rangements, la saisie de l'échelle se fait au niveau de la poitrine réduisant ainsi les contraintes aux épaules et celles liées à l'équilibre. L'échelle placée à plat ou sur le côté glisse sur un rail lors de la sortie. Cette manœuvre implique que l'on dispose de l'espace nécessaire (longueur de l'échelle) à l'arrière du camion pour la sortir. Ce système aurait dû normalement ressortir comme étant la situation la moins pénible.

Échelles de 24 pieds : L'analyse des contraintes physiques (figure 4.83) associées à la manutention de l'échelle de 24 pieds propose une situation identique à celle décrite pour la situation perçue comme étant la moins difficile à l'échelle de 12 pieds. En effet, pour cette situation, il s'agit du même camion avec les mêmes supports latéraux. L'échelle de 24 pieds est

simplement disposée derrière celle de 12 pieds. Lorsque cette dernière est retirée, les pompiers exécutent les mêmes manœuvres mais avec le double du poids. L'augmentation du poids des échelles contribue à faire augmenter les moments de force mesurés pour les deux situations avec 2044 N et 2645 N pour les situations identifiées comme étant la moins et la plus pénible, respectivement. Malgré que ces contraintes n'excèdent pas les limites suggérées par NIOSH, il faut encore porté une attention aux situations où les charges sont manipulées au-dessus de la tête, comme celle identifiée ici comme étant la moins difficile. Ces situations peuvent causer des hyper-extensions du tronc et augmentent les risques de perte d'équilibre.

Pour les interventions où les pompiers devraient utiliser seulement l'échelle de 24 pieds, l'enlèvement de celle de 12 pieds représente une tâche supplémentaire. De plus, dans la plupart des situations observées, l'échelle de 12 est simplement déposée au sol près du camion, ce qui contribue à éloigner les pompiers lors de la saisie de celle de 24 pieds. Encore une fois, les camions-échelles qui proposent un rangement dans un compartiment à l'arrière du véhicule auraient dû présenter les cotes de perception de l'effort les moins élevées. Dans la situation présentée à la figure 4.83, l'effort élevé perçu durant la manœuvre provient principalement du fait que les pompiers de cette caserne exécutaient seuls la saisie de l'échelle.

Échelles de 35-45 pieds : L'analyse des moments de force donne des résultats contradictoires à ceux obtenus avec la perception de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 1958 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 1279 N (figure 4.84). Dans les deux situations les compressions lombaires mesurées demeurent inférieures à la limite d'action de 3400 N proposée par NIOSH. Toutefois, les résultats de l'analyse des moments de force démontrent que la situation jugée comme étant la plus difficile cause un moment positif (59.5 Nm) et asymétrique (37,6 Nm) à l'articulation L5-S1. Cette valeur suggère donc que la saisie place le tronc en hyper-extension avec une charge relativement importante. Cette situation accentue les risques associés à l'utilisation de cette posture tel que décrite lors de l'analyse des échelles de 12 pieds. De plus, les manutentions de l'échelle au dessus de la tête (situation que l'on retrouve aussi pour les camions où les échelles sont localisées sur le toit) causent aussi des contraintes importantes pour les muscles responsables de la flexion et de l'abduction des épaules. Les situations où les échelles sont placées les unes derrière les autres, ou encore superposées sur le toit de camions-pompe, entraînent des manutentions inutiles lorsqu'il y a seulement les échelles de 35 et de 45 pieds qui sont requises en situation d'urgence.

VI - Canon à eau

1. - Description :

Le canon à eau est un dispositif qui sert à projeter un volume important d'eau (de l'ordre de 1000 litres par minute) sur de longues distances. Il peut être utilisé soit de son branchement direct sur le dessus du camion, ou il peut être déplacé au sol et alimenté par un boyau. Dans ce dernier cas, il peut demander de deux à trois pompiers pour le descendre du camion et le mettre en place. Comme on pourra le constater dans la section suivante, le poids de ces canons varie selon leur conception; dans un cas (H), il est nécessaire de descendre qu'une section du canon, l'autre étant entreposée dans un des compartiments.

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	54,6	195	20
2	34,0	210	50
3	8,6	242,5	81
4	24,9	197	90

n = 4

Poids moyen : 30,5 ± 19,2

Le plus léger : 8,6 kg

Le plus lourd : 54,6 kg

Situé en moyenne à 211,1 ± 21,9 cm du sol

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 12 entrevues)

3.1 - Utilisation

Les canons à eau sont utilisés peu souvent, dans des cas de force majeure ou pour des feux dans des édifices en hauteur. Certains modèles sont fixés en place sur le dessus de l'auto-pompe, d'autres peuvent être descendus au sol.

3.2 - Rangement

Tous les canons à eau étaient transportés sur le dessus de l'auto-pompe, la plupart du temps déjà connectés à une buse spécialement prévue à cet effet (figure 4.85). Ce qui ressort des entrevues n'est pas le poids de cet équipement, mais la difficulté pour aller le chercher parmi les autres équipements sur le toit (« il faut être un peu contorsionniste ...»). Cette difficulté est amplifiée l'hiver quand le camion est mouillé et qu'il n'y a pas de garde-corps ni de prises pour se tenir.

3.3 - Manutention

Descendre le canon à eau au sol est une opération qui demande au moins deux pompiers. C'est parfois le chauffeur (et opérateur de la pompe) qui aide à descendre le canon au sol. Le canon est descendu du côté du camion où il y a les contrôles de la pompe : l'opérateur doit se tasser pour laisser de la place aux pompiers qui effectuent l'opération, et n'a pas accès à son tableau de

commande pendant ce temps. Les difficultés exprimées ici rejoignent celles de la section précédente en ce qui concerne les surfaces glissantes; de plus il y a toujours le risque que le pompier qui retient le canon sur le toit, l'échappe. Enfin, les canons en deux sections sont appréciés pour leur légèreté et pour le fait que la base (transportée dans un compartiment accessible à partir du sol) se manipule bien.

3.4 - Transport

Le seul commentaire enregistré mentionne une bonne prise sur le canon, ce qui en facilite le transport.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

D'une façon générale, le dépôt du canon au sol nécessite deux pompiers (un sur le camion, un autre au sol) et se fait en trois étapes.

1) Dégagement : le canon est soit entreposé dans un compartiment sur le toit contenant d'autres outils (balais, toiles, ...), ou il est soit maintenu en place par un dispositif de serrage. La tâche consiste à ôter les autres outils autour et à libérer le canon en dévissant à la main le dispositif de serrage. Le pompier qui fait cette étape doit monter sur le camion, soit par des appuie-pieds disposés près du tableau de contrôle de la pompe, soit par l'arrière du camion, dans lequel cas il doit se déplacer de la palette arrière vers la pompe en enjambant les compartiments de rangement des boyaux.

2) Transfert : le canon à eau est saisi à deux mains et tiré vers le haut soit pour le sortir du compartiment de rangement, soit pour le desserrer du tuyau de la pompe, puis déposé en équilibre juste au dessus du tableau de commande de la pompe. Le choix de cet endroit résulte surtout de la présence d'un marchepied (palette latérale) près de ce tableau de commande, ce qui permet à l'autre pompier de monter sur ce marchepied pour maintenir le canon en place, mais il doit le faire à bout de bras. Le pompier qui était sur le toit descend alors, soit en refaisant le chemin inverse par la palette arrière, soit en utilisant les appuie-pieds contigus au tableau de commande de la pompe. Ce dernier doit parfois poser le pied, à l'aveugle sur des éléments du tableau ou sur des buses de branchement.

3) Dépôt : le pompier qui était sur le toit rejoint son collègue sur la palette latérale. Les deux saisissent alors le canon à bout de bras et/ou sur leurs épaules et descendent de la palette à reculons. Le canon est ensuite déposé au sol.

Cette description vaut pour les canons les plus lourds. Pour les canons plus légers, le pompier sur le toit du véhicule donne tout simplement le canon à son collègue sur la palette latérale. Il doit alors faire une flexion prononcée du dos, avec une masse non négligeable au bout des bras, sur le bord de la surface supérieure du camion à environ 2 mètres du sol.

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour le canon (figure 4.86), les cotes de perception psychophysique très élevées de près 8,5 pour les trois critères expriment bien l'impact de la manutention de cet outil sur le camion 20. Sa localisation sur le toit rend son accessibilité difficile. De plus, son compartiment de rangement est très profond et le pompier doit se pencher beaucoup en position à genoux pour l'atteindre. Cette position semble très instable car la plupart de pompiers observés devaient s'appuyer avec une main sur les échelles de côté pour éviter de perdre l'équilibre au moment de la sortie du rangement. Le passage du canon au collègue qui est situé debout sur le marchepied sur le côté du camion est aussi très difficile. Celui-ci reçoit une charge de près de 100 kg au dessus des épaules avec une posture instable. La descente du marchepied avec une charge aussi importante influence certainement la perception de la sécurité des pompiers sur ce camion. Pour le camion 90, les résultats présentent des indices psychophysiques les moins élevés (autour de 3) au niveau de la manipulation, de l'effort et de la sécurité. Le canon, aussi rangé sur le toit, ne pèse que 25 kg. Celui-ci n'est pas placé dans un compartiment. Il est simplement tenu par des points d'ancrages vissés. Toutefois, le passage de l'outil du pompier sur le toit à celui qui reçoit la charge sur le côté du camion comporte sûrement de l'insécurité compte tenue du fait que le travailleur doit se pencher sur le côté du camion avec une charge de 25 kg. Les risques de perte d'équilibre sont présents.

4.3 - Évaluation biomécanique

Selon la perception psychophysique de l'effort des pompiers, la manutention des canons est classée comme étant la tâche la plus difficile (figure 4.87). Pour la situation perçue comme étant la moins difficile, l'analyse mécanique des contraintes au dos donne une compression lombaire de 3082 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 7380 N. Pour la première situation, la valeur moins élevée est attribuable au fait que ce canon a la masse la moins importante de l'échantillon (25 kg). Toutefois, sa localisation sur le véhicule rend son accès difficile et certaines manœuvres périlleuses. La passage du canon d'un pompier à l'autre au moment de la descente du toit comporte beaucoup d'éléments de risques pour les manutentionnaires. Se pencher sur le côté du camion avec une charge de cette importance augmente les contraintes au dos et les risques de perte d'équilibre. Pour celui qui reçoit le canon au sol ou sur un marchepied, les risques de pertes d'équilibre avec une charge au-dessus de la tête sont présents.

Pour l'autre situation, l'importance des moments de force exercés au dos (391 Nm) classe cette manœuvre comme étant inacceptable. L'atteinte de l'outil dans son compartiment profond implique une flexion du tronc importante (supérieur à 80°). Lors du soulèvement, l'utilisation de cette posture, combinée avec la masse importante (100 kg) de ce canon, exige un effort musculaire très élevé de la part des extenseurs du tronc. C'est principalement à cause de la tension musculaire requise par cette combinaison de posture contraignante et de charge élevée que l'on obtient un dépassement de la limite maximale acceptable de compression de 6400 N. selon NIOSH.

VII - Cales de vérin

1. - Description :

Plaques de métal ou de contre-plaqué que l'on met sur le sol sous les pattes des vérins hydrauliques lorsqu'on déploie l'échelle ou la nacelle, dans le but de stabiliser le véhicule d'urgence. Elles servent en fait à augmenter la superficie de contact du vérin avec le sol, diminuant ainsi la pression exercée par unité de surface. Elles préservent également le sol (pelouses, entrées en pavés unis) des propriétés publiques et privées.

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	13,0	50,0	10
2	14,0	50,0	40
3	13,9	54,0	70
4	13,2	40,0	92

n = 4

Poids moyen : 13,5 ± 0,49

La plus légère : 13,0 kg

La plus lourde : 14,0 kg

Situées en moyenne à 48,5 ± 5,9 cm du sol

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 14 entrevues) :

3.1 - Utilisation

Les cales sont utilisées lorsqu'on doit déployer les vérins sur une pelouse ou un sol meuble, ou sur de la neige. Elles ne semblent pas être utilisées sur le terrain solide, comme l'asphalte ou le béton, sauf sur une propriété privée. C'est le chauffeur-opérateur qui décide de l'endroit où les mettre, et il est souvent aidé par d'autres pompiers pour les installer.

3.2 - Rangement

Les cales sont transportées dans un compartiment ou dans des glissières sous le camion (figure 4.88), à proximité des zones de déploiement des vérins, soit à environ 50 cm du sol. Les obstacles sur la route et les chaînes de trottoir endommagent parfois les glissières : les cales sont plus difficiles à remettre en place, surtout le soir. Certaines cales sont munies de crampons pour limiter les glissements latéraux; la présence de glace prise dans les crampons nuit aussi à leur remise dans les glissières.

3.3 - Manutention

Les pompiers interviewés trouvent qu'il est généralement plus facile de sortir les cales que de les remettre en place. Pour les sortir, il faut d'abord ôter le loquet (s'il y en a un) puis exercer une traction à l'horizontal. Lorsque la cale est coincée, le pompier doit faire des mouvements latéraux ou de cisaillement pour parvenir à la décoincer.

Pour les remettre en place, il faut les aligner dans les glissières puis les pousser dans l'endroit prévu à cette fin. On trouve cette opération difficile car les cales sont lourdes et la glissière est étroite. En plus, la fatigue accumulée de l'intervention et la noirceur rendent la tâche difficile.

Il y a eu plusieurs commentaires sur les poignées dont sont munies les cales. Certaines poignées sont trop petites pour être saisies facilement avec des gants. D'autres sont dans le même plan que la cale : un fois posée au sol, il est impossible de passer la main entre la poignée et le sol pour pouvoir la soulever.

3.4 - Transport

Les cales n'ont à être transportées que dans le rayon d'action des vérins, soit quelques mètres.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Observations générales

La force nécessaire pour tirer horizontalement sur les cales, mesurée avec un dynamomètre, varie de 10 à 33 kg, sans compter les augmentations subites lorsqu'une cale se coince. La hauteur d'entreposage étant sous la ceinture, les pompiers doivent adopter une posture qui leur permet d'exercer une bonne traction à cette hauteur. Plusieurs modes opératoires ont été observés. La plupart des manœuvres de traction se font avec la flexion d'un genou au sol, ou une flexion du dos et des jambes, dont l'amplitude varie d'un sujet à l'autre. On a également observé une traction avec l'épaule et le dos, les jambes étant légèrement en flexion, ou une traction simultanément à une extension des jambes pour se mettre debout. Une fois la cale sortie de la glissière, il n'y a pas de geste pour la saisir et celle-ci tombe tout simplement par terre. Dans un autre cas, la cale est sortie des glissières en tirant en même temps vers le haut alors que le pompier est à genoux, celui-ci devant exercer une forte extension de l'épaule avant de la déposer au sol.

Pour remettre la cale en place, celle-ci est habituellement saisie par les côtés puis alignée dans sa glissière. Le pompier est le plus souvent à genoux pour effectuer cette opération; il utilise la partie supérieure de sa cuisse pour supporter le poids de la cale, et son genou pour la pousser en place. D'autres pompiers insèrent la cale dans la glissière alors qu'ils sont debouts, avec une importante flexion du dos, mais le reste de l'opération (pousser la cale en place) se fait à genoux. Différentes stratégies sont utilisées lorsque la cale refuse d'entrer : elle est poussée en cisaillement (à genoux) ou avec le côté ou le dessous du pied (debout).

4.2 - Évaluation psychophysique

Pour les cales de vérins (figure 4.89), c'est l'aménagement du camion 70 qui présente les résultats les plus élevés au niveau des trois indices psychophysiques. Comme sur la plupart des véhicules observés, les compartiments de rangement des cales se retrouvent sous le châssis à l'arrière du camion. Les cotes plus élevées qui ont été mesurées pour le camion 70 confirment les problèmes observés durant cette manœuvre. En effet, pour la plupart des essais, les cales étaient toujours coincées. Les pompiers devaient donc maintenir des postures penchées ou accroupies pour des périodes prolongées. De plus, l'incertitude de cette tâche peut entraîner des stress importants au dos (contrecoups) lorsque l'effort anticipé ne permet pas de sortir la cale de son rangement. Pour la situation où les trois indices psychophysiques sont les plus bas (camion

92), les cales sont rangées sur le côté arrière du véhicule. Il s'agit d'un rangement similaire à celui identifié précédemment. Les valeurs élevées semblent seulement associées au fait que les cales peuvent sortir plus aisément des compartiments.

4.3 - Évaluation biomécanique

L'analyse des moments de force associés à manutention des cales de vérins laisse voir des résultats différents de ceux obtenus à partir de la perception psychophysique de l'effort des pompiers. La situation perçue comme étant la moins difficile entraîne une compression lombaire de 3645 N comparativement à celle jugée plus difficile avec 3273 N (figure 4.90). Dans les deux situations les compressions lombaires mesurées sont très près de la limite d'action de 3400 N de NIOSH. Pour cette situation, le fait que la cale ne soit pas saisie au niveau de son centre de gravité pourrait contribuer à augmenter la valeur réelle des moments de force exercés au niveau du dos. En fait, ces deux situations sont très similaires et représentatives de l'ensemble des camions évalués. Le système de rangement sur rail placé sous le châssis des camions entraîne des flexions du tronc importantes (60 à 90 degrés) qui contribuent à produire une bonne partie des moments de force créés à l'articulation L5-S1. La principale contrainte associée à la manutention de ces outils vient du fait que les cales sont souvent coincées dans leur rangement respectif. Dans la présente analyse des contraintes physiques, l'effort qu'entraînent les objets coincés n'est pas considéré puisque celle-ci ne prend en compte que le poids de l'outil au moment où il est libéré de son rangement. Pour la manutention perçue comme étant plus difficile (camion 70), tous les pompiers observés ont éprouvé des difficultés à déloger les cales de vérin de leur rangement. Cette situation causait le maintien de postures en flexion du tronc prolongées et la présence de contrecoups imposés aux épaules et au dos lorsque la traction exercée sur la cale n'était pas suffisante pour la déloger de son support.

VIII - Appareil de protection respiratoire autonome (ARA)

1. - Description :

Réserve d'air respirable contenue dans une bonbonne portée sur le dos, et dispensée à l'utilisateur via un régulateur et un masque. Ce dernier est à pression positive et couvre tout le visage. Dans certaines municipalités, le masque se fixe après le casque. Les premiers modèles de bonbonnes étaient en acier (10,9 kg); on en retrouve aujourd'hui en aluminium et en matériau composite (5,6 à 7,3 kg).

2. - Échantillon :

Échantillon	Poids kg	Hauteur du rangement, en cm, au sol	Camion
1	13,6	112	10
2	10,3	100	20
3	13,6	142	30
4	13,6	-	40
5	13,6	140	50
6	10,2	-	70
7	15,5	120	80

n = 7

Poids moyen : 12,9 ± 1,9

La plus légère : 10,2 kg

La plus lourde : 15,5 kg

Situé en moyenne à 122,8 ± 18 cm du sol (n=5)

3. - Modalités d'utilisation (synthèse de 28 entrevues)

3.1 - Utilisation

L'ARA est endossé par dessus l'habit de lutte au feu lors de toutes les sorties, afin d'être prêt à intervenir. Le masque est mis au dernier moment. Il contient une réserve d'environ 30 minutes d'air, mais s'il y a un travail physique important, la consommation d'oxygène est plus grande et la bonbonne peut ne durer que 20 minutes.

3.2 - Rangement

Dans les casernes visitées, les ARA sont transportés soit dans des compartiments accessibles de l'extérieur, ou soit dans le dossier des sièges de la cabine-équipe. Les figures 4.91 à 4.93 montrent des exemples de rangement d'ARA sur les véhicules d'urgence. Certains pompiers volontaires ont un ARA, dans un coffret désigné, en permanence dans leur véhicule personnel. Certains compartiments extérieurs permettent tout simplement d'accrocher l'ARA en place : le pompier doit le décrocher, puis l'endosser. D'autres compartiments sont munis d'une suspension qui, lorsque déployée, abaisse et déplace l'ARA à l'extérieur du véhicule : le pompier peut

enfiler la bonbonne en s'y adossant, et la sangler en place, puis la dégager de son support en s'avancant. Dans un cas comme dans l'autre, les commentaires sont favorables quant à la hauteur de rangement, sauf pour les pompiers de petite taille qui ont parfois de la difficulté à prendre ou à décrocher l'ARA.

Il arrive que l'ARA doive être endossé dans la cabine-équipe; le pompier doit alors se mettre à genoux sur le sol de la cabine pour pouvoir passer la bonbonne par dessus sa tête. La présence d'autres équipements dans la cabine-équipe restreint les mouvements. Les bancs munis de dossier qui accommodent la bonbonne sont généralement appréciés sauf pour deux points. D'abord, ce type de banc est habituellement installé dans le sens contraire de la marche du véhicule; les pompiers qui y sont assis ne peuvent pas voir venir les obstacles sur la route et sont surpris par les mouvements parfois brusques du véhicule. Ensuite, d'autres pompiers se sont plaint du fait que les bonbonnes sont plus difficiles à remettre en place qu'à ôter, et qu'on se coinçait les doigts entre la bonbonne et le dossier quand on le faisait.

3.3 - Manutention

L'ARA peut être endossé de deux façons. Une première façon est d'endosser les sangles de la bonbonne comme si on enfilait une veste, c'est-à-dire, on passe un bras dans une sangle en tenant l'ARA avec la main opposée, puis on passe l'autre bras dans l'autre sangle. Il faut faire un mouvement de balancier à la bonbonne pour pouvoir la saisir avec la main opposée. Selon certains pompiers, le risque consiste à heurter quelqu'un d'autre lorsqu'on balance la bonbonne. L'autre façon consiste à saisir la bonbonne devant soi, celle-ci étant dans le sens opposé à son fonctionnement habituel, puis à enfiler les sangles en passant la bonbonne par dessus sa tête, comme lorsqu'on enfiler un chandail. La bonbonne se retrouve alors au dos du pompier dans la sa position normale de fonctionnement. Cette autre façon est moins encombrante latéralement, mais nécessite par contre un dégagement par le haut.

Enfin, les pompiers rencontrés apprécient le fait que l'opérateur de la pompe puisse les aider à changer de bonbonne lorsque leur réserve d'air est épuisée.

3.4 - Transport

Nous résumerons plutôt ici les commentaires quant au port de l'ARA. D'une façon générale, le poids de la bonbonne ne semble pas être un problème lorsque les pompiers sont en mouvement, mais plutôt lorsqu'ils sont stationnaires. À ce sujet, plusieurs commentaires ont été émis sur les sangles à savoir, qu'elles répartissent mal le poids, au contraire d'un bon sac à dos. Certains pompiers préfèrent serrer davantage la ceinture abdominale pour délester les épaules, d'autres préfèrent ne pas attacher la ceinture abdominale et porter un maximum de poids au niveau des épaules. Les pompiers ayant le plus d'expérience, ou ayant l'occasion de travailler dans plusieurs services d'incendie, peuvent comparer l'évolution des ARA; ainsi, les modèles plus récents en matériau composite et avec un dos moulé semblent beaucoup plus appréciés que les modèles plus anciens avec des bonbonnes en acier, plus lourdes, et de simples sangles.

4. - Évaluation de la manutention :

4.1 - Évaluation psychophysique

Pour l'ARA (figure 4.94), l'indice de perception psychophysique démontre que les conditions de remisage du camion 40 demande un effort important pour les pompiers évalués. Cet appareil est localisé dans un compartiment profond et relativement haut (au niveau des épaules) pour l'ensemble des pompiers observés. La porte à ouverture verticale ne permet pas aux pompiers de grandes tailles de se placer près de la charge sans qu'il n'y ait un risque de se frapper la tête. Comme le port du casque augmente la taille des pompiers, ceux-ci doivent donc se tenir plus loin de l'outil ou encore se pencher davantage ce qui contribue à augmenter la hauteur relative (par rapport à leur corps) de la charge au moment de la saisie. À l'opposé, la perception psychophysique des pompiers sur le camion 90 présente l'indice le moins élevé de l'ensemble des casernes évaluées. Cet indice est principalement attribuable à un dispositif qui abaisse et déporte le support de l'appareil respiratoire sur le côté du camion. Cette situation permet d'amener les sangles à la hauteur des épaules des pompiers en position debout. Les pompiers de grande taille doivent légèrement fléchir les genoux pour faciliter le passage des sangles.

4.2 - Évaluation biomécanique

Les résultats de l'analyse des moments de force (figure 4.95) démontrent une contradiction entre la perception de l'effort des pompiers et les contraintes mécaniques exercées à l'articulation L5-S1. Cette situation est principalement attribuable au mouvement d'hyper-extension du tronc adopté lors de la prise en charge de la bonbonne pour le camion où l'effort a été perçu comme étant moins contraignant. Cette hyper-extension du tronc a pour effet de réduire le moment de force causé par la position des bras (éloignée du corps) et le poids soulevé. Dans cette situation, les contraintes doivent être principalement ressenties aux épaules plutôt qu'au dos. Aucune de ces manutentions n'entraînent de compressions supérieures à la limite d'action permise (NIOSH). La situation perçue comme étant la moins difficile donne une compression lombaire de 1985 N et celle considérée difficile produit une force 1199 N

4.3.3 Tableau de synthèse

Le tableau 4.4 présente, pour l'ensemble des outils, le poids moyen, la hauteur moyenne de rangement, ainsi que les valeurs de compression lombaire au niveau de L5-S1 pour les situations ayant récolté la plus basse cote (« meilleure situation ») et la plus haute cote (« pire situation ») pour la perception psychophysique de l'effort.

Tableau 4.4 Tableau synthèse des manutentions. L'astérisque indique une non-concordance entre l'effort perçu et le niveau de compression lombaire.

Outil	Poids moyen (kg)	Hauteur de rangement moyenne (cm)	n	« Meilleure » condition perçue Compression L5-S1 (N)	« Pire » condition perçue Compression L5-S1 (N)
DUM	14,2 ± 2,2	92,7 ± 59	8	1855*	1152*
Génératrice	63,6 ± 25,6	57,9 ± 10,7	7	1357	3908
Ventilateur	27,0 ± 2,4	55,7 ± 6,1	9	2752	2792
Syst. de désincarcération					
- Compresseur	34,1 ± 14,2	54,9 ± 3	3	3616*	1700*
- Ciseaux	16,9 ± 3,4	64,0 ± 16,0	4	1931	2109
- Écarteurs	18,8 ± 0,8	60,8 ± 15,6	4	2207	2607
- Blocs de stabilisation	-	-	-	1072	1444
Échelles					
- 12 pieds	15,13 ± 1,75	173,9 ± 43,9	9	618	758
- 24 pieds	35,87 ± 2,75	175,9 ± 43,9	9	2044	2645
- 35 pieds et plus	101,47 ± 1,25	173,9 ± 43,9	4	1958*	1279*
Canon à eau	30,5 ± 19,2	211,1 ± 21,9	4	3082	7380
Cales de stabilisateur	13,52 ± 0,49	48,5 ± 5,9	4	3645*	3273*
ARA	12,9 ± 1,9	122,8 ± 18,0	7	1985*	1199*

5. CONCLUSION

Cette étude démontre que les exigences physiques associées aux diverses manœuvres étudiées sont différentes d'un véhicule d'urgence à l'autre. Ces différences sont attribuables à la variabilité des outils, des aménagements et des stratégies utilisés par les pompiers observés.

Pour les manutentions d'outils, la variabilité des modèles retrouvés dans l'échantillon explique en partie les différences des stress physiques mesurés entre les outils qui répondent à une même fonction. Les écarts importants constatés au niveau du poids et des dimensions contribuent à influencer les forces auxquelles est soumis le rachis lombaire. Pour certaines situations, le poids et la forme de l'outil causent des manutentions qui excèdent les limites biomécaniques « acceptables » selon NIOSH. Toutefois, les résultats de l'étude démontrent aussi que les caractéristiques intrinsèques des outils ne peuvent, à elles seules, expliquer les écarts mesurés entre les camions pour réaliser la même manœuvre. Les résultats suggèrent aussi que la localisation des outils sur le camion est un facteur déterminant qui influence l'amplitude de la charge physique des pompiers. Des objets moins lourds disposés dans des endroits difficiles d'accès entraînent des forces de compression lombaire qui s'approchent de la « limite acceptable ». C'est principalement dans ce genre de situations que les stratégies de manutention peuvent aussi être mises en cause pour expliquer les différences interindividuelles entre les pompiers.

En ce qui concerne les accès aux véhicules, l'analyse démontre clairement que les techniques de descente influencent l'amplitude des forces transmises aux membres inférieurs. Les descentes de cabine où les pompiers demeurent « face à la rue » causent des forces d'impact beaucoup plus importantes que celles où ils sont « dos à la rue ». La technique « dos à la rue » produit des forces verticales plus faibles qui ont un lien avec l'utilisation de deux ou trois points d'appui pour contrôler la descente. Par contre, elle entraîne des variations de l'angle d'appui au sol selon les différents points d'accès sur les véhicules étudiés. Il y a donc un conflit entre l'acceptation d'une force plus importante dans un cas et le risque de dérapage du pied dans l'autre. Malgré cette différence, les pompiers d'une des deux casernes considèrent que la descente « face à la rue » représente la méthode la plus sécuritaire pour assurer une meilleure vision de la circulation autour du camion. Des aménagements des accès sont donc nécessaires pour réduire les contraintes appliquées sur les membres inférieurs lors des descentes en demeurant « face à la rue » car les accès sont très variés d'un camion à l'autre. Cette variété se retrouve dans le type et la disposition des poignées, des mains courantes et des appuie-pieds.

Cette étude a permis d'identifier des pistes de recherche et de solutions en ce qui concerne l'aménagement des camions et l'accès aux véhicules de lutte aux incendies. Au niveau de l'aménagement, malgré les forces engendrées par la manutention de certains outils, les observations ont relevé la présence d'autres sources de contraintes physiques associées aux véhicules. En effet, plusieurs équipements devant servir à immobiliser (e.g. système d'ancrage des échelles) ou à favoriser l'accès d'un outil (e.g. tiroir coulissant) semblent aussi entraîner des contraintes importantes et même, imprévues (e.g. cales de vérin). De plus, lorsque la manutention d'un outil impliquait la participation de deux ou plusieurs coéquipiers, la coordination des actions devenait un facteur important pour éviter la surcharge d'un des pompiers.

Pour l'accès aux véhicules, les valeurs des impacts mesurés suggèrent que les bottes de travail des pompiers devraient aussi faire l'objet d'une étude. Outre les paramètres de sécurité, il serait important de s'intéresser aux propriétés d'absorption des chocs, à la stabilité et au support pour les chevilles de ces chaussures de travail.

Nous espérons que cette étude sur les lombalgies et autres problèmes musculo-squelettiques chez les pompiers contribuera à améliorer, à sa façon, la sécurité de leur travail.

6. RECOMMANDATIONS

Il a été important de bien mettre ces recommandations en contexte. Au départ, celles-ci étaient essentiellement le regard d'un ergonomiste et d'un biomécanicien sur une partie des activités des pompiers, activités, de surcroît, réalisées en l'absence d'une situation d'urgence, et sur un nombre limité de véhicules. Elles ne se voulaient pas une remise en question des méthodes de travail actuelles ni, du moins à ce stade-ci, des éléments d'un cahier des charges pour la conception ou la correction des camions de pompier.

En effet, les recommandations suivaient la logique du projet, à savoir, la réduction des lomalgies et des problèmes musculo-squelettiques dus à la manutention et aux accès aux véhicules. Elles ne visaient donc que l'objet de la recherche. De plus, les auteurs de ce rapport étaient conscients que certaines contraintes, au cours des interventions, pourraient limiter l'application des recommandations.

Une première formulation des recommandations a été proposée aux membres du comité de pilotage, et elles ont été discutées lors de deux rencontres en juin, puis septembre 2001. Elles ont été revues, et adaptées au besoin, en collaboration avec l'équipe de recherche. Ces recommandations sont libellées pour s'appliquer d'une façon aussi générale que possible. En effet, le Québec compte environ 2000 véhicules de lutte aux incendies, et des opérations d'entretien sont nulle doute réalisées quotidiennement sur ces véhicules. De plus, il serait opportun de tenir compte de ces recommandations lors de la remise à neuf d'un véhicule existant ou de l'achat d'un véhicule neuf.

6.1 Recommandations concernant l'accès aux véhicules

La norme ULC S-515 (*Automobile Fire Fighting Apparatus*) prévoit déjà l'installation « d'un nombre suffisant » de mains courantes, pour la cabine de conduite et la cabine-équipe (art. 3.6.5.1), ainsi que pour l'accès à l'équipement mécanique comme les échelles aériennes (art. 8.8.1.2), afin de permettre aux pompiers d'utiliser la méthode d'accès dite « des trois points d'appui » pour monter **et** pour descendre. Cependant, cette norme ne définit pas ce qu'est la méthode « des trois points d'appui » et ne spécifie aucune dimension linéaire pour les accès aux véhicules, hormis la hauteur au sol de la palette arrière (art. 3.7.4) et la largeur minimum d'un marchepied (art. 3.6.3).

- Il est recommandé d'appliquer l'accès au moyen des « trois points d'appui » à **tous** les points d'accès des véhicules d'urgence, non seulement aux cabines et aux équipements mécaniques, mais aussi pour l'accès aux outils et équipements rangés sur le dessus du véhicule (canon, boyaux, succion,...), que ce soit par l'arrière ou par les côtés du véhicule.
- Il est recommandé de développer une grille d'évaluation qui permettrait de procéder à l'évaluation de tous les accès aux véhicules d'urgence selon les critères de la méthode des « trois points d'appui ». Cette grille devrait tenir compte des éléments essentiels à la méthode, mais devrait également offrir aux utilisateurs des solutions ou des pistes de solutions en relation avec la problématique.

- En dernier recours, à défaut de ne pouvoir utiliser la méthode des « trois points d'appui » pour des raisons de sécurité pour sortir d'une cabine-équipe, il est recommandé soit de diminuer la distance au sol (ex. marche supplémentaire), ou soit d'utiliser un aménagement qui permette de descendre avec au moins deux points d'appui en diagonal (e.g. appuis pour le pied gauche et la main droite) afin de mieux contrôler la descente et diminuer les forces d'impact au sol. Cette recommandation n'est valable que pour les cabines-équipe.
- Il est recommandé d'étudier la faisabilité du port d'une orthèse pour la cheville afin de réduire les risques d'entorse ou de foulure par éversion ou inversion du pied lors de la descente des véhicules.
- Il est recommandé que toutes les mains courantes correspondent aux spécifications de la norme ULC S-515 (art. 3.6.4), en particulier être fixées dans les montants et avoir un dégagement suffisant pour être saisies par une main gantée.
- Toutes les surfaces pour les marches, marchepieds et échelons devraient être anti-dérapantes mais aussi, assurer un support et un dégagement suffisant pour les pieds équipées des chaussures de protection. Il est recommandé d'étudier le coefficient de friction entre les chaussures actuellement utilisées par les pompiers et les surfaces de travail sur les véhicules.

6.2 - Recommandations concernant la manutention et le rangement des outils et équipements

a) Principes de base pour une bonne manutention :

- l'objet à prendre et à manipuler est dans le champ visuel (pour voir ce qu'on fait); entre autres, il n'est pas caché par d'autres outils et équipements, et le pompier ne doit pas adopter une posture contraignante pour pouvoir le voir;
- l'orientation de l'outil sur la tablette facilite la préhension (poignées accessibles, du bon côté);
- éviter une disposition d'outil qui éloigne un outil lourd du pompier au moment de la préhension;
- les outils les plus lourds sont rangés le plus bas possible dans les compartiments, de préférence à une hauteur située entre les genoux et la taille du pompier;
- le polygone de sustentation, ou les points d'appui pour les pieds au sol ou sur la surface de travail, offrent suffisamment de stabilité pour pouvoir déplacer l'objet;
- le coefficient de friction au sol est adéquat pour la tâche à effectuer, surtout s'il y a présence de forces antéro-postérieures ou médio-latérales;
- l'espace de prise sur l'objet est adéquat pour les mains gantées;
- le déplacement vertical de l'objet se fait à l'intérieur des zones d'atteintes;

- le déplacement horizontal de l'objet se fait à l'intérieur des zones d'atteintes;
- le soulèvement vertical se fait sans torsion ou cisaillement au niveau du dos;
- il devrait être possible de déplacer ou tirer l'outil ou l'équipement vers soi en le glissant pour assurer une meilleure prise ou une meilleure position pour le prendre;
- utiliser un rangement qui permette de rapprocher l'outil ou l'équipement le plus près du corps pour le soulèvement;
- tenir compte du fait que le rangement dans des gaines qui encastrent un outil, ou des cases verticales profondes, utilisées pour maintenir les outils et équipements en place sur une tablette, obligent le pompier à soulever d'abord l'outil ou l'équipement avant de le retirer du compartiment;
- les crochets ou bandes élastiques utilisés pour maintenir les outils ou équipements en place sur les tablettes ne nuisent pas en soi à la manutention, mais il faut tenir compte du temps nécessaire à les enlever avant de pouvoir prendre l'outil;
- éviter les compartiments « caverneux » car ils invitent l'accumulation d'outils ou d'équipement en vrac : éviter les situations où le pompier doit entrer une partie de son corps à l'intérieur du compartiment;
- distinguer les manipulations d'outil et d'équipement à un ou à deux pompiers : lorsque deux pompiers sont nécessaires, les deux devraient avoir suffisamment d'espace pour travailler sans torsion lombaire ou hyper-extension du tronc pour l'un comme pour l'autre;
- la durée de temps pendant laquelle l'outil ou l'équipement est en allègement devrait être la plus courte possible;
- la présence de poignées adéquates, escamotables ou non, sur un outil et un équipement rapproche le centre de gravité de la charge près du corps et facilite le transport sur des longues distances tout en dégageant les membres inférieurs;
- les tablettes-tiroirs ne devraient pas être installées plus haut que la taille du pompier;
- d'un façon générale, il est préférable de pouvoir glisser un outil sans contrainte puis de le soulever, que de le soulever avec contrainte;
- les équipements saisonniers (par ex. pour les feux de cheminées) devraient être placés de façon à être plus facile d'accès pendant la saison où ils risquent le plus d'être utilisés;

b) Rangement et manutention des outils et équipements

Pour les fins de ces recommandations, les outils et équipements ont été classés selon leur mode de rangement. Les avantages et les inconvénients sont présentés du point de vue de la biomécanique, avec comme objectif la minimisation des risques pour les lomalgies lors de la manipulation. L'impact de ces recommandations du point de vue de la conception, de la

complexité, de l'organisation du travail ou du coût sont sujets à discussion avec le milieu concerné. Les outils et équipements sont regroupés ainsi :

1 - Outils et équipements rangés dans des compartiments fermés :

- DUM (scie circulaire)
- génératrice
- ventilateur (extracteur de fumée)
- système de désincarcération : compresseur, ciseaux, écarteurs, blocs

2 - Outils et équipements accrochés au camion ou rangés sur le dessus du camion

- échelles (12 pi., 24 pi. et 35 pi. et plus)
- canon à eau
- cale du stabilisateur (vérin hydraulique)

3 - Appareils de protection respiratoire autonome (ARA)

- ARA rangé dans des compartiments extérieurs
- ARA rangé dans le dossier de certains sièges de la cabine-équipe

1 Outils et équipements rangés dans les compartiments

1.1 Types d'accès

1.1.1 Porte coulissante vers le haut (« roll-up doors »)

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - ne fait pas obstacle à la circulation à pied autour du véhicule; - facilite l'accès aux différents compartiments sur les côtés du véhicule; - diminue le risque d'accident par contact avec une porte ouverte; 	<ul style="list-style-type: none"> - selon la dimension de la porte, peut demander plus d'effort musculaire pour l'ouvrir qu'une porte à charnière verticale; - l'utilisation de ce type de porte peut nécessiter un effort plus soutenu sur une plus grande période de temps; - il y a risque de blessure aux doigts (coincement) lors de la fermeture de la porte; - ce type de porte peut se bloquer en position fermée si l'équipement contenu dans le compartiment se déplace et accote dans la porte quand le camion roule; 	<ul style="list-style-type: none"> - importance d'assurer une bonne prise pour les mains; - recommandé pour les outils qui doivent être manipulés à deux pompiers, avec un tiroir coulissant; - l'entretien de la porte est important pour éviter les contrecoups au dos et aux épaules si le mécanisme bloque; - éviter d'installer ce type de porte où il y a une palette, car la distance entre la porte à ouvrir et le corps du pompier se trouve augmentée; - étudier les contraintes pour le dos si la porte fait toute la hauteur du camion avec un seuil près de 50 cm du sol;

1.1.2 Porte à charnière horizontale (supérieure)

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - l'ouverture nécessite peu de force musculaire si les béquilles sont bien entretenues; - si elle est suffisamment haute, facilite la circulation à pied autour du véhicule d'urgence (dégagement suffisant pour la tête, casquée); - plusieurs de ces portes peuvent être ouvertes sans nuire à l'accès aux compartiments voisins; 	<ul style="list-style-type: none"> - selon la hauteur de la porte lorsque ouverte, risque possible de contact avec les coins de la porte; - peut nécessiter un effort important pour la fermeture selon les dimensions de la porte et le dégagement supérieur; - peut nécessiter une hyperextension du tronc et de l'épaule pour saisir la porte dans le but de la fermer; 	<ul style="list-style-type: none"> - la porte doit s'ouvrir suffisamment haut pour dégager la tête, casquée; - peut être utilisée s'il y a une palette (la charge se rapproche du corps au fur et à mesure que la porte s'ouvre); - éviter d'utiliser avec des compartiments trop près du sol; - <i>à titre d'information</i> : la zone d'atteinte supérieure est de 169,4 cm pour un individu de taille de 152 cm (5 pi), et de 202,9 cm pour un individu de 182,9 cm (6 pi.), Source : <i>Humanscale 1-2-3</i>, 1981, population É-U.

1.1.3 Porte à charnière verticale (ouverture vers la gauche ou vers la droite)

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none">- nécessite peu de force musculaire pour l'ouverture;	<ul style="list-style-type: none">- fait obstacle à la circulation à pied autour du véhicule lorsque les portes sont ouvertes;- lors des manutentions nécessitant deux pompiers, peut obliger la manutention en torsion lombaire du pompier qui est du côté de la porte;	<ul style="list-style-type: none">- bon pour les compartiments contenant des outils pouvant être manipulés par un seul pompier;- bon pour les petit compartiments situés près du sol;- à dimension de compartiment égale, il est préférable d'avoir une grande porte que deux portes à charnières verticales (« barn doors »);- prévoir un mécanisme qui bloque la porte à 90° en position ouverte afin d'éviter de nuire à l'ouverture des autres compartiments, ou que la porte se referme d'elle-même, SAUF si l'objet à manipuler est lourd et doit être saisi par deux pompiers; dans ce dernier cas, l'ouverture doit être maximale;- ne pas accrocher des pièces d'équipement à l'intérieur de la porte car ils peuvent empêcher le pompier de se placer dans une position optimale pour soulever la charge;

1.2 Types de rangement

1.2.1 En vrac

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - économie en poids et en complexité lors de la construction; - simplicité; 	<ul style="list-style-type: none"> - obligation de manipuler plusieurs autres outils ou équipements avant d'accéder à l'outil ou l'équipement désiré; - maintien d'une posture statique pendant toute la durée de la recherche du bon équipement; 	<ul style="list-style-type: none"> - le rangement en vrac devrait être évité; - s'il n'y a pas d'autres solutions au rangement, il devrait être utilisé pour les outils de deuxième ligne; - organiser le rangement des outils et équipements en fonction de l'utilisation saisonnière; - éviter les outils qui peuvent s'accrocher ou s'agripper entre eux;

1.2.2 Sur des tablettes fixes

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - permet l'étagement des outils et équipements selon leur poids et la fréquence d'utilisation; - permet de placer un outil ou un équipement à une hauteur adéquate pour sa manutention; 	<ul style="list-style-type: none"> - il peut y avoir trop d'outils et d'équipements sur la même tablette, ce qui oblige à manipuler plusieurs autres outils ou équipements avant d'accéder à l'outil ou équipement désiré; - travail en torsion lombaire si deux pompiers doivent soulever, puis retirer un outil ou un équipement lourd; - l'accès aux outils et équipements sur la tablette peut dépendre du type de porte du compartiment; 	<ul style="list-style-type: none"> - éviter d'utiliser pour des outils devant être manipulés par deux pompiers; - dans les compartiments profonds, favoriser le rangement des outils transversalement sur les tablettes; - dans les compartiments peu profonds, ranger les outils longitudinalement sur les tablettes, les plus lourds près du bord extérieur de la tablette; - ranger les objets courts et légers sur les tablettes du haut; les outils les plus lourds doivent se situer entre le niveau du genou et de la taille du pompier;

1.2.3 Sur des tablettes tiroirs

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - permet de sortir l'outil ou l'équipement hors du compartiment, permettant une position optimum du ou des pompiers pour la prise et le soulèvement (en admettant aucun encombrement causé par les portes); 	<ul style="list-style-type: none"> - le type de porte du compartiment peut nuire à l'accès aux outils et équipements sur la tablette même si celle-ci est tirée à l'extérieur du compartiment; - sortir la tablette du compartiment est une opération supplémentaire; - tirer la tablette à l'extérieur nécessite une prise pour les mains; - tirer la tablette à l'extérieur nécessite un bon coefficient de friction au sol; - les tablettes-tiroirs munies d'un rebord orienté vers le haut nécessitent que les outils ou les équipements soient soulevés; ils ne peuvent être glissés sur la tablette; - l'absence d'un mécanisme qui bloque la tablette – tiroir en position « sortie » rend la remise en place des outils et équipements plus difficile (travail statique); 	<ul style="list-style-type: none"> - les recommandations pour les tablettes fixes (1.2.2) s'appliquent; - si le compartiment est situé au niveau d'une palette arrière, la tablette-tiroir devrait pouvoir se tirer au moins 30 cm au delà de la palette; - pour les outils manipulés par deux pompiers, favoriser l'extraction quasi complète de l'outil du compartiment; - prévoir un mécanisme qui bloque le tiroir en position ouverte pour faciliter la remise en place de l'outil; - prévoir suffisamment d'espace pour que le tiroir puisse être saisi avec les mains gantées; - le bon entretien des rails est important pour éviter que le tiroir ne bloque lorsqu'on le tire;

2 Outils et équipements à l'extérieur des compartiments

2.1 Échelles

2.1.1 Supports fixes sur le côté du véhicule

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - ne nécessite pas de monter sur le dessus du véhicule pour les prendre; - n'encombre pas l'espace pour les manœuvres avec les boyaux sur le dessus du camion; 	<ul style="list-style-type: none"> - travail en hyperextension du tronc et flexion importante des épaules pour défaire les fixations qui retiennent les échelles sur les supports; - plusieurs échelles de longueurs différentes accrochées les unes devant les autres; - travail en hyperextension du tronc pour décrocher une échelle et la maintenir stable pendant la première phase de la descente : la base d'appui du pompier qui est restreinte (jambes près l'une de l'autre pour être le plus grand possible) et l'échelle qui fait corps avec le pompier, résultent en un équilibre précaire; - les pompiers de plus petite taille doivent improviser un appui supplémentaire en hauteur (autre échelle, jante de la roue,...); - limite l'espace pour l'installation de compartiments latéraux; 	<ul style="list-style-type: none"> - support articulé qui descend les échelles au niveau des épaules, pour les échelles de 24 pi et plus; - la manipulation des échelles de 24 pi doit se faire à deux; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'adopter des méthodes de transport d'échelle utilisées dans d'autres services (téléphone, électricité, câble,...) par ex. : un support qui pivote vers le bas; - <i>piste de solution</i> : le système de fixation des échelles sur le support est à améliorer (par ex. : installer le système de fixation sur la partie inférieure du support, de telle sorte qu'on doive appliquer une force vers le bas, et non vers le côté ou en montant);

2.1.2 Support articulé sur le côté du véhicule

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<p><u>Système manuel :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - tout le support bascule et place les échelles à la hauteur des épaules; <p><u>Système mécanique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ne nécessite pas de force humaine pour monter et descendre les échelles; - en descendant, le support éloigne les échelles du côté du camion; 	<p><u>Système manuel :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - peut nuire partiellement ou complètement à l'accès à certains compartiments lorsque basculé en position basse; - travail en hyperextension du tronc et des épaules pour contrôler le basculement du support et des deux ou trois échelles qui y sont accrochés, et lors de sa remise en place; - plusieurs échelles de longueurs différentes accrochées les unes par dessus les autres; - oblige à manipuler deux échelles à la fois; les mêmes inconvénients sont présents lorsqu'on remet les échelles en place; <p><u>Système mécanique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - peut nuire partiellement ou complètement à l'accès à certains compartiments lorsque basculé en position basse; - plusieurs échelles de longueurs différentes accrochées les unes par dessus les autres; 	<p><u>Système manuel :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - peut être une solution de rechange aux supports fixes conventionnels; - favoriser l'accès aux échelles de différentes longueurs de façon indépendante; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'adapter un système similaire au basculement des ARA, avec un mécanisme à ressort qui allège le travail en descente et facilite la remise en place; <p><u>Système mécanique :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - favoriser l'accès aux échelles de différentes longueurs de façon indépendante;

2.1.3 Support fixe sur le dessus du camion

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - permet plus d'espace pour des compartiments sur les côtés; - n'encombre pas l'accès aux compartiments sur les côtés supérieurs du véhicule d'urgence; 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite qu'au moins un pompier monte sur les longueurs de boyaux sur le dessus du camion, et un autre pompier au sol pour prendre l'échelle; - obligation de monter sur le dessus du camion; dans certains cas, carence de supports et de prises pour accéder au dessus du véhicule; - travail en hyperextension du tronc à partir du sol ou de la palette arrière; - dans certains cas, plusieurs échelles de longueurs différentes transportées les unes par dessus les autres; - la hauteur (2 m et plus) peut devenir un risque en cas de chute; - oblige à travailler avec une flexion du tronc lorsqu'on remet les boyaux dans les compartiments sur le dessus des camions; - il existe un risque de se cogner la tête sur les échelles lorsqu'on remet les boyaux dans les compartiments sur le dessus des camions; 	<ul style="list-style-type: none"> - en général, éviter la manutention de charges lourdes sur le dessus du camion, en particulier sur les surfaces instables et inégales (boyaux); - améliorer l'accès, par l'arrière ou les côtés, au dessus du camion; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'utiliser un support muni de trois points d'appui pour l'échelle, dont deux (au centre et à l'arrière) équipés de roulements pour faciliter le déplacement des échelles les plus lourdes sur le support;

2.1.4 Support articulé sur le dessus du camion

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - la partie arrière du support bascule et place les échelles à angle et plus près du sol; - permet la dépose au sol plus rapidement; - diminue la hauteur de manutention lorsque les pompiers sont sur la palette arrière; 	<ul style="list-style-type: none"> - quoique la hauteur d'accès moindre diminue le travail en hyperextension du tronc, certains inconvénients demeurent ; - obligation de monter et de descendre de sur le dessus du camion; dans certains cas, carence de supports et de prises pour accéder au dessus du véhicule; - dans certains cas, plusieurs échelles de longueurs différentes transportées les unes par dessus les autres; 	<ul style="list-style-type: none"> - faciliter l'accès au dessus du véhicule; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'utiliser des roulements disposés au centre et à l'arrière du support pour faciliter le déplacement des échelles les plus lourdes sur le support;

2.1.5 Compartiment horizontal à accès latéral

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - accès immédiat (pas de porte à ouvrir); - la hauteur des compartiments situe les échelles à manipuler entre la taille et les épaules; évite le travail en hyperextension du tronc; - chaque échelle est logée indépendamment l'une de l'autre sur son propre support horizontal : évite d'avoir à manipuler plusieurs échelles avant d'en arriver à celle dont on a besoin; 	<ul style="list-style-type: none"> - ne peut être installé sur tous les types de véhicules d'urgence; - lorsque l'échelle est sortie à moitié, on doit contrôler le moment de rotation axial de l'échelle; 	<ul style="list-style-type: none"> - aucune; - <i>développement possible</i> : supports tiroirs aux extrémités qui permettent de sortir l'échelle complètement du côté du camion;

2.1.6 Compartiment horizontal ou vertical à accès par l'arrière

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none">- la hauteur des compartiments situe les échelles à manipuler entre la taille et les épaules; évite le travail en hyperextension du tronc;	<ul style="list-style-type: none">- les échelles sont sorties du véhicule par l'arrière : on doit donc s'assurer du dégagement nécessaire à l'arrière du véhicule;- dans certains cas, plusieurs échelles de longueurs différentes sont transportées les unes par dessus les autres : la friction d'une échelle sur l'autre nécessite plus de force en traction;- les échelles doivent être tirées hors du compartiment : nécessite un bon coefficient de friction au sol;	<ul style="list-style-type: none">- éviter d'entreposer les échelles les unes par dessus les autres;- installer des patins en Teflon™ pour diminuer le coefficient de friction d'une échelle sur l'autre ou encore, faire un compartiment propre à chaque échelle;- <i>piste de solution</i> : évaluer la force musculaire, les avantages et les inconvénients respectifs d'un rangement à l'horizontal comparé à un rangement vertical des échelles;

2.2 Canons à eau

2.2.1 Monopiece, transporté en vrac dans un compartiment sur le camion

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - vu sa faible fréquence d'utilisation, n'encombre pas les autres compartiments du camion; - 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite de monter sur le dessus du camion; - masse importante (30 – 55 kg) de certains canons; - les pièces mobiles du canon déstabilisent la manutention; - flexion lombaire importante pour le retirer du compartiment; - risque de chute au sol pour le pompier sur le toit lors du transfert du canon à l'autre pompier; - problème d'accès pour le pompier qui reçoit le canon sur la palette latérale; - l'exiguïté de la surface de travail sur le dessus du camion ne permet pas un appui optimum pour les pieds; 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser un modèle plus léger de canon à eau, ou un modèle muni d'une poignée pour le transport; - remiser dans un endroit qui favorise la prise par deux pompiers, avec le minimum de flexion du tronc; - garder les pièces mobiles fixées en place lors de la manutention du canon; - faciliter l'accès au dessus du camion par l'arrière ou par les côtés; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'une aide à la manutention (e.g. système de poulie, palan, ...);

2.2.2 Monopiece, connecté sur le dessus du camion

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - vu sa faible fréquence d'utilisation, n'encombre pas les autres compartiments du camion; - pas de flexion lombaire pour le retirer du compartiment; 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite d'aller sur le dessus du camion; - effort musculaire supplémentaire pour dévisser les écrous de serrage qui maintiennent le canon en place; - masse importante (30 – 55 kg) de certains canons; - risque de chute au sol pour le pompier sur le toit lors du transfert du canon à l'autre pompier; - problème d'accès pour le pompier qui reçoit le canon sur la palette latérale; 	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser un modèle plus léger de canon à eau ou un modèle muni d'une poignée pour le transport; - faciliter l'accès au dessus du camion par l'arrière ou par les côtés; - <i>piste de solution</i> : étudier la possibilité d'une aide à la manutention (e.g. système de poulie, palan, ...);

2.2.3 Embout connecté sur le camion / base transportée dans un compartiment accessible au sol

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - légèreté (8,6 kg pour le modèle observé) due à la technologie de fabrication, et au fait que la moitié du canon est fixé sur le toit, l'autre (la base) étant transportée dans un compartiment accessible au sol; 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite d'aller sur le dessus du camion; - effort musculaire supplémentaire pour dévisser les écrous de serrage qui maintiennent le canon en place; 	<ul style="list-style-type: none"> - faciliter l'accès au dessus du camion par l'arrière ou par les côtés;

2.3 Cales des vérins hydrauliques

2.3.1 Cales en bois (planches de contre-plaqué tenues ensemble par des boulons et écrous)

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - les cales sont un soupçon plus légères que les cales en métal; - moins dangereuses pour les pieds et les jambes en cas de contact; 	<ul style="list-style-type: none"> - l'extrémité des boulons et les écrous s'accrochent sur la surface du compartiment ou de l'autre cale et offrent une résistance plus grande à la traction pour les sortir du compartiment, de même que pour les remettre en place; - masse non négligeable (26 kg) si manipulées les deux à la fois; - nécessite un bon coefficient de friction au sol pour pouvoir tirer ou pousser sur les cales; - hauteur de rangement par rapport au sol (40 – 54 cm) invite à forcer avec le dos en flexion, ou en position accroupie; - les compartiments de rangement déformés ou dont les rails sont rouillés nécessitent un effort supplémentaire et des contrecoups pour faire sortir ou entrer les cales; 	<ul style="list-style-type: none"> - envisager un système de rangement qui évite le coincement des cales dans leurs rangements afin d'éviter les contrecoups et de tirer en cisaillement, entre autres : - s'assurer que les boulons qui maintiennent les planches ensemble n'accrochent pas; - s'assurer que les cales ne sont pas déformées afin qu'elles entrent et sortent du compartiment facilement; - entretenir les compartiments pour éviter les déformations et la rouille; - assurer un meilleur dégagement des cales dans le compartiment; - De plus : - on peut tirer sur les deux cales en même temps, mais il est préférable de les manipuler une à la fois; - ne pas essayer de maintenir les cales lorsqu'elles sortent du compartiment : il est préférable de les laisser tomber par terre qu'essayer de les retenir; - éviter de tenir les cales par les extrémités lorsqu'on les remet en place : le centre de masse est plus près du corps quand on les prend par le milieu;

2.3.2 Cales en métal

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - construction monopièce, sans boulons ni écrous; 	<ul style="list-style-type: none"> - masse non négligeable (27 – 28 kg) si manipulées les deux à la fois; - nécessite un bon coefficient de friction au sol pour pouvoir tirer ou pousser sur les cales; - hauteur de rangement par rapport au sol (40 – 54 cm) invite à forcer avec le dos en flexion, ou en position accroupie; - les compartiments de rangement déformés ou dont les rails sont rouillés nécessitent un effort supplémentaire et des contrecoups pour faire sortir ou entrer les cales; - impossible à prendre au sol avec une main gantée si les poignées ne sont pas à angle; 	<ul style="list-style-type: none"> - les mêmes recommandations que pour les cales en bois (2.3.1), sauf la deuxième, s'appliquent; - favoriser les poignées flexibles ou les poignées rigides à angle; - si présence de poignées à angle, tirer à l'horizontal et non dans l'angle de la poignée; - <i>piste de solution</i> : étudier les avantages ergonomiques et biomécaniques de cales munies de deux poignées au lieu d'une seule; - <i>piste de solution</i> : envisager de mettre une cale par compartiment, près de chaque vérin; - <i>piste de solution</i> : envisager des patins en Teflon™ afin de faciliter le glissement d'une cale sur l'autre;

2.4 Appareil de protection respiratoire autonome (ARA)

2.4.1 Support fixe dans un compartiment latéral

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - simplicité; 	<ul style="list-style-type: none"> - peut nécessiter de forcer avec les bras éloignés du corps et en extension, selon la hauteur de fixation, pour dégrafer la bonbonne dans le compartiment et/ou la taille du pompier; - il y a possibilité de blessure au dos si on endosse la bonbonne avec la méthode « du havresac » et qu'on échappe la bonbonne; 	<ul style="list-style-type: none"> - favoriser un aménagement qui permet de prendre la bonbonne sans contrecoups; - minimiser les mouvements extrêmes des épaules; - <i>piste de solution</i> : envisager de remplacer les crochets de suspension actuels (<i>clips</i>) par un système qui permet de prendre les bonbonnes sans contrecoups, par ex., un support qui maintient la bonbonne à la verticale avec une sangle; - <i>piste de solution</i> : envisager des bretelles préformées vers l'avant qui minimisent les rotations externes et les extensions de l'épaule pour les enfiler;

2.4.2 Support articulé dans un compartiment latéral

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none">- le support articulé éloigne la bonbonne du camion tout en la descendant au niveau des épaules du pompier;	<ul style="list-style-type: none">- la position finale de la bonbonne ne convient pas pour toutes les tailles de pompier, certains doivent fléchir les genoux, d'autres dégrafent la bonbonne pour l'endosser car ils sont trop petits;- peut nécessiter de forcer avec une élévation de la ceinture scapulaire combinée à une abduction importante des épaules, selon la hauteur de fixation, pour mettre la bonbonne;- dans certaines installations, une impulsion de tout le tronc vers l'avant est nécessaire pour dégrafer la bonbonne d'après le support;	<ul style="list-style-type: none">- favoriser un aménagement qui permet de prendre la bonbonne sans contrecoups;- <i>piste de solution</i> : envisager des bretelles préformées qui diminueraient l'abduction importante des épaules;

2.4.3 Incorporé dans le dossier du siège de la cabine équipe

Avantages	Inconvénients	Recommandations
<ul style="list-style-type: none"> - permet d'arriver sur les lieux de l'intervention avec la bonbonne déjà endossée; - libère de l'espace dans les compartiments de rangement; 	<ul style="list-style-type: none"> - dans certaines installations, extension importante et rotation externe de l'épaule pour parvenir à enfiler les sangles; - dans certaines installations, une impulsion du dos est nécessaire pour dégrafer la bonbonne d'après le support dans le dossier du siège; - ajoute au poids du pompier qui descend : augmentation de la force d'impact au sol; - il y a un risque de blessure au dos si le support dans le siège est installé trop bas, ou si le pompier est trop grand, lorsque le camion subit choc ou passe sur un obstacle; 	<ul style="list-style-type: none"> - aménager la sortie de la cabine équipe afin de réduire la force d'impact au sol;

7. RÉFÉRENCES

- Andersson, G.B.H. et Ortengren, R., (1984) : «Assessment of back load in assembly line work using electromyography.» *Ergonomics*, 11:1157-1168.
- Andersson, G.H., Ortengren, R. et Nachemson, A., (1977) : «Intradiskal pressure, intra-abdominal pressure and myoelectric back muscle activity related to posture and loading.» *Clinical Orthopaedics*, 129:156-164.
- Anon. (1999) : 3D Static Strength Prediction Program (v 4.2) User's manual. Center for Ergonomics, University of Michigan, Ann Arbor (Mi). 78 pages.
- APSAM, (1994). Problématique de la santé et de la sécurité du travail chez les pompiers. Rapport Association paritaire pour la santé et la sécurité au travail - secteur Affaires municipales (APSAM), Montréal, 79 pages.
- Belenkii, V.Y., Gurfinkel, V.S. et Paltsev, Y.I., (1967) : «Elements of control of voluntary movements.» *Biofizika*, 12(1):154-161.
- Bergeron, F., Fuvel, E. et Lavigne, J., (1982). Santé et sécurité au travail chez les pompiers - Document de travail. Rapport DSC - Hôpital St-Luc de Montréal, Montréal, 85 pages.
- BNQ, (1979). «Casques de protection utilisés pour combattre les incendies du bâtiment». Bureau de Normalisation du Québec, Québec. BNQ-1923-410, 17 octobre 1984. 39 p.
- BNQ, (1994). «Lutte contre les incendies du bâtiment - vêtements de protection». Bureau de Normalisation du Québec, Québec. BNQ-1923-030, 10 janvier 1994. 37 p.
- Bouisset, S. et Zattara, M., (1987) : «Biomechanical study of programming of anticipatory postural adjustment associated with voluntary movement.» *Journal of Biomechanics*, 22:263-270.
- Callaghan, J.P. et McGill, S.M., (1995) : «Muscle activity in low back loads under external shear and compressive loading.» *Spine*, 20(9):992-998.
- Cloutier, E. et Champoux, (1996). Problématique de la santé et de la sécurité du travail chez les pompiers : résultats de l'analyse de fichiers d'accidents de deux municipalités du Québec. Rapport IRSST R-144, Montréal, 102 pages.
- Chaffin, D.B. et Andersson, G. (1984) : « Occupational Biomechanics ». Wiley, New York, 890 pages.
- Corlett, E.N., (1990). «Static muscle loading and the evaluation of posture». *in*: Evaluation of human work, Wilson, J.R. et E.N. Corlett éd., Taylor and Francis, New York, 542-570.
- Corlett, E.N., Eklund, J., Rilley, T. et Troup, J.D.G., (1987) : «Assessment of workload from measurement of stature.» *Applied Ergonomics*, 18:65-71.

- Crisco III, J.J. et Panjabi, M.M., (1992) : «Euler stability of human ligamentous lumbar spine - Part 1 : Theory.» *Clinical Biomechanics*, 7:19-26.
- Diffrient, N, Tilley, A.R. et Harman, D. (1981) : *Humanscale 7/8/9*. The MIT Press, Cambridge (MA), 52 pages.
- English, W., (1993) : «Reducing falling hazards on fire trucks.» *Professional Safety*, 38(9):35-38.
- Faff, J. et Tutak, T., (1989) : «Physiological response to working with fire fighting equipment in the heat in relation to subjective fatigue.» *Ergonomics*, 32(6):629-638.
- Fathallah, F.A. et Cotnam, J.P (2000) : « Maximum forces sustained during various methods of exiting commercial tractors, trailers and trucks ». *Applied Ergonomics*, 31(2000) : 25 - 33
- Filteau, M et Shao, Y. (1999) : Évaluation de matériaux utilisés pour la fabrication de gants de pompier. Rapport IRSST R-232, Montréal, 15 pages.
- Fire Administration, U.S., (1981). *Activities and practices for improving fire department safety and health programs*. Rapport PB82-153008/FA-57, US Fire Administration, Washington, DC, 63 pages.
- Freivalds, A., Chaffin, D.B., Garg, A. et Lee, K.S., (1984) : «A dynamic biomechanical evaluation of lifting maximum acceptable loads.» *Journal of Biomechanics*, 17:251-262.
- Frymoyer, J.W., Pope, M.H., Clements, J.H., Wilder, D.G., Macpherson, B. et Ashikaga, B., (1983): «Risk factor in low-back pain.» *Journal of Bone and Joint Surgery*, 65:213-218.
- Genaidy, A.M., Waly, S.M., Khalil, T.M. et Hidalgo, J., (1993). Spinal compression tolerance limits for the design of manual material handling operations in the workplace. *Ergonomics* (36(4) : 415 - 434
- Genin, A. (1986). *Contribution à l'évaluation des risques professionnels et à leur prévention chez les sapeurs-pompiers de Paris*. Thèse sous la direction de Proteau, J., Faculté de Médecine, Université René Descartes, Paris. 149 pages.
- Giguère, D., (1996). *Contributions possibles de l'ergonomie à l'amélioration de la sécurité du travail des pompiers - Document interne*. Rapport IRSST, Montréal, 12 pages.
- Guidotti, T.L. et Clough, V.M., (1992) : «Occupational Health concerns of fire fighters.» *Annual Review of Public Health*, 13(151-171)
- Hemmings, K.R., (1974) : *Commercial vehicle cabs: design for packaging, access and visibility*. *Proceedings Institutional Mechanical Engineers*, 188(24): 345 – 356.
- Hintze, J.L., (2001). *Number Cruncher Statistical System*. NCSS inc., Kaysville (UT). 160 pages.

- Klopp, G. et al (1997) : Mechanisms of injury and injury criterial for the human foot and ankle in dynamic axial impacts to the foot. Proc. 1997 International IRCOBI Conference on the biomechanics of impact. Bron (France), IRCOBI.
- Lara, J., Turcot, D., Daigle, T. et Massé, S. (2000). Mise au point des méthodes d'essai pour évaluer la résistance à la perforation et à la coupure des chaussures de protection utilisés pour la lutte contre les incendies. Rapport IRSST R-246, Montréal, 26 pages.
- Leatt, R., Reilley, T. et Troup, J.D.G., (1986) : «Spinal load during circuit weight training.» *British Journal of Sport Medicine*, 20:119-124.
- Lusa, S. (1994). Job demands and assessment of the physical work capacity of fire fighters. Thèse sous la direction de Louhevaara, V., Faculty of Sports and Health Sciences, University of Jyväskylä, Jyväskylä, Finlande, 145 pages.
- Lusa, S., Louhevaara, V., Smolander, J., Kinnunen, K., Korhonen, O. et Soukainen, J., (1991) : «Biomechanical evaluation of heavy tool-handling in two age groups of firemen.» *Ergonomics*, 34(12):1429-1432.
- Marchand, D., Normand, M.C., Gosselin, G., Imbeau, B. et Beauchamp, Y., (1991). Evaluation of the percentage of muscular utilization for the trunk muscles during manual handling with trunk rotation and flexion. *in: Comptes rendus X congrès de l'Association internationale d'ergonomie*, Queinsec, Y. et F. Daniellou ed(s)., Paris, IEA. pp. 221-223.
- Marchand, D., Beauchamp, Y., Bélanger, M. and Marzenska, B., (1997). *Increase in muscular demand in response to the handling of loads of unpredictable weight.* Advances in Industrial Ergonomics and Safety. Edited by Biman Das and Waldemar Karwowski, IOS Press and Ohmsha, 1997, 351-354.
- Marzenska, B., Marchand, D., Beauchamp, Y. et Bélanger, M., (1996). Augmentation de la demande musculaire reliée à l'incertitude de la charge. *in: Comptes rendus Rencontre de l'Association québécoise des sciences de l'activité physique*, ed(s)., Trois-Rivières (Qc), page 8.
- McGill, S.M. et Vaughan, K., (1994) : «Transfer of loads between lumbar tissues during the flexion-relaxation phenomenon.» *Spine*, 19(19):2190-2196.
- NFPA, (1991). «Pumper Fire Apparatus». National Fire Protection Association, Quincy, MA. NFPA-1901, 8 Février 1991, 73 p.
- Nigg, B.M., (1985). «Loads in selected sport activities - an overview». *in: Biomachanics IX-B*, Winter, D.A. et R.W. Norman éd., Human Kinetics, Champaing, IL, 91-96.
- Nigg, B.M., Bahlsen, H.A., Lüthi, S.M. et Stokes, S., (1987) : «The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running.» *Journal of Biomechanics*, 20(10):951-959.

- Nigg, B.M., Denoth, M.J. et Neukomm, P.A., (1981). «Quantifying loads in the human body: problems and some possible solutions.». *in: Biomechanics VII-B*, Morecki, A., K. Fidelus, K. Kedzior et A. Wit éd., University Park Press, Baltimore, MD, pages 88-99.
- NIOSH, (1981). A work practices guide for manual lifting. Rapport DHHS-81-122, NIOSH, Cincinnati, OH.
- Nordin, M. et Frankel, V.H. (éds) (2001) : « Basic biomechanics of the musculoskeletal system ». Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphie, 465 pages.
- Nuwayhid, I.A., Stewart, W. et Johnson, J.V., (1993) : «Work activities and the onset of first-time low back pain among New York City fire fighters.» *American Journal of Epidemiology*, 137(5):439-548.
- Patenaude, S. (1998). *L'effet de l'aménagement et de la stratégie de la descente de la cabine sur les forces d'impact au sol*. Rapport de stage déposé à l'Association Sectorielle du Transport et de l'Entreposage. Montréal, juin 1998.
- Patenaude, S., Marchand, D. et Samperi, S., (1999). L'effet de la technique de descente et de l'aménagement de la cabine sur les forces d'impact au sol. Proceedings of l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail (AQHSST), Montréal, 28 – 30 avril 1999. P. 70 – 79.
- Peterson, L. et Renström, P (1986) : « Sports injuries - Their prevention and treatment ». Mosby, St-Louis, 488 pages.
- Schirmer, J., (1982). Firefighting in New Jersey - Hazards and methods of control. Rapport New Jersey State Department of Health, Newark, NJ, 91 pages.
- Schultz, A., Cromwell, R., Warwick, D. et Andersson, G., (1987) : «Lumbar trunk muscle use in standing isometric heavy extensions.» *Journal of Orthopaedic Research*, 5:320-329.
- SIL, (1993). Rapport annuel 1993. Rapport Service des Incendies, Laval, 45 pages.
- Smith, D.L., Petruzello, J.J., Kramer, J.M., Warner, S.e., Bone, B.G. et Misner, J.E., (1995) : «Selected physiological and psychobiological responses to physical activity in different configurations of firefighting gear.» *Ergonomics*, 38(10):2065-2077.
- SPIM, (1993). Bilan des activités 1993. Rapport Service de la prévention des incendies, Montréal, 36 pages.
- Spitzer, W.O., Leblanc, F.E., Dupuis, M., Abenhaim, L., Bélanger, A.Y., Bloch, R. et al., (1987) : «Scientific approach to the assessment and management of activity-related spinal disorders: a monograph for clinicians." *Spine*, 17(7S):S1-S59.

- Tremblay, M., (1995). Évaluation des risques à la santé et recommandations d'activités pour le réseau public en santé au travail, pour les pompiers du module des opérations - Document de travail. Rapport Unité Santé au travail / Santé environnementale, Direction de la santé publique de Montréal-Centre, Montréal, 120 pages.
- ULC, (1996). «Standard for automobile fire fighting apparatus». Underwriter's Laboratories of Canada, Scarborough, ON. CAN/ULC-S515-M88, 19 mars 1996. 117 p.
- Waters, T.R. Putz-Anderson, V., Garg, A., Fine, L.J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* 36 (7), 749-776.
- Wendelen, E., (1994) : «Itinéraire parmi des professions pas gâtées.» *Performances humaines et techniques*, (72):25-38.
- Winter, D.A., (1979). Biomechanics of human movements (2nd ed.). John Wiley & sons, New York. 201 pages.
- Woodson, W.E. (1981) : Human Factors Design Handbook. McGraw-Hill, New York, 1048 pages.
- Yoganandan, N., Pintar, F.A., Kumarcasan, S., Boynton, M., (1997). Axial impact biomechanics of human foot-ankle complex. *J. Biomech. Eng.* 119 (4), 433-437.

ANNEXE

Figure 3.1 - Cheminement du projet

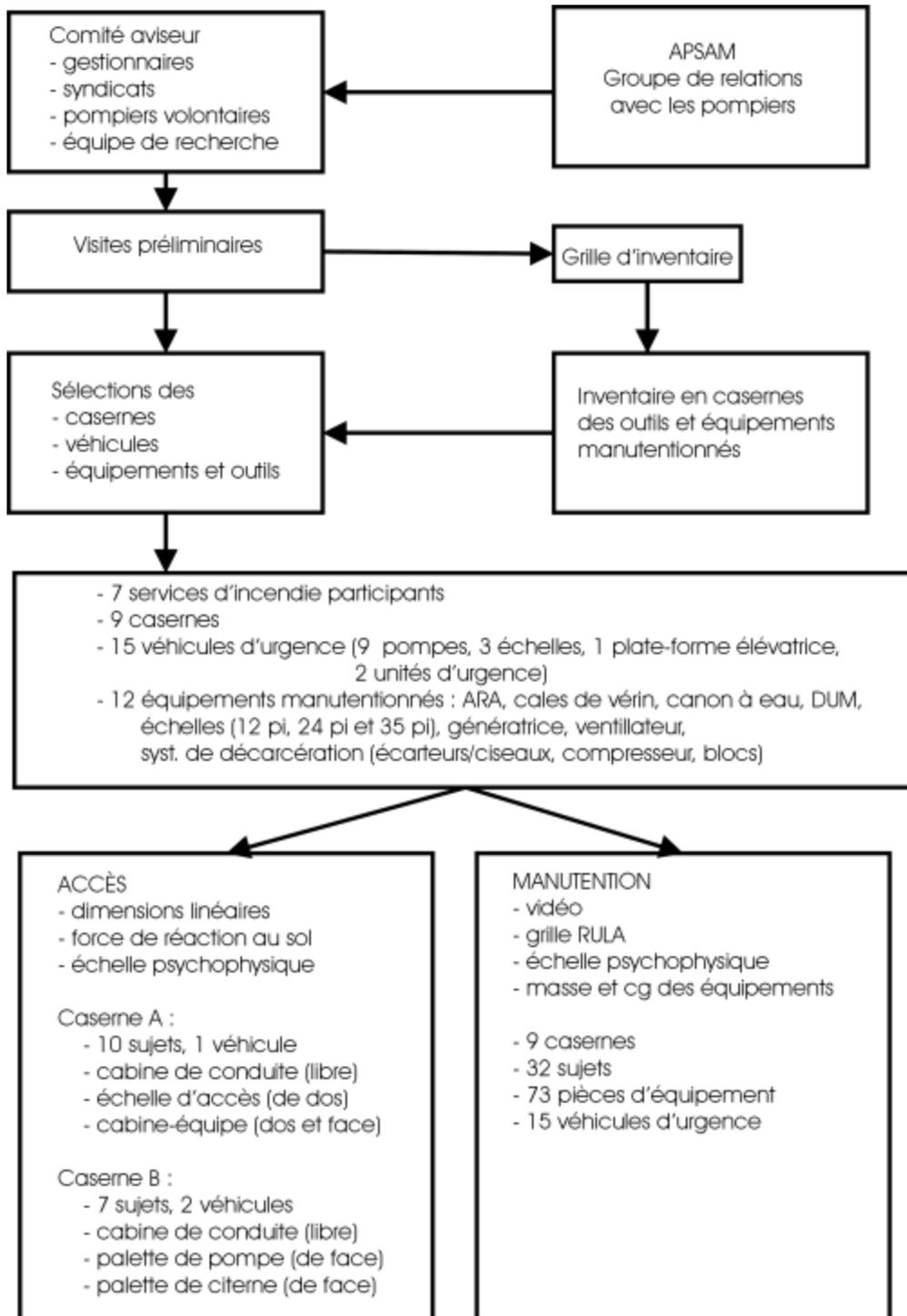


Figure 3.2 - Installation de la plate-forme de force dans la caserne « A ».
On remarque le véhicule d'urgence monté sur des blocs afin de l'exhausser à la hauteur de la plate-forme de force. Celle-ci est située au niveau de la portière de la cabine de conduite (Condition « Conducteur »)



Figure 3.3 - Descente de la cabine-équipe face à la rue (Condition « Cabine-face ») à la caserne « A »



Figure 3.4 - Descente de la cabine-équipe dos à la rue (Condition « Cabine-dos ») à la caserne « A »



Figure 3.5 - Descente de l'échelle de toit sans l'échelon escamotable (Condition « Toit-haut ») à la caserne « A »



Figure 3.6 - Descente de la cabine de conduite (Condition « Conducteur ») à la caserne « A »



Figure 3.7 - Installation de la plate-forme de force dans la caserne « B ». On remarque le véhicule d'urgence monté sur des blocs afin de l'exhausser à la hauteur de la plate-forme de force. Celle-ci est située au niveau de la portière de la cabine de conduite (Condition « CCP-face »)



Figure 3.8 - Descente de la cabine de conduite du camion-pompe face à la rue (Condition « CCP-face ») à la caserne « B »



Figure 3.9 - Descente de la palette arrière du camion-pompe face à la rue (Condition « PCP-face ») à la caserne « B »



**Figure 3.10 - Descente de la palette arrière du camion-pompe dos à la rue
(Condition « PCP-dos ») à la caserne « B »**



Figure 3.11 - Descente de la palette arrière du camion-citerne dos à la rue (Condition « PCC-dos ») à la caserne « B »



Figure 3.12 - Test d'effort musculaire maximum pour la flexion des épaules. En caserne, un assistant exerce une traction sur le dynamomètre vers le bas



Figure 3.13 - Test d'effort musculaire maximum pour le dos. La longueur de la chaîne qui relie le dynamomètre au socle est ajustée selon la taille du sujet



Figure 4.1 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 10



Figure 4.2 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 20



Figure 4.3 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 21

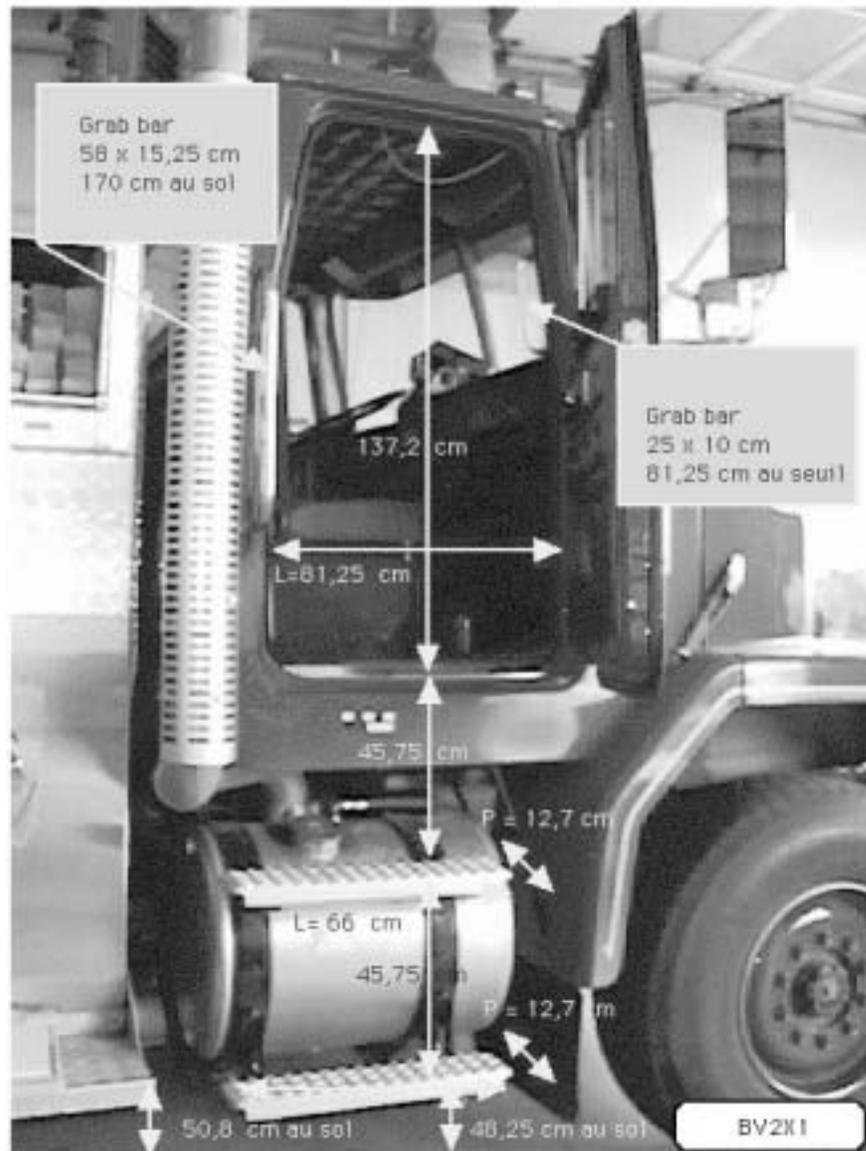


Figure 4.4 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 40



Figure 4.5 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 41



Figure 4.6 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 50

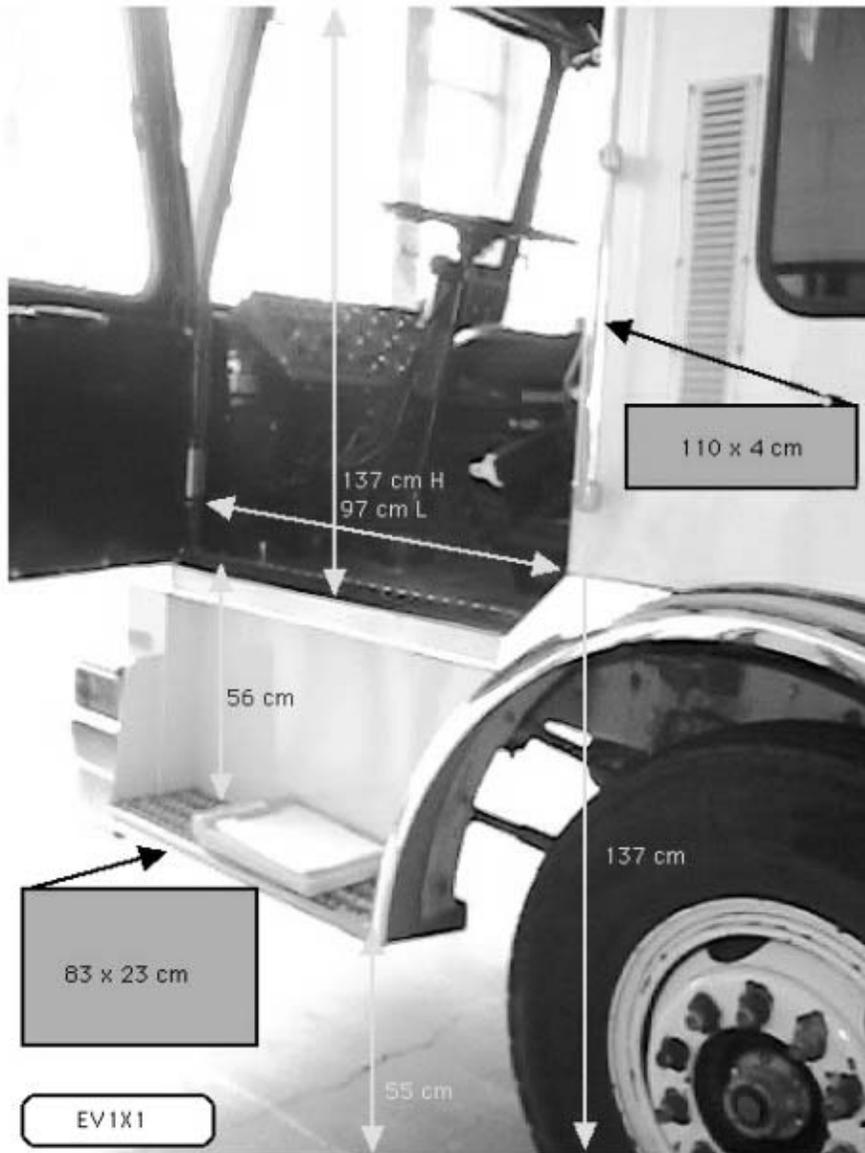


Figure 4.7 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 61



Figure 4.8 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 70

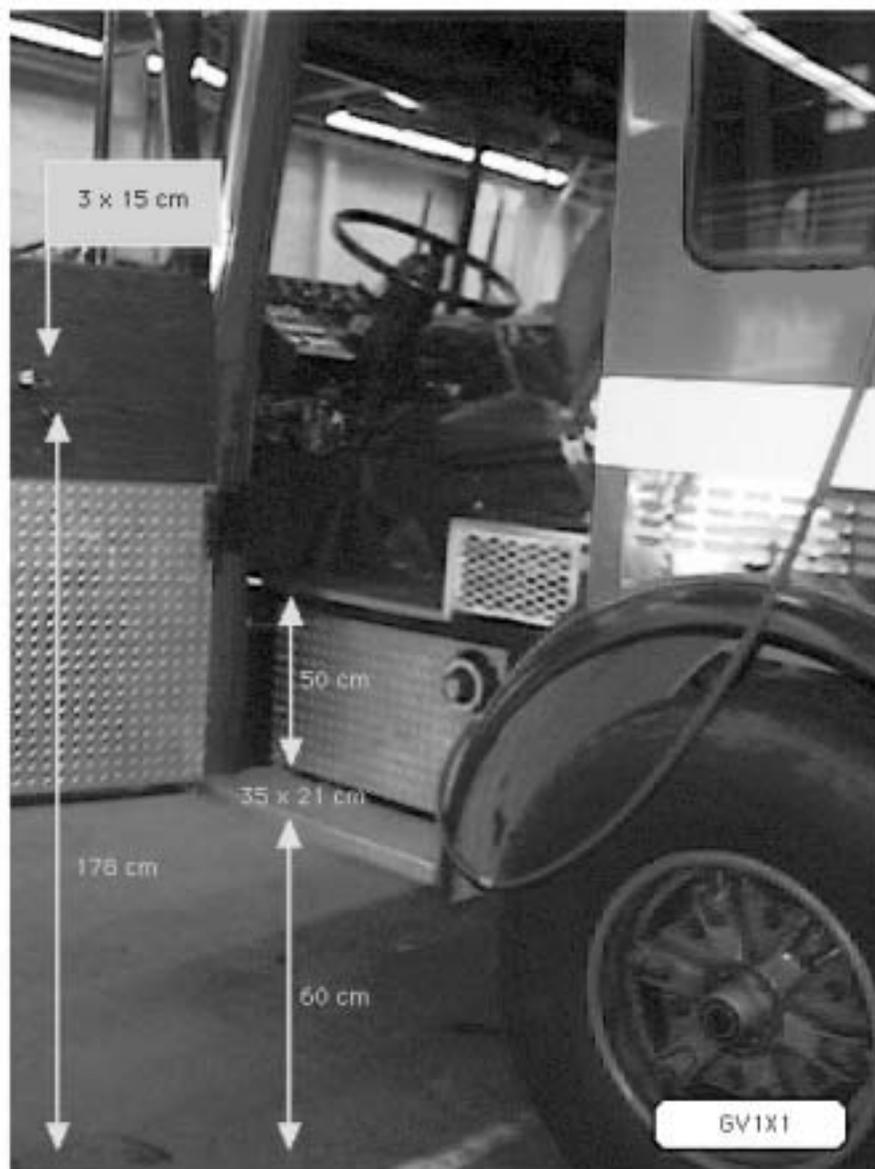


Figure 4.9 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 80

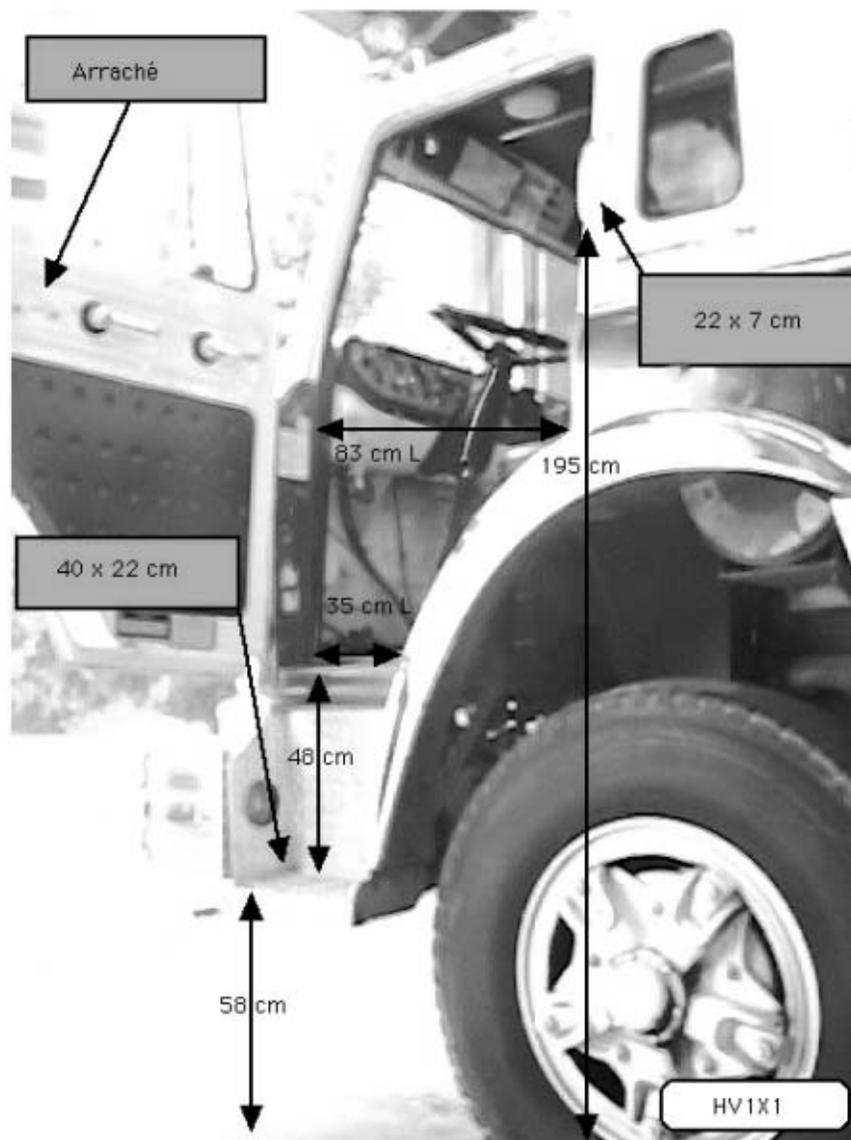


Figure 4.10 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 81



Figure 4.11 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 90



Figure 4.12 - Dimensions des accès à la cabine de conduite du camion 91



Figure 4.13 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 10



Figure 4.14 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 30



Figure 4.15 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 40

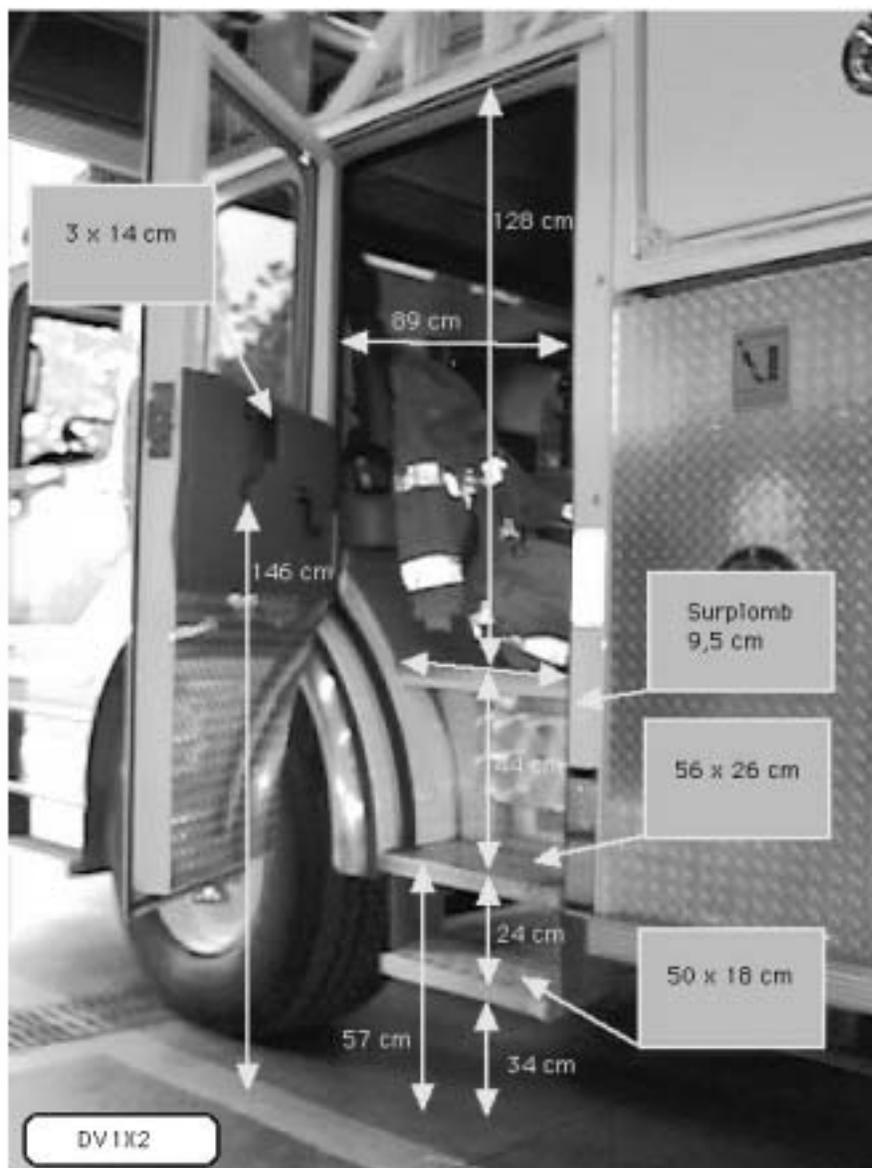


Figure 4.16 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 50

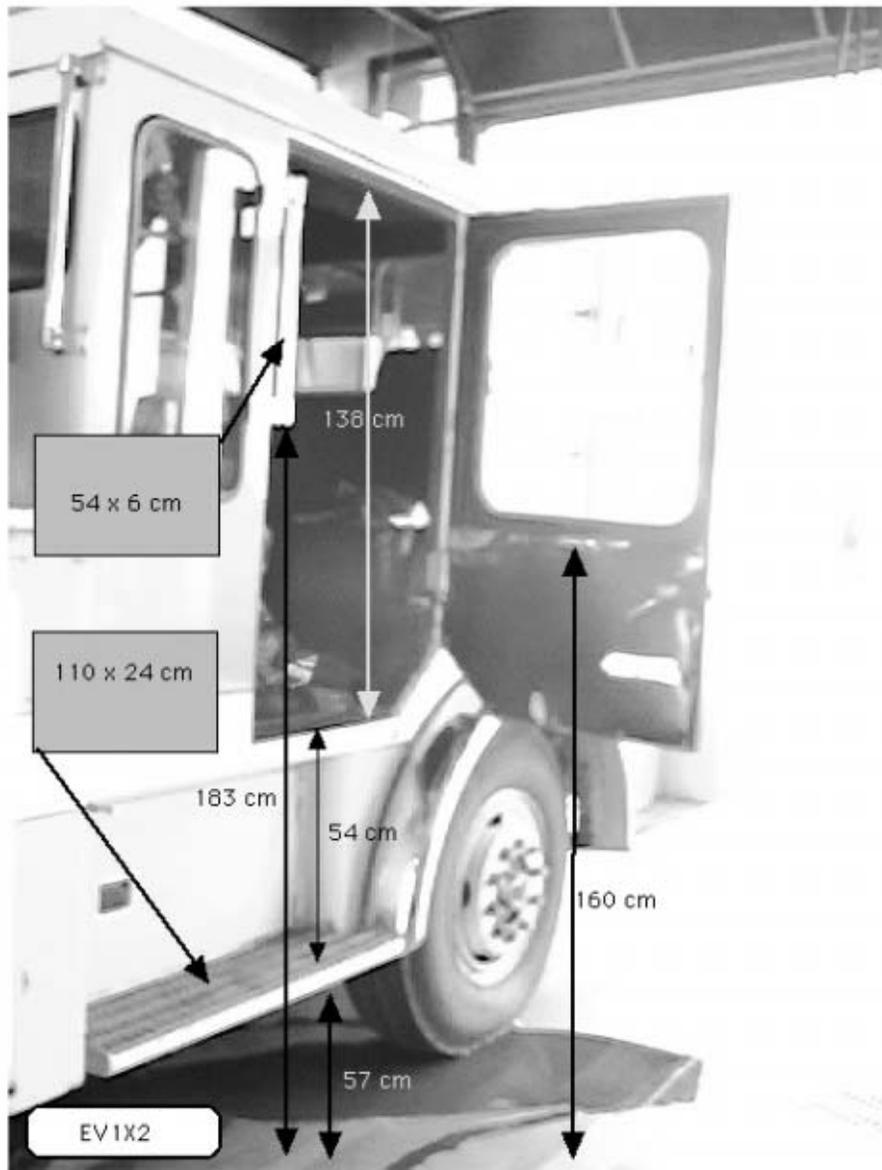


Figure 4.17 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 70

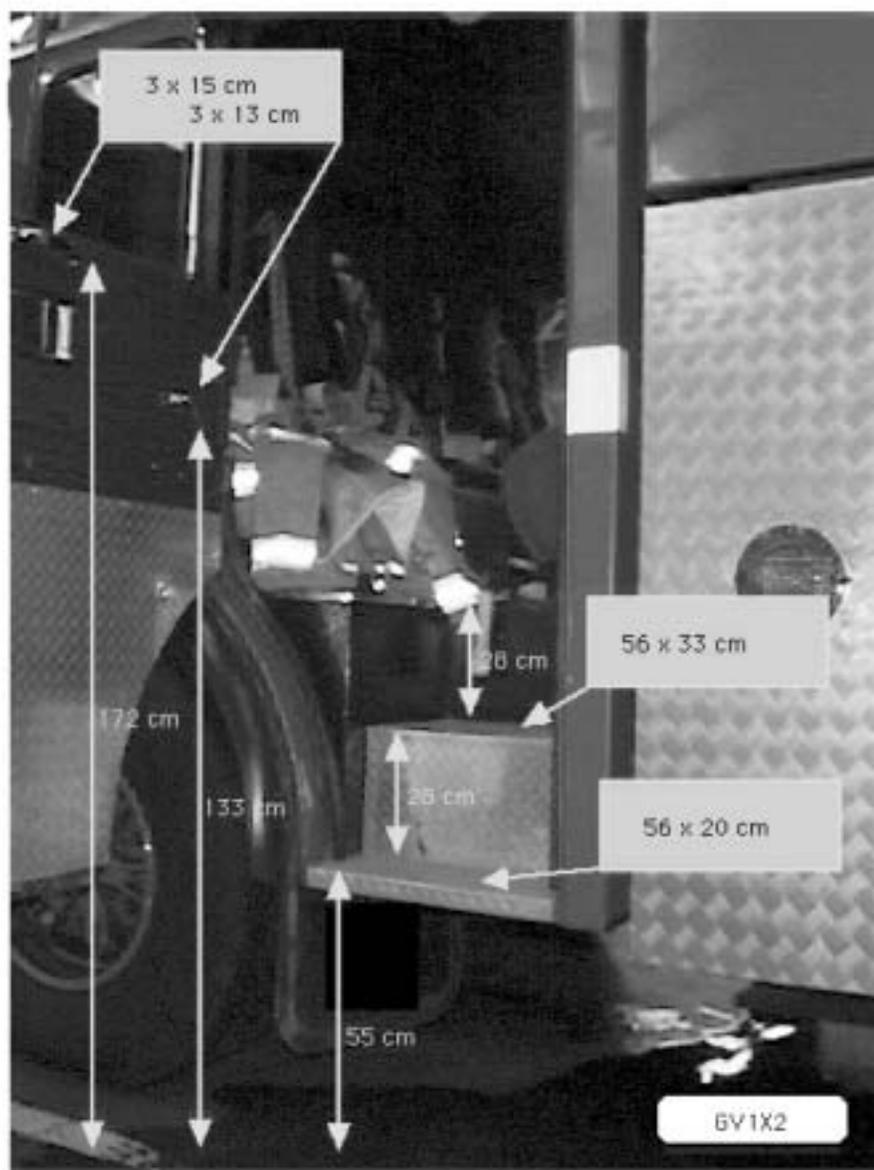


Figure 4.18 - Dimensions des accès à la cabine-équipe du camion 80

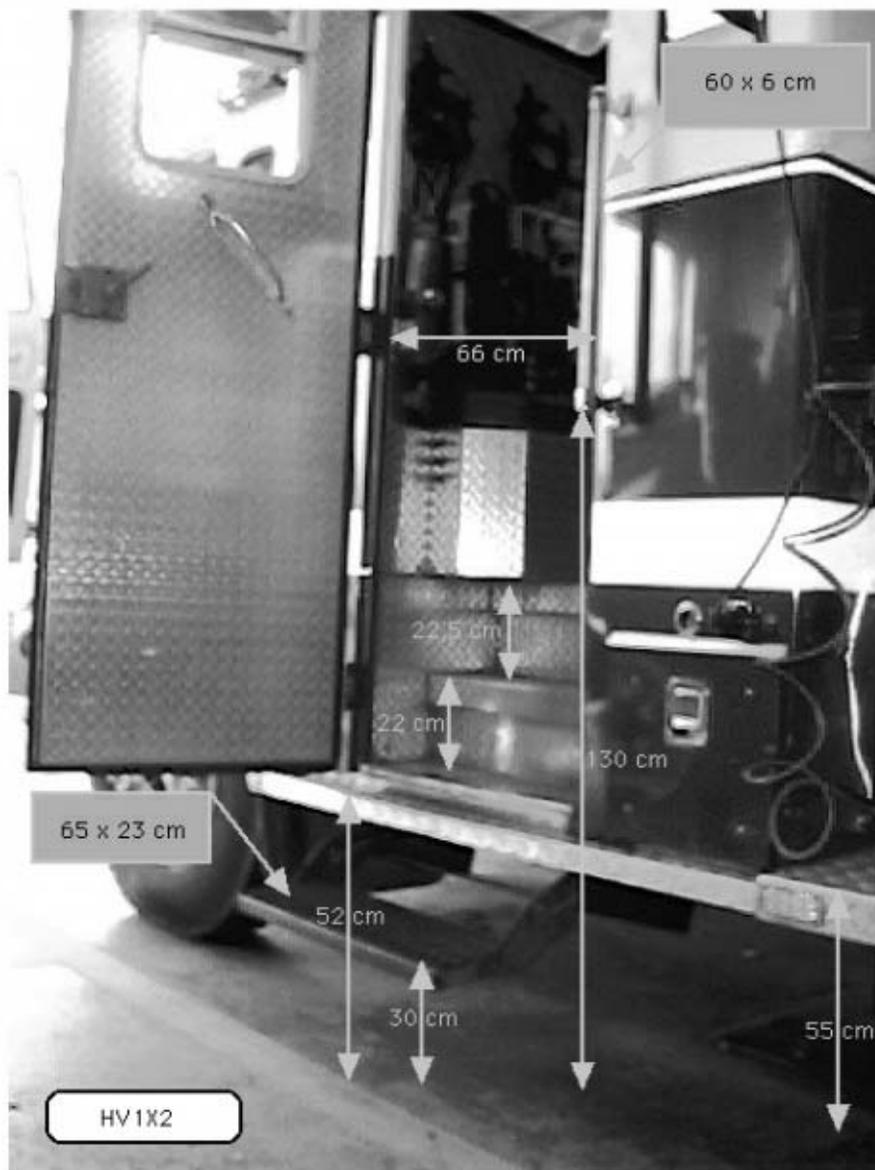


Figure 4.19 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 10



Figure 4.20 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 40



Figure 4.21 - Même que 4.20, avec l'échelle d'accès abaissée



Figure 4.22 - Dimensions des accès aux équipements mécaniques sur le véhicule 70



Figure 4.23 - Dimensions de l'accès arrière au camion 20

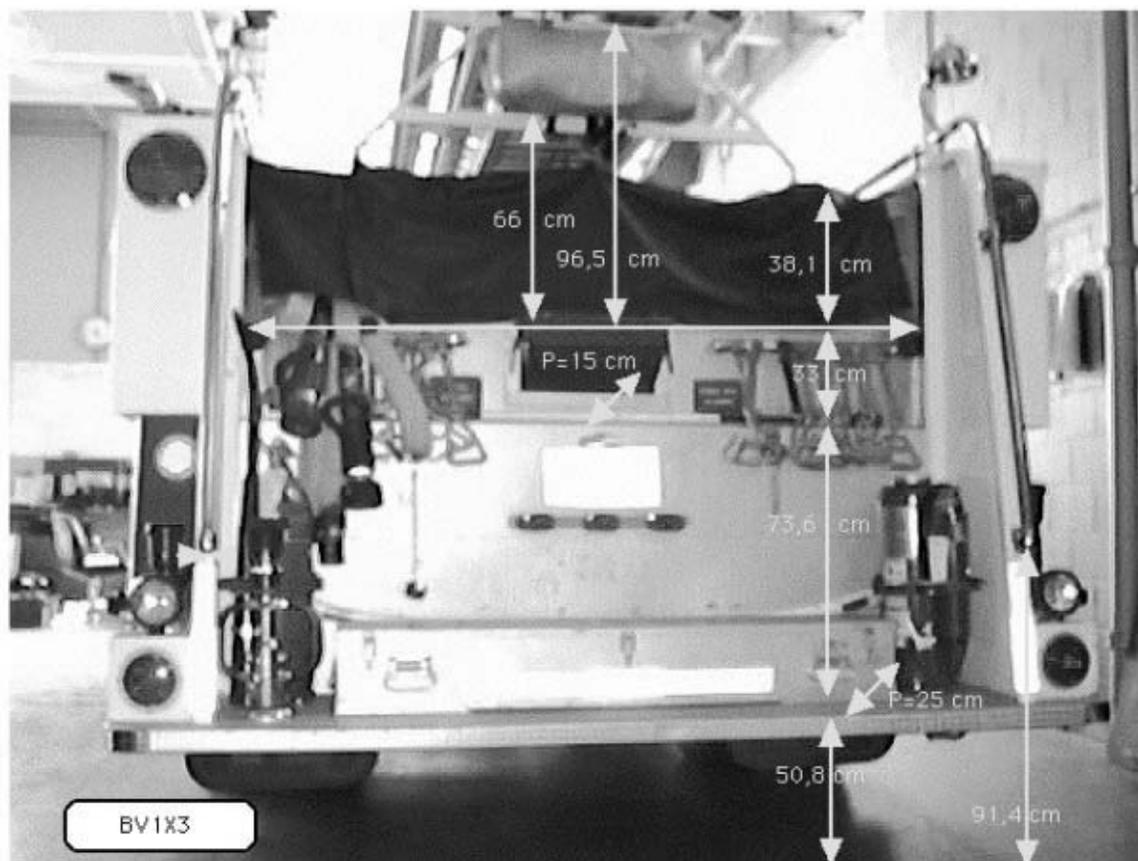


Figure 4.24 - Dimensions de l'accès arrière au camion 21 (camion citerne)

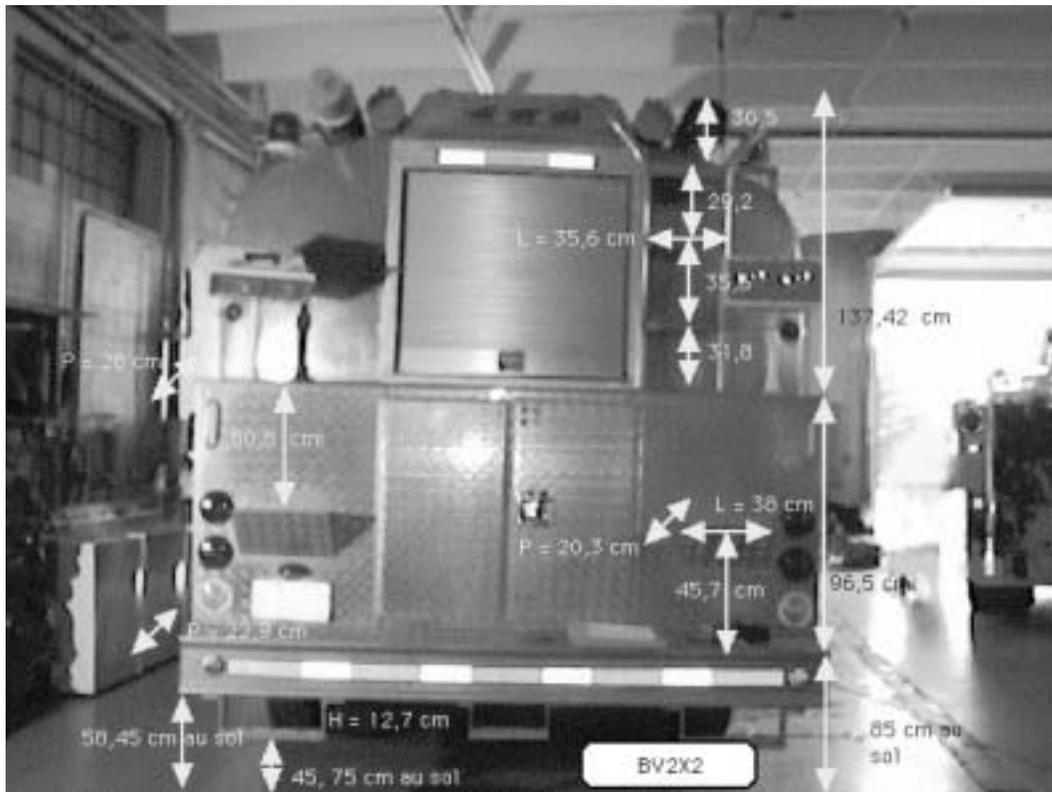


Figure 4.25 - Dimensions de l'accès arrière au camion 30



Figure 4.26 - Dimensions de l'accès arrière au camion 50



Figure 4.27 - Dimensions de l'accès arrière au camion 61

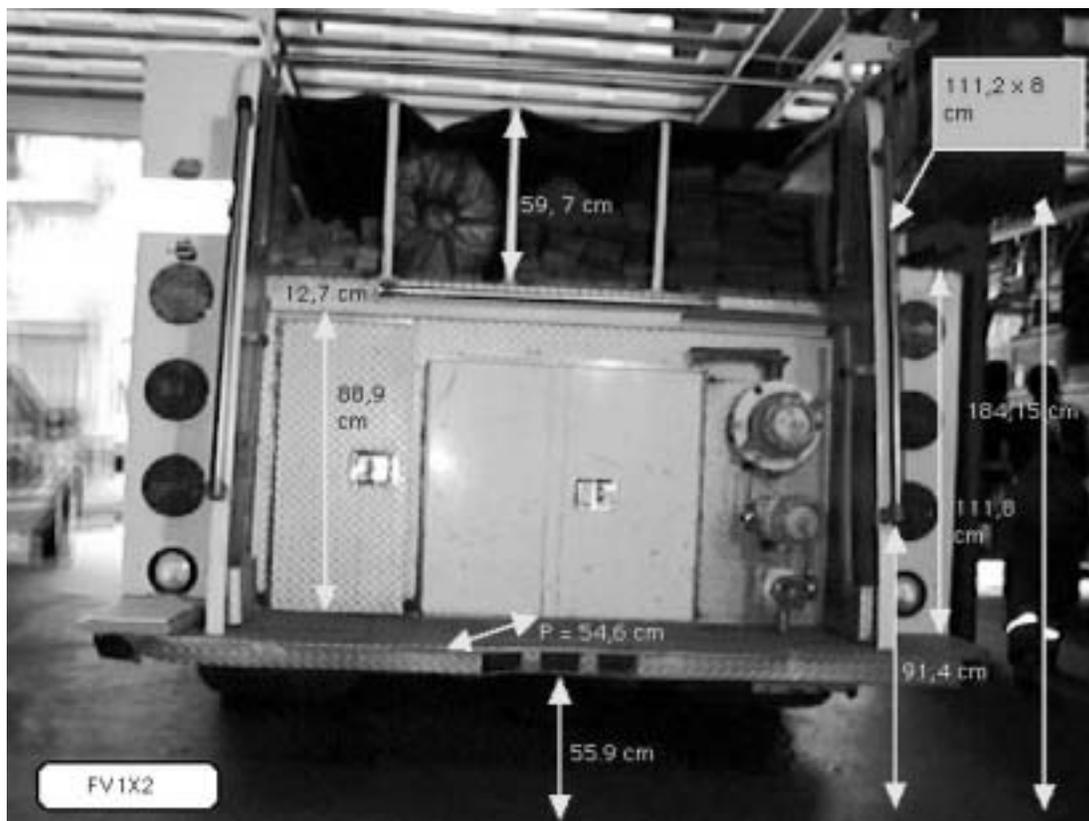


Figure 4.28 - Dimensions de l'accès arrière au camion 60



Figure 4.29 - Dimensions de l'accès arrière au camion 70

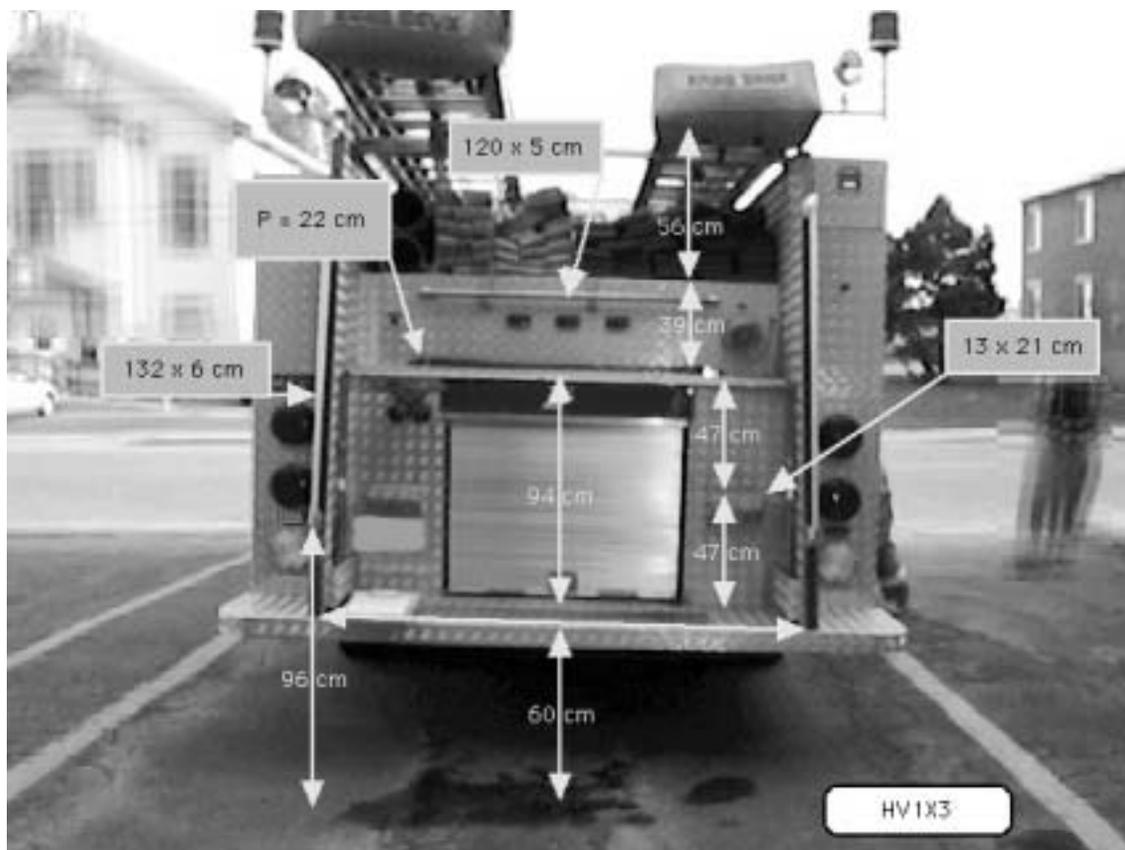


Figure 4.30 - Dimensions de l'accès arrière au camion 81

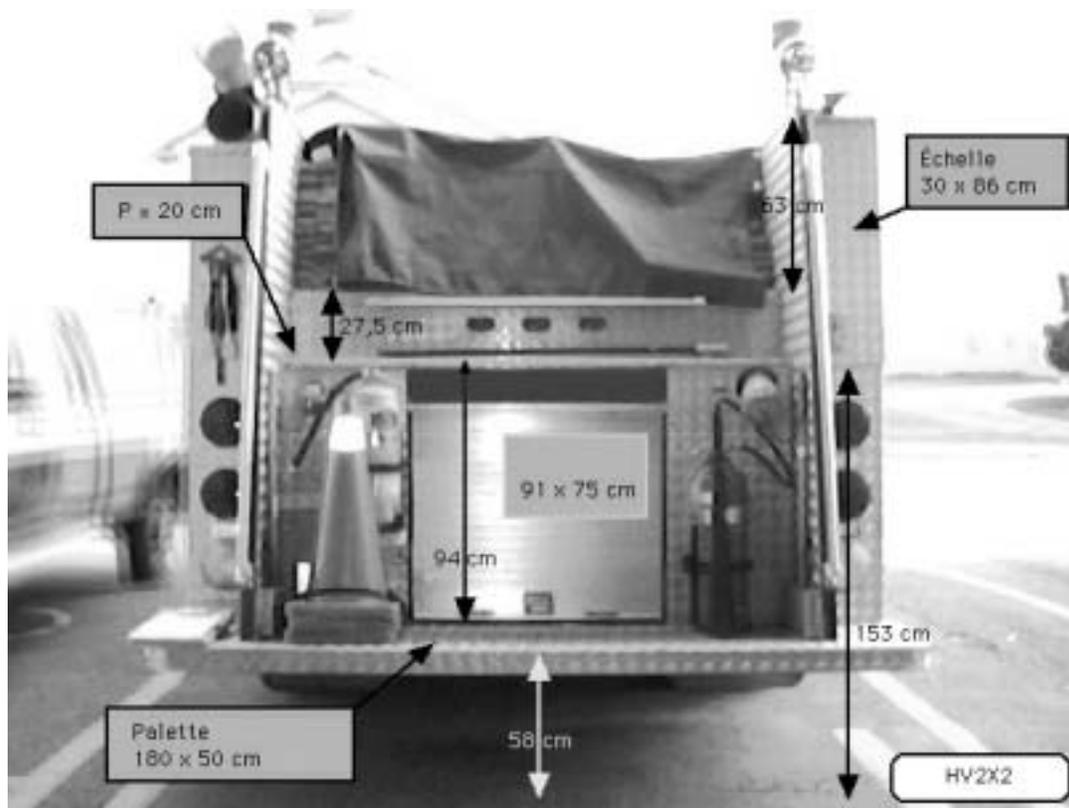


Figure 4.31 - Dimensions de l'accès arrière au camion 90

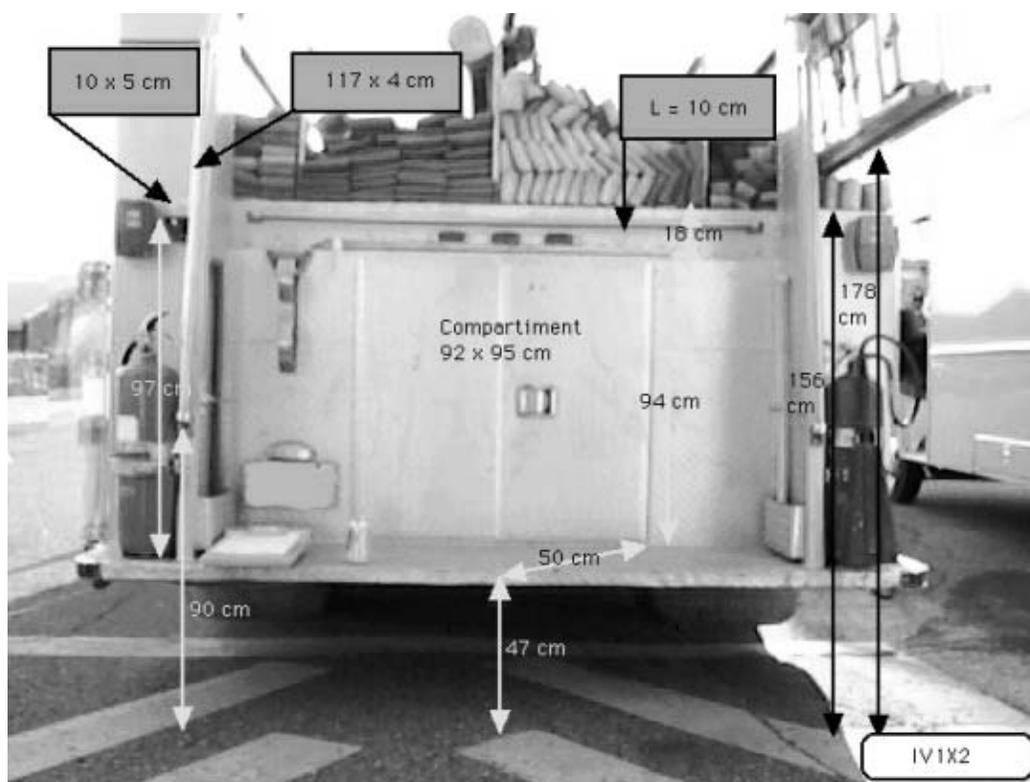


Figure 4.32 - Dimensions des accès latéraux du camion 60



Figure 4.33 - Dimensions des accès latéraux du camion 70

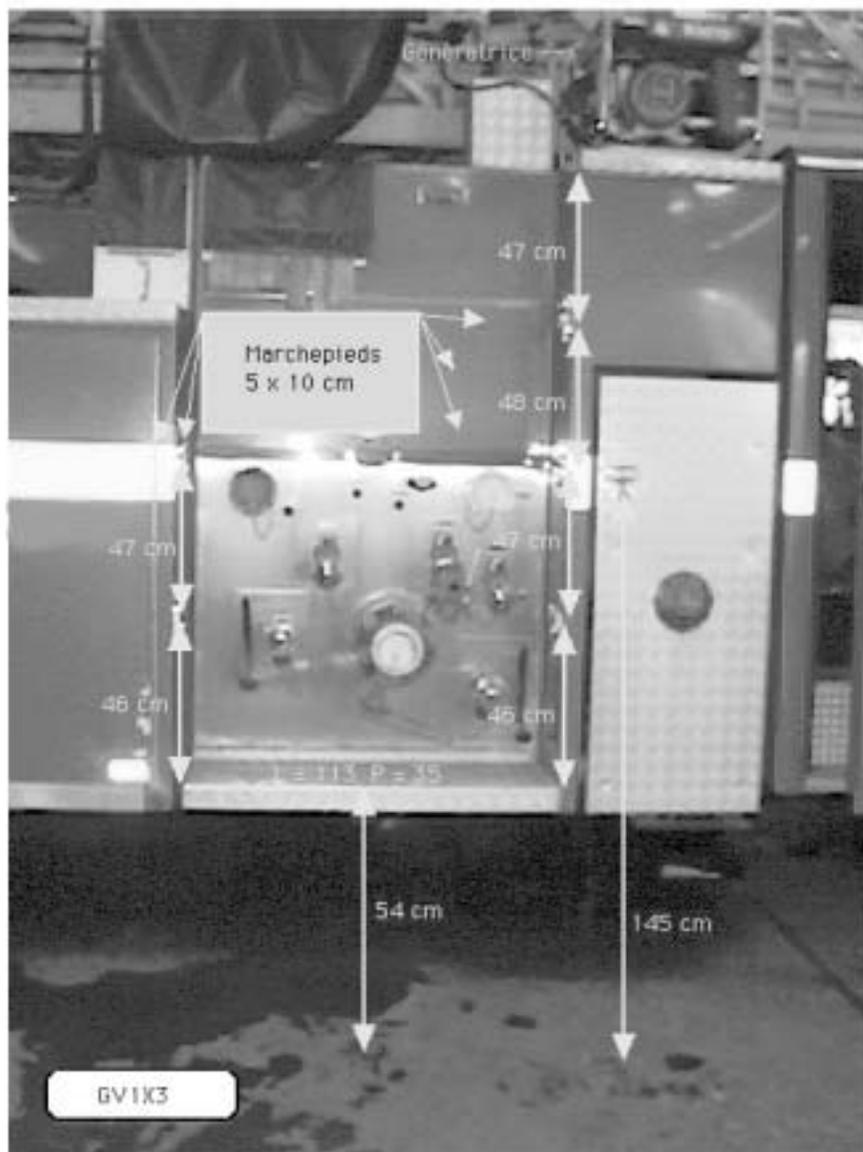


Figure 4.34 - Dimensions des accès latéraux du camion 20



Figure 4.35 - Exemple d'accès au dessus du véhicule par le côté



Figure 4.36 - Dimensions des accès latéraux du camion 30

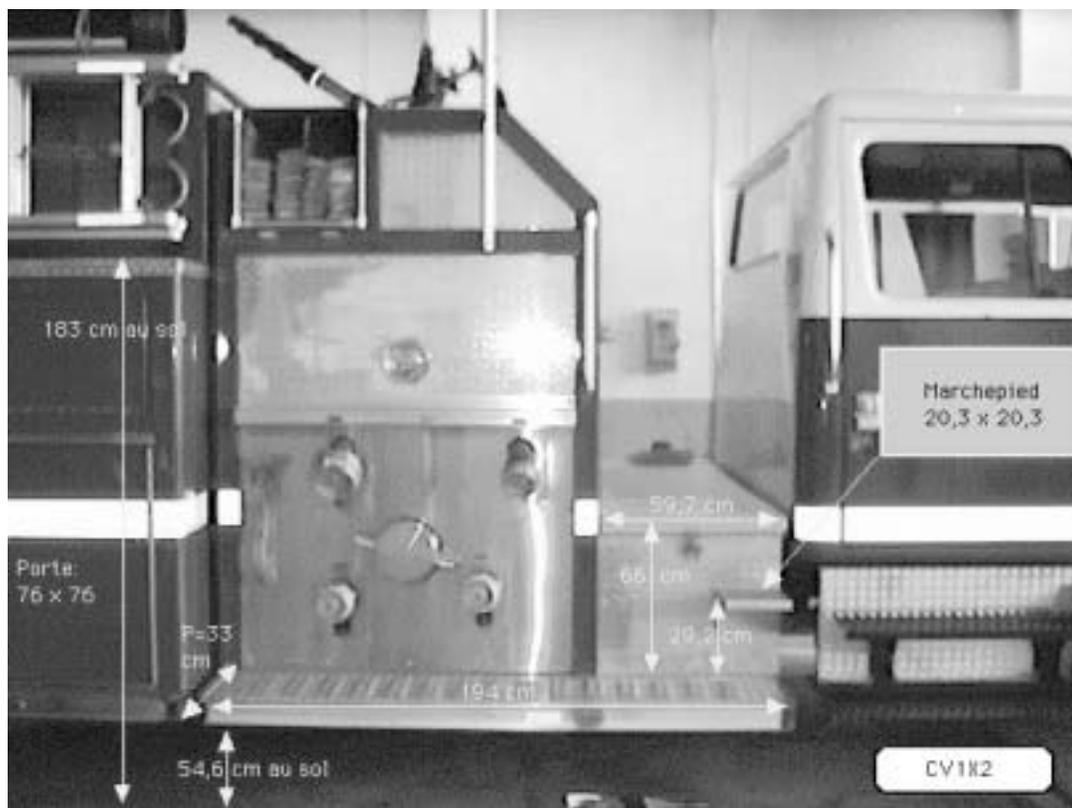


Figure 4.37 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 40

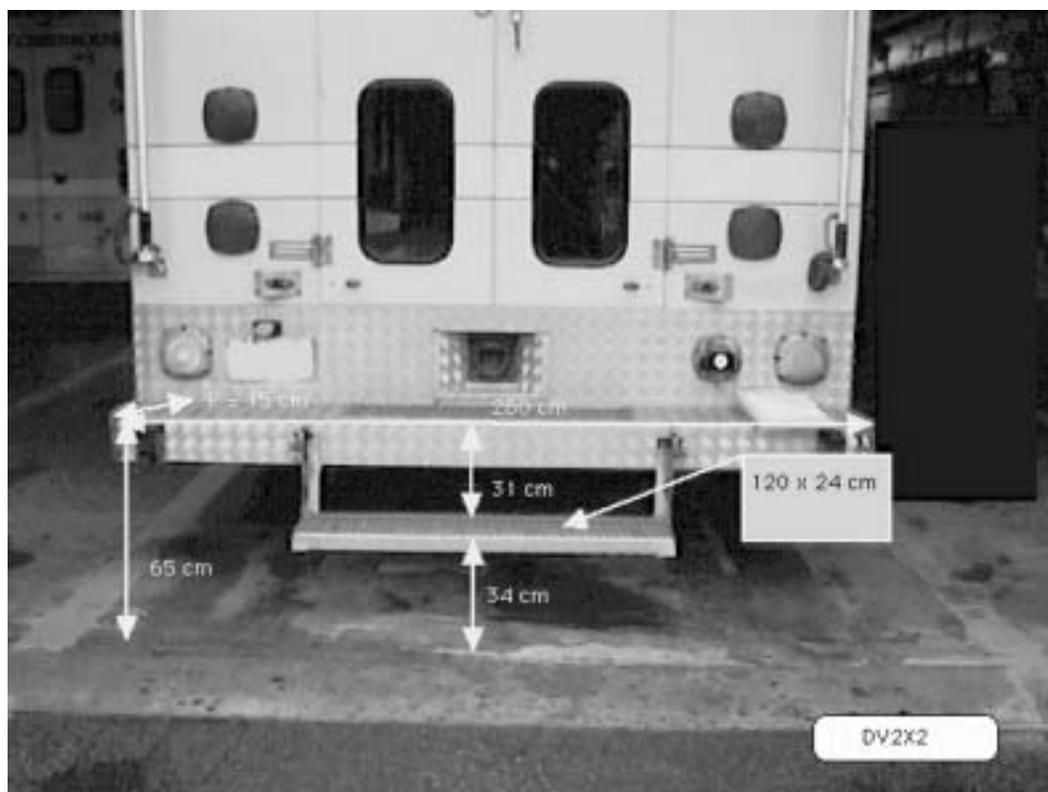


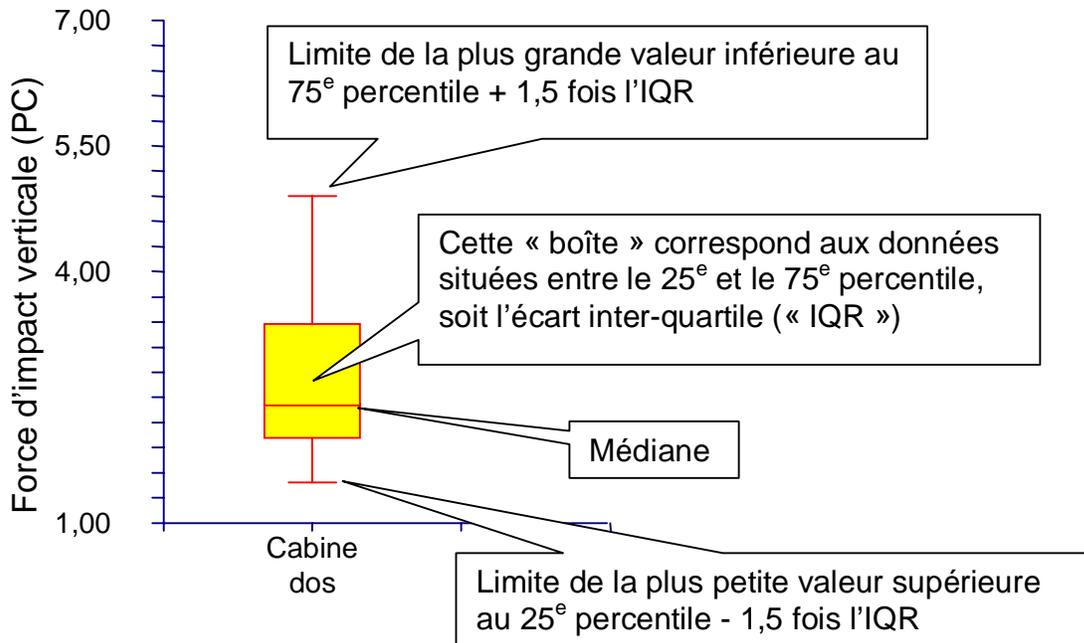
Figure 4.38 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 40



Figure 4.39 - Dimensions des accès à l'unité d'urgence 91



Figure 4.40a - Interprétation des diagrammes en boîtes (« Box Plot »)



Interprétation des diagrammes en boîtes (« Box Plot »). Ce type de représentation est utile pour évaluer succinctement comment sont distribuées les données d'une variable. Elle diffère d'autres diagrammes où sont présentés la moyenne et l'écart-type, ou la moyenne et l'intervalle de confiance des données. Les parties supérieure et inférieure de la « boîte » correspondent respectivement au 75^e et au 25^e percentile de la distribution des données; la hauteur de la boîte est donc en fait l'écart inter quartile (« IQR » ou « Interquartile Range »). La ligne horizontale qui coupe la boîte en deux correspond à la valeur centrale des données donc, à la médiane. Les deux lignes en forme de « T » qui sortent de la boîte donnent un aperçu de l'étalement des valeurs. La limite du « T » supérieur correspond à la plus grande valeur qui est plus petite ou égale au 75^e percentile plus 1,5 fois l'IQR. La limite du « T » inférieur correspond à la plus petite valeur qui est plus grande ou égale au 25^e percentile, moins l'IQR. (D'après Hintze, J.L., (2001). Number Cruncher Statistical System. NCSS inc., Kaysville (UT))

Figure 4.40b - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) verticales associées à chacune des conditions de descente pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

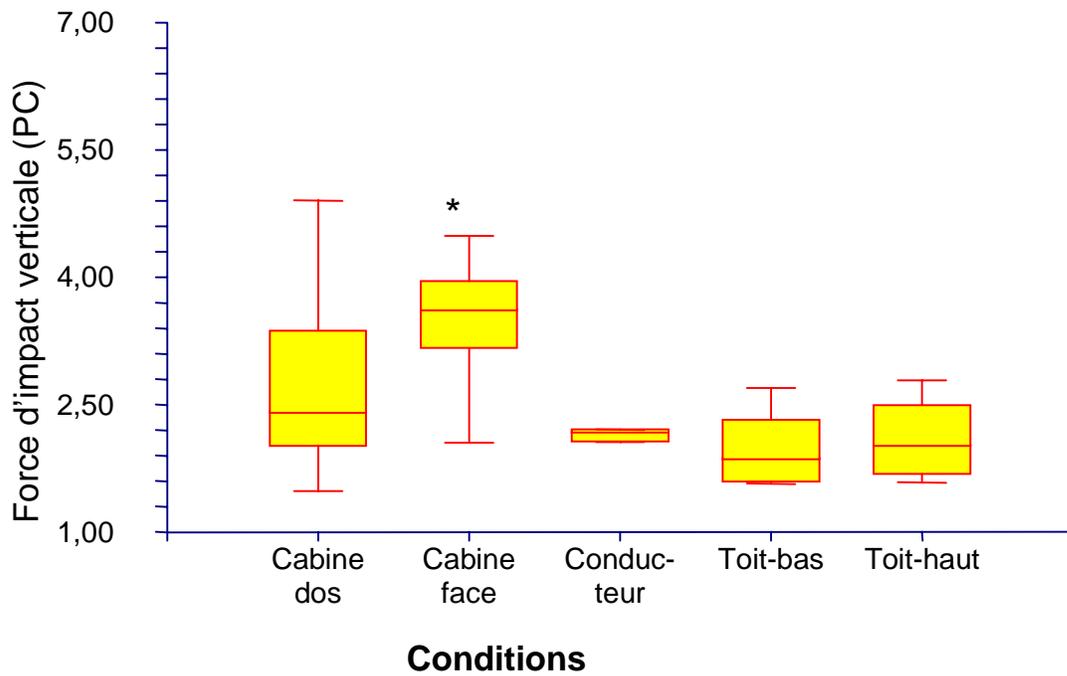


Figure 4.41 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) sagittales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

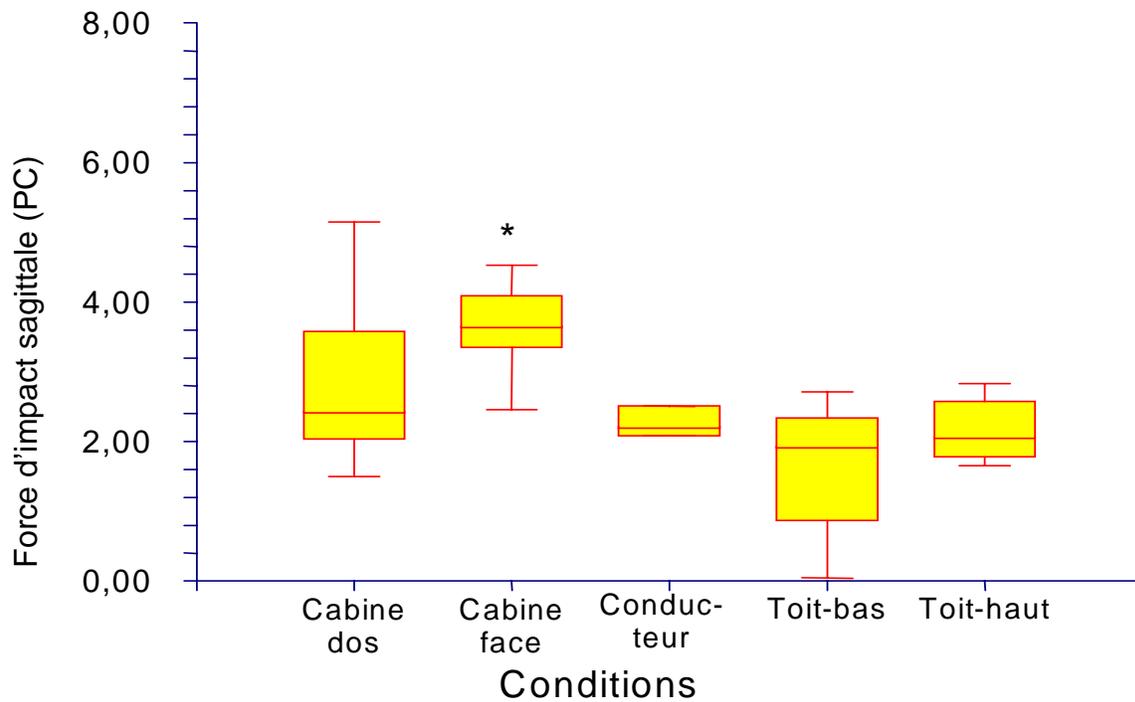


Figure 4.42 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) frontales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

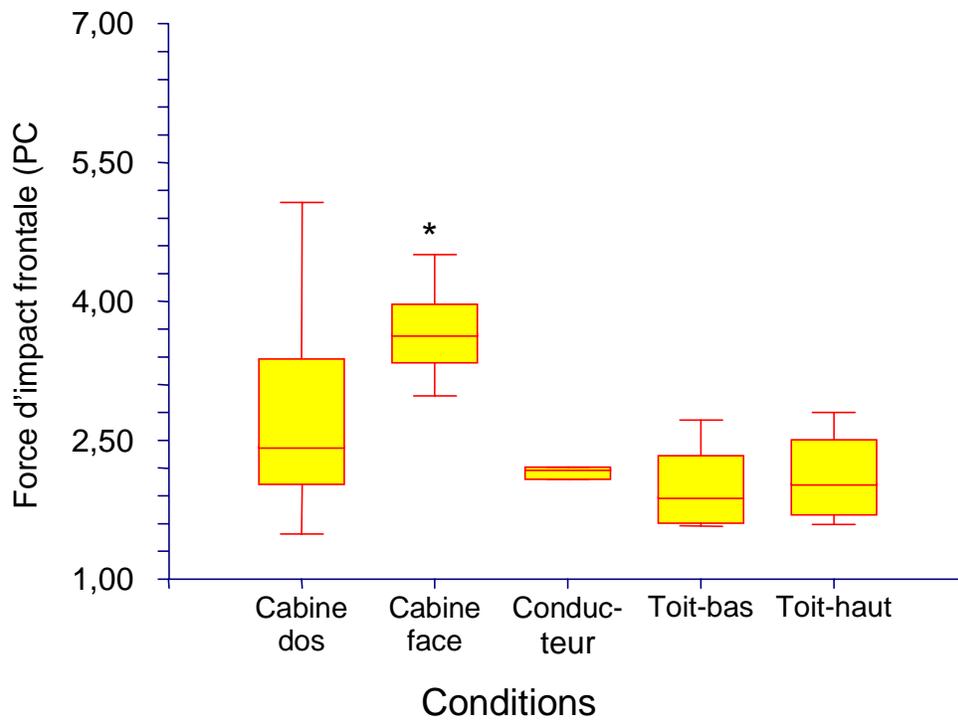


Figure 4.43 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (F_z) et médio-latérales (F_x) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ». Il n'y a pas de différence significative entre ces conditions

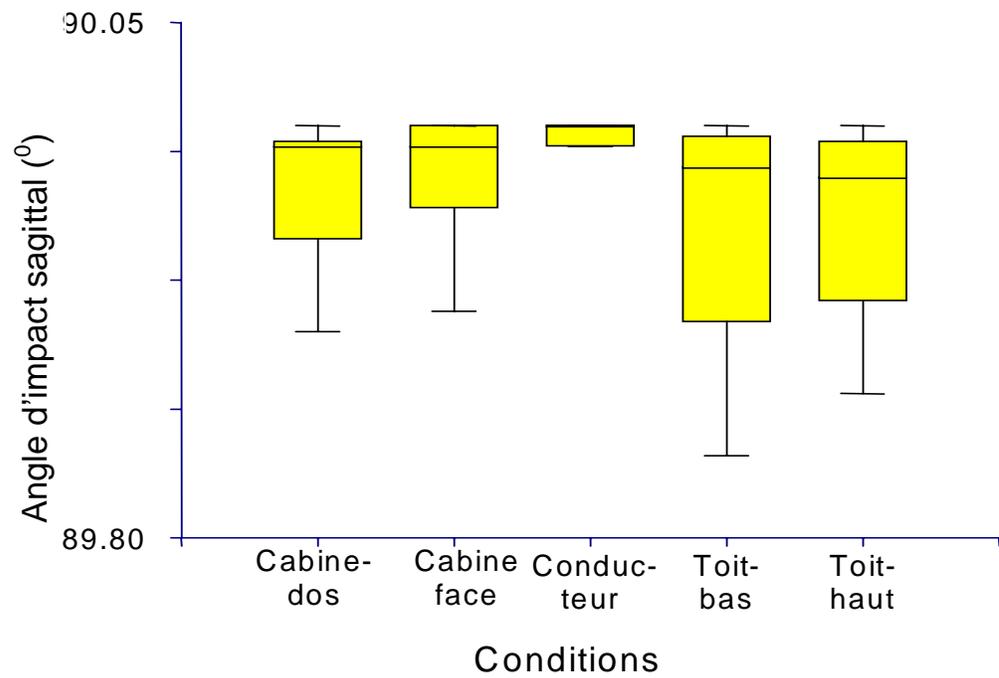


Figure 4.44 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et antéro-postérieures (Fy) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

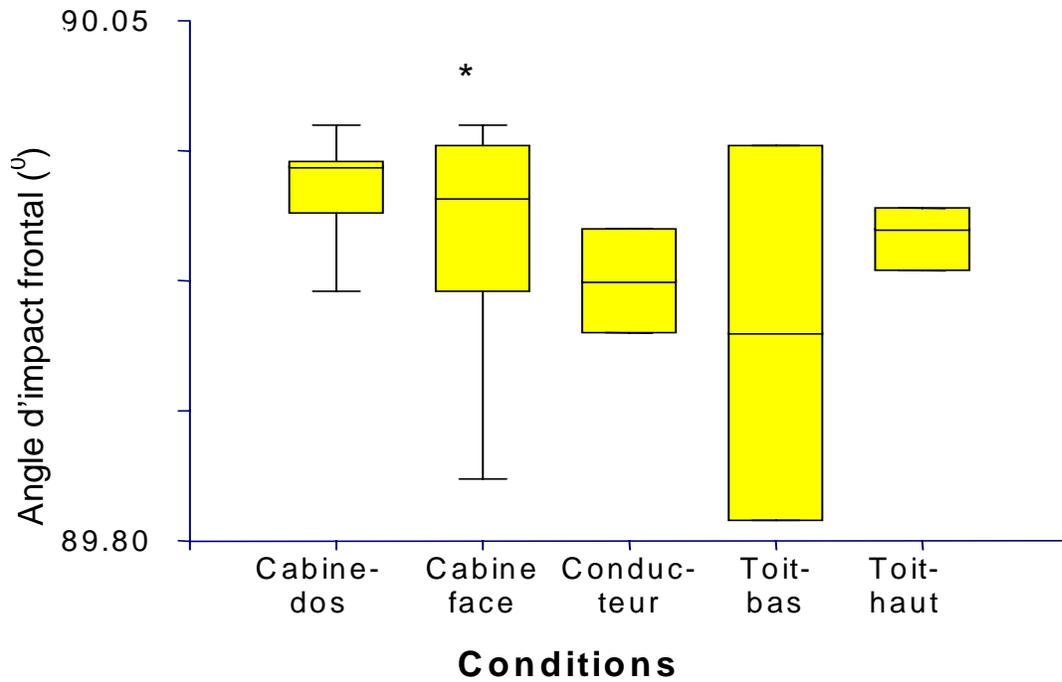


Figure 4.45 - Valeurs médianes et dispersion des temps pour l'impact (ms) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

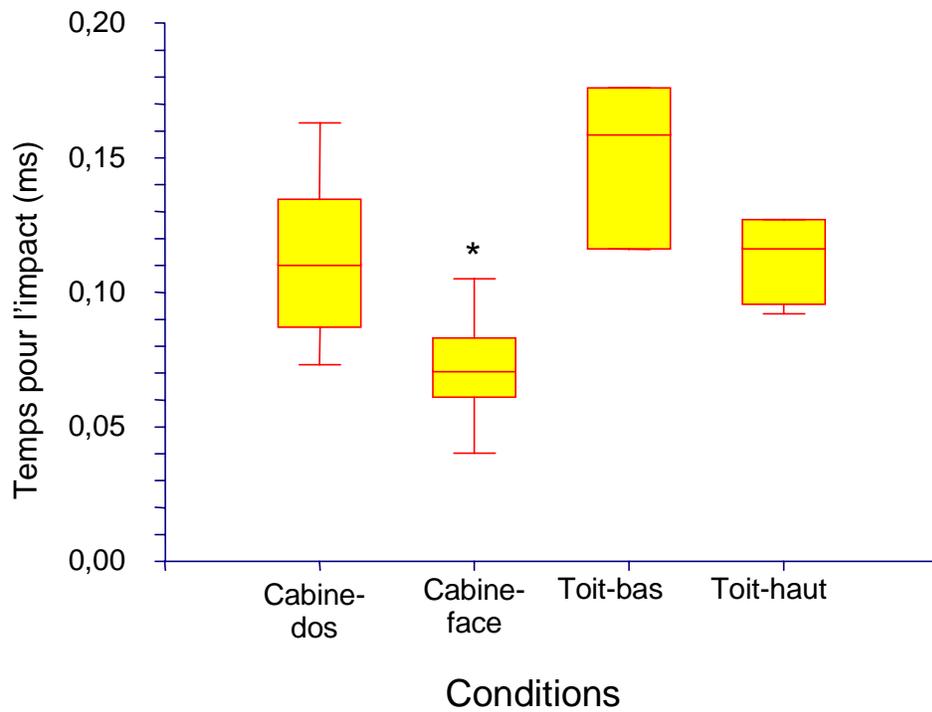


Figure 4.46 - Valeurs médianes et dispersion des perceptions de la sécurité en fonction des conditions de descente, pour la caserne « A ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

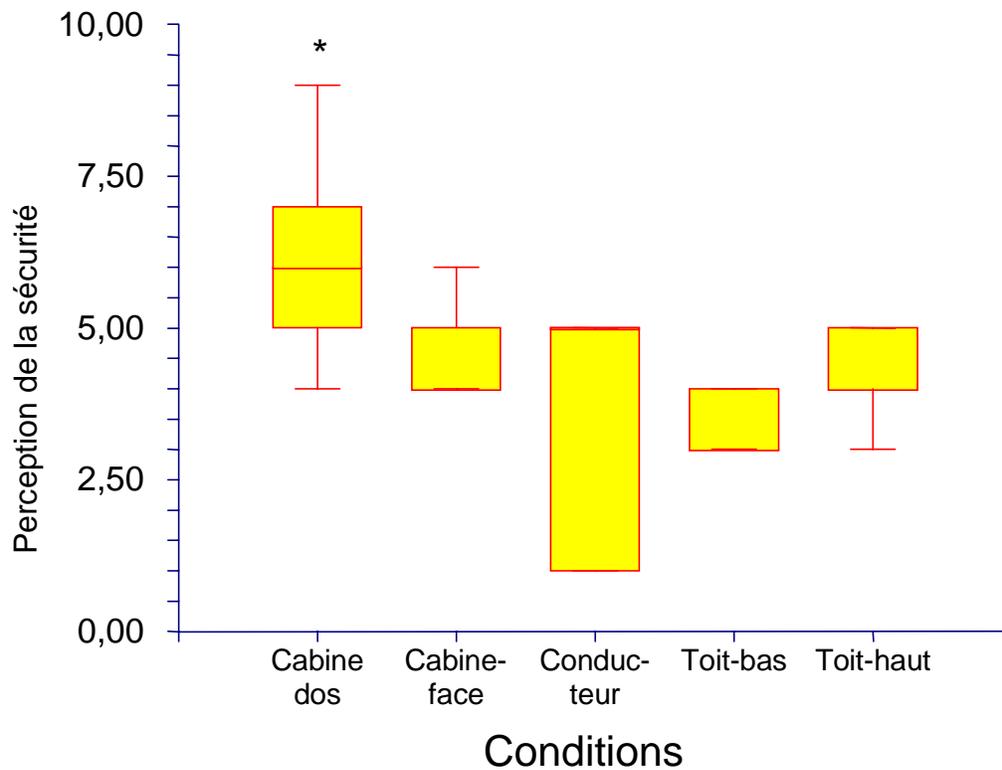


Figure 4.47 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) verticales associées à chacune des conditions de descente pour la caserne « B ». (* indique les conditions qui diffèrent significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

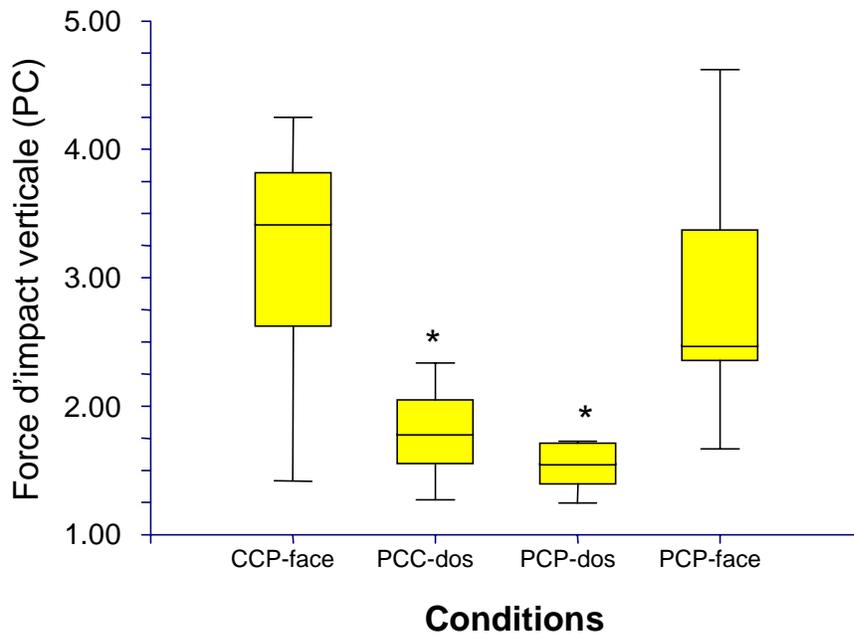


Figure 4.48 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) sagittales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « B ». (* indique les conditions qui diffèrent significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

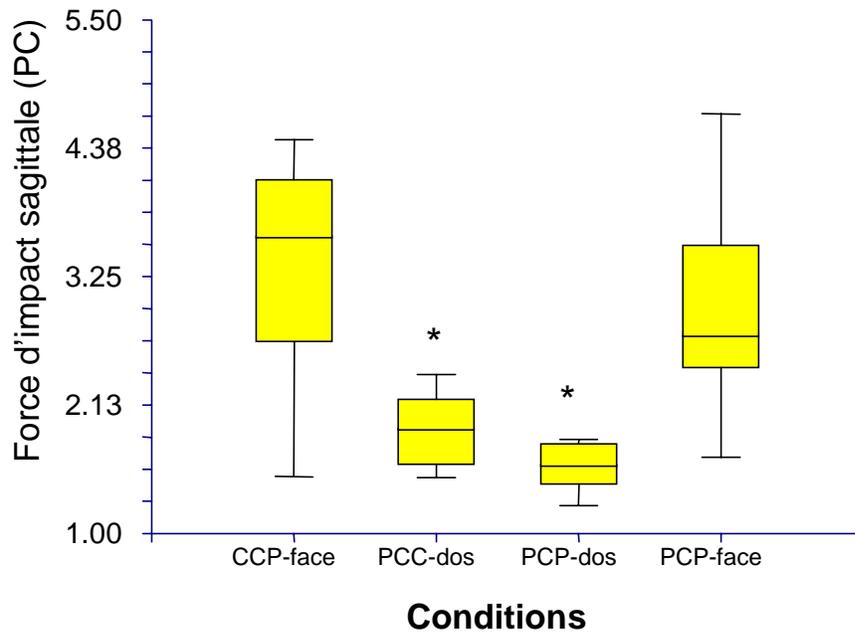


Figure 4.49 - Valeurs médianes et dispersion des forces d'impact (PC) frontales associées aux différentes conditions de descente pour la caserne « B ». (* indique les conditions qui diffèrent significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

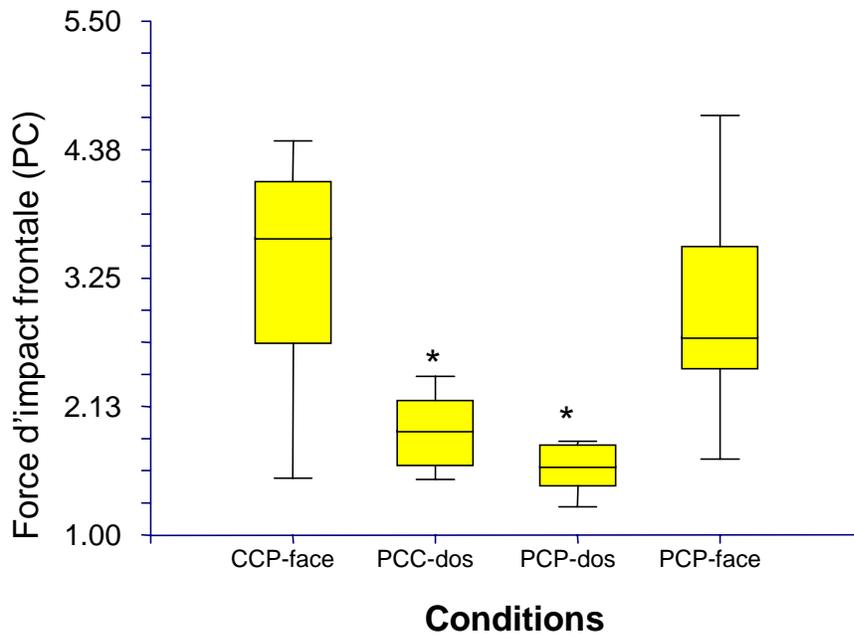


Figure 4.50 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (Fz) et médio-latérales (Fx) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ». (* indique une condition qui diffère significativement des autres ($\alpha = 0,05$))

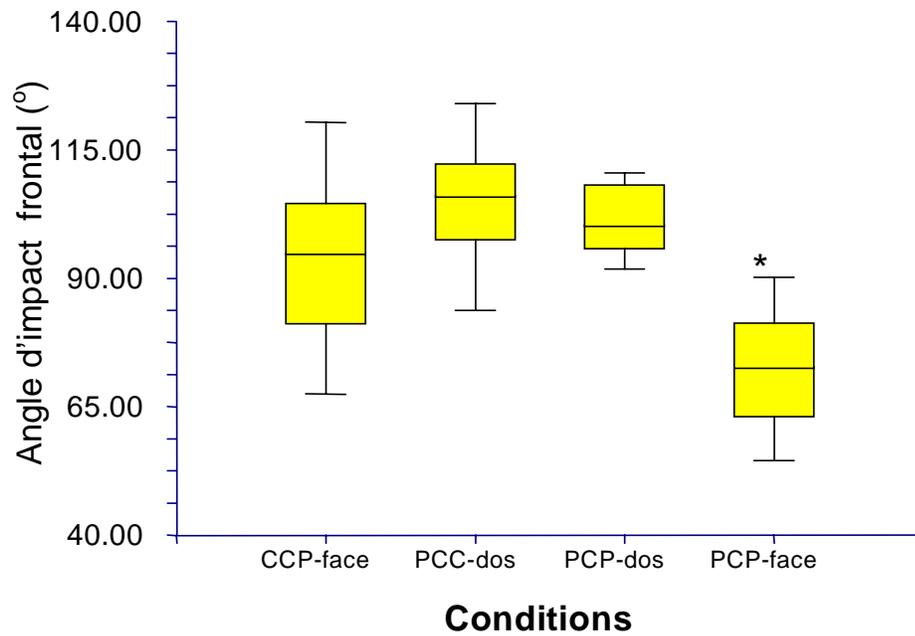


Figure 4.51 - Valeurs médianes et dispersion de l'angle d'application de la résultante des forces d'impact verticales (F_z) et antéro-postérieures (F_y) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ». Il n'y a pas de différence significative entre ces conditions

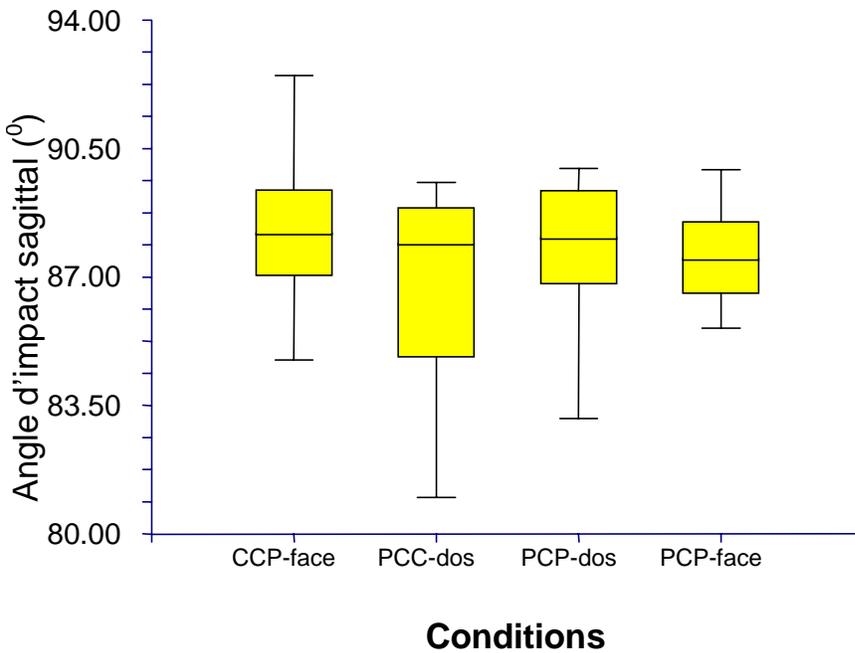


Figure 4.52 - Valeurs médianes et dispersion des temps pour l'impact (ms) en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ». Il n'y a pas de différence significative entre ces conditions

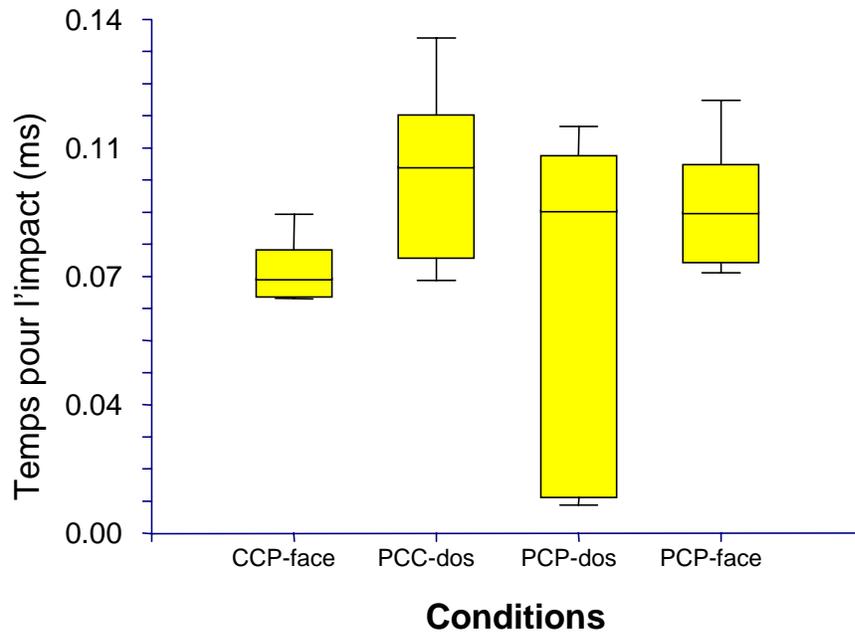


Figure 4.53 - Valeurs médianes et dispersion de la perception de la sécurité en fonction des conditions de descente, pour la caserne « B ». Les deux conditions de descentes de dos diffèrent, mais marginalement, de la condition PCP-face

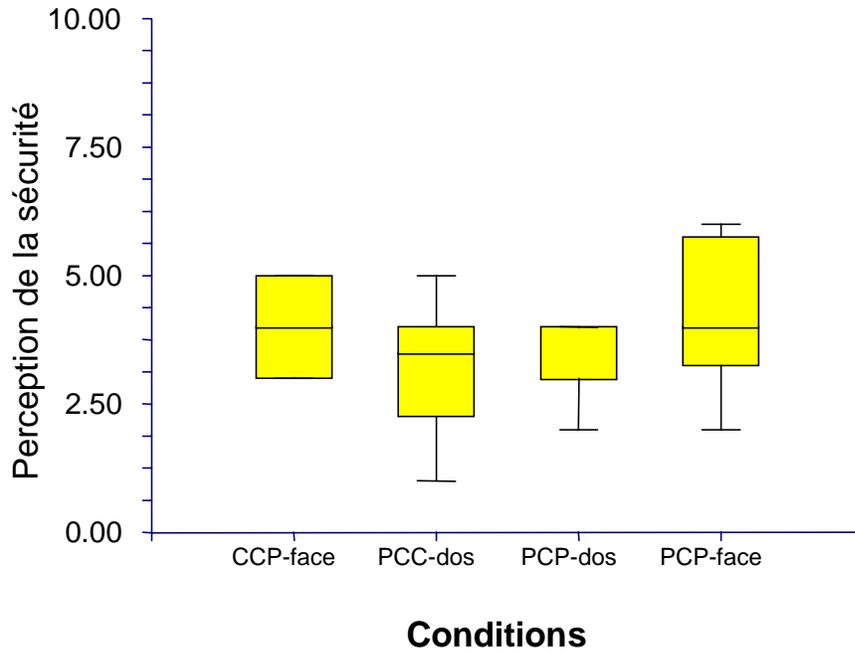


Figure 4.54 - La perception psychophysique de l'effort lors de la manutention des outils (pour la signification des valeurs de l'échelle, voir le tableau 3.6)

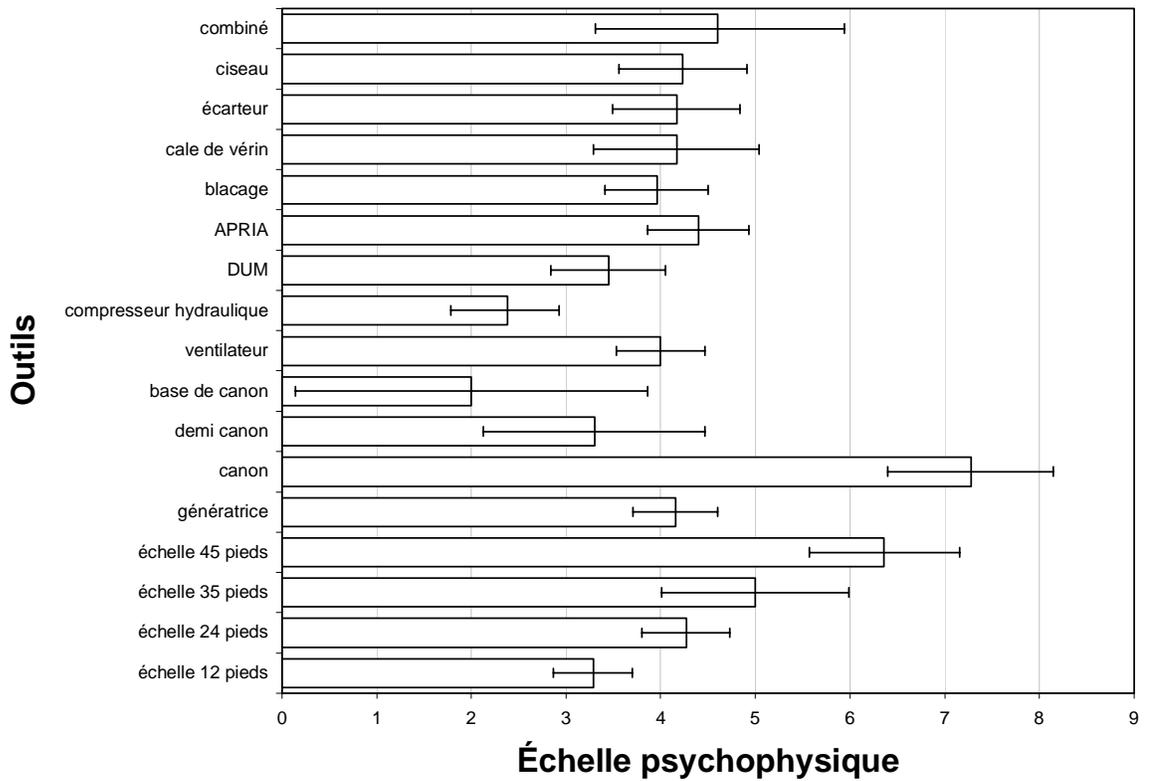


Figure 4.55 - La perception psychophysique de la manipulation lors de la manutention des outils (pour la signification des valeurs de l'échelle, voir le tableau 3.7)

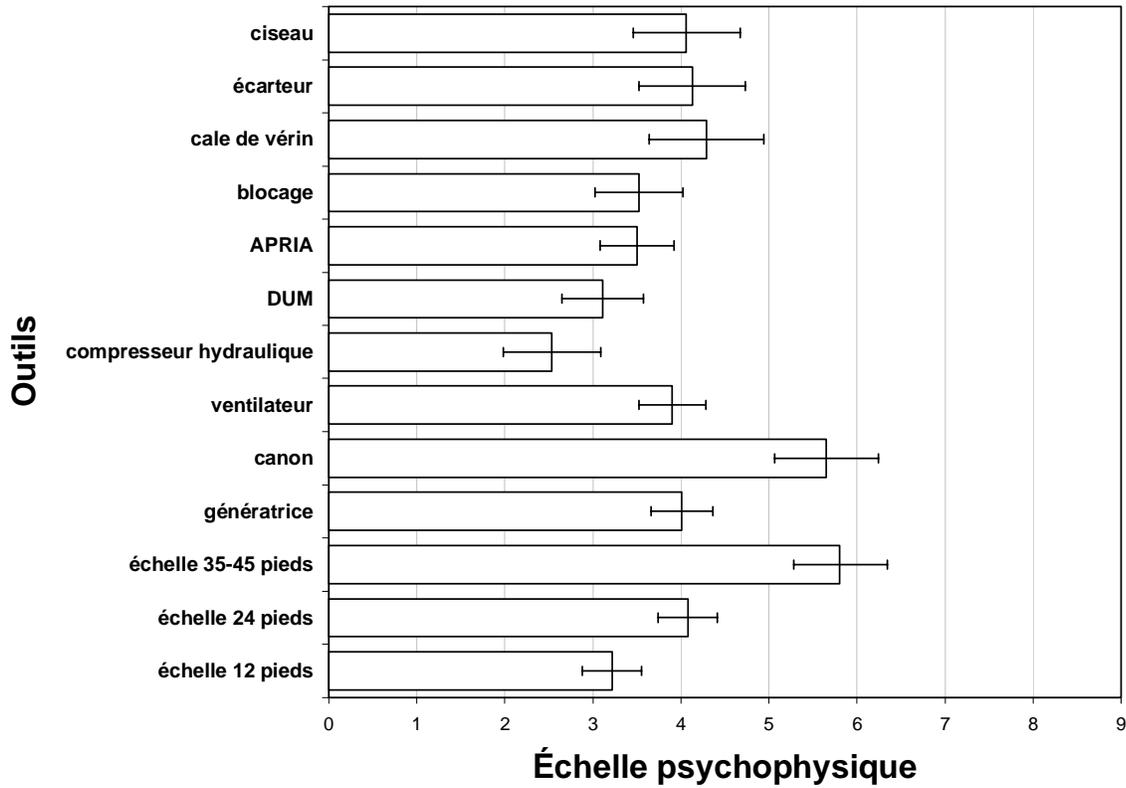


Figure 4.56 - La perception psychophysique de la sécurité lors de la manutention des outils (pour la signification des valeurs de l'échelle, voir le tableau 3.4)

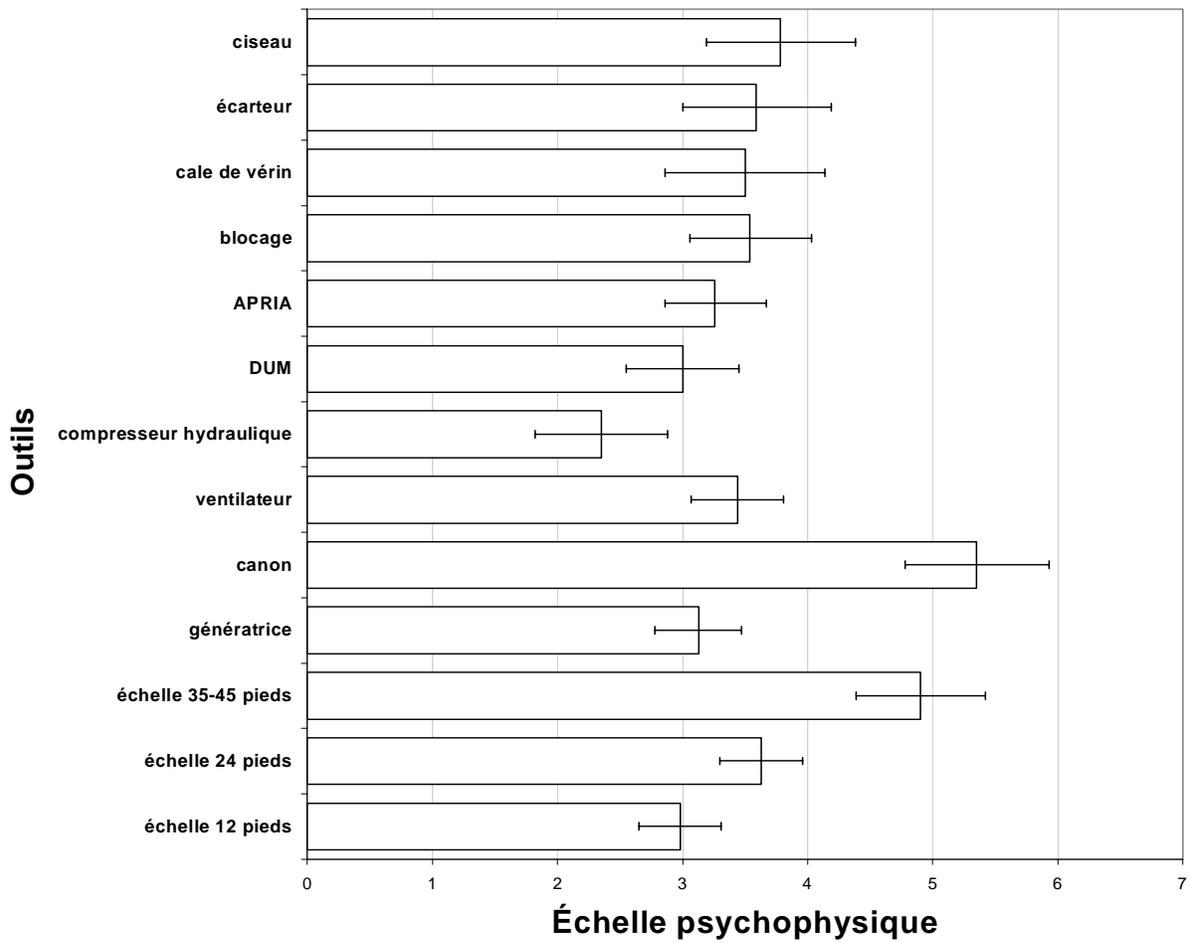
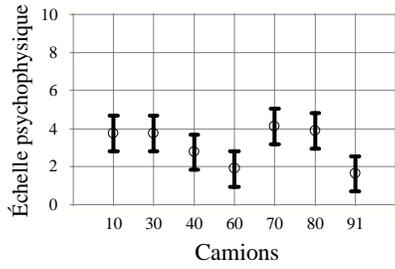


Figure 4.57 - DUM, scie à chaîne et génératrice sur un tiroir, dans un compartiment à ouverture horizontale

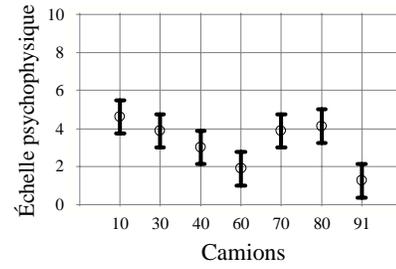


Figure 4.58 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de la scie circulaire pour les différents camions

a



b



c

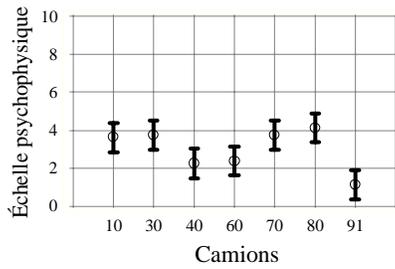


Figure 4.59 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de la scie circulaire, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

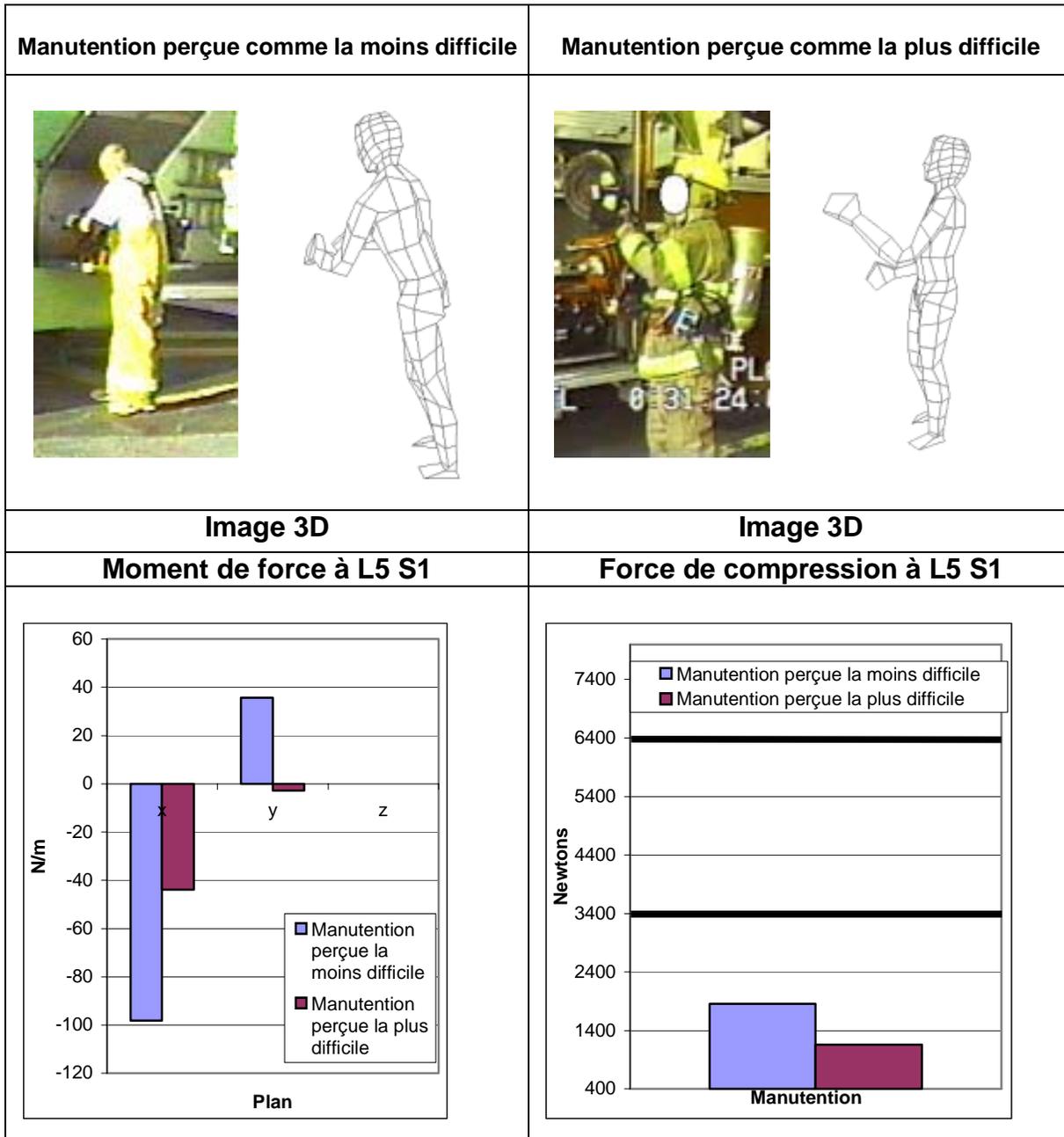
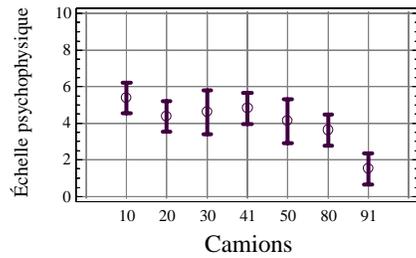


Figure 4-60 - Génératrice sur un tiroir, dans un compartiment à porte coulissante vers le haut

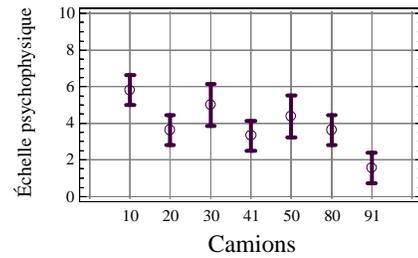


Figure 4.61 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de la génératrice pour les différents camions

a



b



c

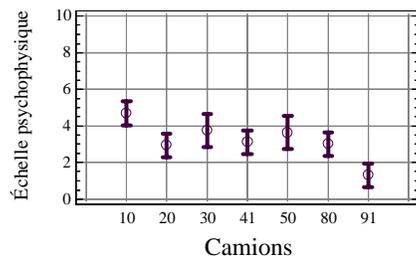


Figure 4.62 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de la génératrice, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

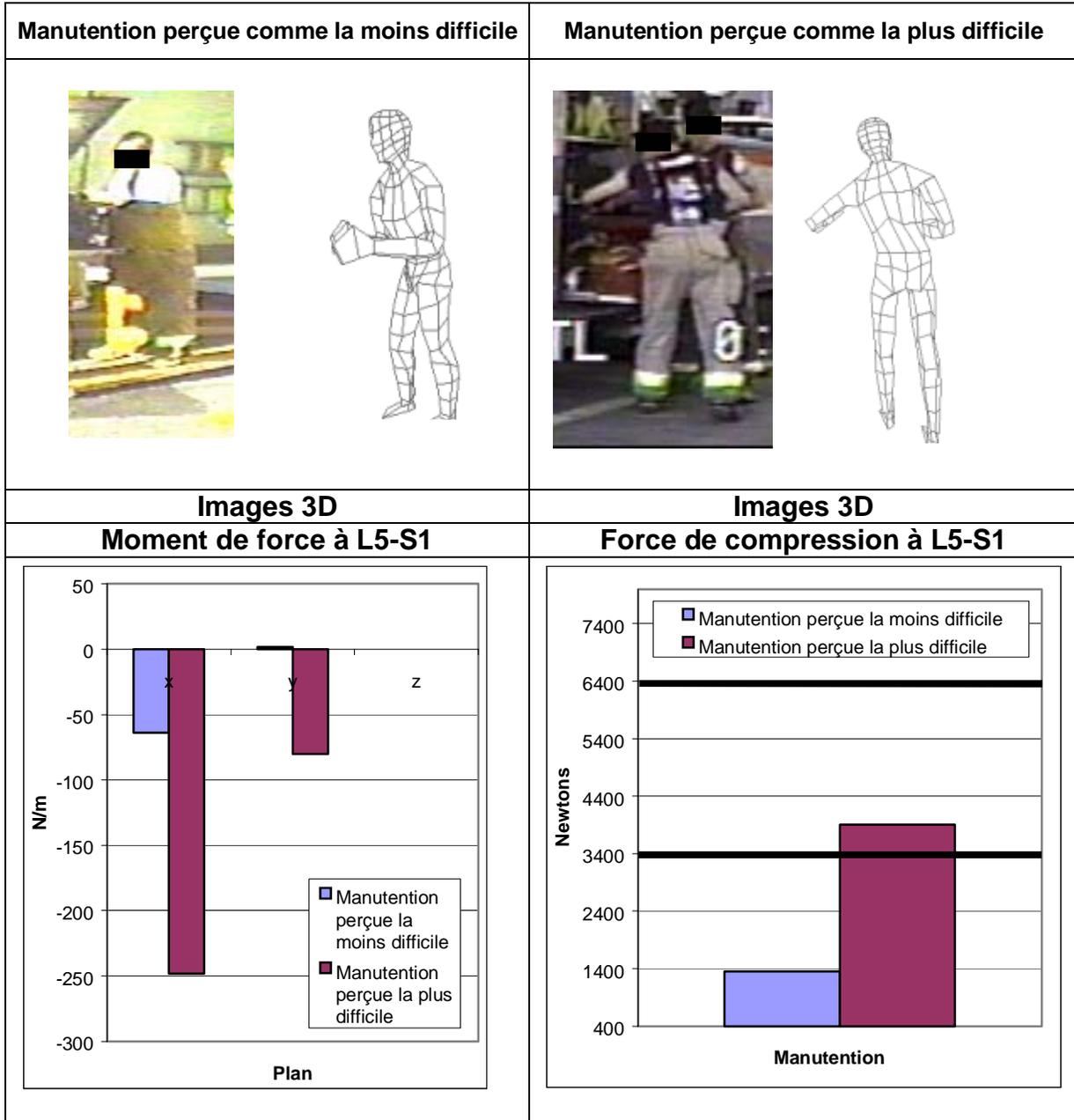
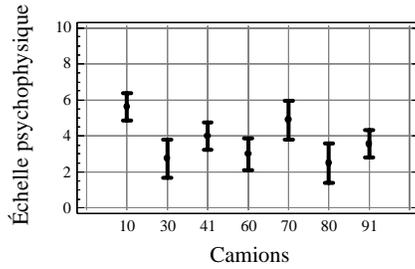


Figure 4.63 - Ventilateur transporté en vrac dans un compartiment à porte coulissante

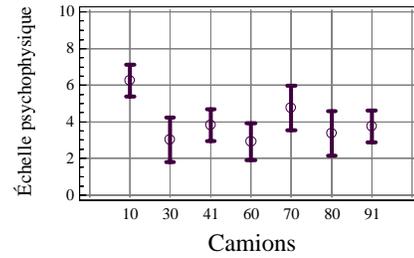


Figure 4.64 - La perception psychophysique de la manipulation (a), à l'effort (b) et à la sécurité (c) associée à la manutention du ventilateur pour les différents camions

a



b



c

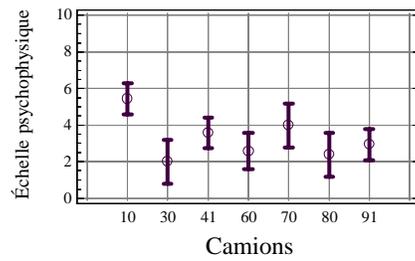


Figure 4.65 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du ventilateur, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

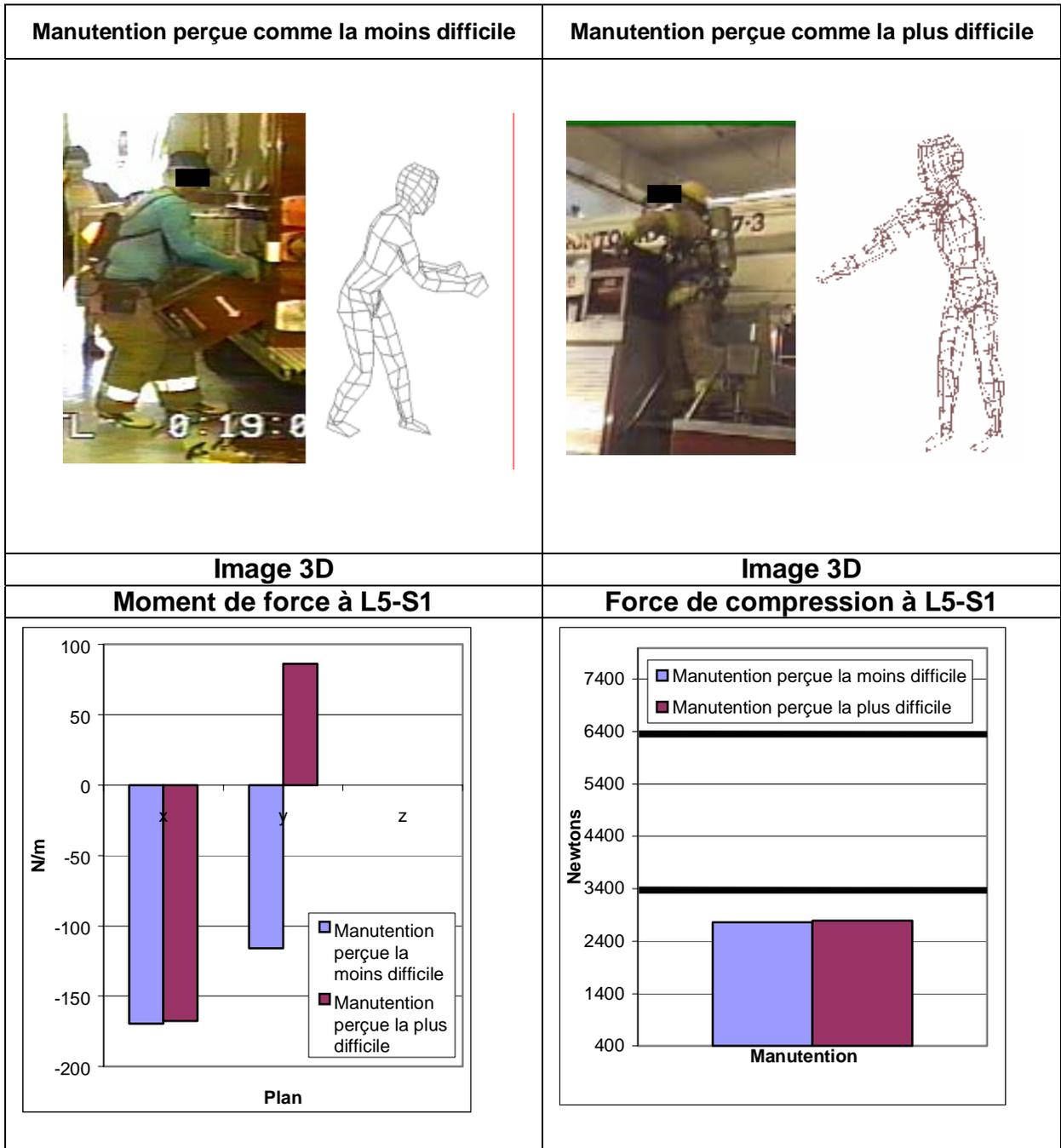


Figure 4.66 - Système de désincarcération sur un tiroir, dans un compartiment arrière muni de portes à charnières verticales. Le compresseur et les ciseaux sont sur la tablette, et l'écarteur est déposé au sol

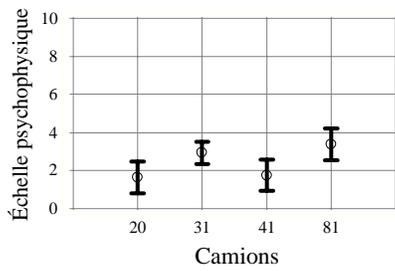


Figure 4.67 - Blocs de stabilisation, pour la désincarcération, transportés en vrac dans un compartiment à porte coulissante

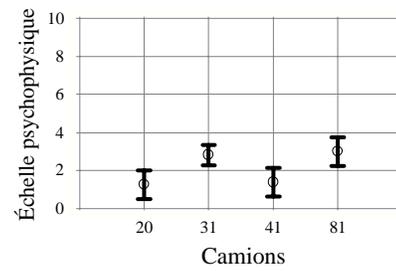


Figure 4.68 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention du compresseur pour les différents camions

a



b



c

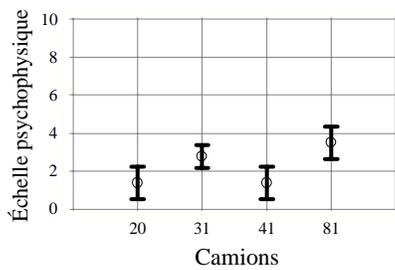
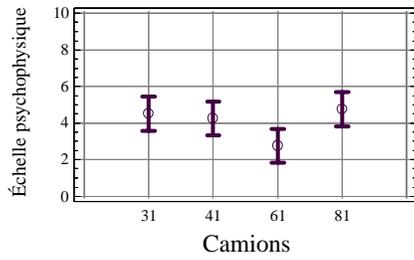


Figure 4.69 - La perception psychophysique de la manipulation (a) et de l'effort (b) associée à la manutention des ciseaux pour les différents camions. La perception psychophysique du sentiment de sécurité n'est pas significative

a



b

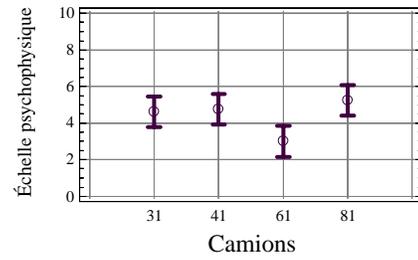
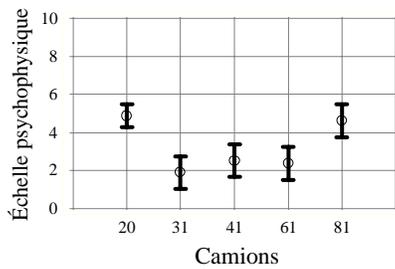
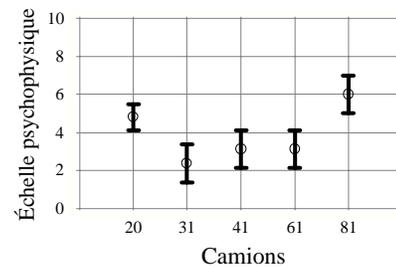


Figure 4.70 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention des blocs de stabilisation pour les différents camions

a



b



c

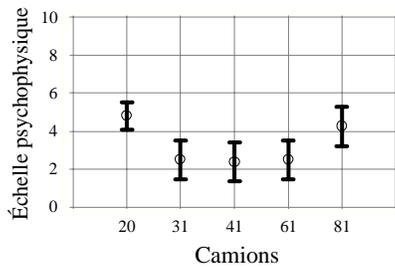


Figure 4.71 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du compresseur, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

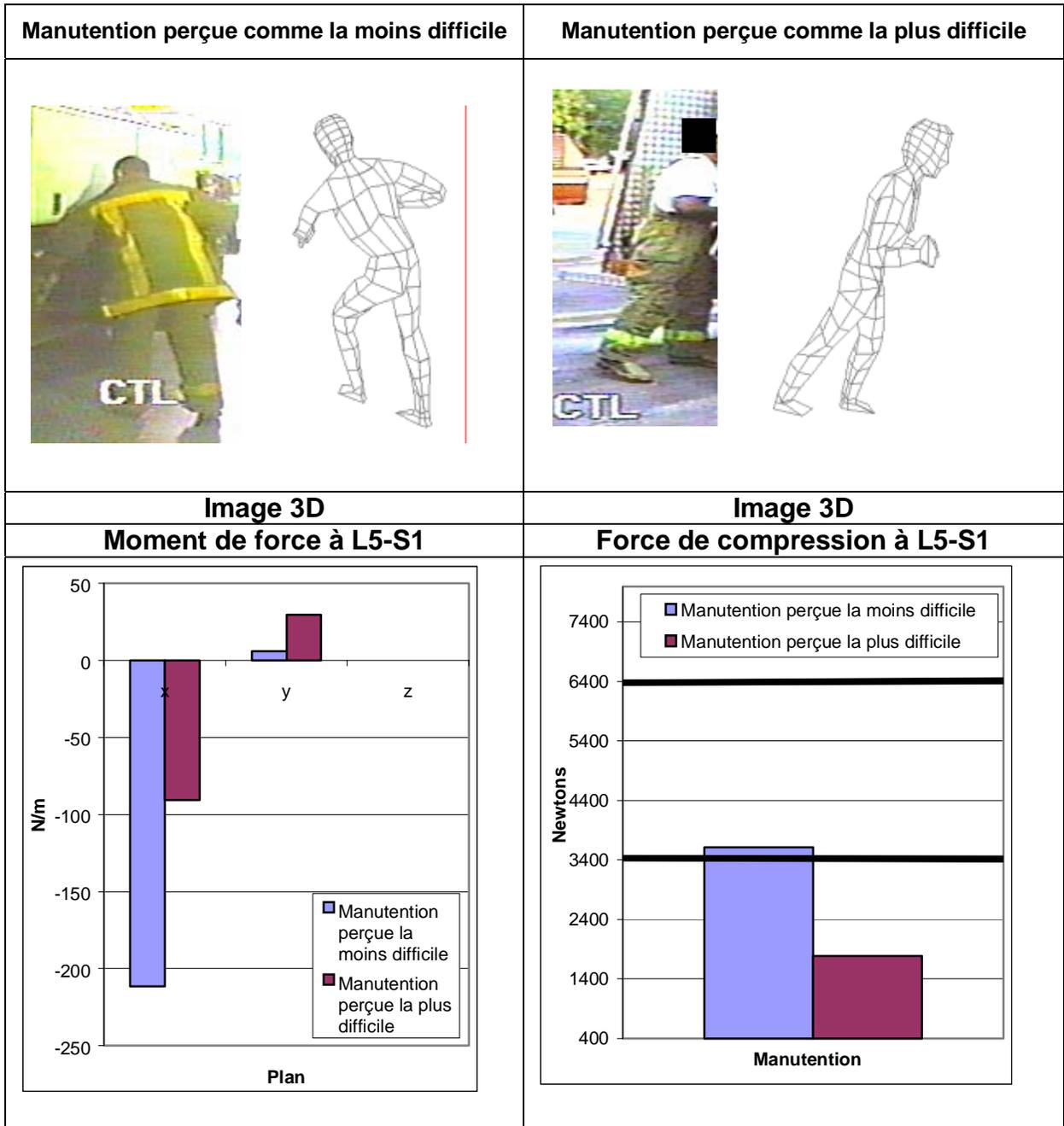


Figure 4.72 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des ciseaux, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

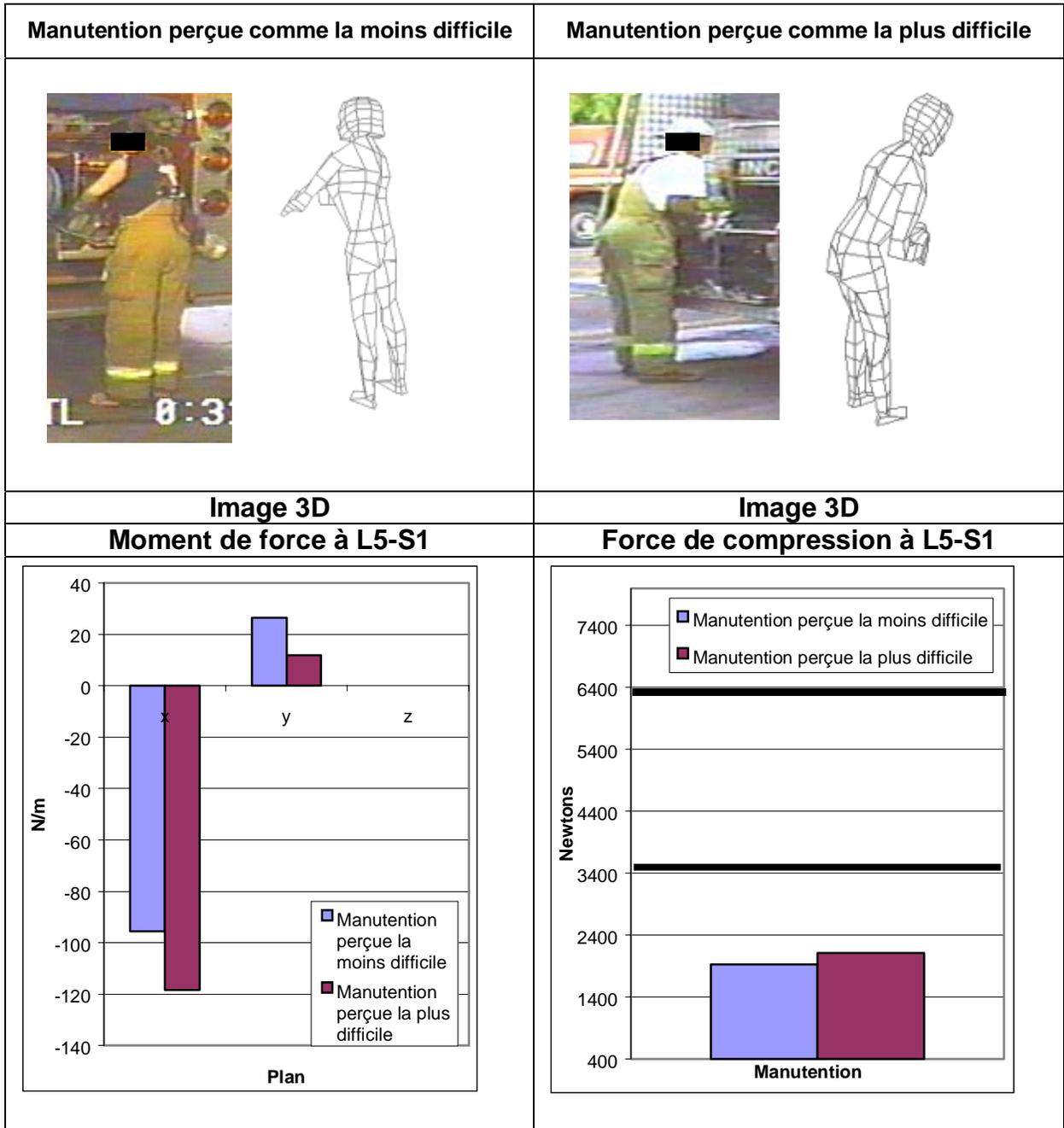


Figure 4. 73 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des écarteurs, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

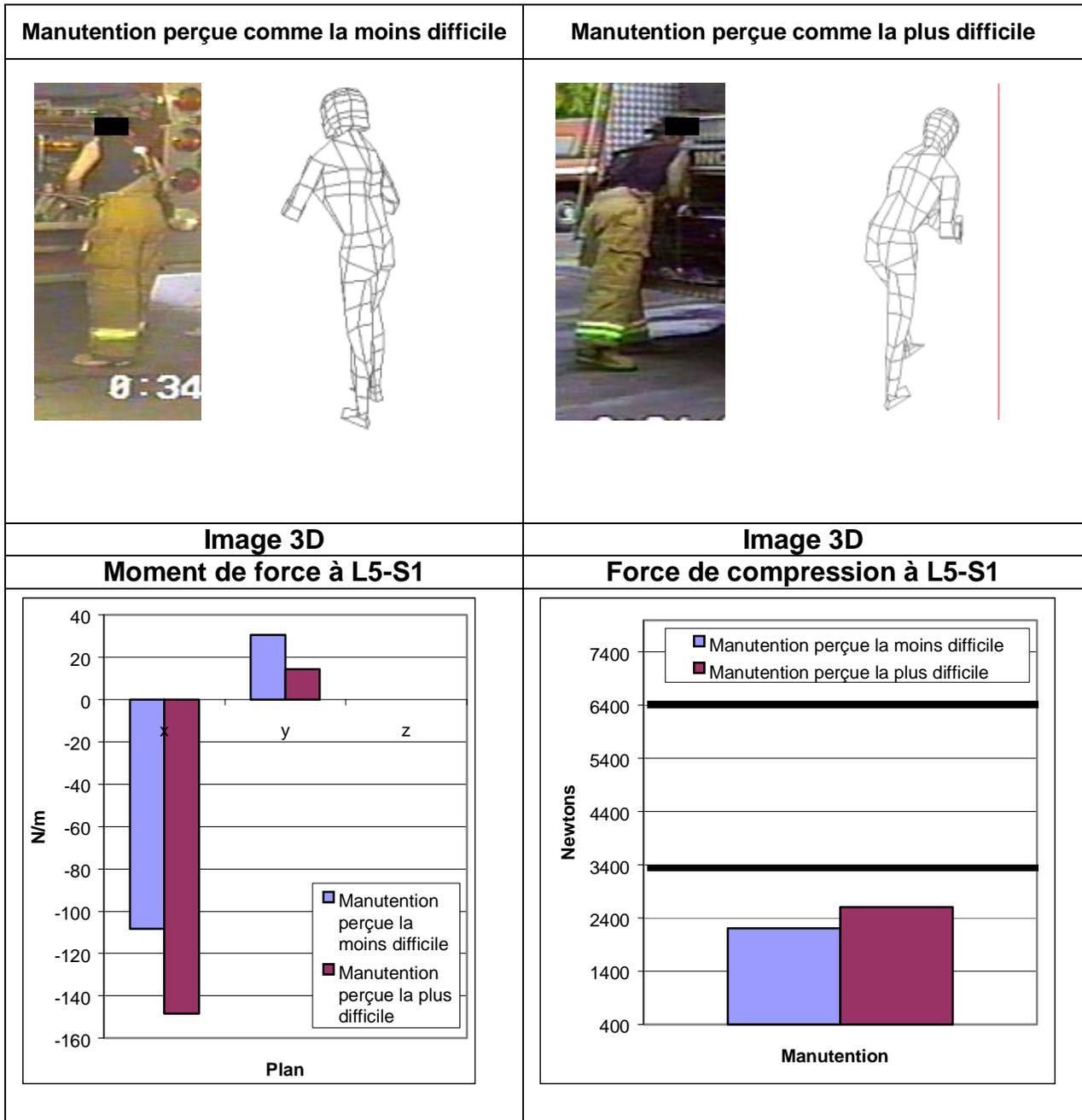


Figure 4.74 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des blocs de stabilisation, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

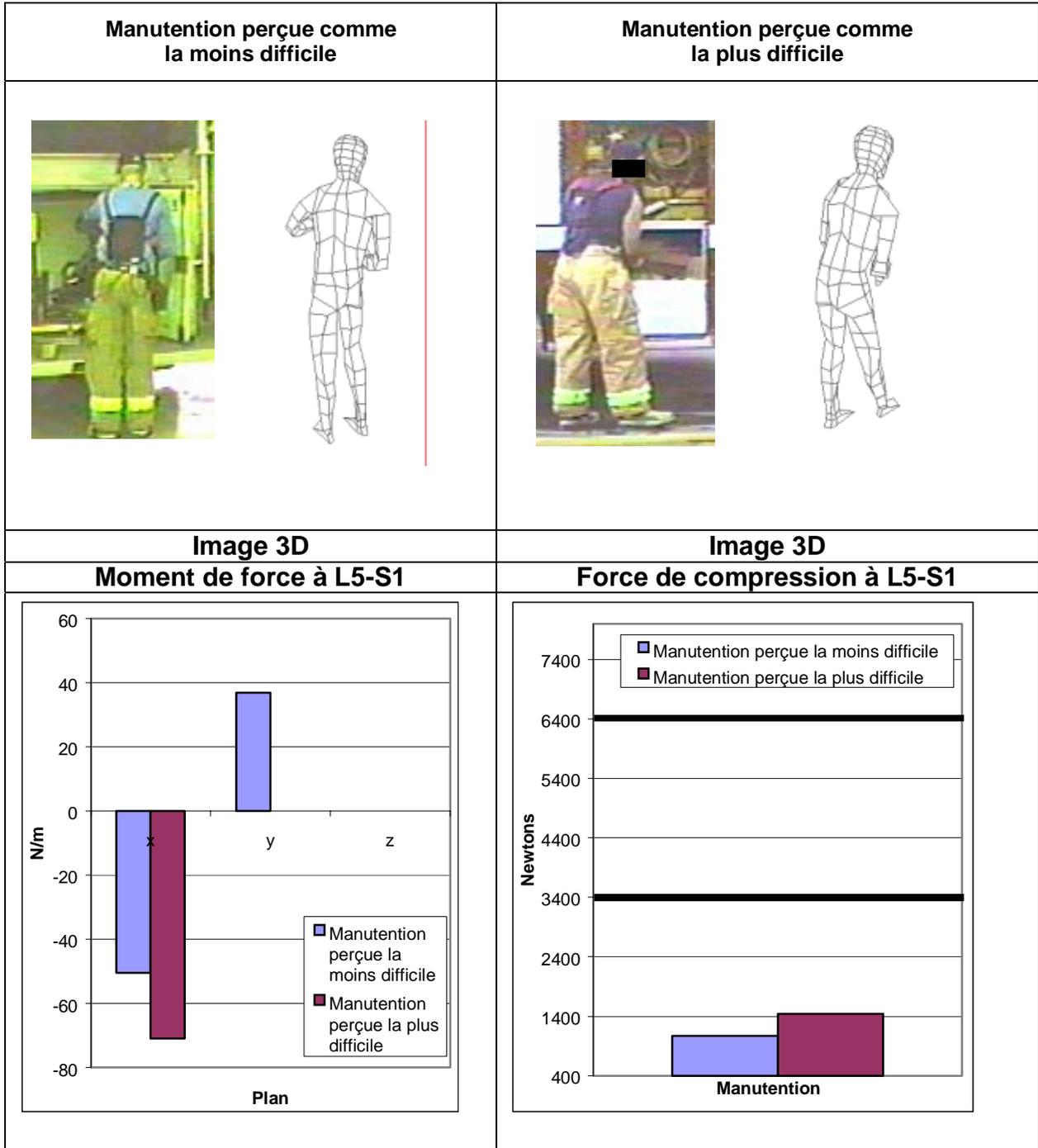


Figure 4.75 - Échelles de longueurs différentes transportées sur un support latéral fixe



Figure 4.76 - Échelles de longueurs différentes transportées sur un support latéral articulé



Figure 4.77 - Échelles de longueurs différentes transportées à l'horizontal, dans un compartiment latéral

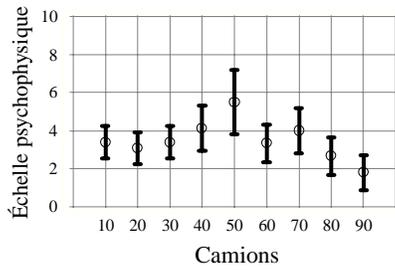


Figure 4.78 - Échelles de longueurs différentes transportées à l'horizontale et à la verticale, dans un compartiment accessible par l'arrière

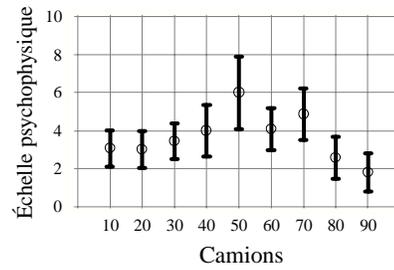


Figure 4.79 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'échelle de 12 pieds pour les différents camions

a



b



c

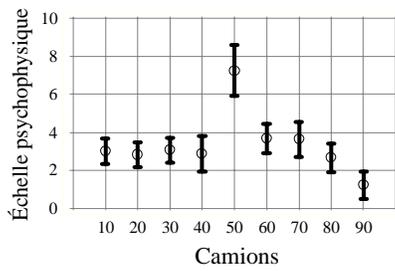
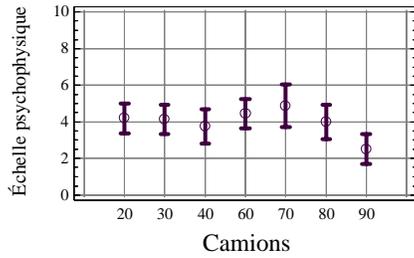
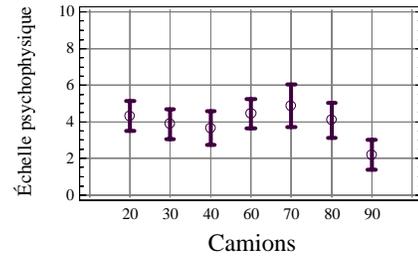


Figure 4.80 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'échelle de 24 pieds pour les différents camions

a



b



c

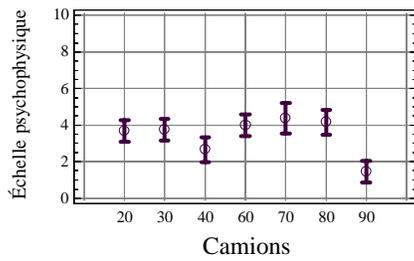


Figure 4.81 - La perception psychophysique de la sécurité (a) associée à la manutention de l'échelle de 35 et 45 pieds pour les différents camions. La perception de l'effort et de la manipulation ne sont pas significatives

a

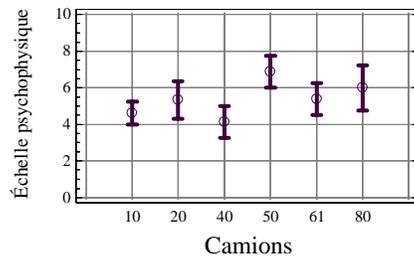


Figure 4.82 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 12 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

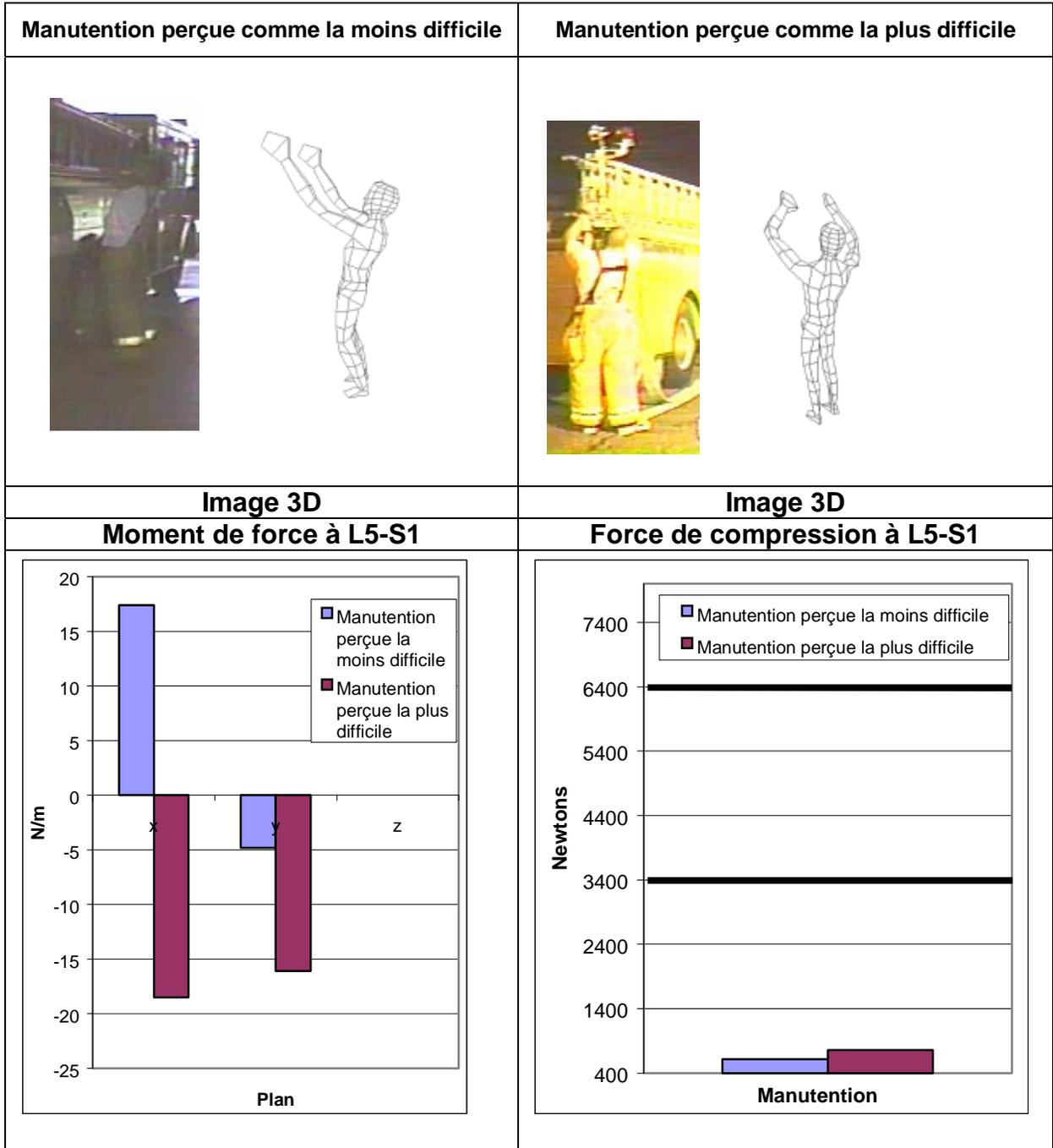


Figure 4.83 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 24 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

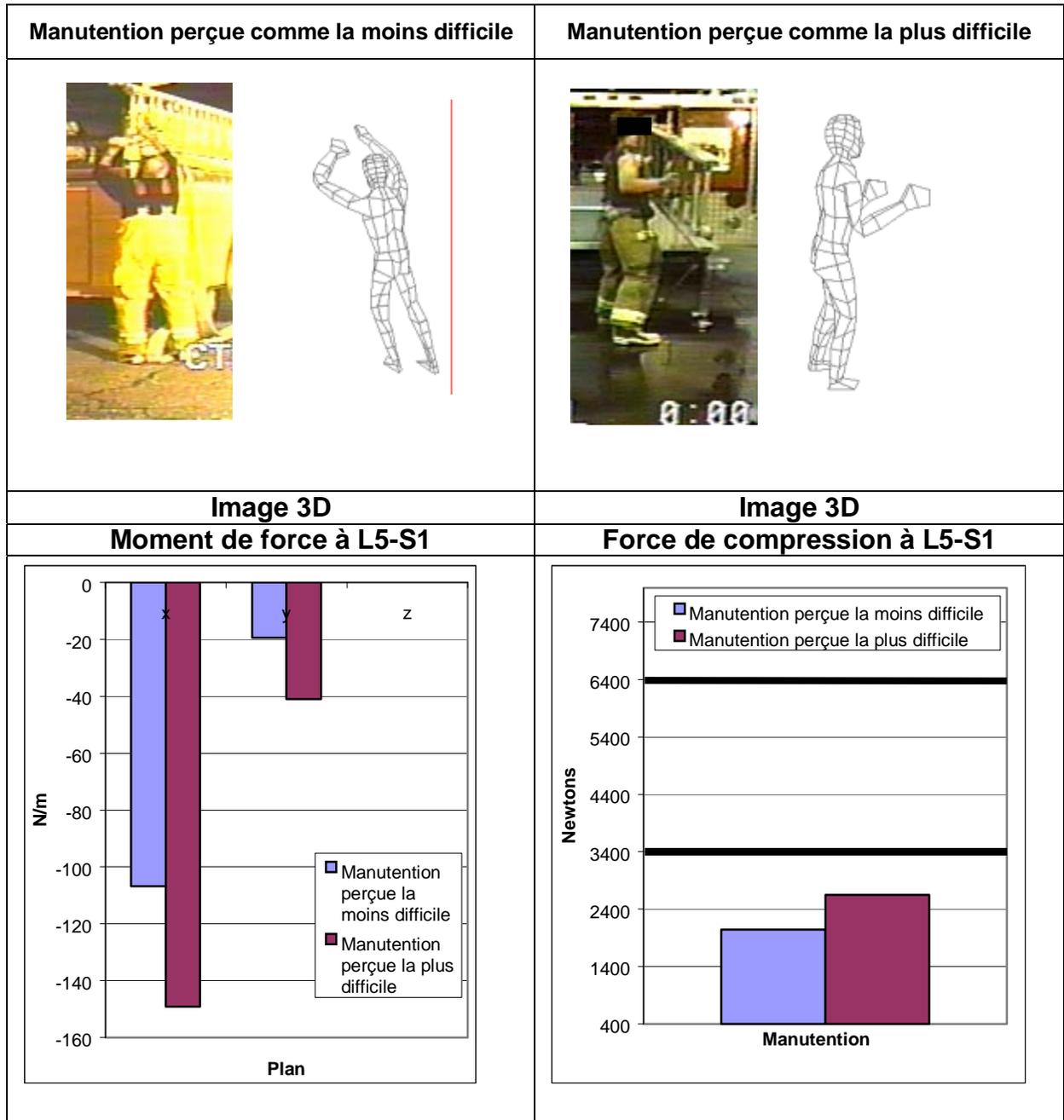


Figure 4.84 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'échelle de 35 – 45 pieds, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

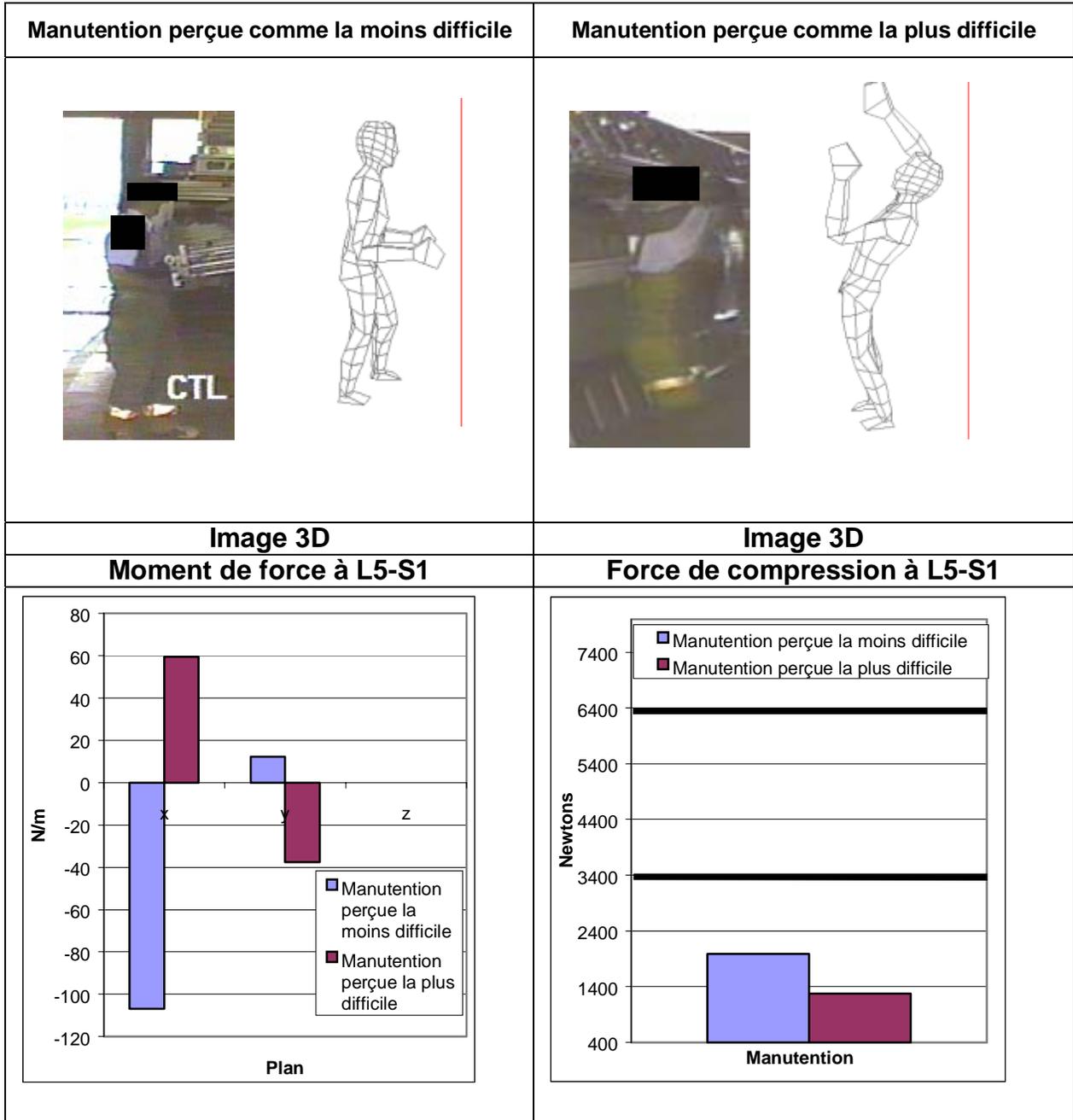


Figure 4.85 - Deux modèles différents de canons à eau montés sur le toit d'un véhicule d'urgence

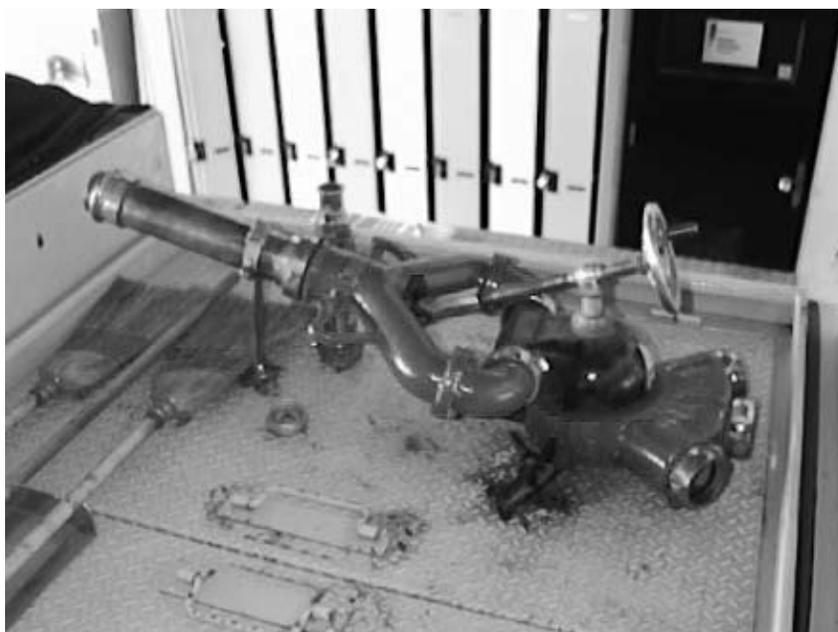
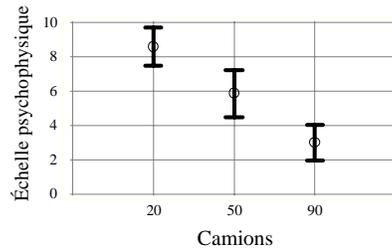
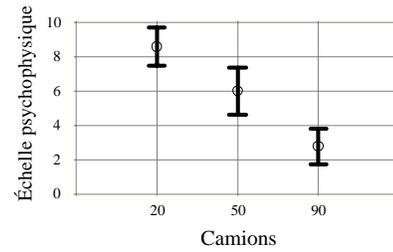


Figure 4.86 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention du canon à eau pour les différents camions

a



b



c

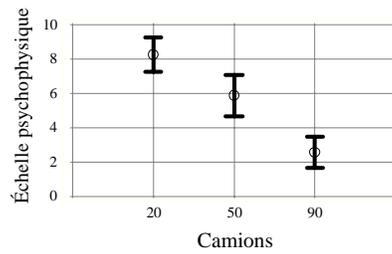


Figure 4.87 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention du canon à eau, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

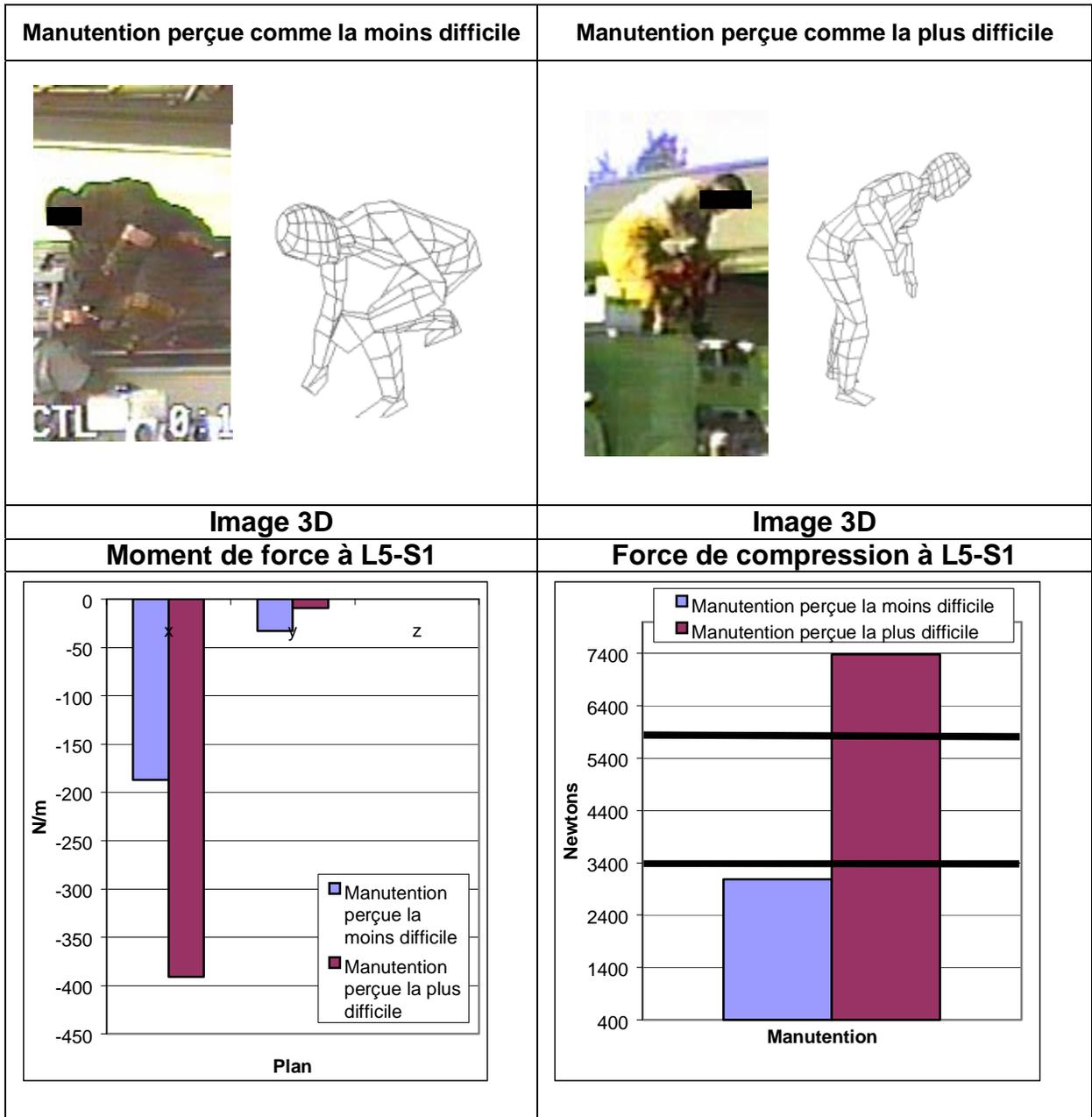


Figure 4.88 - Cales des vérins hydrauliques rangées dans des glissières sous le véhicule (camion 92)

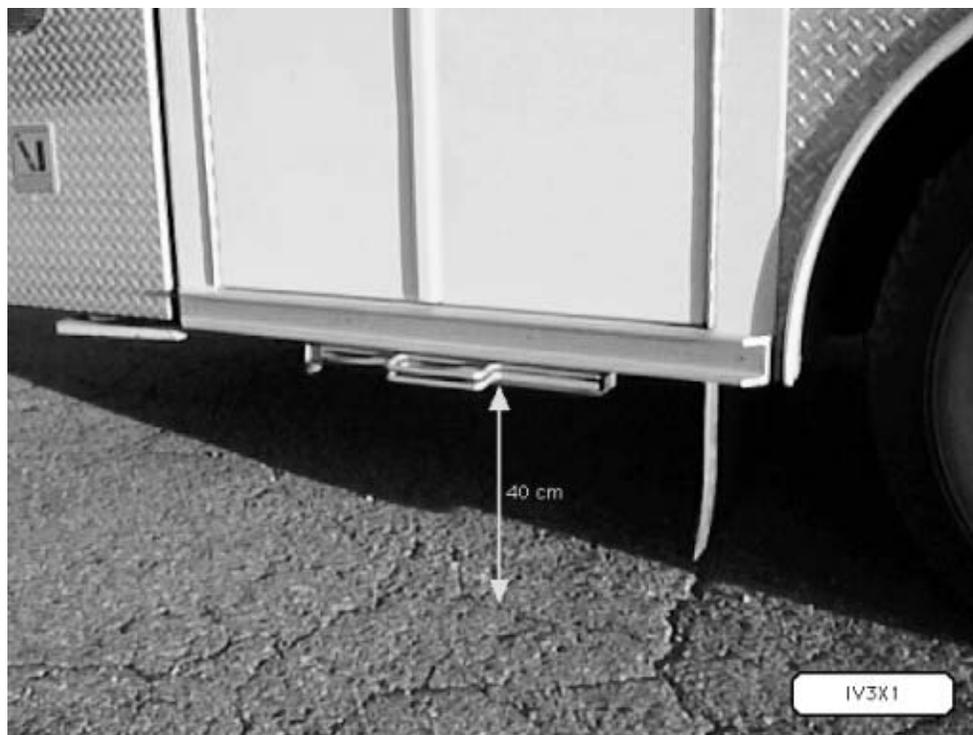
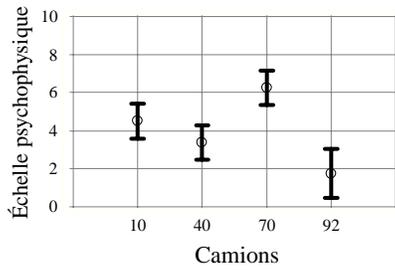
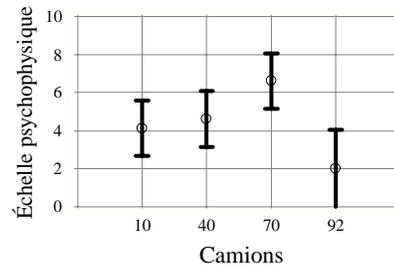


Figure 4.89 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention des cales de vérins pour les différents camions

a



b



c

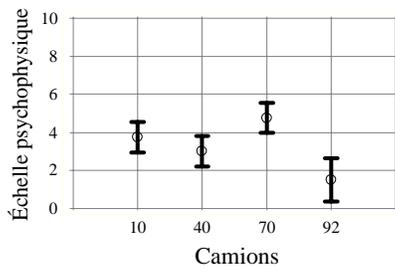


Figure 4.90 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention des cales de vérins, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

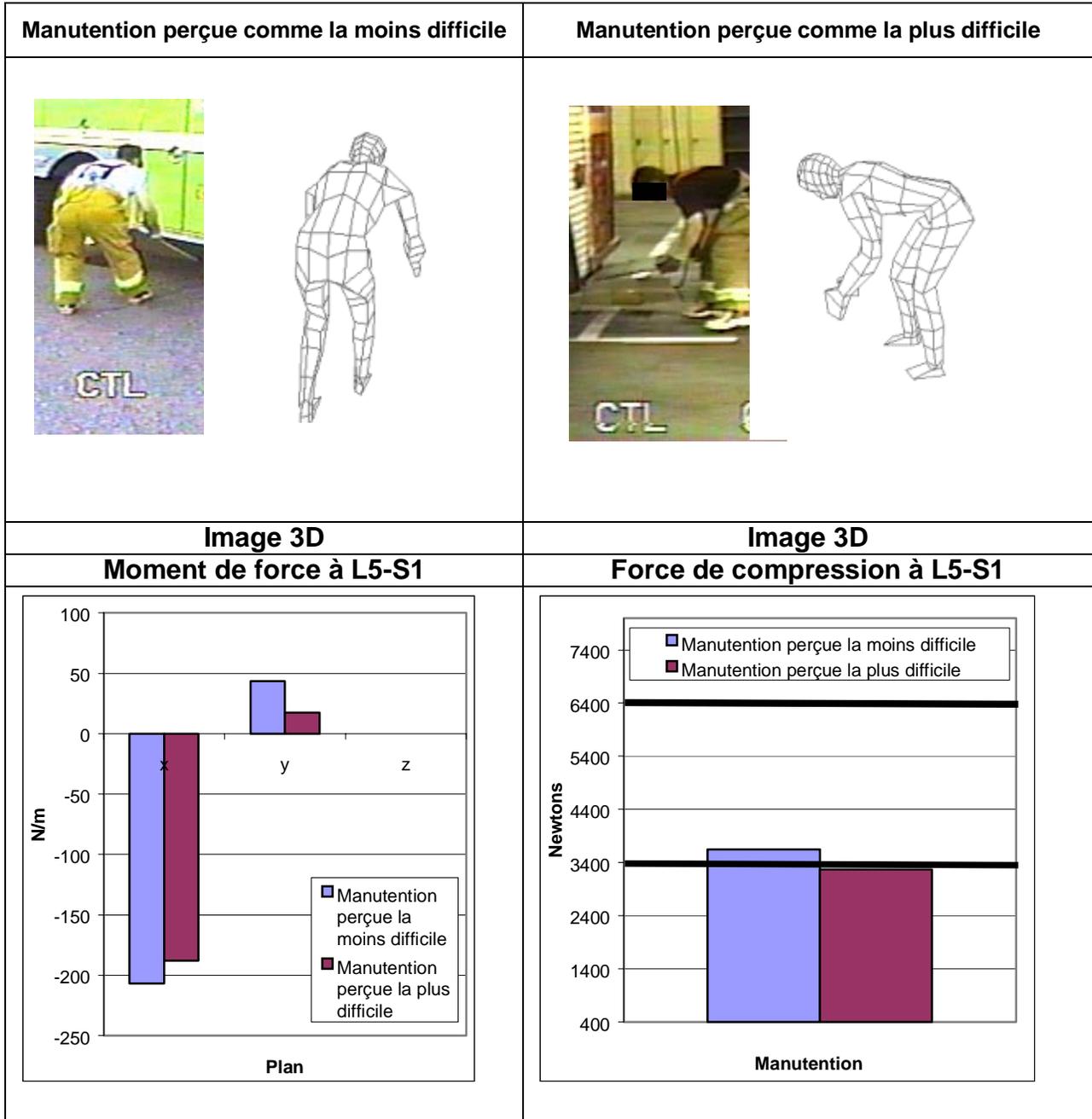


Figure 4.91 - Rangement d'ARA dans un compartiment latéral doté d'une porte à charnière horizontale. À l'ouverture de la porte, un tapis se déroule pour protéger le côté du camion



Figure 4.92 - Autre exemple de transport d'ARA dans des compartiments latéraux à charnières horizontales

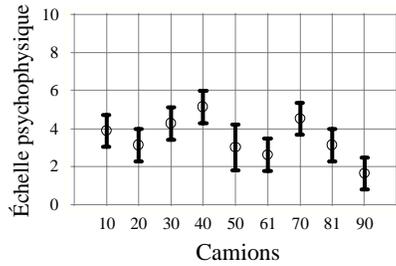


Figure 4.93 - Transport d'ARA à même le dossier de la banquette de la cabine-équipe

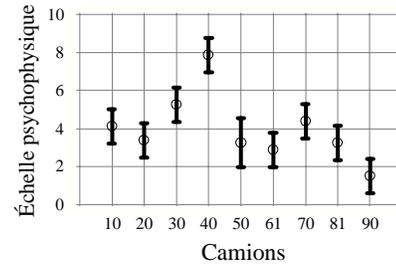


Figure 4.94 - La perception psychophysique de la manipulation (a), de l'effort (b) et de la sécurité (c) associée à la manutention de l'ARA pour les différents camions

a



b



c

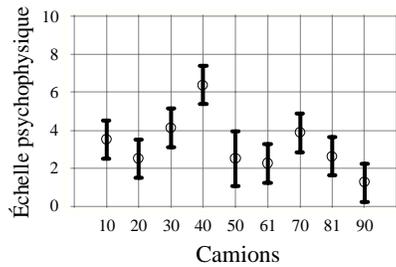


Figure 4.95 - Moments de force et compression lombaire pour la manutention de l'ARA, pour le cas jugé le moins difficile et le plus difficile selon la perception psychophysique de l'effort

