

Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT R-645



Les risques de troubles musculo-squelettiques aux membres supérieurs dans le secteur des services à l'automobile Étude exploratoire

*Denis Marchand
Denis Giguère*



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

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

Mission

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

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

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

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

Pour en savoir plus

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

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2010
ISBN : 978-2-89631-436-2 (version imprimée)
ISBN : 978-2-89631-437-9 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
mars 2010



Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-645

Les risques de troubles musculo-squelettiques aux membres supérieurs dans le secteur des services à l'automobile Étude exploratoire

Avis de non-responsabilité

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

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

*Denis Marchand,
Département de kinanthropologie, UQÀM*

*Denis Giguère,
Soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

REMERCIEMENTS

L'étude exploratoire à l'origine de ce rapport a bénéficié de l'appui et de l'aide de plusieurs personnes, que nous tenons ici à remercier.

Depuis l'origine de la demande pour une telle étude, nous avons été épaulés et encouragés par la direction et les conseillers d'Auto Prévention, l'organisme voué à la santé et à la sécurité du travail dans le secteur des Services à l'automobile au Québec. Nos remerciements s'adressent en particulier à M. Jocelyn Jargot, conseiller en Hygiène industrielle pour cet organisme, qui nous a été d'une aide précieuse par sa connaissance du milieu et son habileté à s'assurer la participation de garages pour l'étude.

L'orientation générale d'une telle étude ainsi que l'arrimage avec les besoins du milieu se sont faits en collaboration avec un comité de suivi. Nous tenons à remercier les membres de ce comité pour le temps et les efforts investis. Les membres de ce comité étaient : MM. Jocelyn Jargot et Jean-Yves Vincent (Auto Prévention), M. Marc-André Dolbec (Mutuelle AST), M. Bruno Lavigne (Mutuelle Aon), M. Normand Savard (Association professionnelle des enseignants en équipements motorisés du Québec, APEEMQ), M. Daniel Lapointe (FTQ – TCA Local 4511) et M. Gérald Sarfati (FTQ TCA - Local 4511) ainsi que Mme Denyse Verdi (Mutuelle des Concessionnaires automobiles de Montréal).

Sur le terrain, c'est le plus souvent grâce au premier contact que nous avons eu dans les garages et les ateliers qui a fait que les portes se sont ouvertes pour nos mesures et nos observations. Nous sommes donc extrêmement reconnaissants envers ces personnes qui se sont montrées à la fois soucieuses de la santé et de la sécurité du travail dans leur établissement et intéressées à générer de nouvelles connaissances. Nous remercions donc, à Montréal, M. Christian Benoit et M. Éric Bissonnette et au Nord de Montréal, M. Jacques Banville, M. Sylvain Beauchamp, M. Pierre Dussault, M. Pierre Gagné, M. Yan Garceau, M. Luc Lagrange, M. Dannick Langlois, M. Michel Larin, M. Jean-Pierre L'Écuyer, M. Yves Lemaire ainsi que Mme Martine Poitras. Au sud de Montréal, nous avons été accueillis par M. Alain Beaudry, M. Sylvain Marcil, M. Yves Naud ainsi que par M. Alain Ste-Marie.

De tels remerciements seraient surtout incomplets sans souligner la contribution des mécaniciens, peintres, carrossiers, techniciens en esthétique et installateurs de systèmes ajoutés qui ont accepté de répondre à nos questions et de se faire filmer au cours de leur travail; mais il a été convenu de conserver leur anonymat. L'intérêt et la patience de tous ces travailleurs sont cependant dignes de mention, d'autant plus qu'ils devaient parfois sacrifier quelques moments de leur pause pour satisfaire notre curiosité. Grâce à eux, nous avons pu recueillir des données intéressantes autant qu'abondantes.

Le recueil des données sur le terrain ainsi que les longues heures d'analyse en laboratoire ont été effectués par une équipe jeune et dynamique composée de MM. Lucas Giusti et Alexandre Rouleau, secondés par Mme Carole Roy à l'UQAM pour l'entretien des instruments. Des remerciements tout particuliers doivent être adressés à Alexandre Rouleau car en plus de son habituel travail soigné, il s'est particulièrement intéressé à la tâche de peinture avec atomiseur, enrichissant ainsi nos connaissances biomécaniques sur le travail des peintres.

À l'IRSST, nos remerciements vont à Roselyne Trudeau, qui fut responsable de monter la bibliographie scientifique pour cette étude, de même qu'à l'équipe de l'Informathèque. France Lafontaine et Lucie Madden ont aimablement révisé ce texte. Une mention toute spéciale doit être adressée à M. Pierre Marcotte, chercheur à l'IRSST et responsable du projet 99-381 sur la caractérisation du bruit et des vibrations émis par les outils portatifs utilisés dans l'industrie de la réparation automobile. Pierre s'est montré extrêmement généreux et intéressé par notre étude et n'a pas hésité à partager de l'information sur les outils et le milieu des Services à l'automobile. Au cours de son déroulement, cette étude a été encadrée par M. Louis Lazure et par M. Claude Ostiguy, et nous sommes reconnaissants de la confiance et du soutien indéfectible qu'ils nous ont témoignés.

SOMMAIRE

Les troubles musculosquelettiques aux membres supérieurs (TMS-MS) comptaient en moyenne au Québec, entre 1998 et 2002, pour 8,7 % de l'ensemble des lésions compensées du secteur des Services à l'automobile, mais représentaient 14,9 % des jours d'arrêt de travail et 13,8 % des déboursés totaux de compensation. Une analyse de l'activité de travail réalisée sur quatre postes au Québec et dans cinq garages aux États-Unis, ainsi qu'une étude sur les postures dans 42 garages en Europe, faisait état de la présence de plusieurs des facteurs de risque associés à ce type de lésion, dont la répétition des gestes, le travail aux limites extrêmes des articulations, la manipulation d'éléments mécaniques lourds et l'utilisation d'outils énergisés. Il n'existait pas, par contre, de données sur la relation entre l'activité de travail et la genèse de ce type de lésion. L'objectif de cette activité exploratoire était donc de documenter cette problématique en regard de l'activité de travail et des outils utilisés par les travailleurs de ce secteur afin d'établir un bilan des connaissances et de suggérer des pistes de solution et des avenues de recherche.

Dix tâches considérées à risque pour les TMS-MS dans les garages furent ciblées conjointement par un comité de suivi paritaire, les conseillers d'Auto Prévention et l'équipe de recherche. Ces tâches sont, en mécanique : le travail sous le capot, le travail sous le véhicule, le travail sur le moteur de camion et le travail sur la suspension de camion. Pour les spécialités, le service de pneus, le changement de silencieux et le travail sous le tableau de bord (installation de systèmes ajoutés) furent retenus. Enfin, le ponçage, la peinture avec atomiseur (pistolet à peinture) et le lavage et le polissage de véhicules furent choisis en esthétique automobile.

Quinze établissements dans un rayon de 150 km autour de Montréal furent approchés pour participer à l'étude, et douze acceptèrent. Sur le terrain, cinq situations différentes pour chacune des tâches retenues furent observées, à l'exception d'une tâche où une seule observation fût possible. L'équipe de terrain demandait aux mécaniciens, peintres, techniciens en esthétique ou installateurs de faire leur travail comme ils le font habituellement. La gestuelle des membres supérieurs était filmée sur vidéo et on pesait les pièces mécaniques manipulées. La masse et le moment de force au niveau du poignet des outils utilisés étaient également récoltés. À la fin de la séance d'observation, une évaluation de la santé musculosquelettique et un test de contraction maximum de la main et des muscles fléchisseurs de l'épaule étaient faits. Les séquences vidéo furent analysées en laboratoire en fonction d'une série d'observables préalablement définis, décrivant la position relative des membres supérieurs dans l'espace, la présence d'outils ou des pièces dans les mains, de pair avec l'activité générale de travail. Quarante-neuf heures de vidéos furent ainsi analysées.

Les 35 travailleurs qui ont accepté de participer à l'étude étaient tous mâles, âgés de $35,5 \pm 10$ ans, et avaient entre une et 30 années d'expérience. Les observations et mesures réalisées au cours de cette étude exploratoire confirment la présence de facteurs de risques pour les TMS-MS pour les tâches observées. Les facteurs de risques identifiés dans les garages au Québec sont sensiblement les mêmes que ceux répertoriés par les rares autres études réalisées dans ce secteur.

Chacune des tâches étudiées affiche son propre profil de risques d'apparition des TMS-MS. Dans cette étude exploratoire, les épaules sont l'articulation la plus à risque en particulier à cause de longues périodes de maintien des bras plus hauts que les épaules. Les poignets sont également très sollicités au cours de certaines tâches et ont rarement été observés en position neutre. La

pénibilité de telles contraintes se manifeste dans la perception de l'effort au cours de l'exécution du travail, mais il faut souligner que, pour six des dix tâches étudiées, la perception de l'attention requise pour réaliser la tâche était supérieure à la perception de l'effort. Le fait que, dans notre échantillon, la force musculaire maximum mesurée allait du simple au double pour l'épaule, et du simple au triple pour la main, peut avoir influencé la perception de l'effort.

Les modèles d'apparition des TMS peuvent s'appliquer au travail dans les garages. En effet, plusieurs événements furent observés où l'utilisation subite d'une force ou d'un mouvement de grande amplitude aurait pu excéder la valeur limite de résistance des tissus musculosquelettiques, et ainsi entraîner une défaillance traumatique et aigüe de ces tissus. On pourrait également assister à une diminution progressive de la limite de tolérance des tissus, due par exemple à la répétition d'un geste, jusqu'à un point où la limite de tolérance devienne inférieure aux forces en jeu. Cette situation entraînerait une défaillance due à la fatigue ou à des traumatismes répétés si cette situation se produisait à répétition.

Le rôle des outils énergisés comme facteur potentiel pour les TMS-MS est mitigé. D'une part, la masse moyenne des outils pneumatiques (clés à chocs, clés à rochet, principalement) est d'environ 1,5 kg alors que celle des outils électriques, comme les cireuses et polisseuses, est de 3,75 kg. Cependant, ces derniers outils, plus lourds, sont principalement utilisés en esthétique où ils sont un avantage lorsque le travail se fait sur une surface horizontale, mais un inconvénient, à cause de leur masse, pour travailler sur une surface verticale. Les outils pneumatiques les plus lourds sont principalement retrouvés dans le travail sur les véhicules lourds. En ce qui concerne les atomiseurs, généralement légers et bien balancés, le moment de force résultant de leur tenue en main est faible au niveau de l'épaule mais élevé au niveau du poignet. Finalement, ce sont les pièces manipulées par les mécaniciens qui se sont révélées les plus lourdes. Les pièces mécaniques d'une masse supérieure à 10 kg ne sont pas rares et la masse des pneus montés sur jante varie de 13 kg à 22 kg. La manutention de ces pièces pose aussi le problème des lésions au dos. Ainsi, ce n'est pas tant une posture ou un outil en particulier qui peut être un risque d'apparition de TMS-MS, mais l'obligation de garder, pour de longues périodes de temps, certaines postures, en particulier au niveau de l'épaule. Cette situation devient à risque même si un outil ou une pièce de masse minimale est maintenu. Le temps de maintien d'un outil dépend du travail à faire, mais aussi des performances de l'outil. Cette relation entre la tâche, l'outil et la posture constitue donc une intéressante piste pour des recherches futures.

Il a été très intéressant de constater que plusieurs mécaniciens, peintres et techniciens en esthétique utilisaient déjà une méthode de travail qui tend à réduire les moments de force au niveau des membres supérieurs. Dans ce secteur d'activité où l'on retrouve une très grande variabilité dans le travail à effectuer, ces résultats appellent des actions de prévention ciblées.

Ce document se veut une synthèse de la situation générale des TMS-MS dans ce secteur et un portrait succinct des tâches à risques identifiées. Un regard plus approfondi sur chacune de ces tâches, de même que des pistes de solutions, sont présentés dans la section portant les caractéristiques des tâches.

TABLE DES MATIÈRES

1	<i>Introduction</i>	15
2	<i>Problématique</i>	17
2.1	Prévalence des TMS-MS dans les Services à l'automobile	17
2.2	Les postures de travail dans les garages	18
2.3	L'utilisation des outils	19
2.4	Les TMS dans les écrits	19
2.5	Les outils	20
2.6	Le secteur d'activité	21
2.7	Visite préliminaire	22
2.8	Problématique de cette étude exploratoire	22
2.9	Objectifs de l'étude exploratoire	23
3	<i>Méthodologie</i>	25
3.1	Comité de suivi	25
3.2	Garages participants	25
3.3	Tâches observées	25
3.4	Travailleurs participants	29
3.5	Variables recueillies	31
3.5.1	Test d'effort physique	31
3.5.2	Questionnaire de symptômes musculosquelettiques perçus	31
3.5.3	Perception des travailleurs participants	31
3.5.4	Masse des objets manipulés et calculs des moments de force exercés sur les articulations des membres supérieurs	32
3.5.5	Posture, force et activité.....	34
4	<i>Résultats</i>	35
4.1	Tests d'effort physique	35
4.2	Symptômes musculosquelettiques perçus	35
4.3	Outils manipulés	36
4.3.1	Outils manuels	37
4.3.2	Outils électriques	38
4.3.3	Outils pneumatiques.....	39
4.3.4	Moments de force	40
4.3.5	Outils et tâches.....	41
4.3.6	Utilisation des outils énergisés.....	42
4.4	Pièces manipulées	43

4.5	Postures de travail.....	45
4.5.1	Approche générale de l'analyse.....	45
4.5.2	Postures du cou.....	46
4.5.3	Postures du poignet.....	47
4.5.4	Posture des bras.....	48
4.6	Perceptions.....	50
4.6.1	Perceptions aux différentes étapes du travail.....	51
4.7	Caractéristiques des tâches.....	53
4.7.1	Analyse détaillée de la peinture avec atomiseur.....	53
4.7.2	Synthèse pour le travail sous le capot.....	68
4.7.3	Synthèse pour le travail sous le véhicule.....	70
4.7.4	Synthèse pour le travail sur le moteur de camion.....	72
4.7.5	Synthèse pour le travail sous le tableau de bord.....	75
4.7.6	Synthèse pour le travail sur le système d'échappement.....	76
4.7.7	Synthèse pour le service de pneus.....	78
4.7.8	Synthèse pour l'esthétique : lavage, cirage et polissage de véhicules.....	80
4.7.9	Synthèse pour le ponçage.....	83
5	Discussion.....	85
5.1	Discussion générale.....	85
5.2	Limites de l'étude.....	87
5.2.1	Échantillon et représentativité.....	87
5.2.2	Santé musculosquelettique.....	87
5.2.3	Mesure de la perception.....	88
5.2.4	Mesure de la force musculaire.....	88
5.2.5	Mesures des forces appliquées.....	88
5.3	Portée de l'étude.....	89
6	Conclusion.....	90
7	Recommandations.....	92
	Bibliographie.....	94

ANNEXE A : Observables utilisés lors de l'analyse

ANNEXE B : Représentation du modèle utilisé pour les calculs de moments de force

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 - Répartition des types d'industries des Services automobiles pour l'ensemble du Québec, et pour le sous-ensemble de l'île de Montréal, tel que compilés par le CSMO – services automobiles (selon Statistiques Canada, BDRE, 2002).....	21
Tableau 2-2 - Répartition des types d'emploi dans les Services automobiles pour l'ensemble du Québec, et pour le sous-ensemble de l'île de Montréal, tel que compilé par le CSMO – services automobiles (selon Statistiques Canada, Recensement 2001) 21	
Tableau 3-1 - Liste des dix tâches observées dans le secteur des Services à l'automobile	26
Tableau 3-2 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le capot d'une automobile.....	26
Tableau 3-3 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le véhicule.....	27
Tableau 3-4 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sur le moteur de camions	27
Tableau 3-5 - Description et durée filmée et analysée pour l'unique situation observée lors du travail sur la suspension de camion	27
Tableau 3-6 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le tableau de bord (systèmes ajoutés)	27
Tableau 3-7 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sur le système d'échappement	28
Tableau 3-8 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le service de pneus	28
Tableau 3-9 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le ponçage	28
Tableau 3-10 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour la peinture à l'atomiseur	29
Tableau 3-11 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le lavage intérieur et extérieur, le polissage et le cirage	29
Tableau 4-1 - Valeurs de force musculaire maximum des travailleurs participants, en Newton..	35
Tableau 4-2 - Répartition des réponses au questionnaire de santé musculosquelettique.....	36
Tableau 4-3 - Masse, par ordre décroissant, des outils manuels répertoriés et tâche dans laquelle chaque outil a été observé.....	38
Tableau 4-4 - Masse, par ordre décroissant, des outils électriques répertoriés et tâche dans laquelle chaque outil a été observé	39
Tableau 4-5 - Paramètres statistiques de la masse des outils pneumatiques observés, en kg.....	40
Tableau 4-6 - Paramètres statistiques du moment de force des outils observés, en Newton mètre (Nm).....	41

Tableau 4-7 - Répartition des outils par classes de masse, selon la tâche observée, en kg.....	42
Tableau 4-8 - Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la présence d'un « outil énergisé » en main, de même que la durée de la plus longue période de maintien ininterrompue de l'outil, en minutes décimales	43
Tableau 4-9 - Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Debout » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude ...	45
Tableau 4-10 - Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Cou non droit » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude	46
Tableau 4-11 - Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Poignet non neutre » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude	47
Tableau 4-12 - Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Un, ou les deux, bras plus hauts que les épaules » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude	49
Tableau 4-13 - Fréquence de l'observable « Bras plus hauts que les épaules » pour les durées consécutives supérieures à 30 secondes et plus	50
Tableau 4-14 - Nombre total d'étapes pour l'ensemble des situations de chaque tâche observée, de même que le nombre médian, minimum et maximum d'étapes par tâche	51
Tableau 4-15 - Pour les cinq situations observées (S1 à S5), répartition, en pourcentage du temps total d'observation, des durées de chacune des différentes sous-tâches associées à la tâche principale.	53
Tableau 4-16 - Masse des atomiseurs observés dans l'étude	57
Tableau 4-17 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre le toit du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein	59
Tableau 4-18 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre le toit du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est presque vide	59
Tableau 4-19 - Comparaison des pourcentages de la contraction volontaire maximum produits lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein ou presque vide, pour les quatre peintres observés lors de l'application de peinture sur le toit du véhicule	61
Tableau 4-20 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre la portière du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein	62
Tableau 4-21 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre la portière du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est presque vide	62

Tableau 4-22 - Comparaison des pourcentages de la contraction volontaire maximum produits lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein ou presque vide, pour les quatre peintres observés dans la posture de la Figure 14 (surface verticale).....	63
Tableau 4-23 - Description de la tâche correspondant à un score de perception élevé pour chacune des situations observées	64

LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 - Distribution de l'âge des travailleurs participants par classes de cinq années.....	30
Figure 3-2 - Échelle psychophysique utilisée pour la perception de l'effort.	32
Figure 3-3 - Dispositif de serrage mobile de la poignée des outils (à gauche) et méthode de mesure du moment de force exercé par l'outil avec le dispositif monté sur une potence et un dynamomètre (à droite)	33
Figure 3-4 - Calcul du moment de force de l'outil.....	33
Figure 3-5 - Exemple d'analyse avec le logiciel CAPTIV. La tâche sous analyse est le remplacement d'un silencieux. Le temps de début et de fin de chaque observable est représenté graphiquement et est synchrone avec la séquence vidéo.	34
Figure 4-1 - Répartition, par classes de masse, de l'ensemble des outils manuels et énergisés observés (n=119).....	37
Figure 4-2 - Répartition, par classes de masse, de l'ensemble des pièces mécaniques observées (n=72).....	44
Figure 4-3 - Fréquence des périodes, par tranche de cinq secondes, où « Bras plus hauts que les épaules » a été observé dans une situation de cirage de véhicule.	50
Figure 4-4 - Pour chaque tâche, pourcentage des étapes observées où la perception de l'effort et de l'attention des travailleurs était égale ou supérieure à « Modéré ».....	52
Figure 4-5 - Pour les cinq situations observées (S1 à S5), répartition du temps, en pourcentage du temps total d'observation, entre les postures « Accroupi » et « Debout » pour la sous-tâche « Peindre ».....	54
Figure 4-6 - Pour les cinq situations observées, répartition, en pourcentage du temps total d'observation, entre les postures « Le long du corps », « À hauteur de poitrine » et « Plus haut que les épaules » pour la sous-tâche « Peindre »	55
Figure 4-7 - Application de peinture sous un capot posé sur un chevalet	56
Figure 4-8 - Posture debout, dos incliné à 45 degrés	57
Figure 4-9 - Posture debout, dos incliné à 90 degrés	57
Figure 4-10 - Travail accroupi, appuyé sur la paroi, avec inclinaison au niveau dorsal.....	57
Figure 4-11 - Posture debout, dos droit.....	57
Figure 4-12 - Peinture d'une surface horizontale.....	58
Figure 4-13 - Peinture d'une surface verticale	58
Figure 4-14 - Posture type retenue pour la peinture d'une surface horizontale	60
Figure 4-15 - Représentation de cette posture dans le logiciel 3DSSPP pour les calculs.....	60
Figure 4-16 - Posture retenue pour la peinture d'une surface verticale	62
Figure 4-17 - Représentation de cette posture dans le logiciel 3DSSPP pour les calculs.....	62

Figure 4-18 - Situation problème 1 : Peindre une surface horizontale.	64
Figure 4-19 - Situation problème 2 : Peindre un capot sur chevalet.....	65
Figure 4-20 - Situation problème 3 : Peindre une surface horizontale.	65
Figure 4-21 - Situation problème 4 : Peindre une surface horizontale.	66
Figure 4-22 - Situation problème 5 : Peindre une surface verticale.	66
Figure 4-23 - Situation problème 6 : Peindre un capot sur chevalet.....	67
Figure 4-24 - Situation problème 7 : Peindre une surface horizontale.....	68
Figure 4-25 - Le travail sur un véhicule surélevé, lorsque les pieds demeurent en contact avec le sol, cause une flexion du tronc avec des angles de flexions et/ou d'abduction importants au niveau des épaules.....	70
Figure 4-26 - Utilisation d'une extension sur la clé à rochet permet de répartir l'effort sur les autres articulations des membres supérieurs (coude et épaule) et d'impliquer le tronc pour produire la rotation.	70
Figure 4-27 - Visser avec le bras tendu au-dessus de la tête implique une contrainte musculaire importante à l'épaule.....	72
Figure 4-28 - L'utilisation d'une extension entre la prise de l'outil et la douille permet de travailler avec un angle de flexion relative à l'épaule moins important (10 à 20°) par rapport à la position du tronc.	72
Figure 4-29 - Descendre du compartiment moteur avec une pièce dans les mains peut être hasardeux car la distribution de la masse de la pièce peut exiger un effort physique important pour le bras porteur.	74
Figure 4-30 - L'utilisation d'un outil avec un long manche permet de déployer un couple de serrage plus élevé en utilisant moins de force.	74
Figure 4-31 - Posture statique prolongée pour le cou et les épaules.	76
Figure 4-32 - Réduction des contraintes à l'épaule : le bras droit peut prendre appui sur la banquette, l'information visuelle est prise à travers les branches du volant avec la tête droite.	76
Figure 4-33 - Utiliser un marteau sous le véhicule implique un travail musculaire excentrique très important pour les muscles qui mobilisent les trois articulations des membres supérieurs.	78
Figure 4-34 - Un pont de levage ajusté un peu plus bas et un bec de chalumeau oxyacétylénique plus long permettent de réduire la flexion des épaules.	78
Figure 4-35 - L'utilisation d'un système d'élévation avec des rampes éloigne la charge (ici, le pneu) au moment de la prise.	80
Figure 4-36 - L'utilisation des deux mains sur la clé à chocs permet de placer une des mains près de la douille et de guider l'outil sur le boulon.	80

- Figure 4-37 - Pour le nettoyage intérieur de la section haute du pare-brise, le travailleur place son bras en rotation interne et son avant-bras en pronation complète pour que la paume de sa main soit à plat sur la vitre.82
- Figure 4-38 - Posture peu énergivore. L'utilisation du petit banc permet le travail à hauteur de poitrine. Les jambes sont utilisées pour stabiliser et se déplacer.....82
- Figure 4-39 - Sablage manuel du bas de caisse : l'épaule du segment impliqué se retrouve avec un angle de flexion relative important (équivalent du bras au-dessus de la tête). .84
- Figure 4-40 - Pour les sections intermédiaires des ailes, l'utilisation d'un petit banc roulant permet d'utiliser la cuisse comme point d'appui pour le coude ou l'avant-bras. ...84

1 INTRODUCTION

Ce rapport fait part des résultats de l'étude exploratoire du travail des mécaniciens avec les petits outils mécaniques en relation avec les troubles musculosquelettiques aux membres supérieurs (TMS-MS) dans le secteur des services à l'automobile (IRSST 99-548). Elle a été initiée suite à un intérêt marqué pour cette problématique de la part d'[AUTO Prévention](#), l'organisme dédié à la santé et à la sécurité du travail de ce secteur au Québec.

En effet, un examen des statistiques des accidents du travail dans ce secteur, réalisé en préparation de cette étude, montre que les TMS-MS y comptaient en moyenne, entre 1998 et 2002, pour environ 9 % de l'ensemble des lésions compensées. Cependant, cette proportion représentait presque 15 % des jours d'arrêt de travail et 14 % des déboursés totaux de compensation. De plus, le nombre moyen de jours d'arrêt de travail suite à ce type de lésions est supérieur dans ce secteur comparativement à l'ensemble des lésions au Québec. Ainsi, même si les Services à l'automobile ne viennent pas au premier rang pour le nombre de lésions musculosquelettiques, force est de constater que son profil de gravité est plus important compte tenu des absences plus longues et des coûts plus importants qui y sont associés. Outre les souffrances humaines, cette situation apporte un fardeau financier supplémentaire aux ateliers de mécanique et de carrosserie, en particulier les dépositaires qui ont vu leur marge de profit s'amenuiser depuis quelques années (Cloutier, 2008).

À l'origine, ce sont des travaux de maîtrise réalisés en 2002 à l'Université du Québec à Trois-Rivières (Semid, 2002) qui établirent un premier profil des lésions musculosquelettiques dans ce secteur, un profil éclairé par quelques observations sur le terrain. Une revue des écrits scientifiques sur le sujet révéla une pléthore de publications sur les caractéristiques des outils et la relation humain – outil, mais deux études seulement, menées à l'étranger, faisaient part des contraintes posturales associées au travail dans les services à l'automobile. Le choix d'une étude exploratoire fut donc retenu pour approfondir cette problématique dans le contexte québécois, informer les préventeurs de ce secteur de l'état de la situation au moyen d'un bilan de connaissance et, orienter de futures recherches. La section sur la problématique de ce document apporte des statistiques récentes sur les TMS-MS dans ce secteur d'activité, aborde les contraintes posturales vécues par les travailleurs, fait le point sur les études concernant les outils énergisés, fait part d'une première série d'observations et définit la problématique et les objectifs de cette étude exploratoire.

Le territoire à explorer, choisi de connivence avec un comité de suivi, était composé de dix tâches considérées comme pertinentes par rapport à la problématique étudiée. Cinq situations, c.-à-d. cinq séances de travail distinctes sur des véhicules différents et avec des travailleurs différents, étaient prévues pour chacune des dix tâches retenues. Comme contrainte, les observations se faisaient en milieu de travail et à l'intérieur des heures de travail régulières des ateliers. Dans les faits, douze des quinze garages sollicités nous ouvrirent leur porte et 46 des 50 situations prévues ont pu être observées en mécanique d'automobile et de camion, en carrosserie et en peinture, en esthétique (lavage et polissage des véhicules) de même que pour le service des pneus, des silencieux et pour l'installation de systèmes ajoutés (systèmes antivibratoire, démarreur à distance, ...).

Au cours de nos observations, nous avons recueilli la masse¹ des outils et des pièces mécaniques qui ont été manipulés, la perception de l'effort et de l'attention requise pour faire le travail ainsi que les postures des membres supérieurs. Des données sur la force musculaire des mains et des épaules des travailleurs furent également recueillies. En plus des détails sur les tâches et les caractéristiques des travailleurs observés, la section sur la méthodologie décrit les variables et les observables utilisés dans cette étude. Outre la masse des éléments manipulés et les postures, une étude sur les risques de TMS-MS serait plus complète avec une connaissance de la grandeur des forces appliquées sur ces outils ou pièces. À l'origine, nous avons effectivement prévu d'effectuer sur le terrain de telles mesures avec une clé dynamométrique, mais ces relevés supplémentaires auraient trop ralenti le travail : dans le contexte d'une étude de terrain, il fallait tenir compte que le véhicule devait être remis à un client à très court terme. Le moment de force au niveau du poignet généré lorsqu'un outil est tenu a cependant pu être mesuré. La section suivante du rapport fait part des résultats recueillis selon ces différentes variables. Une présentation générale, pour l'ensemble des observations, est d'abord faite. Les détails des observations pour chacune des tâches observées dépassant largement le format de ce rapport, ceux-ci sont présentés sous forme succincte, à l'exception de la tâche de peinture, laquelle est présentée *in extenso* à titre de cas de figure du traitement et de l'analyse des données.

La discussion et la conclusion reprennent et commentent les résultats des mesures et des observations réalisées à la lumière des connaissances déjà acquises, tout en établissant la portée et les limites de ce type d'étude. Au delà des recommandations propres à cette étude exploratoire, les observations sur le terrain ont révélé plusieurs situations de travail propices au développement des TMS-MS, situations déjà répertoriées dans les écrits scientifiques (Kuorinka *et al.* 1995, entre autres), et sur lesquelles il serait possible d'agir à court terme. À ce sujet, des pistes de solution spécifiques à chacune des tâches ont été proposées au milieu concerné, mais ne figurent pas dans ce rapport.

Enfin, nous désirons rappeler au lecteur qu'il s'agit ici des résultats d'une étude exploratoire, qui a privilégié l'observation sur le terrain de plusieurs tâches dans des milieux différents plutôt qu'une analyse contrôlée et instrumentée sur un petit nombre de sujets expérimentaux. Il ne faut donc pas y chercher l'infirmité ou la confirmation d'une hypothèse, mais plutôt la recherche de données et d'information propres à étayer la problématique et à générer des sujets de recherche pertinents. Il s'agit donc d'un bilan et de matériel destinés à alimenter une réflexion.

¹ Le Système international (SI) définit la masse (en kilogramme) comme étant « la grandeur physique fondamentale caractérisant la quantité de matière d'un corps, indépendamment de la pression, de la température et de l'état physique de ce corps ». Il est essentiel de ne pas confondre la masse d'un corps et son poids. Le poids (en Newton) est une force qui mesure l'action de la pesanteur, de la gravité terrestre, sur ce corps. La masse d'un corps est invariable. Le poids d'un corps varie d'un endroit à l'autre, car l'accélération de la pesanteur varie elle-même. ». Source : Le grand dictionnaire terminologique de l'Office de la langue française du Québec, <http://www.granddictionnaire.com/>

2 PROBLÉMATIQUE

2.1 Prévalence des TMS-MS dans les Services à l'automobile

La motivation pour Auto Prévention à faire cette demande découle, entre autres, du constat réalisé dans une thèse de maîtrise en sécurité et hygiène industrielle de l'UQTR (Semid, 2002). Dans le cadre de ses travaux de maîtrise, celui-ci a analysé les données de compensation de la CSST entre 1995 et 1997 couvrant le secteur des Services à l'automobile. Dans son étude, les TMS-MS (les épaules surtout, mais aussi les poignets, les coudes et le cou) pour ces trois années comptent pour 7,6 % du total des lésions compensées. L'apparition des TMS-MS y serait reliée aux facteurs de risque suivants, soit « ... *l'encombrement des aires de travail et la difficulté d'accéder aux éléments du moteur, ce qui oblige le mécanicien à adopter des postures contraignantes, à la charge physique de travail, à sa répétitivité ainsi qu'à l'utilisation de certains outils* ». Dans son échantillon, hormis les cas de *syndrome du canal carpien* pour lesquels l'origine est le mouvement répétitif, les lésions musculosquelettiques aux membres supérieurs proviendraient d'efforts excessifs dans des proportions variant de 43,8 % pour les épicondylites à 72,4 % pour les entorses à l'épaule. Toujours selon cet auteur, les fréquences observées pour l'ensemble des lésions musculosquelettiques *reliées au travail* de ce secteur (exclues, par exemple, les entorses dues aux chutes), mettent en évidence une fréquence élevée de TMS chez les préposés aux pièces, le personnel administratif, mais surtout chez les mécaniciens de concessionnaires automobiles, en particulier pour les entorses au cou, les tendinites à l'épaule et les bursites. Il en est de même pour les épicondylites chez les carrossiers et peintres travaillant dans des ateliers de peinture. Semid a complété son étude bibliographique et statistique par l'observation du travail sur quatre postes chez un concessionnaire. L'analyse des données d'observation a pu mettre en lumière plusieurs difficultés reliées au travail des mécaniciens, entre autres, cou en extension et bras au-dessus de la tête lorsque le véhicule est monté sur un pont élévateur, postures contraignantes pour atteindre et agir sur certaines pièces du moteur à cause de l'exiguïté de l'espace de travail, la forme des pièces qui rend leur prise difficile, les zones d'atteintes difficiles et le niveau élevé de précision gestuelle et visuelle. Il observe également chez les peintres, la supination et la pronation de l'avant-bras pendant 37 % de la durée de la tâche, ainsi que de longues périodes où le poignet doit être tenu en extension avec effort, mobilisant ainsi des muscles bien identifiés.

Aux États-Unis, l'observation de 50 travailleurs à l'aide d'une grille de postures par Gold *et al.* (2006) dans cinq garages du New Hampshire (É-U) confirme les observations de Semid (2002) et souligne la présence de postures contraignantes en relation avec le véhicule en réparation, l'utilisation de force élevée par les membres supérieurs ainsi que l'exposition aux vibrations de certains segments corporels. Cette étude souligne également que les garages se classent au 15^e rang en termes de prévalence des TMS aux États-Unis, mais 13^e en ce qui concerne la moyenne des jours perdus, soit $7,0 \pm 2,2$ par accident déclaré. Au niveau des statistiques nationales (BLS – United States Bureau of Labour Statistics), tous secteurs confondus, Courtney et Webster (1999) soulignent que les épaules sont au cinquième rang des sièges de lésions (déchirures, foulures et entorses) dues au travail avec un taux d'incidence de 9,05 cas par 10 000 travailleurs annuellement et un nombre médian de jours d'absence de 7. Quant aux poignets, ils sont au dixième rang en termes de fréquence, mais le nombre médian de jours d'absence est de 30. Ces

statistiques ne permettent pas d'isoler les travailleurs des Services à l'automobile de l'ensemble, mais montrent quand même l'importance de ce type de lésion dans la population active au travail.

Au Québec, un examen plus récent (1998 – 2002) des statistiques d'accidents dans ce secteur (CSST, 2004) montre que les troubles musculosquelettiques aux membres supérieurs comptaient en moyenne pour $8,7 \pm 1,1$ % de l'ensemble des lésions compensées du secteur des Services à l'automobile. Par contre, cette proportion représentait $14,9 \pm 1,8$ % des jours d'arrêt de travail et $13,8 \pm 2,1$ % des déboursés totaux de compensation. Toujours dans ce secteur, le nombre moyen de jours d'arrêt de travail est de 122 ± 25 pour les cas de TMS-MS alors qu'il n'est que de 70 ± 5 pour l'ensemble des lésions. La valeur élevée de la variance pourrait être l'indicateur d'une certaine complexité de ces cas, soit en termes de gravité ou de récurrences.

2.2 Les postures de travail dans les garages

Une étude réalisée en Hollande (Kant *et al.*, 1990), et d'ailleurs citée par Semid, s'est intéressée aux postures de travail adoptées par 84 mécaniciens dans 42 garages (un total de 7 154 observations). Les postures ont été codées au moyen de la grille d'analyse OWAS (Ovako Working Posture Analysing System) développée en Finlande (Karhu *et al.*, 1977). Les activités de travail les plus fréquemment observées dans la journée étaient le travail sous le capot alors que le véhicule est au sol (23,1 % de la durée totale observée), le travail à l'avant ou sur les côtés du véhicule alors que celui-ci est levé (15,3 %) ou au sol (7,5 %), le travail sous le véhicule alors que celui-ci est sur un pont élévateur (14,0 %) ou sur une fosse d'inspection (4,7 %) et le travail à l'intérieur du véhicule (3,6 %). Le reste de l'activité se répartit entre la planification et les tâches administratives, le travail sur l'établi et les déplacements dans le garage pour aller chercher des pièces. Suite à ces observations, les postures de travail les plus contraignantes, selon la classification de pénibilité d'OWAS, se sont révélées être la flexion du dos (30,3 % de la durée de la journée de travail), les bras au-dessus des épaules (14,7 %), la position des jambes lors du travail agenouillé (4,6 %), ainsi que la position de la tête soit en flexion (22,5 %) ou en extension (6,8 %). Si on ne tient compte que de l'aspect postural du travail de mécanicien, le travail sous le véhicule alors que celui-ci est élevé, le travail sous le capot lorsque le véhicule est au sol et le travail sur le côté du véhicule alors que celui-ci est au sol sont principalement à l'origine de ces postures contraignantes. La classification OWAS cote également les postures observées selon quatre degrés de nocivité, allant de AC1 « Posture normale – aucune action requise » à AC4 « Posture extrêmement nocive – des actions pour changer la posture devraient être entreprises immédiatement ». Les auteurs rapportent que 63,2 % des postures observées se classaient dans la catégorie AC1, 32 % dans la catégorie AC2, 3,6 % dans la catégorie AC3 et 1,2 % dans la catégorie AC4, ce qui amène les auteurs à considérer que s'il y a présence de postures légèrement nocives parmi les postures observées dans les garages, il existe aussi un nombre certain de postures très contraignantes, même si ces dernières sont moins nombreuses. Finalement, cette étude révèle que, pour une même tâche, le bilan des postures peut être considérablement amélioré par l'utilisation d'une méthode de travail et d'outils appropriés. Cependant, les mesures et observations de cette étude ont été réalisées en Europe donc, avec des véhicules différents et peut-être une organisation du travail différente. À titre comparatif, les fosses d'inspections sont maintenant rares au Québec, du moins chez les concessionnaires de

voitures neuves alors qu'elles semblaient être encore présentes en Europe au moment de cette étude.

2.3 L'utilisation des outils

Le travail des mécaniciens dans les garages ne saurait s'accomplir sans des outils, tant manuels que mécaniques. Par « mécaniques » ou « énergisés », on entend ici des outils qui fonctionnent à l'aide d'une source d'énergie autre que la force musculaire du mécanicien, généralement l'air ou l'électricité. Le bruit émis, ainsi que la propagation des vibrations aux mains et aux bras des utilisateurs par ces outils, ont récemment fait l'objet d'un projet de recherche sous la direction de Pierre Marcotte, de l'IRSST (99-381 : « Caractérisation du bruit et des vibrations émis par les outils portatifs utilisés dans l'industrie de la réparation automobile »). Cette étude a porté sur cinq classes d'outils habituellement utilisés dans les garages, soit les clés pneumatiques à rochet (*air ratchet*), les clés pneumatiques à chocs (*impact wrench*), les burins pneumatiques (*zip gun*), les ponceuses (*sander*) et les meuleuses (*grinder*). Le recueil des données se fait par entrevue individuelle dirigée auprès d'un échantillon de mécaniciens utilisateurs et par une campagne de mesures de bruit et des vibrations dans les garages. Outre la problématique du bruit et des vibrations associées à ce type d'outil se pose la question de « l'ergonomie des outils ». Cette locution a en fait un double sens. D'abord, les caractéristiques inhérentes de l'outil influencent son contact, son interface, avec l'utilisateur : il s'agit davantage ici de l'ergonomie de produit. Il y a ensuite l'interaction entre l'outil lui-même, l'organisation du travail (par ex. véhicule au sol par rapport à véhicule sur un pont élévateur), la tâche à réaliser (par ex. comment déposer un amortisseur), elle-même régie par les stratégies et les caractéristiques fonctionnelles du mécanicien (dimensions de la main, latéralité,...). Cette interaction résulte en l'adoption, par le travailleur, de la posture optimale pour appliquer la force nécessaire pour réaliser l'activité, la posture étant aussi tributaire des besoins en information visuelle. Dans ce contexte, l'importance de la masse de l'outil serait moindre par rapport au moment de force qu'il peut exercer sur les poignets ou les mains. Les difficultés et les contraintes présentes à certains moments dans l'exécution d'un travail peuvent faire que les postures et les forces musculaires poussent le système musculosquelettique au-delà de ses limites : la prévalence des TMS-MS chez cette catégorie de travailleurs ainsi que l'observation de postures potentiellement nocives rapportées dans la littérature, en témoignent.

2.4 Les TMS dans les écrits

Les TMS sont une préoccupation majeure en santé et en sécurité du travail autant par leur incidence que par les coûts de compensation qu'ils génèrent. Spécifions d'entrée de jeu que cette activité de recherche est centrée uniquement sur les TMS-MS. Ce choix ne signifie pas que le problème des lombalgies dans le milieu des services à l'automobile est négligeable, mais témoigne davantage de la spécialisation des efforts de recherche dans ce domaine. La nature et l'origine TMS-MS ont été abondamment documentées dans l'ouvrage de référence de Kuorinka et Forcier (1995) qui aborde aussi les méthodologies de recherche de ce champ. Plusieurs guides vulgarisés sont disponibles pour les milieux (Simoneau *et al.*, 1996, entre autres) et pour les agents de prévention (Aptel *et al.*, 2005). Les écrits scientifiques, tels que résumés par Kuorinka et Forcier, citent plusieurs facteurs de risques génériques possiblement à l'origine des TMS-MS : les dimensions du poste de travail (comprenant les zones d'atteintes et la prise d'information

visuelle); certains facteurs physiques comme la présence de froid, de vibrations ou la pression locale sur des tissus mous (forces d'impact ou d'impulsion); les postures inadéquates; la charge musculosquelettique (intensité, répétition, durée); la charge statique de travail (membre maintenu en position de travail contre la force gravitationnelle); l'invariabilité de la tâche (impossibilité pour le muscle d'avoir une période de repos); le contenu cognitif de la tâche (surcharge quantitative et sous-charge qualitative) et enfin, les facteurs organisationnels et psychosociaux reliés au travail. La plupart de ces facteurs sont susceptibles d'être présents lors du travail dans les garages et d'ailleurs, Semid (2002) a pu en identifier plusieurs. McGill (2007) propose différents modèles par lesquels une lésion musculosquelettique peut se produire au niveau du dos. Pour un premier modèle, il existerait une valeur limite de tolérance des tissus en dessous de laquelle la force et les mouvements autour de l'articulation se font sans danger. Toutefois, une force ou un mouvement qui excéderait cette valeur limite entraînerait une défaillance traumatique et aiguë des tissus. Ce modèle expliquerait les lésions qui surviendraient, par exemple, lors de l'utilisation subite d'une force excessive. Pour un autre modèle, on assisterait à une diminution progressive de la limite de tolérance des tissus, due par exemple à la répétition d'un geste, jusqu'à un point où la limite de tolérance devienne inférieure aux forces en jeu. Cette situation entraînerait une défaillance due à la fatigue ou à des traumatismes répétés si cette situation se produisait à répétition. Quoique développés pour étudier les TMS au niveau lombaire, ces deux modèles sont très attrayants pour la problématique qui nous intéresse.

2.5 Les outils

Une recension des écrits relatifs aux caractéristiques des petits outils mécaniques faite dans le cadre de la préparation de cette activité de recherche a permis d'identifier une soixantaine d'articles parus dans des périodiques scientifiques. La problématique de la conception des outils ou du choix approprié d'un outil sont traités d'office dans plusieurs manuels : Woodson (1981); Konz (1987); Radwin (1999). De plus, il existe déjà des ouvrages vulgarisés sur les caractéristiques « ergonomiques » des outils énergisés AISS (1986); Radwin *et al.* pour l'AIHA (1996) ou une forme d'aide pour le choix (Agazadeh et al (1998); Mital et Kilbom (1992); HSE (2001)). Le spectre des publications est large et va de l'élaboration d'un cadre conceptuel pour l'évaluation d'outils ((Kadefors et al. (1993); Kilbom et al. (1993); Martin et al. (1996)) aux évaluations par les utilisateurs ((Armstrong et al. (1989); Lortie et al. (2001); Ulin et al. (1992)). Le type de publication le plus souvent rencontré demeure la mesure de l'effet sur des sujets en laboratoire, des caractéristiques d'un outil ou la comparaison de deux outils selon certains paramètres ((Beauchamp et al. (1997); Bjoring et al. (1999); Cochran et Riley (1986); Fernandez et al. (1991); Freidvalds et Eklund (1993); Kong et al. (2004); Potvin et al. (2004); Schlegel et Willcoxon (1989), Caple et Greig (1993) et Wells et al. (1994)). Ces comparatifs sont faits, par exemple, à l'aide d'évaluations psychophysiques, d'exercices de classement ou d'ordonnancement, ou de mesures telle l'électromyographie. Finalement, notons l'existence à l'INRS, en France, du laboratoire ACOME (Aide à la conception d'outils à main ergonomiques) (Aptel et al. 1998) mais que ses activités ne couvrent pas les outils destinés aux mécaniciens. À titre d'exercice dans le cadre de la préparation de cette activité, nous avons relevé, dans les documents cités en référence, 97 caractéristiques pouvant être utilisées comme paramètres descriptifs des outils utilisés dans les garages. Ces caractéristiques peuvent être regroupées dans trois grandes classes : caractéristiques intrinsèques de l'outil et des accessoires, conséquences de l'utilisation de l'outil sur le travailleur, et paramètres économiques.

2.6 Le secteur d'activité

Le Comité sectoriel de Main-d'œuvre des services automobiles (CSMO – services automobiles) a comme mandat, entre autres, « l'adaptation des compétences de la main-d'œuvre et de la promotion de l'emploi en favorisant une approche résolument orientée vers les besoins spécifiques de l'industrie automobile ». En ce sens, ce comité définit les profils d'emploi et les contenus en formation, et tient à jour des statistiques sur la main-d'œuvre à partir des données de Statistiques Canada. Les **Tableaux 2.1 et 2.2**, issus de Poirier (2005), donnent une bonne idée de l'importance de ce secteur en termes d'établissements et de main-d'œuvre.

Tableau 2-1 - Répartition des types d'industries des Services automobiles pour l'ensemble du Québec, et pour le sous-ensemble de l'île de Montréal, tel que compilés par le CSMO – services automobiles (selon Statistiques Canada, BDRE, 2002)

Types d'industrie	Nombre au Québec	Nombre à Montréal
Ateliers de réparation générale (mécanique et carrosserie)	6 250	1 050
Distributeur de pièces et accessoires automobiles	947	199
Marchands d'automobile neuves et d'occasion	1 949	247
Marchands de pièces, pneus et accessoires	763	107
Stations-services	2 529	334
TOTAL	12 438	1 937

Tableau 2-2 - Répartition des types d'emploi dans les Services automobiles pour l'ensemble du Québec, et pour le sous-ensemble de l'île de Montréal, tel que compilé par le CSMO – services automobiles (selon Statistiques Canada, Recensement 2001)

Types d'emplois	Nombre au Québec	Nombre à Montréal
Préposés de stations-services	5 520	495
Directeur de commerces de détail	11 600	1 055
Conducteurs-livreurs	2 415	445
Personnel de bureau	6 690	625
Conseiller service des pièces	4 730	600
Personnel des ventes et SAC	9 490	1 340
Techniciens et apprentis en mécanique automobile	23 015	2 970
Techniciens et apprentis en débosselage et peinture	6 950	750
Autres emplois	28 740	4 420
TOTAL	99 150	12 700

Les orientations sont revues sur une base triennale (CSMO, 2005). Les métiers encadrés par le CSMO – services automobiles sont, en mécanique automobile : les techniciens en mécanique automobile, les installateurs de systèmes ajoutés, les spécialistes en moteur diesel et les techniciens en mécanique de véhicules lourds. En Carrosserie, on retrouve les peintres, les débosseurs et les préposés à l'esthétique automobile. Le Service-conseil comprend le conseiller en location automobile, le conseiller technique, le conseiller en pièces d'automobiles, le

conseiller en vente automobile et enfin, le préposé à l'entrepôt. Parmi les autres métiers, on retrouve le démonteur automobile, l'installateur de pneus, l'enseignant en équipement motorisé et l'estimateur de dommages.

2.7 Visite préliminaire

Également dans le cadre de la préparation de cette activité de recherche, une visite chez un concessionnaire a été effectuée en compagnie d'un des conseillers d'Auto Prévention. Cinq situations de travail ont été observées et les outils pneumatiques utilisés ont été examinés. Des entrevues ponctuelles avec les responsables et les travailleurs des départements de mécanique, de carrosserie et d'esthétique ont également pu être faites. Deux de ces travailleurs avaient déjà été compensés pour des TMS-MS reliés à leur travail. Cette visite a permis de se rendre compte que le travail de carrosserie nécessitait également des outils mus à air (perceuse, meuleuse et poinçonneuse) et que le travail sur des véhicules montés sur une table de redressement pouvait avoir une influence sur la posture. À l'atelier de peinture, les travailleurs utilisaient des sableuses et des polisseuses, et deux technologies d'atomiseur (pistolet à peinture) ont pu être observées. Au niveau des tâches, le polissage d'une petite pièce de carrosserie peut devenir difficile, car il faut tenir la pièce d'une main et la polisseuse de l'autre. La finition d'un gros véhicule est jugée exigeante, car il faut appliquer trois couches de couleur et autant de scellant (*clear*). À l'atelier d'esthétique, un véhicule usagé était nettoyé de fond en comble pour la revente ou en fonction de la demande du client. On y utilise des jets d'eau à haute pression et des polisseuses électriques et à air. La durée du travail sur un même véhicule peut varier de 50 minutes à trois heures et aucun système de levage des véhicules n'est disponible afin de positionner le véhicule de façon optimale. Cette visite préliminaire a donc fait ressortir plusieurs aspects non documentés du travail dans les garages.

2.8 Problématique de cette étude exploratoire

Nous avons vu dans les sections précédentes que la nature, le siège et la gravité des TMS-MS ressortent clairement dans les statistiques de compensation des lésions professionnelles de la CSST. De plus, la recension des écrits scientifiques sur les TMS-MS, (Kuorinka et al (1995); et Occhipinti et Colombini, (1999), entre autres), de même que les résultats des trois études publiées sur le sujet (Kant *et al.* 1990; Semid, 2002; Gold *et al.* 2006), indiquent bien la présence de facteurs de risque pour les TMS-MS dans ce secteur. Ces facteurs sont principalement la répétition des gestes, le travail aux limites extrêmes des articulations et l'utilisation de force musculaire importante. Notre premier contact avec le terrain nous a de plus permis d'observer la manutention d'éléments mécaniques lourds et l'utilisation de la main comme marteau soit, par exemple, pour insérer une pièce dans une autre, ou soit encore pour donner de brèves impulsions sur le manche d'un outil manuel. Toutes ces situations de travail peuvent contribuer à l'hyper-sollicitation du système musculosquelettique. L'observation des postures (Kant *et al.*, 1990) et l'analyse de l'activité faite par Semid (2002) et Gold *et al* (2006), vont également en ce sens. Enfin, il est raisonnable de penser qu'il puisse exister de nombreuses autres situations à risque qui n'ont pas été observées par les quelques études ou interventions dans ce secteur.

Ce constat ouvre donc plusieurs possibilités pour des études futures, mais pose la question suivante : *quelle recherche faire pour comprendre et réduire les TMS-MS dans ce secteur?*

La présence de lésions et de facteurs de risque dans ce secteur d'activité ne fait pas de doute, mais il existe peu de données quantitatives sur la relation entre les activités de travail et la survenue d'une lésion musculosquelettique. Semid (2002) n'a étudié que quatre tâches et l'analyse de Kant *et al.*(1990) ne porte que sur la durée de maintien de la posture sans tenir compte de la sollicitation biomécanique. Gold *et al* (2006) font bien le lien entre l'activité de travail et le risque, mais ne présentent que des résultats qualitatifs issus d'une grille. Aucune de ces trois études ne quantifie la durée du maintien des postures, ni la masse des éléments mécaniques ou des outils tenus en main...

Enfin, en ce qui concerne l'ergonomie des outils énergisés, le nombre de publications, de manuels et de guides sur ce sujet témoigne d'un intérêt notable de la part de la communauté scientifique. Cependant, plusieurs de ces études ont été réalisées pour des chaînes d'assemblage dans l'industrie manufacturière où l'utilisation de l'outil est faite dans un contexte différent de celui des garages.

Pour être efficace, la prévention des TMS doit pouvoir agir sur des modalités bien définies, pour ne pas dire sur une relation bien documentée de cause à effet. Quoique les informations recueillies jusqu'à maintenant soient éclairantes, elles ne permettent pas l'élaboration d'un projet de recherche suffisamment bien ciblé pour bien répondre à un objectif de prévention. Les démarches préparatoires de cette activité exploratoire ont mis à jour beaucoup d'informations, mais génèrent autant de questions nouvelles.

En effet, le questionnement des agents de prévention de ce secteur face à cette problématique peut couvrir autant les facteurs de risque de TMS-MS, des déterminants ou des stratégies utilisées par les travailleurs. Pour les facteurs de risque, il serait par exemple intéressant de savoir quelle est l'importance relative de la force appliquée, de la répétitivité et des amplitudes articulaires dans le travail sur les automobiles? Ou encore, quel pourcentage du temps de travail les outils mécaniques sont utilisés? Concernant les déterminants possibles, quelles caractéristiques des outils mécaniques sont les plus pertinentes pour les mécaniciens, les peintres, les carrossiers et les préposés à l'esthétique? Pourrait-il exister des situations plus dommageables que celles déjà observées ou rapportées dans la littérature scientifique? Ou encore, les mécaniciens, carrossiers, peintres et préposés à l'esthétique utilisent-ils des stratégies pour éviter les TMS?

Il y a donc beaucoup de questions auxquelles il faut s'attarder avant d'entreprendre un projet de recherche bien ciblé visant la réduction des TMS-MS dans le secteur des Services à l'automobile. Afin de poser les bonnes questions de recherche, il était essentiel de procéder à une étude exploratoire du travail des mécaniciens et carrossiers.

2.9 Objectifs de l'étude exploratoire

Dans le cadre d'une recherche appliquée en santé et sécurité du travail, il est permis de poser la question suivante : suite à cette exploration, pourra-t-on confirmer la présence de facteurs de risques reconnus pour les TMS-MS dans notre échantillon? L'objectif principal est l'élargissement de notre base de connaissances sur l'activité et les outils des mécaniciens, peintres et carrossiers du secteur des Services à l'automobile. En pratique, il est donc nécessaire

de générer des données et d'aller chercher des informations permettant de produire un bilan de connaissances concernant les TMS-MS dans ce secteur, en particulier sur les facteurs de risque sur lesquels il sera possible d'agir au niveau de la prévention. Du point de vue des objectifs opérationnels, cette activité devait :

- identifier les tâches considérées comme potentiellement à risques pour les TMS-MS en collaboration avec un comité de suivi;
- procéder à une analyse ergonomique de l'activité, ciblée sur les TMS-MS, sur un échantillon de ces tâches;
- recueillir au cours de ces analyses des données physiques sur la masse des éléments mécaniques manutentionnés, sur la force appliquée au moyen d'outils manuels et sur les conditions d'utilisation d'outils énergisés;
- compléter l'information sur le non-observable et les symptômes au moyen d'entrevues de travailleurs et de gestionnaires;
- caractériser et classer les tâches analysées en termes d'exposition aux facteurs de TMS-MS, et
- explorer les liens possibles entre l'activité de travail observée et les TMS-MS recensés ou appréhendés.

Cette activité comporte également un objectif secondaire, qui est de compléter notre base de connaissances sur l'ergonomie des petits outils mécaniques utilisés dans les garages, en particulier les contraintes qu'ils pourraient apporter lors de l'exécution des tâches. Ce volet de l'activité s'est fait en parallèle avec le projet 99-381 « Caractérisation du bruit et des vibrations émis par les outils portatifs utilisés dans l'industrie de la réparation automobile » (Marcotte *et al*, 2008).

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Comité de suivi

Les activités de recherche se sont déroulées en collaboration avec les principaux groupes concernés dans le secteur des Services à l'automobile, soit l'Association paritaire pour la santé et sécurité du travail des services à l'automobile (Auto Prévention), des représentants des employeurs par l'intermédiaire de mutuelles d'assurance et des salariés de ce secteur par l'intermédiaire de deux représentants de la Fédération des travailleurs du Québec (FTQ). La plupart des membres de ce comité de suivi faisaient également partie du comité de suivi du projet IRSST 99-381 sur le bruit et les vibrations des petits outils mécaniques.

3.2 Garages participants

Quinze établissements dans un rayon de 150 km autour de Montréal ont été suggérés par les conseillers d'Auto Prévention et certains membres du comité de suivi. L'équipe de recherche a contacté ces établissements et leur a présenté les objectifs de la démarche ainsi que les attentes pour les observations sur le terrain. Un dépliant, destiné aux gestionnaires et aux employés, avait été préparé en ce sens. Douze établissements acceptèrent de participer à l'étude. L'échantillon comprend des dépositaires d'automobiles et de camions lourds de marques américaines, européennes ou japonaises, des ateliers de mécanique indépendants ainsi que des ateliers spécialisés dans les systèmes d'échappement et l'installation de systèmes ajoutés (antivols, démarreurs à distance). Ces établissements pouvaient être membres de groupes importants, des entreprises autonomes ou familiales, ou encore des petits ateliers comptant deux à trois employés.

3.3 Tâches observées

Dix tâches furent identifiées avec en collaboration avec le comité de suivi et les conseillers d'Auto Prévention. Ces tâches ont été retenues, selon leur expérience de terrain, en fonction de risques possibles pour les TMS-MS, entre autres, les postures contraignantes, les efforts physiques importants et la fréquence élevée des gestes. Ces tâches sont présentées dans le **Tableau 3.1**.

Pour chacune de ces dix tâches, cinq situations furent observées, sauf pour le travail sur la suspension de camion pour laquelle une seule observation a été possible. Au total, donc, 46 situations ont été observées. L'activité des membres supérieurs lors de la réalisation au cours de toutes les situations a été filmée sur place avec un caméscope pour analyse subséquente en laboratoire. Certaines des tâches, soit l'esthétique et le travail sur le moteur de camion entre autres, peuvent prendre plusieurs heures; pour ces situations, seule la portion la plus intéressante, ou la phase des travaux en cours au moment de notre visite au garage, a été retenue.

Tableau 3-1 – Liste des dix tâches observées dans le secteur des Services à l'automobile

Groupes	Tâches
Mécanique	- le travail sous le capot - le travail sous le véhicule - travail sur le moteur de camion - travail sur la suspension de camion
Spécialités	- le service de pneus - le changement de silencieux - le travail sous le tableau de bord (systèmes ajoutés)
Carrosserie et esthétique	- le ponçage - la peinture à l'atomiseur - le lavage et polissage de véhicule

A priori, les pièces et les outils lourds et non balancés, ou les charges considérées comme non lourdes, mais qui devaient être manipulées au-dessus des épaules, ou toute autre situation qui imposait une charge importante au système musculosquelettique, étaient considérées comme « à risque ». Les **tableaux 3.2 à 3.11** présentent ces situations, par tâches, de même que la durée de la séquence vidéo enregistrée et analysée pour chaque situation.

Tableau 3-2 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le capot d'une automobile

Durée filmée	Description
97 min 1 sec	Changement d'un collecteur d'admission sur un véhicule américain 4 roues motrices
145 min 2 sec	Dépose ² du moteur d'une compacte japonaise 2002
92 min 10 sec	Changement de la pompe de servo-direction pour une camionnette américaine d'une demi tonne
153 min 49 sec	Réparation d'une fuite d'antigel sous le collecteur d'admission d'un véhicule européen haut de gamme
18 min 38 sec	Changement d'un bras d'essuie-glace sur un véhicule européenne haut de gamme, dont la suspension est abaissée

² Dépose : « Action de déposer, de défaire ce qui a été fixé » - Le Petit Robert (1983). Dans les garages, démonter une pièce d'après un véhicule pour la mettre au sol ou sur un établi.

Tableau 3-3 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le véhicule

Durée filmée	Description
106 min 30 sec	Changement d'un joint de logement du différentiel arrière et changement des joints universels d'un arbre de transmission d'un camion de ¾ de tonne
57 min 20 sec	Changement d'une pièce de la sonde à niveau d'essence dans le réservoir à essence d'une mini-fourgonnette américaine 1998
109 min 26 sec	Changement du faux cadre (<i>sub frame</i>) d'un petit VUS américain accidenté
76 min 50 sec	Changement de la pompe à essence d'un camion ¾ de tonne
77 min 47 sec	Dépose de la transmission d'une voiture allemande de haute performance 2000

Tableau 3-4 - Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sur le moteur de camions

Durée filmée	Description
136 min	Changement d'un injecteur d'un moteur Detroit Diésel, tracteur Freightliner
182 min 34 sec	Changement d'un joint et ajustement du moteur Diésel
164 min 42sec	Ajustement d'un moteur Caterpillar, tracteur Peterbilt
169 min 55 sec	Pose d'un nouveau moteur
193 min 17 sec	Remontage d'un moteur International

Tableau 3-5 – Description et durée filmée et analysée pour l'unique situation observée lors du travail sur la suspension de camion

Durée filmée	Description
152 min 50 sec	Changement d'une lame de suspension arrière sous un camion à benne épandeur de sel (1981).

Tableau 3-6 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sous le tableau de bord (systèmes ajoutés)

Durée filmée	Description
87 min 48 sec	Installation d'un démarreur à distance dans un <i>pick-up</i> américain 2006
42 min 10 sec	Installation d'un démarreur à distance dans un petit VUS japonais 2006
58 min 46 sec	Installation d'un démarreur à distance dans une berline japonaise 2006
57 min 20 sec	Installation d'un démarreur à distance dans une berline américaine 1998
95 min	Installation d'un démarreur à distance dans une berline américaine 2001

Tableau 3-7 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le travail sur le système d'échappement

Durée filmée	Description
19 m 56 s	Remplacement d'un silencieux et d'un tuyau flexible sous une fourgonnette
12 m 19 s	Remplacement de la section arrière et du silencieux sur une voiture compacte japonaise (1995)
10 m 42 s	Remplacement d'un résonateur par un tuyau direct sur une voiture intermédiaire japonaise (1996)
28 m 08 s	Remplacement du tuyau avant sur une voiture compacte américaine (circa. 2004)
43 m 09 s	Remplacement du tuyau avant sur une voiture compacte coréenne

Tableau 3-8 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le service de pneus

Durée filmée	Description
25 m 10 s	Changement de pneus de 14 pouces sur une voiture compact coréenne : 175/75 R14 (4 pneus par 2 préposés)
35 m 42 s	Changement et balancement de pneus de 15 pouces sur une voiture américaine compacte : 195/60 R15 (4 pneus par 1 sujet)
nd	Changement de pneus sur une voiture compacte japonaise
nd	Changement de pneus sur une voiture intermédiaire japonaise
50 m 38 s	Changement de pneus de 18 pouces sur une voiture allemande de haute performance 235/40 ZR18 (4 pneus par 1 sujet)

Tableau 3-9 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le ponçage

Durée filmée	Description
17 min 29 sec	Ponçage et préparation à la peinture d'une aile arrière d'un coupé américain 2005
67 min 45 sec	Ponçage du toit, des cadres de portes, des portières, des ailes avant et arrière et bas de caisse d'une compacte américaine accidentée
42 min 15 sec	Ponçage à la main du côté passager d'une sous-compacte européenne 2004
18 min 10 sec	Ponçage à la main d'un coffre arrière d'une voiture intermédiaire européenne
33 min	Ponçage à la main de la portière avant côté conducteur et de l'aile arrière d'une voiture intermédiaire européenne

Tableau 3-10 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour la peinture à l'atomiseur

Durée filmée	Description
55 min 45 sec	Peinture d'un capot, d'un pare choc avant et des petites pièces en noir appartenant à une voiture sport américaine (deux couches de couleur et deux de scellant)
6 min 55 sec	Peinture du toit, du capot et d'une section des ailes arrière d'une voiture familiale japonaise, en jaune (deux couches de couleur)
42 min 30 sec	Peinture du côté passager avant et arrière d'une voiture allemande de luxe en argent métallique (deux couches de couleur et deux de scellant)
17 min 47 sec	Peinture des ailes arrière, du coffre et du pare chocs arrière d'une voiture compacte américaine en argent métallique (deux couches de couleur et deux de scellant)
8 min 30 sec	Peinture du capot d'une voiture allemande en argent métallique. (deux couches de couleur et deux de scellant)

Tableau 3-11 – Description et durée filmée et analysée des cinq situations observées pour le lavage intérieur et extérieur, le polissage et le cirage

Durée filmée	Description
103 min 02 sec	Lavage intérieur et extérieur ainsi que le cirage d'une voiture compacte japonaise
17 min 20 sec	Lavage intérieur et extérieur d'une voiture compacte japonaise
124 min 55 sec	Lavage intérieur et extérieur ainsi que le polissage d'une voiture intermédiaire japonaise
53 min 55 sec	Polissage d'une voiture sport japonaise
81 min 46 sec	Lavage intérieur et extérieur ainsi que le cirage d'une voiture sport japonaise

3.4 Travailleurs participants

Trente-cinq mécaniciens, peintres ou installateurs acceptèrent de participer à l'étude. Ils avaient reçu comme consigne de « faire leur travail comme d'habitude ». Un seul des travailleurs approchés refusa de participer car il n'aimait pas être filmé. L'échantillon est entièrement masculin et aucune travailleuse n'a été rencontrée dans les divers ateliers au cours des visites et des observations par l'équipe de recherche. La participation des travailleurs s'est faite sur une base volontaire et ils ne recevaient aucune compensation monétaire ou autre à cet égard. Dans les établissements comptant un grand nombre de travailleurs, le choix se faisait avec l'aide du contremaître en fonction de l'ouvrage à faire. Toutes les observations furent faites pendant les heures normales de fonctionnement de l'établissement et dans le cadre du travail qui y était généralement fait. Deux travailleurs furent observés dans trois situations, sept le furent dans deux et tous les autres, dans une seule situation. Dans le cas des travailleurs observés à plusieurs

reprises, la situation de travail pouvait être identique ou différente. Ce fut le cas, par exemple, dans les petits ateliers, où le travail est coopératif (par ex. les deux mécaniciens en devoir ont participé pour faire un changement de pneus et de pot d'échappement sur le même véhicule en se partageant les tâches).

La **Figure 3-1** montre la distribution de l'âge des travailleurs participants. L'âge moyen était de $35,4 \pm 10,0$ ans et l'âge médian de 35 ans, le plus jeune ayant 20 ans et le plus âgé, 54. La masse moyenne de l'échantillon était de $80,6 \pm 14,3$ kg avec une masse médiane de 78 kg. La taille moyenne était de $176,8 \pm 7,1$ cm, le travailleur le plus petit mesurant 160 cm et le plus grand, 188 cm. Les travailleurs ont été pesés sur place avec un pèse-personne et les valeurs pour la taille provenaient de celle figurant sur le permis de conduire. Le nombre moyen d'années d'expérience de cet échantillon était de $14,0 \pm 9,4$, le plus expérimenté cumulant 33 ans de métier et le moins expérimenté, une seule.

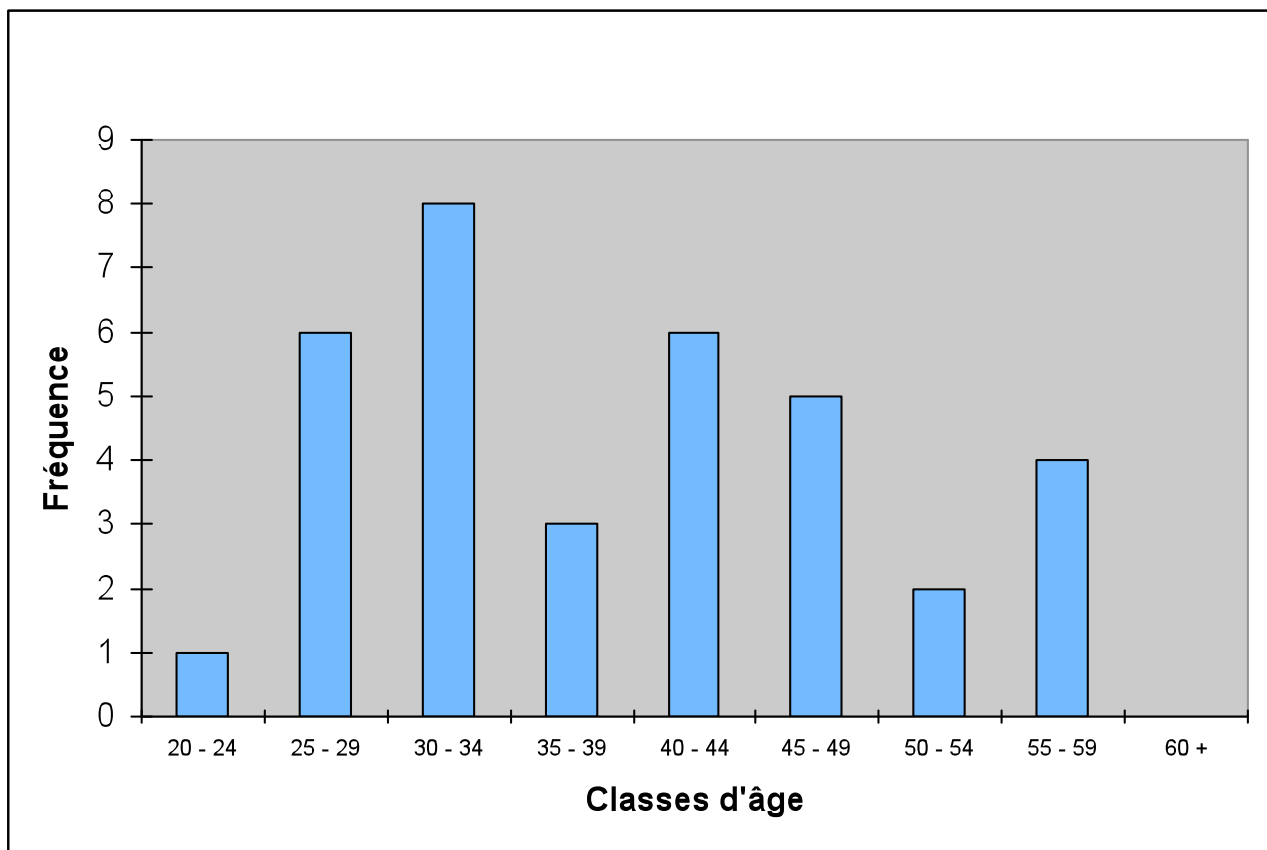


Figure 3-1 – Distribution de l'âge des travailleurs participants par classes de cinq années

3.5 Variables recueillies

3.5.1 Test d'effort physique

À la fin de chaque séance d'observation, les travailleurs participants devaient réaliser deux tests d'effort musculaire. Ces tests d'effort consistaient à faire une contraction statique volontaire maximale (CVM) pour les muscles responsables de la flexion des deux épaules et de la flexion des deux mains (test de force de préhension). Les travailleurs devaient augmenter graduellement la force développée (contraction en rampe) pour atteindre leur capacité maximale après 3 ou 4 secondes. Pour les fléchisseurs des épaules, le sujet était debout avec le bras placé en flexion à 90°. La force maximale était évaluée avec une sangle de 5cm de large disposée autour de la paume de la main. Cette sangle était reliée par une corde à un dynamomètre (Shimpo FGV 500H) fixé au sol qui était programmé pour conserver la valeur maximale à atteindre lors du test. Pour certains participants (voir la section 4.7.1), ces valeurs ont été transposées en moments de force maximaux développés par les fléchisseurs de l'épaule avec l'aide du logiciel 3D Static Strength Prediction Program (3DSSPP) de l'Université du Michigan. Ces valeurs ont permis de calculer le pourcentage de la capacité maximale utilisée pour maintenir certaines postures de travail où les positions articulaires du membre supérieur étaient similaires. Pour le test de préhension, la force maximale de chaque main a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre spécifique (Dynamomètre Smedley). Pour normaliser la prise en fonction de l'anthropométrie des participants, la distance entre les deux poignées était ajustée de façon à correspondre à 30 % de l'écart entre l'extrémité du pouce et celui du majeur pour chaque sujet évalué.

3.5.2 Questionnaire de symptômes musculosquelettiques

À la fin de la séance d'observation, une courte entrevue portait sur des blessures ou des accidents domestiques, de sport ou de travail du travailleur participant dans le passé. Celui-ci remplissait également une version abrégée du questionnaire de symptômes musculosquelettiques, abrégé du Standard Nordic Questionnaire (SNQ) (Forcier *et al*, 2001). Une séquelle de telles lésions aurait pu modifier sa gestuelle ou ses méthodes de travail, ce qui aurait pu influencer l'analyse des données observables. Un même membre de l'équipe de recherche a administré le questionnaire à tous les travailleurs en prenant soin de donner les mêmes explications à tous.

3.5.3 Perception des travailleurs participants

Une évaluation psychophysique des principales étapes du travail a été réalisée pour objectiver les perceptions des travailleurs selon trois mots-clés, soit la perception de **l'effort**, de la **maniabilité** et de **l'attention requise** pour réaliser la tâche. Après chaque étape, la perception psychophysique a été évaluée à partir de dix énoncés relatifs à ces mots-clés et disposés selon une échelle de Borg. La **Figure 3.2** présente un exemple de l'échelle psychophysique utilisée pour l'évaluation de l'effort. Ces échelles ont été présentées au travailleur sur un panneau par un membre de l'équipe de recherche; le travailleur avait reçu la consigne de choisir, pour chacun des mots-clés, l'énoncé qui correspondait le mieux à sa perception en le pointant du doigt sur la liste.

« 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

Figure 3-2 – Échelle psychophysique utilisée pour la perception de l'effort.

3.5.4 Masse des objets manipulés et calculs des moments de force exercés sur les articulations des membres supérieurs

Les outils utilisés lors des observations ainsi que les pièces mécaniques ôtées et posées sur le véhicule en service étaient pesés avec un dynamomètre (Shimpo FGV 500H), ou une balance à plateau plat pour les petits objets. Pour les outils pneumatiques et électriques, le moment de force sur la main du travailleur était également calculé lorsque c'était possible. Pour ce faire, la poignée de l'outil était maintenue en place sur le centre de la prise par un dispositif de serrage mobile sur son axe de rotation horizontal (**Figure 3.3**). Ce dispositif était rattaché à une potence qui permettait de placer l'outil à la même hauteur et avec la même orientation que celles observées lorsqu'il était utilisé par le travailleur. La pointe du dynamomètre était ensuite appliquée sous l'outil à une distance connue de l'axe de rotation horizontal afin de mesurer la force à cet endroit. Il était ainsi possible de calculer le moment de force à partir de la valeur obtenue avec le dynamomètre, multiplié par la distance horizontale entre le centre de préhension de l'outil et le point d'application du dynamomètre (**Figure 3.4**). Cette mesure se faisait avec les cordons électriques ou les boyaux de raccordement d'air comprimé qui avaient un effet important lorsque les outils étaient maintenus très hauts. Ces valeurs de moments de force étaient ajoutées à celles mesurées par le logiciel 3D SSPP au niveau du poignet, du coude et de l'épaule. Ce logiciel calculait les paramètres anthropométriques (masse, longueur et la localisation du centre de masse des segments) des membres supérieurs à partir du poids et de la taille du travailleur (voir la représentation du modèle à l'annexe B). Ces valeurs comportent donc une certaine imprécision puisqu'elles sont estimées à partir des tables anthropométriques. À ce sujet, Zverev (2003) note une corrélation de 0,871 entre la taille et la longueur des bras lors de l'évaluation des 142 sujets masculins.

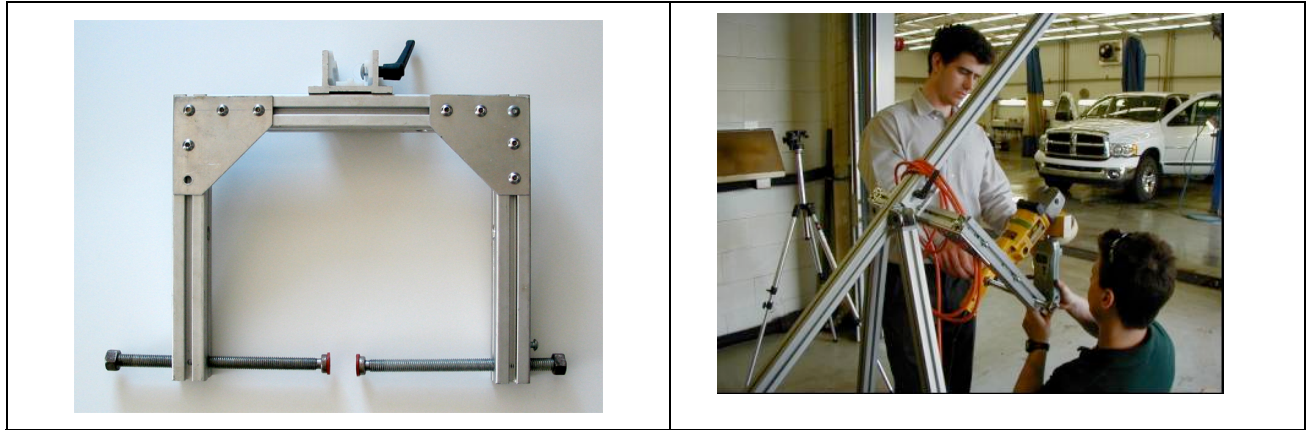


Figure 3-3 – Dispositif de serrage mobile de la poignée des outils (à gauche) et méthode de mesure du moment de force exercé par l'outil avec le dispositif monté sur une potence et un dynamomètre (à droite)

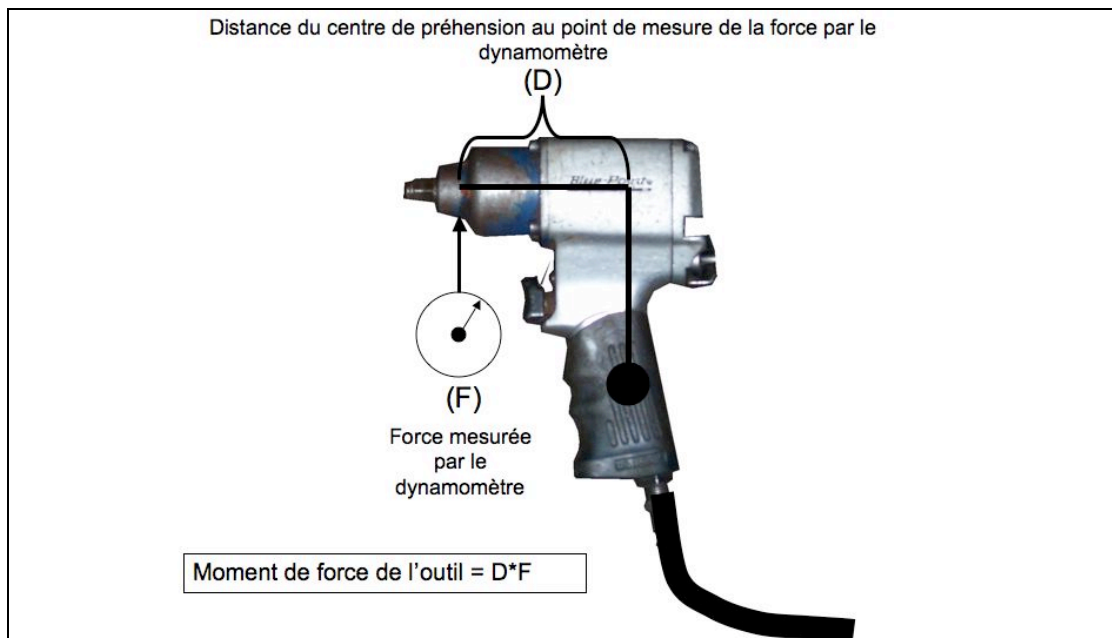


Figure 3-4 – Calcul du moment de force de l'outil

Le moment de force est calculé à partir de la valeur enregistrée par le dynamomètre (F), multipliée par la distance entre le point d'appui du dynamomètre et l'axe de rotation au niveau de la poignée de l'outil (distance D), alors que la poignée pivote librement sur l'axe antéropostérieur.

Afin de ne pas nuire au travail et aux délais de livraison des garages, toutes les pièces et tous les outils n'ont pu être pesés systématiquement. Cependant, plusieurs mécaniciens ont accepté que l'on pèse et que l'on mesure certains de leurs outils pendant qu'ils ne les utilisaient pas.

3.5.5 Posture, force et activité

Les séquences vidéo numériques enregistrées sur le terrain avec le caméscope furent transférées sur un ordinateur pour dépouillement avec le logiciel CAPTIV. Ce dernier permet de noter le début et la fin d'observables préalablement définis et mutuellement exclusifs sur la séquence vidéo. Il est donc possible de connaître, après la compilation, la quantité de temps qu'un observable a été présent, ou le temps qu'un observable « A » a été présent en même temps qu'un observable « B ». Il est possible de noter plusieurs modalités d'un même observable.

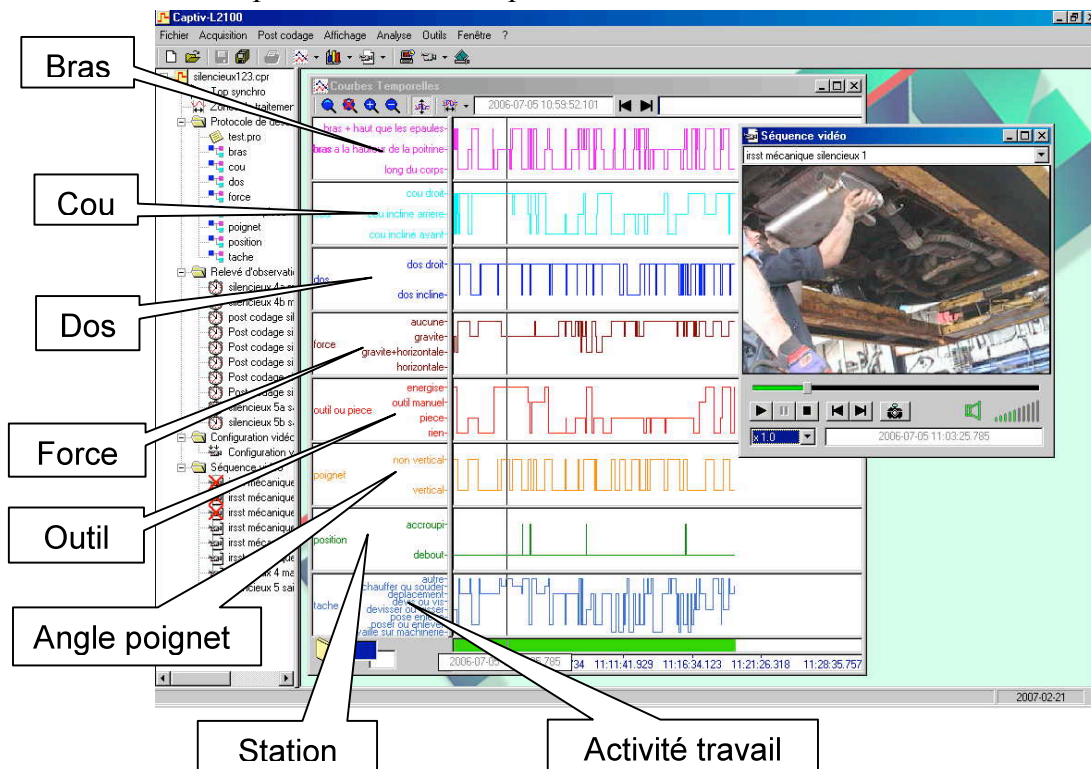


Figure 3-5 – Exemple d’analyse avec le logiciel CAPTIV. La tâche sous analyse est le remplacement d’un silencieux. Le temps de début et de fin de chaque observable est représenté graphiquement et est synchrone avec la séquence vidéo.

La Figure 3.5 montre un exemple de codage avec CAPTIV. Les observables utilisés lors de cette compilation sont présentés en détail à l'Annexe A de ce document.

4 RÉSULTATS

4.1 Tests d'effort physique

Le **Tableau 4-1** résume les résultats des tests de force de préhension maximale pour les muscles des deux mains, de même que pour la force de flexion maximale des muscles des deux épaules des travailleurs observés. Ces résultats démontrent les différences obtenues entre les membres supérieurs dominant et non-dominant. Dans notre échantillon de 35 travailleurs, trois données manquaient concernant le membre dominant. Pour deux de ces cas, la latéralité a été déduite à partir de l'observation des individus sur les séquences vidéo réalisées dans les garages. Il a été impossible de le faire pour le troisième travailleur et ce dernier a été exclu des calculs statistiques. De plus, sur le terrain, trois mesures n'ont pu être faites pour la main, et une pour l'épaule.

Pour les 34 travailleurs retenus, le membre dominant correspondait au membre supérieur droit pour 31 d'entre eux et au membre supérieur gauche pour trois autres. Cette proportion de 8,8 % de gauchers se situe dans celle de la population générale qui en compte de 8 % à 10 % selon Diffrient et al. (1979). Dans ces résultats, au niveau des valeurs minimales et maximales, il est intéressant de remarquer que la force maximum déployée varie approximativement du simple au double pour la flexion de l'épaule, et du simple au triple pour la préhension.

Tableau 4-1 – Valeurs de force musculaire maximum des travailleurs participants, en Newton.

	Préhension main dominante Force maximale (N)	Préhension main non-dominante Force maximale (N)	Flexion épaule dominante Force maximale (N)	Flexion épaule non-dominante Force maximale (N)
n	31	31	33	33
Moyenne	521,9	502,2	147,4	139,1
Écart-type	123,8	124,5	26,23	23,63
Médiane	519,9	490,5	150	135
Valeur min.	255,1	255,1	107	94
Valeur max.	745,6	725,9	215	203

4.2 Symptômes musculosquelettiques perçus

Le recueil des données sur la perception des symptômes musculosquelettiques n'ayant pas été possible dans un cas, nous disposons des données pour 34 individus. Même si l'étude portait principalement sur les TMS aux membres supérieurs, le questionnaire récoltait aussi des données au niveau thoracique et lombaire. Seize des travailleurs participants, soit un peu moins que la moitié, ont rapporté un problème au niveau d'une des régions corporelles mais deux seulement en rapportèrent à la fois aux membres supérieurs et au dos. De plus, onze des 34 répondants rapportèrent un problème au niveau des membres supérieurs seulement. Au total, les problèmes

rapportés au dos et aux membres supérieurs sont en nombre presque égaux. Pour les membres supérieurs, les épaules affichent la fréquence la plus élevée. Le **Tableau 4-2** résume ces données.

Tableau 4-2 – Répartition des réponses au questionnaire de santé musculosquelettique

Partie du corps affectée	Bilatéral	Côté gauche	Côté droit	Total
Épaules	2	3	1	6
Coude	1	1	1	3
Cou	1	0	0	1
Mains	0	0	1	1
Doigts	0	0	0	0
Total Membres supérieurs	4	4	3	11
Bas du dos	1	1	1	3
Haut du dos	8	0	0	8
Total Dos	9	1	1	11
Grand total	13	5	4	22

Parmi les commentaires recueillis en entrevue libre, au moins trois mécaniciens dirent qu'ils avaient également des douleurs importantes aux pieds et aux genoux. Un d'entre eux a consulté un médecin concernant les douleurs à son coude et un autre a dit que le conditionnement physique l'aidait à se garder souple. Trois autres participants identifièrent le travail avec les bras en haut des épaules (travail sous le véhicule) et l'utilisation d'outils lourds comme source directe d'inconfort et de douleur.

4.3 Outils manipulés

Nous avons pu voir à l'œuvre, ou examiner dans les ateliers, 136 outils différents au cours des 46 séances d'observation réalisées sur le terrain et nous avons évalué la masse de 119 de ces outils. Il s'agissait d'outils manuels (clés, pinces, ...), électriques (polisseuse et ponceuse) ou pneumatiques (clés à chocs, à rochet, ...). Comme on peut le constater dans la **Figure 4-1**, la masse de la plus grande partie de ces outils se situe entre 0,5 kg et 2,5 kg. La médiane est de 1,21 kg et la moyenne, de $1,56 \pm 1,7$ kg. La dispersion des données est importante car on retrouve dans l'échantillon des outils dont la masse peut varier de quelques grammes jusqu'à 14 kg.

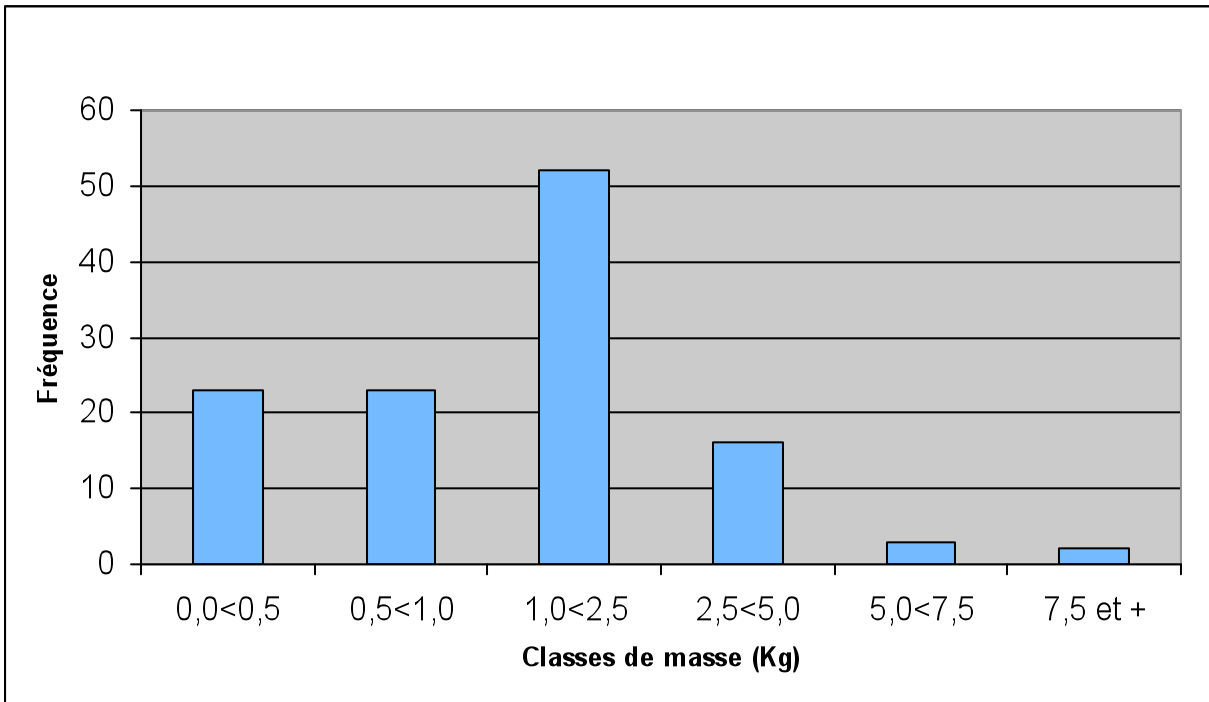


Figure 4-1 – Répartition, par classes de masse, de l'ensemble des outils manuels et énergisés observés (n=119)

4.3.1 Outils manuels

En ce qui concerne les outils manuels (**Tableau 4-3**), leur masse est généralement inférieure à un kilogramme, sauf certains outils utilisés dans la mécanique de camion. En esthétique, une bouteille-gicleur contenant un litre de produit nettoyant pèse un peu plus qu'un kilogramme. L'outil manuel le plus lourd, observé dans au moins trois des garages participants, est la barre à mine, un outil qu'on s'attend plutôt à trouver dans l'exploitation de carrières, de mines ou d'aménagement paysager. Cette tige de fer d'environ 150 cm de long est utilisée, par exemple, pour redresser le système d'échappement d'une voiture qui aurait fait une sortie de route, comme levier pour étirer ou compresser un élément de suspension ou encore, pour extraire un demi-essieu. Dans ce dernier cas, un point d'appui fut improvisé sous le véhicule à l'aide d'une pince-étai. Pour le travail sur le système d'échappement, la suspension ou les arbres de transmission d'une traction avant, le travail avec cet outil se fait avec les bras au-dessus des épaules. À l'autre extrémité du même tableau, les outils utilisés pour le travail sous le tableau de bord (par ex. installation d'un anti démarreur) s'apparentent davantage à des outils manuels utilisés en électronique.

Tableau 4-3 – Masse, par ordre décroissant, des outils manuels répertoriés et tâche dans laquelle chaque outil a été observé

Outil manuel	Masse (kg)	Tâche observée
Barre à mine	7,70	Travail sous le capot
Cône d'impact	1,60	Silencieux
Clé dynamométrique	1,33	Mécanique camion
Pince (grosse)	1,22	Général
Clé dynamométrique	1,17	Mécanique camion
Bouteille à gicleur	1,11	Esthétique
Marteau	0,92	Travail sous le capot
Clé dynamométrique	0,90	Mécanique camion
Pied-de-biche	0,82	Mécanique camion
Marteau	0,80	Silencieux
Tournevis	0,70	Silencieux
Marteau	0,67	Silencieux
Clé à rochet	0,61	Mécanique camion
Pince	0,51	Silencieux
Pince à dénuder	0,32	Sous le tableau de bord
Pince à couper	0,30	Travail sous le véhicule
Pince à couper	0,29	Sous le tableau de bord
Pince long nez	0,22	Travail sous le capot
Pince à dénuder	0,17	Sous le tableau de bord
Serre attache	0,14	Travail sous le capot
Clé à rochet	0,14	Sous le tableau de bord
Tournevis	0,12	Travail sous le capot
Tournevis Philips	0,11	Travail sous le capot
Clé à rochet	0,10	Travail sous le capot
Tournevis à rochet	0,10	Sous le tableau de bord
Pince à couper	0,05	Sous le tableau de bord
Cutter	0,03	Sous le tableau de bord

4.3.2 Outils électriques

La plupart des outils électriques ont été répertoriés lors des tâches d'esthétique (**Tableau 4-4**). Le plus lourd (14 kg) est une soufflerie que le technicien doit placer sur le siège avant ou arrière du véhicule après en avoir lavé le tapis, et dont le jet d'air chaud accélère le séchage. Les polisseuses orbitales pour la cire sont munies de poignées latérales pour une utilisation à deux mains. Leur maniement demande moins d'efforts musculaires lors du travail sur une surface horizontale (toit, capot, ...) par rapport à son utilisation sur les surfaces verticales car le travailleur n'a pas à soutenir toute la masse de l'outil. Pour l'application de la pâte à polir (*buffing compound*), l'outil le plus couramment utilisé est une meuleuse à angle électrique munie d'un applicateur souple. Quoique plus lourde qu'une meuleuse équivalente mue à l'air, la vitesse de rotation de l'applicateur peut être pré réglée à l'aide d'une manette, ce qui permet une vitesse de rotation constante de l'applicateur. Le technicien en esthétique ne doit alors contrôler que la

pression de l'applicateur et son déplacement sur la surface à polir. Ce type d'outil peut recevoir une poignée supplémentaire vissée au niveau de la tête de rotation mais les raisons de sa présence ou de son utilisation n'ont pu être documentées. Comme pour les polisseuses à cire, le travailleur doit soutenir toute la masse de cet outil lorsqu'il travaille sur les surfaces verticales du véhicule.

Tableau 4-4 –Masse, par ordre décroissant, des outils électriques répertoriés et tâche dans laquelle chaque outil a été observé

Outil électrique	Masse (kg)	Tâche associée
Soufflerie	14,07	Esthétique
Polisseuse orbitale	5,70	Esthétique
Polisseuse orbitale	5,70	Esthétique
Polisseuse orbitale	3,98	Esthétique
Polisseuse	3,67	Esthétique
Meuleuse (polisseuse)	3,02	Esthétique
Meuleuse (polisseuse)	3,02	Esthétique
Meuleuse (polisseuse)	2,95	Esthétique
Polisseuse orbitale	2,20	Esthétique
Aspirateur	1,33	Esthétique
Aspirateur	1,12	Esthétique
Baladeuse	0,44	Travail sous le véhicule
Fer à souder	0,09	Sous le tableau de bord

4.3.3 Outils pneumatiques

Les outils mus à l'air comptaient pour près de la moitié de tous les outils observés. Au lieu d'une longue liste détaillée, nous présentons dans le **Tableau 4-5** un sommaire des principaux paramètres statistiques de l'échantillon. Les clés à chocs (*impact wrench*) et les clés à rochet (*air ratchet*) sont les plus nombreuses et étaient équipées d'une prise carrée 3/8, 1/2 ou 3/4 de pouce³. La dimension de la prise carrée est proportionnelle à la taille des boulons ou écrous sur lesquels le travail doit se faire. La masse des clés à chocs à prise 3/8 est de 1,6 kg et il est de 2,6 kg pour un outil à prise 1/2. Les deux clés à chocs à prise 3/4 observées sur le terrain pesaient 4,2 kg et 7,2 kg. L'écart de la masse pour les clés à rochet est moindre, les plus lourdes ayant été observées dans les tâches de mécanique de camion et les plus légères, lors du travail sous le capot et sous le tableau de bord.

Il faut noter la grande diversité d'outils pneumatiques offerts sur le marché, autant de par la marque, la qualité, les performances, les dimensions ou les applications. Des entrevues ponctuelles avec les travailleurs montrent que ceux-ci préfèrent généralement travailler avec une

³ - la dimension de la prise des outils manuels ou pneumatiques les plus courants est exprimée en fraction de pouce,.

3/8 de pouce correspond à une prise de 95 mm

1/2 de pouce correspond à une prise de 127 mm

3/4 de pouce correspond à une prise de 190 mm

clé à chocs, un outil qui peut boulonner et déboulonner rapidement et avec beaucoup de force. La clé à rochet, plus lente, est utilisée pour des endroits que la clé à chocs ne peut atteindre ou pour du travail où la force demandée est moindre. Dans l'éventualité où un boulon est saisi en place, le mécanicien augmente le bras de levier de la clé à rochet en saisissant celle-ci au niveau de l'insertion de l'arrivée d'air et en l'utilisant temporairement comme un « bras de force » manuel. Il finit ensuite de dévisser le boulon en actionnant l'outil avec l'air comprimé. D'une façon générale, on utilisera la clé à chocs pour boulonner une roue en place, mais une clé à rochet pour travailler sur la culasse ou les collecteurs d'une petite voiture. Pour ces deux outils, des rallonges de différentes longueurs sont disponibles.

Tableau 4-5 – Paramètres statistiques de la masse des outils pneumatiques observés, en kg

Outils	n	Masse	Écart-type	Valeur minimum	Valeur maximum
Clé à chocs	23	2,33	1,29	1,18	7,10
Clé à rochet	16	1,11	0,37	0,50	1,52
Perceuse	5	1,18	0,07	1,04	1,21
Atomiseur	5	1,15	0,31	0,88	1,68
Ponceuse	4	1,15	0,20	0,85	1,25
Toupie	3	0,93	0,06	0,90	1,00
Scie sauteuse	3	0,74	0,07	0,69	0,82
Buse à air	3	0,51	0,20	0,31	0,71

4.3.4 Moments de force

Si la fonction de certains outils est précisément de décupler la force musculaire d'un travailleur, la tenue en main de tout outil, même lorsqu'il n'est pas en fonction, résulte en un certain niveau de travail musculaire statique. À ce sujet, il est important de tenir compte d'une part, de la masse de l'outil mais aussi, du moment de force que l'outil crée au niveau de la prise. La masse de l'outil est attirée vers le bas par la gravité. Lorsque le centre de masse de l'outil est distal par rapport au point de prise sur la poignée, il y a production d'un moment de force. Ce dernier provoquera une déviation ulnaire (du côté du petit doigt) du poignet si la main est horizontale. Pour pouvoir maintenir l'outil dans une position propice à son utilisation, le niveau d'activité musculaire sera fonction de la masse de l'outil, mais aussi de la distance entre le centre de la masse et le point de prise sur la poignée de l'outil. Dans le **Tableau 4.6**, on peut observer que certaines valeurs de moment de force sont nulles; en fait, l'outil possède une masse, mais la position de son centre de gravité fait qu'il n'induit aucun moment de force. C'est le cas de la plupart des atomiseurs tenus de façon à peindre une surface verticale avec un réservoir vide. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées pour des meuleuses à angle utilisées lors du polissage en esthétique. Pour ce type d'outil, le fonctionnement électrique fait qu'il est plus lourd vu sa conception et la nature des matériaux utilisés dans sa fabrication. Ensuite, sa conception est telle que la prise et le tampon à polir sont à l'extrémité distale du manche. Ce type d'outil peut

d'ailleurs recevoir une poignée supplémentaire du côté distal afin d'en améliorer la prise et le contrôle à deux mains.

Delp *et al.* (1996) et Holzbauer *et al.* (2007) ont mesuré le moment de force du poignet humain chez 10 volontaires. En position neutre, le moment isométrique maximum produit par les muscles déviateurs radiaux varie de 7,9 Nm (valeur minimum) à 15,3 Nm (valeur maximum), et de 5,9 à 11,9 Nm respectivement pour les déviateurs ulnaires. En référence au **Tableau 4.6**, certains modèles de clés à chocs ont généré, au niveau de la prise, des moments de force atteignant 2 Nm. Si l'on combine ce moment à celui engendré par le poids (23,5N) de l'outil localisé sur le centre de masse de la main, on obtient, pour un mécanicien de 785 N et de 1,75 m de taille, un moment supplémentaire exercé au poignet d'environ 2,6 N, soit le produit de 0,09 m (distance du poignet au centre de masse de la main) par 28,5 N (poids de l'outil et de la main combinés). Le moment de force total exercé sur le poignet lors de la tenue de cet outil est donc de 4,6 Nm, ce qui représente entre 30 % et 58 % du moment de force que peuvent produire la force musculaire des déviateurs radiaux pour neutraliser la déviation ulnaire.

Tableau 4-6 – Paramètres statistiques du moment de force des outils observés, en Newton mètre (Nm)

Outils	n	Moyenne	Écart-type	Valeur minimum	Valeur maximum
Clé à chocs	21	0,72	0,60	0,09	2,00
Clé à rochet	16	0,51	0,36	0,00	1,16
Perceuse	5	0,56	0,25	0,22	0,79
Atomiseur (vide)	4	0,89	0,75	0,00	1,80
Ponceuse	3	0,68	0,65	0,00	1,29
Toupie	3	0,63	0,65	0,00	1,30
Scie sauteuse	3	0,13	0,00	0,13	0,14
Buse à air	2	0,85	0,58	0,44	1,26
Polisseuse électrique	4	1,34	0,45	0,77	1,87
Chalumeau à souder	1	0,31	0	0,31	0,31

4.3.5 Outils et tâches

Le **Tableau 4.7** est un tableau croisé de la masse des outils répartie selon les tâches dans lesquelles ces outils ont été observés. On constate que les outils les plus lourds sont utilisés en esthétique. C'est lors de ces tâches que l'on retrouve, en effet, les polisseuses mues à l'électricité, de même que la chaufferette soufflante, l'outil le plus lourd répertorié dans l'étude. Les outils pneumatiques les plus lourds sont des clés à chocs à prise $\frac{3}{4}$ vues dans la mécanique de camion et le changement de silencieux. Le travail sous le tableau de bord regroupe les outils les plus légers : tel que mentionné précédemment (4.3.1), le genre de travail fait sous le tableau de bord s'apparente au travail en électronique.

Tableau 4-7 – Répartition des outils par classes de masse, selon la tâche observée, en kg.

Tâches	0,0 à 0,5	0,5 à 1,0	1,0 à 2,5	2,5 à 5,0	5,0 à 7,5	7,5 à 10	10 et plus	Total
Mécanique camion	4	4	13		1			22
Esthétique		2	8	5	2		1	18
Général		1	1	1				3
Peinture		1	4					5
Pneus				2				2
Ponçage			3					3
Silencieux		6	4	4	1			15
Travail sous le capot	6	4	7	1		1		19
Travail sous le tableau de bord	10	5	6					23
Travail sous le véhicule	2		6	3				11
Total	22	23	52	16	4	1	1	119

4.3.6 Temps d'utilisation des outils énergisés

La tenue en main d'objets avec l'aide d'une ou de deux mains a été compilée à partir des vidéos. Les objets pouvaient être une pièce mécanique, un outil manuel, un outil énergisé. Rappelons qu'un observable spécifique était utilisé si aucun objet, ou soit un objet n'ayant pas une masse significative (par ex. une feuille de papier émeri) était présent. Nous présentons ici les durées pendant lesquelles un outil énergisé était tenu. Il faut bien spécifier que l'observable était défini en fonction de la présence de l'outil dans la main et non pas seulement par son utilisation. Par exemple, un mécanicien pouvait se déplacer vers son coffre avec rien dans les mains, y prendre une clé à chocs, se diriger vers le véhicule à réparer, l'utiliser pendant dix secondes, puis ramener l'outil dans son coffre. Le temps compté pour cet observable commence avec la saisie dans le coffre jusqu'à son retour au même endroit. Le temps pendant lequel l'outil fonctionne n'est donc pas comptabilisé en tant que tel et il n'est donc pas possible avec nos données de calculer l'exposition des travailleurs au bruit ou aux vibrations des outils énergisés. Connaissant la masse de la plupart des outils, il serait possible éventuellement de connaître la contrainte biomécanique due au simple fait de tenir l'outil en main, mais il faudrait dans ce cas soustraire le temps où l'outil est appuyé sur le véhicule. Ce dernier temps peut être de quelques secondes comme pour visser le boulon d'une roue, ou de plusieurs minutes comme lors du polissage du toit d'un véhicule. Enfin, rappelons ici que les outils énergisés comprennent les outils mus à l'air, mais aussi les outils électriques et les chalumeaux oxyacétyléniques.

Le **Tableau 4.8** présente la durée minimale et la durée maximale pendant lesquelles le travailleur observé avait un outil énergisé en main. Une colonne supplémentaire a été ajoutée dans ce tableau pour présenter la durée du plus long maintien ininterrompu d'un outil énergisé.

Tableau 4-8 – Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la présence d'un « outil énergisé» en main, de même que la durée de la plus longue période de maintien ininterrompue de l'outil, en minutes décimales

Tâches	Situations n	Temps Tot. médian (min)	Durée Minimum % T. total	Durée Maximum % T. total	Plus long maintien ininterrompu (min,00)
Travail sous le capot	5	97,0	6,4	29,5	2,5
Travail sous le véhicule	5	77,8	5,9	33,5	5,4
Travail sous le tableau de bord	5	58,8	0	8,0	1,8
Service de pneus	3	35,7	14,2	25,1	1,6
Service de silencieux	5	19,9	18,0	36,0	2,5
Ponçage	5	42,2	0	55,3	5,9
Peinture à l'atomiseur	5	17,8	44	97,3	11,04
Esthétique	5	81,8	22,3	88,9	17,2
Moteur de camion	5	169,9	4,8	12,7	2,8
Suspension de camion	1	152,1	49,2		5,4

L'examen de ce tableau permet de constater que le travail sous le tableau de bord nécessite très peu l'utilisation d'outils énergisés. En référence au terrain, seules une scie sauteuse à air et une torche à souder miniature ont été utilisées. D'autre part, la peinture avec atomiseur et l'esthétique sont les deux tâches observées où les pourcentages de temps total sont les plus longs, autant pour les valeurs minimums ou maximums. La durée des situations observées pour la peinture à l'atomiseur est parmi la plus courte (temps médian de 17,8 minutes) et l'application de peinture doit se faire de façon ininterrompue avec des outils relativement éloignés du corps. Le travail en esthétique nécessite l'utilisation de polisseuses ou de cireuses électriques sur les surfaces du véhicule. Ces outils sont parmi les plus lourds recensés. Ces deux dernières tâches affichent les plus longues durées de maintien ininterrompu d'un outil. Pour le ponçage, certaines situations observées devaient se faire entièrement à la main (d'où la valeur minimum nulle) et la durée d'utilisation ininterrompue a atteint presque six minutes dans un cas. Pour les autres tâches où le pourcentage de temps de maintien atteignent des valeurs supérieures à 25 %, on retrouve le service de pneus, le service de silencieux, le travail sous le capot et le travail sous le véhicule.

4.4 Pièces manipulées

Soixante-douze pièces mécaniques manipulées au cours des observations ont été pesées sur place. La distribution de la masse de ces pièces est présentée à la **Figure 4.2**. En principe, les tâches de peinture et de ponçage ne nécessitent pas de manipulation car les pièces sur lesquelles le travail est fait sont normalement fixées au véhicule. Dans la réalité, certaines pièces sont poncées ou peintes alors qu'elles sont installées sur des tréteaux ou des chevalets dans l'atelier ou la cabine de peinture. Ce sont le plus souvent des capots, des calandres ou des éléments des pare-chocs avant ou arrière. Ces pièces n'ont pas été pesées.

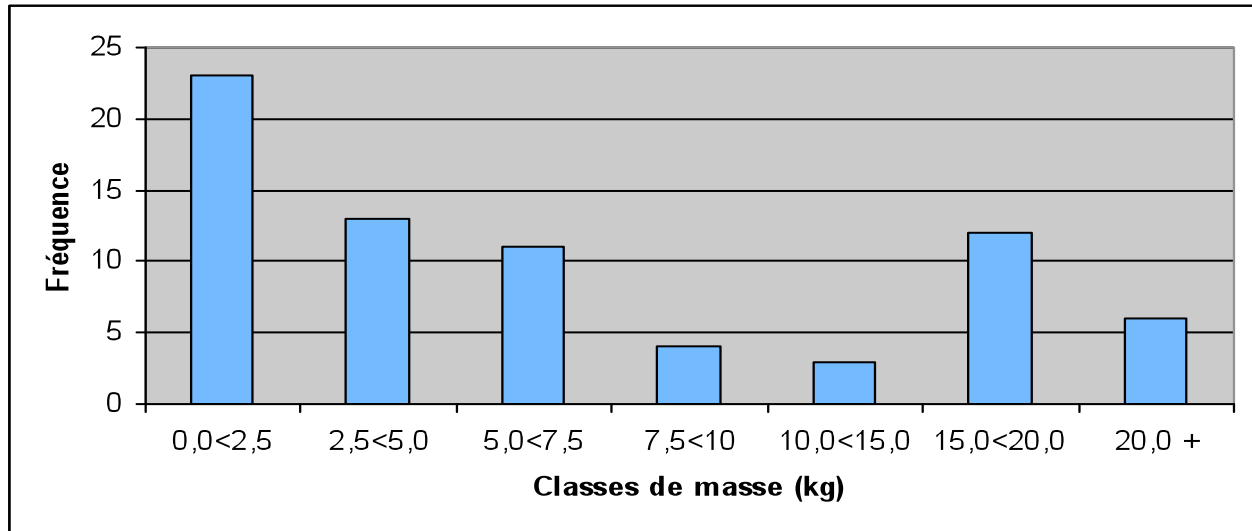


Figure 4-2 – Répartition, par classes de masse, de l'ensemble des pièces mécaniques observées (n=72)

Le travail sur le moteur de camion comporte les pièces les plus lourdes, même en faisant abstraction de la lame de suspension arrière d'un camion à benne. Cette dernière pièce de 94 kg devait être soulevée et déplacée avec une chèvre spécialement conçue à cet effet, mais le mécanicien dû la déplacer lui-même pour la placer sur cet outil d'aide à la manutention. Vue la nature de ces véhicules et le travail mécanique que les mécaniciens doivent accomplir sur ces gros moteurs diesel, plusieurs pièces de moteur utilisées lors des réparations avaient une masse de 10 kg et plus. En termes de masse manipulée, le service de pneus vient au second rang avec des masses variant entre 13,4 kg et 22,4 kg pour des pneus montés sur roue. La masse des silencieux et des diverses pièces du système d'échappement variait de 0,5 kg à 6,8 kg, mais rappelons ici que la grande partie du travail réalisé dans ce type d'atelier s'est faite avec les bras au-dessus des épaules.

En mécanique automobile, ce sont les éléments du châssis (faux cadre de 35,0 kg) et du train moteur (arbres de transmission de 17,8 kg) qui se sont avérés les plus lourds. En ce qui concerne les pièces de moteur de voitures de tourisme de taille moyenne, elles varient par exemple, de 1,3 kg (couvercle de filtre à air) à 6,6 kg (collecteur d'échappement). Outre les éléments mécaniques, le travail sous le capot et sous le véhicule impliquait qu'il faille ôter et déplacer, par exemple, l'accumulateur (15,2 kg), le radiateur (5,3 kg) ou même un élément de suspension pour pouvoir accéder au moteur.

Enfin, le travail sous le tableau de bord ne nécessitait généralement que la manipulation de petits modules électroniques pesant quelques dizaines de grammes. Cependant, dans un cas, il a fallu démonter le capitonnage interne (3,3 kg) d'une portière pour avoir accès au filage nécessaire pour effectuer le branchement.

4.5 Postures de travail

Les postures et l'activité de travail ont été codées à partir d'images vidéo prises en continu sur le terrain. Les sections suivantes présentent la compilation de l'analyse des observables associés à l'évaluation des contraintes posturales.

4.5.1 Approche générale de l'analyse

La nature exploratoire de cette étude limitait à cinq le nombre de situations observées par tâche. Il est donc peu opportun de présenter des résultats sous forme de moyenne et d'écart-type pour cinq échantillons, et il serait statistiquement hasardeux de procéder, par exemple, à des comparaisons de moyennes de fréquence ou de durées d'observables. Pour la présentation des résultats dans cette section, nous utiliserons plutôt la médiane, la valeur minimum et la valeur maximum des durées, ces deux dernières étant exprimées en pourcentages de la durée totale d'observation d'une situation (% temps total). À défaut de paramètres de dispersion comme l'écart-type, ces valeurs sont des indicateurs intéressants de la variation des données. À titre d'exemple, le **Tableau 4.9** présente un résumé pour la « **Posture debout** » du travailleur observé lors de l'ensemble des situations, pour les dix tâches à l'étude. La première colonne est l'intitulé de la tâche, la seconde est le nombre de situations observées pour la tâche et la troisième, la durée médiane des tâches. Ces trois premières colonnes seront constantes pour la présentation des résultats de cette section.

Tableau 4-9 – Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Debout » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude

Tâches	Situations n	Temps Tot. médian (min)	Durée Minimum % Temps Tot	Durée Maximum % Temps Tot
Travail sous le capot	5	97,0	99,9	100,0
Travail sous le véhicule	5	77,8	79,0	100,0
Travail sous le tableau de bord	5	58,8	14,5	26,9
Service de pneus	3	35,7	97,1	99,7
Service de silencieux	5	19,9	96,2	100,0
Ponçage	5	42,2	60,8	100,0
Peinture à l'atomiseur	5	17,8	89,9	100,0
Esthétique	5	81,8	60,1	90,5
Moteur de camion	5	169,9	83,9	98,9
Suspension de camion	1	152,1	49,8	

Légende : « n » indique le nombre de situations observées pour cette tâche; « Durée médiane » est la valeur médiane des durées d'observation des situations de chaque tâche; « Minimum » correspond à la plus courte durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation); « Maximum » correspond à la plus longue durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation)

Les deux dernières colonnes indiquent, en pourcentage du temps total d'observation, la plus courte (Minimum) et la plus longue (Maximum) présence de l'observable « Travailleur debout » parmi les situations observées.

Au niveau de l'interprétation, ce tableau nous indique qu'à l'exception du travail sous le tableau de bord, cinq des situations nécessitent une posture debout pour toute la durée des observations (100 % Maximum), mais que d'autres situations impliquent des postures autres que la posture debout, comme en témoignent les valeurs minimums. En référence avec le terrain, certaines sous-tâches de sablage et d'esthétique se sont faites assis sur un petit banc et une partie de la peinture à l'atomiseur a été faite en position accroupie. Le travail sous le tableau de bord s'est fait majoritairement couché sur le dos ou sur le côté sous le tableau de bord, mais a aussi impliqué du travail en posture debout, en particulier pour le raccordement de fils sous le capot du véhicule. Ce mode de présentation des données met de l'avant les variations observées d'une situation à l'autre, pour chacune des tâches. Enfin, rappelons que le travail sur la suspension de camion n'a pu être observé qu'une seule fois : la valeur affichée pour la médiane de la durée est donc simplement la durée observée et il n'y a donc pas de valeur minimale ou maximale.

4.5.2 Postures du cou

Tableau 4-10 – Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Cou non droit » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude

Tâches	Situations n	Temps Tot. médian (min)	Durée Minimum % Temps Tot	Durée Maximum % Temps Tot
Travail sous le capot	5	97,0	24,5	56,8
Travail sous le véhicule	5	77,8	21,1	66,3
Travail sous le tableau de bord	5	58,8	19,7	69,0
Service de pneus	3	35,7	38,9	61,8
Service de silencieux	5	19,9	29,6	56,8
Ponçage	5	42,2	6,3	55,6
Peinture à l'atomiseur	5	17,8	11,5	53,5
Esthétique	5	81,8	27,3	54,5
Moteur de camion	5	169,9	18,8	67,4
Suspension de camion	1	152,1	36,6	

Légende : « n » indique le nombre de situations observées pour cette tâche; « Durée médiane » est la valeur médiane des durées d'observation des situations de chaque tâche; « Minimum » correspond à la plus courte durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation); « Maximum » correspond à la plus longue durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation)

Trois observables pouvaient définir la posture du cou, soit une nette inclinaison vers l'avant, vers l'arrière, ou dans une inclinaison à l'intérieur d'une marge d'environ ± 10 degrés de la verticale. Les deux premiers observables ont été recodés sous le libellé « Cou non droit ».

L'examen du **Tableau 4.10** révèle que le « Travail sous le tableau de bord » est la tâche où le « Cou non droit » a été observé le plus longtemps avec 69,0 % du temps total d'observation dans

au moins une des situations observées. D'ailleurs, aucune des valeurs maximales n'est inférieure à 50 %, la plus faible étant de 53,5 % pour la peinture à l'atomiseur. La plus faible durée minimum observée a été 6,3 % lors d'une des situations de ponçage et la plus élevée, de 38,9 % dans une des situations du Service de pneus.

En référence aux observations sur le terrain, la posture du cou est intimement liée à la prise d'information visuelle pour réaliser le travail. Dans les faits, des événements où le mécanicien travaillait « à l'aveugle », c.-à-d. à l'aide du toucher seulement, ont pu être observés. Ce fut le cas, par exemple, pour atteindre, avec la main ou un outil, une composante qui n'était pas accessible directement. Cependant, l'analyse des vidéos ne permet pas de toujours distinguer les situations où la posture du cou était en lien avec la prise d'information visuelle. La plupart du temps, les mauvaises postures au cou étaient adoptées dans le seul but de guider visuellement la main, tenant un outil ou une pièce mécanique, vers la cible à atteindre. Une fois cette cible atteinte et le contact établi, le reste de l'action pouvait se faire à l'aveugle.

4.5.3 Postures du poignet

Tableau 4-11 – Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Poignet non neutre » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude

Tâches	Situations n	Temps Tot. médiann (min)	Durée Minimum % Temps Tot	Durée Maximum % Temps Tot
Travail sous le capot	5	97,0	58,6	91,0
Travail sous le véhicule	5	77,8	75,3	95,1
Travail sous le tableau de bord	5	58,8	81,80	97,0
Service de pneus	3	35,7	61,7	91,6
Service de silencieux	5	19,9	10,7	89,4
Ponçage	5	42,2	90,2	99,9
Peinture à l'atomiseur	5	17,8	89,7	99,5
Esthétique	5	81,8	68,6	95,9
Moteur de camion	5	169,9	81,3	94,5
Suspension de camion	1	152,1	88,1	

Légende : « n » indique le nombre de situations observées pour cette tâche; « Durée médiane » est la valeur médiane des durées d'observation des situations de chaque tâche; « Minimum » correspond à la plus courte durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation); « Maximum » correspond à la plus longue durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation)

Le poignet peut habituellement être observé en flexion (par en bas), en extension (par en haut), en déviation ulnaire (du côté du petit doigt) ou radiale (du côté du pouce). Également, la posture « neutre » lorsqu'un ou les deux poignets pendent naturellement le long du corps, sans aucune préhension alors que « non neutre » correspond à la présence d'un moment de force quelconque au niveau du poignet, causé par la masse d'un outil ou d'une pièce, ou d'une force interne exercée et qui a une influence sur le poignet. Aux fins de cette étude préliminaire, seuls les deux

derniers observables ont pu être utilisés car il était impossible de coder avec précision, à partir des vidéos, le sens et l'amplitude des diverses déviations possibles.

L'examen du **Tableau 4.11** montre que le ponçage est la tâche où le « Poignet non neutre » a été observée le plus longtemps (Maximum) avec 99,9 % du temps total d'observation dans au moins une des situations observées, le plus faible pourcentage de cette colonne étant 89,4 %. Pour le temps minimum d'observation, six des dix tâches affichent des pourcentages du temps total d'observation supérieurs à 75 %. Les tâches où ce pourcentage est le moins élevé sont l'Esthétique (68,6 %), le Service de pneus (61,7 %), le Travail sous le capot (58,6 %) et le Service de silencieux (10,7 %).

Les postures non neutres du poignet observées représentent donc une durée importante du temps total d'observation. Quatre tâches sollicitent particulièrement cette articulation. Ce sont le Travail sur le moteur de camion (de 81,3 % à 94,5 %), le Travail sous le tableau de bord (81,8 % à 97,0 %), la Peinture à l'atomiseur (89,7 % à 99,5 %) et le Ponçage (90,2 % à 99,9 %). En référence au terrain, les tâches affichant les plus basses valeurs minimums (Service de pneus, Silencieux et Travail sous le capot) impliquaient toutes des situations où le mécanicien a passé beaucoup de temps en déplacement (pour aller chercher une pièce, par exemple) ou devait attendre qu'une machine (plieuse de tuyau ou équilibreuse de roue) termine son travail : c'est pendant ces moments d'attente ou de déplacements que les travailleurs ont pu être observés avec le poignet en posture neutre.

4.5.4 Posture des bras

La position des bras est décrite relativement à l'épaule. Pour l'analyse, on comptabilisait un ou les deux bras au-dessus du niveau des épaules du travailleur observé. L'examen du **Tableau 4.12** montre que cette posture est presque absente du Service de pneus (0,1 % à 2,4 %). En référence avec le terrain, effectivement, les mécaniciens plaçaient les roues du véhicule à hauteur de poitrine et une grande partie du travail se faisait sur des machines spécialisées au sol. Le travail sous le capot et sous le véhicule affichent les durées maximales les plus élevées au cours des situations avec respectivement 47,4 % et 40,7 % du temps total d'observation car ces situations impliquaient de faire du travail à la limite des zones d'atteinte supérieures. Une des situations de ponçage a affiché une durée maximum de 56,1 %, le plus fort pourcentage de cette colonne. Le travail avec les bras plus hauts que les épaules pour cette dernière tâche se produit lors du ponçage du toit du véhicule, mais aussi pour les parties plus basses lorsque le travailleur fléchit le tronc de façon importante.

Les tâches d'Esthétique et du Service de silencieux affichent des durées d'observation avec le moins de variation entre les valeurs minimums et maximums. En référence avec le terrain, le travail sur le système d'échappement d'un véhicule monté sur un pont élévateur peut impliquer qu'une partie du travail se fasse avec les bras plus hauts que les épaules. En ce qui concerne l'Esthétique, le lavage à la pression, le polissage et le cirage du toit des véhicules nécessitaient l'adoption de cette posture.

Tableau 4-12 – Durée minimum et maximum, en pourcentage du temps total d'observation, de la posture « Un, ou les deux, bras plus hauts que les épaules » au cours des situations observées pour les tâches à l'étude

Tâches	Situations n	Temps Tot. médiann (min)	Durée Minimum % Temps Tot	Durée Maximum % Temps Tot
Travail sous le capot	5	97,0	9,0	47,4
Travail sous le véhicule	5	77,8	8,0	40,7
Travail sous le tableau de bord	5	58,8	2,10	32,9
Service de pneus	3	35,7	0,1	2,4
Service de silencieux	5	19,9	26,0	30,7
Ponçage	5	42,2	0,3	56,1
Peinture à l'atomiseur	5	17,8	3,4	31,9
Esthétique	5	81,8	13,3	24,3
Moteur de camion	5	169,9	0,3	13,4
Suspension de camion	1	152,1	12,7	

Légende : « n » indique le nombre de situations observées pour cette tâche; « Durée médiane » est la valeur médiane des durées d'observation des situations de chaque tâche; « Minimum » correspond à la plus courte durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation); « Maximum » correspond à la plus longue durée de maintien de cette posture parmi les situations pour cette tâche (exprimée en % du temps total d'observation de cette situation)

À l'examen de l'histogramme de répartition des durées pour une des situations (Figure 4.3), on constate plusieurs occurrences de courte durée (30 secondes et moins) mais aussi six occurrences où au moins un des bras est resté plus haut que les épaules pour 45 secondes et plus.

Pour la position des bras, les durées observées pour cette posture, autant minimales que maximales, sont inférieures à celles mesurées pour le « Cou non droit » et le « Poignet non neutre ». Cependant, la pénibilité de cette posture est augmentée par le fait de problèmes potentiels d'irrigation sanguine, le muscle cardiaque devant en effet pomper le sang plus haut que la tête. Tel qu'illustré dans la **Figure 4.3**, cette posture a été observée à plusieurs reprises pour de courtes périodes, mais aussi, dans cet exemple, moins fréquemment mais pour des périodes pouvant atteindre deux minutes consécutives.

Nous avons compté, pour « Bras plus hauts que les épaules », la fréquence des épisodes où cet observable était présent pour plus de 30 secondes. Les résultats sont présentés dans le **Tableau 4.13** pour toutes les tâches observées. Au total, 252 de ces épisodes ont été dénombrés, dont 40 qui duraient entre une et deux minutes et six de trois minutes et plus. Ces épisodes se retrouvent en plus grand nombre lors du travail sous le capot et sous le véhicule, mais aussi en Esthétique et lors du travail sous le tableau de bord.

Tableau 4-13 – Fréquence de l'observable « Bras plus hauts que les épaules » pour les durées consécutives supérieures à 30 secondes et plus

Tâches	30s - 1 min	1 - 2min	2 - 3min	3min et +	Total
Travail sous le capot	81	18	2	1	102
Travail sous le véhicule	58	3	1	2	64
Travail sous le tableau de bord	18	10	2	2	32
Esthétique	12	6	0	0	18
Moteur camion	11	1	1	0	13
Peinture	11	1	0	0	12
Silencieux	8	1	0	0	9
Suspension de camion	0	0	1	1	2
Ponçage	0	0	0	0	0
Pneus	0	0	0	0	0
Total	199	40	7	6	252

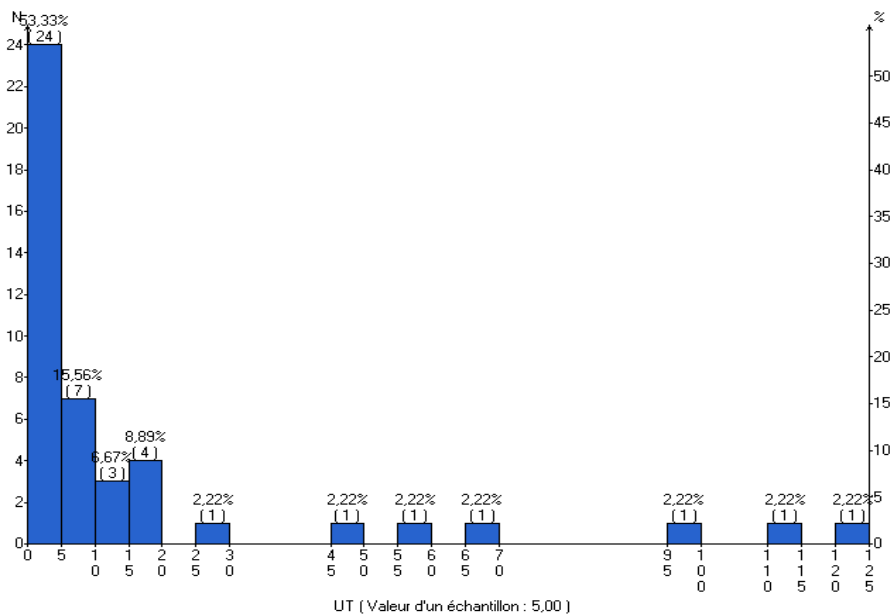


Figure 4-3 – Fréquence des périodes, par tranche de cinq secondes, où « Bras plus hauts que les épaules » a été observé dans une situation de cirage de véhicule.

4.6 Perceptions

Le recueil et l'analyse des données de perception posèrent des problèmes méthodologiques particuliers. Entre autres, les résultats concernant la perception de la « Maniabilité » ne sont pas présentés suite à la confusion autour de la signification de ce terme, et ce point sera discuté plus

en détail dans la section 5.2.3 (Discussion). Rappelons que les perceptions des travailleurs participants ont été recueillies à deux niveaux. Les perceptions « globales » furent recueillies à la toute fin du travail sur le véhicule, et ces résultats sont présentés dans la section suivante (4.7 – Caractéristiques des tâches). Les perceptions « aux différentes étapes du travail » furent, quant à elles, recueillies à la fin de chaque étape de l'intervention du travailleur sur le véhicule.

4.6.1 Perceptions aux différentes étapes du travail

La perception de l'effort et de l'attention requise a été recueillie au terme de chacune des étapes nécessaires à la réalisation du travail, dans chacune des situations observées. Le nombre de ces étapes variait selon la complexité du travail à faire. Au total, la perception a été évaluée pour 373 étapes.

Le **Tableau 4-14** montre la somme des étapes pour toutes les situations observées dans chaque tâche, avec le nombre médian, minimum et maximum d'étapes pour chaque tâche. Le nombre d'étapes pour la réalisation d'une tâche peut être un indicateur de la complexité du travail réalisé, mais peut être indépendant de l'effort et de l'attention requis.

Tableau 4-14 – Nombre total d'étapes pour l'ensemble des situations de chaque tâche observée, de même que le nombre médian, minimum et maximum d'étapes par tâche.

Tâches	Nombre total d'étapes par tâche	Nombre médian d'étapes par tâche	Nombre minimum d'étapes par tâche	Nombre maximum d'étapes par tâche
Travail sous le capot	54	9	6	19
Travail sous le véhicule	58	12	10	14
Moteur de camion	60	12	10	14
Suspension de camion	11	11	11	11
Service de pneu	31	6	4	9
Silencieux	26	5	3	7
Travail sous tableau de bord	35	7	6	8
Ponçage	19	2	2	9
Peinture	19	4	2	6
Esthétique	60	15	6	16
Total :	373	-	-	-

De ces résultats, nous n'avons retenu pour l'analyse que les étapes ayant obtenu une cote égale ou supérieure à 5 (c.-à-d. de « Modéré » à « Extrêmement élevé »). Au total, 133 étapes (soit 35,6 % du total) ont été cotées 5 ou plus pour l'effort et 145 (soit 38,9 % du total) pour l'attention. La **Figure 4-4** montre la proportion des étapes ayant récolté une cote supérieure à 5 pour l'effort et pour l'attention, exprimée en pourcentage de la somme des étapes pour chaque tâche. On observe que le travail sur le système d'échappement (Silencieux) récolte la plus faible proportion de cotes égales ou supérieures à 5, alors que les tâches de Peinture et de Ponçage

affichent les plus hautes cotes, en particulier à cause de la perception de l'attention requise. L'esthétique, le Travail sous le tableau de bord, le Travail sur le moteur de camion et le Travail sous le véhicule sont aussi des tâches où la perception de l'attention est supérieure à la perception de l'effort. Les tâches perçues comme demandant plus d'effort que d'attention sont le Service de pneu, le Travail sur la suspension de camion (quoiqu'une seule observation ait été faite), et le Travail sous le capot. Au total, quatre tâches comportent plus que la moitié (50 %) des étapes cotées égales ou supérieures à cinq pour l'effort et trois tâches pour l'attention.

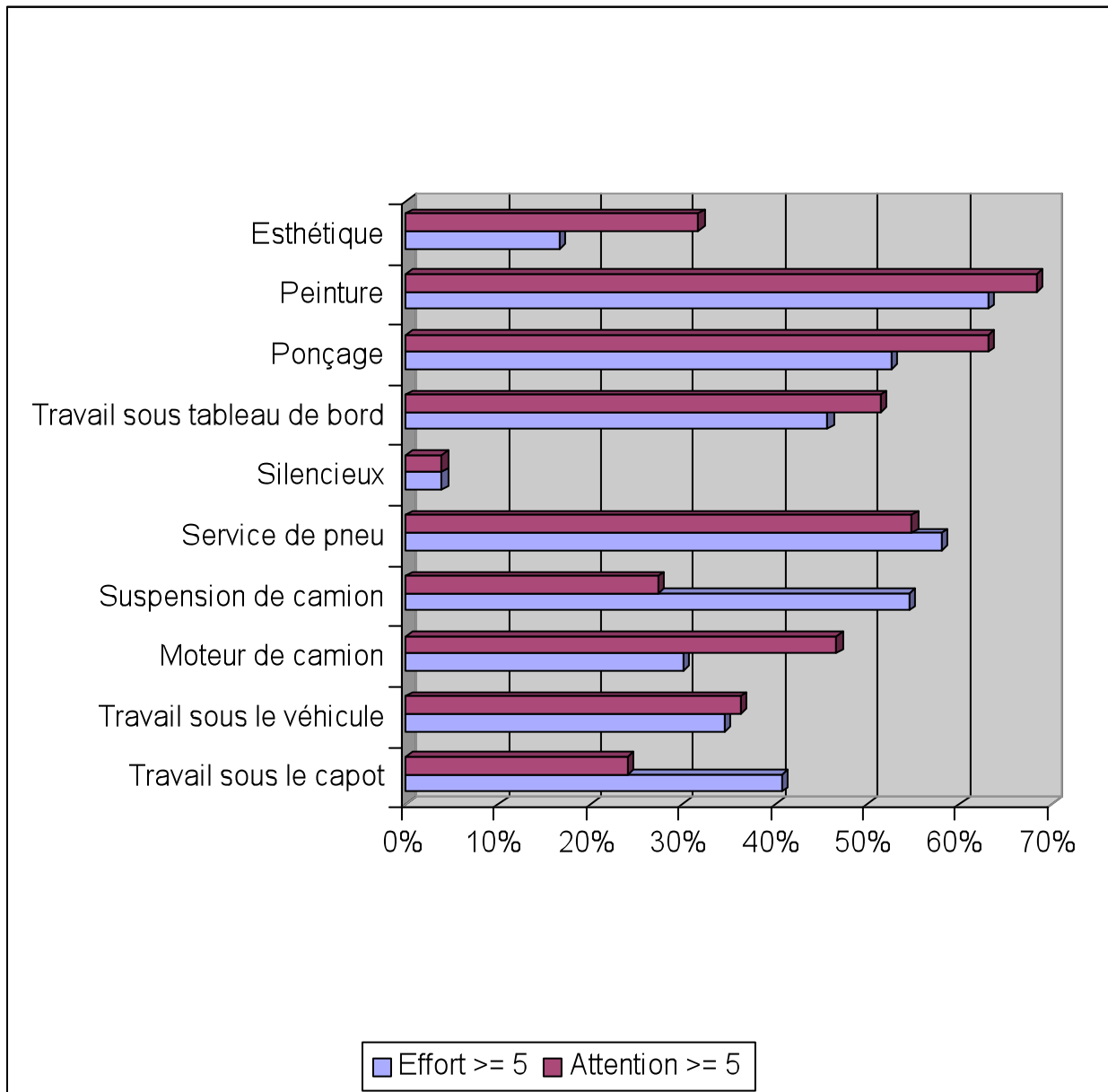


Figure 4-4 – Pour chaque tâche, pourcentage des étapes observées où la perception de l'effort et de l'attention des travailleurs était égale ou supérieure à « Modéré »

4.7 Caractéristiques des tâches

Après un portrait d'ensemble des risques de TMS-MS pour les tâches retenues, cette section du rapport présente maintenant, de façon succincte, les caractéristiques individuelles de neuf tâches où un minimum de cinq situations ont été observées. La tâche d'application de peinture à l'atomiseur est cependant présentée plus en détail afin de faire la démonstration de l'approche utilisée lors de l'analyse.

4.7.1 Analyse détaillée de la peinture avec atomiseur

4.7.1.1 Description de la tâche et sommaire de l'activité

Les situations observées et analysées, de même que leur durée, ont été présentées à la section 3.4 (Méthodologie). Chacun des ateliers visités était équipé d'au moins une cabine à peinture ventilée. Deux des situations ont été observées dans un même établissement avec le même peintre. Dans tous les cas, l'application des couches de couleur et de scellant (*clear*) s'est faite dans la cabine, alors que la ventilation était en fonction, et le travail des peintres était filmé de l'extérieur, au travers des fenêtres de la cabine.

La durée des observations a varié selon le nombre d'actions connexes réalisées par le peintre, selon la couleur de la peinture ainsi que selon la superficie à peindre. Les actions connexes pouvaient inclure le lavage et le séchage préalables avec un jet d'air, la pose de feuilles de papier ou de plastique avec du ruban à masquer, l'application, au moyen d'un atomiseur, d'un savon sur les surfaces du véhicule qui ne sont pas à peindre afin d'éviter que des vapeurs de peinture (*fume*) ne s'y déposent. Deux des situations ont été plus longues en temps en raison du nombre de ces actions connexes que le peintre a dû faire malgré qu'une préparation du véhicule ait déjà été entamée. Pour deux autres situations, le travail s'est limité à l'application de couleur ou de scellant sur le véhicule.

Tableau 4-15 – Pour les cinq situations observées (S1 à S5), répartition, en pourcentage du temps total d'observation, des durées de chacune des différentes sous-tâches associées à la tâche principale.

Sous-tâches / Situations observées	S1	S2	S3	S4	S5
Préparation du véhicule	10	-	-	-	0
Nettoyer	17	-	16	-	1
Peindre	35	78	33	77	72
En déplacement	8	21	6	13	16
Autres	30	1	45	10	10
TOTAL	100	100	100	100	100

Le **Tableau 4.15** présente la répartition du temps total d'observation, en pourcentage, de chacune des sous-tâches. Ces sous-tâches se définissaient ainsi :

- « Préparation du véhicule » comprend toutes les opérations préalables à l'application de peinture, comme l'application de savon, la mise de feuilles de papier et/ou de plastique

sur le véhicule de manière à le protéger des particules de peinture et de scellant en suspension;

- « Nettoyer » correspond au nettoyage des pièces à peindre afin d'enlever toute la poussière de scellant présente sur la surface à peindre, avec ou sans l'utilisation d'air comprimé;
- « Peindre » correspond à l'application de couleur ou de scellant avec l'atomiseur.

Deux regroupements se distinguent dans ce tableau, soit un premier groupe (S1 et S3) impliquant un pourcentage non négligeable de préparation et de nettoyage de la part du peintre et un autre groupe (S2, S4 et S5) où le travail d'application de couleur et de scellant prédominait, la préparation du véhicule ayant été faite avant l'arrivée de l'équipe de recherche. Même si la durée des observations pour S1 et S3 a été plus longue, soit 56 et 43 minutes par rapport à 7, 8 et 18 minutes pour les trois autres situations, le temps strictement associé à la peinture a varié de 5 minutes et demie à 19 minutes parmi les cinq observations. Les méthodes de préparation variaient d'un garage à l'autre. La première phase de la préparation du véhicule consistait habituellement en un nettoyage des surfaces à peindre en utilisant un linge humide ou une buse à air. La seconde phase se faisait, entre autres, par l'application de papier, de plastique et/ou de savon dans le but de protéger le reste du véhicule des particules de peinture et de scellant en suspension dans l'air de la chambre à peinture. Toutes ces opérations impliquent les membres supérieurs.

4.7.1.2 Postures et tâches

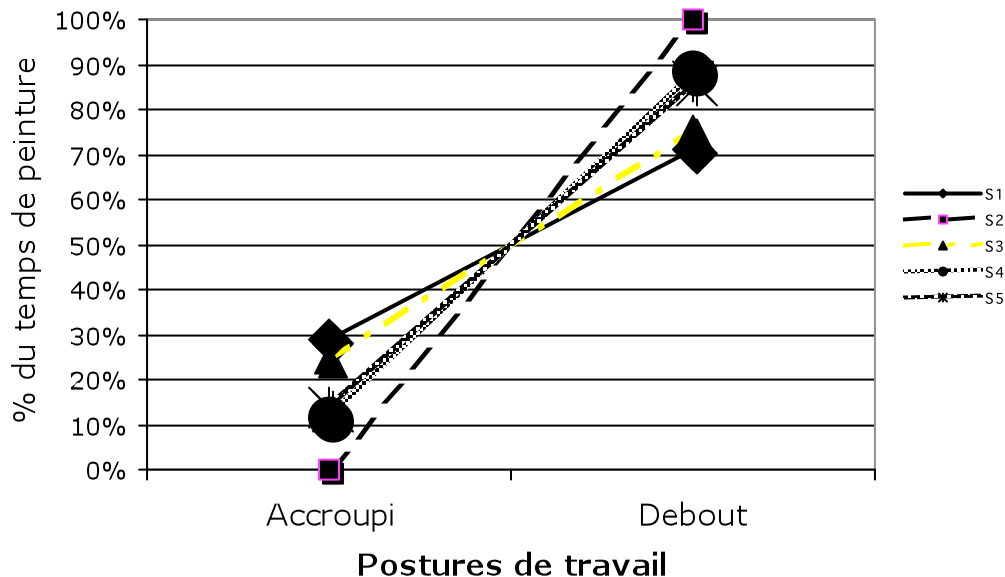


Figure 4-5 – Pour les cinq situations observées (S1 à S5), répartition du temps, en pourcentage du temps total d'observation, entre les postures « Accroupi » et « Debout » pour la sous-tâche « Peindre »

Les résultats (**Figure 4.5**) montrent que la posture « debout » prévalait, avec un pourcentage du temps total qui se situe entre 71 à 100 % du temps total de cette sous-tâche. En fait, le peintre était debout lors du travail sur la partie haute du véhicule, et accroupi lors de la peinture du bas du véhicule pour, dans ce dernier cas, que l'atomiseur soit toujours dans un angle optimal par rapport à la surface à peindre. Pour S2, le peintre a effectué toute la tâche en posture debout car il travaillait sur le toit, le capot et le haut des ailes arrière.

La **Figure 4.6** présente les postures des bras pour la sous-tâche « Peindre ». Les trois positions observables notées étaient « Le long du corps », « À hauteur de poitrine » et « Plus haut que les épaules », tel que définies dans l'Annexe A.

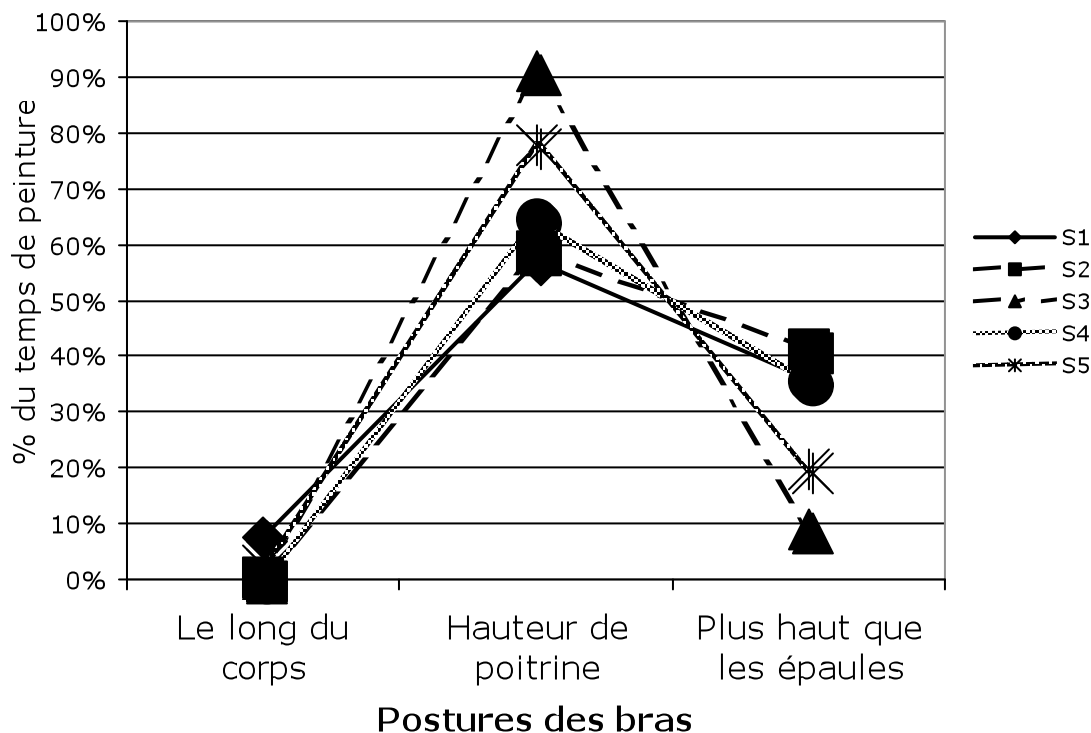


Figure 4-6 – Pour les cinq situations observées, répartition, en pourcentage du temps total d’observation, entre les postures « Le long du corps », « À hauteur de poitrine » et « Plus haut que les épaules » pour la sous-tâche « Peindre »

On observe dans cette figure que le travail réalisé au cours des situations étudiées pour cette tâche se caractérisait par une position des bras à hauteur de poitrine pour plus de 50 % du temps. La variation dans les durées pour « Plus haut que les épaules » pouvait s’expliquer par la hauteur de la surface à peindre ainsi que par la technique de travail utilisée par le peintre.

L’analyse des observations sur les poignets montre que ceux-ci étaient en position non neutre pour toute la sous-tâche « Peindre ». Les seuls moments où les poignets ont été en position verticale vers le bas, c.-à-d. en position « neutre », étaient lors des déplacements du peintre.

D'une façon générale, lors de l'application de peinture, le cou était droit, de 3 % à 96 % du temps, et incliné vers l'avant, de 4 à 97 % du temps. Cette variation dépendait de l'orientation et de la hauteur de la surface à peindre, ainsi que de la technique utilisée par le peintre. Une inclinaison vers l'arrière n'a été observée que dans S1, pour 28 % du temps, lorsque la peinture était appliquée sous un capot posé à l'horizontale sur des chevalets. Le peintre a alors travaillé en position accroupie (**Figure 4.7**) en regardant vers le haut.



Figure 4-7 - Application de peinture sous un capot posé sur un chevalet

Comme en témoignent les **Figures 4.8, 4.9, 4.10 et 4.11**, le dos pouvait prendre des postures variées selon le travail à réaliser. L'observable « Dos droit » est présent de 1 % à 79 % du temps d'observation et cette variabilité était due, comme pour le cou, au plan et à la hauteur de la surface à peindre ainsi qu'à la technique du peintre. On retrouve sensiblement la même répartition lors du nettoyage du véhicule (S1 et S3). Il faut souligner que, pour cette tâche, le peintre travaillait avec le dos incliné ne pouvait s'appuyer sur le véhicule d'aucune façon de manière à diminuer la sollicitation des muscles extenseurs du rachis, contrairement à ce qui a pu être observé en mécanique, par exemple. Par contre, certains peintres prenaient appui sur leur propre corps, par exemple, en appuyant leur bras sur leur genou lors de l'application de peinture sur les parties inférieures du véhicule.

4.7.1.3 Pièces et outils manipulés

La presque totalité (97 à 100 %) de la sous-tâche « Peindre » impliquait l'utilisation d'un outil énergisé de même que 84 % du temps lors de la phase de nettoyage dans la situation S3. Les outils non énergisés n'ont été utilisés que dans la situation S1. Ces derniers servaient lors du nettoyage et de la préparation du véhicule et ce, dans une proportion variant respectivement de 55 % et de 23 % de la durée de la sous-tâche. Les observations montrent qu'il n'y a pas eu de manipulation de pièces au cours des situations observées.

Lors de l'application de peinture (sous-tâche « Peindre »), la force verticale subie par le peintre provenait de la masse combinée de l'atomiseur, du tuyau d'arrivée d'air et de la peinture contenue dans le réservoir de l'atomiseur, à laquelle il faut ajouter la masse des segments corporels (main, bras, avant-bras) du travailleur. Pour ce qui est de la force horizontale, elle était généralement produite par l'inertie de l'outil, et celle des membres du travailleur tenant l'outil, lors des mouvements latéraux nécessaires à l'application de peinture. Un seul des cinq peintres observés effectuait des mouvements de va-et-vient de l'ensemble de son corps, avec peu ou pas de mouvements du membre supérieur.



Figure 4-8 – Posture debout, dos incliné à 45 degrés



Figure 4-9 – Posture debout, dos incliné à 90 degrés



Figure 4-10 – Travail accroupi, appuyé sur la paroi, avec inclinaison au niveau dorsal



Figure 4-11 – Posture debout, dos droit

Le **Tableau 4.16** présente la masse des atomiseurs utilisés dans les garages participant à l'étude. Dans certains garages, le peintre était propriétaire de son ou de ses atomiseurs et veillait à leur entretien alors que dans d'autres garages, ils étaient la propriété de l'établissement. La masse de ces outils avec le réservoir vide variait de 0,9 à 1,1 kg et montait de 1,5 à 1,7 kg avec le réservoir plein. La masse totale de l'outil variait donc en fonction de la taille du réservoir et de la quantité de peinture contenue dans celui-ci. La capacité des réservoirs variait de 0,4 à 2,3 litres. Outre la masse, les atomiseurs génèrent des moments de force vers le bas, au niveau du poignet, différents selon qu'ils étaient utilisés pour une surface verticale ou horizontale. Rappelons qu'un tel moment de force est influencé par la masse de l'outil ainsi que par la distance entre la prise de la main et le centre de masse de l'outil.

Tableau 4-16 – Masse des atomiseurs observés dans l'étude

Outils	Masse
Atomiseur	1,06 kg
Atomiseur	1,06 kg
Atomiseur	1,7 kg
Atomiseur	0,88 kg

Lorsque le peintre travaille sur une surface verticale (par ex., une portière), l'atomiseur doit être tenu en position horizontale. Dans cette position, le moment de force variait de 0,0 à 0,32 Nm,

selon le modèle d'atomiseur. Étant donné que l'atomiseur est positionné horizontalement, la disposition du réservoir à peinture permettait que le centre de masse passe par le centre de la poignée de l'outil. La distance entre le centre de masse et la prise de la main était alors nulle, ce qui signifie qu'il n'y avait aucun bras de résistance, et ce qui permettait également d'avoir un outil équilibré en main. Cependant, lors de la peinture d'une surface horizontale, l'atomiseur était tenu en position verticale. Dans cette position, le moment de force variait de 1,07 Nm quand le réservoir était vide à 3,46 Nm quand celui-ci était plein. Le centre de masse se trouvait alors à une distance horizontale importante de la prise avec la main, ce qui engendrait un moment de force important à l'outil.

4.7.1.4 Conséquences sur les membres supérieurs

Nous avons comparé deux postures observées chez les peintres en relation avec les efforts au niveau des membres supérieurs, soit peindre en tenant l'atomiseur au bout du bras (**Figure 4.12** - surface horizontale) et peindre avec l'atomiseur lorsque le bras est fléchi à 90 degrés, donc avec l'outil plus près du corps (**Figure 4.13** - surface verticale).



Figure 4-12 – Peinture d'une surface horizontale



Figure 4-13 – Peinture d'une surface verticale

Pour ce faire, nous avons utilisé la masse des atomiseurs mesurés sur le terrain (**Tableau 4.16**) et deux postures provenant des vidéos d'observation pour la position des membres dans l'espace. Les segments des membres supérieurs peuvent être imaginés comme des bras de résistance : plus ils sont longs et plus les masses aux extrémités sont importantes, et plus les moments de force au niveau des articulations proximales sont importants. Il faut également tenir compte du fait que les bras de résistance (membre supérieur) ont eux-mêmes une masse. Or, connaissant la force maximale qu'un travailleur peut produire à l'épaule, il est possible de calculer le pourcentage de sa force musculaire que représente le maintien de l'outil dans ces postures. Cette force de contraction volontaire maximale (CVM) des muscles de l'épaule a été mesurée chez les travailleurs ayant participé à l'étude..

Les deux tableaux suivants (**Tableaux 4.17 et 4.18**) présentent les différents moments de force calculés:

- le moment de force maximal à l'épaule généré volontairement par les peintres, mesuré à l'aide d'un dynamomètre lors d'un effort statique maximal et volontaire de flexion des muscles de l'épaule (CVM);
- le moment de force à l'épaule qui correspond au maintien de cette posture pour chacun des peintres : le moment est généré par le simple fait de maintenir la masse de la main, de l'avant-bras et du bras contre la gravité;
- le moment de force généré, au niveau de la prise, par l'atomiseur;
- le moment total, c'est-à-dire la somme du moment de force à l'épaule auquel on additionne le moment de force de l'outil, et
- le pourcentage que ce moment total représente par rapport au moment de force maximal (CVM) que le peintre peut générer.

4.7.1.4.1 Cas de l'application de peinture sur une surface horizontale

Le **Tableau 4.17** présente ces données lorsque le réservoir de l'atomiseur était plein et le **Tableau 4.18**, lorsqu'il était presque vide. Quatre résultats au lieu de cinq sont présentés ici car un des peintres a été observé à deux reprises.

Tableau 4-17 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre le toit du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein

Peintres	Moment lors de la CVM (Nm)	Moment de force à l'épaule (Nm)	Moment produit par l'outil (Nm)	Moment total à l'épaule (Nm)	% de la CVM
S1	73,9	18,2 +	3,5 =	21,7	29,3
S2	106,3	25,0 +	3,5 =	28,5	26,8
S3	91,3	18,0 +	3,5 =	21,5	23,5
S4	97,0	25,2 +	3,5 =	28,7	29,5

Tableau 4-18 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre le toit du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est presque vide.

Peintres	Moment lors de la CVM (Nm)	Moment de force à l'épaule (Nm)	Moment produit par l'outil (Nm)	Moment total à l'épaule (Nm)	% de la CVM
S1	73,9	14,4 +	1,8 =	16,2	21,9
S2	106,3	20,0 +	1,8 =	21,8	20,5
S3	91,3	13,7 +	1,8 =	15,5	17,0
S4	97,0	20,4 +	1,8 =	22,2	22,9

La **Figure 4.14** montre une posture typique lors de la peinture d'une partie horizontale du toit d'un véhicule. Lors de cette opération, le bras et l'avant-bras étaient parallèles au sol tandis que le poignet était dévié vers le bas (en déviation ulnaire, ou adduction). Cette posture était

maintenue de quelques secondes à quelques minutes selon la grandeur de la surface à peindre. De plus, il s'agissait ici d'un effort statique pour les muscles fléchisseurs de l'épaule et les déviateurs radiaux qui se retrouvaient en situation d'étirement. Ce type d'effort est particulièrement exigeant en raison de la restriction continue de l'irrigation sanguine locale, produite par la contraction musculaire isométrique. On remarquera également sur cette photo que le moment de force induit par l'atomiseur, principalement par la masse du réservoir, était à son maximum puisque la distance entre le centre de masse de l'outil et la prise de la main sur l'outil ne pouvait pas être plus grande. La **Figure 4.15** correspond à la posture de la **Figure 4.14** telle que représentée dans le logiciel 3DSSPP pour le calcul du moment de force à l'épaule induit par cette posture.



Figure 4-14 – Posture type retenue pour la peinture d'une surface horizontale

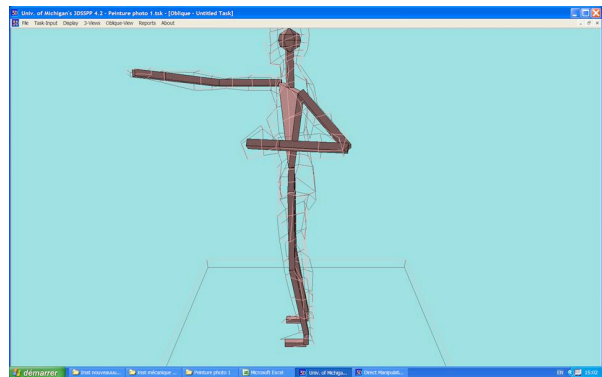


Figure 4-15 – Représentation de cette posture dans le logiciel 3DSSPP pour les calculs

Les valeurs mesurées de la CVM allaient de 73,9 Nm à 106,3 Nm, soit une variation de 30 % entre la valeur la plus faible et la valeur la plus forte. Cette variabilité pouvait s'expliquer par la différence de capacité fonctionnelle des individus. Le maintien de la posture de la Figure 4.13 ne représentait pas, pour chacun des peintres, la même sollicitation en fonction du moment de force. En effet, le calcul de la force relative (c'est-à-dire en comparant la valeur du maintien de la posture à celle du test de contraction volontaire maximale) permet d'obtenir des données en pourcentage de la capacité maximale pour les peintres observés.

Lorsque le réservoir était plein, le maintien de cette posture représentait un moment de force à l'épaule qui a varié de 21,5 à 28,7 Nm selon le peintre, soit un écart de 25 % entre le moment le plus faible et le plus élevé. Cette différence interindividuelle pouvait provenir de deux facteurs : la masse et la longueur des segments des membres supérieurs et, la masse de l'atomiseur avec le réservoir plein. Le maintien de cette posture a représenté un moment de force de 21,7 Nm pour le peintre qui a produit le plus petit moment de force maximal à l'épaule (73,9 Nm) et de 28,5 Nm pour le peintre qui a produit le moment de force le plus élevé (106,3 Nm). À partir de l'analyse des données relatives, pour la même posture, le peintre S1 qui avait généré le moment de force maximal à l'épaule le plus faible de ce groupe, exerçait une force correspondant à 29,3 % du moment de force maximal qu'il pouvait exercer, tandis que le peintre S2, qui avait généré le

moment de force maximal à l'épaule le plus élevé de ce groupe, exerçait quant à lui une force correspondant à 26,8 % de sa capacité maximale. Quant au peintre S3, il exerçait une force représentant 23,5 % de sa capacité maximale lorsqu'il maintient cette posture, bien qu'il n'ait exercé que la troisième contraction maximale la plus élevée.

Lorsque qu'on applique les mêmes calculs avec les données recueillies lors de l'utilisation de l'atomiseur avec le réservoir presque vide (**Tableau 4.18**), on peut voir d'importantes différences dans les données relatives. En effet, le peintre S1 exerçait alors une contraction représentant 29,3 % de sa capacité maximale alors que cette valeur n'était que de 21,9% lorsque le réservoir était presque vide (**Tableau 4.19**). Cette différence est aussi observable pour les trois autres peintres. La quantité de peinture dans le réservoir a donc une influence directe sur le moment de force totale.

Tableau 4-19 – Comparaison des pourcentages de la contraction volontaire maximum produits lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein ou presque vide, pour les quatre peintres observés lors de l'application de peinture sur le toit du véhicule

Peintres	% de la CVM (Réservoir plein)	% de la CVM (Réservoir presque vide)
S1	29,3	21,9
S2	26,8	20,5
S3	23,5	17,0
S4	29,5	22,9

4.7.1.4.2 Cas de l'application de peinture sur une surface verticale

La peinture d'une surface horizontale impliquait de tenir l'atomiseur à bout de bras. La peinture d'une surface verticale se faisait habituellement avec le coude en flexion, ce qui réduisait la distance entre l'atomiseur et le peintre, et contribuait à réduire ainsi le moment de force à l'épaule. Les calculs suivants en font la démonstration.

Les colonnes des **Tableaux 4.20 et 4.21** sont les mêmes que pour les tableaux 4.17 et 4.18, mais s'appliquent à une surface verticale (**Figure 4.16**). Le **Tableau 4.20** présente les données lorsque le réservoir de l'atomiseur était plein et le **Tableau 4.21**, lorsqu'il était presque vide. Quatre résultats au lieu de cinq sont présentés ici car un des peintres a été observé à deux reprises.

La **Figure 4.16** montre la posture généralement utilisée pour peindre une section verticale d'un véhicule. Lors de cette opération, l'avant-bras et la main étaient parallèles au sol tandis que le bras était perpendiculaire au sol. Ce type de posture était maintenu de quelques secondes à quelques minutes selon la grandeur de la surface à peindre. De plus, il s'agit encore ici d'un effort statique pour les muscles fléchisseurs de l'épaule ainsi que pour les déviateurs radiaux. Cependant, le moment de force induit par l'atomiseur était au minimum car la distance entre le centre de masse de l'outil et la prise de la main était nulle. La **Figure 4.17** correspond à la

posture de la Figure 4.16 telle que représentée dans le logiciel 3DSSPP afin de calculer le moment de force à l'épaule induit par cette posture.

Tableau 4-20 – Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre la portière du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein

Peintres	Moment lors de la CVM (Nm)	Moment de force à l'épaule (Nm)	Moment produit par l'outil (Nm)	Moment total à l'épaule (Nm)	% de la CVM
S1	73,9	7,7 +	0 =	7,7	10,4 %
S2	106,3	9,5 +	0 =	9,5	8,9 %
S3	91,3	7,3 +	0 =	7,3	8,0 %
S4	97,0	9,5 +	0 =	9,5	9,8 %

Tableau 4-21 - Présentation des moments de force produits par l'épaule droite et pourcentages de la force maximum volontaire (CVM) utilisée pour peindre la portière du véhicule lorsque le réservoir de l'atomiseur est presque vide

Peintres	Moment maximal à l'épaule (Nm)	Moment épaule posture (Nm)	Moment produit par l'outil (Nm)	Moment total à l'épaule (Nm)	% de la CVM
S1	73,9	5,1 +	0 =	5,1	6,9 %
S2	106,3	6,7 +	0 =	6,7	6,3 %
S3	91,3	4,9 +	0 =	4,9	5,4 %
S4	97,0	6,7 +	0 =	6,7	6,9 %



Figure 4-16 – Posture retenue pour la peinture d'une surface verticale

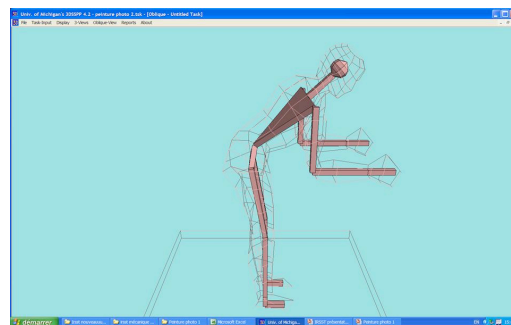


Figure 4-17 – Représentation de cette posture dans le logiciel 3DSSPP pour les calculs

Comme pour la peinture d'une surface horizontale, on remarque que le moment de force exprimé en pourcentage de l'effort musculaire maximum est inférieur lorsque le réservoir à peinture de l'atomiseur était vide (**Tableau 4.22**).

Tableau 4-22 – Comparaison des pourcentages de la contraction volontaire maximum produits lorsque le réservoir de l'atomiseur est plein ou presque vide, pour les quatre peintres observés dans la posture de la Figure 14 (surface verticale)

Peintres	% du maximum (Réservoir plein)	% du maximum (Réservoir presque vide)
S1	10,4 %	6,9 %
S2	8,9 %	6,3 %
S3	8,0 %	5,4 %
S4	9,8 %	6,9 %

De plus, il est intéressant de constater que les données présentées dans les **Tableaux 4.20 et 4.21** montrent aussi une réduction importante du moment de force à l'épaule lorsque comparées aux données de la peinture du toit d'un véhicule. En effet, le peintre S1 qui travaillait à 29,3 % de son moment de force maximal à l'épaule pour la peinture le toit avec le réservoir plein, voit cette sollicitation baisser à 10,4 % lorsqu'il a travaillé sur l'aile du véhicule, et à 6,9 % lorsque ce réservoir était vide. Pour le peintre S3, la sollicitation est passée de 23,5 à 8,0 % du moment de force maximal à l'épaule avec un réservoir plein. Cette réduction de la sollicitation est due à la diminution de la longueur des bras de résistance. Dans la posture de la **Figure 4.14**, le bras de résistance correspond à la longueur du centre de masse de la main jusqu'à l'épaule alors que dans la posture de la **Figure 4.16**, le bras de résistance représente la distance du centre de masse de la main jusqu'au coude. La diminution de la longueur du bras de résistance a donc résulté en une diminution du moment de force totale, et par conséquent de l'effort musculaire. De plus, selon les résultats présentés au **Tableau 4.17**, l'orientation de l'atomiseur avec le réservoir plein a augmenté de 3,5 Nm les moments exercés sur les trois articulations du membre supérieur droit.

4.7.1.5 Perception de l'effort

Le **Tableau 4.23** présente la perception psychophysique la plus élevée pour chacun des travailleurs observés pour la tâche de peinture. Dans tous les cas, l'action la plus exigeante a été l'application de peinture ou de scellant. Cependant, aucune différence entre le plan horizontal ou vertical n'a été faite. La perception de l'effort a varié de 3 à 10 tandis que l'attention requise variait de 4 à 10. On constate que deux des peintres observés ont coté le maximum pour les trois critères. Au dire de ces derniers, plusieurs personnes travaillent pour remettre une carrosserie en état : il y a plusieurs opérations successives mais la peinture est la dernière. C'est souvent du travail du peintre dont dépend le fait que le véhicule sera livré au client ou non, d'où les scores très élevés au niveau de l'attention requise car elle implique une responsabilité.

Tableau 4-23 - Description de la tâche correspondant à un score de perception élevé pour chacune des situations observées


Obs	Score (max. 10)	Tâche correspondante
S1	Effort = 6 Attention requise = 4	Application de peinture et de scellant
S2	Effort = 4 Attention requise = 7	Application de peinture et de scellant.
S3	Effort = 10 Attention requise = 10	Le peintre a répondu la cote maximale pour chacune des actions réalisées pendant cette observation.
S4	Effort = 10 Attention requise = 10	Le peintre a répondu la cote maximale pour chacune des actions réalisées pendant cette observation.
S5	Effort = 3 Attention requise = 5	Application de peinture et de scellant.


4.7.1.6 Pistes de solution**Figure 4-18 - Situation problème 1 :
Peindre une surface horizontale.**



Les sections plus basses (par ex. coffre arrière) de certaines voitures pourraient occasionner des postures comparables à celle observée pour le toit pour des peintres de plus petite taille.

(Image fournie par AutoPrévention)

Piste de solution : L'utilisation d'un banc ou d'une plate-forme surélevée sur les côtés de la voiture pour cette section du toit permettrait de réduire l'angle de flexion de l'épaule et d'alléger les contraintes à l'épaule et au poignet avec un atomiseur conventionnel. En effet, une position du bras moins horizontale permettrait aussi de réduire l'angle de déviation radiale au poignet. Ici, cette plateforme utilisée pour le polissage pourrait être utilisée en peinture.

	<p>Pas d'illustration disponible Mettre le capot en position debout ou incliné à au moins 45 degrés pour le peindre.</p>
<p>Figure 4-19 - Situation problème 2 : Peindre un capot sur chevalet.</p> <p>La hauteur et l'horizontalité du capot impliquent un travail au-dessus des épaules. Le moment de force exercé à l'épaule est ici au maximum avec bras complètement allongé à l'horizontale. L'angle relatif à l'épaule de 130° augmente considérablement la demande musculaire des fléchisseurs par rapport à une position à 90°. Le poignet est en déviation ulnaire et la position du réservoir cause un moment relativement élevé sur les trois articulations (poignet, coude et épaule). La poignée de l'atomiseur est conçue pour travailler de façon neutre sur une surface verticale.</p>	<p>Piste de solution : Le capot pourrait être incliné vers le peintre avec un angle d'au moins 45°. Cette position du capot permettrait de réduire considérablement les angles de flexion au niveau de l'épaule. Elle permettrait de réduire les moments de force et les angles relatifs à l'épaule et ainsi, abaisser le niveau de sollicitation des muscles responsables de la flexion de l'épaule. Si le capot est maintenu à l'horizontale, la hauteur des chevalets devrait être ajustable avec un système motorisé. Sinon, le travailleur devrait utiliser un banc pour se surélever par rapport au capot et améliorer sa posture.</p>

	<p>Pas d'illustration disponible Utilisation d'un équilibreur ou incliner le réservoir vers l'arrière</p>
<p>Figure 4-20 - Situation problème 3 : Peindre une surface horizontale.</p> <p>L'application de la peinture sur les surfaces horizontales entraîne un moment de force important pour le poignet avec l'utilisation de l'atomiseur conventionnel où le réservoir est incliné vers l'avant.</p>	<p>Piste de solution Le moment de force exercé sur la main par l'atomiseur peut être réduit en changeant la position du réservoir (en l'inclinant vers l'arrière). L'utilisation d'un équilibreur dont le point d'attache serait la partie supérieure du réservoir pourrait aussi contribuer à réduire la force de rotation exercée par la masse et la position de ce dernier.</p>

	<p>Pas d'illustration disponible Utilisation d'un banc ou d'une plateforme surélevée</p>
<p>Figure 4-21 - Situation problème 4 : Peindre une surface horizontale.</p> <p>L'outil est porté à bout de bras pour les zones les plus éloignées du peintre. Dans cette position, les moments de force exercés sur les trois articulations (épaule, coude et poignet) sont maximaux. Ils sont aussi influencés par la position de l'atomiseur, et plus spécifiquement du réservoir, qui se retrouve très éloigné de la main pour ainsi exercer le maximum de force en rotation. La force exercée dépend aussi de la quantité de peinture présente dans le réservoir.</p>	<p>Piste de solution : Encore ici, l'utilisation d'un banc ou d'une plate-forme sur les côtés de la voiture pour cette section du toit permettrait de réduire l'angle de flexion de l'épaule et d'alléger les contraintes à l'épaule et au poignet avec un atomiseur conventionnel. En effet, une position du bras moins horizontale permettrait aussi de réduire l'angle de déviation radiale au poignet.</p>
	<p>Pas d'illustration disponible Utilisation d'un équilibreur ou incliner le réservoir vers l'arrière</p>
<p>Figure 4-22 - Situation problème 5 : Peindre une surface verticale.</p> <p>En particulier pour les sections basses du véhicule, il y a surtout des flexions prolongées du tronc qui surchargent les structures lombaires. Il s'agit d'une charge musculaire statique imposée au dos. Ces postures ne présentent pas de risques de TMS élevés pour les membres supérieurs.</p>	<p>Piste de solution Pour éliminer les flexions prolongées du tronc, élever la voiture pour permettre au peintre de travailler avec le tronc droit.</p>




Pas d'illustration disponible
Mettre le capot en position debout ou incliné à au moins 45 degrés pour le peindre.

**Figure 4-23 - Situation problème 6 :
Peindre un capot sur chevalet.**

Pour prendre l'information visuelle nécessaire, le peintre doit mettre la tête sous le capot et donc travailler avec une flexion importante de l'épaule et du coude, ainsi qu'une flexion du cou. La position de l'atomiseur implique un moment de force élevé sur le poignet en déviation radiale qui sollicite les muscles responsables de la déviation ulnaire. Toutefois, dans cette position, le réservoir de l'atomiseur n'augmente pas les moments de force au coude et à l'épaule mais permet plutôt de les réduire. Le travail en position accroupie augmente l'instabilité du peintre et pourrait causer une surcharge au niveau de l'attention exigée par cette tâche. Également, pour éviter les déplacements fréquents, les peintres préfèrent tendre le bras ce qui augmente ainsi les contraintes à l'épaule. L'éloignement de l'atomiseur élève le moment de force sur l'épaule. La tête est tenue vers le haut en extension.

Piste de solution : Encore ici, l'inclinaison du capot à 45° permettrait un meilleur dégagement pour la tête, une meilleure vision et une réduction des angles de flexion du coude et l'épaule. Si le capot doit être maintenu en position horizontale, celui-ci devrait pouvoir être élevé pour permettre au travailleur de demeurer debout.

	<p>Pas d'illustration disponible Utilisation d'un banc ou d'une plateforme surélevée</p>
<p>Figure 4-24 - Situation problème 7 : Peindre une surface horizontale</p> <p>Pour les zones du toit près du peintre, le bras est maintenu en abduction à la hauteur de l'épaule afin de maintenir une distance de diffusion constante entre la buse et la carrosserie. Les moments de force exercés sur les trois articulations demeurent encore très élevés malgré le rapprochement de la surface de travail.</p>	<p>Piste de solution : Même remarque que pour la figure 4.17</p>

Pour les sections suivantes (4.7.2 à 4.7.9), la description détaillée des situations est déjà présentée à la section 3.3 (Méthodologie) et celle des observables utilisés lors de la compilation des données peut être consultée à l'Annexe A de ce rapport.

4.7.2 Synthèse pour le travail sous le capot

Caractéristiques des situations. Le travail sous le capot était varié : changement d'un moteur d'essuie-glace logé pratiquement sous le pare-brise, d'une pièce de moteur ou d'un moteur au complet.

Sous-tâches les plus importantes. « Visser et dévisser » avec un outil manuel ou énergisé en main a représenté entre 14 % à 23 % de la DTO (durée totale d'observation) tandis que 18 % à 31 % était utilisé pour « Poser et enlever ». Le temps passé à nettoyer le moteur ou les pièces a varié de 1 % à 8 %. Les temps en déplacements entre le véhicule, le coffre à outil, l'établi et le magasin de pièces varient de 14 % à 23 %.

Outils et pièces. Les principaux outils pneumatiques étaient des clés à rochet à prise ½ (1,0 à 1,2 kg) et les clés à chocs ½ et 3/8 (1,6 kg à 2,75 kg). Les masses des pièces de moteur manipulés

variait entre 3,9 kg et 6,6 kg mais pour la dépose⁴ du moteur, il a fallu également ôter la batterie (15,2 kg) et les demi-essieux (8,2 kg) du véhicule.

Postures. Le travail a généralement été réalisé debout avec le dos en flexion (69 % à 97 % de la DTO). La hauteur au sol du compartiment moteur a pu influencer la posture du dos : si le compartiment était haut, le travail pouvait se faire debout (5 % à 35 %) mais le mécanicien s'assoit partiellement sur le compartiment moteur ou s'agenouillait sur le pare-choc. Pour les compartiments moteurs plus bas, le mécanicien prenait appui au niveau de son tronc, mais sur la pointe des pieds (risque de glisser). La posture « bras plus haut que les épaules » a été observée de 9,0 % à 47,4 % de la DTO, mais de 50 % à 72 % lors de « poser ou enlever » des pièces, et de 50 % à 80 % pendant « visser et dévisser ». Cette posture a également été observée pour des durées consécutives de 30 secondes et plus, allant jusqu'à 180 secondes, à 102 reprises, ce qui en fait la tâche la plus contraignante de l'étude sur ce point.

Perceptions. Dévisser les écrous les plus profonds, et ôter tous les tuyaux et connecteurs électriques du collecteur d'admission ont été perçus comme demandant le plus d'effort (7 sur 10). Remettre les tuyaux et les connecteurs du collecteur en place (8 sur 10), de même que sortir au palan un moteur au complet d'un compartiment moteur (7 sur 10) ont demandé le plus d'attention.

Principaux problèmes identifiés lors du travail sous le capot :

- Présence d'efforts musculaires importants lors du travail avec le dos en flexion, alors qu'il y a peu de dégagement entre les épaules et la plage de travail (**Figure 4.25**) : obligation d'utiliser des outils manuels courts, ce qui entraîne également des contraintes au niveau des poignets;
- Charge statique importante dans le maintien pour des périodes supérieures à 30 secondes, de postures avec des angles de flexion et/ou d'abduction des fléchisseurs des épaules;
- Sollicitation importante des muscles des épaules, associée au maintien d'angles de flexion ou d'abduction prononcée au niveau des épaules. La réduction de ces angles implique que le mécanicien doive s'agenouiller ou s'asseoir partiellement sur les ailes ou le radiateur du véhicule.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Pour les véhicules avec une garde au sol élevée, ôter les roues du véhicule pour permettre d'abaisser davantage le compartiment moteur. une autre alternative serait d'incliner le véhicule vers l'avant;
 - Utiliser une extension de longueur appropriée avec les clés à rochet manuelles ou pneumatiques, ou avec les clés à chocs (**Figure 4.26**);
 - Allonger le bras de levier en saisissant l'outil au niveau de l'arrivée d'air, pour les clés à rochet pneumatiques;
-



Figure 4-25 - Le travail sur un véhicule surélevé, lorsque les pieds demeurent en contact avec le sol, cause une flexion du tronc avec des angles de flexions et/ou d'abduction importants au niveau des épaules.



Figure 4-26 – Utilisation d'une extension sur la clé à rochet permet de répartir l'effort sur les autres articulations des membres supérieurs (coude et épaule) et d'impliquer le tronc pour produire la rotation.

4.7.3 Synthèse pour le travail sous le véhicule

Caractéristiques des situations. Celles-ci comprenaient le travail sur des éléments de propulsion, du châssis et de l'alimentation en carburant. Pour deux des situations, le travail s'est fait au sol ou sur un établi une fois la pièce défectueuse démontée de sous le véhicule.

Sous-tâches les plus importantes. La catégorie « Autres » (34 % à 43 % de la DTO) fut la plus importante et a témoigné de la diversité des tâches observées et des actions réalisées. « Poser et ôter » (3 % à 26 %) et « Visser et dévisser » (3 % à 23 %) sont demeurées des tâches fréquentes, auxquelles il faut ajouter le travail sur une pièce démontée (4 % à 14 %) et l'utilisation manuelle d'un marteau (25 % de l'une des situations).

Outils et pièces. Aux clés à rochet à prise ½ (1,0 à 1,2 kg) et clés à chocs ½ et 3/8 (1,6 kg à 2,75 kg) s'ajoutèrent la lampe baladeuse (0,4 kg). Pour une des situations, le marteau utilisé avait une masse de 0,8 kg. La masse des éléments de transmission variait de 8,6 kg à 17,9 kg, celle du réservoir d'essence (à vide) était de 31,8 kg et celle du faux-cadre avant (*sub-frame*), de 35,0 kg.

Postures. Deux des situations ont impliqué de travailler debout sous le véhicule pour la plupart du temps. Pour les trois autres, le travail s'est fait en partie debout sous le véhicule, debout près de l'établi ou accroupi par terre, pour travailler sur un pièce ôtée du véhicule. Les « Bras au-dessus des épaules » ont été observés de 8,0 % à 40,7 % de la DTO, et de 59 % à 78 % lors de « Visser et dévisser » et 45 % à 70 % pendant « Poser et ôter ». Cette posture a également été observée pour des durées consécutives de 30 secondes et plus, allant jusqu'à 180 secondes, à 64

reprises, ce qui en fait la deuxième tâche la plus contraignante de l'étude sur ce point. « Marteler », qui a représenté 25 % de la DTO d'une des situations, s'est entièrement fait les bras au-dessus des épaules, avec la présence d'un travail musculaire excentrique important. Le cou a été observé en extension pour plus de 50 % de la DTO dans deux des cinq situations, une posture liée à la prise d'information visuelle.

Perceptions. Le travail avec un marteau sur un arbre de transmission, réalisé sur un établi, a récolté le plus haut score de perception de l'effort (9 sur 10) et d'attention (8 sur 10). Dévisser les boulons qui retiennent la boîte de vitesse, remettre la sonde dans le réservoir d'essence et positionner le véhicule, en le poussant, dans la baie de service, récoltèrent un score de 7 sur 10 pour l'attention requise.

Principaux problèmes identifiés lors du travail sous le véhicule :

- Contraintes musculaires importantes à l'épaule lors du travail avec les bras tendus vers le haut. Les muscles fléchisseurs et abducteurs (agonistes) sont alors raccourcis alors que les muscles extenseurs et adducteurs (antagonistes) sont allongés et génèrent une tension qui s'oppose au mouvement (**Figure 4.27**)

- Absorption du contrecoup de serrage par l'épaule lors du serrage avec le bras tendu vers le haut. Le bras tendu offre peu d'inertie pour atténuer les forces de rotation d'un outil pneumatique et peut amener une torsion de l'épaule;

- Travail musculaire excentrique lorsque le mécanicien doit retenir d'une main une pièce qu'il est à déboulonner de l'autre, ou qu'il retient une pièce mécanique qui tombe au sol.

- Travail contre la gravité. Marteler vers le haut implique un travail excentrique important au poignet et au coude car le marteau est tenu avec une pronation complète des avant-bras, ce qui surcharge les muscles extenseurs et supinateurs du poignet;

- Contrecoups au niveau de la main lors du martelage. Lorsque le mécanicien se sert d'une main pour tenir la pièce sur laquelle il martèle, celle-ci absorbe les chocs d'impact du marteau sur la pièce.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Utiliser une extension entre la prise de l'outil et la douille permet de travailler avec un angle de flexion relative à l'épaule moins important (10 à 20°) par rapport à la position du tronc. Cette posture permet de limiter le transfert du couple de la boulonneuse au niveau de l'épaule car la position du bras permet d'augmenter l'inertie (distribution de la masse importante autour de cette force) (**Figure 4.28**);

- Demander l'aide d'un collègue ou utiliser une béquille ou une chèvre lors de l'enlèvement d'une pièce sous le véhicule permet de limiter ou d'éviter, le travail musculaire excentrique présent lorsque les muscles tentent de ralentir ou d'empêcher la chute d'un objet;

- Utiliser un pied-de-biche ou un levier, au lieu d'un marteau, pour déloger une pièce grippée. La force des deux membres supérieurs est alors disponible, et les efforts excentriques et les mauvaises postures au poignet sont alors limités;
- Envisager de démonter la pièce et de la réparer sur un établi au lieu de la réparer sous le véhicule afin de minimiser le travail avec les bras plus hauts que les épaules;
- Utiliser des mordaches en bois pour maintenir les arbres de transmission en place dans un étau afin de libérer les deux mains du mécanicien et éviter la propagation des vibrations dans la main lors du martelage.



Figure 4-27 - Visser avec le bras tendu au-dessus de la tête implique une contrainte musculaire importante à l'épaule.

Les muscles fléchisseurs et abducteurs (agonistes) sont raccourcis alors que les muscles extenseurs et adducteurs (antagonistes) sont allongés et génèrent une tension qui s'oppose au mouvement.

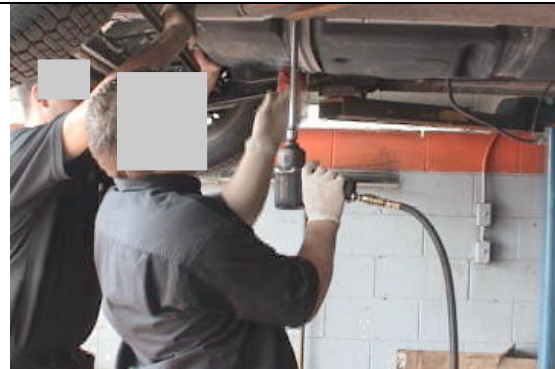


Figure 4-28 – L'utilisation d'une extension entre la prise de l'outil et la douille permet de travailler avec un angle de flexion relative à l'épaule moins important (10 à 20°) par rapport à la position du tronc.

De plus, cette façon de faire limite le transfert du couple de la boulonneuse au niveau de l'épaule.

4.7.4 Synthèse pour le travail sur le moteur de camion

Caractéristiques des situations. Toutes les observations ont été faites pour des moteurs diesel de camions poids lourds. Outre l'installation d'un nouveau moteur déjà assemblé et le réassemblage sur place d'un moteur, le changement d'un injecteur et d'un joint, avec un ajustement des soupapes, ont été observés. Un désassemblage partiel du moteur a été nécessaire dans ces derniers cas.

Sous-tâches les plus importantes. Le « travail général sur le moteur » représente 45 % à 52 % de la DTO alors que le temps passé à « poser et enlever » varie de 1 % à 7 % et celui de « visser

et dévisser », entre 6 % et 11 %. Pour trois des cinq situations, la sous-tâche « autres » a pris de 25 % à 40 % de la DTO.

Outils et pièces. Les clés à rochet à prise ½ (1,2 à 1,5 kg) et clés à chocs ½ et 3/8 (1,2 kg à 2,0 kg) ont été les principaux outils pneumatiques utilisés. La masse des clés dynamométriques manuelles observées était entre 0,9 et 1,2 kg. Les pièces manipulées sont parmi les plus lourdes de l'étude, sept des pièces avaient une masse se situant entre 10 kg et 20 kg et deux autres, 22,2 kg et 27,2 kg.

Postures. Pour réaliser certaines sous-tâches, les mécaniciens devaient grimper dans le compartiment moteur où ils y ont été observés debout ou accroupis. Le « travail sur le moteur » s'est fait principalement debout (18 % à 95 %) ou accroupi (65 % dans deux situations). Dans une situation en particulier, entre 55 % et 86 % de « Poser et enlever » et de « Visser et dévisser » a été réalisé couché sous le camion. Pour les principales sous-tâches, le travail s'est fait avec généralement les « Bras à hauteur de poitrine » sauf dans le cas d'un ajustement de moteur où « Bras au-dessus des épaules » correspond à 59 % du temps de travail sur le moteur. Le travail sur le moteur de camion est la tâche où les durées les plus faibles de « Bras au-dessus des épaules » ont été observées (entre 0,3 % et 13,4 % de la DTO) mais comprend tout de même 13 épisodes où cette posture fut codée pour des épisodes consécutifs de 30 secondes et plus. Le cou a été observé en flexion avant entre 28 % et 90 % de la DTO.

Perceptions. Cette tâche a récolté des scores de perception élevés autant pour l'effort que pour l'attention. Pour l'effort, l'installation d'un arbre-rotor, et faire tourner les roues arrière du camion manuellement pour réaliser l'ajustement correct du moteur, ont récolté respectivement 10 et 8 points sur un maximum de 10. Le travail d'ajustement du moteur et la mise en place de pièces mécaniques ont récolté des scores entre 8 sur 10 et 10 sur 10.

Principaux problèmes identifiés lors du travail sur le moteur de camion:

- Contraintes aux membres supérieurs suite à l'obligation de monter dans le compartiment moteur pour travailler : le mécanicien doit utiliser la force d'une seule main pour travailler et prendre appui avec l'autre (problème d'équilibre).
- Contraintes à l'un des membres supérieurs lorsqu'une pièce mécanique est ramenée au sol depuis le compartiment moteur (**Figure 4.29**) : la dimension et la distribution de la masse de la pièce peuvent exiger un effort musculaire important de la part du membre qui tient la pièce, l'autre devant être utilisé comme point d'appui.
- Contrainte aux muscles fléchisseurs des membres supérieurs lors de la mise en place de pièces mécaniques sur le moteur lorsque les bras sont au-dessus des épaules, car les pièces sont lourdes (plus de 10 kg) et cette posture doit être maintenue plusieurs secondes;
- Angle de flexion et d'abduction important aux épaules lors du travail sous le véhicule : obligation d'utiliser des outils à manche court, et la surface d'appui est instable si le travail se fait sur une civière sur roue (*dolly*);

- Sollicitation des muscles fléchisseurs ou extenseurs de l'épaule lors du serrage manuel : vue la difficulté à se placer près du moteur, la force exercée sur le manche est surtout horizontale et limite l'utilisation du poids des segments corporels pour produire plus de force.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Accès au compartiment moteur : la règle des trois points d'appui devrait s'appliquer pour monter et descendre du compartiment moteur, en particulier si le mécanicien doit tenir une pièce mécanique dans une de ses mains. Déposer la pièce sur un plan intermédiaire et la reprendre une fois monté ou descendu de façon sécuritaire; disposer des plateformes ou des escabeaux mobiles autour du compartiment pour favoriser un bon appui sur une surface horizontale et réduire la flexion au niveau des épaules;

- Déplacement de pièces mécaniques lourdes : utiliser un pont roulant (si disponible), un palan ou une chèvre, demander l'aide d'un collègue de travail; au-dessus du moteur, utiliser un équilibre, par exemple, pour minimiser la masse de la pièce, afin de réduire l'effort statique en présence de travail avec les bras plus hauts que les épaules;

- Protéger les membres supérieurs : utiliser une housse matelassée pour réduire le stress de contact des membres supérieurs sur le moteur ou le châssis si la posture doit être maintenue longtemps;

- Réduire les efforts demandés aux membres supérieurs : lors de l'utilisation des clés dynamométriques, par exemple, éviter d'appliquer la force musculaire dans un plan horizontal, favoriser plutôt de forcer de haut en bas afin de profiter du poids des segments corporels (**Figure 4.30**).



Figure 4-29 - Descendre du compartiment moteur avec une pièce dans les mains peut être hasardeux car la distribution de la masse de la pièce peut exiger un effort physique important pour le bras porteur.



Figure 4-30 – L'utilisation d'un outil avec un long manche permet de déployer un couple de serrage plus élevé en utilisant moins de force.

Aucune pièce ne devrait être tenue durant la descente d'une structure aussi élevée. Celle-ci devrait être déposée sur la tablette d'un chariot disposé près de la zone de travail et reprise par la suite lorsque le travailleur est au sol.

4.7.5 Synthèse pour le travail sous le tableau de bord

Caractéristiques des situations. Pour toutes les situations observées, le travail consistait à installer des démarreurs à distance. Différents modules électroniques devaient être installés sous le tableau de bord et sous le capot et interreliés entre eux et avec le circuit électrique du véhicule. Les fils devaient être sectionnés, dénudés, épissés ou soudés entre eux.

Sous-tâches les plus importantes. Le « Travail sur le filage » était l'activité prépondérante (36 % à 55 %). Les autres observables tels « Poser et enlever » et « Visser et dévisser » ne représentaient qu'entre 2 % et 10 % de la DTO. La jonction de fils électriques impliquait parfois de souder ceux-ci (4 % à 6 %) et de mettre du ruban isolant (23 % dans une des situations observées). Les déplacements (1 % à 15 %) se font principalement autour du véhicule en service.

Outils et pièces. Les seuls outils pneumatiques observés ont été une perceuse (1,1 kg), une scie sauteuse (2,1 kg) et des clés à rochet ¼ (0,6 kg) utilisées respectivement pour découper le tableau de bord et pour visser les modules électroniques en place. Les fers à souder étaient soit électriques ou alimentés par de petites bonbonnes de gaz (0,1 kg). À l'exception d'un élément de portière démonté (3,3 kg), la masse des différents modules électroniques était inférieure à 0,5 kg.

Postures. Les postures générales adoptées par les installateurs variaient en fonction de l'accessibilité des fils et du type de véhicule, entre autres, « Couché » (de 0 % et 30 %), « Accroupi » (de 30 % à 80 %), « Assis » (de 9 % à 32 %) et « Debout » (de 0 % à 25 %). Lors du « Travail sur le filage », la posture « Bras à hauteur de poitrine » était observée de 43 % à 81 % du temps. Cependant, « Bras plus haut que les épaules » dont la présence était supérieure à 40 % dans deux des situations observées, a accumulé 32 épisodes de maintien pour des périodes de 30 secondes consécutives et plus, ce qui place cette tâche au troisième rang de l'étude en ce qui concerne les contraintes à l'épaule.



Perceptions. Pour toutes les situations observées, le score perçu le plus élevé a été rapporté lors de l'identification et de la préparation du filage préalable à l'installation (8 sur 10 pour effort et attention) dans une des situations. Le branchement de fils dans des zones difficiles à atteindre suit pour l'effort perçu (de 5 à 7 sur 10).

Principaux problèmes identifiés lors du travail sous le tableau de bord:

- Efforts statiques prolongés au niveau du cou et des épaules pour les actions ayant une forte composante de prise d'information visuelle, la soudure entre autres. Présence d'un moment de force important à la base du cou qui doit être balancé par un travail important des muscles du cou et de la ceinture scapulaire. Surcharge des trapèzes supérieurs dont la fonction est l'extension de la tête et l'élévation de la ceinture scapulaire (**Figure 4.31**).

Pistes de solution observées ou préconisées

- Importance de prendre des appuis pour les membres supérieurs et d'utiliser un support pour la tête (par exemple, un coussin qui permet d'appuyer la tête lorsque le travailleur est couché de côté sur la banquette avant) afin de réduire les contraintes au niveau du cou et des l'épaule (Figure 4.32).

	
<p>Figure 4-31 – Posture statique prolongée pour le cou et les épaules.</p>	<p>Figure 4-32 – Réduction des contraintes à l'épaule : le bras droit peut prendre appui sur la banquette, l'information visuelle est prise à travers les branches du volant avec la tête droite.</p>

4.7.6 Synthèse pour le travail sur le système d'échappement

Caractéristiques des situations. Le dénominateur commun de cette tâche a été l'utilisation du chalumeau oxyacétylénique pour couper les pièces à ôter ou dégripper des boulons rouillés. Les pièces défectueuses étaient soit remplacées par un équivalent, fabriquées sur place avec une machine à plier et évaser les tuyaux ou adaptées à partir d'une pièce semblable.

Sous-tâches les plus importantes. Les déplacements entre le véhicule et la plieuse, ou vers le magasin de pièces, représentaient le plus fort pourcentage d'activité, soit de 32,8 % à 42,6 % de la DTO. Le temps consacré à « Chauffer ou souder » était généralement inférieur à 10 %, mais a été de 24,3 % dans une des situations. « Visser et dévisser » a occupé entre 3,3 % et 9,0 %, et « Poser en enlever », entre 6,0 et 16,3 % de la DTO, cette dernière sous-tâche montrant des niveaux de difficultés variables lors de l'installation des nouvelles pièces.

Outils et pièces. La masse des chalumeaux oxyacétyléniques variait de 1,6 kg à 1,8 kg, et celui des clés à chocs pneumatiques, de 1,6 kg à 2,4 kg. Le marteau à panne ronde (0,8 kg) et des pinces (0,5 kg), pour saisir des pièces chaudes, furent les autres outils les plus utilisés. La masse

des pots d'échappement manipulés variait de 3,0 kg à 6,9 kg et celui des divers tubes et tuyaux, de 1,0 kg à 2,6 kg.

Postures. Le travail s'est fait debout pour une proportion variant de 90 % à 100 % de la DTO. La posture « Bras au-dessus des épaules » a prédominé pour « Poser et enlever » (55 % à 97 %), « Visser et dévisser » (81 % à 90 %). Cependant, pour « Chauffer ou souder », la posture « Bras à hauteur de poitrine » a prédominé dans deux des cinq situations observées. Le cou fut incliné vers l'arrière de 40 % à 70 % du temps pour ces trois activités. Pour cette tâche, neuf épisodes de 30 secondes consécutives ou plus ont été observées pour la posture « Bras plus hauts que les épaules ».

Perceptions. Pour toutes les situations observées, le score perçu le plus élevé a été de 5 sur 10 pour l'effort pour une activité consistant à installer et ajuster en place un pot d'échappement neuf, activité réalisée principalement les bras plus haut que les épaules. Tous les autres scores étaient inférieurs à 5, deux des situations étant même cotées 1 ou 2 sur 10 pour l'effort et l'attention.

Principaux problèmes identifiés lors du travail sur le système d'échappement:

- Travail musculaire statique: le travail sous un pont de levage implique une charge musculaire statique importante au niveau des muscles fléchisseurs et/ou abducteurs de l'épaule lors du maintien d'un outil ou d'une pièce mécanique avec les bras plus hauts que les épaules;
- Travail musculaire excentrique: ce type de travail a été observé lors du martelage sous le véhicule (tenue du marteau en pronation complète) et lorsqu'un mécanicien retient une pièce mécanique qui tombe au sol. Il vise les muscles qui mobilisent les trois articulations des membres supérieurs (**Figure 4.33**);
- Travail contre la gravité: en particulier lors de l'utilisation d'une clé à rochet manuelle sous le pont de levage, implique le travail musculaire pour maintenir les segments corporels du membre supérieur contre la gravité auquel s'ajoute l'application d'une force vers le haut sur la poignée de l'outil.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Le choix judicieux de la hauteur du véhicule sur le pont de levage, de concert avec l'utilisation d'extensions appropriées avec les outils pneumatiques, peuvent permettre une réduction de la charge musculaire statique au niveau des épaules; il faut toutefois tenir compte d'autres éléments de sécurité comme la protection des yeux (**Figure 4.34**);

- L'utilisation d'un pied-de-biche ou de leviers, ou encore d'un burin pneumatique (*zip gun*) au lieu d'un marteau, permettrait d'appliquer la force requise avec les deux mains sur la pièce à déloger; l'utilisation d'une chandelle ou d'un cylindre hydraulique pour retenir les pièces mécaniques délogées de sous le véhicule contribueraient à réduire les risques de travail excentriques des muscles;

- Lors d'un travail manuel sous un véhicule, pensez à exercer la force sur l'outil vers le bas afin de mettre la gravité à profit et de réduire ainsi le travail musculaire;



Figure 4-33 – Utiliser un marteau sous le véhicule implique un travail musculaire excentrique très important pour les muscles qui mobilisent les trois articulations des membres supérieurs.

La tenue du marteau avec une pronation complète des avant-bras en rotation surcharge les muscles extenseurs et supinateurs du poignet. La fin de la phase de décélération du marteau lors du mouvement vers le bas, et le début de la phase d'accélération au moment de son déplacement vers le haut, peuvent créer une situation d'effort excessif pour les muscles et les tendons.

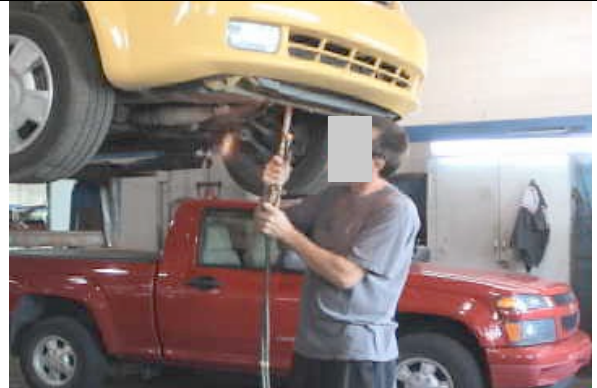


Figure 4-34 – Un pont de levage ajusté un peu plus bas et un bec de chalumeau oxyacétylénique plus long permettent de réduire la flexion des épaules.

La charge de travail musculaire statique des fléchisseurs et/ou aux abducteurs de l'épaule est ainsi réduite, mais la protection des yeux est ici primordiale.

4.7.7 Synthèse pour le service de pneus

Caractéristiques des situations. Outre l'action d'ôter et de remettre les roues sur un véhicule, cette tâche comprenait l'utilisation d'une machine spécialisée pour monter et démonter le pneu sur la jante, et d'une autre pour équilibrer la roue avec des masselottes afin d'éliminer les vibrations. La distance entre le véhicule en service et ces machines a varié selon la configuration des garages. Les données sont incomplètes pour deux des situations.

Sous-tâches les plus importantes. « Poser et enlever » ainsi que « Visser et dévisser », c.-à-d. ôter et remettre les roues sur le véhicule, a représenté relativement peu de temps (de 2 % à 13 % de la DTO) par rapport au temps de travail sur les machines spécialisées (23 % à 42 %) ou le temps en déplacement (57 %, dans une situation). Les activités « Autres » représentaient entre 27 % et 36 %.

Outils et pièces. Les clés à chocs 3/8 et 1/2 (1,4 kg à 2,5 kg) ont été les seuls outils pneumatiques utilisés. Un pneu de 14 pouces de diamètre avait une masse d'environ 7 kg. La masse combinée d'un pneu et d'une roue a atteint 13,4 kg pour 14 pouces⁵ de diamètre, 16,7 kg pour 15 po et 22,4 kg dans le cas d'un pneu haute performance de 18 pouces. L'utilisation d'une clé dynamométrique manuelle n'a été observée que dans une seule des situations.

Postures. Le travail s'est fait debout pour 97 % à 99 % du temps. Le pont élévateur permet de placer les roues à hauteur de poitrine, ce qui fait que les bras ont été observés dans cette posture pour 74 % à 87 % de « Visser et dévisser » et 55 % à 95 % de « Poser ou enlever ». Les bras furent observés « le long du corps » pendant le « travail sur les machines spécialisées » (22 % à 64 % de cet observable). Le cou a été observé en posture droite surtout ou incliné vers l'avant. Aucun épisode de 30 secondes et plus avec « Bras au-dessus des épaules » n'a été observé pour cette tâche.

Perceptions. L'activité ayant demandé le plus d'effort a été la dépose et la remise de pneus à profil bas sur jante en aluminium (9 sur 10). Ôter et remettre les roues sur le véhicule ont récolté des scores variant de 6 sur 10 à 8 sur 10. L'attention requise est perçue comme moyenne (5 à 6 sur 10), sauf pour le travail sur le pneu à profil bas où elle était de 7 sur 10.

Principaux problèmes identifiés lors du service de pneus:

- Moments de force élevés aux membres supérieurs suite à l'utilisation d'un équipement de levage non approprié, par exemple, la présence de rampes éloigne le mécanicien de la charge, ce qui cause des contraintes au coude et aux épaules (**Figure 4.35**);
- Manutention des pneus au sol : lorsque le pneu est saisi à deux mains au niveau du sol, une des deux mains supportera plus de poids que l'autre augmentant la contrainte des muscles fléchisseurs du poignet de la main la plus près du sol; de plus, l'effort des muscles extenseurs du tronc devient alors asymétrique;
- Hauteur inappropriée du véhicule lors du serrage avec une clé à chocs : les contrecoups en fin de serrage imposent un force sur les muscles responsables de la déviation radiale du poignet, ainsi que sur les muscles supinateurs de l'avant-bras. Si le véhicule est placé trop haut, les angles de flexion à l'épaule et de déviation ulnaire augmentent. Si trop bas, les contraintes se déplacent des membres supérieurs au niveau du dos.

⁵ Le diamètre des roues des véhicules en Amérique du Nord est exprimé en pouces. 14 pouces correspond à 35,6 cm, 15 pouces à 38,1 cm. et 18 pouces, à 45,7 cm de diamètre.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Utiliser un équipement de levage qui permet de se placer le plus près possible de la roue à changer;
- Si les masselottes de balancement doivent être enlevées, faire cette opération lorsque le véhicule est encore sur le pont d'élévation afin de minimiser les flexions du dos et des épaules;
- Utilisation de la clé à chocs : élever le véhicule pour que le centre de la roue soit au niveau des coudes pour optimiser la posture des poignets; tenir la clé à chocs à deux mains en fin de boulonnage (**Figure 4.36**);
- Clé dynamométrique : serrer le bras tendu et en forçant vers le bas pour limiter les contraintes au poignet.



Figure 4-35 - L'utilisation d'un système d'élévation avec des rampes éloigne la charge (ici, le pneu) au moment de la prise.

Cette situation cause des moments de force plus élevés sur les articulations des épaules et des coudes.



Figure 4-36 - L'utilisation des deux mains sur la clé à chocs permet de placer une des mains près de la douille et de guider l'outil sur le boulon.

Au moment d'actionner l'outil, les deux mains devraient être ramenées près de la poignée pour augmenter l'inertie et limiter l'impact des contrecoups créés par l'outil.

4.7.8 Synthèse pour l'esthétique : lavage, cirage et polissage de véhicules

Caractéristiques des situations. Cette tâche comprenait le lavage intérieur (habitacle et coffre) et extérieur du véhicule, le lavage des tapis, du moteur, la décontamination et le polissage (*compound*) des surfaces peintes et l'application d'une cire protectrice. Cette tâche impliquait une connaissance approfondie des différents produits (nettoyeurs, cires) utilisés.

Sous-tâches les plus importantes. Pour la situation qui impliquait exclusivement de polir un véhicule, le temps consacré à cette activité a été de 61 % de la DTO. Pour les quatre autres situations (lavage intérieur et extérieur), le travail manuel s'est avéré prépondérant, les activités « Laver, frotter et passer la balayeuse » représentaient entre 17 % et 58 %. La sous-tâche « Arroser » avec un jet d'eau ou d'air (pour le séchage) ne représentait qu'entre 3 % et 17 % de la DTO.

Outils et pièces. Aucune pièce mécanique n'a été manipulée pour cette tâche mais l'outil ayant la plus grande masse de l'étude (14 kg) y a été observé: une soufflerie électrique à air chaud utilisée pour sécher les tapis à l'intérieur des véhicules. Les masses des cireuses orbitales électriques variait de 2,2 kg à 5,7 kg. Pour le polissage (*compound*), on utilisait des meuleuses à angle électriques munies d'un tampon spécial (2,9 à 3,0 kg). Les buses pour l'eau ou pour l'air pesaient entre 0,5 et 2,2 kg. Les bouteilles à gicleur manuel pour les produits de décontamination et de nettoyage pesaient 1,1 kg lorsque pleines.

Postures. Cette tâche impliquait d'accéder à toutes les surfaces à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule, y compris le coffre à bagage. Le travail debout était prépondérant, mais les postures « À genoux », « Accroupi », et « Assis » furent aussi observées. Le travail avec le dos fléchi fut généralement observé lors du travail à l'intérieur du véhicule. En ce qui concerne la posture des bras, cette tâche est la quatrième en importance de l'étude en ce qui concerne le maintien des « Bras plus hauts que les épaules », avec la recension de 32 épisodes où cette posture a été observée pour une période de 30 secondes consécutives et plus.

Perceptions. Quatre des situations observées ont été cotées 5 et plus pour l'effort, le cirage complet du véhicule, surtout les bas de porte, récoltant respectivement 7 et 6 sur 10. Les perceptions pour l'attention furent ici plus élevées que celles pour l'effort physique, avec au moins un travailleur observé qui a coté le maximum.

Principaux problèmes identifiés lors du travail d'esthétique :

- Flexion importante des épaules : observée lors du nettoyage à l'aspirateur du coffre arrière, du lavage des vitres à l'intérieur, du lavage extérieur au jet d'eau et du cirage ou polissage des parties hautes du véhicule. Le moment de force au niveau de l'épaule est alors augmenté car le coude est en extension et le bras et l'avant-bras à l'horizontale;

- Surcharge des muscles abducteurs et tenseurs externes de l'épaule lors du lavage des vitres à l'intérieur du véhicule; le bras est alors en rotation interne et les avant-bras, en pronation complète (**Figure 4.37**), et le travailleur doit exercer une force contre la gravité lors de cette opération puisque le travail se fait sur un plan avec une pente négative, souvent même pour les vitres latérales;

- Force de rotation importante pour l'épaule et les bras lors du lavage des vitres à l'intérieur du véhicule, côté conducteur : la présence du volant oblige à travailler à bout de bras;

- Sollicitation importante des muscles fléchisseurs de l'épaule lors du cirage ou du polissage des bas de portes et de caisses; la flexion importante de l'épaule augmente le bras de résistance auquel s'ajoute le maintien de l'outil sur la surface verticale contre la gravité;

- Posture asymétrique des bras pour le maintien des cireuses et des polisseuses lors du travail sur des surfaces horizontales hautes; cette asymétrie est aussi présente au niveau du tronc.
- Flexion prolongée du dos lors du lavage des vitres à l'intérieur, de nettoyage des roues et des parties basses de la carrosserie.

Pistes de solution observées ou préconisées

- Pour le lavage des vitres à l'intérieur du véhicule, utiliser un tampon articulé monté sur un manche télescopique afin de réduire la sollicitation des épaules;
- Pour le lavage des vitres latérales extérieures, travailler en position debout afin de garder la flexion de l'épaule inférieure à 90 degrés; stabiliser la portière avec le genou ou la hanche.
- Pour le nettoyage du coffre et le travail sur les bas de caisse, utiliser des crics ou autre système de levage afin de placer le véhicule à une hauteur convenable pour les membres supérieurs;
- Contrebalancer, avec des équilibres, la masse des cireuses (2,2 à 5,7 kg) et des polisseuses (2,9 à 3,0 kg) lors du travail sur les surfaces verticales;
- Favoriser l'utilisation de petits bancs à roulettes lors du travail sur les côtés du véhicule; la posture assise permet d'utiliser le genou ou la partie antérieure de la cuisse comme appui pour le membre qui tient la cireuse ou la polisseuse (**Figure 4.38**).

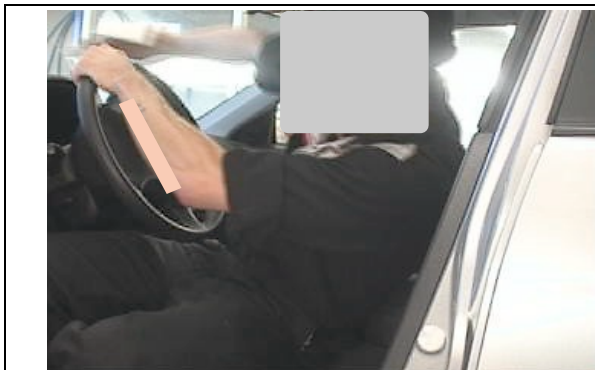


Figure 4-37 – Pour le nettoyage intérieur de la section haute du pare-brise, le travailleur place son bras en rotation interne et son avant-bras en pronation complète pour que la paume de sa main soit à plat sur la vitre.

Cette situation surcharge les muscles abducteurs et extenseurs de l'épaule droite.



Figure 4-38 – Posture peu énergivore. L'utilisation du petit banc permet le travail à hauteur de poitrine. Les jambes sont utilisées pour stabiliser et se déplacer.

Le coude est appuyé sur le genou pour réduire les moments de force exercés par la posture et la masse de l'outil.

4.7.9 Synthèse pour le ponçage

Caractéristiques des situations. Pour deux des situations de ponçage observées, une sableuse pneumatique était utilisée et pour les trois autres, le ponçage s'est fait à la main. La sableuse pneumatique était utilisée pour de grandes surfaces et l'opération manuelle, pour des surfaces courbées ou trop petites pour l'outil. Le choix du ponçage manuel pour de grandes surfaces était aussi lié aux critères de qualité chez certaines marques de véhicule.

Sous-tâches les plus importantes. « Poncer », à la main ou avec un outil, s'est avérée la sous-tâche la plus importante, avec une présence variant de 26 % à 72 % de la DTO. Dans deux des situations, le lavage préalable au ponçage a occupé 19 % et 28 % de la DTO. L'application de ruban protecteur n'a représenté que 1 % à 4 % de la DTO pour les situations observées.

Outils et pièces. Le travail s'est généralement fait sur le véhicule même, mais les pare-chocs et les pièces de nez peuvent se faire sur des chevalets : dans ce dernier cas, le ponçage se faisait d'une seule main car l'autre main devait maintenir la pièce en place. L'utilisation d'une ponceuse pneumatique a représenté 61 % et 69 % du temps de ponçage pour les deux situations où celle-ci était utilisée. La masse des ponceuses observées variait de 0,85 kg à 1,25 kg.

Postures. Les postures observées étaient variées. À titre d'exemple, pour une des situations, le travail s'est fait à genoux (8 %), accroupi (29 %), assis (23 %), debout (25 %) et couché (13 %). Pour le ponçage de la pièce posée sur le chevalet, le travail s'est fait entièrement debout. Le travail s'est fait généralement avec les bras à hauteur de poitrine (77 % à 99 %), sauf dans une des situations pour laquelle « Bras plus haut que les épaules » fut observé pendant 22 % du temps, (**Figure 31**). Mais aucune occurrence de cette posture ne fut observée pour une période de 30 secondes consécutives et plus.

Perceptions. L'effort perçu le plus important (8 sur 10 pour 3 des situations) était pour le ponçage sur la partie inférieure des véhicules, en particulier, le travail en posture « Accroupi ». La perception de l'attention requise variait de 5 à 8 sur 10 pour le travail de précision, par exemple, le ponçage des parties fortement galbées, les concavités, ou tout endroit où il fallait éviter de mettre le métal à nu.

Principaux problèmes identifiés lors du ponçage:

Contraintes aux membres supérieurs lors du ponçage des parties inférieures du véhicule : les moments de force sur les épaules et les poignets sont exercés par la gravité, à laquelle s'ajoute l'application d'une force musculaire horizontale sur la carrosserie;

- Présence de flexion du tronc et des bras (Figure 4.38) lors du ponçage de la partie inférieure du véhicule en position debout; le ponçage de la partie basse des portières en position debout et avec le tronc incliné augmente l'angle relatif de l'épaule et le raccourcissement des muscles impliqués;

- Le ponçage en position accroupie, sur la pointe des pieds, augmente l'instabilité posturale et la charge attentionnelle;

- Lors du ponçage d'une pièce sur un chevalet ou un tréteau, le ponçage et le maintien simultanés de la pièce entraînent généralement une charge musculaire statique importante au niveau de toutes les articulations du bras de support de la pièce. La stabilité de la pièce influence le travail de précision du bras actif.

Pistes de solution observées ou préconisées

- L'utilisation d'un petit banc roulant permet d'optimiser la posture des membres supérieurs pour le ponçage des portions supérieures des ailes et des portières (**Figure 4.39**), et permet d'utiliser la cuisse comme point d'appui pour le ponçage des parties intermédiaires et basses;
- L'utilisation d'un marchepied ou d'une petite plateforme mobile (dont l'appui se transfère sur les pattes lorsque le travailleur monte dessus) permet d'améliorer la prise d'information visuelle et de réduire l'amplitude de la flexion de l'épaule pour le ponçage du toit.
- Les appuis sur les surfaces de la carrosserie diminuent les contraintes lombaires tout en favorisant des postures plus neutres au niveau de l'épaule.
- L'utilisation de deux crics pneumatiques placés sur un côté du véhicule permettrait de placer la section basse des ailes ou des portières à une hauteur acceptable et élimine la pente négative souvent présente sur ce plan de travail.

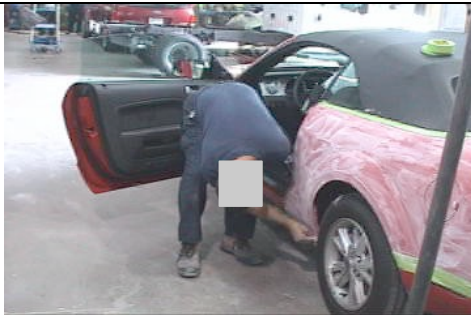


Figure 4-39 – Sablage manuel du bas de caisse : l'épaule du segment impliqué se retrouve avec un angle de flexion relative important (équivalent du bras au-dessus de la tête).

Dans cette position, les moments de force sur l'épaule, le coude et le poignet sont exercés par la gravité en supplément de la force horizontale exercée sur la carrosserie.



Figure 4-40 – Pour les sections intermédiaires des ailes, l'utilisation d'un petit banc roulant permet d'utiliser la cuisse comme point d'appui pour le coude ou l'avant-bras.

Cette stratégie permet de réduire les moments de force exercés par la masse des segments ou de l'outil au coude et à l'épaule.

5 DISCUSSION

5.1 Discussion générale

La publicité destinée à promouvoir la vente des véhicules automobile fait grand état de « l'ergonomie » de leurs habitacles. C'est cependant une tout autre réalité qui a pu être observée sur le terrain, au cours de cette étude exploratoire, lors de l'entretien et des réparations sur ces véhicules. L'aménagement des véhicules et des lieux de travail ne permet pas toujours aux travailleurs des Services à l'automobile de pouvoir adopter une posture idéale pour appliquer une force musculaire d'une façon optimale dans les compartiments moteurs, sous un véhicule ou son tableau de bord, ou sur les surfaces de carrosserie à nettoyer, sabler et peindre.

Les résultats de cette étude exploratoire montrent que chacune des tâches observées possède son propre profil de risque pour les TMS-MS, mais que l'épaule semble être une articulation particulièrement à risque. L'analyse des questionnaires de symptômes de notre échantillon semble en effet indiquer que l'épaule représenterait l'articulation la plus atteinte au niveau des membres supérieurs. Selon les observations réalisées sur le terrain, l'importance des contraintes musculosquelettiques exercées sur les membres supérieurs ne serait pas associée uniquement et spécifiquement aux masses des différents outils utilisés, mais davantage à l'effet combiné de cette masse avec certaines postures utilisées, qui produisent des moments de force importants sur les articulations. Ce constat est également valide pour la pose ou la dépose de pièces mécaniques dont la masse, pour plusieurs, est supérieure à 2,5 kg. En effet, dans plusieurs situations, les pièces à atteindre sont éloignées des zones où le travailleur peut prendre appui. Ainsi, travailler sous le capot au niveau des sections arrière du moteur entraîne des postures contraignantes pour les épaules car pour ce travail, les bras se retrouvent presque à l'horizontale avec d'importants angles de flexion par rapport au tronc. Pour pouvoir atteindre ces zones de travail, les mécaniciens doivent souvent combiner des flexions très prononcées des épaules et du tronc. Lors du maintien prolongé de telles postures, les travailleurs observés percevaient de l'inconfort au niveau des muscles responsables de la flexion et/ou de l'abduction des épaules. Selon nos observations, la perception de l'effort ressenti lors du maintien de ce type de posture serait nettement supérieure à celle correspondant à des situations où les bras sont aussi maintenus à l'horizontale, mais avec une flexion relative à l'épaule inférieure à 90 degrés. Pourtant, les moments de force observés lors du travail sous le capot sont inférieurs à ceux produits par cette dernière posture.

Un certain niveau d'effort physique demeure présent dans l'ensemble des tâches observées. D'autre part, on constate que la capacité fonctionnelle des travailleurs participants présente des écarts marqués au niveau de la force de préhension et de celle produite par les fléchisseurs de l'épaule lors de tests standardisés de CVM. Pour la préhension, l'écart absolu de la force produite parmi l'échantillon atteint 50 N (26 N vs. 76 N) pour la main dominante. Au niveau des fléchisseurs de l'épaule dominante, cette différence est de 108 N (107 N vs. 215 N). Ce constat amène à penser que les niveaux de perception de l'effort pour une même tâche peuvent varier d'un travailleur à l'autre en fonction de la capacité fonctionnelle de celui qui la réalise. De plus, cette variation dans la force musculaire produite permettrait d'expliquer pourquoi certains

travailleurs doivent développer et utiliser des stratégies différentes pour produire la force requise pour faire leur travail dans certaines situations.

En ce qui concerne la perception, à l'exception de certaines opérations associées à la peinture des véhicules, nous avons observé et évalué très peu de situations où les efforts étaient perçus comme étant excessifs (avec des cotes près de 10). Pour la plupart des tâches évaluées, les cotes élevées (supérieures à 6) ont été atteintes lorsque des postures contraignantes (travail au-dessus des épaules avec des outils tenus loin du corps) étaient maintenues sur une plus longue période. Cette constatation démontre que les situations qui entraînent une charge musculaire statique prolongée semblent être à l'origine des inconforts ressentis aux membres supérieurs par les travailleurs observés et ce, particulièrement au niveau des épaules. Ces situations sont généralement causées par l'éloignement et/ou la hauteur trop élevée des zones de travail. Par exemple, le travail avec les bras à hauteur équivalente ou supérieure à celle des épaules représentait 90 % du temps travaillé sous le capot. Pour cette tâche, le travail avec l'utilisation d'un outil énergisé pouvait atteindre 27 % du temps de travail observé. Pour certaines situations, les bras sont très tendus vers l'avant et les muscles fléchisseurs des épaules doivent maintenir une charge (outil ou pièce) pour des périodes pouvant atteindre plus de 30 secondes consécutives. L'observation d'autres tâches comme le polissage d'un véhicule a permis de constater que la charge musculaire statique était aussi très présente à cause de l'utilisation en continu d'outils énergisés. La manutention de ces outils relativement lourds représente de 72 % à 88 % du temps total de travail, avec des cycles d'utilisation de plus de quatre minutes consécutives. On observe aussi une situation comparable pour le ponçage d'un véhicule, en préparation pour la peinture. Cette dernière tâche peut se faire manuellement ou à l'aide d'un outil énergisé et implique l'application d'une force horizontale simultanément à une force contre la gravité de 51 % à 78 % du temps observé. Le travail musculaire risque d'être particulièrement plus important lors du travail sur les bas de caisse de la carrosserie où la surface de travail est orientée selon une pente négative.

Pour les peintres, l'application de la peinture sur les surfaces horizontales du véhicule, entre autres, le toit, le coffre arrière et le capot, impose un niveau de charge musculaire statique important à l'épaule si la durée de la tâche est prise en compte. Pour cette situation, la quantification de l'effort, en termes de pourcentage du moment de force maximale pouvant être produit par les muscles fléchisseurs de l'épaule, nous a permis de calculer l'importance de la contrainte subie par cette articulation. Les résultats indiquent que ces opérations peuvent représenter un effort musculaire statique allant jusqu'à 30 % de la capacité maximale de ces muscles selon l'orientation de la section peinte et la quantité de peinture contenue dans le réservoir.

Pour l'ensemble de l'étude, des situations de charge musculaire statique où les bras furent observés plus hauts que les épaules, pour des périodes égales ou supérieures à trois minutes consécutives, ont été observées dans six des neuf tâches étudiées. Ces observations sont cohérentes avec les résultats d'autres études réalisées dans les ateliers de mécanique, soit celles de Kant *et al.* (1990) et de Gold *et al.* (2006).

Il a également été intéressant de constater que certains travailleurs avaient développé leurs propres méthodes de travail pour réduire le stress postural, par exemple, en utilisant une partie du

véhicule pour stabiliser sa posture ou en annulant une partie du moment de force imposé au coude et à l'épaule en appuyant l'avant-bras sur la cuisse lors du polissage en position assise. Au niveau de la hauteur des plans de travail, il a été observé que l'ajustement de la hauteur du véhicule, l'utilisation d'un banc ou l'ajout d'une rallonge sur certains outils permettaient à certains travailleurs de réduire considérablement la présence de mauvaises postures aux membres supérieurs. Par exemple, l'utilisation de rallonges de différentes longueurs entre la prise de l'outil pneumatique et la douille permet une meilleure prise en main de l'outil ou un meilleur contrôle de la force de rotation ou de contre-rotation en début ou en fin de vissage. L'utilisation de ces rallonges peut cependant nécessiter l'utilisation des deux mains, soit une main qui tient l'outil et l'autre qui guide l'extrémité de la rallonge sur l'écrou.

5.2 Limites de l'étude

5.2.1 Échantillon et représentativité

Comme on a pu le voir à la section 2.6, le secteur des services à l'automobile au Québec comptait, en 2005, un peu plus de 12 000 établissements et près de 100 000 travailleurs. Les résultats de cette étude exploratoire dans douze garages et avec 35 travailleurs ne peuvent donc pas prétendre être représentatifs de tout ce secteur d'activité. Rappelons que l'objet de cette étude est d'abord exploratoire et qu'il concerne uniquement les TMS aux membres supérieurs. La sélection de situations à risque pour ce type de lésion a été faite en collaboration avec un comité de suivi comprenant des représentants de ce secteur. Il s'agit donc d'un choix raisonné fait par des personnes compétentes mais qui ne garantit pas que les pires situations aient pu être vues pendant cette courte fenêtre d'observation dans ce milieu. Il faut aussi rappeler que le choix d'observer cinq situations pour chacune des tâches à risque avait pour but de documenter la variabilité dans l'exécution de ces tâches. Avec ce nombre restreint de situations, l'équipe de recherche avait pour but d'obtenir un bon équilibre entre la représentativité du travail et les limites en temps et en ressources imposées par une étude exploratoire.

5.2.2 Santé musculosquelettique

Selon nos résultats, environ 30 % des travailleurs rencontrés dans cette étude nous ont dit ressentir une douleur ou un inconfort au niveau des membres supérieurs alors que les TMS représentent 9 % des lésions compensées par la CSST (1998 – 2002). On pourrait s'interroger ici pour savoir combien de ces « douleurs et inconforts » produiront effectivement des lésions compensables ou si nous sommes en présence d'un phénomène de sous-représentation des TMS à la CSST. L'équipe de recherche n'avait pas comme objectif de se poser cette question *a priori*, mais l'évolution d'une douleur ou d'un inconfort vers une lésion pourrait faire l'objet d'un suivi particulier. Compte tenu de la faible taille de l'échantillon, les réponses au questionnaire sont réparties dans plusieurs cellules, ce qui rend impossible d'établir des corrélations fiables entre l'occurrence particulière d'une lésion et un type d'emploi ou une classe d'âge.

5.2.3 Mesure de la perception

Dès les premières séances d'observation sur le terrain, il est vite apparu que plusieurs travailleurs avaient de la difficulté à bien faire la différence entre les notions « d'effort », de « maniabilité » et « d'attention requise » sur lesquels on leur demandait de se prononcer et ce, malgré le fait que l'équipe de terrain donnait toujours des explications qui semblaient adéquates et identiques d'une fois à l'autre. La notion de « maniabilité » surtout présentait des difficultés et, dans la pratique, il s'est avéré que « attention requise » et « maniabilité » étaient très fréquemment cotés de la même façon, d'où la décision de ne pas inclure les données sur la « maniabilité » dans les résultats. Malgré cette difficulté, les résultats démontrent que les travailleurs participants furent capables de jugement pour ordonnancer leur perception de l'effort et de l'attention pour les tâches et les sous-tâches.

5.2.4 Mesure de la force musculaire

Pour les tests de CVM, on demandait aux travailleurs de donner le maximum de leur force et l'équipe de terrain, aguerrie à ce protocole, les encourageait verbalement en ce sens; cependant, il n'existe aucun moyen de s'assurer que le travailleur a effectivement fait une contraction musculaire volontaire maximum. Il faut donc assumer ici, comme pour toute étude qui requiert des tests de CVM, qu'ils ont été réalisés de bonne foi, et aucun incident ni aucune remarque sur le terrain nous laissent croire le contraire. Les mesures de la force musculaire des fléchisseurs des deux mains et des deux épaules chez les travailleurs participants se faisaient toujours à la fin de la période d'observation. Or, les diverses situations ont été observées au gré de la disponibilité de ces situations dans les garages ce qui pouvait être en matinée autant qu'en fin de journée. Nous n'avons pas d'indices sur le niveau de fatigue musculaire cumulée par le travailleur au moment de l'observation et des deux tests car il ne nous a pas été possible d'évaluer l'intensité du travail musculaire de la ou des situations précédentes. Toutefois, il y avait toujours un battement d'au moins dix minutes libre de travail physique entre la fin du travail et les tests, période pendant laquelle les différentes informations et le questionnaire de santé musculosquelettique étaient recueillis. Également, notre échantillon contient trop peu de travailleurs pour obtenir un classement, par exemple, selon l'âge ou le percentile de taille. Enfin, les mesures étaient effectuées sur le membre dominant lequel était du côté droit dans la plupart des cas (il n'y avait que trois gauchers dans l'étude).

5.2.5 Mesures des forces appliquées

À l'origine, le protocole d'observation prévoyait faire des mesures des forces appliquées par les travailleurs avec les outils au moyen d'une clé dynamométrique ou d'un dynamomètre, l'objectif étant de connaître la force que devait produire leur système musculaire. Ce volet du protocole n'a pu être réalisé entre autres parce que les boulons étaient souvent situés dans des endroits difficilement accessibles où notre clé dynamométrique ne pouvait s'insérer, mais surtout que cette prise de mesure aurait considérablement allongé le temps alloué au mécanicien pour rendre le véhicule au client. Également, au niveau de l'analyse des moments de force, notre version du logiciel 3D SSPP ne permet pas de tenir compte de points d'appui multiples pour les cas où le mécanicien travaillerait avec un outil d'une main et que l'autre main tiendrait la pièce ou serait

appuyée sur une pièce mécanique ou la carrosserie. Or, plusieurs des outils observés impliquaient qu'ils soient tenus en main par les travailleurs et en contact avec la pièce ou le véhicule sur lequel le travail se faisait. Il devient alors très difficile de connaître la proportion de la masse de l'outil qui est transférée sur la prise. Ce type de mesure sera plutôt fait en laboratoire, dans le cadre d'un autre projet, où il sera possible d'instrumenter à la fois l'outil et la pièce travaillée pour connaître l'amplitude et la direction des forces appliquées, de même que le niveau de travail musculaire du travailleur.

5.3 Portée de l'étude

Les données issues de cette étude exploratoire font état du maintien de postures à risque en relation avec un outil énergisé pour des périodes de temps définies au cours des observations. Il faut garder en tête que ces observations ne représentent qu'une fraction d'une journée de travail. En fait, nos observations les plus longues dépassent tout juste trois heures et les plus courtes sont d'une dizaine de minutes. Nos données et leur interprétation doivent donc être ajustées en conséquence pour être représentatives d'une journée de travail. Cependant, pour la plupart des travailleurs observés, ces gestes et postures seront répétés pour toute la durée de leur vie professionnelle, ce qui augmente la probabilité que les risques pour les TMS-MS se manifestent.

6 CONCLUSION

Rappelons ici que cette étude a permis d'explorer dix tâches considérées comme à risque pour les TMS-MS par un comité avisé issu du milieu des services à l'automobile. Ces conclusions sont supportées par l'analyse de 46 séances d'observations réalisées avec la participation de 35 travailleurs de ce secteur dans douze ateliers et garages au Québec.

Les observations et mesures réalisées au cours de cette étude exploratoire confirment la présence de risques pour les TMS-MS pour les tâches observées, mais n'expliquent pas entièrement le profil statistique des lésions professionnelles dans ce secteur. Chacune des tâches étudiées affiche son propre profil de risque d'apparition des TMS-MS. Dans cette étude exploratoire, les épaules sont l'articulation la plus à risque en particulier à cause de longues périodes de maintien des bras plus hauts que les épaules. Les poignets sont également très sollicités au cours de certaines tâches et ont rarement été observés en position neutre. En ce qui concerne les risques identifiés dans les garages, ceux-ci sont sensiblement les mêmes que ceux répertoriés par les quelques autres études réalisées dans ce secteur, auxquels il faut ajouter la masse des pièces mécaniques et des outils manipulés. Toute posture avec les bras plus hauts que les épaules est déjà contraignante, mais la durée du maintien, ajoutée à la masse de l'outil ou de la pièce maintenue, aggrave la situation en augmentant le moment de force au niveau de cette articulation. Cette pénibilité se manifeste dans la perception de l'effort au cours de l'exécution du travail, mais il faut souligner que, pour six des dix tâches étudiées, la perception de l'attention requise pour réaliser la tâche était supérieure à la perception de l'effort. Le fait que, dans notre échantillon, la force musculaire mesurée allait du simple au double pour l'épaule, et du simple au triple pour la main, peut avoir influencé la perception de l'effort.

Si, dans la plupart des cas, la nature du travail dans les garages fait en sorte que des temps de pause surviennent entre les périodes d'effort musculaire intense, il existe certainement des situations où ces temps de pause deviennent inexistantes suite à un problème à résoudre ou à une contrainte de temps. Même s'ils sont importants, les temps de pause ne sont donc pas des solutions fiables en termes de prévention car leur présence n'est ni garantie, ni automatique. D'autre part, il a été très intéressant de constater que plusieurs mécaniciens, peintres et techniciens en esthétique utilisent déjà une méthode de travail qui tend à réduire les moments de force au niveau des membres supérieurs.

L'examen de l'utilisation des outils énergisés comme facteur potentiel pour les TMS-MS révéla que leur masse n'est pas la seule variable importante à considérer. D'une part, la masse moyenne des outils pneumatiques (clés à chocs, clés à rochet, principalement) est d'environ 1,5 kg alors que celui des outils électriques, comme les cireuses et polisseuses est de 3,75 kg. Cependant, ces derniers outils, plus lourds, sont principalement utilisés en esthétique où ils sont un avantage lorsque le travail se fait sur une surface horizontale, mais un inconvénient, à cause de leur masse, pour travailler sur une surface verticale. Les outils pneumatiques les plus lourds sont principalement utilisés lors le travail sur les camions. En ce qui concerne les atomiseurs, qui sont généralement légers et bien équilibrés pour peindre les surfaces verticales, ils deviennent très contraignants pour l'épaule et le poignet lorsqu'ils sont utilisés pour peindre le toit d'un véhicule. Finalement, les pièces manipulées par les mécaniciens se sont révélées les plus lourdes

que les outils. Les pièces mécaniques d'une masse supérieure à 10 kg ne sont pas rares et la masse des pneus montés sur jante varie de 13 kg à 22 kg. La manutention de ces pièces pose aussi le problème des TMS du rachis.

Ainsi, ce n'est pas tant une posture en particulier qui peut être un risque d'apparition de TMS-MS, mais l'obligation de garder, pour de longues périodes de temps, certaines postures, en particulier au niveau de l'épaule. Cette situation devient à risque même si un outil ou une pièce de masse minimale est maintenu. Le temps de maintien d'un outil dépend du travail à faire, mais aussi des performances de l'outil : en effet, un outil plus performant, qui travaille plus vite, minimisera le temps de maintien de postures contraignantes. Cette relation entre la tâche, l'outil et la posture lors du travail des peintres, carrossiers, installateurs et mécaniciens devient donc une piste intéressante à suivre pour de futures recherches.

7 RECOMMANDATIONS

Les recommandations qui suivent découlent du bilan général de cette étude exploratoire. On trouvera dans le matériel de valorisation issu de cette étude des pistes de solution davantage ciblées pour chacune des tâches étudiées.

Les observations au cours de cette étude préliminaire ont révélé certaines situations comportant un risque de lésion musculosquelettique, entre autres au niveau des épaules : il est recommandé que des actions d'information soient entreprises dans les meilleurs délais par le biais d'une activité de valorisation. À cet effet, ces actions :

- devraient mettre de l'avant certains principes de base de la biomécanique susceptibles de minimiser les risques de TMS-MS (par ex : le travail contre la gravité, notion de moment de force, ...) afin de généraliser leur usage;
- devraient viser les conseillers d'Auto Prévention, les établissements (comité de SST, employés, employeurs) et la formation en amont (centres de formation).

Les forces exercées par les travailleurs sur les outils ou les pièces mécaniques n'ont pu être mesurées sur le terrain au cours de l'étude préliminaire : il est recommandé de procéder en laboratoire à la mesure des forces appliquées lors de l'exécution de certaines tâches, de même qu'à la mesure de la réponse musculaire pour exercer ces tâches, afin de compléter les données sur l'origine possible des TMS-MS dans les garages. En particulier, il est recommandé :

- de procéder à des mesures de force appliquée et de réponse musculaire en laboratoire, dans un environnement exempt de la pression temporelle que l'on trouve dans les garages et ateliers, et propice au contrôle des différents facteurs pouvant affecter ce type de mesure;
- d'étudier plus spécifiquement le travail avec les boulonneuses et les sableuses pneumatiques ainsi que la peinture à l'atomiseur, sur différents plans de travail;
- d'étudier ces tâches en mode comparatif afin de déterminer une façon de faire qui soit le moins dommageable d'un point de vue biomécanique, à qualité égale.

Le temps de maintien en charge d'une posture, en particulier au niveau de l'épaule, peut être un risque de TMS-MS : il est recommandé de revoir la problématique des outils énergisés non plus seulement en termes de la masse de l'outil, mais également de ses performances. À ce titre, il serait intéressant de vérifier l'hypothèse qu'un outil plus performant (qui travaille plus vite) permet de réduire le temps de maintien d'une posture. En parallèle, le rôle de l'alimentation en air (pression, volume) sur la performance de l'outil pourrait également être étudié.

La problématique des outils pneumatiques bruyants et vibrants a bien été située dans le cadre du projet IRSST 99-381 « Caractérisation du bruit et des vibrations émis par les outils portatifs utilisés dans l'industrie de la réparation automobile » : il est recommandé de revisiter les données enregistrées sur vidéo au cours des séances d'observation de cette étude exploratoire afin de préciser la durée exacte d'exposition des travailleurs à ce type d'outil et ce, afin d'enrichir cette problématique. Les données utilisées dans ce rapport ne comprennent que le temps pendant lequel un outil énergisé était tenu en main, et non son temps d'utilisation. Cette évaluation de l'exposition pourrait faire l'objet d'une courte activité de recherche.

L'utilisation de la « force excessive » peut être un facteur important dans l'apparition des TMS-MS : plusieurs épisodes ont été observés au cours de cette étude, sans qu'il soit possible d'en évaluer la grandeur. Il est recommandé que ce risque fasse l'objet, sous une forme ou une autre, d'étude ou d'une attention particulière de la part des préventeurs ou de la communauté de chercheurs. L'utilisation de la force excessive peut se manifester, par exemple, par l'utilisation de coups de karaté avec les jambes pour démonter une roue, ou de la mobilisation de tout le corps pour agir sur une pièce mécanique. Également, le rôle des besoins en information visuelle et des divers appuis sur le véhicule qu'utilisent les travailleurs pourrait être étudié comme modulateurs de la posture.

BIBLIOGRAPHIE

- Association Internationale des Sécurités sociales (AISS). *Les machines portatives*, Mannheim, Section internationale "Protection-machines" de l'AISS pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, 53 p., ill., 1986.
- Aghazadeh F. et S. M. Waly. *A design and selection guide for hand held tools*. In: *Ergonomics in Manufacturing: Raising Productivity Through Workplace Improvement*, Edited by W. Karwowski and G. Salvendy. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, and Engineering & Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia. 1998, p. 65-86.
- Aptel, M. : Ergonomie des outils à main : Problématique et état de l'art. Les notes scientifiques et techniques de l'INRS # 168. Vandoeuvre, 1998, 148 p.
- Aptel, M., Cail, F et Aublet-Cuvelier, A. Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS) – Guide pour le préventeur. Guide INRS ED957, INRS, Paris, 2005, 94 pages.
- Armstrong, T. J., L. Punnett, et P. Ketner. *Subjective worker assessments of hand tools used in automobile assembly*. (Appréciation subjective par les travailleurs des outils et des machines portatives utilisés en assemblage automobile). American Industrial Hygiene Association Journal 50 (12):639-645, ill, 1989.
- Beauchamp, Y., Marchand, D., Galopin, M. et Thomas, M. Impact de l'utilisation des pistolets de soudage pourvus d'une buse d'aspiration sur l'activation, musculaire des membres supérieurs, la perception psychophysique et la qualité des assemblages soudés. Rapport IRSST R-152, Montréal, 1997, 32 pages.
- Bjoring, G. L., Johansson et G. M. Hagg. *Choice of Handle Characteristics for Pistol Grip Power Tools*. International Journal of Industrial Ergonomics 24 (6):647-656, 1999.
- Caple D. et J. Greig. *Powered hand tools: automotive industry intervention studies*. (Outils à main électriques : études d'intervention dans l'industrie automobile). Journal of Occupational Health and Safety Australia and New Zealand 9 (2):161-166, ill, 1993.
- Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J et Martin, J. *Occupational Biomechanics*. John Wiley & Sons, 1999, 579 p.
- Cloutier, Laurier. « Le profit net par vente tombe à 445\$ ». La Presse, 12 avril 2008, p. 10. <http://lapresseaffaires.cyberpresse.ca/article/20080412/LAINFORMER/804121100/5891/LAINFORMER01>
- Cochran D. J. et M. W. Riley. *The effects of handle shape and size on exerted forces*. Human Factors 28 (3):253-265, 1986.

- Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST). Dépôt de données central et régional. Mise à jour de juillet 2005. Traitement: Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST).
- Comité Sectoriel de Main-d'œuvre des services automobiles (CSMO). Bilan sectoriel de l'industrie des services automobiles. Octobre 2005, 111 pages. Document produit par FGC Conseil Inc sous la direction de Poirier, F.
http://www.csmo-auto.com/pdf/publications/bilansectoriel_final.pdf
- Courtney T.K. et Webster B.S.. *Disabling occupational morbidity in the United States*. J. Occ. and Env. Med., 41(1):60-69, 1999.
- Delp, S.L., Grierson, A.E. et Buchanan, T.S.. *Maximum isometric moments generated by the wrist muscles in flexion-extension and radial-ulnar deviation*. J. Biomechanics, 29(10):1371-1375, 1996.
- Diffrient, N., Tilley, A et Bardagjy, J. *Humanscale 1/2/3*. The MIT Press, Cambridge, USA. 1979
- Fernandez, J. E., J. B. Dahalan, et M. G. Klein. *Effect of Handle Diameter on Maximum Wrist Flexion and Extension*. In: *Advances in Industrial Ergonomics and Safety III*, Edited by W. Karwowski and J.W. Yates. Taylor & Francis, London, 1991, p. 351-357.
- Forcier, Lina; Beaugrand, Sylvie; Lortie, Monique; Lapointe, Claire; Lemaire, Jacques; Kuorinka, Ilkka; Duguay, Patrice; Lemay, François; Buckle, Peter. L'abc de l'utilisation d'un questionnaire sur la santé musculosquelettique : de la planification à la diffusion des résultats. Études et recherches / Guide technique IRSST RG-270, Montréal, 2001, 108 pages.
- Freivalds A. et J. Eklund. *Reaction torques and operator stress while using powered nutrunners*. Applied Ergonomics 24 (3):158-164, 1993.
- Gold J.E, Fulmer S. et Tak S.. *Ergonomic hazards in automotive service technicians*, in: *Meeting Diversity in Ergonomics*. Proceedings of the 16th Congress of the International Ergonomics Association, Maastricht, The Netherlands, 10-14 July 2006, Edited by R.N. Pikaar, E.A.P. Koningsveld and P.J.M. Settels. Elsevier, Amsterdam. Disponible sur CD-ROM, 2006.
- Holzbauer, K.R.S., Delp, S.L., Gold, G.E. et Murray, W.M. *Moment-generating capacity of upper limb muscles in health adults*. Journal of Biomechanics, 40: 2442 – 2449, 2007.
- HSE. *Power tools : how to reduce vibration health risks. Guide for employers. (Outils vibrants : comment réduire les risques pour la santé liés aux vibrations ? Guide à l'attention des employeurs)*, INDG338. Health and Safety Executive (HSE Books, PO Box 1999, Sudbury, Suffolk CO10 2WA, Royaume-Uni), 2001, 11 p., 2001.

- Kadefors, R., A. Areskoug, et S. Dahlman. *An approach to ergonomics evaluation of hand tools*. Applied Ergonomics 24 (3):203-211, 1993.
- Kant, I., Notermans, J.H.V et Borm, P.J.A. *Observations of working postures in garages using the Ovako Working Posture Analysing System (OWAS) and consequent workload reduction recommendations*. Ergonomics, 1990, 33(2):209-220
- Karhu, O., Kansil, P. et Kuorinka, I. *Correcting working postures in industry: a practical method for analysis*. Applied Ergonomics, 8, 199 – 201, 1977.
- Kuorinka, I. et Forcier, L., éd. *Work related musculoskeletal disorders (WMSDs) – A reference book for prevention*. Taylor & Francis, 1995, 421 p.
- Kilbom, A., L. Spering, et L. Wikstrom. *A model for ergonomic evaluation of work with hand tools*. In: *Advances in Industrial Ergonomics and Safety V*, Edited by R. Nielsen and K. Jorgensen. Taylor & Francis, London, 1993, p. 629-636.
- Kong, Y., K. A. Freivalds, et S. E. Kim. *Evaluation of handles in a maximum gripping task*. Ergonomics 47 (12):1350-1364, 2004.
- Konz, S. *Work design : Industrial ergonomics*. Publishing Horizons, Columbus (OH), 1987, 614 p.
- Lortie, M., J. Nastasia, et R. Comtois. *Pneumatic tool evaluation and purchasing policy*. In: *Ergonomics for Changing Work*. Proceedings of the Joint SELF-ACE Conference, Montreal, Quebec, 3-5 October 2001. Available in CD-ROM Format, 2001, p. 5.
- Marcotte, P., Oddo, R., Boutin, J., Boilley.; Nélisse, H., Boileau, P-E., Drouin, P., Sirard, C. et Daigle, R. *Industrie de la réparation automobile - Caractérisation du bruit et des vibrations émis par les outils portatifs. Études et recherches / Rapport R-554*, Montréal, IRSST, 2008, 111 pages
- Martin, B. J., T. J. Armstrong, et S. S. Ulin. *A conceptual model to analyze hand-tool selection and design processes*. In: *Advances in Occupational Ergonomics and Safety I*, Edited by A. Mital, H. Krueger, S. Kumar, M. Menozzi and J. Fernandez. International Society for Occupational Ergonomics and Safety, Cincinnati, Ohio, USA, Volume 1, 1996, p. 448-453.
- Mital A. et A. Kilbom. *Design, Selection and Use of Hand Tools to Alleviate Trauma of the Upper Extremities: Part I - Guidelines for the Practitioner*. International Journal of Industrial Ergonomics 10 (1 - 2):1-5, 1992.
- McGill, S. *Low-back disorders : Evidence-based prevention and rehabilitation*. Human Kinetics, Champaign (IL). 294 pages, 2007. ISBN 0-7360-4241-5
- Occhipinti, E et D. Colombini. *Assessment of exposure to repetitive upper limb movements: an IEA consensus document*. TUTB Newsletter, No. 11 – 12, Juin 1999, pp 22 – 26.

- Potvin, J. R., M. J. Agnew, et C. Ver Woert. *An ergonomic comparison of pneumatic and electrical pistol grip hand tools*. International Journal of Industrial Ergonomics 34 (6):467-478, 2004.
- Radwin R. G. et J. T. Haney. *An ergonomics guide to hand tools. (Guide ergonomique d'outils à main)*, An Ergonomics Guide. American Industrial Hygiene Association (AIHA, 2700 Prosperity Avenue, Suite 250, Fairfax, VA 22031, Etats-Unis), 1996, 39 p., ill., bibliogr. (En anglais), 1996.
- Radwin. R. G. Hand Tools: Design and Evaluation. In: *The Occupational Ergonomics Handbook*, Edited by W. Karwowski and W.S. Marras. CRC Press, Boca Raton, Florida. 1999, p. 851-863.
- Simoneau, S., St-Vincent, M et Chicoine, D. Les LATR : mieux les comprendre pour mieux les prévenir. ASP Métal-électrique et IRSST, 1996, 54 pages.
- Schlegel R. E. et R. Willcoxon. *An ergonomic evaluation of powered hand tool use in automobile assembly*. In: *Advances in Industrial Ergonomics and Safety I*, Edited by A. Mital. Taylor & Francis, London, 1989, p. 267-274.
- Semid, O. Identification et évaluation des facteurs de risques à l'origine des lésions musculo-squelettiques aux membres supérieurs dans le secteur des services à l'automobile. *Mémoire présenté à l'Université du Québec à Trois-Rivières comme exigence partielle de la Maîtrise en sécurité et Hygiène industrielle*, 2002. 89 pages.
- Ulin, S. S., S. H. Snook, et T. J. Armstrong. *Preferred tool shapes for various horizontal and vertical work locations*. Applied Occupational and Environmental Hygiene 7 (5):327-337, 1992.
- Wells, R., D. Berube, et A. Moore. *Hand, arm and shoulder loads and physical characteristics of mig welding guns*. In: Proceedings of the 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Toronto, Canada, August 15-19, 1994, Volume 2, 1994, p. 75-77
- Woodson, W.E. *Human factors design handbook*. McGraw-Hill, New York, 1981, 1047 pages.

ANNEXE A : OBSERVABLES UTILISÉS LORS DE L'ANALYSE

Pour les fins de cette étude préliminaire, les observables suivants ont été définis :

Posture générale :

Observables	Critères
Debout	Le travail, y compris les déplacements, se fait debout
Assis, accroupi ou à genoux	Le travail se fait assis, accroupi ou à genoux (un ou deux genoux au sol)

Position du bras :

Observables	Critères
Bras plus haut que les épaules	Un ou les deux bras sont à plus de 90 degrés par rapport au tronc
Bras à hauteur de poitrine	Un ou les deux bras sont entre 45 et 90 degrés par rapport au tronc
Bras le long du corps	Un ou les deux bras pendent le long du corps

NB – C'est le bras dans la position la plus problématique qui a été codé : si le travailleur observé avait un bras plus haut que les épaules et l'autre le long du corps, « Bras plus haut que les épaules » était codé. Il n'y avait pas d'observables pour le coude.

Position des poignets :

Observables	Critères
Neutre	Un ou les deux poignets pendent naturellement le long du corps, aucune préhension
Non - neutre	Présence d'un moment de force au niveau du poignet causé par la masse d'un outil, ou d'une force interne exercée et qui a une influence sur le poignet.

Position du cou :

Observables	Critères
Cou droit	Le cou est droit ou incliné ± 10 degrés, le travailleur regarde devant lui
Cou incliné vers l'arrière	Le cou est nettement incliné vers l'arrière, le travailleur regarde vers le haut
Cou incliné vers l'avant	Le cou est nettement incliné vers l'avant, le travailleur regarde vers le bas

Position du dos:

Observables	Critères
Dos droit	Le dos est droit ou incliné \pm dix degrés
Dos non droit (incliné)	Inclinaison du dos de plus de 10 degrés vers l'avant ou l'arrière.
Autre	Toute autre position du dos (torsion, flexion latérale, ...)

Force musculaire déployée:

Observables	Critères
Force horizontale	La force musculaire est appliquée à l'horizontal (ex. poncer manuellement une portière)
Force contre la gravité	La force musculaire est utilisée pour maintenir une charge contre la gravité (ex. transporter un alternateur de l'établi au compartiment moteur)
Force contre la gravité et horizontale	La force musculaire est utilisée simultanément contre la gravité et horizontalement (ex. soutenir un outil pneumatique tout en poussant sur celui-ci)
Aucune (muscles au repos)	Aucune force musculaire n'est utilisée.

Outil ou pièce:

Observables	Critères
Outil manuel	Un outil manuel est présent dans une ou l'autre des mains (ex. tournevis, pince ...)
Outil énergisé	Un outil énergisé (électrique ou pneumatique) est présent dans une ou l'autre des mains (comprend la torche acétylénique)
Pièce mécanique	Une pièce de moteur ou de suspension, comprenant les vis ou les boulons, est présente dans une ou l'autre des mains.
Autre	Il n'y a rien qui ait une masse significative dans les mains du travailleur (ex. essuie-tout, papier sablé...)

Activité :

Les activités ont varié évidemment d'une tâche observée à l'autre. Par conséquent, en plus d'observables communs à toutes les tâches, des observables spécifiques ont été définis.

Observables communs, surtout pour la mécanique

- « Chauffer ou souder » : pour toutes les situations observées, le remplacement des pièces défectueuses implique une utilisation de la torche oxyacétylénique. Celle-ci est utilisée pour dégriffer les boulons rouillés ou au besoin, pour les couper, ou encore, pour découper la pièce à remplacer.
- « Nettoyer » correspond à toutes les actions visant à enlever les saletés d'une pièce. Cette action peut être faite à l'aide d'une toupie, de la buse à air, d'un linge humide ou d'un contenant pulvérisateur;
- « Pomper essence » est une action spécifique à la quatrième observation, afin de vider le réservoir à essence du véhicule pour pouvoir procéder au changement de la pompe;
- « Poser et enlever » correspond au maintien d'une pièce, et aux actions sur celle-ci, sauf visser et dévisser;

- « Sabler » consiste à ôter un surplus de matériel, habituellement avec une meuleuse pneumatique;
- « Travail sur machine spécialisée » correspond au travail fait sur des outils spécialisés, comme pour le démonte-pneu, le balanceur de roue, la plieuse et l'évaseuse de tuyau d'échappement, etc
- « Travail sur pièce » correspond au travail non spécifique sur une pièce principale devant être réparée ou manipulée longuement pendant la situation observée, cette pièce pouvant être sur un établi, au sol ou dans le compartiment moteur, à l'exclusion de « Visser et dévisser »;
- « Travail sur moteur » : tout travail non spécifique fait directement sur le moteur, à l'exclusion de « Visser et dévisser »;
- « Visser et dévisser » correspond à une action sur un écrou à l'aide des mains, d'un outil manuel ou énergisé;
- « En déplacement » le mécanicien est en déplacement à l'extérieur de son aire immédiate de travail, par exemple, pour aller chercher une pièce, un outil ou une information.
- « Autre » toute activité non spécifiquement identifiée dans la liste précédente.

Observables spécifiques

- pour le travail sous le tableau de bord :

- « Filage » correspond à tout travail exécuté sur les fils, par exemple, de dénudage ou dégainage, qui consiste à ôter l'isolant sur le conducteur métallique du fil.
- « Mise de ruban » est la pose d'un ruban gommé isolant, soit pour protéger une soudure, une jonction ou une épissure, ou encore pour réunir ensemble plusieurs fils afin d'en faire une couette.
- « Souder » comprend l'union de deux ou plusieurs fils à l'aide d'une goutte de métal en fusion (implique l'utilisation d'un fer à souder ou d'une petite torche à gaz); en S2 et S3, la jonction des fils se fait par épissure et non par soudure.

- pour l'esthétique :

- « Arroser » correspond à l'arrosage du véhicule à l'aide d'un pistolet à eau ainsi que le séchage avec une buse à air;
- « Cirer » correspond à l'application de cire protectrice soit directement sur le véhicule soit sur le tampon de la cireuse, de même que le lissage de cette cire à l'aide d'une cireuse orbitale sur les grandes surfaces ou à la main pour les endroits que la cireuse ne pouvait atteindre;
- « Laver, frotter et balayouse » correspondent aux diverses activités de lavage du véhicule, y compris la décontamination de la carrosserie avec des produits spéciaux, le lavage complet du véhicule avec un chiffon, le lavage des vitres à l'intérieur et celui des

tapis à la vapeur, le lavage du moteur avec des produits spécialisés et le séchage de l'intérieur du véhicule à l'aide d'une chaufferette à air soufflé ; exclut les sous-tâches de lavage de séchage faites avec de l'eau ou de l'air sous pression, comprises dans « Arroser ».

« Polir » correspond à l'application d'un produit de polissage (*compound*) sur le tampon de la polisseuse et le maintien de celle-ci en contact avec la carrosserie;

- pour la peinture :

« Nettoyer » correspond au nettoyage des pièces à peindre afin d'enlever toutes la poussière de scellant présente sur la surface à peindre, avec ou sans l'utilisation d'air comprimé;

« Peindre » correspond à l'application de couleur ou de scellant avec le l'atomiseur;

« Préparation du véhicule » comprend toutes les opérations préalables à l'application de peinture, comme l'application de savon, la mise de papier sur le véhicule et/ou de plastique sur le véhicule de manière à le protéger des particules de peinture et de scellant en suspension.

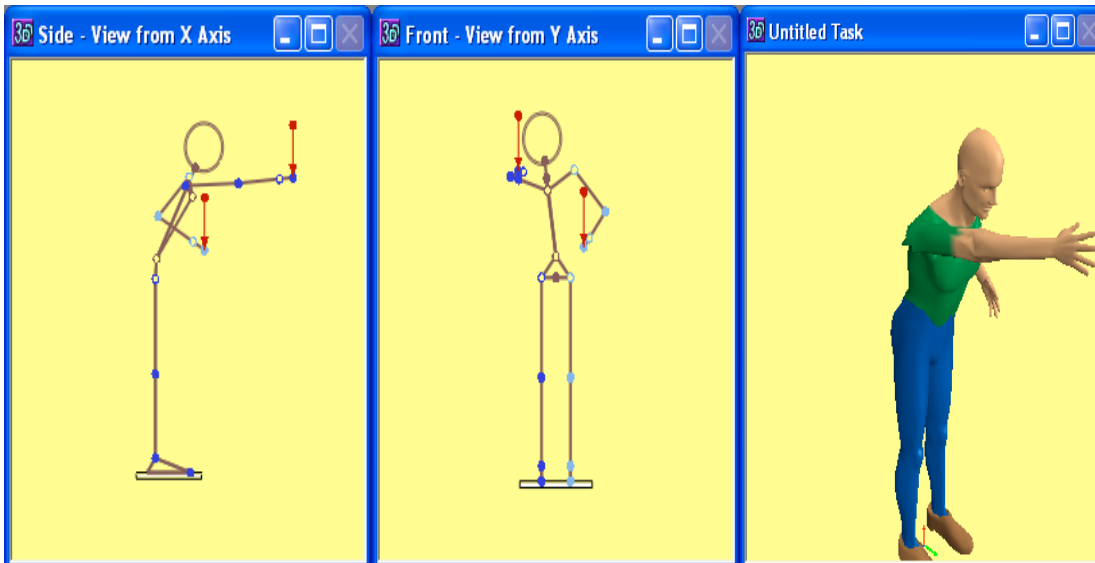
- pour le ponçage :

« Arroser » correspond à l'arrosage du véhicule à l'aide d'un pistolet à eau ou d'une bouteille à gicleur. En fait, il s'agit de rincer le véhicule manuellement ou à l'aide d'une buse à air, ou d'appliquer un produit facilitant le ponçage du scellant;

« Préparation du véhicule » représente le lavage de la section poncée afin que le véhicule soit prêt à être peint. Cependant, le lavage de la section poncée peut être fait seulement avec de l'eau ou avec un produit nettoyant;

« Poncer » correspond à toutes les actions de ponçage sans regard au type de ponçage effectué, puisqu'il est constant pour une même observation.

ANNEXE B : REPRESENTATION DU MODELE UTILISE POUR LES CALCULS DE MOMENTS DE FORCE



3DSSPP - Anthropometry

Description
 Company: Unknown Company, Analyst: Unknown, Date: 01/13/10
 Task: Untitled Task
 Gender: Male, Percentile: 50th, Height: 175.5 cm, Weight: 80.0 Kg
 Comment:

Link	Length (cm)	CG-to-Proximal End Distance (cm)	Weight (N)
Hand Grip Center:	8.8	6.9	4.9
Hand With Fingers:	19.0	6.9	4.9
Lower Arm:	26.5	11.1	13.6
Upper Arm:	32.9	17.4	22.5

3DSSPP - Moments

Description
 Company: Unknown Company, Analyst: Unknown, Date: 01/13/10
 Task: Untitled Task
 Gender: Male, Percentile: 50th, Height: 175.5 cm, Weight: 80.0 Kg
 Comment:

Moments (N-m)

	Left			Right		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Hand:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wrist:	-1.0	0.5	0.0	-4.0	1.4	0.0
Elbow:	-5.4	2.5	0.0	-17.9	-2.9	0
Shoulder:	2.3	-5.2	0	-42.2	0.8	0.0