

2013

Impacts biomécaniques et ergonomiques de la manutention chez les travailleurs obèses

Philippe Corbeil
Université Laval

André Plamondon
IRSST

Normand Teasdale
Université Laval

Grant Handrigan
Université Laval

Jasmin Ten Have
Université Laval

See next page for additional authors

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Corbeil, P., Plamondon, A., Teasdale, N., Handrigan, G., Have, J. T. et Manzerolle, N. (2013). *Impacts biomécaniques et ergonomiques de la manutention chez les travailleurs obèses* (Rapport n° R-781). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

Auteurs

Philippe Corbeil, André Plamondon, Normand Teasdale, Grant Handrigan, Jasmin Ten Have, and Nancy Manzerolle

Prévention durable en SST et environnement de travail

Études et recherches

RAPPORT R-781



Impacts biomécaniques et ergonomiques de la manutention chez les travailleurs obèses

*Philippe Corbeil
André Plamondon
Normand Teasdale
Grant Handrigan
Jasmin Ten Have
Nancy Manzerolle*



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

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

Mission

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

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

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

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission 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 : www.csst.qc.ca/AbonnementPAT

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2013
ISBN : 978-2-89631-674-8 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
juin 2013



Prévention durable en SST et environnement de travail

Études et recherches

RAPPORT R-781

Impacts biomécaniques et ergonomiques de la manutention chez les travailleurs obèses

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.

*Philippe Corbeil¹, André Plamondon²,
Normand Teasdale¹, Grant Handrigan¹,
Jasmin Ten Have¹, Nancy Manzerolle¹*

¹Département de kinésiologie, Université Laval

²Prévention des problématiques de SST et réadaptation, 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

Les auteurs tiennent à remercier les professionnels scientifiques de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail qui, par leur compétence, ont grandement facilité l'acquisition et le traitement des données nécessaires à cette étude: Sophie Bellefeuille, Cynthia Appleby, Erik Salazar, Hakim Mecheri et Christian Larue. Merci également à tous les manutentionnaires volontaires pour leur précieuse collaboration ainsi qu'aux entreprises qui ont libéré ces travailleurs.

SOMMAIRE

L'obésité est un problème émergent qui semble s'immiscer dans les problématiques de santé et de sécurité du travail. La prévalence de blessures musculo-squelettiques chez les individus obèses et les coûts indirects (non médicaux) sont plus élevés que ceux des travailleurs ayant un poids santé. Sachant qu'une hausse soutenue du taux d'obésité chez les travailleurs est observée au Canada, il est important de s'intéresser à la problématique obésité-travail. Les risques de blessures au dos lors d'activités de travail restent aujourd'hui très élevés et la profession qui génère le plus d'affections demeure encore celle de manutentionnaire. Peu d'évidence existe sur l'impact de l'obésité sur les façons d'effectuer les tâches de manutention. L'objectif de cette étude est d'analyser les stratégies de travail des manutentionnaires obèses et de les comparer à celles des manutentionnaires ayant un poids santé.

Les impacts biomécaniques et ergonomiques de 17 manutentionnaires obèses et de 20 manutentionnaires ayant un poids santé ont été évalués en laboratoire. Les tâches étudiées consistaient à des transferts de caisses d'un convoyeur à un diable et vice versa. Le poids de la charge, la hauteur de saisie et de dépôt, de même que la configuration de l'aire de travail ont été modifiés pour examiner les façons de faire des participants. Plusieurs mesures biomécaniques, incluant notamment les moments de force au dos, la posture et le déplacement des caisses, ont été prises afin de juger l'aspect sécuritaire et efficient des méthodes de manutention observées.

Les résultats démontrent clairement que les facteurs anthropométriques des manutentionnaires obèses induisent un chargement lombaire maximal nettement plus important (>23 %) lors du levage et lors du dépôt de caisses sur un diable ou sur un convoyeur. Peu de différences ont été observées au niveau des attitudes posturales à cause d'une variabilité interindividu très présente au sein des deux groupes de participants. Le poids des manutentionnaires a permis d'expliquer 57 % de la variation du moment de force maximal transverse au dos lors du soulèvement d'une caisse du sol.

Ces résultats suggèrent que la surcharge pondérale d'un travailleur obèse entraîne indubitablement un effet additif significatif sur les structures musculo-squelettiques du dos. Cet impact biomécanique expose ainsi les manutentionnaires obèses à un risque plus important de développer un trouble musculo-squelettique lors de la manutention de charges.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	III
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
1 INTRODUCTION	1
1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail et objectif	1
1.2 Hausse soutenue de l'obésité dans la population et chez les travailleurs.....	1
1.3 L'obésité un facteur de risque émergent.....	2
1.4 Hypothèses sur les mécanismes.....	4
1.5 Objectif.....	6
2 MÉTHODOLOGIE	7
2.1 Participants.....	7
2.2 Équipements	7
2.3 Protocole expérimental	8
2.3.1 Partie 1: Caractéristiques anthropométriques et capacités physiques.....	8
2.3.2 Partie 2: Tâche de manutention.....	9
2.4 Analyse des données.....	11
2.5 Analyses statistiques.....	13
3 RÉSULTATS	14
3.1 Phase d'aller vers le diable	15
3.1.1 Moments de force maximaux au dos	16
3.1.2 Angles à l'instant du moment de force résultant maximal	19
3.1.3 Distance et trajectoire de la caisse et hauteur du centre de gravité.....	21
3.2 Phase de retour vers le convoyeur	23
3.2.1 Moments de force maximaux au dos	24
3.2.2 Angles à l'instant du moment de force résultant maximal	25
3.2.3 Distance et trajectoire de la caisse et hauteur du centre de gravité.....	29
3.3 Régressions linéaires	30
3.3.1 Régression linéaire simple	30
3.3.2 Régression linéaire multiple	31
4 DISCUSSION	32
4.1 Anthropométrie et capacité physique.....	32
4.2 Le chargement au dos	33
4.3 Le bras de résistance	35
4.4 La posture	36

4.5	Modèle de prédiction.....	37
4.6	Limites de l'étude	38
4.7	Conclusion.....	39
5	BIBLIOGRAPHIE	40
	ANNEXES	45
	Annexe A: Paramètres segmentaires.....	45
	Annexe B: Définition.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Variables indépendantes des analyses portant sur les déplacements des caisses du convoyeur au diable et sur ceux du diable au convoyeur	13
Tableau 3.1 Moyenne et écart-type des données démographiques.....	14
Tableau 3.2 Moyenne et écart-type des données anthropométriques	14
Tableau 3.3 Durée moyenne et écart type lors de la phase d’aller: déplacement des caisses du convoyeur au diable.....	15
Tableau 3.4 Moyenne et écart type des moments de force maximaux au dos lors du déplacement des boîtes vers le diable.....	17
Tableau 3.5 Moyenne et écart type des angles observés à l’instant du moment de force résultant maximal lors du déplacement des boîtes vers le diable	21
Tableau 3.6 Moyenne et écart type de la distance et de la trajectoire de la caisse, et de la hauteur du centre de gravité lors du déplacement des caisses vers le diable ...	23
Tableau 3.7 Durée moyenne et écart type lors de la phase de retour: déplacement des caisses du diable au convoyeur.....	23
Tableau 3.8 Moyenne et écart type des moments maximaux au dos lors du déplacement des boîtes vers le convoyeur.....	27
Tableau 3.9 Moyenne et écart type des angles observés à l’instant du moment de force résultant maximal lors du déplacement des boîtes vers le convoyeur.....	28
Tableau 3.10 Moyenne et écart type de la distance et de la trajectoire de la caisse, et hauteur du centre de gravité lors du déplacement des caisses vers le convoyeur.	29
Tableau 3.11 Modèle de régression multiple retenu pour prédire la variabilité du moment de force maximal transverse au dos lors du soulèvement.....	31
Tableau A.1 - Moyenne et écart type de la masse de chacun des segments.....	45
Tableau A.2 - Moyenne et écart type du centre de gravité en x, y et z de chacun des segments.	46
Tableau A.3 - Moyenne et écart type du moment d’inertie de chacun des segments.	47

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** La figure illustre le coût moyen des indemnités journalières, des réclamations liées aux coûts médicaux nécessitant des soins médicaux sérieux et non routiniers, et le nombre de journées perdues par réclamation par 100 travailleurs considérés à temps plein, en fonction des catégories d'IMC..... 3
- Figure 2.1** Test général de force musculaire isométrique maximale de soulèvement 9
- Figure 2.2** Illustration du plateau expérimental de la condition à 90 °. Le participant effectue un transfert du convoyeur vers le diable 11
- Figure 2.3** Découpage de l'activité de manutention des caisses du convoyeur au diable. Le même découpage est appliqué aux déplacements de caisses du diable vers le convoyeur (phase de retour vers le convoyeur)..... 12
- Figure 3.1** Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) du moment de force maximal selon l'axe transverse (A) et moment de force maximal asymétrique (B) observée à travers les différentes conditions de manutention 18
- Figure 3.2** Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) de l'angle de flexion lombaire (A) et de l'angle de flexion du genou droit (B) au moment de force maximal résultant observée à travers les différentes conditions de manutention 20
- Figure 3.3** Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) de la distance horizontale entre la caisse et L5/S1 au moment de force maximal résultant observée à travers les différentes conditions de manutention 22
- Figure 3.4** Angle de flexion lombaire et angle de flexion au genou à l'instant du moment de force maximal résultant observée lors du levage de la caisse de 23 kg la plus haute sur le diable (L-C4, 'A') et lors du levage de la caisse de 23 kg le plus près du sol sur le diable (L-C1, 'B') en route vers le convoyeur. 26
- Figure 3.5** Régression linéaire entre le poids du manutentionnaire et le moment de force maximal selon l'axe transverse (A) et asymétrique (B) et celle entre l'IMC et le moment de force maximal selon l'axe transverse (C) et asymétrique (D). 30

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail et objectif

L'obésité est un problème émergent qui apparaît amplifier les problématiques de santé et sécurité du travail. En suivant plus d'une dizaine de milliers de travailleurs pendant près de sept ans, Ostbye et coll. (2007) ont montré que le nombre de journées de travail perdues par incapacité temporaire était cinq fois plus élevé chez les travailleurs obèses. Ces incapacités sont dues à des blessures qui ont lieu sur le lieu de travail, incluant notamment des *troubles musculo-squelettiques* au niveau du dos. Sachant qu'une hausse soutenue du taux d'obésité chez les travailleurs est observée au Canada, il est important de s'intéresser à cette problématique obésité-travail. Les risques de blessures au dos lors d'activités de travail restent aujourd'hui très élevés et la profession qui génère le plus d'affections demeure celle de manutentionnaire. Peu d'évidence existe sur l'impact de l'obésité sur les façons d'effectuer les tâches de manutention.

1.2 Hausse soutenue de l'obésité dans la population et chez les travailleurs

L'obésité et l'embonpoint de la population montrent une hausse rapide au Québec. Le terme « épidémie » généralement réservé aux maladies contagieuses est utilisé par l'Organisation mondiale de la santé pour qualifier cet accroissement soudain et rapide du poids des populations. Cette épidémie mondiale, qui frappe tous les pays occidentaux, n'épargne pas le Québec. En 2003, 14 % des Québécois souffraient d'obésité (indice de masse corporelle (IMC¹ ≥ 30) et 33 % affichaient de l'embonpoint ($25 \leq \text{IMC} < 30$) (Mongeau et coll., 2005). La prévalence de l'excès de poids et de l'obésité chez les adultes québécois est passée de 43 % en 1990 à 56 % en 2004 (Audet, 2007). Ce qui est inquiétant, c'est que les personnes qui ont un excès de poids tendent à devenir obèses avec le temps. Ainsi, près du quart des personnes qui avaient connu un excès de poids étaient devenues obèses après huit ans (Le Petit et Berthelot, 2005).

En 2005, plus de deux millions de travailleurs canadiens âgés de 18 à 64 ans étaient obèses. L'obésité chez les travailleurs canadiens a augmenté, passant de 12,5 % au milieu des années 1990 à 15,7 % en 2005. Les taux de prévalence de l'obésité après ajustement en fonction de l'âge chez les personnes de 18 à 64 ans occupant un emploi de col bleu est de 19,2 % chez les hommes et de 16,1 % chez les femmes. La prévalence de l'obésité était aussi plus élevée chez les travailleurs âgés (55 à 64 ans): 17 % en 1994-1995, 19 % en 2000-2001 et 21 % en 2005. De

¹ IMC = indice de masse corporelle. L'IMC permet d'estimer la corpulence d'une personne. Cet indice est calculé en divisant le poids de l'individu en kilogramme par sa taille en mètre élevée au carré.

même, par rapport aux autres travailleurs, le taux d'obésité était plus élevé chez les hommes dont les activités courantes ou les habitudes de travail comportaient l'exécution de tâches exténuantes ou le transport de charges très lourdes. En outre, les hommes obèses étaient plus susceptibles que leurs collègues ayant un poids normal d'indiquer que leur travail exigeait beaucoup d'efforts physiques.

1.3 L'obésité un facteur de risque émergent

Les travailleurs manutentionnaires jouent un rôle essentiel dans l'économie mondiale, mais plusieurs d'entre eux souffrent de maladies ou de blessures liées à la nature physique de leur travail. D'ailleurs, il existe une relation jugée modérée à élevée entre la manutention manuelle et les blessures au dos (Liira et coll., 1996; Magnusson et coll., 1996; Bernard, 1997; Burdorf et Sorock, 1997; Gardner et coll., 1999; Kuiper et coll., 1999; Hoogendoorn et coll., 2000; Vingard et Nachemson, 2000; 2001). Le fait d'effectuer fréquemment des mouvements de flexion et de torsion du tronc ainsi que de soulever des objets lourds augmenterait les risques de lésions au dos. Les causes ne sont pas bien identifiées, mais d'après le National Research Council (2001), il existe une relation claire entre les lésions au dos et la charge mécanique imposée lors de travail de manutention. Ainsi, la charge mécanique sera tolérée dans la mesure où la capacité des tissus sera suffisante pour résister aux surcharges ou encore pour s'adapter à des charges internes de nature continue. Dans le cas où les charges internes excèdent la capacité de l'individu ou l'habileté de ce dernier à s'adapter, le risque de rupture ou de fatigue des tissus est élevé et cela pourrait occasionner la perception d'inconfort, la présence de douleur, et mener à une incapacité fonctionnelle si la situation n'est pas corrigée (National Research Council, 2001). Craig et coll. (2006) ont montré, à l'aide d'un modèle de régression multivariée, une association entre l'occurrence élevée de blessures subies au travail par des manutentionnaires (n=442) et certains facteurs de risque individuels qui ne sont pas *a priori* liés au travail (Pollack et Cheskin, 2007). Parmi les cinq facteurs de risque identifiés dans l'analyse multivariée, notons ceux liés à la faible capacité aérobie du travailleur et à la présence d'un pourcentage élevé de masse grasse du travailleur. Dans une autre étude réalisée auprès de 7,690 travailleurs de l'industrie américaine de l'aluminium, parmi les 2,221 employés qui ont subi au moins une blessure, 85 % d'entre eux étaient classifiés comme étant en surplus de poids ou obèses. Ils ont calculé que les chances de blessure chez les individus obèses ($30 \leq \text{IMC} < 40$) étaient **2,21** fois plus élevées que celles des travailleurs avec un poids santé ($18,5 \leq \text{IMC} < 25$) (Pollack et coll., 2007). En plus de cette prévalence élevée de blessures, plusieurs auteurs rapportent que les coûts indirects (non médicaux) sont plus élevés chez les travailleurs obèses (Finkelstein et coll., 2007; Ostbye et coll., 2007; Trogdon et coll., 2008). Les résultats d'une méta-analyse montrent que les travailleurs obèses ont un taux d'absentéisme dû à la maladie, aux blessures ou à une invalidité plus élevé que les travailleurs non-obèses (Trogdon et coll., 2008). En suivant 11,728 employés pendant près de sept ans, Ostbye et coll. (2007) ont montré que plus l'IMC était élevé, plus les coûts

médicaux augmentaient. Un lien de même nature a été observé pour le coût des indemnités journalières (figure 1).

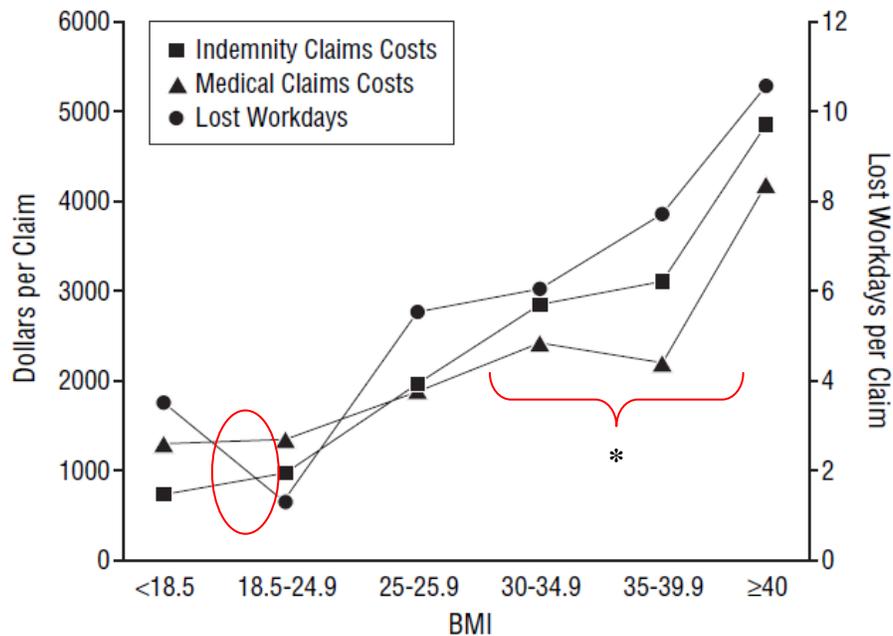


Figure 1 La figure illustre le coût moyen des indemnités journalières, des réclamations liées aux coûts médicaux, et le nombre de journées perdues par réclamation par 100 travailleurs considérés à temps plein, en fonction des catégories d'IMC.

Les coûts sont en dollars américains. La zone encadrée regroupe les valeurs moyennes observées chez les travailleurs avec un poids santé et l'astérisque regroupe les catégories de travailleurs obèses. Image tirée de l'étude de Ostbye et coll. (2007).

De plus, le nombre de journées de travail perdues pour incapacité temporaire serait cinq fois plus élevé chez les obèses de catégorie 1 ($30 \leq \text{IMC} < 35$) que chez leurs collègues de poids santé. Le ratio est de huit à 13 fois plus élevé pour les obèses avec un IMC supérieur à 35. Ces incapacités sont dues à des blessures qui ont lieu sur le lieu de travail, incluant notamment des TMS au niveau du dos (Ostbye et coll., 2007).

Rappelons qu'au Québec, ce sont les manutentionnaires qui ont généré le plus d'affections vertébrales ($n=3743$). On compte au Québec 36 650 personnes dont le titre d'emploi est « manutentionnaire » (classe générale: Métiers, transport et machinerie) dont 89 % sont des hommes (32 695) (Statistique Canada, 2008). Bien que le nombre d'affections vertébrales n'ait cessé de décroître, soit une baisse relative de 16,0 % du nombre d'affections pour la période d'observation 2008-2011 (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, 2012), l'indemnité de remplacement du revenu (IRR) moyenne en 2011 se situait à 4 140 \$, soit 295 \$ de plus qu'en 2008. Pour l'année financière 2008 de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST), le coût total pour les affections vertébrales atteignait la somme de

540,5 millions de dollars comparativement à 425,6 M\$ en 2000.

1.4 Hypothèses sur les mécanismes

Tel que spécifié dans une revue systémique publiée en 2007, peu d'études se sont intéressées aux mécanismes expliquant l'association entre l'obésité et la prévalence élevée de blessures subies au travail (Pollack et Cheskin, 2007). Les explications reposent sur certaines hypothèses qui demeurent à être validées.

L'apnée du sommeil, l'envie de dormir et la fatigue peuvent avoir un impact sur le niveau de vigilance et la capacité de traitement de l'information, et ainsi être associées à un risque élevé de blessure en situation de travail. Dans les cas extrêmes d'obésité ($IMC \geq 40$), certains auteurs rapportent que ceux-ci sont « trop fatigués » ou « épuisés » pour continuer à travailler pendant de longues périodes (Duval et coll., 2006). Un autre mécanisme suggéré est lié à la santé parfois précaire des individus obèses et à l'usage de médicaments pour contrôler des problèmes de santé (diabète, maladies cardiaques et pulmonaires, etc.) (Gilmore et coll., 1996).

Une altération des capacités fonctionnelles induite par un surplus de poids pourrait également expliquer cette association. Les capacités fonctionnelles se définissent par notre capacité à réaliser les activités normales de la vie quotidienne. Notre répertoire de mouvements exécutés au quotidien repose sur la maîtrise d'activités de base, telles que la capacité de se tenir en équilibre et de se déplacer. L'exécution de ces tâches est faite de manière répétitive tout au long d'une journée de travail. Des études en laboratoire comparant le contrôle de l'équilibre d'individus obèses et à ceux de poids santé montrent une majoration des déplacements du corps dans la tâche de stabilisation des oscillations du corps et une demande accrue au regard de l'effort déployé pour effectuer cette tâche (Handrigan et coll., 2010a; Handrigan et coll., 2010b; Handrigan et coll., 2012; Corbeil et coll., 2001; Hue et coll., 2007). Une perte de poids chez des individus obèses amène une amélioration immédiate de la capacité à maintenir l'équilibre par une réduction des oscillations de leur corps (Teasdale et coll., 2007). Cette demande accrue pour contrôler leur équilibre affecte aussi leur capacité à effectuer des tâches demandant rapidité et précision des mains. En comparant des individus obèses à d'autres de poids santé, Berrigan et coll. (2006) ont montré que lorsqu'on leur demandait d'effectuer en position debout des tâches de pointage vers des cibles situées à l'intérieur ou à l'extérieur de leur zone de préhension, les individus obèses étaient plus lents et moins précis que des sujets ayant un poids santé. Ces différences étaient exacerbées lorsque des mouvements plus précis étaient nécessaires. Ces différences étaient absentes lorsque les sujets réalisaient la tâche en position assise. Ces résultats signifient que des contraintes additionnelles sur l'équilibre imposées par un surplus de poids pourraient compromettre la précision de mouvements de saisie et de pointage, du fait que des mouvements rapides peuvent seulement être accomplis au détriment d'une plus grande

variabilité dans le mouvement exécuté (Berrigan et coll., 2006), et donc, d'une erreur plus importante de pointage.

Les capacités locomotrices sont également affectées par un surplus de poids. Ainsi, pour les personnes présentant un surcharge pondérale, on observe une diminution de la vitesse de marche et de la longueur de pas, et écartement plus prononcé des pieds (McGraw et coll., 2000; de Souza et coll., 2005). Par ailleurs, le coût métabolique en énergie (exprimé en W/kg), qui est en partie déterminé par le poids du corps qui doit être déplacé lors de la marche, est 10 % plus important (par kg) chez les individus obèses que ceux ayant un poids santé. Le pourcentage de gras explique 43 % de la variance du coût métabolique estimé alors que la distribution de la masse selon la morphologie de l'individu n'est pas associée significativement à celle-ci (Browning et coll., 2006).

La réduction de la performance musculaire aérobie (Mattsson et coll., 1997; Hulens et coll., 2001) et anaérobie (Lafortuna et coll., 2002; Sartorio et coll., 2004) a également été rapportée comme pouvant expliquer une réduction substantielle de leurs capacités de travail et de l'accomplissement d'activités de base de la vie quotidienne (Mattsson et coll., 1997). Par exemple, une étude a montré que le surplus de poids des travailleurs d'un service d'urgence aux États-Unis affecte la tolérance de ces individus à l'exercice, alors que 7 % de ceux qui ont un surplus de poids et 42 % des travailleurs obèses n'atteignent pas le critère minimum de 12 METS², basé sur les recommandations d'experts concernant les préalables pour accomplir sans risque les tâches de pompier (National Fire Protection Association (2007) cité dans Tsismenakis et coll., 2009). Plus l'indice de masse corporelle est élevé, plus grand est le risque associé aux maladies cardio-vasculaires, plus faibles sont les capacités fonctionnelles (Tsismenakis et coll., 2009) et d'équilibre (Hue et coll., 2007; Hue et coll., 2008; Tsismenakis et coll., 2009), et plus la perception de l'effort et l'accumulation de lactate dans le sang (indicateurs de fatigue) sont élevées lors de tests comportant des déplacements de charges lourdes (Barnekow-Bergkvist et coll., 2004).

Deux autres mécanismes, pouvant expliquer l'association entre les blessures et l'obésité, sont en lien avec l'ergonomie et les équipements de protection. L'individu avec un surplus de poids pourrait être porté à ne pas utiliser un équipement de protection (ou en faire une utilisation inadéquate et moins régulière) à cause d'un manque de confort et un format inadapté à ses dimensions anthropométriques. Les postes de travail peuvent également être « désadaptés » aux circonférences du corps plus importantes chez l'individu obèse. Des considérations liées à la charge cognitive et à l'organisation du travail peuvent aussi affecter la condition de travailleurs obèses.

²Équivalent métabolique = MET : Exprime le ratio entre la consommation d'énergie au cours de l'effort et la consommation d'énergie au repos

Enfin, en se basant sur la mécanique classique ou newtonienne, plus la surcharge pondérale au niveau du tronc est grande, plus le chargement externe résultant sur le système musculo-squelettique risque d'être important. Dans cette optique, il se peut que les manutentionnaires aient développé des façons de faire afin de réduire ou décompenser ces chargements externes. Par exemple, certains manutentionnaires pourraient opter pour des façons de faire sécuritaires, c'est-à-dire assurer en premier lieu l'intégrité du dos; alors que d'autres pourraient choisir des façons de faire performantes visant à améliorer la productivité et la qualité de l'empilement. Cette dernière hypothèse a été testée dans la présente étude.

1.5 Objectif

L'objectif de cette recherche est de comparer les stratégies de manutentionnaires obèses et de poids santé. L'hypothèse générale de la recherche est que les manutentionnaires obèses ($30 \leq \text{IMC} < 35$) adopteront en majorité des façons de faire sécuritaires, évaluées principalement à partir des variables qui définissent un chargement au dos comparable à celui des manutentionnaires de poids santé ($18,5 \leq \text{IMC} < 25$). Les données recueillies dans cette étude sont comparées à celles colligées lors du projet expert/novice (099-367) avec des sujets masculins.

2 METHODOLOGIE

2.1 Participants

Dix-sept (17) manutentionnaires-hommes obèses³ âgés de 22 à 52 ans (taille: moyenne = 1,74 m; étendue = 1,60 à 1,81 m; poids: moyenne = 95,4 kg; étendue = 75,8 à 107,3 kg; IMC: moyenne = 31,4 kg·m⁻²; étendue = 29,6 à 34,6 kg·m⁻²) et 20 manutentionnaires avec un poids santé âgés de 18 à 50 ans (taille: moyenne = 1,75 m, étendue = 1,62 à 1,85 m; poids: moyenne = 67,5 kg, étendue = 55,2 à 81,8 kg; IMC: moyenne 21,90 kg·m⁻², étendue = 19,8 à 21,9 kg·m⁻²) ont été inclus dans cette étude (tableaux 3.1 et 3.2).

Les participants sélectionnés étaient familiers avec les tâches de manutention qui sont proposées dans la présente étude (boîtes de dimension raisonnable, espace non restreint, etc.). Le recrutement des sujets s'est réalisé sur une période de huit mois au moyen d'affiches et par le biais d'agences de placement. Les critères d'inclusion des participants étaient les suivants: préposé à la manutention (comme tâche principale), faible fréquence de blessures et exempt de blessures dans la dernière année, et avoir plus d'un mois d'expérience.

2.2 Équipements

Les forces externes aux pieds exercées lors des tâches de manutention ont été obtenues par l'intermédiaire d'une plate-forme de force élargie (1,90 x 1,40) montée sur six miniplates-formes AMTI (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts). Les signaux des plates-formes de force ont été acquis à une fréquence de 1024 Hz et ensuite filtrés à l'aide d'un filtre passe-bas de type Butterworth de 2e ordre à phase nulle (fréquence de coupure de 10 Hz). Deux systèmes de mesures photogrammétriques ont été utilisés pour enregistrer les coordonnées tridimensionnelles (3) de marqueurs fixés sur la peau des principaux segments du corps et pour suivre le déplacement des boîtes. Le premier système est composé de diodes infrarouges (DEL) maintenues sur le tronc et dont les signaux sont captés par quatre colonnes « Optotrak » (Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario). Le second système comporte trois caméras vidéo et servait principalement à suivre les déplacements des boîtes. La fréquence d'échantillonnage de ces deux systèmes était de 30 Hz. Les données de position ont été filtrées au moyen d'une spline quintique avec une variance de 10 et une variance de 0.02 a été choisie pour les dérivées (vitesse et accélération). Un signal synchronisé de déclenchement de collecte, contrôlé à l'aide d'une carte d'acquisition de signaux analogiques, a été envoyé vers les différents équipements. Étant donné la différence de fréquence d'échantillonnage entre le système « Optotrak » et la plate-

³ Les données de dix-neuf manutentionnaires proviennent d'un projet de recherche passé qui a porté sur la comparaison expert/novice sur les façons de faire en manutention (projet de recherche 0099-3670). De ce nombre, cinq manutentionnaires ont été assignés au groupe obèse (quatre experts et un novice) et 14 manutentionnaires ont été assignés au groupe poids santé (cinq experts et neuf novices).

forme de force, un sous échantillonnage a été effectué sur les données de la plateforme de force afin de pouvoir les combiner au modèle de dynamique inverse.

2.3 Protocole expérimental

Une seule séance expérimentale par participant a été effectuée incluant les mesures des capacités physiques des participants (partie 1) et les tâches de manutentions (partie 2).

2.3.1 Partie 1: Caractéristiques anthropométriques et capacités physiques

La première partie de la séance avait pour objectif principal la mesure des caractéristiques anthropométriques et des capacités physiques (force, endurance) des participants. En premier lieu, un formulaire de consentement leur a été remis. Ce formulaire expliquait le déroulement de l'expérience et les tâches à accomplir. Les participants ont ensuite rempli le questionnaire d'aptitude à l'activité physique (QAAP). Ce questionnaire a été choisi afin de déceler tout problème de santé lié à la pratique d'activité physique. Une réponse négative remettait en question leur participation à l'étude. Puis, les participants ont été mesurés et photographiés de façon à pouvoir estimer leurs caractéristiques anthropométriques au moyen de la technique de Jensen (1978). Ces données anthropométriques étaient nécessaires pour le modèle à dynamique inverse utilisé afin d'estimer les charges externes de la seconde partie. Lors du test de force musculaire isométrique maximale de soulèvement, chaque participant était debout, le tronc et les jambes en flexion, de manière à tenir une poignée à la hauteur des genoux (posture 1/2-stoop et 1/2-squat; figure 2.1). Ce test consiste à exercer une force maximale en extension contre une cellule de force fixée au sol (Chaffin et coll., 1978; Chaffin et coll., 1999). Trois essais ont été effectués. Une période de deux minutes de repos était accordée après chaque essai. Tous les tests ont été précédés d'une période d'échauffement. Cette partie de l'étude a été suivie d'une période de repos de 20 minutes afin d'éviter que des effets de fatigue ne contaminent les résultats de la deuxième partie de l'étude.



Figure 2.1 Test général de force musculaire isométrique maximale de soulèvement

2.3.2 Partie 2: Tâche de manutention

La tâche consistait à effectuer un transfert de caisses débutant avec la caisse face au sujet et se terminant sur un chariot à deux roues (diablos) situé à une distance de 1,5 m de la prise. Un aspect central de notre méthodologie est de permettre aux participants de pouvoir travailler de façon libre sans que des consignes spécifiques d'exécution leur soient données. Les conditions expérimentales étaient réalistes en termes: (1) de difficultés que l'on rencontre sur le terrain et (2) de conditions d'exécution qui permettaient aux manutentionnaires de démontrer le savoir-faire acquis avec le temps. Ainsi, les sujets étaient libres d'exécuter les mouvements qu'ils désiraient pour accomplir la tâche demandée, c.-à-d. dans un contexte réaliste d'asymétrie (espace tridimensionnel). Le mouvement des pieds n'était pas restreint puisqu'une plate-forme de force à grande dimension était utilisée.

Les participants étaient instrumentés de manière à ce qu'on obtienne les mesures nécessaires à l'utilisation du modèle biomécanique segmentaire. Ce modèle a été développé sur plusieurs années de recherche et a fait l'objet d'une validation exhaustive (Gagnon et Gagnon, 1992; Plamondon et coll., 1996; Desjardins et coll., 1998). Il nécessite la pose de 50 marqueurs sur 16 segments: les deux mains; les deux avant-bras; les deux bras; la tête; le tronc haut; le tronc bas; le bassin; les deux cuisses; les deux jambes; les deux pieds. Généralement chaque segment requiert un minimum de trois repères qui sont fixés sur des repères anatomiques servant à localiser les centres articulaires (Chaffin et coll., 1999). La reconstruction tridimensionnelle (3D) de ces marqueurs a été réalisée à partir du système Optotrak. L'erreur de reconstruction 3D des marqueurs est inférieure à 1 mm. Les données sont par la suite intégrées dans le modèle segmentaire qui permet de calculer les paramètres cinématiques et cinétiques nécessaires au calcul des moments nets à L5/S1 (moments de flexion-extension, de flexion latérale et de torsion) (Hof, 1992). L'erreur sur l'estimation de ces moments a été estimée à moins de 10 Nm (pour de plus amples détails, le lecteur est invité à consulter l'article de Plamondon et coll.,

1996). La figure 2.2 illustre la situation de transfert de caisses qui a été étudiée. Quatre caisses (26 cm de profondeur x 34 cm de largeur x 32 cm de hauteur) étaient déplacées sur un convoyeur (tapis roulant) positionné à la hauteur d'une palette (approximativement 15 cm du sol). Le participant devait tirer vers lui une première caisse sur une palette située à l'extrémité du tapis roulant, procéder à son transfert vers une destination sur un chariot à deux roues (diable). Les quatre caisses étaient empilées en hauteur sur le diable. La vitesse ainsi que la technique de manutention étaient libres. Ces caisses avaient les caractéristiques suivantes: une caisse de 15 kg, une caisse de 15 kg fragilisée, une caisse de 15 kg avec un centre de masse décentré latéralement et une caisse de 23 kg. Il s'agit des mêmes caisses que celles utilisées par les participants du projet de l'IRSST portant sur les experts/novices (Plamondon et coll., 2010). L'ordre de présentation des caisses était balancé de façon à ce que chacune des caisses se retrouve à deux occasions à la même hauteur. Deux positions du convoyeur étaient étudiées: l'une faisant face au diable (180°) à 1,50 m de distance et l'autre à 90° par rapport au diable à la même distance (1,50 m).

Chaque participant a manutentionné 128 caisses: quatre allers + quatre retours = 8×2 (180° et 90°) $\times 4$ caisses = $64 \times$ deux répétitions = 128 caisses manutentionnées. Un certain niveau de fatigue musculaire était possible chez les sujets. Pour contrecarrer cet effet, des mesures étaient mises de l'avant: périodes de repos de deux minutes après chaque aller-retour de quatre caisses et de cinq minutes assis à mi-séance (après 32 allers-retours)⁴. En moyenne, une séance complète durait un peu plus de 90 minutes.

⁴Tous les manutentionnaires mesurés lors du projet 099-367 ont considéré ce temps de repos (total de $32 \times 2 \text{ min} = 64 + 5 \text{ min} = 69$) nettement suffisant.



Figure 2.2 Illustration du plateau expérimental de la condition à 90 °. Le participant effectue un transfert du convoyeur vers le diable

Les tâches décrites ci-haut ont permis de comparer l'effet:

- du type de caisse: 15 kg et 23 kg.
- de la hauteur d'élévation: du convoyeur (approximativement 15 cm au dessus du sol) vers quatre hauteurs de dépôts (empilement en hauteur des caisses: sol, 32 cm, 63 cm et 95 cm)
- du type de mouvement: soulèvement vs dépôt de la caisse
- de la position du convoyeur: 90° et 180°

La perception de fatigue générale a été mesurée au moyen de l'échelle de Borg CR-10 (Borg, 1990). À la suite d'une série de transfert de caisses, chaque participant devait évaluer sur une échelle variant de 0 à 10 (0 représentant l'absence totale de fatigue et 10 une fatigue maximale) son niveau de fatigue.

2.4 Analyse des données

On distingue plusieurs types de façons de faire. Par exemple, des façons de faire sécuritaires visent en tout premier lieu à assurer l'intégrité du dos tandis que des façons de faire performantes visent à améliorer la productivité et la qualité de l'empilement. Les façons de faire sécuritaires étaient évaluées principalement à partir des variables qui définissent le chargement au dos, qui réduisent les efforts et qui favorisent l'équilibre du corps. Des façons de faire performantes étaient définies à partir du temps d'exécution.

Les données cinématiques et cinétiques étaient utilisées comme données d'entrée dans un modèle biomécanique 3D de chargement capable d'estimer les moments nets à l'articulation L5/S1 (Plamondon et coll., 1996). Le travail mécanique effectué sur le sujet (à partir du déplacement de son centre de masse), ainsi que sur la charge externe étaient également estimés.

Les principales variables dépendantes choisies comme critère de sécurité étaient principalement:

- le chargement lombaire:
 - les moments résultants et asymétriques à L5/S1
- les postures contraignantes:
 - flexions extrêmes
 - postures asymétriques
- la durée de manutention

Le chargement lombaire ainsi que les différentes variables cinématiques (durée, distance, vitesse, accélérations linéaire et angulaire) des principaux segments (tronc, bassin, cuisses) et des articulations (genoux, hanches, colonne lombaire) étaient issues du modèle biomécanique segmentaire de Plamondon et coll. (1996).

Aux fins d'analyse, chaque manutention est divisée en différentes phases d'exécution (figure 2.3). L'étape de la prise débute au moment du premier contact de la caisse avec les mains et se termine au moment où la caisse n'est plus en contact avec aucun support sauf les mains. L'étape du placement, qui suit le transport (envol) de la caisse, débute lorsque la caisse entre en contact avec la surface d'appui de la destination finale et se termine lorsque les mains du manutentionnaire ne sont plus en contact avec la caisse. La durée totale de la manutention représente la somme des temps effectués pour la prise, le transport et le placement. Enfin, l'instant médian du transport permet d'identifier la fin de la phase de levage et le début de la phase de dépôt.

Phase d'aller vers le diable

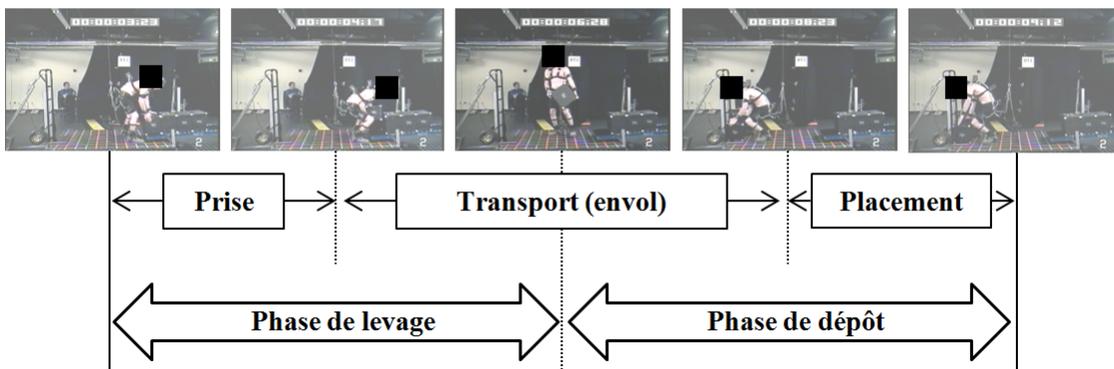


Figure 2.3 Découpage de l'activité de manutention des caisses du convoyeur au diable. Le même découpage est appliqué aux déplacements de caisses du diable vers le convoyeur (phase de retour vers le convoyeur)

Étant donné que l'anthropométrie des participants a une influence significative sur le calcul des moments résultants et asymétriques à L5/S1, une procédure de normalisation des données a été effectuée. Celle-ci consistait à diviser les moments à L5/S1 par le moment exercé à L5/S1 du poids du tronc à l'horizontale (valeurs présentées dans le tableau 3.2). Ainsi, ces moments de force normalisés sont exprimés en unité du poids du tronc⁵. La définition complète des variables cinématiques et cinétiques est disponible à l'annexe B.

2.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance avec mesures répétées afin d'évaluer les différences qui existent entre les principaux facteurs. Le tableau 2.1 présente les principales variables indépendantes étudiées. Les caractéristiques de la charge, la position du convoyeur de même que la hauteur de saisie et de dépôt représentent les paramètres qui ont été modifiés pour tenter de susciter une plus grande variation dans la façon de faire des participants. Une analyse statistique distincte a été effectuée pour chaque phase, soit celle d'aller vers le diable et celle de retour vers le convoyeur. Des comparaisons *a posteriori* (Tukey HSD) ont été appliquées pour localiser ces différences. Un niveau de probabilité de 0,05 a été utilisé.

Des régressions linéaires simples ont été effectuées afin de déterminer la capacité des paramètres liés à la masse corporelle à prédire les chargements externes au dos. De plus, une régression linéaire multiple par étape (méthode pas à pas: $F_{\text{entrant}}=3,84$ et $F_{\text{sortant}}=2,71$) a été réalisée afin de rechercher les éléments qui déterminent significativement le moment de force maximal au dos selon l'axe transverse.

Tableau 2.1 Variables indépendantes des analyses portant sur les déplacements des caisses du convoyeur au diable et sur ceux du diable au convoyeur

Comparaisons "between subjects"	Poids santé vs obésité
Comparaisons "within subjects"	Masse de la caisse: 15 kg et 23 kg
	Hauteur d'élévation: sol, 32 cm, 63 cm, 95 cm
	Position du convoyeur: 90° vs 180°

⁵ Par exemple, un moment résultant à L5/S1 de 150 Nm est normalisé en le divisant par le moment du tronc à l'horizontale d'un sujet, disons 100 Nm, ce qui donne un moment normalisé de 1.5 fois le poids du tronc.

3 RESULTATS

Les manutentionnaires obèses ayant participé à l'étude sont plus âgés en moyenne et avaient plus d'années d'expérience que ceux de poids santé (tableau 3.1). De ce fait, il y avait un pourcentage de novices plus élevé parmi le groupe poids santé et une plus grande proportion de manutentionnaires expérimentés chez le groupe obèse. Par contre, il y avait un pourcentage d'expert similaire dans les deux groupes de manutentionnaires.

Tableau 3.1 Moyenne et écart-type des données démographiques

	Manutentionnaires Poids Santé N = 20	Manutentionnaires Obèses N = 17
Âge (années)	25,3 (± 6,9)	34,0 (± 7,2)*
Expérience (années)	3,7 (± 7,8)	6,5 (± 6,6)
Novice (n)	15 (75,0 %)	4 (23,5 %)*
Expert (n)	5 (25,0%)	4 (23,5%)
Expérimenté (n)	0 (0,0%)	9 (52,9%)*

* indique une valeur $p < 0,05$ au test t (échantillons indépendants). Novice: 1 à 12 mois d'expérience en manutention; Expérimenté: minimum de quatre années d'expérience; Expert: minimum de cinq années d'expérience, une faible incidence de blessures et être recommandé par le responsable de l'entreprise chargé du recrutement.

Le tableau 3.2 indique que les manutentionnaires obèses sont différents des manutentionnaires de poids santé par rapport à toutes les données anthropométriques excepté pour la taille qui était similaire. Les valeurs moyennes de la masse des segments, de la position du centre de gravité des segments et les moments d'inertie apparaissent à l'annexe A dans les tableaux A.1-A.3.

Tableau 3.2 Moyenne et écart-type des données anthropométriques

	Manutentionnaires Poids Santé N = 20	Manutentionnaires Obèses N = 17
Taille (m)	1,75 (± 0,06)	1,74 (± 0,06)
Poids (kg)	67,5 (± 6,9)	95,4 (± 9,6)*
Poids tronc (kg)	30,9 (± 3,5)	48,6 (± 5,9)*
Poids du tronc p/r à L5/S1 (Nm)	86,9 (± 7,4)	113,6 (± 14,8)*
IMC (kg/m ²)	21,9 (± 1,1)	31,4 (± 1,5)*
Largeur de la crête iliaque (m)	0,27 (± 0,03)	0,31 (± 0,05)*
Distance A-P à C7 (m) [†]	0,11 (± 0,01)	0,14 (± 0,01)*
Distance A-P à T12 (m) [†]	0,21 (± 0,01)	0,28 (± 0,02)*
Distance A-P à S1 (m) [†]	0,20 (± 0,01)	0,27 (± 0,02)*

* indique une valeur $p < 0,05$ au test t (échantillons indépendants); A-P: antérieur-postérieur.

[†] Mesure moyenne de trois essais effectués avec un anthropomètre (« Caliper GPM »).

Aucune différence significative n'a été observée sur le plan de la force maximale isométrique de soulèvement (obèse: 134,1 kg; poids santé: 130,3 kg; $p=0,70$). Mise en relation avec le poids des participants (kilo-force maximale de soulèvement/poids), la force maximale relative montre un avantage marqué pour les manutentionnaires avec un poids santé avec une force relative égale à 1,93 comparativement à 1,41 pour les manutentionnaires obèses ($p<0,001$).

Aucune différence entre les manutentionnaires obèses et de poids santé n'a été observée à propos de la fatigue générale avant (1,32 = très faible vs 0,85 = extrêmement faible), pendant (3,18 = modéré vs 2,42 = faible) et après (3,88 = modéré vs 3,24 = modéré) les tâches de manutention ($ps > 0,18$).

3.1 Phase d'aller vers le diable

Il n'y a aucune différence significative entre les manutentionnaires obèses et ceux de poids santé en ce qui concerne la durée totale de déplacement de chaque caisse et la durée de la prise au sol ($ps>0,10$, tableau 3.3). En ce qui a trait à la durée d'envol, l'interaction Masse*Groupe (MG) est significative. Il ressort de cette interaction que, pour les deux groupes, la durée est plus longue lorsque la charge manipulée passe de 15 kg à 23 kg. Cette augmentation est toutefois plus importante chez les manutentionnaires de poids santé (poids santé: +227 ms; obèse: +108 ms). L'interaction Configuration*Groupe (CG) indique que la durée du placement est plus longue pour une configuration à 180° versus 90° (+151 ms) chez les manutentionnaires ayant un poids santé alors qu'elle est plus courte pour les manutentionnaires obèses (-118 ms).

Tableau 3.3 Durée moyenne et écart type lors de la phase d'aller: déplacement des caisses du convoyeur au diable

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		CG	MG	HG
Durée totale de la tâche	5,48	1,73	5,59	1,76	0,85	0,56	0,28	0,64
Durée de la prise au sol	1,55	0,44	1,91	0,79	0,10	0,14	0,07	0,35
Durée du transport (envol)	2,45	0,70	2,35	0,73	0,66	0,80	0,02	0,89
Durée du placement	1,49	0,78	1,34	0,51	0,50	0,04	0,16	0,28

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

3.1.1 Moments de force maximaux au dos

Phase de levage

Le tableau 3.4 et la figure 3.1 révèlent qu'au moment du soulèvement des caisses du convoyeur, les extremums des moments de force au niveau du dos des manutentionnaires obèses sont de 25,4 à 48,5 % plus importants que ceux des manutentionnaires avec un poids santé. En normalisant ces moments de force par le poids du tronc des manutentionnaires, il n'y a plus de différence significative entre les groupes de manutentionnaires. L'occurrence du moment de force résultant maximal n'est pas significativement différente d'un groupe à l'autre ($p = 0,18$).

L'interaction Configuration*Groupe est significative pour le moment de force transverse maximal (en flexion sagittale). Peu importe la configuration entre le convoyeur et le diable, 90 ° ou 180 °, le moment de force transverse maximal est plus élevé pour le groupe obèse (+26,7 %). Toutefois, les manutentionnaires de poids santé exercent un moment de force qui augmente de 214 Nm à 221 Nm (différence de +7,5 Nm) pour un changement de configuration de 90 ° à 180 ° entre le convoyeur et le diable, alors que le groupe obèse voit son moment de force transverse maximal passer de 267 Nm à 284 Nm lorsqu'il y a changement de configuration (différence de +17,3 Nm).

De plus, lorsque les manutentionnaires obèses ont effectué le soulèvement de la première boîte, ils ont développé un moment de force maximal selon l'axe longitudinal (en torsion) de -18,5 à -17,6 % plus faible que ceux nécessaires au soulèvement des trois autres caisses sur le convoyeur. Pour le groupe poids santé, aucune différence n'est remarquée sur cette variable à mesure que les boîtes sont soulevées (+1,1 % à 6,8 %). Lorsque le moment de force maximal en torsion est normalisé par rapport au poids du tronc des participants, l'interaction entre Hauteur*Groupe est toujours significative: l'effet de la première boîte est toujours présent chez les manutentionnaires obèses, mais l'effet Groupe disparaît.

Phase de dépôt

Des augmentations marquées variant de +23,0 à 36,4 % et significatives des extremums des moments de force au niveau du dos sont également observées chez les manutentionnaires obèses lors du dépôt des caisses sur le diable ($p_s < 0,05$; sauf pour le moment de force sagittal maximal $p=0,19$; tableau 3.4 et figure 3.1). Par exemple, lors du dépôt de boîtes sur le diable, le groupe obèse avait un moment de force résultant maximal correspondant à 191 contre 154 Nm pour le groupe poids santé; soit une différence de 23,6 % par rapport au groupe poids santé (tableau 3.4). Comme lors de la phase de levage, l'occurrence du moment de force résultant maximal n'est pas significativement différente d'un groupe à l'autre ($p = 0,33$).

L'analyse du moment de force normalisé transverse indique une interaction significative entre la masse de la caisse et le groupe de manutentionnaires. L'interaction Masse*Groupe révèle que

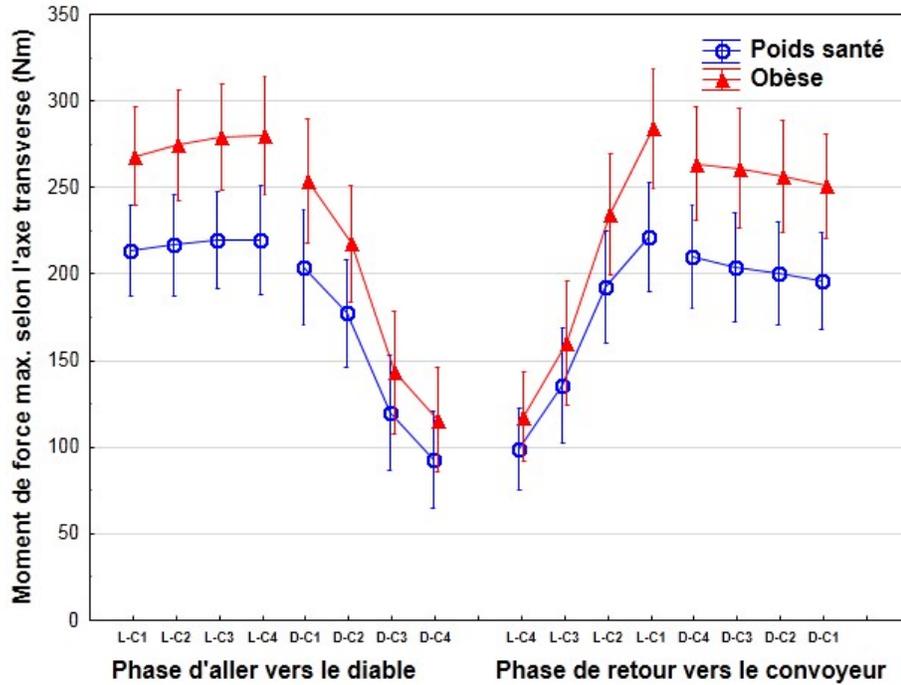
l'augmentation de la masse de la caisse (15 à 23 kg) est associée à une augmentation du moment de force qui est plus importante chez les manutentionnaires ayant un poids santé que les manutentionnaires obèses (poids santé: +0,33 ou de 1,51 à 1,84; obèse: +0,26 ou de 1,49 à 1,75;).

Tableau 3.4 Moyenne et écart type des moments de force maximaux au dos lors du déplacement des boîtes vers le diable.

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
Phase de levage								
Moment résultant maximal (Nm)	278,3	34,3	219,6	30,2	< 0,001	0,03	0,75	0,36
Moment transverse maximal	275,4	32,5	217,4	30,1	<0,001	0,01	0,63	0,36
Moment longitudinal maximal	20,8	8,1	15,4	3,7	0,01	0,66	0,20	<0,01
Moment longitudinal minimal	-36,0	11,4	-28,7	9,9	0,05	0,10	0,30	0,60
Moment sagittal maximal	43,5	13,5	29,3	11,2	<0,01	0,37	0,26	0,48
Moment sagittal minimal	-58,6	20,4	-43,1	13,6	<0,01	0,89	0,22	0,94
Moment normalisé transverse max	2,44	0,32	2,44	0,39	0,98	0,06	0,08	0,84
Moment normalisé longitudinal max	0,19	0,08	0,17	0,05	0,48	0,63	0,40	<0,01
Moment normalisé longitudinal min	-0,32	0,09	-0,32	0,11	0,87	0,11	0,07	0,41
Moment normalisé sagittal max	0,39	0,13	0,32	0,12	0,12	0,53	0,60	0,59
Moment normalisé sagittal min	-0,51	0,15	-0,48	0,15	0,53	0,77	0,06	1,00
Phase de dépôt								
Moment résultant maximal (Nm)	190,6	32,5	154,2	26,7	<0,01	0,12	0,97	0,07
Moment transverse maximal	182,6	30,9	148,4	26,7	<0,01	0,19	0,31	0,17
Moment longitudinal maximal	16,4	5,2	12,2	6,3	0,03	0,88	0,39	0,57
Moment longitudinal minimal	-30,8	7,8	-24,2	7,1	0,01	0,64	0,84	0,83
Moment sagittal maximal	44,7	22,2	35,7	17,3	0,19	0,53	0,83	0,19
Moment sagittal minimal	-55,8	24,2	-40,9	21,7	0,05	0,53	0,90	0,49
Moment normalisé transverse max	1,62	0,29	1,67	0,36	0,63	0,30	0,02	0,92
Moment normalisé longitudinal max	0,15	0,05	0,13	0,07	0,55	0,89	0,89	0,98
Moment normalisé longitudinal min	-0,27	0,06	-0,27	0,09	0,91	0,55	0,57	0,23
Moment normalisé sagittal max	0,40	0,18	0,41	0,21	0,88	0,64	0,53	0,30
Moment normalisé sagittal min	-0,50	0,20	-0,45	0,24	0,57	0,53	0,40	0,66

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

A



B

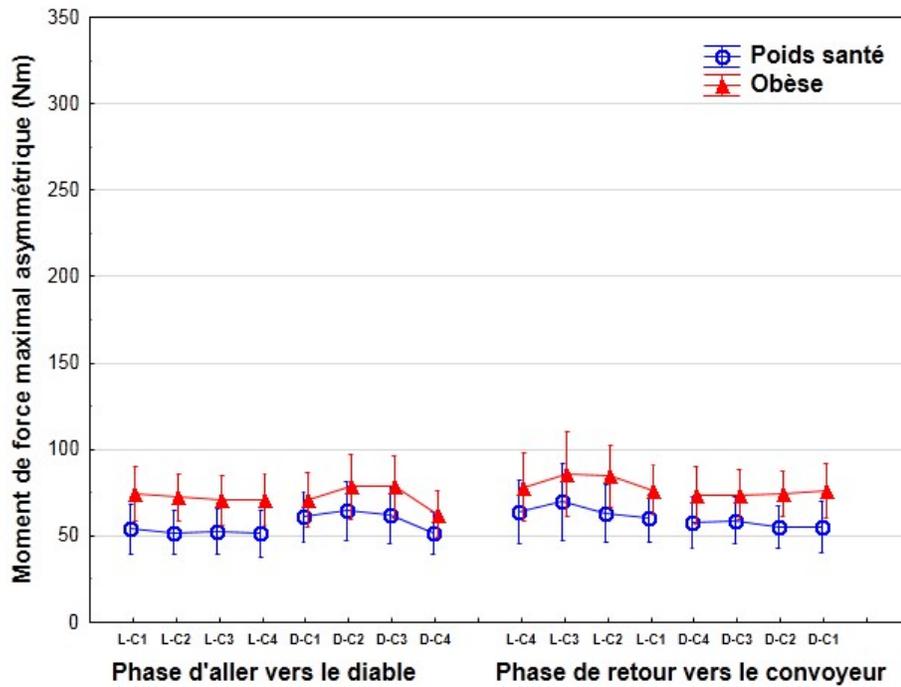


Figure 3.1 Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) du moment de force maximal selon l'axe transverse (A) et moment de force maximal asymétrique (B) observée à travers les différentes conditions de manutention

3.1.2 Angles à l'instant du moment de force résultant maximal

Peu de différences entre les groupes ont été observées au levage et au dépôt sur le plan des angles calculés à l'instant du moment de force résultant maximal (figure 3.2 et tableau 3.5). Par ailleurs, la variabilité interindividus de l'angle aux genoux et de l'angle au dos lorsque la caisse est soulevée du convoyeur ou déposée près du sol est très présente (du convoyeur ou sur le diable en D-C1). Pour les deux groupes, l'écart type de l'angle de flexion lombaire est supérieur à $15,7^\circ$ et l'écart type de l'angle au genou droit est supérieur $25,0^\circ$. Cette variation indique que les individus des deux groupes n'adoptent pas tous la même stratégie pour soulever ou déposer une caisse au sol.

Phase de levage

Pour l'angle de flexion lombaire, une interaction significative Hauteur*Groupe a été observée. La décomposition de cette interaction indique que l'angle de flexion au moment du soulèvement de la première boîte sur le convoyeur est plus faible que l'angle de flexion observé pour le soulèvement des trois autres boîtes sur le convoyeur pour le groupe obèse ($ps < 0.001$) et des deux boîtes médianes pour le groupe poids santé ($ps < 0.05$). Aucune différence n'a été décelée entre les groupes pour chacune des caisses ($ps > 0,99$). Par ailleurs, une interaction significative Configuration*Groupe a été observée pour l'angle de flexion latérale lombaire. Cette interaction indique que l'angle de flexion latérale tendait à augmenter entre la configuration 90° et celle de 180° pour le groupe poids santé ($0,52$ à $1,35^\circ$) alors que l'angle tendait à diminuer pour le groupe obèse ($-0,22$ à $-0,89^\circ$).

Phase de dépôt

L'angle du tronc à C7 n'est pas significativement différent entre les deux groupes. Par contre, les interactions Masse*Groupe et Hauteur*Groupe le sont. Les manutentionnaires obèses ont diminué la flexion de leur tronc à C7 d'environ $1,5^\circ$ lorsque le poids de la caisse passait de 15 kg à 23 kg (de $46,8^\circ$ à $45,1^\circ$), alors que le groupe santé a augmenté d'à peine un degré cette flexion du tronc (de $49,9^\circ$ à $50,3^\circ$). L'interaction entre la Hauteur et le Groupe ne révèle aucune différence de comportement entre les groupes de manutentionnaires. Dans les deux cas, l'angle de flexion du tronc à C7 diminue à mesure qu'ils empilent les boîtes sur le diable (obèse: 1^{re} boîte = $75,0^\circ$, 2^e boîte = $63,0^\circ$, 3^e boîte = $32,8^\circ$, 4^e boîte = $13,1^\circ$; poids santé: 1^{re} boîte = $74,3^\circ$, 2^e boîte = $66,0^\circ$, 3^e boîte = $39,6^\circ$, 4^e boîte = $20,7^\circ$).

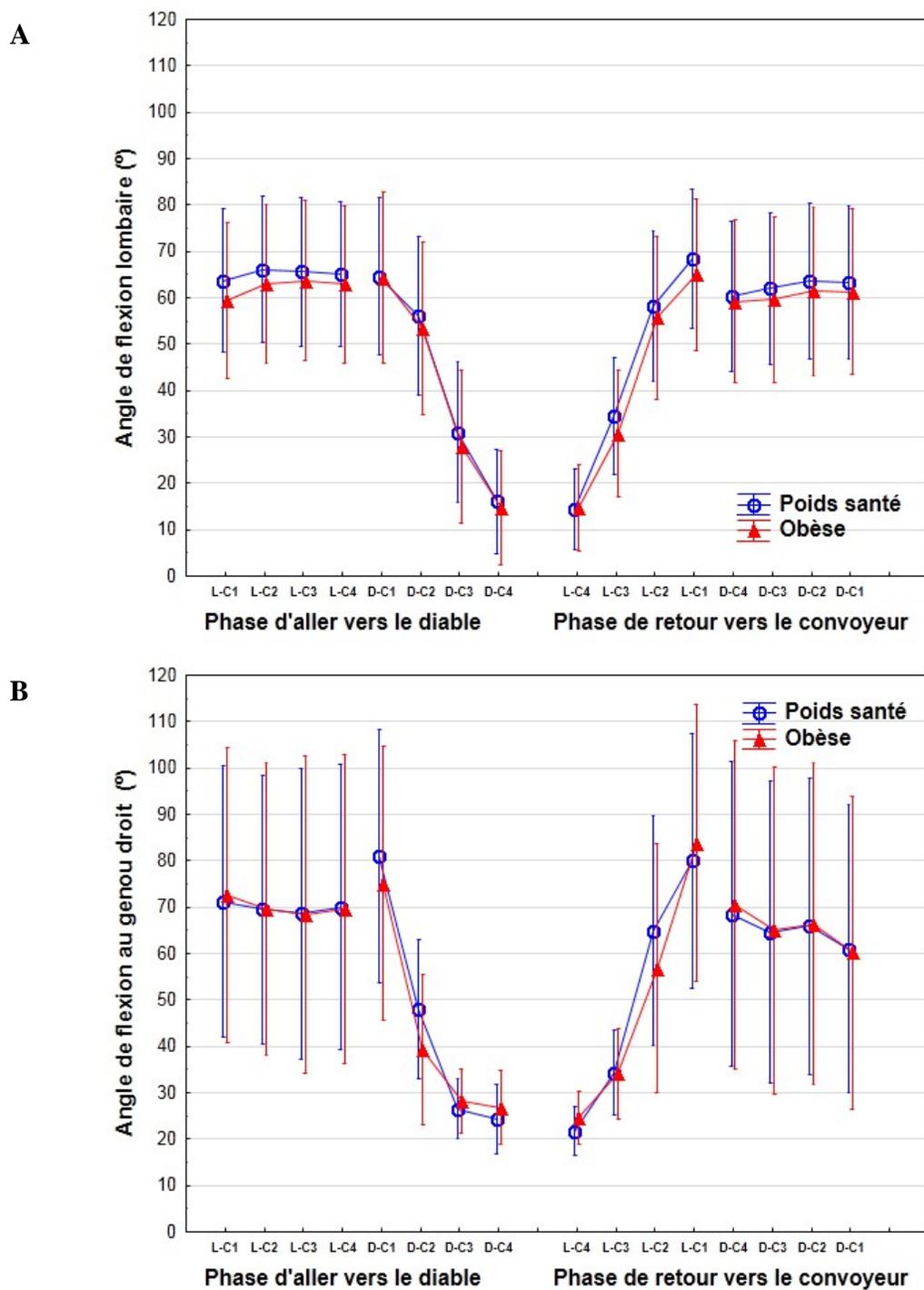


Figure 3.2 Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) de l'angle de flexion lombaire (A) et de l'angle de flexion du genou droit (B) au moment de force maximale résultant observée à travers les différentes conditions de manutention

Tableau 3.5 Moyenne et écart type des angles observés à l'instant du moment de force résultant maximal lors du déplacement des boîtes vers le diable

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
Phase de levage								
Angle de flexion lombaire (°)	62,2	15,7	65,1	18,4	0,61	0,25	0,76	0,03
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-0,6	4,0	0,9	3,8	0,25	0,04	0,30	0,88
Angle de torsion lombaire	3,3	3,4	2,1	5,3	0,42	0,27	0,23	0,95
Angle du tronc à C7 par rapport à la verticale (°)	68,4	15,8	73,7	21,3	0,41	0,27	0,31	0,29
Angle du tronc à T12 par rapport à la verticale (°)	73,9	18,2	78,1	24,8	0,57	0,44	0,38	0,29
Angle du genou droit (°)	70,1	25,0	69,8	38,0	0,98	0,64	0,55	0,93
Angle du genou gauche (°)	73,0	21,0	71,8	35,9	0,87	0,60	0,46	0,78
Phase de dépôt								
Angle de flexion lombaire (°)	40,1	13,2	42,0	16,1	0,95	0,85	0,34	0,54
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-1,0	4,6	-1,0	3,5	0,66	0,55	0,12	0,06
Angle de torsion lombaire	0,6	3,6	1,5	4,4	0,49	0,60	0,22	0,10
Angle du tronc à C7 par rapport à la verticale (°)	46,0	10,2	50,1	14,5	0,22	0,78	0,04	0,02
Angle du tronc à T12 par rapport à la verticale (°)	47,2	12,8	49,2	17,6	0,58	0,76	0,59	0,18
Angle du genou droit (°)	42,4	12,2	44,9	12,3	0,34	0,37	0,31	0,32
Angle du genou gauche (°)	42,1	11,8	43,4	14,3	0,78	0,72	0,85	0,73

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

3.1.3 Distance et trajectoire de la caisse et hauteur du centre de gravité

Phase de levage

Les variables de déplacements et de distance apparaissant dans le tableau 3.6 ne sont pas significativement différentes entre les deux groupes de manutentionnaires. La distance horizontale entre la caisse et L5/S1 lors du moment de force maximal résultant semble être légèrement supérieure de 2,8 cm pour les manutentionnaires obèses ($p=0,07$; tableau 3.6; figure 3.3). De plus, l'interaction Masse*Groupe révèle que lorsque le poids de la caisse passe de 15 kg à 23 kg, les manutentionnaires de poids santé ont rapproché significativement la caisse plus près de leur corps lors du soulèvement, contrairement au groupe obèse qui n'a apporté aucun changement à ce niveau. Les manutentionnaires de poids santé ont rapproché la caisse de 1,8 cm, passant de 41,5 cm à 39,7 cm (groupe obèse: 43,5 et 43,2 cm pour les masses de 15 et 23 kg, respectivement).

Phase de dépôt

Lors de la phase de dépôt, l'interaction Masse*Groupe est également observée en ce qui concerne la distance horizontale de la caisse à L5/S1 (tableau 3.6; figure 3.3). Les manutentionnaires de poids santé rapprochent la caisse de leur corps lorsqu'ils doivent déposer une caisse plus lourde, alors qu'aucune différence significative n'est observée pour l'autre groupe. Dans le cas du dépôt de la boîte, cette distance passe de 38,9 cm à 36,2, soit une diminution de 2,7 cm (groupe obèse: 40,0 et 38,9 cm pour les masses de 15 et 23 kg, respectivement).

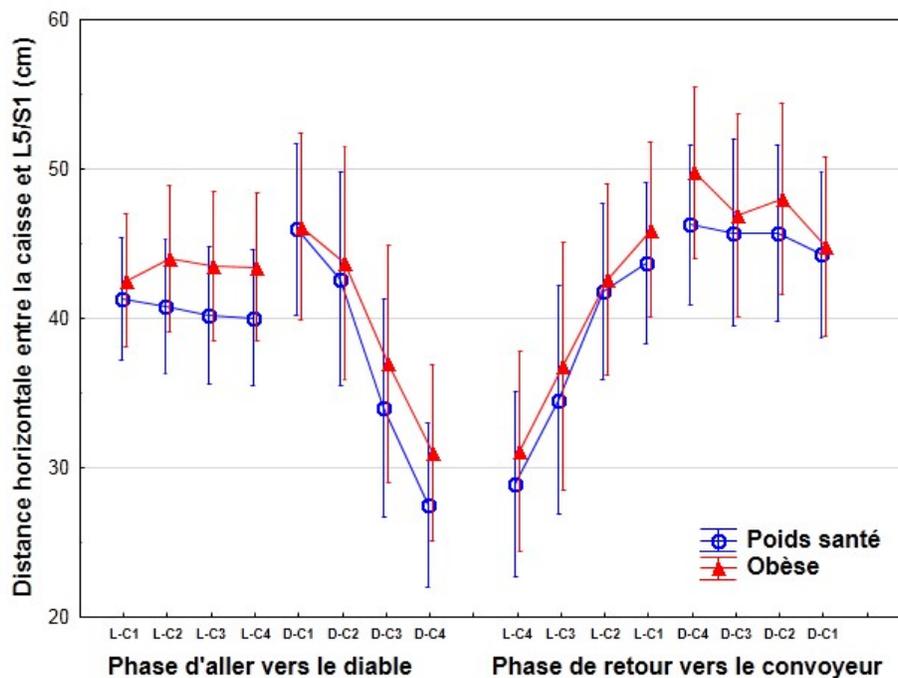


Figure 3.3 Moyenne (\pm intervalle de confiance de 95 %) de la distance horizontale entre la caisse et L5/S1 au moment de force maximal résultant observée à travers les différentes conditions de manutention

Tableau 3.6 Moyenne et écart type de la distance et de la trajectoire de la caisse, et de la hauteur du centre de gravité lors du déplacement des caisses vers le diable

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
Phase de levage								
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (cm) [†]	43,4	5,1	40,6	4,1	0,07	0,88	0,03	0,11
Hauteur de caisse maximale	98,5	6,3	96,0	11,6	0,61	0,64	0,76	0,92
Hauteur de caisse minimale	40,9	4,8	39,4	6,0	0,53	0,99	0,24	0,71
Hauteur de caisse, 50 ^e centile	86,0	9,0	83,5	14,1	0,62	0,15	0,36	0,28
Hauteur du CG maximal	93,6	4,2	93,4	5,0	0,97	1,00	0,94	0,51
Hauteur du CG minimal	64,6	8,4	64,1	9,6	0,84	0,98	0,60	0,88
Phase de dépôt								
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (cm) [†]	39,5	6,4	37,5	6,8	0,38	0,87	0,02	0,09
Hauteur de caisse maximale	102,6	4,3	101,4	7,8	0,46	0,85	0,29	0,49
Hauteur de caisse minimale	72,4	3,1	71,4	4,7	0,52	0,78	0,06	0,98
Hauteur de caisse, 50 ^e centile	90,6	4,3	90,8	6,3	0,91	0,52	0,74	0,91
Hauteur du CG maximal	93,8	4,0	94,1	3,8	0,82	0,60	0,10	0,24
Hauteur du CG minimal	81,4	4,4	81,2	3,8	0,90	0,82	0,59	0,73

[†]Distance horizontale à l'instant du moment de force résultant maximal; M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

3.2 Phase de retour vers le convoyeur

Aucune différence n'a été observée entre les deux groupes pour ce qui est des variables temporelles (Tableau 3.7). La durée moyenne de chaque déplacement de boîte du diable au convoyeur était légèrement supérieure à cinq secondes pour les deux groupes.

Tableau 3.7 Durée moyenne et écart type lors de la phase de retour: déplacement des caisses du diable au convoyeur

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		CG	MG	HG
Durée totale de la tâche	5,14	1,37	5,36	1,67	0,66	0,39	0,22	0,09
Durée de la prise au sol	1,22	0,38	1,42	0,50	0,17	0,45	0,46	0,24
Durée du transport (envol)	2,64	0,72	2,40	0,72	0,31	0,09	0,40	0,27
Durée du placement	1,28	0,58	1,54	0,73	0,23	0,60	0,12	0,71

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

3.2.1 Moments de force maximaux au dos

Phase de levage

Les charges externes au moment du soulèvement des caisses posées sur le diable sont de 22,2 % à 51,8 % plus importantes chez les manutentionnaires obèses que les manutentionnaires ayant un poids santé (tableau 3.8, figure 3.1). L'instant auquel le moment de force résultant arrive à son maximum n'est pas différent entre les deux groupes de manutentionnaires ($p = 0,18$).

L'interaction Hauteur*Groupe pour les moments de force maximaux résultants et selon l'axe transverse indique une exacerbation des différences entre les groupes au moment de soulever les deux caisses les plus proches du sol. En effet, les manutentionnaires obèses doivent exercer un moment de force selon l'axe transverse +19,1 % et +18,0 % plus élevé pour le soulèvement des deux caisses les plus hautes du diable (L-C4 et L-C3) comparativement au groupe poids santé, alors que le moment de force est +21,8 et +28,2 % plus élevé lors du soulèvement des deux caisses les plus près du sol (L-C2 et L-C1; $ps < 0,01$; figure 3.1).

Une fois normalisé au poids du tronc des participants, le moment de force transverse maximal varie différemment selon la masse de la caisse et le groupe d'appartenance. En effet, l'interaction Masse*Groupe révèle que l'augmentation de la masse de la caisse (15 kg à 23 kg) est associée à une augmentation du moment de force qui est plus importante chez les manutentionnaires ayant un poids santé que les manutentionnaires obèses (poids santé: +0,30 ou de 1,67 à 1,97; obèse: +0,22 ou de 1,67 à 1,88).

Une interaction Hauteur*Groupe est également observée en ce qui a trait au moment de force normalisé longitudinal maximal ($p = 0,02$). La décomposition de cette interaction indique que le moment de force normalisé en torsion augmente significativement en fonction de la hauteur des caisses pour le groupe poids santé seulement. Pour ce groupe, le moment de force normalisé passe de 0,10 pour la caisse L-C4 à 0,20 pour la caisse près du sol (L-C1). Pour le groupe obèse, ce moment de force normalisé passe de 0,17 à 0,20 pour les mêmes conditions. Enfin, une interaction Configuration*Groupe révèle que le passage d'une configuration 90° à une configuration 180° est associé à une diminution du moment de force longitudinal normalisé minimal chez le groupe poids santé ($\Delta = -0,01$) alors qu'une légère augmentation est observée chez le groupe obèse ($\Delta = 0,01$).

Phase de dépôt

Les charges externes absolues lors du dépôt des caisses sur le convoyeur sont de 13,3 à 59,0 % plus importantes chez les manutentionnaires obèses que les manutentionnaires ayant un poids santé (tableau 3.8, figure 3.1). L'instant auquel le moment de force résultant arrive à son maximum est dépendant de la configuration du diable par rapport au convoyeur et de l'appartenance au groupe (Configuration*Groupe: $p = 0,04$). La décomposition de cette

interaction indique que l'instant du moment de force résultant lors du dépôt des caisses sur le convoyeur (configuration 90 °) survient plus tôt dans le cycle de manutention chez les manutentionnaires du groupe poids santé que pour ceux du groupe obèse (91,7 vs 96,4 %, $p = 0,01$) alors qu'aucune différence entre les groupes n'est décelée pour la configuration à 180 ° (94,7 vs 95,8%, $p = 0,88$).

Le tableau 3.8 indique une interaction Masse*Groupe significative pour le moment de force normalisé transverse maximal. La décomposition de l'interaction Masse*Groupe indique que l'augmentation de la masse de la caisse est associée à une légère augmentation du moment de force normalisé transverse chez les manutentionnaires du groupe santé ($\Delta = 0,20$) alors que l'augmentation du poids de la caisse n'entraîne aucun changement chez ceux du groupe obèse ($\Delta = 0,02$).

3.2.2 Angles à l'instant du moment de force résultant maximal

Peu de différences sur le plan des angles calculés ont été notées entre les groupes (figure 3.2 et tableau 3.9). Comme mentionné précédemment lors des essais vers le diable, et tel qu'illustré sur les figures 3.2 et 3.5, les manutentionnaires des deux groupes adoptent des postures de travail extrêmement variées au moment de soulever ou de déposer une caisse près du sol (c.-à-d. sur le convoyeur ou sur le diable en D-C1). La figure 3.4 illustre deux conditions spécifiques: (A) lors du soulèvement de la boîte la plus haute sur le diable (L-C4); (B) lors du soulèvement de la boîte la plus basse sur le diable (L-C1).

Les variations des angles entre les participants des deux groupes pour la condition L-C1 sont très importantes autant pour l'angle au genou (poids santé: min = 31,7 °, max = 148,8 °, $\Delta_{\text{genou}} = 117,1$ °; obèse: min = 33,3 °; max = 114,4, $\Delta_{\text{genou}} = 81,1$ °) et pour l'angle de flexion lombaire (poids santé: min = 40,9 °, max = 107,3 °, $\Delta_{\text{dos}} = 66,4$ °; obèse: min = 40,2 °; max: 96,9 °; $\Delta_{\text{dos}} = 56,7$ °). Les variations sont beaucoup moins importantes pour la condition L-C4 (poids santé: $\Delta_{\text{genou}} = 25,3$ °; $\Delta_{\text{dos}} = 42,7$ °; obèse: $\Delta_{\text{genou}} = 30,1$ °; $\Delta_{\text{dos}} = 34,6$ °). À noter qu'il ne semble pas possible de distinguer les stratégies posturales des quatre manutentionnaires obèses experts (cercle plein rouge) des cinq manutentionnaires experts ayant un poids santé (carré plein bleu). Toutefois, il est possible de remarquer que ces neuf manutentionnaires experts se distinguent de la plupart des novices et des expérimentés par une flexion lombaire inférieure à 63 °. L'angle au genou varie énormément pour tous les groupes, peu importe leur niveau d'expertise. Aucun manutentionnaire obèse n'a effectué une flexion des genoux de plus de 120 °.

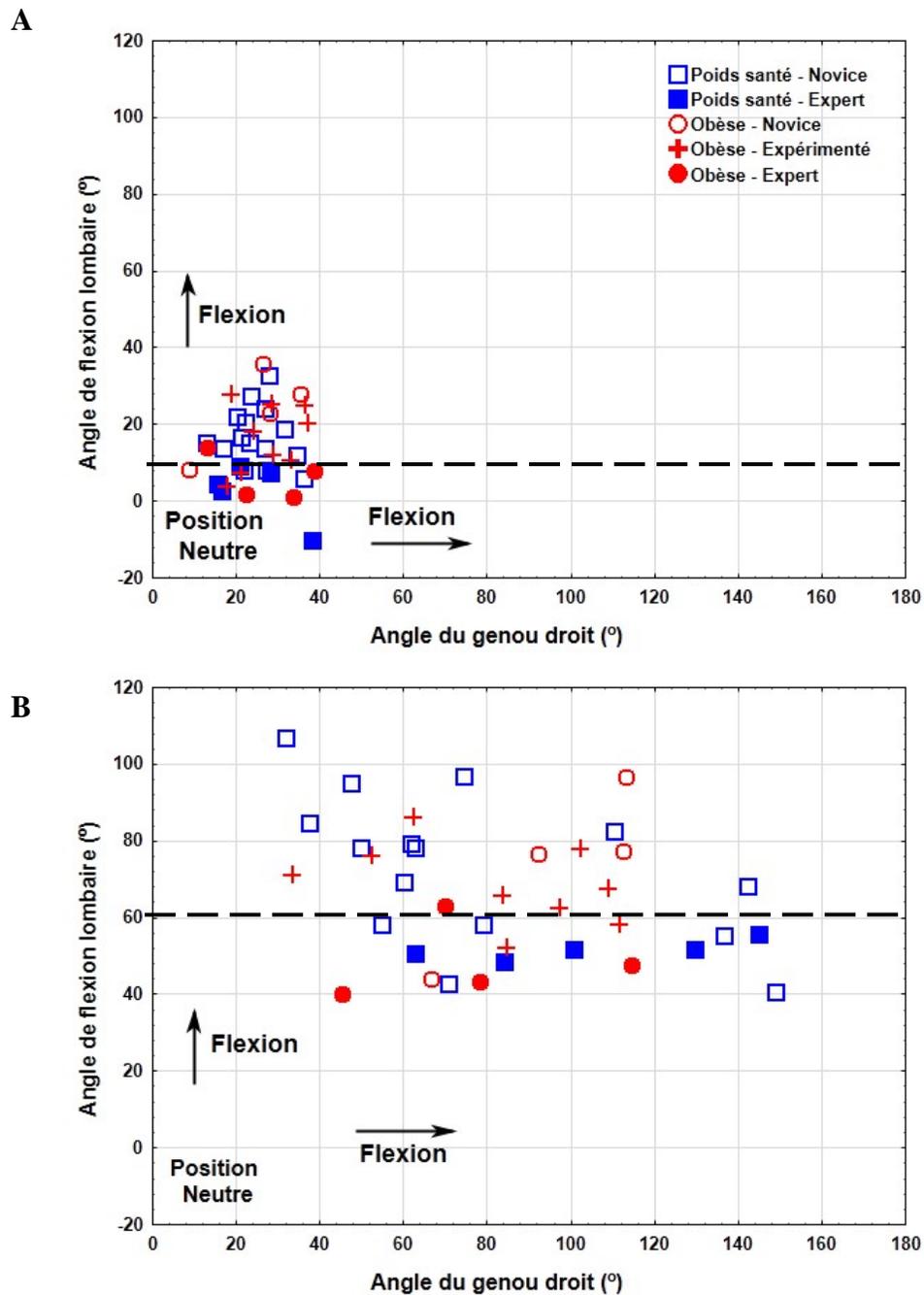


Figure 3.4 Angle de flexion lombaire et angle de flexion au genou à l’instant du moment de force maximal résultant observée lors du levage de la caisse de 23 kg la plus haute sur le diable (L-C4, ‘A’) et lors du levage de la caisse de 23 kg le plus près du sol sur le diable (L-C1, ‘B’) en route vers le convoyeur.

Le niveau d’expertise de tous les participants est indiqué. Les valeurs de la figure représentent la moyenne des deux essais réalisés avec la configuration à 180 °. La ligne pointillée indique la plus grande flexion lombaire observée parmi les manutentionnaires experts.

Tableau 3.8 Moyenne et écart type des moments maximaux au dos lors du déplacement des boîtes vers le convoyeur.

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
Phase de levage								
Moment résultant maximal (Nm)	207,6	34,8	169,9	32,8	<0,01	0,51	0,21	<0,001
Moment transverse maximal	199,0	31,2	162,1	30,5	<0,001	0,80	0,24	<0,001
Moment longitudinal maximal	20,8	6,0	13,7	6,1	<0,01	0,74	0,88	0,08
Moment longitudinal minimal	-31,6	9,4	-23,4	6,1	<0,01	0,06	0,62	0,70
Moment sagittal maximal	66,2	25,7	52,0	21,6	0,08	0,19	0,23	0,31
Moment sagittal minimal	-47,9	19,0	-35,3	14,7	0,03	0,57	0,75	0,90
Moment normalisé transverse	1,77	0,32	1,82	0,36	0,67	0,98	<0,01	0,33
Moment normalisé longitudinal max	0,19	0,06	0,15	0,07	0,14	0,60	0,70	0,02
Moment normalisé longitudinal min	-0,28	0,08	-0,27	0,08	0,63	0,05	0,74	0,57
Moment normalisé sagittal max	0,59	0,23	0,59	0,26	0,99	0,23	0,08	0,34
Moment normalisé sagittal min	-0,42	0,15	-0,39	0,17	0,61	0,50	0,39	0,90
Phase de dépôt								
Moment résultant maximal (Nm)	261,0	32,2	206,2	32,8	<0,001	0,13	0,55	0,82
Moment transverse maximal	258,1	31,7	202,7	32,2	<0,001	0,08	0,52	0,83
Moment longitudinal maximal	20,8	7,0	16,4	6,0	0,05	0,86	0,86	0,09
Moment longitudinal minimal	-33,8	10,8	-26,9	7,5	0,03	0,57	0,68	0,30
Moment sagittal maximal	55,8	19,4	35,1	19,7	<0,01	0,34	0,56	0,11
Moment sagittal minimal	-49,5	21,1	-43,7	17,5	0,37	0,85	0,28	0,40
Moment normalisé transverse	2,23	0,27	2,24	0,42	0,99	0,05	<0,01	0,44
Moment normalisé longitudinal max	0,19	0,07	0,18	0,07	0,84	0,34	0,70	0,34
Moment normalisé longitudinal min	-0,30	0,09	-0,30	0,08	0,88	0,99	0,25	0,32
Moment normalisé sagittal max	0,50	0,18	0,39	0,23	0,12	0,39	0,98	0,21
Moment normalisé sagittal min	-0,43	0,15	-0,49	0,20	0,33	0,96	0,11	0,26

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

Phase de levage

Une interaction significative Configuration*Groupe a été observée pour l'angle de flexion lombaire et le ratio de flexibilité lombaire. Cette interaction indique que l'angle de flexion lombaire diminue légèrement entre la configuration 90° et celle de 180° pour le groupe poids santé (44,6 à 43,2°) alors que l'angle augmente légèrement pour le groupe obèse (41,0 à 42,0°).

Phase de dépôt

Aucune différence entre les groupes n'a été observée.

Tableau 3.9 Moyenne et écart type des angles observés à l'instant du moment de force résultant maximal lors du déplacement des boîtes vers le convoyeur.

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
<i>Phase de Levage</i>								
Angle de flexion lombaire (°)	41,5	12,7	43,9	14,1	0,60	0,03	0,08	0,63
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-1,8	4,1	-1,2	5,0	0,71	0,89	0,40	0,06
Angle de torsion lombaire	-0,5	3,8	0,8	4,7	0,35	0,28	0,94	0,37
Angle du tronc à C7 par rapport à la verticale (°)	46,1	12,7	52,0	15,7	0,22	0,11	0,08	0,59
Angle du tronc à T12 par rapport à la verticale (°)	47,7	14,2	52,7	17,7	0,36	0,20	0,09	0,82
Angle du genou droit (°)	49,8	13,8	50,2	17,2	0,89	0,15	0,53	0,40
Angle du genou gauche (°)	49,3	14,1	45,7	22,0	0,63	0,48	0,64	0,55
<i>Phase de dépôt</i>								
Angle de flexion lombaire (°)	60,4	16,3	62,3	19,3	0,75	0,98	0,67	0,66
Angle de flexion latérale lombaire (°)	1,1	4,8	3,0	6,1	0,32	0,35	0,52	0,32
Angle de torsion lombaire	2,3	4,5	1,3	4,6	0,52	0,35	0,94	0,27
Angle du tronc à C7 par rapport à la verticale (°)	70,7	17,6	73,2	20,5	0,69	0,39	0,49	0,89
Angle du tronc à T12 par rapport à la verticale (°)	74,2	19,4	75,1	24,8	0,92	0,34	0,65	0,97
Angle du genou droit (°)	65,6	32,2	65,0	36,9	0,96	0,65	0,44	0,84
Angle du genou gauche (°)	63,7	25,7	68,1	28,9	0,63	0,40	0,27	0,67

M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

3.2.3 Distance et trajectoire de la caisse et hauteur du centre de gravité

Phase de levage

Une interaction Configuration*Groupe a été observée au niveau de la hauteur minimale des participants lors du levage (tableau 3.10). L'interaction indique que le passage de la configuration 90 ° à 180 ° est associé à une augmentation de la hauteur minimale du centre de gravité du participant de 1,1 cm pour les manutentionnaires obèses et d'une légère baisse de 0,3 cm pour les manutentionnaires avec un poids santé.

Phase de dépôt

Aucune différence entre les groupes n'est observée lors du dépôt des boîtes sur le convoyeur (tableau 3.10).

Tableau 3.10 Moyenne et écart type de la distance et de la trajectoire de la caisse, et hauteur du centre de gravité lors du déplacement des caisses vers le convoyeur.

Variables	Obèse		Santé		Effet Groupe (p)	Interaction (p)		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET		CG	MG	HG
Phase de levage								
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (cm) [†]	39,1	5,1	37,2	7,4	0,39	0,87	0,47	0,69
Hauteur de caisse maximale	101,6	5,1	98,7	8,8	0,23	0,57	0,65	0,39
Hauteur de caisse minimale	70,6	3,3	68,7	4,3	0,15	0,26	0,20	0,84
Hauteur de caisse, 50 ^e centile	96,3	5,4	93,3	8,6	0,22	0,92	0,77	0,31
Hauteur du CG maximal	94,1	3,6	94,0	3,9	0,91	0,76	0,68	0,11
Hauteur du CG minimal	78,9	5,4	78,4	5,0	0,81	0,05	0,34	0,30
Phase de dépôt								
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (cm) [†]	47,4	5,4	45,5	6,2	0,34	0,08	0,13	0,14
Hauteur de caisse maximale	96,8	5,6	93,0	11,1	0,22	0,75	0,98	0,70
Hauteur de caisse minimale	43,1	4,8	42,1	5,5	0,55	0,24	0,68	0,66
Hauteur de caisse, 50 ^e centile	77,8	8,3	75,4	10,7	0,46	0,86	0,52	0,60
Hauteur du CG maximal	92,9	3,6	92,4	4,6	0,67	0,73	0,92	0,94
Hauteur du CG minimal	67,5	8,3	66,6	8,9	0,77	0,69	0,47	0,77

[†]Distance horizontale à l'instant du moment de force résultant maximal; M: Moyenne; ET: Écart type; CG: interaction entre les facteurs Configuration x Groupe; MG: interaction entre les facteurs Masse de la caisse x Groupe; HG: interaction entre les facteurs Hauteur de la caisse x Groupe.

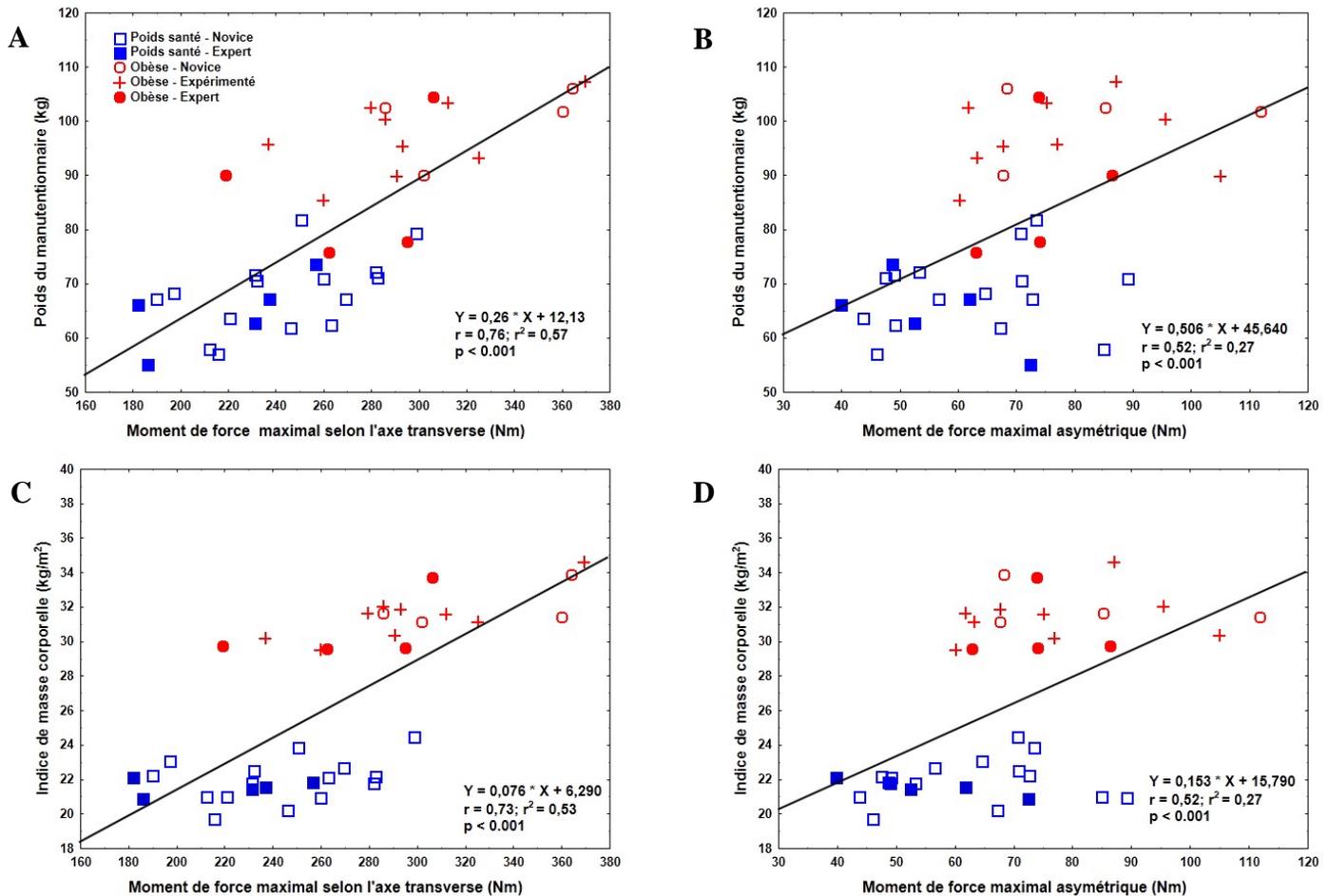


Figure 3.5 Régression linéaire entre le poids du manutentionnaire et le moment de force maximal selon l'axe transverse (A) et asymétrique (B) et celle entre l'IMC et le moment de force maximal selon l'axe transverse (C) et asymétrique (D).

Les valeurs des moments de force maximaux représentent les moyennes observées pour chaque participant lors du soulèvement de la caisse de 23 kg à la position L-C1 sur le diable (près du sol) dans la condition 180 °.

3.3 Régressions linéaires

3.3.1 Régression linéaire simple

Une association linéaire, positive et significative a été trouvée entre les paramètres liés à la masse corporelle des manutentionnaires (poids et IMC) et les chargements externes au niveau du dos. Le poids des manutentionnaires explique 57 % et 27 % de la variance du moment de force maximale transverse et asymétrique observée lors du soulèvement du sol (L-C1) de la caisse de 23 kg (figure 3.5A et B). L'IMC expliquerait respectivement 53 % et 27 % de la variance du moment de force maximal transverse et asymétrique (figure 3.5C et D). Le nombre d'années

d'expérience et la taille ne sont pas significativement associés aux variations des moments de force maximaux ($p > 0.14$).

3.3.2 Régression linéaire multiple

L'analyse de régression multiple a permis de déterminer un modèle à quatre variables permettant d'expliquer les variations du moment de force maximal transverse au dos lors du soulèvement d'une charge de 23kg posée sur le diable près du sol (Tableau 3.11). La proportion de variance expliquée par le modèle est de 81 % et l'erreur standard de l'estimé est égale à 22,3.

Tableau 3.11 Modèle de régression multiple retenu pour prédire la variabilité du moment de force maximal transverse au dos lors du soulèvement.

Variable	Étape	R	R ²	Changement du R ²	Valeur-F	Valeur-p	Beta
Distance A-P à T12	1	0,776	0,602	0,602	52,90	< 0,001	0,381
Distance hor. de la caisse à L5/S1	2	0,859	0,738	0,136	17,68	< 0,001	0,383
Poids du haut du tronc	3	0,885	0,784	0,046	6,95	0,01	0,414
Angle de flexion lombaire	4	0,898	0,807	0,023	3,84	0,06	0,170

4 DISCUSSION

Les résultats démontrent clairement que les stratégies de travail adoptées par des manutentionnaires obèses induisent un chargement lombaire maximal très élevé lors du soulèvement et du dépôt de caisses sur un diable ou sur un convoyeur. Bien que très variables d'un individu à un autre, les stratégies posturales (c.-à-d. la flexion des genoux et du dos) étaient globalement similaires entre les manutentionnaires obèses et ceux de poids santé. Aucune différence entre les groupes n'a été notée au regard de la durée des activités de transfert et de celui de la fatigue induite par l'activité de manutention. Des augmentations de 22 % à 59 % du chargement externe au dos observées chez les manutentionnaires obèses (comparativement aux manutentionnaires de poids santé) sont attribuables, en très grande partie, aux paramètres anthropométriques caractérisant l'obésité et aux façons de faire individuelles des manutentionnaires.

Dans un premier temps, les différences entre les groupes de manutentionnaires en ce qui a trait à l'anthropométrie et à la capacité physique, de même que, les conséquences biomécaniques mesurées lors de l'activité de manutention sont discutées, incluant notamment les moments de force au dos, la posture et le déplacement des caisses. Enfin, les facteurs permettant de prédire le moment de force externe au dos selon l'axe transverse seront abordés.

4.1 Anthropométrie et capacité physique

Comme attendu, la différence entre les manutentionnaires obèses et ceux de poids santé est importante en regard de l'anthropométrie. Les groupes de manutentionnaires ont été formés en fonction de leur indice de masse corporelle, donc il n'est pas surprenant qu'ils se distinguent lorsque nous estimons les propriétés segmentaires. L'amplitude de ces paramètres a une influence directe sur les charges externes subies par le corps lors des activités de manutention simulées en laboratoire. Les participants obèses de cette étude avaient une masse corporelle 41,4 % plus importante que celle des manutentionnaires de poids santé. La force physique maximale (force isométrique maximale de soulèvement) n'était pas différente entre les deux groupes lorsqu'évaluée en valeur absolue, mais elle était significativement plus faible en valeur relative (-26,9 %) pour les manutentionnaires obèses. Ce résultat concorde avec ce qui est rapporté dans la littérature actuelle. Lorsque les mesures de force et de puissance sont ajustées en fonction de la masse corporelle, de la masse maigre totale ou autres approches allométriques, les individus obèses ont une force maximale isométrique (6 à 16 %), une force des extenseurs du tronc (~10 %), une force de flexion du genou (~20 %), et une force de préhension (~10 %) plus faible que celles mesurées chez des individus de poids santé (Kitagawa et Miyashita, 1978; Blimkie et coll., 1990; Miyatake et coll., 2000; Hulens et coll., 2001). Il est reconnu que cette diminution relative de la force musculaire chez les obèses peut limiter, voire nuire à la réalisation

des tâches réalisées quotidiennement et les prédisposer à un risque plus grand de fatigue et de blessures musculo-squelettiques (Syed et Davis ,2000; Wearing et coll., 2006).

Il est important de souligner qu'aucun des participants ne présentait de problèmes musculo-squelettiques pouvant affecter leur façon normale de travailler et tous ont été en mesure de réaliser la tâche avec un minimum de fatigue. Aucune différence sur le plan de la fatigue générale n'a été décelée entre les groupes. Une augmentation continue de la fatigue, de très faible au départ à un niveau modéré à la fin de la séance (de 3 à 4 sur l'échelle de Borg), a été observée au cours de l'expérience pour les deux groupes de manutentionnaires. Il faut rappeler que des pauses régulières de deux minutes étaient prévues après chaque transfert aller-retour des quatre boîtes pour réduire l'effet de fatigue et que le rythme de travail pour le déplacement des caisses du convoyeur vers le diable et ensuite du diable vers le convoyeur était libre. Une absence de différence a également été observée entre les manutentionnaires experts et les novices lors de la réalisation de la même tâche (Plamondon et coll., 2010; Plamondon et coll., 2011). Par conséquent, les résultats sont représentatifs d'un contexte de travail dans lequel la fatigue physique est minimale.

L'obésité est souvent associée à une réduction des capacités aérobiques (Mattsson et coll., 1997; Hulens et coll., 2001) et anaérobiques (Lafortuna et coll., 2002; Sartorio et coll., 2004) et cela peut occasionner une réduction substantielle de leurs capacités de travail (Mattsson et coll., 1997). Les individus obèses doivent continuellement négocier avec leur surcharge de poids dans les différentes activités de travail (p. ex., activité locomotrice, maintien de l'équilibre prolongé, mouvement répétitif, etc.). Il se peut que l'obésité ait un impact plus sérieux sur les stratégies de travail lorsqu'on analyse le problème sur une plus longue période et dans un milieu réel de travail. Les notions de fatigue et de capacité de travail pourraient être éventuellement atténuées par un régime d'alternance repos-travail mieux adapté à leur condition physique. D'autres recherches seront nécessaires pour mieux comprendre l'impact du travail dynamique sur les stratégies des travailleurs obèses ou ceux en mauvaise condition physique.

4.2 Le chargement au dos

Le résultat le plus marquant de cette étude est l'augmentation considérable des moments de force au dos en flexion-extension sagittale et ceux asymétriques durant le soulèvement et le dépôt de caisses à différentes hauteurs. Plus la caisse à soulever était près du sol, plus les chargements externes au dos étaient exacerbés par le facteur obésité. Rappelons que l'obésité des manutentionnaires était caractérisée, entre autres, par une masse et une inertie du haut du corps plus importante, des circonférences au niveau du tronc plus larges et d'une diminution de la souplesse en ce qui a trait à la flexion du tronc.

En normalisant les moments de force par rapport au moment de force généré par le poids du tronc à l'horizontale des manutentionnaires, nous retrouvons des valeurs identiques pour les deux groupes de manutentionnaires pour ces tâches. Le poids relatif permet d'apprécier l'efficacité de la méthode de travail en éliminant la contribution du poids des travailleurs sur les chargements externes. De toute évidence, les manutentionnaires obèses ne font pas techniquement mieux ou pire que les manutentionnaires de poids santé. Toutefois, il faut admettre qu'au bout du compte, ce sont les structures du système musculo-squelettique qui subissent les chargements externes imposés par la méthode de travail et les caractéristiques anthropométriques individuelles de chaque travailleur. Selon Marras et coll. (2006), le paramètre le plus important associé aux risques de blessures au dos en situation de travail est justement le moment externe imposé sur la colonne vertébrale.

Dans ce sens, les résultats de la présente étude sont alarmants: les manutentionnaires obèses avaient des moments de force résultants au dos (principalement dû au moment de force de flexion-extension du dos) qui étaient au moins 23 % supérieurs à ceux des manutentionnaires avec un poids santé. Lors du soulèvement de la caisse au sol de 23 kg sur le diable, sept sur dix-sept (41 %) manutentionnaires obèses ont franchi le plateau des 300 Nm en termes de chargement externe maximal à L5-S1 alors qu'aucun manutentionnaire de poids santé n'a franchi ce seuil. De plus, deux manutentionnaires seulement, obèses de surcroît, ont exercé des moments de force en flexion latérale maximaux supérieurs à 100 Nm. En ce qui concerne les charges biomécaniques au dos en torsion, plus de 76 % des manutentionnaires obèses et 45 % des poids santé ont exercé des moments de force en torsion supérieurs à 30 Nm. Il faut noter que ces niveaux de charges biomécaniques, affectant certains manutentionnaires obèses, sont légèrement plus élevés que ceux rapportés auprès de manutentionnaires effectuant des déplacements de charges les pieds fixes au sol: moments de force de 57 Nm en torsion et de 101 Nm en flexion latérale (Kingma et coll., 1998). Lavender et coll. (2007) ont mentionné que les manutentionnaires qui limitaient les moments de torsion à 30 Nm étaient moins susceptibles d'être atteints de troubles au dos que ceux ayant des moments de torsion supérieurs à 30 Nm. Ces évidences montrent que ces chargements externes imposés au dos augmentent assurément l'exposition physique et, conséquemment, le risque de blessures des manutentionnaires obèses. Il est donc important de considérer le surplus de poids comme un facteur déterminant dans l'augmentation de l'exposition physique aux risques de TMS.

La marge de sécurité pour contrer un événement ou un effort imprévu ou même pour augmenter le rythme de travail semble donc diminuer chez les manutentionnaires obèses. D'autant plus que la réalité plus dynamique des environnements de travail pourrait influencer encore plus cette marge de sécurité. Une étude indique qu'environ 15 % des efforts en manutention sont accompagnés de torsion du tronc et que celle-ci est présente dans près de 50 % des activités de manutention (Baril-Gingras et Lortie, 1995). L'activité réelle des manutentionnaires et l'impact de l'obésité méritent d'être étudiés en milieu de travail avec des instruments capables de mesurer, notamment, l'asymétrie de posture.

Enfin, Singh et coll. (2009) soulignent que des sujets obèses ($IMC \geq 35 \text{ kg/m}^2$) ont sélectionné des charges maximales acceptables⁶ équivalentes à celles d'un groupe poids santé. En raison des coûts biomécaniques et physiologiques accrus liés au surplus de poids des obèses, ces résultats sont plutôt surprenants. Les auteurs expliquent, d'une part, que les sujets obèses ont peut-être utilisé une technique de manutention qui a permis de compenser leur surplus de poids. Sur la base de nos résultats, il semble peu probable que ce soit le cas. D'autre part, ils avancent que les obèses auraient un seuil de détection psychophysique (perception) différent des individus de poids santé ou encore qu'ils percevraient différemment un effort physique en raison du fait qu'ils sont toujours exposés à des charges élevées. Dans ces deux cas, la charge acceptable maximale serait surestimée et représenterait un risque pour le manutentionnaire obèse.

4.3 Le bras de résistance

La minimisation du bras de résistance, c.-à-d. de la distance entre la charge et le tronc, est un des principes de manutention le plus considéré (McGill, 2002; Graveling et coll., 2003; Marras, 2006; 2008) et le plus observé auprès de manutentionnaires experts et expérimentés (Baril-Gingras et Lortie, 1995; Authier et coll., 1996). Pour les manutentionnaires obèses, cette option n'est peut-être pas toujours réalisable compte tenu des contraintes physiques liées à la surcharge pondérale au niveau abdominal. La distance entre la caisse et l'articulation L5/S1 était légèrement supérieure pour les manutentionnaires obèses, mais seuls les manutentionnaires de poids santé ont pu rapprocher la charge plus lourde près de leur corps pour minimiser l'effet levier sur les chargements lombaires. Des études rapportent que les experts tentent de réduire la distance entre la charge et le corps soit en approchant celle-ci du corps, en se positionnant pour être plus près de la charge, soit en inclinant la caisse sur son rebord de manière à élever le centre de gravité de la caisse (Authier et coll., 1995; 1996; Plamondon et coll., 2010). Le rapprochement de la caisse par rapport au corps a permis aux manutentionnaires de poids santé de réduire le moment de force résultant maximal au niveau de L5/S1 imposé par la manutention de la charge la plus lourde. Il n'est pas possible avec les données recueillies de vérifier si les manutentionnaires auraient pu adopter cette stratégie ou non (notamment à cause de l'interférence physique causée par une obésité abdominale). Cette dernière possibilité illustrerait l'impact négatif de l'obésité sur la marge de manœuvre des manutentionnaires obèses durant leur activité de travail. L'inclinaison de la caisse permet au manutentionnaire d'effectuer le levage en fléchissant moins les genoux. Cette façon de faire serait avantageuse en réduisant principalement la hauteur de levage tout en assurant une meilleure stabilité au niveau des genoux. À la lumière de nos résultats, l'inclinaison de la caisse, estimée indirectement par la hauteur de caisse au levage, ne semble pas avoir été influencée par le facteur obésité.

⁶ L'ajustement des charges maximales acceptables (« *Maximum acceptable weight of lifts* » ou MAWL) se fait sur une période de 25 minutes dans laquelle on indique aux sujets que ces charges doivent être représentatives d'un effort « acceptable » sur une période de huit heures de travail.

Par ailleurs, il faut garder en tête que la grandeur du bras de résistance n'explique pas à lui seul les chargements externes au niveau du dos. Par exemple, une distance charge-tronc différente de 1,4 cm entre deux experts poids santé est associée à une variation de 73 Nm de leur moment de force maximal transverse alors qu'une différence de 1,2 cm entre deux experts obèses occasionne une variation de 31 Nm. D'autres facteurs entrent en ligne de compte comme l'accélération de la caisse, l'inclinaison ou encore l'accélération angulaire du tronc. De futurs travaux de recherche devront préciser davantage les stratégies relatives au rapprochement de la caisse du corps en tenant compte de mesures morphologiques plus précises des participants.

4.4 La posture

Très peu de différences en ce qui a trait aux durées des phases et des postures adoptées ont été notées entre les groupes de manutentionnaires. En moyenne, les manutentionnaires obèses adoptaient une stratégie similaire à celle adoptée par les manutentionnaires de poids santé lors du soulèvement et du dépôt des caisses à différentes hauteurs. Xu et coll. (2008) ont également noté une absence de différence au regard des angles au dos lors de levers de charge dans le plan sagittal et avec les pieds immobiles entre des sujets obèses ($IMC \geq 30 \text{ kg/m}^2$) et de poids santé. La masse des charges soulevée correspondait à 10 % (~ 6 kg) et à 25 % (~ 15 kg) de la force maximale au dos des participants. Les auteurs ont toutefois observé une vitesse et une accélération en flexion sagittale et en torsion du tronc plus élevée chez les obèses. Peu d'explications sont fournies par les auteurs, mais à la lumière de leurs résultats et compte tenu de l'échantillon de participants relativement faible ($n = 6$ par groupe), ces augmentations de la cinématique du tronc pourraient être associées à une force maximale au dos légèrement plus élevée chez les participants obèses (171,6 Nm vs 191,8 Nm; $p=0,15$). Les différences entre les obèses et les participants de poids santé rapportées dans l'étude de Xu et coll. (2008) n'ont pas été observées dans la présente étude. Il faut cependant mentionner que les conditions de manutention de la présente étude diffèrent considérablement des conditions testées par Xu et coll. (2008) sur le plan des contraintes imposées aux pieds, de la configuration de l'aire de travail, de la masse et du nombre de charges manutentionnées et surtout du nombre de sujets.

Nos résultats indiquent que le manutentionnaire 'moyen' obèse ou de poids santé adoptait une posture de travail caractérisée par une posture du dos et aux genoux de plus en plus fléchis au fur et à mesure que les boîtes à soulever étaient proches du sol (et que les boîtes à déposer étaient proches du sol). Toutefois, les stratégies 'moyennes' sont empreintes d'une très grande variabilité interindividuelle autant chez les manutentionnaires obèses que ceux de poids santé.

Cette variabilité est frappante parmi tous les sous-groupes de manutentionnaires d'expertise diverse inclus dans cette étude. Plus spécifiquement, on remarque que la posture des genoux des différents experts lors du soulèvement de la caisse près du sol lors de la phase retour sur le

convoyeur, semble à première vue aussi variable que chez les manutentionnaires expérimentés et novices. En analysant ce résultat en fonction de la taille des participants, on remarque cependant que les trois experts avec une petite taille ($< 1,68$ m) adoptent une stratégie caractérisée par une flexion lombaire modérée ($< 65^\circ$) et une légère flexion des genoux ($< 72^\circ$) alors que les six experts de plus grande taille adoptent une flexion lombaire modérée et une flexion plus importante des genoux. Il y a lieu de mentionner que cette association entre la taille des manutentionnaires et la flexion des genoux lors du soulèvement de la caisse la plus près du sol n'est pas observée chez les manutentionnaires novices et expérimentés. Plamondon et coll. (2010) avaient souligné que la différence entre les experts et les novices se situait tant au niveau de la flexion des genoux qu'au niveau de la flexion lombaire, où la majorité des experts augmente la flexion des genoux, mais limite celle du dos au moment d'exercer l'effort maximal dédié au soulèvement. En analysant les neuf experts de la présente étude, on remarque les mêmes tendances, notamment en regard de la flexion lombaire, où la majorité des experts limite leur flexion à moins de 65° au moment d'exercer l'effort maximal relatif au soulèvement. Cela dit, une bonne proportion de manutentionnaires novices et expérimentés (9 / 28 ou 32 %) a adopté une flexion lombaire inférieure à ce seuil (une flexion lombaire modérée $< 65^\circ$). Ceci souligne le fait que certains travailleurs novices (ou expérimentés) puissent adopter des postures sécuritaires lors de leur activité de travail.

Par ailleurs, aucun des manutentionnaires obèses n'a effectué une flexion des genoux de 120° ou plus alors que cinq manutentionnaires de poids santé (dont deux experts) l'ont fait au moment d'exercer l'effort maximal relatif au soulèvement d'une caisse au sol. La flexibilité aux membres inférieurs et/ou l'effort musculaire nécessaires à l'extension des genoux à partir de cette position accroupie pourraient expliquer ce résultat.

4.5 Modèle de prédiction

La présente étude a permis de présenter une première ébauche d'un modèle statistique permettant de prédire le moment de force maximal selon l'axe transverse lors d'un soulèvement de charge à partir du sol. L'attention ne doit pas être portée sur le modèle proprement dit, mais plutôt sur les quatre facteurs qui ont été identifiés par l'analyse de régression multiple et qui permettent d'expliquer un peu plus de 80 % de la variance observée. Ces facteurs sont associés à certains principes essentiels reconnus dans la littérature scientifique et discutés précédemment et à deux autres facteurs liés à l'anthropométrie du travailleur. La distance entre la charge et le corps de même que la flexion lombaire représentent les deux principaux facteurs en lien avec les façons de faire que l'on attribue aux manutentionnaires experts. Les deux autres facteurs qui sont en lien avec l'anthropométrie sont des paramètres sensibles au regard de l'obésité. Le poids du haut du tronc (estimé par la technique volumétrique de Jensen, 1978) représente une partie de la masse qui doit être supportée par le bas de la colonne vertébrale. Nécessairement, le poids du tronc est intimement lié à l'IMC et au poids d'un individu. L'autre facteur anthropométrique est

l'épaisseur du tronc mesurée à T12. Cette variable est également associée à l'IMC et au poids, en plus d'avoir une influence directe sur le positionnement de la charge par rapport au corps. L'obésité jouerait donc sur trois de ces quatre facteurs. Cela résumerait l'impact négatif de l'obésité sur le changement externe au niveau du dos.

4.6 Limites de l'étude

Tout comme pour l'étude entre les manutentionnaires experts et novices, nous retrouvons une différence d'âge entre les groupes de travailleurs. Les manutentionnaires obèses étaient de fait plus âgés et plus expérimentés. Le recrutement qui s'est étalé sur huit mois n'a pas été simple, principalement pour convaincre des manutentionnaires obèses de participer à cette expérience. Nous avons dû, en cours de route, changer nos critères de sélection afin d'inclure non seulement des novices (critère du début de l'expérience), mais également des manutentionnaires avec plus d'un an d'expérience de travail (critère de fin). De plus, nous avons ajusté l'échantillonnage afin d'assurer un nombre d'experts égal dans chacun des groupes.

Les effets de l'obésité et de l'expérience des travailleurs n'ont pu être totalement dissociés dans cette étude. Malgré tout, nous avons démontré que les facteurs IMC et poids reliés à l'obésité avaient une influence importante et significative sur les chargements externes au dos, alors que l'âge et l'expérience des manutentionnaires n'en avaient pas. De plus, nous avons été en mesure de constater que le comportement des experts de poids santé et des experts obèses semblait similaire. Les présents résultats soulignent qu'une distribution inéquitable de participants obèses au sein de groupes de manutentionnaires peut influencer certains résultats notamment en ce qui a trait aux moments de force externe.

Plusieurs sources d'erreurs sont associées au modèle biomécanique. L'imprécision des instruments de mesure et les erreurs de reconnaissance des repères anatomiques et des mouvements relatifs entre les marqueurs et la peau, notamment chez les participants obèses, représentent des erreurs qui ont pu nuire à l'estimation des données cinématiques et cinétiques. Plusieurs mesures ont été prises afin de diminuer ces erreurs, telles que la calibration des instruments de mesure et la formation rigoureuse donnée aux expérimentateurs au regard de la pose des équipements. Par ailleurs, les données ont été vérifiées visuellement pour s'assurer de leur justesse. Pour ces raisons, nous croyons que ces erreurs ont une faible incidence sur les résultats.

Plusieurs mesures ont aussi été prises pour limiter les contraintes liées à cette expérience réalisée en laboratoire, mais nous ne pouvons prétendre que les manutentionnaires ont répliqué dans les moindres détails ce qu'ils font habituellement durant leur quart de travail. Néanmoins, tous les participants obèses et de poids santé ont été exposés de la même manière à ces contraintes.

4.7 Conclusion

En conclusion, le surplus de poids d'un travailleur obèse entraîne indubitablement un effet délétère sur le chargement externe au niveau des structures musculo-squelettiques du dos. La morphologie du manutentionnaire obèse limite aussi la possibilité de rapprocher la charge proche du corps réduisant ainsi sa marge de manœuvre. Ces aspects biomécaniques exposent ainsi les manutentionnaires obèses à de plus grands risques de développer un TMS lors de la manipulation de charge que les manutentionnaires de poids santé.

Peu de différences distinguent les façons de faire des manutentionnaires obèses et de celles des manutentionnaires de poids santé, qu'ils soient experts ou non, dans des conditions expérimentales où la fatigue physique est minimale. Toutefois, les résultats pourraient être forts différents si les manutentionnaires avaient été soumis à des conditions de travail plus intensives étant donné la réduction des capacités aérobiques et anaérobiques des individus obèses. D'autres études sont nécessaires pour comprendre les motifs qui expliquent la mise en place de ce savoir-faire et pour analyser comment ce savoir-faire (et peut-être d'autres) évolue au fil du temps de travail. Ces résultats ont une grande importance, car ils soulignent la nécessité de prendre en considération la dimension de l'obésité dans les activités de manutention.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Audet, N., (2007). L'évolution de l'excès de poids chez les adultes québécois de 1990 à 2004: mesures directes. *Zoom santé, santé et bien-être*, Institut de la statistique du Québec, Gouvernement du Québec Juin, 1-5.
- Authier, M., Gagnon, M., Lortie, M., (1995). Handling Techniques: The Influence of Weight and Height for Experts and Novices. *Int J Occup Saf Ergon* 1, 262-275.
- Authier, M., Gagnon, M., Lortie, M., (1996). Manual handling techniques: Comparing novices and experts. *Int J Ind Ergon* 17, 419-429.
- Baril-Gingras, G., Lortie, M., (1995). The handling of objects other than boxes: univariate analysis of handling techniques in a large transport company. *Ergonomics* 38, 905-925.
- Barnekow-Bergkvist, M., Aasa, U., Angquist, K. A., Johansson, H., (2004). Prediction of development of fatigue during a simulated ambulance work task from physical performance tests. *Ergonomics* 47, 1238-1250.
- Bernard, B. P., (1997). Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. In: NIOSH (Ed.), pp 1-16.
- Berrigan, F., Simoneau, M., Tremblay, A., Hue, O., Teasdale, N., (2006). Influence of obesity on accurate and rapid arm movement performed from a standing posture. *Int J Obes (Lond)* 30, 1750-1757.
- Blimkie, C. J., Sale, D. G., Bar-Or, O., (1990). Voluntary strength, evoked twitch contractile properties and motor unit activation of knee extensors in obese and non-obese adolescent males. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61, 313-318.
- Borg, G., (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health* 16 Suppl 1, 55-58.
- Browning, R. C., Baker, E. A., Herron, J. A., Kram, R., (2006). Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking. *J Appl Physiol* 100, 390-398.
- Burdorf, A., Sorock, G., (1997). Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health* 23, 243-256.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B., Martin, B. J., (1999). *Occupational Biomechanics* (3e édition). John Wiley & Sons, Toronto.
- Chaffin, D. B., Herrin, G. D., Keyserling, W. M., (1978). Preemployment strength testing: an updated position. *J Occup Med* 20, 403-408.
- Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail du Québec, (2012). Statistiques sur les affections vertébrales 2008-2011. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail (CSST) du Québec, Direction de la statistique et de la gestion de l'information. Service indicateurs de gestion, analyses et études, pp 1-29.
- Corbeil, P., Simoneau, M., Rancourt, D., Tremblay, A., Teasdale, N., (2001). Increased risk for falling associated with obesity: mathematical modeling of postural control. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 9, 126-136.
- Craig, B. N., Congleton, J. J., Kerk, C. J., Amendola, A. A., Gaines, W. G., (2006). Personal and non-occupational risk factors and occupational injury/illness. *Am J Ind Med* 49, 249-260.

- de Souza, S. A., Faintuch, J., Valezi, A. C., Sant' Anna, A. F., Gama-Rodrigues, J. J., de Batista Fonseca, I. C., Souza, R. B., Senhorini, R. C., (2005). Gait cinematic analysis in morbidly obese patients. *Obes Surg* 15, 1238-1242.
- Desjardins, P., Plamondon, A., Gagnon, M., (1998). Sensitivity analysis of segment models to estimate the net reaction moments at the L5/S1 joint in lifting. *Med Eng Phys* 20, 153-158.
- Duval, K., Marceau, P., Lescelleur, O., Hould, F. S., Marceau, S., Biron, S., Lebel, S., Perusse, L., Lacasse, Y., (2006). Health-related quality of life in morbid obesity. *Obes Surg* 16, 574-579.
- Finkelstein, E. A., Chen, H., Prabhu, M., Trogdon, J. G., Corso, P. S., (2007). The relationship between obesity and injuries among U.S. adults. *Am J Health Promot* 21, 460-468.
- Gagnon, D., Gagnon, M., (1992). The influence of dynamic factors on triaxial net muscular moments at the L5/S1 joint during asymmetrical lifting and lowering. *J Biomech* 25, 891-901.
- Gardner, L. I., Landsittel, D. P., Nelson, N. A., (1999). Risk factors for back injury in 31,076 retail merchandise store workers. *Am J Epidemiol* 150, 825-833.
- Gilmore, T. M., Alexander, B. H., Mueller, B. A., Rivara, F. P., (1996). Occupational injuries and medication use. *Am J Ind Med* 30, 234-239.
- Graveling, R. A., Melrose, A. S., Hanson, M. A., (2003). The principles of good manual handling: Achieving a consensus. In: Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive (HSE), pp 1-112.
- Good, E. S., Suntay, W. J., (1983). A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. *J Biomech Eng* 105, 136-144.
- Handrigan, G., Hue, O., Simoneau, M., Corbeil, P., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., Teasdale, N., (2010). Weight loss and muscular strength affect static balance control. *Int J Obes (Lond)* 34, 936-942.
- Handrigan, G. A., Berrigan, F., Hue, O., Simoneau, M., Corbeil, P., Tremblay, A., Teasdale, N., (2012). The effects of muscle strength on center of pressure-based measures of postural sway in obese and heavy athletic individuals. *Gait Posture* 35, 88-91.
- Handrigan, G. A., Corbeil, P., Simoneau, M., Teasdale, N., (2010). Balance control is altered in obese individuals. *J Biomech* 43, 383-384.
- Hof, A. L., (1992). An explicit expression for the moment in multibody systems. *J Biomech* 25, 1209-1211.
- Hoogendoorn, W. E., Bongers, P. M., de Vet, H. C., Douwes, M., Koes, B. W., Miedema, M. C., Ariens, G. A., Bouter, L. M., (2000). Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain: results of a prospective cohort study. *Spine (Phila Pa 1976)* 25, 3087-3092.
- Hue, O., Berrigan, F., Simoneau, M., Marcotte, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., Teasdale, N., (2008). Muscle force and force control after weight loss in obese and morbidly obese men. *Obes Surg* 18, 1112-1118.
- Hue, O., Simoneau, M., Marcotte, J., Berrigan, F., Dore, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., Teasdale, N., (2007). Body weight is a strong predictor of postural stability. *Gait Posture* 26, 32-38.

- Hulens, M., Vansant, G., Lysens, R., Claessens, A. L., Muls, E., Brumagne, S., (2001). Study of differences in peripheral muscle strength of lean versus obese women: an allometric approach. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25, 676-681.
- Jensen, R. K., (1978). Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *J Biomech* 11, 349-358.
- Kingma, I., van Dieen, J. H., de Looze, M., Toussaint, H. M., Dolan, P., Baten, C. T., (1998). Asymmetric low back loading in asymmetric lifting movements is not prevented by pelvic twist. *J Biomech* 31, 527-534.
- Kitagawa, K., Miyashita, M., (1978). Muscle strengths in relation to fat storage rate in young men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 38, 189-196.
- Kuiper, J. I., Burdorf, A., Verbeek, J. H. A. M., Frings-Dresen, M. H. W., van der Beek, A. J., Viikari-Juntura, E. R. A., (1999). Epidemiologic evidence on manual materials handling as a risk factor for back disorders: a systematic review. *Int J Ind Ergon* 24, 389-404.
- Lafortuna, C. L., Fumagalli, E., Vangeli, V., Sartorio, A., (2002). Lower limb alactic anaerobic power output assessed with different techniques in morbid obesity. *J Endocrinol Invest* 25, 134-141.
- Lavender, S. A., Lorenz, E. P., Andersson, G. B., (2007). Can a new behaviorally oriented training process to improve lifting technique prevent occupationally related back injuries due to lifting? *Spine (Phila Pa 1976)* 32, 487-494.
- Le Petit, C., Berthelot, J.-M., (2005). Obésité: un enjeu en croissance (En santé aujourd'hui, en santé demain? Résultats de l'enquête nationale sur la santé de la population). Composante du produit no 82-618-MWF2005003 au catalogue de Statistique Canada, Statistique Canada, Ottawa. pp 1-9.
- Liira, J. P., Shannon, H. S., Chambers, L. W., Haines, T. A., (1996). Long-term back problems and physical work exposures in the 1990 Ontario Health Survey. *Am J Public Health* 86, 382-387.
- Magnusson, M. L., Pope, M. H., Wilder, D. G., Areskoug, B., (1996). Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? *Spine (Phila Pa 1976)* 21, 710-717.
- Marras, W. S., (2006). Biomechanical Basis for ergonomics. In: Marras, W. S., Karwowski, W. (Eds.), *The Occupational Ergonomics Handbook 2ed: Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 11-1-11-43.
- Marras, W. S., (2008). *The Working Back. A system view*. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Marras, W. S., Parakkat, J., Chany, A. M., Yang, G., Burr, D., Lavender, S. A., (2006). Spine loading as a function of lift frequency, exposure duration, and work experience. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 21, 345-352.
- Mattsson, E., Larsson, U. E., Rossner, S., (1997). Is walking for exercise too exhausting for obese women? *Int J Obes Relat Metab Disord* 21, 380-386.
- McGill, S. M., (2002). *Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation*. Human Kinetics, Windsor.

- McGraw, B., McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., Ward, D. S., (2000). Gait and postural stability in obese and nonobese prepubertal boys. *Arch Phys Med Rehabil* 81, 484-489.
- Miyatake, N., Fujii, M., Nishikawa, H., Wada, J., Shikata, K., Makino, H., Kimura, I., (2000). Clinical evaluation of muscle strength in 20-79-years-old obese Japanese. *Diabetes Res Clin Pract* 48, 15-21.
- Mongeau, L., Audet, N., Aubin, J., Baraldi, R., (2005). L'excès de poids dans la population québécoise de 1987 à 2003. Institut national de la santé publique du Québec et Institut de la statistique du Québec, Gouvernement du Québec. pp 1-24.
- National Fire Protection Association, (2007). *Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Departments*. Quincy (MA): National Fire Protection Association (NFPA).
- National Research Council, (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities*. National Research Council and Institute of Medicine.
- Ostbye, T., Dement, J. M., Krause, K. M., (2007). Obesity and workers' compensation: results from the Duke Health and Safety Surveillance System. *Arch Intern Med* 167, 766-773.
- Plamondon, A., Denis, D., Bellefeuille, S., Delisle, A., Gonella, M., Salazar, E., Denis, G., Larivière, C., St-Vincent, M., Nastasia, I., (2010). *Manutention – Comparaison des façons de faire entre les experts et les novices*. Études et recherches / Rapport R-663, Montréal, IRSSST. pp 1-126.
- Plamondon, A., Denis, D., Delisle, A., Lariviere, C., Salazar, E., (2011). Biomechanical differences between expert and novice workers in a manual material handling task. *Ergonomics* 53, 1239-1253.
- Plamondon, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996). Validation of two 3-D segment models to calculate the net reaction forces and moments at the L(5)/S(1) joint in lifting. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 11, 101-110.
- Pollack, K. M., Cheskin, L. J., (2007). Obesity and workplace traumatic injury: does the science support the link? *Inj Prev* 13, 297-302.
- Pollack, K.M., Sorock, G.S., Slade, M.D., Cantley, L., Sircar, K., Taiwo, O., Cullen, M.R., (2007). Association between body mass index and acute traumatic workplace injury in hourly manufacturing employees. *Am J Epidemiol* 166, 204-211.
- Sartorio, A., Proietti, M., Marinone, P. G., Agosti, F., Adorni, F., Lafortuna, C. L., (2004). Influence of gender, age and BMI on lower limb muscular power output in a large population of obese men and women. *Int J Obes Relat Metab Disord* 28, 91-98.
- Singh, D., Park, W., Levy, M. S., (2009). Obesity does not reduce maximum acceptable weights of lift. *Appl Ergon* 40, 1-7.
- Statistique Canada, (2008). *Recensement de la population de 2006*. Statistique Canada.
- Syed, I. Y., Davis, B. L., (2000). Obesity and osteoarthritis of the knee: hypotheses concerning the relationship between ground reaction forces and quadriceps fatigue in long-duration walking. *Med Hypotheses* 54, 182-185.
- Teasdale, N., Hue, O., Marcotte, J., Berrigan, F., Simoneau, M., Dore, J., Marceau, P., Marceau, S., Tremblay, A., (2007). Reducing weight increases postural stability in obese and morbid obese men. *Int J Obes (Lond)* 31, 153-160.

- Trogon, J. G., Finkelstein, E. A., Hylands, T., Dellea, P. S., Kamal-Bahl, S. J., (2008). Indirect costs of obesity: a review of the current literature. *Obes Rev* 9, 489-500.
- Tsismenakis, A. J., Christophi, C. A., Burrell, J. W., Kinney, A. M., Kim, M., Kales, S. N., (2009). The Obesity Epidemic and Future Emergency Responders. *Obesity* (Silver Spring) 17, 1648-1650.
- Vingard, E., Nachemson, A., (2000). Work-Related influences on neck and low back pain. In: *Neck and Back Pain: The Scientific Evidence of Causes, Diagnosis and Treatment* (Nachemson, A. and Jonsson, E., eds), pp 99-126 Philadelphia: Lippincot Williams & Wilkins.
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., Hills, A. P., (2006). Musculoskeletal disorders associated with obesity: a biomechanical perspective. *Obes Rev* 7, 239-250.
- Xu, X., Mirka, G. A., Hsiang, S. M., (2008). The effects of obesity on lifting performance. *Appl Ergon* 39, 93-98.

ANNEXES

Annexe A: Paramètres segmentaires

Les tableaux A.1, A.2 et A.3 ci-dessous présentent les valeurs moyennes des paramètres segmentaires nécessaires au modèle biomécanique 3D permettant d'estimer les moments nets à l'articulation L5/S1 (Plamondon et coll. 1996).

Tableau A.1 - Moyenne et écart type de la masse de chacun des segments.

	Manutentionnaires Poids Santé N = 20	Manutentionnaires Obèses N = 17
Sacrum	9,3 (\pm 1,7)	16,2 (\pm 2,8) *
Cuisse droite	8,0 (\pm 1,1)	10,2 (\pm 1,7) *
Cuisse gauche	8,0 (\pm 1,1)	10,2 (\pm 1,7) *
Jambe droite	3,5 (\pm 0,4)	4,5 (\pm 0,7) *
Jambe gauche	3,5 (\pm 0,4)	4,5 (\pm 0,7) *
Pied droit	2,0 (\pm 0,4)	2,5 (\pm 0,4) *
Pied gauche	2,0 (\pm 0,4)	2,5 (\pm 0,4) *
T12	8,0 (\pm 1,4)	13,7 (\pm 2,6) *
C7	13,5 (\pm 1,8)	18,7 (\pm 3,2) *
Tête	5,7 (\pm 0,6)	6,5 (\pm 0,7) *
Bras droit	2,0 (\pm 0,3)	2,6 (\pm 0,5) *
Bras gauche	2,0 (\pm 0,3)	2,6 (\pm 0,5) *
Avant-bras droit	1,6 (\pm 0,3)	2,1 (\pm 0,3) *
Avant-bras gauche	1,6 (\pm 0,3)	2,1 (\pm 0,3) *

* indique une valeur $p < 0,05$ au test t (échantillons indépendants)

Tableau A.2 - Moyenne et écart type du centre de gravité en x, y et z de chacun des segments.

	Centre de gravité par rapport à l'axe des X		Centre de gravité par rapport à l'axe des Y		Centre de gravité par rapport à l'axe Z	
	Poids santé	Obèse	Poids santé	Obèse	Poids santé	Obèse
Sacrum	-0,1 (±0,01)	-0,1 (0,02)*	-0,01 (±0,01)	0,01 (±0,01)	-0,0002 (±0,006)	-0,004 (±0,008)
Cuisse droite	-0,2 (±0,02)	-0,2 (±0,02)*	-0,01 (±0,01)	-0,005 (±0,01)	0,006 (±0,007)	0,008 (±0,008)
Cuisse gauche	-0,2 (±0,02)	-0,2 (±0,02)*	-0,01 (±0,01)	-0,004 (±0,01)	-0,008 (±0,007)	-0,01 (±0,07)
Jambe droite	-0,2 (±0,02)	-0,2 (± 0,02)	-0,02 (±0,01)	-0,02 (±0,01)	0,01 (±0,006)	0,009 (±0,01)
Jambe gauche	-0,2 (±0,02)	-0,2 (± 0,02)	-0,02 (±0,01)	-0,02 (±0,01)	-0,004 (±0,009)	-0,001 (±0,01)
Pied droit	-0,1 (±0,01)	-0,1 (± 0,02)	-0,005 (±0,01)	-0,007 (±0,01)	0,004 (±0,006)	0,002 (±0,005)
Pied gauche	-0,1 (±0,01)	-0,1 (± 0,02)	-0,003 (±0,01)	-0,006 (±0,01)	-0,001 (±0,007)	-0,003 (±0,006)
T12	-0,1 (±0,01)	-0,1 (± 0,02)	0,02 (±0,02)	0,07 (±0,02)*	-0,002 (±0,009)	0,0005 (±0,01)
C7	-0,2 (±0,01)	-0,2 (± 0,02)	0,02 (±0,02)	0,03 (±0,02)*	0,0004 (±0,01)	-0,0002 (±0,009)
Tête	-0,1 (±0,01)	-0,1 (± 0,01)	0,06 (±0,02)	0,06 (±0,02)	-0,003 (±0,007)	-0,001 (±0,005)
Bras droit	-0,2 (±0,01)	-0,1 (±0,01)*	-0,0002 (±0,01)	-0,001 (±0,02)	-0,01 (±0,009)	-0,006 (±0,01)
Bras gauche	-0,2 (± 0,01)	-0,1 (±0,01)*	0,005 (±0,02)	-0,001 (±0,02)	0,01 (±0,01)	0,007 (±0,02)
Avant-bras droit	-0,1 (± 0,01)	-0,1 (± 0,02)	0,002 (±0,007)	0,002 (±0,01)	-0,004 (±0,01)	0,006 (±0,02)*
Avant-bras gauche	-0,1 (±0,01)	-0,1 (±0,02)	-0,0002 (±0,01)	-0,0005 (±0,01)	0,005 (±0,01)	-0,007 (±0,02)*

* indique une valeur $p < 0,05$ au test t (échantillons indépendants)

Tableau A.3 - Moyenne et écart type du moment d'inertie de chacun des segments.

	Moment d'inertie selon l'axe sagittal		Moment d'inertie selon l'axe transverse		Moment d'inertie selon l'axe longitudinal	
	Poids santé	Obèse	Poids santé	Obèse	Poids santé	Obèse
Sacrum	0,07 (±0,02)	0,2 (±0,04)*	0,05 (±0,02)	0,1 (±0,04)*	0,08 (±0,02)	0,2 (±0,05)*
Cuisse droite	0,1 (±0,03)	0,1 (±0,03)*	0,1 (±0,03)	0,1 (±0,03)*	0,03 (±0,007)	0,05 (±0,01)*
Cuisse gauche	0,1 (±0,03)	0,1 (±0,03)*	0,1 (±0,03)	0,1 (±0,03)*	0,03 (±0,007)	0,05 (±0,01)*
Jambe droite	0,05 (±0,01)	0,06 (±0,01)*	0,05 (±0,01)	0,06 (±0,01)*	0,005 (±0,001)	0,009 (±0,002)*
Jambe gauche	0,05 (±0,01)	0,06 (±0,01)*	0,05 (±0,01)	0,06 (±0,01)*	0,005 (±0,001)	0,009 (±0,002)*
Pied droit	0,007 (±0,003)	0,008 (±0,002)	0,009 (±0,003)	0,01 (±0,003)*	0,004 (±0,001)	0,006 (±0,002)*
Pied gauche	0,007 (±0,003)	0,009 (±0,003)	0,009 (±0,003)	0,01 (±0,003)	0,004 (±0,001)	0,006 (±0,002)*
T12	0,06 (±0,01)	0,1 (±0,04)	0,04 (±0,01)	0,1 (±0,04)*	0,07 (±0,02)	0,2 (±0,06)*
C7	0,2 (±0,04)	0,3 (±0,09)*	0,1 (±0,03)	0,2 (±0,07)*	0,1 (±0,03)	0,2 (±0,07)*
Tête	0,03 (±0,004)	0,04 (±0,007)	0,03 (±0,005)	0,04 (±0,008)*	0,02 (±0,004)	0,03 (±0,006)*
Bras droit	0,02 (±0,004)	0,02 (±0,006)	0,02 (±0,004)	0,02 (±0,006)	0,002 (±0,0006)	0,004 (±0,001)*
Bras gauche	0,02 (±0,006)	0,03 (±0,006)*	0,02 (±0,004)	0,02 (±0,006)	0,002 (±0,0006)	0,004 (±0,001)*
Avant-bras droit	0,02 (±0,006)	0,03 (±0,006)*	0,02 (±0,006)	0,03 (±0,006)	0,001 (±0,0004)	0,002 (±0,0007)*
Avant-bras gauche	0,02 (±0,006)	0,03 (±0,006)*	0,02 (±0,006)	0,03 (±0,006)	0,001 (±0,0005)	0,002 (±0,0007)*

* indique une valeur $p < 0,05$ au test t (échantillons indépendants)

Annexe B: Définition

Tableau B.1: Définition des variables cinétiques et cinématiques

Variable	Description de la variable
Moment maximal résultant à L5/S1 (Nm)	Valeur maximale du moment (m) résultant à L5/ S1. Moment résultant = $\sqrt{m_{Transverse}^2 + m_{Sagittal}^2 + m_{longitudinal}^2}$
Occurrence (%)	Occurrence du moment résultant: valeur négative = pré-envol du levage ; 0 à 50% = envol du levage ; 51 à 100% = envol du dépôt ; 100% = post-envol du dépôt ; phase de levage -200% à 50% ; phase de dépôt 51% à 200% ; 0% à 100% = phase d'envol de la caisse.
Angle de flexion lombaire (°)	Angle de flexion de la région lombaire (°) d'après la séquence de (Grood et Suntay 1983).
Angle de la flexion latérale (°)	Angle de flexion latérale lombaire (°) d'après la séquence de (Grood et Suntay 1983).
Angle de torsion lombaire (°)	Angle de torsion lombaire (°) d'après la séquence de (Grood et Suntay 1983).
Inclinaison du tronc (à T11) p/r à la verticale(°)	Angle d'inclinaison du tronc à T11 par rapport à la verticale (°).
Distance horizontale caisse-L5/S1 (m)	Distance horizontale (m) de la caisse à l'articulation L5/S1.
Flexion genou droit (°)	Angle de flexion du genou droit (°).
Flexion genou gauche (°)	Angle de flexion du genou gauche (°).
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	Vélocité angulaire de la région lombaire sur l'axe transverse du tronc (°/s).
Moment maximal asymétrique à L5/S1 (Nm)	Valeur maximale du moment (m) asymétrique à L5/ S1. Moment résultant = $\sqrt{m_{Sagittal}^2 + m_{longitudinal}^2}$
Moment résultant cumulé à L5/S1 (Nms)	Valeur du moment résultant à L5/S1 cumulé (somme des valeurs) lors de la phase d'envol de la caisse.