

2012

## Les femmes manutentionnaires : un point de vue biomécanique et ergonomique

André Plamondon  
*IRSST*

Denys Denis  
*IRSST*

Christian Larivière  
*IRSST, christian.lariviere@irsst.qc.ca*

Alain Delisle  
*Université de Sherbrooke*

Denis Gagnon  
*Université de Sherbrooke*

*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

Plamondon, A., Denis, D., Larivière, C., Delisle, A., Gagnon, D., St-Vincent, M. et Nastasia, I. (2012). *Les femmes manutentionnaires : un point de vue biomécanique et ergonomique* (Rapport n° R-757). 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](mailto:pharesst@irsst.qc.ca).

---

**Auteurs**

André Plamondon, Denys Denis, Christian Larivière, Alain Delisle, Denis Gagnon, Marie St-Vincent, and Iuliana Nastasia

# É

Troubles musculo-squelettiques

## Études et recherches

RAPPORT R-757



### Les femmes manutentionnaires Un point de vue biomécanique et ergonomique

*André Plamondon  
Denys Denis  
Christian Larivière  
Alain Delisle  
Denis Gagnon  
Marie St-Vincent  
Iuliana Nastasia*



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

## NOS RECHERCHES

*travaillent pour vous !*

### Mission

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

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

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

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

### Pour en savoir plus

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

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

### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
2012  
ISBN : 978-2-89631-642-7 (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](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
novembre 2012



Troubles musculo-squelettiques

# Études et recherches

■ RAPPORT R-757

## Les femmes manutentionnaires Un point de vue biomécanique et ergonomique

### 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.

*André Plamondon<sup>1</sup>, Denys Denis<sup>1</sup>, Christian Larivière<sup>2</sup>,  
Alain Delisle<sup>3</sup>, Denis Gagnon<sup>3</sup>,  
Marie St-Vincent<sup>2</sup>, Iuliana Nastasia<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Prévention des problématiques de SST et réadaptation, IRSST*

*<sup>2</sup>Direction scientifique, IRSST*

*<sup>3</sup>Université de Sherbrooke*



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

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

**CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST**

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

## REMERCIEMENTS

Merci à nos professionnels scientifiques qui, par leur compétence, ont grandement facilité la collecte et le traitement des données : Sophie Bellefeuille, Cynthia Appleby, Maud Gonella, Erik Salazar, Hakim Mecheri et Christian Larue. Merci à tous les manutentionnaires volontaires et plus particulièrement ceux de la Société des alcools du Québec (SAQ), de Provigo et de Métro-Richelieu pour leur précieuse collaboration, ainsi qu'aux entreprises qui ont libéré ces travailleurs.



## SOMMAIRE

De nombreuses femmes exercent le métier de manutentionnaire. À tort, on a négligé de s'intéresser à cette population parce que le métier de manutentionnaire est largement pratiqué par des hommes. Il existe des études qui ont observé des différences significatives entre les hommes et les femmes dans leurs façons d'effectuer les tâches de manutention, mais leur nombre est limité. Quoique le nombre de manutentionnaires féminins soit beaucoup moins élevé dans certains types d'activité comme le transport et la machinerie, dans d'autres secteurs comme l'alimentation et les services, les femmes constituent souvent près de la moitié de la main-d'œuvre qui, de façon occasionnelle, devra faire du travail de manutention. Il est donc pertinent d'étudier cette population. L'objectif de ce projet de recherche était de mieux comprendre ce qui différencie les femmes des hommes manutentionnaires dans leurs modes opératoires. On suppose que les modes opératoires propres aux manutentionnaires féminins expérimentés sont différents des manutentionnaires de sexe masculin.

Les données de cette étude ont été comparées à celles recueillies lors du projet expert/novice avec des sujets masculins (Plamondon et coll., 2010). Le design expérimental permettait de faire ressortir les différences entre les sexes dans un contexte de travail où la charge était la même de façon absolue (15 kg pour les deux sexes) ou la même de façon relative (hommes : 15 kg; femmes : 10 kg) sachant que les femmes démontrent approximativement en moyenne une force équivalente aux 2/3 de la force des hommes ( $10/15 \text{ kg} = 2/3$ ). Trois séances expérimentales ont été tenues. La première consistait principalement à évaluer les capacités physiques des sujets et à les familiariser avec les conditions expérimentales. Les deux autres séances plaçaient les manutentionnaires dans deux contextes différents. Les caractéristiques de la charge (poids, fragilité du contenant et décentrage du centre de gravité), la hauteur de saisie et de dépôt de même que l'état de fatigue des manutentionnaires sont les paramètres qui ont été modifiés pour tenter de susciter une plus grande variété de modes opératoires des participants.

Des données biomécaniques et des observations ergonomiques ont été recueillies lors de ces trois séances à partir de systèmes de mesure du mouvement, d'une grande plate-forme de forces et d'un système de mesures de l'activation des muscles. Les résultats démontrent que les femmes (15 sujets) sont moins fortes que le groupe d'hommes experts (15 sujets) et celui d'hommes novices (15 sujets), avec des mesures de force musculaire (force de levée et force des muscles du tronc) se situant entre 49 et 63 % de celle des hommes. Lors des tâches de manutention, il était aussi attendu, en regard des différences de gabarit entre les sexes, que le chargement au dos maximal (moment résultant à L5/S1) soit plus élevé chez les hommes. Toutefois, lorsque ce moment résultant était normalisé en fonction du poids du tronc, ces différences disparaissaient dans la majorité des cas. D'un autre côté, les résultats confirment que les femmes opèrent de manière différente à celle des experts masculins, en adoptant des façons de faire qui ressemblent davantage à celle des novices masculins. Pour une même charge absolue de 15 kg, les femmes ont, comparativement aux hommes experts : une durée de transfert des caisses plus longue; une inclinaison du tronc et une flexion lombaire plus élevées; une flexion des genoux moins grande au levage des caisses du sol; une vélocité angulaire du tronc plus faible; et un meilleur rapprochement des caisses. Une majorité de femmes (et de novices) ont utilisé une technique de levage très différente de celle des experts masculins, qui consiste principalement à effectuer dans un premier temps une extension des genoux et à réaliser l'extension du tronc par la suite. Cette technique pourrait induire une flexion lombaire supérieure à celle observée chez les hommes

experts, mettant plus à risque les structures passives internes de la colonne vertébrale lombaire. Elle présente toutefois l'avantage d'être très efficace sur le plan énergétique.

La manutention d'une même charge relative (hommes : 15 kg vs femmes : 10 kg) a permis aux femmes de bénéficier à la fois d'une réduction du chargement au dos et de la durée de transfert. Par contre, elles ont augmenté la distance de la caisse par rapport au tronc et cela n'a pas diminué le niveau de flexion lombaire dans la plupart des conditions. Conséquemment, l'intervention la plus directe serait de réduire le poids de la charge pour les femmes; mais cela n'affecte pas la flexion lombaire. La formation demeure une autre avenue d'intervention, mais les effets sur le chargement lombaire restent limités. Un autre type d'intervention consiste à augmenter la hauteur de saisie des caisses. Il faut retenir ici que la majorité des risques rapportés dans ce rapport ne s'appliquent qu'aux conditions de manutention où la charge est prise du sol, ce qui ne représente qu'une fraction de la plupart des tâches de manutention. En fait, les risques au dos diminuent considérablement lorsque la charge est prise à la hauteur des hanches. Ces modes d'intervention sont non seulement utiles pour augmenter la marge de sécurité au dos, mais également pour réduire l'exposition physique des manutentionnaires, hommes ou femmes.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Le travail de manutention et les risques de lésions au dos.....	2
1.2 Études des manutentionnaires experts.....	3
1.3 Études sur les femmes et la manutention.....	4
1.4 Objectifs.....	6
2. MÉTHODOLOGIE : TRONC COMMUN.....	9
2.1 Sujets.....	9
2.2 Systèmes de mesure.....	10
2.3 Modèle biomécanique segmentaire.....	10
2.4 Échelle de Borg.....	10
3. SÉANCE I : CAPACITÉS PHYSIQUES.....	11
3.1 Tests de capacités physiques.....	11
3.2 Analyses statistiques.....	12
3.3 Résultats.....	12
4. SÉANCE II : TRANSFERT DE CAISSES DU CONVOYEUR AU DIABLE.....	13
4.1 Méthodologie.....	13
4.1.1 Procédures expérimentales.....	13
4.1.2 Traitement des signaux.....	14
4.1.3 Analyses statistiques.....	14
4.2 Résultats.....	17
4.2.1 Durée et parcours.....	17
4.2.2 Résultats au levage et au dépôt des caisses de 15 kg.....	21
5. SÉANCE III : TRANSFERT DE CAISSES DE PALETTE À PALETTE : RÉSULTATS BIOMÉCANIQUES.....	31
5.1 Méthodologie.....	31
5.1.1 Procédures expérimentales.....	31
5.1.2 Analyses statistiques.....	32
5.2 Résultats.....	33
5.2.1 Les cadences.....	34
5.2.2 La fatigue physique.....	34
5.2.3 La durée de la manutention et le parcours des caisses.....	35
5.2.4 Résultats de l'essai de la caisse de 15 kg.....	35

5.2.5	Résultats de l'essai de la caisse de 10 kg.....	37
5.2.6	Résultats des ANCOVA .....	38
6.	LES OBSERVATIONS ERGONOMIQUES.....	49
6.1	Méthodologie.....	49
6.1.1	Matériel.....	49
6.2	Résultats.....	50
6.2.1	Une grande variabilité dans les façons de faire .....	50
6.2.2	Des différences entre les hommes et les femmes.....	51
7.	DISCUSSION.....	55
7.1	La capacité physique des sujets (séance I).....	55
7.2	Les facteurs communs des séances II et III .....	55
7.2.1	Les durées .....	57
7.2.2	Les moments.....	57
7.2.3	La posture.....	59
7.2.3.1	La flexion lombaire.....	59
7.2.3.2	L'asymétrie .....	62
7.2.3.3	La flexion des genoux.....	63
7.2.4	Le rapprochement de la caisse .....	63
7.3	Limites de l'étude .....	64
7.3.1	Les sujets.....	64
7.3.2	Les résultats biomécaniques .....	65
7.3.3	La généralisation des résultats .....	65
7.4	Les femmes et la manutention .....	66
7.5	Ce qu'il reste à faire.....	68
8.	CONCLUSION.....	69
	BIBLIOGRAPHIE.....	71
	ANNEXE A : LA SANTÉ MUSCULO-SQUELETTIQUE DES 45 SUJETS.....	79
	ANNEXE B : LES SYSTÈMES DE MESURE .....	83
	ANNEXE C : DÉFINITION DES VARIABLES CINÉTIQUES ET CINÉMATIQUES .....	85
	ANNEXE D : LA NORMALISATION DES DONNÉES .....	86
	ANNEXE E : FLEXIBILITÉ LOMBAIRE MAXIMALE.....	89
	ANNEXE F : TESTS DE FATIGUE EFFECTUÉS LORS DE LA SÉANCE DE PALETTE À PALETTE (SÉANCE III).....	91
	ANNEXE G : LES CRITÈRES D'OBSERVATIONS ERGONOMIQUES .....	95
	ANNEXE H : LES HUIT RÈGLES DE LA MANUTENTION .....	99

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Données anthropométriques des sujets (n=45).....	9
Tableau 3-1 : Moyennes et écarts-types (ET) des capacités physiques des experts (E), des novices (N) et des femmes (F).....	12
Tableau 4-1 : Variables indépendantes de la séance deux.....	16
Tableau 4-2 : Durée des différentes phases avec les trois caisses de 15 kg.....	18
Tableau 4-3 : Durée des différentes phases avec la caisse centrée de 10 kg chez les femmes et la caisse centrée de 15 kg chez les hommes et les femmes.....	18
Tableau 4-4 : Parcours des trois caisses de 15 kg.....	20
Tableau 4-5 : Parcours de la caisse centrée de 10 kg chez les femmes et de la caisse centrée de 15 kg chez les hommes et les femmes.....	21
Tableau 4-6 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec les trois caisses de 15 kg.....	26
Tableau 4-7 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec les trois caisses de 15 kg.....	27
Tableau 4-8 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec la caisse centrée de 10 kg et la caisse centrée de 15 kg.....	28
Tableau 4-9 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse centrée de 10 kg et une caisse centrée de 15 kg.....	29
Tableau 5-1 : Variables indépendantes de la séance III.....	33
Tableau 5-2 : Cadences libre et imposée réelles (caisses/min) exercées par les manutentionnaires. Moyenne et écart-type (n = 15/groupe).....	34
Tableau 5-3 : Localisation verticale de dépôt de la caisse en fonction de la localisation verticale de celle-ci au levage.....	35
Tableau 5-4 : Durée des différentes phases avec des caisses de 15 kg.....	39
Tableau 5-5 : Durée des différentes phases avec une caisse de 10 kg chez les femmes et de 15 kg chez les hommes.....	39
Tableau 5-6 : Parcours des caisses de 15 kg.....	40
Tableau 5-7 : Parcours des caisses de 10 kg chez les femmes et de 15 kg chez les hommes et les femmes.....	40
Tableau 5-8 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg.....	41
Tableau 5-9 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg.....	42
Tableau 5-10 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse de 10 kg et une de 15 kg.....	43
Tableau 5-11 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse de 10 kg et une de 15 kg.....	44
Tableau 5-12 : Analyses de covariance sur les résultats d'intérêts dont le moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg.....	45
Tableau 6-1 : Observations des groupes au niveau de la continuité du transfert.....	51
Tableau 6-2 : Observations des femmes au niveau de la continuité du transfert pour des caisses de 10 kg et de 15 kg.....	52

Tableau 6-3 : Observations des groupes au niveau de l'inclinaison de la caisse à la prise .....	52
Tableau 6-4 : Observations des groupes au niveau de l'inclinaison de la caisse au dépôt .....	53
Tableau 6-5 : Observations des femmes au niveau de l'inclinaison de la caisse au dépôt pour des caisses de 10 kg et de 15 kg .....	53
Tableau 6-6 : Observations des groupes au niveau du type de dépôt .....	53
Tableau 6-7 : Observations des groupes au niveau du rapprochement de la caisse .....	54
Tableau 6-8 : Observations des femmes au niveau du rapprochement de la caisse pour des caisses de 10 kg et de 15 kg .....	54
Tableau 7-1 : Résumé des résultats communs des séances II et III entre les femmes et les hommes (N= novices et E = experts). Les symboles « + », « = » et « - » indiquent que les valeurs des femmes sont plus élevées (+), égales (=) ou plus petites ( - ) p/r aux hommes pour une caisse de 15 kg (charge absolue) ou pour une caisse de 10 kg (charge relative) .....	56
Tableau 7-2 : Différence entre l'angle maximal du genou droit (angle maximal) et l'angle à l'instant du moment résultant maximal à L5/S1 (angle à Mmax) dans la phase de levage des caisses au sol (sur la surface de la palette) .....	61

## LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 : Tests de capacités physiques.....	12
Figure 4-1 : Illustration de la condition expérimentale du convoyeur à 90° par rapport au diable.....	14
Figure 4-2 : Les différentes phases d'analyse d'une tâche de manutention. T1 = Début tâche; T2 = Début levage; T3 = Fin envol; T5 = Fin tâche .....	15
Figure 4-3 : Durée pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage.....	19
Figure 4-4 : Interaction significative Groupe × Position sur la durée de transport pour la condition à 15 kg et à 10 kg.....	19
Figure 4-5 : Parcours pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage.....	20
Figure 4-6 : Moment résultant maximal à L5/S1 (N•m) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	23
Figure 4-7 : Moment résultant maximal normalisé à L5/S1 (par unité du poids du tronc) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	23
Figure 4-8 : Flexion lombaire (en degrés) au levage et au dépôt observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	24
Figure 4-9 : Flexion du genou gauche (en degrés) au levage et au dépôt observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	24
Figure 4-10 : Moment asymétrique à L5/S1 (Nm) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	25
Figure 4-11 : Moment asymétrique normalisé à L5/S1 (Nm) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt.....	25
Figure 5-1 : Illustration de la condition expérimentale du transfert de caisses palette à palette.....	32
Figure 5-2 : Durée totale (s) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage (les chiffres 4-3-2-1 indiquent la hauteur de la caisse et les lettres, F pour « <i>Front</i> » et B pour « <i>Back</i> », la position horizontale de la caisse sur la palette.....	36
Figure 5-3 : Parcours des caisses pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage.....	36
Figure 5-4 : Moment résultant maximal à L5/S1 (N•m) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt (les chiffres 4-3-2-1 indiquent la hauteur de la caisse et les lettres F pour « <i>Front</i> » et B pour « <i>Back</i> », la position horizontale de la caisse sur la palette.....	46
Figure 5-5 : Moment résultant maximal normalisé (en unité du poids du tronc) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt ....	46

Figure 5-6 : Flexion lombaire (en degrés) observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt.....	47
Figure 5-7 : Distance (m) observée de la caisse à L5/S1 à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt.....	47
Figure 5-8 : Flexion du genou droit (en degrés) observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt (figure similaire pour le genou gauche).....	48
Figure 5-9 : Moment asymétrique maximal normalisé à L5/S1 (N•m) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt.....	48
Figure 7-1 : Exemple de différence entre la posture adoptée par un novice, un expert et une femme.....	57

## 1. INTRODUCTION

Les risques de blessures au dos lors d'activités de travail demeurent encore aujourd'hui très élevés. À partir d'une revue de la littérature sur la prévalence des maux de dos, Walker (2000) rapporte que de 12 à 13 % des gens disent souffrir de maux de dos le jour même de l'interview, de 22 à 65 % déclarent en avoir souffert dans la dernière année et de 11 à 84 % dans toute leur vie. D'après le National Research Council (2001), plus ou moins 70 % de la population souffrira un jour de douleur au dos et les coûts pour la société se chiffrent en milliards de dollars. Au Québec, 2 244 000 travailleurs, soit près de 63 % de la main-d'oeuvre québécoise visés par l'EQCOTESST (Stock et al, 2011), ressentent des douleurs musculo-squelettiques qui les ont dérangés durant leurs activités et environ les trois quarts (72,3 %) estiment que ces douleurs sont attribuables à leur travail. Le dos est la région corporelle la plus fréquemment citée par les travailleurs (38,4 %). La prévalence des troubles musculo-squelettiques (TMS) liés à l'emploi principal est très fortement reliée à l'exposition aux contraintes physiques mesurées. Ainsi, la prévalence des TMS chez les manutentionnaires, (à au moins une région corporelle et qui ont des douleurs) se situe autour de 55 %. Aussi, l'EQCOTESST (Stock et al, 2011) souligne que la prévalence des TMS est nettement supérieure chez les femmes, comparativement aux hommes. Plusieurs raisons sont invoquées : par exemple, lorsque les femmes et les hommes occupent le même titre d'emploi, ils peuvent être exposés à des facteurs de risques différents (voir aussi : Quin, 2011). Il se peut également que les différences s'expliquent par le fait que, à un même degré d'exigence physique, la femme travaille plus près de sa limite physiologique que les hommes.

D'après les statistiques de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST), le nombre d'affections vertébrales s'établissait en 2010 à 21 811 et représentait 30 % de l'ensemble des lésions professionnelles indemnisées (Provencher et Barbeau, 2011). Fait intéressant, on observe pour la période 2007-2010, une baisse relative de 17,1 % du nombre d'affections vertébrales. L'indemnité moyenne en 2010 se situait à 3 960 \$ et le montant versé en indemnités de remplacement de revenu pour les affections vertébrales atteignait la somme de 86,3 millions de dollars. En termes de fréquence, la profession qui générait le plus d'affections vertébrales était celle d'infirmière auxiliaire diplômée (2 290 cas, dont 2 009 femmes) et celle de manutentionnaire (1 827 cas, dont 310 femmes). C'est la région lombaire qui était la zone la plus touchée (60 % des cas d'affections) et l'effort excessif était l'agent causal le plus souvent rapporté soit 40 % des cas survenus entre 2007 et 2010. On compte, au Québec, 36 650 personnes dont le titre d'emploi est « manutentionnaire » (classe générale : Métiers, transport et machinerie) : 89 % sont des hommes (32 695) et 11 % des femmes (3 955) (Statistique Canada, 2008). Il est important de souligner ici que selon l'EQCOTESST (Stock et al, 2011), une faible proportion de salariés non cadres ayant des douleurs musculo-squelettiques attribuées au travail et associées à des absences au travail fait une demande d'indemnisation à la CSST (moins d'un cas sur cinq déclare sa lésion à la CSST). Les statistiques de la CSST sur les TMS ne représentent donc qu'une partie du problème.

## 1.1 Le travail de manutention et les risques de lésions au dos

L'ensemble de nos recherches s'appuie sur le postulat qu'il existe une relation entre le travail de manutention et les risques de lésions au dos. De nombreuses revues de la littérature (Ayoub et coll., 1997; Bernard, 1997; Burdorf et Sorock, 1997; da Costa et Vieira, 2010; National Research Council, 2001; Nelson et Hugues, 2009; Vingard et Nachemson, 2000) et d'études spécifiques sur ce sujet (Gardner et coll., 1999; Hoogendoorn et coll., 2000; Liira et coll., 1996; Yeung et coll., 2002) ont toutes indiqué une relation de modérée à élevée entre la manutention manuelle et les blessures au dos. Le fait également 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. Par contre, cette relation a été remise en question dans de récentes revues systématiques (Roffey et coll., 2010a; Roffey et coll., 2010b; Wai et coll., 2010a; Wai et coll., 2010b; Wai et coll., 2010c). Sans élaborer sur l'ensemble des raisons pour lesquelles la relation entre les maux de dos et la manutention n'a pas été démontrée de manière définitive, ce type d'études a l'avantage et le désavantage d'être très strict sur les critères d'inclusion, ce qui a pour conséquence d'appuyer les conclusions sur un nombre très limité d'études. Leur utilité ne fait pas de doute. Mais finalement, on se retrouve fréquemment avec la recommandation que d'autres études mieux structurées seraient nécessaires.

Par ailleurs, les mesures de prévention n'ont pas été jusqu'à maintenant très efficaces pour réduire l'incidence des maux de dos (Burdorf et Sorock, 1997) probablement parce que le problème est multifactoriel et que les solutions sont rarement simples. Les mesures de prévention consistent généralement soit à diminuer les exigences de la tâche ou à augmenter les capacités des individus ou encore à jumeler les deux de manière à ce que les exigences de la tâche n'excèdent pas les capacités des individus (Frank et coll., 1996b). Ainsi, lorsqu'il y a risque de blessures, la solution idéale consiste à éliminer le recours au travail de manutention. Ayoub et coll. (1997) suggèrent deux avenues, soit le recours à des aides mécaniques ou la modification du poste de travail de manière à ce que celui-ci s'effectue à la même hauteur. Si les risques sont impossibles à éliminer, ceux-ci devront être réduits en diminuant les exigences du travail et en réduisant les mouvements contraignants, en modifiant la tâche, le poste ou le matériel manipulé. En dernier recours, dans les cas où ces interventions ne sont pas applicables, on peut alors penser à améliorer la capacité des individus et plus particulièrement leurs techniques de manutention. L'idée est d'éduquer les travailleurs dans des programmes de formation de manière à ce qu'ils utilisent des techniques de manutention sécuritaire. Récemment deux revues de la littérature systématiques (Verbeek et coll., 2011; Clemes et coll., 2010) ont remis en question ce mode d'intervention, mais l'une soutient son utilité (Robson et coll., 2012). Verbeek et coll. (2011) [suite de Martimo et coll., 2007], dans une revue systématique de type Cochrane, ont sélectionné 18 articles (à partir d'une liste de 1874 articles) qui répondaient à leurs critères d'inclusion (essais randomisés et études cohortes). Douze de ces articles s'intéressaient aux programmes de formation donnés en milieu hospitalier pour le transfert sécuritaire de patients; deux aux bagagistes dans les transports aériens; deux au milieu de la construction; un aux préposés de commande et un dernier aux postiers. Les auteurs concluent qu'il n'existe aucune évidence supportant l'utilité d'un programme de formation destiné à prévenir les douleurs au dos. L'autre revue effectuée par Clemes et coll. (2010) [voir aussi Haslam et coll., 2007], réalisée pour le

compte du Health Safety Executive (HSE, Angleterre) arrive sensiblement à la même conclusion sauf qu'en favorisant une approche multidimensionnelle qui implique la participation des travailleurs et des cadres, la spécificité de la formation au milieu de travail, le recours aux équipements appropriés ou le *redesign* d'une tâche, l'efficacité du programme serait améliorée. Le programme devrait mettre l'accent sur les changements d'attitude et de comportement et sur une sensibilisation des niveaux de risque chez les travailleurs et les cadres (Haslam, 2007). Enfin l'étude de Robson et coll. (2012) appuie plus positivement la formation comme démarche d'intervention, mais elle souligne que son impact sur la santé des travailleurs n'est pas encore démontré et reste à faire.

Il n'est pas surprenant que trois revues récentes (Verbeek et coll., 2011; Clemes et coll., 2010; Robson et coll. 2012) arrivent à la conclusion que les programmes de formation actuels ne sont pas efficaces pour prévenir les maux de dos. D'ailleurs, plusieurs auteurs avaient indiqué que les techniques enseignées dans les programmes de formation n'étaient pas utilisées dans les milieux de travail (Baril-Gingras et Lortie, 1995; Kuorinka et coll., 1994; Lortie et Baril-Gingras, 1998; St-Vincent et Tellier, 1989; Chaffin et coll., 1986; Garg et Saxena, 1985) et que ce type d'intervention (formations) était inefficace pour la prévention des blessures (Kroemer, 1992). Avant de conclure définitivement que toute intervention de ce type est vouée à l'échec, il faut se demander pourquoi cela n'a pas fonctionné. On peut, par exemple, se questionner sur la **qualité de l'intervention** : les objectifs du programme, le contenu de la formation et sa spécificité, la compétence des formateurs, la durée, l'évaluation et le suivi du programme. En fait, les revues systématiques ne jugent d'aucune façon la qualité de l'intervention qui varie énormément d'une étude à l'autre et elles ne sont pas en mesure d'évaluer si le niveau d'exposition physique a été réduit après l'intervention. De plus, on doit très certainement reconsidérer l'approche d'enseigner « *la technique sécuritaire* ». On constate qu'il n'existe probablement pas « une technique », mais plutôt un ensemble de techniques et que celles-ci dépendent du contexte de travail et des caractéristiques de chaque travailleur (Authier et Lortie, 1993; Kuorinka et coll., 1994; Parnianpour et coll., 1987; Sullivan, 1995). Il est clair que le mode d'intervention actuel doit être remis en question et basé sur un modèle théorique plus solide dans lequel l'exposition physique des manutentionnaires doit être prise en considération. Le modèle passé (actuel?) pour lequel une formation n'est basée que sur une simple séance théorique d'une durée de deux heures (d'information??) n'est plus soutenable.

## 1.2 Études des manutentionnaires experts

Le niveau de charge imposée sur les structures vertébrales dépend nécessairement du type de tâche effectuée. Les mesures de prévention consistent généralement soit à diminuer les exigences de la tâche ou à augmenter les capacités des individus ou à jumeler les deux de manière à ce que les exigences de la tâche n'excèdent pas la capacité des individus (Frank et coll., 1996). Une façon de faire pour comprendre les exigences d'une tâche et trouver des mesures de prévention efficaces consiste à étudier les modes opératoires de travailleurs experts et novices. Des études (Authier et coll., 1995; Authier et coll., 1996) ont montré que des manutentionnaires d'expérience, reconnus par leurs collègues comme étant des experts, ont développé des façons de faire différentes de celles des novices et qui pouvaient être à la fois sécuritaires et avantageuses en termes de production. Ces façons de faire sont intéressantes, car on pourrait s'en inspirer pour développer des programmes de formation mieux adaptés au travail. Ainsi, quelques rares études biomécaniques se sont intéressées à comparer les méthodes de travail de manutentionnaires

expérimentés et novices (Gagnon et coll., 1996; Granata et coll., 1999). D'autres études ont porté sur la validation de modes opératoires d'experts lorsque simulés par des novices comme les déplacements de pieds, la flexion des genoux et la largeur de base d'appui, la dynamique de levage et les stratégies de prises et d'inclinaisons de boîtes et ont démontré leur potentiel pour réduire le risque de blessure lors de la manutention (Delisle et coll., 1996b; Delisle et coll., 1996a; Delisle et coll., 1998; Delisle et coll., 1999; Gagnon, 2003). Gagnon (2005) fait une synthèse de stratégies d'experts qui se sont avérées biomécaniquement plus sécuritaires. Ainsi, les placements/déplacements des pieds sont caractérisés par une réduction des dépenses d'énergie, c'est-à-dire une réduction de la durée du transfert de la charge et de sa trajectoire. Similairement, les manœuvres sur les boîtes (prises et inclinaisons) des experts ont réduit fortement le travail mécanique et légèrement le chargement au dos.

Dans la poursuite des travaux de Gagnon et Lortie, Plamondon et coll. (2010) ont effectué une étude dont l'objectif était d'approfondir la compréhension de ce qui différencie les modes opératoires des manutentionnaires experts de ceux des novices dans des situations de manutention variées. Quinze manutentionnaires experts et quinze novices de sexe masculin ont été sélectionnés et soumis à trois séries de tests lors desquelles ils devaient effectuer des transferts de caisses. Les résultats de cette étude ont démontré que les manutentionnaires experts se distinguaient généralement des novices en fléchissant moins la région lombaire de la colonne vertébrale lors de la prise et du dépôt des caisses. L'inclinaison avant du tronc était également moins grande et la flexion des genoux plus prononcée. En fait, les manutentionnaires experts semblaient mieux positionnés pour supporter les charges au dos lors du transfert de caisse et se laisser une plus grande marge de manœuvre. Également, les experts étaient plus proches autant sur le plan horizontal que vertical de la charge à soulever et à déposer.

### **1.3 Études sur les femmes et la manutention**

Il existe un certain nombre d'études qui ont observé des différences significatives entre les hommes et les femmes dans leurs façons d'effectuer les tâches de manutention, mais leur nombre est limité. Le fait que ce travail soit en grande partie occupé par des hommes a certainement contribué à limiter la présence des femmes dans les études sur la manutention. Par contre, de nombreuses femmes ont démontré qu'il était possible d'occuper les mêmes fonctions que celles des hommes et l'accès aux métiers traditionnellement attribués aux hommes est de plus en plus facile pour les femmes en raison de meilleures politiques d'équité au sein des entreprises et également d'une meilleure compréhension des exigences réelles de travail qui favorise leur intégration. On observe souvent une plus grande incidence de blessures au dos chez les hommes que chez les femmes. D'un autre côté, les femmes occupent généralement des postes de travail moins exigeant physiquement et lorsqu'on compense pour ce biais, elles ont une fréquence de blessures plus élevée que les hommes (Gardner et coll., 1999). Il apparaîtrait qu'une augmentation des exigences du travail en manutention serait directement associée à une augmentation du nombre d'affections vertébrales pour tous les travailleurs mais particulièrement plus pour les femmes (Kraus et coll., 1997). Les travailleurs moins expérimentés seraient aussi plus à risque de blessure au dos (Gardner et coll., 1999).

Le sexe est l'une des plus importantes variables à considérer dans le travail de manutention. La taille et le poids constituent deux variables d'importance entre hommes et femmes. À titre

d'exemple, la taille et le poids moyens<sup>1</sup> d'un adulte masculin américain (période 1988-1994) se situaient respectivement à 1,756 m et à 82.1 kg par rapport à 1,618 m et à 69.2 kg pour la femme (Chaffin et coll., 2006). Conséquemment, les femmes ont des segments plus courts ce qui pourrait affecter leur façon de manutentionner. La force musculaire est en moyenne moins élevée chez les femmes. Comme l'indique Chaffin et coll. (2006), on cite fréquemment que la force moyenne d'une femme se situe aux deux tiers de celle d'un homme. Toutefois, il s'agit d'une valeur moyenne de différents groupes musculaires et l'étendue des valeurs peut s'étendre facilement de 33 % à 86 % de celle d'un homme (Ayoub et Mital, 1989). À titre d'exemple, Kumar et Garand (1992) évaluèrent la force musculaire maximale chez les hommes et chez les femmes lors d'un « stoop » (dos fléchi, jambes droites) et d'un « squat » (dos droit, jambes fléchies). La force maximale des femmes variait de 41 % à 94 % de celle des hommes et était dépendante de la posture et de la technique. Cela implique que, pour une même charge absolue, la femme aura toujours une charge relative plus importante à supporter qu'un homme, ce qui se traduit généralement pour elle par des efforts physiques plus importants. Il est important de noter que si plusieurs femmes s'approchent et même dépassent la capacité physique de certains hommes et sont donc capables de performer dans les mêmes tâches physiques, il ne faudrait pas conclure que les hommes et les femmes partagent les mêmes niveaux de risque (Mital et coll., 1997). Ainsi, il a été observé que lorsque l'intensité de la manutention augmentait (charge continue de plus de 22.7 kg), le nombre de lésions au dos s'élevait, mais que le fait d'être un travailleur masculin et plus âgé avait un effet protecteur (Kraus et coll., 1997). Il n'est donc pas surprenant que toutes les tables basées sur des études psychophysiques aient des normes pour femmes distinctes de celles des hommes.

La coordination motrice entre les sexes semble aussi être différente telle qu'observée pour la coordination du mouvement entre la hanche et le genou (Lindbeck et Kjellberg, 2001). Lorsque les femmes effectuent une tâche de manutention, elles adoptent une posture du tronc plus droite que les hommes (moins de flexions lombaires) et tendent à favoriser les mouvements des hanches (Marras et coll., 2003; Davis et coll., 2003). Elles semblent également générer un plus haut niveau de contraction musculaire lorsqu'elles font des tâches similaires aux hommes, particulièrement dans le cas des muscles agonistes secondaires (Marras et coll., 2002; Marras et coll., 2003). Lors de tâches complexes, le chargement vertébral relatif des femmes apparaît être supérieur à celui des hommes, ce augmenterait leur risque de souffrir de blessures au dos lorsqu'elles sont exposées aux mêmes conditions de manutention. D'un autre côté, les hommes ont une masse du tronc plus importante et doivent donc supporter plus de forces de compression (et dans certaines situations, de forces en cisaillement) que les femmes en réalisant les mêmes types de tâches (Marras et coll., 2002). Leurs disques ont cependant un niveau de résistance en compression plus élevée.

Dans une récente étude sur la manutention (Kotowski et coll., 2007), des sujets étaient évalués dans trois conditions différentes de manutention : 1) le poids de la charge était connu; 2) le poids de la charge était dissimulé; et 3) le poids de la charge était constant, mais dissimulé. Le fait de ne pas connaître le poids d'une charge a eu un effet sur la cinématique de levage, mais plus intéressant encore les femmes réagissaient différemment des hommes. Ainsi, celles-ci avaient tendance à rapprocher cette charge de leur thorax avant de procéder au soulèvement, ce qui

---

<sup>1</sup> Données : National Health and Nutritional Examination Surveys (NHANES) reproduite dans Chaffin *et coll.* (2006) p.46-47.

n'était pas le cas des hommes qui soulevaient directement la boîte. Les femmes adoptaient un mode plus sécuritaire que les hommes malgré le fait que ces derniers percevaient dans certains cas la situation plus à risque de blessure. Les auteurs expliquent cette différence par le fait que les charges absolues (4.5, 9.1 et 13.6 kg) étaient relativement légères pour les hommes, ce qui n'était pas le cas des femmes (charge relative plus élevée). De fait, les hommes se seraient peut-être comportés de la même façon que les femmes si le poids des boîtes avait été supérieur (Kotowski et coll., 2007). Est-il possible alors que la technique de manutention soit tributaire de la force musculaire? Dans une étude sur les stratégies de manutention chez des personnes âgées, Puniello et coll. (2001) ont démontré que la force musculaire des jambes (hanches et genoux) avait un rôle significatif dans le choix de la technique de manutention. Les personnes ayant une plus grande force des jambes favorisaient généralement une technique impliquant plus les jambes (squat). On sait également que la technique de manutention se modifie avec une augmentation de la charge (Schipplein et coll., 1990), avec la fatigue (Trafimow et coll., 1993) ou encore avec l'expérience (Authier et coll., 1996). Enfin récemment, Sadler et coll. (2011) ont constaté que lorsque les charges étaient adaptées en fonction de la force physique des individus (à 10 % de la force maximale isométrique : 7 kg pour les hommes et 5 kg pour les femmes), les différences entre les genres étaient négligeables au regard de la technique de levage des caisses.

De nombreuses femmes exercent le métier de manutentionnaire. À tort, on a négligé de s'intéresser à cette population surtout parce que ce métier est largement pratiqué par des hommes. Quoique le nombre de manutentionnaires féminins est beaucoup moins élevé dans certains types d'activités comme le transport et la machinerie, dans d'autres secteurs comme l'alimentation, les services, les magasins entrepôts, les femmes constituent souvent près de la moitié de la main-d'œuvre qui, de façon occasionnelle, devront faire du travail de manutention. Il y a pertinence d'étudier cette population. Plusieurs questions de recherche sont à répondre par exemple : de quelle façon les femmes réalisent leurs tâches de manutention par rapport aux hommes compte tenu de leurs différences en termes de force musculaire et d'anthropométrie? Ont-elles développé des savoir-faire différents de leurs confrères masculins qui les mettraient moins à risque de blessures? En général, les femmes ne possèdent pas la même capacité physique que les hommes ce qui les mettraient plus à risque de blessures lors de tâches à dominante physique. Toutefois, la relation entre la force physique et les affections au dos est difficile à démontrer probablement parce que la force physique est un facteur parmi d'autres dont il faut tenir compte dans une tâche manuelle. Quoique son importance ne doive pas être remise en question, il existe certainement des stratégies de manutention qui permettent à certaines personnes de s'adapter à ce travail sans pour autant posséder une grande capacité physique.

## 1.4 Objectifs

L'objectif de ce projet de recherche était de comprendre ce qui différencie les modes opératoires des manutentionnaires hommes et femmes. L'hypothèse soutenue suppose que les modes opératoires propres aux manutentionnaires féminins expérimentés sont différents de ceux de sexe masculin. Les données recueillies dans cette étude sont comparées à celles amassées lors du projet expert/novice (099-367) avec des sujets masculins. De cette manière, on peut mieux estimer les différences entre les manutentionnaires sur deux variables fondamentales : le sexe (présent projet) et l'expérience (projet 099-367).

On distingue plusieurs types de modes opératoires. Par exemple, un mode sécuritaire vise en tout premier lieu à assurer l'intégrité du dos tandis qu'un mode efficient vise à atteindre les objectifs de production tout en réduisant les efforts. Le mode sécuritaire a été évalué principalement à partir des variables qui définissent le chargement au dos, qui réduisent les efforts et la fatigue musculaires. Un mode efficient a été défini à partir du temps et du parcours d'exécution.

Les caractéristiques de la charge (masse, fragilité du contenant et décentrage du centre de gravité), la hauteur de saisie et de dépôt, de même que l'état de fatigue des manutentionnaires sont les paramètres qui ont été modifiés pour tenter de susciter une plus grande variété de modes opératoires des sujets. De plus, pour mieux cerner les effets du genre, les femmes ont manutentionné des charges absolues identiques à celles des hommes (caisses de 15 kg) ainsi qu'une charge relative de 10 kg. Ce design a permis de faire ressortir les différences entre les sexes, de mieux caractériser les modes opératoires des femmes et de mettre en valeur les différences entre les sexes autant sur le plan de la technique de manutention que sur celui des caractéristiques physiques.

Pour simplifier la compréhension des résultats et faciliter la discussion, le rapport présente les trois séances expérimentales réalisées dans le cadre de ce projet.

1. la première était une séance de mesure des capacités physiques des sujets et de familiarisation au cours de laquelle les participantes ont été initiées aux différentes procédures expérimentales (Chapitre 3);
2. la deuxième a permis d'étudier, à partir d'un transfert de caisses d'un convoyeur à un diable, l'effet spécifique d'une modification des caractéristiques de la charge (masse, distribution et stabilité) sur les façons de faire des manutentionnaires (Chapitre 4);
3. la troisième a spécifiquement étudié, à partir d'un transfert continu de caisses d'une palette à une autre, l'influence d'une modification de la cadence ainsi que l'effet cumulé de la fatigue physique sur les façons de faire des manutentionnaires (Chapitre 5).

Étant donné que ce projet comporte trois séances requérant en partie une méthodologie commune, la prochaine section sera consacrée à ces points méthodologiques (Chapitre 2). Par la suite, chaque séance expérimentale sera présentée de manière distincte et comportera chacune une section méthodologique spécifique et une section sur les résultats. Afin d'éviter des répétitions, la discussion fera l'objet d'un chapitre à part (Chapitre 6) qui sera présenté à la suite de la troisième séance expérimentale (Chapitre 5), puis suivra la conclusion. .



## 2. MÉTHODOLOGIE : TRONC COMMUN

Cette section fait état des éléments méthodologiques communs aux trois séances expérimentales. Par la suite, chacune des séances sera traitée spécifiquement en termes de méthodologie, de résultats et de discussion.

### 2.1 Sujets

Trois groupes de sujets ont été recrutés. Les deux premiers ont été recrutés lors d'une étude antérieure (Plamondon et coll., 2010) et le troisième, les femmes manutentionnaires, dans le cadre de cette étude. Le premier groupe était constitué de 15 manutentionnaires experts qui répondaient aux quatre critères suivants : un minimum de cinq années d'expérience, une faible incidence de blessures (particulièrement au dos), aucune blessure dans l'année précédant l'expérience et enfin faire l'objet d'une recommandation du responsable de l'entreprise en charge du recrutement. Trois entreprises ont participé en recrutant respectivement sept, trois et cinq des manutentionnaires experts. Le second groupe était composé de 15 manutentionnaires novices répondant aux critères suivants : un minimum d'expérience en manutention variant de trois à six mois et aucune incidence de blessure dans l'année précédant l'expérience. Le recrutement des novices s'est principalement effectué par affiche ou encore par le bouche à oreille. Les femmes ont toutes été recrutées dans différentes succursales d'une grande entreprise de distribution de boisson. Les sujets féminins devaient répondre aux mêmes critères que les experts masculins, sauf qu'ils ne devaient pas nécessairement être recommandés par le responsable de l'entreprise. Aucune des personnes recrutées ne présentait de problèmes musculo-squelettiques pouvant affecter leur façon d'effectuer normalement leur travail. Si elles déclaraient des problèmes, ceux-ci devaient être mineurs. Le tableau 2-1 présente les principales caractéristiques anthropométriques des manutentionnaires. Les deux groupes de sujets masculins, soit les experts et les novices, sont semblables en ce qui a trait au poids et à leur taille mais, comme prévu, les femmes sont de plus petites tailles et de plus petit poids (très proche du niveau significatif). À noter que les trois groupes sont significativement différents au regard de l'expérience et que l'âge des experts et des femmes est autour de la quarantaine et différent des sujets novices.

**Tableau 2-1 : Données anthropométriques des sujets (n=45)**

Variables	Experts (E) n = 15		Novices (N) n = 15		Femmes (F) n = 15		Prob. <sup>3</sup>
	M <sup>1</sup>	ET <sup>2</sup>	M	ET	M	ET	
Age (années)	38.1	9.8	25	5.9	41.1	8.6	<.01 N < E et F
Poids (kg)	75.9	12.2	74.2	11.4	66.8	10.3	0.08
Taille (m)	1.71	0.07	1.75	0.05	1.62	0.07	<.01 F < E et N
Années d'expérience	15.4	9.3	0.5	0.4	7.3	2.3	<.01 N < F < E
Moment du tronc à L5/S1 (Nm) <sup>4</sup>	96	17	95	15	70	10	<.01 F < E et N

<sup>1</sup> M = Moyenne; <sup>2</sup> ET = Écart-type ;

<sup>3</sup> Niveau de probabilité, ANOVA à une voie pour mesurer l'effet de groupe (experts, novices et femmes).

<sup>4</sup> Le moment du tronc à L5/S1 est l'effet gravitationnel du poids du tronc à l'horizontale.

## 2.2 Systèmes de mesure

Plusieurs systèmes de mesure ont été utilisés dans les trois séances expérimentales : deux dynamomètres, un système d'électromyographie de surface ainsi que deux systèmes de mesure photogrammétriques (caméras vidéo et optoélectronique). L'annexe B décrit plus en détail chacun des systèmes.

## 2.3 Modèle biomécanique segmentaire

Les participants ont été instrumentés de manière à pouvoir utiliser le modèle biomécanique segmentaire. L'objectif de ce modèle est d'estimer le chargement au dos à L5/S1 à partir de données d'entrée cinématiques et cinétiques. Ce modèle a été développé au cours de plusieurs années de recherche et a fait l'objet de validation exhaustive (Gagnon et Gagnon, 1992; Desjardins et coll., 1998; Plamondon et coll., 1996). Il nécessite la pose de 12 grappes rigides de marqueurs attachées sur chacun des segments suivants : la tête (1), le dos à la hauteur de C7 (1), T12 (1) et S1 (1), les deux bras (2), les deux avant-bras (2), les deux cuisses (2) et les deux pieds. Une grappe de marqueurs était composée de quatre diodes LED (à l'exception de sept pour les pieds) fixées soit sur une plaque d'aluminium ou encore sur un bloc de styromousse qu'on collait sur la peau des sujets. Les grappes rigides captées par les quatre colonnes Optotrak ont servi à localiser 48 repères anatomiques par rapport à leur grappe de marqueurs respective, de manière à pouvoir estimer les centres articulaires segmentaires. Les données ont été par la suite filtrées au moyen d'une « spline » quintique et les vitesses et accélérations linéaires et angulaires ont été dérivées. Les paramètres segmentaires ont été estimés au moyen de la méthode elliptique de Jensen (1978). Les forces externes aux pieds ont été captées à l'aide de la plate-forme dynamométrique. L'ensemble de ces données d'entrée a été par la suite intégré au modèle segmentaire pour le calcul des moments nets à L5/S1 (moments de flexion-extension, de flexion latérale et de torsion) à partir des équations de Hof (1992). La marge d'erreur sur l'estimation de ces moments a été estimée à moins de 10 Nm (Plamondon et coll., 1996). Pour s'assurer de la validité des moments de force à L5/S1, ceux calculés à partir d'une approche des segments du bas du corps (approches utilisées dans cette étude) ont été comparés aux moments, dont l'approche est déterminée par les segments du haut du corps pour 30 sujets dans la position debout anatomique. Les erreurs RMS entre les deux approches étaient généralement inférieures à 7 Nm, ce qui correspond aux erreurs déjà rapportées dans Plamondon et coll. (1996).

## 2.4 Échelle de Borg

La perception de fatigue aux muscles du dos, aux muscles des jambes et la perception de fatigue générale ont été mesurées au moyen d'une échelle de Borg. Cette perception ne requiert pas d'instrumentation, mais elle exige l'utilisation de l'échelle de Borg CR-10 pour mesurer la fatigue musculaire et la fatigue générale perçue après un effort physique. Le sujet était interrogé (à la suite d'un effort maximum ou d'une série de transferts de caisses) sur son niveau de fatigue en lui présentant une échelle variant de 0 à 10, avec des termes permettant de caractériser chaque chiffre, 0 représentant l'absence totale de fatigue et 10 la fatigue maximale. La séance 1 permettait aux sujets de se familiariser avec l'échelle tandis que pour les deux autres séances, elle était utile pour évaluer le niveau de fatigue perçue.

### 3. SÉANCE I : CAPACITÉS PHYSIQUES

La première séance avait deux objectifs : 1) la mesure des caractéristiques anthropométriques et des capacités physiques (force, endurance) des manutentionnaires et 2) la familiarisation aux différentes procédures expérimentales. Au tout début, chaque sujet se faisait expliquer le déroulement de l'expérience et devait signer (volontairement) le formulaire de consentement approuvé par le comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain de la Faculté de médecine et des sciences de la santé de l'Université de Sherbrooke. Ensuite, il devait remplir deux questionnaires : le premier, le questionnaire Nordique modifié (Forcier et coll., 2001), dressait le portrait de leur santé musculo-squelettique; le second, le questionnaire d'aptitude à l'activité physique (QAAP), permettait de s'assurer de l'absence de tout problème de santé relié à la pratique d'activité physique. Il n'y a eu aucune réponse négative des sujets sur le QAAP qui aurait remis en question leur participation à l'étude. Suivaient les tests de capacités physiques et cette première séance se concluait par une activité de familiarisation. Celle-ci permettait aux sujets de se rendre compte qu'ils peuvent exécuter les tâches de manutention sans contrainte, et cela, même si des capteurs et des fils étaient fixés sur eux.

#### 3.1 Tests de capacités physiques

Les tests physiques ont été les suivants :

1. Mesure de la capacité physique aérobique des participants. Test sous-maximal de capacité aérobique qui évalue la capacité du système cardiorespiratoire à l'effort. Il s'agit du step-test de Siconolfi et coll. (1985) adapté de Gall et Parkhouse (2004) dans lequel les participants doivent monter une marche d'une hauteur de 28 cm pendant 3 minutes à une fréquence de 18 marches/min (1<sup>re</sup> série), puis à une fréquence de 24 marches/min (2<sup>e</sup> série). Des tables permettent d'estimer la capacité aérobique maximale à partir de la fréquence cardiaque moyenne.
2. Test général de force musculaire isométrique maximale de levage. Le sujet est debout, le tronc et les jambes sont fléchis de manière à tenir une poignée à la hauteur des genoux (posture ½-stoop-½-squat; figure 3-1a). 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., 2006). Trois essais ont été effectués.
3. Extenseurs du dos (groupe Erectores Spinae)
  - a. Test de force isométrique : Le sujet est placé dans un dynamomètre en position debout (figure 3-1b) et le bassin fixé tel que décrit dans Larivière et coll. (2001). Il exerce un effort maximal sur une période de six secondes : en extension (trois essais), en flexion (deux essais), en flexion latérale droite et gauche (deux essais), en rotation axiale droite et gauche (deux essais).
  - b. Test d'endurance isométrique : Le sujet est placé de manière identique au test de force. Ce test consiste à exercer jusqu'à épuisement une force isométrique en extension de 150 Nm pour les hommes (correspondant aux 2/3 de la valeur maximale moyenne des hommes) et de 100 Nm pour les femmes (correspondant aux 2/3 de la valeur des hommes). Le ratio (2/3) a été utilisé dans plusieurs études (Larivière et coll., 2008; Reeves et coll., 2006).

a) Test général de levage



b) Test des muscles du dos

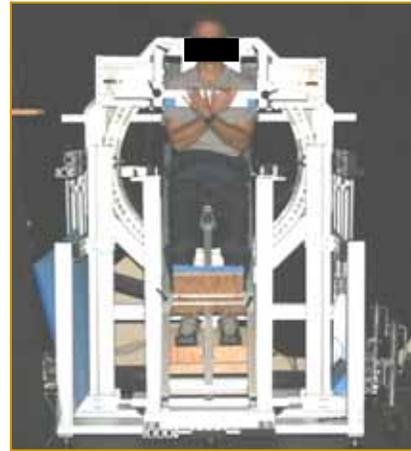


Figure 3-1 : Tests de capacités physiques

## 3.2 Analyses statistiques

En premier lieu, des analyses statistiques descriptives ont été effectuées sur l'ensemble des variables. Ensuite, une ANOVA à une voie a permis d'évaluer si des différences significatives entre hommes experts, hommes novices et femmes existaient.

## 3.3 Résultats

Le tableau 3-1 présente les résultats des différents tests physiques qui ont été effectués sur les trois groupes de manutentionnaires. La seule différence significative entre les deux groupes masculins se trouve au niveau de leur consommation d'oxygène maximale. Les novices ont un VO<sub>2</sub> max plus élevé que les experts ( $p=0.01$ ), mais comparable à celui des femmes. Pour tous les tests de force maximale des muscles du tronc, les femmes ont atteint des valeurs entre 49 et 63 % de celles des hommes. Dans le seul test de mesure où la capacité relative des femmes par rapport à celle des hommes était considérée (2/3 de la valeur des hommes), soit celui de l'endurance des muscles du tronc en extension, il n'y avait aucune différence significative entre les trois groupes.

**Tableau 3-1 : Moyennes et écarts-types (ET) des capacités physiques des experts (E), des novices (N) et des femmes (F)**

	Expert (ET)	Novice (ET)	Femme (ET)	%♀ <sup>1</sup>	<i>p</i>	
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	39,4 (6,8)	46,1 (6,8)	44,1 (5,3)	112	<b>0,02</b>	<b>E &lt; N</b>
Force de levage (kg)	138 (28)	139 (25)	68 (16)	49	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force d'extension (Nm)	347 (68)	322 (59)	186 (37)	54	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force de Flexion (Nm)	162 (32)	171 (31)	103 (19)	63	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force de Flexion lat. d. (Nm)	204 (24)	197 (28)	125 (32)	61	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force de Flexion lat. g. (Nm)	211 (32)	207 (24)	133 (35)	63	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force de Rotation d. (Nm)	124 (22)	135 (36)	61 (14)	49	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Force de Rotation g. (Nm)	119 (20)	123 (23)	63 (15)	53	<b>&lt;,01</b>	F < E et N
Endurance musculaire (s)	132 (61)	125 (69)	127 (75)	96	0,96	

<sup>1</sup> %♀ : Pourcentage des femmes par rapport aux experts.

## 4. SÉANCE II : TRANSFERT DE CAISSES DU CONVOYEUR AU DIABLE

### 4.1 Méthodologie

Les participants ont été instrumentés, tel que décrit à la section 2.3 pour l'utilisation du modèle biomécanique segmentaire.

#### 4.1.1 Procédures expérimentales

Une fois le sujet instrumenté, ce dernier devait, dans un premier temps, rester immobile sur la plate-forme pendant qu'un assistant localisait à tour de rôle chacun des 48 repères anatomiques nécessaires pour estimer les centres articulaires segmentaires avec un pointeur composé de 24 LED. Dans un second temps, le sujet devait adopter une posture anatomique pour être pris en photo afin d'estimer par la suite ses paramètres segmentaires (méthode de Jensen, 1978). L'étape suivante consistait pour le sujet à effectuer un transfert de quatre caisses du convoyeur (à hauteur de palette, 12 cm du sol) vers le chariot à deux roues (diable) à une distance de 1,5 m de la prise (figure 4-1). À l'aller (phase d'aller), le convoyeur était légèrement incliné de manière à ce que les boîtes se déplacent (sur les rouleaux) vers le manutentionnaire. Ce dernier devait tirer vers lui une première caisse sur le convoyeur et procéder à son transfert vers la destination sur le diable. Les quatre caisses étaient empilées en hauteur sur le diable. Une fois cette étape complétée, le sujet reprenait la tâche du diable vers le convoyeur légèrement incliné vers l'extérieur (phase de retour). Pour les hommes, les caisses avaient les caractéristiques suivantes : une caisse de 15 kg (centrée), une caisse de 23 kg (centrée), une caisse de 15 kg instable et une caisse de 15 kg décentrée (centre de gravité à 27 cm latéralement d'un côté et à 8 cm de l'autre), toutes de même dimension (26 cm de profondeur x 35 cm de largeur x 32 cm de hauteur). La caisse fragilisée contenait 12 bouteilles de sable et d'eau et le dessus de celle-ci n'était pas recouvert de manière à ce qu'elle soit déformable. Pour les femmes, les caisses étaient les mêmes à l'exception de la caisse de 23 kg qui a été remplacée par une caisse de 10 kg (centrée). Ainsi, on désirait placer nos sujets féminins dans un contexte de charge relative similaire aux hommes (15 kg chez les hommes vs 10 kg chez les femmes). Par charge absolue, on entend la charge réelle de travail; par charge relative, il s'agit du pourcentage de la capacité maximale. Si l'on assume qu'en « général » la capacité physique des femmes se situe aux deux tiers de celle des hommes, une charge de 10 kg pour une femme devrait représenter un niveau d'effort équivalent à celui d'un homme qui soulève 15 kg.

L'ordre des caisses avait été balancé au moyen d'un carré latin pour que les 15 sujets de chaque groupe (expert, novice et femme) procèdent à la manutention dans un ordre différent, mais, par contre, identique entre les groupes. L'ordre balancé faisait en sorte que chaque type de caisses se retrouve à chaque hauteur (quatre hauteurs) à deux reprises (deux essais). De plus, deux positions du convoyeur ont été étudiées : l'une face au diable à 1.50 m de distance et l'autre à 90° par rapport au diable à la même distance (1.50 m). La position du convoyeur avait également été choisie de manière à ce qu'une moitié des sujets commence par la condition à 180° et l'autre à 90°.

La vitesse ainsi que la technique de manutention étaient libres. Les sujets avaient comme consigne de toujours demeurer sur la plate-forme de forces et d'empiler les caisses sur le diable.

Pour éviter une accumulation de fatigue chez les sujets, chaque série aller-retour (huit caisses) était suivie de deux minutes de repos. Après le transfert de 64 caisses, le sujet devait se reposer un minimum de cinq minutes en position assise. Il y avait également après chaque aller de quatre caisses une pause obligatoire de 30 secondes pour permettre une mise à zéro du système. De plus, il avait été prévu d'ajouter du temps de repos supplémentaire dans le cas où un sujet l'exigeait ou encore s'il apparaissait fatigué (à partir des résultats de l'échelle de Borg), ce qui ne s'est pas produit.

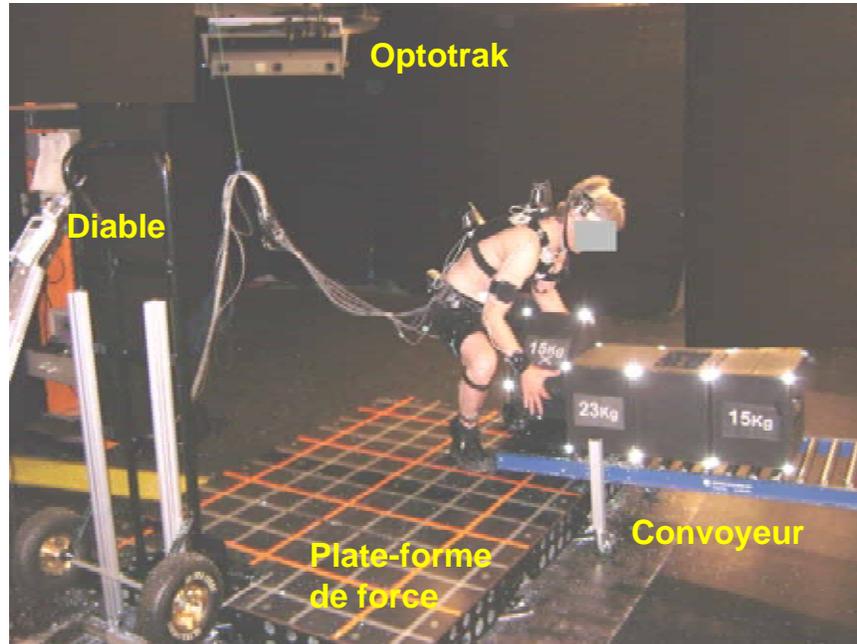


Figure 4-1 : Illustration de la condition expérimentale du convoyeur à 90° par rapport au diable

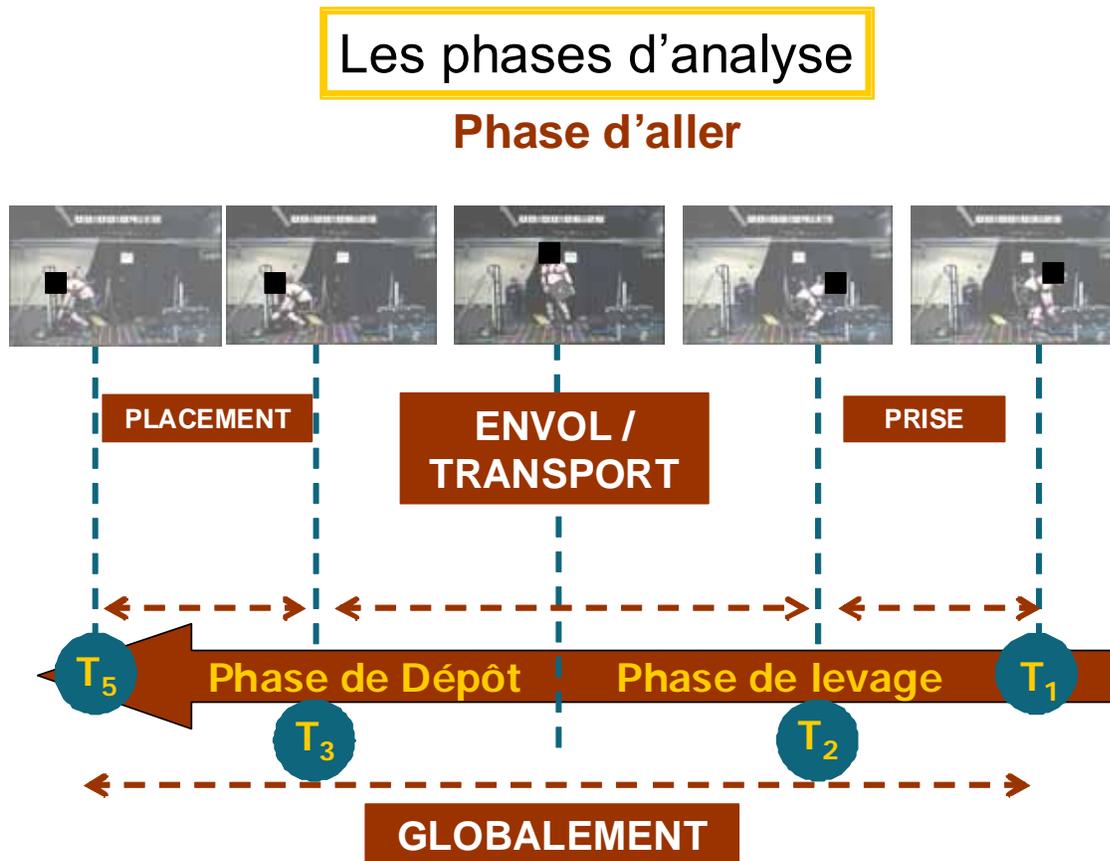
#### 4.1.2 Traitement des signaux

Le traitement des données relatives au modèle biomécanique segmentaire a été discuté à la section 2.3.

#### 4.1.3 Analyses statistiques

Le nombre total de transferts de caisses pour chaque sujet a été de 128 [4 caisses x 4 positions/hauteurs x 2 orientations x 2 allers (aller-retour) x 2 répétitions]. L'aller des caisses, c'est-à-dire le trajet des caisses du convoyeur au diable et, le retour des caisses, soit du diable au convoyeur, ont fait l'objet d'analyses statistiques distinctes. Pour les 45 sujets, l'échantillonnage à l'aller, tout comme pour le retour, a été au total de 1920 échantillons (caisses). Aux fins d'analyse, chaque manutention est séparée en différentes phases d'exécutions successives (figure 4-2). La phase de levage comprend un pré-levage (prise) où la boîte est amenée près du sujet sans être soulevée et le levage de la boîte (envol). La phase de dépôt débute après la phase de levage, se poursuit au dépôt de la caisse jusqu'à sa position finale (placement) sur le diable ou

le convoyeur. Il faut souligner que la durée de la phase d'envol (c'est-à-dire le temps où la caisse n'est plus en contact avec aucun support sauf les mains) a été divisée en deux sections égales de manière à ce que la première section soit partie intégrante du levage et la seconde à la partie du dépôt.



**Figure 4-2 : Les différentes phases d'analyse d'une tâche de manutention. T1 = Début tâche; T2 = Début levage; T3 = Fin envol; T5 = Fin tâche**

Le nom des variables cinétiques et cinématiques est facile d'interprétation, mais de façon à éviter des ambiguïtés, une définition complète des variables se retrouve en annexe C. Les variables dépendantes choisies comme critères de sécurité et de performance ont été principalement : les durées de manutention, les parcours des caisses, les moments résultants et asymétriques à L5/S1, les postures contraignantes (les flexions extrêmes et postures asymétriques du tronc), les flexions des genoux et les distances de la caisse à la vertèbre L5/S1. Aussi, comme l'anthropométrie des sujets a une influence significative sur plusieurs variables, notamment en ce qui a trait à la comparaison entre les sexes, **deux procédures de normalisation des données ont été effectuées** : 1) la première consistait à diviser les moments à L5/S1 par le moment exercé à L5/S1 par le poids du tronc à l'horizontale (valeurs présentées dans le tableau 2-1). Ainsi, ces moments normalisés sont exprimés en unité du poids du tronc; 2) la seconde consistait à diviser certaines distances comme la distance caisse-L5/S1 par la taille du sujet. **Pour plus d'explications sur les procédures de normalisation, veuillez vous référer à l'annexe D.**

Des analyses de variance factorielles mixtes (ANOVA) ont permis d'évaluer si des différences significatives entre les hommes experts, les hommes novices et les femmes existaient pour chaque condition expérimentale (tableau 4-1). Dans une première ANOVA, les trois groupes de sujets ont été comparés dans les conditions où les trois caisses de 15 kg ont été manutentionnées. Dans une seconde ANOVA, les trois groupes ont été comparés lorsque les hommes transféraient la caisse centrée de 15 kg et les femmes, la caisse centrée de 10 kg. Comme les hommes n'ont pas transféré de caisse de 10 kg, le modèle statistique n'était pas complet et l'effet caisse n'a pu être estimé. Enfin, une dernière ANOVA a servi à comparer les différences observées chez les femmes entre le transfert de la caisse centrée de 15 kg et celle de 10 kg. Cette dernière analyse est limitée par le fait qu'il n'y a pas d'effet groupe et que seul l'effet principal des caisses a été considéré. Lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif, un test posteriori (Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test) était utilisé pour identifier le groupe ou les groupes significativement différents.

**Tableau 4-1 : Variables indépendantes de la séance deux**

Type de comparaison	Variables indépendantes	Particularité
ANOVA factorielle mixte #1 (3x3x4x2)	Inter sujets : <ul style="list-style-type: none"> <li>Trois groupes (G): Experts (E), Novices (N) et Femmes (F).</li> </ul> Intra-sujets (mesures répétées) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Trois caisses (C) : 15 kg, 15 kg décentré, 15 kg instable</li> <li>Quatre positions (P) ; 1, 2, 3 et 4.</li> <li>Deux orientations (O): 180° et 90°</li> </ul>	La caisse de 23 kg des hommes n'a pas fait l'objet d'analyse statistique.
ANOVA factorielle mixte #2 (3x4x2)	Inter sujets : <ul style="list-style-type: none"> <li>Trois groupes (G) : Experts (E), Novices (N) et Femmes (F).</li> </ul> Intra sujets (mesures répétées): <ul style="list-style-type: none"> <li>Quatre positions (P) ; 1, 2, 3 et 4.</li> <li>Deux orientations (O) : 180° et 90°</li> </ul>	L'effet caisse (15 kg chez les hommes et 10 kg chez les femmes) n'a pas été considéré parce que le modèle est incomplet.
ANOVA à mesures répétées#3 (2x4x2)	Femmes (F) seulement Intra sujets (mesures répétées): <ul style="list-style-type: none"> <li>Deux caisses (C): 10 kg et 15 kg</li> <li>Quatre positions (P) ; 1, 2, 3 et 4.</li> <li>Deux orientations (O): 180° et 90°</li> </ul>	Seul, l'effet principal de la caisse a été considéré.

Comme la quantité de données est considérable, nous avons fait le choix **de ne présenter que les données de la phase d'aller vers le diable**. Pour la même raison, les différences observées entre les formats de caisses (C), entre les positions sur le convoyeur ou le diable (P) et entre les types d'orientation du convoyeur (O) ne seront pas discutées dans ce rapport, mais feront l'objet de publications scientifiques à venir. Ce sont les interactions entre ces facteurs et les groupes de sujets qui soulèvent de l'intérêt. Les différences entre les trois groupes de sujet c'est-à-dire les

experts (E), les novices (N) et les femmes (F) seront discutées, mais nous n'insisterons pas sur les différences entre les manutentionnaires experts et novices parce que cette comparaison a déjà fait l'objet d'un rapport précédent (Plamondon et coll. 2010) qu'il est possible de consulter sur le site Web de l'IRSSST ([www.irsst.qc.ca/manutention](http://www.irsst.qc.ca/manutention)). Par conséquent, seuls les résultats de l'effet principal entre les trois groupes (G) et de leurs interactions seront présentés:

- l'interaction GC: c'est-à-dire du groupe et du type de caisses (C) ;
- l'interaction GP: c'est-à-dire du groupe (G) et de la position de la caisse (P) ;
- l'interaction GO: c'est-à-dire du groupe (G) et de l'orientation du convoyeur (O).

Il est fréquent d'observer des interactions significatives, mais dont l'effet réel est mineur ou difficile à évaluer. De manière à ne pas surcharger le texte, ces interactions ne seront pas discutées. Les triples interactions seront également exclues des analyses en raison de la complexité d'interprétation que cela exige. Étant donné que tous les essais expérimentaux ont été répétés deux fois, les analyses statistiques ont été effectuées en combinant les deux essais. Le logiciel NCSS (NCSS 2007, Version : 07.1.14 Windows XP ; [www.ncss.com](http://www.ncss.com)) a été utilisé pour traiter les données statistiques. Afin de pouvoir réaliser des analyses paramétriques, les données ont été transformées à l'aide d'une transformation unique (Van Albada and Robinson, 2007<sup>2</sup>) permettant d'obtenir des distributions normales selon le test Wilk-Shapiro. Également, pour contrecarrer une violation de la sphéricité dans les ANOVAS à mesures répétées, le seuil de probabilité a été ajusté au moyen du facteur de correction Geisser Greenhouse Epsilon.

Finalement, un code de couleur a été intégré à certains tableaux pour faciliter le repérage des changements les plus importants lorsque l'on passe d'une charge de 15 kg à une charge de 10 kg chez les femmes. La couleur verte signifie un effet que l'on qualifie de positif de la caisse de 10 kg par rapport à la caisse de 15 kg, la couleur rouge, un effet négatif, et la couleur grise, un effet négligeable.

## 4.2 Résultats

Cette section présente les résultats de la phase d'aller vers le diable soit, en premier lieu, les résultats sur les durées et parcours, suivis de ceux plus spécifiques du levage et du dépôt. Étant donné la grande quantité de données dans les tableaux, seules les plus pertinentes seront relevées dans le texte afin de ne pas trop alourdir la lecture des résultats.

### 4.2.1 *Durée et parcours*

Il existe des différences significatives entre les groupes quant à la durée des différentes phases, les femmes étant significativement plus lentes à réaliser le transfert des caisses de 15 kg (tableau 4-2 ; figure 4-3) dans toutes les phases à l'exception de celle du pré-transport dans laquelle elles se rapprochent des valeurs des experts et des novices. Aussi, il y a une interaction significative dans la phase de transport (Groupes × Positions ; figure 4-4), mais cet effet est difficile à déterminer et apparaît mineur. Pour la suite des résultats, ce type d'interaction ne sera pas souligné dans le texte.

---

<sup>2</sup>Van Albada SJ and Robinson PA (2007) Transformation of arbitrary distributions to the normal distribution with application to EEG test-retest reliability. *J Neurosci Methods* 161: 205-211

Lorsque le poids des caisses chez les femmes passe de 15 kg à 10 kg, on constate une diminution significative de la durée de toutes les phases de transfert (souligné en vert au tableau 4-3) ce qui a pour effet d'annuler presque complètement toutes les différences entre les groupes de sujets. Par conséquent, une charge relative similaire entre les hommes et les femmes apparaît atténuer les écarts entre les groupes observés pour une charge absolue (tableau 4-2) sur la durée de manutention.

**Tableau 4-2 : Durée des différentes phases avec les trois caisses de 15 kg**

Variables	Experts		Novices		Femmes		Prob P	Interaction P			Post-hoc*
	M	ET	M	ET	M	ET		G	GC	GP	
Durée totale (s)	4,6	1,5	4,3	1,4	5,6	1,5	<,01	0,73	0,74	0,78	F > N, E
Pré-transport (s)	1,4	0,7	1,4	0,7	1,6	0,7	0,11	0,59	0,84	0,30	
Transport (s)	2,2	0,7	1,9	0,7	2,4	0,5	<b>0,05</b>	0,18	<b>0,03</b>	0,33	F > N
Post -transport (s)	1,0	0,6	1,0	0,6	1,6	0,9	<,01	0,18	0,72	0,12	F > E, N

M = Moyenne; ET = Écart-type; G = Groupes ; GC = interaction Groupes × type de Caisse ; GP = interaction Groupe × Position; GO = interaction Groupe × Orientation.

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts

**Tableau 4-3 : Durée des différentes phases avec la caisse centrée de 10 kg chez les femmes et la caisse centrée de 15 kg chez les hommes et les femmes**

Variables	Femmes						Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg <sup>2</sup>			
	10 kg		15 kg		Δ	P	Prob P	Interaction P		Post-hoc*
	M	ET	M	ET				G	GP	
Durée totale (s)	4,7	1,1	5,5	1,5	0,7	<,01	0,31	0,59	0,63	
Pré-transport (s)	1,3	0,5	1,7	0,8	0,3	<,01	0,99	0,51	0,30	
Transport (s)	2,2	0,4	2,4	0,5	0,2	<,01	0,37	<b>0,04</b>	0,39	
Post -transport (s)	1,2	0,7	1,4	0,7	0,2	<,01	<b>0,04</b>	0,19	0,53	E < F

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes : Vert = Effet positif de la caisse de 10 kg; Rouge = Effet négatif; Gris = Effet négligeable.

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts

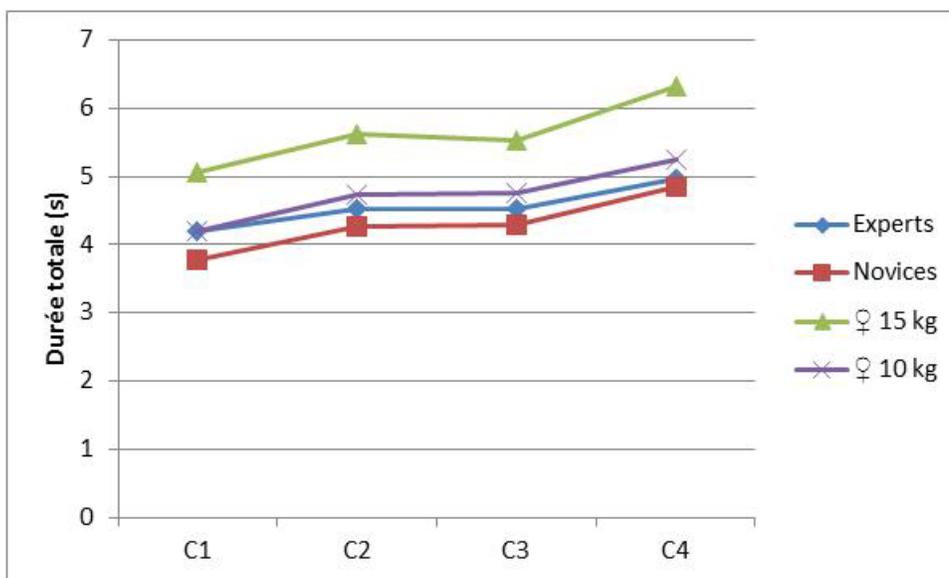


Figure 4-3 : Durée pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage

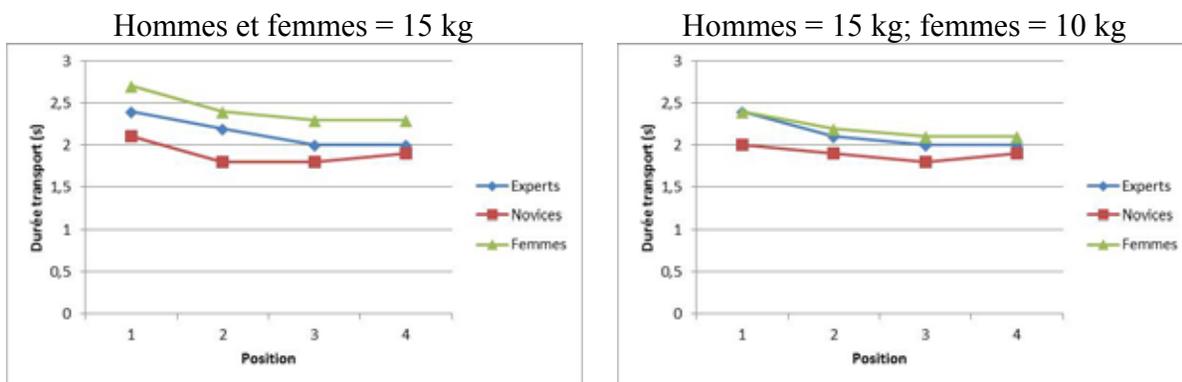
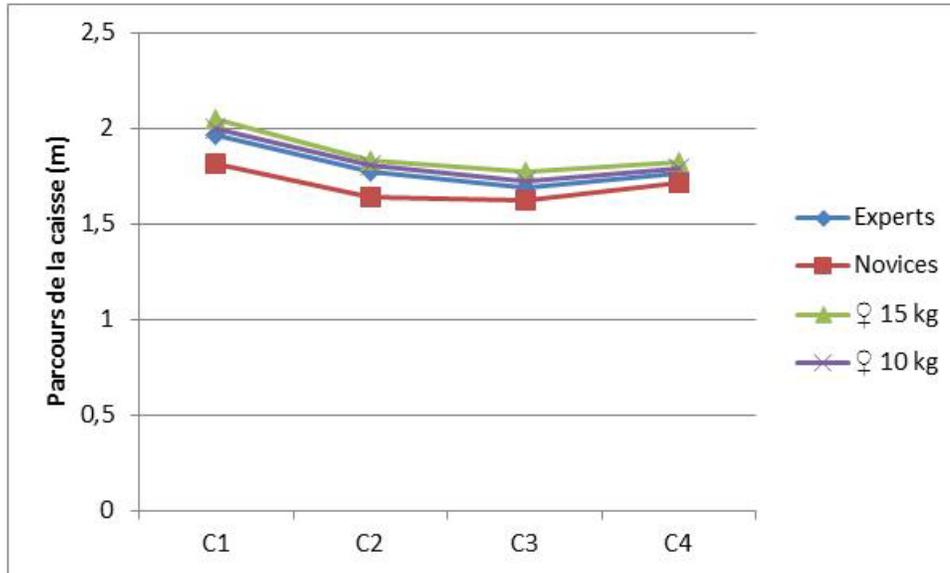


Figure 4-4 : Interaction significative Groupe × Position sur la durée de transport pour la condition à 15 kg et à 10 kg



**Figure 4-5 : Parcours pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage**

Les différences sur le parcours de caisses sont faibles entre les groupes quoique les femmes tendent à favoriser un parcours des caisses plus grand que celui des hommes (non significatif à l'exception du parcours vertical positif) (tableau 4-4). L'effet de manutentionner une charge relative similaire (Femmes : 10 kg vs Hommes : 15 kg) réduit également les écarts entre les groupes pour les variables de parcours des caisses (tableau 4-5). En effet, le fait de diminuer la masse de la caisse chez les femmes (10 vs 15 kg) a entraîné une réduction du parcours total de la caisse et une légère réduction du parcours vertical (non significatif).

**Tableau 4-4 : Parcours des trois caisses de 15 kg**

Variables	Experts		Novices		Femmes		Prob P	Interaction P			Post-hoc*
	X	ET	X	ET	X	ET		G	GC	GP	
Parcours total (m)	1,80	0,30	1,70	0,28	1,87	0,21	0,09	<b>0,01</b>	0,16	0,14	
Parcours vert. positif (m)	0,60	0,17	0,57	0,19	0,63	0,15	<b>0,05</b>	0,37	0,89	0,51	F > N
Parcours vert. négatif (m)	0,24	0,23	0,21	0,23	0,27	0,24	0,11	<b>&lt;0,01</b>	0,46	0,50	
Parcours horizontal (m)	1,39	0,13	1,37	0,15	1,43	0,10	0,30	0,96	0,08	0,05	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts

**Tableau 4-5 : Parcours de la caisse centrée de 10 kg chez les femmes et de la caisse centrée de 15 kg chez les hommes et les femmes**

Variables	Femmes						Comparaison hommes 15kg vs femmes 10 kg <sup>2</sup>				
	10 kg		15 kg		$\Delta$	P	Prob P		Interaction P		Post-hoc
	X	ET	X	ET			G	GP	GO		
Parcours total (m)	1,83	0,20	1,86	0,22	0,03	0,02	0,22	0,18	0,26		
Parcours vert. positif (m)	0,62	0,15	0,63	0,15	0,01	0,10	0,31	0,82	0,90		
Parcours vert. négatif (m)	0,26	0,24	0,26	0,24	0,01	0,14	0,26	0,24	0,29		
Parcours horizontal (m)	1,41	0,09	1,42	0,11	0,01	0,09	0,53	0,62	0,10		

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes : Vert = Effet positif de la caisse de 10 kg; Rouge = Effet négatif; Gris = Effet négligeable.

### 4.2.2 Résultats au levage et au dépôt des caisses de 15 kg

**Moment résultant maximal** : Lors de la phase de levage des caisses de 15 kg, le moment résultant maximal à L5/S1, vers le diable, était significativement plus petit chez les femmes (figure 4-6 et tableau 4-6 : experts = 218 N•m, novices = 219 N•m, femmes = 174 N•m). Ce résultat était prévisible, car les femmes sont généralement plus légères et de plus petites tailles que les hommes. Lorsqu'on normalise ce moment résultant maximal en fonction du moment exercé par le poids du tronc, la différence entre les hommes et les femmes s'amenuise considérablement pour non seulement n'être plus significative, mais même être légèrement supérieure pour les femmes (figure 4-8, tableau 4-7 : experts = 2.3 (2.3 × le poids du tronc), novices = 2.3, femmes = 2.5). Au dépôt, les résultats sont sensiblement les mêmes qu'au levage.

Lorsqu'on considère d'autres variables à l'instant du moment résultant maximal, on observe au tableau 4-6 plusieurs différences significatives ( $P \leq .05$ ) principalement entre les experts et les femmes, ces dernières se rapprochant beaucoup des postures observées chez les manutentionnaires novices. Ainsi, on peut constater au levage que l'angle de flexion lombaire (experts = 55° ; novices = 66° ; femmes = 66° ; figure 4-8), l'index de flexibilité lombaire (experts = 83% ; novices = 97% ; femmes > 99% ; tableau 4-6) et l'angle d'inclinaison du thorax par rapport à la verticale (experts = 69° ; novices = 83° ; femmes = 87 ; tableau 4-6) étaient significativement plus petits chez les experts que chez les femmes ou les novices. Les experts se penchaient donc moins vers l'avant que les femmes lors du moment résultant maximal. Aussi, les experts tendaient à fléchir davantage les genoux (experts ≈ 70° ; novices ≈ 52° ; femmes ≈ 58° ; figure 4-9) que les deux autres groupes, mais le niveau de signification n'a pas été atteint. Quatre autres variables retiennent l'attention. Ainsi, l'occurrence du moment résultant maximal était légèrement plus tôt chez les experts, c'est-à-dire tout juste après le début de la phase d'envol (experts = 2% ; novices = 5% ; femmes = 6% ; tableau 4-6). L'angle de flexion latérale lombaire était également significativement différent entre les novices et les femmes (experts = 0° ; novices = 3° ; femmes = -2° ; tableau 4-6), mais cette différence apparaît malgré tout mineure et s'explique difficilement entre les groupes (tout comme l'interaction significative). La troisième variable, la vitesse angulaire lombaire en flexion, était significativement plus élevée pour les experts que pour les femmes (experts = 26°/s ; novices = 21°/s ; femmes : 16°/s ; tableau 4-6). Il est intéressant de noter que la distance de la caisse à L5/S1 était moins élevée chez les femmes et significativement différente de celle des novices (experts = 0.41 m ; novices = 0.43 m ; femmes

= 0.38; tableau 4-6). Toutefois lorsqu'on normalise cette distance en fonction de la taille du sujet, cette différence disparaît (tableau 4-7). Enfin, il est utile de noter que la posture du tronc des sujets ne comportait pratiquement pas d'asymétrie (angle de flexion latérale et de torsion  $< 4^\circ$ ).

Au dépôt, les résultats sont pratiquement équivalents à ceux observés lors du levage. Les femmes ont une flexion lombaire, un index de flexibilité lombaire et une inclinaison verticale du tronc équivalente aux novices, mais significativement plus grande que celle des experts (tableau 4-6). Les femmes étaient plus proches de la caisse que les novices, mais contrairement à ce qui avait été trouvé au levage, la vélocité angulaire du tronc n'était pas significativement différente entre les groupes. Les quelques interactions significatives ne présentent que peu d'intérêt pratique à part que, probablement à cause leur taille, les femmes doivent redresser plus le tronc (inclinaison du tronc) que les novices (et se compare aux experts) pour déposer les caisses sur le dessus de la pile (4e étage).

Autres moments à L5/S1: Au levage, le moment maximal asymétrique des femmes s'est révélé être significativement plus petit de celui des hommes (figure 4-10; tableau 4-7 : experts = 58 N•m; novices = 58 N•m ; femmes = 39 N•m). Tout comme pour le moment résultant maximal, le gabarit des hommes et des femmes expliquent en grande partie ce résultat. En effet, lorsqu'on normalise ce moment asymétrique, cette différence disparaît (figure 4-11; tableau 4-7 : experts = 0.6; novices = 0.6 ; femmes = 0.6). Au dépôt, les résultats sont relativement comparables à ceux du levage. Le moment résultant cumulé (sur la période de transport dans les airs de la caisse) est étonnamment similaire entre les trois groupes (autour des 220 N•ms) malgré le fait que les femmes ont un moment résultant maximal inférieur aux hommes. Ce résultat s'explique en partie par le fait que les femmes ont un temps de transport plus long que les hommes. La normalisation du moment résultant cumulé (tableau 4-7) fait en sorte que les femmes subissent, en termes relatifs, un niveau de chargement lombaire significativement plus élevé que les hommes (experts : 2.4 ; novices : 2.3 ; femmes : 3.2).

Effets d'une charge relative similaire: L'effet le plus significatif au levage lorsqu'on abaisse la charge absolue des femmes de 15 kg à 10 kg (pour équilibrer en termes relatifs la charge des hommes) est une diminution significative de tous les moments maximaux et cumulatifs (soulignée en vert aux tableaux 4-8 et 4-9). Quoique ces moments pour une charge de 15 kg étaient déjà inférieurs chez les femmes par rapport aux hommes, les valeurs normalisées ne l'étaient pas et indiquaient chez les femmes un chargement lombaire équivalent pour le moment maximal résultant et asymétrique et même supérieur pour le moment résultant cumulé (tableau 4-7). En abaissant la charge de 5 kg, les femmes par rapport aux hommes subissent alors un chargement lombaire relatif significativement moins élevé pour le moment asymétrique (tableau 4-9) et similaire pour le moment résultant maximal et le moment résultant cumulé. On se serait attendu que le moment résultant maximal soit (en termes relatifs) significativement plus petit pour les femmes que celui des hommes, car les valeurs étaient déjà semblables à 15 kg. On peut expliquer ce moindre effet par une augmentation (à défaut d'être resté stable) de la distance de la caisse à L5/S1 et de la vélocité angulaire du tronc (indiquée en rouge au tableau 4-8). L'occurrence du moment résultant se produit plus tôt avec 10 kg et a pour conséquence d'éliminer les différences entre hommes et femmes (tableau 4-8).

Au dépôt, lorsque la masse de la caisse passe de 15 kg à 10 kg, les moments résultants et asymétriques sont significativement réduits chez les femmes, mais demeurent significatifs au niveau du moment asymétrique lorsque normalisé (tableau 4-9). Par contre, la distance de la

caisse augmente significativement avec la caisse de 10 kg même lorsque celle-ci est normalisée (tableau 4-9). Enfin, la flexion des genoux est diminuée de l'ordre de 3 à 4 degrés, mais cet effet n'est significatif que pour le genou gauche et n'est pas suffisant pour être distinct de la flexion des genoux des hommes (tableau 4-8).

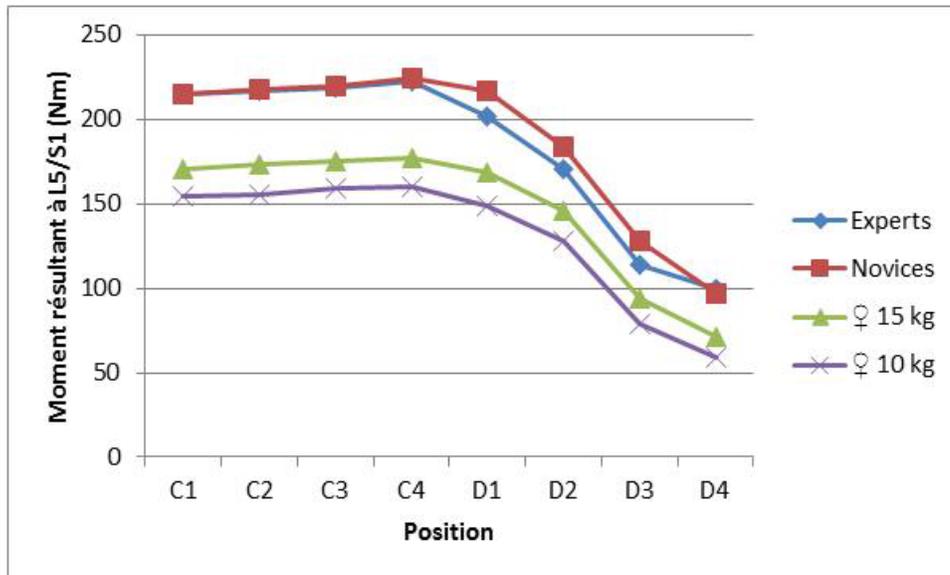


Figure 4-6 : Moment résultant maximal à L5/S1 (N•m) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt

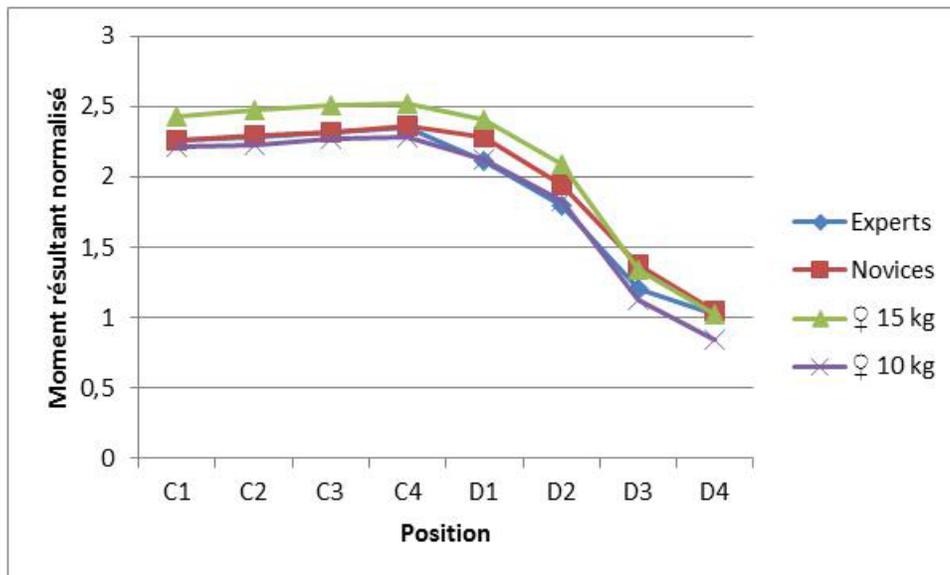
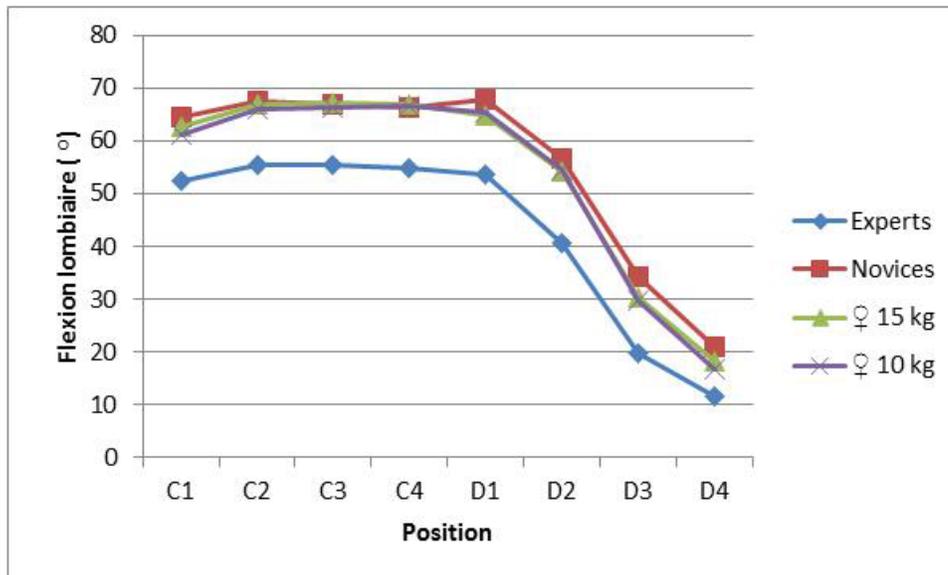
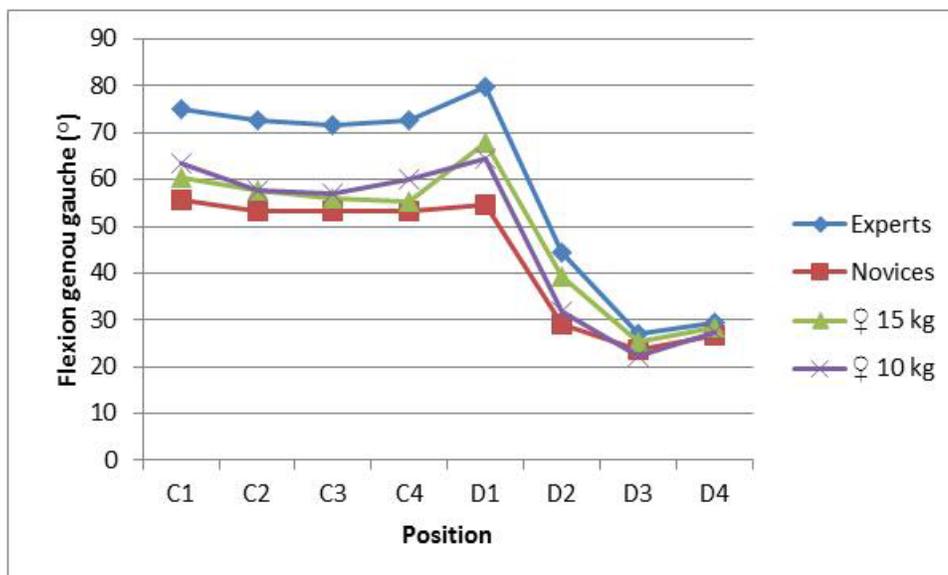


Figure 4-7 : Moment résultant maximal normalisé à L5/S1 (par unité du poids du tronc) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt



**Figure 4-8 : Flexion lombaire (en degrés) au levage et au dépôt observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt**



**Figure 4-9 : Flexion du genou gauche (en degrés) au levage et au dépôt observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt**

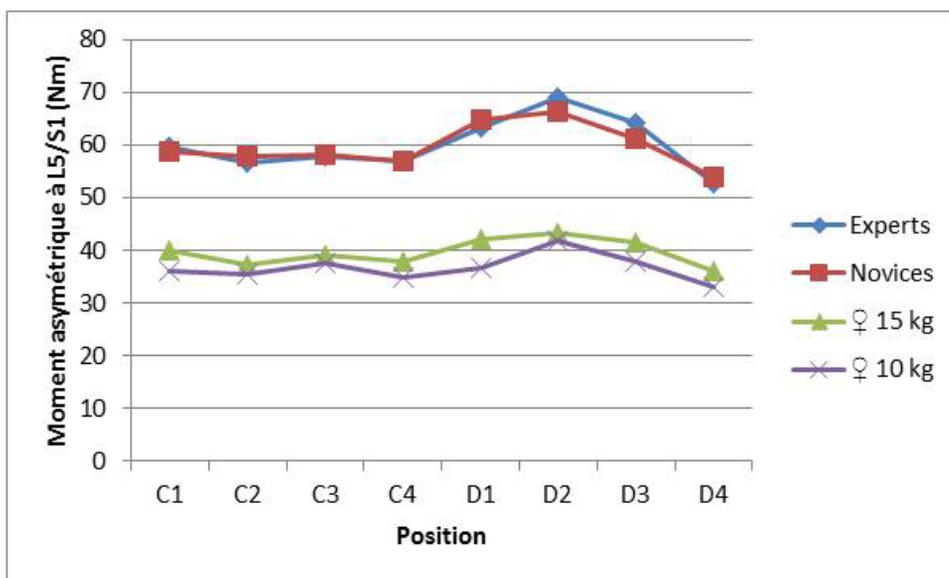


Figure 4-10 : Moment asymétrique à L5/S1 (Nm) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt

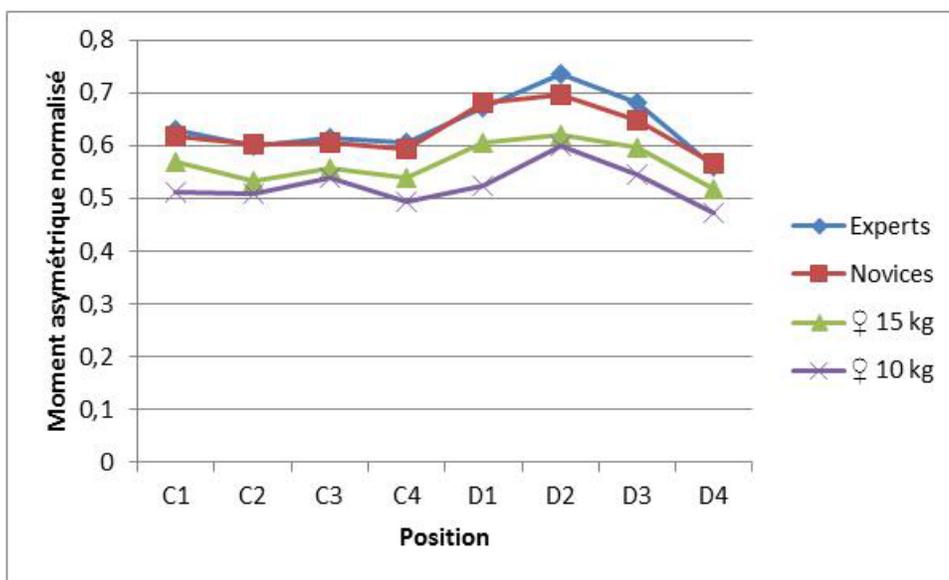


Figure 4-11 : Moment asymétrique normalisé à L5/S1 (Nm) au levage et au dépôt pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur le convoyeur (C) au levage et de la position sur le diable (D) au dépôt

**Tableau 4-6 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec les trois caisses de 15 kg**

Variables	Phase	Experts (E)		Novices (N)		Femmes (F)		P	P Interaction			Post-hoc*
		M	ET	M	ET	M	ET		G	GC	GP	
Moment max. résultant (N•m)	L	218	34	219	38	174	25	<,01	0,95	0,85	0,99	F < E, N
	D	146	55	157	57	120	44	<,01	0,96	0,20	0,77	F < E, N
Occurrence moment max. (%)	L	2	8	5	9	6	7	<,01	0,56	0,39	0,84	F > E
	D	88	21	86	20	87	26	0,71	0,30	0,64	0,90	
Angle de flexion lombaire (°)	L	55	11	66	14	66	14	<b>0,02</b>	0,12	0,07	0,85	F, N > E
	D	31	20	45	25	42	22	<,01	<b>0,03</b>	0,48	0,56	F, N > E
Index flexibilité lombaire (%)	L	83	18	97	20	>99	25	<b>0,01</b>	0,17	<b>0,04</b>	0,86	F > E
	D	48	31	65	37	70	38	<,01	0,06	0,18	0,43	F, N > E
Angle flex. lat. lombaire (°)	L	0	5	3	6	-2	5	<,01	<,01	0,89	0,42	F < N
	D	-2	6	-1	6	-3	6	0,46	<b>0,01</b>	0,49	0,08	
Angle de torsion lombaire (°)	L	4	5	-1	8	1	6	0,07	0,50	0,84	0,41	
	D	1	6	0	7	1	5	0,81	0,21	0,55	0,52	
Inclinaison tronc (°)	L	69	18	83	18	87	19	<,01	0,54	0,12	0,88	F > E
	D	39	25	53	30	50	30	<,01	0,46	<b>0,01</b>	0,87	F, N > E
Distance caisse à L5/S1 (m)	L	0,41	0,05	0,43	0,06	0,38	0,05	<b>0,01</b>	0,98	0,52	0,51	F < N
	D	0,38	0,10	0,42	0,12	0,36	0,09	<b>0,03</b>	0,53	<b>0,04</b>	0,73	F < N
Flexion genou droit (°)	L	70	31	49	35	59	35	0,08	0,90	0,46	0,62	
	D	45	30	41	24	39	27	0,40	0,15	0,39	0,83	
Flexion genou gauche (°)	L	73	29	54	28	57	33	0,12	0,85	0,70	0,52	
	D	45	30	34	23	40	26	<b>0,01</b>	0,56	0,24	0,73	E > N
Vélocité angulaire flexion (°/s)	L	26	12	21	12	16	10	<,01	0,51	0,54	0,64	F < E
	D	6	23	2	23	6	18	0,43	0,04	0,17	0,43	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

**Tableau 4-7 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec les trois caisses de 15 kg**

Variables	Phase	Experts (E)		Novices (N)		Femmes (F)		P Interaction				Post-hoc*
		M	ET	M	ET	M	ET	G	GC	GP	GO	
Moment max. asym. (Nm)	L	58	19	58	20	39	11	<,01	0,89	0,98	0,21	F < E, N
	D	62	19	62	21	41	10	<,01	0,49	0,68	0,89	F < E, N
Moment résultant cumulé (Nms)		226	73	220	66	224	65	0,96	0,43	0,23	0,38	
<b>Valeurs normalisées</b>												
Moment max. résultant <sup>1</sup>	L	2,3	0,4	2,3	0,3	2,5	0,3	0,10	0,97	0,89	0,42	
	D	1,5	0,6	1,7	0,6	1,7	0,6	0,13	0,99	<b>0,03</b>	0,65	
Moment max. asymétrique <sup>1</sup>	L	0,6	0,2	0,6	0,2	0,6	0,1	0,37	0,81	0,98	0,18	
	D	0,7	0,2	0,7	0,2	0,6	0,2	0,26	0,49	0,63	0,89	
Moment résultant cumulé <sup>1</sup>		2,4	0,8	2,3	0,7	3,2	1,0	<,01	0,43	0,19	0,37	F > E, N
Distance caisse à L5/S1 <sup>2</sup> à l'instant du moment max	L	0,24	0,03	0,24	0,03	0,24	0,03	0,60	0,98	0,56	0,50	
	D	0,22	0,06	0,24	0,07	0,22	0,05	0,29	0,57	0,12	0,79	

<sup>1</sup>Normalisation = Moment/ moment gravitationnel du tronc ; Unité de poids du tronc

<sup>2</sup> Normalisation = Distance / taille ; Unité de taille

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

**Tableau 4-8 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec la caisse centrée de 10 kg et la caisse centrée de 15 kg**

Variables	Phase	Femmes						Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg			
		10 kg		15 kg		Différence		P	P Interaction		Post-hoc*
		M	ET	M	ET	Δ	P	G	GP	GO	G
Moment max. résultant (N•m)	L	157	23	175	26	18	<,01	<,01	0,88	0,73	F < E, N
	D	104	40	119	44	15	<,01	<,01	<b>0,05</b>	0,43	F < E, N
Occurrence moment max. (%)	L	3	4	5	8	1	<,01	0,10	0,76	0,37	
	D	89	22	86	19	-2	0,45	0,97	<b>0,01</b>	0,98	
Angle de flexion lombaire (°)	L	65	14	66	14	1	0,14	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	0,74	E < N
	D	42	22	42	22	0	0,74	<,01	0,31	0,41	F, N > E
Index flexibilité lombaire (%)	L	+99	26	+99	25	1	0,10	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	0,78	F > E
	D	70	38	70	38	1	0,65	<,01	0,07	0,40	F, N > E
Angle flex. lat. lombaire (°)	L	-2	4	-2	5	0	0,86	<b>0,01</b>	0,22	0,40	F < N
	D	-1	7	-2	7	-1	0,22	0,93	0,70	<b>0,01</b>	
Angle de torsion lombaire (°)	L	2	5	1	5	0	0,16	<b>0,05</b>	0,73	0,52	N < E
	D	0	6	0	5	0	0,31	0,66	0,64	0,46	
Inclinaison tronc (°)	L	86	20	87	19	1	0,14	<b>0,03</b>	0,20	0,95	F > E
	D	51	31	50	30	-1	0,82	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	0,65	F, N > E
Distance caisse à L5/S1 (m)	L	0,39	0,05	0,38	0,05	-0,01	<,01	0,06	0,65	0,59	
	D	0,37	0,09	0,36	0,09	-0,01	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>	0,65	
Flexion genou droit (°)	L	62	33	60	34	-1	0,21	0,09	0,59	0,42	
	D	36	24	39	28	3	0,13	0,12	0,07	0,44	
Flexion genou gauche (°)	L	60	32	58	32	-1	0,19	0,10	0,75	0,20	
	D	36	24	40	26	4	<b>0,01</b>	<,01	0,36	0,73	E > N
Vélocité angulaire flexion (°/s)	L	18	10	16	10	-2	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	0,29	0,59	F < E
	D	6	18	6	18	0	0,44	0,61	0,28	0,89	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes: **Vert** = Effet positif de la caisse de 10 kg ; **Rouge** = Effet négatif ; **Gris** = Effet négligeable.

**Tableau 4-9 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse centrée de 10 kg et une caisse centrée de 15 kg**

Variables	Phase	Femmes						Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg			
		10 kg		15 kg		Différence		P	P Interaction		Post-hoc*
		M	ET	M	ET	Δ	P	G	GP	GO	G
Moment max. asymétrique	L	36	11	39	11	3	<,01	<,01	0,61	0,11	F < N, E
	D	37	11	40	11	3	0,01	<,01	0,57	0,51	F < E, N
Moment résultant cumulé (Nms)		170	50	218	65	48	<,01	<,01	0,13	0,23	F < N, E
Valeurs normalisées											
Moment max. résultant <sup>1</sup>	L	2,2	0,3	2,5	0,3	0,3	<,01	0,61	0,92	0,75	
	D	1,5	0,6	1,7	0,6	0,2	<,01	0,23	0,23	0,34	
Moment max. asymétrique <sup>1</sup>	L	0,52	0,13	0,55	0,14	0,04	<,01	0,04	0,64	0,08	
	D	0,54	0,15	0,57	0,15	0,04	0,01	0,02	0,52	0,45	F < E, N
Moment résultant cumulé <sup>1</sup>		2,4	0,8	3,1	1,0	0,7	<,01	0,55	0,28	0,24	
Distance caisse à L5/S1 <sup>2</sup> à l'instant du moment max.	L	0,24	0,03	0,24	0,03	-,01	0,01	0,64	0,61	0,67	
	D	0,23	0,05	0,22	0,05	-,01	0,02	0,26	0,11	0,66	

<sup>1</sup>Normalisation = Moment/ moment gravitationnel du tronc ; Unité de poids du tronc

<sup>2</sup> Normalisation = Distance / taille ; Unité de taille

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes: Vert = Effet positif de la caisse de 10 kg; Rouge = Effet négatif; Gris = Effet négligeable



## 5. SÉANCE III : TRANSFERT DE CAISSES DE PALETTE À PALETTE : RÉSULTATS BIOMÉCANIQUES

### 5.1 Méthodologie

#### 5.1.1 Procédures expérimentales

**Femmes** : Cette séance consistait à effectuer dans un premier temps le **transfert aller-retour de trois palettes de 24 caisses de 15 kg** (total 144 caisses) vers une autre palette. Les caisses (26 cm de profondeur x 34 cm de largeur x 32 cm de hauteur) ont été disposées sur la palette (hauteur : 16 cm du sol) telles que présentées à la figure 5-1. Ce transfert a été suivi d'une période de repos de 30 minutes puis **de deux transferts aller-retour de 24 caisses de 10 kg** (96 caisses). Des tests de fatigue musculaire sous-maximaux ont été réalisés afin d'estimer l'état de fatigue des muscles du dos. Ces tests consistaient pour le sujet à maintenir le tronc en position horizontale sur une période de cinq secondes. Voici les principales étapes de cette séance :

1. test #1 de fatigue musculaire (contraction de référence);
2. deux transferts aller-retour de 24 caisses de 15 kg à vitesse libre (ou **cadence libre**);
3. test #2 de fatigue musculaire;
4. un transfert aller-retour de 24 caisses de 15 kg à une vitesse imposée (ou **cadence imposée**) de 9 caisses/min;
5. test #3 de fatigue musculaire;
6. 30 minutes de repos;
7. test #4 de fatigue musculaire;
8. un transfert aller-retour de 24 caisses de 10 kg à vitesse libre;
9. test #5 de fatigue musculaire
10. un transfert aller-retour de 24 caisses de 10 kg à une vitesse imposée de 9 caisses/min;
11. test #6 de fatigue musculaire.

**Hommes** : La séance d'acquisition des données s'est effectuée dans une étude antérieure (Plamondon et coll., 2010) et consistait à effectuer le transfert aller-retour de **cinq palettes de 24 caisses de 15 kg** (total 240 caisses) vers une autre palette sur une période d'environ 30 minutes. Les deux premiers transferts aller-retour de caisses (96) se sont faits à cadence libre. Les trois autres transferts de caisses (144) ont été effectués à une cadence imposée de neuf caisses à la minute qui, d'après Garg *et coll.* (1979), correspond à une fréquence de manutention adéquate. À la différence des femmes, les hommes n'ont pas eu à transporter la caisse de 10 kg, mais par contre ils ont eu à effectuer trois transferts aller-retour consécutifs à cadence imposée.

Les participants ont régulièrement été informés de l'avance ou du retard qu'ils prenaient sur chaque transfert. La distance (bord à bord) séparant les palettes était de 1.65 m. Le premier test de fatigue musculaire s'effectuait juste avant le début des transferts de caisse (pré-test), le second, entre la fin du premier transfert à cadence libre (post-test 1) et le début du transfert à cadence imposée et enfin le troisième, à la fin de la cadence imposée (post-test 2). À noter que les tests de fatigue musculaire ont été répétés pour les femmes pour la charge de 10 kg (six tests de fatigue au total). Les mesures de perception de fatigue (à partir des échelles de Borg) ont été effectuées avant chaque test de fatigue musculaire.



**Figure 5-1 : Illustration de la condition expérimentale du transfert de caisses palette à palette**

Un aspect central de notre méthodologie consistait à permettre aux participants de pouvoir travailler de façon libre sans que des consignes d'exécution leur soient données. Ainsi, les sujets ont été libres de toute restriction à l'exception de ne pouvoir quitter la plate-forme de forces, d'appuyer les pieds sur les palettes (pour ne pas quitter la plate-forme de forces) et d'effectuer un tour complet sur eux-mêmes en raison des fils du système d'Optotrak et du système d'électromyographie qu'ils devaient obligatoirement porter. On exigeait toutefois un empilement de six caisses par étage (4 étages), mais sans ordre préétabli.

### **5.1.2 Analyses statistiques**

Le traitement des données relatif au modèle segmentaire biomécanique a été discuté dans la section 2.3. Les variables dépendantes choisies comme critères de sécurité et de performance sont les mêmes que celles qui ont été discutées dans la section 4.1.3. Pour plus de détails, le lecteur est invité à relire cette section. Le traitement des données ainsi que les analyses statistiques sont essentiellement les mêmes que pour la séance 2. Brièvement, dans une première ANOVA factorielle mixte, les trois groupes de sujets ont été comparés dans les conditions où les caisses de 15 kg (toutes de même format) ont été manutentionnées (charge absolue identique). Dans une seconde ANOVA, les trois groupes ont été comparés lorsque les hommes transféraient la caisse de 15 kg et les femmes, la caisse de 10 kg (charge relative similaire). Une dernière ANOVA a servi à comparer les différences observées chez les femmes entre le transfert de la caisse de 15 kg et celle de 10 kg (effet de la masse de la caisse chez les femmes). Quatre effets principaux ont été étudiés dans cette expérience : le groupe, la hauteur des caisses, la distance horizontale des caisses et la cadence. Le tableau 5-1 résume les principales analyses statistiques effectuées ainsi que les variables indépendantes du modèle. Enfin, les femmes étant différentes des hommes en termes de poids, de taille et de force musculaire (test général de force musculaire isométrique maximale de levage, voir section 3.1), en plus d'avoir un nombre d'années d'expérience moindre,

une ANCOVA (Design mixte) a été effectuée pour tester l’influence de ces covariables sur les principales variables dépendantes en ne considérant que la variable indépendante groupe.

Comme la quantité de données est encore plus importante qu’à la séance 2, il a fallu se limiter, dans le cadre de cette section, à n’analyser que le **dernier aller à vitesse libre** et le **dernier aller à vitesse imposée** pour les conditions de 15 kg chez les hommes et les femmes ainsi que pour la condition de 10 kg chez les femmes. Enfin, les mêmes codes de couleurs que dans la section précédente ont été intégrés à certains tableaux afin de faciliter l’interprétation des résultats.

**Tableau 5-1 : Variables indépendantes de la séance III**

Statistiques	Variables indépendantes	Particularité
ANOVA factorielle mixte #1 (3x4x2x2)	Inter sujets : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trois groupes (G) : Experts (E), Novices (N) et Femmes (F).</li> </ul> Intra-sujets : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur Verticale (V): 16, 48, 80 et 112 cm</li> <li>• Distance Horizontale (H): proche vs éloignée.</li> <li>• Deux cadences (C): Cadence libre vs cadence imposée</li> </ul>	Le modèle complet est analysé pour les hommes et les femmes avec une charge de 15 kg.  <b>La hauteur verticale est à partir du sol de la plate-forme de forces. La valeur de 16 cm est la hauteur de la palette.</b>
ANOVA factorielle mixte #2. (3x4x2x2)	Inter sujets : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trois groupes (G) : Experts (E), Novices (N) et Femmes (F).</li> <li>• Hauteur Verticale (V): 16, 48, 80 et 112 cm</li> <li>• Distance Horizontale (H): proche vs éloignée.</li> <li>• Deux cadences (C): Cadence libre vs cadence imposée</li> </ul>	Les données des hommes (15 kg) sont comparées à celles des femmes (10 kg). Le modèle n’est pas complet, car les hommes n’ont pas transféré de charges de 10 kg. L’effet Caisse est donc intégré dans l’effet Groupe.
ANOVA #3 à mesures répétées. (2x4x2)	Femmes (F) seulement. Intra-sujet : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poids caisse : 10 kg vs 15 kg</li> <li>• Hauteur Verticale : 16, 48, 80 et 112 cm</li> <li>• Deux cadences (C): Cadence libre vs cadence imposée</li> </ul>	L’effet de la distance horizontale a été omis du modèle, mais seul l’effet principal de la caisse a été considéré.

## 5.2 Résultats

Cette section sera présentée en plusieurs parties. Les résultats sur les cadences seront présentés en premier, suivis des résultats biomécaniques. Les tests de fatigue (échelle de Borg, fréquence cardiaque et électromyographie) étant secondaires aux objectifs principaux, ces résultats seront présentés à l’annexe F. Une fois de plus, étant donné la très grande quantité de données dans les

tableaux, seules les plus pertinentes seront relevées dans le texte afin de ne pas trop alourdir la lecture des résultats.

### 5.2.1 Les cadences

Le tableau 5-2 présente les cadences libre et imposée réelles du dernier aller qui ont été exercées par les sujets. On constate que la cadence libre est très proche de la cadence imposée, mais qu'elle reste significativement plus petite. Les novices ne diffèrent pas des experts et des femmes avec une caisse de 15 kg, mais les femmes ont une cadence significativement plus petite que les experts. Lorsque la charge chez les femmes passe de 15 kg à 10 kg, la cadence libre augmente significativement de 7,25 à 9,10 caisses/min.

**Tableau 5-2 : Cadences libre et imposée réelles (caisses/min) exercées par les manutentionnaires. Moyenne et écart-type (n = 15/groupe)**

	Cadence libre		Cadence imposée		P groupe	P cadence	P gr-ca
	M	ET	M	ET			
Experts 15 kg	8,89	2,14	9,36	0,41	<sup>1</sup> 0,03 <sup>F&lt;E</sup>	<.01	0,14
Novices 15 kg	8,45	1,99	9,51	0,86			
Femmes 15 kg	7,25	1,30	9,07	0,32			
Femmes 10 kg	9,10	1,00	9,22	0,30	<sup>2</sup> 0.86	<b>0.04</b>	0.36

<sup>1</sup>ANOVA à mesures répétées : Groupe (Experts, Novices, Femmes) × Cadence (Libre, Imposée).

La cadence individuelle est la moyenne des 24 transferts (aller et retour) du dernier essai.

<sup>2</sup>ANOVA à mesures répétées : Groupe (Experts 15 kg, Novices 15 kg, Femmes 10 kg) × Cadence (Libre, Imposée).

### 5.2.2 La fatigue physique

L'un des moyens d'influencer les façons de faire des manutentionnaires et d'accroître les différences entre les trois groupes fut d'augmenter la cadence de manutention et ainsi de fatiguer les sujets. Trois mesures ont servi à évaluer le niveau de fatigue physique, soit la fréquence cardiaque (FC), l'échelle de Borg CR-10 et enfin l'EMG. Les résultats sont présentés à l'annexe F. En bref, la FC pour une charge de 15 kg n'était pas significativement différente entre les trois groupes, mais elle augmentait de manière significative lors de la cadence imposée à 9 caisses/min. Les trois groupes ont perçu la cadence imposée comme plus exigeante et les femmes avaient une perception de la fatigue, ainsi qu'une charge physiologique équivalente aux hommes. Le niveau de fatigue musculaire mesuré par l'EMG variait en fonction du temps et elle était plus élevée à la fin de la séance imposée surtout au niveau du dos, mais la différence entre la cadence libre et imposée n'était pas significative. Aussi, les femmes n'apparaissaient pas plus fatiguées musculairement que les hommes. Les manutentionnaires ont donc cumulé tout le long des transferts de caisses une fatigue musculaire au dos. L'utilisation d'une charge de 10 kg chez les femmes a eu pour effet de diminuer significativement la perception de l'effort ainsi que la fréquence cardiaque par rapport à la charge de 15 kg. Les femmes ne se fatigueraient donc pas de manière marquée à la charge de 10 kg.

### 5.2.3 La durée de la manutention et le parcours des caisses

La durée totale de manutention pour une charge de 15 kg, ainsi que deux (pré-transport et post-transport) des trois phases qui la composent ont été significativement plus élevées pour les femmes, soit près d'une seconde de plus que pour les experts et les novices (tableau 5-4; figure 5-2). Ce n'est pas dans la phase de transport que les différences sont significatives, mais plutôt dans la phase du pré et du post-transport. Lorsque les femmes effectuent la même tâche, mais avec une caisse de 10 kg, toutes les différences entre les hommes et les femmes disparaissent, les femmes ayant diminué la durée totale de près d'une seconde (tableau 5-5; figure 5-2).

Le parcours total de la caisse variait selon la localisation horizontale et verticale de la caisse. Le tableau 5-3 indique l'étage de prise et de dépôt de chaque caisse. Les caisses prises de l'étage 1 ont été généralement déposées à l'étage 4 (21.2 %) et vice-versa (19 %) alors que les caisses prises à l'étage 2 ont été déposées à l'étage 3 (19.2 %) et vice-versa (17.7 %). Le tableau 5-6 et la figure 5-3 permettent de constater que les trois groupes ont un parcours (aérien) de la caisse pratiquement similaire et que les différences sont minimales et non significatives malgré le fait que les novices apparaissent avoir un parcours légèrement supérieur. Même lorsque la charge est abaissée à 10 kg chez les femmes, le parcours demeure sensiblement le même et les améliorations (en vert au tableau 5-7), c'est-à-dire une diminution du parcours de la caisse, ne se sont réalisées que pour le parcours vertical positif. On remarque finalement (figure 5-3) que plus la hauteur d'élévation ou d'abaissement des caisses augmente, plus le parcours est long pour atteindre sa valeur maximale lorsque la caisse est élevée du bas de la première palette pour être déposée en haut de la seconde palette (en position 4). La plupart des interactions observées aux tableaux 5-6 et 5-7 n'ont que peu d'incidences pratiques, le parcours d'un groupe étant légèrement différent de ceux des deux autres groupes et provoquant une interaction significative.

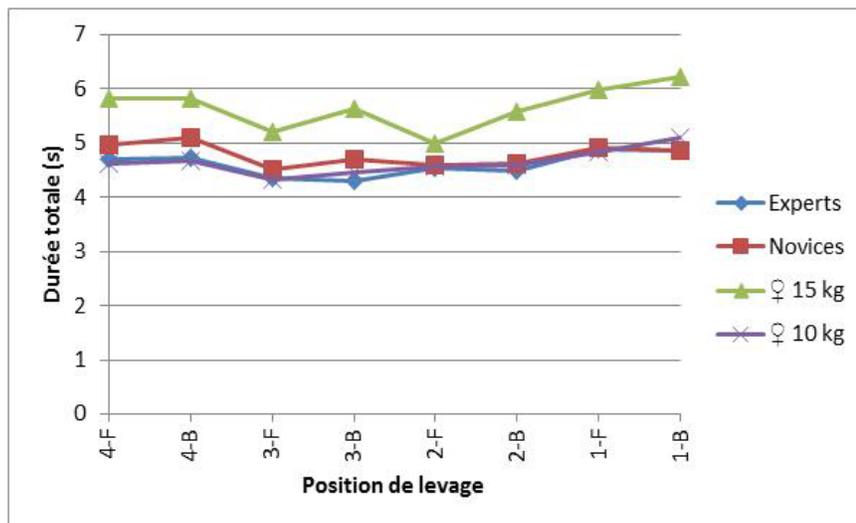
**Tableau 5-3 : Localisation verticale de dépôt de la caisse en fonction de la localisation verticale de celle-ci au levage**

Prise \ Dépôt	1	2	3	4
1	0.3%	1.0%	2.5%	<b>21.2%</b>
2	1.2%	2.2%	<b>19.2%</b>	2.4%
3	4.5%	<b>17.7%</b>	2.1%	0.7%
4	<b>19.0%</b>	4.1%	1.2%	0.7%

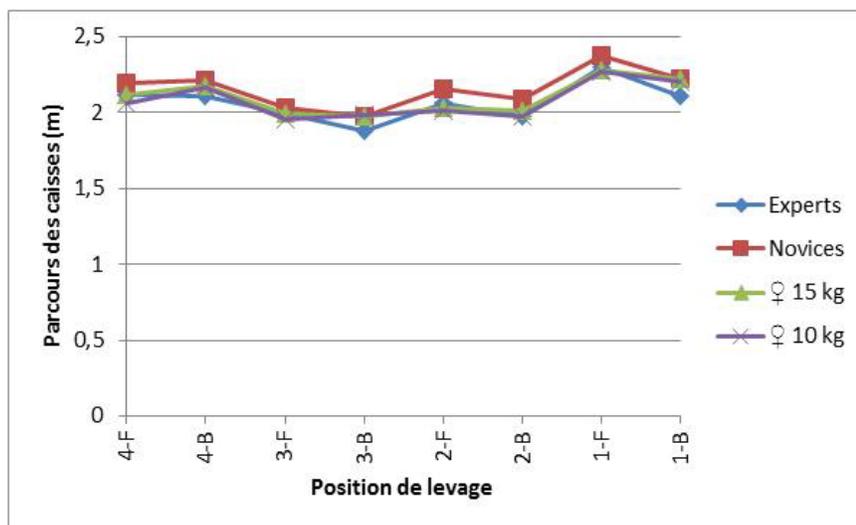
### 5.2.4 Résultats de l'essai de la caisse de 15 kg

Comme prévu, le moment résultant à L5/S1 était significativement moins élevé chez les femmes par rapport aux hommes (figure 5-4; tableau 5-8) que ce soit au levage ( $\text{♀} = 134 \text{ Nm}$ ;  $\text{♂}$  experts = 168 Nm;  $\text{♂}$  novices = 184 Nm) ou au dépôt ( $\text{♀} = 112 \text{ Nm}$ ;  $\text{♂}$  experts = 133 Nm;  $\text{♂}$  novices = 149 Nm). L'interaction significative,  $G \times V$  (tableau 5-8; levage et dépôt), est principalement causée par une diminution du moment résultant des experts aux étages supérieurs (2, 3 et 4) par rapport aux deux autres groupes (figure 5-4). L'autre interaction intéressante,  $G \times H$  (dépôt), est causée par le groupe des femmes qui se distingue des hommes en ayant une plus faible différence du moment résultant entre la position avant et arrière des caisses (plus faible pente du moment

résultant). Elles s'adaptent donc mieux que les hommes à la position arrière de la caisse. Lorsque ce moment résultant est normalisé en fonction du poids du tronc, on constate au levage (figure 5-5; tableau 5-9) que les trois groupes ne sont pas statistiquement différents quoique les femmes et les novices ont un moment normalisé plus élevé que les experts. Au dépôt, ce moment est statistiquement plus élevé pour les femmes par rapport aux experts. Les interactions sont sensiblement les mêmes que pour le moment résultant non normalisé.



**Figure 5-2 : Durée totale (s) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage (les chiffres 4-3-2-1 indiquent la hauteur de la caisse et les lettres, F pour « Front » et B pour « Back », la position horizontale de la caisse sur la palette**



**Figure 5-3 : Parcours des caisses pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage**

Les différences entre les trois groupes de manutentionnaires se sont révélées être importantes pour quatre variables cinématiques obtenues à l'instant du moment résultant maximal, c'est-à-

dire au temps où le chargement lombaire est maximal (tableau 5-8). En premier lieu, l'inclinaison du tronc p/r à la verticale était significativement plus grande dans le cas des femmes et des novices, de l'ordre de 10 ° par rapport aux experts. L'angle de flexion lombaire suivait la même tendance, mais la différence entre les femmes et les experts n'était pas significative (figure 5-6). La distance horizontale entre la caisse et l'articulation L5/S1 était significativement plus petite chez les femmes d'environ 7 cm et 3 cm par rapport aux novices et aux experts respectivement, et ceci, autant au levage qu'au dépôt (Figure 5-7). Lorsque cette distance est normalisée par rapport à la taille, les femmes demeurent significativement plus rapprochées de la caisse que les novices (tableau 5-9). L'interaction, G×H observée sur cette variable est causée par le groupe des femmes qui reste plus proche de la caisse que les hommes dans la position arrière de la caisse sur la palette. De plus, cette interaction demeure lorsque cette distance est normalisée (tableau 5-9). Enfin, pour les femmes, la vitesse angulaire du tronc en flexion (8°/s) était significativement plus petite que dans le cas des experts au levage (14°/s) et des novices au dépôt (12°/s). On remarque aussi, autant pour les experts que les novices, qu'il y a peu d'asymétrie de posture au levage et au dépôt, les angles de torsion et de flexion latérale lombaire ne dépassant pas en moyenne 5°. Une interaction significative importante au levage, G×V, est causée par une flexion des genoux plus prononcée des experts par rapport aux femmes et aux novices (figures 5-8 et 5-9). Ainsi, plus la caisse s'approche du sol, plus les experts fléchissent les genoux, ce qui n'est pas le cas des deux autres groupes.

Tout comme pour le moment résultant, le moment asymétrique maximal est significativement plus petit (de 20 Nm) autant chez les femmes que chez les hommes (tableau 5-9). Même lorsque ce moment est normalisé, les femmes demeurent significativement différentes des novices au levage, mais pas des experts (tableau 5-9; figure 5-9). Toutefois, il n'existe plus de différence au dépôt. Le moment résultant cumulé est aussi significativement plus petit chez les femmes (proche des 30 Nms) par rapport aux novices. Par contre, en normalisant cette variable, la valeur des femmes devient significativement plus élevée que celle des hommes. Les femmes, en termes relatifs, doivent donc supporter un chargement lombaire plus élevé.

### **5.2.5 Résultats de l'essai de la caisse de 10 kg**

Le fait de réduire la masse de la caisse de 15 kg à 10 kg chez les femmes a eu pour conséquence des effets positifs (en vert), quelquefois des effets négatifs (en rouge) et très souvent peu ou pas d'effet (en gris) tel qu'il est possible de le constater aux tableaux 5-10 et 5-11 ainsi qu'aux figures 5-4 à 5-9. En premier lieu, il n'est pas étonnant que le moment résultant maximal à L5/S1 ait été réduit significativement (de plus de 15 Nm) avec une charge de 10 kg et il est frappant de voir cet effet à la figure 5-4. Plus encore, à la figure 5-5, on peut constater que les femmes sont favorablement avantagées avec une caisse de 10 kg en réduisant leur charge relative au dos par rapport aux hommes. On remarque au tableau 5-11 d'autres effets positifs, par exemple sur le moment cumulé pour lequel on observe une réduction de 37 Nms, ce qui correspond à une réduction de près de 25 % (même effet pour le moment cumulé normalisé). L'effet sur le moment asymétrique est beaucoup moins spectaculaire alors qu'on observe une légère réduction seulement dans la phase de dépôt (figure 5-9).

Malheureusement, le fait de réduire le chargement de 5 kg n'a pas eu que des effets positifs. Au tableau 5-10, on observe que les femmes se sont adaptées en augmentant significativement la distance de la caisse à L5/S1 (figure 5-7) de près de 2 cm (au levage) à 4 cm (au dépôt). À 15 kg,

les femmes se distinguaient des hommes en étant significativement plus proches de la caisse (tableau 5-8), mais pas à 10 kg où elles ne font mieux qu'en comparaison des novices (tableau 5-10). La normalisation de cette distance élimine toute différence entre les hommes et les femmes (tableau 5-11). L'autre variable pour laquelle on constate un effet négatif est la flexion des genoux (figure 5-8). Ainsi, on remarque au tableau 5-10, une diminution significative de la flexion des genoux, de l'ordre de 5°. D'un autre côté, le passage d'une charge de 15 kg à 10 kg n'a pas affecté de façon significative les variables associées à la posture du tronc (tableau 5-10) et a très peu modifié la majorité des interactions.

### **5.2.6 Résultats des ANCOVA**

Le tableau 5-12 présente les résultats des ANCOVA en considérant les effets possibles de quatre covariables soit le poids (P), la taille (T), l'expérience (E) et la force musculaire (F). Il est intéressant de constater que les ajustements aux données n'ont que peu modifié les résultats des ANOVA (tableaux 5-4, 5-6, 5-8 et 5-9). Ces dernières ont même plutôt amplifié, sur certaines variables, les différences significatives entre les groupes. Ainsi, les experts se distinguent significativement des deux autres groupes en ce qui a trait au parcours de la caisse, à l'inclinaison du tronc, à la flexion des genoux et à la vélocité angulaire du tronc. Les femmes, après corrections, ont un moment maximal résultant équivalent à celui des experts, mais inférieur à celui des novices. Par rapport aux hommes, elles sont toujours plus proches de la caisse et ont un moment asymétrique inférieur. Mais elles fléchissent moins les genoux et ont une inclinaison du tronc et un chargement cumulé supérieur. Bien que les conclusions ne changent pas par rapport aux ANOVA, il est intéressant de constater que les facteurs anthropométriques (poids corporel et taille) affectent la quasi-totalité des variables dépendantes, tandis que l'expérience et la force semblent plutôt affecter les variables reliées à la posture, comme la flexion des genoux ainsi que la durée totale.

**Tableau 5-4 : Durée des différentes phases avec des caisses de 15 kg**

Variables	Experts		Novices		Femmes		Prob P	Interaction P			Post-hoc
	M	ET	M	ET	M	ET	G	GV	GH	GC	G
Durée totale (s)	4,6	1,2	4,8	1,5	5,7	1,8	<,01	0,13	<b>0,01</b>	0,25	F > E,N
Pré-transport (s)	1,1	0,5	1,2	0,7	1,6	0,8	<,01	0,15	0,07	0,09	F > E,N
Transport (s)	2,3	0,4	2,2	0,5	2,4	0,5	0,27	0,31	<b>0,04</b>	0,05	
Post -transport (s)	1,1	0,8	1,3	0,9	1,7	1,1	<,01	0,23	0,85	0,88	F > E

M = Moyenne; ET = Écart-type; G = Groupes ; GV = interaction Groupes × Hauteur verticale ; GH = interaction Groupes × Distance Horizontale; GC = interaction Groupes × Cadence.

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts

**Tableau 5-5 : Durée des différentes phases avec une caisse de 10 kg chez les femmes et de 15 kg chez les hommes**

Variables	Femmes				Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg						
	10 kg		15 kg		Δ	P	Prob P	Interaction P		Post-hoc	
	M	ET	M	ET			G	GV	GH	GC	
Durée totale (s)	4,7	0,9	5,7	1,8	1,0	<,01	0,80	0,18	0,42	0,17	
Pré-transport (s)	1,2	0,5	1,6	0,8	0,4	<,01	0,77	0,08	0,71	0,08	
Transport (s)	2,2	0,4	2,4	0,5	0,2	<,01	0,64	0,18	<b>0,01</b>	0,09	
Post -transport (s)	1,2	0,6	1,7	1,1	0,5	<,01	0,40	0,44	0,63	0,28	

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes : Vert = Effet positif de la caisse de 10 kg; Rouge = Effet négatif; Gris = Effet négligeable.

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts

Tableau 5-6 : Parcours des caisses de 15 kg

Variables	Experts		Novices		Femmes		Prob P				Post-hoc
	M	ET	M	ET	M	ET	G	GV	GH	GC	
Parcours total (m)	2,07	0,22	2,16	0,28	2,10	0,24	0,19	0,62	0,06	<b>0,01</b>	
Parcours vertical positif (m)	0,34	0,34	0,37	0,37	0,37	0,37	0,21	0,14	0,26	0,24	
Parcours vertical négatif (m)	0,28	0,27	0,30	0,29	0,28	0,27	0,84	0,22	0,64	< <b>0,01</b>	
Parcours horizontal (m)	1,86	0,18	1,96	0,24	1,88	0,20	0,06	0,13	<b>0,05</b>	<b>0,05</b>	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ;  
E = hommes experts

Tableau 5-7 : Parcours des caisses de 10 kg chez les femmes et de 15 kg chez les hommes et les femmes

Variables	Femmes				Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg				Post-hoc		
	10 kg		15 kg		Δ	P	Prob P				
	M	ET	M	ET			G	GV		GH	GC
Parcours total (m)	2,08	0,24	2,10	0,24	0,02	0,16	0,15	0,37	<b>0,02</b>	<b>0,62</b>	
Parcours vertical positif (m)	0,35	0,37	0,37	0,37	0,02	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	0,39	0,88	F < N
Parcours vertical négatif (m)	0,28	0,27	0,28	0,27	0,01	0,06	0,34	0,19	0,36	<b>0,04</b>	
Parcours horizontal (m)	1,89	0,21	1,88	0,20	-0,01	0,78	0,07	0,16	<b>0,01</b>	0,78	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ;  
E = hommes experts.

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes : **Vert** = Effet positif de la caisse de 10 kg ;

**Rouge** = Effet négatif ; **Gris** = Effet négligeable.

**Tableau 5-8 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg**

Variables		Experts (E)		Novices (N)		Femmes (F)		P	P Interaction				Post-hoc
		M	ET	M	ET	M	ET	G	GV	GH	GC	G	
Moment max. résultant (N•m)	L	168	63	184	64	134	42	<,01	<,01	0,15	0,16	F < E,N	
	D	133	59	149	61	112	42	<,01	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<,01	F < N	
Occurrence moment max (%)	L	0	17	2	18	4	24	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	0,09	0,60	F > E	
	D	92	25	90	27	90	28	0,18	0,68	0,82	0,15		
Angle de flexion lombaire (°)	L	29	21	39	24	37	24	<b>0,04</b>	0,55	0,75	0,48		
	D	24	19	33	23	29	20	<b>0,04</b>	0,68	0,33	0,07	E < N	
Index flexibilité lombaire (%)	L	45	33	56	35	62	40	<b>0,03</b>	0,30	0,69	0,45	F > E	
	D	37	30	48	33	49	34	<b>0,05</b>	0,88	0,33	0,09		
Angle flex. lat. lombaire (°)	L	-2	6	2	7	-2	6	<b>0,02</b>	0,48	0,60	0,86	E < N	
	D	-2	7	0	7	-2	6	0,24	0,21	0,63	0,34		
Angle de torsion lombaire (°)	L	5	6	4	7	4	6	0,44	<,01	0,69	0,51		
	D	2	6	1	6	0	6	0,43	0,11	0,11	0,25		
Inclinaison tronc (°)	L	36	25	46	29	48	31	<,01	<b>0,01</b>	0,94	0,27	E < N,F	
	D	32	25	39	28	39	29	<b>0,01</b>	0,68	0,49	<,01	E < N,F	
Distance caisse à L5/S1 (m)	L	0,38	0,09	0,42	0,10	0,35	0,08	<,01	0,22	<b>0,01</b>	0,35	F < E,N	
	D	0,39	0,12	0,43	0,13	0,35	0,12	<,01	0,19	<b>0,01</b>	<,01	F < E,N	
Flexion genou droit (°)	L	39	28	30	25	31	24	0,13	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	0,07		
	D	35	23	32	20	30	22	0,30	0,67	0,46	0,25		
Flexion genou gauche (°)	L	37	28	31	23	30	23	0,32	<b>0,03</b>	0,74	0,83		
	D	34	22	29	20	29	23	0,07	0,51	0,07	0,44		
Vélocité angulaire flexion (°/s)	L	14	17	11	20	8	17	<b>0,03</b>	<,01	0,69	0,53	F < E	
	D	12	17	12	20	7	19	<b>0,03</b>	0,39	<b>0,01</b>	0,10	F < N	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

**Tableau 5-9 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg**

Variables		Experts (E)		Novices (N)		Femmes (F)		P	P Interaction				Post-hoc
		M	ET	M	ET	M	ET		G	GV	GH	GC	
Moment max. asymétrique	L	72	20	82	34	50	16	<,01	0,40	0,26	0,72	F < E,N	
	D	62	23	69	25	49	18	<,01	0,13	0,40	0,21	F < E,N	
Moment résultant cumulé (Nms)		178	48	199	53	170	46	<b>0,05</b>	0,86	<b>0,04</b>	0,72	F < N	
Valeurs normalisées													
Moment max. résultant <sup>1</sup>	L	1,77	0,68	1,94	0,63	1,91	0,57	0,09	<b>0,01</b>	0,15	0,25		
	D	1,40	0,61	1,57	0,63	1,61	0,58	<b>0,01</b>	0,27	<b>0,03</b>	<,01	F > E	
Moment max. asymétrique <sup>1</sup>	L	0,76	0,25	0,86	0,29	0,71	0,21	<b>0,02</b>	0,40	0,25	0,69	F < N	
	D	0,66	0,26	0,72	0,23	0,70	0,25	0,25	0,11	0,44	0,23		
Moment résultant cumulé <sup>1</sup>		1,88	0,50	2,10	0,54	2,44	0,68	<,01	0,81	<b>0,04</b>	0,77	F > E,N	
Distance caisse à L5/S1 <sup>2</sup> à l'instant du moment max.	L	0,22	0,05	0,24	0,06	0,21	0,05	<,01	0,21	<b>0,01</b>	0,34	F < N	
	D	0,23	0,07	0,24	0,08	0,22	0,07	<,01	0,16	<b>0,03</b>	<,01	F < N	

<sup>1</sup>Normalisation = Moment/ moment gravitationnel du tronc ; Unité de poids du tronc

<sup>2</sup>Normalisation = Distance / taille ; Unité de taille

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

**Tableau 5-10 : Moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse de 10 kg et une de 15 kg**

Variables		Femmes <sup>1</sup>						Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg				
		10 kg		15 kg		Différence		P	P Interaction			Post-hoc
		M	ET	M	ET	Δ	P	G	GV	GH	GC	G
Moment max. résultant (Nm)	L	119	39	134	42	15	<,01	<,01	<,01	0,22	0,51	F < E,N
	D	95	39	112	42	17	<,01	<,01	0,19	0,06	0,02	F < E,N
Occurrence moment max (%)	L	-1	21	4	24	4	<,01	0,60	0,41	0,09	0,91	
	D	92	26	90	28	-1	0,39	0,36	0,76	0,80	0,01	
Angle de flexion lombaire (°)	L	35	23	37	24	2	0,02	0,06	0,58	0,70	0,38	
	D	29	20	29	20	0	0,45	0,04	0,72	0,43	0,57	E < N
Index flexibilité lombaire (%)	L	59	40	62	40	3	0,03	0,08	0,36	0,72	0,34	
	D	49	34	49	34	1	0,61	0,06	0,95	0,46	0,64	
Angle flex. lat. lombaire (°)	L	-1	6	-2	6	-1	0,24	0,04	0,76	0,77	0,94	E < N
	D	-3	7	-2	6	1	0,13	0,17	0,20	0,61	0,48	
Angle de torsion lombaire (°)	L	4	6	4	6	0	0,80	0,44	0,01	0,75	0,69	
	D	-1	6	0	6	1	0,07	0,16	0,15	0,35	0,55	
Inclinaison tronc (°)	L	48	31	48	31	0	0,36	<,01	0,02	0,93	0,37	F,N > E
	D	40	28	39	29	-1	0,41	<,01	0,88	0,45	0,04	F,N > E
Distance caisse à L5/S1 (m)	L	0,37	0,08	0,35	0,08	-0,02	<,01	<,01	0,06	0,04	0,86	F,E < N
	D	0,39	0,12	0,35	0,12	-0,04	<,01	0,02	0,28	0,08	0,18	F,E < N
Flexion genou droit (°)	L	26	22	31	24	5	<,01	0,01	0,01	0,07	0,08	F < E
	D	25	18	30	22	5	<,01	0,01	0,55	0,42	0,03	F < E
Flexion genou gauche (°)	L	25	22	30	23	6	<,01	<,01	0,04	0,10	0,47	F < E,N
	D	24	19	29	23	5	<,01	<,01	0,37	0,14	0,03	F < E
Vélocité angulaire flexion (°/s)	L	8	14	8	17	0	0,40	0,02	0,00	0,52	0,56	F < E
	D	8	15	7	19	-1	0,34	0,07	0,24	0,29	0,01	

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.  
 Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes: Vert = Effet positif de la caisse de 10 kg ; Rouge = Effet négatif; Gris = Effet négligeable.

**Tableau 5-11 : Autres moments et valeurs normalisées des moments nets à L5/S1 et des distances au levage (L) et au dépôt (D) avec une caisse de 10 kg et une de 15 kg**

Variables		Femmes						Comparaison homme 15kg vs femmes 10 kg				
		10 kg		15 kg		Différence		P	P Interaction			Post-hoc
		M	ET	M	ET	Δ	P		G	GV	GH	
Moment max. asymétrique	L	49	18	50	16	1	0,50	<,01	0,50	0,08	0,52	F < E,N
	D	45	17	49	18	4	<,01	<,01	0,31	0,16	0,33	F < E,N
Moment résultant cumulé (Nms)		133	33	170	46	37	<,01	<,01	0,51	<b>0,02</b>	<,01	F < E,N
Valeurs normalisées												
Moment max. résultant <sup>1</sup>	L	1,70	0,51	1,91	0,57	0,21	<,01	<b>0,03</b>	<,01	0,21	0,63	F < N
	D	1,36	0,53	1,61	0,58	0,25	<,01	<b>0,02</b>	0,27	0,08	<b>0,02</b>	F < N
Moment max. asymétrique <sup>1</sup>	L	0,70	0,25	0,71	0,21	0,01	0,46	<b>0,03</b>	0,47	0,08	0,48	F < N
	D	0,64	0,23	0,70	0,25	0,06	<,01	0,09	0,29	0,21	0,31	
Moment résultant cumulé <sup>1</sup>		1,90	0,45	2,44	0,68	0,54	<,01	0,09	0,48	<b>0,02</b>	<,01	
Distance caisse à L5/S1 <sup>2</sup> à l'instant du moment max.	L	0,23	0,05	0,21	0,05	-0,01	<,01	<b>0,05</b>	0,09	<b>0,05</b>	0,85	E < N
	D	0,24	0,07	0,22	0,07	-0,02	<,01	<b>0,14</b>	0,23	0,19	<b>0,18</b>	

<sup>1</sup>Normalisation = Moment/ moment gravitationnel du tronc ; Unité de poids du tronc

<sup>2</sup>Normalisation = Distance / taille ; Unité de taille

\*Tests a posteriori lorsque l'effet principal Groupes (G) était significatif : F = femme ; N = hommes novices ; E = hommes experts.

Code de couleur p/r à une charge de 15 kg chez les femmes: **Vert** = Effet positif de la caisse de 10 kg ; **Rouge** = Effet négatif; **Gris** = Effet négligeable

**Tableau 5-12 : Analyses de covariance sur les résultats d'intérêts dont le moment maximum résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au levage (L) et au dépôt (D) avec des caisses de 15 kg.**

Variables		E	N	F	Co-variables				P groupe	Post-hoc	Post-hoc 1 Sans normalisation	Post-hoc 2 Avec normalisation
		M	M	M	P	T	E	F				
Durée totale (s)		4,9	4,7	5,5	**	**	*	**	**	F > E > N	F > E,N	N.A.
Parcours total (m)		2,05	2,12	2,16		**			**	E < N < F		N.A.
Moment max. résultant (N•m)	L	153	178	155	**	**	**		**	F, E < N	F < E, N	
	D	126	138	130	**	**			*	E < N	F < N	E < F
-Angle de flexion lombaire (°)	L	32	39	34	**	*			**	E < N		N.A.
	D	27	32	27	**	**		**	**	E, F < N	E < N	N.A.
-Inclinaison tronc (°)	L	33	47	50	**	*	**		**	E < N, F	E < N, F	N.A.
	D	29	39	42	**	**	*		**	E < N, F	E < N, F	N.A.
-Distance caisse à L5/S1 (m)	L	0.38	0.42	0.35	**	**			**	F < E < N	F < E, N	F < N
	D	0.39	0.42	0.36	**	**			**	F < E < N	F < E, N	F < N
-Flexion genou droit (°)	L	46	29	24	**	**	**	**	**	E > N > F		N.A.
	D	42	31	25	**	**	**	**	**	E > N > F		N.A.
-Flexion genou gauche (°)	L	41	31	26	**	**		**	**	E > N > F		N.A.
	D	36	26	29	**	*		**	**	E > F, N		N.A.
-Vélocité angulaire flexion (°/s)	L	14	11	8	**		**	*	**	E > N > F	E > F	N.A.
	D	15	11	6	**		**	*	**	E > N > F	N > F	N.A.
Moment max. asymétrique (N•m)	L	67	83	53	**	*	**		**	F < E < N	F < E, N	F < N
	D	60	66	55	**				**	F < E < N	F < E, N	
Moment résultant cumulé (Nms)		162	188	197	**	**	**	**	**	F > N > E	F < N	F > E,N

Note : E = hommes experts ; N = hommes novices ; F = femme ; M = Moyenne ajustée ; P = Poids ; T = Taille ; E = Expérience ; F = Force ; N.A. = Non applicable.

\*\* Test significatif à  $P < .01$  ; \* Test significatif à  $P < .05$  ; Post-hoc = Tests de comparaison Bonferroni ; Post-hoc 1 = Tests

Post-hoc issus des tableaux 5-4, 5-6, 5-8, 5-9; Post-hoc 2 = Tests Post-hoc des valeurs normalisées du tableau 5-9

**Couleur** = Changements majeurs de Post-hoc (ANCOVA) p/r à Post-hoc 1 ou Post-hoc 2

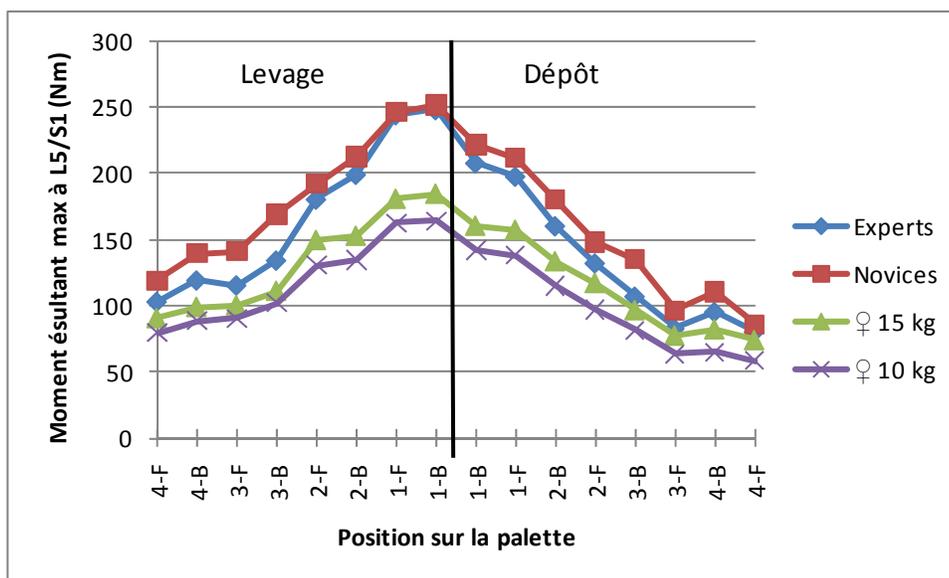


Figure 5-4 : Moment résultant maximal à L5/S1 (N·m) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt (les chiffres 4-3-2-1 indiquent la hauteur de la caisse et les lettres F pour « Front » et B pour « Back », la position horizontale de la caisse sur la palette)

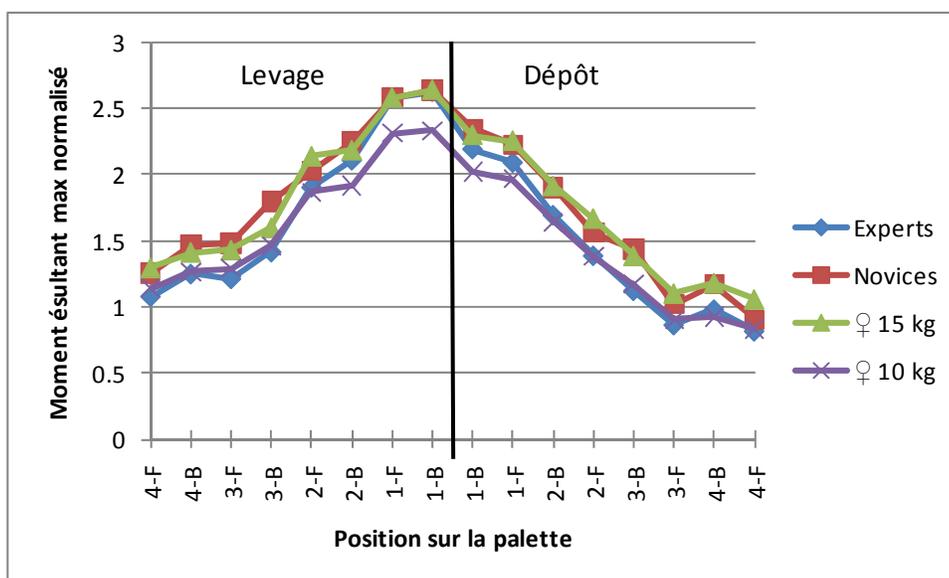


Figure 5-5 : Moment résultant maximal normalisé (en unité du poids du tronc) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt

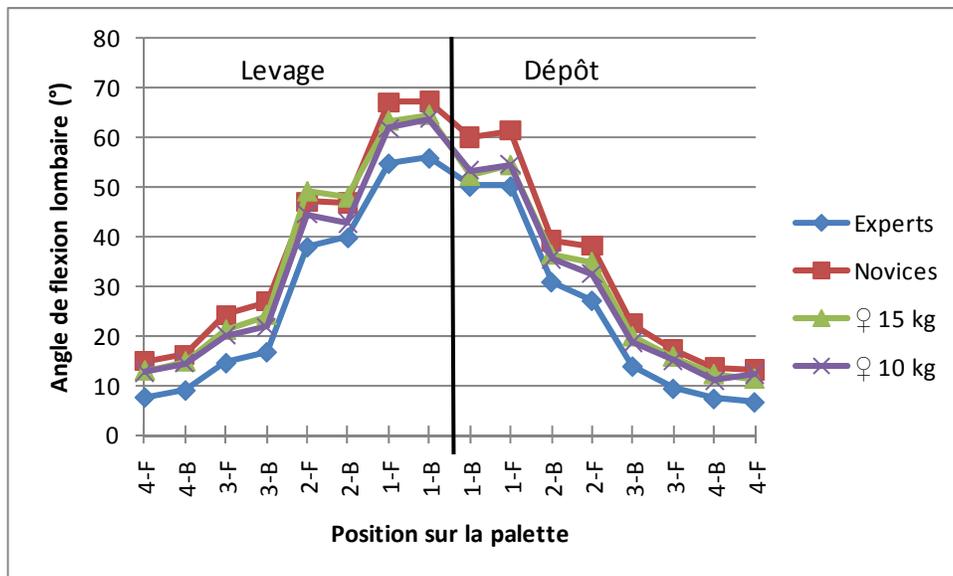


Figure 5-6 : Flexion lombaire (en degrés) observée à l’instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt

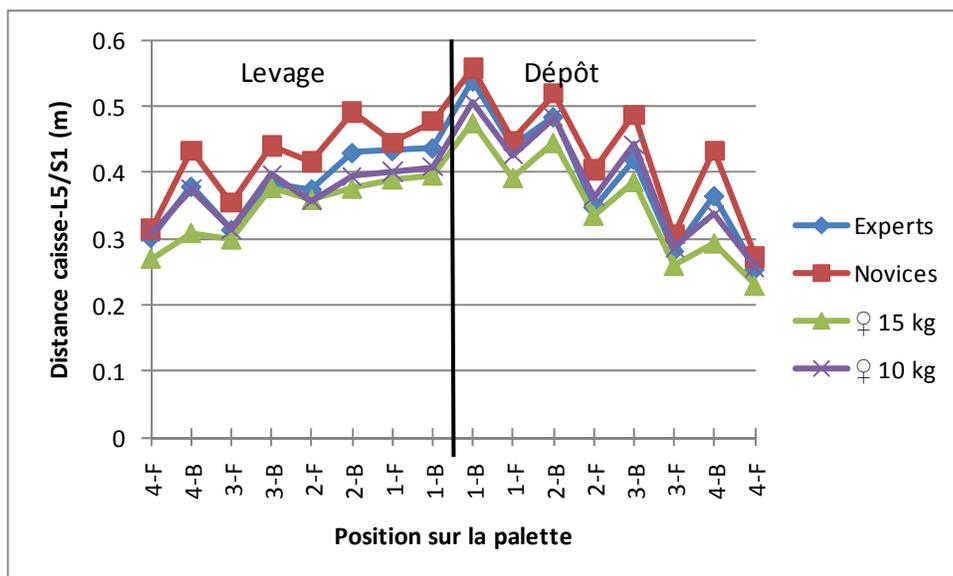


Figure 5-7 : Distance (m) observée de la caisse à L5/S1 à l’instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt

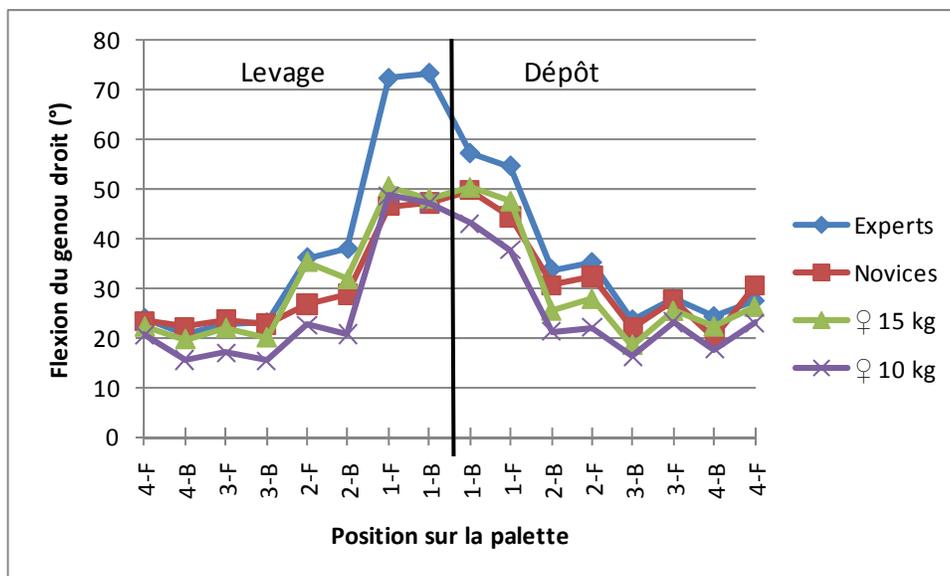


Figure 5-8 : Flexion du genou droit (en degrés) observée à l'instant du moment maximal résultant pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt (figure similaire pour le genou gauche)

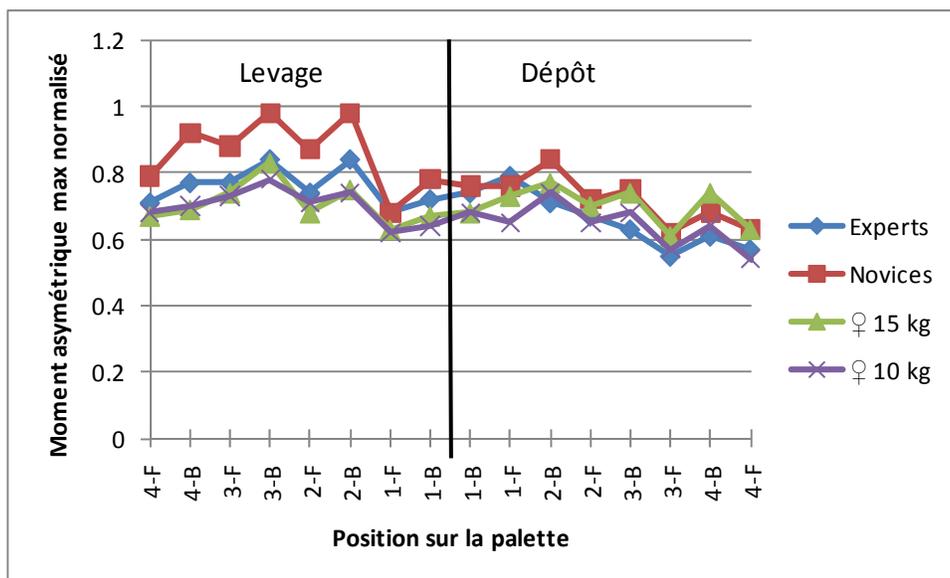


Figure 5-9 : Moment asymétrique maximal normalisé à L5/S1 (N•m) pour les conditions de 15 et 10 kg en fonction de la position sur la palette au levage et au dépôt

## 6. LES OBSERVATIONS ERGONOMIQUES

Des observations ergonomiques ont été effectuées à partir des images vidéo enregistrées lors de la séance III, c'est-à-dire du transfert de caisses de palette à palette. L'analyse de ces données s'est effectuée en parallèle avec le traitement des données biomécaniques. Cette partie présente les principaux résultats des observations ergonomiques.

### 6.1 Méthodologie

Les tâches de manutention sont similaires à celles décrites lors du chapitre précédent (chapitre 5). La description de ces tâches ne sera pas reprise ici.

#### 6.1.1 Matériel

Comme la quantité de données est importante, il a fallu se limiter à n'analyser que celles relatives au **dernier aller à vitesse libre** et au **dernier aller à vitesse imposée** pour les conditions de 15 kg chez les hommes et les femmes ainsi que pour la condition de 10 kg chez les femmes. Pour la condition de 15 kg seulement, cela représente plus de 2160 observations par variable. Ces observations ont été réalisées sur les 45 manutentionnaires, soit les 15 experts, les 15 novices et les 15 femmes.

#### Observations effectuées et analyses des données

Cinq variables d'observation ont été analysées : 1) la continuité dans le transfert des caisses; 2) l'inclinaison de la caisse à la prise; 3) l'inclinaison de la caisse au dépôt; 4) le type de dépôt de la caisse; et 5) le rapprochement de la caisse. Le lecteur trouvera à l'annexe G la description détaillée des cinq variables d'observation. Les critères d'observation y sont présentés de même que des images, tirées des bandes vidéo, qui illustrent les variables observées afin de s'en faire une meilleure représentation. Les observations ont été effectuées à l'aide du logiciel ObserverTM par deux assistantes de recherche formées par une ergonome ayant une vaste expérience en observation. Les variables, ou des variables équivalentes, ont pour la majorité été utilisées dans une étude précédente sur une population d'éboueurs. Le rapport issu de cette étude peut être téléchargé gratuitement : <http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/R-527.pdf>. Les données brutes saisies dans ObserverTM ont été transférées dans un chiffrier électronique où les données descriptives ont été calculées. Des  $\chi^2$  (chi carré) ont été réalisées sur les données d'observations pour évaluer si l'écart entre les groupes (experts, novices et femmes) était suffisant pour être significatif.

Des tests de reproductibilité intra et inter-observateurs ont été effectués dans un rapport précédent (Plamondon et coll., 2010). Les tests de reproductibilité ont été tous supérieurs à 80 %, sauf pour une variable (accélération). Cette variable présentait trois classes possibles, mais lorsqu'on regroupait les résultats pour obtenir deux classes, le taux devenait supérieur à 80 %. Un seuil de 80 % est généralement considéré comme acceptable.

## 6.2 Résultats

Le tableau 6-1 présente les données qui concernent le type de transfert de caisse. La très grande majorité des transferts s'est effectuée « par bloc » ou encore « par bloc dépôt » pour respectivement 53 % et 36 % des observations. Les deux autres types de transferts ne se pratiquent que pour moins de 7 % et de 4 % pour respectivement la « continuité » et « par bloc prise ». Il n'y a pas beaucoup de différences entre les groupes pour les transferts « par bloc » ou encore « par bloc dépôt ». La plus grande contribution au  $\chi^2$  (38.89) provient du groupe des femmes qui a effectué un plus grand nombre de transferts « par bloc prise » que les hommes. Lorsqu'on compare les femmes avec une caisse de 10 kg et de 15 kg (tableau 6-2), la plus grande contribution au  $\chi^2$  concerne le transfert « par bloc prise » et par « continuité » dont la fréquence diminue pour une caisse de 10 kg.

Les observations reliées à l'inclinaison des caisses à la prise sont présentées au tableau 6-3. Il est intéressant de noter que dans la majorité des situations, les caisses étaient « inclinées » (36 %) ou encore « partiellement inclinées » (35 %). Ce sont les femmes qui inclinaient le plus les caisses et qui par ce fait contribuaient le plus au  $\chi^2$ . Il n'y avait pas de changement significatif pour les femmes entre le fait de transférer une caisse de 10 ou de 15 kg. Les résultats sont différents pour l'inclinaison de la caisse au dépôt (tableau 6-4). Ainsi, les caisses sont en majorité « partiellement inclinée » (43 %) ou encore « non inclinée » (39 %). Le plus grand contributeur au  $\chi^2$  concerne une fois de plus le groupe des femmes qui inclinent beaucoup plus les caisses que les hommes. Également, le groupe des femmes a modifié quelque peu sa façon de faire en inclinant moins la caisse de 10 kg par rapport à celle de 15 kg (tableau 6-5)

Le type de dépôt (tableau 6-6) s'est effectué « accompagné » par la moitié des sujets (51 %) et en un « laisser-aller » par l'autre moitié (49 %). Les différences entre les groupes ne sont pas majeures et le plus grand contributeur au  $\chi^2$  est le groupe des experts qui généralement accompagne plus la caisse au sol lors du dépôt. Les femmes elles, n'ont pas modifié leur façon de faire en manutentionnant la caisse de 15 kg et celle de 10 kg. Enfin, le rapprochement de la caisse (tableau 6-7) était de niveau « moyen » (55 %) ou carrément éloigné « min » (37 %) et seuls 9 % des caisses étaient rapprochées au « maximum ». Les femmes se distinguent à ce chapitre alors qu'elles travaillent en majorité plus proche de la caisse que les hommes. Toutefois, lorsqu'elles travaillaient avec une caisse de 10 kg, les femmes ont significativement moins rapproché les caisses par rapport à la condition de 15 kg (tableau 6-8).

### 6.2.1 Une grande variabilité dans les façons de faire

Les observations montrent que les manutentionnaires de l'étude ne travaillent pas tous de la même façon. Bien que les différences intersujets soient plus marquées, un même manutentionnaire va aussi varier ses façons de faire pour un même contexte. Quoique l'on puisse identifier des stratégies de manutention dominantes, il n'existe pas une façon de faire unique et uniforme. À l'exception de quelques comportements qui sont adoptés dans la grande majorité des cas, les données montrent une importante variabilité.

Pourtant, certaines stratégies de manutention sont plus fréquemment observées chez les manutentionnaires de notre échantillon et il est possible de dégager des profils dominants de manutention. De façon générale, on constate que les transferts de charges sont en majorité « par

bloc » ou encore « par bloc dépôt » (53 % et 36 %). Ceci se traduit, par une position du corps du manutentionnaire orienté face au lieu de prise ou encore le corps dirigé vers le lieu de dépôt pour la phase de levage, et pour le dépôt, le corps orienté face au lieu de dépôt. Aussi la majorité des manutentionnaires inclinent la caisse au levage ce qui n'est pas nécessairement le cas au dépôt. De plus, la moitié des manutentionnaires (plus spécifiquement les experts) accompagne la caisse au sol et l'autre moitié la laisse aller.

### 6.2.2 Des différences entre les hommes et les femmes

Les femmes se distinguent sur toutes les variables qui ont été observées. En ce qui a trait au transfert de caisse, quelques sujets féminins ont travaillé « par bloc » à la prise pour déposer la caisse dans une position du corps ouverte au lieu de dépôt. Les femmes inclinent beaucoup plus les caisses que les hommes que ce soit au levage ou au dépôt. Par exemple au dépôt, les femmes déposent à plat de 3 à 4 fois moins fréquemment que les hommes (tableau 6-4). Les femmes accompagnent moins la caisse au dépôt que les experts. Enfin, elles se distinguent en rapprochant la caisse plus fréquemment que le font les hommes. Toutes ces observations indiquent que les femmes ont adopté des façons de faire sécuritaires (travail par bloc et rapprochement de la caisse) et efficaces (inclinaison des caisses à la prise et au dépôt) de manière significativement plus fréquente que les hommes.

Le comportement des femmes s'est modifié quelque peu lors du transfert de caisses de 10 kg comparativement à celui de 15 kg particulièrement au niveau du rapprochement des caisses. Ainsi, les femmes rapprochent beaucoup moins fréquemment les caisses de 10 kg. C'est un comportement aussi observé chez les hommes qui a pour désavantage de réduire l'effet d'un allègement de la caisse sur le chargement lombaire.

**Tableau 6-1 : Observations des groupes au niveau de la continuité du transfert**

	Continuité dans le transfert des caisses				Total
	Par bloc	Par bloc prise	Par bloc dépôt	Continuité	
Experts	424	10	258	28	720
Novices	387	13	248	72	720
Femmes	335	61	269	55	720
Observations attendues	382	28	259	52	720
Observations attendues %	53	4	36	7	100
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>					
Experts	4.62	11.57	0.00	10.84	27.03
Novices	0.07	8.04	0.41	8.00	16.52
Femmes	5.78	38.89	0.44	0.22	45.33
Total	10.47	58.50	0.85	19.06	<b>88.88</b>

**Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$ ; Observations attendues = le nombre d'observations que devrait avoir chacun des groupes s'ils étaient égaux.**

**Tableau 6-2 : Observations des femmes au niveau de la continuité du transfert pour des caisses de 10 kg et de 15 kg**

Caisse	Continuité dans le transfert des caisses				Total
	Par bloc	Par bloc prise	Par bloc dépôt	Continuité	
10 kg	366	13	337	4	720
15 kg	335	61	269	55	720
Observations attendues	351	37	303	29	720
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>					
10 kg	0.69	15.57	3.82	22.04	42.12
15 kg	0.69	15.57	3.82	22.04	42.12
Total	1.38	31.14	7.64	44.08	<b>84.24</b>

Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$ .

**Tableau 6-3 : Observations des groupes au niveau de l'inclinaison de la caisse à la prise**

	Inclinaison dans le levage des caisses			
	Inclinée	Partiellement inclinée	Non Inclinée	Total
Experts	239	200	281	720
Novices	251	183	286	720
Femmes	276	374	70	720
Observations attendues	255	252	213	720
Observations attendues %	36	35	29	100
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>				
Experts	1.04	10.85	22.21	34.10
Novices	0.07	19.05	25.56	44.68
Femmes	1.67	58.66	95.41	155.74
Total	2.78	88.56	143.18	<b>234.52</b>

Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$

**Tableau 6-4 : Observations des groupes au niveau de l'inclinaison de la caisse au dépôt**

	Inclinaison dans le dépôt des caisses			
	Inclinée	Partiellement inclinée	Non Inclinée	Total
Experts	87	301	332	720
Novices	84	235	401	720
Femmes	223	398	99	720
Observations attendues	131	311	278	720
Observations attendues %	18	43	39	100
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>				
Experts	14.97	0.34	10.78	26.09
Novices	17.06	18.72	55.14	90.92
Femmes	63.98	24.13	114.67	202.78
Total	96.01	43.19	180.59	<b>319.79</b>

**Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$**

**Tableau 6-5 : Observations des femmes au niveau de l'inclinaison de la caisse au dépôt pour des caisses de 10 kg et de 15 kg**

	Inclinaison dans le dépôt des caisses			
	Inclinée	Partiellement inclinée	Non Inclinée	Total
10 kg	181	426	113	720
15 kg	223	398	99	720
Observations attendues	202	412	106	720
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>				
10 kg	2.18	0.48	0.46	3.12
15 kg	2.18	0.48	0.46	3.12
Total	4.36	0.96	0.92	<b>6.24</b>

**Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .05$**

**Tableau 6-6 : Observations des groupes au niveau du type de dépôt**

	Type de dépôt		
	Accompagné	Laisser-aller	Total
Experts	415	305	720
Novices	348	372	720
Femmes	343	377	720
Observations attendues	369	351	720
Observations attendues %	51	49	100
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>			
Experts	5.82	6.11	11.93
Novices	1.16	1.22	2.38
Femmes	1.79	1.88	3.67
Total	8.77	9.21	<b>17.0</b>

**Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$**

Tableau 6-7 : Observations des groupes au niveau du rapprochement de la caisse

	Rapprochement des caisses dans la prise			
	Max	Moyen	Min	Total
Experts	53	430	237	720
Novices	48	312	360	720
Femmes	84	440	196	720
Observations attendues	62	394	264	720
Observations attendues %	9	55	37	100
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>				
Experts	1.22	3.29	2.83	7.34
Novices	3.03	17.07	34.62	54.72
Femmes	8.09	5.37	17.66	31.12
Total	12.34	25.73	55.11	<b>93.18</b>

Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$

Tableau 6-8 : Observations des femmes au niveau du rapprochement de la caisse pour des caisses de 10 kg et de 15 kg

	Rapprochement des caisses dans la prise			
	Max	Moyen	Min	Total
10 kg	46	384	290	720
15 kg	84	440	196	720
Observations attendues	65	412	243	720
<b>Contributions au <math>\chi^2</math></b>				
10 kg	5.55	1.90	9.09	16.54
15 kg	5.55	1.90	9.09	16.54
Total	11.10	3.80	18.18	<b>33.08</b>

Note : En gras, test  $\chi^2$  significatif à  $P < .01$

## 7. DISCUSSION

### 7.1 La capacité physique des sujets (séance I)

En premier lieu, il existe des différences anthropométriques entre hommes et femmes particulièrement au niveau de la taille, les femmes manutentionnaires étant en moyenne près de 10 cm plus petites. En second lieu, les résultats sur la capacité physique des sujets démontrent qu'il n'y a pas de différences physiques entre les experts et les novices masculins à l'exception du VO<sub>2</sub> max. Par contre, la différence entre les hommes et les femmes est importante à l'exception du test d'endurance musculaire (pas de différences). Pour ce dernier test, les sujets devaient soutenir le plus longtemps possible une charge absolue de 150 Nm pour les hommes et de 100 Nm pour les femmes. Selon les tests de force d'extension obtenus, les charges imposées correspondaient approximativement à 45 % de la force maximale des hommes et à 54 % de celle des femmes. Le test d'endurance aurait dû alors avantager les hommes ce qui ne fut pas le cas. La force physique des femmes se situait entre 49 et 63 % de celle des hommes. Il est donc clair que les femmes manutentionnaires n'ont pas la même force que les hommes qui pratiquent le même métier. Ces résultats confirment ceux de nombreuses autres études sur le sujet. Comme l'indique Chaffin et coll. (2006), la force moyenne d'une femme se situe aux deux tiers de celle d'un homme, mais il s'agit d'une valeur moyenne de différents groupes musculaires et l'étendue des valeurs peut varier facilement de 33 % à 86 % de celle d'un homme (Ayoub et Mital, 1989). Kumar et Garand (1992) évaluèrent la force musculaire maximale chez les hommes et chez les femmes lors d'un « stoop » (dos fléchi, jambes droites) et d'un « squat » (dos droit, jambes fléchies). La force maximale des femmes variait de 41 % à 94 % de celle des hommes et était dépendante de la posture et de la technique. Cela implique que pour une même charge absolue, la femme aura toujours une charge relative plus importante à supporter qu'un homme, ce qui se traduit généralement par des efforts physiques plus importants chez les femmes (plus près de leur force maximale).

### 7.2 Les facteurs communs des séances II et III

Que ce soit pour le transfert de caisses du convoyeur au diable (séance II) ou encore du transfert de caisses de palette à palette (séance III), les résultats démontrent en général que les femmes sont distinctes des manutentionnaires masculins sur plusieurs facteurs (tableau 7-1 ; figure 7-1). En comparaison des hommes, et pour une même charge absolue de 15 kg, les femmes ont : une durée de transfert des caisses plus longue; un chargement au dos inférieur en termes absolus (moments à L5/S1), mais en termes relatifs (moment normalisé par unité du poids du tronc) équivalent; un chargement cumulé (moment cumulé à L5/S1) équivalent mais, lorsque normalisé supérieur; des postures qui se rapprochent plus de celles des manutentionnaires novices, c'est-à-dire une plus grande flexion lombaire et inclinaison du tronc que les experts; une vitesse angulaire plus faible; et, un rapprochement des caisses plus grand. De plus, ces résultats ont été confirmés en considérant les covariables du poids, de la taille, de l'expérience et de la force des manutentionnaires. Lorsqu'une charge de 10 kg est transférée, les femmes ont diminué significativement leur durée de transfert et leur chargement au dos (les moments résultant, asymétrique et cumulé en valeurs absolues et normalisées). D'un autre côté, elles ont augmenté la distance de rapprochement de la caisse à L5/S1. Spécifique à la séance III, il faut souligner que les femmes rapprochaient significativement plus les caisses de 15 kg que les novices même lorsqu'on normalise la distance et elles se distinguent en fléchissant moins les genoux lors du

levage des caisses de 10 kg. Plusieurs de ces résultats suggèrent que les différences entre les sexes s'expliqueraient par le poids de la charge et plus spécifiquement par la force musculaire.

**Tableau 7-1 : Résumé des résultats communs des séances II et III entre les femmes et les hommes (N= novices et E = experts). Les symboles « + », « = » et « - » indiquent que les valeurs des femmes sont plus élevées (+), égales (=) ou plus petites (-) p/r aux hommes pour une caisse de 15 kg (charge absolue) ou pour une caisse de 10 kg (charge relative)**

Variabes	♀ 15 kg	♀ 10 kg	Remarques
Durée de transfert	+	=	
Parcours des caisses	=	=	
Moment max. résultant	-	-	
Moment norm. max. résultant	=	-	15 kg: ♀ > ♂ $p \approx .10$ ; 10 kg: ♀ < N séance III.
Moment max. asymétrique	-	-	
Moment norm. max asymétrique	=	-	15 kg: ♀ < N au levage séance III.
Moment résultant cumulé	=	-	15 kg: ♀ < N séance III.
Moment norm. résultant cumulé	+	=	
Occurrence moment max	+	=	15 kg: ♀ > E
Angle de flexion lombaire	+	=	15 kg: ♀ > E séance II 10 kg: ♀ > E dépôt séance II
Index flexibilité lombaire	+	+	15 kg: ♀ > E 10 kg: ♀ > E séance II
Inclinaison du tronc	+	+	15 kg: ♀ > E 10 kg: ♀ > E
Distance caisse à L5/S1	-	-	15 kg: ♀ < E, N séance III 10 kg: ♀ < N séance III
Distance norm. caisse à L5/S1	=	=	15 kg: ♀ < N séance III
Flexion des genoux	=	-	15 kg: ♀ < E séance III au levage du sol (interaction significative) 10 kg: ♀ < E séance III
Vélocité angulaire	-	-	15 kg: ♀ < E au levage 10 kg: ♀ < E au levage



**Figure 7-1 : Exemple de différence entre la posture adoptée par un novice, un expert et une femme**

### **7.2.1 Les durées**

Un des résultats majeurs de cette étude est l'écart important retrouvé dans la durée de transfert des caisses de 15 kg entre hommes et femmes qui, en moyenne, est de l'ordre de 1 sec (pour les deux séances). On observe aussi une vélocité angulaire du tronc significativement plus petite chez les femmes. Dans la condition où les femmes transfèrent une caisse de 10 kg, l'écart entre les hommes et les femmes s'estompe considérablement pour ne plus être significatif par rapport à la durée, mais la vélocité angulaire demeure toutefois inférieure à celle des hommes. Ces résultats semblent indiquer que les femmes ont plus de difficultés à transférer les caisses de 15 kg que celles de 10 kg. Il est clair, tel que démontré au chapitre 3, que les femmes n'ont pas la même force physique que les hommes et que cela peut affecter la durée et la vitesse du transfert des caisses. Ainsi, Mital (1984) avait démontré dans une étude psychophysique que les hommes soulevaient significativement plus de caisses que les femmes sur un quart de travail de 12 heures. Mital (1987) avait également observé qu'à un rythme de travail imposé similaire à des conditions terrains, les hommes n'avaient pas de surcharge physiologique, ce qui n'était pas le cas pour les femmes. Les femmes manutentionnaires de cette étude ont certainement eu plus de difficultés à transférer des caisses de 15 kg par rapport aux hommes et apparaissaient plus à l'aise lors du transfert de caisses de 10 kg.

### **7.2.2 Les moments**

Les moments résultants et asymétriques étaient significativement moins élevés chez les femmes par rapport aux hommes. C'est un résultat attendu en raison des différences anthropométriques. Lorsqu'on normalise ces moments en fonction du poids du tronc, les différences ne demeurent plus significatives tout comme dans l'ANCOVA. Marras et coll. (2002) avaient fait le même constat en normalisant la valeur du moment sagittal (axe de flexion). Toutefois, ils indiquèrent que le chargement lombaire (force de compression et de cisaillement) entre les sexes pouvait être

très distinct en raison des différences observées dans la façon de réaliser une tâche de manutention. Ainsi, les femmes fléchissaient plus les hanches que les hommes dans la phase de levage, limitant ainsi la flexion de la région lombaire (Marras et coll., 2002, 2003). Les auteurs expliquèrent que la force d'extension du dos des femmes de son étude étant 30 % inférieure à celle des hommes, elles ont dû compenser techniquement pour réaliser le soulèvement des caisses. Pour cette raison, les femmes expérimentaient un plus grand chargement lombaire que les hommes. De plus, elles se situaient approximativement à 47 % de leur capacité maximale à supporter des forces de compression comparativement à 38 % chez les hommes. Sur cette base, Marras et coll. (2002, 2003) indiquèrent que les femmes étaient plus à risque que les hommes dans des conditions identiques de manutention. Ces interprétations sont conformes aux résultats de la présente étude.

Le moment résultant cumulé (dans la phase de transfert) illustre un aspect distinct. Ainsi lorsque ce dernier n'est pas normalisé, il n'existe généralement pas de différence entre les sexes pour une charge de 15 kg mais, en normalisant, les femmes subissent un chargement lombaire significativement plus important. Les femmes prennent plus de temps pour effectuer le transfert de caisses (durée transport) que les hommes, et cela explique en partie cette différence. Tel que prévu en abaissant la charge de 15 kg à 10 kg, on diminue significativement les moments et en normalisant les données, les femmes se retrouvent dans une situation favorable par rapport aux hommes au regard du moment résultant, du moment asymétrique et du moment cumulé. L'intervention visant à diminuer le poids de la charge permet donc de réduire substantiellement le chargement lombaire des femmes. D'après Marras et coll. (2003), l'ajustement, non seulement de la charge, mais également de la hauteur de levage éliminent les différences entre les sexes.

Le moment résultant maximal est influencé par la hauteur de la caisse et par la distance de la caisse à L5/S1. Aussitôt que la hauteur des caisses s'élève, le moment résultant diminue ce qui facilite la manutention (figure 5-4). Plamondon et coll. (2012) soulignèrent d'ailleurs qu'une élévation de la hauteur des caisses est un mode d'intervention beaucoup plus efficace en termes de réduction du chargement lombaire que l'expertise. Les femmes étaient significativement plus proches de la caisse que les novices et cela même lorsque cette distance était normalisée (uniquement dans la séance III). Les observations ergonomiques effectuées à partir des bandes vidéo ont également révélé que les femmes étaient plus proches de la caisse que les hommes. Kotowski et coll. (2007) avaient démontré le même comportement des femmes qui rapprochaient la charge de leur thorax avant de procéder au soulèvement ce qui n'était pas le cas des hommes qui soulevaient directement la boîte. Pourtant, malgré cet avantage technique, le moment résultant normalisé des femmes n'a pas été affecté suffisamment pour l'abaisser sous la valeur des hommes. Ce n'est que lorsqu'elles travaillaient avec une caisse de 10 kg que les femmes ont eu un moment résultant normalisé significativement plus faible que les novices. Par contre, elles ont significativement augmenté la distance de la caisse de 10 kg. La vitesse angulaire du tronc aurait pu jouer un rôle, mais malgré qu'elle soit plus faible pour les femmes, cette vitesse n'a pu jouer qu'un rôle mineur sur le moment résultant.

## 7.2.3 La posture

### 7.2.3.1 La flexion lombaire

La flexion lombaire et l'inclinaison du tronc étaient deux facteurs majeurs qui distinguaient les experts en manutention des novices de sexe masculin. Ainsi, dans toutes les situations étudiées, que ce soit au levage ou au dépôt, vers le diable ou le convoyeur, l'écart qui séparait les deux groupes sur la flexion lombaire ou encore l'inclinaison du tronc (à l'instant du moment maximal au dos) était de l'ordre de 10° ou plus. Ainsi, les experts fléchissaient moins que les novices et on pense qu'il s'agit d'une caractéristique importante de l'expertise (Plamondon et coll., 2010). Les présents résultats indiquent que les femmes se sont comportées de façon proche des manutentionnaires novices, c'est-à-dire en fléchissant davantage le tronc et la région lombaire que le font les experts. Aussi, étant donné que le groupe des femmes était en moyenne plus âgé que les sujets experts, la flexibilité lombaire, dont l'amplitude pourrait être réduite en raison de l'âge, ne peut expliquer la différence. D'ailleurs, l'index de flexibilité lombaire des femmes (qui tient compte de l'âge; annexe E) dépasse largement celui des experts. Il faut toutefois souligner que Marras et coll. (2003) ainsi que Davis et coll., (2003) avaient observé que lorsque les femmes exerçaient une tâche de manutention, elles adoptaient une posture du tronc plus droite que celle des hommes (moins de flexion lombaire). Les raisons de cette contradiction entre les études n'est pas facile à expliquer, mais deux facteurs majeurs pourraient y avoir contribué soient la sélection de sujets novices et le contexte de laboratoire très contrôlé des études de Marras et coll. (2003) et de Davis et coll.(2003). Il faudra donc d'autres recherches pour mieux expliquer ce type de résultats contradictoires.

En quoi maintenant, l'amplitude de la flexion lombaire ou encore l'index de flexibilité représente un facteur à considérer dans la prévention des blessures au dos. On retrouve deux écoles de pensée dans la littérature (Dolan et coll., 1994a). La première favorise une flexion lombaire proche du maximum pour étirer les structures passives lombaires et le fascia thoraco-lombaire, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter la contribution des éléments passifs à l'équilibre du moment externe et réduirait les forces de compression interne sur le disque (Dolan et coll., 1994a; Gracovetsky et coll., 1981; Gracovetsky et coll., 1989). Dolan et coll. (1994a) indiquèrent d'ailleurs que lors d'une levée de charge à partir du sol, la plupart des participants de leur étude fléchissaient la région lombaire de 80 à 95 % du maximum et la contribution des éléments passifs au moment externe pouvait s'élever à 30 %. Aussi, Maduri et coll. (2008) soulignèrent que l'étirement des tissus passifs est une méthode de transfert d'énergie qui favorise l'accumulation d'énergie lors de l'étirement, restituée subséquemment dans le mouvement de retour lors du levage (cycle étirement-raccourcissement). En étirant ces structures, les femmes pourraient alors bénéficier d'un transfert d'énergie très avantageux en termes de force et d'économie d'énergie. Cependant, cette technique a le potentiel d'augmenter les risques de blessures particulièrement pour le déplacement de caisses déposées au sol.

La seconde école de pensée recommande de conserver le plus possible une posture neutre du rachis lombaire (ou proche de la lordose) de manière à limiter l'étirement des éléments passifs de la colonne vertébrale (McGill, 2002; McGill, 2009). Plusieurs raisons soutiennent cette recommandation. Ainsi, en flexion prononcée de la colonne lombaire : les risques de déchirure ligamentaire augmentent surtout au-delà de la capacité limite statique (100 %) (Adams et coll., 1980); les charges en cisaillement sur la colonne lombaire sont beaucoup plus élevées et seraient

proches de la tolérance maximale des tissus (autour de 1000 N) ; les ligaments supportent une grande partie des charges en cisaillement, ce qui n'est pas le cas dans une posture neutre dans laquelle les muscles jouent un plus grand rôle; le disque est de 20 à 40 % plus faible en flexion maximale pour supporter des charges que lorsqu'il est dans une posture neutre (McGill, 2002; p.119-124). Aussi, lorsque les ligaments sont étirés de manière cyclique ou soutenue jusqu'à ce qu'il y ait fluage (« creep »), il y aurait une désensibilisation des récepteurs mécaniques, qui résulterait en une diminution des activités réflexes de la part des muscles (Solomonow et coll., 1999). Plus récemment, Solomonow, (2011) a présenté un modèle sur le développement des troubles musculo-squelettiques (TMS ou CTD : cumulative Trauma Disorder) et l'un des aspects les plus importants de son modèle est la grandeur du fluage (« creep »). Au fur et à mesure que le fluage et les microlésions associées se développent, les réponses musculaires augmenteraient dans un premier temps (spasmes) pour ensuite diminuer par rapport aux réponses normales, ce qui en retour réduirait la stabilité lombaire. Sans des périodes de repos appropriées, ce processus entraîne des douleurs et des lésions chroniques avec le temps. Une exposition prolongée au fluage, c'est-à-dire une exposition de haute intensité (charges lourdes), à grande vitesse, fréquente, de durée prolongée suivie de courtes périodes de récupération entre les sessions de travail, constituerait un très haut niveau de risque pour le développement des maux de dos. Les manutentionnaires qui adoptent un style qui étire fréquemment les éléments passifs de la colonne exerceraient un plus grand fluage sur leurs tissus passifs ce qui pourrait s'avérer à long terme dommageable pour le dos.

Entre les deux écoles, il y a le point de vue de Adams et coll. (2002) qui soulignent qu'une flexion lombaire modérée permet (1) d'étirer les structures passives sans trop de risques de subir une hernie discale pour le disque intervertébral, (2) de diminuer l'activité musculaire pour stabiliser la colonne vertébrale et la fatigue associée et (3) de profiter de l'énergie élastique des tissus passifs. Plusieurs auteurs (Burgess-Limerick, 2006; Adams et coll., 2002; McGill, 2007; Marras, 2008) ont recommandé d'éviter les postures extrêmes notamment en flexion, mais aussi en flexion latérale et en rotation axiale. La posture adoptée par les experts apparaît s'approcher le plus du point de vue de Adams et coll. (2002), c'est-à-dire d'une flexion modérée de la région lombaire qui permet de bénéficier de certains avantages mécaniques de l'étirement des structures passives, tout en laissant une marge de sécurité. Burgess-Limerick (2006) indiquait d'ailleurs qu'il n'y avait aucun fondement sur le fait d'éviter les postures de flexion lombaire modérée. Une marge de sécurité pour tout manutentionnaire pourrait s'avérer importante dans le cas de fatigue ou d'événements imprévus. Par exemple, Dolan et Adams (1998) ont observé une augmentation de la flexion lombaire (de 83.3 % à 90.4 %) chez des participants après plus de 100 levages de caisses. La fatigue faisait en sorte que ces sujets travaillaient proche de leur limite de flexibilité, ce qui avait l'avantage de faire supporter aux tissus passifs une plus grande charge (économie d'énergie), mais l'inconvénient de mettre ces tissus dans une zone qui réduisait considérablement leur marge de sécurité et augmentait par le fait même les risques de dommage aux tissus. Les experts semblent donc se laisser une plus grande marge de sécurité.

D'après nos résultats, les femmes solliciteraient davantage leurs structures passives en les étirant plus que les experts, particulièrement pour les charges au sol. Burgess-Limerick et coll. (1995) soulignaient que la séquence motrice initiée par l'extension du genou (segment distal), suivi de l'extension de la hanche, pour se terminer par l'extension du rachis lombaire (segment proximal) se faisait de manière plus séquentielle avec une augmentation de la charge à soulever. Il a été effectivement observé qu'un plus grand nombre de manutentionnaires féminines et novices

adoptaient ce type de mouvement séquentiel, c'est-à-dire une flexion des genoux à la prise d'une caisse au sol suivi d'une très rapide extension des genoux (passage du « squat » au « stoop ») pour se poursuivre par une extension de la hanche et du rachis pour soulever la caisse. Ce qui semblait être, pour certains manutentionnaires, un lever de type « squat » au départ était suivi en fait d'un lever de type « stoop ». Pour valider ces observations, la valeur de la flexion du genou, à l'instant du moment résultant maximal (tableau 7-2), a été soustraite de la flexion maximale du genou au levage. Ainsi pour le genou droit, la différence était de l'ordre de 10°, 14° et 30°, pour les experts, les novices et les femmes respectivement. Ces dernières utiliseraient l'extension rapide du genou (au début du lever de charge) pour réduire la vélocité de raccourcissement des ischio-jambiers et faciliter ainsi l'extension de la hanche (Burgess-Limerick et coll., 1995; Toussaint et coll., 1992; de Looze et coll., 1993). Lors de cette extension des genoux, les quadriceps participent à l'extension de la hanche en se servant des ischio-jambiers (muscles bi-articulaires) comme un tendon qui tire sur le bassin par l'action de la jambe. Selon (Burgess-Limerick et coll., 1995), ce mécanisme pourrait réduire les efforts musculaires et ainsi retarder les effets de la fatigue. Cependant, cette technique a pour effet de retarder l'extension de la colonne lombaire ou, en d'autres mots, d'allonger le temps où la colonne lombaire est fléchie, ce qui implique en retour une plus grande contribution des tissus passifs postérieurs de la colonne vertébrale. En étirant ces structures, les femmes bénéficieraient d'un transfert d'énergie très avantageux en termes de force et d'économie d'énergie, mais cela comporte des risques.

**Tableau 7-2 : Différence entre l'angle maximal du genou droit (angle maximal) et l'angle à l'instant du moment résultant maximal à L5/S1 (angle à Mmax) dans la phase de levage des caisses au sol (sur la surface de la palette)**

Variables du genou droit	Experts (E)		Novices(N)		Femmes(F)		P
	M	ET	M	ET	M	ET	
Angle maximal (°)	83	29	61	35	79	36	<b>0,02</b> <sup>E&gt;N</sup>
Angle à Mmax (°)	73	30	47	38	49	32	<b>&lt;,01</b> <sup>E&gt;N,F</sup>
Différence (°)	10	9	14	13	30	23	<b>&lt;,01</b> <sup>F&gt;E,N</sup>
Occurrence angle max (%)	-6,8	18,2	-0,7	25,7	-7,5	25,9	
Occurrence Mmax (%)	1,4	4,4	3,7	4,4	5,8	4,9	

Davis et Troup (1965) ainsi que Schipplein et coll. (1990) avaient observé un changement technique d'un « squat » vers celui d'un « stoop » avec des charges plus élevées. La force musculaire des jambes et du dos peuvent expliquer ces modifications techniques. Par exemple, Li et Zhang (2009) soulignèrent que les sujets ayant moins de force au dos par rapport aux jambes préféraient une technique plus axée sur la flexion des genoux. Il est possible que la force musculaire des extenseurs de la hanche, lorsque mise en relation avec la force musculaire des extenseurs du rachis, soit plus élevée chez les femmes que chez les hommes. Ceci expliquerait cette technique qui apparaît nettement exiger une plus grande demande des extenseurs de la

hanche par rapport à la technique employée par les hommes. On n'a trouvé aucune donnée (littérature) permettant de soutenir cette hypothèse. Cependant, les auteurs disposent d'une banque de données (11 hommes et 11 femmes) portant sur la force maximale (efforts statiques) des muscles extenseurs du dos et de la hanche mesurée avec un dynamomètre, des résultats qui n'ont pas été publiés dans l'article original (da Silva et coll., 2009). Deux positions ont été considérées, lesquelles peuvent être généralisables à la levée de charge : (1) hanche à 90° et genou à 90°; et (2) hanche à 90° et genou à 135°. Le ratio de force Hanche/Dos était effectivement plus élevé ( $P = 0.019$ ) chez les femmes ( $1.10 \pm 0.21$ ) que chez les hommes ( $0.91 \pm 0.21$ ), ce qui confirme notre hypothèse. La position 2 impliquait aussi un ratio ( $1.08 \pm 0.19$ ) plus élevé ( $P = 0.003$ ) que dans la position 1 ( $0.92 \pm 0.25$ ), ce qui ajoute un élément additionnel supportant la façon de faire des femmes, c'est-à-dire de redresser les genoux, comme à la position 2, avant de soulever la charge.

Dans l'état actuel des connaissances, il est permis de supposer que sur le plan de la coordination motrice, les femmes ont développé un geste moteur très avantageux qui diffère des experts masculins. D'un autre côté, tout laisse croire que les femmes se mettent dans une situation plus à risque de blessure en adoptant une posture similaire à celle des novices. Dolan et coll. (1994b) soulignèrent tout de même qu'à 100 % d'étirement statique de la colonne lombaire, il reste une marge de sécurité, car le point de rupture se situerait autour des 130 %. De plus, dès qu'on élève la hauteur des caisses, particulièrement celle du sol, la flexion lombaire baisse rapidement (figure 5-6), augmentant par le fait même cette marge de sécurité à l'étirement excessif des éléments passifs. Aussi, les femmes manutentionnaires de cette étude avaient un grand nombre d'années d'expérience et pourraient être considérées comme « expertes » car les critères retenus pour nos experts masculins étaient pratiquement les mêmes pour les femmes. Le fait que les experts et les femmes diffèrent à ce sujet nous amène donc à être prudents et à répéter qu'il n'existe pas de « posture idéale » et que l'individu et le contexte de travail peuvent amener à choisir un type de posture moins idéale, mais mieux adapté à la situation. D'ailleurs, Davis et coll. (2003) observaient que des femmes (novices) fléchissaient moins la région lombaire que des hommes (novices eux aussi) lors d'une tâche d'élévation de caisses de différentes hauteurs. Pourquoi dans cette situation, les femmes différaient des hommes de cette façon? On ne le sait pas vraiment. Enfin, il est intéressant de noter qu'en passant d'une charge de 15 kg à celle de 10 kg, les femmes ont légèrement, mais non significativement réduit la flexion lombaire.

### 7.2.3.2 L'asymétrie

Il a été intéressant de noter qu'il y avait peu d'asymétrie de posture dans les trois groupes de sujets lors des moments maximaux. Comme l'a fait remarquer Gagnon (2003, 2005), le fait de ne pas fixer les pieds réduit considérablement les asymétries de posture et le contexte du laboratoire incitait probablement les manutentionnaires à ne pas se mettre dans des positions à risque. Les observations ergonomiques concordent avec ces résultats. Ainsi, la très grande majorité des transferts s'est effectuée « par bloc » ou encore « par bloc dépôt » pour respectivement 53 % et 36 % des observations, favorisant une posture de face à la caisse. Ce n'est peut-être pas toujours le cas sur le terrain où des postures asymétriques peuvent être fréquemment observées. Par exemple, Baril-Gingras et Lortie (1995) ont évalué qu'approximativement 15 % des efforts en manutention étaient accompagnés de torsion du tronc et que celle-ci était présente dans près de 50 % des activités de manutention. Or cette torsion n'était pas mesurée objectivement et la restriction ou non des déplacements de pieds n'était pas précisée.

### 7.2.3.3 La flexion des genoux

La flexion des genoux demeure plus élevée chez les experts par rapport aux femmes et aux novices particulièrement lorsque la caisse doit être élevée du sol. Plus la caisse est basse au levage, plus les experts fléchissent les genoux, mais la différence entre les groupes s'atténue pour ne plus exister au fur et à mesure que la hauteur des caisses augmente à la hauteur de la taille et de la poitrine (séance III). Un point important de l'étude de Plamondon et coll. (2010) montrait que les experts fléchissaient significativement plus les genoux que les novices surtout dans la phase de levage et un peu moins dans la phase de dépôt. Il est intéressant de constater ici que lorsqu'on ne considère que les caisses de 15 kg dans la présente étude (la caisse de 23 kg étant exclue des données), la différence significative au niveau de la flexion des genoux dans la phase de levage s'amenuise considérablement entre experts et novices (surtout à la séance II). On peut très certainement supposer que la caisse de 23 kg (de l'étude antérieure) a amplifié l'écart entre experts et novices sur la flexion des genoux. Néanmoins, à 15 kg, les experts en moyenne fléchissaient plus les genoux et l'écart, principalement avec les novices, est proche du niveau de signification. L'écart entre les experts et les femmes est de l'ordre d'une dizaine de degrés (non significatif : séance II). Dans ce cas spécifique, on ne peut conclure que la flexion des genoux soit un facteur déterminant entre hommes et femmes quoique, dans les résultats de l'ANCOVA (tableau 5-12), les femmes fléchissaient significativement moins les genoux. Lorsque la charge passait de 15 à 10 kg, il y avait peu de changement dans la séance II. Mais dans la troisième, on pouvait observer une réduction significative de la flexion des genoux des femmes par rapport à celle des experts. Le poids des caisses et la force musculaire semblent donc jouer un certain rôle dans la flexion des genoux.

À noter que les experts accompagnaient plus souvent la caisse au dépôt que les femmes et les novices, d'après les observations ergonomiques. C'est probablement la raison pour laquelle on observe une plus grande flexion des genoux des experts au dépôt au sol. À noter également, que les femmes inclinent beaucoup plus les caisses que les hommes que ce soit au levage ou au dépôt. Par exemple au dépôt, les femmes déposent à plat de 3 à 4 fois moins fréquemment que le font les hommes. Ces observations peuvent expliquer certaines différences sur la flexion des genoux entre les groupes.

### 7.2.4 Le rapprochement de la caisse

Les femmes sont plus proches de la caisse (distance caisse-L5/S1) que les novices. Le fait qu'elles soient de plus petite taille que les hommes explique en grande partie ce résultat, car si on normalise la situation, les différences s'amenuisent (séance II), mais ne disparaissent pas totalement (séance III) particulièrement dans l'ANCOVA (tableau 5-12). La substitution de la caisse de 15 kg par celle de 10 kg a eu pour conséquence d'augmenter cette distance de façon significative de l'ordre de 1 cm à 4 cm. Bien que l'augmentation est mineure, elle illustre que les manutentionnaires vont souvent agir de manière opposée à ce qui est désiré lorsqu'on allège une charge. Ainsi, Davis et Marras (2000) avaient observé que les participants de leur étude augmentaient la distance de la caisse lorsqu'elle était plus légère. Ce n'est pas souhaitable, car d'après Marras (2006) la règle la plus importante associée aux risques de blessures au dos au travail concerne le moment externe imposé sur la colonne vertébrale. De ce point de vue, il demeure capital de garder ce moment externe le plus petit possible et de faire en sorte que peu importe la technique utilisée, celle-ci permet d'approcher le centre de masse de la charge le plus

proche possible de la colonne vertébrale. En étant plus petites, les femmes bénéficient d'un certain avantage, et au vu des résultats obtenus, elles approchent plus les caisses que le font les hommes, mais elles ne profitent pas d'une diminution de charge pour demeurer proches des caisses.

## 7.3 Limites de l'étude

### 7.3.1 Les sujets

Les femmes ont toutes été recrutées dans différentes succursales d'une grande entreprise de distribution de boisson. Neuf participantes sur les 15 n'avaient jamais suivi de cours de formation, trois avaient plus ou moins été sensibilisées aux techniques sécuritaires de manutention et trois ont reçu un cours de formation. Probablement que toutes les participantes ont été informées un jour ou l'autre de la technique reconnue sécuritaire « dos droit - genoux fléchis » pour soulever une caisse, comme c'était le cas des hommes. Il est donc peu probable qu'un groupe de sujets en particulier (ex. : les femmes) ait été plus influencé qu'un autre par ces recommandations, ce qui aurait biaisé les résultats de la présente étude. Les sujets féminins répondaient tous aux critères qui avaient été fixés quoiqu'ils n'étaient pas exempts de blessures musculo-squelettiques (annexe A; tableau A.3). On observe des blessures à toutes les articulations ainsi qu'au dos. On peut remarquer également que les femmes apparaissent être plus affectées par ce type de blessures que les experts masculins (tableaux A.1 et A.2). Toutefois, il faut être très prudent avec cette interprétation, car pour être valide, il aurait fallu procéder à un examen plus poussé de la santé physique des participants. D'un autre côté, aucun des sujets ne présentait de problèmes musculo-squelettiques pouvant affecter leur façon d'effectuer normalement leur travail et les problèmes recensés étaient mineurs. Nous ne pensons donc pas que les blessures musculo-squelettiques aient pu jouer un quelconque rôle dans les résultats de cette recherche.

Le protocole des femmes était différent de celui des hommes lors de la séance palette à palette, car elles devaient d'abord effectuer le transfert des caisses de 15 kg avant de manutentionner celles de 10 kg. Le fait que les femmes ne devaient effectuer qu'un seul transfert des caisses de 15 kg à cadence imposée au lieu de trois chez les hommes, ainsi que le fait que le transfert des caisses de 10 kg chez les femmes se faisait toujours après celui de 15 kg peut avoir influencé les résultats, mais pas de façon suffisante pour modifier les grandes conclusions de l'étude.

Les participantes de l'étude avaient un grand nombre d'années d'expérience. Mais un biais est néanmoins possible, car l'expérience des femmes était deux fois moins élevée que celle des experts ( $\text{♀} = 7,3$  vs  $\text{♂} = 15,5$  années). Toutefois, ce biais a été considéré dans l'ANCOVA et n'a pas modifié substantiellement les résultats. De plus, toutes les participantes étaient capables d'effectuer les tâches sans difficulté majeure et possédaient même une capacité aérobique ( $\text{VO}_2$  max) supérieure à celle des experts. La majorité des membres du groupe féminin pourraient très probablement se classer comme expertes. Et à ce titre, leur façon de faire est aussi valable que celle des experts masculins. Sur la base des connaissances actuelles et des résultats de cette étude, on émet l'hypothèse que les manutentionnaires féminins ont utilisé une technique de soulèvement des caisses au sol qui apparaîtrait moins sécuritaire que celle des hommes. Toutefois, ce serait une erreur de penser que les hommes possèdent « la meilleure technique de manutention » et que celle-ci doit être nécessairement copiée par les femmes sans comprendre les raisons de ces

différences. D'autres études seront nécessaires pour valider ces différences et surtout comprendre les causes de ces différences.

### **7.3.2 Les résultats biomécaniques**

Plusieurs sources d'erreurs peuvent entacher les résultats biomécaniques. Mentionnons entre autres : les erreurs humaines; l'imprécision des instruments de mesure photogrammétriques et de la plate-forme de forces; les erreurs dans la reconnaissance des repères anatomiques, dans l'installation des grappes de marqueurs; le déplacement de la peau et des marqueurs sur la peau lors des activités de manutention; les erreurs des modèles biomécaniques, etc. Par contre, tout a été fait pour minimiser ces erreurs autant dans le calibrage des instruments de mesure que dans les instructions pour fixer adéquatement les grappes de marqueurs. Par exemple, toutes les données photogrammétriques ont été vérifiées visuellement pour s'assurer de leur justesse.

Concernant la technique particulière de levage des femmes, nous ne l'avons pas analysée de façon approfondie. Pour cela, il aurait fallu suivre l'ordre séquentiel du genou, de la hanche et du dos, et cela, pour les trois groupes de sujet. Les données recueillies ne nous permettaient pas de le faire dans le cadre de ce projet. Nous sommes toutefois confiants que les analyses réalisées sont suffisantes pour souligner cette particularité chez les femmes particulièrement lors du soulèvement des caisses du sol. Des analyses approfondies devront être effectuées pour valider cette technique. Il pourrait s'avérer intéressant de considérer les moments aux genoux, aux hanches en plus des moments en L5/S1, et de s'assurer de pouvoir mettre en relation ces moments avec la force des sujets.

### **7.3.3 La généralisation des résultats**

Une de nos préoccupations était de faire en sorte de laisser les sujets le plus libres possible de manière à ne pas affecter le mode opératoire normal. Les contraintes expérimentales ont été minimisées au maximum de façon à ne pas perturber ce mode opératoire. Toutefois, nous ne pouvons prétendre avoir réussi à respecter intégralement notre objectif et cela pour plusieurs raisons : les sujets étaient partiellement dévêtus; des marqueurs et des électrodes étaient fixés sur la peau; des fils pouvaient limiter leur déplacement; ils ne pouvaient pas déposer les pieds sur les palettes, des caméras les filmaient; l'environnement de travail n'était pas similaire à leur lieu de travail, etc. Tous ces facteurs font en sorte que les sujets ont été affectés plus ou moins sévèrement dans leur façon de faire et ont peut-être agi différemment de ce qu'ils font habituellement. Nous pensons que les deux situations de travail expérimentées (séance II et III), quoique très spécifiques, faisaient en sorte de mettre les manutentionnaires dans des conditions familières de manutention et qu'ils ont exercé les transferts de caisses de la même manière qu'au travail. L'instrumentation était à la fine pointe de la technologie actuellement disponible. La plate-forme de forces de grande dimension ne limitait pas les déplacements de pieds et le système optoélectronique permettait l'exécution de mouvements sans trop d'encombrement. Ainsi, des situations de manutention beaucoup plus près de la réalité que dans la majorité des études antérieures ont alors pu être étudiées. Par conséquent, on peut croire que malgré certaines contraintes expérimentales, la généralisation des résultats est possible sur l'ensemble des manutentionnaires exerçant des transferts de caisses.

## 7.4 Les femmes et la manutention

Sur le plan du design expérimental, la présente étude n'a pas ajusté les dimensions du montage expérimental ainsi que la charge en fonction de chaque individu, et ce, afin d'exclure l'effet des principales variables différenciant les sexes à savoir la taille et la force musculaire. En effet, dans un contexte d'application des connaissances dans le milieu de travail, la présente étude a adopté une approche pragmatique en simulant la seule intervention possible dans ce contexte, c'est-à-dire en ajustant uniquement la charge absolue des boîtes. Plus précisément, les hommes et les femmes ont été comparés avec la même charge absolue (15 kg), mais aussi avec une même charge relative (hommes = 15 kg; femmes = 10 kg). La charge de 10 kg chez les femmes a été choisie parce qu'elle permet, non pas sur une base individuelle, mais plutôt sur une base de moyenne de groupe, d'avoir une charge relative à peu près équivalente entre les hommes et les femmes, sachant que les femmes possèdent en moyenne une force équivalente aux deux tiers de la force des hommes ( $10/15 \text{ kg} = 2/3$ ).

Les résultats de cette étude mettent en évidence que les femmes opèrent de manière différente des experts mais qui ressemble davantage aux façons de faire des hommes novices. Elles sont moins fortes physiquement, mais elles compensent en rapprochant plus la caisse de leur corps et en utilisant une technique de levage qui bénéficie d'un transfert d'énergie très avantageux en termes de force et d'économie d'énergie. D'un autre côté, il est aussi possible que cette technique accroisse les risques de blessures en raison de l'étirement excessif continu qu'elle exerce sur les structures passives de la colonne lorsque la caisse est au sol. Il y a possiblement conflit ici entre efficacité et sécurité du geste. Que faut-il faire alors sur la base des connaissances actuelles? Un des premiers éléments à prendre en compte chez les manutentionnaires féminins (ou encore masculins), c'est la flexion des genoux à la prise. Ce n'est pas parce que les genoux sont fléchis à plus de 90° comme dans un « squat » que le lever se fera nécessairement en squat. Il y a donc lieu d'observer si l'extension des genoux qui initie le lever contribue à accentuer la flexion lombaire (ou inclinaison du tronc) comme dans un « stoop ». Si c'est le cas, il ne faudrait pas que cette flexion du tronc soit excessive de manière à trop étirer les structures passives de la colonne. Il est important de laisser une marge de sécurité au manutentionnaire, même si cette action peut diminuer l'efficacité du geste. Ce problème n'est présent que pour les caisses au sol lorsque la flexion lombaire et le chargement lombaire sont au maximum. Il s'agit d'une situation fréquente, mais qui ne représente qu'une fraction de la tâche du manutentionnaire.

Une question qui mérite réflexion est la raison pour laquelle les femmes semblent privilégier une technique différente de celle des experts. Si la force musculaire est la grande responsable, alors le mode d'intervention basé uniquement sur la formation est plus limité. Plamondon et coll. (2012) ont souligné qu'une élévation de la hauteur des caisses ou encore une réduction du poids de la charge à soulever est un mode d'intervention beaucoup plus efficace en termes de réduction du chargement lombaire que l'expertise (formation) en manutention. Avec une formation seulement (dans un contexte de travail similaire à celui étudié), l'effet sur l'exposition physique, c'est-à-dire sur le chargement lombaire et sur la durée de transfert, risque d'être faible, mais d'être plus important sur la posture. En réduisant la charge à 10 kg, on diminue significativement l'exposition physique des manutentionnaires, mais on ne modifie pas beaucoup la posture. Avec un accroissement de la hauteur jusqu'à la hauteur des hanches, l'effet est significatif autant sur le chargement lombaire que sur la posture. Ainsi, lorsqu'on augmente cette hauteur d'une seule caisse (approximativement 30 cm), on réduit de plus de 10° la flexion lombaire (figure 5-6) et

l'on diminue le chargement lombaire (figure 5-4). Idéalement, intervenir sur les trois modes aura les plus grands effets sur une réduction de l'exposition.

Une autre question qui mérite réflexion est la marge de sécurité des femmes. Il est important de noter que si plusieurs femmes s'approchent et même dépassent la capacité physique de certains hommes et sont donc capables de performer dans les mêmes tâches physiques, il ne faudrait pas conclure que les hommes et les femmes partagent les mêmes niveaux de risque (Mital et coll., 1997). Ainsi, il a été observé que lorsque l'intensité de la manutention augmentait (charge continue de plus de 22.7 kg), le nombre de lésions au dos s'élevait, mais que le fait d'être un travailleur masculin et plus âgé avait un effet protecteur (Kraus et coll., 1997). La marge de sécurité des femmes est certainement moins grande que celle des hommes en raison de la force musculaire, mais est-ce important? Tout dépend du contexte de travail. Un lever du sol d'une caisse de 40 kg laisse très peu de marge de sécurité pour tout groupe de manutentionnaires et l'enjeu majeur de cette tâche devient la force musculaire du travailleur. Pour un lever du sol d'une caisse de 15 kg, et comme nos résultats le démontrent, une femme peut très bien s'acquitter de la tâche de manutention avec une marge de sécurité moindre qu'un homme, pourvu qu'elle reste à l'intérieur de cette marge. Il ne faudrait donc pas conclure que les femmes sont toujours plus à risques de blessures. En élevant la hauteur des caisses au sol, on augmente encore plus cette marge de sécurité, autant chez les hommes que chez les femmes. Lorsque cette charge était abaissée à 10 kg et qu'on augmentait la hauteur des caisses à la prise, une amélioration des conditions de manutention des caisses était observée pour les femmes. Dans un certain sens, c'est ce que font les tables psychophysiques de Snook et Ciriello (1991) ou encore la norme ISO-11228 en faisant la prédiction qu'un manutentionnaire devrait travailler avec une marge de sécurité suffisante s'il respecte la norme. Le défi est de personnaliser ce type de norme.

Enfin, Denis et coll. (2011) ont identifié huit règles de manutention décrites à l'annexe H. Les résultats de cette étude valident en quelque sorte plusieurs de ces règles pouvant être utiles à la formation des manutentionnaires novices. Ainsi, les femmes sont plus proches de la caisse que leur partenaire masculin et se déplacent en phases distinctes (blocs). L'alignement postural fait l'objet d'un consensus général dans la littérature. Il véhicule l'idée de travailler le plus possible dans des postures symétriques et d'éviter les postures extrêmes. La règle du bras de levier, qui favorise le rapprochement des charges pour diminuer les efforts, a elle aussi été fortement reproduite par les femmes et les experts. La règle de la mise sous charge (pour laquelle le manutentionnaire doit garder le moins longtemps possible la charge dans les mains) est influencée par le genre, les femmes supportant plus longtemps la charge de 15 kg que les hommes. En diminuant cette charge à 10 kg, les femmes se sont rapprochées de la situation des hommes. La règle sur la transition (qui encourage le choix d'un parcours approprié entre prise et dépôt) n'a pas eu l'importance anticipée entre les manutentionnaires expérimentés et les novices sauf sur les valeurs ajustées de l'ANCOVA (tableau 5-12). Le peu de différence entre les groupes s'explique probablement par le contexte de travail qui n'était pas très complexe. Enfin, les données actuelles ne nous permettent pas de nous prononcer sur les quatre autres règles d'action (utilisation de la charge, équilibre corporel, utilisation du corps, et rythme du mouvement). D'autres analyses restent à faire et seront nécessaires pour se prononcer sur l'ensemble des règles d'action proposées.

## 7.5 Ce qu'il reste à faire

Tout comme pour le rapport précédent (Plamondon et coll., 2010), celui-ci a présenté l'essentiel des résultats biomécaniques et ergonomiques, mais il était prévisible dès le départ que nous ne pourrions faire l'analyse de tout ce qui a été recueilli comme données. Par exemple, il reste à confirmer à l'aide d'analyses biomécaniques et ergonomiques plus poussées, que les femmes ont effectivement un patron moteur différent des hommes. De plus, la révision d'un modèle biomécanique interne est maintenant complétée (Gagnon et coll., 2011). Cela devrait permettre d'en savoir plus sur le chargement interne au dos de nos manutentionnaires et de mieux connaître l'impact sur les tissus des différences entre hommes et femmes. Tout cela pour mentionner que la fin du présent projet ne s'arrêtera pas avec le dépôt de ce rapport.

## 8. CONCLUSION

L'objectif de ce projet de recherche était de comprendre ce qui différencie les femmes manutentionnaires des hommes dans leurs modes opératoires. Les résultats des tests physiques confirment que les manutentionnaires féminins sont moins forts que leurs semblables masculins. Les résultats biomécaniques et ergonomiques démontrent que les femmes opèrent de manière différente des hommes experts mais qui se rapproche aux façons de faire des hommes novices. Le chargement au dos (moments résultants à L5/S1) était significativement moins élevé chez les femmes par rapport aux hommes, mais en normalisant ces moments en fonction du poids du tronc, les femmes ne se distinguaient pas des hommes. Les femmes, au moment du lever des caisses du sol, fléchissaient davantage le tronc et moins les genoux et utilisaient une technique de levage qui apparaissait très avantageuse en termes de force et d'économie d'énergie. D'un autre côté, il est aussi possible que cette technique de levage accroisse les risques de blessures en raison de l'étirement excessif continu qu'elle exercerait sur les structures passives de la colonne. Cette situation n'est toutefois présente que pour le levage des caisses au sol, situation qui ne représente qu'une fraction de la tâche du manutentionnaire. Le design de la présente étude permet également d'affirmer que la charge de 15 kg explique en partie les différences observées entre les hommes et les femmes et que dans le cas d'une charge de 10 kg pour les femmes, les différences entre sexes s'amenuisent. Plusieurs solutions d'intervention sont discutées dont celle d'augmenter la hauteur des caisses ou encore de diminuer le poids de la caisse, solutions qui ont permis aux manutentionnaires de réduire le chargement au dos de manière significative et d'augmenter ainsi leur marge de sécurité. Enfin, il reste à confirmer à l'aide d'analyses biomécaniques et ergonomiques plus poussées, que les femmes ont un patron moteur différent des hommes et que le chargement interne aux tissus peut être affecté par ces différences.



## BIBLIOGRAPHIE

- Adams, M. A., Hutton, W. C., Stott, J. R. R., (1980). The resistance to flexion of the lumbar intervertebral joint. *Spine* 5, 245-253.
- Adams, M. A., Bogduk, N., Burton, A. K., Dolan, P., (2002). *The Biomechanics of Back Pain*. Churchill Livingstone, Toronto.
- Allaire, M., Ricard, G., (2007). Statistiques sur les affections vertébrales 2003-2006. 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.
- Authier, M., Lortie, M., (1993). Assessment of factors considered to be important in handling tasks by expert handlers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 11, 331-340.
- Authier, M., Gagnon, M., Lortie, M., (1995). Handling techniques: The influence of weight and height for experts and novices. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 1, 262-275.
- Authier, M., Lortie, M., Gagnon, M., (1996). Manual handling techniques: Comparing novices and experts. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17, 419-429.
- Ayoub, M. M., Mital, A., (1989). *Manual Materials Handling*. Taylor and Francis, New York.
- Ayoub, M. M., Dempsey, P. G., Karwowski, W., (1997). Manual Materials handling. In: Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley interscience, Toronto, pp. 1085-1123.
- 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.
- 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. 1-1-7-16.
- Burdorf, A., Sorock, G., (1997). Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health* 23, 243-256.
- Burgess-Limerick, R., (2003). Squat, stoop, or something in between? *International Journal of Industrial Ergonomics* 31, 143-148.
- Burgess-Limerick, R., (2006). Lifting techniques. In: Karwowski, W. (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. Taylor & Francis, New York, pp. 775-778.
- Burgess-Limerick, R., Abernethy, B., Neal, R. J., Kippers, V., (1995). Self-Selected Manual Lifting Technique: Functional Consequences of the Interjoint Coordination. *Human Factors* 37(2), 395-411.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B., Martin, B. J., (2006). *Occupational Biomechanics* (4 ed). John Wiley & Sons, Inc, Toronto.

- Chaffin, D. B., Galloway, L. S., Woolley, C. B., Kuciemba, S. R., (1986). An evaluation of the effect of a training program on worker lifting postures. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1, 127-136.
- Chaffin, D. B., Herrin, G. D., Keyserling, W. M., (1978). Preemployment strength testing. An updated position. *Journal of Occupational Medicine* 20, 403-408.
- Clemes, S. A., Haslam, C. O., Haslam, R. A., (2010). What constitutes effective manual handling training? A systematic review. *Occup Med (Lond)* 60, 101-107.
- da Costa, B. R., Vieira, E. R., (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *Am J Ind Med* 53, 285-323.
- da Silva, R. A., Lariviere, C., Arsenault, A. B., Nadeau, S., Plamondon, A., (2009). Effect of pelvic stabilization and hip position on trunk extensor activity during back extension exercises on a Roman chair. *J Rehabil Med* 41, 136-142.
- Davis, P. R., Troup, J. D. G., (1965). Effects on the trunk of handling heavy loads in different posture. *Proceedings of the Second International Congress on Ergonomics*, London: Taylor & Francis.
- Davis, K. G., Marras, W. S., (2000). Assessment of the relationship between box weight and trunk kinematics: does a reduction in box weight necessarily correspond to a decrease in spinal loading? *Human Factors* 42, 195-208.
- Davis, K. G., Splittstoesser, R. E., Marras, W. S., (2003). Kinematic contribution and synchronization of the trunk, hip, and knee during free-dynamic lifting. *Occupational Ergonomics* 3, 99-108.
- de Looze, M. P., Toussaint, H. M., van Dieen, J. H., Kemper, H. C. G., (1993). Joint moments and muscle activity in the lower extremities and lower back in lifting and lowering tasks. *Journal of Biomechanics* 26, 1067-1076.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996a). Handgrip and Box Tilting Strategies in Handling: Effect on Stability and Trunk and Knee Efforts. *Int J Occup Saf Ergon* 2, 109-118.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996b). Load acceleration and footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2, 185-195.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1998). Knee flexion and base of support in asymmetrical handling: effects on the worker's dynamic stability and the moments of the L5/S1 and knee joints. *Clinical Biomechanics* 13, 506-514.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1999). Kinematic analysis of footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 23, 451-460.

- 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. *Medical Engineering & Physics* 20, 153-158.
- Denis, D., Lortie, M., St-Vincent, M., Gonella, M., Plamondon, A., Delisle, A., Tardif, J., (2011). Programme de formation participative en manutention manuelle. Fondements théoriques et approche proposée. Institut Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), Montréal, Québec, Canada, pp. 1-130.
- Dolan, P., Adams, M. A., (1998). Repetitive lifting tasks fatigue the back muscles and increase the bending moment acting on the lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 31, 713-721.
- Dolan, P., Mannion, A. F., Adams, M. A., (1994a). Passive tissues help the back muscles to generate extensor moments during lifting. *Journal of Biomechanics* 27, 1077-1085.
- Dolan, P., Earley, M., Adams, M. A., (1994b). Bending and compressive stresses acting on the lumbar spine during lifting activities. *Journal of Biomechanics* 27, 1237-1248.
- Frank, J. W., Kerr, M. S., Brooker, A. S., Demaio, S. E., Maetzel, A., Shannon, H. S., Sullivan, T. J., Norman, R. W., Wells, R. P., (1996). Disability resulting from occupational low back pain. Part I: What do we know about primary prevention? A review of the scientific evidence on prevention before disability begins. *Spine* 21, 2908-2917.
- Forcier, I., Beaugrand, S., Lortie, M., Lapointe, C., Lemaire, J., Kuorinka, I., Duguay, P., Lemay, F., Buckle, P., (2001). L'ABC de l'utilisation d'un questionnaire sur la santé musculo-squelettique: de la planification à la diffusion des résultats. RSST- Direction des
- 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. *Journal of Biomechanics* 25(8), 891-901.
- Gagnon, D., Arjmand, N., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A., Larivière, C., (2011). An improved multi-joint EMG-assisted optimization approach to estimate joint and muscle forces in a musculoskeletal model of the lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 44, 1521-1529.
- Gagnon, M., (2003). The efficacy of training for three manual handling strategies based on the observation of expert and novice workers. *Clinical Biomechanics* 18, 601-611.
- Gagnon, M., (2005). Ergonomic identification and biomechanical evaluation of workers' strategies and their validation in a training situation: Summary of research. *Clinical Biomechanics* 20, 569-580.
- Gagnon, M., Plamondon, A., Gravel, D., Lortie, M., (1996). Knee movement strategies differentiate expert from novice workers in asymmetrical manual materials handling. *Journal of Biomechanics* 29, 1445-1453.
- Gall, B., Parkhouse, W., (2004). Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work. *Ergonomics* 47, 671-687.

- 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.
- Garg, A., Saxena, U., (1979). Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *Am Ind Hyg Assoc J* 40, 894-503.
- Garg, A., Saxena, U., (1985). Physiological stresses in warehouse operations with special reference to lifting technique and gender: a case study. *Am Ind Hyg Assoc J* 46, 53-59.
- Gracovetsky, S., Farfan, H. F., Lamy, C., (1981). The mechanism of the lumbar spine. *Spine* 6, 249-262.
- Gracovetsky, S., Kary, M., Levy, S., Said, R. B., (1989). The importance of pelvic tilt in reducing compressive stress in the spine during flexion-extension exercises. *Spine* 14, 412-416.
- Granata, K. P., Marras, W. S., Davis, K. G., (1999). Variation in spinal load and trunk dynamics during repeated lifting exertions. *Clinical Biomechanics* 14, 367-375.
- Grood, E. S., Suntay, W. J., (1983). A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application of the Knee. *Journal of Biomechanical Engineering* 105, 136-144.
- Haslam, C., Clemes, S., Mcdermott, H., Shaw, K., Williams, C., Haslam, R., (2007). Manual handling training. Health and Safety Executive (HSE) Research report, pp. 1-159.
- Hof, A. L., (1992). An explicit expression for the moment in multibody systems. *Journal of Biomechanics* 25, 1209-1211.
- Hoogendoorn, W. E., Bongers, P. M., de Vet, H. C. W., Douwes, M., Koes, B. W., Miedema, M. C., Ariens, G. A. M., 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* 25, 3087-3092.
- Jensen, R. K., (1978). Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *Journal of Biomechanics* 11, 349-358.
- Intolo, P., Milosavljevic, S., Baxter, D. G., Carman, A. B., Pal, P., Munn, J., (2009). The effect of age on lumbar range of motion: A systematic review. *Man Ther* 14, 596-604.
- Kotowski, S. E., Davis, K. G., Shockley, K., (2007). Impact of order and load knowledge on trunk kinematics during repeated lifting tasks. *Human Factors* 49, 808-819.
- Kraus, J. F., Schaffer, K. B., McArthur, D. L., Peek-Asa, C., (1997). Epidemiology of acute low back injury in employees of a large home improvement retail company. *Am J Epidemiol* 146, 637-645.
- Kroemer, K. H. E., (1992). Personnel training for safer material handling. *Ergonomics* 35, 1119-1134.

- 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. *International Journal of Industrial Ergonomics* 24, 389-404.
- Kumar, S., Garand, D., (1992). Static and dynamic lifting strength at different reach distances in symmetrical and asymmetrical planes. *Ergonomics* 35, 861-880.
- Kuorinka, I., Lortie, M., Gautreau, M., (1994). Manual handling in warehouses: the illusion of correct working postures. *Ergonomics* 37, 655-661.
- Lariviere, C., Gagnon, D., Gravel, D., Arsenault, A. B., Dumas, J. P., Goyette, M., Loisel, P., (2001). A triaxial dynamometer to monitor lateral bending and axial rotation moments during static trunk extension efforts. *Clinical Biomechanics* 16, 80-83.
- Lariviere, C., McFadden, D., Arsenault, A. B., Petitjean-Roget, T., (2008). Évaluation de la coordination des muscles dorso-lombaires chez des gens présentant une lombalgie : une base de données revisitée. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IR SST), Montréal, Canada.
- Li, K., Zhang, X., (2009). Can relative strength between the back and knees differentiate lifting strategy? *Human Factors* 51, 785-796.
- 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. *American Journal of Public Health* 86, 382-387.
- Lindbeck, L., Kjellberg, K., (2001). Gender differences in lifting technique. *Ergonomics* 44, 202-214.
- Lortie, M., Baril-Gingras, G., (1998). Box Handling in the Loading and Unloading of Vans. *Int J Occup Saf Ergon* 4, 3-18.
- Maduri, A., Pearson, B. L., Wilson, S. E., (2008). Lumbar-pelvic range and coordination during lifting tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 18, 807-814.
- Magnusson, M. L., Pope, M. H., Wilder, D. G., Areskoug, B., (1996). Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? *Spine* 21, 710-717.
- Marras, W. S., Davis, K. G., Jorgensen, M., (2002). Spine loading as a function of gender. *Spine* 27, 2514-2520.
- Marras, W. S., Davis, K. G., Jorgensen, M., (2003). Gender influences on spine loads during complex lifting. *Spine Journal* 3, 93-99.
- 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.
- Martimo, K. P., Verbeek, J., Karppinen, J., Furlan, A. D., Kuijer, P. P., Viikari-Juntura, E., Takala, E. P., Jauhiainen, M., (2007). Manual material handling advice and assistive devices for preventing and treating back pain in workers. *Cochrane.Database.Syst Rev* CD005958.
- McGill, S. M., (2002). *Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation*. Human Kinetics, Windsor.
- McGill, S. M., (2007). *Low Back Disorders*. Human Kinetics, Windsor, Ontario, Canada.
- McGill, S. M., (2009). Evolving ergonomics? *Ergonomics* 52, 80-86.
- Mital, A., (1987). Patterns of differences between the maximum weights of lift acceptable to experienced and inexperienced materials handlers. *Ergonomics* 30, 1137-1147.
- Mital, A., (1984). Maximum weights of lift acceptable to male and female industrial workers for extended work shifts. *Ergonomics* 27, 1115-1126.
- Mital, A., (1987). Patterns of differences between the maximum weights of lift acceptable to experienced and inexperienced materials handlers. *Ergonomics* 30, 1137-1147.
- Mital, A., Nicholson, A. S., Ayoub, M. M., (1997). *A guide to Manual Materials Handling*. Taylor & Francis, London, Washington, DC.
- National Research Council, (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities*. National Research Council and Institute of Medicine.
- Nelson, N. A., Hughes, R. E., (2009). Quantifying relationships between selected work-related risk factors and back pain: A systematic review of objective biomechanical measures and cost-related health outcomes. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 202-210.
- Parnianpour, M., Bejjani, F. J., Pavlidis, L., (1987). Worker training: the fallacy of a single, correct lifting technique. *Ergonomics* 30, 331-334.
- Plamondon, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996). Validation of two 3-D segment models to calculate the net reaction forces and moments at the L5/S1 joint in lifting. *Clinical Biomechanics* 11, 101-110.
- Plamondon, A., Denis, D., Bellefeuille, S., Delisle, A., Gonella, M., Salazar, E., Gagnon, D., Lariviere, C., St-Vincent, M., Nastasia, I., (2010). *Manutention. Comparaison des façons de faire entre les experts et les novices*. Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du travail (IRSST), Montréal, Quebec, Canada, pp. 1-108.
- Plamondon, A., Lariviere, C., Delisle, A., Denis, D., Gagnon, D., (2012). Relative importance of expertise, lifting height and weight lifted on posture and lumbar external loading during a transfer task in manual material handling. *Ergonomics* 55, 87-102.

- Provencher, J., Barbeau, A., Lamarche, D., Robitaille, D., (2011). Statistiques sur les affections vertébrales 2007-2010 - CSST. Service de la statistique et direction de la comptabilité et de la gestion de l'information, Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST), pp. 1-28.
- Puniello, M. S., McGibbon, C. A., Krebs, D. E., (2001). Lifting strategy and stability in strength-impaired elders. *Spine* 26, 731-737.
- Quinn, M. M., (2011). Why do women and men have different occupational exposures? *Occup Environ Med* 68, 861-862.
- Reeves, N. P., Cholewicki, J., Silfies, S. P., (2006). Muscle activation imbalance and low-back injury in varsity athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 16, 264-272.
- Robson, L. S., Stephenson, C. M., Schulte, P. A., Amick, B. C., Irvin, E. L., Eggerth, D. E., Chan, S., Bielecky, A. R., Wang, A. M., Heidotting, T. L., Peters, R. H., Clarke, J. A., Cullen, K., Rotunda, C. J., Grubb, P. L., (2012). A systematic review of the effectiveness of occupational health and safety training. *Scand.J.Work Environ.Health* 38, 193-208.
- Roffey, D. M., Wai, E. K., Bishop, P., Kwon, B. K., Dagenais, S., (2010a). Causal assessment of awkward occupational postures and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* 10, 89-99.
- Roffey, D. M., Wai, E. K., Bishop, P., Kwon, B. K., Dagenais, S., (2010b). Causal assessment of workplace manual handling or assisting patients and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* 10, 639-651.
- Sadler, E. M., Graham, R. B., Stevenson, J. M., (2011). Gender difference and lifting technique under light load conditions: a principal component analysis. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. pp. 1-16.
- Schipplein, O. D., Trafimow, J. H., Andersson, G. B. J., Andriacchi, T. P., (1990). Relationship between moments at the L5/S1 level, hip and knee joint when lifting. *Journal of Biomechanics* 23, 907-912.
- Siconolfi, S. F., Garber, C. E., Lasater, T. M., Carleton, R. A., (1985). A simple, valid step test for estimating maximal oxygen uptake in epidemiologic studies. *Am J Epidemiol* 121, 382-390.
- Solomonow, M., Zhou, B. H., Baratta, R. V., Lu, Y., Harris, M., (1999). Biomechanics of increased exposure to lumbar injury caused by cyclic loading: part 1. Loss of reflexive muscular stabilization. *Spine* 24, 2426-2434.
- Solomonow, M., (2011). Neuromuscular manifestations of viscoelastic tissue degradation following high and low risk repetitive lumbar flexion. *Journal of Electromyography and Kinesiology*.
- Snook, S. H., Ciriello, V., (1991). The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics* 34, 1197-1213.

St-Vincent, M., Tellier, C., (1989). Training in Handling - An Evaluative Study. *Ergonomics* 32, 191-210.

Statistique Canada, (2008). Recensement de la population de 2006. Statistique Canada.

Stock, S., Funes, A., Delisle, A., St-Vincent, M., Turcot, A., Messing, K., (2011). Chapitre 7: Troubles musculo-squelettiques. Enquête québécoise sur des conditions de travail, d'emploi et de santé et de sécurité du travail (EQCOTESST). Institut de recherche Robert-Sauvé en Santé et en sécurité du travail (IRSST)- Rapport R-691, Montréal, Québec, Canada, pp. 445-530.

Sullivan, M. S., (1995). Lifting and Back Pain. In: Twomey, L. T., Taylor, J. R. (Eds.), *Physical Therapy of the Low Back*. Churchill Livingstone, New York, pp. 329-356.

Trafimow, J. H., Schipplein, O. D., Novak, G. J., Andersson, G. B. J., (1993). The effects of quadriceps fatigue on the technique of lifting. *Spine* 18, 364-367.

Toussaint, H. M., van Baar, C. E., van Langen, P. P., de Looze, M., van Dieen, J. H., (1992). Coordination of the leg muscles in backlift and leglift. *Journal of Biomechanics* 25, 1279-1289.

Van Albada SJ and Robinson PA (2007) Transformation of arbitrary distributions to the normal distribution with application to EEG test-retest reliability. *J Neurosci Methods* 161: 205-211

Verbeek, J. H., Martimo, K. P., Karppinen, J., Kuijjer, P. P., Viikari-Juntura, E., Takala, E. P., (2011). Manual material handling advice and assistive devices for preventing and treating back pain in workers. *Cochrane.Database.Syst Rev* CD005958.

Vingard, E., Nachemson, A., (2000). Work-Related influences on neck and low back pain. In: Nachemson, A., Jonsson, E. (Eds.), *Neck and Back Pain: The Scientific Evidence of Causes, Diagnosis and Treatment*. Lippincot Williams & Wilkins, Philadelphia, pp. 97-126.

Wai, E. K., Roffey, D. M., Bishop, P., Kwon, B. K., Dagenais, S., (2010a). Causal assessment of occupational bending or twisting and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* 10, 76-88.

Wai, E. K., Roffey, D. M., Bishop, P., Kwon, B. K., Dagenais, S., (2010b). Causal assessment of occupational carrying and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* 10, 628-638.

Wai, E. K., Roffey, D. M., Bishop, P., Kwon, B. K., Dagenais, S., (2010c). Causal assessment of occupational lifting and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* 10, 554-566.

Walker, B. F., (2000). The prevalence of low back pain: a systematic review of the literature from 1966 to 1998. *J Spinal Disord* 13, 205-217.

Yeung, S. S., Genaidy, A., Deddens, J., Alhemood, A., Leung, P. C., (2002). Prevalence of musculoskeletal symptoms in single and multiple body regions and effects of perceived risk of injury among manual handling workers. *Spine* 27, 2166-2172.

## ANNEXE A : LA SANTÉ MUSCULO-SQUELETTIQUE DES 45 SUJETS

**Tableau A.1 : La santé musculo-squelettique<sup>3</sup> des hommes dans les 12 derniers mois**

Santé musculo-squelettique										
Novices	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Chevilles	
1			G N N							
2		D N N	D N N						O N N	
3								O N N	O N N	
4		D N N				O N N		O N N		
5			D N N	D N N						D N N
6										
7									O N N	
8										
9										
10						O N N				
11										
12										
13								O N N		
14		O O O						O		
15								O		
Experts	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Chevilles	
1	O N N									
2										
3										
4				O N N						
5										
6					O N N					
7										
8										
9		D N N								
10										
11										
12										
13	O N N		D N N	G N O						
14										
15										

Trois questions :

**Question 1 :** Avez-vous eu, au cours des 12 derniers mois, des problèmes (courbatures, douleurs, gênes) aux régions corporelles suivantes ?

**Question 2 :** Est-ce que ce problème vous a empêché, au cours des 12 derniers mois, d'effectuer votre travail habituel ?

**Question 3 :** Avez-vous eu à un moment donné ce problème au cours des 7 derniers jours ?

**Réponses :** Case vide = non aux trois questions ; première lettre = réponse à la question 1 ; seconde lettre = réponse à la question 2 ; troisième lettre = réponse à la question 3.

**Codes :** O = Oui ; D = Oui coté droit ; G = Oui côté gauche ; N = Non ;

<sup>3</sup> Issu du questionnaire NORDIQUE développé par Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K. Adapté par Lina Forcier, UQAM, Claire Lapointe, IRSST, Sylvie Beaugrand, IRSST, Monique Lortie, UQAM, Ilkka Kuorinka, Peter Buckle, University of Surrey.  
 Pour en savoir plus sur l'utilisation du questionnaire, de la planification de la démarche à la diffusion des résultats obtenus, consultez le guide RG-270 publié par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)

Tableau A.2 : La santé musculo-squelettique<sup>4</sup> des hommes au cours de leur vie

Santé musculo-squelettique									
Novices	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Chevilles
1		ONN	ONN			OON		ONN	ONN
2		ONN	ONN	ONN	OOO	OON			OON
3								ONN	ONN
4		ONN				ONN		ONN	
5			DNN						DNN
6									
7									DNN
8									
9									
10						ONN			
11									
12									
13								DON	
14		ONN						ONN	
15								ONN	
Experts	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Chevilles
1	ONN								
2									
3		OON							OON
4				ONN		OON			
5		OON							
6					OON				
7	ONN	ONN				OON			
8									
9		OON							
10	ONN	GON					DON		DON
11									
12									
13	OON		DNN	G					
14		ONN							
15									

Trois questions :

**Question 1 :** Au cours de votre vie, avez-vous déjà ressenti des problèmes au ... « cou ».....(courbatures, douleurs, gênes) ?

**Question 2 :** Vous êtes-vous déjà blessé au ....« cou »..... lors d'un accident ?

**Question 3 :** Avez-vous déjà dû changer d'emploi ou de tâche en raison de problème au ... « cou ».... ?

**Réponses :** Case vide = non aux trois questions ; première lettre = réponse à la question 1 ; seconde lettre= réponse à la question 2 ; troisième lettre = réponse à la question 3.

**Codes :** O = Oui ; D = Oui coté droit ; G = Oui côté gauche ; N = Non

<sup>4</sup> Issu du questionnaire NORDIQUE développé par Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K. Adapté par Lina Forcier, UQAM, Claire Lapointe, IRSST, Sylvie Beaugrand, IRSST, Monique Lortie, UQAM, Ilkka Kuorinka, Peter Buckle, University of Surrey.  
Pour en savoir plus sur l'utilisation du questionnaire, de la planification de la démarche à la diffusion des résultats obtenus, consultez le guide RG-270 publié par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) www.irsst.qc.ca

**Tableau A.3 : Santé musculo-squelettique<sup>5</sup> des femmes au cours des 12 derniers mois**

Au cours des 12 derniers mois									
Femmes	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Cheville
1		D N N			O N N				
2									
3							D N N		
4	O N N		D N N						
5				O N O		O N N			O N O
6						O N N			
7	O N N					O N O			
8									O N N
9	O N N	G N N			O N N			O N O	
10	O N O	D N O							
11									O N N
12			D N O		O N O				
13	O N O		D N N		O N N	O N O		O N N	
14			O N N			O N N			
15	O O N					O O N			

Trois questions :

**Question 1** : Avez-vous eu, au cours des 12 derniers mois, des problèmes (courbatures, douleurs, gênes) aux régions corporelles suivantes ?

**Question 2** : Est-ce que ce problème vous a empêché, au cours des 12 derniers mois, d’effectuer votre travail habituel ?

**Question 3** : Avez-vous eu à un moment donné ce problème au cours des 7 derniers jours ?

**Réponses** : Case vide = non aux trois questions ; première lettre = réponse à la question 1 ; seconde lettre= réponse à la question 2 ; troisième lettre = réponse à la question 3. **Codes** : O = Oui ; D = Oui coté droit ; G = Oui côté gauche ; N = Non ;

**Tableau A.4 : Santé musculo-squelettique des femmes au cours de leur vie**

Au cours de leur vie									
Femmes	Cou	Épaule	Coude	Poignets	Haut dos	Bas dos	Cuisses	Genoux	Cheville
1		O N N		O G N	O N N				
2						O O O			
3	O O N		O D N	O D N			O N N		
4	O N N	O N N	O N N						
5	O N N			O O N		O N N			O O N
6						O N N			
7	O N N					O N N			
8			O N N	O N N		O O O			O N N
9	O N N	O G N			O O O	O O N	O O O	O N N	
10	O N N	O D N							
11		O N O							O D N
12	O O O	O O O	O N N		O O O	O O O			
13	O N N		O N N		O N N	O O O		O N N	O O N
14		O G O	O G O	O G O		O N N			
15	O N N					O N N			O D N

Trois questions :

**Question 1** : Au cours de votre vie, avez-vous déjà ressenti des problèmes au ... « cou »..... (courbatures, douleurs, gênes) ?

**Question 2** : Vous êtes-vous déjà blessé au ....« cou »..... lors d’un accident ?

**Question 3** : Avez-vous déjà dû changer d’emploi ou de tâche en raison de problème au ... « cou ».... ?

**Réponses** : Case vide = non aux trois questions ; première lettre = réponse à la question 1 ; seconde lettre= réponse à la question 2 ; troisième lettre = réponse à la question 3. **Codes** : O = Oui ; D = Oui coté droit ; G = Oui côté gauche ; N = Non

<sup>5</sup> Issu du questionnaire NORDIQUE développé par Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K. Adapté par Lina Forcier, UQAM, Claire Lapointe, IRSST, Sylvie Beaugrand, IRSST, Monique Lortie, UQAM, Ilkka Kuorinka, Peter Buckle, University of Surrey.  
 Pour en savoir plus sur l’utilisation du questionnaire, de la planification de la démarche à la diffusion des résultats obtenus, consultez le guide RG-270 publié par l’Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) www.irsst.qc.ca



## ANNEXE B : LES SYSTÈMES DE MESURE

Plusieurs systèmes de mesure ont été utilisés dans les trois séances expérimentales : deux dynamomètres, un système d'électromyographie de surface ainsi que deux systèmes de mesures photogrammétriques (caméras vidéo et optoélectronique).

Dynamomètres : Les dynamomètres ont servi à mesurer la capacité physique des sujets ainsi que les forces aux pieds exercées lors des tâches de manutention. La capacité physique des muscles du dos a été évaluée sur un appareil dans lequel le sujet a pris place (figure 3-1) et sur lequel des mini plates-formes de marque « AMTI » (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts) ont servi à enregistrer les moments de force à L5/S1 exercés en extension par les sujets. Les forces externes aux pieds lors des tâches de manutention ont été obtenues par l'intermédiaire d'une plate-forme de force maison (1.90 m x 1.30 m) montée sur 6 mini-plates-formes AMTI (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts). Ce type de plate-forme a fait l'objet d'une validation.

Électromyographie de surface : Des paires d'électrodes de surface préamplifiées (Delsys, Boston, MA; électrodes actives avec gain de 1000 et bande passante de 20-450 Hz) ont été positionnées sur les muscles du dos et des abdominaux. Les signaux ont été enregistrés à une fréquence minimale de 1024 Hz et numérisés par une carte d'acquisition analogue numérique 12-bit (National Instrument, DAQ-E).

Systèmes photogrammétriques : Deux systèmes de mesure photogrammétriques ont été utilisés pour enregistrer les coordonnées tridimensionnelles (3D) de marqueurs fixés sur les principaux segments du corps. Le premier système est composé de diodes LED infrarouges et dont les signaux sont captés par quatre colonnes « Optotrak » (Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario). La fréquence d'échantillonnage du système Optotrak était fixée à 30 Hz et l'erreur de reconstruction 3D des marqueurs est généralement inférieure à 1 mm. L'avantage de ce système est qu'il ne nécessite aucune numérisation manuelle, mais a toutefois les désavantages d'être plus encombrant à cause du filage qui relie chaque LED et de ne pas générer d'images vidéo. Pour remédier à ce dernier problème, un second système composé de trois caméras vidéo permettait de vérifier les données du système Optotrak, de corriger certaines données manquantes et d'effectuer l'analyse ergonomique des tâches de manutention. Un système de synchronisation (Horita, FP-50, Mission Viejo, CA) permettait de synchroniser l'ensemble des appareils de mesures (vidéo, électromyographie et Optotrak).



## ANNEXE C : DÉFINITION DES VARIABLES CINÉTIQUES ET CINÉMATIQUES

**Tableau C.1 : Définition des variables cinétiques et cinématiques**

Variable	Description de la variable
Moment maximal résultant à L5/S1 (N•m)	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 & Suintay (1983).
Index de flexibilité lombaire (%)	Index de flexibilité correspond à l'angle de flexion lombaire divisé par la valeur représentative de la flexion lombaire maximale de sujets du même âge (basé sur les données de Intolo (2009)).
Angle de la flexion latérale (°)	Angle de flexion latérale lombaire (°)d'après la séquence de Grood & Suintay (1983).
Angle de torsion lombaire (°)	Angle de torsion lombaire (°)d'après la séquence de Grood & Suintay (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.

## ANNEXE D : LA NORMALISATION DES DONNÉES

L'objectif d'une procédure de normalisation consiste à ajuster une variable en fonction d'une donnée standard. Ainsi, on sait que le poids et la taille des sujets ont une influence déterminante sur certaines variables. Pour tenir compte de cet effet, on divise la variable d'intérêt par le poids ou encore la taille des sujets de manière à pouvoir comparer les groupes sur une base commune. Par exemple, on sait que les femmes sont en majorité plus petites en taille que les hommes. On devrait donc s'attendre à ce que des segments comme les bras soient plus courts chez les femmes et en conséquence on devrait ne pas s'étonner que les femmes soient plus proches d'une caisse que les hommes. Pour considérer l'effet de taille, on divise la distance de la caisse à L5/S1 par la taille du sujet. L'unité n'est plus en mètre, mais en nombre de fois la taille du sujet et on obtient ainsi une meilleure réponse à la question de savoir si effectivement les femmes rapprochent plus les caisses que les hommes. À titre d'exemple, le tableau 5-9, la distance de la caisse à L5/S1 des femmes se trouvait être de 0,21 unité de taille (1 = la taille) et celle des novices de 0,24 unité de taille.

Pour les moments, la normalisation consistait à diviser la valeur du moment à L5/S1 par le moment créé par le poids du tronc, lorsque celui-ci est à l'horizontale (figure D.1). Une fois le moment normalisé, sa valeur se définit comme étant des unités du poids du tronc. Par exemple, un moment résultant à L5/S1 de 150 Nm est normalisé en le divisant par le moment du tronc à l'horizontale du sujet de 100 Nm, ce qui donne un moment normalisé de 1.5 fois le poids du tronc (figure D.1).

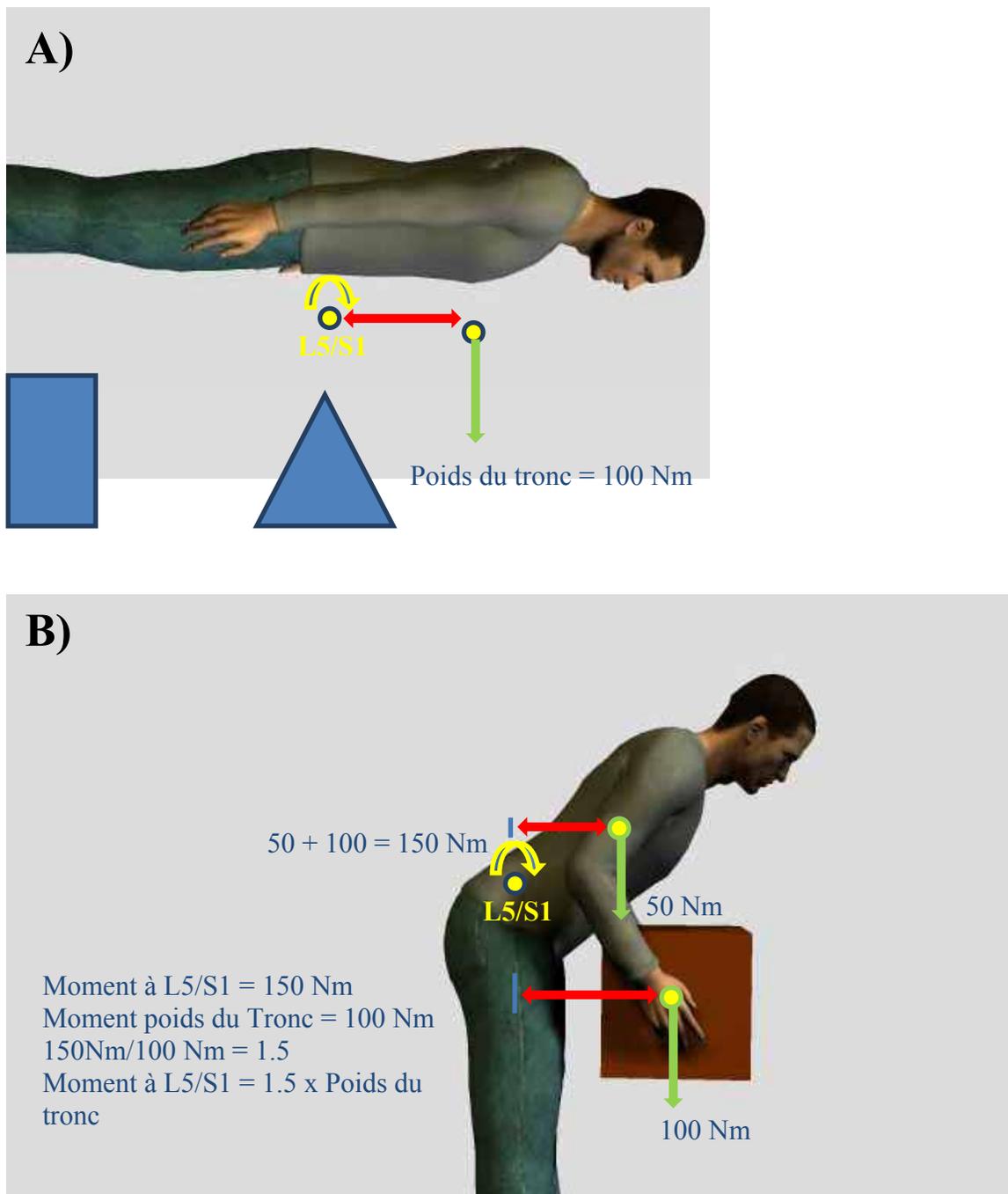


Figure D.1. Illustration de la procédure de normalisation. Dans cet exemple, le moment à L5/S1 qu'exerce le poids du tronc à l'horizontale est de 100 Nm (A). La normalisation consiste à diviser le moment (résultant ou asymétrique) par le moment exercé par le poids du tronc. Dans cet exemple (B), soit  $150 \text{ Nm}/100 \text{ Nm} = 1.5 \times$  poids du tronc.



## ANNEXE E : FLEXIBILITÉ LOMBAIRE MAXIMALE

**Tableau E.1: Flexibilité lombaire maximale des sujets basée sur les données d'Intolo (2009)**

Sujets ♂	Age	Flexibilité Maximale	Sujets ♀	Age	Flexibilité maximale
1	43	61	1	31	63
2	30	67	2	42	73
3	30	67	3	44	47
4	37	64	4	52	63
5	52	57	5	44	43
6	25	69	6	44	42
7	34	65	7	39	67
8	31	66	8	50	49
9	51	57	9	49	53
10	27	68	10	51	55
11	24	69	11	46	68
12	41	62	12	35	80
13	44	60	13	39	80
14	24	69	14	25	69
15	22	70	15	26	68
16	42	61			
17	27	68			
18	24	69			
19	20	71			
20	18	72			
21	27	68			
22	24	69			
23	25	69			
24	27	68			
25	20	71			
26	21	71			
27	50	58			
28	51	58			
29	30	67			
30	26	68			



## ANNEXE F : TESTS DE FATIGUE EFFECTUÉS LORS DE LA SÉANCE DE PALETTE À PALETTE (SÉANCE III)

Des tests de pénibilité de la tâche ont été effectués lors de la séance de palette à palette (séance 3) de manière à connaître le niveau de fatigue des sujets. Cette annexe présente les principaux résultats de ces tests.

### Techniques de mesure

Les techniques de mesure suivantes ont été utilisées pour évaluer la pénibilité de la tâche.

**Fatigue des muscles du dos** : La fatigue musculaire a été évaluée à l'aide des tests de la contraction musculaire sous-maximale des muscles du dos (longissimus) et des ischio-jambiers suivant les séries de transferts de caisses. Cela nécessitait des enregistrements électromyographiques pour lesquels des électrodes de surface ont été positionnées bilatéralement sur le longissimus lombaire au niveau de L3 (3 cm latéral) et sur les ischio-jambiers (semi-tendineux), à mi-chemin entre le point d'origine et d'insertion musculaire. Les différences de signal pré-test, mi-test et post-test en ce qui a trait à l'amplitude (RMS) et le contenu spectral (fréquence médiane du spectre de fréquences) des signaux EMG des muscles du dos et des ischio-jambiers ont servi d'indices de fatigue.

**Fréquence cardiaque** : Un cardio-fréquence-mètre de marque Polar (modèle S810i) permettait d'évaluer directement la fréquence cardiaque des sujets et indirectement la charge physiologique des sujets durant le transfert de caisses.

**Fatigue psychophysique** : Ce type de mesure ne requiert pas d'instrumentations, mais exige l'utilisation de l'échelle de Borg CR-10 pour mesurer la fatigue musculaire et la fatigue générale perçue après chacun des transferts de caisses. Le sujet était interrogé (suite à la série de transferts à vitesse libre et suite à celle à vitesse imposée) sur son niveau de fatigue en lui présentant une échelle variant de 0 à 10, avec des termes permettant de caractériser chaque chiffre, 0 représentant l'absence totale de fatigue et 10 la fatigue maximale. La perception de fatigue aux muscles du dos, aux muscles des jambes et la perception de fatigue générale ont été mesurées.

### Traitements des signaux EMG

Un filtre numérique passe-bande d'ordre 8 entre 30 et 450 Hz était appliqué aux signaux EMG, notamment pour exclure le signal électrocardiographique et éliminer l'ECG. La valeur RMS (« Root Mean square ») ainsi que la fréquence médiane du spectre de fréquence du signal EMG ont été estimées sur une période de temps de 3 s. La fréquence médiane a été extraite à partir de la trousse d'outil « Signal processing » de Matlab (The Mathworks, Natick, MA).

## Résultats et discussion des tests de fatigue

Trois tests de fatigue ont été effectués. Les résultats de l'échelle de Borg CR-10 pour mesurer la fatigue musculaire et la fatigue générale perçues après chacun des transferts de caisse sont présentés au tableau F.1. Les sujets ont perçu un niveau de fatigue et un niveau d'intensité musculaire générale et spécifique au dos plus important à la cadence imposée qu'à la cadence libre. Le niveau perçu n'a pas été différent entre les experts, les novices et les femmes.

De même au tableau F.1, on peut constater que la fréquence cardiaque (FC) n'est pas significativement différente entre les trois groupes ( $P > .05$ ), mais qu'elle a augmenté de manière significative ( $P < .05$ ) lors de la cadence imposée à 9 boîtes/min. Par contre, si l'on divise la FC par la FC maximale théorique ( $220 - \text{âge}$ ), il y a une différence significative entre les experts et les novices, mais pas entre hommes et femmes. L'interaction sur la fréquence cardiaque (Groupes x Cadences) est causée par l'accroissement plus élevé de la fréquence cardiaque des novices en passant de la cadence libre à la cadence imposée que celle des experts et des femmes. On retrouve la même explication pour ce qui concerne l'interaction sur la fréquence cardiaque normalisée. En somme pour une charge de 15 kg, les femmes ont une perception de la fatigue ainsi qu'une charge physiologique similaire aux hommes. L'utilisation d'une charge de 10 kg chez les femmes a pour effet de diminuer significativement la perception de l'effort ainsi que la fréquence cardiaque par rapport à la charge de 15 kg (tableau F.2). La cadence demeure également un facteur significatif dans la perception de l'effort, mais l'interaction (charge x cadence : CxC) sur la fatigue générale signifie que la cadence à 10 kg n'a moins d'effet sur la fatigue (pratiquement égaux) en comparaison avec l'essai à 15 kg.

Le niveau de fatigue musculaire mesuré par l'EMG varie en fonction du temps ( $T_0 = \text{pré-test vs } T_1 = \text{post-test 1 ou } T_2 = \text{post-test 2}$ ; tableau F.3). L'amplitude du signal EMG du Longissimus augmente avec la fatigue pour les trois groupes, étant significativement plus élevée à la fin du second post-test ( $T_2$ ) et quelquefois après le premier post-test ( $T_1$ ). La fréquence médiane des longissimus droit et gauche (avec une charge de 15 kg) avait diminué significativement pour les trois groupes à la fin de la cadence imposée ( $T_2$ ), mais également pour les novices (longissimus droit et gauche) et les femmes (longissimus droit seulement) à la fin de la cadence libre ( $T_1$ ). On ne retrouve pas de différence significative entre  $T_1$  et  $T_2$ . Pour les ischio-jambiers, l'effet de fatigue est beaucoup moins présent. On assiste même à une augmentation de la fréquence médiane chez les 3 groupes et à une stabilisation de l'amplitude du signal EMG (différence non significative). Pour ce qui concerne la charge de 10 kg chez les femmes, elle ne conduit à aucune différence significative entre les trois tests (en vert). Les femmes ne se fatigueront pas de manière marquée à cette charge.

**Tableau F.1 : Résultats des données de fatigue et d'intensité d'effort selon l'échelle de Borg ( $\psi$ ) et de la fréquence cardiaque (valeur moyenne et valeur de l'écart-type entre parenthèses) pour les experts, les novices et les femmes pour une charge de 15 kg**

Variables	Cadence libre			Cadence imposée			Groupes <i>P</i>	Cadences <i>P</i>	GxC <i>P</i>
	Experts	Novices	Femmes	Experts	Novices	Femmes			
Fatigue générale ( $\psi$ )	4 (1.7)	3.9 (1.6)	3.4 (1.6)	5.4 (2.1)	5.1 (2.5)	4.4 (1.7)	<sup>1</sup> 0.45	<.01	0.77
Fatigue au dos ( $\psi$ )	3 (2.2)	4 (1.8)	3.0 (2.2)	5.1 (2.4)	5.1 (2.7)	3.8 (2.6)	0.37	<.01	0.07
Intensité générale ( $\psi$ )	3.7 (1.8)	3.8 (1.9)	3.5 (1.8)	4.9 (2.2)	5 (2.3)	4.0 (1.6)	0.55	<.01	0.44
Intensité au dos ( $\psi$ )	3.6 (2.2)	4.3 (1.7)	3.2 (2.1)	5.1 (2.5)	5.2 (2.5)	4.0 (2.0)	0.34	<.01	0.24
Fréquence cardiaque (bpm)	141 (23)	126 (27)	139 (16)	152 (19)	148 (20)	144 (13)	0.36	<.01	<.01
FC Normalisée (%)	78 (14)	65 (14)	78 (9)	84 (12)	76 (11)	80 (8)	<b>0.02</b> N<E	<.01	<b>0.01</b>

<sup>1</sup> ANOVA à mesures répétées : Groupes (Experts, Novices, Femmes; charge de 15 kg), Cadence (Libre, Imposée). L'échelle de Borg a été enregistrée après la cadence libre et après la cadence imposée.

**Tableau F.2 : Résultats des données de fatigue et d'intensité d'effort selon l'échelle de Borg ( $\psi$ ) et de la fréquence cardiaque (valeur moyenne et valeur de l'écart-type entre parenthèses) pour les femmes pour une charge de 15 et de 10 kg**

Variable	Cadence à 15 kg		Cadence à 10 kg		Caisse <i>P</i>	Cadence <i>P</i>	Cx C <i>P</i>
	Libre	Imposée	Libre	Imposée			
Fatigue générale ( $\psi$ )	3.4 (1.6)	4.4 (1.7)	2.9 (1.2)	3.2 (1.2)	<sup>1</sup> <b>0.03</b> 15 > 10	<.01	<.05
Fatigue au dos ( $\psi$ )	3.0 (2.2)	3.8 (2.6)	2.9 (1.7)	3.3 (1.5)	0.40	<b>0.02</b>	0.23
Intensité générale ( $\psi$ )	3.5 (1.8)	4.0 (1.6)	3.0 (1.4)	3.4 (1.1)	0.07	<b>0.02</b>	0.74
Intensité au dos ( $\psi$ )	3.2 (2.1)	4.0 (2.0)	3.2 (1.6)	3.3 (1.6)	0.25	<b>0.03</b>	0.09
Fréquence cardiaque (bpm)	139 (16)	144 (13)	123 (13)	127 (13)	<.01 15 > 10	<b>0.05</b>	0.41
FC Normalisée (%)	78 (9)	80 (8)	69 (8)	71 (8)	<.01 15 > 10	<b>0.05</b>	0.40

<sup>1</sup> ANOVA à mesures répétées : Charges (15 kg vs 10 kg), Cadence (Libre, Imposée). L'échelle de Borg a été enregistrée après la cadence libre et après la cadence imposée.

Tableau F.3 : Valeurs de  $p$  des tests EMG pour les hommes et les femmes

		Experts 15 kg				Novices 15 kg			
		T0	T1	T2	$P^a$	T0	T1	T2	$P$
Long. G	Amp. (mV)	0,096	0,115	0,126	$<,01^{0<2}$	0,119	0,138	0,165	$0,05^{0<2}$
	Fréq. (Hz)	85	79	76	$<,01^{0>2}$	91	83	82	$0,01^{0>1,2}$
Long. D	Amp. (mV)	0,092	0,109	0,113	$<,01^{0<1,2}$	0,143	0,154	0,177	$0,01^{0<2}$
	Fréq. (Hz)	85	81	77	$<,01^{0>2}$	94	83	82	$<,01^{0>1,2}$
Ischio G	Amp. (mV)	0,123	0,140	0,138	0,27	0,147	0,151	0,148	0,96
	Fréq. (Hz)	92	91	94	0,16	82	92	96	$<,01^{0<1,2}$
Ischio D	Amp. (mV)	0,121	0,138	0,132	0,13	0,112	0,120	0,169	0,08
	Fréq. (Hz)	90	94	97	$0,02^{0<2}$	92	96	92	0,63
		Femmes 15 kg				Femmes 10 kg			
		T0	T1	T2	$P$	T0	T1	T2	$P$
Long. G	Amp. (mV)	0,067	0,074	0,080	0,28	0,080	0,087	0,089	0,27
	Fréq. (Hz)	74	71	68	$0,04^{0>2}$	72	71	69	0,19
Long. D	Amp. (mV)	0,075	0,098	0,101	$<,01^{0<1,2}$	0,089	0,091	0,098	0,18
	Fréq. (Hz)	76	70	71	$0,01^{0>1,2}$	72	72	70	0,43
Ischio G	Amp. (mV)	0,304	0,367	0,307	0,31	0,215	0,320	0,297	0,35
	Fréq. (Hz)	96	104	104	$0,01^{0>1,2}$	98	107	103	0,13
Ischio D	Amp. (mV)	0,097	0,109	0,100	0,39	0,078	0,079	0,086	0,47
	Fréq. (Hz)	103	106	110	0,23	105	109	107	0,66

<sup>a</sup> ANOVA à mesures répétées: variable Test (T0 = Pré-test, T1= Post-test1; T2= Post-test2).

Les femmes n'apparaissent pas plus fatiguées musculairement que les hommes. Les manutentionnaires ont donc cumulé tout le long des transferts de caisses une fatigue musculaire au dos. L'utilisation d'une charge de 10 kg chez les femmes a eu pour effet de diminuer significativement la perception de l'effort ainsi que la fréquence cardiaque par rapport à la charge de 15 kg. Les femmes ne se fatigueraient donc pas de manière marquée à la charge de 10 kg.

Il est important de souligner que les femmes n'ont eu qu'un seul transfert aller-retour des caisses de 15 kg à effectuer à cadence imposée et qu'elles auraient probablement été beaucoup plus fatiguées si elles avaient eu à faire le même nombre de transferts (3) que les hommes. Deux raisons expliquent ce choix du protocole des auteurs : (1) ils craignaient que les femmes ne soient trop à risques de blessures au rythme imposé et agissaient par précaution et (2) ils désiraient mesurer l'effet d'une réduction d'une charge chez les femmes (à 10 kg) sans augmenter le nombre total de transferts de caisses (5 au total). Il est certain d'après les résultats obtenus sur la fatigue que les femmes auraient pu poursuivre la tâche à la cadence imposée au-delà du premier transfert de caisses de 15 kg. Au niveau des effets de cette fatigue sur les façons de faire, elle ne semble pas avoir affecté de groupes particuliers. Quelques interactions significatives (Groupe x Cadence) ont été décelées, mais ces changements étaient de faibles amplitudes.

## ANNEXE G : LES CRITÈRES D'OBSERVATIONS ERGONOMIQUES

Variables	Classes	Critères d'observations
Continuité	Par bloc au long	La manutention de la boîte est faite par phases, c'est découpé. Il y a des temps d'arrêt, des blocages, des changements de direction. Par exemple, si la boîte est lâchée et reprise. Le manutentionnaire peut se déplacer par bloc, avec des temps d'arrêts entre la prise, le déplacement et le dépôt.
		
	Par bloc prise	Le mouvement s'est fait par phase lors de la prise. Typiquement on observe le manutentionnaire face à la charge à la prise mais plus ouvert pour la phase de dépôt.
		
	Par bloc dépôt	Le mouvement s'est fait par phase lors du dépôt. Typiquement on observe le manutentionnaire face à la charge au dépôt mais orienté à la prise.
		
	Continu	La manutention s'est faite d'une seule phase d'un seul mouvement de la prise au dépôt.
		

Variables	Classes	Critères d'observations
Inclinaison de la charge	Totalemment inclinée	La charge est totalement inclinée sur une arête pour obtenir la hauteur maximum à laquelle le manutentionnaire peut la saisir lorsqu'il la soulève de la surface de prise. Il va la faire basculer ou rouler pour modifier la hauteur de prise.  <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
	Inclinée +/-	La charge est plus ou moins inclinée sur la surface de prise. Le manutentionnaire l'a faite basculer, mais il aurait été possible d'obtenir une prise plus haute avec d'autres manipulations.  <div style="display: flex; justify-content: center;">  </div>
	Non inclinée	La charge n'est pas du tout surélevée par rapport à la surface de prise. Elle est prise à plat.  <div style="display: flex; justify-content: center;">  </div>

Variables	Classes	Critères d'observations
Rapprochement de la charge	Maximum	<p>La charge est rapprochée au maximum au bord (palette ou convoyeur), de plus elle est soulevée uniquement lorsque que la partie arrière se trouve au bord de la palette. Le manutentionnaire a pu la faire glisser, basculer ou pivoter pour la déplacer au bord. Le contact avec la surface de prise a été maintenu le plus possible. Pour les situations avec le diable et pour la prise du convoyeur, la boîte est considérée à sa position de départ lorsqu'elle se trouve sur la plate-forme du convoyeur.</p> 
	Moyen	<p>La charge est plus ou moins rapprochée du bord (palette ou convoyeur). Elle est soulevée avant que la partie du fond ait atteint le bord. Le manutentionnaire l'a faite basculer, glisser, mais il aurait été possible de maintenir plus longtemps le contact avec la surface de prise avec d'autres manipulations.</p> 
	Nul	<p>La charge est prise à partir de son emplacement d'origine. Il n'y a eu aucune pré-manœuvre pour la rapprocher du bord.</p> 

Variables	Classes	Critères d'observations
Ajustements post-dépôt	Oui	Le manutentionnaire effectue des ajustements après avoir déposé la boîte sur la surface de dépôt. Il peut la faire glisser pour la déplacer, la faire basculer pour modifier la surface de contact, etc.
	Non	Le manutentionnaire n'effectue pas d'ajustements post-dépôt. La position dans laquelle il a déposé la boîte constitue son emplacement final, il n'y retouche pas. Une main posée sur la boîte (pour stabiliser), ne constitue pas un ajustement post-dépôt. Par convention, lorsque la boîte est poussée sur la partie des rouleaux du convoyeur, cela ne constitue pas un ajustement post-dépôt, la zone considérée dans ce cas se limite à l'avant du convoyeur.
Rapidité du dépôt	Le plus rapide	Le manutentionnaire dépose la charge le plus tôt possible : aussitôt qu'il rencontre la surface de dépôt. C'est très rapide.
	Moyen	Le manutentionnaire ne dépose pas la charge aussitôt qu'il rencontre la surface de dépôt, il aurait pu le faire plus rapidement.
Inclinaison au dépôt	Totalement inclinée	La charge est déposée inclinée sur la surface de dépôt. Le premier contact entre la boîte et la surface peut être : une arête, un coin ou l'extrême bord d'une face. 
	Inclinée +/-	La charge est déposée plus ou moins inclinée sur la surface de dépôt. Le premier contact entre la boîte et la surface peut être : la moitié d'une face. 
	Non inclinée	La charge est déposée à plat sur la surface de dépôt, sur une face rectangulaire ou sur une face carrée. 

## ANNEXE H : LES HUIT RÈGLES DE LA MANUTENTION

**Tableau H.1 : Les huit règles qui encadrent l'action en manutention (rapport de l'IR SST R-690, Denis et coll., 2011<sup>6</sup>)**

Principe d'action	Aide-mémoire	Description
1 Alignement	La colonne vertébrale est conçue et adaptée pour travailler de façon alignée.	Fait référence aux postures les plus adéquates pour le dos. Il faut à la fois respecter les courbures naturelles du dos, sans être trop penché vers l'avant, et travailler de façon symétrique.
2 Bras de levier	L'éloignement de la charge multiplie l'effort	À l'effort déjà considérable du bas du dos pour soutenir le poids du corps, s'ajoute la charge qui représente un poids d'autant plus élevé qu'elle sera éloignée de la personne qui la tient. Il est donc préférable de tenir toute charge le plus près possible de soi.
3 Mise sous charge	Moins on a la charge longtemps dans les mains, plus on s'économise.	La phase où l'on supporte complètement la charge est la plus exigeante : il faut tenter de la réduire au maximum.
4 Utilisation de la charge	Il est possible de faire « travailler la charge pour soi »	Grâce à sa position dans l'espace ou via ses propriétés intrinsèques, il est souhaitable de travailler <b>avec</b> la charge plutôt que de travailler <b>contre</b> elle.
5 Équilibre corporel	Être en équilibre et prêt à réagir pour éviter les mauvaises surprises.	L'ajout d'une charge externe au corps influence la qualité de l'équilibre, tout comme les surfaces sur lesquelles on se déplace. Avoir à récupérer d'un déséquilibre et/ou réagir à un imprévu implique des efforts soudains et brusques qui sont dommageables : il faut éviter ces efforts inutiles et nuisibles
6 Utilisation du corps	Le corps peut contribuer à réduire l'effort	Il est possible de mettre le corps au service des gestes que requiert la manutention L'utilisation du corps passe d'abord par la contribution des membres inférieurs, qui réalisent le gros des efforts.
7 Transition entre prise et dépôt	Il faut choisir la manière de parcourir l'espace entre la prise et le dépôt	Le trajet ou parcours choisi pour passer de la prise au dépôt influence particulièrement la durée de maintien de la charge. Il faut choisir la transition appropriée.
8 Rythme du mouvement	Le « pattern » ou motif rythmique et la qualité du mouvement.	Le jeu de la vitesse et la fluidité des mouvements effectués influencent les contraintes au dos et la durée de maintien de la charge. Il faut savoir choisir le rythme qui convient et éviter les mouvements par à-coups, saccadés.

<sup>6</sup> Denis, D., Lortie, M., St-Vincent, M., Gonella, M., Plamondon, A., Delisle, A., Tardif, J. (2011) Programme de formation participative en manutention manuelle. IR SST rapport R-690, p.36.