

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Chargement cumulé au bas du dos : effet de l'expérience en manutention et
comparaison de méthodes simplifiées pour l'estimer.

par

Josianne Corriveau

Mémoire présenté à la Faculté d'éducation physique et sportive

En vue de l'obtention du grade de

Maîtrise ès Sciences de l'activité physique

Prévention des troubles musculosquelettiques

Avril 2013

© Josianne Corriveau, 2013



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-94349-6

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-94349-6

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté d'éducation physique et sportive

Chargement cumulé au bas du dos : effet de l'expérience en manutention et
comparaison de méthodes simplifiées pour l'estimer.

Josianne Corriveau

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Denis Gagnon

Président du jury

Alain Delisle

Directeur de recherche

Félix Berrigan

Membre interne du jury

Denis Marchand

Membre externe du jury

Mémoire accepté le _____

SOMMAIRE

Il y a plusieurs facteurs de risque reconnus de lombalgies. Les tâches de manutention ainsi que les chargements cumulés au dos font partis de ces facteurs de risque. Cette étude vise à déterminer si l'expertise a un impact sur le chargement cumulé sur L5/S1 lors de deux tâches de manutention. Il est supposé que les travailleurs expérimentés ont un chargement cumulé moindre que les travailleurs novices. Elle vise également à vérifier l'impact du chargement cumulé sur L5/S1 d'une cadence imposée lors de la première tâche et de la configuration du lieu de travail lors de la 2^e tâche. Pour ces objectifs, il est supposé que la cadence imposée apportera un chargement cumulé moins élevé que la cadence libre et qu'il n'y aura pas de différence entre les configurations. Finalement, le dernier objectif est de déterminer le nombre de cycles de manutention minimal nécessaire pour faire une extrapolation des chargements cumulés qui n'aura pas de différence significative lorsque comparé au nombre total de cycles effectués. Il est supposé que l'utilisation d'un nombre restreint de cycles de manutention devrait permettre d'extrapoler les données avec un faible taux d'erreur, mais qu'il en faudra plus de quatre étant donné la variabilité des tâches à accomplir.

Quinze manutentionnaires expérimentés et 15 novices ont participé à l'étude. Les participants devaient effectuer deux tâches. La première était une tâche de palettisation où les participants devaient faire des aller-retour à cadences libre et imposée de 24 boîtes d'une palette vers une autre, pour un total de 96 boîtes considérées. La deuxième tâche était un transfert aller-retour de quatre boîtes d'un convoyeur vers un diable. Soixante-quatre transferts sont faits dans chacune des deux configurations, soit 90° et 180°, pour un total de 128 boîtes déplacées.

Un système optoélectronique, une plate-forme de force et un modèle de dynamique inverse ont été utilisés pour estimer les moments de force résultants et

asymétriques en L5/S1. L'intégrale des moments a servi à déterminer le chargement cumulé. Des analyses de variance à mesures répétées ont été effectuées afin de déterminer s'il y a des effets d'expertise, de cadence et de configuration. Des tests T ont été effectués pour comparer les méthodes simplifiées aux standards de comparaison. Un seuil alpha de 0,05 a été utilisé pour tous les tests statistiques.

Il n'y a pas d'effet d'expertise sur les moments de force résultants, et ce, pour les deux tâches effectuées, mais les manutentionnaires expérimentés ont des moments de force asymétriques cumulés significativement moins élevés que les manutentionnaires novices lors de la première tâche.

La cadence est un facteur déterminant dans le calcul du chargement cumulé. Les moments de force résultants et asymétriques sont moins élevés lors de la cadence imposée plus rapidement que lors de la cadence libre, et ce peu importe l'expertise des manutentionnaires. Aussi, le fait de déplacer des boîtes à 90° donnent des chargements cumulés plus petits qu'à 180°.

Les estimations des méthodes simplifiées varient en fonction des différentes conditions observées (cadence, configuration, expertise). Toutefois, les coefficients de variation (COV) de presque toutes les méthodes étudiés sont inférieurs à 10%, ce qui signifie que les résultats seraient semblables à ceux obtenus dans cette étude si la même expérimentation était refaite dans les mêmes conditions.

En conclusion, l'expertise ne semble pas être un facteur déterminant qui influence le chargement cumulé, mais la cadence de travail, la configuration de l'espace de travail et le type de transferts effectués semblent en être. Il s'agit de la première étude biomécanique considérant un si grand nombre de transferts de boîtes pour déterminer le nombre minimal de cycles de manutention nécessaire à une extrapolation fiable des chargements cumulés. Pour le moment, la meilleure solution demeure de considérer tous les transferts dans le calcul des chargements cumulés. De

plus, le fait de ne pas considérer les périodes où aucune charge n'est supportée par le manutentionnaire, c'est-à-dire les moments où le manutentionnaire n'a pas de boîte dans les mains, sous-estime de près de 20% les chargements cumulés.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	3
LISTE DES TABLEAUX	10
LISTE DES FIGURES	12
REMERCIEMENTS	15
INTRODUCTION	16
PREMIER CHAPITRE	
REVUE DE LITTÉRATURE	18
1. INTRODUCTION	18
2. FACTEURS DE RISQUE DES TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)	19
3. PRINCIPAUX MÉCANISMES BIOMÉCANIQUES DE LA LOMBALGIE	20
4. MÉTHODES UTILISÉES POUR ESTIMER LES CHARGEMENTS AU DOS.....	25
5. FACTEURS LIÉS À LA MANUTENTION.....	26
5.1 La hauteur de la charge	28
5.2 Le poids de la charge	29
5.3 L'effort asymétrique	30
5.4 La distance horizontale entre L5/S1 et l'objet à soulever	30
5.5 La fréquence et le nombre de répétitions	31
5.6 La vitesse et l'accélération.....	32
5.7 Lever et abaisser une charge	33
5.8 Le chargement cumulé	34
6. MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE CALCUL DU CHARGEMENT CUMULÉ.....	35
6.1 Méthodes par questionnaire/interview	35
6.2 Méthodes basées sur l'analyse vidéo	37

DEUXIÈME CHAPITRE	
PROBLÉMATIQUE.....	47
1. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE.....	49
TROISIÈME CHAPITRE	
MÉTHODOLOGIE	50
1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	50
2. DESCRIPTION DES SUJETS	51
3. SYSTÈMES DE MESURE UTILISÉS	52
3.1 Capteurs de force	52
3.2 Système optoélectronique	53
3.3 Caméras vidéo.....	53
3.4 Synchronisation des systèmes de mesure.....	53
4. MODÈLE BIOMÉCANIQUE SEGMENTAIRE.....	54
5. PREMIÈRE TÂCHE	55
6. DEUXIÈME TÂCHE	56
7. ESTIMATION DU CHARGEMENT CUMULÉ.....	58
8. ANALYSES STATISTIQUES	61
8.1 Première tâche.....	62
8.2 Deuxième tâche.....	64
QUATRIÈME CHAPITRE	
RÉSULTATS.....	67
1. ÉTUDE DU MOMENT RÉSULTANT CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE PALETTES (1 ^{RE} TÂCHE).....	67
1.1 Effets de l'expertise et de la cadence sur le chargement cumulé	67
1.2 Méthode simplifiée consécutive – Cadence libre.....	68
1.3 Méthode simplifiée consécutive – Cadence imposée.....	71

1.4	Méthode simplifiée de transferts répartis également.....	75
1.5	Méthode simplifiée aléatoire.....	77
2.	ÉTUDE DU MOMENT ASYMÉTRIQUE CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE PALETTES (1 ^{RE} TÂCHE).....	80
2.1	Effet de l'expertise et de la cadence sur le chargement cumulé.....	80
2.2	Méthode simplifiée consécutive – Cadence libre.....	81
2.3	Méthode simplifiée consécutive – Cadence imposée.....	86
2.4	Méthode simplifiée de transferts répartis également.....	90
2.5	Méthode simplifiée aléatoire.....	94
3.	ÉTUDE DU MOMENT RÉSULTANT CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE BOÎTES ALLER-RETOUR ENTRE UN DIABLE ET UN CONVOYEUR (2 ^E TÂCHE)	98
3.1	Effets de l'expertise, de la configuration et du type de transfert sur le chargement cumulé.....	99
3.2	Méthode simplifiée consécutive.....	100
4.	ÉTUDE DU MOMENT ASYMÉTRIQUE CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE BOÎTES ALLER-RETOUR ENTRE UN DIABLE ET UN CONVOYEUR (2 ^E TÂCHE)	102
4.1	Effets de l'expertise, de la configuration et du type de transfert sur le chargement cumulé.....	103
4.2	Méthode simplifiée consécutive.....	104
 CINQUIÈME CHAPITRE		
DISCUSSION		
		106
1.	RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	106
2.	COMPARAISON DES TRAVAILLEURS NOVICES ET DES EXPERTS.....	106
3.	EFFETS DE LA CADENCE, DE LA CONFIGURATION ET DU TYPE DE TRANSFERTS	108
4.	ESTIMATION DU CHARGEMENT CUMULÉ POUR UNE TÂCHE DE PALETTISATION.....	112

5. ANALYSE DES MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE LA 2 ^E TÂCHE.....	116
6. FORCES ET FAIBLESSES DE L'ÉTUDE	118
SIXIÈME CHAPITRE	
CONCLUSION	121
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	
Caractéristiques anthropométriques des 15 participants experts et des 15 participants novices sélectionnés.....	52
Tableau 3.2	
Résumé des deux tâches de manutention effectuées.....	58
Tableau 4.1	
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence libre.....	69
Tableau 4.2	
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence imposée.....	73
Tableau 4.3	
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de transferts répartis également, selon la cadence libre et la cadence imposée.	75
Tableau 4.4	
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes sélectionnées aléatoirement, selon la cadence libre et la cadence imposée.	78
Tableau 4.5	
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence libre.....	83
Tableau 4.6	
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence imposée.....	87
Tableau 4.7	
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par la méthode de transferts répartis également selon les cadences libre et imposée	90

Tableau 4.8

Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par la méthode aléatoire selon les cadences libre et imposée..... 95

Tableau 4.9

Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 16 aller-retour 100

Tableau 4.10

Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 16 aller-retour 104

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Modèle théorique des facteurs de risque des TMS	20
Figure 1.2 Niveau du seuil de tolérance en fonction d'une force excessive	21
Figure 1.3 Niveau du seuil de tolérance en fonction d'une force appliquée pendant une longue période de temps	22
Figure 1.4 Niveau du seuil de tolérance en fonction de chargements répétitifs.....	22
Figure 1.5 Défaillance au niveau ligamentaire	24
Figure 3.1 Illustration de la 1 ^{re} tâche qui consistait à déplacer 24 boîtes entre deux palettes	56
Figure 3.2 Illustration de la 2 ^e tâche qui consiste à transférer 4 boîtes de formats identiques selon la configuration à 90°	57
Figure 3.3 Illustration du moment net en fonction du temps et des quatre événements définis durant un transfert de boîtes.....	59
Figure 3.4 Illustration du moment net en fonction du temps et de l'intervalle de temps 1 à 4 pris en considération pour le calcul du chargement cumulé de la 1 ^{re} tâche	60
Figure 3.5 Illustration du moment net en fonction du temps de l'intervalle de temps entre les événements 1 à 1 pris en considération pour le calcul du chargement cumulé pour la 2 ^e tâche	61
Figure 3.6 Illustration des différents scénarios utilisés pour effectuer les analyses des méthodes simplifiées de la première tâche.	65
Figure 3.7 Illustration des différents scénarios utilisés pour effectuer les analyses des méthodes simplifiées de la deuxième tâche.	66
Figure 4.1 Moments résultants cumulés de la 1 ^{re} tâche selon la cadence et l'expertise.....	67
Figure 4.2 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement	70
Figure 4.3 Coefficients de variation des ratios des MRC à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement	71
Figure 4.4 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement	74

Figure 4.5 Coefficients de variation des ratios des MRC à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement	74
Figure 4.6 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode de transferts répartis également	76
Figure 4.7 Coefficients de variation des ratios sur les MRC pour la méthode d'extrapolation basée sur des transferts répartis également en fonction du nombre de boîtes et pour la tâche effectuée à cadence libre et imposée.....	76
Figure 4.8 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode aléatoire.....	79
Figure 4.9 Coefficients de variation des ratios sur les MRC pour la méthode d'extrapolation basée sur des boîtes sélectionnées aléatoirement en fonction du nombre de boîtes et pour la tâche effectuée à cadence libre et imposée.	79
Figure 4.10 Moments asymétriques cumulés de la 1 ^{re} tâche selon la cadence et le niveau d'expertise.....	80
Figure 4.11 Ratios des MAC (estimé/standard) des travailleurs expérimentés (A)et novices (B) à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées et de leur emplacement dans l'extrapolation	84
Figure 4.12 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence libre.	85
Figure 4.13 Ratios des MAC (estimé/standard) des travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement	88
Figure 4.14 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence imposée.	89
Figure 4.15 Ratios des MAC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode répartie également dans le temps pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).	92
Figure 4.16 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes réparties également dans le temps utilisées pour faire les extrapolations à cadence libre et imposée pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).	93

Figure 4.17 Ratios des MAC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode aléatoire pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).	96
Figure 4.18 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes prises aléatoirement utilisées pour faire les extrapolations à cadence libre et imposée pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).	97
Figure 4.19 Moments résultants cumulés selon la méthode de calcul du chargement cumulé utilisée.....	98
Figure 4.20 Moments résultants cumulés de la 2 ^e tâche selon la configuration et type de transferts lorsque tous les événements sont pris en considération	99
Figure 4.21 Ratios des MRC (estimé/standard) en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement	101
Figure 4.22 Coefficients de variation des ratios des MRC en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement.....	101
Figure 4.23 Moments asymétriques cumulés selon la méthode de calcul du chargement cumulé utilisée	102
Figure 4.24 Moments asymétriques cumulés de la 2 ^e tâche selon la configuration et type de transferts lorsque tous les événements sont pris en considération.	103
Figure 4.25 Ratios des MAC (estimé/standard) en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement	105
Figure 4.26 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs utilisés dans l'extrapolation et selon leur emplacement	105
Figure 5.1 Durée totale (secondes) pour effectuer les aller-retour des boîtes du diable vers le convoyeur et du convoyeur vers le diable de la 2 ^e tâche.....	118

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail pour m'avoir permis d'utiliser les données d'un de leur projet de recherche. Je remercie également le groupe de recherche sur la manutention pour avoir effectué les collectes de données qui font l'objet de ce mémoire.

Je remercie également Alain Delisle, mon directeur de maîtrise pour son temps, son implication, ses commentaires et ses suggestions tout au long de ma maîtrise. J'aimerais aussi remercier Félix Berrigan et Denis Marchand, membres de mon jury pour leur temps investi dans l'évaluation de ce mémoire.

J'aimerais également remercier ma famille, mon conjoint et mes amis pour leur soutien et leurs encouragements permanents.

INTRODUCTION

La manutention est reconnue pour être un facteur de risque important des lombalgies (Bigos et al., 1986; Spengler et al., 1986). Au Québec, les manutentionnaires sont les travailleurs qui se blessent au dos le plus fréquemment comparativement aux autres travailleurs (CSST, 2010). Dans une économie mondialisée où les produits sont fabriqués dans d'autres pays, il y a un nombre croissant de centres de distribution (Marras, 2010) dans lesquels la manutention est très présente. Ainsi, même si les avancées technologiques pourraient laisser croire à une diminution de la manutention manuelle, elle demeure très présente.

L'étude des chargements cumulés pourrait permettre de quantifier les risques associés à la manutention. Toutefois, il serait très long, coûteux et fastidieux d'évaluer les chargements cumulés sur une journée de travail complète. C'est pourquoi il est important de développer des méthodes simplifiées pour estimer les chargements cumulés. Jusqu'à maintenant, les méthodes d'estimation sont très différentes entre les études (Waters et al., 2006b).

Des études ont été menées afin de déterminer s'il y a des différences entre des manutentionnaires expérimentés et novices. Il en est ressorti que même s'il n'y a pas de différence sur les chargements maximaux entre les deux groupes de travailleurs (Plamondon et al., 2010; 2012), il y a une différence au niveau des postures et des techniques de travail utilisées (Authier et al., 1995; 1996; Plamondon et al., 2010). Les façons de faire développées par les experts pourraient être avantageuses en terme de production et pourraient être plus sécuritaires (Authier et al., 1995; 1996; Plamondon et al., 2010). Ces différences pourraient transparaître dans l'étude des chargements cumulés.

Cette étude vise donc à déterminer si l'expertise a un impact sur l'estimation des chargements cumulés sur L5/S1 lors de deux tâches de manutention comportant des conditions de travail différentes. Elle vise également à déterminer si les conditions de travail différentes (cadence, configuration et type de transferts) influencent les chargements cumulés estimés sur L5/S1. Elle vise aussi à déterminer le nombre de cycles de manutention nécessaires à une extrapolation acceptable des chargements cumulés sur L5/S1.

PREMIER CHAPITRE

REVUE DE LITTÉRATURE

1. INTRODUCTION

La prévalence des lombalgies dans la vie de tous les jours pour la population en générale est estimée approximativement entre 60 % et 90 % (Bell et Burnett, 2009). Selon Manek et al. (2005), il y a approximativement 90 % des douleurs au dos qui n'ont pas de cause identifiable et qui sont désignées comme étant non-spécifiques. Au Canada entre 2002 et 2004, il y a eu près de 300 000 cas de blessures professionnelles avec perte de temps qui ont été réclamées (Wilkins et Mackenzie, 2007). Au Québec, il y a 21 997 lésions professionnelles qui ont été indemnisées à cause d'une affection vertébrale professionnelle survenue au cours de l'année 2009 (CSST, 2010). Les blessures au dos constitueraient 30 % des blessures en milieu de travail (NRC, 2001). La région lombaire est affectée dans 60,1 % des cas d'affections vertébrales survenues entre 2006 et 2009 (CSST, 2010). Les douleurs au dos peuvent donc être considérées comme étant un problème de santé qui a un rôle socio-économique important.

La manutention est reconnue pour être un facteur de risque important des lombalgies (Bigos et al., 1986; Spengler et al., 1986). Au Québec, les manutentionnaires sont les travailleurs qui se blessent au dos le plus fréquemment comparativement aux autres travailleurs (CSST, 2010). Entre 2004 et 2008, il y a eu 69 078 travailleurs qui ont été indemnisés en raison de douleurs au dos causées par des tâches de manutention, ce qui totalisait un coût de plus de 400 millions de dollars (IRSST, 2011). Le problème des blessures musculo-squelettiques en manutention est multifactoriel et il n'existe pas de solution unique pour tous les cas (Burdorf et Sorock 1997).

Dans une économie mondialisée où les produits sont fabriqués dans d'autres pays, il y a un nombre croissant de centres de distribution (Marras, 2010) dans lesquels la manutention est très présente. Ainsi, même si les avancées technologiques pourraient laisser croire à une diminution de la manutention manuelle, elle demeure très présente.

2. FACTEURS DE RISQUE DES TROUBLES MUSCULOSQUELETTIQUES (TMS)

Plusieurs facteurs de risque peuvent être à l'origine d'un trouble musculosquelettique ou peuvent contribuer à leur développement. Un modèle expliquant la diversité des facteurs de risque a été développé (figure 1.1, NRC, 2001). Les facteurs ont été divisés en deux grandes catégories, soit : le milieu de travail et la personne. Dans les facteurs de risque retrouvés dans le milieu de travail, il y a les charges externes, les facteurs organisationnels et le contexte social. Les travailleurs n'ont pas toujours de contrôle sur ces facteurs qui incluent, entre autres, la cadence, la disposition des matériaux, le poids des charges, les relations entre la direction et les employés, etc. Les facteurs de risque du milieu de travail influencent également les facteurs en rapport à la personne, qui incluent les chargements biomécaniques, la tolérance des tissus internes et les réponses du corps comme les inconforts et les incapacités. Tous les facteurs associés à la personne sont interreliés entre eux et chacun peut en influencer un autre. Il y a également les facteurs individuels comme : les techniques de travail qui sont propres à chacun et l'expertise qui peuvent influencer tous les autres facteurs liés à la personne.

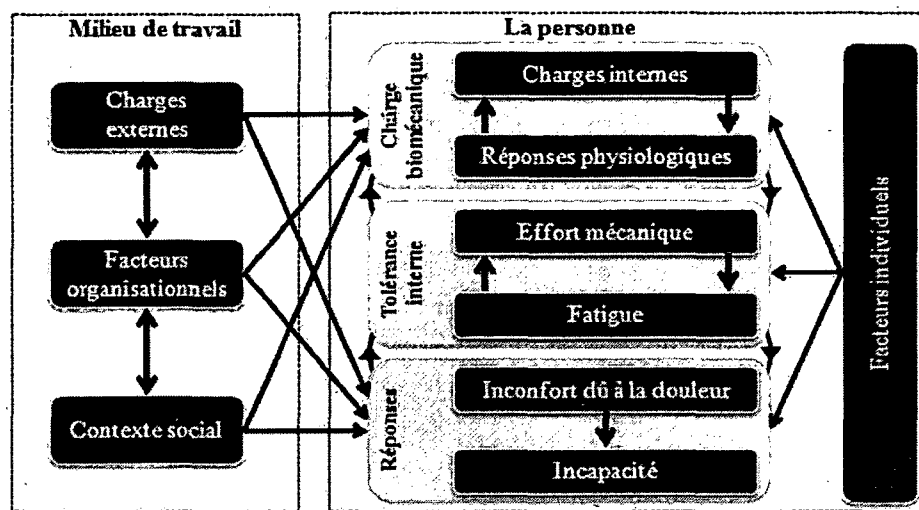


Figure 1.1 Modèle théorique des facteurs de risque des TMS

3. PRINCIPAUX MÉCANISMES BIOMÉCANIQUES DE LA LOMBALGIE

Il est généralement reconnu qu'un étirement ou une déchirure d'un tissu se produit lorsque la force appliquée est plus grande que le seuil de tolérance du tissu (ligament, muscle, tendon, disque, corps vertébral) (Chaffin et al., 1999; Marras, 2000; McGill, 1997). La force appliquée peut excéder le seuil de tolérance du tissu de trois façons. Une façon de dépasser le seuil de tolérance du tissu est d'appliquer une force qui l'excède (figure 1.2; McGill, 1997). La charge sur les tissus du dos peut être plus élevée que la tolérance de ceux-ci, par exemple lorsqu'il est demandé de soulever un objet trop lourd ou en effectuant un mouvement brusque. Il y a également le fait de maintenir la même charge sur une période de temps prolongée qui peut faire en sorte que le seuil de tolérance des tissus diminue. Ainsi, un risque de blessure à long terme est créé (figure 1.3; McGill, 1997). Le nombre de répétitions est aussi un facteur de risque important. En augmentant le nombre de répétitions d'un mouvement, le seuil de tolérance du tissu diminue. Ainsi, le fait de continuer à répéter

le mouvement peut faire en sorte que le seuil de tolérance est dépassé (figure 1.4; McGill, 1997). Ceci peut donc occasionner des douleurs.

Jusqu'à maintenant, la plupart des études se concentrent à évaluer les chargements maximaux, ce qui correspond plus précisément à la figure 1.2 où il y a une surcharge soudaine sur les tissus. Le cumul des chargements correspond plutôt aux figures 1.3 et 1.4. Il s'agit de regarder les chargements pendant tout le temps où les tâches sont effectuées. Même si les forces appliquées sont variables, le seuil de tolérance des tissus peut diminuer et être dépassé par la suite, ce qui pourrait causer des douleurs. Le cumul des chargements a commencé à être investigué, mais il y a place à plusieurs autres études afin d'éclaircir ce phénomène et ainsi de développer des solutions afin de réduire les risques de blessures qui y sont associés.

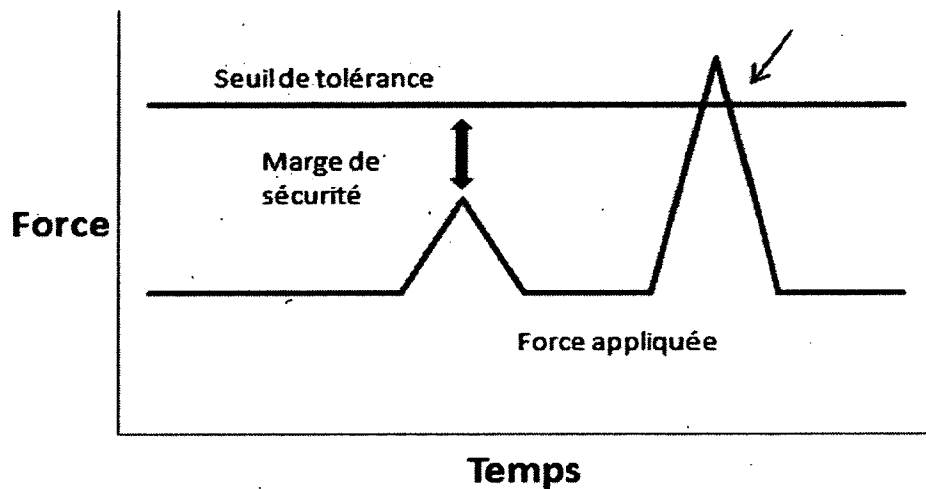


Figure 1.2 Niveau du seuil de tolérance en fonction d'une force excessive

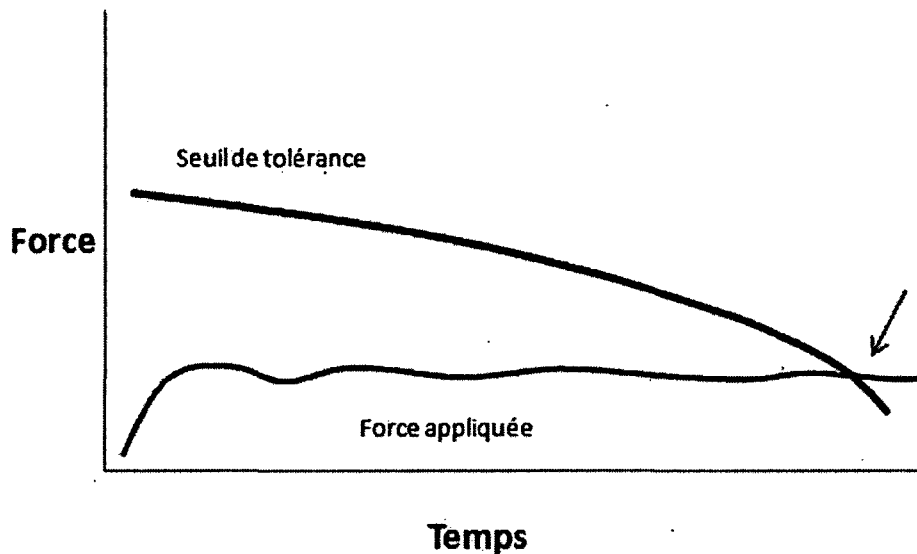


Figure 1.3 Niveau du seuil de tolérance en fonction d'une force appliquée pendant une longue période de temps

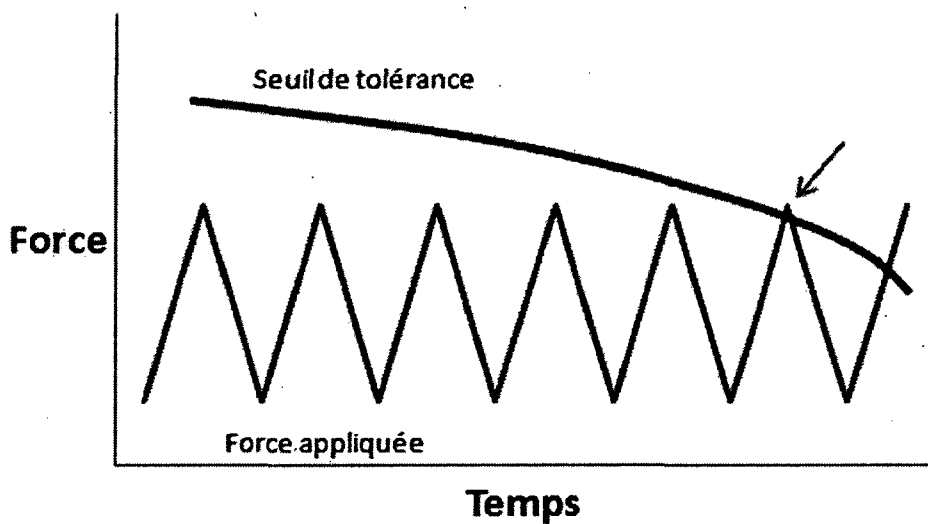


Figure 1.4 Niveau du seuil de tolérance en fonction de chargements répétitifs

Selon Panjabi (1992), la stabilisation du système spinal se fait selon trois sous-systèmes soient : le sous-système passif, le sous-système actif et le sous-système neural. Le sous-système passif correspond aux vertèbres, aux disques et aux ligaments. Le sous-système actif correspond aux muscles et aux tendons autour de la

colonne vertébrale qui sont en mesure d'y appliquer une force. Le sous-système neural correspond aux nerfs et au système nerveux central. Les composantes des sous-systèmes correspondent donc à des tissus qui ont un seuil de tolérance qu'il ne faut idéalement pas dépasser pour éviter de se blesser comme vu précédemment. Une dysfonction d'une des composantes de ces trois sous-systèmes peut mener à des dysfonctions plus importantes. Panjabi a émis l'hypothèse que la première réponse à une dysfonction serait normale. Ensuite, la deuxième réponse serait encore normale, mais avec une altération dans le système de stabilisation du tronc. La troisième réponse serait une dysfonction de tous les sous-systèmes si le problème n'est pas réglé, ce qui mènerait à une douleur lombaire.

Toujours selon Panjabi (2006), la chronicité des douleurs au dos s'expliquerait en huit étapes (figure 1.5). Tout d'abord, il y aurait un trauma ou une répétition de traumas qui causent une rupture du ligament rachidien et blessent les mécanorécepteurs situés dans le ligament. Lorsque le dos blessé doit effectuer une tâche ou répondre à une charge externe, les transducteurs des signaux générés par les mécanorécepteurs sont altérés. Les unités de contrôle neuromusculaire ont de la difficulté à interpréter les signaux altérés des transducteurs parce qu'il y a un décalage entre les signaux spatiaux et temporels attendus et les signaux altérés reçus. La réponse musculaire générée par l'unité de contrôle neuromusculaire est altérée, ce qui affecte la coordination spatiale et temporelle ainsi que l'activation de chaque muscle spinal. Le patron de la réponse musculaire altérée mène à une rétroaction altérée à l'unité de contrôle via les tendons des muscles et les mécanorécepteurs blessés. La réponse musculaire altérée produit un haut niveau de stress et crée une élongation de la colonne qui peut résulter en une rupture des ligaments spinaux, des mécanorécepteurs et des muscles et ainsi surcharger les facettes des vertèbres lombaires. Par la suite, le stress sur la colonne et son élongation produisent de l'inflammation des tissus spinaux qui contiennent des récepteurs nociceptifs et des structures neuronales. Finalement, à long terme, une douleur chronique peut se

développer. Cette hypothèse comporte plusieurs composantes, ce qui fait en sorte qu'elle serait très compliquée, voire même presque impossible à prouver totalement.

Depuis plusieurs années, les ligaments étaient considérés comme étant uniquement une structure mécanique qui sert à maintenir les os ensemble. En fait, c'est la synergie qu'il y a entre les ligaments et les muscles associés qui a un grand rôle dans le maintien de la stabilité des articulations. Si un ligament inflammé est exposé de façon continue à une charge statique ou cyclique, il peut en résulter une inflammation chronique (Solomonow, 2006). Tout comme présenté précédemment, si un ligament est exposé de façon cyclique ou statique, il en ressort un chargement cumulé sur le tissu qui peut dépasser le seuil de tolérance.

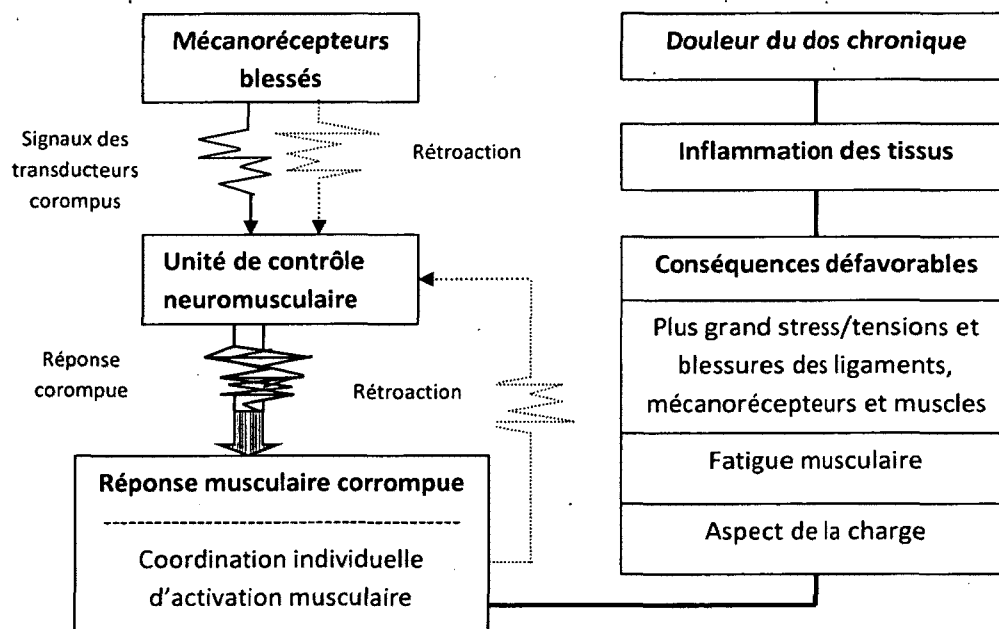


Figure 1.5 Défaillance au niveau ligamentaire

Le lien de ces théories avec les douleurs lombaires est que si un tissu est irrité ou a des dommages à la suite d'un cumul d'événements, il y a un risque de douleur. Donc, si un muscle, un tendon, un ligament ou un autre tissu d'un des sous-systèmes a des dommages, un des processus décrits plus haut peut s'enclencher, ce qui peut conduire à de la douleur.

4. MÉTHODES UTILISÉES POUR ESTIMER LES CHARGEMENTS AU DOS

Tout d'abord, une précision importante à apporter est qu'il n'est pas possible de mesurer les chargements directement sur les structures, mais qu'il est possible de les estimer grâce à des modèles biomécaniques quantifiant les moments externes. En fait, les muscles et les structures passives doivent produire des moments équivalents aux moments externes causés par la manutention de charges. Lorsqu'un moment externe est exercé, ce sont les actions des muscles et les postures qui déterminent les forces de compression et de cisaillement appliquées sur les structures. Il a été démontré qu'un modèle biomécanique complexe utilisant 76 fibres musculaires passant par la ceinture lombaire et utilisant plusieurs niveaux articulaires était plus précis qu'un modèle à articulation simple qui utilise seulement par exemple le niveau L4/L5 pour estimer les chargements lombaires (Gagnon et al., 2011). Jusqu'à ce jour, plusieurs de ces modèles évaluant les forces de compression et de cisaillement utilisent des équivalences musculaires de peu de muscles, voire par exemple Jäger et al. (2000) qui utilisent seulement cinq muscles. La plupart des modèles utilise uniquement un seul niveau articulaire, principalement L4/L5 ou L5/S1 et doit considérer les moments externes afin d'estimer les forces de compression et de cisaillement. Ces simplifications de modèles peuvent mener à un niveau d'erreur élevé des forces de compression et de cisaillement. C'est pour cela qu'il serait inadapté d'utiliser ces variables dans l'estimation du chargement cumulé.

Étant donné que des modèles validés ont été développés pour estimer les moments externes de façon précise, par exemple Plamondon et al. (1996), il est pertinent d'utiliser les moments externes comme variable pour estimer les chargements cumulés au dos. Plus les moments externes sont élevés et plus le risque de se blesser est grand.

5. FACTEURS LIÉS À LA MANUTENTION

Les causes menant à des blessures au dos sont multifactorielles. Dans le cas de ce mémoire, seul les facteurs liés à la manutention, et plus principalement aux manutentions de boîtes, seront traités.

Le travail est un facteur qui contribue au développement des lombalgies. Ferguson et al. (2004) ont mené une étude qui a comparé deux groupes, soit un groupe ayant eu des lombalgies nécessitant une visite chez un médecin dans les trois mois précédents l'étude et un groupe asymptomatique. Ils ont démontré que le travail à effectuer, et ce peu importe la nature du travail, expliquait 88 % de la variance des risques de lombalgie.

Il est reconnu que le travail de manutention peut être une cause de lombalgie (Bigos et al., 1986; NIOSH, 1981; Spengler et al., 1986). La tâche à exécuter peut avoir une grande influence sur les risques de développer des douleurs lombaires. Dans la manutention, il est inclus le fait de soulever, pousser, tirer, déplacer et déposer une charge. Les études épidémiologiques recensées par Hoozemans et al. (1998) ont établi que les faits de pousser et de tirer une charge sont associés aux douleurs au dos. Il est tout de même intéressant de noter que le fait de tirer augmente les moments nets davantage que le fait de pousser une charge (Hoozemans et al., 2004). Dans le cas de ce mémoire, il y a seulement la manutention d'objets inertes qui est prise en considération. Donc, la manutention de personnes comme dans le cas d'un emploi de préposé aux bénéficiaires n'est pas développée, et ce, même si ce type

d'emploi peut tout de même être une cause de lombalgie. Les tâches de manutention demandant de pousser et de tirer une charge ne seront également pas prises en considération étant donné que la nature des tâches de cette étude demande plutôt de soulever une charge, de la transporter et de la déposer, et non de la tirer ou de la pousser.

Il a été constaté que le fait de soulever une charge (Hoogendoorn et al., 2000) ou de faire des mouvements énergiques était des facteurs de risque de lombalgie (Marras, 2000). Selon une revue de littérature (Marras, 2000), il y a une forte évidence entre ces deux facteurs et les troubles musculosquelettiques. Le fait de soulever une charge de façon dynamique pourrait directement influencer le chargement et la tolérance de la région lombaire à se blesser (Granata et Marras, 1999). Cela est logique si l'on considère que la force est proportionnelle au produit de la masse par l'accélération. Hoogendoorn et al. (2000) ont également constaté que l'angle à laquelle le tronc est fléchi pour soulever la charge est un facteur de risque. En effet, la relation entre les lombalgies et une flexion du tronc de 60° était plus grande que la relation entre les lombalgies et une flexion du tronc de 30°.

En général, le risque de développer des troubles musculosquelettiques augmente lorsque les forces appliquées lors d'une journée de travail sont près de la force maximale et lorsque les forces maximales acceptables sont dépassées (Hoozemans et al., 1998 ; McGill, 1997). C'est essentiellement le principe des chargements maximaux qui a été étudié jusqu'à maintenant dans la littérature. Toutefois, des études ont commencé à étudier le principe des chargements cumulés, qui correspond à des forces appliquées sur une longue période de temps ou de façon répétitive et qui peuvent dépasser le seuil de tolérance des tissus (Parkinson et Callaghan, 2009).

Le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) a développé un outil afin d'évaluer les risques de blessures dus à la manutention de

charge. Cet outil, qui est un des indicateurs de risque le plus reconnu à travers le monde, consiste en deux équations: la limite de poids recommandé et l'index de levée (Waters et al., 2011a). L'équation de la limite de poids recommandé prend en considération des caractéristiques décrivant la tâche comme la distance horizontale et verticale de l'origine de la charge et de la destination, la fréquence de manutention, la durée de la tâche, l'asymétrie et la façon dont les mains sont positionnées. L'index de levée consiste en un ratio du poids de la charge à soulever sur la limite de poids recommandé calculée.

En lien avec les caractéristiques du NIOSH, les facteurs de risque liés à la manutention qui seront considérés dans ce chapitre sont : la hauteur de la charge, le poids de la charge, l'asymétrie du mouvement, la distance horizontale entre L5/S1 et l'objet à soulever, la fréquence et le nombre de répétitions, la vitesse et l'accélération, le type de tâche ainsi que le chargement cumulé.

5.1 La hauteur de la charge

Hoozemans et al. (2008) ainsi que Davis et Marras (2005) ont démontré que plus la hauteur de la charge est basse, plus le chargement sur le bas du dos est élevé. Davis et Marras (2005) ont comparé les chargements au dos occasionnés par la manutention de charge à trois différentes hauteurs et ont établi que le chargement au dos était le plus élevé lorsque la charge était prise à la hauteur des genoux ; ce qui correspondait à la hauteur la plus basse étudiée. La prise de la charge à la hauteur des épaules occasionnait le second chargement le plus élevé au dos et la prise à la hauteur des coudes le plus petit chargement. Selon leur étude, les forces de cisaillement latéral seraient plus élevées lorsque la charge est prise à la hauteur des genoux et les forces de cisaillement antéro-postérieur seraient plus élevées lorsque la charge est prise à la hauteur des épaules. Selon ce qui ressort de cette étude, la hauteur des coudes pour soulever une charge est la plus sécuritaire comparativement à la hauteur des genoux et des épaules. Toujours selon Davis et Marras (2005), les travailleurs

sont plus à risque de développer des lombalgies lorsqu'ils doivent soulever une charge à une hauteur qui est basse et asymétrique. D'ailleurs, Ferguson et al. (2005) considèrent qu'aucune manutention faite à partir de la hauteur du sol n'est sécuritaire. Dans la même optique, Plamondon et al. (2012), travaillant sur l'expérimentation de la 2^e tâche de ce document, ont démontré que les moments résultants maximaux augmentaient lorsque la hauteur de la charge diminuait, et ce dans les phases de prise et de dépôt des caisses. Selon cette étude, la hauteur de la charge expliquerait entre 15% et 20 % de la variance des moments résultants maximaux sur L5/S1.

5.2 Le poids de la charge

L'effet du poids de la charge à soulever a également été étudié par Faber et al. (2007) ainsi que par Hoozemans et al. (2008). Ils en sont arrivés à la même conclusion, plus la charge est lourde, plus le moment net sur L5/S1 est élevé. Davis et Marras (2000) ont fait une étude qui comparait davantage de boîtes de poids différents que les deux études précédentes. Selon eux, il semblerait que le fait de soulever une charge de plus de 25 kg est un facteur de risque important. Par contre, pour les charges moins lourdes (entre 9,1 kg et 20 kg), il n'y avait pas une grande différence sur les forces de compression. Bien que Davis et Marras (2000) n'aient pas vu de différence pour des boîtes de moins de 25 kg, Plamondon et al. (2012) ont démontré une différence significative dans la manutention de boîtes de 23 kg et de 15 kg. En effet, les moments résultants et les moments asymétriques maximaux étaient plus élevés lorsqu'une boîte de 23 kg était manipulée comparativement à celle de 15 kg. Le poids de la charge expliquerait 14 % de la variance des résultats obtenus pour les moments résultants maximaux sur L5/S1. Hoogendoorn et al. (2000) ont conclu que le fait de soulever une charge de moins de 25 kg n'était pas associé à une augmentation du risque de lombalgie, mais que le fait de soulever une charge d'au moins 25 kg plus de 15 fois par journée de huit heures de travail augmentait le risque de blessures. Ainsi, il ne faut pas considérer uniquement le poids de la charge à

soulever pour évaluer les risques de blessures au dos, mais également le nombre de fois où cette charge doit être soulevée.

5.3 L'effort asymétrique

Le fait que la charge soit positionné de façon asymétrique n'augmente pas les forces de compression, mais plutôt les forces de cisaillement (van Dieën et Kingma, 1999; Granata et al., 1999). Dans l'étude de van Dieën et Kingma (1999), les forces de cisaillement augmentaient en faisant un mouvement asymétrique, mais demeuraient tout de même en dessous du niveau du seuil de tolérance. Plamondon et al. (2012) ont démontré que le poids de la charge expliquait de 0 % à 3 % de la variabilité des résultats pour les moments asymétriques maximaux sur L5/S1. L'utilisation de techniques de positionnement des pieds qui réduisent l'asymétrie de la posture, principalement dans la phase de dépôt des boîtes pourrait placer le travailleur dans une position moins à risque de se blesser (Delisle et al., 1999). De plus, le fait de diminuer l'asymétrie peut contribuer à augmenter la stabilité, ce qui peut être important pour prévenir un accident.

5.4 La distance horizontale entre L5/S1 et l'objet à soulever

Faber et al. (2009) ont démontré que les chargements au dos étaient plus petits lorsque deux charges étaient prises de chaque côté du corps plutôt qu'une seule charge prise devant. Cette différence dans les chargements serait due au fait que la distance horizontale entre L5/S1 et les charges à soulever était plus petite lorsque le poids à soulever était divisé en deux charges de chaque côté du corps. Faber et al. (2011) ont également démontré que la distance horizontale entre L5/S1 et l'objet à soulever dépendait du type de tâche de manutention réalisée. Cette étude comparait une tâche simple faite en laboratoire et une tâche plus complexe, mais plus réaliste du milieu de travail. La distance horizontale dépendait également de la familiarisation à des stratégies de manutention comme le fait de rapprocher la boîte ou de la basculer. En fait, après avoir eu un temps de familiarisation avec des stratégies de manutention,

les moments maximaux sur L5/S1 étaient presque les mêmes lorsque la boîte était située à une distance éloignée de la personne que lorsqu'elle était située plus près pour la tâche réaliste. De plus, lorsque les tâches de laboratoire et réaliste sans familiarisation à des stratégies sont comparées à la tâche réaliste avec une familiarisation des stratégies, les moments maximaux sont plus élevés sans la familiarisation. Ceci est logique puisqu'en rapprochant la charge de soi ou en la basculant, la distance horizontale entre L5/S1 et l'objet est diminuée, donc le bras de levier en plus petit, ce qui permet de réduire les chargements au dos.

Le volume et la hauteur de la charge à soulever, la facilité de la prise, le fait de devoir la passer par-dessus un obstacle ainsi que d'autres facteurs peuvent avoir une influence sur la distance horizontale séparant L5/S1 et la charge. Plus la distance horizontale est grande et plus les chargements au dos seront élevés. La technique de manutention utilisée peut également influencer cette distance (Kingma et al., 2004). L'expertise peut également influencer les techniques de manutention utilisées, et donc les distances verticale et horizontale entre l'objet et L5/S1 (Plamondon et al., 2010).

5.5 La fréquence et le nombre de répétitions

La fréquence et le nombre de répétitions auxquels les mouvements sont effectués peut avoir un impact sur le risque de blessures. Plus une personne doit soulever de charges dans une journée, plus le risque de se blesser est élevé (Hoogendoorn et al., 2000). Selon McGill (1997), le fait d'exécuter la même tâche à plusieurs répétitions fait en sorte que le seuil de tolérance diminue et qu'à long terme, ce seuil risque d'être dépassé et ainsi le risque de se blesser est augmenté. Une étude menée par Parkinson et Callaghan (2009) sur des cochons a démontré que si la colonne est exposée à un grand niveau de chargement pendant des flexions répétitives, il y a plus de risque de fracturer une vertèbre. Par contre, si la colonne est exposée à plusieurs cycles de petits chargements, les blessures risquent davantage de se produire sur les disques intervertébraux que sur les os. Bien que cette étude ait été

menée sur des cochons, il en demeure néanmoins qu'elle démontre le risque de créer une blessure à force de mouvements répétitifs et cycliques.

Un facteur important à prendre en considération lorsque la fréquence est abordée est que si on diminue le poids des charges à soulever afin de réduire le risque associé au poids manipulé, la fréquence de manutention devra augmenter pour que la même quantité de matière soit déplacée. L'étude du chargement cumulé pourrait aider à éclaircir quel facteur entre le poids de la charge et la fréquence de manutention serait le plus néfaste pour le dos.

5.6 La vitesse et l'accélération

Granata et Marras (1999) mentionnent que la vitesse peut affecter la sécurité d'une tâche de manutention de façon défavorable et augmenter le risque de douleur lombaire. Effectivement, le fait d'augmenter la vitesse d'exécution d'un mouvement augmente les moments dans le plan sagittal, et ce, indépendamment du poids de la charge. L'augmentation de la vitesse augmente également les moments de torsion dépendamment de la tâche à exécuter (Lavender et al., 1999). Le fait de faire des mouvements énergiques est également un facteur de risque de lombalgie (Marras, 2000). Lorsqu'on augmente la cadence de travail, il y a une accélération des mouvements de manutention qui y est associée. Comme la force appliquée correspond à la multiplication de la masse par l'accélération, plus l'accélération segments et de l'objet manipulé est grande, plus la force appliquée est grande. Il serait donc normal que les chargements au dos soient plus grands lorsque l'accélération des segments du corps est plus grande pendant une tâche de manutention. Toutefois, Delisle et al. (1996) ont constaté que certaines méthodes de manutention accélérées n'influençaient pas les moments résultants maximaux à L5/S1 pendant une élévation de charge, mais qu'elles les influençaient pendant l'abaissement de celle-ci. Par contre, Davis et al. (1998) ont constaté qu'une

augmentation de la vitesse augmentait les chargements spinaux peu importe qu'il s'agisse d'un lever ou d'un abaisser de boîtes.

Une vitesse de manutention rapide est donc un facteur de risque des blessures au dos. Jusqu'à maintenant, ce sont surtout les chargements maximaux qui sont observés dans les études; ce qui correspond à un des mécanismes de blessures présentés plus haut. La vitesse d'exécution des manutentions pourrait avoir une influence sur le cumul des chargements au dos dans une journée. Cet aspect relié au mécanisme de blessures du cumul des chargements présentés plus haut n'a pas encore été investigué. Il serait donc intéressant de voir l'impact d'une cadence rapide sur le cumul des chargements au dos.

5.7 Lever et abaisser une charge

Lors d'un abaisser de boîtes, il s'agit de faire un effort excentrique, tandis que lors d'un lever de boîtes, il s'agit de faire un effort concentrique. Delisle et al. (1996) ont comparé les mouvements de lever et de déposer une charge selon une vitesse normale et une vitesse accélérée d'exécution. L'accélération du mouvement n'influçait pas les moments résultants sur L5/S1 lors de l'élévation de la charge, mais les influçait lors de l'abaissement. Davis et al. (1998) ont démontré que les participants étaient en moyenne plus forts de 56% lors d'un abaisser de boîtes que lors d'un lever. En fait, les forces de compression sont plus élevées lors d'un abaissement que lors d'un lever, mais les forces de cisaillement antéro-postérieures sont moins élevées. Il y aurait donc une différence sur les chargements au dos entre le fait de lever et d'abaisser une charge. Il est donc étonnant que l'équation du NIOSH ne distingue pas un lever d'un abaisser en manutention.

5.8 Le chargement cumulé

Le chargement cumulé est considéré comme étant l'addition de tous les chargements sur L5/S1 au cours de la journée. Le chargement cumulé est également un facteur de risque qui a été démontré (Callaghan et al., 2001; Kumar, 1990; Norman et al., 1998; Waters et al., 2006a;). En fait, Kumar (1990) a été le premier à effectuer une étude sur le chargement cumulé. Il a démontré que des préposés au bénéficiaires, qui ont un emploi stressant physiquement et qui ont des douleurs lombaires, ont des forces de compression cumulées ainsi que des forces de cisaillement cumulées plus élevées que ceux qui n'ont pas de douleur lombaire. Une étude menée par Seidler et al. (2001) suggère que le chargement cumulé peut être un facteur de risque élevé pour l'apparition d'ostéophytes et pour le rétrécissement de l'espace intradiscal. Dans cette étude, un groupe de patients atteints de spondylose et d'ostéochondroses était comparé à un groupe de participants n'ayant pas de blessure connue au dos. Norman et al. (1998) ont, quant à eux, démontré que les facteurs psychosociaux et biomécaniques apportaient des différences significatives entre un groupe de 104 travailleurs en industrie d'assemblage automobile qui ont déclaré avoir des douleurs au dos et un autre groupe de 130 travailleurs qui n'ont pas de douleur lombaire. Les compressions sur la partie lombaire de la colonne vertébrale associées à la durée du temps de travail font partie des facteurs biomécaniques démontrant des différences dans cette étude. Les travailleurs qui ne rapportaient pas de douleur lombaire avaient des forces de compressions cumulées moins élevées que les travailleurs qui rapportaient des douleurs.

Une revue de littérature effectuée par Waters et al. (2006a) confirme que les études effectuées à ce jour tendent à démontrer que le chargement cumulé est un facteur important des lombalgies, malgré que les méthodes utilisées pour estimer ces chargements sont très différentes (Waters et al., 2006b). Ainsi, plus le chargement cumulé est élevé sur L5/S1, plus le risque de blessure est élevé.

6. MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE CALCUL DU CHARGEMENT CUMULÉ

Plusieurs études qui ont traité du chargement cumulé ont utilisé des méthodes d'estimation différentes dans des contextes différents. Il n'y a que très rarement eu l'utilisation d'un système de calcul complet qui observe une longue période du temps de travail réel des travailleurs. En fait, plusieurs études font plutôt une estimation des chargements cumulés à partir de quelques cycles de manutention multipliés par le nombre de répétitions ou par le temps de la tâche. Cependant, le fait d'utiliser un modèle biomécanique complet pour estimer les chargements cumulés d'une façon très précise peut être très long, fastidieux et être très coûteux. Ceci explique pourquoi il est important de développer des méthodes simplifiées d'estimation du chargement cumulé qui sont simples, efficaces et les plus précises possible. Les différentes méthodes utilisées jusqu'à ce jour seront traitées dans cette section afin de démontrer les limites.

6.1 Méthodes par questionnaire/interview

Kumar (1990) a utilisé le questionnaire/interview auprès de 161 préposé aux bénéficiaires dont l'emploi demande un stress physique. Des questions portant sur des informations personnelles, l'historique d'emploi, les activités en dehors du travail et le stress physique au travail incluant le type de travail, l'intensité, la durée et les régions affectées ont été posées à tous les participants. Ensuite, le chercheur transcrivait les informations posturales en lien avec les questions posées sur les tâches à réaliser sur le questionnaire. Les réponses à ces questions permettaient d'établir les positions de départ et de fin des tâches à effectuer en deux dimensions (2D). Dans le cas de tâches statiques évaluées, les angles des articulations sont mesurés et enregistrés. Dans le cas des tâches dynamiques, les angles des articulations entre la position de départ et celle d'arrivée sont mesurés. Il est considéré que la tâche est effectuée de manière lente et continue et les mesures des angles sont effectuées à

5 Hz. Un modèle biomécanique était utilisé pour estimer les forces de compression et de cisaillement sur les disques thoracolombaires et lombo-sacré aux postures initiales, finales ainsi qu'à chacune des postures intermédiaires à 200 msec du mouvement de la tâche. Les variables intégrées dans le modèle biomécanique étaient les données anthropométriques, les données de postures ainsi que les données de chargement. Le chargement total pour les tâches statiques était calculé en multipliant les forces de compression et de cisaillement par la durée totale de la tâche. Le chargement cumulé pour les tâches dynamiques était calculé en additionnant les forces de compression et de cisaillement de chacun des segments de la tâche. Aucune tâche n'est réellement réalisée, car il s'agit de faire l'évaluation des chargements basée seulement sur les informations transmises verbalement par les travailleurs.

Une autre sorte de questionnaire/interview a été développé et utilisé dans l'étude menée par Seidler et al. (2001). Le questionnaire comprenait des questions sur ce que les participants avaient à soulever, à porter, à tirer ou à pousser, sur leurs postures de travail, sur les vibrations possibles, sur leur charge de travail psychosociale, sur les événements dans leur vie, sur leurs affections (douleurs ou maladies) et sur leurs loisirs. Afin d'être le plus précis possible quant à l'emploi des participants, il leur était demandé de décrire le plus spécifiquement possible les objets qu'ils avaient à manipuler dans leur emploi en incluant les informations sur leur poids, la fréquence à laquelle ils sont manipulés ainsi que la durée des tâches. Par la suite, l'exposition cumulée de manutention et de flexion du tronc a été calculée de deux façons. La première était en faisant la somme des carrés du poids des objets à soulever ou à porter multipliée par la durée de la tâche correspondante. La seconde était une application d'un modèle biomécanique. Il s'agissait de l'application de formule prenant en considération le nombre de jours total travaillé dans une année, le nombre de jours passé à effectuer une tâche précise dans l'année ainsi que son nombre d'heures. Elle prend aussi en considération la position où la charge est prise (devant ou sur le côté de la personne) ainsi que la hauteur à laquelle elle est prise, son poids et si la manutention se fait à une main ou à deux mains. Avec toutes ces

données, il leur est donc possible d'estimer le chargement cumulé sur L5/S1 pour l'année complète. Aucune tâche n'a été effectuée réellement dans cette étude, tout comme dans celle de Kumar (1990). Les chercheurs se fient uniquement aux informations recueillies par les participants. Ils entrent les données manuellement dans un modèle biomécanique, ce qui leur permet d'estimer les chargements cumulés.

6.2 Méthodes basées sur l'analyse vidéo

Afin d'évaluer les facteurs biomécaniques pour des employés d'une entreprise d'assemblage automobile, Norman et al. (1998) ont utilisé un système vidéo d'analyse posturale ainsi qu'un modèle biomécanique quasi dynamique en 2D du chargement spinal à L4/L5 basés sur les coordonnées de captures vidéos. Les employés de l'entreprise étaient observés pendant qu'ils effectuaient leurs tâches habituelles et ce, sur une durée variant de 2 h à 8 h. Pendant que le travailleur effectue ses tâches, un observateur est présent. Son rôle est d'identifier les instants substantiels où les moments spinaux seraient élevés, c'est-à-dire lorsque le tronc est le plus incliné et lorsque les mains doivent déployer une grande force. Il va enregistrer les postures, la taille et la direction des forces aux mains, la durée de l'effort ainsi que le nombre de répétitions où cet instant est perçu. Les forces aux mains sont mesurées par des capteurs de force. Chacune des tâches où ces instants sont présents pour chaque participant est localisée dans les enregistrements vidéos et les images qui correspondent aux chargements maximaux de chaque tâche sont enregistrées pour les analyses. Pour chacune de ces images prises dans le plan sagittal, les points nécessaires sont numérisés manuellement pour fournir des coordonnées. Ces données sont combinées avec les forces aux mains pour être intégrées au modèle biomécanique. Pour obtenir le chargement cumulé, la somme du cumul de chacune des tâches est effectuée de la façon suivante : les chargements maximaux pour chaque tâche sont multipliés par le nombre de fois qu'elles sont effectuées pendant tout le quart de travail et par la durée d'exposition de celles-ci. Le chargement spinal pendant le temps de repos entre les tâches est intégré à l'estimation du chargement

cumulé en multipliant le chargement d'une position debout par la durée totale du temps d'attente. Une limitation liée à la méthode de collecte de données utilisée est que le modèle biomécanique utilisé était un modèle quasi dynamique en 2D. Il n'était donc pas possible de calculer les moments, les forces de compression et les forces de cisaillement pour les mouvements d'inclinaison latérale et de torsion. Un modèle biomécanique dynamique en trois dimensions (3D) aurait permis d'obtenir des données plus précises. De plus, il peut y avoir un biais dans les données obtenues pour la taille et les directions des forces aux mains parce que parfois les travailleurs devaient simuler l'effort réellement fourni sur les capteurs de force puisqu'il n'était pas possible de les installer sur le matériel utilisé.

Daynard et al. (2001) ont utilisé un calcul semblable à celui utilisé par Norman et al. (1998) pour leur étude visant à comparer plusieurs techniques de manutention de patients. En effet, bien que les équipements utilisés n'étaient pas les mêmes, la formule utilisée consistait à considérer les chargements maximaux de chaque action d'une tâche et à les multiplier par la durée totale de l'action. Ensuite, chaque chargement calculé était additionné à ceux des autres actions de la tâche pour résulter en un chargement cumulé total de la tâche effectuée. Une tâche effectuée par les participants était d'aider un patient à se lever du lit. Les actions que cette tâche comportait étaient entre autres de rouler le patient, de lui plier les genoux et de l'aider à se lever. Le chargement cumulé de cette tâche était donc le résultat de l'addition de tous les chargements des différentes actions.

Callaghan et al. (2001) ont effectué une étude visant à tester des méthodes simplifiées de calcul du chargement cumulé. Dans cette étude, cinq méthodes simplifiées étaient comparées à une méthode complète. Trois hommes devaient effectuer trois tâches de manutention dans le plan sagittal avec des hauteurs de prises et de dépôts différentes et un poids de charge variable. Chacune des trois tâches a été effectuée cinq fois par les participants. Une seule manutention sur les cinq a été choisie pour être analysée pour chacune des tâches. L'analyse d'un cycle complet de

manutention pour évaluer le chargement cumulé comprend la position de départ debout, le temps que la personne se penche pour prendre la charge, la soulève et la dépose à l'endroit prévu jusqu'à ce qu'elle revienne en position debout. Les vidéos des tâches étaient numérisées à une fréquence d'échantillonnage de 30 Hz et les coordonnées étaient intégrées dans un modèle biomécanique statique en 2D. Quatre variables étaient observées et comparées soit: les forces de compression (N), les forces de cisaillement aux articulations (N), les forces de réaction de cisaillement (N) et les moments de flexion/extension (Nm) à L4/L5. La méthode complète consistait en une intégration rectangulaire de chaque image du cycle de la tâche, c'est-à-dire 30 images par seconde. Les cinq méthodes simplifiées vérifiées dans cette étude sont les suivantes :

1. Méthode à 5 Hz : intégration rectangulaire des images échantillonnées à 5 Hz basé sur la méthode de Kumar (1990);
2. Méthode carrée : le chargement estimé au dos à l'initiation de la manutention multiplié par le temps de la tâche complète basée sur la méthode de Norman et al. (1998);
3. Méthode travail-repos : les chargements de la première image où la charge est dans les mains multipliés par le temps où la charge est dans les mains et les chargements de la position debout multipliés par le temps où la charge n'est pas dans les mains ;
4. Méthode travail seul : les chargements estimés à l'initiation de la manutention multipliés par le temps où la charge est dans les mains du participant;
5. Méthode à 4 composantes : la première composante constitue les chargements estimés à l'image précédent le moment où le participant touche à la boîte multipliés par le temps passé depuis le début du cycle de manutention jusqu'à cette image. La deuxième composante correspond aux chargements estimés lors de la prise de la boîte multipliés par la moitié du temps où la charge est dans les mains. La troisième composante correspond aux chargements estimés à la dernière image où la boîte est

dans les mains multipliés par la moitié du temps où la charge est dans les mains. La dernière composante correspond aux chargements de l'image qui suit le moment où la charge n'est plus dans les mains multipliés par le temps de cette image jusqu'à la fin du cycle de manutention.

La seule méthode simplifiée qui ne représentait pas de différence significative avec la méthode complète est la méthode à 5 Hz. Toutes les autres méthodes apportaient des pourcentages d'erreur relativement élevés lorsqu'elles étaient comparées à la méthode complète et ce, pour toutes les variables observées. Lorsque les valeurs des trois tâches et de chaque variable de chaque sujet sont prises en considération, la méthode à 5 Hz à un pourcentage moyen d'erreur de 1,8 %, la méthode carrée de 70 %, la méthode travail-repos de 27 %, la méthode travail seul de 35 % et la méthode à 4 composantes de 39 %. Un point faible de cette étude est qu'il prend en considération une seule répétition de chacune des tâches pour estimer le chargement cumulé. Ce sont également les données d'une seule répétition qui sont utilisées pour extrapoler le chargement cumulé sur une heure de travail. Il aurait été intéressant que plusieurs répétitions des tâches soient prises en considération ou que le chargement cumulé des trois tâches soit additionné. Ceci permettrait de voir si le pourcentage d'erreur était différent ou pareil même en ajoutant des tâches de manutention. Il semblerait tout de même que le fait de réduire l'échantillonnage serait la meilleure méthode à prendre en considération pour estimer les chargements cumulés selon cette étude.

D'autres études ont été faites par un groupe de chercheurs qui a développé un logiciel nommé le 3DMatch (Callaghan, University of Waterloo) servant à estimer les chargements au dos à l'aide d'enregistrements vidéos. Le 3DMatch est un programme spécialisé capable de déterminer les chargements maximaux et cumulés à L4/L5 en 3D basés sur une posture en 3D de travailleurs et des forces externes. Les participants sont filmés en 2D pendant qu'ils effectuent une tâche. Chaque fragment de la tâche est observé et les postures appropriées pour le tronc, les membres supérieurs et le cou

sont sélectionnés selon l'angle dans lequel les segments se trouvent. Un modèle statique en 3D est généré à partir des données posturales et anthropométriques des sujets. La compression sur l'articulation est calculée en utilisant un polynôme de 3^e ordre (McGill et al. 1996) et les forces antéro-postérieures sont calculées en utilisant une équivalence de muscle simple avec un angle de 5,3° (McGill et Norman, 1987).

Cette méthode a fait l'objet de plusieurs études qui ont voulu la valider. En fait, Sutherland et al. (2007) ont voulu vérifier si l'angle de la caméra avait un impact sur les chargements cumulés estimés. Ils ont donc positionné des caméras à 0°, 45°, 60° et 90° du plan frontal des participants qui effectuaient quatre tâches de manutention, dont deux étaient symétriques et deux étaient asymétriques. Il a été démontré que l'angle des caméras n'était pas un facteur déterminant en ce qui concerne l'estimation des chargements cumulés. Sutherland et al. (2008) ont aussi démontré que ce logiciel avait une grande fidélité test-retest et une bonne fidélité inter-observateur. Andrews et Callaghan (2003) ont, quant à eux, démontré que pour l'utilisation de ce logiciel, il n'y avait pas de différence significative dans l'estimation des chargements cumulés lorsque les vidéos étaient échantillonnées à 3 Hz comparativement à 60 Hz.

Cette méthode a été utilisée pour comparer les chargements cumulés de tâches de tondage de moutons normales, une tâche en utilisant un harnais pour soutenir le haut du corps (Gregory et al., 2006) et une tâche en utilisant un appareil qui tient les moutons en place debout plutôt que d'avoir à les coucher au sol (Gregory et al., 2009). Dans Gregory et al. (2006), l'estimation du chargement cumulé était une extrapolation sur 8 h de travail. L'extrapolation était faite en multipliant le nombre de moutons tondus par le travailleur pendant une journée complète de travail par le temps requis pour tondre un mouton dans l'étude. Dans l'étude de Gregory et al. (2009), le chargement cumulé a été calculé pendant deux tontes de moutons, incluant une utilisant un nouvel équipement et une utilisant la méthode de tonte traditionnelle. Le chargement cumulé ainsi calculé était extrapolé linéairement sur 8 h de travail.

Une limitation dans ces études est que seulement une répétition de la tâche est utilisée pour faire l'extrapolation des chargements cumulés sur une longue période de temps. Des biais dans l'estimation de ces chargements pourraient être présents et le taux d'erreur pourrait être élevé en raison de la variabilité des tâches.

Fischer et al. (2007) ont voulu déterminer l'impact de différents modèles pour déterminer les forces de compression cumulées. Pour ce faire, ils ont été directement en milieu de travail dans une manufacture de pièces automobiles et ils ont filmé des travailleurs pendant qu'ils effectuaient leurs tâches habituelles. Le travail effectué était divisé en tâches et en sous-tâches pour faciliter les analyses. Les informations relatives aux forces demandées étaient capturées par des capteurs de force. Les moments estimés à l'aide du logiciel 3DMatch ainsi que les forces enregistrées par les capteurs de force ont servi à calculer les forces de compression de quatre façons différentes, dont une dépendait de la variable des moments externes. Le chargement cumulé était calculé en fonction des chargements de chaque image multipliés par le temps de celle-ci, soit 0,33 sec. La moyenne des chargements cumulés pour chacune des tâches a été faite et a servi à extrapoler les chargements cumulés pour une durée déterminée de temps de travail en fonction du nombre de fois où les tâches ont été exécutées. Le temps où la personne est en repos est estimé et multiplié par les chargements en position debout. Comme il n'y avait pas de standard de comparaison, il n'est toutefois pas possible de préciser laquelle de ces approches est la plus précise. Il a été conclu que plus d'études doivent être faites afin de développer un modèle capable de prédire biologiquement les chargements au dos. Une conclusion importante de cette étude est qu'il a été démontré que les temps où la personne est en repos jouent un rôle déterminant dans le calcul des chargements cumulés. En fait, les forces de compression étaient près de 25% plus élevées lorsque les chargements où la personne était en position debout étaient considérés comparativement à lorsqu'ils n'étaient pas considérés.

L'étude qui s'est le plus intéressée au nombre de cycles minimum de manutention nécessaires afin d'avoir une extrapolation juste des chargements cumulés est celle effectuée par Dunk et al. (2005). Ils ont étudié deux situations de travail, soit en laboratoire et en milieu de travail, dans une industrie de pièce automobile. En laboratoire, la tâche consistait à faire 20 manutentions d'une charge de 13,9 kg du sol jusqu'à une table de 0,75 m. Un cycle de manutention complet inclut de débiter en position debout, de se pencher, de prendre la charge, de la déposer sur la table et de revenir en position debout. En milieu de travail, la tâche à effectuer était la manutention de pièces automobiles ayant un poids variant entre 2,3 kg et 8,1 kg, étant prises à une hauteur de 0,86 m et déposées à une hauteur variant entre 0,94 m et 1,11 m. La cadence était d'environ quatre pièces par minute et chaque pièce était manipulée une à deux fois à une seule main. Un cycle de manutention inclut de débiter en position debout, de prendre la pièce dans la chute, de la déposer dans le bac et de revenir en position debout pour attendre la prochaine pièce. Dix répétitions étaient prises en considération pour l'analyse des données et servaient de standard de comparaison pour les deux situations. Des marqueurs réfléchissants étaient collés sur la peau des participants à chaque articulation. Une caméra vidéo était positionnée perpendiculairement au plan de la manutention afin de pouvoir capter les marqueurs réfléchissants. Pour la tâche en laboratoire, les données vidéos étaient numérisées à 60 Hz tandis que pour la tâche en milieu de travail, les données vidéos étaient numérisées à la main à 3 Hz. Les coordonnées obtenues ont été intégrées dans un modèle biomécanique (BOGER, University of Waterloo, Waterloo, ON) et ont permis d'obtenir des chargements cumulés pour les forces de compression, les forces de cisaillement aux articulations, les forces de réaction de cisaillement et les moments. Les chargements cumulés sont calculés en fonction d'une intégration rectangulaire des 60 images par seconde pour la tâche en laboratoire et chacune des trois images par seconde pour la tâche en milieu de travail. En prenant en considération dix cycles de manutention comme standard de comparaison, ils ont démontré qu'en laboratoire, quatre cycles étaient suffisants pour avoir une extrapolation acceptable des chargements cumulés tandis qu'en milieu de travail, les

dix cycles étaient nécessaires. Ceci peut être principalement dû au fait que la tâche en laboratoire était peu variable tandis qu'en milieu de travail, la tâche était plus variable. Cette étude démontre donc l'importance d'utiliser plusieurs cycles de manutention pour avoir une extrapolation fiable des chargements cumulés tant en milieu de travail qu'en laboratoire. Jusqu'à maintenant, plusieurs études ont seulement utilisé un cycle de manutention afin d'obtenir des chargements cumulés sur une longue période de temps (entre autres Callaghan et al., 2001; Gregory et al., 2006; 2009) et ont donc un biais dans leur façon d'estimer ces chargements. Ces résultats vont dans le même sens que l'étude de Gagnon et al. (2002) qui a comparé les meilleures et les pires manutentions de participants dans une étude et qui a démontré que la variabilité des façons de faire pour une même tâche joue un rôle important sur les chargements au dos. Dans cette étude, les différences moyennes lors de la prise de charges sur les moments résultants et asymétriques à L5/S1 étaient respectivement de 27 % et de 155 % entre les meilleures et les pires levées.

Un point faible de l'étude de Dunk et al. (2005) est que seulement dix cycles de manutentions sont pris en considération tandis que la tâche complète demandait 20 cycles. Il aurait été pertinent de tous les inclure. Un autre point faible est l'utilisation de la numérisation manuelle utilisée pour la tâche en milieu de travail. Sullivan et al. (2002) ont démontré que c'était un outil biomécanique valide, mais la fidélité de cette méthode utilisée n'a pas encore été testée. De plus, dans l'étude de Sullivan et al. (2002), les tâches analysées à numériser étaient uniquement dans le plan sagittal tandis que dans l'étude de Dunk et al. (2005), les tâches analysées peuvent comporter des mouvements dans les autres plans. Il peut donc y avoir un biais dans la fidélité des résultats obtenus en milieu de travail dans l'étude de Dunk et al. (2005) à cause de la méthode utilisée.

Jäger et al. (2000) ont basé leur analyse sur des enregistrements vidéos faits directement en milieu de travail avec une méthode très semblable à celle utilisée par Seidler et al. (2001). En effet, ils ont fait l'analyse de quatre postes de travail

différents qu'ils ont filmés, soit : un poste en construction, un poste dans une usine de transformation du métal, un poste dans une usine de transformation de la viande et un poste d'éboueur. Le poids de chaque charge à soulever a été enregistré. Les enregistrements vidéos sont évalués en laboratoire en regard aux postures du corps et aux forces exercées par les mains par un système de codage spécialement développé. Une situation de travail est analysée dès qu'il y a une image où le travailleur soulève un poids d'au moins $\frac{1}{2}$ kg ou dès qu'il y a une image où le tronc est distinctement incliné, tourné ou penché et ce, même s'il n'y a pas de charge dans les mains. Pour toute autre situation, une position neutre debout est considérée. La description des postures analysées et des forces aux mains est faite à partir d'un système de classification numérique. Les codes utilisés prennent en considération le temps où la tâche est réalisée et les positions des segments dans l'espace. Les données obtenues avec ces codes basés sur les postures et les forces d'action sont utilisées pour déterminer les chargements sur la région lombaire pour toutes les situations de travail et par conséquent, pour toute la journée de travail. Ces chargements sont calculés à partir d'un modèle biomécanique d'optimisation, considérant 30 segments et cinq muscles, qui permet d'obtenir les forces de compression, les forces de cisaillement, les moments de flexion et les moments de torsion. Le poids et la grandeur des travailleurs sont pris en considération et toutes les informations sont intégrées dans un système informatisé de modélisation biomécanique afin d'obtenir les chargements au dos. Pour cette étude, la précision des chargements cumulés estimés dépend de la précision de l'observateur qui doit classifier la posture du participant selon le système de codage. De plus, un nombre limité de situations de travail ont été traitées étant donné que cette méthode demande beaucoup de temps pour évaluer les postures et les forces d'action. Un autre point faible de cette étude est que les accélérations du corps et des objets manipulés ne sont pas pris en considération.

Une autre méthode a été développée par Waters et al. (2011b) pour calculer le chargement cumulé. Cette méthode consiste en une simulation d'une tâche de milieu de travail réel dans un laboratoire. Tout d'abord, des participants sont filmés pendant

qu'ils effectuent leurs tâches habituelles dans leur milieu de travail et les informations relatives au poids des objets manipulés ainsi qu'à la grandeur et au poids des travailleurs sont notées. Par la suite, une personne simule les tâches en laboratoire en se basant sur les positions filmées adoptées par les travailleurs en milieu de travail. Un logiciel de modélisation segmentaire (Innovative Sports, Chicago, IL, USA) est utilisé pour calculer les angles du corps et les variables posturales. Lorsque le simulateur est positionné comme le travailleur à l'image de prise ou de dépôt de la charge, la personne qui opère le système démarre une acquisition de trois secondes de la posture fixe. Le temps calculé entre la prise et le dépôt du vidéo en milieu de travail est utilisé pour calculer le chargement cumulé. Le programme utilisé permet d'obtenir les données des positions et d'orientation du corps pour calculer les angles entre les segments ainsi que les quatre paramètres du RNLE (Revised NIOSH Lifting Equation) qui sont les distances horizontales et verticales de la charge par rapport au corps, le déplacement vertical et les angles d'asymétrie. Ensuite, toutes les données recueillies sont intégrées dans un logiciel pour calculer le chargement cumulé sur une période de temps désirée. Les chargements cumulés pour chacune des manutentions sont calculés en multipliant les paramètres de chargements au dos de chaque manutention par son temps associé. Finalement, le chargement cumulé pour une journée de travail complète est calculé en additionnant toutes les valeurs des manutentions évaluées préalablement. Dans cette étude, ce sont les chargements à la prise et au dépôt des objets manipulés qui sont multipliés par le temps de manutention, ce qui signifie que les données ne sont pas prises de façon dynamique. Selon l'étude de Callaghan et al. (2001), cette méthode simplifiée du calcul du chargement cumulé apporte un pourcentage d'erreur élevé. Une autre limitation de l'étude de Waters et al. (2011b) est qu'il s'agit d'une simulation de la tâche basée sur des enregistrements vidéos de la tâche réelle, ce qui peut influencer la validité des données ressorties. De plus, les caractéristiques anthropométriques du simulateur doivent correspondre aux caractéristiques anthropométriques du travailleur observé puisqu'une différence à ce niveau peut influencer la précision des résultats obtenus (Lu et al. 2010).

DEUXIÈME CHAPITRE

PROBLÉMATIQUE

La manutention est une tâche qui sera toujours présente en milieu de travail. Il est donc important d'investiguer sur le sujet afin de trouver des façons de réduire les risques de blessure en milieu de travail. Plusieurs études ont déjà été faites sur le sujet, mais le chargement cumulé est peu investigué en manutention jusqu'à présent. Pour le moment, les méthodes utilisées sont principalement une extrapolation des chargements à partir de quelques cycles de manutention seulement plutôt que de considérer l'ensemble des chargements réels d'une journée de travail. Callaghan et al. (2001) ont fait une étude visant à établir le pourcentage d'erreur de plusieurs méthodes de simplification qui peuvent être utilisées. Par contre, dans cette étude, les différences entre les méthodes étaient basées sur un seul cycle de manutention et non sur plusieurs. De plus, une extrapolation sur une heure de travail avait été effectuée à partir des données de ce cycle. Il est donc difficile de savoir si le fait de prendre en considération plusieurs levées de charges ont un impact sur les pourcentages d'erreur des méthodes évaluées. L'utilisation d'un nombre restreint de cycle de manutention dans les études en général peut être due à une difficulté de pouvoir évaluer une tâche directement en milieu de travail sur une longue période de temps et au temps de traitement des informations recueillies qui est beaucoup plus long lorsque l'on prend tous les chargements en considération. Il serait donc très pertinent de trouver une méthode de calcul des chargements cumulés qui aurait un faible pourcentage d'erreur et qui serait plus rapide.

Il y a aussi quelques études qui ont eu pour objectif de comparer des manutentionnaires novices et experts afin de vérifier si l'expérience avait un impact sur le risque de blessure au dos. Il en est ressorti principalement que les chargements maximaux n'étaient pas différents entre les deux groupes lors de tâches de palettisation et de transferts entre un diable et un convoyeur, (Plamondon et al, 2010; 2012), mais qu'il y avait bien une différence au niveau des postures et des techniques

de travail utilisées (Authier et al., 1995; 1996; Plamondon et al., 2010). Les façons de faire développées par les experts pourraient être avantageuses en terme de production et pourraient être plus sécuritaires (Authier et al., 1995; 1996; Plamondon et al., 2010). Les différences entre les chargements cumulés des manutentionnaires novices et les manutentionnaires expérimentés n'ont pas encore été investiguées dans des tâches de manutention de boîtes. Pour l'instant, la seule étude qui a vérifié le chargement cumulé entre des novices et des experts était sur une tâche de tonte de mouton (Gregory et al., 2006) et n'est donc pas applicable en manutention. Il serait donc pertinent de vérifier si l'expertise a un impact sur le chargement cumulé lors de plusieurs manutentions de boîtes.

Il a également été mentionné précédemment que la vitesse de manutention, la fréquence et le nombre de répétitions étaient des facteurs de risque de blessure au dos. En fait, plus ces variables sont élevées, plus le risque de se blesser est grand. L'impact de ces variables sur le chargement cumulé n'a pas encore été investigué pour le moment en manutention de boîtes. Callaghan et al. (2001) ont extrapolé leurs résultats de chargements cumulés d'un seul cycle de manutention sur une heure de travail en considérant une cadence de quatre boîtes par minute. Le but de cette extrapolation n'était pas de vérifier l'impact d'une cadence sur les chargements cumulés, mais plutôt de vérifier les pourcentages d'erreur des méthodes utilisées sur une plus grande période de temps. Ceci pourrait être adéquat dans le cas où toutes les charges déplacées seraient prises et positionnées de la même façon de sorte que les chargements ne varient pas ou peu entre les manutentions. En milieu de travail, il peut arriver qu'une cadence de travail soit imposée aux travailleurs et donc, il serait important de connaître les effets d'une cadence imposée sur le chargement cumulé.

En somme, des facteurs étudiés dans ce mémoire sont principalement en lien avec les méthodes d'estimation des chargements cumulés, l'expertise des travailleurs ainsi que la cadence de travail et la configuration du lieu de travail.

1. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE L'ÉTUDE

Cette étude comporte quatre objectifs qui visent à mieux comprendre le chargement cumulé associé à une tâche de manutention.

Le premier objectif est de vérifier l'effet de l'expertise sur le chargement cumulé sur L5/S1 lors d'une activité de palettisation ainsi que lors de transferts de boîtes aller-retour d'un diable vers un convoyeur. L'hypothèse émise est que les manutentionnaires expérimentés auraient des chargements cumulés moins élevés que les manutentionnaires novices pour les deux conditions de travail expérimentées.

Le second objectif est de vérifier l'impact d'une cadence de travail imposée lors d'une activité de palettisation de boîtes sur le chargement cumulé sur L5/S1. Cet objectif est applicable seulement sur la 1^{re} tâche. La deuxième hypothèse est que la cadence imposée diminuera les chargements cumulés pour une même quantité de boîtes déplacées.

Le troisième objectif est de vérifier l'impact d'une configuration de tâche à 90° et à 180° sur le chargement cumulé sur L5/S1 pendant un empilement et un dépilement de boîtes. Cet objectif est applicable seulement pour la 2^e tâche. L'hypothèse qui y est rattachée est qu'il n'y aura pas de différence significative sur les chargements cumulés entre les deux configurations.

Le quatrième objectif est de déterminer le nombre minimal de cycles de manutention nécessaires pour faire une extrapolation des chargements cumulés qui n'aura pas de différence significative lorsqu'il comparé au nombre total de cycles effectués. L'hypothèse de cet objectif est que l'utilisation d'un nombre restreint de cycles de manutention permettra d'extrapoler les données avec un faible taux d'erreur, mais qu'il en faudra plus de quatre (Dunk et al., 2005) étant donné la variabilité des tâches à accomplir.

TROISIÈME CHAPITRE

MÉTHODOLOGIE

1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

L'étude présentée dans ce document est basée sur des expérimentations de grandes envergures qui ont été faites dans les laboratoires de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST) à Montréal. Il est important de mentionner que ces collectes de données ont été réalisées antérieurement. Des analyses supplémentaires à celles réalisées jusqu'à présent font l'objet de ce mémoire.

L'étude s'est déroulée en trois séances, dont la première servait à la familiarisation des participants avec les équipements utilisés pendant les expérimentations et les deux autres servaient à l'exécution des deux tâches demandées.

Plus précisément, la première séance servait également à mesurer les caractéristiques anthropométriques et à évaluer les capacités physiques des participants, principalement avec un objectif d'étude qui visait à évaluer la fatigue musculaire induite par la tâche. Comme il ne s'agit pas d'un sujet qui sera traité dans ce document, la première séance ne sera pas détaillée.

La première tâche qui était demandée aux participants était de déplacer 24 boîtes de 15 kg d'une palette à une autre située à 180° à une vitesse libre pour les trois premiers aller-retour et à une vitesse imposée pour les deux derniers aller-retour. Lors de la deuxième tâche, les participants devaient déplacer quatre boîtes d'un convoyeur vers un diable et d'un diable vers un convoyeur selon deux configurations soit, 90° et 180°. Les séances étaient séparées d'au moins deux jours de repos afin

d'éviter les effets de fatigue, mais de moins d'une semaine pour conserver les effets de la familiarisation. Les deux tâches seront décrites plus en détail dans ce chapitre.

2. DESCRIPTION DES SUJETS

Pour cette étude, quinze manutentionnaires novices et quinze manutentionnaires expérimentés ont été sélectionnés selon des critères d'inclusion. Les critères d'inclusion pour les experts étaient : avoir plus de cinq ans d'expérience en manutention, être reconnu comme étant un expert par leurs pairs, être recommandé par leur superviseur, avoir une faible incidence de blessure et ne pas avoir eu de blessure dans l'année précédant l'étude. Pour les novices, les critères d'inclusion étaient : avoir moins d'une année d'expérience en manutention et ne pas avoir eu de blessure dans l'année précédant l'étude. Tous les sujets sont des hommes. Pour le groupe d'experts, les participants sont âgés de $38 \pm 9,8$ ans, mesurent $1,71 \pm 0,07$ m, pèsent $75,9 \pm 12,2$ kg et ont $15,4 \pm 9,3$ années d'expérience en manutention. Pour le groupe de novices, les participants sont âgés de $25 \pm 5,9$ ans, mesurent $1,75 \pm 0,09$ mètres, pèsent $74,2 \pm 11,4$ kg et ont $0,5 \pm 0,4$ année d'expérience en manutention. Il y a donc une différence significative entre les deux groupes au niveau de l'âge et de l'expérience uniquement. Les caractéristiques anthropométriques des participants sont représentées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1
Caractéristiques anthropométriques des 15 participants experts et des 15 participants novices sélectionnés

Caractéristiques	Experts (n =15)	Novices (n = 15)	Valeur de p
Âge (année)	38 ± 9,8	25 ± 5,9	< 0.01
Expérience (année)	15,4 ± 9,3	0,5 ± 0,4	0.7
Taille (m)	1,71 ± 0,07	1,75 ± 0,09	0.09
Poids (kg)	75,9 ± 12,2	74,2 ± 11,4	< 0.01

*Moyenne et écart-type. Tests T significatifs à 0.05.

3. SYSTÈMES DE MESURE UTILISÉS

Cette étude a nécessité l'utilisation de plusieurs systèmes de mesures soit, des capteurs de force, un système optoélectronique et des caméras vidéo. Un système d'électromyographie de surface a également été utilisé, mais les données recueillies grâce à ce système ne seront pas traitées, donc la description n'y sera pas faite. Les autres systèmes de mesures précédemment mentionnés sont plus détaillés dans cette section. Étant donné que les mêmes systèmes de mesure sont utilisés pour les deux séances développées dans ce mémoire, ils seront décrits avant l'explication du déroulement des séances.

3.1 Capteurs de force

Une plate-forme de force fabriquée spécialement pour évaluer des tâches sans avoir de contrainte de déplacement des pieds a servi à évaluer les forces externes appliquées au sol. Les dimensions de cette plate-forme de force sont de 190 cm par 130 cm. La plate-forme agrandie est montée sur six minis plates-formes AMTI (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts) et a été validée par Desjardins et Gagnon (2001).

3.2 Système optoélectronique

Un système optoélectronique a été utilisé afin d'obtenir des coordonnées en trois dimensions de capteurs qui étaient installés sur les participants. Le système optoélectronique était composé de quatre colonnes « Optotrak » (Northern Digital Inc., Waterloo, Ontario). La fréquence d'échantillonnage des colonnes « Optotrak » a été fixée à 30 Hz. Ce système captait les signaux des diodes électroluminescentes (DEL) infrarouges qui étaient positionnées sur le corps des participants. Ces DEL étaient placées sur des corps rigides à raison de trois ou quatre par corps rigides. Ces corps rigides étaient placés sur la tête, dans le dos à trois hauteurs différentes soit, C7, T12 et S1, sur les deux bras, sur les deux avant-bras, sur les deux cuisses et sur chaque pied. Ces DEL positionnées sur les corps rigides ont permis de numériser 48 repères anatomiques.

3.3 Caméras vidéo

Le système optoélectronique capte les repères en 3D, mais il ne donne pas d'image de la tâche. L'utilisation de trois caméras vidéo (Panasonic, WV-CP474, Osaka, Japon) a donc été nécessaire. Ces caméras ont été calibrées de manière à pouvoir obtenir les coordonnées 3D dans le même référentiel que celui du système optoélectronique. Ces vues de caméras ont permis de faire la correction des coordonnées perdues parce que les boîtes obstruaient les DEL au système optoélectronique et ce, principalement lors de la 1^{re} tâche.

3.4 Synchronisation des systèmes de mesure

Un système de synchronisation (Horita,FP-50, Mission Viejo, CA) a été utilisé pour que tous les instruments débutent leur acquisition au même moment (caméras vidéo, système optoélectronique et plate-forme de force).

4. MODÈLE BIOMÉCANIQUE SEGMENTAIRE

Le modèle biomécanique segmentaire est basé sur un modèle de dynamique inverse en 3D. Les données qui sont intégrées dans ce modèle sont les forces externes, les données cinématiques ainsi que les données anthropométriques des participants. Ce modèle a été développé sur plusieurs années de recherche et a été validé (Desjardins et al., 1998; Plamondon et al., 1996). Les forces externes sont utilisées à partir des données recueillies par la plate-forme de force. Les données cinématiques sont recueillies à partir du système « Optotrak » et les données anthropométriques sont basées sur la méthode elliptique de Jensen (1978). Toutes ces données sont intégrées dans l'équation de Hof (1992) qui a été modifiée par Plamondon et al. (1996) afin d'estimer les moments nets sur L5/S1. Cette équation nous permet d'estimer les moments nets de flexion/extension, d'inclinaison latérale et de torsion à L5/S1. L'équation utilisée est la suivante (Plamondon et al., 1996):

$$\vec{M}_{L5/S1} = \sum_{r=1}^n (\vec{r}_r - \vec{r}_{L5/S1}) \times \vec{F}_r - \sum_{r=1}^m \vec{M}_r$$

Terme 1

$$- \sum_{i=1}^k [(\vec{r}_i - \vec{r}_{L5/S1}) \times m_i \vec{g}]$$

Terme 2

$$+ \sum_{i=1}^k [(\vec{r}_i - \vec{r}_{L5/S1}) \times m_i \vec{a}_i] + \sum_{i=1}^k \frac{d}{dt} (I_i \vec{\omega}_i)$$

Terme 3

Terme 4

Dans cette formule, $\vec{M}_{L5/S1}$ correspond au moment de réaction net à L5/S1, \vec{r}_r à la position des forces externes, $\vec{r}_{L5/S1}$ à la position de l'articulation L5/S1, \vec{F}_r aux forces externes, \vec{M}_r aux torques externes, \vec{r}_i à la position du centre de masse du segment i , m_i à la masse du segment i , \vec{g} à l'accélération due à la gravité, \vec{a}_i à l'accélération du centre de masse, I_i au moment d'inertie et $\vec{\omega}_i$ à la vitesse angulaire du segment i . Le terme 1 correspond donc aux moments des forces externes 1 à n et aux torques externes 1 à m , le terme 2 correspond aux moments du poids des segments. Le terme 3 correspond aux moments des forces d'accélération et le terme 4 correspond aux moments dus à l'accélération rotationnelle.

5. PREMIÈRE TÂCHE

Pour la première tâche, les participants devaient déplacer 24 boîtes de 15 kg. Ils devaient faire cinq transferts aller-retour des boîtes d'une palette à une autre située à 180° pour un total de 240 transferts au total. Les palettes étaient situées à une distance de 1,65 m l'une de l'autre. Les boîtes étaient empilées de sorte qu'il y ait deux profondeurs différentes. Il y avait donc trois rangées de deux boîtes de profondeur et de quatre boîtes de hauteur sur chacune des deux palettes. Le format des boîtes était de 26 cm de profondeur, 34 cm de largeur et 32 cm de hauteur. Les participants devaient effectuer les deux premiers transferts aller-retour à une vitesse qui leur était libre (cadence libre) et les trois derniers transferts aller-retour à une vitesse imposée (cadence imposée) à neuf boîtes par minute. Cette vitesse de manutention serait considérée comme étant adéquate selon Garg et Saxena (1979). Le contrôle de la cadence imposée se faisait par un des chercheurs qui mentionnait aux participants lorsqu'ils prenaient du retard ou de l'avance sur la cadence désirée. Les seules restrictions données aux participants étaient de demeurer sur la plate-forme de force, de ne pas appuyer les pieds sur les palettes et de ne pas tourner du côté où étaient disposés les fils des systèmes « Optotrak » et EMG. On leur demandait

également de placer quatre boîtes par étage comme au départ de l'expérimentation, mais en les laissant libres de choisir l'emplacement de chacune des boîtes. La figure 3.1 illustre la condition expérimentale de cette séance. Il est à noter que des tests de force maximale et des échelles de perception de Borg ont été utilisés dans le but d'un objectif d'évaluation de la fatigue qui a été étudié dans une autre étude. Ces tests ne sont pas développés dans ce document étant donné que la fatigue musculaire n'y est pas traitée.

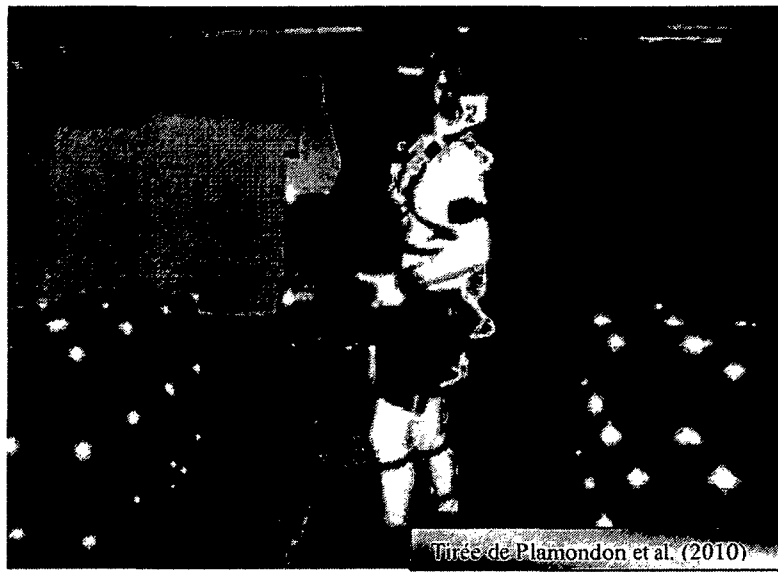


Figure 3.1 Illustration de la 1^{re} tâche qui consistait à déplacer 24 boîtes entre deux palettes

6. DEUXIÈME TÂCHE

Pour la 2^e tâche, les participants devaient déplacer quatre boîtes d'un diable vers un convoyeur et d'un convoyeur vers un diable selon deux configurations, soit 90° et 180°. Le format des boîtes était de 26 cm de profondeur, 34 cm de largeur et 32 cm de hauteur. Il y avait une boîte de 15 kg normale, une boîte de 15 kg dont le poids était décentré à 27 cm d'un côté et à 8 cm de l'autre, une boîte de 15 kg fragilisée et une boîte de 23 kg. Douze bouteilles d'eau et de sable constituaient le

contenu de la caisse fragilisée qui n'était pas recouverte. La configuration de la tâche de manutention a été choisie de sorte que la moitié des participants débutaient avec la configuration de 90° et l'autre moitié avec celle à 180°. Le convoyeur était positionné à une hauteur de 12 cm de la plate-forme de force ce qui correspond à une hauteur de palette et était légèrement incliné vers l'avant afin de permettre aux caisses de glisser vers le participant. Le dessous du diable était positionné à la même hauteur que la plate-forme de force. Une distance de 1,5 m séparait le diable et le convoyeur. La figure 3.2 illustre la 2^e tâche selon la configuration de 90°. Lors de l'aller, les participants devaient empiler les boîtes une par-dessus l'autre sur le diable. L'ordre dans lequel les boîtes étaient manipulées a été choisi en fonction d'un carré latin afin que les novices et les experts ne les déplacent pas dans le même ordre. Toutefois, l'ordre dans lequel les boîtes étaient déplacées était le même entre les groupes. L'ordre était aussi fait en fonction que chaque boîte se retrouve à chacune des quatre hauteurs sur le diable deux fois. Il y avait quatre caisses à déplacer du convoyeur vers le diable (aller), quatre caisses à déplacer du diable vers le convoyeur (retour), quatre hauteurs, deux essais par configuration et deux configurations (90° et 180°). Un total de 128 caisses étaient donc déplacées durant cette expérimentation.

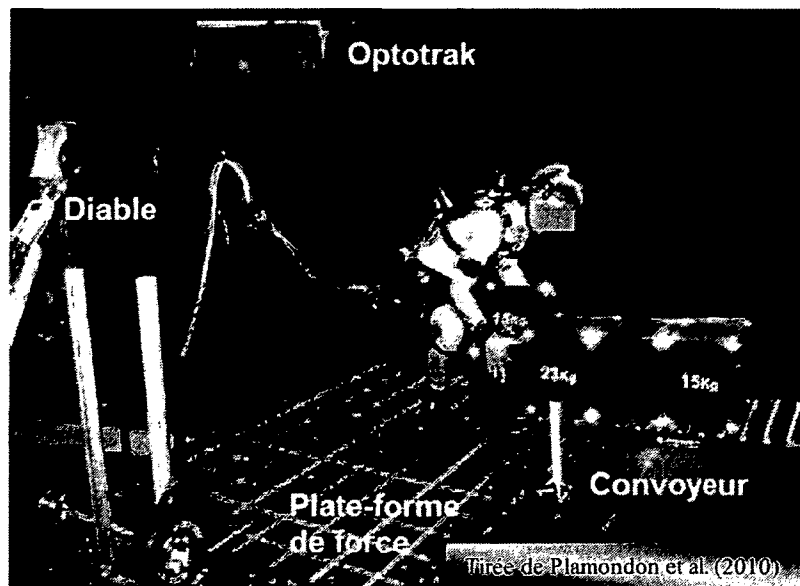


Figure 3.2 Illustration de la 2^e tâche qui consiste à transférer 4 boîtes de formats identiques selon la configuration à 90°

Afin de permettre aux participants d'utiliser les méthodes qu'ils désirent et ainsi pouvoir voir l'effet de l'expertise sur la manutention, il n'y avait pas de restriction quant à la manière d'effectuer la tâche. Toutefois, ils ne devaient pas quitter la plate-forme de force ni se tourner du côté où les fils se trouvent. Un léger repos de 30 secondes était imposé après chaque transfert de quatre caisses. Entre chaque aller-retour, il y avait un repos de deux minutes et après avoir manipulé 64 boîtes, les participants avaient cinq minutes de repos en position assise. Ces repos étaient faits dans le but d'éviter que les participants accumulent une fatigue musculaire. Le tableau 3.2 résume les deux tâches décrites précédemment.

Tableau 3.2
Résumé des deux tâches de manutention effectuées

Première Tâche	Deuxième tâche
<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement de 24 boîtes de 15 kg aller-retour entre deux palettes • 48 boîtes à cadence libre • 48 boîtes à cadence imposée • Deux boîtes positionnées en profondeur, trois en rangées et quatre en hauteur 	<ul style="list-style-type: none"> • Déplacement de quatre boîtes aller-retour d'un diable vers un convoyeur • Boîtes à caractéristiques différentes : <ul style="list-style-type: none"> - Une de 15 kg - Une de 15 kg fragilisée - Une de 15 kg décentrée - Une de 24 kg • 64 boîtes à 90° • 64 boîtes à 180° • Empilement vers le diable et dépilement vers le convoyeur

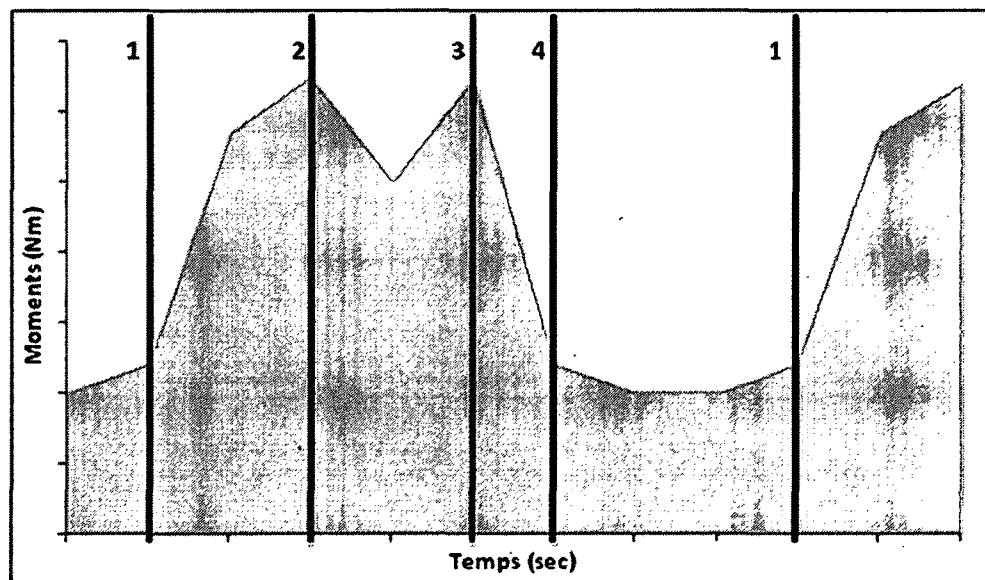
7. ESTIMATION DU CHARGEMENT CUMULÉ

Les données obtenues par le modèle biomécanique segmentaire nous permettent de calculer le chargement cumulé pour les périodes entre différents événements. L'intégrale des moments a été faite pour chaque transfert de caisse et

une addition de toutes les intégrales de chaque transfert résulte en un chargement cumulé (figure 3.3).

Pour chaque transfert, des événements temporels ont été déterminés par observation des vidéos. Ces événements sont les suivants :

1. Première image où le travailleur touche la caisse;
2. Première image où la caisse est dans les airs (entièrement supportée par le sujet);
3. Dernière image où la caisse est dans les airs (entièrement supportée par le sujet);
4. Dernière image où le travailleur touche à la caisse (fin d'un transfert);

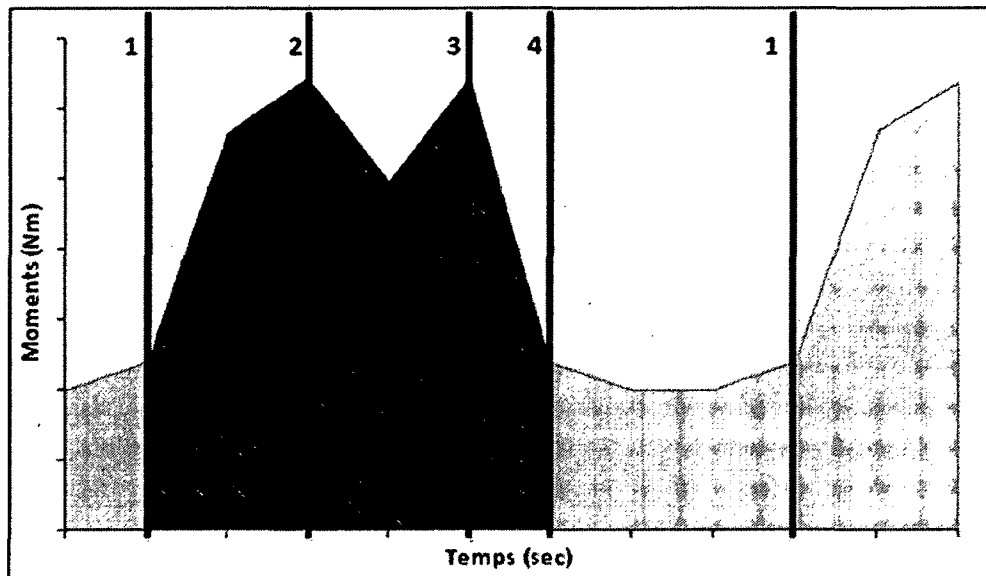


*La figure 3.3 est un exemple de ce à quoi ressemble les chargements pendant une tâche de manutention et utilise des données fictives.

Figure 3.3 Illustration du moment net en fonction du temps et des quatre événements définis durant un transfert de boîtes

Pour la 1^{re} tâche, seul le dernier aller-retour à cadence libre (48 boîtes) et le dernier aller-retour à cadence imposée (48 boîtes) sont pris en considération étant donné le grand nombre de données disponibles et de la longueur du traitement de

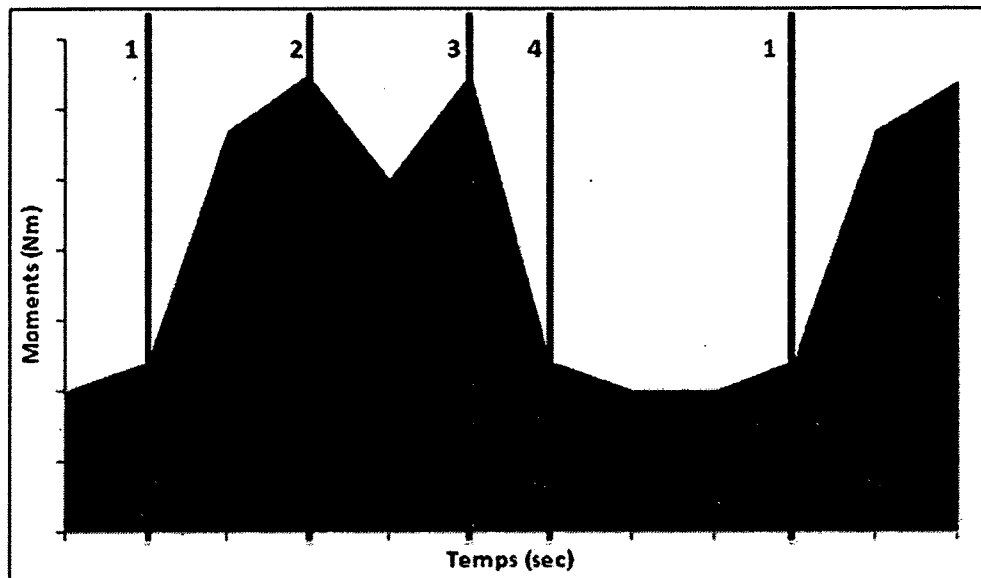
celles-ci. Le traitement des données inclut donc 96 transferts de caisses d'une palette à une autre en considérant le cumul sur l'intervalle de temps entre les événements 1 et 4 (figure 3.4). Les temps de retour pour aller chercher une autre boîte ne sont donc pas pris en considération pour cette tâche.



*La figure 3.4 est un exemple de ce à quoi ressemble les chargements pendant une tâche de manutention et utilise des données fictives.

Figure 3.4 Illustration du moment net en fonction du temps et de l'intervalle de temps 1 à 4 pris en considération pour le calcul du chargement cumulé de la 1^{re} tâche

Pour la 2^e tâche, le chargement cumulé est déterminé sur toute la durée de transfert des quatre boîtes, incluant les périodes où les participants déplacent les caisses ainsi que les périodes où ils n'ont rien dans les mains et se déplacent pour aller chercher une autre boîte (figure 3.5).



*La figure 3.5 est un exemple de ce à quoi ressemble les chargements pendant une tâche de manutention et utilise des données fictives.

Figure 3.5 Illustration du moment net en fonction du temps de l'intervalle de temps entre les événements 1 à 1 pris en considération pour le calcul du chargement cumulé pour la 2^e tâche

Les variables d'intérêt servant à estimer le chargement cumulé pour les comparaisons entre les manutentionnaires novices et experts sont les moments résultants cumulés (MRC) ainsi que les moments asymétriques cumulés (MAC). Les MRC sont la résultante des moments de flexion/extension, d'inclinaison latérale et de rotation. Les MAC sont la résultante des moments d'inclinaison latérale et de rotation uniquement.

8. ANALYSES STATISTIQUES

Le logiciel Number Cruncher Statistical Systems (NCSS, Kayville, Utah 2004) a été utilisé pour faire les tests statistiques sur les données obtenues avec le modèle segmentaire biomécanique. Un seuil alpha de 0,05 a été utilisé pour tous les tests statistiques. Pour la 1^{re} tâche, une analyse de variance à mesures répétées

(ANOVAMR) a été effectuée avec un facteur intersujet étant l'expertise et un facteur intrasujet étant la cadence. Pour la 2^e tâche, une ANOVAMR a également été effectuée avec un facteur intersujet étant l'expertise et deux facteurs intrasujets : la configuration (90° ou 180°) et le type de transfert (aller vers le diable ou aller vers le convoyeur). Les résultats des ANOVAMR ont permis d'agencer les données convenablement pour valider les méthodes simplifiées du calcul des chargements cumulés.

Des extrapolations sont faites à partir d'un nombre de boîtes restreint multiplié par le multiplicateur qui convient pour obtenir le nombre de boîtes total du standard de comparaison. Des tests t pour échantillons appariés ont été effectués pour faire les comparaisons entre le chargement cumulé estimé par les méthodes simplifiées et le standard de comparaison. Le ratio du chargement cumulé (méthode simplifiée/méthode standard) a également été calculé pour comparer les méthodes de simplifications. Un ratio de 1 signifie que les résultats des extrapolations sont identiques aux résultats du standard. Enfin, les coefficients de variation ont été calculés sur les ratios afin de voir comment ils varient en fonction de la méthode de simplification et ainsi pouvoir apprécier la fiabilité des estimations.

8.1 Première tâche

Plusieurs scénarios sont à envisager pour agencer convenablement les données pour les standards de comparaison. En fait, s'il y a des effets d'expertise ou de cadence, les standards ne prendront pas en compte le même nombre de données que s'il n'y a pas d'effet. Donc, s'il y a un effet d'expertise, les chargements cumulés des travailleurs novices et experts devront être considérés séparément, ce qui fera des groupes de 15 participants au total. Par contre, s'il n'y a pas d'effet d'expertise, les travailleurs novices et expérimentés seront considérés ensemble, ce qui fera un échantillon total de 30 participants. S'il y a un effet de cadence, les cadences libre et imposée seront considérées séparément. Ceci fera donc en sorte que le cumul de 48

boîtes dans chacune des cadences sera utilisé comme standard de comparaison. Par contre, s'il n'y a pas d'effet de cadence, les cadences libre et imposée seront considérées ensemble pour avoir un standard de comparaison comprenant le cumul des chargements de 96 boîtes. Les méthodes simplifiées comprenant jusqu'à 25 % du nombre de boîtes total des standards de comparaison seront vérifiées. Cette proportion apparaît comme une simplification importante par rapport à l'étude de l'ensemble des boîtes.

Trois méthodes d'extrapolations du chargement cumulé seront testées et ce, dans tous les cas (cadences différentes, travailleurs expérimentés ou non ou tous inclus). Pour toutes les méthodes, les extrapolations sont faites en multipliant le nombre de boîtes utilisées par la méthode par le multiplicateur nécessaire pour obtenir le nombre de boîtes totales du standard de comparaison.

La première méthode consiste à prendre des boîtes consécutives. Dans la plupart des études faites sur les méthodes simplifiées du chargement cumulé, ce sont uniquement les premières boîtes consécutives qui sont prises en considération pour faire les extrapolations. Dans ce mémoire, trois scénarios sont explorés pour les boîtes consécutives soit, celles prises au début, au milieu et à la fin de la tâche de manutention comme suit :

- Début: à la première boîte s'ajoutent les suivantes pour atteindre le nombre de boîtes souhaitées. Il s'agit donc principalement de descentes de boîtes;
- Milieu: à la 24^e boîte s'ajoutent celles situées avant et après pour atteindre le nombre de boîtes souhaitées. Il s'agit donc d'un mélange de descentes et de montées de boîtes;
- Fin: à la dernière boîte s'ajoutent celles qui précèdent pour atteindre le nombre de boîtes souhaitées. Il s'agit donc principalement de montées de boîtes.

La 2^e méthode utilisée est de considérer des boîtes réparties également et ce, lorsqu'au moins quatre boîtes sont utilisées. La façon dont les boîtes sont réparties sera décidée en fonction du nombre de boîtes du standard de comparaison. Par exemple, si les cadences sont considérées séparément, le nombre de boîtes du standard de comparaison est 48. Pour extrapoler l'effet de quatre boîtes réparties également, les boîtes 12, 24, 36 et 48 seront utilisées. Étant donné qu'il est impossible de prendre la 5,33^e boîte par exemple, seul les multiplicateurs du standard de comparaison seront vérifiés.

La 3^e méthode utilisée consiste à considérer des boîtes choisies aléatoirement. Cette méthode est aussi utilisée pour quatre boîtes et plus. Un générateur de nombres aléatoires a été utilisé pour déterminer les boîtes à considérer.

8.2 Deuxième tâche

Plusieurs scénarios sont également pris en considération pour la 2^e tâche. Comme pour la 1^{re} tâche, s'il y a un effet d'expertise, les chargements cumulés des travailleurs novices et experts seront considérés séparément tandis que s'il n'y a pas d'effet d'expertise, ils seront considérés ensemble. Peu importe qu'il y ait ou non un effet de configuration, les deux configurations seront regardées ensemble étant donné que 50 % des travailleurs débutaient avec la configuration à 90° et 50 % avec celle à 180°. Ceci fait en sorte que les deux configurations sont toujours utilisées également. S'il y a un effet du type de transferts, pour les méthodes simplifiées, les aller-retour seront utilisés, donc huit boîtes minimum par simplification. Le standard de comparaison comprendrait alors le chargement cumulé de 16 essais (de huit boîtes). S'il n'y a pas d'effet du type de transferts, les allers et les retours pourront être considérés comme étant indépendants, donc quatre boîtes minimum par simplification pourront être considérées. Le standard de comparaison serait donc le chargement cumulé de 32 essais (de quatre boîtes).

Les trois mêmes méthodes simplifiées que pour la 1^{re} tâche sont utilisées pour faire les extrapolations, excepté dans le cas où des aller-retour seraient considérés étant donné le peu de simplifications possibles. Les méthodes simplifiées comprennent jusqu'à 25 % du nombre de boîtes total des standards de comparaison. Les figures 3.6 et 3.7 résument les différents scénarios utilisés pour effectuer l'analyse des méthodes simplifiées des deux tâches décrites précédemment dans ce mémoire.

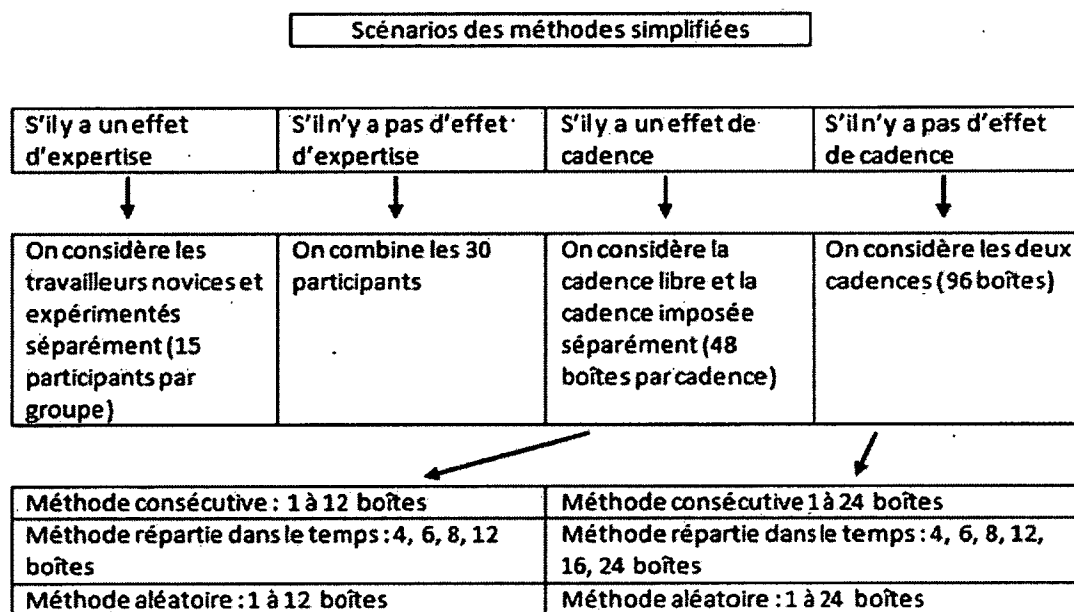


Figure 3.6 Illustration des différents scénarios utilisés pour effectuer les analyses des méthodes simplifiées de la première tâche.

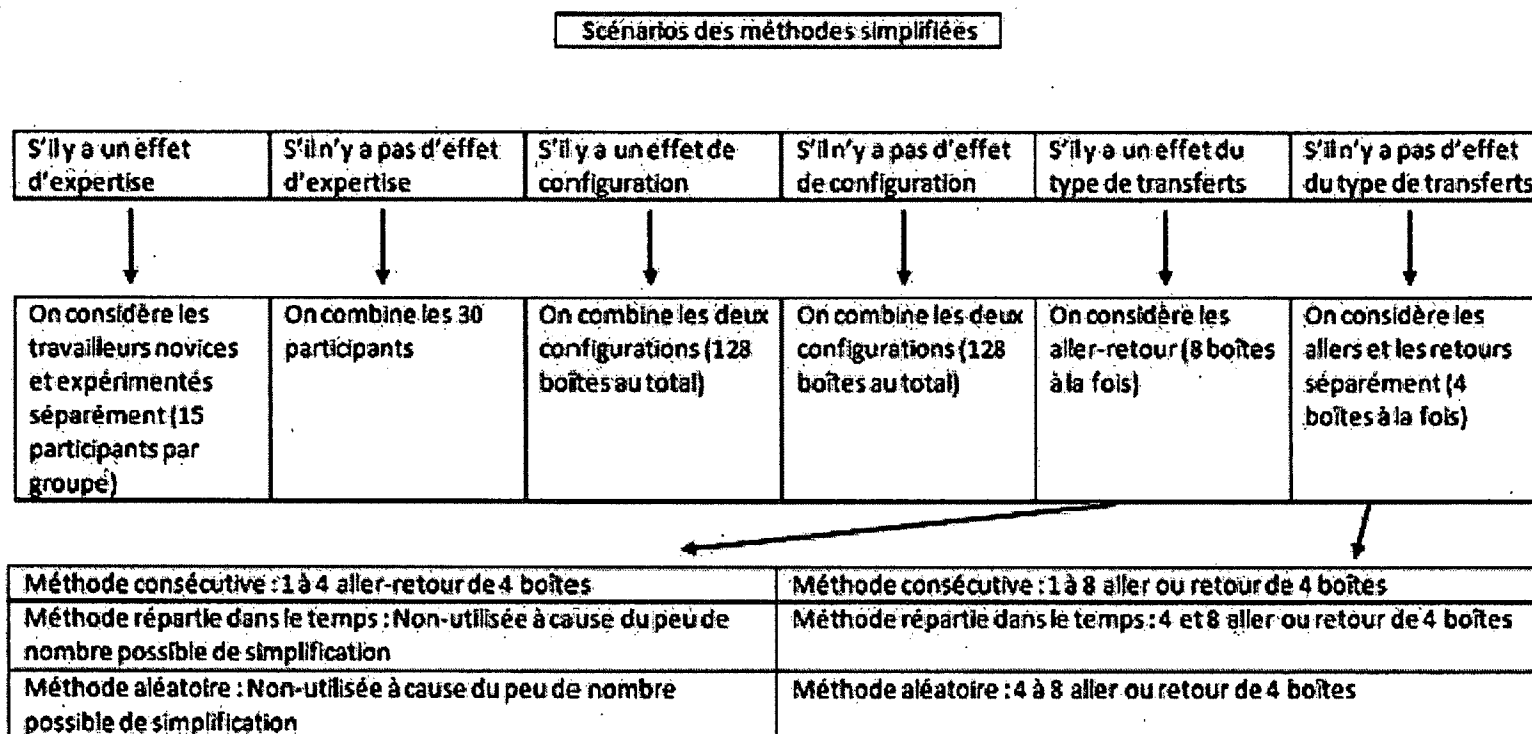


Figure 3.7 Illustration des différents scénarios utilisés pour effectuer les analyses des méthodes simplifiées de la deuxième tâche.

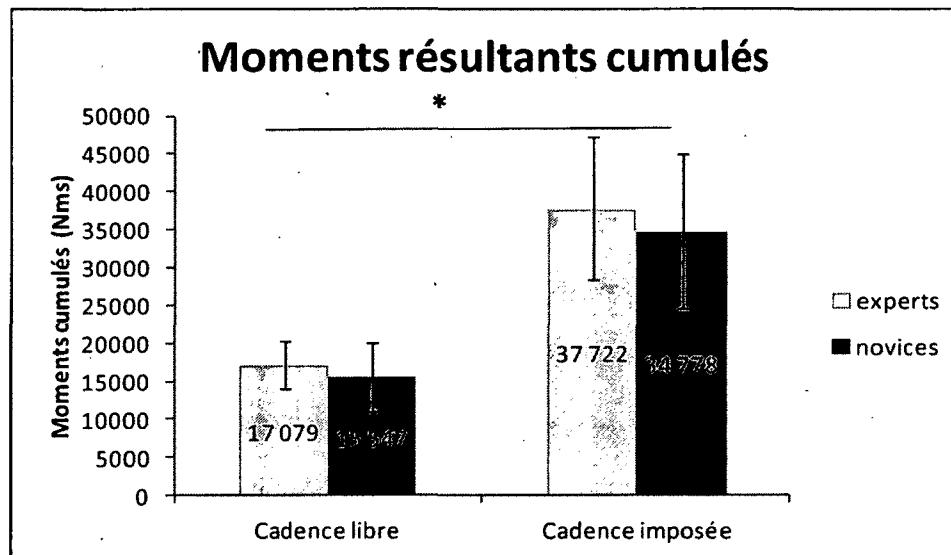
QUATRIÈME CHAPITRE

RÉSULTATS

1. ÉTUDE DU MOMENT RÉSULTANT CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE PALETTES (1^{RE} TÂCHE)

1.1 Effets de l'expertise et de la cadence sur le chargement cumulé

Pour le chargement cumulé du moment résultant (MRC) de la 1^{re} tâche, il n'y a pas de différence sur les chargements cumulés entre les travailleurs novices et les travailleurs expérimentés ($p = 0,09$). Par contre, les MRC à cadence imposée sont moins élevés que ceux à cadence libre ($p = 0,000$) (figure 4.1). Il n'y a pas d'interaction entre l'expertise et la cadence ($p = 0,7$).



*Différence significative entre la cadence libre et la cadence imposée à $\alpha < 0,05$.

Figure 4.1 Moments résultants cumulés (Nms) de la 1^{re} tâche selon la cadence et l'expertise

Étant donné la différence entre les cadences, celles-ci sont étudiées séparément et leur standard de comparaison comporte 48 boîtes (aller et retour de 24 boîtes). Tous les participants sont considérés, sans égard à l'expertise. La moyenne du

standard de comparaison pour les MRC à cadence libre est de 20 699 Nms (étendue: 12 388 Nms, 34 640 Nms) et de 17 099 Nms (étendue : 11 921 Nms, 22 351 Nms) à cadence imposée. Les extrapolations de la méthode consécutive comportent de 1 à 12 boîtes tandis que celles de la méthode de transferts répartis également comportent 4, 6, 8 et 12 boîtes et que celles de la méthode aléatoire comportent de 4 à 12 boîtes.

1.2 Méthode simplifiée consécutive – Cadence libre

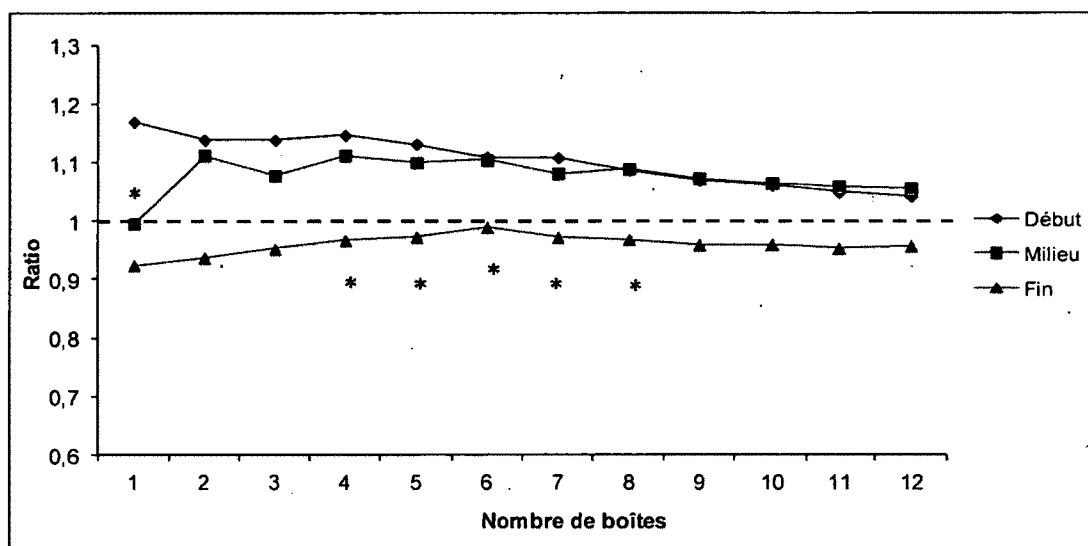
Les extrapolations faites à partir des boîtes prises consécutivement au début donnent toujours des résultats différents du standard de comparaison et ce, peu importe le nombre de boîtes utilisées (tableau 4.1). Celles faites à partir des boîtes prises au milieu (incluant des boîtes des deux palettes) donnent des résultats différents du standard, excepté lorsqu'une seule boîte est utilisée et multipliée par 48. Les extrapolations faites à partir des boîtes prises à la fin donnent des résultats équivalents au standard lorsque 4 à 8 boîtes sont utilisées. Lorsqu'une à trois boîtes ou 9 à 12 boîtes sont utilisées, les résultats sont différents du standard.

Tableau 4.1
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence libre.

Nombre de boîtes x extrapolation	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 48	23 845	20 361*	18 705
2 x 24	23 448	23 072	19 115
3 x 16	23 525	22 311	19 437
4 x 12	23 796	23 123	19 796*
5 x 9,6	23 484	22 817	19 872*
6 x 8	23 064	22 963	20 227*
7 x 6,85	22 974	22 454	19 860*
8 x 6	22 534	22 628	19 791*
9 x 5,33	22 161	22 274	19 618
10 x 4,8	22 003	22 117	19 654
11 x 4,36	21 765	21 999	19 539
12 x 4	21 610	21 913	19 636

*Signifie qu'il n'y a pas de différence significative entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison est de 20 699 Nms.

Les ratios des boîtes prises à la fin se rapprochent davantage de l'unité comparativement aux ratios des boîtes prises au début et au milieu (figure 4.2). Les ratios des boîtes prises au début se rapprochent de l'unité lorsque le nombre de boîtes utilisées augmente. Excepté lorsqu'une seule boîte est utilisée, les ratios des boîtes prises au milieu se rapprochent légèrement de l'unité en augmentant le nombre de boîtes utilisées. En général, les extrapolations faites à partir des boîtes prises au début et au milieu tendent à surestimer les MRC tandis que les extrapolations faites à partir des boîtes prises à la fin tendent à les sous-estimer.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.1

Figure 4.2 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement

Les COV calculés pour les ratios des MRC diminuent avec l'augmentation du nombre de boîtes utilisées pour faire les extrapolations, et ce peu importe le moment où les boîtes sont prises (Figure 4.3). Les coefficients de variation calculés à cadence libre sont en bas de 0,1 dès que sept boîtes prises au début, cinq boîtes prises au milieu et neuf boîtes prises à la fin sont utilisées pour faire l'extrapolation.

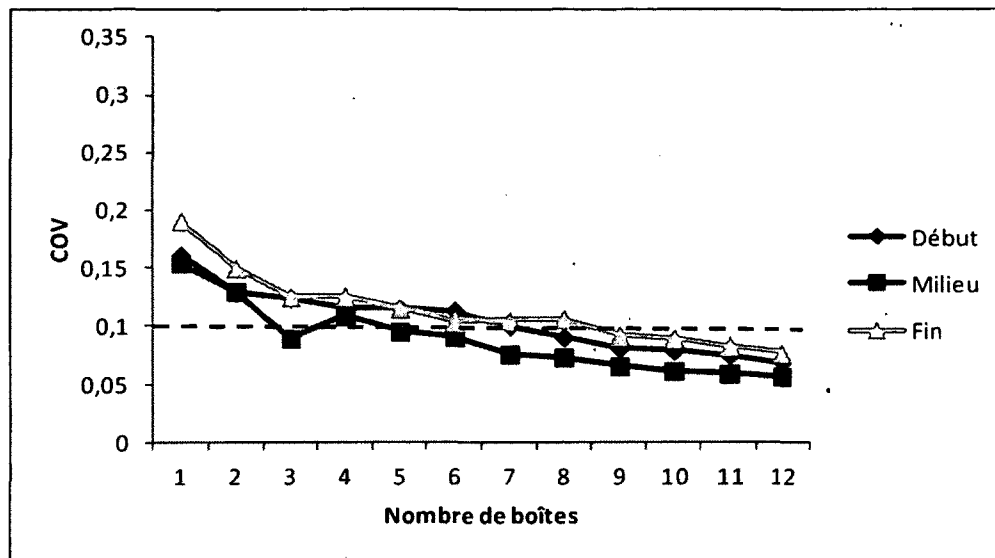


Figure 4.3 Coefficients de variation des ratios des MRC à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement

1.3 Méthode simplifiée consécutive – Cadence imposée

De façon générale, les résultats pour la cadence imposée (neuf boîtes par minute) sont en accord avec ceux à cadence libre. Lorsque les boîtes sont prises au début, les résultats des extrapolations donnent des résultats différents du standard de comparaison lorsqu'il y a moins de huit boîtes de considérées (tableau 4.2). Lorsque ce sont les boîtes prises au milieu de la tâche qui sont utilisées pour faire les extrapolations, les résultats sont toujours différents de ceux obtenus par le standard de comparaison, excepté lorsqu'il y a une seule boîte qui est utilisée pour extrapoler. Par contre, les résultats des extrapolations faites à partir des boîtes prises à la fin donnent des résultats semblables au standard de comparaison dès que deux boîtes et plus sont prises en considération.

Les ratios des boîtes prises à la fin se rapprochent davantage de l'unité et ce, peu importe le nombre de boîtes considérées pour extrapoler, excepté pour

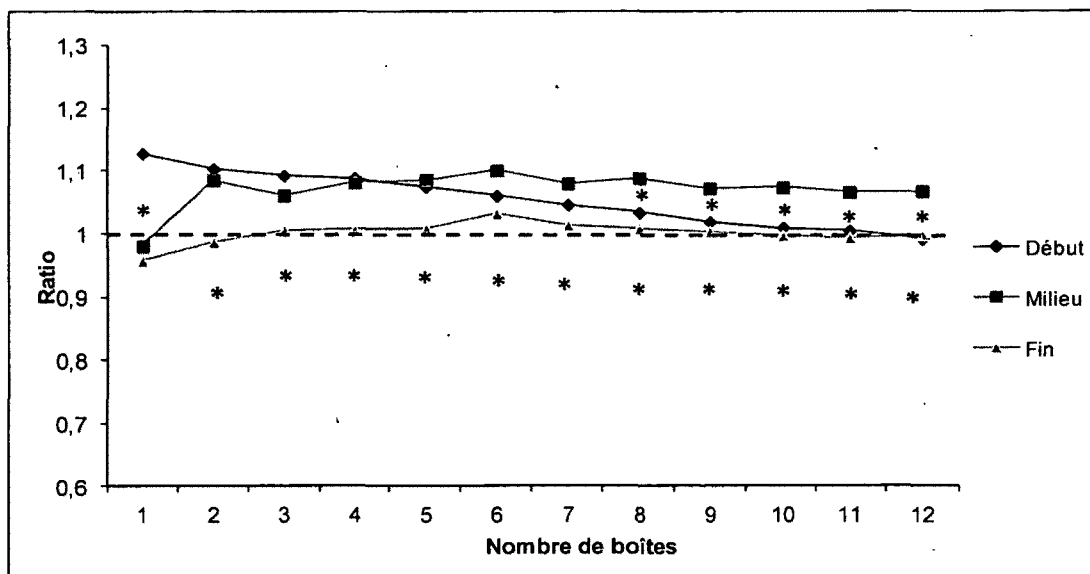
l'extrapolation à partir d'une boîte prise au milieu (Figure 4.4). Par contre, pour les extrapolations faites à partir de boîtes prises au milieu ou à la fin, le ratio tend à se rapprocher de l'unité avec l'augmentation du nombre de boîtes utilisées. En général, les extrapolations faites à partir des boîtes prises au début et au milieu tendent à surestimer les MRC tandis que les extrapolations faites à partir des boîtes prises à la fin tendent à les sous-estimer.

Les COV effectués sur les MRC à cadence imposée diminuent avec l'augmentation du nombre de boîtes utilisées pour l'extrapolation (figure 4.5). Les valeurs des coefficients de variation calculés à cadence imposée sont en bas de 0,1 dès que huit boîtes prises au début, que trois boîtes prises au milieu et que huit boîtes prises à la fin sont utilisées.

Tableau 4.2
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes
méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont
prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence imposée.

Nombre de boîtes x extrapolation	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 48	19 257	16 609*	16 206
2 x 24	18 798	18 468	16 702*
3 x 16	18 638	18 045	17 042*
4 x 12	18 553	18 398	17 107*
5 x 9,6	18 342	18 480	17 159*
6 x 8	18 129	18 740	17 591*
7 x 6,85	17 882	18 382	17 303*
8 x 6	17 678*	18 544	17 207*
9 x 5,33	17 427*	18 263	17 135*
10 x 4,8	17 271*	18 282	17 010*
11 x 4,36	17 205*	18 151	16 954*
12 x 4	16 981*	18 203	17 059*

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison est de 17 099 Nms.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.2

Figure 4.4 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement

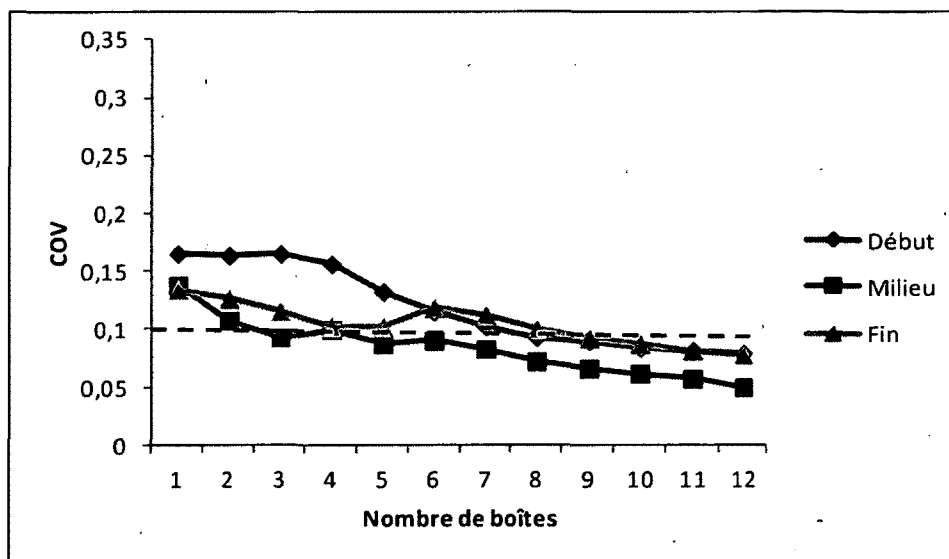


Figure 4.5 Coefficients de variation des ratios des MRC à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement

1.4 Méthode simplifiée de transferts répartis également

En comparant les MRC de la méthode de transferts répartis également au standard de comparaison, il y a seulement l'utilisation de 12 boîtes à cadence libre qui donne un résultat équivalent (tableau 4.3).

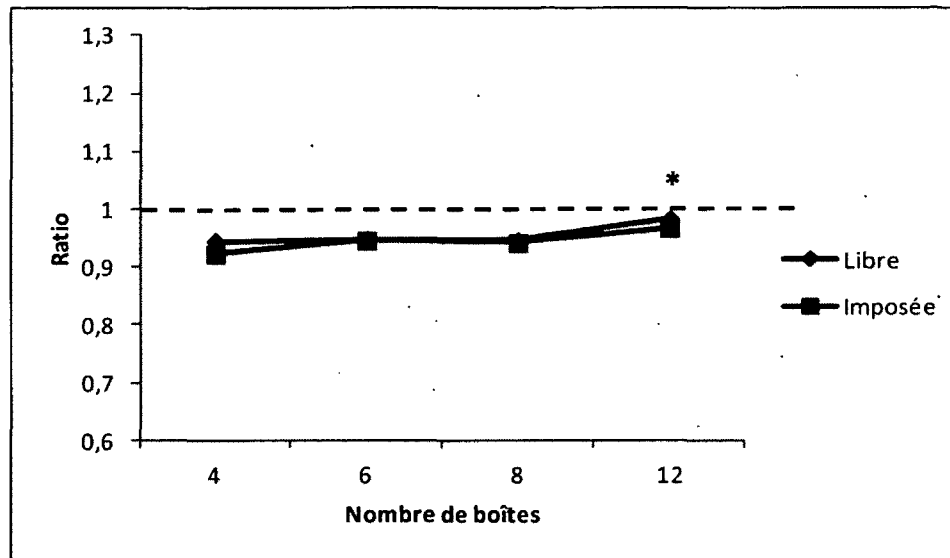
Tableau 4.3
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de transferts répartis également, selon la cadence libre et la cadence imposée.

Nombre de boîtes x extrapolation	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)
4 x 12	19 380	15 746
6 x 8	19 466	16 152
8 x 6	19 438	16 156
12 x 4	20 274*	16 534

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence libre est de 20 699 Nms et de 17 099 Nms à cadence imposée.

Les ratios sur les MRC avec cette méthode sont toujours inférieurs à l'unité (figure 4.6). Par contre, en augmentant le nombre de boîtes, il semble que les ratios des extrapolations se rapprochent de l'unité, et ce pour les deux cadences.

Les COV calculés sur les ratios des MRC diminuent en augmentant le nombre de boîtes, et ce pour les deux cadences (figure 4.7), et ils sont toujours inférieurs à 0,1.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.3

Figure 4.6 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode de transferts répartis également

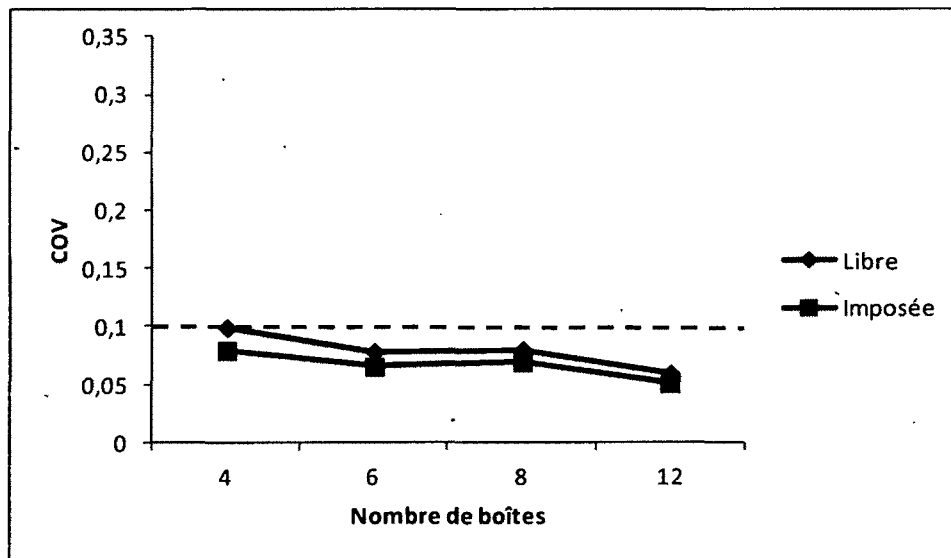


Figure 4.7 Coefficients de variation des ratios sur les MRC pour la méthode d'extrapolation basée sur des transferts répartis également en fonction du nombre de boîtes et pour la tâche effectuée à cadence libre et imposée.

1.5 Méthode simplifiée aléatoire

Pour la méthode d'extrapolation basée sur des boîtes sélectionnées aléatoirement, les MRC estimés à partir des extrapolations pour la tâche à cadence libre donnent des résultats différents du standard, excepté lorsque huit et neuf boîtes sont utilisées (tableau 4.4). À cadence imposée, les résultats sont variables en fonction du nombre de boîtes utilisées.

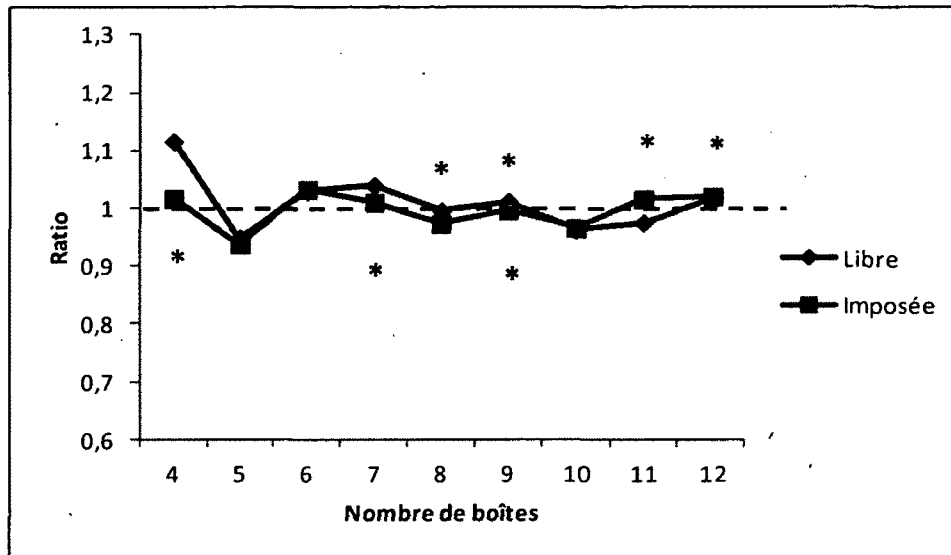
Les ratios faits sur les MRC de cette méthode sont assez variables, car parfois ils sont près de l'unité, mais ils sont aussi parfois éloignés selon le nombre de boîtes utilisées (figure 4.8). Dépendamment, ils tendent à sous-estimer et à surestimer les résultats et ce, pour les deux cadences.

Les COV tendent à diminuer lorsque le nombre de boîtes utilisées pour faire les extrapolations augmente, même s'il y a une légère augmentation entre sept et neuf boîtes à cadence imposée (figure 4.9). Excepté lorsque quatre boîtes sont utilisées à cadence imposée, tous les COV sont inférieurs à 0,1.

Tableau 4.4
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes sélectionnées aléatoirement, selon la cadence libre et la cadence imposée.

Nombre de boîtes x extrapolation	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)
4 x 12	23 125	17 413*
5 x 9,6	19 457	15 977
6 x 8	21 355	17 686
7 x 6,85	21 480	17 236*
8 x 6	20 646*	16 621
9 x 5,33	20 744*	17 056*
10 x 4,8	19 892	16 493
11 x 4,36	20 143	17 364*
12 x 4	21 043	17 443*

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence libre est de 20 699 Nms et de 17 099 Nms à cadence imposée.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.4

Figure 4.8 Ratios des MRC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode aléatoire

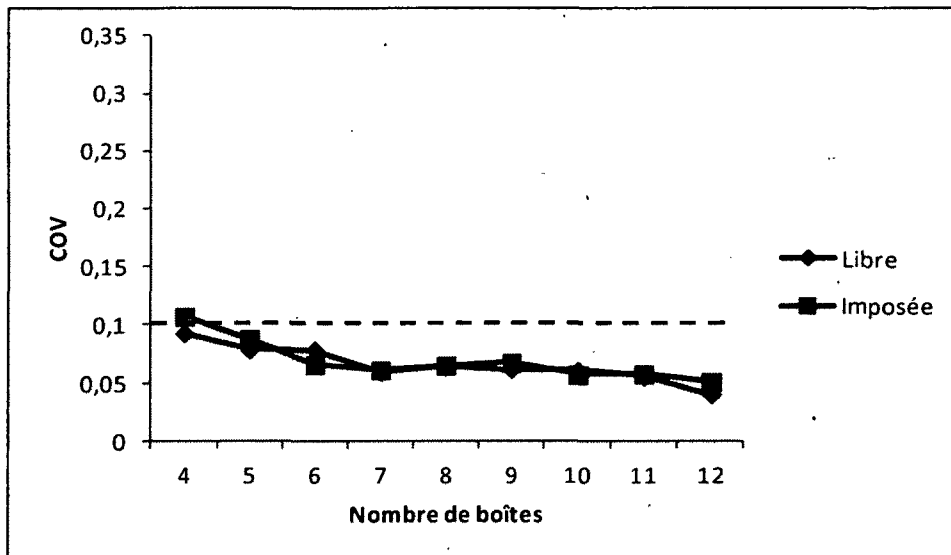
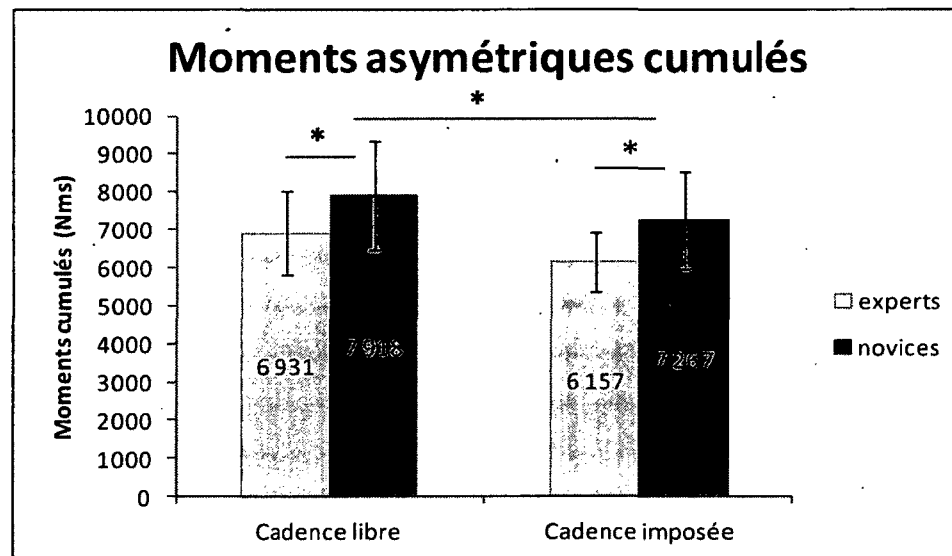


Figure 4.9 Coefficients de variation des ratios sur les MRC pour la méthode d'extrapolation basée sur des boîtes sélectionnées aléatoirement en fonction du nombre de boîtes et pour la tâche effectuée à cadence libre et imposée.

2. ÉTUDE DU MOMENT ASYMÉTRIQUE CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE PALETTES (1^{RE} TÂCHE)

2.1 Effet de l'expertise et de la cadence sur le chargement cumulé

En ce qui concerne les MAC de la 1^{re} tâche, les travailleurs expérimentés ont des MAC moins élevés que les travailleurs novices ($p = 0,01$) (figure 4.10) et les MAC à cadence imposée sont moins élevés que ceux à cadence libre ($p < 0,000$). Il n'y a pas d'interaction entre l'expertise et la cadence ($p = 0,7$).



*Différence significative entre les travailleurs novices et expérimentés et entre les deux cadences à $\alpha < 0,05$.

Figure 4.10 Moments asymétriques cumulés (Nms) de la 1^{re} tâche selon la cadence et le niveau d'expertise

Étant donné les différences entre les niveaux d'expertise et les cadences, les travailleurs novices et expérimentés ainsi que les cadences sont étudiés séparément. Les standards de comparaison comprennent donc 48 boîtes (aller et retour de 24 boîtes) ainsi que 15 participants. La moyenne du standard de comparaison des travailleurs expérimentés pour les MAC à cadence libre est de 6 931 Nms (étendue: 4 997 Nms, 9 097 Nms) et de 7 918 Nms (étendue : 5 751 Nms, 10 148 Nms) pour les

travailleurs novices. La moyenne du standard de comparaison des travailleurs expérimentés pour les MAC à cadence imposée est de 6 157 Nms (étendue: 4 721 Nms, 7 488 Nms) et de 7 267 Nms (étendue : 5 778 Nms, 11 047 Nms) pour les travailleurs novices. Les extrapolations de la méthode consécutive comportent de 1 à 12 boîtes tandis que celles de la méthode de transferts répartis également comportent 4, 6, 8 et 12 boîtes et que celles de la méthode aléatoire comportent de 4 à 12 boîtes.

2.2 Méthode simplifiée consécutive – Cadence libre

Les boîtes prises au début à cadence libre donnent des résultats semblables au standard, excepté lorsque neuf boîtes et plus des travailleurs expérimentés et 11 et 12 boîtes des travailleurs novices sont utilisées (tableau 4.5). Tant pour les travailleurs expérimentés et novices, les résultats des extrapolations faites à partir de boîtes prises au milieu donnent des résultats semblables au standard, et ce peu importe le nombre de boîtes utilisées. Une différence entre les travailleurs expérimentés et novices est perçue lorsque ce sont les boîtes prises à la fin qui sont considérées. En fait, pour les travailleurs novices, aucune des extrapolations ne donne de résultats semblables au standard tandis que celles des travailleurs expérimentés donnent des résultats semblables lorsque sept boîtes et plus sont utilisées.

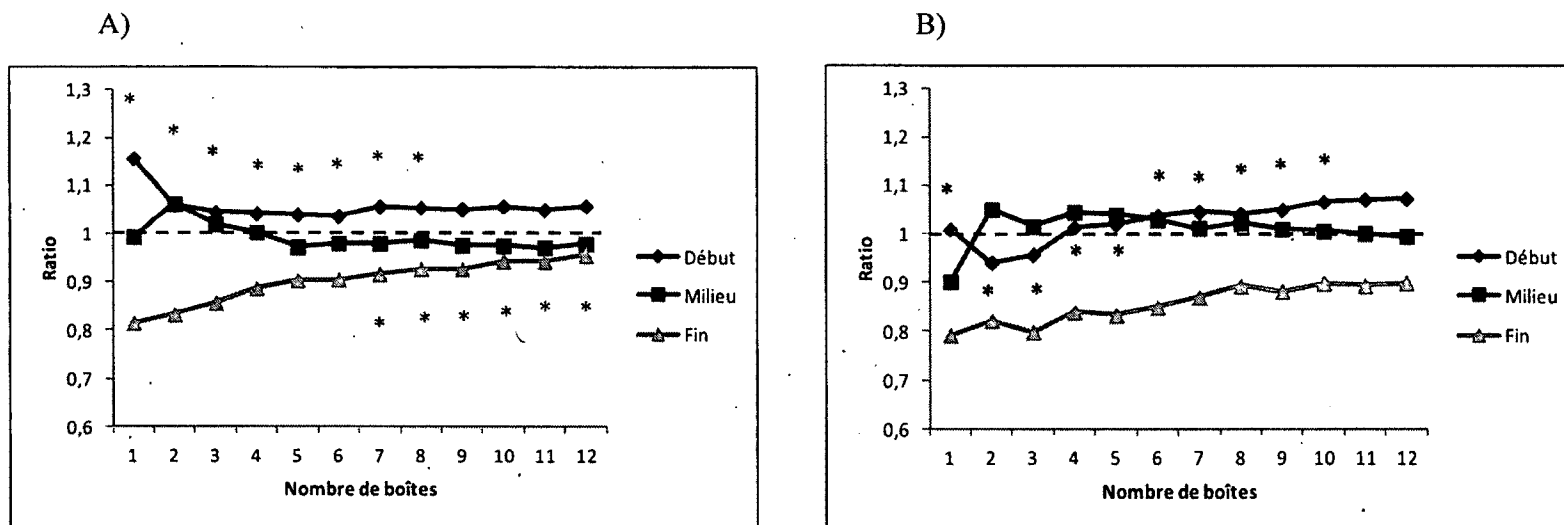
Pour les travailleurs expérimentés, les ratios faits sur les boîtes prises au début tendent à surestimer les MAC tandis que ceux des travailleurs novices les sous-estiment lorsqu'une à trois boîtes sont utilisées et les surestiment lorsque quatre boîtes et plus sont utilisées (figure 4.11). Les ratios des boîtes prises au milieu et à la fin ont les mêmes tendances, peu importe le niveau d'expertise. Les ratios des boîtes prises au milieu se tiennent près de l'unité et ceux des boîtes prises à la fin sous-estiment les MAC, mais tendent à se rapprocher de l'unité lorsque le nombre de boîtes est augmenté.

Les COV effectués sur les ratios des MAC des travailleurs expérimentés et novices à cadence libre tendent à diminuer lorsque le nombre de boîtes utilisées est augmenté (figure 4.12). Pour les travailleurs expérimentés, les COV sont égaux ou plus petits que 0,1 lorsque quatre boîtes ou plus prises au début, lorsque trois boîtes et huit boîtes et plus prises au milieu ainsi que lorsque 12 boîtes prises à la fin sont utilisées pour faire les extrapolations. Les COV des travailleurs novices sont tous plus élevés que 0,1, excepté lorsque 11 et 12 boîtes prises au début sont utilisées.

Tableau 4.5
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence libre.

Nombre de boîtes x extrapolation	Experts			Novices		
	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 48	8 054*	6 870*	5 650	7 879*	7 142*	6 267
2 x 24	7 380*	7 370*	5 818	7 341*	8 361*	6 515
3 x 16	7 294*	7 042*	5 971	7 460*	8 099*	6 316
4 x 12	7 257*	6 885*	6 193	7 915*	8 281*	6 649
5 x 9,6	7 214*	6 679*	6 312	7 981*	8 252*	6 601
6 x 8	7 197*	6 722*	6 329	8 127*	8 177*	6 709
7 x 6,85	7 340*	6 730*	6 402*	8 206*	8 022*	6 887
8 x 6	7 315*	6 792*	6 479*	8 184*	8 107*	7 088
9 x 5,33	7 294	6 718*	6 477*	8 259*	7 996*	6 988
10 x 4,8	7 338	6 716*	6 594*	8 406*	7 948*	7 139
11 x 4,36	7 281	6 687*	6 581*	8 456	7 929*	7 102
12 x 4	7 338	6 746*	6 667*	8 467	7 861*	7 140

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison pour les experts est de 6 931 Nms et de 7 918 Nms pour les novices.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.5. Pour les boîtes prises au milieu, les différences avec le standard sont toujours non significatives.

Figure 4.11 Ratios des MAC (estimé/standard) des travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence libre en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées et de leur emplacement dans l'extrapolation

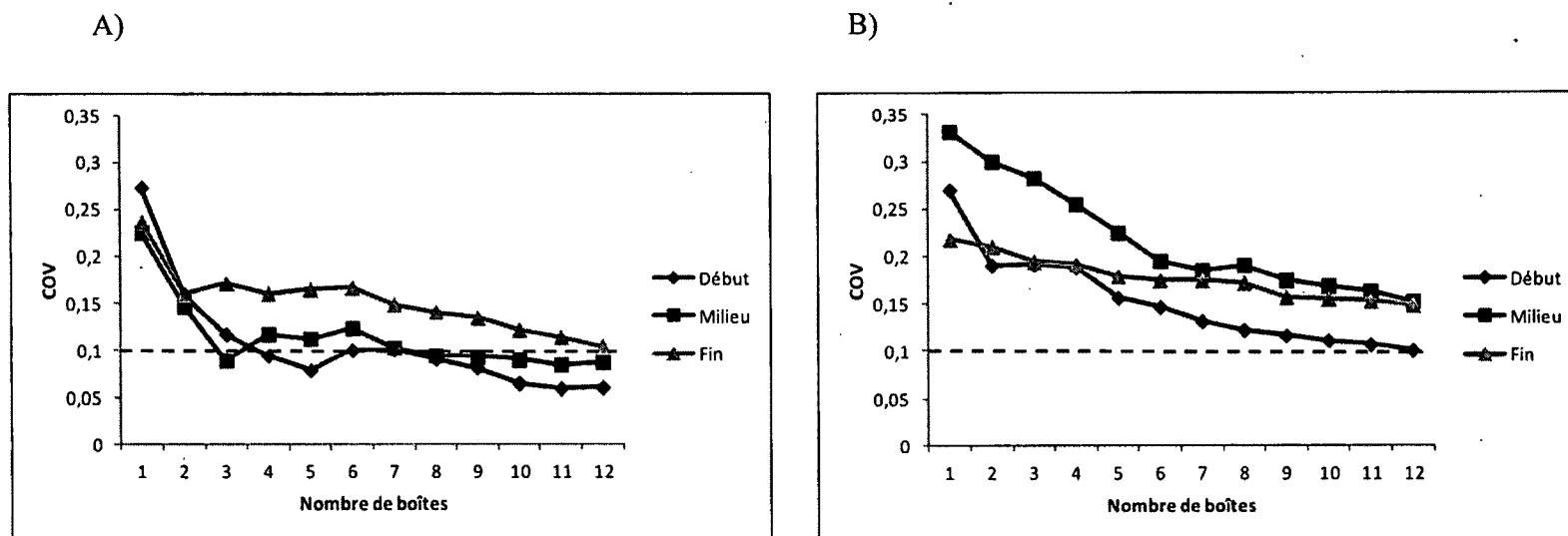


Figure 4.12 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence libre.

2.3 Méthode simplifiée consécutive – Cadence imposée

Pour la cadence imposée, la moyenne du standard de comparaison des travailleurs expérimentés est de 6 157 Nms (étendue : 4 721 Nms, 7 488 Nms) et de 7 267 Nms (étendue : 5 778 Nms, 11 047 Nms) pour les travailleurs novices. Pour les experts, les résultats des extrapolations faites à partir des boîtes prises au début sont semblables au standard lorsque deux à six boîtes sont utilisées, et différents du standard lorsqu'une boîte ainsi que 7 à 12 boîtes sont utilisées (tableau 4.6). Pour les novices, les extrapolations faites à partir des boîtes prises au début donnent des estimations semblables au standard, excepté lorsque 11 et 12 boîtes sont utilisées. Les extrapolations faites à partir de boîtes prises au milieu donnent toujours des résultats semblables au standard pour les experts. Pour les novices, lorsque ce sont les boîtes prises au milieu qui sont considérées, les résultats sont différents du standard, excepté lorsque deux et quatre boîtes sont utilisées. Les extrapolations faites à partir de boîtes prises à la fin donnent toujours des résultats significativement différents du standard de comparaison pour les experts, mais sont semblables au standard lorsque 6 à 12 boîtes sont utilisées pour les novices.

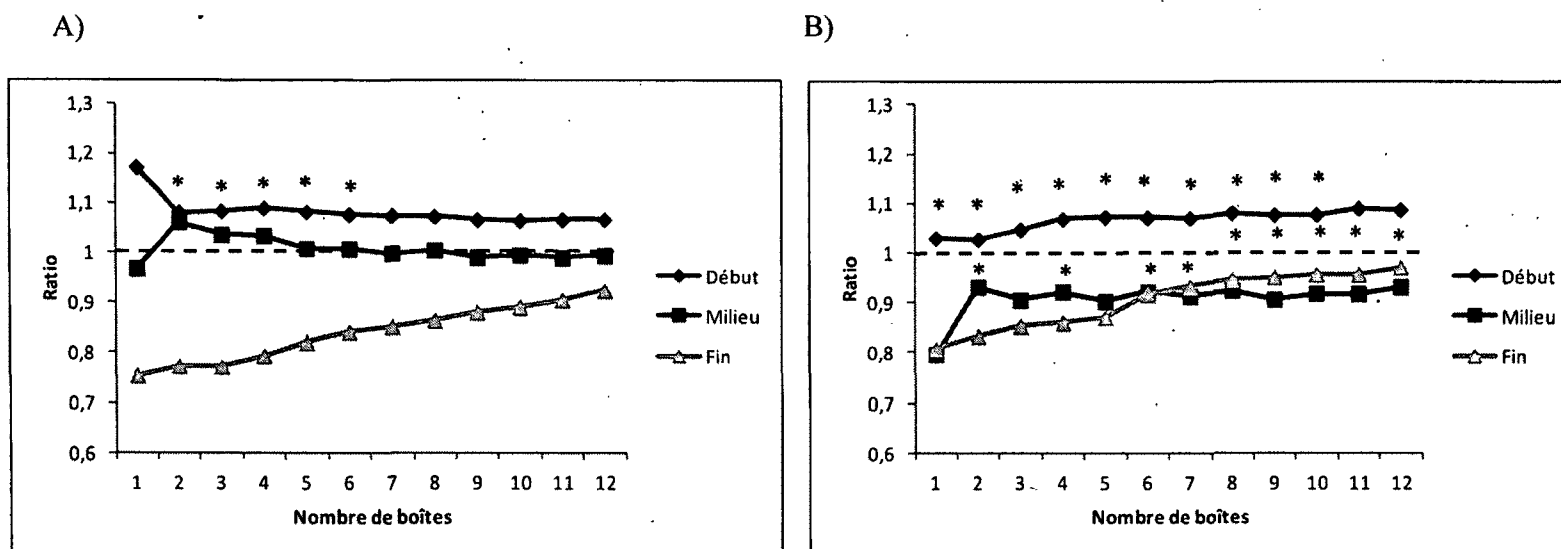
Les ratios faits sur les MAC calculés à partir des boîtes prises au début tendent à surestimer les résultats du standard de comparaison et ce, peu importe l'expertise (figure 4.13). Les ratios des boîtes prises à la fin sous-estiment les résultats, mais ils se rapprochent de l'unité lorsque le nombre de boîtes est augmenté. Les ratios des boîtes prises au milieu des travailleurs expérimentés sont près de l'unité tandis que ceux des travailleurs novices sous-estiment l'unité.

Les COV faits sur les ratios sont supérieurs à 0,1 et tendent à diminuer de façon générale (figure 4.14). L'exception est en ce qui concerne les COV faits sur les ratios des boîtes prises à la fin où la tendance à diminuer se fait percevoir, mais où il y a une augmentation à la 5^e boîtes pour les travailleurs expérimentés et à la 6^e boîte pour les novices.

Tableau 4.6
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 48 boîtes à cadence imposée.

Nombre de boîtes x extrapolation	Experts			Novices		
	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 48	7 238	5 996*	4 564	7 611*	5 802	5 832
2 x 24	6 659*	6 553*	4 704	7 439*	6 763*	6 014
3 x 16	6 686*	6 410*	4 711	7 588*	6 582	6 191
4 x 12	6 715*	6 407*	4 841	7 760*	6 722*	6 270
5 x 9,6	6 667*	6 232*	5 004	7 790*	6 597	6 346
6 x 8	6 641*	6 225*	5 141	7 799*	6 720	6 700*
7 x 6,85	6 623	6 159*	5 215	7 804*	6 644	6 824*
8 x 6	6 612	6 197*	5 285	7 892*	6 724	6 947*
9 x 5,33	6 567	6 113*	5 393	7 855*	6 590	6 960*
10 x 4,8	6 562	6 132*	5 458	7 855*	6 670	6 992*
11 x 4,36	6 577	6 093*	5 548	7 939	6 670	6 991*
12 x 4	6 583	6 117*	5 666	7 923	6 754	7 108*

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison pour les experts est de 6 157 Nms et de 7 267 Nms pour les novices.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.6. Pour les boîtes prises au milieu des travailleurs expérimentés, les différences avec le standard sont toujours non significatives.

Figure 4.13 Ratios des MAC (estimé/standard) des travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes consécutives considérées dans l'extrapolation et selon leur emplacement

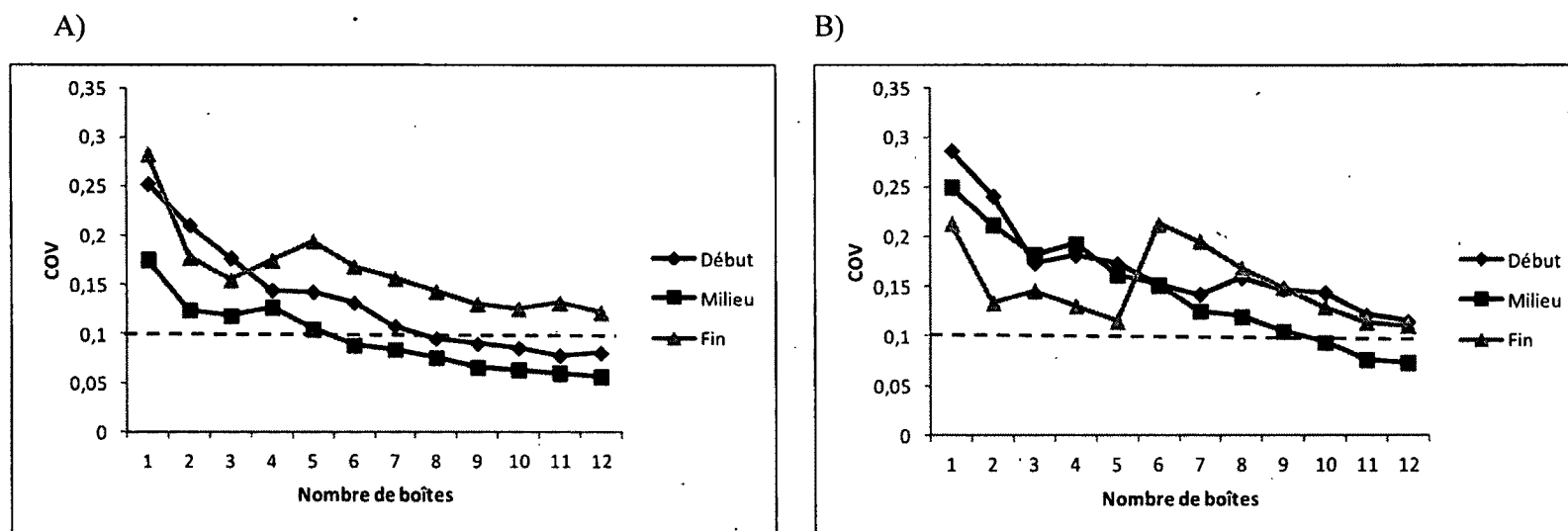


Figure 4.14 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes consécutives utilisées pour extrapoler et selon leur emplacement pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B) à cadence imposée.

2.4 Méthode simplifiée de transferts répartis également

Les résultats des MAC des extrapolations sont semblables au standard tant pour les travailleurs expérimentés que novices à cadence libre, excepté lorsque six boîtes des experts sont utilisées (tableau 4.7). À cadence imposée, les résultats sont différents en fonction de l'expertise. Les résultats sont semblables au standard lorsque 6, 8 et 12 boîtes des experts sont utilisées et uniquement lorsque 8 boîtes des novices sont utilisées.

Tableau 4.7
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par la méthode de transferts répartis également selon les cadences libre et imposée

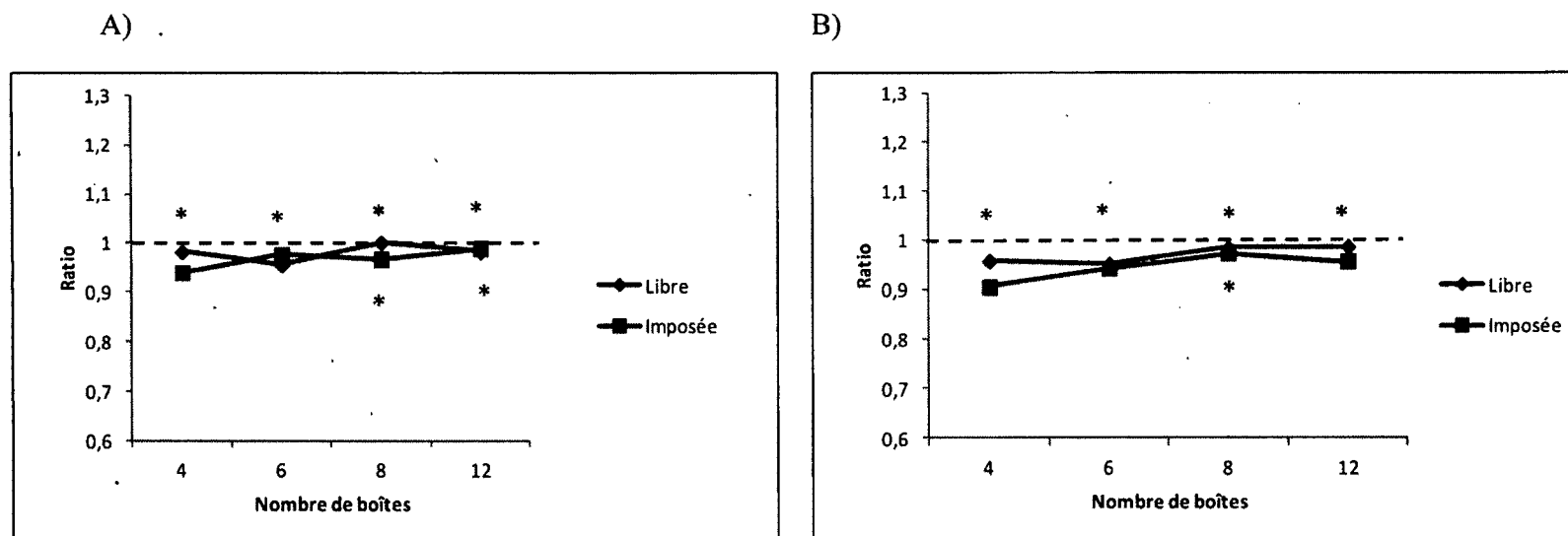
Nombre de boîtes x extrapolation	Experts		Novices	
	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)
4 x 12	6 825*	5 794	7 549*	6 573
6 x 8	6 620	5 998*	7 524*	6 853
8 x 6	6 954*	5 965*	7 761*	7 082*
12 x 4	6 814*	6 080*	7 785*	6 958

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence libre pour les experts est de 6 931 Nms et de 7 918 Nms pour les novices. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence imposée pour les experts est de 6 157 Nms et de 7 267 Nms pour les novices.

Tous les ratios effectués sur les MAC calculés à partir de cette méthode sont inférieurs à l'unité, malgré le fait qu'ils en sont tout de même rapprochés (figure 4.15). La seule exception est le ratio correspondant à l'utilisation de huit boîtes à cadence libre des experts qui égale l'unité.

En général, les COV faits sur les ratios des MAC estimés à partir de cette méthode diminuent lorsque le nombre de boîtes utilisées augmente tant pour les

travailleurs expérimentés que novices (figure 4.16). Les COV sont également inférieurs ou équivalents à 0,1, excepté lorsque quatre boîtes à cadence imposée des travailleurs novices sont utilisées.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.7.

Figure 4.15 Ratios des MAC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode répartie également dans le temps pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).

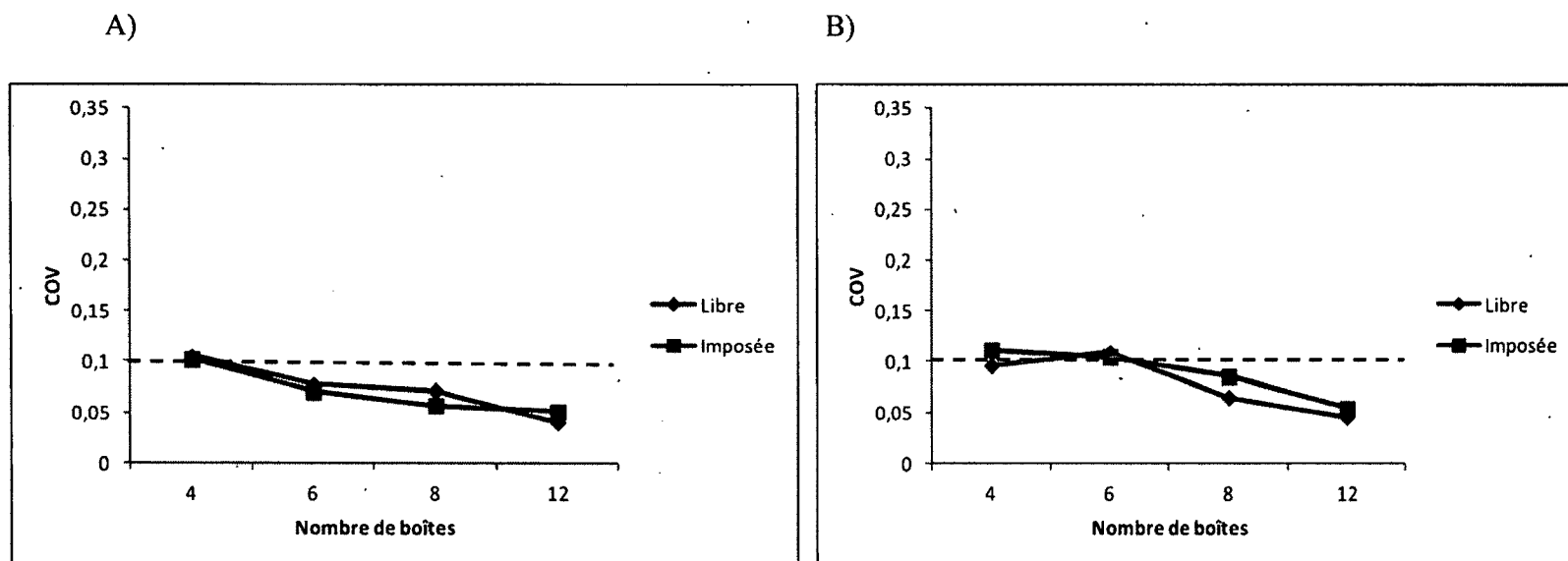


Figure 4.16 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes réparties également dans le temps utilisées pour faire les extrapolations à cadence libre et imposée pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).

2.5 Méthode simplifiée aléatoire

Les MAC calculés à partir de la méthode aléatoire sont semblables aux standards de comparaison dans la plupart des cas même s'il y a tout de même quelques exceptions (tableau 4.8). Les extrapolations qui ne sont pas semblables aux standards sont lorsque quatre et sept boîtes des experts à cadence libre, lorsque quatre et cinq boîtes des novices à cadence libre ainsi que lorsque cinq et huit boîtes des novices à cadence imposée sont utilisées.

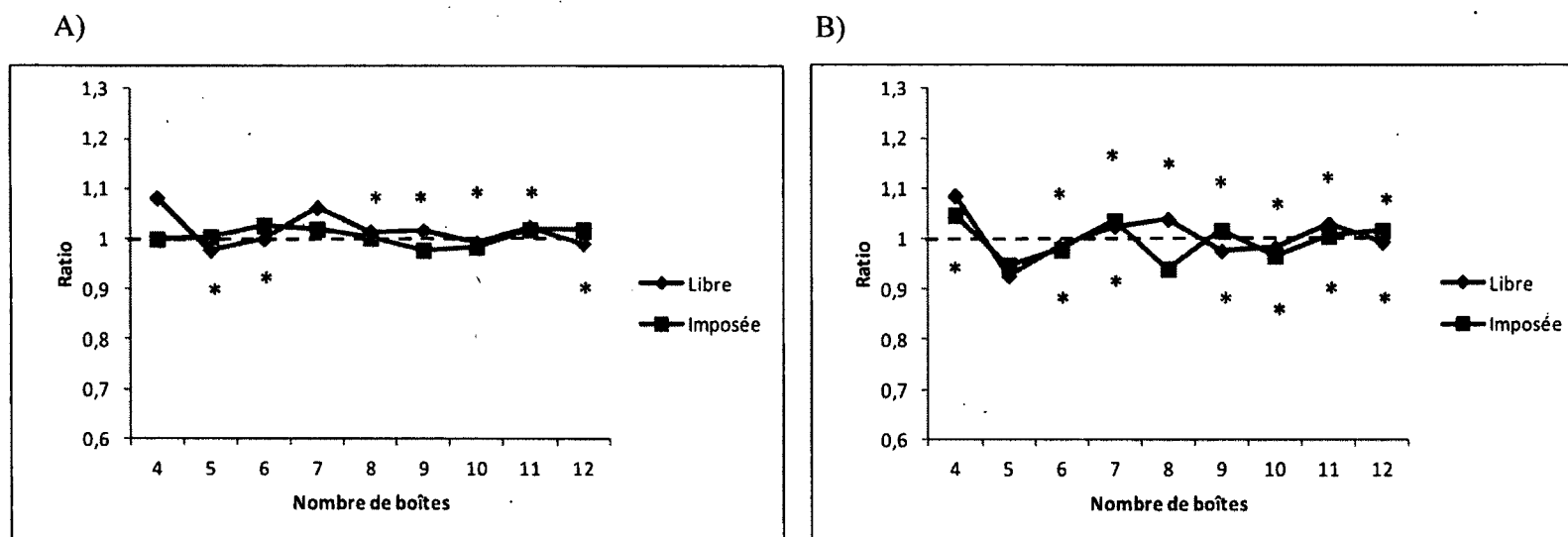
Les ratios effectués sur les MAC estimés par la méthode aléatoire sont variables, tant pour les travailleurs expérimentés que novices (figure 4.17). Parfois, les résultats surestiment les MAC du standard et parfois ils les sous-estiment, et ce pour les deux cadences. Par contre, les ratios demeurent relativement près de l'unité pour la plupart des extrapolations.

Les COV effectuées sur les ratios des MAC des travailleurs expérimentés tendent à diminuer en augmentant le nombre de boîtes et ce, pour les deux cadences, même s'il y a certaines variations (figure 4.18). Les COV sont toujours égaux ou inférieurs à 0,1 tant pour la cadence libre que pour la cadence imposée. Les COV effectués sur les ratios des MAC des travailleurs novices varient en fonction du nombre de boîtes utilisées pour les deux cadences, mais il y a une tendance à ce que les COV diminuent en augmentant le nombre de boîtes.

Tableau 4.8
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé des travailleurs experts et novices estimées par la méthode aléatoire selon les cadences libre et imposée

Nombre de boîtes x extrapolation	Experts		Novices	
	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)	Cadence libre (Nms)	Cadence imposée (Nms)
4 x 12	7 477	6 152*	8 578	7 569*
5 x 9,6	6 781*	6 181*	7 351	6 853
6 x 8	6 933*	6 339*	7 736*	7 068*
7 x 6,85	7 396	6 276*	8 106*	7 567*
8 x 6	7 025*	6 158*	8 273*	6 858
9 x 5,33	7 066*	6 026*	7 724*	7 402*
10 x 4,8	6 870*	6 055*	7 768*	6 987*
11 x 4,36	7 092*	6 262*	8 184*	7 299*
12 x 4	6 900*	6 269*	7 885*	7 387*

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence libre pour les experts est de 6 931 Nms et de 7 918 Nms pour les novices. La valeur moyenne du standard de comparaison à cadence imposée pour les experts est de 6 157 Nms et de 7 267 Nms pour les novices.



*Différences non significatives avec le standard, reportées du tableau 4.8.

Figure 4.17 Ratios des MAC (estimé/standard) à cadence libre et à cadence imposée en fonction du nombre de boîtes considérées dans l'extrapolation obtenue par la méthode aléatoire pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).

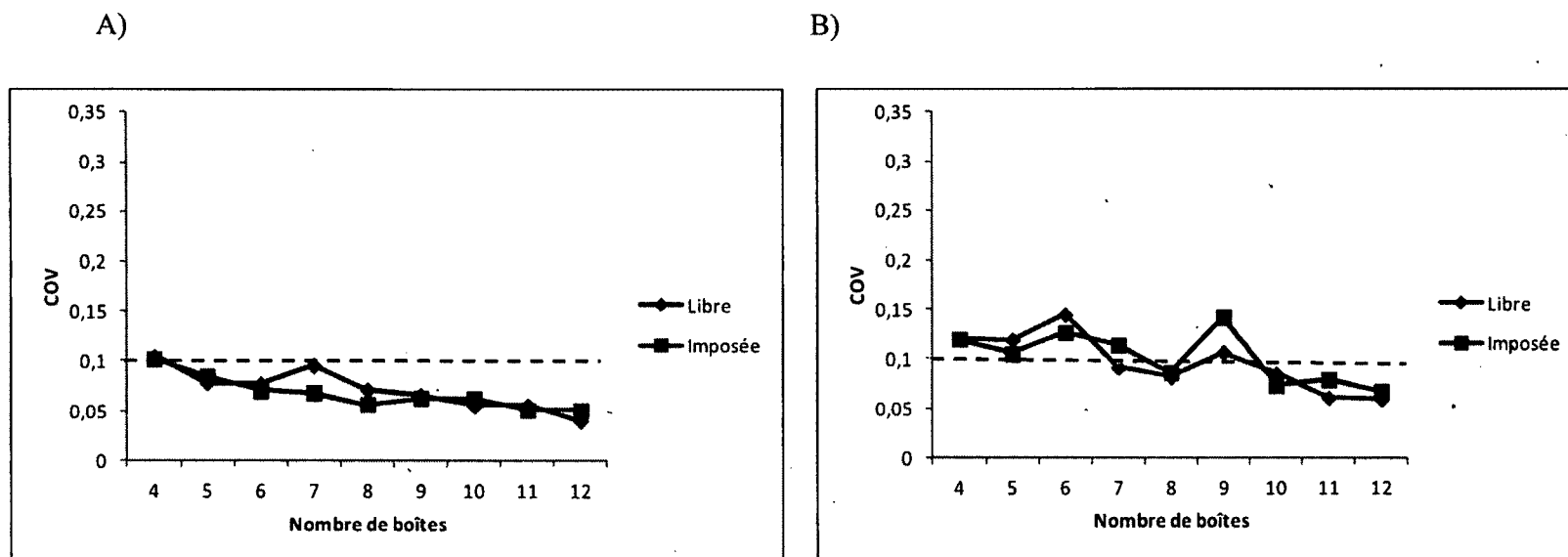
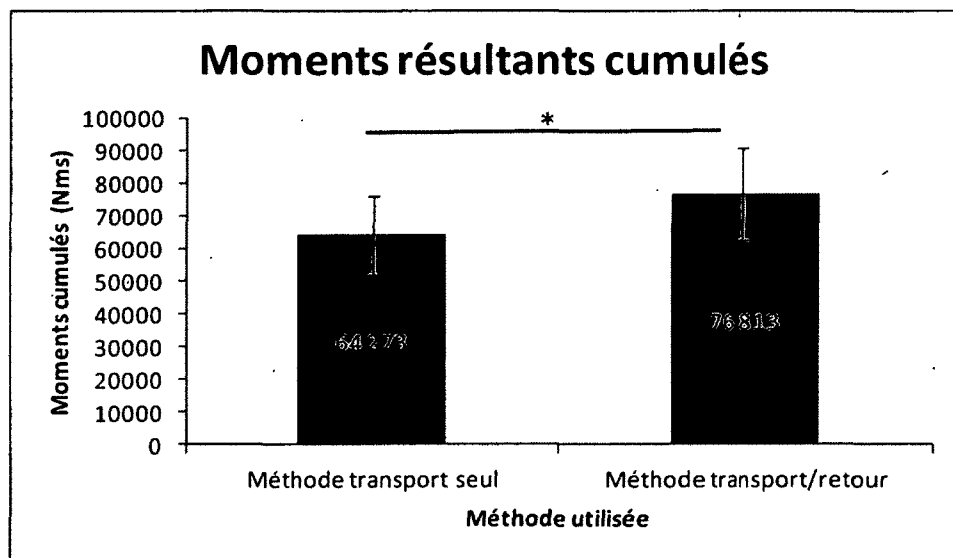


Figure 4.18 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre de boîtes prises aléatoirement utilisées pour faire les extrapolations à cadence libre et imposée pour les travailleurs expérimentés (A) et novices (B).

3. ÉTUDE DU MOMENT RÉSULTANT CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE BOÎTES ALLER-RETOUR ENTRE UN DIABLE ET UN CONVOYEUR (2^E TÂCHE)

Deux méthodes pouvant être utilisées comme standard de comparaison sont comparées pour cette tâche. La première est une méthode considérant le transport de la charge uniquement et qui correspond à la méthode utilisée pour la 1^{re} tâche et la deuxième est une méthode de transport et de retour incluant tous les événements du transport de la charge en plus du temps de retour pour aller chercher une autre charge. Lorsque les deux méthodes sont comparées, les moments résultants cumulés sont plus élevés avec la méthode transport/retour (figure 4.19). La moyenne des moments résultants cumulés pour la méthode transport seul est de 64 273 Nms (étendue: 39 689 Nms, 84 125 Nms) et de 76 813 Nms (étendue: 46 779 Nms, 98 955 Nms) pour la méthode transport/retour. En fait, les moments résultants cumulés calculés à partir de la méthode transport seul correspondent à 84 % des moments résultants cumulés calculés à partir de la méthode transport/retour.

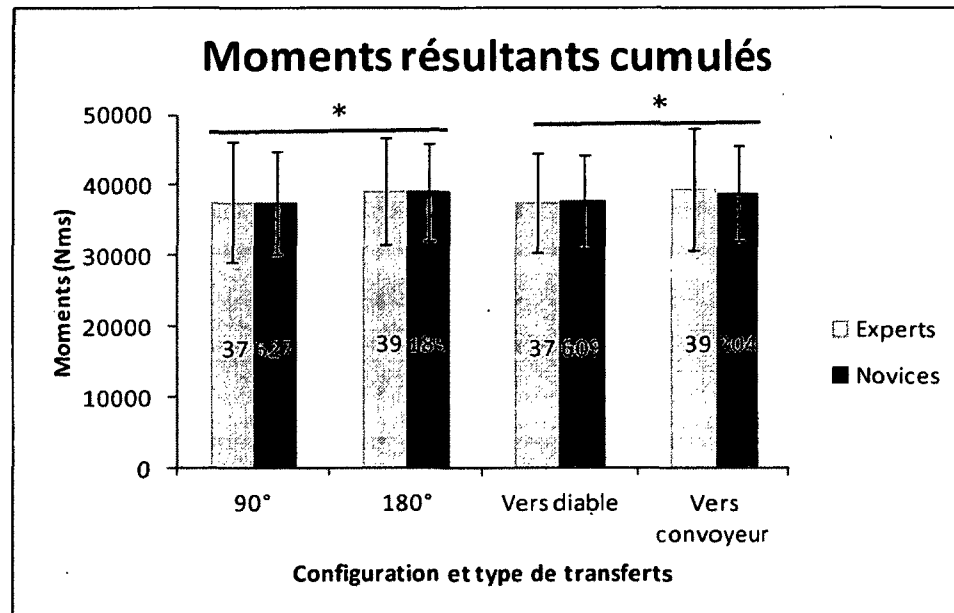


*Différence significative entre la méthode transport seul et la méthode transport/retour à $\alpha = 0.05$.

Figure 4.19 Moments résultants cumulés (Nms) selon la méthode de calcul du chargement cumulé utilisée

3.1 Effets de l'expertise, de la configuration et du type de transfert sur le chargement cumulé

En considérant uniquement la méthode transport/retour, il n'y a pas d'effet d'expertise sur les MRC de cette tâche ($p = 0,9$). Les MRC calculés à partir de la configuration à 90° sont moins élevés que ceux calculés à partir de la configuration à 180° ($p < 0,000$) (figure 4.20). Les MRC pour effectuer la tâche de déplacer les boîtes du convoyeur vers le diable (vers diable) sont moins élevés que les MRC pour effectuer la tâche de déplacer les boîtes du diable vers le convoyeur (vers convoyeur) ($p < 0,000$). Il n'y a pas d'interaction entre les facteurs inter et intra-sujets ($p > 0,05$). La seule méthode simplifiée testée pour cette tâche est la méthode consécutive étant donné qu'il n'y a pas assez de possibilités avec les autres méthodes simplifiées en désirant garder une simplification de 25 % du nombre total de transferts de boîtes.



*Différences significatives pour la configuration et type du transfert à $p < 0,05$. Étant donné qu'il n'y a pas de différence selon l'expertise, les données affichées correspondent à la moyenne des moments des deux groupes de travailleurs.

Figure 4.20 Moments résultants cumulés (Nms) de la 2^e tâche selon la configuration et type de transferts lorsque tous les événements sont pris en considération

3.2 Méthode simplifiée consécutive

Lorsque ce sont les aller-retour consécutifs pris au début ainsi qu'à la fin qui sont considérés, les MRC sont toujours différents du standard de comparaison (tableau 4.9). Il y a uniquement lorsqu'un seul aller-retour prit au milieu de la tâche de manutention qui est considérée que les MRC sont semblables au standard.

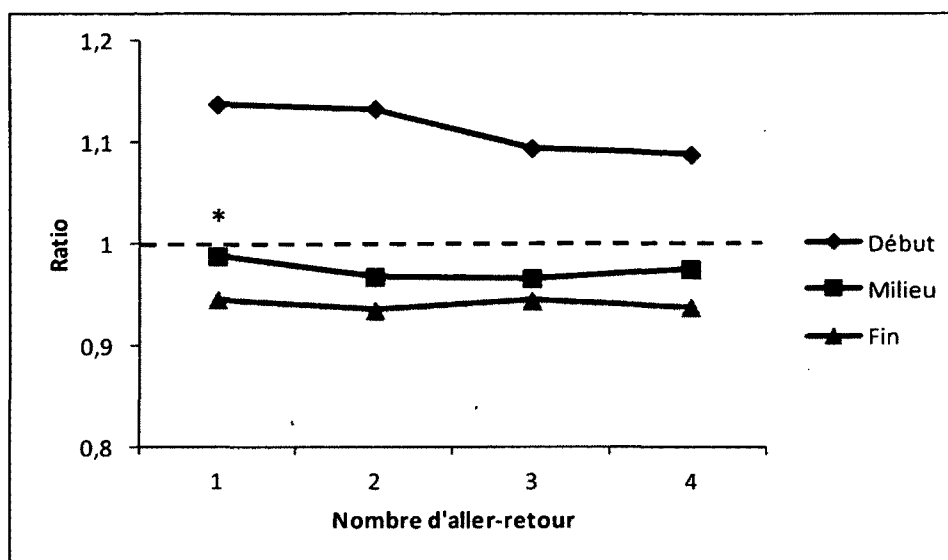
Tableau 4.9
Valeurs moyennes du moment résultant cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 16 aller-retour

Nombre d'aller-retour x extrapolation	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 16	86 873	75 928*	72 747
2 x 8	86 718	74 316	72 003
3 x 5,33	83 873	74 137	72 695
4 x 4	83 491	74 905	72 238

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison est de 76 813 Nms.

Les ratios des MRC se rapprochent le plus de l'unité lorsque ce sont les aller-retour pris au milieu de la tâche qui sont considérés, et ce même si tous ces ratios sous-estiment les résultats (figure 4.21). Les ratios des MRC pris au début surestiment les MRC du standard de comparaison tandis que ceux pris à la fin les sous-estiment. La différence entre les ratios des MRC pris au début est plus grande que celle des ratios des MRC pris à la fin.

Les COV sont toujours égaux ou inférieurs à 0,1, excepté lorsqu'un seul aller-retour pris au début est considéré (figure 4.22). Principalement pour les aller-retour pris au début, les COV diminuent lorsque le nombre d'aller-retour augmente. Ceci est également observé pour les aller-retour pris au milieu ou à la fin, mais il y a une légère augmentation lorsque quatre aller-retour sont utilisés.



*Valeur non significative reportée du tableau 4.9.

Figure 4.21 Ratios des MRC (estimé/standard) en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement

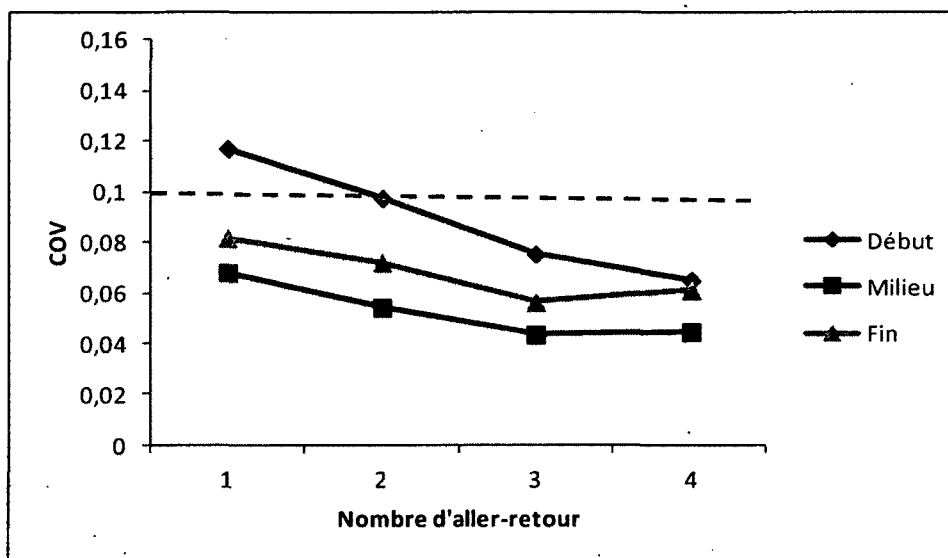


Figure 4.22 Coefficients de variation des ratios des MRC en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement

4. ÉTUDE DU MOMENT ASYMÉTRIQUE CUMULÉ POUR LE TRANSFERT DE BOÎTES ALLER-RETOUR ENTRE UN DIABLE ET UN CONVOYEUR (2^E TÂCHE)

Tout comme pour les MRC, lorsque les deux méthodes du calcul du chargement cumulé sont comparées, les MAC sont plus élevés avec la méthode transport/retour (figure 4.23). La moyenne des moments résultants cumulés pour la méthode transport seul est de 15 822 Nms (étendue: 12 092 Nms, 24 321 Nms) et de 20 688 Nms (étendue: 15 643 Nms, 31 855 Nms) pour la méthode transport/retour. En fait, les MAC calculés à partir de la méthode transport seul correspondent à 76 % de ceux calculés à partir de la méthode transport/retour.

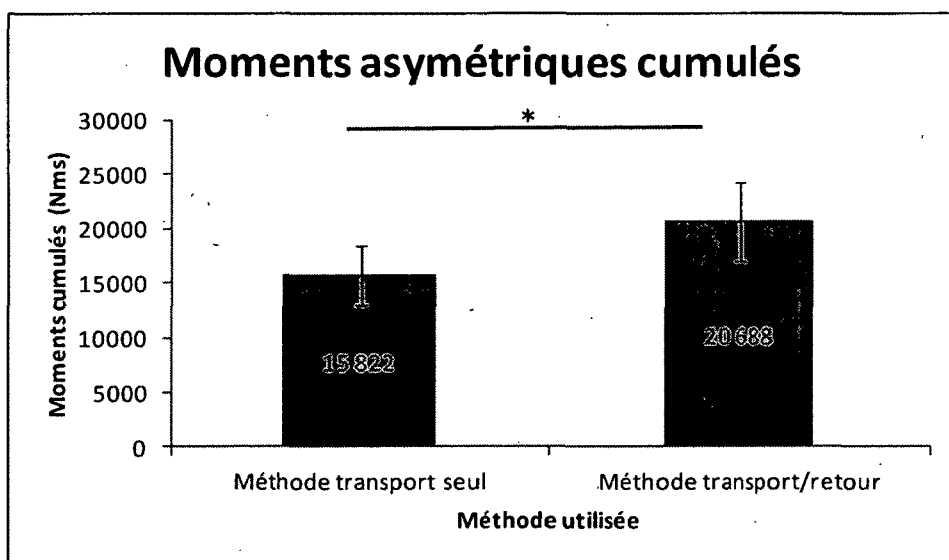
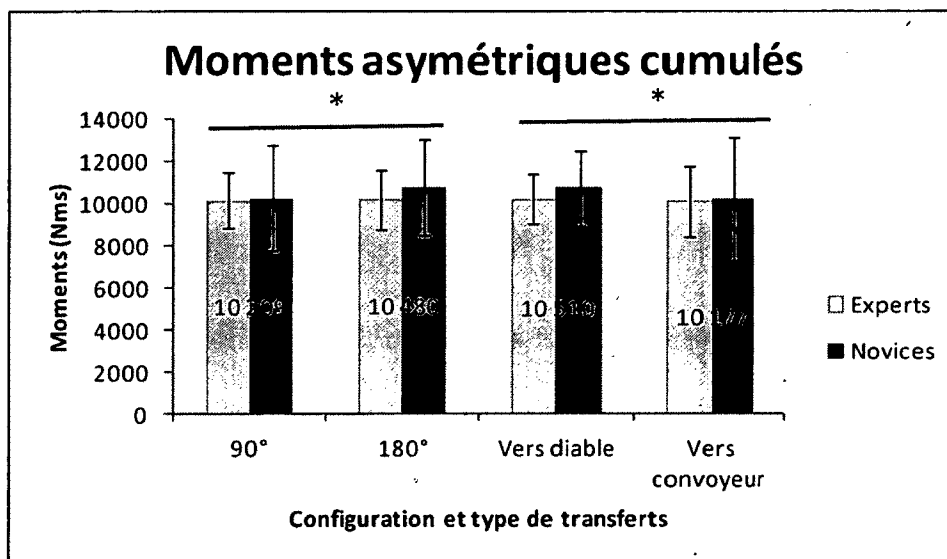


Figure 4.23 Moments asymétriques cumulés (Nms) selon la méthode de calcul du chargement cumulé utilisée

4.1 Effets de l'expertise, de la configuration et du type de transfert sur le chargement cumulé

En ce qui concerne les MAC, il n'y a pas d'effet d'expertise ($p = 0,6$), mais les MAC calculés à partir de la configuration à 90° sont moins élevés que ceux à 180° ($p < 0,01$). De plus, les MAC pour déplacer les boîtes vers le diable sont plus élevés que ceux pour déplacer les boîtes vers le convoyeur ($p < 0,01$) (figure 4.24). Il y a une interaction entre l'expertise et la configuration ($p = 0,04$), mais il n'y en a pas entre les autres facteurs réunis. Le standard de comparaison pour les MAC considère donc 16 aller-retour complets (donc huit transferts de boîtes par aller-retour) et les deux configurations de la méthode transport/retour. Tout comme pour les MRC, la seule méthode simplifiée testée est la méthode consécutive étant donné qu'il n'y a pas assez de possibilité à vérifier.



*Différences significatives pour les facteurs configuration et type du transfert à $p < 0,05$. Étant donné qu'il n'y a pas de différence selon l'expertise, les données affichées correspondent à la moyenne des moments des deux groupes de travailleurs.

Figure 4.24 Moments asymétriques cumulés (Nms) de la 2^e tâche selon la configuration et type de transferts lorsque tous les événements sont pris en considération.

4.2 Méthode simplifiée consécutive

Les MAC estimés à partir des méthodes simplifiées donnent presque toujours des résultats semblables au standard de comparaison (tableau 4.10). En fait, il y a seulement lorsqu'un seul aller-retour prit au début que les résultats sont différents du standard de comparaison.

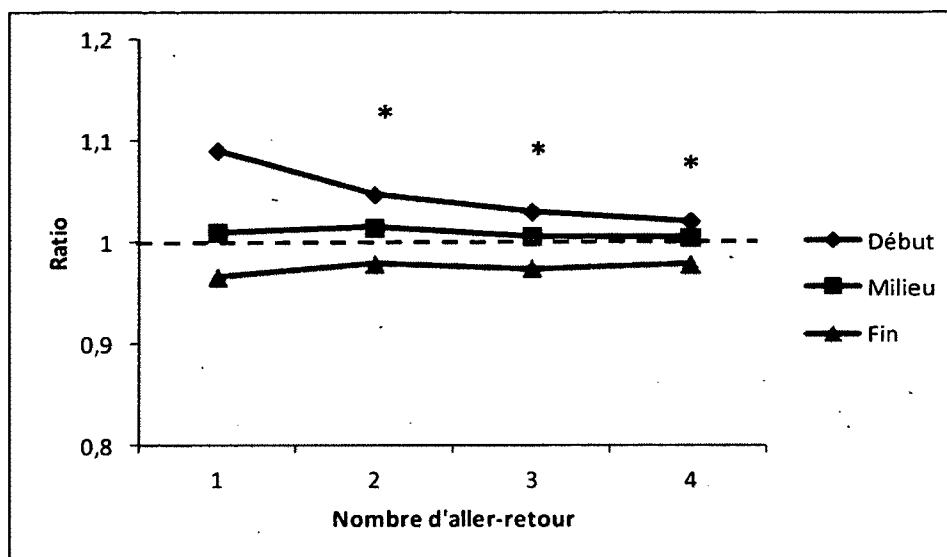
Tableau 4.10
Valeurs moyennes du moment asymétrique cumulé estimé par les différentes méthodes d'extrapolations à partir de boîtes consécutives, selon qu'elles sont prises au début, au milieu ou à la fin des 16 aller-retour

Nombre d'aller-retour x extrapolation	Début (Nms)	Milieu (Nms)	Fin (Nms)
1 x 16	22 555	21 009*	20 027*
2 x 8	21 639*	21 117*	20 256*
3 x 5,33	21 279*	20 938*	20 132*
4 x 4	21 086*	20 926*	20 201*

*Signifie qu'il n'y a pas de différence entre le standard et l'extrapolation, $\alpha > 0,05$. La valeur moyenne du standard de comparaison est de 20 688 Nms.

Les ratios des aller-retour de boîtes consécutifs sont plus près de l'unité lorsque ce sont les aller-retour pris au milieu qui sont considérés (figure 4.25). Lorsque ce sont les aller-retour pris au début qui sont considérés, les ratios se rapprochent de l'unité en augmentant le nombre d'aller-retour utilisés. Les aller-retour pris au début et au milieu surestiment les chargements cumulés tandis que les aller-retour pris à la fin les sous-estiment.

Les COV faits sur les ratios des aller-retour pris au début sont supérieurs à 0,1 lorsqu'un à trois aller-retour sont pris en considération et inférieurs à 0,1 lorsque quatre aller-retour sont considérés (figure 4.26). Les COV faits sur les ratios des aller-retour pris au milieu et à la fin des 16 aller-retour sont toujours égaux ou inférieurs à 0,1.



*Valeur non significative reportée du tableau 4.12. Les valeurs des aller-retour pris au milieu et à la fin sont toujours non significatives.

Figure 4.25 Ratios des MAC (estimé/standard) en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs considérés dans l'extrapolation et selon leur emplacement

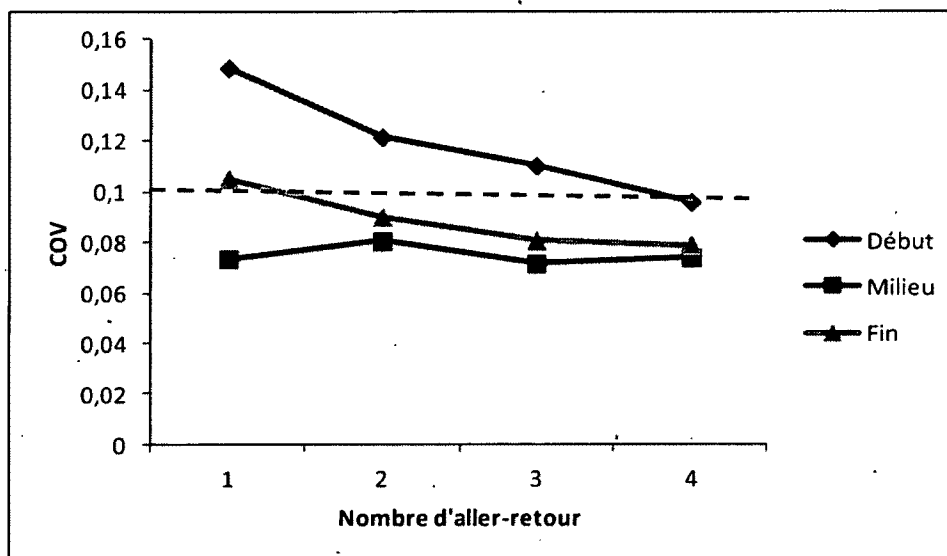


Figure 4.26 Coefficients de variation des ratios des MAC en fonction du nombre d'aller-retour consécutifs utilisés dans l'extrapolation et selon leur emplacement

CINQUIÈME CHAPITRE

DISCUSSION

1. RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette étude comportait les quatre objectifs suivants :

- Vérifier l'effet de l'expertise sur le chargement cumulé sur L5/S1 lors d'une activité de palettisation ainsi que lors de transferts de boîtes aller-retour d'un diable vers un convoyeur;
- Vérifier l'impact sur le chargement cumulé sur L5/S1 d'une cadence de travail imposée lors d'une activité de palettisation de boîtes (applicable à la 1^{re} tâche seulement);
- Vérifier l'impact d'une configuration de tâche à 90 ° et à 180 ° sur le chargement cumulé sur L5/S1 pendant un empilement et un dépilement de boîtes (applicable à la 2^e tâche seulement);
- Déterminer le nombre minimal de cycles de manutention nécessaires pour faire une extrapolation des chargements cumulés qui n'aura pas de différence significative, lorsqu'elle est comparée au nombre total de cycles effectués.

Les résultats des différents objectifs sont traités séparément dans cette discussion.

2. COMPARAISON DES TRAVAILLEURS NOVICES ET DES EXPERTS

Le premier objectif de ce mémoire était de vérifier s'il y a une différence entre les travailleurs novices et expérimentés sur les chargements cumulés au dos lors de deux tâches de manutention. En ce qui concerne les moments résultants cumulés

(MRC), il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes, malgré le fait que la moyenne de ces chargements soit plus petite chez les experts que chez les novices lors de la 1^{re} tâche. Néanmoins, cette différence n'est pas statistiquement significative. Dans le cas des moments asymétriques cumulés (MAC), il y a une différence entre les deux groupes lors de la 1^{re} tâche (transfert de palette à palette), mais pas de la seconde (transfert diable – convoyeur) malgré le fait que les chargements des experts soient moins élevés que ceux des novices. Le fait qu'il n'y ait pas de différence sur les MRC et sur MAC de la 2^e tâche ne signifie pas qu'il n'y a aucune différence entre les deux groupes de travailleurs sur les chargements au dos ainsi que sur les méthodes de travail utilisées. Plamondon et al. (2010), qui ont étudié l'expérimentation de la 2^e tâche, ont démontré que les travailleurs expérimentés fléchissaient moins la région lombaire et le haut du tronc et qu'ils pliaient plus les genoux que les travailleurs novices. Les experts portaient également les boîtes à une distance horizontale et verticale plus rapprochée du corps que les novices. Ces différences sur les méthodes de manutention étaient réelles, malgré le fait qu'il n'y avait pas de différence sur les moments résultants maximaux.

Les expérimentations de ce mémoire comptent des déplacements de 96 boîtes (1^{re} tâche) et de 128 boîtes (2^e tâche), ce qui correspond à environ 30 minutes de manutention. Étant donné qu'il y a une légère différence, qui est cependant non significative en général, sur les chargements cumulés entre les deux groupes, il est possible de penser que ces différences pourraient devenir significatives en déplaçant un plus grand nombre de boîtes. Il y a tout de même une différence significative qui a été démontrée sur les moments asymétriques cumulés lors de la 1^{re} tâche à cadence imposée. De plus, il a déjà été démontré que les travailleurs novices et experts utilisaient des méthodes de travail différentes (Authier et al., 1995; 1996; Plamondon et al., 2010). Ceci pourrait avoir une influence plus grande sur les chargements cumulés si un plus grand nombre de transferts de boîtes étaient observés.

Il s'agit de la première étude biomécanique qui utilise un aussi grand nombre de transferts de boîtes pour évaluer les chargements cumulés au dos. Au bout d'un mois ou d'une année à évaluer ces chargements par exemple, la différence pourrait être plus grande entre les novices et les experts. Pour le moment, il n'est toutefois pas possible de dire que l'expertise est un facteur déterminant sur le calcul des chargements cumulés.

3. EFFETS DE LA CADENCE, DE LA CONFIGURATION ET DU TYPE DE TRANSFERTS

Lors de la 1^{re} tâche, il y a une différence sur les chargements cumulés, incluant les MRC et les MAC, entre les cadences libre et imposée, ce qui confirme la seconde hypothèse de recherche. Cette différence était prévisible en fonction de la variable de temps incluse dans le cumul des chargements. En effet, étant donné que les travailleurs prennent moins de temps pour effectuer le transfert du même nombre de caisses à cadence imposée, le cumul des chargements se fait sur une plus courte période de temps. Il est donc raisonnable de penser que c'est pour cette raison que les chargements cumulés sont moindres à cadence imposée qu'à cadence libre. Toutefois, afin de valider cette hypothèse, un calcul de l'intégrale des moments divisée par le temps de la tâche a été effectué et un test t pour groupe apparié a été fait afin de comparer les deux cadences. Il y a une différence significative entre les deux cadences sur le calcul effectué à partir des moments résultants cumulés ($p = 0.02$) et l'effet est le même, c'est-à-dire que les résultats à cadence libre sont plus élevés qu'à cadence imposée. Ceci signifie que ce n'est pas uniquement le facteur temps qui peut avoir une influence sur cette variable en fonction de la cadence de travail. Par contre, quand le calcul est fait à partir des moments asymétriques cumulés divisés par le temps de la tâche, la différence entre les deux cadences est non significative ($p = 0,4$). Ceci signifie donc que la différence sur les moments asymétriques cumulés entre les deux cadences semble être associée au temps.

Il faut faire attention à l'interprétation de cette différence. En général, plus le chargement cumulé est élevé et plus le risque de se blesser est grand. Le chargement cumulé étant moindre à une cadence imposée plus rapide ne signifie pas automatiquement que le risque de se blesser est moins élevé. Il faut tenir compte du fait que d'avoir une fréquence ainsi qu'une vitesse de manutention élevées sont également des facteurs de risque de lombalgie (Hoogendoorn et al., 2000; McGill, 1997). À cadence imposée, la vitesse d'exécution augmente. Il serait donc logique de dire que le risque de blessure augmente. Toutefois, le chargement cumulé diminué par la cadence imposée fait en sorte que le risque de blessure diminue. Il faudrait investiguer davantage sur ces facteurs afin de déterminer lequel a un plus grand impact sur le risque de se blesser. Un risque à l'interprétation de ce résultat est donc de dire que plus la personne travaille vite, moins les chargements cumulés sont élevés, ce qui diminue le risque de se blesser. Si la personne travaille plus vite, elle termine ses tâches de manutention plus rapidement, ce qui lui laisse plus de temps libre dans une journée de travail. Il y a tout de même la possibilité que le nombre de manutentions à effectuer en milieu de travail soit augmenté pour limiter les pertes de temps. Dans ce cas, la fréquence de manutention augmenterait en plus de la vitesse d'exécution et les risques de se blesser seraient grandement augmentés.

En somme, les chargements cumulés sont moins élevés lors d'une tâche à cadence imposée plus rapidement. Toutefois, il faut faire attention à l'interprétation des résultats afin de ne pas perdre de vue qu'il s'agit de deux conditions où le même nombre de boîtes est observé. D'autres facteurs de risque entrent en ligne de compte quand la cadence de travail augmente et il ne faut pas les négliger.

Lors de la 2^e tâche, il y a une différence entre la configuration à 90 ° et celle à 180 ° tant pour les MRC que les MAC. En fait, pour les deux variables observées, les chargements lors de la configuration à 90 ° sont moindres que ceux de la configuration à 180 °. Ces résultats infirment la 3^e hypothèse de recherche de ce mémoire. Étant donné que la distance à faire parcourir aux boîtes est la même pour

les deux configurations, il aurait été réaliste que les chargements soient semblables, ce qui n'est pas le cas. Ces différences significatives peuvent être dues aux méthodes de manutention qui peuvent être différentes entre les deux configurations. Les participants doivent faire parcourir la même distance aux boîtes, mais les emplacements du dépôt étant différents, ils doivent faire pivoter davantage les boîtes dans la configuration à 180 °, ce qui peut influencer les chargements. Une autre façon d'expliquer la différence des chargements entre les configurations est que les durées des tâches ne sont pas les mêmes. En effet, même si les distances entre le convoyeur et le diable sont les mêmes dans les deux cas, les participants ont pris plus de temps pour déplacer les boîtes dans la configuration à 180 °. La durée moyenne pour effectuer les transferts dans la configuration à 180 ° est de 388,8 secondes et de 375,2 secondes dans la configuration à 90 ° par bloc de quatre boîtes. Dans la même optique que pour le changement de cadence de la première tâche, un calcul sur l'intégrale des moments divisée par le temps de la tâche a été effectué et un test t a été fait afin de comparer les résultats des deux configurations. La différence entre les deux configurations n'est pas significative tant pour le calcul effectué à partir des moments résultants cumulés ($p = 0,7$) que pour les moments asymétriques cumulés ($p = 0,6$). Ceci signifie donc que le facteur temps pourrait expliquer la différence entre les chargements cumulés des deux configurations.

En somme, les chargements cumulés sont différents selon la configuration du plan de travail et ce, même si la distance à faire parcourir aux boîtes est la même dans les deux configurations. Ceci s'explique par le fait que la manutention des boîtes prend moins de temps dans la configuration à 90°.

Dans le même ordre d'idée, une vérification du type de transferts a été effectuée. En fait, il y a également une différence significative entre le fait de prendre les boîtes sur le convoyeur et de les empiler sur le diable et le fait de prendre les boîtes sur le diable et de les reposer sur le convoyeur. Pour les MRC, les chargements sont plus élevés lors du transfert du diable vers le convoyeur tandis que pour les

MAC, les chargements sont plus élevés lors du transfert du convoyeur vers le diable. Les transferts du convoyeur vers le diable sont essentiellement des levers, ce qui correspond à un effort musculaire concentrique. Les transferts du diable vers le convoyeur sont essentiellement des abaissements, ce qui correspond à un effort musculaire excentrique. Une hypothèse à ces différences entre les chargements cumulés des deux types de transferts serait la durée de la manutention. La durée moyenne des transferts des boîtes du convoyeur vers le diable est de 386,5 secondes et de 377,5 secondes du diable vers le convoyeur. Étant donné le facteur temps inclus dans les chargements cumulés, il aurait été logique que les chargements soient plus élevés lors du déplacement des boîtes du convoyeur vers le diable. Toutefois, ceci se produit seulement pour les MAC, mais pas pour les MRC. Le calcul de l'intégrale des moments divisée par le temps confirme qu'il y a d'autres facteurs que le temps qui peuvent influencer les chargements dans ce cas-ci. En effet, il y a des différences significatives lorsque les deux types de transferts sont comparés en fonction des calculs effectués à partir des moments résultants cumulés ($p = 0,02$) et des moments asymétriques cumulés ($p = 0,01$). Ces résultats démontrent qu'il faudrait tenir compte du type de tâche effectuée lors de l'évaluation du risque de blessures, contrairement à ce qui est présentement fait avec l'équation du NIOSH. La latéralité pourrait peut-être avoir une influence sur les chargements, principalement sur les MAC. Lorsque les boîtes sont prises sur le diable et amenées sur le convoyeur, le mouvement se fait de droite à gauche. Lorsque les boîtes sont prises sur le convoyeur et déposées sur le diable, le mouvement se fait de gauche à droite. Il faudrait investiguer davantage à savoir si la latéralité est un facteur déterminant des chargements au dos. Il doit y avoir d'autres facteurs qui ont une influence sur les chargements cumulés selon le type de transferts utilisé.

En résumé, les types de transferts effectués ont une influence sur le calcul des chargements cumulés. En fait, il semble y avoir un risque plus grand lors de l'abaissement des boîtes. Il serait donc important de considérer les levers et les

abaissements de boîtes différemment. Le fait d'abaisser les charges plutôt que de les soulever mériterait d'être étudié davantage.

4. ESTIMATION DU CHARGEMENT CUMULÉ POUR UNE TÂCHE DE PALETTISATION

La première méthode à être étudiée est celle qui est la plus couramment utilisée dans les études sur le chargement cumulé et correspond à prendre en considération des boîtes consécutives. Les résultats de cette étude démontrent que cette méthode ne donne pas toujours des résultats semblables au standard de comparaison. Cette méthode a été observée en considérant trois emplacements de boîtes: les boîtes du début, les boîtes du milieu et les boîtes de la fin de la tâche de manutention. Les résultats ne sont pas les mêmes pour les deux cadences. Pour la cadence libre, les MRC surestiment le standard et ce, peu importe le nombre de boîtes prises au début utilisées. Pour la cadence imposée, les MRC estimés avec les boîtes prises au début sont également surestimés, mais lorsque huit boîtes ou plus sont utilisées, les résultats sont semblables. Un point commun aux deux cadences est que plus le nombre de boîtes utilisées augmente, plus les estimations se rapprochent du standard. On peut donc supposer que le fait de considérer plus de boîtes pour estimer le chargement cumulé aurait permis d'avoir des chargements cumulés se rapprochant davantage du standard de comparaison.

Pour les deux cadences, les boîtes prises au milieu ne donnent pas des résultats semblables au standard sauf lorsqu'une seule boîte est utilisée. De plus, les résultats surestiment toujours le standard de comparaison. Cette surestimation est principalement due au fait qu'il s'agit de boîtes prises à des hauteurs élevées et basses. Selon Davis et Marras (2005), la hauteur de prise de la charge basse donne des chargements maximaux plus élevés et une hauteur de prise de la charge au-dessus des épaules est le deuxième emplacement où les chargements maximaux sont les plus

élevés. Il y a donc les hauteurs de prises où les chargements sont les plus élevés en théorie qui sont prises en considération dans cette extrapolation. Ceci pourrait expliquer la surestimation des extrapolations par rapport au standard de comparaison.

Lorsque les boîtes sont prises à la fin, à cadence libre, les résultats sont semblables lorsque quatre à huit boîtes sont utilisées et à cadence imposée, dès que deux boîtes et plus sont utilisées. Il est possible que la cadence imposée fasse en sorte que les travailleurs utilisent une méthode de travail plus régulière, ce qui ferait en sorte que les chargements au dos soient plus représentatifs de la tâche complète. Par contre, même si les résultats sont semblables au standard, les COV des boîtes prises à la fin sont égaux ou inférieurs à 0,1 uniquement avec l'utilisation de huit boîtes et plus. Il est surprenant que l'utilisation des boîtes prises à la fin donne de meilleures estimations du chargement cumulé puisque les boîtes prises à la fin sont prises à une hauteur basse. Une hauteur basse correspond à l'emplacement où les chargements maximaux au dos sont les plus élevés selon Davis et Marras (2005) ainsi que Hoozemans et al. (2008). Il aurait été logique de penser que les chargements cumulés auraient été plus élevés lorsque les boîtes sont prises à une hauteur où les chargements maximaux sont théoriquement plus élevés. Il apparaît donc que les chargements maximaux ne sont pas un facteur déterminant des chargements cumulés et qu'il y a une pertinence à investiguer les chargements cumulés lors de l'exécution d'une tâche et non seulement les chargements maximaux.

Les résultats sont différents pour les MAC. Les boîtes prises au début et à la fin donnent des résultats semblables et différents du standard, selon la cadence et l'expertise. La seule constante dans la méthode utilisant les boîtes de la fin de la tâche est que plus le nombre de boîtes utilisées augmente, plus les MAC sont près du standard. Il faudrait investiguer davantage à savoir combien de boîtes prises à la fin seraient nécessaires afin d'avoir des MAC équivalents à ceux du standard de comparaison. Il serait donc difficile de conseiller ces méthodes étant donné qu'elles ne sont pas constantes. Par contre, les boîtes prises au milieu donnent presque

toujours des résultats semblables au standard, la seule exception étant pour les novices à cadence imposée. Une explication au fait que les boîtes prises au milieu donnent des résultats semblables au standard est que les travailleurs doivent faire des efforts des deux côtés puisqu'ils prennent des boîtes sur les deux palettes à des hauteurs différentes, ce qui est plus représentatif de la tâche complète en ce qui concerne les mouvements de rotation et d'inclinaison latérale. Par contre, les COV de cette méthode sont considérablement au-dessus de 0,1, plus particulièrement pour les travailleurs novices, ce qui fait en sorte que même si les MAC sont plus près du standard qu'en utilisant les autres méthodes, les résultats ne sont pas automatiquement reproductibles. Il faudrait investiguer davantage sur le fait d'utiliser les boîtes prises au milieu avant de conseiller d'utiliser cette méthode pour estimer les MAC.

Il serait donc avantageux d'utiliser les dernières boîtes de la tâche de manutention pour estimer les MRC, principalement à cadence imposée et les boîtes prises au milieu pour estimer les MAC. Il est tout de même intéressant de noter que les boîtes prises à la fin correspondent à des montées de boîtes et que les boîtes prises au milieu correspondent à un mélange de montées et de descentes de boîtes. Ce sont des montées qui ont été utilisées par Dunk et al. (2005) dans leur étude qui a démontré qu'il fallait quatre boîtes et plus dans un environnement contrôlé et toutes les boîtes dans un environnement libre pour extrapoler les MRC de dix boîtes. Dans ce cas, l'environnement contrôlé signifiait qu'une tâche simple et peu variable, impliquant de prendre une charge au sol et de la déposer sur une table sans avoir à se déplacer, était effectuée dans un laboratoire de recherche. Dans l'étude de Dunk et al. (2005), les résultats semblables en milieu contrôlé correspondent à 40 % du nombre total de cycles effectués. Dans le cas de ce mémoire, le nombre de cycles de manutention utilisés pour estimer les chargements cumulés correspond à 25 % du nombre de cycles total de la tâche. Les MAC n'ont pas été étudiés jusqu'à maintenant, donc il n'est pas possible de comparer les résultats de cette étude avec d'autres.

Les deux autres méthodes à avoir été étudiées, soit la méthode répartie également et la méthode aléatoire donnent aussi des résultats différents selon la cadence et l'expertise. Pour la méthode répartie également, les MRC sont semblables au standard uniquement lorsque 12 boîtes sont utilisées à cadence libre. Tous les autres résultats sous-estiment le standard tout comme c'est également le cas pour les MAC qui sont différents du standard. Les MAC estimés avec cette méthode sont plus souvent semblables au standard que différents.

Pour la méthode aléatoire, les MRC estimés sont variables par rapport au standard. En effet, il y a seulement deux extrapolations à cadence libre et cinq à cadence imposée qui sont semblables au standard sur une possibilité de dix. Il n'y a donc pas de profil clair qui ressort de cette méthode. Pour les MAC estimés avec cette méthode, les résultats sont plus concluants. Toutes les extrapolations des experts à cadence imposée sont semblables au standard comparativement à seulement deux extrapolations qui sont différentes à cadence libre. La majorité des extrapolations des MAC des novices sont semblables au standard, tant à cadence libre qu'à cadence imposée. Avec cette méthode, les résultats tendent à sous-estimer et à surestimer les standards selon le nombre de boîtes utilisées. Ces variations font en sorte qu'il est plutôt difficile de recommander cette méthode pour estimer les chargements cumulés, car il n'est pas possible de prévoir s'ils seront sous-évalués ou surévalués.

Les coefficients de variations (COV) des différentes méthodes utilisées ont été calculés. Une valeur de COV égale ou moindre à 0,1 est considérée comme étant acceptable. Lorsqu'un COV est égal ou inférieur à 0,1, cela signifie que si on refaisait la même expérimentation, il y aurait de fortes chances d'observer les mêmes résultats. Pour la méthode consécutive, tant à cadence libre qu'à cadence imposée, les COV faits sur les MRC diminuent lorsque le nombre de boîtes utilisées augmente. Pour la même méthode, les COV faits sur les MAC sont plus variables, principalement pour les travailleurs novices où ils sont presque toujours supérieurs. Les COV faits sur les MRC avec la méthode répartie également et la méthode aléatoire sont pratiquement

toujours égaux ou inférieurs à 0,1. Ceci est également le cas pour les COV faits sur les MAC, excepté pour ceux effectués sur les travailleurs novices à cadence imposée avec la méthode aléatoire. En général, les méthodes donnent donc des COV acceptables et seraient reproductibles, principalement lorsque le nombre de boîtes utilisées est élevé. La seule exception est lorsque ce sont COV des MAC estimés par la méthode consécutive. Ceci signifie que toutes les estimations faites à l'aide de ces méthodes qui ont des COV considérés comme étant acceptables seraient reproductibles et donneraient des résultats semblables.

5. ANALYSE DES MÉTHODES SIMPLIFIÉES DE LA 2^E TÂCHE

Lors de la 2^e tâche, il a été possible de faire la comparaison des chargements cumulés de la méthode transport seul et la méthode transport/retour. La méthode transport seul prend en considération le premier moment où la charge est touchée par le travailleur jusqu'au dernier moment où la charge est touchée. La méthode transport/retour prend tous les événements en considération, incluant les moments où les travailleurs vont chercher une autre boîte et n'ont rien dans les mains. La méthode transport seul correspond à ce qui est le plus souvent utilisé dans les études biomécaniques (Andrews et Callaghan, 2003; Callaghan et al., 2001; Fischer et al., 2007; Jager et al., 2000; Sutherland et al., 2008) sur les chargements cumulés à ce jour, même si plusieurs études utilisent cette méthode sur un seul cycle de manutention pour ensuite en faire l'extrapolation. Il a été démontré dans la présente étude que la méthode transport seul correspond à 84 % des MRC et à 76 % des MAC de la méthode transport/retour. Il y a donc 16 % des MRC et 24 % des MAC qui ne sont habituellement pas considérés, ce qui est non négligeable quand on veut considérer le cumul des chargements. En fait, les périodes où les travailleurs n'ont pas de charge dans les mains incluent des portions où le maintien de postures fléchies du tronc peut engendrer des chargements au dos. Fischer et al. (2007) avaient conclu que les temps où la personne ne fait rien jouent un rôle déterminant dans le calcul des chargements cumulés. Ils en étaient arrivés à cette conclusion en imposant les

chargements en compression calculés en position debout à tous les temps où la personne ne manipulait pas d'objet. Il est donc normal que les chargements réels calculés pendant que la personne se déplace pour aller chercher une autre boîte fassent une différence sur le chargement cumulé total dans une journée de travail complète.

La méthode consécutive n'a pas donné des résultats concluants sur les MRC, mais en a donnés sur les MAC où toutes les extrapolations étaient semblables au standard, excepté une seule.

Le fait que les méthodes simplifiées ne donnent pas des résultats concluants pour cette tâche peut être expliqué de deux façons. La première étant l'obligation de prendre en considération des aller-retour et non seulement l'un ou l'autre pour faire les extrapolations. En effet, cette différence entre empiler les boîtes sur le diable et les ramener vers le convoyeur oblige de considérer huit boîtes à la fois. Le but de l'étude étant de vérifier des méthodes simplifiées de calcul du chargement cumulé, une simplification de 25 % du nombre total de boîtes de la tâche de manutention est considérée comme étant acceptable selon notre groupe. Ceci correspond donc à quatre aller-retour complets de boîtes (ou 16 manutentions), ce qui diminue le nombre de variables à vérifier. Il est donc possible que le fait d'utiliser plus d'aller-retour donne des résultats plus concluants, mais l'aspect de simplification serait diminué. La deuxième façon d'expliquer ces résultats est que les travailleurs ont accéléré leur cadence au cours de l'expérimentation (figure 5.1). Étant donné qu'il y a un facteur de temps dans le chargement cumulé, le fait que la vitesse de manutention des travailleurs augmente fait diminuer les MRC et les MAC tout comme c'était le cas lors du changement de cadence de la 1^{re} tâche. Toutefois, ce changement de cadence n'était pas prévu dans cette tâche et demeure inexpliqué. Des hypothèses peuvent toutefois être émises sur les raisons de cette augmentation de cadence. Entre autres, il est possible que les travailleurs aient pris de l'assurance à déplacer des boîtes à caractéristiques différentes. Ceci aurait pour effet que les travailleurs prennent moins

de temps pour évaluer les boîtes avant de les prendre et ainsi diminuer le temps total de la manutention. Une autre hypothèse peut être émise sur le fait que les participants avaient peut-être hâte de terminer la tâche et augmentaient leur vitesse afin de terminer plus rapidement. Il faudrait investiguer plus profondément sur ces questions afin de découvrir pourquoi il y a eu un changement de cadence durant la tâche.

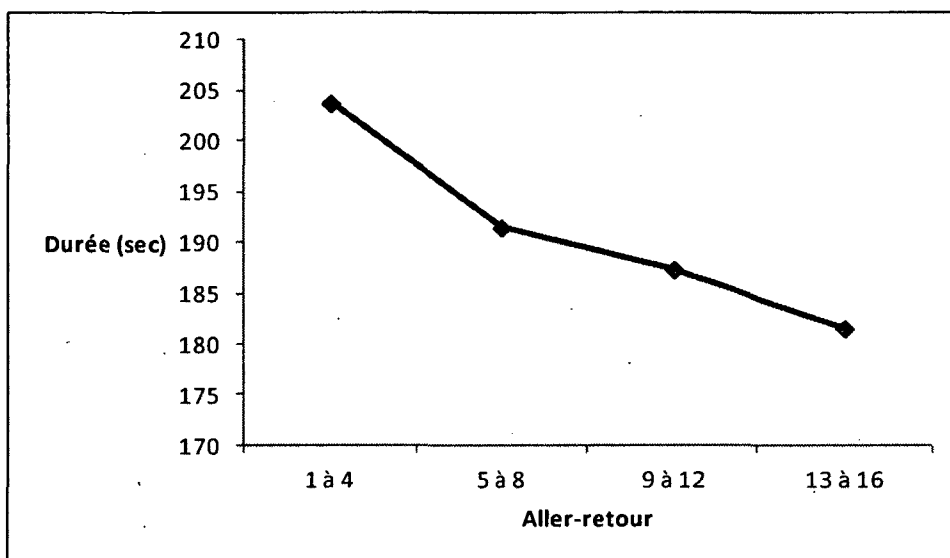


Figure 5.1 Durée totale (secondes) pour effectuer les aller-retour des boîtes du diable vers le convoyeur et du convoyeur vers le diable de la 2^e tâche.

6. FORCES ET FAIBLESSES DE L'ÉTUDE

Une des plus grandes forces de cette étude est qu'elle est novatrice dans le sens où des aspects, qui n'ont jamais été regardés à ma connaissance, sont étudiés. En effet, jusqu'à maintenant, aucune étude sur le chargement cumulé à partir d'une tâche de palettisation faite en laboratoire n'utilise une aussi grande quantité de déplacements de boîtes comme standard de comparaison des méthodes simplifiées. Jusqu'à ce jour, les études se sont concentrées davantage sur les MRC et les MAC n'avaient jamais été étudiés. La vérification de l'impact du changement de cadence

sur les chargements cumulés constitue également une nouveauté. Une autre force de l'étude est par rapport à la méthodologie utilisée. En effet, une approche dynamique a été utilisée afin d'obtenir les données désirées. Callaghan et al. (2005) ont démontré que l'utilisation d'un modèle statique apportait une sous-estimation moyenne de 12,55% des données observées et que l'utilisation d'un modèle quasi-dynamique apportait une sous-estimation de 2,76% de ces mêmes données en les comparant à un modèle dynamique. Toutefois, les tâches utilisées dans l'étude de Callaghan et al. (2005) étaient toutes effectuées dans le plan sagittal comparativement à l'étude présentée dans ce mémoire où les tâches étaient effectuées dans tous les plans. Une autre force de la méthodologie utilisée est que les participants étaient libres d'utiliser la technique de manutention de leur choix, ce qui permettait de conserver l'aspect d'expertise et de pouvoir faire des comparaisons entre les deux groupes de travailleurs.

Toutefois, étant donné l'utilisation du système optoélectronique, des corps rigides étaient placés sur les membres de participants. Ces corps rigides comportant des DELs étaient reliés au système par des fils. Tous les fils étaient regroupés, mais il en demeure que ces fils empêchaient les participants de se tourner d'un côté. Également, ils devaient conserver les pieds sur la plate-forme de force afin de ne pas perdre de données. Ces deux facteurs peuvent avoir limité la liberté d'utilisation des techniques de manutention. De plus, principalement lors de la première tâche, les boîtes étant empilées en hauteur limitaient parfois la captation des DELs par le système optoélectronique. Ceci a fait en sorte que parfois, des segments des participants n'étaient plus captés et qu'ils étaient estimés par le logiciel utilisé en fonction des images captées. Il a donc fallu apporter des corrections manuellement aux segments en utilisant les vidéos filmés à partir des trois caméras. Ceci peut donc avoir un impact sur les données obtenues, mais cet impact est tout de même minime. De plus, bien que le nombre de transferts observés soit plus élevé que dans les études précédentes en manutention, il en demeure que ce nombre est beaucoup moindre qu'en milieu de travail réel. En effet, les tâches de manutention complète étaient

d'environ 30 minutes, ce qui est bien peu comparativement au temps passé à faire des tâches de manutention dans une journée de travail de sept ou huit heures. Il y a également une faiblesse en ce qui concerne la 2^e tâche, en rapport avec le fait que les travailleurs ont augmenté leur cadence au fur et à mesure qu'ils progressaient dans la tâche. Une autre faiblesse de cette étude est qu'elle prend en considération seulement des hommes. Les résultats qui en ressortent ne sont donc pas applicables pour les femmes. Une limitation est que les données obtenues n'ont pas été normalisées dans ce projet de recherche. À la lumière de Plamondon et al. (2012), il aurait été possible d'expliquer les moments en fonction du moment du poids du tronc individuel. Toutefois, comme la seule comparaison intersujet qui a été faite était entre les travailleurs expérimentés et novices et que ces derniers ne démontraient pas de différences anthropométriques importantes, il est probable que le fait de ne pas normaliser les données n'ait pas affecté nos résultats.

SIXIÈME CHAPITRE

CONCLUSION

Cette étude visait à évaluer les chargements cumulés à l'aide d'un modèle biomécanique lors de deux tâches de manutention. En général, il n'y avait pas de différence sur les chargements cumulés entre les travailleurs novices et expérimentés. La seule exception étant que les MAC sont moins élevés pour les travailleurs expérimentés lors de la tâche de palettisation. Il serait intéressant d'investiguer davantage sur les chargements asymétriques dans le but de savoir si le facteur expertise aurait une plus grande influence au bout d'un mois ou même d'une année de travail. Il n'est toutefois pas possible de dire que le facteur expertise a un impact réel sur les chargements cumulés.

L'augmentation de la cadence de travail contribue à la diminution des chargements cumulés et ce, peu importe la variable évaluée. Il faut toutefois faire attention avec l'interprétation de ce résultat, étant donné les facteurs de risque qui sont associés à une augmentation de cadence.

La configuration du lieu de travail peut avoir un impact sur les chargements cumulés. Selon cette étude, on peut recommander une configuration à 90° plutôt qu'à 180°.

Les résultats concernant les méthodes simplifiées pour estimer le chargement cumulé montrent qu'il est difficile de faire des recommandations de simplification. Les résultats sont variables en fonction du nombre de boîtes utilisées pour faire les extrapolations et en fonction des différentes conditions testées, dont la cadence et l'expertise. Il semble donc que l'utilisation de 25 % des cycles de manutention ne soit pas suffisante pour estimer les chargements cumulés à L5-S1. Une recommandation qui peut donc ressortir de cette étude est qu'il faudrait estimer les chargements en

continu, même si cela prend beaucoup de temps de traitements de données et que ce n'est pas simple à quantifier.

Le fait de ne pas considérer les périodes où aucune charge n'est supportée par le manutentionnaire, c'est-à-dire les moments où le manutentionnaire n'a pas de boîte dans les mains, sous-estime de près de 20% les chargements cumulés. Cette observation, combinée avec le fait que plusieurs manutentions sont nécessaires pour obtenir une estimation fiable du chargement cumulé, révèle que les efforts pour le développement de méthodes permettant l'estimation des chargements au dos en continu doivent se poursuivre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Andrews, D.M., Callaghan, J.P. (2003). Determining the minimum sampling rate needed to accurately quantify cumulative spine loading from digitized video. *Applied Ergonomics*, 34, 589-595.
- Authier, M., Gagnon, M., et 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., et Gagnon, M. (1996). Manual handling techniques : Comparing novices and experts. *International journal of industrial ergonomics*, 17, 419-429.
- Bell, J.A., Burnett, Angus. (2009). Exercise for the primary, secondary and tertiary prevention of low back pain in the workplace: a systematic review. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 19: 8-24
- Bigos, S.J., Spengler, D.M., Martin, N.A., Zeh, J., Fisher, L., Nachemson, A. et Wang, M.H. (1986). Back injuries in industry: a retrospective study. II. Injury factors. *Spine* 11(3), 246-251.
- Burdorf A, Sorock G. (1997) Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health*, 23, 243-256.
- Callaghan, J.P., Keown, K., Andrews, D.M. (2005) Influence of dynamic factors on calculating cumulative low back loads. *Occupational Ergonomics*, 5, 89-97.

- Callaghan, J.P., Salewytch, A.J., Andrews, D.M. (2001). An evaluation of predictive methods for estimating cumulative spinal loading. *Ergonomics*, 44 (9), 825-837.
- Chaffin, D.B., Andersson, G.B., Martin, B.J. (1999). *Occupational biomechanics* (3ed). Toronto. John Wiley & Sons Inc. 579 p.
- 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? *The journal of the human factors and ergonomics society*, 42, 195-208.
- Davis, K.G., Marras, W.S. (2005). Load spatial pathway and spine loading : how does origin and destination influence low back response? *Ergonomics*, 48 (8), 1031-1046.
- Davis, K.G., Marras, W.S., Waters, T.R. (1998). Evaluation of spinal loading during lowering and lifting. *Clinical Biomechanics*, 13 (3), 141-152.
- Daynard, D., Yassi, A., Cooper, J.E., Tate, R., Norman, R., Wells, R. (2001). Biomechanical analysis of peak and cumulative spinal loads during simulated patient-handling activities : a substudy of a randomized controlled trial to prevent lift and transfer injury of health care workers. *Applied Ergonomics*, 32, 199-214.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P. (1996). Load Acceleration and Footstep Strategies in Asymmetrical Lifting and Lowering. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 2 (3), 185-195.

- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P. (1999). Kinematics analysis of footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 23, 451-460.
- Desjardins, P., Gagnon, M. (2001). A force platform for large human displacement. *Medical engineering and physics*, 23, 143-146.
- 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 and physics*, 20, 153-158.
- Dunk, N.M., Keown, K.J., Andrews, D.M., Callaghan, J.P. (2005). Task variability and extrapolated cumulative low backs loads. *Ergonomics*, 5, 149-159.
- Faber, G.S., Kingma, I., Bakker, A.J.M, van Dieën, J.H. (2009). Low-back loading in lifting two loads beside the body compared to lifting one load in front of the body. *Journal of Biomechanics*, 42, 35-41.
- Faber, G.S., Kingma, I., van Dieën, J.H. (2007). The effects of ergonomic interventions on low back moments are attenuated by changes in lifting behavior, *Ergonomics*, 50 (9), 1377-1391.
- Faber, G.S., Kingma, I., van Dieën, J.H. (2011). Effect of initial horizontal object position on peak L5/S1 moments in manual lifting is dependant of task type and familiarity with alternative lifting strategies, *Ergonomics*, 54 (1), 72-81.
- Ferguson, S.A., Marras, W.S., Burr, D.L. (2004). The influence of individual low back health status on workplace trunk kinematics and risk of low back disorder. *Ergonomics*, 47 (11), 1226-1237.

- Ferguson, S.A., Marras, W.S., Burr, D.L. (2005). Workplace design guidelines for asymptomatic vs low-back-injured workers. *Applied Ergonomics*, 36, 85-95.
- Fischer, S.L., Albert, W.J., McClellan, A.J., Callaghan, J.P. (2007). Methodological considerations for the calculation of cumulative compression exposure of the lumbar spine: A sensitivity analysis on joint model and time standardization approaches. *Ergonomics*, 50 (8), 1365-1376.
- 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., Delisle, A., Desjardins, P. (2002). Biomechanical differences between best and worst performances in repeated free asymmetrical lifts. *International journal of industrial ergonomics*, 29, 73-83.
- Garg, A., Saxena, U. (1979). Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *American industrial hygiene association journal*, 40 (10), 894-903.
- Granata, K.P., Marras, W.S. (1999). Relation between spinal load factors and the high-risk probability of occupational low-back disorder. *Ergonomics*, 42 (9), 1187-1199.
- 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.

- Gregory, D.E., Laughton, C., Carman, A., Milosavljevic, S., Callaghan, J.P. (2009). Trunk postures and peak and cumulative low back kinetics during upright posture sheep shearing. *Ergonomics*, 52 (12), 1576-1583.
- Gregory, D.E., Milosavljevic, S., Callaghan, J.P. (2006). Quantifying low back peak and cumulative loads in open and senior sheep shearers in New Zealand: Examining the effects of a trunk harness. *Ergonomics*, 49 (10), 968-981.
- 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., Ariëns, G.A.M., Bouter, L.M. (2000). Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain. *Spine*, 25 (23), 3087-3092.
- Hoozemans, M.J.M., Kingma, I., de Vries, W.H.K., van Dieën, J.H. (2008). Effect of lifting height and load mass on low back loading. *Ergonomics*, 51 (7), 1053-1063.
- Hoozemans, M.J.M., Kuijer, P.P.F., Kingma, I., van Dieën, J.H., De Vriest, W.H.K., van Der Woude, L.H.V., Veeger, D.J., van Der Beek, A.J., Frings-Dresen, M.H.W. (2004). Mechanical loading of the low back and shoulders during pushing and pulling activities. *Ergonomics*, 47 (1), 1-18.
- Hoozemans, M.J.M., van Der Beek, A.J., Frings-Dresen, M.H.W., van Dijk, F.J.H., van Der Woude, L.H.V. (1998). Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders : a review of risk factors. *Ergonomics*, 41 (6), 757-781.

IRSST (2011). Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. La manutention. Site accessible à «<http://www.irsst.qc.ca/manutention>».

Jäger, M., Jordan, C., Luttmann, A., Laurig, W., DOLLY Group. (2000). Evaluation and assessment of lumbar load during total shifts for occupational manual materials handling jobs within the Dortmund Lumbar Load Study – DOLLY. *International journal of industrial ergonomics*, 25, 553-571.

Jensen, R.K. (1978). Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *Journal of biomechanics*, 11, 349–358.

Kingma, I., Bosch, T., Bruins, L., Van Dieën, J.H. (2004). Foot positioning instruction, initial vertical load position and lifting techniques : effects on low back loading. *Ergonomics*, 47 (13), 1365-1385.

Kumar, S. (1990). Cumulative load as a risk factor for back pain. *Spine*, 15 (12), 1311-1316.

Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail (CSST) (2010). *Statistiques sur les affections vertébrales 2006-2009*. Montréal : Commission de la santé et de la sécurité au travail, Direction de la comptabilité et de la gestion de l'information.

Lavender, S.A., Andersson, G.B.J., Natarajan, R.N. (1999). The effects of lifting speed on the peak external forward bending, lateral bending, and twisting spine moments, *Ergonomics*, 42 (1), 111-125.

Lu, M.L., Waters, T., Werren, D., Piacitelli, L. (2010). Human posture simulation to assess cumulative spinal load due to manual lifting. Part 2 : Accuracy and precision. *Theoretical issues in ergonomics science* 12, 176-188.

- Manek, N.J., MacGregor, A.J. (2005). Epidemiology of back disorders: prevalence, risk factors, and prognosis. *Current Opinion in Rheumatology*, 17: 134-140.
- Marras, W.S. (2000) Occupational low back disorder causation and control, *Ergonomics*, 43 (7), 880-902.
- Marras, W.S., Lavender, S.A., Ferguson, S.A., Splittstoesser, R.E., Yang, G. (2010). Quantitative biomechanical workplace exposure measures: Distribution centers. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20, 813–822.
- McGill, S.M. (1997). The biomechanics of low back injury : implications on current practice in industry and the clinic, *Journal of biomechanics*, 30 (5), 465-475.
- McGill, S.M., Norman, R.W. (1987). Effects of an anatomically detailed erector spinae model on L4/L5 disc compression and shear. *Journal of Biomechanics*, 20, 591–600.
- McGill, S.M., Norman, R.W., and Cholewicki, J. (1996). A simple polynomial that predicts low-back compression during complex 3-D tasks. *Ergonomics*, 39, 1107-1118.
- National Research Council, 2001. Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National institute for occupational safety and health (NIOSH) (1981). A work practices guide for manual lifting. Technical report No. 81-122. US. Dept. of health and human services. Cincinnati.

- Norman, R., Wells, R., Neumann, P., Frank, J., Shannon, H. and Kerr, M. (1998). A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clinical Biomechanics*, 13 (8), 561-573.
- Panjabi, M.M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *Journal of spinal disorders*, 5 (4), 383-389.
- Panjabi, M.M. (2006). A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. *European Spine Journal*, 15, 668-676.
- Parkinson, R.J., Callaghan, J.P. (2009). The role of dynamic flexion in spine injury is altered by increasing dynamic load magnitude, *Clinical biomechanics*, 24, 148-154.
- Plamondon, A., Denis, D., Delisle, A., Larivière, C., Salazar, E. (2010). Biomechanical differences between expert and novice workers in a manual material handling task, *Ergonomics*, 53 (10), 1239-1253.
- Plamondon, A., Denis, D., Larivière, C., Delisle, A., Gagnon, D., St-Vincent, M., Nastasia, I. (2012). La manutention chez les femmes : un regard du point de vue biomécanique et ergonomique. Rapport non publié. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).
- 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 (2), 101-110.

- Plamondon, A., Larivière, 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 (1), 87-102.
- Seidler, A., Bolm-Audorff, U., Heiskel, H., Henkel, N., Roth-Kuwer, B., Kaiser, U., Bickeboller, R., Willingstorfer, W.J., Beck, W., Elsner, G. (2001). The role of cumulative physical work load in lumbar spine disease : risk factors for lumbar osteochondrosis and spondylosis associated with chronic complaints. *Occupational Environment Medicine*, 58 (11), 735-746.
- Solomonow, M. (2006). Sensory – Motor control of ligaments and associated neuromuscular disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16, 549-567.
- Spengler, D., Bigos, S., Martin, N., Zeh, J., Fisher, L. et Nachemson, A. (1986), Back injuries in industry: A retrospective study. 1. Overview and cost analysis. *Spine*, 11, 241–245.
- Sullivan, D., Bryden, P., Callaghan, J.P. (2002). Inter- and intra-observer reliability of calculating cumulative lumbar spine loads. *Ergonomics*, 45 (11), 788-797.
- Sutherland, C.A., Albert, W.J., Wrigley, A.T., Callaghan, J.P. (2007). The effect of camera viewing angle on posture assessment repeatability and cumulative spinal loading. *Ergonomics*, 50 (6), 877-889.
- Sutherland, C.A., Albert, W.J., Wrigley, A.T., Callaghan, J.P. (2008). A validation of a posture matching approach for the determination of 3D cumulative back loads. *Applied Ergonomics*, 39, 199-208.

- Van Dieën, J.H., Kingma, I. (1999). Total trunk muscle force and spinal compression are lower in asymmetric moments as compared to pure extension moments. *Journal of biomechanics*, 32, 681-687.
- Waters, T., Lu, M.L., Piacitelli, L., Werren, D., Deddens, J.A. (2011a). Efficacy of the revised NIOSH lifting equation to predict risk of low back pain due to manual lifting. *JOEM* 53 (9), 1061-1067.
- Waters, T., Lu, M.L., Werren, D., Piacitelli, L. (2011b). Human posture simulation to assess cumulative spinal load due to manual lifting. Part 1 : Methods. *Theoretical issues in ergonomics science* 12 (2), 176-188.
- Waters, T., Yeung, S., Genaidy, A., Callaghan, J.P., Barriera-Viruet, H., Deddens, J. (2006a). Cumulative spinal loading exposure methods for manual materials handling tasks. Part 1 : is cumulative spinal loading associated with lower back disorders? *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7, 113-130.
- Waters, T., Yeung, S., Genaidy, A., Callaghan, J., Barriera-Viruet, H., Deddens, J. (2006b). Cumulative spinal loading exposure methods for manual materials handling tasks. Part 2 : methodological issues and applicability for use in epidemiological studies. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 7, 131-148.
- Wilkins, K., Mackenzie, S.G. (2007). Les blessures au travail. *Rapports sur la santé*, 18 (3), 27-47. Statistiques Canada.