

2010

Manutention : comparaison des façons de faire entre les experts et les novices

André Plamondon
IRSST

Denys Denis
IRSST

Sophie Bellefeuille
Université du Québec à Montréal

Alain Delisle
Université de Sherbrooke

Maud Gonella
IRSST, maud.gonella@irsst.qc.ca

See next page for additional authors

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

Citation recommandée

Plamondon, A., Denis, D., Bellefeuille, S., Delisle, A., Gonella, M., Salazar, E., . . . Nastasia, I. (2010).
Manutention : comparaison des façons de faire entre les experts et les novices (Rapport n° R-663). IRSST.

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

Auteurs

André Plamondon, Denys Denis, Sophie Bellefeuille, Alain Delisle, Maud Gonella, Erik Salazar, Denis Gagnon, Christian Larivière, Marie St-Vincent, and Iuliana Nastasia

Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT R-663



Manutention Comparaison des façons de faire entre les experts et les novices

*André Plamondon
Denys Denis
Sophie Bellefeuille
Alain Delisle
Maud Gonella*

*Erik Salazar
Denis Gagnon
Christian Larivière
Marie St-Vincent
Iuliana Nastasia*



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

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

Mission

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

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

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

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

Pour en savoir plus

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

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

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2010
ISBN : 978-2-89631-492-8 (version imprimée)
ISBN : 978-2-89631-493-5 (PDF)
ISSN : 0820-8395

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



Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

■ RAPPORT R-663

Manutention Comparaison des façons de faire entre les experts et les novices

Avis de non-responsabilité

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

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

André Plamondon¹, Denys Denis¹, Sophie Bellefeuille², Alain Delisle³, Maud Gonella⁴, Erik Salazar⁴, Denis Gagnon³, Christian Larivière¹, Marie St-Vincent¹ et Iuliana Nastasia¹

¹Service de la recherche, IRSST

²Université du Québec à Montréal

³Université de Sherbrooke

⁴Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

REMERCIEMENTS

Merci à nos professionnels scientifiques qui par leur compétence ont grandement facilité l'acquisition et le traitement des données : David Brouillette, Ève Gaudreau Rousseau, Valérie Tremblay-Boudreault et Angela Vanessa Bueno. Merci à tous les manutentionnaires volontaires et plus particulièrement ceux de Provigo, de Métro-Richelieu et de la Société des Alcools du Québec (SAQ) pour leur précieuse collaboration ainsi qu'aux entreprises qui ont libéré ces travailleurs.

SOMMAIRE

Le succès mitigé des programmes de formation sur la prévention des blessures au dos en manutention s'explique peut-être par la faiblesse de nos connaissances pratiques sur ce que font les experts dans la réalisation de leur travail. Des études ont montré que des manutentionnaires d'expérience, reconnus par leurs collègues comme étant des experts, ont développé des façons de faire différentes des novices qui pourraient être à la fois sécuritaires et avantageuses en termes de production. Ces façons de faire sont intéressantes, car on pourrait s'en inspirer pour développer des programmes de formation mieux adaptés au travail. Ce projet visait à poursuivre les recherches dans l'identification et dans la validation de grands principes de manutention. On suppose donc que l'expérience acquise a permis à des manutentionnaires de développer des façons de faire sécuritaires et efficaces. Trois séances expérimentales ont été tenues. La première consistait principalement à évaluer les capacités physiques des sujets et à les familiariser avec les conditions expérimentales. Les deux autres séances plaçaient les manutentionnaires dans deux contextes de travail différents. Les caractéristiques de la charge (poids, fragilité du contenant et décentrage du centre de gravité), la hauteur de saisie et de dépôt de même que l'état de fatigue des manutentionnaires sont les paramètres qui ont été modifiés pour tenter de susciter une plus grande variété de modes opératoires des participants.

Des données biomécaniques et des observations ergonomiques ont été recueillies lors de ces trois séances à partir de systèmes de mesure du mouvement, d'une grande plate-forme de forces et d'un système de mesures de l'activation des muscles. Ce rapport fait état des résultats portant sur l'analyse du mouvement et sur l'estimation des chargements nets à l'articulation L5/S1. Les résultats démontrent clairement que les experts étaient significativement différents des novices en regard principalement de la posture qu'ils adoptent lors de la pratique de la manutention. Ainsi les experts par rapport aux novices fléchissaient moins la région lombaire et le thorax, fléchissaient plus les genoux, et rapprochaient plus la caisse, que ce soit sur le plan horizontal que vertical. Toutefois, le chargement lombaire à L5/S1 n'était généralement pas significativement différent entre les deux groupes. Ces résultats ont été répliqués dans les deux contextes de travail expérimentés. Plusieurs principes de manutention ont été validés dans le cadre de cette étude et pourront faire l'objet d'une diffusion plus large dans des programmes de formation.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Études des manutentionnaires experts.....	1
1.2 L'utilité des connaissances	3
1.3 Objectifs	5
2. MÉTHODOLOGIE : TRONC COMMUN	7
2.1 Sujets	7
2.2 Systèmes de mesure.....	7
2.3 Modèle biomécanique segmentaire	8
2.4 Échelle de Borg.....	8
3. SÉANCE I - CAPACITÉS PHYSIQUES ET FAMILIARISATION	9
3.1 Caractéristiques anthropométriques et capacités physiques.....	9
3.2 Familiarisation des sujets avec les conditions expérimentales.....	10
3.3 Analyses statistiques	10
3.4 Résultats.....	11
3.5 Discussion.....	11
4. SÉANCE II : TRANSFERT DE CAISSES DU CONVOYEUR AU DIABLE	13
4.1 Méthodologie	13
4.1.1 Procédures expérimentales.....	13
4.1.2 Traitement des signaux	14
4.1.3 Analyses statistiques	14
4.2 Résultats.....	17
4.2.1 Phase d'aller vers le diable	17
4.2.2 Phase de retour vers le convoyeur	23
4.3 Discussion.....	23
4.3.1 La posture.....	24
4.3.2 Le rapprochement de la caisse	27
4.3.3 Les moments	28
4.3.4 Les interactions	29

5. SÉANCE III : TRANSFERT DE CAISSES DE PALETTE À PALETTE.....	31
5.1 Méthodologie	31
5.1.1 Procédures expérimentales.....	31
5.1.2 Techniques de mesures	32
5.1.3 Traitement des signaux	32
5.1.4 Analyses statistiques	32
5.2 Résultats.....	33
5.2.1 Tests de fatigue	33
5.2.2 Résultats biomécaniques.....	36
5.3 Discussion.....	41
5.3.1 La fatigue physique.....	42
5.3.2 La posture.....	42
5.3.3 Le rapprochement de la caisse	43
5.3.4 Les moments	44
5.3.5 Autres interactions	44
6. L'ANALYSE ERGONOMIQUE DES SEANCES II ET III	47
6.1 Méthodologie	47
6.1.1 Matériel.....	47
6.2 Résultats et discussion	48
6.2.1 Une grande variabilité dans les façons de faire	48
6.2.2 Des différences entre les experts et les novices	49
6.2.3 Des adaptations au contexte offert en laboratoire.....	49
7. DISCUSSION GÉNÉRALE	55
7.1 Limites de l'étude.....	55
7.1.1 Les sujets.....	55
7.1.2 Les résultats biomécaniques	56
7.1.3 Les résultats ergonomiques.....	57
7.1.4 Biomécanique vs observations ergonomiques.....	57
7.1.5 La généralisation des résultats	57
7.2 Les principes de manutention	58
7.3 Ce qu'il reste à faire.....	59
8. CONCLUSIONS.....	61
9. BIBLIOGRAPHIE.....	63

ANNEXE A : SANTÉ MUSCULO-SQUELETTIQUE DES 30 SUJETS.....	70
ANNEXE B : SYSTÈME DE MESURE.....	73
ANNEXE C : DÉFINITION DES VARIABLES CINÉMATIQUE ET CINÉTIQUES.....	75
ANNEXE D: RESULTATS DU TRANSFERT DE CAISSES DU DIABLE VERS LE CONVOYEUR	77
ANNEXE E : INDICE DE FLEXIBILITE LOMBAIRE.....	84
ANNEXE F: FIGURES DES VARIABLES D'OBSERVATIONS ERGONOMIQUES....	86
ANNEXE G: TESTS DE REPRODUCTIBILITÉ INTRA ET INTER-OBSERVATEUR DES VARIABLES D'OBSERVATIONS	99
ANNEXE H : RÉSULTATS DES OBSERVATIONS ERGONOMIQUES.....	101
ANNEXE I : DÉFINITIONS DES PRINCIPES DE MANUTENTION.....	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Données anthropométriques des sujets (n =30).....	7
Tableau 3.1	Capacités physiques des deux groupes.....	11
Tableau 4.1	Variables indépendantes de la séance deux.	14
Tableau 4.2	Durée moyenne de la tâche et des phases pour l’aller vers le diable (n = 1920).	17
Tableau 4.3	Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de levage ainsi que les variables qui lui sont associées pour les experts et les novices (n =1920).	18
Tableau 4.4	Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de levage pour les experts et les novices.....	19
Tableau 4.5	Variables cinématiques d’importance lors de la phase de levage (n= 1920) ...	20
Tableau 4.6	Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de dépôt ainsi que les variables qui lui sont associées pour les experts et les novices (n =1920).	20
Tableau 4.7	Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de dépôt pour les experts et les novices.....	22
Tableau 4.8	Variables cinématiques d’importance lors de la phase de dépôt (n= 1920). ...	22
Tableau 5.1	Variables indépendantes de la séance trois.	33
Tableau 5.2	Cadences libre et imposée réelles (caisses/min) exercées par les manutentionnaires. Moyenne et écart-type (entre parenthèses).	33
Tableau 5.3	Résultats des données de fatigue et d’intensité d’effort selon l’échelle de Borg (ψ) et de la fréquence cardiaque (valeur moyenne et valeur de l’écart-type entre parenthèses) pour les experts et les novices.....	35
Tableau 5.4	Valeurs de p des tests EMG.....	35
Tableau 5.5	Durée des différentes phases.....	36
Tableau 5.6	Localisation verticale de dépôt de la caisse en fonction de la localisation verticale de celle-ci à la prise.....	37
Tableau 5.7	Parcours des caisses.	37
Tableau 5.8	Moment résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés à la prise.	37
Tableau 5.9	Moment résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au dépôt.....	39
Tableau 6.1	Résultats des observations ergonomiques en fonction de l’expertise.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 Tests de capacités physiques.....	10
Figure 4.1 Illustration de la condition expérimentale du convoyeur à 90° par rapport au diable.....	14
Figure 4.2 Les différentes phases d'analyse d'une tâche de manutention. T ₁ = Début tâche; T ₂ = Début levage; T ₃ = Fin envol; T ₅ = Fin tâche.....	15
Figure 4.3 Angle de flexion lombaire à chacune des hauteurs de caisse dans le levage vers le diable au cours du moment résultant maximal à L5/S1.....	18
Figure 4.4 Angle de flexion lombaire à chacune des hauteurs de caisse lors du moment résultant maximal à L5/S1 pendant la phase de dépôt sur le diable.....	21
Figure 4.5 Distance horizontale de la caisse à L5/S1 lors du moment résultant maximal pendant la phase de dépôt sur le diable.....	21
Figure 4.6 Distance verticale maximale de la caisse à L5/S1 lors du dépôt sur le diable....	23
Figure 4.7 Illustration des différences entre un expert et un novice.....	23
Figure 5.1 Illustration de la condition expérimentale du transfert de caisses palette à palette.....	31
Figure 5.2 Schéma des étapes de la séance III.....	31
Figure 5.3 Moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.....	38
Figure 5.4 Angle de flexion du genou droit lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation de la caisse.....	39
Figure 5.5 Angle de torsion lombaire lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation de la caisse.....	39
Figure 5.6 Angle de flexion du thorax lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation verticale de la caisse.....	40
Figure 5.7 Angle de flexion latérale lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.....	40
Figure 5.8 Angle de torsion lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.....	41
Figure 5.9 Vitesse angulaire de flexion de la région lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la cadence chez les experts et les novices.....	41

1. INTRODUCTION

Les risques de blessures au dos lors d'activités au travail demeurent encore aujourd'hui très élevés. Au Québec, le nombre d'affections vertébrales s'établissait en 2006 à 28 604 et elles représentaient 30% de l'ensemble des lésions professionnelles avec indemnisation (Allaire et Ricard, 2007). Bonne nouvelle toutefois, car depuis l'an 2000 le nombre d'affections n'a cessé de décroître : 35 702 (2000), 32 404 (2003), 31 694 (2004), 30 140 (2005) et finalement 28 604 en 2006 (Allaire et Ricard, 2001; Allaire et Ricard, 2005; Allaire et Ricard, 2007). Pour la période d'observation 2003-2006, la baisse relative du nombre d'affectations est de 11.7%. Par contre, l'indemnité moyenne en 2006 se situait à 3 266 \$ soit 858 \$ de plus qu'en 2000. Le coût total pour les affections vertébrales atteignait la somme de 509,3 millions de dollars comparativement à 425,6 millions en 2000. En terme de fréquence, la profession qui générait le plus d'affections vertébrales était les manutentionnaires, soit, 3 743 cas au total, dont 706 femmes. C'est la région lombarde qui était la zone la plus touchée (59% des cas d'affections) et l'effort excessif était l'agent causal qui était le plus souvent rapporté, soit 42.9% des cas survenus entre 2003 et 2006. On compte au Québec, 36 650 personnes dont le titre d'emploi est « manutentionnaires » (classe générale : Métiers, transport et machinerie), 89 % sont des hommes (32 695) et 11% des femmes (3 955) (Statistique Canada, 2008). La tâche de manutention manuelle, et plus particulièrement celle du lever de charge, est considérée depuis longtemps comme l'un des principaux facteurs de risque de blessure au dos (Ayoub *et al.*, 1997; Bernard, 1997; National Research Council, 2001; Ayoub et Mital, 1989; Yeung *et al.*, 2002). Jusqu'à maintenant, les mesures de prévention n'ont pas été très efficaces pour réduire l'incidence des maux de dos (Burdorf et Sorock, 1997) probablement parce que le problème est multifactoriel et que les solutions possibles sont rarement simples.

L'ensemble de nos recherches s'appuie sur le postulat qu'il existe une relation entre le travail de manutention et les risques de lésions au dos. De nombreuses revues de littérature (Bernard, 1997; Burdorf et Sorock, 1997; Kuiper *et al.*, 1999; National Research Council, 2001; Vingard et Nachemson, 2000) et d'études spécifiques sur ce sujet (Gardner *et al.*, 1999; Hoogendoorn *et al.*, 2000; Liira *et al.*, 1996; Magnusson *et al.*, 1996) ont toutes indiqué une relation de modérée à élevée entre la manutention manuelle et les blessures au dos. Le fait également d'effectuer fréquemment des mouvements de flexion et de torsion du tronc ainsi que de soulever des objets lourds augmenterait les risques de lésions au dos. Les causes ne sont pas bien identifiées, mais d'après le National Research Council (2001), il existe une relation claire entre les lésions au dos et la charge mécanique imposée lors d'un travail de manutention. Ainsi, la charge mécanique sera tolérée dans la mesure où la capacité des tissus sera suffisante pour résister aux surcharges ou encore pour s'adapter à des charges internes de nature continue. Dans le cas contraire où les charges internes excèdent la capacité de l'individu ou l'habileté de ce dernier à s'adapter, il y aura rupture ou fatigue des tissus qui résultera en des douleurs, des inconforts pour finalement mener la personne à une incapacité fonctionnelle (National Research Council, 2001).

1.1 Études des manutentionnaires experts

Le niveau de charge imposée sur les structures vertébrales dépend nécessairement du type de tâche effectuée. Une façon de faire pour comprendre les exigences d'une tâche et trouver des mesures de prévention ou de formation efficace consiste à étudier les modes opératoires de travailleurs experts et novices. Des études (Authier *et al.*, 1995, 1996) ont montré que des

manutentionnaires d'expérience, reconnus par leurs collègues comme étant des experts, ont développé des façons de faire différentes des novices qui pourraient être à la fois sécuritaires et avantageuses en terme de production. Ces façons de faire sont intéressantes, car on pourrait s'en inspirer pour développer des programmes de formation mieux adaptés au travail. Le succès mitigé des programmes de formation sur la prévention des blessures au dos en manutention s'explique peut-être par la faiblesse de nos connaissances pratiques sur ce que font les experts dans la réalisation de leur travail et des conséquences de ces façons de faire sur les chargements biomécaniques. Trop souvent, les études biomécaniques font appel à des participants novices ou imposent des conditions expérimentales rigides. La très grande majorité des études biomécaniques sur les techniques de manutention ont été réalisées à partir de participants novices. Par ailleurs, lorsque des experts¹ (ou travailleurs d'expérience) sont utilisés comme sujets, les conditions expérimentales sont si contraignantes qu'il est presque impossible pour ceux-ci de faire valoir leur expertise. De fait, les consignes imposent aux experts une technique « squat » ou « stoop » ou les deux avec laquelle ils ne sont probablement pas familiers, ce qui rend caduque leur expertise. Similairement, si on fixe le positionnement des pieds et des mains des sujets, on s'éloigne de ce qui se pratique dans la réalité et, par conséquent, on diminue la validité externe des résultats (Gagnon, 2003). En somme, on ne connaît pas vraiment les avantages de travailler comme les experts du point de vue biomécanique, tel que démontré dans les études ergonomiques.

On retrouve donc très peu d'études biomécaniques qui se sont intéressées aux différences entre novices et experts. Dans l'une d'elles (Gagnon *et al.*, 1996), la distinction la plus marquée se retrouve au niveau des genoux qui étaient moins fléchis chez les experts et qui exerçaient (à la prise de la charge) un moment de flexion plutôt que d'extension comme chez les débutants. Ce moment de flexion faciliterait l'extension de la hanche dans un lever de charge (de Looze *et al.*, 1993; Burgess-Limerick *et al.*, 1995; Toussaint *et al.*, 1992). Les experts semblent donc posséder un avantage technique sur les novices. Par contre, il ne semble pas qu'une augmentation de la charge (de 12 à 22 kg) ait eu un impact sur la technique de manutention. Ce résultat est peut-être dû au fait que les hauteurs de prise et de dépôt étaient de 15 cm du sol seulement et que les sujets n'avaient qu'à transférer horizontalement la charge plutôt que de la soulever. Dans une autre étude, Granata *et al.* (1999) démontrent que des manutentionnaires d'expérience ont étonnamment des chargements lombaires plus élevées et plus variables que les sujets novices. Ces manutentionnaires génèrent un plus grand effort des muscles fléchisseurs du rachis, ce qui en revanche assurerait une meilleure stabilisation du rachis lombaire. Ainsi, les muscles qui entourent la colonne vertébrale jouent un rôle clé pour la stabiliser et la protéger des blessures (Panjabi, 2003). D'un autre côté, l'étude de Granata *et al.* (1999) ne fournit aucun détail en ce qui concerne le rôle des membres inférieurs. De plus, la tâche ne consistait qu'à soulever la charge d'une position à hauteur des genoux à celle où le sujet est redressé. La simulation de techniques d'experts par des novices est une autre approche permettant d'étudier l'impact de ces techniques sur le risque de blessure. Cette approche, basée sur les observations de Authier *et al.* (1996), a permis de démontrer le potentiel des façons de faire d'experts de déplacements de pieds (Delisle *et al.*, 1999), de flexion des genoux et de largeur de base d'appui (Delisle *et al.*, 1998), de dynamique de levage (Delisle *et al.*, 1996b) et de stratégies de prises et d'inclinaisons de boîtes (Delisle *et al.*, 1996a) pour réduire le risque de blessure. Ces études incluaient une certaine variation des conditions de manutention (déplacements horizontaux, levers et abaissements,

¹ Les experts se distinguent des sujets d'expérience non pas seulement par le nombre d'années d'expérience mais également par une plus faible fréquence de blessure et par une reconnaissance des pairs.

boîtes sans poignées) dans des contextes qui se voulaient plus réalistes (e.g. asymétrie, mobilité des pieds, prises sur les boîtes sans poignées), mais dont les façons de faire étaient imposées.

Lortie (2002) a publié un article qui se veut une synthèse des études conduites dans les dernières années sur l'analyse de l'activité de manutention. Plusieurs de ces études avaient comme objet l'observation des façons de faire de manutentionnaires expérimentés et/ou experts. Bien que le but de cet article fût plus global, l'auteur présente plusieurs principes de manutention utilisés par ces manutentionnaires. Voici une liste, non exhaustive, de certains des principes privilégiés par les experts :

- ❑ Prendre de l'information sur l'objet avant son soulèvement ainsi que favoriser une prise asymétrique (particulièrement la prise diagonale) ;
- ❑ Faire travailler la charge pour soi, par l'utilisation des effets de momentum : l'impulsion sera ainsi utilisée pour réduire la durée des efforts;
- ❑ Grande préoccupation pour l'équilibre. Dans certains cas, la recherche de stabilité domine : par exemple, les manutentionnaires vont éviter une flexion importante des genoux (comme lors de la consigne qui veut qu'on garde le dos droit et qu'on privilégie une flexion des genoux), parce qu'elle peut compromettre leur équilibre (ils se retrouvent alors sur la pointe des pieds). Dans d'autres cas, où la situation n'est pas jugée à risque, les manutentionnaires vont plutôt utiliser des déséquilibres corporels (ex. : utilisation d'une jambe libre à l'arrière pour faire contrepoids, utilisation de transfert de poids) pour diminuer l'intensité des efforts. Dans tous les cas, une préoccupation dominante est de pouvoir récupérer rapidement en cas de problèmes;
- ❑ Favoriser la continuité et la régularité de l'effort : il faut éviter les mouvements brusques, avec des à-coups et les changements de direction de la charge. La façon de se positionner par rapport au lieu de dépôt est alors importante (ex. : orienter les pieds et la charge).

1.2 L'utilité des connaissances

Les connaissances acquises auprès des manutentionnaires experts serviront à élaborer un programme de formation basé sur des données probantes. Toutefois, deux revues de littérature remettent en question ce mode d'intervention. La première (Martimo *et al.*, 2007; Martimo *et al.*, 2008), une revue systématique de type Cochrane, a sélectionné 11 articles (à partir d'une liste de plus de 3000) qui répondaient à leurs critères d'inclusions (essais randomisés et études cohortes). Huit de ces articles s'intéressaient aux programmes de formation donnés en milieu hospitalier pour le transfert sécuritaire de patients; les trois autres articles s'adressaient plus particulièrement aux postiers (1 article) et aux bagagistes dans les transports aériens (2 articles). Les auteurs concluent qu'il n'existe aucune évidence qui supporte l'utilité d'un programme de formation à prévenir les douleurs au dos. L'autre revue (Haslam *et al.*, 2007) effectuée pour le compte du HSE (Health Safety Executive; Angleterre) arrive sensiblement à la même conclusion. Les auteurs mentionnent cependant que l'efficacité du programme serait améliorée en favorisant une approche multidimensionnelle qui implique la participation des travailleurs et des cadres, en ayant une plus grande spécificité de la formation au milieu de travail, en ayant recours aux équipements appropriés ou par le redesign des tâches. Selon eux, l'accent du programme devrait être axé sur les changements d'attitudes et de comportement et sur une sensibilisation des niveaux de risque chez les travailleurs et les cadres.

En premier lieu, il n'est pas surprenant que deux revues de littérature (Haslam *et al.*, 2007; Martimo *et al.*, 2007) arrivent à la conclusion que la majorité des programmes de formation actuels ne sont pas efficaces à prévenir les maux de dos. D'ailleurs, plusieurs auteurs avaient indiqué que les techniques enseignées dans les programmes de formation n'étaient pas utilisées dans les milieux de travail (Baril-Gingras et Lortie, 1995; Kuorinka *et al.*, 1994; Lortie et Baril-Gingras, 1998; St-Vincent et Tellier, 1989; Chaffin *et al.*, 1986; Garg et Saxena, 1985) et que ce type d'intervention (formation) était inefficace pour la prévention des blessures (Kroemer, 1992).

Avant de conclure définitivement que toute intervention de ce type est vouée à l'échec, il faut se demander pourquoi cela n'a pas fonctionné. On peut par exemple se questionner sur : les objectifs du programme, le contenu de la formation et sa spécificité, la compétence des formateurs, la durée, l'évaluation et le suivi du programme. On doit très certainement reconsidérer l'approche d'enseigner « la » technique sécuritaire. Il est généralement admis qu'une technique de manutention appropriée devrait minimiser le chargement au dos, si on assume à la base que les charges excessives ou celles appliquées de manière répétitive constituent des facteurs importants de blessure au dos. Toutefois, plusieurs revues indiquent que la recherche est encore loin d'apporter des réponses claires quant à la technique « idéale » de manutention (Burgess-Limerick, 2003; Hsiang *et al.*, 1997; Straker, 2003a; Straker, 2002; Straker, 2003b; van Dieen *et al.*, 1999). Certains chercheurs (Burgess-Limerick, 2003; Gagnon, 2003; Kuorinka *et al.*, 1994) s'interrogent même à savoir si on ne se trompe pas en cherchant la technique « idéale ». Un constat est à l'effet qu'il n'existe probablement pas « une technique », mais plutôt un ensemble de techniques et que celles-ci dépendent du contexte de travail et nécessairement du travailleur (Authier et Lortie, 1993; Kuorinka *et al.*, 1994; Parnianpour *et al.*, 1987; Sullivan, 1995). Plusieurs facettes des programmes de formation actuels sont donc à remettre en question et surtout à améliorer avant de déclarer ce type d'intervention inefficace. D'un autre côté, on retrouve un consensus sur certaines règles de base dont les actions : (1) d'approcher la charge externe du corps; (2) d'élever la hauteur initiale de la charge externe à soulever; (3) d'éviter les postures extrêmes; (4) d'éviter les mouvements de flexion latérale et de torsion du tronc; (5) d'éviter d'accélérer trop rapidement la charge; (6) d'éviter de soulever des charges tôt le matin ou après une période prolongée de flexion avant (Adams *et al.*, 2002; Ayoub *et al.*, 1997; Burgess-Limerick, 2003; McGill, 2002; Straker, 2003b; Graveling *et al.*, 2003).

Les groupes de recherche de Lortie (2002) et de Gagnon (2005a) ont donc démontré que des manutentionnaires experts ont développé des façons de faire qui pourraient être à la fois sécuritaires et avantageuses pour la production et desquelles on pourrait s'inspirer pour développer des formations mieux adaptées au travail. Ces études ont permis une grande avancée dans l'état des connaissances, principalement au niveau de l'importance des placements/déplacements des pieds, d'une réduction de la durée du transfert de la charge et de sa trajectoire, et de manœuvres sur les boîtes (prises et inclinaisons). Le niveau d'effort demeure une cause substantielle de blessure au dos, tout comme le contrôle de l'objet manipulé. Des principes ont également été énoncés, comme ceux de réduire la durée des efforts par le développement de modes opératoires précis ou de favoriser la continuité et la régularité de l'effort. On suppose donc que les manutentionnaires experts ont probablement développé des façons de faire, qui leur permettent d'exercer ce métier de manière sécuritaire.

1.3 Objectifs

Ce projet vise à poursuivre les recherches dans l'identification et dans la validation de grands principes de manutention. On suppose que l'expérience acquise a permis à des manutentionnaires de développer des façons de faire sécuritaires et efficaces. Un mode sécuritaire vise en tout premier lieu à assurer l'intégrité du dos tandis qu'un mode efficace vise à rencontrer les objectifs de production tout en réduisant les efforts. Le mode sécuritaire sera évalué principalement à partir des variables qui définissent le chargement au dos, qui réduisent les efforts et la fatigue musculaire. Un mode efficace sera défini à partir du temps d'exécution.

Un mode opératoire sécuritaire sera défini principalement par le chargement lombaire à L5/S1 (moments résultants et asymétriques) et les postures (flexions et postures asymétriques). Un mode opératoire efficace sera évalué par la durée totale de manutention et par une réduction des distances de transfert des caisses.

L'hypothèse générale de la recherche est la suivante :

- Les modes opératoires sont plus sécuritaires et plus efficaces chez des manutentionnaires experts, lorsque comparés à ceux de manutentionnaires novices.

On sait déjà grâce aux travaux de Lortie (2002) et de Gagnon (2005a) que cette hypothèse générale a été partiellement validée sur le terrain ainsi que sous certaines conditions expérimentales. La poursuite des travaux vise spécifiquement l'étude de conditions plus variées en modifiant les variables suivantes : la masse de la caisse, la fragilité de la caisse, le centrage de la caisse, la hauteur d'élévation de la caisse, la hauteur d'abaissement de la caisse et la fatigue musculaire.

Les caractéristiques de la charge (poids, fragilité du contenant et décentrage du centre de gravité), la hauteur de saisie et de dépôt de même que l'état de fatigue des manutentionnaires sont les paramètres qui ont été modifiés pour tenter de susciter une plus grande variété de modes opératoires des participants. Cette variété de conditions devait permettre de mieux caractériser les façons de faire des experts et mettre en valeur les différences individuelles sur le plan technique.

Pour simplifier la compréhension des résultats et de la discussion, le rapport présente les trois séances expérimentales de manière indépendante. Chacune des séances était séparée d'au moins 2 jours (pour éliminer les courbatures), mais de moins d'une semaine (pour retenir les effets d'apprentissage de la première séance) :

1. la première était une séance de mesure des capacités physiques des sujets et de familiarisation dans laquelle les participants ont été initiés aux différentes procédures expérimentales;
2. la deuxième a permis d'étudier, à partir d'un transfert de caisse d'un convoyeur à un diable, l'effet spécifique de modifier les caractéristiques de la charge (masse, distribution et stabilité) sur les façons de faire des manutentionnaires;
3. la troisième a spécifiquement étudié, à partir d'un transfert continu de boîtes d'une palette à une autre, l'influence de modifier la cadence ainsi que l'effet cumulé de la fatigue physique sur les façons de faire des experts et des novices.

Étant donné que ce projet comporte trois séances requérant en partie une méthodologie commune, la prochaine section sera consacrée à ces points méthodologiques. Par la suite, chaque séance de recherche sera présentée de manière distincte et comportera une section méthodologique spécifique, une autre sur les résultats et une dernière sur la discussion. Suivra un volet spécifique sur les observations ergonomiques des séances II et III en complément aux données biomécaniques. Ces observations ergonomiques sont essentielles à une meilleure compréhension des façons de faire des experts. La fin du rapport sera complétée par une brève discussion générale suivie par la conclusion finale.

Enfin, l'intérêt de cette recherche n'étant pas d'évaluer les effets des situations de travail comme le format des caisses ou encore la hauteur de prise et de dépôt (car ces effets sont assez bien connus) mais plutôt l'effet de l'expertise des manutentionnaires, seul les résultats portant sur les variables qui distinguent les experts des novices seront présentés dans le cadre de ce rapport.

2. MÉTHODOLOGIE : TRONC COMMUN

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

2.1 Sujets

Deux groupes de sujets masculins ont été recrutés. Le premier groupe était constitué de 15 manutentionnaires experts qui répondaient aux quatre critères suivants : un minimum de 5 années d'expérience, une faible incidence de blessures (particulièrement au dos), aucune blessure dans l'année précédant l'expérience et enfin sur recommandation du responsable de l'entreprise en charge du recrutement. Trois entreprises différentes ont participé en recrutant respectivement 7, 3 et 5 des manutentionnaires experts. Le second groupe était composé de 15 manutentionnaires novices répondant aux critères suivants : un minimum d'expérience en manutention variant de 3 à 6 mois et aucune incidence de blessure dans l'année précédant l'expérience. Le recrutement des novices s'est principalement effectué par affiche ou encore de bouche à oreille. L'annexe A résume la santé musculo-squelettique des sujets sélectionnés. Aucun de ceux-ci ne présentait de problèmes musculo-squelettiques pouvant affecter leur façon d'effectuer normalement leur travail et les problèmes étaient mineurs. Le tableau 2.1 présente les principales caractéristiques anthropométriques des sujets. Les deux groupes de sujets, soit les experts et les novices, sont semblables en ce qui a trait au poids et à leur taille. Ces dernières variables ne devraient donc pas avoir d'impact sur les différents paramètres biomécaniques des séances 2 et 3. À noter que les deux groupes sont significativement différents au niveau de l'expérience et bien sûr au niveau de l'âge, ce qui va de pair.

Tableau 2.1 Données anthropométriques des sujets (n =30).

Variables	Experts		Novices		Prob. ³
	M ¹	ET ²	M	ET	
Age (années)	38.1	9.8	25	5.9	< 0.01
Poids (kg)	75.9	12.2	74.2	11.4	0.70
Taille (m)	1.71	0.07	1.75	0.05	0.09
Années d'expérience (années)	15.4	9.3	0.5	0.4	< 0.01
Moment exercé par le poids du tronc à L5/S1 (Nm)	96	17	95	15	0.87

¹ M = Moyenne; ² ET = Écart-type ; ³ Niveau de probabilité, Test T bilatéral

2.2 Systèmes de mesure

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

2.3 Modèle biomécanique segmentaire

Les participants ont été instrumentés de manière à pouvoir utiliser le modèle biomécanique segmentaire. L'objectif de ce modèle est d'estimer le chargement au dos à L5/S1 à partir de données d'entrée cinématiques et cinétiques. Ce modèle a été développé sur plusieurs années de recherche et a fait l'objet de validation exhaustive (Desjardins *et al.*, 1998; Gagnon et Gagnon, 1992; Plamondon *et al.*, 1996). Il nécessite la pose de 12 grappes rigides de repères visuels attachées sur chacun des segments suivants : la tête (1), le dos à la hauteur de C7 (1), T12 (1) et S1 (1), les deux bras (2), les deux avant-bras (2), les deux cuisses (2) et les deux pieds. Une grappe de repères était composée de 4 diodes LED (à l'exception de 7 pour les pieds) fixées soit sur une plaque d'aluminium ou encore sur un bloc de styromousse qui à leur tour étaient collés sur la peau des sujets. Les grappes rigides captées par les quatre colonnes Optotrak ont servi à localiser 48 repères anatomiques par rapport à leur grappe de repères respective, de manière à pouvoir estimer les centres articulaires segmentaires. Les données ont été par la suite filtrées au moyen d'une « spline » quintique et les vitesses et accélérations linéaires et angulaires ont été dérivées. Les paramètres segmentaires ont été estimés au moyen de la méthode elliptique de Jensen (1978). Les forces externes aux pieds ont été captées à l'aide de la plate-forme dynamométrique. L'ensemble de ces données d'entrée a été par la suite intégré au modèle segmentaire pour le calcul des moments nets à L5/S1 (moments de flexion-extension, de flexion latérale et de torsion) à partir des équations de Hof (1992). L'erreur sur l'estimation de ces moments a été estimée à moins de 10 Nm (Plamondon *et al.*, 1996). Pour s'assurer de la validité des moments de force à L5/S1, ceux calculés à partir d'une approche des segments du bas du corps (approches utilisées dans cette étude) ont été comparés aux moments, dont l'approche est déterminée par les segments du haut du corps pour les 30 sujets dans la position debout anatomique. Les erreurs RMS entre les deux approches étaient généralement inférieures à 7 Nm, ce qui correspond aux erreurs déjà rapportées dans Plamondon *et al.* (1996).

2.4 Échelle de Borg

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

3. SÉANCE I - CAPACITÉS PHYSIQUES ET FAMILIARISATION

La première séance avait deux objectifs : 1) la mesure des caractéristiques anthropométriques et des capacités physiques (force, endurance) des participants et 2) la familiarisation aux différentes procédures expérimentales. Au tout début, chaque sujet se faisait expliquer le déroulement de l'expérience et devait signer (volontairement) le formulaire de consentement approuvé par le comité d'éthique (de la recherche en santé chez l'humain) de la Faculté de médecine et des sciences de la santé de l'Université de Sherbrooke. Ensuite, il devait remplir deux questionnaires : le premier, le questionnaire Nordique modifié (Forcier *et al.*, 2001), dressait le portrait de leur santé musculo-squelettique; le second, le questionnaire d'aptitude à l'activité physique (QAAP), permettait de s'assurer de l'absence de tout problème de santé relié à la pratique d'activité physique. Il n'y a eu aucune réponse négative des sujets sur le QAAP qui aurait remis en question leur participation à l'étude.

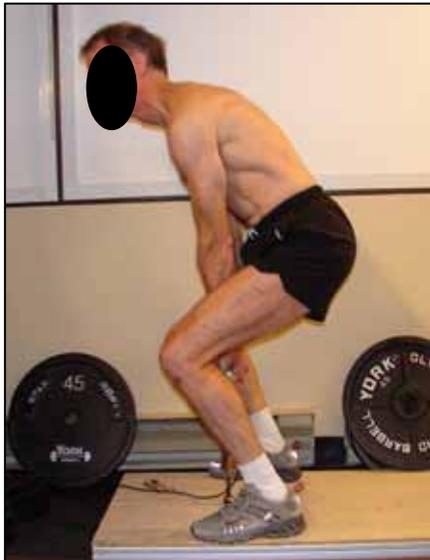
3.1 Caractéristiques anthropométriques et capacités physiques

L'objectif des tests physiques étaient de savoir si les capacités physiques des manutentionnaires en termes de forces et d'endurance musculaires ainsi que d'endurance aérobie, étaient différentes des experts par rapport aux novices. Les tests physiques ont été les suivants :

1. Mesure de la capacité physique aérobie des participants. Test sous-maximal de capacité aérobie qui évalue la capacité du système cardiorespiratoire à l'effort. Il s'agit du step-test de Siconolfi *et al.* (1985) adapté de Gall et Parkhouse (2004) dans lequel les participants doivent monter une marche d'une hauteur de 28 cm pendant 3 minutes à une fréquence de 18 marches/min (1^{ère} série), puis à une fréquence de 24 marches/min (2^{ième} série). Des tables permettent d'estimer la capacité aérobie maximale à partir de la fréquence cardiaque moyenne.
2. Test général de force musculaire isométrique maximale de levage. Le sujet est debout, le tronc et les jambes sont fléchis de manière à tenir une poignée à la hauteur des genoux (posture ½-stoop-½-squat; figure 3.1a). Ce test consiste à exercer une force maximale en extension contre une cellule de force fixée au sol (Chaffin *et al.*, 1978; Chaffin *et al.*, 1999). Trois essais ont été effectués.
3. Extenseurs du dos (groupe Erectores Spinae)
 - a. Test de force isométrique : Le sujet est placé dans un dynamomètre en position debout (figure 3.1b) et le bassin fixé tel que décrit dans Lariviere *et al.* (2001). Il exerce un effort maximal sur une période de six secondes: en extension (trois essais), en flexion (2 essais), en flexion latérale droite et gauche (2 essais), en rotation axiale droite et gauche (2 essais).
 - b. Test d'endurance isométrique : Le sujet est placé de manière identique au test de force. Ce test consiste à exercer jusqu'à épuisement une force isométrique en extension de 150 Nm. Il s'agit d'une charge absolue correspondant au 2/3 de la valeur

maximale moyenne des hommes. Ce ratio de 66% a été utilisé dans plusieurs études pour évaluer l'endurance musculaire (Lariviere *et al.*, 2008; Reeves *et al.*, 2006).

a) Test général de levage



b) Test des muscles du dos

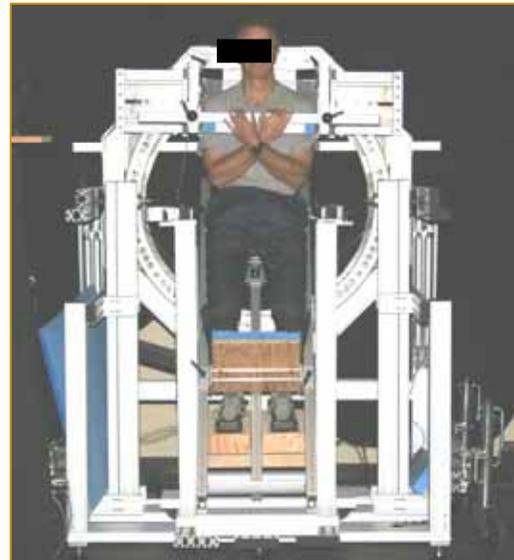


Figure 3.1 Tests de capacités physiques.

3.2 Familiarisation des sujets avec les conditions expérimentales

Des capteurs de mouvement (LED et repères visibles) ont été positionnés sur les segments des participants et ceux-ci ont eu à pratiquer les différentes tâches incluses dans l'étude. Le but était à l'effet que les sujets se rendent compte qu'ils peuvent exécuter les tâches de manutention sans contrainte et cela, même si des capteurs et des fils sont fixés sur eux. Les expérimentateurs ont insisté sur ce point lors de cette première séance. Il n'y a pas eu d'analyse de données.

3.3 Analyses statistiques

En premier lieu, des analyses statistiques descriptives ont été effectuées sur l'ensemble des variables. Ensuite, une analyse à une voie (ANOVA) a permis d'évaluer si des différences significatives entre experts et novices existaient. Le logiciel NCSS (NCSS 2007, Version : 07.1.14 Windows XP ; www.ncss.com) a été utilisé pour traiter les données statistiques. Un seuil de probabilité plus petit ou égal à .05 a été choisi pour rejeter une hypothèse nulle.

3.4 Résultats

Le tableau 3.1 présente les résultats des différents tests physiques qui ont été effectués sur les deux groupes de manutentionnaires. La seule différence significative entre les groupes se trouve au niveau de leur consommation d'oxygène maximale. Les novices ont un VO₂ max plus élevé que les experts ($p=0.01$). Toutefois, les experts sont plus âgés que les sujets novices (tableau 2.1) et lorsqu'on compense pour l'effet de l'âge (utilisé comme covariable dans une ANCOVA), la différence significative disparaît ($p=0.44$). Pour tous les autres tests de force maximale des muscles du tronc, ainsi que pour le test d'endurance des muscles du tronc en extension, il n'y a aucune différence significative entre les deux groupes de manutentionnaires.

Tableau 3.1 Capacités physiques des deux groupes.

	Expert (ET)	Novice (ET)	<i>p</i>
VO2 max (ml/kg/min)	39,4 (6,8)	46,1 (6,8)	0,01
Force de levage (kg)	138 (28)	139 (25)	0,89
Force d'extension (Nm)	347 (68)	322 (59)	0,28
Force de Flexion avant (Nm)	162 (32)	171 (31)	0,45
Force de Flexion latérale droite (Nm)	204 (24)	198 (28)	0,52
Force de Flexion latérale gauche (Nm)	211 (32)	207 (24)	0,71
Force de Rotation axiale droite (Nm)	124 (22)	135 (36)	0,34
Force de Rotation axiale gauche (Nm)	119 (20)	123 (23)	0,59
Endurance musculaire en extension (s)	132 (61)	125 (69)	0,77

3.5 Discussion

Les résultats de cette séance démontrent qu'il n'y a pas de différences physiques entre les experts et les novices. La force et l'endurance des muscles du tronc ne seraient donc pas de bons prédicteurs pour déterminer l'expertise d'un travailleur puisqu'aucune différence ne distingue les experts des novices. Authier *et al.* (1996) n'avaient d'ailleurs pas observé de différence entre les 2 groupes sur le moment maximal en extension mesuré au dos. Dans la littérature, il n'y a pas beaucoup d'information à ce sujet. Quelques études psychophysiques (Ayoub et Mital, 1989; Wu, 1997; Mital, 1987) ont mentionné que les experts soulèvent de plus grandes charges que les novices lors d'activités de manutention, mais Mital (1987) souligne qu'il n'existait pas de différence significative sur les tests de forces isométriques. Par contre, si on compare les études de Wu et Hsu (1993) et Wu (1997), l'une avec des sujets novices et l'autre avec des sujets expérimentés, on constate que les expérimentés sont légèrement plus forts que les novices, mais il n'est pas possible de savoir si cette différence est significative. On ne peut donc pas vraiment conclure à ce sujet considérant le peu de données disponibles.

Pour ce qui est du VO₂ max, les novices ont une capacité plus élevée que les experts. Par contre, ces résultats sont possiblement causés par la diminution de la capacité physique aérobie de l'ordre de 10% par décade d'âge à partir de la mi-vingtaine (Wilmore *et al.*, 2008).

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

4.1 Méthodologie

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

4.1.1 Procédures expérimentales

Une fois le sujet instrumenté, ce dernier devait, dans un premier temps, rester immobile sur la plate-forme pendant qu'un assistant localisait à tour de rôle chacun des 48 repères anatomiques nécessaires pour estimer les centres articulaires des segments avec un pointeur composé de 24 LED. Dans un second temps, le sujet devait adopter une posture anatomique pour être pris en photo afin d'estimer par la suite ses paramètres segmentaires (méthode de Jensen, 1978). L'étape suivante consistait pour le sujet à effectuer un transfert de 4 caisses du convoyeur (à hauteur de palette, 12 cm du sol) vers le chariot à deux roues (diable) à une distance de 1,5 m de la prise (figure 4.1). À l'aller (phase d'aller), le convoyeur était légèrement incliné de manière à ce que les boîtes se déplacent (sur les rouleaux) vers le manutentionnaire. Ce dernier devait tirer vers lui une première caisse sur le convoyeur et procéder à son transfert vers la destination sur le diable. Les quatre caisses étaient empilées en hauteur sur le diable. Une fois cette étape complétée, le sujet reprenait la tâche du diable vers le convoyeur légèrement incliné vers l'extérieur (phase de retour). Les caisses avaient les caractéristiques suivantes : une caisse de 15 kg, une caisse de 23 kg, une caisse de 15 kg fragilisée et une caisse de 15 kg décentrée (centre de gravité à 27 cm latéralement d'un côté et à 8 cm de l'autre), toutes de même dimension (26 cm de profondeur x 35 cm de largeur x 32 cm de hauteur). La caisse fragilisée contenait 12 bouteilles de sable et d'eau et le dessus de celle-ci n'était pas recouvert de manière à ce qu'elle soit déformable. L'ordre des caisses avait été balancé au moyen d'un carré latin pour que les 15 sujets de chaque groupe (expert et novice) procèdent à la manutention dans un ordre différent, mais, par contre, identique entre les groupes. L'ordre balancé faisait en sorte que chaque type de caisses se retrouve à chaque hauteur (4 hauteurs) à deux reprises (deux essais). De plus, deux positions du convoyeur ont été étudiées : l'une face au diable à 1.50 m de distance et l'autre à 90° par rapport au diable à la même distance (1.50 m). Il y avait donc 4 caisses à l'aller, 4 caisses au retour, 4 hauteurs (32 caisses), 2 essais (64 caisses) et 2 positions du convoyeur (total 128 caisses). La position du convoyeur avait également été choisie de manière à ce qu'une moitié des sujets commencent par la condition à 180° et l'autre à 90°.

La vitesse de manutention ainsi que la technique de manutention étaient libres. Les sujets avaient comme consigne de toujours demeurer sur la plate-forme de forces et d'empiler les caisses sur le diable. Pour éviter une accumulation de fatigue chez les sujets, chaque série aller-retour (8 caisses) était suivie de 2 minutes de repos. Après le transfert de 64 caisses, le sujet devait se reposer un minimum de 5 minutes en position assise. Il y avait également après chaque aller de 4 caisses une légère pause obligatoire de 30 secondes pour permettre une mise à zéro du système. De plus, il avait été prévu d'ajouter du temps de repos supplémentaire dans le cas où un sujet l'exigeait ou encore s'il apparaissait fatigué (à partir des résultats de l'échelle de Borg), ce qui ne s'est pas produit.

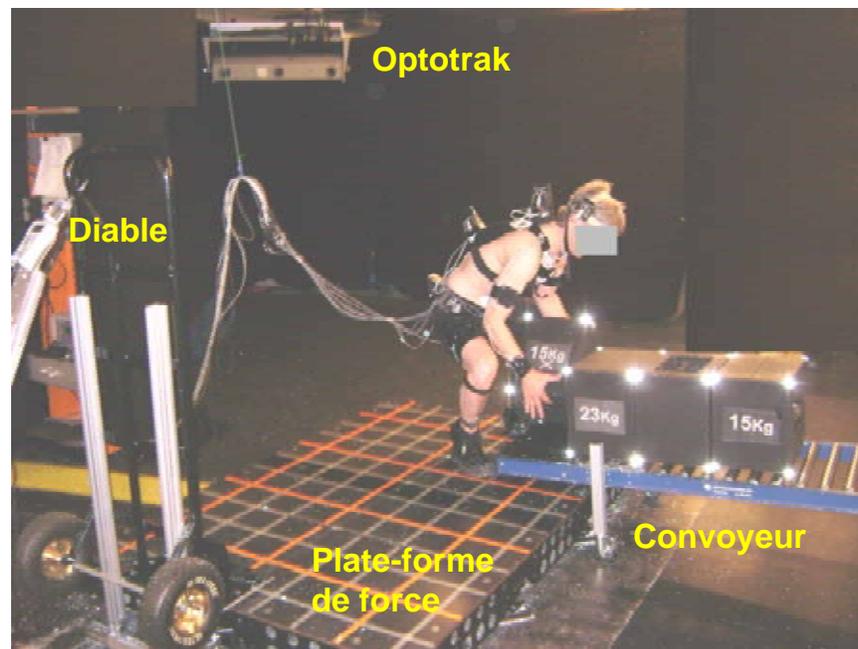


Figure 4.1 Illustration de la condition expérimentale du convoyeur à 90° par rapport au diable.

4.1.2 Traitement des signaux

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

4.1.3 Analyses statistiques

Le logiciel NCSS (NCSS 2007, Version : 07.1.14 Windows XP ; www.ncss.com) a été utilisé pour traiter les données statistiques. Des analyses statistiques descriptives ont été effectuées sur l'ensemble des variables. Ensuite, des analyses de variance à mesures répétées (ANOVA; Mixed Design, Myers et Wells, 2003) ont permis d'évaluer si des différences significatives entre experts et novices existaient (« inter sujets ») et cela sous les différentes conditions expérimentales (« intra sujets ») présentées au tableau 4.1 :

Tableau 4.1 Variables indépendantes de la séance deux.

Type de comparaison	Variables indépendantes	Nom abrégé
Comparaisons “inter sujets”	Expert vs novice	Expertise (E)
Comparaisons “intra sujets”	4 types de caisse : 15 kg, 23 kg, 15 kg décentré, 15 kg instable	Caisse (C)
	Hauteur: Position 1 =sol, position 2 = 32 cm, position 3 = 63 cm, position 4 = 95 cm	Hauteur (H)
	Orientation : 180° ou 90°	Arrangement (O)

Le nom des variables cinétiques et cinématiques est facile à interpréter, mais de façon à éviter des ambiguïtés, une définition complète des variables se retrouve en annexe C. Les variables dépendantes choisies comme critère de sécurité et de performance ont été principalement : les durées de manutention, les moments résultants et asymétriques à L5/S1, les postures contraignantes (les flexions extrêmes et postures asymétriques du tronc), les flexions des genoux et les distances sujet – caisse.

Le nombre total de transferts de caisses pour chaque sujet a été de 128 [4 caisses x 4 hauteurs x 2 orientations x 2 allers (aller-retour) x 2 répétitions]. Les conditions expérimentales à l'aller, c'est-à-dire du convoyeur au diable et au retour, soit du diable au convoyeur, ont fait l'objet d'analyses statistiques distinctes. Pour les 30 sujets, l'échantillonnage à l'aller, tout comme pour le retour, a été au total de 1920 échantillons. Aux fins d'analyse, chaque manutention est séparée en différentes phases d'exécutions successives. Tant pour l'aller que pour le retour, on retrouve une phase de levage et une phase de dépôt (figure 4.2). La phase de levage comprend un pré-levage (prise) où la boîte est amenée près du sujet sans être soulevée et le levage de la boîte (envol). La phase de dépôt débute après la phase de levage, se poursuit au dépôt de la caisse jusqu'à sa position finale (placement) sur le diable ou le convoyeur. Il faut souligner que la durée de la phase d'envol (c'est-à-dire le temps où la caisse n'est plus en contact avec aucun support sauf les mains) a été divisée en deux sections égales de manière à ce que la première section soit partie intégrante du levage et la seconde à la section du dépôt.

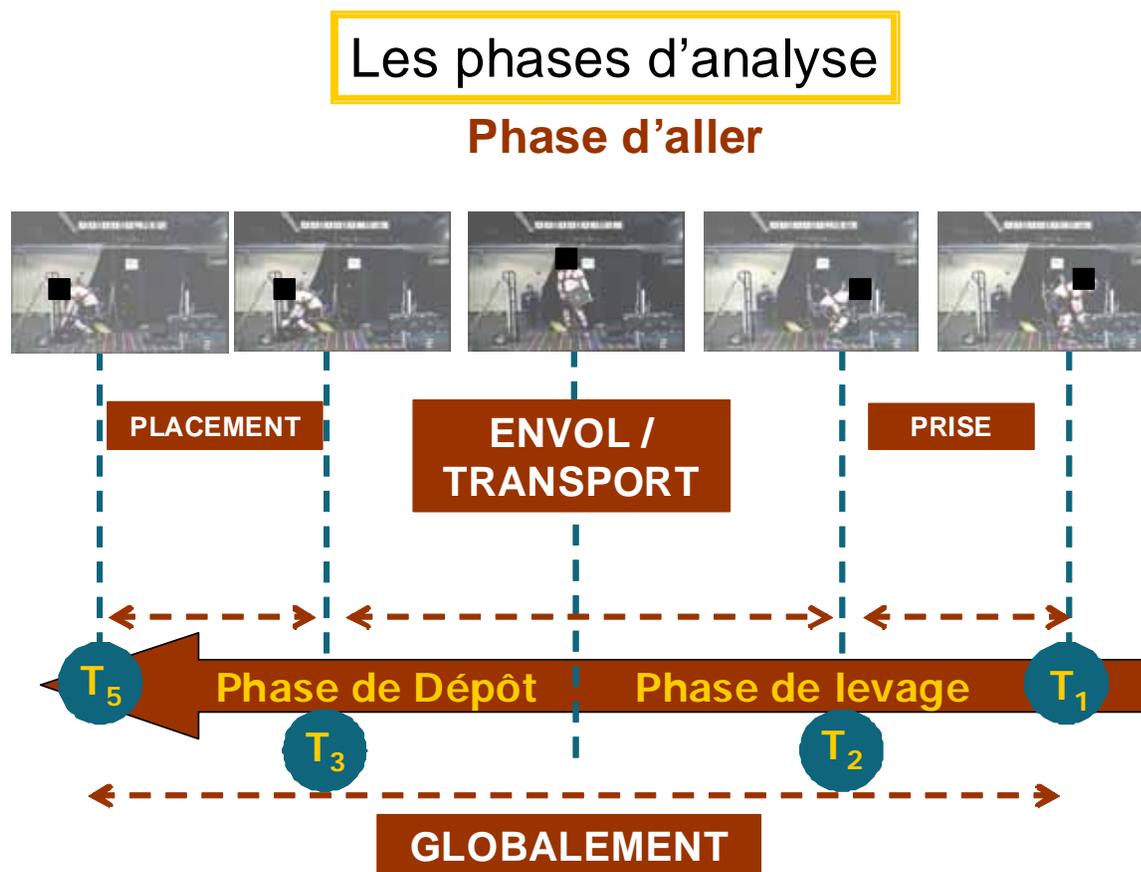


Figure 4.2 Les différentes phases d'analyse d'une tâche de manutention. T₁ = Début tâche; T₂ = Début levage; T₃ = Fin envol; T₅ = Fin tâche.

En bref :

Une phase d'aller vers le diable : 1) phase de levage et 2) phase dépôt

Une phase de retour vers le convoyeur : 1) phase de levage et 2) phase dépôt

Étant donné que tous les essais expérimentaux ont été répétés deux fois, les analyses statistiques ont été effectuées en combinant les deux essais. Comme mentionné précédemment, les différences observées entre les quatre formats de caisses, entre les quatre positions sur le convoyeur ou le diable et entre les deux types d'arrangement du convoyeur ne seront pas discutées dans ce rapport. Par conséquent, seuls seront présentés les résultats de l'effet principal expert-novice (E) et de ses interactions :

- l'interaction EC: c'est-à-dire le niveau d'expertise (E) et le format de caisses (C) ;
- l'interaction EH: c'est-à-dire le niveau d'expertise (E) et la hauteur de la caisse (H) ;
- l'interaction EO: c'est-à-dire le niveau d'expertise (E) et l'orientation du convoyeur (O).

Les interactions triples seront également exclues des analyses en raison de la complexité d'interprétation que cela implique. Afin de pouvoir réaliser des analyses paramétriques, les données ont été transformées à l'aide d'une transformation unique (Van Albada et Robinson, 2007²) permettant d'obtenir des distributions normales selon le test Wilk-Shapiro. Également, pour contrecarrer une violation de la sphéricité dans les ANOVAS à mesures répétées, le seuil de probabilité a été ajusté au moyen du facteur de correction Geisser Greenhouse Epsilon. Enfin le seuil de probabilité Alpha ($p \leq .05$) n'a pas été ajusté en fonction d'une correction de Bonferroni.

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

4.2 Résultats

Les résultats de la phase d'aller vers le diable seront présentés dans cette section, tandis que les résultats de la phase de retour vers le convoyeur seront plutôt disponibles en annexe D étant donné leurs similitudes.

4.2.1 Phase d'aller vers le diable

Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes quant à la durée des différentes phases, malgré la tendance des experts à être plus lents pour réaliser la tâche (Tableau 4.2). C'est la phase d'envol qui est légèrement plus longue pour les experts (experts = 2.2 s vs novices = 1.9 s), mais encore une fois cette différence n'est pas significative. Il y a cependant une interaction significative (Expertise \times Hauteur) dans la phase d'envol. Cette interaction s'explique par le fait que le temps d'envol diminue avec la hauteur de dépôt de la caisse autant pour les experts et les novices à l'exception que l'écart, qui sépare les deux groupes, diminue avec la hauteur de la caisse.

Tableau 4.2 Durée moyenne de la tâche et des phases pour l'aller vers le diable (n = 1920).

Variables	Experts		Novices		Effet E (p)	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Durée tâche (s)	4.7	1.5	4.5	1.5	0.61	0.63	0.94	0.50
Pré-levage - prise (s)	1.5	0.8	1.5	0.7	0.99	0.91	0.92	0.11
Levage- envol (s)	2.2	0.7	1.9	0.7	0.35	0.20	0.04	0.59
Post-levage - dépôt (s)	1.0	0.7	1.1	0.7	0.82	0.25	0.77	0.92

M = Moyenne; ET = Écart-type; E = Effet expertise ; EC = interaction Expertise \times Caisse ; EH = interaction Expertise \times Hauteur ; EO = interaction Expertise \times Orientation

4.2.1.1 Phase de levage

Moment résultant maximal : Le moment résultant maximal à L5/S1 vers le diable lors de la phase de levage entre les deux groupes, était similaire (tableau 4.3 : experts = 226 N•m vs novices = 228 N•m). Par ailleurs, lorsqu'on considère d'autres variables lors du moment résultant maximal, on observe au tableau 4.3 plusieurs différences significatives ($p \leq .05$) entre experts et novices principalement pour les variables associées à la posture. Ainsi, on peut constater que l'angle de flexion lombaire (experts = 54° vs novices = 66° ; figure 4.3) et l'angle de flexion du thorax par rapport à la verticale (experts = 62° vs novices = 76°) étaient significativement plus petits chez les experts que chez les novices. Les experts se penchaient donc moins vers l'avant que les novices lors du moment résultant maximal. À l'opposé les experts fléchissaient significativement plus les genoux (experts \approx 73° vs novices \approx 53°). Trois autres variables retiennent également l'attention. Ainsi, l'occurrence du moment résultant maximal était légèrement plus tôt chez les experts, c'est-à-dire tout juste après le début de la phase d'envol (experts = 3% vs novices = 6%). L'angle de torsion lombaire était également significativement différent (experts = 4° vs novices = -1°), mais tout comme l'occurrence, cette différence s'explique difficilement entre les deux groupes. La troisième variable, la vitesse angulaire lombaire en flexion, était significativement plus élevée pour les experts (experts = 25°/s vs novices = 20°/s). Autres faits, il est intéressant de noter que la distance de la caisse à L5/S1 était à peu près similaire entre les groupes (experts =

0.40 m vs novices = 0.42 m) et que la posture du tronc n'avait pratiquement pas d'asymétrie (angle de flexion latérale et angle de torsion < 4°). Enfin, il n'y avait aucune interaction significative entre la variable Expertise et les autres variables indépendantes.

Tableau 4.3 Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de levage ainsi que les variables qui lui sont associées pour les experts et les novices (n =1920).

Variables	Experts		Novices		Effet E (p)	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment résultant max à L5/S1 (N·m)	226	37	228	43	0.92	0.43	0.93	0.86
Occurrence (%)	3	8	6	9	0.04	0.56	0.53	0.73
Angle de flexion lombaire (°)	54	11	66	15	0.01	0.82	0.75	0.48
Index de flexibilité lombaire (%)	87	20	96	20	0.22	0.74	0.69	0.36
Angle de flexion latérale lombaire (°)	0	6	3	6	0.08	0.25	0.64	0.66
Angle de torsion lombaire (°)	4	5	-1	8	0.03	0.40	0.29	0.74
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	62	15	76	17	0.02	0.98	0.14	0.76
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.40	0.05	0.42	0.06	0.15	0.38	0.69	0.64
Flexion du genou droit (°)	71	31	51	36	0.03	0.48	0.09	0.36
Flexion du genou gauche (°)	74	29	55	30	0.05	0.95	0.89	0.17
Vélocité angulaire lombaire en extension (°/s)	25	12	20	12	0.04	0.98	0.47	0.34

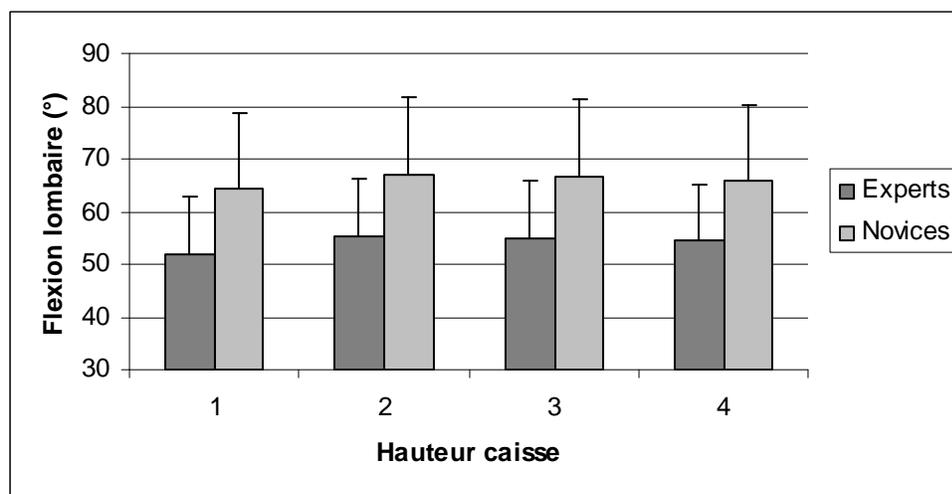


Figure 4.3 Angle de flexion lombaire à chacune des hauteurs de caisse dans le levage vers le diable au cours du moment résultant maximal à L5/S1

Autres moments à L5/S1: Comme pour le moment résultant maximal, il n'y a pas de différence significative entre les experts et les novices pour les moments sur les autres axes à l'exception des moments en torsion (tableau 4.4). Cette différence n'était cependant pas très élevée, c'est-à-dire de moins de 10 Nm et en ce qui concerne le moment en torsion vers la droite, la valeur des experts était moins élevée que celle des novices (-26 Nm vs -34 Nm), mais pas dans le cas du moment vers la gauche (+23 Nm vs +10 Nm). Il faut également souligner que la posture observée au niveau lombaire lors du moment résultant asymétrique maximal ne comportait que peu d'asymétrie (moins de 3° en flexion latérale ou en torsion). De plus, la flexion lombaire des experts était significativement moins grande que celle des novices (expert = 34° vs novice = 50°), lors du moment résultant asymétrique maximal.

Tableau 4.4 Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de levage pour les experts et les novices.

Variables	Experts		Novices		Effet G (<i>p</i>)	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment max en extension (N•m)	223	37	224	41	0.94	0.42	0.94	0.75
Moment max asymétrique (N•m)	59	20	60	21	0.95	0.73	0.99	0.50
Moment max en flexion latérale (N•m)	36	18	30	20	0.23	0.39	0.99	0.64
Moment min en flexion latérale (N•m)	-52	18	-49	22	0.49	0.99	0.78	0.46
Moment max en torsion (N•m)	23	12	17	11	0.05	0.45	0.68	0.71
Moment min en torsion (N•m)	-26	14	-34	16	0.02	0.05	0.56	0.47

Moment positif de flexion latérale = vers la droite du sujet

Moment positif en torsion = vers la gauche du sujet

Variabes cinématiques : En plus d'examiner certaines variables cinématiques lors du moment résultant maximal (tableau 4.3), d'autres variables cinématiques ont retenu notre attention lors de la phase de levage et elles sont présentées au tableau 4.5. En premier lieu, l'angle maximal du thorax par rapport à la verticale était significativement différent entre les groupes (experts = 74° vs novices = 86°). Encore une fois, les experts étaient moins fléchis que les novices, mais lorsqu'on regarde l'amplitude de mouvement du thorax, on s'aperçoit que les deux groupes avaient sensiblement la même valeur (autour de 52°). On remarque également que les distances maximales de la caisse à L5/S1, autant horizontalement (experts = 0.42 m vs novices = 0.45 m) que verticalement (experts = 0.35 m vs novices = 0.43 m), étaient significativement plus petites chez les experts que chez les novices. Par conséquent, les experts se rapprochaient plus de la caisse, autant sur le plan horizontal que vertical. Pour arriver à cela, les experts semblaient compenser une moins grande inclinaison du thorax par une plus grande flexion (experts ≈ 85° vs novices ≈ 60°-70°) et une plus grande amplitude articulaire des genoux (experts ≈ 69° vs novices ≈ 48°) ce qui les rapprochaient plus du sol que les novices (experts = 0.63 m vs novices = 0.70 m). On retrouve également quelques interactions significatives au niveau de l'angle de flexion des genoux. Elles s'expliquent par une diminution puis une augmentation de la flexion des genoux entre le soulèvement de la 1^{re} à la 4^e caisse chez les novices, tandis que pour les experts, l'angle des genoux ne diminuait pas de façon constante avec l'ordre des caisses. Quant à l'amplitude de l'angle de flexion du tronc, on remarque que celle-ci demeurait quasiment identique pour les experts peu importe le format de la caisse (≈ 51°), tandis qu'elle variait de quelques degrés dans le cas des novices.

Tableau 4.5 Variables cinématiques d'importance lors de la phase de levage (n= 1920)

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Flexion du thorax maximal p/r à la verticale (°)	74	15	86	15	0.02	0.91	0.80	0.49
Flexion du thorax minimal p/r à la verticale (°)	22	16	34	23	0.12	0.15	0.07	0.72
Amplitude de l'angle de flexion du thorax (°)	51	17	52	22	0.82	0.00	0.07	0.97
Distance horizontale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.42	0.05	0.45	0.06	0.01	0.42	0.17	0.75
Distance verticale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.35	0.1	0.43	0.13	0.02	0.89	0.36	0.70
Hauteur minimal du CG par rapport au sol (m)	0.63	0.08	0.70	0.09	0.02	0.45	0.06	0.11
Flexion maximale du genou droit (°)	84	34	62	36	0.03	0.07	0.02	0.12
Amplitude articulaire du genou droit (°)	68	34	48	31	0.07	0.19	0.88	0.25
Flexion maximale du genou gauche (°)	89	29	71	30	0.05	0.38	0.05	0.40
Amplitude articulaire du genou gauche (°)	70	31	47	29	0.01	0.05	0.01	0.35

¹Cette distance n'est estimée que dans la phase d'envol.

4.2.1.2 Dépôt

Les résultats lors de la phase de dépôt sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus lors de la phase de levage. Ainsi, on observe des différences significatives entre les experts et les novices au niveau de l'angle de flexion lombaire (tableau 4.6 et figure 4.4) et l'angle du thorax par rapport à la verticale (lors du moment résultant maximal ; tableau 4.6). Encore une fois, les experts étaient moins fléchis que les novices au niveau du thorax, mais par contre, plus fléchis au niveau du genou gauche. Notons qu'il existe une interaction entre l'expertise et la hauteur des caisses pour la distance de la caisse à L5/S1. Elle indique que la différence entre les groupes change significativement du dépôt au sol à celui de la dernière caisse, différence qui s'estompe avec la hauteur des caisses (figure 4.5).

Tableau 4.6 Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de dépôt ainsi que les variables qui lui sont associées pour les experts et les novices (n =1920).

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment résultant à L5/S1 (N•m)	152	57	164	60	0.23	0.12	0.40	0.66
Occurrence (%)	88	21	86	21	0.59	0.22	0.63	0.58
Angle de flexion lombaire (°)	31	20	45	25	0.00	0.22	0.27	0.48
Index de flexibilité lombaire (%)	50	33	65	36	0.04	0.28	0.84	0.48
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-2	6	-1	6	0.47	0.56	0.32	0.50
Angle de torsion lombaire (°)	2	6	1	7	0.59	0.67	0.20	0.87
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	39	23	51	27	0.01	0.12	0.06	0.85
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.37	0.10	0.41	0.12	0.10	0.54	0.02	0.77
Flexion du genou droit (°)	46	30	41	24	0.50	0.65	0.13	0.69
Flexion du genou gauche (°)	46	31	35	24	0.01	0.59	0.10	0.35
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	6	23	3	23	0.34	0.06	0.25	0.98

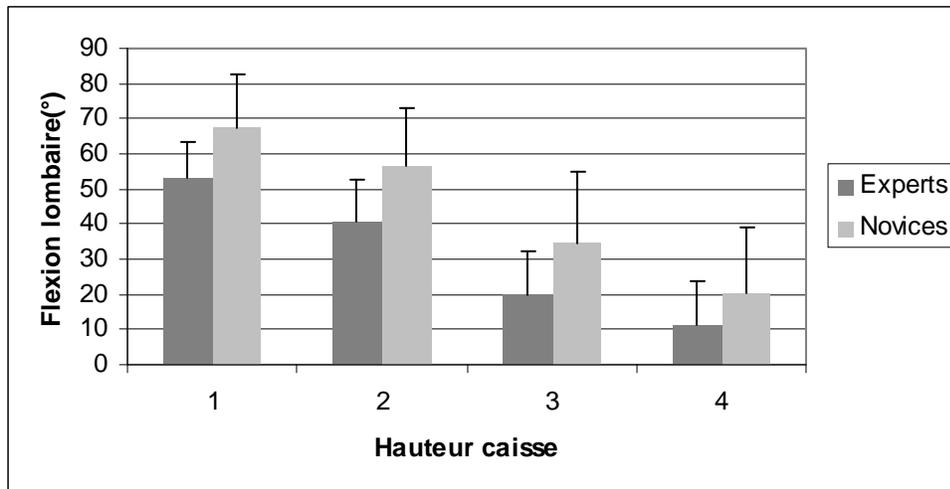


Figure 4.4 Angle de flexion lombaire à chacune des hauteurs de caisse lors du moment résultant maximal à L5/S1 pendant la phase de dépôt sur le diable.

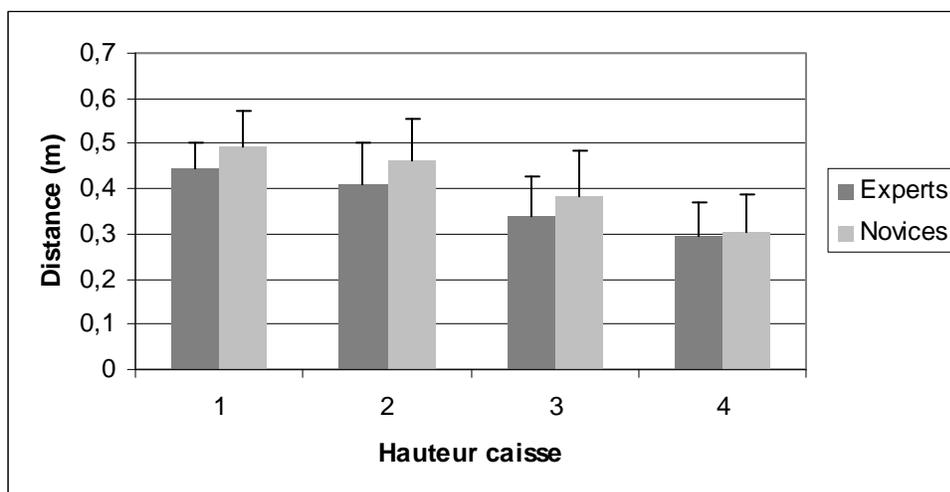


Figure 4.5 Distance horizontale de la caisse à L5/S1 lors du moment résultant maximal pendant la phase de dépôt sur le diable.

Pour les moments sur les autres axes (tableau 4.7), les moments en torsion étaient significativement différents entre experts et novices. Il faut également souligner les interactions entre l’expertise et la hauteur des caisses. Ainsi, pour les experts, le moment maximal en flexion latérale vers la gauche était plus élevé que les novices, mais la différence entre les deux groupes tendait à diminuer à la hauteur de dépôt la plus élevée. Quant à la seconde interaction, les experts se caractérisaient par un moment en torsion vers la gauche plus élevé que les novices au dépôt, mais l’écart qui séparait les deux groupes s’amenuisait avec la hauteur des boîtes.

Tableau 4.7 Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de dépôt pour les experts et les novices.

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment max en extension (N•m)	146	59	157	61	0.32	0.23	0.28	0.84
Moment max asymétrique (N•m)	64	19	64	23	0.94	0.08	0.40	0.91
Moment max en flexion latérale (N•m)	34	24	38	25	0.60	0.41	0.68	0.91
Moment min en flexion latérale (N•m)	-49	29	-41	35	0.32	0.64	0.02	0.24
Moment max en torsion (N•m)	14	12	9	12	0.04	0.80	0.02	0.78
Moment min en torsion (N•m)	-24	12	-30	13	0.02	0.14	0.08	0.59

Moment positif de flexion latérale = vers la droite du sujet

Moment positif en torsion = vers la gauche du sujet

En ce qui concerne les variables cinématiques d'importance (tableau 4.8), l'angle maximal du tronc par rapport à la verticale était significativement plus petit pour les experts en comparaison des novices, malgré que le dépôt variait en hauteur (4 hauteurs). Par contre, l'angle des genoux n'était pas différent entre les groupes. Les experts se distinguent également des novices en étant plus proches verticalement de la caisse. Que ce soit sur la distance horizontale ou verticale de la caisse à L5/S1 (interaction significative), les experts étaient toujours beaucoup plus proches que les novices lorsque la caisse était déposée près du sol et cette distance diminuait au fur et à mesure que le dépôt s'effectuait à une hauteur plus élevée, pour être pratiquement égale entre experts et novices au 4^e étage (figure 4.6). Cette tendance a été observée également lors du moment résultant maximal (voir plus haut figure 4.5).

Tableau 4.8 Variables cinématiques d'importance lors de la phase de dépôt (n= 1920).

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Angle de flexion du thorax maximal p/r à la verticale (°)	45	24	58	27	0.00	0.46	0.06	0.88
Angle de flexion du thorax minimal p/r à la verticale (°)	18	15	27	22	0.12	0.98	0.08	0.94
Amplitude de l'angle de flexion du thorax (°)	27	17	31	20	0.12	0.62	0.61	0.55
Distance horizontale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.42	0.09	0.46	0.12	0.15	0.24	0.00	0.91
Distance verticale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.17	0.16	0.21	0.20	0.05	0.99	0.01	0.80
Hauteur minimale du CG par rapport au sol (m)	0.80	0.13	0.83	0.12	0.08	0.42	0.39	0.07
Flexion maximale du genou droit (°)	69	26	62	23	0.20	0.18	0.29	0.98
Amplitude articulaire du genou droit (°)	54	26	43	23	0.08	0.34	0.16	0.64
Flexion maximale du genou gauche (°)	65	27	56	24	0.17	0.19	0.06	0.46
Amplitude articulaire du genou gauche (°)	55	27	46	23	0.16	0.05	0.06	0.50

¹Cette distance n'est estimée que dans la phase d'envol.

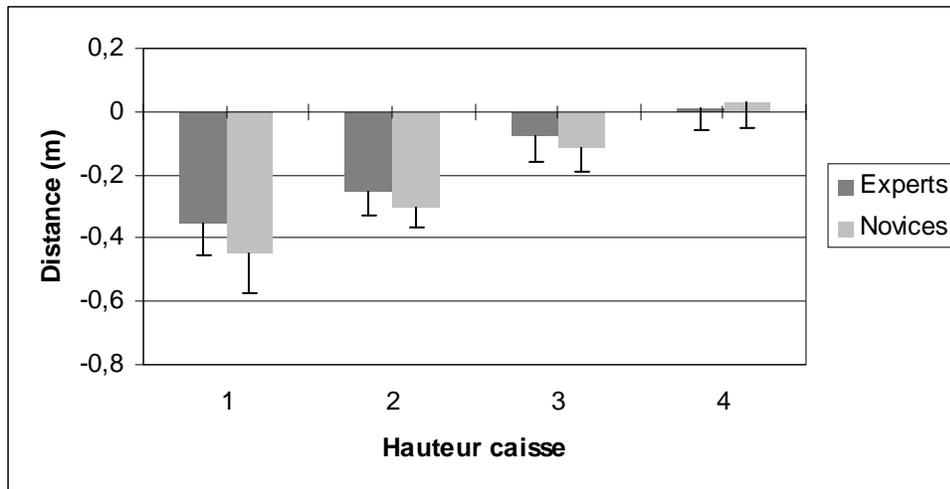


Figure 4.6 Distance verticale maximale de la caisse à L5/S1 lors du dépôt sur le diable.

4.2.2 Phase de retour vers le convoyeur

La phase de retour vers le convoyeur consistait à déplacer les quatre types de caisses du diable vers le convoyeur. Comme les résultats sont relativement similaires à ceux dévoilés dans la section précédente, nous avons préféré les placer à l'annexe D afin de ne pas allonger inutilement cette section.

4.3 Discussion

Les résultats démontrent que les experts sont significativement différents des novices, en regard de la posture qu'ils adoptent lors de la pratique de la manutention. Ainsi, les experts par rapport aux novices fléchissent moins la région lombaire et le thorax, mais à l'opposé fléchissent plus les genoux, de plus ils approchent (ou se rapprochent) plus (de) la caisse, que ce soit sur le plan horizontal que vertical. La figure 4.7 illustre ces différences entre un expert et un novice. On se serait attendu à ce que le moment résultant maximal soit différent entre les groupes, mais cela n'a pas été le cas. Toutefois, les moments en torsion se sont avérés significativement différents entre les deux groupes, les novices ayant généralement les valeurs les plus élevées (en termes d'amplitude) pour ceux vers la droite.

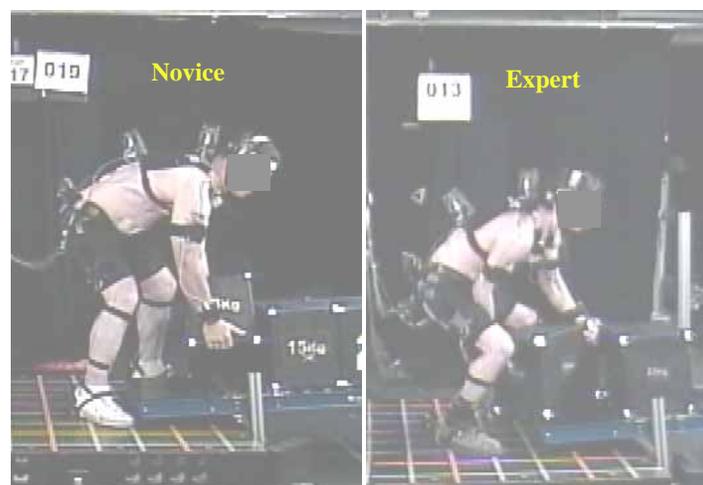


Figure 4.7 Illustration des différences entre un expert et un novice.

4.3.1 La posture

4.3.1.1 La flexion lombaire

La flexion lombaire et la flexion du thorax sont deux facteurs majeurs qui distinguent les experts en manutention des novices. Ainsi, dans toutes les situations étudiées, que ce soit au levage ou au dépôt, vers le diable ou le convoyeur, l'écart qui sépare les deux groupes sur la flexion lombaire ou encore la flexion du thorax est de l'ordre 10° et plus. Ainsi, les experts fléchissent moins que les novices et il s'agit d'une caractéristique significative de ce groupe. Mais est-ce vraiment le cas? En plus d'être significativement différents des novices pour le nombre d'années d'expérience comme manutentionnaire, les experts étaient significativement plus âgés (experts = 38 ans vs novices = 25 ans). Ce facteur peut toutefois avoir un impact sur les résultats. En effet, la flexibilité lombaire diminue avec l'âge (Troke *et al.*, 2005) et pourrait expliquer en partie pourquoi les experts fléchissent moins que les novices. Malheureusement, nous n'avons pas mesuré la flexibilité lombaire des sujets, car cette variable au départ ne nous semblait pas importante (d'où l'utilité de cette étude). D'un autre côté, il est possible à partir de données de la littérature de tenir compte de l'effet de l'âge sur la flexibilité lombaire. À l'aide de la base de données de Troke *et al.* (2005), la flexibilité lombaire maximale de nos sujets a été estimée en fonction de l'âge (Annexe E). Puis, les angles de flexion lombaire de chaque sujet ont été divisés par leur flexibilité maximale prédite correspondante pour obtenir un index de flexibilité lombaire³. Les résultats sont présentés aux tableaux 4.3 et 4.6 (également à l'annexe D, tableaux D.2 et D.5) et démontrent qu'effectivement l'âge pourrait expliquer une partie de la variance entre les deux groupes. Lors du levage (tableaux 4.3 et D.2), la différence entre les deux groupes n'est plus significative ($p = 0.22$ et $p = 0.09$) ce qui tend à démontrer que l'âge est un facteur majeur dans la réduction de la flexion lombaire chez nos experts. D'un autre côté, lors de la phase de dépôt, l'expertise semble toujours jouer un rôle important, car la différence entre experts et novices sur l'index de flexibilité demeure significative (ou très près) (tableau 4.6 $p = 0.04$; tableau D.5 $p = 0.06$). On peut conclure que l'âge constitue un facteur majeur à considérer, mais également l'expertise, car celle-ci constitue un élément clé, particulièrement lors de la phase de dépôt.

En quoi maintenant, l'amplitude de la flexion lombaire ou encore l'indice de flexibilité représente un facteur à considérer dans la prévention des blessures au dos. On retrouve deux écoles de pensée à ce sujet dans la littérature (Dolan *et al.*, 1994). La première favorise une flexion lombaire proche du maximum pour étirer les structures passives lombaires et le fascia thoraco-lombaire, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter la contribution des éléments passifs à l'équilibre du moment externe et réduirait les forces de compression interne sur le disque (Dolan *et al.*, 1994; Gracovetsky *et al.*, 1981; Gracovetsky *et al.*, 1989). Dolan *et al.*, (1994) indiquèrent d'ailleurs que lors d'un lever de charge à partir du sol, la plupart des participants de leur étude fléchissaient la région lombaire de 80 à 95 % du maximum et la contribution des éléments passifs au moment externe pouvait s'élever à 30%. Aussi, Maduri *et al.* (2008) soulignèrent que l'étirement des tissus passifs est une méthode de transfert d'énergie qui favorise l'accumulation d'énergie lors de l'étirement, restituée subséquemment dans le mouvement de retour lors du levage (cycle étirement-raccourcissement). Quoique ce transfert peut-être très avantageux en terme d'économie d'énergie, il est également possible qu'il accroisse les risques de blessures. Il s'agit là de la seconde école de pensée qui recommande de conserver le plus possible une posture

³ Index de flexibilité lombaire = (flexion lombaire/ flexion lombaire maximale) *100 .

neutre du rachis lombaire (ou proche de la lordose) de manière à limiter l'étirement des éléments passifs de la colonne vertébrale (McGill, 2002; McGill, 2009). Plusieurs raisons soutiennent cette recommandation. Ainsi, en flexion prononcée de la colonne lombaire : les charges en cisaillement sont beaucoup plus élevées et seraient proches de la tolérance maximale des tissus (autour de 1000 N) ; les ligaments supportent une grande partie des charges en cisaillement, ce qui n'est pas le cas dans une posture neutre dans laquelle les muscles jouent un plus grand rôle; le disque est de 20 à 40% plus faible en flexion maximale pour supporter des charges que lorsqu'il est dans une posture neutre (McGill, 2002 ; p.119-124). Aussi, lorsque les ligaments sont étirés de manière cyclique ou soutenue, il y aurait une désensibilisation des récepteurs mécaniques, qui résulterait en une diminution des activités réflexes de la part des muscles (Solomonow *et al.*, 1999). Entre les deux écoles, il y a le point de vue de Adams *et al.* (2002; p.175) qui soulignent qu'une flexion lombaire modérée permet d'étirer les structures passives sans trop mettre à risque le disque intervertébral d'hernie discale, de diminuer l'activité musculaire pour stabiliser la colonne vertébrale et de profiter d'une certaine forme d'énergie élastique. Cette dernière recommandation apparaît idéale, mais la prudence nous amène à répéter qu'il n'existe pas de « posture idéale » et que le contexte de travail peut amener à choisir un type de posture moins idéale, mais mieux adapté à la situation.

Plusieurs auteurs (Burgess-Limerick, 2006; Adams *et al.*, 2002; McGill, 2007; Marras, 2008) ont recommandé d'éviter les postures extrêmes principalement en flexion, mais aussi en flexion latérale et en rotation axiale. La posture adoptée par nos experts apparaît s'approcher le plus du point de vue de Adams *et al.* (2002), c'est-à-dire d'une flexion modérée de la région lombaire qui permet de bénéficier de certains avantages mécaniques de l'étirement des structures passives, tout en laissant une marge de sécurité à ces structures qui serait absente dans le cas d'une flexion lombaire quasi maximale. Burgess-Limerick (2006) indiquait d'ailleurs qu'il n'y avait aucun fondement sur le fait d'éviter les postures de flexion lombaire modérée. Une autre étude (Authier *et al.*, 1995) a également observé que les experts fléchissaient moins le tronc, surtout lorsque le levage s'effectuait proche du sol. En effet, ces auteurs ont observé que 73 % des flexions du thorax ont été jugées sévères (>45°) dans le cas des experts tandis que pour les novices, ces flexions sévères se sont produites dans 98% des essais. Une marge de sécurité pour tout manutentionnaire pourrait s'avérer importante dans le cas de fatigue ou d'événements imprévus. Par exemple, Dolan et Adams (1998) ont observé chez des participants une augmentation de la flexion lombaire (de 83.3% à 90.4%) après plus de 100 levages de caisses. La fatigue faisait en sorte que ces sujets travaillaient proche de leur limite de flexibilité, ce qui avait l'avantage de faire supporter aux tissus passifs une plus grande charge (économie d'énergie), mais l'inconvénient de mettre ces tissus dans une zone qui réduisait considérablement leur marge de sécurité et augmentait par le fait même les risques de dommage aux tissus. Les experts, malgré leur âge, semblent donc se laisser une plus grande marge de sécurité, particulièrement dans la phase de dépôt. On peut penser alors que dans cette phase, le déplacement de la caisse et du tronc accéléré par la force gravitationnelle mettrait plus à risque les manutentionnaires et qu'une façon de se protéger serait nécessairement de moins fléchir la région lombaire. Une autre raison serait peut-être que les manutentionnaires experts ont appris avec le temps qu'il n'était pas nécessaire d'accompagner la caisse jusqu'au sol et qu'il valait mieux la laisser tomber question d'économiser de l'énergie (Lortie et Baril-Gingras, 1998; Baril-Gingras et Lortie, 1995). La différence étant particulièrement vraie lors d'un dépôt plus près du sol, où il peut s'agir d'une stratégie pour réduire la phase excentrique de la contraction musculaire nécessaire pendant ce mouvement et ainsi éviter des douleurs musculaires associées à ce type de contraction.

4.3.1.2 L'asymétrie

Il a été intéressant de noter qu'il y avait peu d'asymétrie de posture, que ce soit chez les experts ou les novices, et surtout lors des moments maximaux. Comme l'a fait remarquer Gagnon (2003, 2005b), le fait de ne pas fixer les pieds réduit considérablement les asymétries de posture et le contexte de travail du laboratoire avantagait probablement les manutentionnaires à ne pas se mettre dans des positions à risque. Ce n'est pas le cas sur le terrain où des postures asymétriques peuvent être fréquemment observées. Par exemple, Baril-Gingras et Lortie (1995) ont évalué qu'approximativement 15% des efforts en manutention étaient accompagnés de torsion du tronc et que cette torsion était présente dans près de 50% des activités de manutention. Cette dernière étude ne mesurait pas directement l'asymétrie de posture dans la région lombaire comme dans la présente étude. Cette question mérite donc d'être étudiée en milieu de travail à l'aide d'instruments de mesure capables de mesurer l'asymétrie de posture (Plamondon *et al.*, 2007).

4.3.1.3 La flexion des genoux

Les experts ont significativement plus fléchi les genoux que les novices surtout dans la phase de levage et un peu moins dans la phase de dépôt. En fléchissant moins le tronc que les novices, les experts ont dû compenser en fléchissant plus les genoux pour se rapprocher des caisses à soulever. On a d'ailleurs observé une corrélation négative ($r \approx -0.65$; $p < .05$) entre la flexion du tronc et la flexion des genoux principalement dans les phases de levage et de dépôt du convoyeur. Par rapport aux autres travaux réalisés dans le passé, il s'agissait d'une surprise de constater que « nos » experts fléchissaient plus les genoux que les novices. Les travaux d'observation d'une tâche de transfert de caisses d'une palette à un chariot (Authier *et al.*, 1995, 1996) indiquaient que les experts ($n = 6$) fléchissaient moins les genoux que les novices ($n = 6$). En premier lieu, il est important de souligner que la flexion des genoux dépend de la hauteur de prise et de dépôt. L'impact de la hauteur des caisses sur la flexion des genoux (tout comme celle de la flexion du tronc) n'a pas été présenté dans le cadre de ce rapport, mais cet impact est très significatif ($p < .01$). Il faut donc en tenir compte dans l'amplitude de la flexion des genoux. Dans Authier *et al.* (1995), lorsque la charge était prise au sol, il a été observé que 56% des levages chez les experts ont été effectués avec les genoux en extension (entre 150° et 180°), 19% en flexion modérée (entre 100° et 150°) et 25% en flexion sévère ($<100^\circ$). Pour les novices, ces pourcentages étaient de 19%, 68% et 13% respectivement. Quoiqu'il est clair que les experts ont eu les genoux plus fréquemment en extension que les novices, ils ont été également ceux qui ont été le plus souvent en flexion sévère (25% vs 13%). Au dépôt des caisses au sol, les résultats démontraient que les experts étaient moins fléchis que les novices respectivement en extension, en flexion modérée et en flexion sévère, soit 44% des dépôts, 52% et 2% pour les experts et 23%, 64% et 13% pour les novices. Lorsque toutes les hauteurs des caisses étaient prises en considération, les experts fléchissaient significativement moins les genoux ($p \leq .05$) au levage et au dépôt que les novices (Authier *et al.*, 1996). Comment expliquer que dans la présente étude, les experts ont privilégié une flexion des genoux plus grande que les novices par rapport aux résultats de Authier *et al.* (1995, 1996). Une première explication pourrait être le contexte de travail offert en laboratoire et la capacité des manutentionnaires à s'ajuster rapidement aux situations. Dès qu'un manutentionnaire se situe dans un contexte de variabilité, il doit s'ajuster rapidement (Lortie, 2002). Les experts n'avaient aucune contrainte de temps et la fatigue physique n'était pas un paramètre important. Ils n'avaient donc pas à minimiser leur dépense énergétique en limitant la flexion des genoux et ont préféré adopter une posture plus sécuritaire en fléchissant moins le tronc, mais plus les genoux. Toutefois, rien n'indique dans les instructions des études de

laboratoire de Authier *et al.* (1995, 1996) que les sujets avaient une quelconque contrainte de temps. Une autre explication serait à l'effet que les caisses utilisées dans cette expérience étaient au départ à une hauteur plus élevée, mais aucun détail n'est fourni dans leur étude quant à la hauteur initiale des caisses. Il se pourrait aussi que « nos » sujets experts, sachant qu'ils étaient invités pour leur habileté technique, aient voulu ne pas nous décevoir en adoptant « la » posture sécuritaire « genou fléchi, dos droit » véhiculée depuis de nombreuses années. D'un autre point de vue, les experts ont été exposés plus fréquemment à la posture sécuritaire et avec le temps l'ont peut-être intégré à leur pratique. Malgré tout, les sujets ont tous fait l'objet d'instructions précises dans lesquelles on insistait à plusieurs reprises sur le fait qu'ils étaient des professeurs et qu'ils devaient reproduire ce qu'ils faisaient dans leur milieu de travail. Nous pensons donc qu'ils n'ont pas modifié leur façon de faire durant l'expérience et qu'ils ont travaillé de la façon qu'ils jugeaient la plus adéquate au contexte de travail présenté.

L'étude de Gagnon *et al.* (1996) avait aussi démontré que les experts ($n = 6$) fléchissaient moins les genoux que les novices ($n = 5$). Dans un transfert (sans élévation) de quatre caisses d'une plate-forme à un chariot sur roues, les experts étaient caractérisés par une flexion réduite des genoux par rapport aux novices (31° vs 53°) et une amplitude du mouvement réduite (20° vs 38°). L'écart avec les résultats de la présente étude est important, c'est-à-dire de l'ordre de 30° à 40° chez les experts. L'étude de Gagnon *et al.* (1996) s'est toutefois effectuée dans des conditions où les experts étaient limités dans leur déplacement à deux petites plate-formes de forces et ne pouvaient donc pas véritablement bouger les pieds. Dans la présente étude, probablement que les experts se sont adaptés au contexte de travail et ont exercé leur tâche de la façon qui leur semblait la plus adéquate. Malgré tout, Gagnon *et al.*, (1996) expliquent que cette façon de faire des experts était avantageuse, en réduisant la dépense énergétique et en assurant une meilleure stabilité des genoux. Suite à ces travaux, Gagnon (2003) élaborait une formation spécifique en manutention basée sur des stratégies d'experts dans lesquelles les sujets formés devaient limiter la flexion des genoux par exemple en inclinant les caisses au levage. Effectivement en utilisant cette stratégie, la flexion des genoux avant et après la formation avait significativement diminué de plus de 30° . Par contre, il est intéressant de noter que l'angle de flexion lombaire n'avait pas du tout été modifié par la formation et était demeuré autour de 45° chez les sujets. On peut supposer qu'en fléchissant un peu plus les genoux, les manutentionnaires auraient probablement fléchi un peu moins la région lombaire. D'un autre côté, une flexion lombaire de 45° n'apparaît pas extrême et permet de bénéficier de certains avantages mécaniques de l'étirement des structures passives, tout en laissant une marge de sécurité à ces structures (voir discussion section 5.3.1.1).

4.3.2 Le rapprochement de la caisse

Les experts sont plus proches de la caisse à soulever ou à déposer que les novices, quoique cela ne se produisait pas lors du moment résultant maximal. Il n'est pas surprenant d'observer ce principe chez les experts, l'opposé aurait été étonnant. Authier *et al.*, (1995, 1996) avaient déjà observé que les experts tentaient de réduire la distance entre la charge et le corps soit en approchant celle-ci du corps ou encore en se positionnant pour être plus proche de celle-ci. Cela explique la raison pour laquelle les experts en voulant s'approcher de la caisse verticalement ont plus fléchi les genoux que les novices. Cependant, un moyen d'éviter de trop fléchir les genoux est d'incliner la caisse sur son rebord de manière à élever son centre de gravité. Sur cet aspect spécifique, ce ne sont pas tous les experts qui inclinaient la caisse que ce soit au levage ou au

dépôt, ce qui pourrait avoir eu comme conséquence que ceux-ci ont dû s'abaisser plus encore que les autres. Gagnon (2005b) avait souligné que l'inclinaison des caisses pouvait conduire à une réduction du travail mécanique effectué sur la caisse, une réduction du parcours de la caisse et de la trajectoire du centre de gravité du manutentionnaire. Cependant, ces trois variables n'ont pas été différentes entre experts et novices (variables non présentées dans les résultats).

D'après Marras (2006) le principe (ou règle) le plus important associé aux risques de blessures au dos au travail concerne le moment externe imposé sur la colonne vertébrale. De ce point de vue, il demeure capital de garder ce moment externe le plus petit possible et de faire en sorte que peu importe la technique utilisée, celle-ci permet d'approcher le centre de masse de la charge le plus proche possible de la colonne vertébrale. Ce n'est pas sans raison que le principe en manutention le plus fréquemment reconnu et recommandé est celui de minimiser la distance entre la charge et le tronc (Graveling *et al.*, 2003; Marras, 2006; Marras, 2008; McGill, 2002) et qu'il s'agit du principe le plus observé chez les experts et manutentionnaires expérimentés (Authier *et al.*, 1996; Baril-Gingras et Lortie, 1995). Pour ce principe donc, il y aurait très peu de compromis possible et ce dernier devrait presque toujours être appliqué.

4.3.3 Les moments

Il n'y a pas eu de différence significative entre les experts et les novices sur le moment résultant que ce soit à la prise ou au dépôt. Contrairement à ce que nous pensions, ce moment entre les deux groupes était pratiquement similaire, malgré le fait que les experts étaient moins inclinés et plus rapprochés de la caisse (non significatif à l'instant du moment résultant). Ces différences n'étaient pas suffisantes pour avoir un impact significatif sur le moment résultant. D'autres facteurs peuvent aussi jouer un rôle comme la vélocité angulaire lombaire en extension qui était généralement légèrement supérieure chez les experts. De façon similaire, Gagnon *et al.* (1996) n'avaient pas trouvé de différences entre experts et novices sur les moments au dos (les trois axes). Toutefois après un programme de formation basé sur des stratégies de manutention d'experts, Gagnon (2003) avait observé une différence significative avant et après une formation à la manutention uniquement sur le moment résultant lors du dépôt des caisses. Ainsi, la valeur du moment résultant était passée de 141 Nm avant la formation à environ 100 Nm après celle-ci pour le dépôt d'une caisse de 15 kg à une hauteur de 22 cm. Une des raisons évoquées pour cette baisse est l'inclinaison de la caisse au dépôt qui permet au manutentionnaire de moins fléchir les genoux et le tronc. Néanmoins, on constate une différence majeure sur le moment résultant au dépôt entre la présente étude, de l'ordre de 200 Nm et celle de Gagnon (2003) d'environ 100 Nm malgré le fait que les moments au levage sont relativement similaires (≈ 200 Nm). Une raison très probable est que les sujets de l'étude de Gagnon (2003) auraient appris à laisser aller la charge très tôt au dépôt au lieu de la retenir. Gagnon (2003) n'a pas fait mention de ce détail dans la discussion, mais il s'agit d'une technique souvent employée par les experts (Lortie et Baril-Gingras, 1998) lorsque le contexte de travail et surtout les caractéristiques des charges le permettent. Pourquoi alors les experts de la présente étude ne l'ont pas exercé ? Peut-être que dans nos instructions aux sujets, on aurait pu leur indiquer qu'ils pouvaient laisser tomber les caisses au dépôt. D'un autre côté, les sujets devaient être précis pour mettre adéquatement sur le diable la caisse en place et pour ce qui est du convoyeur, ils ne voulaient probablement pas la laisser tomber sur les rouleaux et briser la caisse.

Les moments asymétriques ainsi que les moments en flexion latérale et en torsion sont relativement élevés à la prise comme au dépôt, pouvant atteindre en moyenne des niveaux de 64 Nm, 52 Nm et 34 Nm respectivement. Comme les postures des sujets n'étaient généralement pas asymétriques (section 5.3.1.2), la position de la caisse par rapport à l'articulation L5/S1 devait suffisamment dévier du plan sagittal pour causer cette asymétrie de chargement. Quoique ces niveaux de charges puissent augmenter les risques de blessures, ils sont tout de même inférieurs, par exemple lorsqu'on fixe les pieds au sol, conditions dans lesquelles Kingma *et al.* (1998) mesuraient des moments de l'ordre de 57 Nm en torsion et de 101 Nm en flexion latérale (sagittal). D'ailleurs, Gagnon (2003) insistait beaucoup sur l'importance de favoriser la mobilité aux pieds, de manière à limiter le chargement asymétrique au dos. Malgré que le déplacement des pieds sur la plate-forme n'a fait l'objet d'aucune contrainte dans cette étude, nos sujets, experts et novices ont tout de même atteint des niveaux supérieurs à ceux de Gagnon (2003), dont l'amplitude des moments en torsion et en flexion latérale (sagittal) était de l'ordre de 28 Nm.

Que ce soit à la prise ou au dépôt, les moments positifs en torsion (vers la gauche en position anatomique) se sont révélés être supérieurs pour les experts (autour de 20 Nm), mais de moindre amplitude que les moments négatifs (vers la droite en position anatomique) pour lesquels les novices (autour de -30 Nm) avaient des valeurs supérieures. Les différences entre experts et novices, quoique significatives dans une majorité des cas, étaient de moins de 8 Nm. Il est très difficile alors d'expliquer la raison de ces différences, à part que les experts semblent avoir mieux contrôlé leur posture et la charge de façon à minimiser les moments négatifs en torsion. Il est intéressant de constater que Lavender *et al.* (2007) avaient indiqué que les manutentionnaires qui limitaient les moments en torsion sous la valeur des 30 Nm étaient moins susceptibles d'être atteints de troubles au dos que les manutentionnaires avec des valeurs supérieures à 30 Nm. Pour minimiser les risques de blessures, les manutentionnaires auraient donc avantage à réduire les chargements lombaires en torsion.

4.3.4 Les interactions

Les principales interactions statistiques significatives se sont produites lors du dépôt vers le diable et du levage vers le convoyeur. En effet, la hauteur des caisses influençait de manière différente les experts des sujets novices principalement sur la distance de la caisse à L5/S1 (tableaux 4.6 et 4.8) et l'angle de la flexion des genoux (annexe D, tableaux D.2 et D.3). Généralement, les différences entre les deux groupes étaient plus grandes lorsque la hauteur des caisses était minimale (caisse au sol) et cette différence s'estompait lorsque la hauteur était la plus élevée (Figures 4.5, 4.6 et D.3). Par conséquent, plus la tâche de manutention est proche du sol, plus l'écart entre experts et novices est grand. Quant au type de caisses, il n'a pratiquement pas eu d'impact sur le mode opératoire entre les deux groupes, mais il a tout même eu des impacts majeurs, tout comme la hauteur, sur la plupart des variables cinématiques et cinétiques (résultats non présentés dans ce rapport). On peut conclure que la hauteur des caisses peut amplifier les différences entre experts et novices et qu'il est important de considérer ce facteur dans un programme de formation.

5. SÉANCE III : TRANSFERT DE CAISSES DE PALETTE À PALETTE

5.1 Méthodologie

5.1.1 Procédures expérimentales

Cette séance consistait à effectuer le transfert aller-retour de cinq palettes de 24 caisses de 15 kg (total 240 caisses; format : 26 cm de profondeur x 34 cm de largeur x 32 cm de hauteur) vers une autre palette sur une période d'environ 30 minutes (figure 5.1). Les deux premiers transferts aller-retour de caisses (96) se sont faits à vitesse libre (ou **cadence libre**). Les trois autres transferts de caisses (144) ont été effectués à une vitesse imposée (ou **cadence imposée**) de 9 caisses à la minute qui, d'après Garg et Saxena (1979), correspond à une fréquence de manutention adéquate. Les participants ont régulièrement été informés de l'avance ou du retard qu'ils prenaient sur chaque transfert. La distance (bord à bord) séparant les palettes était de 1.65 m. Trois tests sous-maximaux ont été réalisés afin d'estimer l'état de fatigue des muscles du dos. Ces tests consistaient pour le sujet à maintenir le tronc en position horizontale sur une période de 5 secondes. Le premier test s'effectuait juste avant le début des transferts de caisse (pré-test), le second, entre la fin du premier transfert à vitesse libre (post-test 1) et le début du transfert à vitesse imposée et enfin le troisième, à la fin de tous les transferts (post-test 2). Les mesures de perception de fatigue (à partir des échelles de Borg) ont été effectuées après les deux transferts à vitesse libre et après les trois à vitesse imposée. Un schéma de la session trois est présenté à la figure 5.2.



Figure 5.1 Illustration de la condition expérimentale du transfert de caisses palette à palette

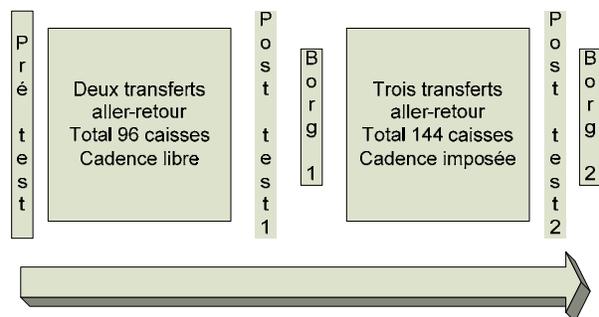


Figure 5.2 Schéma des étapes de la séance III

Un aspect central de notre méthodologie était de permettre aux participants de pouvoir travailler de façon libre sans que des consignes d'exécution leur soient données. Ainsi, les sujets ont été libres de toute restriction à l'exception de ne pouvoir quitter la plate-forme de forces, d'appuyer les pieds sur les palettes (pour ne pas quitter la plate-forme de forces) et d'effectuer un tour complet sur eux-mêmes en raison des fils du système d'Optotrak et du système

d'électromyographie qu'ils devaient obligatoirement porter. On exigeait toutefois un empilement de six caisses par étage (4 étages), mais sans ordre préétabli.

5.1.2 Techniques de mesures

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

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

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

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

5.1.3 Traitement des signaux

Le traitement des données relatif au modèle segmentaire biomécanique a été discuté dans la section 2.3. Pour les données EMG, un filtre numérique passe-bande d'ordre 8 entre 30 et 450 Hz était appliqué aux signaux, notamment pour exclure le signal électrocardiographique et éliminer l'ECG (Redfern *et al.*, 1993). La valeur RMS (« Root Mean square ») ainsi que la fréquence médiane du spectre de fréquence du signal EMG ont été estimées sur une période de temps de 3 s. La fréquence médiane a été extraite à partir de la trousse d'outil « Signal processing » de Matlab (The Mathworks, Natick, MA).

5.1.4 Analyses statistiques

Comme la quantité de données est importante, il a fallu se limiter, dans le cadre de ce projet, à n'analyser que le dernier aller à vitesse libre et le dernier aller à vitesse imposée. Le logiciel NCSS (NCSS 2007, Version : 07.1.14 Windows XP ; www.ncss.com) a été utilisé pour traiter les données statistiques. En premier lieu, des analyses statistiques descriptives ont été effectuées sur l'ensemble des variables. Ensuite, des analyses de variance à mesures répétées (ANOVA; Mixed Design, Myers et Wells, 2003) ont permis d'évaluer si des différences significatives entre experts et novices existaient (« inter sujets ») et cela sous différentes conditions expérimentales (« intra

sujets »). Des corrélations ont été calculées pour connaître la relation entre les caractéristiques individuelles définies par l'âge, l'anthropométrie, la force, l'endurance musculaire et l'expérience, sur le chargement au dos ou encore sur la performance.

Tableau 5.1 Variables indépendantes de la séance trois.

Type de comparaisons	Variables indépendantes	Nom abrégé
Comparaisons “ <i>inter</i> sujets”	Expert vs novice	Expertise (E)
Comparaisons “ <i>intra</i> sujets”	Hauteur Verticale: sol, 32 cm, 63 cm, 95 cm	Verticale (V)
	Distance Horizontale : proche vs éloignée	Horizontale (H)
	Cadence libre vs Cadence imposée	Cadence (C)

5.2 Résultats

Le tableau 5.2 présente les cadences libre et imposée réelles du dernier aller qui ont été exercées par les sujets. On constate que la cadence libre est très proche de la cadence imposée, mais qu'elle reste significativement plus petite que la cadence imposée. Les novices ne diffèrent pas des experts.

Tableau 5.2 Cadences libre et imposée réelles (caisses/min) exercées par les manutentionnaires. Moyenne et écart-type (entre parenthèses).

Cadence libre		Cadence imposée		p groupe	p cadence	p gr-ca
Experts	Novices	Experts	Novices			
8.95 (2.16)	8.31 (2.02)	9.32 (0.36)	9.60 (0.81)	0.68	0.03	0.22

Pour la suite, les résultats des tests de fatigue (échelle de Borg, fréquence cardiaque et électromyographie) seront présentés, suivis des résultats biomécaniques.

5.2.1 Tests de fatigue

Trois tests de fatigue ont été effectués. Les résultats de l'échelle de Borg CR-10 pour mesurer la fatigue musculaire et la fatigue générale perçues après chacun des transferts de caisse sont présentés au tableau 5.3. Les sujets ont perçu un niveau de fatigue et un niveau d'intensité musculaire générale et spécifique au dos plus important à la cadence imposée qu'à la cadence libre. Le niveau perçu n'a pas été différent entre les experts et les novices.

De même au tableau 5.3, on peut constater que la fréquence cardiaque (FC) n'est pas significativement différente entre les deux groupes ($p > .05$), mais qu'elle a augmenté de manière significative ($p < .05$) lors de la cadence imposée à 9 boîtes/min. La FC s'est accrue avec la cadence, mais il n'y a pas de différence entre les groupes (de 140 à 152 pour les experts et de 128 à 148 pour les novices). Par contre, si l'on divise la FC par la FC maximale théorique (220-âge),

il y a une différence de 11% entre les experts et les novices (la fréquence relative des experts étant plus élevée puisqu'ils sont plus âgés).

Tableau 5.3 Résultats des données de fatigue et d'intensité d'effort selon l'échelle de Borg (ψ) et de la fréquence cardiaque (valeur moyenne et valeur de l'écart-type entre parenthèses) pour les experts et les novices

Variables	Cadence libre		Cadence imposée		<i>p</i> groupe	<i>p</i> cadence	<i>p</i> gr-cad
	Experts	Novices	Experts	Novices			
Fatigue générale (ψ)	4 (1.6)	3.9 (1.6)	5.4 (2.1)	5.1 (2.5)	0.77	0.00	0.79
Fatigue au dos (ψ)	3 (2.2)	4 (1.8)	5.1 (2.4)	5.1 (2.7)	0.52	0.00	0.13
Intensité générale (ψ)	3.7 (1.8)	3.9 (1.9)	4.9 (2.2)	5 (2.3)	0.88	0.00	0.92
Intensité au dos (ψ)	3.6 (2.2)	4.3 (1.7)	5.1 (2.4)	5.2 (2.5)	0.63	0.00	0.17
Fréquence cardiaque moyenne (bpm)	140 (23)	128 (15)	152 (19)	148 (20)	0.24	0.00	0.28
FC moyenne / FC max théorique (%)	77 (15)	66 (9)	84 (12)	76 (11)	0.02	0.00	0.34

Tableau 5.4 Valeurs de *p* des tests EMG

Variable	Tests : Amplitude ou fréquence médiane			ANOVA (Probabilité)				
	Pré	Post-test 1	Post-test 2	Groupe (<i>p</i>)	Tests (<i>p</i>)	Pré Groupe vs x Tests (<i>p</i>)	Pré vs Post-1 Post-test 2	Post- vs Post-test 2
Amplitude longissimus gauche (mV)	0.108	0.127	0.146	0.28	0.00	0.60		x
Fréquence médiane longissimus gauche (Hz)	92	86	85	0.20	0.00	0.71	x	x
Amplitude longissimus droit (mV)	0.117	0.131	0.145	0.07	0.00	0.27		x
Fréquence médiane longissimus droit (Hz)	89	82	80	0.35	0.00	0.11	x	x
Amplitude ischio-jambier gauche (mV)	0.135	0.145	0.143	0.72	0.62	0.80		
Fréquence médiane ischio-jambier gauche (Hz)	87	91	95	0.74	0.00	0.01		x
Amplitude ischio-jambier droit (mV)	0.116	0.129	0.151	0.92	0.03	0.09		x
Fréquence médiane ischio-jambier droit (Hz)	91	95	95	0.97	0.32	0.35		

Le niveau de fatigue musculaire mesuré par l'EMG varie en fonction du temps (pré-test vs post-test 1 ou post-test 2), mais pas entre les groupes (experts vs novices) (Tableau 5.4). La fréquence médiane des longissimus droit et gauche diminuait significativement dès le post-test 1, et se maintenait jusqu'au post-test 2. Pour les ischio-jambiers, une différence significative est apparue uniquement au post-test 2, les muscles du côté gauche et du côté droit réagissant différemment. En effet, il n'y a pas de différence significative entre les tests pour l'amplitude du gauche ni pour la fréquence médiane du droit. Il y a une augmentation de la fréquence médiane de l'ischio-jambier gauche entre le pré-test et le post-test 2 ainsi qu'une augmentation pour le droit de l'amplitude du pré-test jusqu'au post-test 2. Finalement, aucune différence n'a été observée entre les deux post-tests.

5.2.2 Résultats biomécaniques

5.2.2.1 La durée de la manutention et le parcours des caisses

La durée totale de manutention ainsi que ses trois phases (pré-transport, transport et post-transport) n'ont pas été significativement différentes entre experts et novices (tableau 5.5). Quoiqu'en moyenne, les experts ont pris moins de temps pour accomplir la tâche (experts = 4.6 s, novices = 4.8 s), l'écart n'était pas suffisant entre les deux groupes pour être significatif et cela malgré que la tâche s'effectuait à deux vitesses différentes.

Tableau 5.5 Durée des différentes phases.

Variables	Experts		Novices		Prob p	Interaction p			
	M	ET	M	ET		E	EH	EV	EC
Durée totale (s)	4.6	1.2	4.8	1.5	0.80	0.72	0.21	0.41	
Pré-transport (s)	1.2	0.5	1.2	0.7	0.72	0.45	0.24	0.12	
Transport (s)	2.3	0.4	2.2	0.5	0.46	0.67	0.95	0.26	
Post -transport (s)	1.1	0.8	1.3	0.9	0.37	0.71	0.27	0.80	

Le parcours total de la caisse variait selon la localisation horizontale et verticale de la caisse. Puisqu'il n'y avait pas de limitation au niveau de la disposition des caisses à l'exception d'avoir quatre étages de six caisses, le tableau 5.6 indique l'étage de dépôt de chaque caisse, en fonction de la localisation verticale de celle-ci à la prise. Il y avait un total de 360 caisses par étage. La majorité des caisses de l'étage 1 a terminé à l'étage 4 (84.7%) et vice-versa (78.9%) alors que les caisses prises à l'étage 2 ont été déposées à l'étage 3 (76.9%) et vice-versa (73.1%). Le tableau 5.7 permet de constater que les experts avaient un parcours des caisses significativement plus court lors du levage de caisse (parcours vertical positif). On remarque également que pour le parcours total et le parcours vertical négatif, les experts ont des valeurs plus petites que les novices, mais ces différences demeurent non significatives. Enfin, plus la hauteur d'élévation ou d'abaissement des caisses augmente, plus la différence sur le parcours (vertical positif et négatif) entre experts et novices s'accroît, les experts favorisant un parcours plus court. De même pour la localisation horizontale, lorsque la caisse était prise à l'avant de la palette, le parcours vertical positif était plus court chez les experts que chez les novices. Enfin, la distance totale parcourue par la caisse pendant le transport varie également selon sa localisation horizontale sur la palette. En effet, si la caisse est située à l'avant, elle sera déposée généralement à l'arrière de la palette dans 79% des cas.

Tableau 5.6 Localisation verticale de dépôt de la caisse en fonction de la localisation verticale de celle-ci à la prise.

Prise \ Dépôt	Dépôt			
	1	2	3	4
1	0.6%	2.8%	11.9%	84.7%
2	3.1%	9.4%	76.9%	10.6%
3	17.5%	73.1%	8.1%	1.4%
4	78.9%	14.7%	3.1%	3.3%

Tableau 5.7 Parcours des caisses.

Variables	Experts		Novices		Prob p	Interaction p		
	M	ET	M	ET		E	EH*	EV*
Parcours total (m)	2.07	0.22	2.16	0.28	0.08	0.38	0.84	0.72
Parcours vertical positif (m)	0.34	0.34	0.37	0.37	<.01	0.03	<.01	0.18
Parcours vertical négatif (m)	0.28	0.27	0.30	0.29	0.15	0.19	0.05	0.20

* Distance horizontale (H) et verticale (V) de la palette à la prise.

5.2.2.2 Résultats à la prise et au dépôt

Les résultats lors du moment résultant maximal sont présentés au tableau 5.8 à la prise et au tableau 5.9 au dépôt. Le moment résultant était généralement plus petit chez les experts que chez les novices, que ce soit à la prise (experts = 168 Nm; novices = 184 Nm) ou au dépôt (experts = 133 Nm; novices = 149 Nm), mais cette différence n'était pas suffisante pour être significative. De même au niveau du moment asymétrique maximal, les experts ne différaient pas significativement ($p > .05$) des novices (à la prise : experts = 72 Nm ET = 20; novices = 82 Nm ET = 34; au dépôt : experts = 62 Nm ET = 23; novices = 68 Nm ET = 25 Nm). Cependant à la prise, on observe une interaction significative entre l'expertise et la hauteur des caisses sur le moment résultant maximal. Comme l'illustre la figure 5.3, la différence entre experts et novices est pratiquement nulle lorsque la caisse est prise au sol (hauteur 1), mais celle-ci augmente au fur et à mesure que la hauteur de la caisse s'accroît, les experts parvenant le plus à limiter le chargement au dos.

Tableau 5.8 Moment résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés à la prise.

Variables	Experts		Novices		Prob p	Interaction		
	M	ET	M	ET		E	EH	EV
Moment résultant max à L5/S1 (N•m)	168	64	184	64	0.14	0.52	<.01	0.31
Angle de flexion lombaire (°)	30	21	39	24	0.02	0.46	0.45	0.37
Index de flexibilité lombaire (%)	47	34	56	35	0.13	0.47	0.57	0.43
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-2	6	2	7	0.02	0.55	0.89	0.83
Angle de torsion lombaire (°)	6	6	4	7	0.29	0.53	<.01	0.73
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	33	22	42	27	0.01	0.51	<.01	0.19
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.38	0.07	0.42	0.10	<.01	0.07	0.37	0.57
Flexion du genou droit (°)	38	29	30	25	0.08	0.58	<.01	0.38
Flexion du genou gauche (°)	37	28	31	23	0.32	0.70	<.01	0.68
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	-14	17	-12	20	0.62	0.79	0.32	0.99

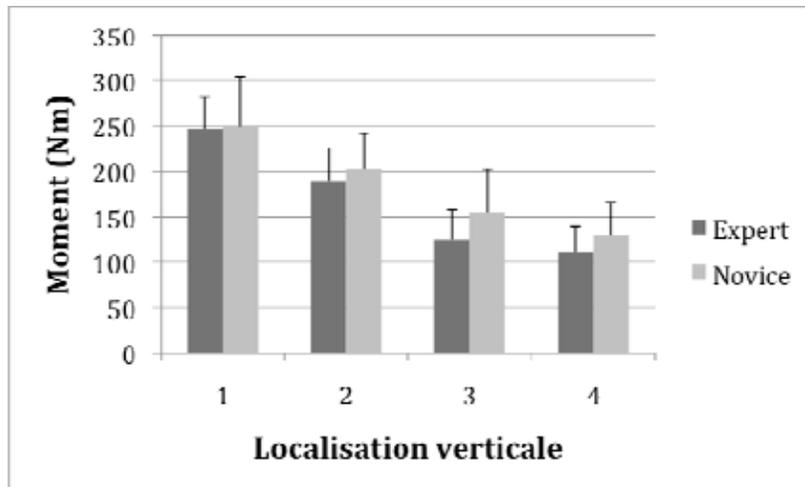


Figure 5.3 Moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.

Trois variables cinématiques se sont révélées être significativement différentes entre experts et novices lors du moment maximal résultant. L'angle de flexion lombaire, l'angle du thorax p/r à la verticale et la distance horizontale de la caisse à L5/S1 étaient tous plus petits chez les experts par rapport aux novices, tant à la prise (tableau 5.8) qu'au dépôt (tableau 5.9). Les experts principalement s'approchent plus de la caisse (d'environ 4 cm) et sont moins fléchis au niveau lombaire (de près de 10°) que les novices. On remarque aussi, autant pour les experts que les novices, qu'il y a peu d'asymétrie de posture à la prise et au dépôt, les angles de torsion et de flexion latérale lombaire ne dépassant pas en moyenne 6°.

Au niveau des interactions à la prise, la flexion des genoux était plus élevée chez les experts, mais cette différence n'était pas significative (à la prise et au dépôt) sauf lorsque la hauteur de la caisse était considérée à la prise (figure 5.4). Plus les experts s'approchaient du sol à la prise (hauteurs 1 et 2), plus ils fléchissaient les genoux. La hauteur de la caisse à la prise faisait également en sorte que les experts étaient différents des novices au niveau de l'angle de torsion lombaire et de l'angle de la flexion thoracique. Pour le premier (figure 5.5), les experts opèrent approximativement avec le même angle de torsion (passant de 6° au sol à 4° au 4^e étage), tandis que les novices sont très symétriques au sol (angle de 0°) puis augmentent progressivement l'angle de torsion avec la hauteur de la caisse (6° au 4^e étage). Pour l'angle de flexion thoracique (figure 5.5), les experts sont beaucoup moins fléchis que les novices lorsqu'ils travaillent près du sol, mais l'écart diminue au fur et à mesure que la hauteur des caisses augmente.

Au dépôt, trois interactions retiennent notre attention. Dans la première (figure 5.7), l'angle de flexion latérale lombaire demeure toujours négatif chez les experts, peu importe la hauteur des caisses, tandis que pour les novices, il passe du négatif au positif avec la hauteur des caisses. Dans la seconde (figure 5.8), l'angle de torsion lombaire en fonction de la hauteur des caisses fluctue beaucoup plus pour les experts que pour les novices. Pour ces deux cas toutefois, l'amplitude angulaire demeure très faible de l'ordre de quelques degrés. Enfin, pour la troisième interaction (figure 5.9), on peut constater que les experts n'ont que peu augmenté leur vitesse angulaire lombaire en passant de la cadence libre à la cadence imposée, ce qui n'était pas le cas pour les novices, malgré le fait qu'en moyenne cette vitesse lombaire à cadence libre (vitesse =

11°/s ET=19) était significativement moins élevée que celle à cadence imposée (vitesse = 14°/s ET= 19).

Tableau 5.9 Moment résultant net à L5/S1 et ses paramètres associés au dépôt.

Variables	Experts		Novices		Prob p E	Interaction		
	M	ET	M	ET		EH	EV	EC
Moment résultant max à L5/S1 (N•m)	133	59	149	61	0.08	0.16	0.41	0.09
Angle de flexion lombaire (°)	24	19	33	23	0.01	0.35	0.94	0.45
Index de flexibilité lombaire (%)	39	31	48	33	0.07	0.25	0.93	0.52
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-2	7	0	8	0.14	0.28	0.04	0.29
Angle de torsion lombaire (°)	1.5	6.3	1.1	5.8	0.78	0.08	0.02	0.52
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	31	24	38	26	0.01	0.49	0.56	0.55
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.39	0.11	0.43	0.13	0.02	0.15	0.19	0.45
Flexion du genou droit (°)	35	24	32	20	0.47	0.34	0.67	0.35
Flexion du genou gauche (°)	34	22	29	20	0.08	0.44	0.39	0.29
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	13	17	12	20	0.99	0.92	0.11	0.02

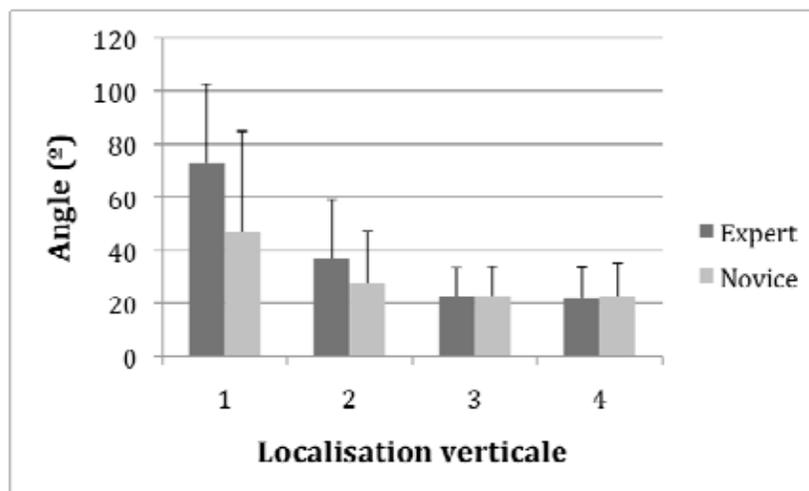


Figure 5.4 Angle de flexion du genou droit lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation de la caisse

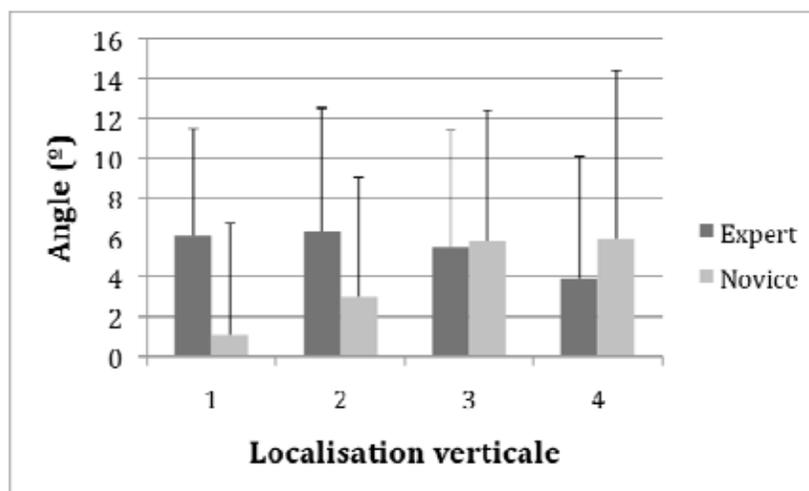


Figure 5.5 Angle de torsion lombaire lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation de la caisse

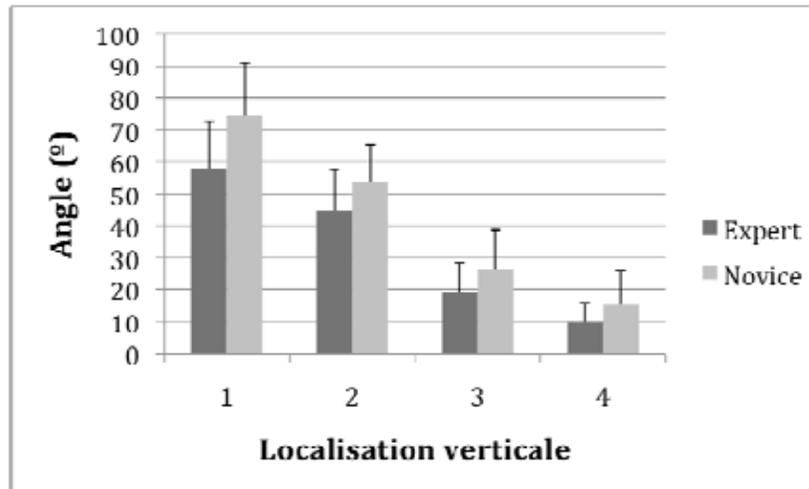


Figure 5.6 Angle de flexion du thorax lors du moment résultant maximal à la prise en fonction de la localisation verticale de la caisse.

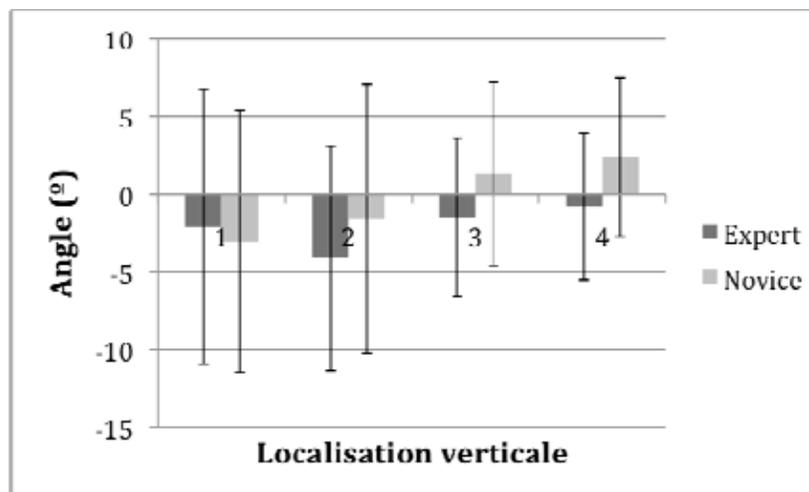


Figure 5.7 Angle de flexion latérale lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.

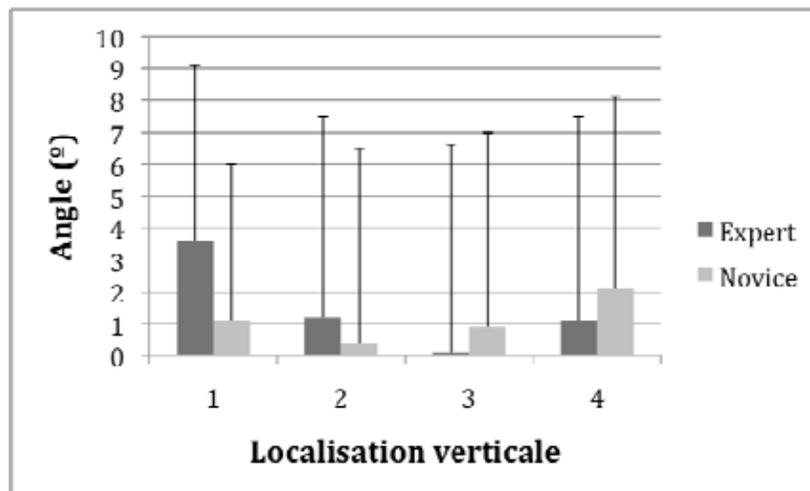


Figure 5.8 Angle de torsion lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la localisation verticale de la caisse chez les experts et les novices.

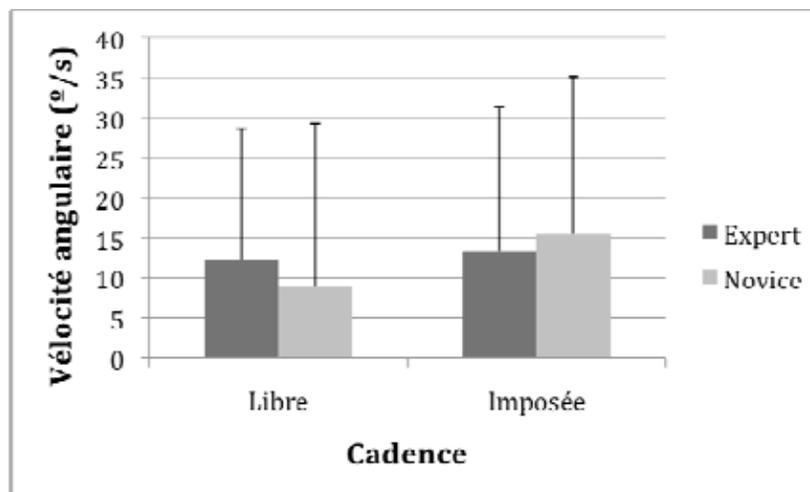


Figure 5.9 Vélocité angulaire de flexion de la région lombaire lors du moment résultant maximal au dépôt en fonction de la cadence chez les experts et les novices.

5.3 Discussion

Les résultats démontrent une fois de plus que les experts sont significativement différents des novices, en regard de la posture qu'ils adoptent lors de la pratique de la manutention. Ainsi, les experts par rapport aux novices fléchissaient moins la région lombaire, fléchissaient plus les genoux, et s'approchaient plus de la caisse, que ce soit sur le plan horizontal que vertical. De plus, le parcours vertical de la caisse chez les experts était plus court que pour les novices. Le moment résultant maximal n'était pas significativement différent entre les groupes.

Deux sections principales composent cette discussion : la première concerne la fatigue physique générée et la seconde, les résultats biomécaniques eux-mêmes divisés en plusieurs sections soit : la posture, le rapprochement de la caisse, les moments et les interactions.

5.3.1 La fatigue physique

L'un des objectifs de cette expérience était d'évaluer si la fatigue physique pouvait influencer les façons de faire des manutentionnaires et accroître les différences entre experts et novices. Pour cela, on a demandé aux manutentionnaires, dans un premier temps, d'effectuer un transfert de caisses (2 aller-retour) dont le rythme de travail était libre, puis dans un deuxième temps, d'effectuer un autre transfert de caisses (3 aller-retour) à une vitesse imposée de 9 caisses à la minute. Trois mesures ont servi à évaluer le niveau de fatigue physique, soit l'EMG, la fréquence cardiaque (FC) et enfin l'échelle de Borg CR-10.

En bref, on observe une augmentation continue de la fatigue à partir du début de la manutention jusqu'à la fin. Les sujets ont perçu (échelle de Borg) une augmentation de fatigue musculaire et générale entre les deux conditions de cadence, mais il n'y a pas eu d'augmentation significative de la fatigue musculaire (EMG) pour le dos en passant de la cadence libre à la cadence imposée. Les ischio-jambiers eux n'ont pas vraiment été fatigués. La FC nous indique de plus que la fatigue physique générale était plus élevée, lors de la condition imposée. Il n'y a pas eu de différence entre les experts et les novices et par conséquent, les deux groupes semblent avoir éprouvé le même niveau de fatigue. Enfin lorsqu'on compare les résultats de la cadence libre par rapport à la condition imposée, la fatigue et la vitesse de manutention sont deux variables, dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats.

5.3.2 La posture

La grande majorité des résultats sur la posture de la séance III supportent ceux de la séance II. Par conséquent, la discussion sur les mêmes thèmes que la section 4.3.1 sera abrégée. Nous invitons les lecteurs à se rendre à cette section (4.3.1) pour une discussion plus complète.

La flexion lombaire : Les résultats de la séance III de ce projet sont semblables à ceux de la séance II, c'est-à-dire que les experts sont moins fléchis que les novices en flexion lombaire, de l'ordre de 9° en moyenne dans cette expérience (10° dans la séance II), lors du moment résultant maximal, que ce soit à la prise ou au dépôt. Soulignons une fois de plus que l'âge, et non l'expérience, pourrait en partie expliquer ces résultats. Ainsi les angles de flexion lombaire de chaque sujet ont été divisés par leur flexibilité maximale au dos prédite correspondante pour obtenir un index de flexibilité lombaire⁴. Les résultats sont présentés aux tableaux 5.8 et 5.9 et démontrent qu'effectivement l'âge pourrait expliquer une partie de la variance entre les deux groupes. Lors du levage (tableau 5.8), la différence entre les deux groupes n'est plus significative ($p = 0.13$), ce qui tend à démontrer que l'âge a peut-être été un facteur majeur dans la réduction de la flexion lombaire chez les experts. D'un autre côté, encore une fois lors de la phase de dépôt, l'expertise semble toujours jouer un rôle important, car la différence entre experts et novices sur l'index de flexibilité lombaire demeure très près du niveau de signification (tableau 5.9 $p = 0.07$). On peut conclure que l'âge constitue un facteur majeur à considérer, mais également l'expertise, car celle-ci constitue un élément clé particulièrement lors de la phase de dépôt. La flexion modérée des experts au niveau de la région lombaire permet de bénéficier des avantages

⁴ En multipliant par 100, on obtient un pourcentage de la flexibilité lombaire maximale.

mécaniques de l'étirement des structures passives, tout en laissant une marge de sécurité à ces structures qui serait absente dans le cas d'une flexion lombaire quasi maximale.

L'asymétrie de posture : On a noté peu d'asymétrie de posture (de quelques degrés seulement) que ce soit chez les experts et les novices surtout lors des moments maximaux. Ainsi, le fait de ne pas fixer les pieds réduit considérablement les asymétries de postures (Gagnon, 2003, 2005b) et le contexte de travail du laboratoire avantageait probablement les manutentionnaires à ne pas adopter des positions asymétriques à risque. Lors du moment résultant maximal, la flexion latérale ainsi que la torsion lombaire entre experts et novices sont d'amplitudes relativement faibles, malgré la grande variation (écart-type) que l'on retrouve entre les sujets. Toutefois, l'effet principal sur l'angle de flexion latérale et les interactions avec la hauteur indiquent qu'il existe des éléments qui distinguent les experts des novices. Par exemple à la prise, les deux groupes ont des angles de flexion latérale lombaires similaires, mais dans des directions opposées. Le haut du corps des experts est orienté vers le dépôt (de manière à effectuer une transition plus rapide), résultat similaire à Authier *et al.* (1996) alors que les novices fléchissent latéralement vers la prise. Il faut également noter que même si les angles de torsion ne sont pas élevés (jusqu'à 6°), ces positions sont risquées puisque les sujets sont presque à leur amplitude maximale de torsion au niveau lombaire, de l'ordre de 7° en moyenne d'après Troke *et al.* (2005), augmentant ainsi le risque de blessure au niveau des disques intervertébraux.

La flexion des genoux : La flexion des genoux demeure plus élevée chez les experts par rapport aux novices, mais pas de manière aussi significative que dans l'expérience de la séance II. Ainsi, à la prise, les différences entre experts et novices sur l'angle des genoux droit et gauche ne sont plus significatives (quoique le genou droit est près du niveau de signification à $p = .08$), mais l'interaction avec la hauteur des caisses demeure significative autant pour le genou droit que pour le gauche. Ainsi plus la caisse est basse à la prise, plus les experts fléchissent les genoux par rapport aux novices, mais cette différence s'atténue pour ne plus exister au fur et à mesure que la hauteur des caisses augmente au niveau de la taille et de la poitrine (figure 5.4). D'un autre côté, au dépôt, on constate que la différence entre les groupes sur l'angle des genoux n'existe pratiquement plus, les experts fléchissant légèrement moins qu'à la prise. Il se peut que les experts et les novices évitent d'accompagner la caisse jusqu'au sol, soit pour se protéger ou encore pour économiser de l'énergie.

5.3.3 Le rapprochement de la caisse

Les experts sont plus près de la caisse à soulever ou à déposer que les novices lors du moment résultant maximal. Bien que ce résultat ait été souligné dans celui de la séance II de cette étude, il ne s'était pas produit lors du moment résultant maximal. Il n'est pas surprenant d'observer ce principe chez les experts, car l'opposé aurait été étonnant. Authier *et al.* (1995, 1996) avaient déjà observé que les experts tentaient de réduire la distance entre la charge et le corps soit en approchant celle-ci du corps ou encore en se positionnant pour être plus proche de celle-ci.

Les résultats démontrent qu'en général, si la caisse est disposée au sol, le manutentionnaire devra la soulever jusqu'au 4^e étage pour la déposer et vice-versa. On s'attendait à ce que les experts soient plus habiles que les novices pour réduire le parcours des caisses. Comme de fait, les experts, toutes caisses confondues, déplacent verticalement chaque caisse 3 cm de moins que les novices et de 9 cm pour les caisses situées à l'étage inférieur. L'inclinaison des caisses à la prise ou au dépôt pourrait expliquer cette différence. Lors de la prise, les experts inclinent

généralement plus la caisse, ce qui élève son centre de gravité (Authier *et al.* 1996, Gagnon *et al.* 2000). Par contre, les observations ergonomiques effectuées ne nous permettent pas de valider cette explication (voir section 6). Peut-être que les novices sont moins habiles que les experts pour effectuer une élévation précise, c'est-à-dire qu'ils surestiment la hauteur à laquelle ils doivent élever la caisse. En ce qui concerne le parcours total et le parcours vertical négatif, les experts exercent leurs efforts sur une plus courte distance mais les différences ne sont pas significatives (quoique proches). L'effet de la hauteur d'élévation et d'abaissement accroît les différences entre experts et novices.

5.3.4 Les moments

Selon Marras (2006) le concept le plus important associé aux risques de blessures au dos au travail concerne le moment externe imposé sur la colonne vertébrale. De ce point de vue, il demeure capital de garder ce moment externe le plus petit possible et de faire en sorte que peu importe la technique utilisée, celle-ci permette d'approcher le centre de masse de la charge le plus près possible de la colonne vertébrale. Comme on l'a vu dans les sections précédentes, chez les experts la charge était plus près et l'inclinaison du tronc moins prononcée, mais toutefois pas suffisamment pour faire en sorte de différencier de manière significative les deux groupes sur le moment résultant externe (tableau 5.8 et 5.9 : à la prise $p = 0.14$ et au dépôt $p = 0.08$). Toutefois, à la prise, plus la hauteur des caisses augmentait, plus l'écart entre experts et novices devenait élevé et significatif (tableau 5.8 $p < .01$).

Dans la discussion de la séance II (section 4.3.3), il a été mentionné que les sujets, lors de la phase de dépôt, n'avaient probablement pas laissé tomber les caisses sur le convoyeur pour réduire les moments de force. Dans le cadre de cette expérience, lors du moment maximal, l'angle de flexion lombaire, l'angle du tronc par rapport à la verticale, l'angle des genoux sont tous moins fléchis au dépôt qu'à la prise (tableaux 5.8 et 5.9), que ce soit pour les experts ou les novices. Cela laisse supposer que la caisse était déposée dans une posture du corps plus verticale, ce qui a permis de diminuer de façon marquée l'amplitude des moments par rapport à la prise. Toutefois, les analyses ergonomiques effectuées ne nous permettent pas de conclure que les sujets ont laissé tomber la caisse, plutôt que d'accompagner la caisse jusqu'au dépôt sur le sol. Sur 480 observations effectuées (sur une possibilité de 1440), la caisse a été maintenue jusqu'au sol dans 317 cas (66%) et a été relâchée dans 156 cas (33%). On peut supposer alors que la caisse était décélérée de manière importante dans une position du corps plus verticale pour être ensuite être accompagnée jusqu'au sol.

Les moments asymétriques maximaux variaient de 72 à 82 Nm à la prise et de 62 à 68 Nm au dépôt. Il n'y a pas de différence entre experts et novices. Tout comme dans la séance II, ces moments s'expliquent plus par une asymétrie de charge qu'une asymétrie de posture (voir section 5.3.2).

5.3.5 Autres interactions

L'expertise en interaction avec la cadence n'a généralement pas eu beaucoup d'influence sur une majorité de variables dépendantes (EC dans les tableaux 5.8 et 5.9), sauf en ce qui concerne la vitesse angulaire de la flexion lombaire au dépôt. À cadence libre, les novices semblaient plus lents (en terme de vitesse angulaire) que les experts, tandis qu'à vitesse imposée, c'était l'inverse (figure 5.9). La différence entre les deux groupes sur la cadence n'était pas significative

toutefois les novices à cadence libre étaient un peu plus lents et à cadence imposée un peu plus rapides que les experts (tableau 5.2). Cette différence sur la cadence pourrait expliquer en partie cette interaction malgré le fait que la fatigue peut aussi en être responsable. Il est inquiétant par contre de constater qu'une grande partie de l'augmentation de la cadence passe par une augmentation de la vitesse lombaire chez les novices. La vitesse lombaire a souvent été mentionnée comme un facteur de risque important en manutention et, plus particulièrement, la vitesse en flexion latérale et en torsion (Marras *et al.*, 1995). McGill (2007, 2009) ont fréquemment indiqué que les mouvements au niveau de la région lombaire devaient être limités et que le levage devait s'effectuer au niveau des hanches, plutôt que du dos. Que ce soit lors du levage ou du dépôt, la vitesse lombaire apparaît comme un élément important à considérer dans la prévention des blessures au dos.

6. L'ANALYSE ERGONOMIQUE DES SEANCES II ET III

Des observations ergonomiques ont été effectuées à partir des images vidéos enregistrées lors des séances II et III. L'analyse de ces données s'est effectuée en parallèle avec le traitement des données biomécaniques. Cette section présente les principaux résultats des observations ergonomiques.

6.1 Méthodologie

6.1.1 Matériel

Étant donné la lourdeur du processus d'observation, un échantillon de 1120 manutentions a été observé, 640 lors de transferts sur diable / convoyeur uniquement orientés à 180° (séance II) et 480 lors de transferts sur palettes (séance III). Ces manutentions ont été réalisées sur 10 manutentionnaires, cinq experts et cinq novices. Le choix des 10 sujets s'est fait de façon aléatoire parmi le matériel disponible (vidéos traitées) lors du début des observations.

Observations effectuées et analyses des données

Le lecteur trouvera à l'annexe F la description détaillée de toutes les variables d'observation. Les critères d'observation y sont présentés de même que des images, tirées des bandes vidéos, qui illustrent les variables observées afin de s'en faire une meilleure représentation. Les observations ont été effectuées à l'aide du logiciel ObserverTM par une ergonome ayant une vaste expérience en observation. Les variables, ou des variables équivalentes, ont pour la majorité été utilisées dans une étude précédente sur une population d'éboueurs. Le rapport issu de cette étude peut être téléchargé gratuitement sur le site Internet de l'IRSSST (<http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSSST/R-527.pdf>).

Les variables d'observation sont regroupées en quatre grands blocs qui constituent chacun des moments d'observation : à la prise (position du corps et pré-manœuvres sur la charge), lors du déplacement (trajet de la charge), au dépôt (ajustements et modalités pour déposer) et de façon globale (mouvement général).

Les données brutes saisies dans ObserverTM ont été transférées dans un chiffrier électronique où les données descriptives ont été calculées (occurrences et pourcentages). Des tableaux croisés ont permis de voir l'impact des variables indépendantes (i.e. conditions de laboratoire) sur les variables dépendantes (i.e. les façons de faire).

Des tests de reproductibilité intra et inter-observateurs ont été effectués (annexe G). Nous avons sélectionné 7 sujets (3 novices et 4 experts) pour un total de 136 manutentions observées. Au total, 28 essais avec les diables (112 manutentions) et un essai avec les palettes (24 manutentions) ont été observés. L'objectif était de diversifier les manutentions observées et de dépasser la centaine pour obtenir des tests valables. Les tests de reproductibilité ont été tous supérieurs à 80%, sauf pour la variable d'accélération. Cette variable présentait trois classes possibles, mais lorsqu'on regroupait les résultats pour obtenir deux classes, le taux devenait supérieur à 80%. Un seuil de 80% est généralement considéré comme acceptable (Denis *et al.*, 2002).

6.2 Résultats et discussion

Le premier (tableau 6.1) présente les données qui distinguent les sujets experts des novices pour l'ensemble des essais observés (n =1120). Le second tableau (annexe H ⁵) présente les mêmes données, mais en fonction de cinq variables indépendantes : 1) la séance (palette vs diable) ; 2) la vitesse (uniquement pour la séance palette : libre vs imposée) ; 3) la direction (aller vs retour) ; 4) la hauteur (bas vs haut) et 5) le type de boîtes (15 kg, 15 kg instable, 15 kg décentrée et 23 kg). Les trois dernières variables concernent uniquement la séance avec le diable. Comme les données que nous avons choisi de présenter dans le cadre de ce rapport ne portent que sur les différences entre experts et novices, c'est la raison pour laquelle le tableau F.1 a été mis en annexe

Nous avons fait le choix de ne pas faire une description minutieuse des façons de faire des manutentionnaires, mais bien de donner un aperçu et de tirer des conclusions générales. Cette section se terminera par un encadré où nous résumerons succinctement les idées clés à retenir suite aux observations.

6.2.1 Une grande variabilité dans les façons de faire

Les observations montrent que les manutentionnaires de l'étude ne travaillent pas tous de la même façon. Bien que les différences inter sujets soient plus marquées, un même manutentionnaire va aussi varier ses façons de faire pour un même contexte. Quoique l'on puisse identifier des stratégies de manutention dominantes, il n'existe pas une façon de faire unique et uniforme. À l'exception de quelques comportements qui sont adoptés dans la grande majorité des cas (ex. une prise de type flexible ou encore le fait d'éviter les contacts entre la caisse et d'autres parties du corps telles que les jambes), les données montrent une importante variabilité.

Pourtant, certaines stratégies de manutention sont plus fréquemment observées chez les manutentionnaires de notre échantillon : il est possible de dégager des profils dominants de manutention. De façon générale, on constate que les transports de charges sont préférés aux transferts (68% vs 32%). Ceci se traduit par une position initiale des pieds rarement complètement orientée vers le lieu de dépôt (seulement 14% des manutentions) pour favoriser la continuité du mouvement. La majorité du temps, les pieds vont être mis à contribution pour déplacer la charge vers le lieu de dépôt (utilisation de pivots : 15% ; ou de pas : 68%).

Pour initier le mouvement, les manutentionnaires accélèrent les charges trois fois sur quatre plutôt que de favoriser un mouvement constant. Les jambes et le bassin sont mis à contribution pour effectuer des contrepoids (respectivement pour 58% et 38% des essais). Lors des déplacements, la charge est maintenue près du corps dans plus de 80% des essais. Finalement au dépôt, pour deux charges sur trois, les manutentionnaires accompagnent la charge jusqu'au bout, la déposent à plat et ce, sans faire d'ajustement.

⁵ Nous avons choisi de ne présenter (dans le cadre de ce rapport) que les données qui portent sur les différences entre experts et novices et c'est pour cette raison que le tableau F.1 a été mis en annexe.

6.2.2 Des différences entre les experts et les novices

Les données d'observation (tableau 6.1) indiquent clairement des différences dans les façons de faire entre les manutentionnaires dits experts et les moins expérimentés. Lors de la prise, les experts privilégient un mode de manutention dit sécuritaire : leurs pieds font face au lieu de prise, ils fléchissent les genoux et utilisent la posture du bassin pour faire contrepoids à la charge.

L'utilisation des pieds, lors de la phase où les charges sont déplacées, est fort différente entre les deux groupes. Les experts transportent les charges alors que les novices tendent à utiliser plus fréquemment des transferts avec pivot, modalité peu utilisée par les experts. Une différence caractéristique tient d'ailleurs à ce que les experts se déplacent en phases distinctes (par bloc). Bien que les novices aussi se déplacent surtout par bloc, ils le font dans des proportions moins importantes et ont donc davantage recours aux autres modalités de déplacements : ils diversifient la façon d'utiliser leurs pieds pendant leurs déplacements.

Avant même de soulever la charge, les experts effectuent des pré-manœuvres sur les charges de façon plus importante que ne le font les novices. Alors que les novices privilégient surtout les inclinaisons de charges, les experts vont aussi effectuer des manœuvres pour orienter et rapprocher la charge avant son soulèvement. Les experts n'effectuent pas de pré-manœuvres avec nécessairement plus « d'intensité » (ex. : rapprocher au maximum ou incliner totalement), mais ils semblent plutôt privilégier des combinaisons avec plusieurs façons de faire.

L'utilisation de la charge est aussi différente entre les deux groupes. La distance de la charge par rapport au corps est plus courte chez les experts dans la majorité des essais (94% vs 68 %). Finalement au dépôt, les experts font peu d'ajustements à l'emplacement de la charge, alors que les novices y ont davantage recours (44 % vs 29 %). Cela suppose que les experts arrivent « mieux » à placer la caisse à son emplacement final.

6.2.3 Des adaptations au contexte offert en laboratoire

Ces façons de faire plus répandues sont toutefois modulées en fonction de la situation dans laquelle le manutentionnaire se retrouve : les adaptations sont fréquentes. Nous présentons ici quelques résultats pour illustrer notre propos :

- La boîte la plus lourde (23 kg) n'est pas manipulée de la même façon que les autres caisses, dont le poids est inférieur. On observe alors les manutentionnaires faire plus de pas avec la charge (transport 2 pas), déposer en étant face au lieu de dépôt (bloc dépôt) et donner plus d'accélération. Les manutentions avec cette caisse apparaissent aussi moins fluides.
- Imposer une vitesse plus rapide a un effet sur la position initiale des pieds : ils s'ouvrent davantage vers le lieu de dépôt afin de favoriser un mouvement plus continu (donc éventuellement plus rapide). Le même phénomène est observé lors des pré-manœuvres sur la charge : le manutentionnaire (ré) oriente la charge vers le dépôt de même qu'il l'incline davantage. Encore là, on peut supposer que ces façons de faire permettent de réduire la durée de manutention de la caisse.

- Prendre la charge à une hauteur différente (rangées du bas vs du haut) peut avoir différents impacts. L'orientation initiale des pieds est différente : lorsqu'il prend haut, le manutentionnaire a tendance à plus orienter ses pieds vers le dépôt et la fluidité est améliorée : on peut penser qu'il est plus facile de guider et de maintenir un mouvement de haut en bas que l'inverse. Les charges prises basses sont plus souvent accélérées, probablement pour lutter contre l'effet de la gravité. Et finalement, les charges basses demandent un positionnement du bassin plus important pour faire contrepoids.

Ces quelques exemples montrent que les manutentionnaires s'adaptent au contexte qui leur est présenté et ne font pas que reproduire des façons de faire standards. Cela est d'autant plus appréciable que les conditions de laboratoire sont moins diversifiées que l'environnement dans lequel évolue la majorité des manutentionnaires de l'étude. Il faut toutefois entrer dans le détail pour bien détecter ces ajustements : un regard trop général donnerait à penser que l'exécution de chaque manutention est similaire. Or, il peut s'agir d'un mouvement de la boîte avant son déplacement, d'un ajustement de la position des pieds, etc. Les différences sont parfois subtiles et contrastent avec l'image souvent véhiculée qui voudrait que toutes les manutentions se ressemblent et sont aisées à réaliser. On a pu mettre ici en évidence des différences pour des charges quasi identiques dans un environnement assez contrôlé. Qu'en est-il alors des différences dans les milieux de travail ou la variabilité – des charges, des environnements, des contextes – est une réalité importante ?

Comme analogie, pour qui regarde un joueur de tennis faire un service, le patron global du mouvement est quasi identique. Cependant, un regard plus minutieux laisse voir des inclinaisons de raquette différentes (qui donnent des effets différents sur la balle), des transferts de poids plus ou moins importants (en lien avec la vitesse du service), etc. Comme l'expression populaire le suggère, « le diable est dans les détails » : il est nécessaire d'affiner les observations pour détecter les adaptations des techniques utilisées et proposer un regard plus juste sur les activités de manutention.

En résumé :

- Bien qu'un patron de manutention puisse se dégager, les manutentionnaires varient leurs façons de faire et les adaptent en fonction du contexte ;
- Certaines façons de faire sont privilégiées, peu importe le contexte :
 - transporter la charge
 - travailler par bloc
 - effectuer des contrepoids
 - maintenir une prise flexible
 - transporter la charge inclinée
 - transporter la charge proche
- Bien que certaines façons de faire soient similaires, les manutentionnaires experts se démarquent des novices sur quelques aspects : ils utilisent plus fréquemment des façons de faire reconnues pour leur valeur sécuritaire.

Tableau 6.1 Résultats des observations ergonomiques en fonction de l'expertise

Variables	Toutes données (N=1120)	Séance	
		Experts (n=560)	Novices (n=560)
Déplacement			
<i>Type déplacement</i>			
Transfert pur	185 (17)	72 (13)	113 (20)
Transfert pivot	170 (15)	43 (7,5)	127 (23)
Transport 1 pas	386 (34)	212 (38)	174 (31)
Transport 2 pas	379 (34)	233 (41,5)	146 (26)
<i>Continuité</i>			
Bloc au long	591 (53)	378 (68)	213 (38)
Bloc prise	92 (8)	32 (6)	60 (11)
Bloc dépôt	220 (20)	75 (13)	145 (26)
Continu	216 (19)	75 (13)	141 (25)
<i>Orientation pieds</i>			
Prise	461 (61)	256 (46)	205 (37)
Milieu	503 (45)	249 (44)	254 (45)
Dépôt	155 (14)	55 (10)	100 (18)
<i>Façon manut.</i>			
Sécuritaire	310 (28)	187 (33)	123 (22)
Hybride	721 (64)	342 (61)	379 (68)
Économique	88 (8)	31 (6)	57 (10)
Fluidité			
<i>Fluidité</i>			
Mvt fluide	375 (33)	179 (32)	196 (35)
Mvt +/- fluide	743 (53)	381 (68)	362 (65)
<i>Travail contre</i>			
Oui	524 (47)	272 (49)	252 (45)
Non	596 (53)	288 (51)	308 (55)
<i>Accélération</i>			
Mvt constant	293 (26)	134 (24)	159 (28)
Un peu	524 (47)	258 (46)	266 (48)
Beaucoup	301 (27)	168 (30)	133 (24)
<i>Guidage</i>			
Oui	95 (8)	27 (5)	68 (12)
Non	1025 (92)	533 (95)	492 (88)

Tableau 6.1 (suite). Résultats des observations ergonomiques en fonction de l'expertise (suite)

Variables	Toutes données (N=1120)	Séance	
		Experts (n=560)	Novices (n=560)
Pré-manœuvres			
<i>Orientation</i>			
Totalement orientée	161 (14)	98 (18)	63 (11)
+/- orientée	375 (34)	242 (43)	133 (24)
Non orientée	583 (52)	220 (39)	363 (65)
<i>Inclinaison</i>			
Totalement inclinée	441 (39)	168 (30)	273 (49)
+/- inclinée	155 (14)	63 (11)	92 (16)
Non inclinée	524 (47)	329 (59)	195 (35)
<i>Rapprochement</i>			
Maximum	63 (6)	29 (5)	34 (6)
Moyen	670 (60)	375 (67)	295 (53)
Nul	386 (34)	156 (28)	230 (41)
Travail jambes			
<i>Posture jambes</i>			
Ensemble	463 (41)	281 (50)	182 (33)
Indépendantes	656 (59)	279 (50)	377 (67)
<i>Contrepoids</i>			
Important	485 (43)	174 (31)	311 (56)
Moyen	172 (15)	105 (19)	67 (12)
Bassin	419 (38)	244 (43)	175 (31)
Nul	44 (4)	37 (7)	7 (1)
<i>Transfert poids</i>			
Important	255 (23)	81 (15)	174 (31)
Moyen	861 (77)	478 (85)	383 (68)
Travail mains			
<i>Type prise</i>			
Barrée	118 (11)	31 (6)	87 (16)
Flexible	1001 (89)	529 (94)	472 (84)
<i>Changement prise</i>			
Oui	125 (11)	81 (14)	44 (8)
Non	995 (89)	479 (86)	516 (92)

Tableau 6.1 (suite). Résultats des observations ergonomiques en fonction de l'expertise

Variables	Toutes données (N=1120)	Séance	
		Experts (n=560)	Novices (n=560)
Sur la charge			
<i>Mouvement</i>			
Vertical	111 (10)	58 (10)	53 (10)
Combiné	834 (74)	440 (79)	394 (70)
Horizontal	174 (16)	62 (11)	112 (20)
<i>Position</i>			
Inclinée	823 (74)	392 (70)	431 (77)
À plat	295 (26)	168 (30)	127 (23)
<i>Distance</i>			
Proche	906 (81)	528 (94)	378 (68)
Éloignée	212 (19)	32 (6)	180 (32)
<i>Contact corps</i>			
Oui	21 (2)	21 (4)	-
Non	1098 (98)	539 (96)	559 (100)
Dépôt			
<i>Type</i>			
Complet	729 (65)	392 (70)	337 (60)
Laisser aller	384 (34)	163 (29)	221 (39)
<i>Ajustements</i>			
Oui	406 (36)	161 (29)	245 (44)
Non	714 (64)	399 (71)	315 (56)
<i>Rapidité</i>			
Le plus rapide	10 (1)	5 (1)	5 (1)
Moyen	1109 (99)	555 (99)	554 (99)
<i>Inclinaison</i>			
Totale	106 (10)	65 (12)	41 (7)
+/- inclinée	296 (26)	157 (28)	139 (25)
Nulle	717 (64)	338 (60)	379 (68)

7. DISCUSSION GÉNÉRALE

Les résultats démontrent que les experts sont significativement différents des novices en regard de la posture qu'ils adoptent lors de la pratique de la manutention. Ainsi, les experts par rapport aux novices fléchissent moins la région lombaire, mais à l'opposé fléchissent plus les genoux, ce qui les rapproche plus de la caisse, que ce soit sur le plan horizontal que vertical. Si on assume que l'âge des experts pourrait en partie expliquer les différences entre experts et novices sur la flexion lombaire, il n'en demeure pas moins que dans la phase de dépôt, l'expertise explique toujours une grande partie des différences. On se serait attendu que le moment résultant maximal soit significativement différent entre les groupes, mais cela n'a pas été le cas bien que les experts exercent généralement un moment résultant inférieur aux novices. Il est intéressant de constater que les résultats de la séance II, c'est-à-dire du convoyeur au diable se sont confirmés dans la séance III pour le transfert de palette à palette. Un détail intéressant dans la séance II est que les moments en torsion se sont avérés significativement différents entre les deux groupes, les novices ayant généralement les valeurs les plus élevées. Un autre détail, mais celui-ci dans la troisième séance, est à l'effet que les experts étaient plus habiles que les novices à réduire le parcours vertical des caisses. Enfin, tout comme pour les données biomécaniques, il a été observé ergonomiquement que les manutentionnaires experts se démarquent des novices, en utilisant plus fréquemment des façons de faire reconnues pour leur valeur sécuritaire.

7.1 Limites de l'étude

7.1.1 Les sujets

Les sujets répondaient tous aux critères qui avaient été fixés quoiqu'ils n'étaient pas entièrement exempts de blessures musculo-squelettiques (annexe A). Certaines blessures, particulièrement aux épaules, aux genoux et aux chevilles avaient été causées lors d'activités sportives. Les problèmes au dos étaient absents pour la très grande majorité des sujets et plus particulièrement pour les experts. Enfin, aucun des sujets ne présentait de problèmes musculo-squelettiques pouvant affecter leur façon d'effectuer normalement leur travail et les problèmes étaient mineurs. Nous ne pensons donc pas que les blessures musculo-squelettiques aient pu jouer un quelconque rôle dans les résultats de cette recherche.

Les experts étaient de fait plus âgés que les novices. Aurait-il fallu sélectionner un groupe de sujets novices du même âge que les experts ? Pratiquement, cela aurait été difficile. Déjà le recrutement étalé sur plus de 18 mois n'a pas été facile, que ce soit pour les experts ou les novices. De plus, les novices dans les industries sont généralement des personnes jeunes et il n'aurait pas été représentatif de sélectionner un autre type de groupe (plus âgé).

Les experts ont été recrutés au sein de trois entreprises alimentaires. Dix sujets experts et trois novices avaient au moins suivi un programme de formation tandis que les autres non. Par conséquent, on peut supposer que la majorité des experts connaissait la technique reconnue sécuritaire « dos droit- genoux fléchis » pour soulever une caisse. Par ailleurs, les novices ont probablement un jour ou l'autre été sensibilisés à cette forme de technique sécuritaire. Maintenant, est-ce que ces experts ont modifié leur façon de faire en laboratoire pour ne pas nous décevoir? C'est une possibilité à retenir, mais par contre nous avons insisté à de nombreuses reprises auprès de ces manutentionnaires qu'ils étaient « les professeurs » et qu'ils devaient répliquer ce qu'ils faisaient au travail. Pour s'assurer de cela, nous leur avons demandé juste

après les séances expérimentales s'ils avaient utilisé les mêmes façons de faire qu'au travail. Pour la séance du convoyeur au diable, la réponse a été positive sans vraiment faire de remarques particulières. Pour la séance de transfert des caisses aux palettes, la réponse des experts était plus ambiguë en raison de quatre facteurs qui avaient influencé leur façon de faire : (1) le rythme de travail, (2) l'obstruction des fils (qui les empêchaient de tourner des deux côtés), (3) le fait de ne pas pouvoir mettre les pieds sur les palettes et (4) la contrainte imposée sur l'empilement des caisses (6 caisses par étage). Le premier facteur a son importance dans la condition du rythme imposé, quoiqu'il ne fût que faiblement supérieur au rythme libre. Le second est important, mais comme dans une situation réelle, il est possible que les sujets ne puissent pas toujours évoluer des deux côtés. Le troisième et le quatrième facteur sont plus sérieux, car plusieurs auraient préféré mettre un pied sur la palette pour se rapprocher des caisses du fond et empiler les caisses de la manière avec laquelle ils étaient habitués. Ces contraintes étaient nécessaires pour permettre d'utiliser le modèle segmentaire du bas (dans lequel les pieds devaient garder contact avec la plate-forme de forces) et pour diminuer la variance inter-sujet dans l'empilement des caisses (il aurait été difficile d'effectuer des comparaisons sur des conditions d'empilement différentes). Il n'est pas possible d'évaluer l'impact de ces contraintes sur nos résultats, mais nous pensons malgré tout que les manutentionnaires étaient suffisamment libres de leurs déplacements pour reproduire en laboratoire ce qu'ils faisaient en entrepôt. Le fait que les résultats se sont répétés dans deux expériences différentes est une bonne indication que le mode opératoire des sujets était à tout le moins constant. À savoir si c'est le type de mode opératoire effectué au travail, la seule façon de le vérifier serait de le mesurer en entrepôt, ce qui devrait être fait dans un futur proche. Comme mentionné dans le paragraphe précédent, le recrutement s'est effectué auprès de trois entreprises. Aurait-il été mieux d'élargir le nombre d'entreprises participantes pour favoriser un plus grand éventail d'expertise ? Probablement que oui, tout comme augmenter le nombre de sujets. Toutefois cela nécessite beaucoup de temps et plus de ressources.

7.1.2 Les résultats biomécaniques

Plusieurs sources d'erreurs peuvent entacher les résultats biomécaniques. Mentionnons entre autres : les erreurs humaines ; l'imprécision des instruments de mesure photogrammétriques, de la plate-forme de forces et des amplificateurs d'EMG ; les erreurs dans la reconnaissance des repères anatomiques, dans l'installation des grappes de repères, dans la fixation des électrodes EMG ; le déplacement de la peau et des repères sur la peau lors des activités de manutention ; les erreurs des modèles biomécaniques, etc. Toutes ces erreurs ont une incidence plus ou moins grande sur les résultats. Par contre, tout a été fait pour minimiser ces erreurs autant dans le calibrage des instruments de mesure que dans les instructions pour fixer adéquatement les grappes de repères. Par exemple, toutes les données photogrammétriques ont été vérifiées visuellement pour s'assurer de leur justesse. Nous pensons donc que dans l'état actuel des connaissances et de la technologie, les résultats obtenus dans cette étude sont valides.

Un traitement des données biomécaniques n'a pas été effectué tel que prévu. Ainsi, le chargement lombaire par l'estimation des forces de compression et des forces de cisaillement devait se faire à l'aide du modèle de Gagnon *et al.* (2001). Toutefois, dans un projet de recherche de l'IRSST (099-668), il a été constaté que ce modèle n'était pas au point pour effectuer l'estimation de ces forces. Des améliorations ont été apportées au modèle depuis, mais ce délai ne nous a pas permis de traiter nos données expérimentales. Pour de plus amples informations à ce sujet, vous pouvez consulter l'article de Arjmand *et al.* (2009). Nous prévoyons traiter nos données prochainement avec ce modèle amélioré.

7.1.3 Les résultats ergonomiques

Les résultats ergonomiques ont été basés sur 10 sujets et notre échantillon en comprenait 30. Ce n'est donc que sur une partie des sujets que ces observations ont été effectuées. Malgré tout, il a fallu plus de 6 mois de travail intensif pour accomplir cette phase de l'étude. Il s'agit d'un travail colossal et il aurait été impossible d'effectuer les observations sur tous les sujets à moins de disposer de temps et de ressources additionnelles.

7.1.4 Biomécanique vs observations ergonomiques

Le traitement des données biomécaniques et les observations ergonomiques se sont effectués en parallèle, c'est-à-dire qu'il n'y a pas vraiment eu d'interrelation entre les deux champs d'étude. Originellement, il était prévu d'effectuer des analyses supplémentaires de manière à mieux comprendre les résultats biomécaniques et ergonomiques. Par exemple, on a pu constater dans la séance III que les sujets étaient dans une position plus verticale au dépôt par rapport au levage. Idéalement, on aurait dû vérifier la raison de ce résultat biomécanique par des observations ergonomiques, mais cela n'a pas été possible en raison de la lourdeur du processus d'observation. On a choisi d'effectuer une analyse moins détaillée à partir d'une grille d'observation déjà construite, afin d'alléger la cueillette des données. D'un autre côté rien n'est perdu, mais encore une fois du temps et des ressources supplémentaires seront nécessaires pour compléter l'intégration des données biomécaniques et ergonomiques.

7.1.5 La généralisation des résultats

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

7.2 Les principes de manutention

Ce projet visait à poursuivre les recherches dans l'identification et dans la validation de grands principes de manutention. On suppose que l'expérience acquise a permis à des manutentionnaires de développer des stratégies de manutention sécuritaires et efficaces. Un mode sécuritaire vise en tout premier lieu à assurer l'intégrité du dos, tandis qu'un mode efficace vise à améliorer la productivité tout en réduisant les efforts.

Les données d'observation et les résultats biomécaniques indiquent clairement des différences dans les façons de faire entre les manutentionnaires dits experts et les moins expérimentés. Les experts sont moins fléchis au niveau du tronc, plus fléchis au niveau des genoux, se rapprochent plus de la charge, exercent des moments de torsion moins élevés et se déplacent plus en phases distinctes (blocs). Ces résultats valident en quelque sorte plusieurs principes de manutention pouvant être utiles à la formation des manutentionnaires novices. Denis *et al.* (2009) a identifié (dans le cadre d'un projet de recherche à l'IRSST portant sur la formation des manutentionnaires) huit principes de manutention décrits à l'annexe I. Ces principes ont été identifiés à partir d'observations sur le terrain et d'une revue de littérature très exhaustive. Le principe de l'alignement fait l'objet d'un consensus général dans la littérature. Il véhicule l'idée de travailler le plus possible dans des postures symétriques et d'éviter les postures extrêmes. Ce principe n'avait pas vraiment été validé auparavant par des travailleurs experts et cette étude a permis de confirmer son importance sur le plan de la flexion lombaire. Le principe de bras de levier, qui favorise le rapprochement des charges pour diminuer les efforts, a lui aussi été fortement reproduit par nos travailleurs experts. Le principe, dans lequel le travailleur doit être en équilibre et se laisser une marge de manœuvre en cas d'imprévu, a été observé lors des analyses ergonomiques par l'utilisation de déplacements par bloc chez les experts. Aussi le fait d'éviter des flexions maximales du tronc laisse cette marge de manœuvre sécuritaire aux experts pour réagir. Le principe de transition (parcours choisi pour passer de la prise au dépôt) n'a pas vraiment été observé dans la seconde séance de l'étude mais, dans le transfert de palette à palette, les experts ont particulièrement été efficaces à réduire le parcours vertical des caisses par rapport aux novices. Malheureusement, cette réduction n'a pas affecté la mise sous charge (durée de transport) qui était similaire entre les deux groupes. Enfin, les données actuelles ne nous permettent pas de se prononcer sur les trois autres principes (utilisation du corps, utilisation de la charge et rythme/fluidité). D'autres analyses restent à faire et seront nécessaires pour se prononcer, non seulement sur ces derniers principes, mais encore pour l'ensemble des principes étudiés.

Plusieurs principes de manutention ont donc été validés dans cette étude par les experts et pourront faire l'objet d'une diffusion plus large dans des programmes de formation. Il faudrait souligner toutefois la grande variabilité entre les sujets, que ce soit des experts ou des novices. Malgré tout, des différences importantes ont été en décelées entre les deux groupes. Cela ne veut pas dire cependant qu'un expert va toujours agir de façon attendue. Par exemple, on pourrait s'attendre à ce que les experts respectent les principes de manutention ou encore utilisent les mêmes façons de faire. Ce n'est pas le cas, soit tout simplement parce qu'ils peuvent effectuer leur tâche de manière différente ou encore à cause du contexte de travail du laboratoire. Par conséquent, à cause de cette variabilité intra-groupe certains principes exercés ne pourront être détectés à moins de spécifiquement les simuler en laboratoire. Ainsi des contextes de travail particuliers peuvent favoriser la mise en œuvre de principes comme l'utilisation de la charge. Par exemple, en ajustant la hauteur de prise et la distance de dépôt, il est plus facile pour des

manutentionnaires de faire basculer une charge et d'utiliser son énergie potentielle pour l'accompagner jusqu'au lieu de dépôt. Ce n'était pas possible dans le cadre de cette étude, parce que la distance horizontale entre les deux palettes était trop grande et ne favorisait pas l'application de ce principe. C'est dire qu'il doit y avoir un choix conscient de la part du manutentionnaire à savoir quand utiliser un principe plutôt qu'un autre, en fonction du contexte qui est offert.

Un dernier point concerne le fait que les experts de cette étude ont privilégié un mode de manutention dit sécuritaire. Lors de la prise, les pieds des experts sont face au lieu de prise, ils fléchissent les genoux et utilisent la position du bassin pour faire contrepoids à la charge. Les experts transportent les charges et se déplacent en phases distinctes (par blocs). On supposait au départ que ces manutentionnaires favoriseraient un mode de manutention plus direct en transférant les charges d'une manière continue plutôt que par blocs, diminuant par le fait même la mise sous charge. Ils n'avaient probablement pas à privilégier un mode efficace, particulièrement lors de la seconde séance, où la vitesse de manutention n'était pas un facteur important. D'un autre côté, les travaux passés de Authier *et al.* (1995, 1996) nous laissaient croire que les experts pratiqueraient des façons de faire beaucoup plus efficaces que celles observées en laboratoire, par exemple, en fléchissant moins les genoux à la prise. Les sujets observés par Authier *et al.* (1995, 1996) provenaient du secteur transport, tandis que ceux du présent projet travaillaient dans le secteur de l'alimentation. Ces derniers manipulaient probablement des contenants beaucoup moins variés que les premiers et ont ainsi peut-être développé des façons de faire différentes. Aussi, comme mentionné plus haut, peut-être que le contexte de laboratoire a fait en sorte de modifier le comportement des manutentionnaires. En somme, ce contexte de travail joue un rôle fondamental dans le mode opératoire des manutentionnaires et bien que certains principes soient transférables d'un secteur à l'autre, on peut penser que des adaptations importantes des contenus de formation seront nécessaires.

7.3 Ce qu'il reste à faire

Ce rapport a présenté un très grand nombre de résultats biomécaniques et ergonomiques, mais il était prévisible dès le départ que nous ne pourrions faire l'analyse de tout ce qui a été recueilli comme données. Une grande partie des données biomécaniques a été analysée, mais plusieurs nouvelles variables biomécaniques/ergonomiques, mises en place pour supporter des principes de manutention n'ont pu être examinées, en raison de tests de validation qu'il reste à faire avant de pouvoir les utiliser. De plus, la révision du modèle de Gagnon *et al.* (2001) devrait permettre d'en savoir plus sur le chargement interne au dos de nos sujets. Tout cela pour mentionner que les données recueillies seront utiles pour encore longtemps et que la fin de ce projet ne s'arrêtera pas avec le dépôt de ce rapport.

8. CONCLUSIONS

Les résultats démontrent que les experts sont significativement différents des novices, en regard de la posture qu'ils adoptent lors de la pratique de la manutention. Ainsi, les experts par rapport aux novices fléchissent moins la région lombaire et le thorax, mais à l'opposé fléchissent plus les genoux, ce qui les rapproche plus de la caisse que ce soit sur le plan horizontal que vertical. Si on assume que l'âge des experts pourrait en partie expliquer les différences entre experts et novices sur la flexion lombaire, il n'en demeure pas moins que dans la phase de dépôt, l'expertise explique toujours une grande partie des différences. Aussi, les experts semblent favoriser des déplacements en phases distinctes (blocs) en évitant de transférer la charge de manière continue. On se serait attendu que le moment résultant maximal soit significativement différent entre les groupes, mais cela n'a pas été généralement le cas malgré que les experts exercent un moment résultant inférieur aux novices.

En regard des résultats obtenus, il est recommandé de porter une attention particulière à la région lombaire lors d'activités de manutention. Ainsi, les experts se sont donné une marge de manœuvre en évitant de fléchir de manière excessive la région lombaire et ont plié plus les genoux que les novices. Il ne s'agit pas ici de revenir au principe « dos-droit genoux fléchis » mais plutôt d'éviter de trop fléchir le dos. Les manutentionnaires devraient être plus proches des charges qu'ils manipulent et pour cela ne devraient pas hésiter à approcher la caisse et à fléchir les genoux lorsque la caisse est au sol. Enfin, il n'existe pas de « technique idéale » car d'autres contextes de travail imposent d'autres types de façons de faire. L'application de principes de manutention qui guident le manutentionnaire dans sa pratique de tous les jours est une avenue que nous privilégions par rapport à celle qui consiste à imposer des techniques de travail aux manutentionnaires sans égard au contexte de travail.

9. BIBLIOGRAPHIE

- Adams, M. A., Bogduk, N., Burton, A. K., Dolan, P., (2002). *The Biomechanics of Back Pain*. Churchill Livingstone, Toronto.
- Allaire, M., Ricard, G., (2001). *Statistiques sur les affections vertébrales 1997-2000*. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail (CSST) du Québec, Direction de la statistique et de la gestion de l'information. Service indicateurs de gestion, analyses et études.
- Allaire, M., Ricard, G., (2005). *Statistiques sur les affections vertébrales 2001-2004*. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail (CSST) du Québec, Direction de la statistique et de la gestion de l'information. Service indicateurs de gestion, analyses et études.
- Allaire, M., Ricard, G., (2007). *Statistiques sur les affections vertébrales 2003-2006*. Commission de la Santé et de la Sécurité au Travail (CSST) du Québec, Direction de la statistique et de la gestion de l'information. Service indicateurs de gestion, analyses et études, pp. 1-29.
- Arjmand, N., Gagnon, D., Plamondon, A., Shirazi-Adl, A., Lariviere, C., (2009). Comparison of trunk muscle forces and spinal loads estimated by two biomechanical models. *Clinical Biomechanics* 24, 533-541.
- Authier, M., Gagnon, M., Lortie, M., (1995). Handling techniques: The influence of weight and height for experts and novices. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 1, 262-275.
- Authier, M., Lortie, M., (1993). Assessment of factors considered to be important in handling tasks by expert handlers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 11, 331-340.
- Authier, M., Lortie, M., Gagnon, M., (1996). Manual handling techniques: Comparing novices and experts. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17, 419-429.
- Ayoub, M. M., Dempsey, P. G., Karwowski, W., (1997). Manual Materials handling. In: Salvendy, G. (Ed.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley interscience, Toronto, pp. 1085-1123.
- Ayoub, M. M., Mital, A., (1989). *Manual Materials Handling*. Taylor and Francis, New York.
- Baril-Gingras, G., Lortie, M., (1995). The handling of objects other than boxes: univariate analysis of handling techniques in a large transport company. *Ergonomics* 38, 905-925.
- Bernard, B. P., (1997). Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. In: NIOSH (Ed.), pp. 1-1-7-16.
- Burdorf, A., Sorock, G., (1997). Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health* 23, 243-256.

- Burgess-Limerick, R., (2003). Squat, stoop, or something in between? *International Journal of Industrial Ergonomics* 31, 143-148.
- Burgess-Limerick, R., (2006). Lifting techniques. In: Karwowski, W. (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. Taylor & Francis, New York, pp. 775-778.
- Burgess-Limerick, R., Abernethy, B., Neal, R. J., Kippers, V., (1995). Self-Selected Manual Lifting Technique: Functional Consequences of the Interjoint Coordination. *Human Factors* 37(2), 395-411.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B., Martin, B. J., (1999). *Occupational Biomechanics* (3 ed). John Wiley & Sons, Inc, Toronto.
- Chaffin, D. B., Galloway, L. S., Woolley, C. B., Kuciemba, S. R., (1986). An evaluation of the effect of a training program on worker lifting postures. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1, 127-136.
- Chaffin, D. B., Herrin, G. D., Keyserling, W. M., (1978). Preemployment strength testing. An updated position. *Journal of Occupational Medicine* 20, 403-408.
- de Looze, M. P., Toussaint, H. M., van Dieen, J. H., Kemper, H. C. G., (1993). Joint moments and muscle activity in the lower extremities and lower back in lifting and lowering tasks. *Journal of Biomechanics* 26, 1067-1076.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996a). Handgrip and Box Tilting Strategies in Handling: Effect on Stability and Trunk and Knee Efforts. *Int J Occup Saf Ergon* 2, 109-118.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996b). Load acceleration and footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2, 185-195.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1998). Knee flexion and base of support in asymmetrical handling: effects on the worker's dynamic stability and the moments of the L5/S1 and knee joints. *Clinical Biomechanics* 13, 506-514.
- Delisle, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1999). Kinematic analysis of footstep strategies in asymmetrical lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 23, 451-460.
- Denis, D., Gonella, M., St-Vincent, M., Plamondon, A., Lortie, M., Delisle, A., Tardif, J., Lafond, D., (2009). Développement d'un programme de formation à la manutention manuelle. In: IRSST, p. p. (Ed.).
- Denis, D., Lortie, M., Bruxelles, M., (2002). Impact of observers' experience and training on reliability of observations for a manual handling task. *Ergonomics* 45, 441-454.
- Desjardins, P., Gagnon, M., (2001). A force platform for large human displacement. *Medical Engineering & 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 & Physics* 20, 153-158.

Dolan, P., Adams, M. A., (1998). Repetitive lifting tasks fatigue the back muscles and increase the bending moment acting on the lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 31, 713-721.

Dolan, P., Mannion, A. F., Adams, M. A., (1994). Passive tissues help the back muscles to generate extensor moments during lifting. *Journal of Biomechanics* 27, 1077-1085.

Forcier, I., Beaugrand, S., Lortie, M., Lapointe, C., Lemaire, J., Kuorinka, I., Duguay, P., Lemay, F., Buckle, P., (2001). L'ABC de l'utilisation d'un questionnaire sur la santé musculo-squelettique: de la planification à la diffusion des résultats. RSST- Direction des communications, Montreal, Canada, www.irsst.qc.ca, pp. 1-108.

Gagnon, D., Gagnon, M., (1992). The influence of dynamic factors on triaxial net muscular moments at the L5/S1 joint during asymmetrical lifting and lowering. *Journal of Biomechanics* 25(8), 891-901.

Gagnon, D., Larivière, C., Loisel, P., (2001). Comparative ability of EMG, optimization, and hybrid modelling approaches to predict trunk muscle forces and lumbar spine loading during dynamic sagittal plane lifting. *Clinical Biomechanics* 16, 359-372.

Gagnon, M., (2003). The efficacy of training for three manual handling strategies based on the observation of expert and novice workers. *Clinical Biomechanics* 18, 601-611.

Gagnon, M., (2005a). Contribution des travailleurs dans l'élaboration des programmes d'entraînement à la manutention sécuritaire: identification des stratégies, évaluation biomécanique et implantation. *PISTE* 7.

Gagnon, M., (2005b). Ergonomic identification and biomechanical evaluation of workers' strategies and their validation in a training situation: Summary of research. *Clinical Biomechanics* 20, 569-580.

Gagnon, M., Plamondon, A., Gravel, D., Lortie, M., (1996). Knee movement strategies differentiate expert from novice workers in asymmetrical manual materials handling. *Journal of Biomechanics* 29, 1445-1453.

Gall, B., Parkhouse, W., (2004). Changes in physical capacity as a function of age in heavy manual work. *Ergonomics* 47, 671-687.

Gardner, L. I., Landsittel, D. P., Nelson, N. A., (1999). Risk factors for back injury in 31,076 retail merchandise store workers. *Am J Epidemiol* 150, 825-833.

Garg, A., Saxena, U., (1979). Effects of lifting frequency and technique on physical fatigue with special reference to psychophysical methodology and metabolic rate. *Am Ind Hyg Assoc J* 40, 894-503.

Garg, A., Saxena, U., (1985). Physiological stresses in warehouse operations with special reference to lifting technique and gender: a case study. *Am Ind Hyg Assoc J* 46, 53-59.

Gracovetsky, S., Farfan, H. F., Lamy, C., (1981). The mechanism of the lumbar spine. *Spine* 6, 249-262.

Gracovetsky, S., Kary, M., Levy, S., Said, R. B., (1989). The importance of pelvic tilt in reducing compressive stress in the spine during flexion-extension exercises. *Spine* 14, 412-416.

Granata, K. P., Marras, W. S., Davis, K. G., (1999). Variation in spinal load and trunk dynamics during repeated lifting exertions. *Clinical Biomechanics* 14, 367-375.

Graveling, R. A., Melrose, A. S., Hanson, M. A., (2003). The principles of good manual handling: Achieving a consensus. Institute of Occupational Medicine for the Health and Safety Executive (HSE), pp. 1-112.

Good, E. S., Suntay, W. J., (1983). A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application of the Knee. *Journal of Biomechanical Engineering* 105, 136-144.

Haslam, C., Clemes, S., Mcdermott, H., Shaw, K., Williams, C., Haslam, R., (2007). Manual handling training. Health and Safety Executive (HSE) Research report, pp. 1-159.

Hof, A. L., (1992). An explicit expression for the moment in multibody systems. *Journal of Biomechanics* 25, 1209-1211.

Hoogendoorn, W. E., Bongers, P. M., de Vet, H. C. W., Douwes, M., Koes, B. W., Miedema, M. C., Ariens, G. A. M., Bouter, L. M., (2000). Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain - Results of a prospective cohort study. *Spine* 25, 3087-3092.

Hsiang, S. M., Brogmus, G. E., Courtney, T. K., (1997). Low-Back-Pain (Lbp) and Lifting Technique - A Review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 19, 59-74.

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., van Dieen, J. H., de Looze, M., Toussaint, H. M., Dolan, P., Baten, C. T. M., (1998). Asymmetric low back loading in asymmetric lifting movements is not prevented by pelvic twist. *Journal of Biomechanics* 31, 527-534.

Kroemer, K. H. E., (1992). Personnel training for safer material handling. *Ergonomics* 35, 1119-1134.

Kuiper, J. I., Burdorf, A., Verbeek, J. H. A. M., Frings-Dresen, M. H. W., van der Beek, A. J., Viikari-Juntura, E. R. A., (1999). Epidemiologic evidence on manual materials handling as a risk factor for back disorders: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 24, 389-404.

Kuorinka, I., Lortie, M., Gautreau, M., (1994). Manual handling in warehouses: the illusion of correct working postures. *Ergonomics* 37, 655-661.

Lariviere, C., Gagnon, D., Gravel, D., Arsenault, A. B., Dumas, J. P., Goyette, M., Loisel, P., (2001). A triaxial dynamometer to monitor lateral bending and axial rotation moments during static trunk extension efforts. *Clinical Biomechanics* 16, 80-83.

Lariviere, C., McFadden, D., Arsenault, A. B., Petitjean-Roget, T., (2008). Évaluation de la coordination des muscles dorso-lombaires chez des gens présentant une lombalgie : une base de données revisitée. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSSST), Montréal, Canada.

Lavender, S. A., Lorenz, E. P., Andersson, G. B., (2007). Can a new behaviorally oriented training process to improve lifting technique prevent occupationally related back injuries due to lifting? *Spine* 32, 487-494.

Liira, J. P., Shannon, H. S., Chambers, L. W., Haines, T. A., (1996). Long-term Back problems and physical work exposures in the 1990 Ontario Health Survey. *American Journal of Public Health* 86, 382-387.

Lortie, M., (2002). Manutention: Prise d'information et décision d'action. *Le Travail Humain* 65, 193-216.

Lortie, M., Baril-Gingras, G., (1998). Box Handling in the Loading and Unloading of Vans. *Int J Occup Saf Ergon* 4, 3-18.

Maduri, A., Pearson, B. L., Wilson, S. E., (2008). Lumbar-pelvic range and coordination during lifting tasks. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 18, 807-814.

Magnusson, M. L., Pope, M. H., Wilder, D. G., Areskoug, B., (1996). Are occupational drivers at an increased risk for developing musculoskeletal disorders? *Spine* 21, 710-717.

Marras, W. S., (2006). Biomechanical Basis for ergonomics. In: Marras, W. S., Karwowski, W. (Eds.), *The Occupational Ergonomics Handbook 2ed: Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 11-1-11-43.

Marras, W. S., (2008). *The Working Back. A system view*. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Fathallah, F. A., Ferguson, S. A., Allread, W. G., Rajulu, S. L., (1995). Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders. *Ergonomics* 38, 377-410.

Martimo, K. P., Verbeek, J., Karppinen, J., Furlan, A. D., Kuijer, P. P., Viikari-Juntura, E., Takala, E. P., Jauhiainen, M., (2007). Manual material handling advice and assistive devices for preventing and treating back pain in workers. *Cochrane.Database.Syst Rev* CD005958.

Martimo, K. P., Verbeek, J., Karppinen, J., Furlan, A. D., Takala, E. P., Kuijer, P. P., Jauhiainen, M., Viikari-Juntura, E., (2008). Effect of training and lifting equipment for preventing back pain in lifting and handling: systematic review. *British Medical Journal* 336, 429-431.

McGill, S. M., (2002). *Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation*. Human Kinetics, Windsor.

McGill, S. M., (2007). *Low Back Disorders*. Human Kinetics, Windsor, Ontario, Canada.

McGill, S. M., (2009). Evolving ergonomics? *Ergonomics* 52, 80-86.

Mital, A., (1987). Patterns of differences between the maximum weights of lift acceptable to experienced and inexperienced materials handlers. *Ergonomics* 30, 1137-1147.

Myers, J. L., Well, A. D., (2003). *Mixed Design: Between-Subjects and Within-Subjects Factors*. Research Design and Statistical Analysis. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, pp. 386-411.

National Research Council, (2001). *Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremities*. National Research Council and Institute of Medicine.

Panjabi, M. M., (2003). Clinical spinal instability and low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 13, 371-379.

Parnianpour, M., Bejjani, F. J., Pavlidis, L., (1987). Worker training: the fallacy of a single, correct lifting technique. *Ergonomics* 30, 331-334.

Plamondon, A., Delisle, A., Larue, C., Brouillette, D., McFadden, D., Desjardins, P., Lariviere, C., (2007). Evaluation of a hybrid system for three-dimensional measurement of trunk posture in motion. *Applied Ergonomics* 38, 697-712.

Plamondon, A., Gagnon, M., Desjardins, P., (1996). Validation of two 3-D segment models to calculate the net reaction forces and moments at the L5/S1 joint in lifting. *Clinical Biomechanics* 11, 101-110.

Redfern, M. S., Hughes, R. E., Chaffin, D. B., (1993). High-pass filtering to remove electrocardiographic interference from torso EMG recordings. *Clinical Biomechanics* 8, 44-48.

Reeves, N. P., Cholewicki, J., Silfies, S. P., (2006). Muscle activation imbalance and low-back injury in varsity athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 16, 264-272.

Siconolfi, S. F., Garber, C. E., Lasater, T. M., Carleton, R. A., (1985). A simple, valid step test for estimating maximal oxygen uptake in epidemiologic studies. *Am J Epidemiol* 121, 382-390.

Solomonow, M., Zhou, B. H., Baratta, R. V., Lu, Y., Harris, M., (1999). Biomechanics of increased exposure to lumbar injury caused by cyclic loading: part 1. Loss of reflexive muscular stabilization. *Spine* 24, 2426-2434.

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

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

Straker, L., (2003a). Evidence to support using squat, semi-squat and stoop techniques to lift low-lying objects. *International Journal of Industrial Ergonomics* 31, 149-160.

- Straker, L. M., (2002). A review of research on techniques for lifting low-lying objects: 1. Criteria for evaluation. *Work* 19, 9-18.
- Straker, L. M., (2003b). A review of research on techniques for lifting low-lying objects: 2. Evidence for a correct technique. *Work* 20, 83-96.
- Sullivan, M. S., (1995). Lifting and Back Pain. In: Twomey, L. T., Taylor, J. R. (Eds.), *Physical Therapy of the Low Back*. Churchill Livingstone, New York, pp. 329-356.
- Toussaint, H. M., van Baar, C. E., van Langen, P. P., de Looze, M., van Dieen, J. H., (1992). Coordination of the leg muscles in backlift and leglift. *Journal of Biomechanics* 25, 1279-1289.
- Troke, M., Moore, A. P., Maillardet, F. J., Cheek, E., (2005). A normative database of lumbar spine ranges of motion. *Man Ther* 10, 198-206.
- van Dieen, J. H., Hoozemans, M. J. M., Toussaint, H. M., (1999). Stoop or squat: a review of biomechanical studies on lifting technique. *Clinical Biomechanics* 14, 685-696.
- Vingard, E., Nachemson, A., (2000). Work-Related influences on neck and low back pain. In: Nachemson, A., Jonsson, E. (Eds.), *Neck and Back Pain: The Scientific Evidence of Causes, Diagnosis and Treatment*. Lippincot Williams & Wilkins, Philadelphia, pp. 97-126.
- Wilmore, J. H., Costill, D. L., Kenny, W. L., (2008). *Physiology of Sport and exercises*. Human Kinetics, Windsor, Ontario, Canada.
- Wu, S. P., Hsu, S. H., (1993). Psychophysical modelling of lifting capacity of Chinese males using strength variables. *Applied Ergonomics* 24, 251-257.
- Wu, S. P., (1997). Maximum acceptable weight of lift by Chinese experienced male manual handlers. *Applied Ergonomics* 28, 237-244.
- Yeung, S. S., Genaidy, A., Deddens, J., Alhemood, A., Leung, P. C., (2002). Prevalence of musculoskeletal symptoms in single and multiple body regions and effects of perceived risk of injury among manual handling workers. *Spine* 27, 2166-2172.

ANNEXE A : SANTÉ MUSCULO-SQUELETTIQUE DES 30 SUJETS

Tableau A.1 Résumé de la santé musculo-squelettique⁶ des sujets dans les 12 derniers mois.

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

Trois questions :

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

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

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

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

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

⁶ Issu du questionnaire NORDIQUE développé par Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K.
Adapté par Lina Forcier, UQAM, Claire Lapointe, IRSST, Sylvie Beaugrand, IRSST, Monique Lortie, UQAM, Ilkka Kuorinka, Peter Buckle, University of Surrey.
Pour en savoir plus sur l'utilisation du questionnaire, de la planification de la démarche à la diffusion des résultats obtenus, consultez le guide RG-270 publié par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) www.irsst.qc.ca

Tableau A.2 Résumé de la santé musculo-squelettique⁷ des sujets au cours de leur vie.

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

Trois questions :

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

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

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

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

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

⁷ Issu du questionnaire NORDIQUE développé par Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., Jørgensen, K.

Adapté par Lina Forcier, UQAM, Claire Lapointe, IRSST, Sylvie Beaugrand, IRSST, Monique Lortie, UQAM, Ilkka Kuorinka, Peter Buckle, University of Surrey.

Pour en savoir plus sur l'utilisation du questionnaire, de la planification de la démarche à la diffusion des résultats obtenus, consultez le guide RG-270 publié par l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) www.irsst.qc.ca

ANNEXE B : SYSTÈME DE MESURE

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

Dynamomètres : Les dynamomètres ont servi à mesurer la capacité physique des sujets ainsi que les forces aux pieds exercées lors des tâches de manutention. La capacité physique des muscles du dos a été évaluée sur un appareil dans lequel le sujet a pris place (figure 3.1b) et sur lequel des mini plates-formes de marque « AMTI » (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts) ont servi à enregistrer les moments de force à L5/S1 exercés en extension par les sujets. Les forces externes aux pieds lors des tâches de manutention ont été obtenues par l'intermédiaire d'une plate-forme de forces maison (1.90 m x 1.30 m) montée sur 6 mini-plate-formes AMTI (modèle MC3A-6-1000, Watertown Massachusetts). Ce type de plate-forme a fait l'objet d'une validation (Desjardins and Gagnon, 2001).

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

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

ANNEXE C : DÉFINITION DES VARIABLES CINÉMATIQUE ET CINÉTIQUES

Tableau C.1. Définition des variables cinétiques et cinématiques

Variable	Description de la variable
Moment résultant maximal à L5/S1 (N•m)	Valeur maximale du moment (m) résultant à L5/ S1. Moment résultant = $\sqrt{m_{Transverse}^2 + m_{Sagittal}^2 + m_{longitudinal}^2}$
Occurrence (%)	Occurrence du moment résultant : valeur négative = phase pré-envol ; 0 à 50% = phase de levage ; 51 à 100% = phase de dépôt ; 100% = phase post-envol
Angle de flexion lombaire (°)	Angle de flexion de la région lombaire (°) d'après la définition de (Grood and Sunstay, 1983)
Index de flexibilité lombaire (%)	Index de flexibilité correspond à l'angle de flexion lombaire divisé par la valeur représentative de la flexion lombaire maximale de sujets du même âge (basé sur les données de (Troke <i>et al.</i> , 2005)
Angle de la flexion latérale (°)	Angle de flexion latérale lombaire (°) d'après la définition de (Grood and Sunstay, 1983)
Angle de torsion lombaire (°)	Angle de torsion lombaire (°) d'après la définition de (Grood and Sunstay, 1983)
Flexion du tronc à C7 p/r à la verticale(°)	Angle de flexion avant du tronc à C7 par rapport à la verticale (°)
Distance horizontale caisse-L5/S1 (m)	Distance horizontale (m) de la caisse à l'articulation L5/S1
Flexion genou droit (°)	Angle de flexion du genou droit (°)
Flexion genou gauche (°)	Angle de flexion du genou gauche (°)
Vélocité angulaire lombaire en flexion)	Vélocité angulaire de la région lombaire sur l'axe transverse du tronc (°/s)

ANNEXE D : RESULTATS DU TRANSFERT DE CAISSES DU DIABLE VERS LE CONVOYEUR

PHASE DE RETOUR VERS LE CONVOYEUR

La phase de retour vers le convoyeur consistait à déplacer les quatre types de caisse du diable vers le convoyeur. Le tableau D.1 présente la durée moyenne de cette tâche pour les experts et les novices. Les experts (4.6 s) ont pris légèrement plus de temps que les novices (4.3 s) à effectuer cette tâche, mais cette différence n'est pas significative. De même, la phase d'envol est légèrement plus élevée pour les experts (experts = 2.3 s vs novices = 2.0 s), mais encore une fois, cette différence n'est pas significative. Il y a cependant une interaction significative (Groupe x Hauteur) dans la phase de pré-envol : les experts étaient généralement plus rapides que les novices à se préparer pour soulever la caisse, sauf pour la condition la plus élevée sur le diable (experts = 1.2 s vs novice = 1.1 s).

Tableau D.1 Durée de la tâche de retour vers le convoyeur (n = 1920).

Variables	Experts		Novices		Effet G (p)	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Durée tâche (s)	4.6	1.3	4.3	1.3	0.50	0.07	0.70	0.88
Pré-envol - prise (s)	1.1	0.5	1.2	0.6	0.94	0.13	0.02	0.83
Envol (s)	2.3	0.8	2.0	0.7	0.20	0.57	0.14	0.99
Post-envol - (s)	1.1	0.6	1.1	0.6	0.86	0.40	0.70	0.94

D.1 Levage

Les résultats sont relativement similaires à ceux dévoilés lors de la phase de levage du convoyeur. Ainsi, l'angle de flexion lombaire (tableau D.2 ; figure D.1) et l'angle de flexion du thorax par rapport à la verticale (tableau D.3 et figure D.2) étaient significativement plus petits chez les experts que chez les novices. Également, les experts fléchissaient plus les genoux droit et gauche que les novices quoique la différence n'était significative que dans le cas du genou gauche à l'instant du moment résultant maximal (tableau D.2) et proche du niveau de signification pour la flexion maximale (tableau D.3). On observe aussi des interactions avec la hauteur des caisses (étage). En effet, plus la caisse était basse (étage 1), plus les experts augmentaient la flexion du thorax (tableau D.3 et figure D.2) et plus ils fléchissaient les genoux en augmentant leur amplitude de mouvement par rapport aux novices (tableau D.3 et figure D.3). Cette flexion des genoux faisait en sorte que les experts étaient significativement plus proches du sol et également plus proches verticalement de la caisse que les novices (tableau D.3).

Tableau D.2 Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de levage associé au même instant à d'autres variables pour les experts et les novices. (n = 1920)

Variables	Experts		Novices		Effet G p	Interaction (p)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment résultant max à L5/S1 (N•m)	169	60	176	58	0.59	0.31	0.20	0.66
Occurrence (%)	5	15	6	18	0.53	0.15	0.99	0.61
Angle de flexion lombaire (°)	34	22	45	25	0.00	0.24	0.09	0.73
Index de flexibilité lombaire (%)	54	36	65	36	0.09	0.36	0.97	0.66
Angle de flexion latérale lombaire (°)	-1	5	-1	7	0.69	0.40	0.27	0.15
Angle de torsion lombaire (°)	0	6	-2	8	0.33	0.42	0.84	0.19
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	42	23	52	27	0.02	0.45	0.07	0.14
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.37	0.08	0.39	0.09	0.25	0.17	0.26	0.14
Flexion du genou droit (°)	50	30	41	27	0.08	0.32	0.25	0.35
Flexion du genou gauche (°)	47	33	35	26	0.05	0.97	0.00	0.11
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	-10	20	-6	20	0.18	0.48	0.46	0.21

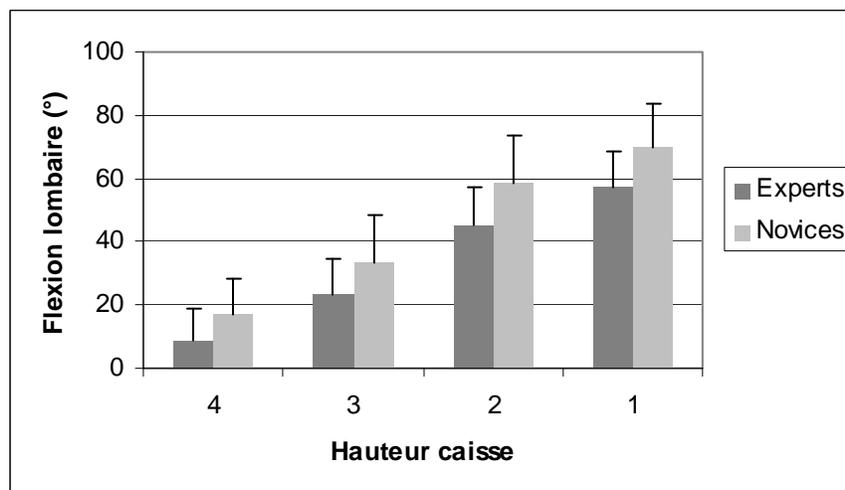


Figure D.1 Angle de flexion lombaire dans le levage vers le convoyeur lors du moment résultant maximal à L5/S1

Tableau D.3 Variables cinématiques d'importance lors de la phase de levage (n= 1920)

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Angle de flexion du thorax maximal p/r à la verticale (°)	50	24	60	27	0.01	0.87	0.05	0.58
Angle de flexion du thorax minimal p/r à la verticale (°)	19	16	28	23	0.15	0.76	0.19	0.39
Amplitude de l'angle de flexion du thorax (°)	31	20	32	21	0.61	0.99	0.79	0.25
Distance horizontale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.37	0.08	0.40	0.09	0.15	0.38	0.07	0.31
Distance verticale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.17	0.18	0.22	0.21	0.02	0.83	0.07	0.20
Hauteur minimal du CG par rapport au sol (m)	0.78	0.14	0.82	0.12	0.03	0.82	0.15	0.31
Flexion maximale du genou droit (°)	67	29	57	25	0.08	0.22	0.05	0.46
Amplitude articulaire du genou droit (°)	51	27	39	23	0.03	0.08	0.01	0.45
Flexion maximale du genou gauche (°)	61	33	49	26	0.09	0.62	0.00	0.23
Amplitude articulaire du genou gauche (°)	50	34	37	24	0.08	0.28	0.04	0.21

¹Cette distance n'est estimée que dans la phase d'envol.

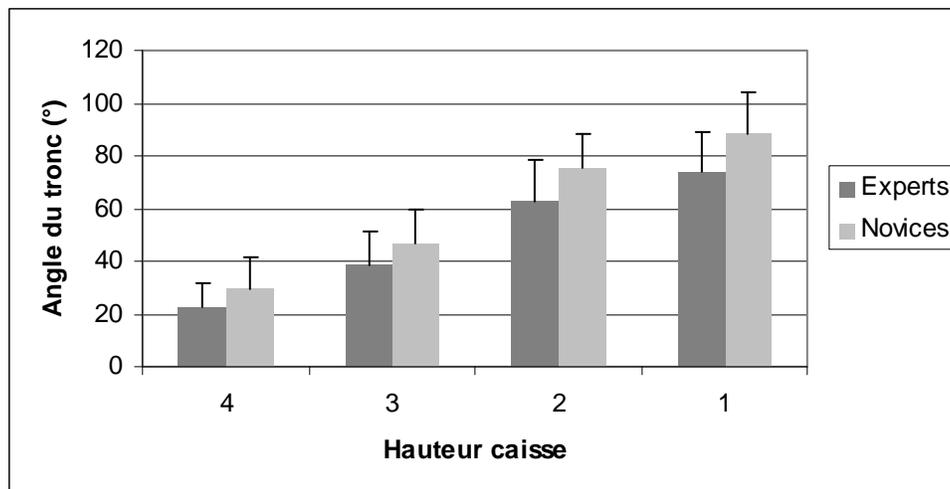


Figure D.2 Angle de flexion avant maximal du thorax par rapport à la verticale

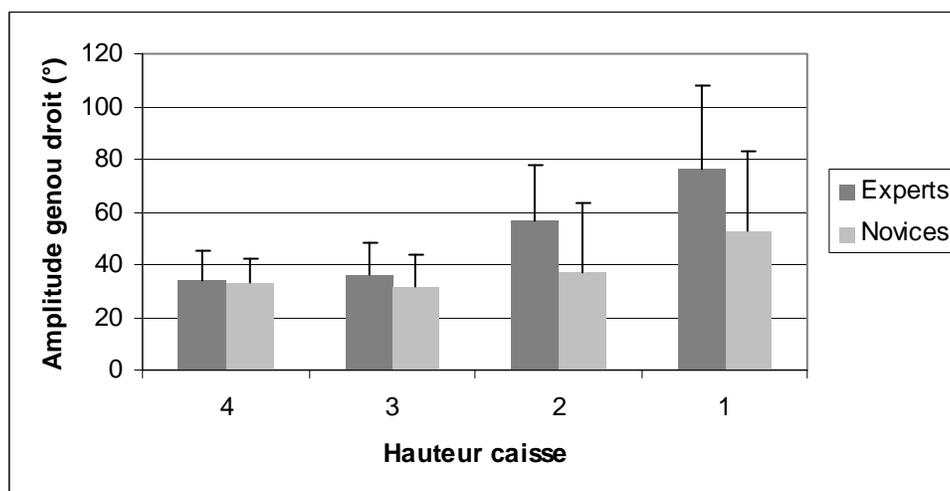


Figure D.3 Amplitude de la flexion du genou droit lors de la phase de levage vers le convoyeur.

Les moments étaient semblables entre experts et novices (tableaux D.2 et D.4) sauf en ce qui concerne le moment minimal en torsion (experts = -24 Nm vs novices = -30 Nm) dans lequel il existait une différence significative. On retrouve également une interaction entre l'expertise et le format de caisses pour ce qui concerne le moment maximal asymétrique. Ce dernier était légèrement supérieur pour les novices (expert = 68 Nm vs novices = 71 Nm), mais dans le cas de la caisse de 23 kg, la différence était encore plus marquée (expert = 72 Nm vs novices = 78 Nm) ce qui n'était pas le cas pour les trois autres types de caisse.

Tableau D.4 Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de levage pour les experts et les novices

Variables	Experts		Novices		Effet G (<i>p</i>)	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment max en extension (N•m)	161	63	166	60	0.68	0.44	0.20	0.86
Moment max asymétrique (N•m)	68	22	71	22	0.63	0.02	0.48	0.22
Moment max en flexion latérale (N•m)	53	29	57	27	0.54	0.07	0.43	0.11
Moment min en flexion latérale (N•m)	-43	24	-36	28	0.28	0.39	0.40	0.50
Moment max en torsion (N•m)	15	10	13	11	0.29	0.89	0.80	0.74
Moment min en torsion (N•m)	-24	12	-30	13	0.04	0.82	0.10	0.48

C.2 Dépôt

Les résultats de la phase de dépôt sur le convoyeur sont très semblables aux phases précédentes quant aux différences significatives entre experts novices sur l'angle de flexion lombaire, l'angle de flexion du thorax, les distances horizontale et verticale de la caisse à L5/S1 (tableaux D.5 et D.6, figure D.4). Le moment minimal en torsion est également différent (tableau D.7). L'écart entre experts et novices sur la flexion des genoux apparaît cependant moins grand quoiqu'il approche le niveau de signification pour le genou gauche (tableau D.6).

Tableau D.5 Moment résultant maximum à L5/S1 lors de la phase de dépôt associé au même instant à d'autres variables pour les experts et les novices. (n=1920)

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment résultant à L5/S1 (N•m)	207	41	221	35	0.27	0.75	0.17	0.33
Occurrence (%)	97	10	94	13	0.27	0.98	0.51	0.57
Angle de flexion lombaire (°)	51	11	65	15	0.00	0.57	0.91	0.46
Index de flexibilité lombaire (%)	81	20	95	20	0.06	0.42	0.93	0.36
Angle de flexion latérale lombaire (°)	2	8	4	8	0.39	0.69	0.83	0.54
Angle de torsion lombaire (°)	2	6	0	7	0.27	0.20	0.05	0.46
Flexion du thorax (C7) p/r à la verticale (°)	61	14	77	14	0.00	0.99	0.08	0.40
Distance horizontale de la caisse à L5/S1 (m)	0.45	0.07	0.49	0.07	0.28	0.75	0.17	0.33
Flexion du genou droit (°)	64	35	47	33	0.13	0.07	0.99	0.06
Flexion du genou gauche (°)	66	29	53	24	0.13	0.55	0.77	0.16
Vélocité angulaire lombaire en flexion (°/s)	19	10	18	12	0.72	0.36	0.06	0.81

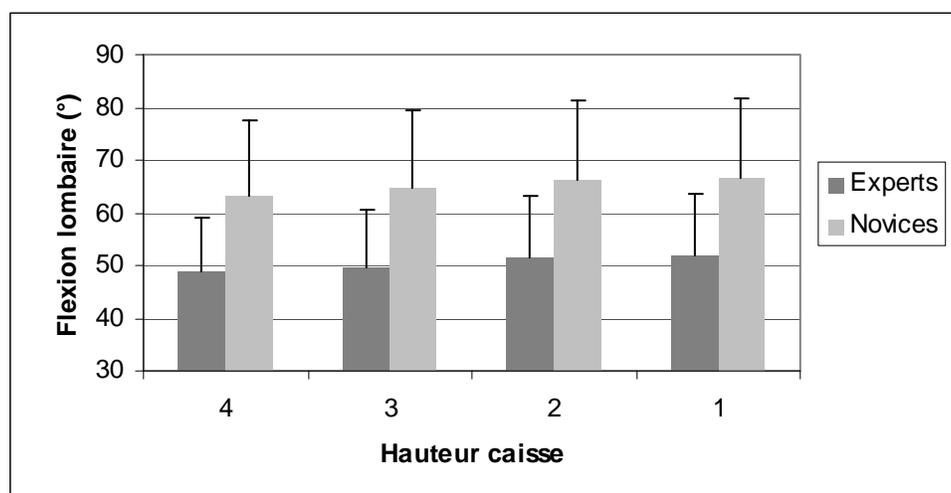


Figure D.4 Angle de flexion lombaire dans le dépôt sur le convoyeur lors du moment résultant maximal à L5/S1

Tableau D.6 Variables cinématiques d'importance lors de la phase de dépôt (n= 1920)

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Angle de flexion du thorax maximal p/r à la verticale (°)	69	14	84	15	0.00	0.74	0.10	0.55
Angle de flexion du thorax minimal p/r à la verticale (°)	24	16	35	21	0.09	0.65	0.22	0.45
Amplitude de l'angle de flexion du thorax (°)	45	16	49	21	0.37	0.94	0.08	0.43
Distance horizontale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.47	.07	0.52	.08	0.03	0.13	0.68	0.73
Distance verticale maximale de L5/S1 à la caisse (m) ¹	0.34	0.11	0.42	0.11	0.02	0.91	0.07	0.32
Hauteur minimal du CG par rapport au sol (m)	0.68	0.07	0.71	0.08	0.13	0.57	0.89	0.05
Flexion maximale du genou droit (°)	74	34	60	33	0.18	0.16	0.89	0.25
Amplitude articulaire du genou droit (°)	62	32	48	29	0.17	0.22	0.73	0.09
Flexion maximale du genou gauche (°)	84	25	71	26	0.06	0.28	0.53	0.58
Amplitude articulaire du genou gauche (°)	67	25	52	25	0.05	0.28	0.74	0.88

¹Cette distance n'est estimée que dans la phase d'envol.

Tableau D.7 Moments maximum à L5/S1 sur les autres axes lors de la phase de dépôt pour les experts et les novices

Variables	Experts		Novices		Effet G <i>p</i>	Interaction (<i>p</i>)		
	M	ET	M	ET		EC	EH	EO
Moment max en extension (N•m)	204	41	217	35	0.33	0.68	0.18	0.25
Moment max asymétrique (N•m)	59	17	64	23	0.40	0.06	0.25	0.25
Moment max en flexion latérale (N•m)	40	24	36	27	0.48	0.52	0.59	0.26
Moment min en flexion latérale (N•m)	-46	20	-49	26	0.78	0.16	0.19	0.08
Moment max en torsion (N•m)	19	10	17	13	0.27	0.92	0.04	0.76
Moment min en torsion (N•m)	-25	12	-32	14	0.02	0.96	0.56	0.50

ANNEXE E : INDICE DE FLEXIBILITE LOMBAIRE

Tableau E.1 Indice de flexibilité lombaire

Sujet	Age	Indice de flexibilité
1	43	60,8
2	30	66,6
3	30	66,6
4	37	63,5
5	52	56,9
6	25	68,8
7	34	64,8
8	31	66,1
9	51	57,3
10	27	67,9
11	24	69,2
12	41	61,7
13	44	60,4
14	24	69,2
15	22	70,1
16	42	61,3
17	27	67,9
18	24	69,2
19	20	71
20	18	71,8
21	27	67,9
22	24	69,2
23	25	68,8
24	27	67,9
25	20	71
26	21	70,5
27	50	57,7
28	51	57,3
29	30	66,6
30	26	68,3

ANNEXE F : FIGURES DES VARIABLES D'OBSERVATIONS ERGONOMIQUES

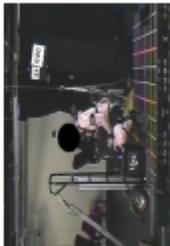
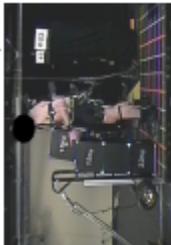
Variables	Classes	Critères d'observations
Type de déplacement	<p data-bbox="365 472 389 619">Transfert pur</p> 	<p data-bbox="365 1648 479 1911">Le manutentionnaire réalise le déplacement de la charge sans faire un pas : les pieds ne bougent pas ou presque pas. Il effectue un transfert en étant placé dès le début du mouvement dans l'axe du dépôt. On peut observer un alignement de la zone de prise, des pieds du manutentionnaire et de la zone de dépôt.</p>
	<p data-bbox="438 472 462 619">Transfert avec pivot</p> 	<p data-bbox="438 1648 787 1911">Le manutentionnaire réalise le déplacement de la charge sans faire un pas : mais avec des pivots autour de la jambe d'appui. Il effectue un transfert en réalisant plusieurs petits pas autour de la jambe d'appui. Le corps, les jambes et les pieds ne sont pas orientés vers le lieu de dépôt dès le début de la manutention mais ils accompagnent le mouvement.</p>
	<p data-bbox="812 472 836 619">Transport 1 pas</p> 	<p data-bbox="812 1648 1023 1911">Le manutentionnaire fait un pas et plus pour déplacer la boîte de la prise vers le dépôt.</p>
	<p data-bbox="1039 472 1063 619">Transport 2 pas</p> 	<p data-bbox="1039 1648 1250 1911">Le manutentionnaire fait deux pas et plus. Il s'agit d'autres pas que ceux autour de la jambe de pivot. Il s'agit d'autres pas que ceux autour de la jambe de pivot.</p>

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

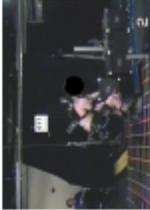
Variables	Classes	Critères d'observations
Orientation des pieds	Prise	Les pieds sont face au lieu de prise, ils ne sont pas du tout ouverts vers le dépôt.
		
Milieu		Les pieds sont +/- orientés vers le dépôt, ni totalement ouverts, ni totalement fermés. Le pied proche du dépôt est ouvert, l'autre pied est +/- ouvert. Il s'agit de la situation intermédiaire.
Dépôt		Les pieds sont très ouverts vers le lieu de dépôt. Par exemple, le pied le plus près du dépôt pointe vers le dépôt et le pied proche de la prise se déplace dans la même direction, il accompagne le mouvement.
		

Variables	Classes	Critères d'observations
Accélération	Mouvement constant	Le mouvement de la charge est constant du début à la fin de la manutention.
	Un peu	Le manutentionnaire donne un peu de vitesse à la charge, on peut observer une petite accélération à la prise de la boîte.
Guidage	Beaucoup	Le manutentionnaire donne beaucoup de vitesse à la charge, on peut observer une forte accélération à la prise de la boîte. La prise apparaît assez brusque.
	Oui	Le manutentionnaire guide la charge dans la deuxième partie du transfert. Cela peut donner l'impression que la charge n'est plus soutenue par le sujet. Il est plus rare d'observer ce guidage lors d'un transport et/ou d'une manutention très sécuritaire.
	Non	Le manutentionnaire ne guide pas la charge : il ne l'accompagne dans son mouvement naturel.
Orientation de la charge	Totalement orientée	La charge est déplacée afin d'être en direction du dépôt dès le début de la manutention. Elle pointe vers le lieu de dépôt (face carrée dirigée vers le lieu de dépôt). On observe le manutentionnaire effectuer des pré-manœuvres à cet effet avant de la soulever.
	Orientée +/-	La charge est plus ou moins orientée vers le lieu de dépôt. Le manutentionnaire a réalisé des manœuvres pour cela, mais il aurait été possible de l'orienter encore plus. Elle se trouve de biais entre sa position initiale et le lieu de dépôt.
	Non orientée	La charge n'est pas du tout orientée vers le lieu de dépôt. Elle est soulevée telle qu'elle se trouvait à l'origine sur la surface de prise. Il n'y a pas de pré-manœuvre pour l'orienter.

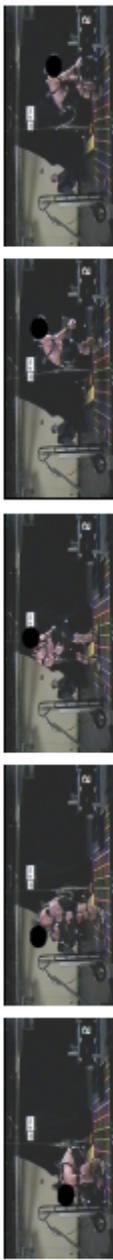
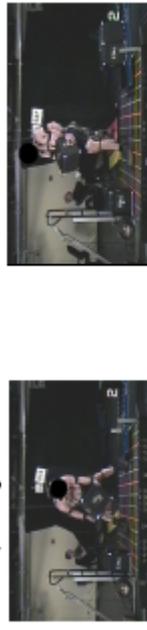
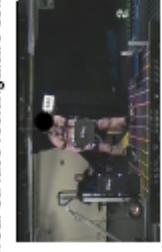
Variables	Classes	Critères d'observations
Inclinaison de la charge	Totalemment inclinée	<p>La charge est totalement inclinée sur une arête pour obtenir la hauteur maximum à laquelle le manutentionnaire peut la saisir lorsqu'il la soulève de la surface de prise. Il va la faire basculer ou rouler pour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

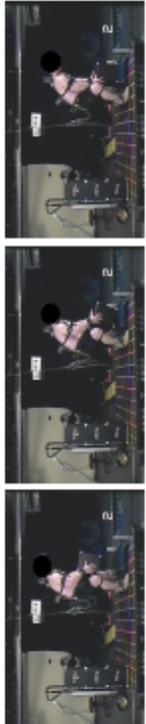
Variables	Classes	Critères d'observations
Rapprochement de la charge	Maximum	<p>La charge est rapprochée au maximum au bord (palette ou convoyeur), de plus elle est soulevée uniquement lorsque que la partie arrière se trouve au bord de la palette. Le manutentionnaire a pu la faire glisser, basculer ou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

Variables	Classes	Critères d'observations
Posture des jambes	Jambes ensemble	<p>Les jambes adoptent la même posture, elles jouent le même rôle dans la base d'appui. Elles se retrouvent +/- côte à côte, le poids est réparti uniformément dans la base d'appui. Par exemple, elles sont toutes les deux tendues, ou encore toutes les deux fléchies (squat +/- prononcé).</p>
		
	Jambes indépendantes	<p>Les jambes n'ont pas la même posture, elles ne semblent pas jouer le même rôle (compensation segmentaire) dans la base d'appui : l'une semble plus sollicitée que l'autre (jambe avant : appui principal). Les pieds peuvent être décalés l'un par rapport à l'autre (latéralement ou d'avant vers l'arrière), il peut y avoir une jambe plus libre que l'autre (une tendue et l'autre pliée).</p>
		

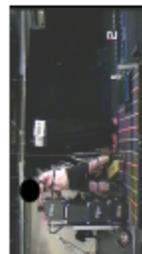
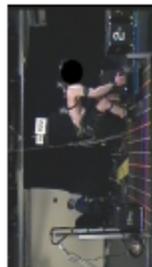
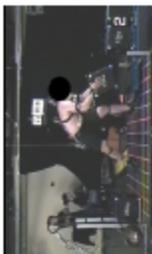
Variables	Classes	Critères d'observations
Contrepoids	Jambe important	<p>Il s'agit d'une utilisation prononcée des jambes pour faire contrepoids : le manutentionnaire place une jambe libre (en l'air) ou sur la pointe du pied (vers l'arrière, latéralement ou en rotation) assez loin (plus de 3 carreaux sur la plate-forme au sol), cette jambe accompagne le mouvement sans être bloquée. Si les pieds sont proches à la prise, il est difficile d'observer ce type d'intensité de contrepoids.</p> 
	Jambe moyen	<p>Le manutentionnaire utilise une jambe libre ou une jambe sur la pointe du pied (vers l'arrière, latéralement ou en rotation), pour contrebalancer le poids de la charge. Mais cette jambe n'est pas placée très loin (moins de 3 carreaux sur la plate-forme au sol).</p> 
	Bassin	<p>Le manutentionnaire utilise son bassin pour faire contrepoids : ses fesses sont projetées vers l'arrière. On peut observer un fléchissement des jambes et un dos penché. Dans ce cas, cela implique souvent un transport de la boîte.</p> 
	Nul	<p>Le manutentionnaire n'utilise ni son bassin ni ses jambes pour faire contrepoids.</p> 
Transfert de poids	Important	<p>Il y a engagement de l'ensemble du corps, le fléchissement et le transfert entre les deux jambes est marqué. Les jambes sont souvent plus écartées pour faciliter ce transfert.</p>
	Moyen	<p>Transfert de poids simple d'une jambe à l'autre, on observe plutôt un travail des membres supérieurs. Le manutentionnaire déplace le poids de son corps d'une jambe à l'autre en fléchissant d'un côté à l'autre, il alterne d'un côté à l'autre.</p>

Variables	Classes	Critères d'observations
Type de prise	Barrée	<p>La prise utilisée par le manutentionnaire est surtout de type symétrique. Elle ne lui permet pas de faire bouger la boîte facilement dans ses mains (rotations, bascules, etc.). Les mains peuvent être à plat sur la boîte, elles sont placées sur des faces plutôt que sur des arêtes ou des coins. Le rôle des deux mains semble assez similaire (effet de miroir).</p> 
	Flexible	<p>La prise utilisée par le manutentionnaire est surtout de type asymétrique. Elle lui permet de faire bouger et de contrôler la boîte aisément. Les mains peuvent être placées en diagonale, généralement sur des coins ou des arêtes de la boîte. Le rôle des deux mains semble plutôt complémentaire : l'une jouant le rôle de pivot, de soutien, tandis que l'autre permet de manipuler, de "jouer" avec la boîte.</p> 
Changement de prise	Oui	<p>Le manutentionnaire change de prise en cours de manutention une fois ou plus. S'il lâche la boîte et qu'il la reprend avec la même prise cela constitue aussi un changement de prise.</p>
	Non	<p>Le manutentionnaire conserve la même prise sur la boîte du début à la fin de la manutention : du moment où il la touche au moment où elle est déposée.</p>

Variables	Classes	Critères d'observations
Mouvement de la charge	Vertical	Le mouvement de la charge est surtout vertical, dans un mouvement de soulèvement. Le mouvement est généralement plus long. 
	Combiné	Le mouvement de la charge combine à la fois un mouvement vertical et horizontal. Il peut s'agir d'un mouvement en courbe, en escalier ou en ellipse. 
	Horizontal	Le mouvement de la charge est surtout horizontal. La trajectoire de la charge est plus linéaire, elle reste plus près du sol. Cela s'observe le plus souvent lors de transferts aux mêmes niveaux. 
	Incliné	La charge est plus ou moins inclinée lors du mouvement. L'inclinaison peut se faire latéralement et/ou dans le plan sagittal. 
Position de la charge	À plat	La charge est déplacée à plat, soit sur sa face rectangulaire soit sur sa face carrée. 

Variables	Classes	Critères d'observations
Distance de la charge	Proche	La boîte est proche du corps du manutentionnaire, elle peut être collée. Les bras du manutentionnaire sont pliés 45°. 
	Éloignée	La boîte est éloignée du corps du manutentionnaire pendant le mouvement. Les bras du manutentionnaire sont tendus et maintiennent la charge. 
Contact avec le corps	Oui	Le manutentionnaire utilise un segment corporel, en général la jambe ou le genou, pour déposer la charge. Il peut donner un coup pour diriger la charge vers le lieu de dépôt. En général cela s'observe avec les charges qui sont déposées en hauteur. 
	Non	Le manutentionnaire n'utilise pas d'autre segment corporel que ses mains pour déposer la charge. 
Type de dépôt	Complet	Le manutentionnaire accompagne la charge jusqu'au dernier moment, jusqu'à la surface de dépôt. Il la contrôle jusqu'à la fin du dépôt. 
	Laisser aller	Le manutentionnaire laisse aller la charge, elle lui glisse entre les mains, il ne la retient pas jusqu'au bout. 

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



ANNEXE G : TESTS DE REPRODUCTIBILITÉ INTRA ET INTER-OBSERVATEUR DES VARIABLES D'OBSERVATIONS

Tableau E.1 test de reproductibilités des variables d'observation

Variables / classes	INTRA SUJET								INTER SUJET								
	Taux	Désaccords novices			Désaccords experts				Taux	Désaccords novices			Désaccords experts				
		1	2	15	4	5	6	13		1	2	15	4	5	6	13	
Variables de déplacements																	
Type de déplacement : <i>Transfert pur; Transfert par pivot; Transport 1 pas; Transport ≥ 2 pas</i>	88	-	3	1	2	2	3	3	89	1	4	1	4	-	1	1	
Continuité : <i>Par bloc au long; Par bloc prise; Par bloc dépôt; Continu</i>	93	1	3	2	-	-	-	2	94	1	1	1	-	-	-	4	
Orientation des pieds : <i>Prise; Milieu; Dépôt</i>	84	1	5	3	1	3	2	3	89	4	3	1	1	-	-	3	
Façon de manutentionner : <i>Sécuritaire; Hybride; Économique</i>	82	3	3	2	4	-	3	5	88	3	1	1	5	-	-	4	
Variables de fluidité																	
Fluidité : <i>Mouvement fluide; Mouvement +/- fluide</i>	85	2	4	3	2	3	1	2	87	2	1	5	3	2	2	-	
Travail contre la charge : <i>Oui; Non</i>	82	4	2	4	2	2	2	4	80	2	1	5	7	2	5	1	
Accélération : <i>Mouvement constant; Un peu; Beaucoup</i>	74	4	4	4	6	3	2	6	73	4	2	2	8	3	5	6	
Guidage : <i>Oui; Non</i>	93	1	1	1	1	1	-	3	89	1	1	4	1	1	2	2	
Variables de pré-manœuvres																	
Orientation de la charge : <i>Totalement orientée; +/- orientée; Non orientée</i>	82	3	1	4	2	2	3	5	84	4	3	-	3	-	2	6	
Inclinaison de la charge : <i>Totalement inclinée; +/- inclinée; Non inclinée</i>	85	1	1	2	6	1	2	4	86	3	-	5	1	2	-	5	
Rapprochement de la charge : <i>Maximum; Moyen; Nul</i>	89	3	1	2	1	-	2	3	87	2	2	3	1	1	2	4	
Variables du travail des jambes																	
Posture des jambes : <i>Jambes ensembles; Jambes indépendantes</i>	95	-	1	3	-	-	2	-	96	1	1	1	2	-	-	-	
Contrepoids : <i>Jambe important; Jambe moyen; Bassin; Nul</i>	92	-	3	3	1	1	1	-	90	-	1	2	4	2	2	-	
Transfert de poids : <i>Important; Moyen</i>	88	2	2	-	2	1	4	2	87	6	1	2	2	-	2	2	
Variables du travail des mains																	
Type de prise : <i>Barrée; Flexible</i>	96	1	-	2	-	-	1	-	95	1	-	1	2	-	2	-	
Changement de prise : <i>Oui; Non</i>	96	-	-	-	1	-	3	-	96	1	-	-	2	-	2	-	
Variables sur la charge																	
Mouvement de la charge : <i>Vertical; Combiné; Horizontal</i>	84	2	4	3	3	2	1	3	85	2	2	3	4	2	1	3	
Position de la charge : <i>Inclinée; À plat</i>	88	-	2	2	3	1	2	3	88	-	-	1	2	2	3	5	
Distance de la charge : <i>Proche; Éloignée</i>	94	-	3	2	-	-	-	2	89	-	3	3	-	-	-	6	
Contact avec le corps : <i>Oui; Non</i>	99	-	-	-	-	1	-	-	95	5	-	-	-	1	-	-	
Variables de dépôt																	
Type de dépôt : <i>Complet; Laisser aller</i>	83	3	1	3	3	3	4	2	80	5	2	2	1	3	6	3	
Ajustements post-dépôt : <i>Oui; Non</i>	96	-	1	-	1	-	2	-	95	-	-	-	1	-	5	-	
Rapidité du dépôt : <i>Le plus rapide; Moyen</i>	99	-	-	-	-	-	1	-	93	-	1	-	-	-	1	6	
Inclinaison au dépôt : <i>Totalement inclinée; +/- inclinée; Nulle</i>	90	-	2	1	2	1	-	5	83	1	6	1	5	1	4	1	
TOTAL des désaccords sujets		31	44	46	41	25	38	54		49	36	44	59	22	47	62	

ANNEXE H : RÉSULTATS DES OBSERVATIONS ERGONOMIQUES

Tableau H.1 Résultats des observations ergonomiques en fonction de différentes conditions.

Variables	Toutes données (N=1120)	Séance		Vitesse (palettes)		Direction (diabes)		Hauteur prise (diabes)		Type boîte (diabes)			
		Palette (n=480)	Diabes (n=640)	Libre (n=240)	Imposée (n=240)	Aller (n=320)	Retour (n=320)	Bas (n=480)	Haut (n=160)	15 kg (n=160)	15 kg I. (n=160)	15 kg D. (n=160)	23 kg (n=160)
Type déplacement													
Transfert pur	185 (17)	40 (8)	145 (23)	26 (11)	14 (6)	70 (22)	75 (23)	108 (23)	38 (24)	35 (22)	42 (26)	33 (21)	35 (22)
Transfert pivot	170 (15)	66 (14)	104 (16)	34 (14)	32 (13)	56 (18)	48 (15)	87 (18)	18 (11)	30 (19)	25 (16)	29 (18)	20 (13)
Transport 1 pas	386 (34)	251 (52)	135 (21)	121 (50)	130 (54)	74 (23)	61 (19)	100 (21)	34 (21)	35 (22)	31 (19)	36 (22)	33 (21)
Transport 2 pas	379 (34)	123 (26)	256 (40)	59 (25)	64 (27)	120 (37)	136 (43)	184 (38)	70 (44)	60 (37)	62 (39)	62 (39)	72 (45)
Continuité													
Bloc au long	591 (53)	240 (50)	351 (55)	127 (53)	113 (47)	209 (65)	142 (44)	43 (9)	17 (11)	21 (13)	14 (9)	14 (9)	11 (7)
Bloc prise	92 (8)	32 (7)	60 (9)	30 (13)	2 (1)	24 (8)	36 (11)	35 (7)	40 (25)	17 (11)	18 (11)	21 (13)	19 (12)
Bloc dépôt	220 (20)	145 (30)	75 (12)	60 (25)	85 (35)	12 (4)	63 (20)	287 (60)	64 (40)	85 (53)	86 (54)	87 (54)	93 (58)
Continu	216 (19)	62 (13)	154 (24)	22 (9)	40 (17)	75 (23)	79 (25)	115 (14)	39 (24)	37 (23)	42 (26)	38 (24)	37 (23)
Orientation pieds													
Prise	461 (61)	166 (35)	295 (46)	108 (45)	58 (24)	155 (49)	140 (44)	231 (48)	64 (40)	74 (46)	74 (46)	74 (46)	73 (46)
Milieu	503 (45)	253 (53)	250 (39)	107 (45)	146 (61)	145 (45)	105 (33)	195 (41)	55 (34)	64 (40)	58 (36)	61 (38)	67 (42)
Dépôt	155 (14)	60 (12)	95 (15)	24 (10)	36 (5)	20 (6)	75 (23)	54 (11)	41 (26)	22 (14)	28 (18)	25 (16)	20 (12)
Façon manut.													
Sécuritaire	310 (28)	78 (16)	232 (36)	45 (19)	33 (14)	126 (40)	106 (33)	186 (39)	46 (29)	57 (36)	48 (30)	55 (34)	72 (45)
Hybride	721 (64)	380 (79)	341 (53)	183 (76)	197 (82)	158 (49)	183 (57)	238 (50)	103 (64)	82 (51)	92 (58)	87 (54)	80 (50)
Économique	88 (8)	21 (4)	67 (11)	11 (5)	10 (4)	36 (11)	31 (10)	56 (11)	11 (7)	21 (13)	20 (12)	18 (11)	8 (5)
Fluidité													
Mvt fluide	375 (33)	140 (29)	235 (37)	80 (33)	60 (25)	112 (35)	123 (38)	165 (34)	70 (44)	70 (44)	87 (54)	53 (33)	26 (16)
Mvt +/- fluide	743 (66)	338 (71)	405 (63)	159 (66)	179 (75)	208 (65)	197 (62)	315 (66)	90 (56)	90 (56)	73 (46)	108 (67)	134 (84)
Travail contre													
Oui	524 (47)	251 (52)	273 (43)	122 (51)	129 (54)	132 (41)	141 (44)	195 (41)	78 (49)	61 (38)	67 (42)	57 (36)	88 (55)
Non	596 (53)	229 (48)	367 (57)	118 (49)	111 (46)	188 (59)	179 (56)	285 (59)	82 (51)	99 (62)	93 (58)	103 (64)	72 (45)
Accélération													
Mvt constant	293 (26)	143 (30)	150 (23)	77 (32)	66 (28)	54 (17)	96 (30)	81 (17)	69 (43)	37 (23)	51 (32)	40 (25)	22 (14)
Un peu	524 (47)	237 (49)	287 (45)	119 (50)	118 (49)	147 (46)	140 (44)	218 (45)	69 (43)	87 (54)	73 (46)	77 (48)	50 (31)
Beaucoup	301 (27)	99 (21)	202 (32)	43 (18)	56 (23)	119 (37)	83 (26)	181 (38)	21 (13)	35 (22)	36 (22)	43 (27)	80 (50)
Guidage													
Oui	95 (8)	29 (6)	66 (10)	18 (8)	11 (5)	39 (12)	27 (8)	50 (10)	16 (10)	23 (14)	13 (8)	22 (14)	8 (5)
Non	1025 (92)	451 (94)	574 (90)	222 (92)	229 (95)	281 (82)	293 (92)	429 (89)	144 (90)	137 (86)	147 (92)	138 (86)	152 (95)

Tableau H.1 Résultats des observations ergonomiques en fonction de différentes conditions (suite).

Variables	Toutes données (N=1120)	Séance		Vitesse (palettes)		Direction (diabes)		Hauteur prise (diabes)		Type boîte (diabes)			
		Palette (n=480)	Diable (n=640)	Libre (n=240)	Imposée (n=240)	Aller (n=320)	Retour (n=320)	Bas (n=480)	Haut (n=160)	15 kg (n=160)	15 kg I. (n=160)	15 kg D (n=160)	23 kg (n=160)
Sur la charge													
<i>Mouvement</i>													
Vertical	111 (10)	18 (4)	93 (14)	16 (7)	2 (1)	52 (16)	41 (13)	90 (19)	3 (2)	23 (14)	23 (14)	21 (13)	26 (16)
Combiné	834 (74)	367 (76)	467 (73)	176 (73)	191 (80)	240 (75)	227 (71)	310 (65)	157 (98)	115 (72)	118 (74)	113 (71)	121 (76)
Horizontal	174 (16)	94 (20)	80 (13)	47 (20)	47 (19)	28 (9)	52 (16)	80 (16)	-	22 (14)	19 (12)	26 (16)	13 (8)
<i>Position</i>													
Inclinée	823 (74)	354 (74)	469 (73)	171 (71)	183 (76)	265 (83)	204 (64)	383 (80)	86 (54)	122 (76)	94 (59)	138 (86)	115 (72)
À plat	295 (26)	125 (26)	170 (27)	68 (28)	57 (24)	54 (17)	116 (36)	96 (20)	74 (46)	38 (24)	66 (41)	21 (13)	45 (28)
<i>Distance</i>													
Proche	906 (81)	459 (91)	447 (70)	231 (96)	228 (95)	219 (68)	228 (71)	318 (66)	129 (81)	106 (66)	108 (68)	113 (71)	120 (75)
Éloignée	212 (19)	20 (4)	192 (30)	8 (3)	12 (5)	100 (31)	92 (29)	161 (34)	31 (19)	54 (34)	52 (32)	46 (29)	40 (25)
<i>Contact corps</i>													
Oui	21 (2)												
Non	1098 (98)												
Dépôt													
<i>Type</i>													
Complet	729 (65)	317 (66)	412 (64)	154 (64)	163 (68)	184 (57)	228 (71)	297 (62)	115 (72)	97 (61)	100 (63)	116 (73)	99 (62)
Laisser aller	384 (34)	156 (33)	228 (36)	83 (36)	73 (30)	136 (43)	92 (29)	183 (38)	45 (28)	63 (39)	60 (37)	44 (27)	61 (38)
<i>Ajustements</i>													
Oui	406 (36)	265 (55)	140 (22)	135 (56)	130 (54)	129 (40)	11 (3)	136 (28)	6 (4)	29 (18)	35 (22)	40 (25)	36 (22)
Non	714 (64)	215 (45)	500 (78)	105 (44)	110 (46)	191 (60)	309 (97)	344 (72)	154 (96)	131 (82)	125 (78)	120 (75)	124 (78)
<i>Rapidité</i>													
Le plus rapide	10 (1)												
Moyen	1109 (99)												
<i>Inclinaison</i>													
Totale	106 (10)	23 (5)	83 (13)	15 (6)	8 (3)	11 (3)	72 (23)	52 (11)	30 (19)	16 (9)	18 (11)	29 (18)	21 (13)
+/- inclinée	269 (26)	88 (18)	207 (32)	45 (19)	43 (18)	72 (23)	135 (42)	139 (29)	69 (43)	58 (36)	46 (29)	55 (34)	48 (30)
Nulle	714 (64)	368 (77)	350 (55)	179 (75)	189 (79)	237 (74)	113 (35)	289 (60)	61 (38)	87 (55)	96 (60)	76 (48)	91 (57)

ANNEXE I : DÉFINITIONS DES PRINCIPES DE MANUTENTION

Tableau I.1 Définitions des principes de manutention tel que décrit dans le projet de l'IRSST 099-563 (Denis *et al.*, 2009⁸).

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

⁸ Denis,D., Gonella, M., St-Vincent, M., Plamondon, A., Lortie,M., Delisle,A., Tardif,J., Lafond, D., Développement d'un programme de formation à la manutention manuelle. IRSST 099-563.