

Recherches biomécaniques en laboratoire

André Plamondon

*Prévention durable en SST et environnement de
travail*



Nature du problème

- La manutention constitue l'une des activités de travail qui cause le plus de blessures au dos. La CNESST débourse annuellement autour de 85 millions de dollars en compensation pour les lésions au dos aux manutentionnaires (Boucher *et al.*, 2019)¹.
- La cause est difficile à déterminer par la complexité du problème.
- Hypothèse : les charges excessives exercées sur le dos sont une cause possible de blessures.

¹ Boucher, A., *et al.* (2019). Lésions professionnelles acceptées qui sont des TMS reliés à la manutention, Québec, 2013 à 2017. Direction scientifique – Groupe connaissance et surveillance statistique, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).

Questions de recherche

En 2003, l'IRSST décidait de consacrer d'importantes ressources à une série d'études sur le terrain et en laboratoire sur la manutention pour répondre aux deux questions suivantes :

- **Question 1** : Qu'est-ce qui distingue les experts des novices dans la façon d'exécuter une tâche de manutention et la répercussion de ce type d'exécution sur la formation des manutentionnaires?
- Des manutentionnaires **experts** ont acquis des habiletés en manutention qui les différencient des travailleurs novices (travaux passés de Lortie et Gagnon) et qui les protégeraient des blessures.

Questions de recherche

- **Question 2** : Comment peut-on réduire l'exposition physique des manutentionnaires et quelles sont les mesures d'intervention les plus efficaces?
 - Les charges excessives sur le dos peuvent être réduites en intervenant directement sur le contexte de travail.

Objectif de cette présentation

- Le but de cet exposé est de vous présenter des réponses aux deux questions dérivées des recherches en laboratoire.

Les moments externes

- Le concept **le plus important** associé au risque de lésion au dos lié au travail est celui des moments externes imposés à la colonne vertébrale (Marras *et al.*, 1993, 1995)
- C'est quoi un moment de force?

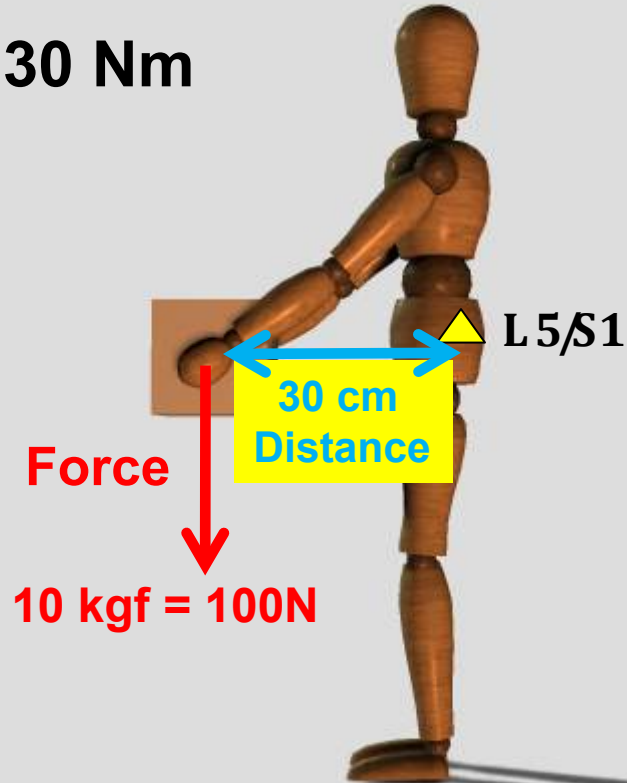
Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Rajulu, S. L., Allread, W. G., Fathallah, F. A. et Ferguson, S. A. (1993). The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine* 18(5), 617-628.

Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Fathallah, F. A., Ferguson, S. A., Allread, W. G. et Rajulu, S. L. (1995). Biomechanical risk factors for occupationally related low back disorders. *Ergonomics* 38(2), 377-410.

Concept 1 – Les moments de force au dos

Force x **distance** = Moment (Nm)

$$100 \text{ N} \times 0,30 = 30 \text{ Nm}$$



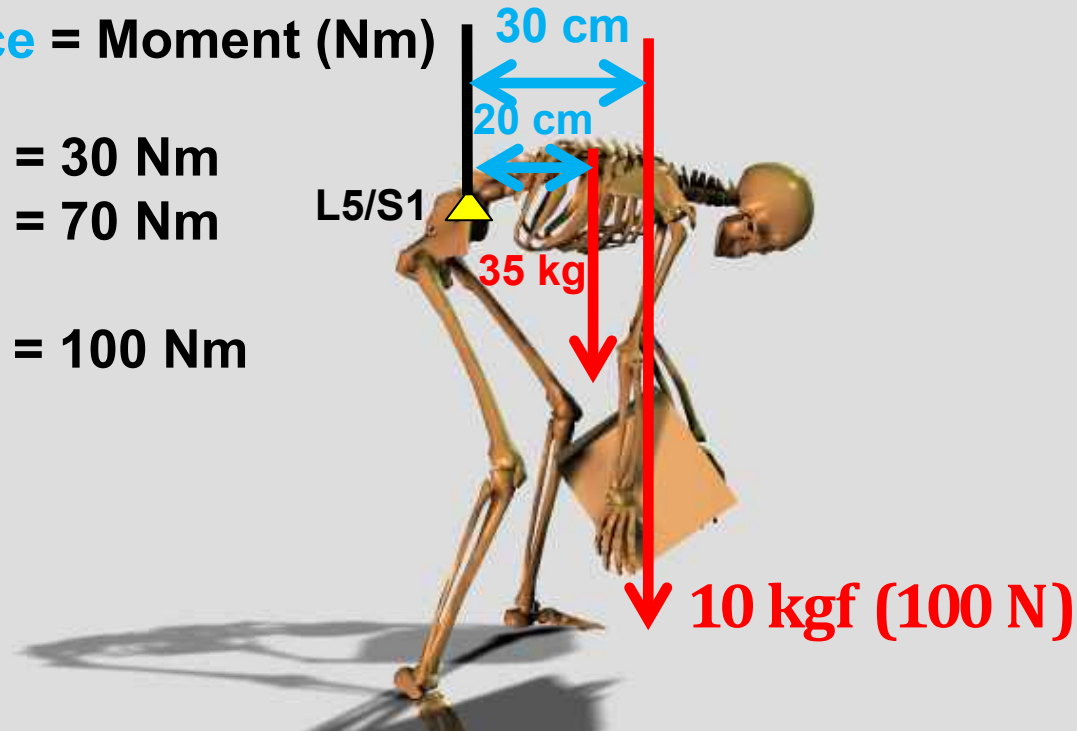
Concept 1 – Les moments de force au dos

Force x **distance** = Moment (Nm)

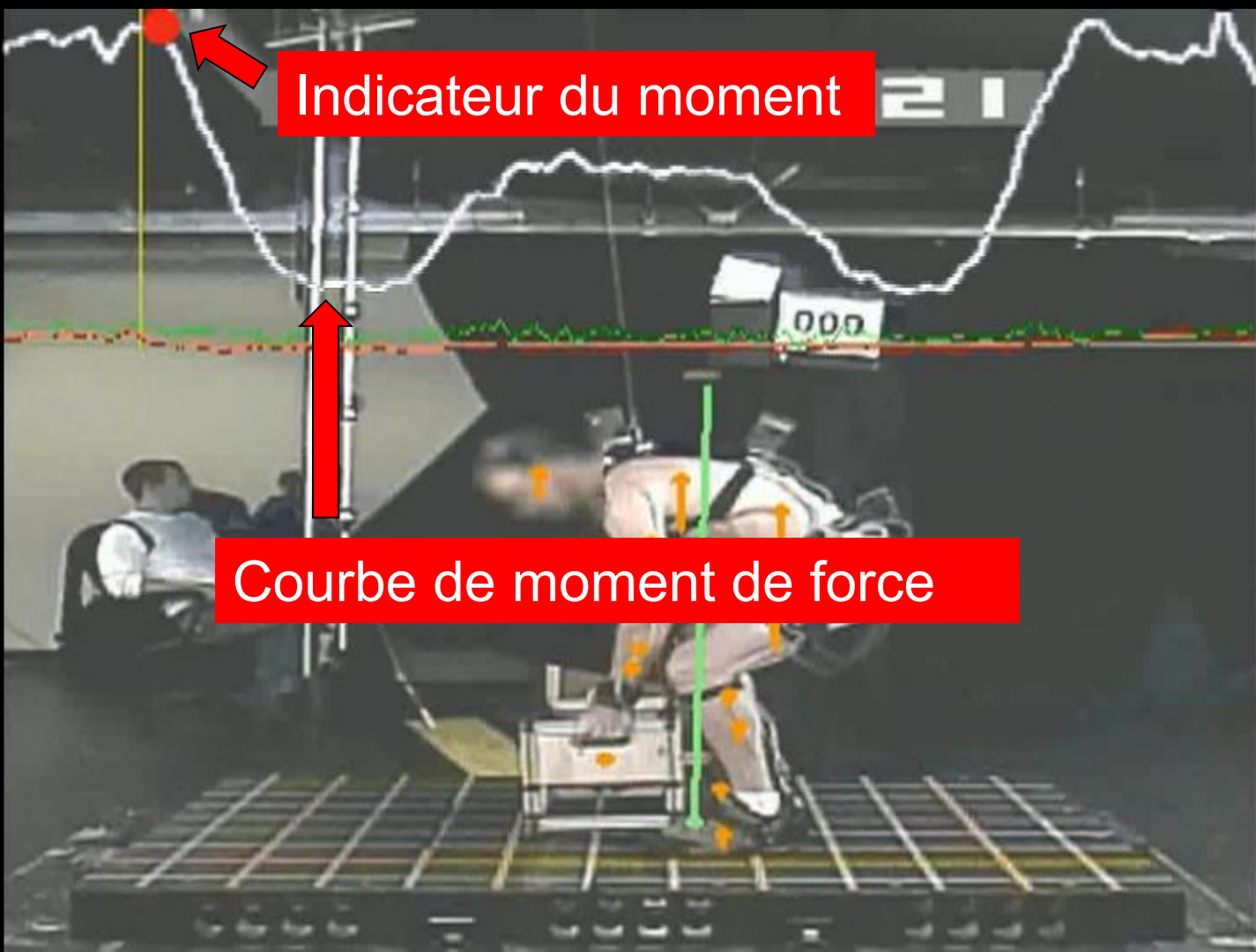
100 N x **0,30 m** = 30 Nm

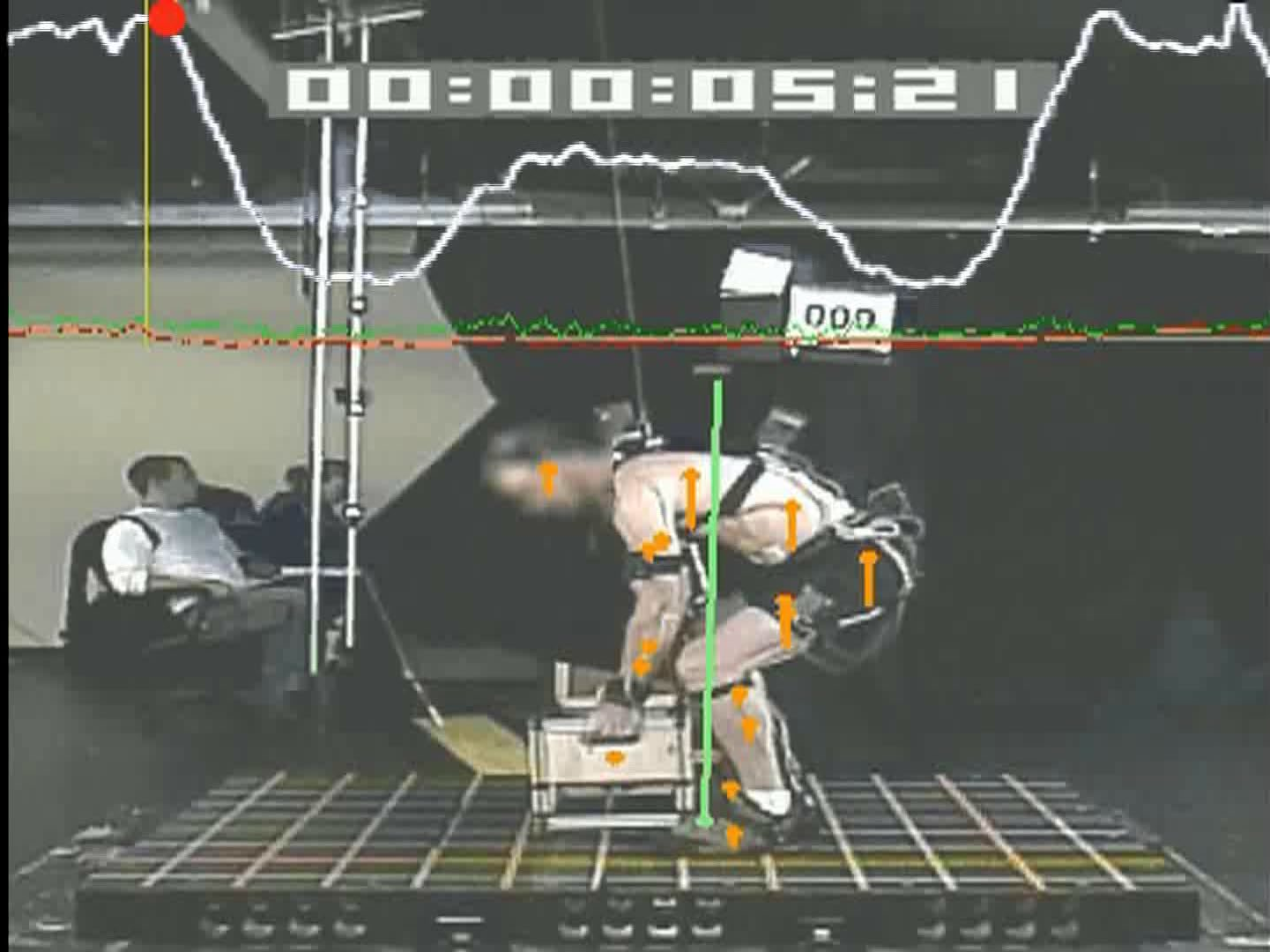
350 N x **0,20 m** = 70 Nm

70 Nm + **30 Nm** = **100 Nm**



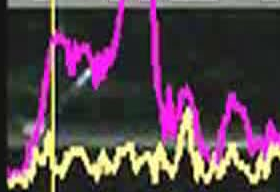
La composante dynamique du mouvement n'est pas considérée ici et elle augmente la grandeur du moment statique.





Charge au dos

19:09



05 007



Études sur les manutentionnaires en laboratoire

- Groupes de manutentionnaires invités au laboratoire :
 - Hommes : experts, novices
 - Femmes
- Des marqueurs sont posés sur les segments des participants.
- Les manutentionnaires effectuent des tâches de manutention.
- Les mouvements des segments (marqueurs) sont suivis au moyen de caméras et sont analysés pour comprendre les façons de faire des manutentionnaires.
- Façons de faire → compétences

45 marqueurs + électrodes EMG



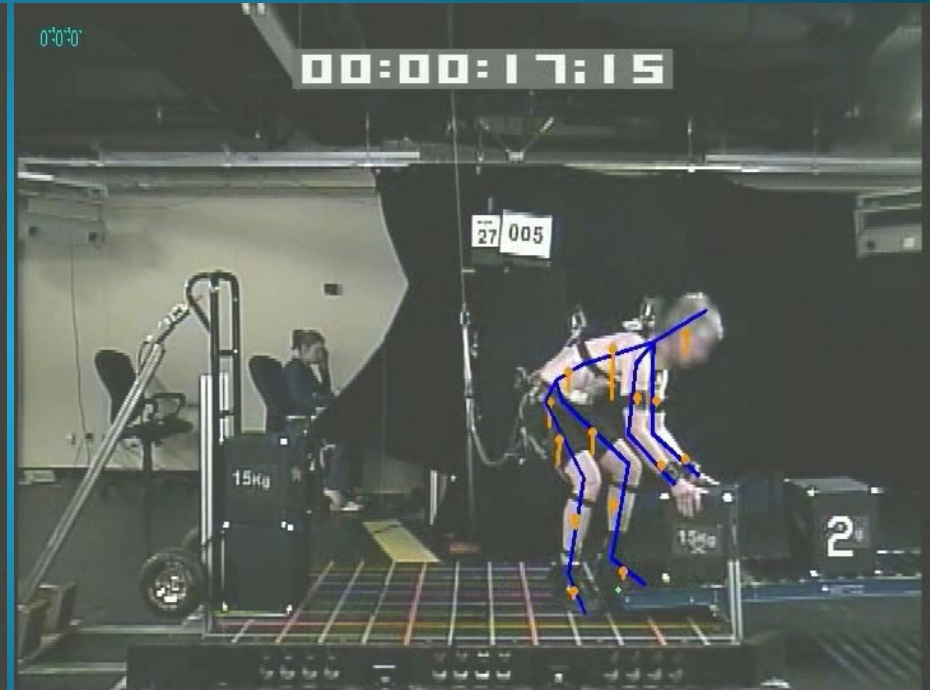
Étude des manutentionnaires ♂ experts et ♂ novices

- Deux groupes : 15 experts et 15 novices
- **Experts :**
 - 15 années d'expérience
 - Faible fréquence de blessures à vie
 - Reconnus compétents par leurs pairs
- **Novices :**
 - 6 mois d'expérience
 - Exempt de blessures dans la dernière année

Tâche de manutention d'un convoyeur à un diable

- Tâche :
 - Chargement et déchargement de quatre types de caisses d'un convoyeur vers le diable (aller) et du diable vers le convoyeur (retour) à 32 reprises.
- Instructions aux participants :
 - Reproduire la technique de manutention qu'ils utilisent dans leur lieu de travail.

Modèle biomécanique segmentaire



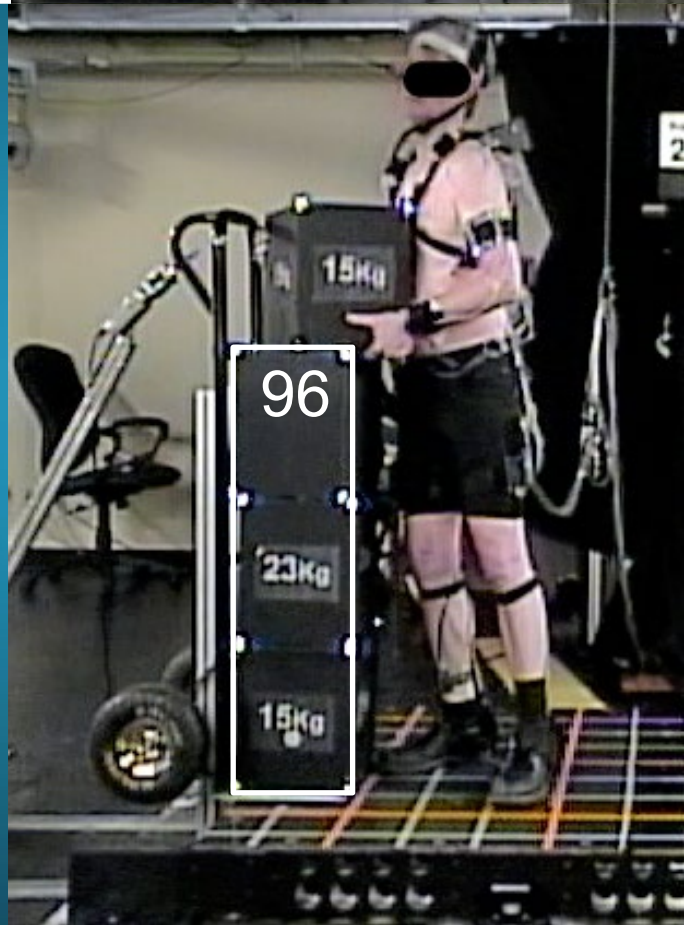
Tâche du diable à convoyeur

Lever de 96 cm

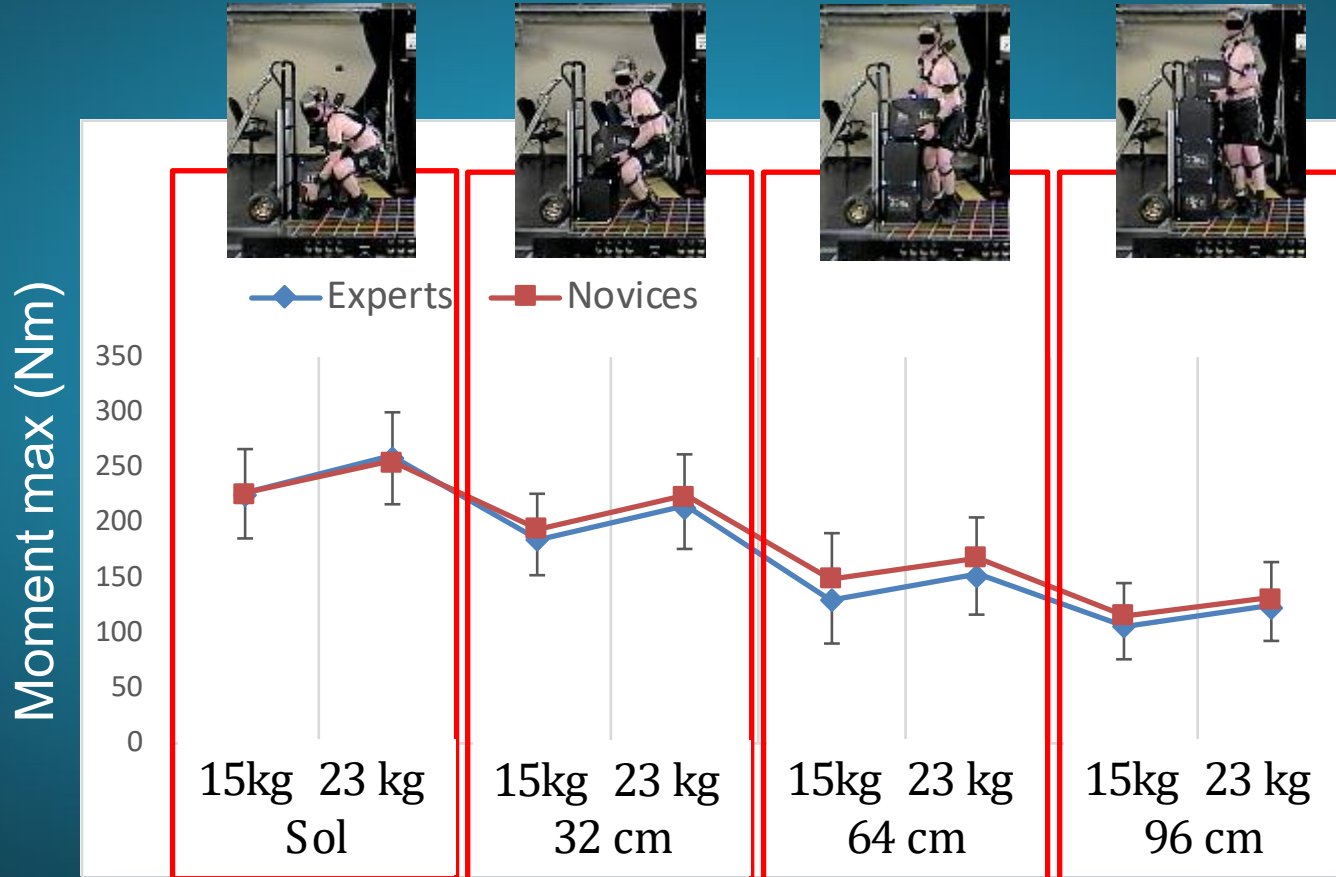
Lever de 64 cm

Lever de 32 cm

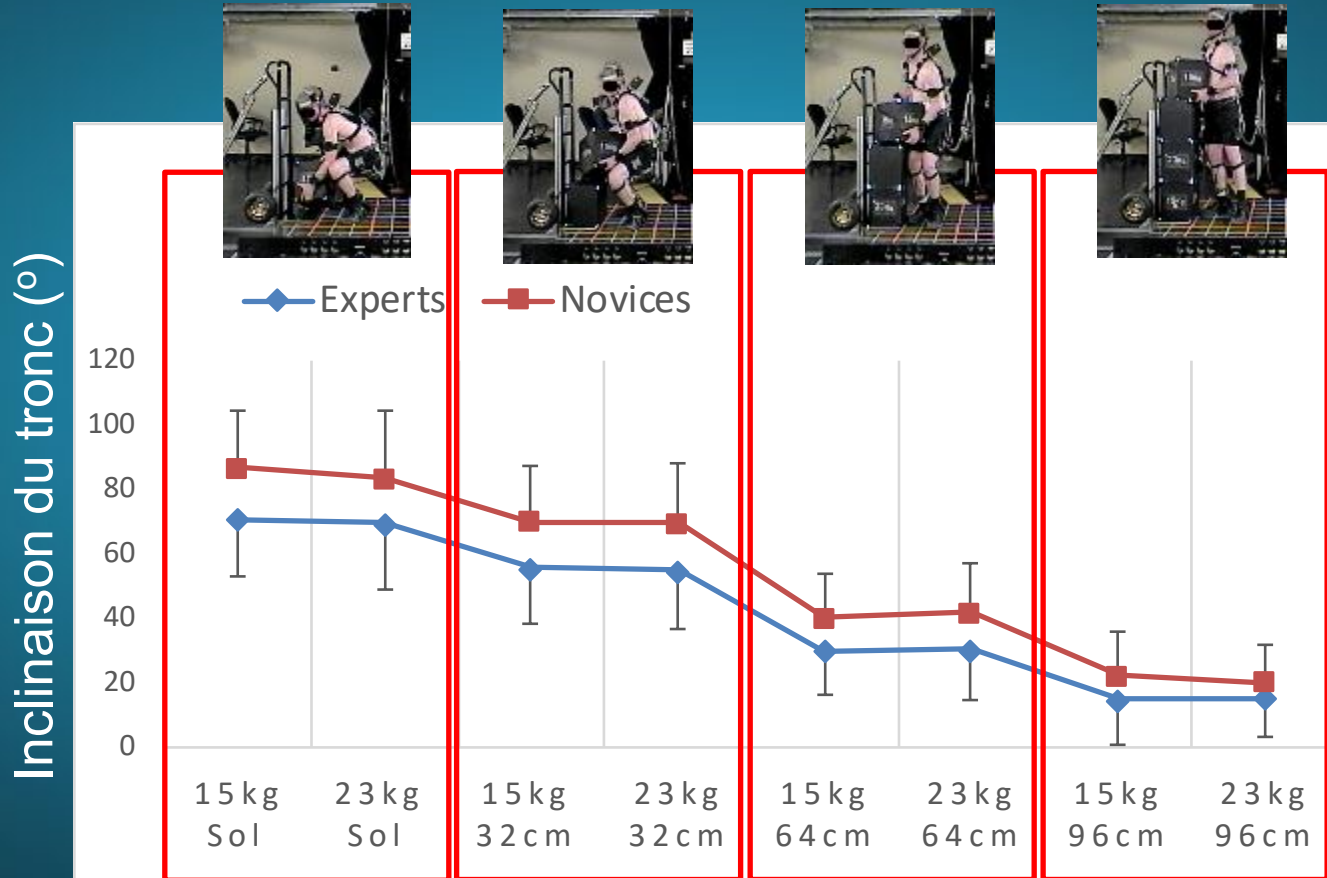
Lever du sol



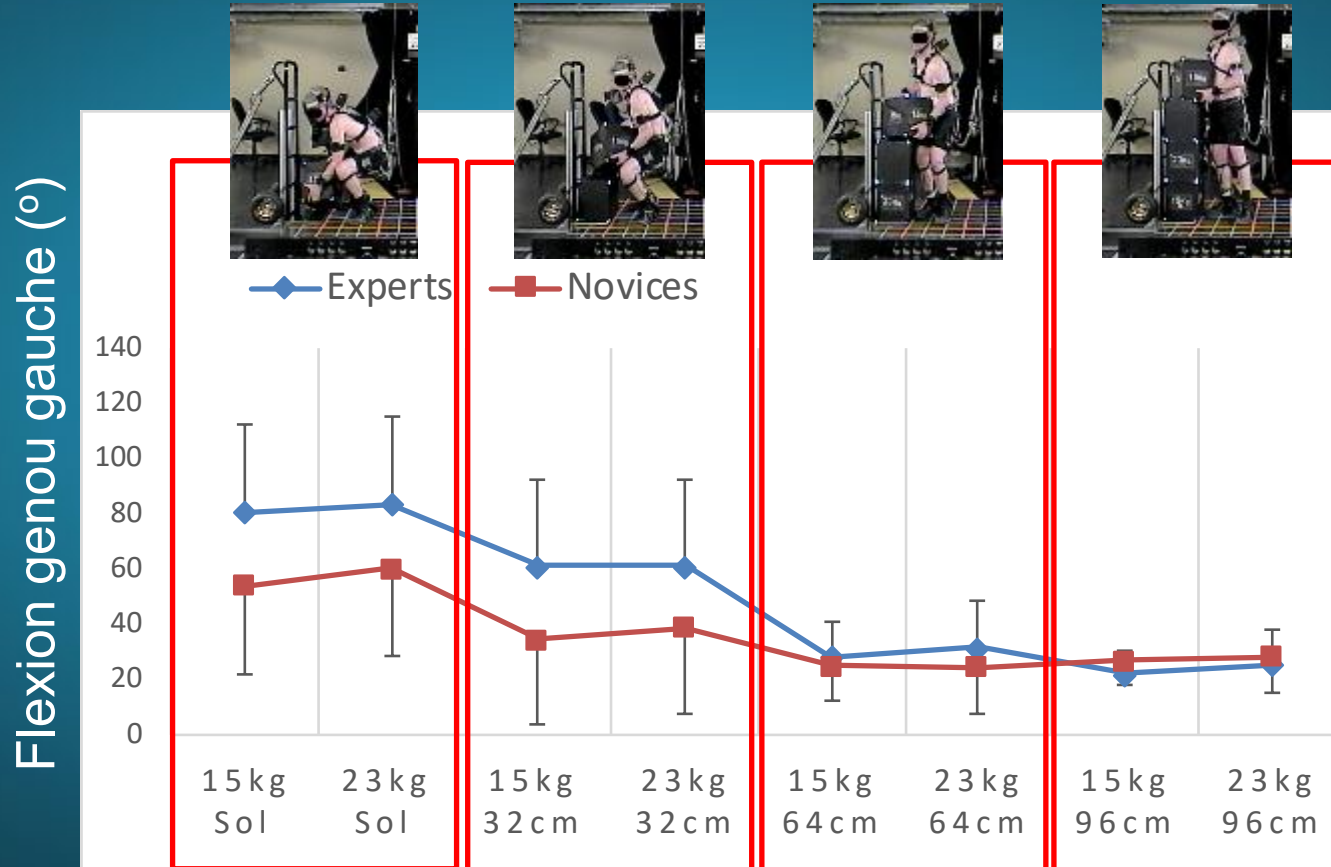
Moment maximal à L5/S1 lors du lever du diable



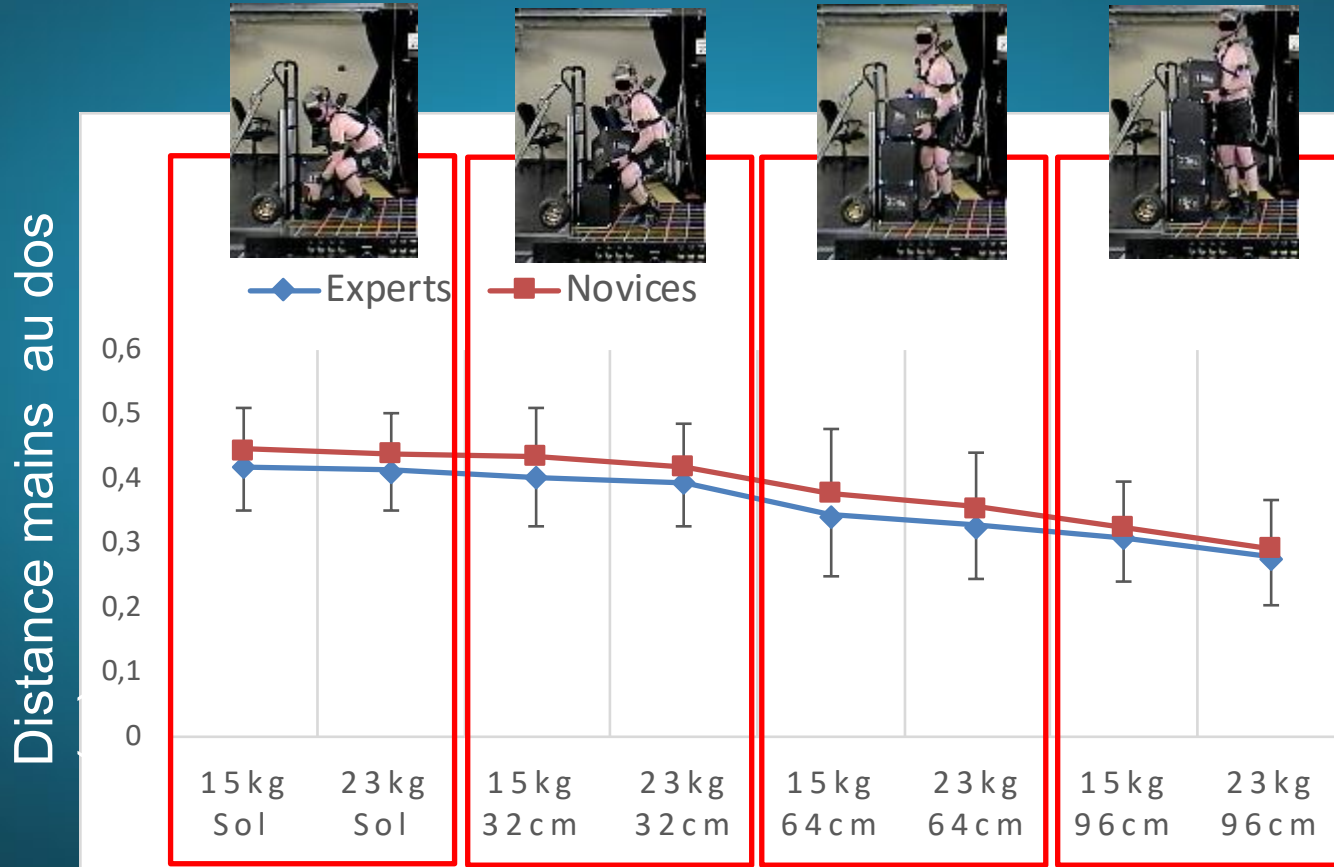
Inclinaison du tronc lors du lever du diable



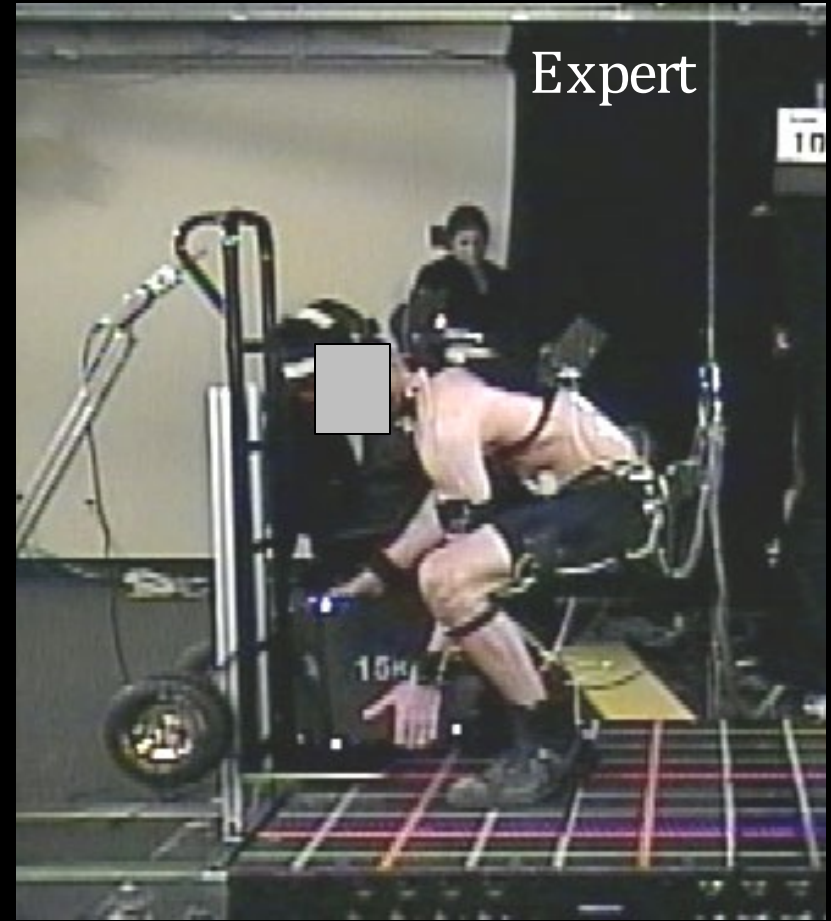
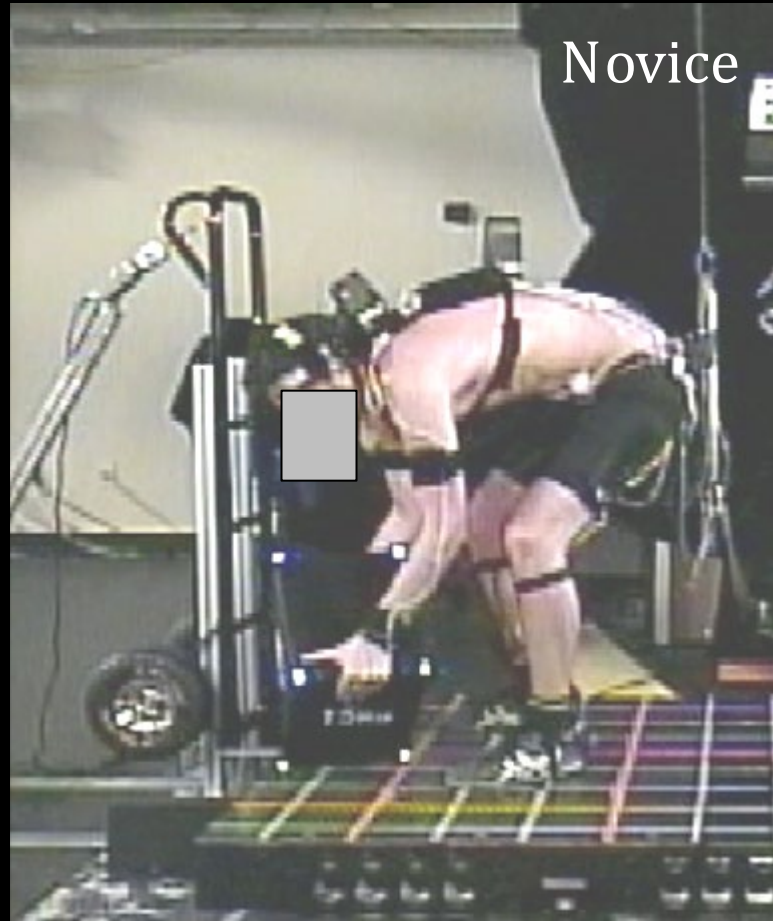
Flexion du genou gauche lors du lever du diable



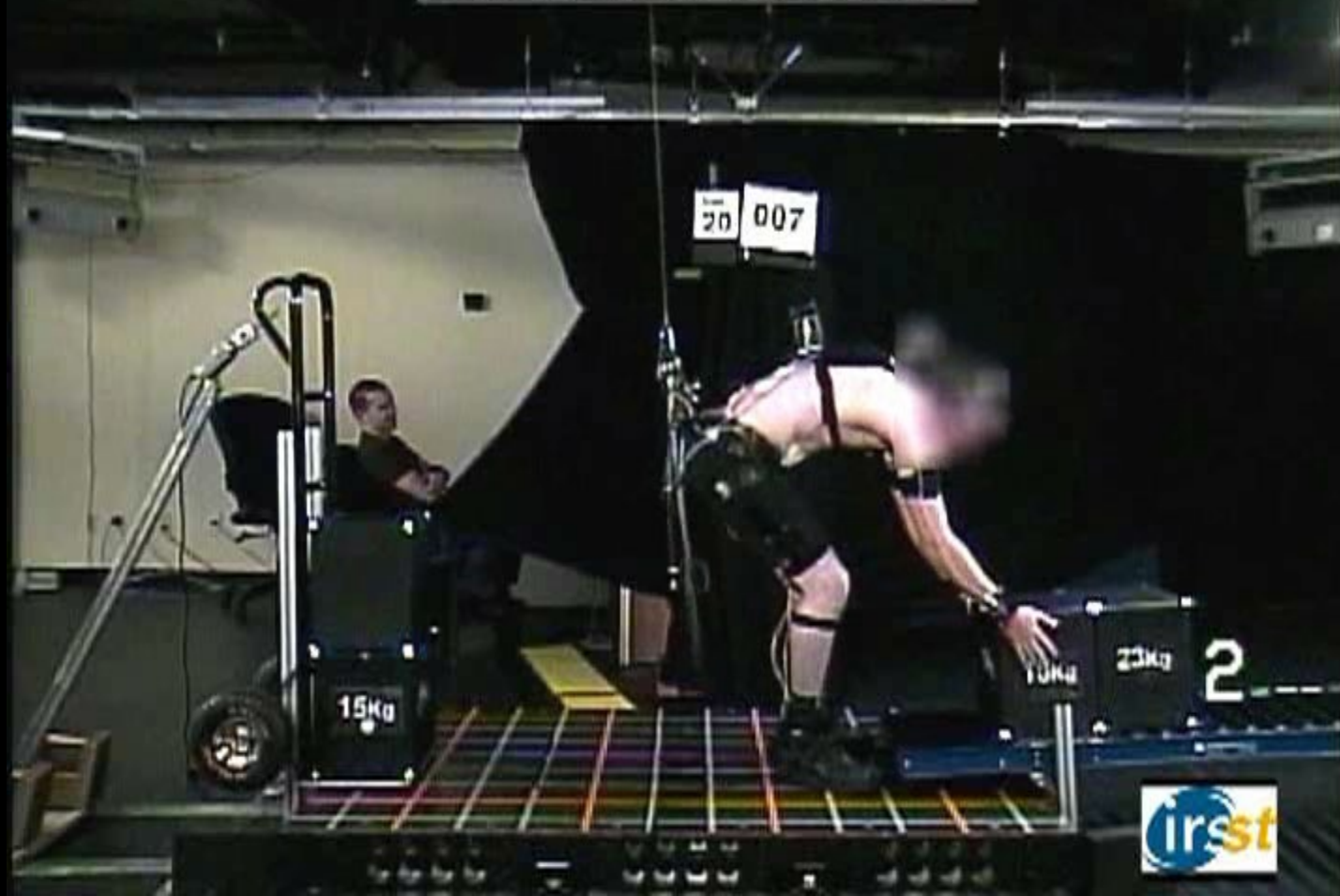
Distance des mains au dos lors du lever du diable



Posture typique des sujets au lever



00:00:16:01



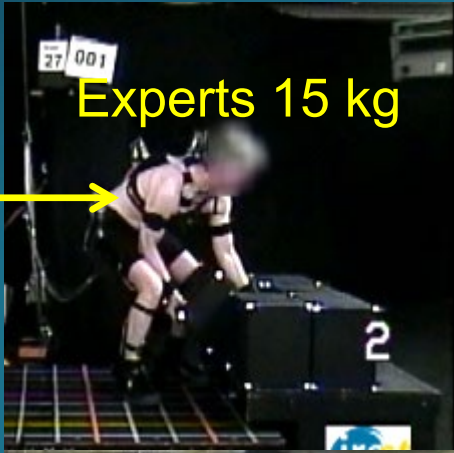
Tâche de manutention palette à palette

- **Tâche : Chargement et déchargement de 24 caisses d'une palette à une autre palette.**
- **Participants : 15 ♂ experts, 15 ♂ novices et 15 ♀ femmes**
- **Instructions aux participants :**
 - **Reproduire leur technique de manutention**

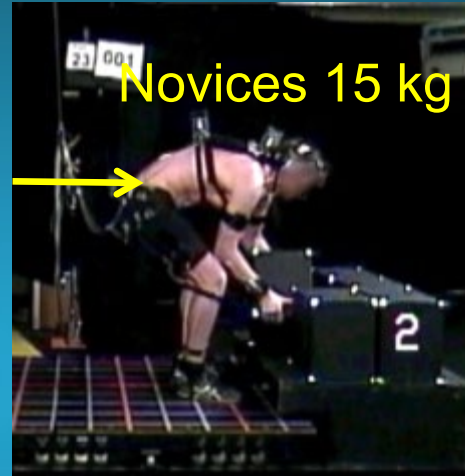


Charge maximum au dos (Nm)

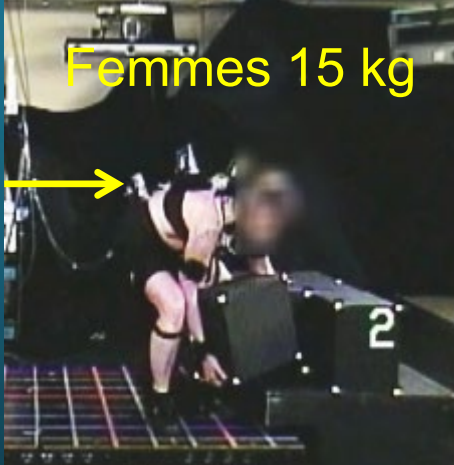
246 → Experts 15 kg



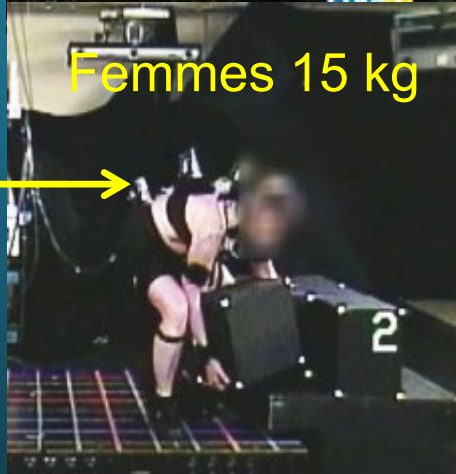
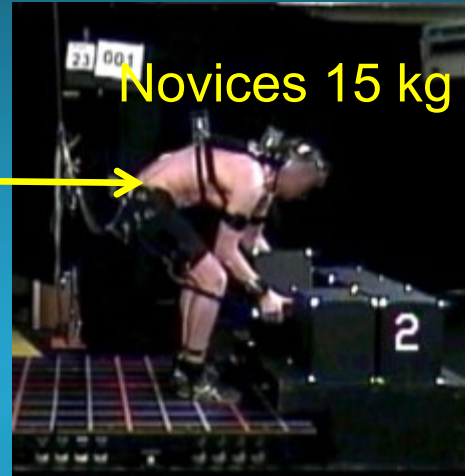
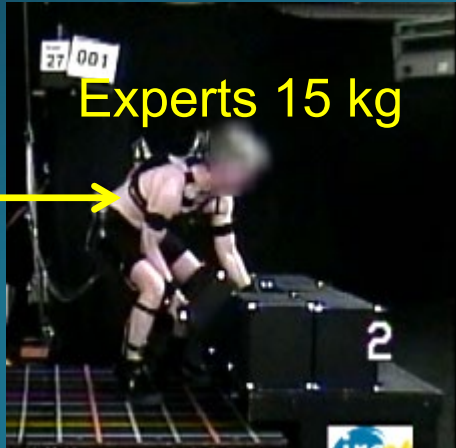
249 → Novices 15 kg



183 → Femmes 15 kg



Chargement maximal au dos normalisé (en fct du poids)

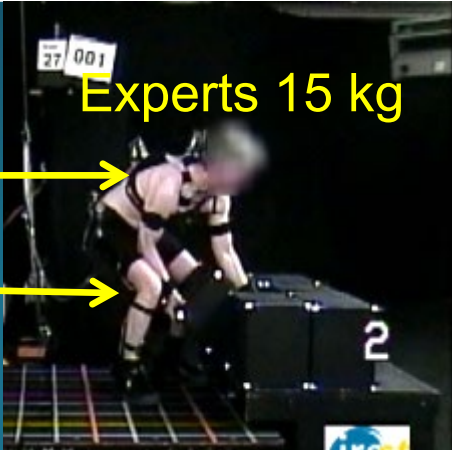


Angle d'inclinaison du tronc et angle du genou au moment max

Experts 15 kg

66° →

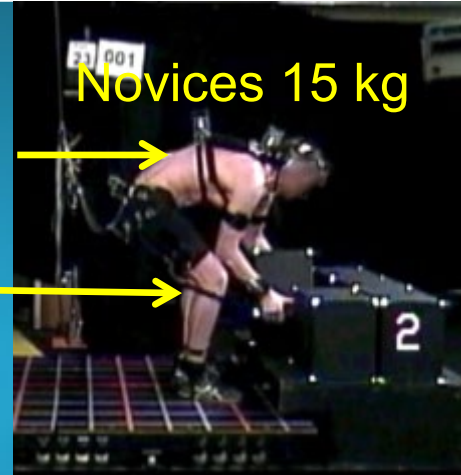
70° →



Novices 15 kg

82° →

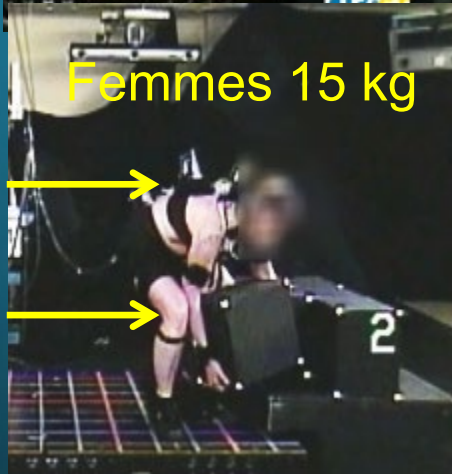
50° →



Femmes 15 kg

87° →

49° →



LEVER EXPERT

Facteur de risque – Importance de la posture

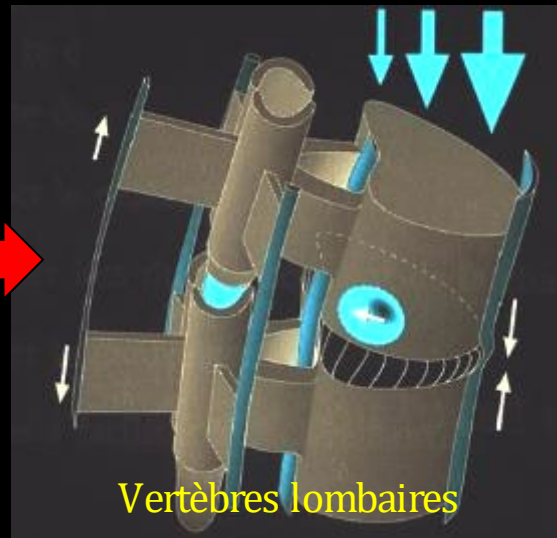
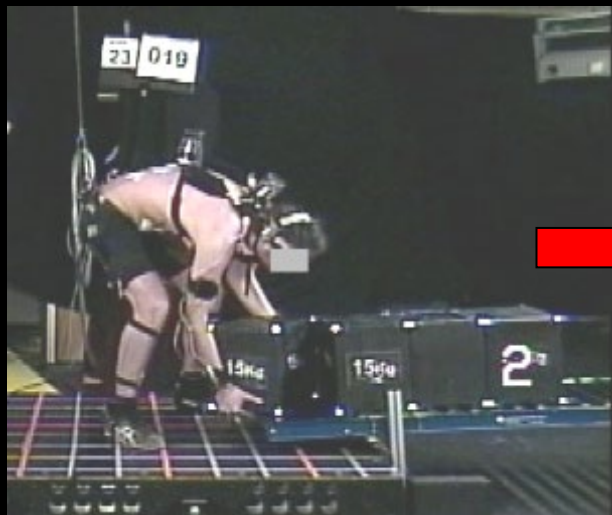
La flexion lombaire
prononcée observée chez
les femmes et les



Les femmes et les novices ♂ avaient moins de marge de
sécurité que les experts ♂

blessures en raison de
l'étirement excessif des
tissus passifs de la
colonne vertébrale

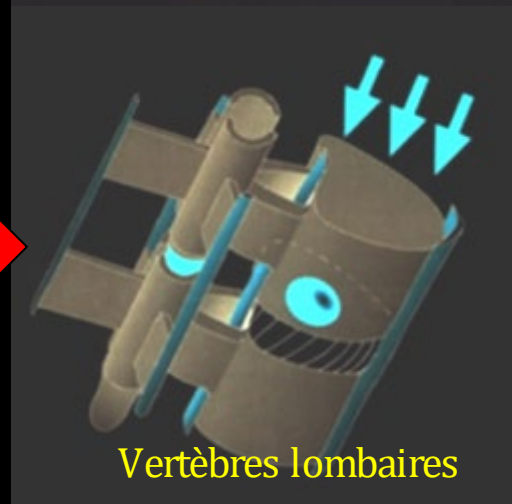
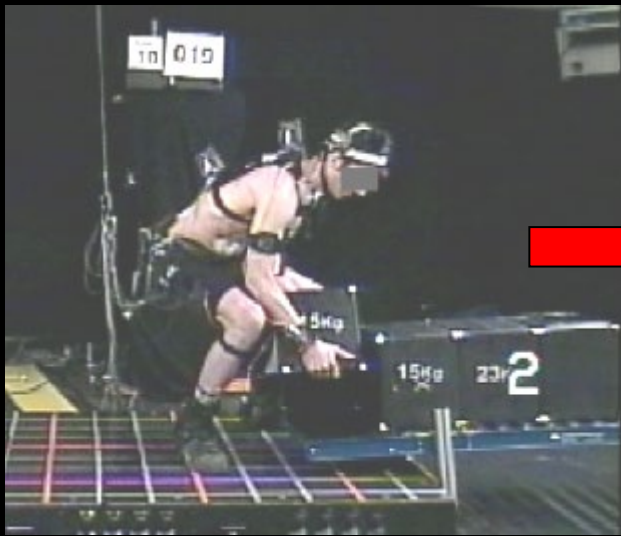




Charges
vertébrales
moins bien
distribuées

Structures
passives très
sollicitées

Peu de marge de
sécurité



Charges
vertébrales
mieux
distribuées

+ de marge de
sécurité

L'expertise : caisses au sol

Experts : moins d'inclinaison du tronc

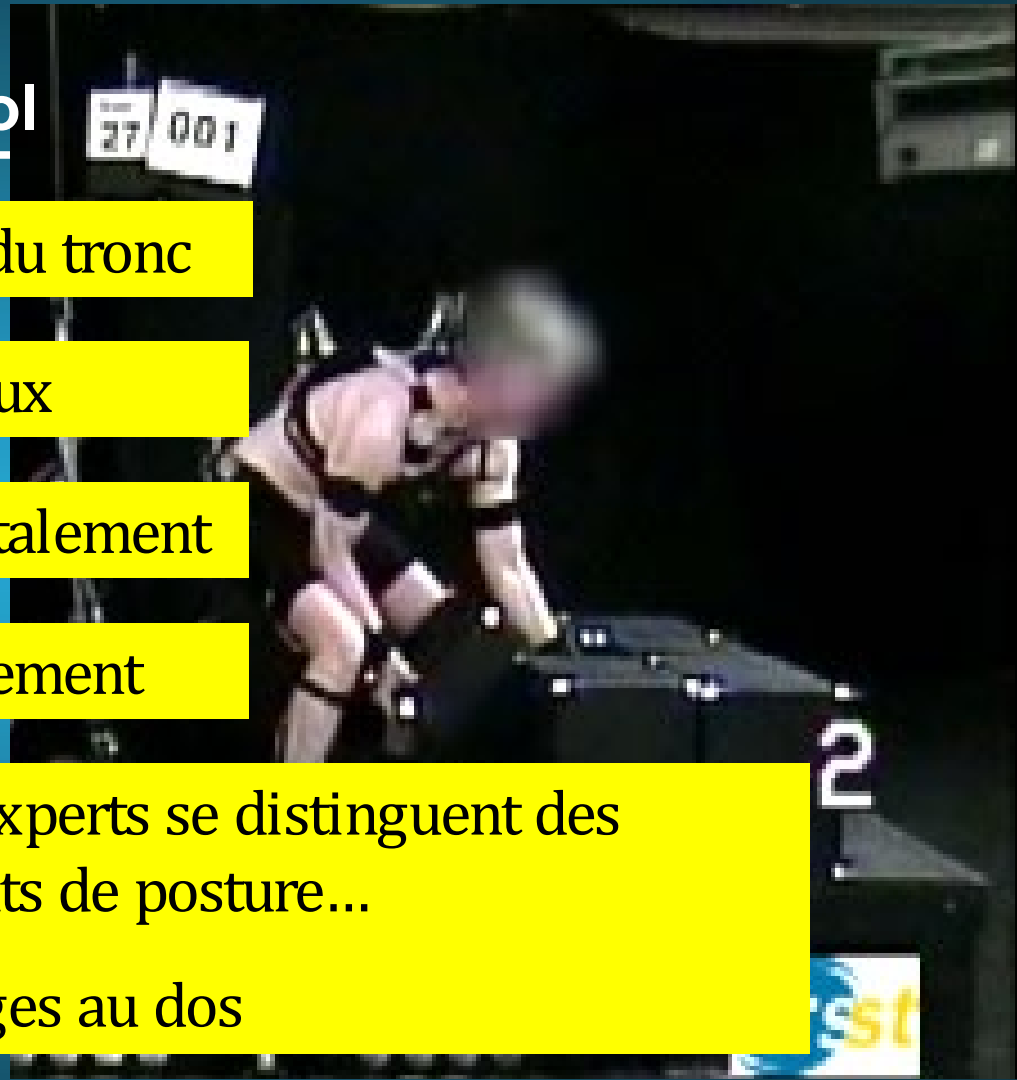
Experts : plus fléchis des genoux

Experts : plus proches horizontalement

Experts : plus proches verticalement

Réponse question 1 : Oui les experts se distinguent des novices surtout sur des éléments de posture...

mais, peu d'effets sur les charges au dos



Question 2 : Peut-on réduire l'exposition physique (chargement au dos) des manutentionnaires?

| Facteurs | < 15 % | 15-25 % | > 25 % |
|---|--------|---------|--------|
| Importance d'une bonne formation à la manutention, mais pour réduire de façon significative le chargement au dos, des interventions basées sur des moyens de contrôles techniques sont nécessaires... | | | |

Adapté de Plamondon *et al.* (2012) et Kingma *et al.* (2009)

Plamondon, A., Larivière, C., Delisle, A., Denis, D. et Gagnon, D. (2012). Relative importance of expertise, lifting height and weight lifted on posture and lumbar external loading during a transfer task in manual material handling. *Ergonomics*, 55(1), 87-102.

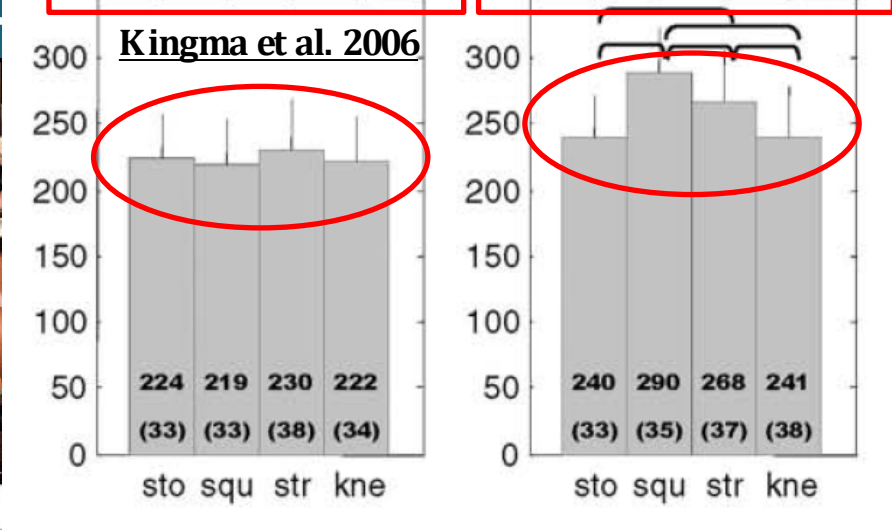
Kingma, I., van Dieen, J., de Looze, M., Hoozemans, M., Faber, G., et Toussaint, H. (2009). *Lifting technique and low back loading*. Communication présentée à Conference on MSD, Dresden, Allemagne.

Technique de

height 300-mm box, 50 mm height

600-mm box, 50 mm height

agement au dos?



C aisse de 60 cm de largeur

eling

Les différences entre les techniques se trouvent dans la distance de la caisse du tronc et de la hauteur de la prise



Technique expert pour rapprocher et élever la caisse

Dans 80 % des cas, les participants ont incliné ou partiellement incliné les caisses au lever.

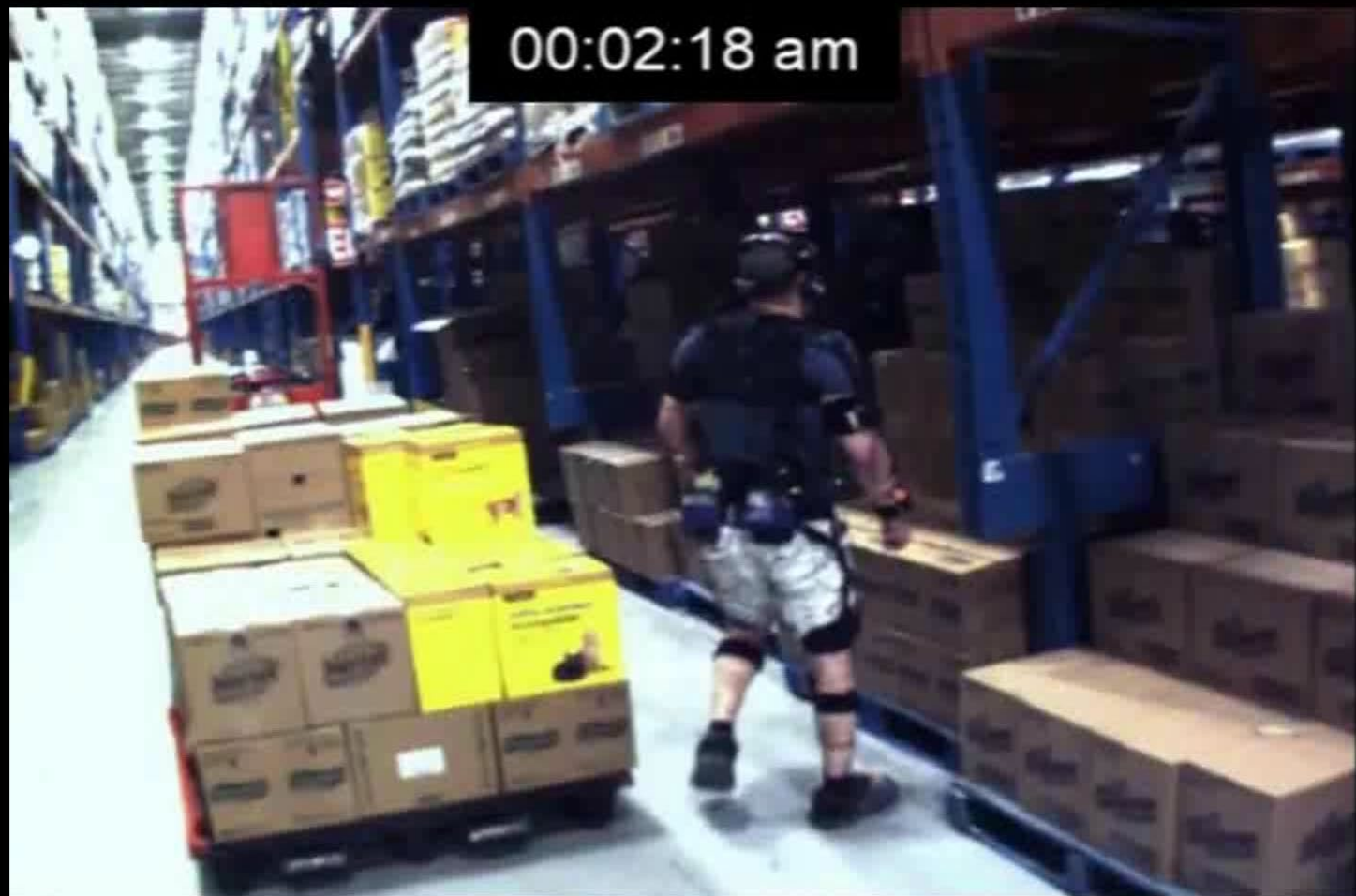


Pourquoi l'effet de l'expertise est mineur en laboratoire?

- 1) Objectif unique en biomécanique de « sécurité maximale au dos »

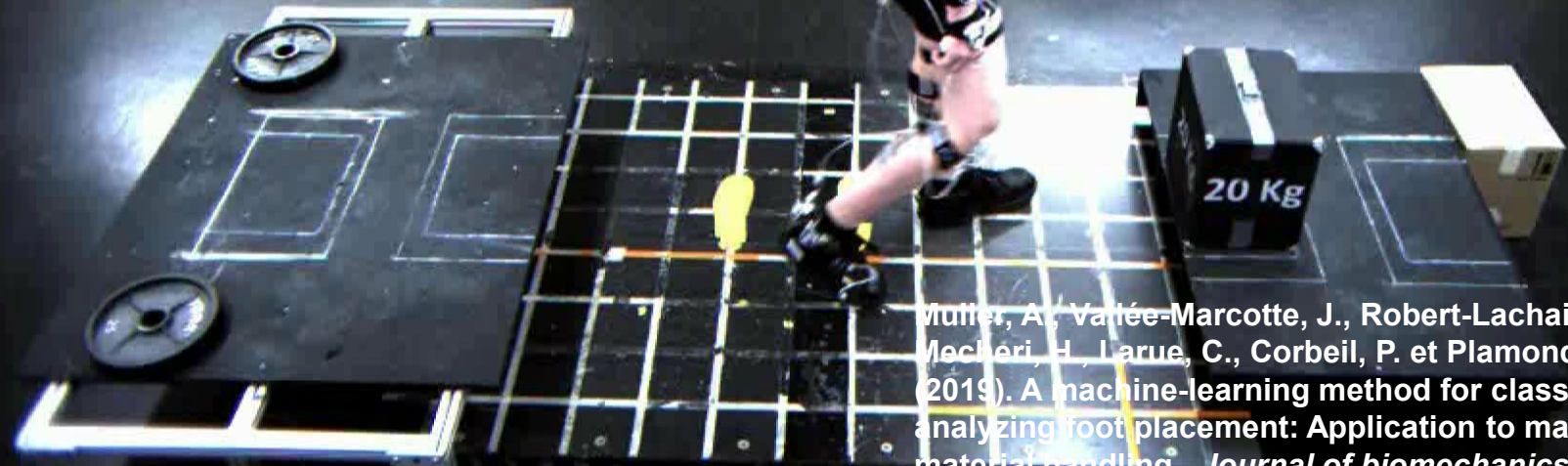
- 2) Les conditions expérimentales sont déterminées :
 - Les tâches sont simples.
 - Toutes les caisses sont de formes identiques.
 - La distance de transfert est constante.
 - La hauteur des caisses est définie.
 - Le placement des caisses n'est pas libre.
- Ce contrôle expérimental empêche l'expert d'utiliser ses savoir-faire.

00:02:18 am



Pourquoi l'effet de l'expertise reste mineur?

1. On ne s'intéresse qu'à la phase de lever de charge (avec l'objectif de sécurité maximale au dos), peu à celle de dépôt et jamais à la phase de transition. Pourquoi ne pas étudier la phase de transition pour limiter le chargement au dos?
2. Les manutentionnaires utilisent plusieurs techniques de déplacement :
 - En une phase : direct (ou continue)
 - En plusieurs phases



Muller, A., Vallée-Marcotte, J., Robert-Lachaine, X., Mecheri, H., Larue, C., Corbeil, P. et Plamondon, A. (2019). A machine-learning method for classifying and analyzing foot placement: Application to manual material handling. *Journal of biomechanics*, 109410.

Conclusions

- Les recherches en laboratoire ont confirmé :
 - Que les experts opéraient de manière différente des novices et des femmes surtout en ce qui concerne les éléments de posture
 - Qu'une diminution du chargement au dos passe avant tout par des modifications du poste de travail (p. ex. : hauteur des caisses)
 - Il demeure toutefois que les effets de l'expertise ne s'expriment que partiellement en laboratoire, et que des recherches terrain sont nécessaires pour en évaluer toute son importance.

Merci à toute la ribambelle de passionnés qui ont rendu possible ces recherches.



Christ

ni

ain

nt

ys



ophie

ude

an

rie

André

Hakim

Iuliana

Eric

Et aussi (dont je n'ai pas les photos) à :

Philippe Corbeil

Antoine Muller

Xavier Robert-Lachaine

Jasmin Vallée-Marcotte

David Brouillette