



## 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)<sup>1</sup>.
- 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.

<sup>1</sup> 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?

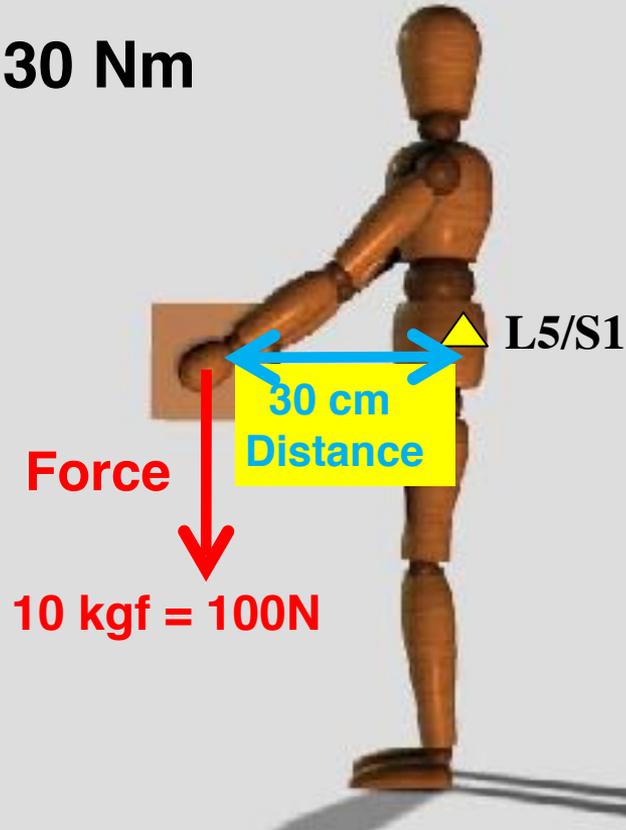
Marras, W. S., Lavender, S. A., Leurgans, S. E., Rajulu, S. L., Allread, W. G., Fathallah, F. A. et Ferguson, S. A. (1993). The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally-related low back disorders: The effects of workplace factors, trunk position, and trunk motion characteristics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

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



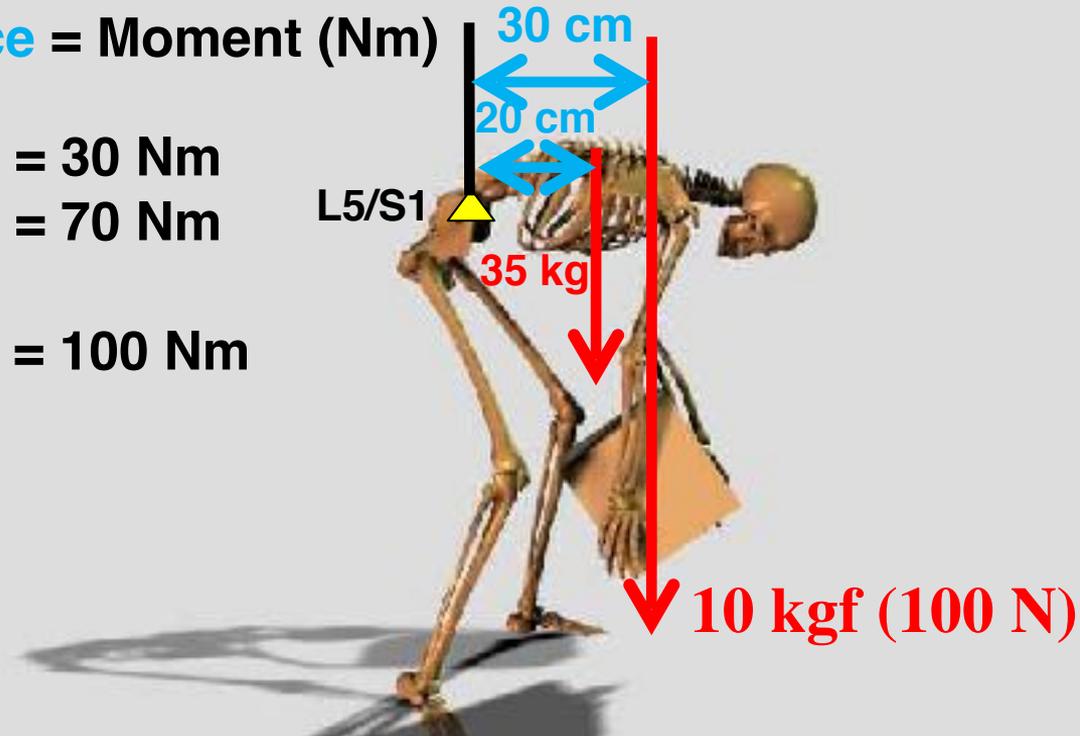
# Concept 1 – Les moments de force au dos

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

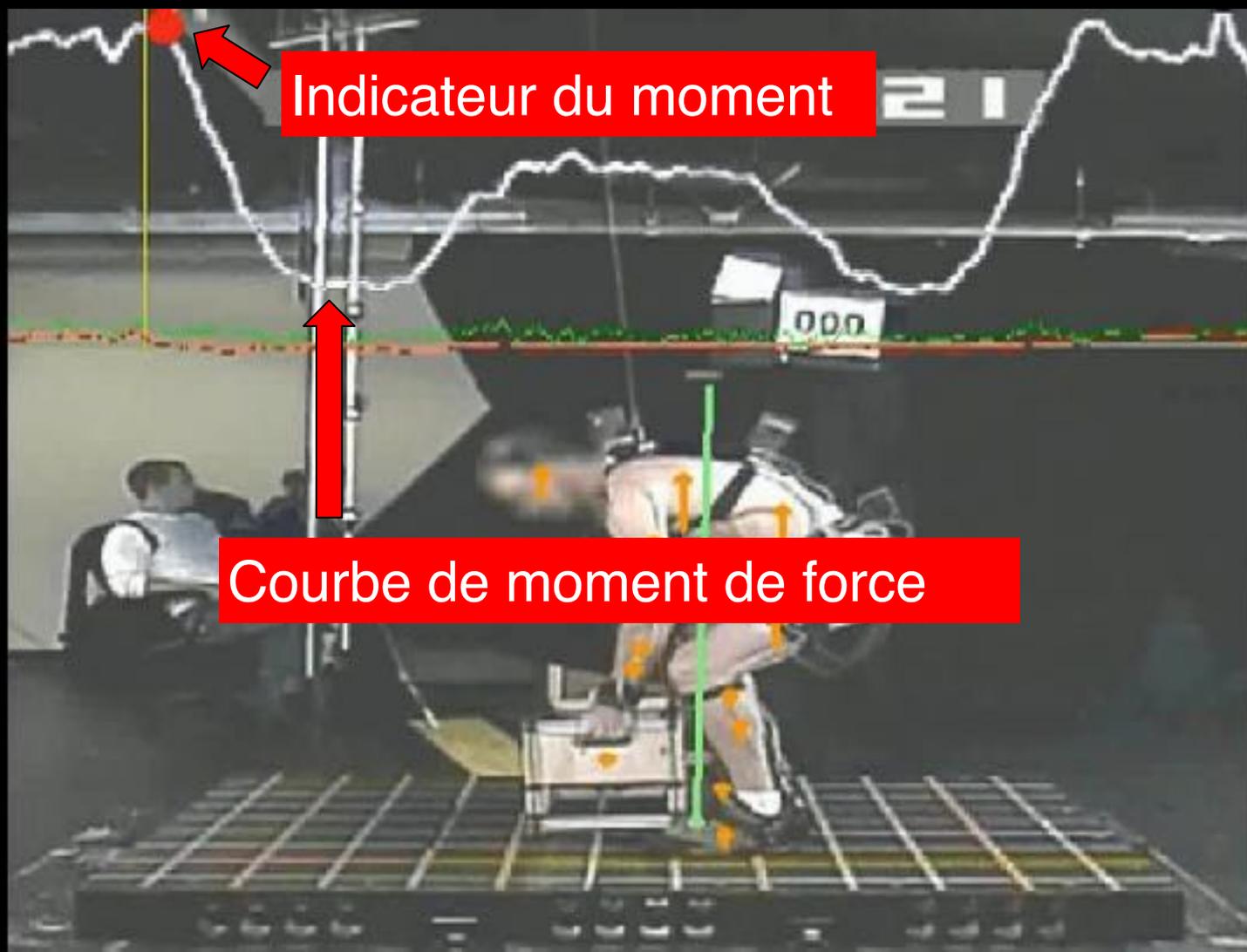
**100 N** x **0,30 m** = **30 Nm**

**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.



# 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

---

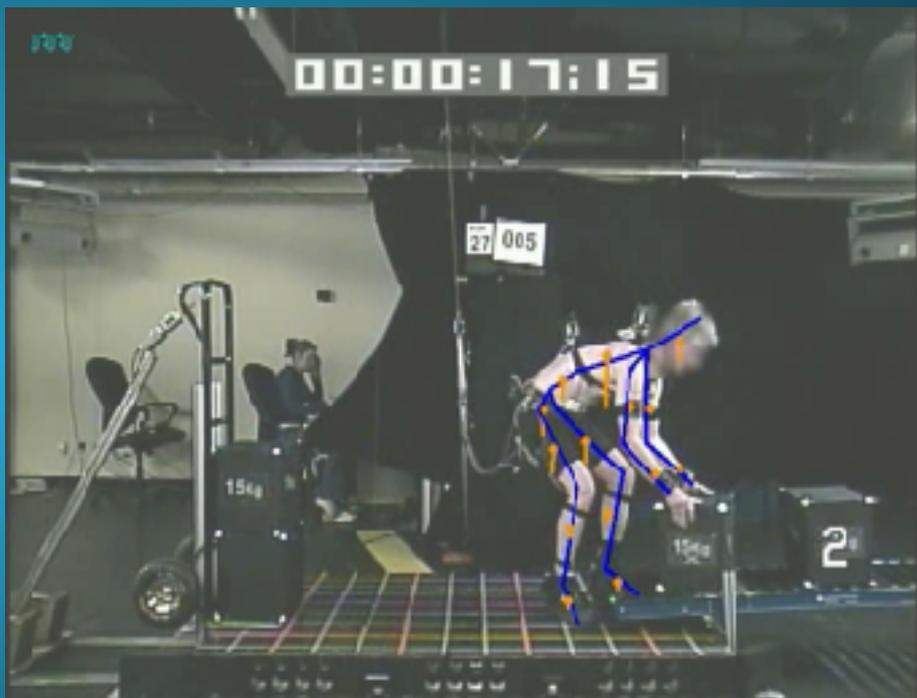
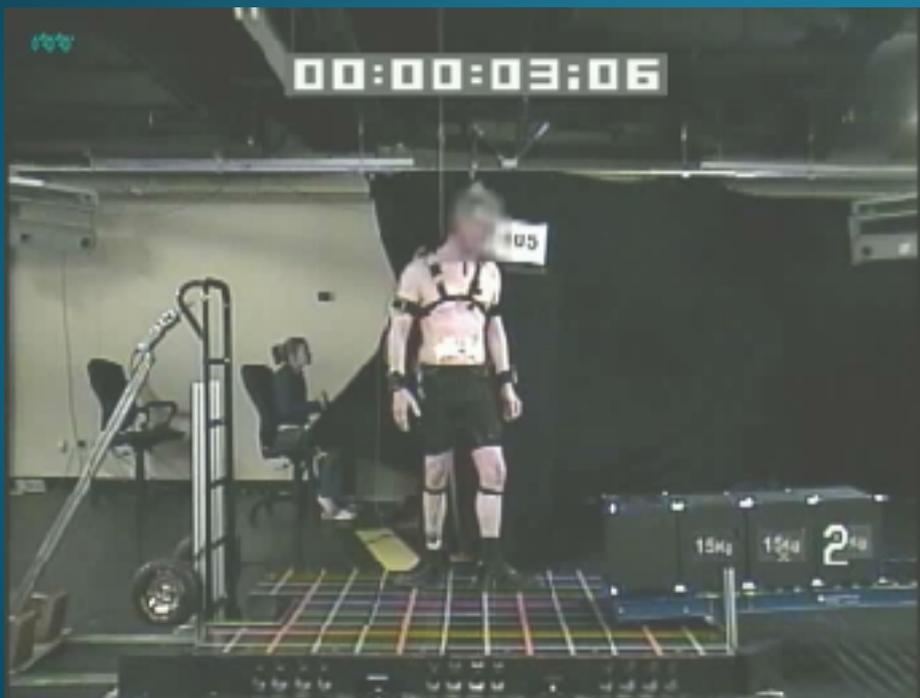
- Deux groupes : 15 experts et 15 novices
- **Experts :**
  - 15 années d'expérience
  - Faible fréquence de blessures à vie
  - Reconnus compétents par leurs pairs
- **Novices :**
  - 6 mois d'expérience
  - Exempt de blessures dans la dernière année

# 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



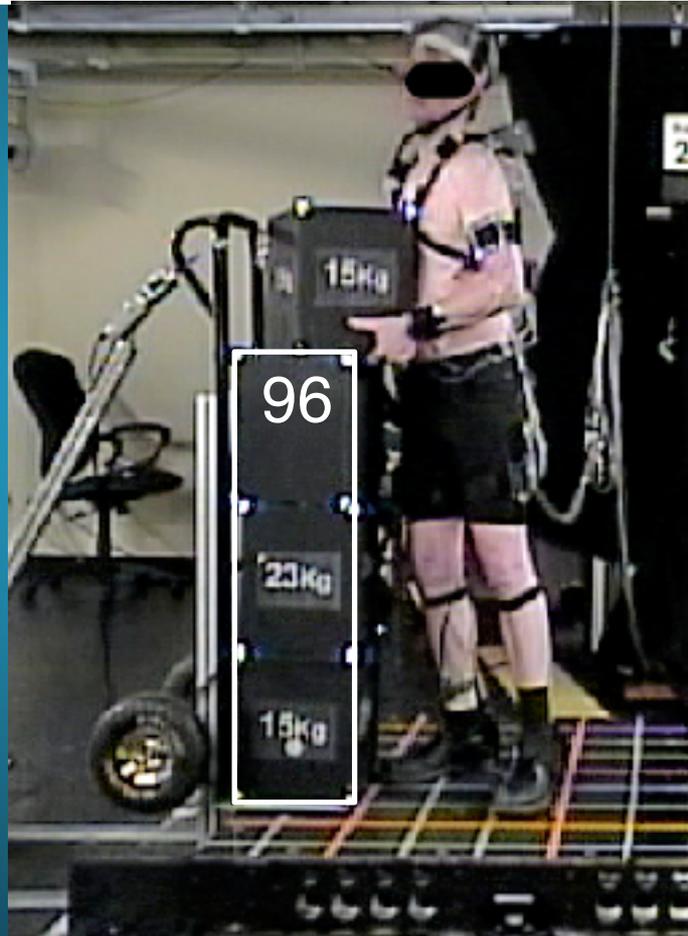
# Tâche du diable à convoyeur

Lever de 96 cm

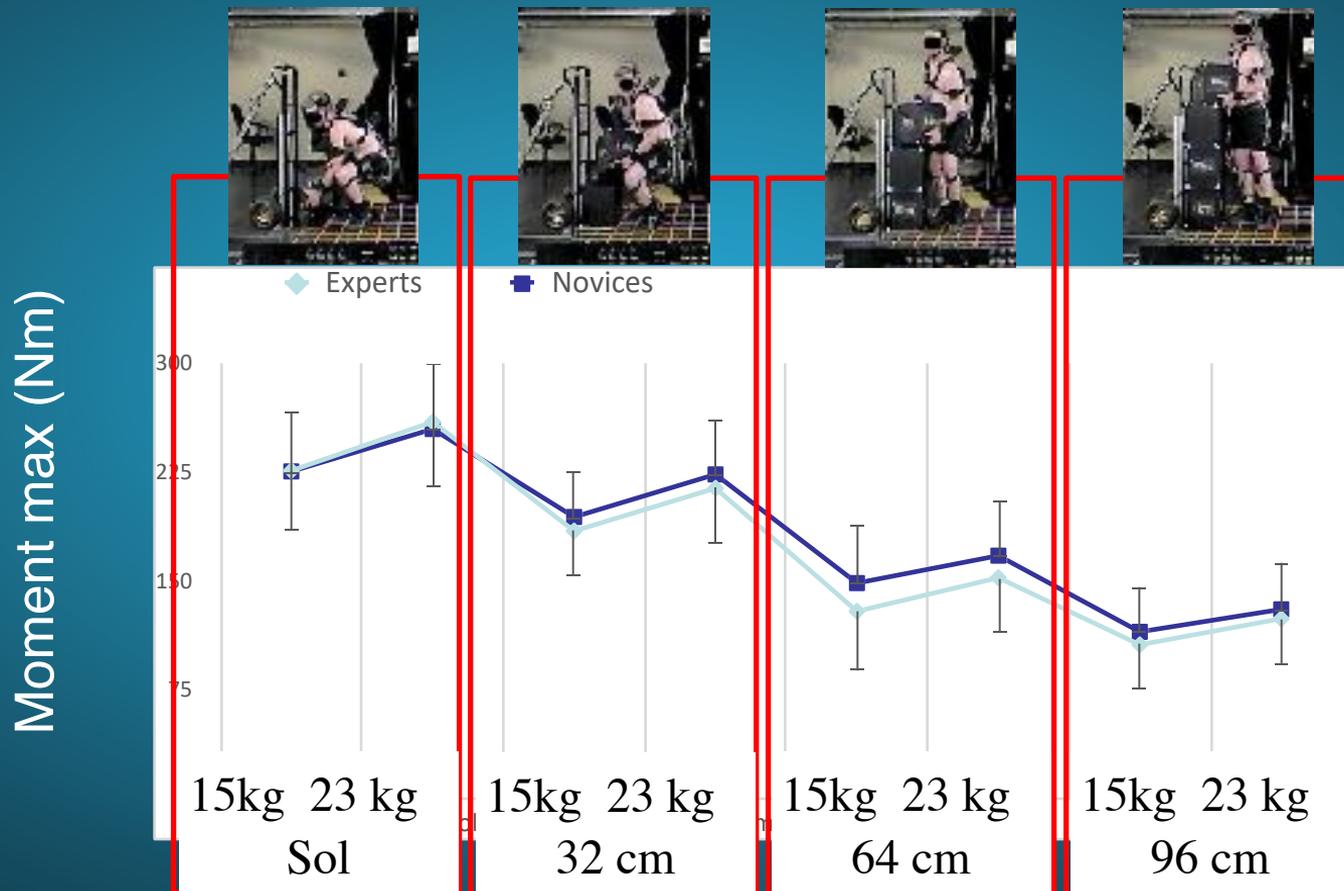
Lever de 64 cm

Lever de 32 cm

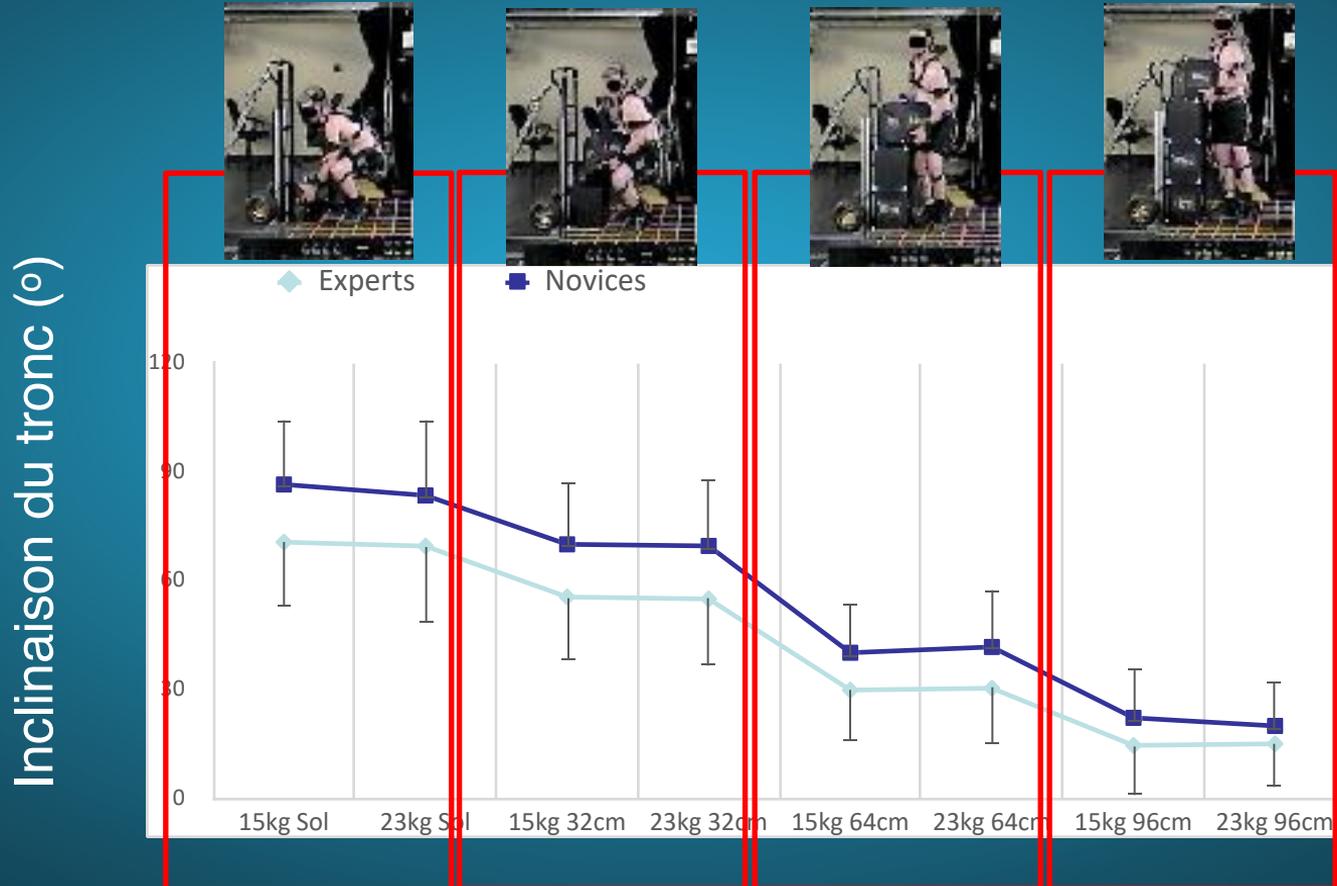
Lever du sol



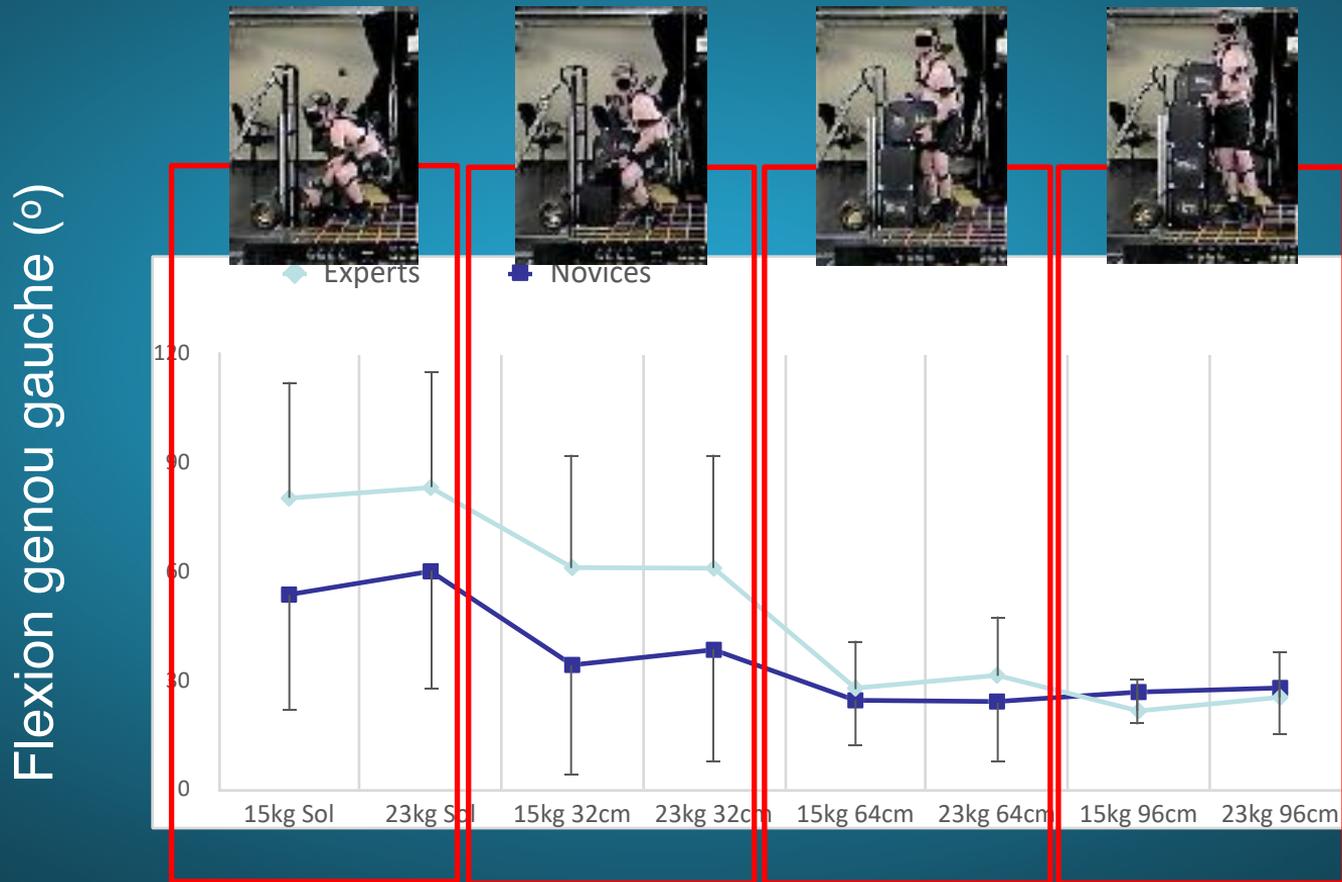
# Moment maximal à L5/S1 lors du lever du diable



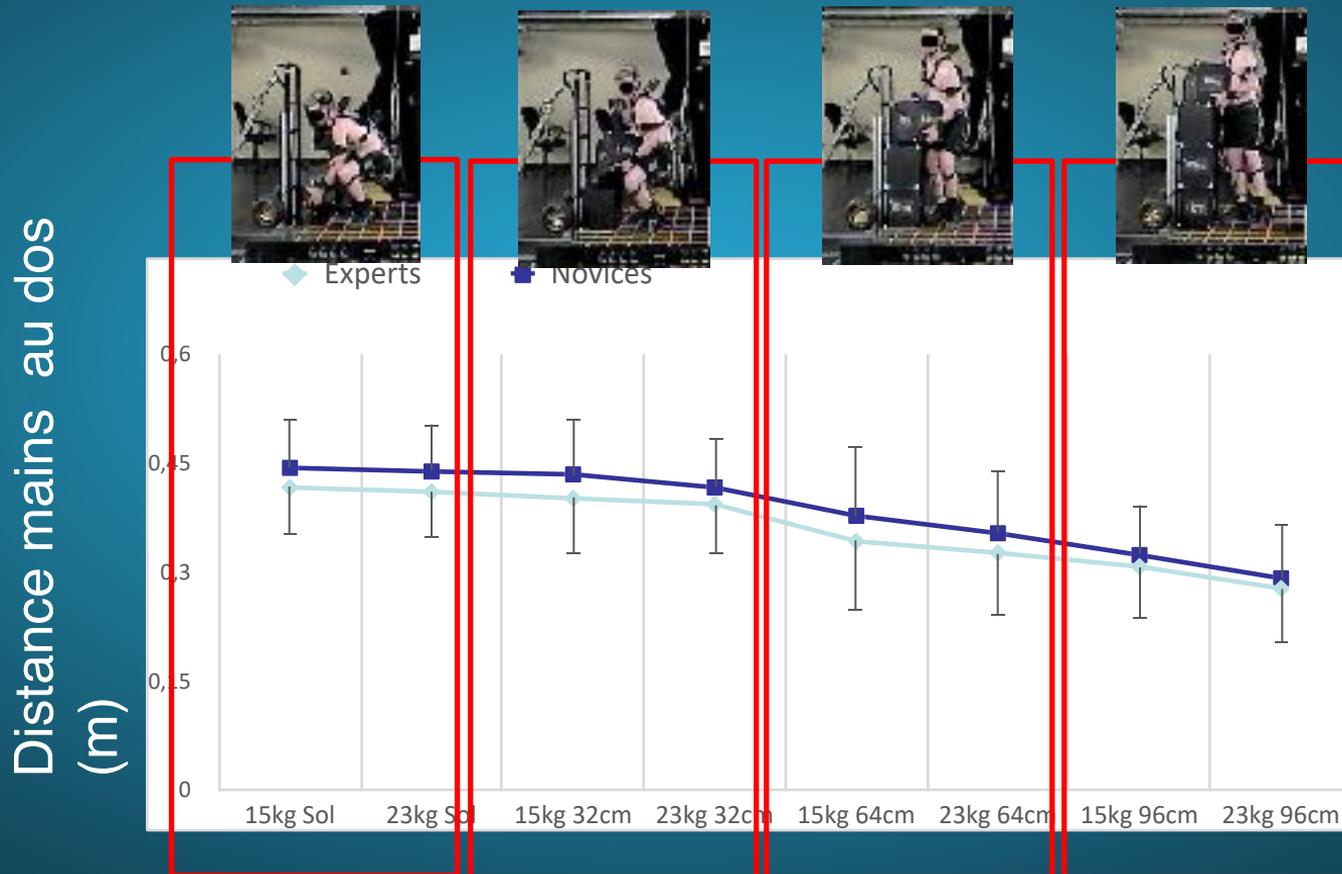
# Inclinaison du tronc lors du lever du diable



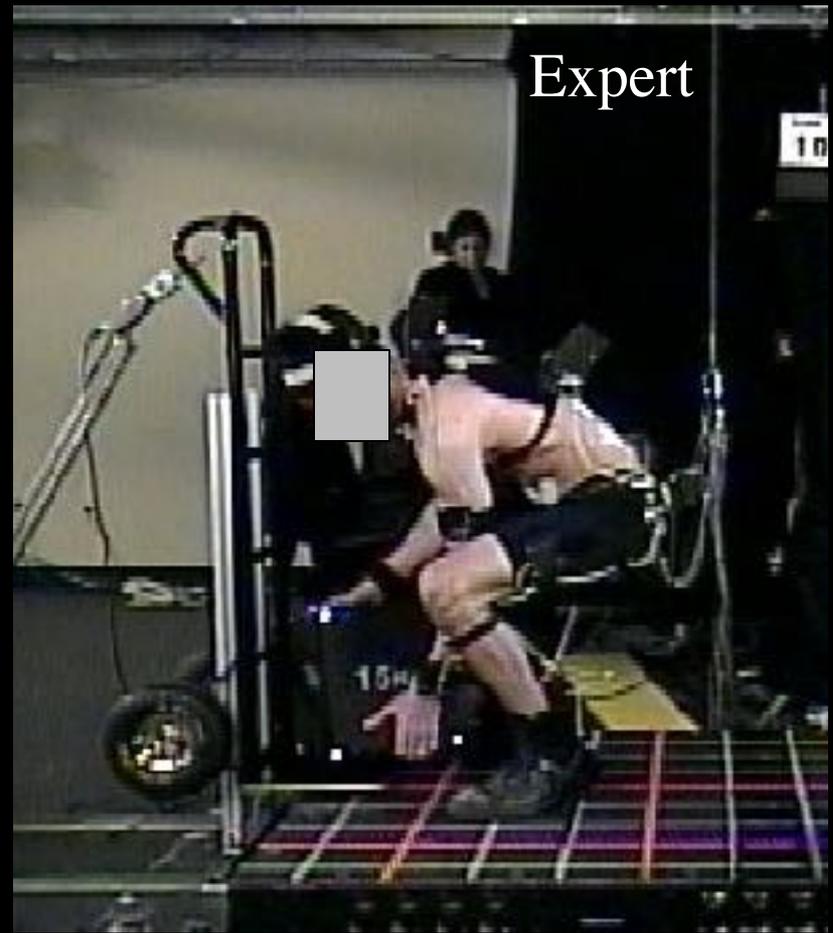
# Flexion du genou gauche lors du lever du diable



# Distance des mains au dos lors du lever du diable



# Posture typique des sujets au lever



# Tâche de manutention palette à palette

---

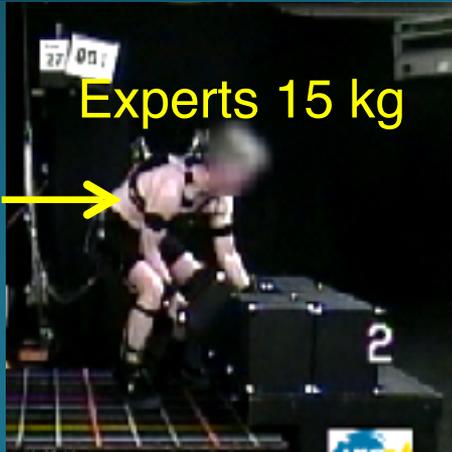
- **Tâche : Chargement et déchargement de 24 caisses d'une palette à une autre palette.**
- **Participants : 15 ♂ experts, 15 ♂ novices et 15 ♀ femmes**
- **Instructions aux participants :**
  - **Reproduire leur technique de manutention**



# Charge maximum au dos (Nm)

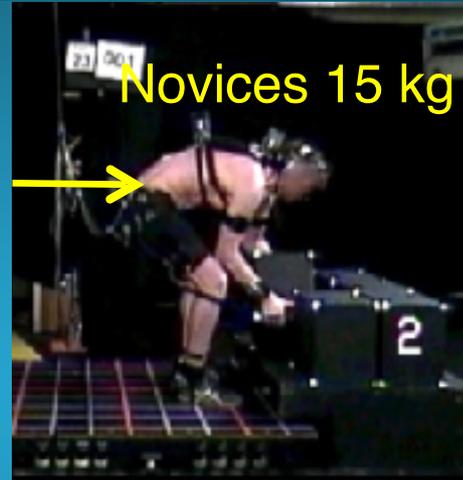
Experts 15 kg

246 →



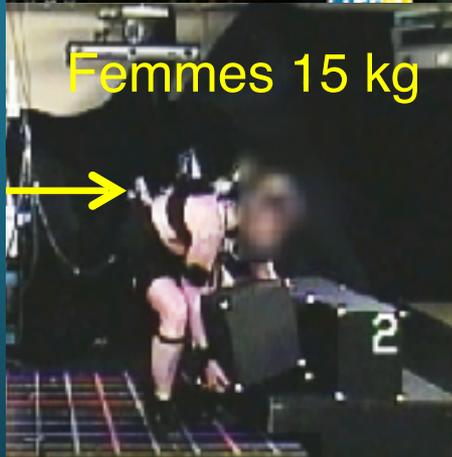
Novices 15 kg

249 →



Femmes 15 kg

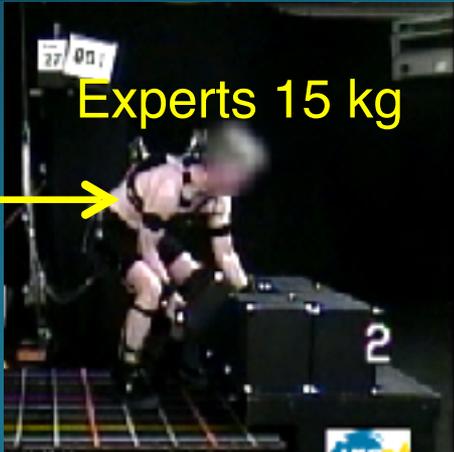
183 →



# Chargement maximal au dos normalisé (en fct du poids)

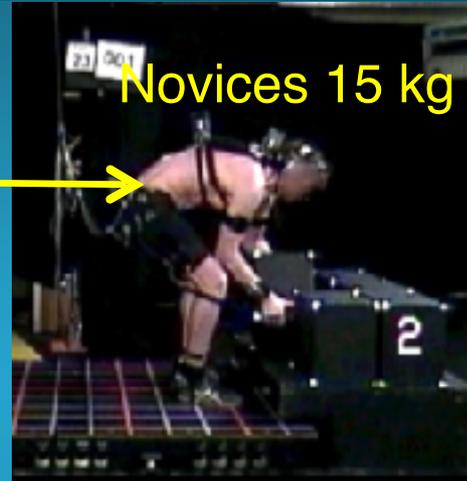
Experts 15 kg

2,6 →



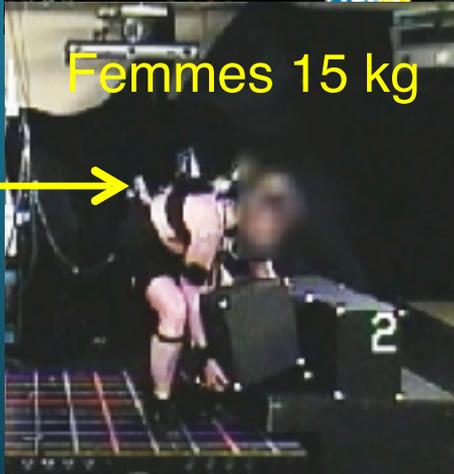
Novices 15 kg

2,6 →



Femmes 15 kg

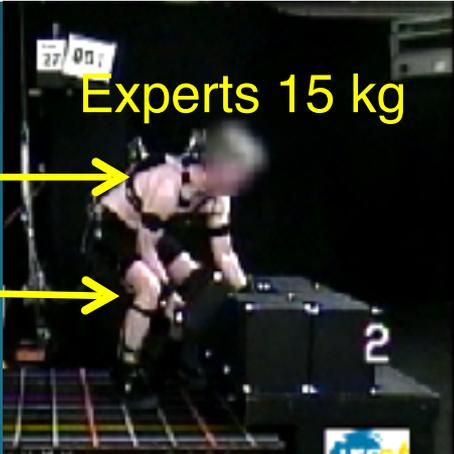
2,6 →



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

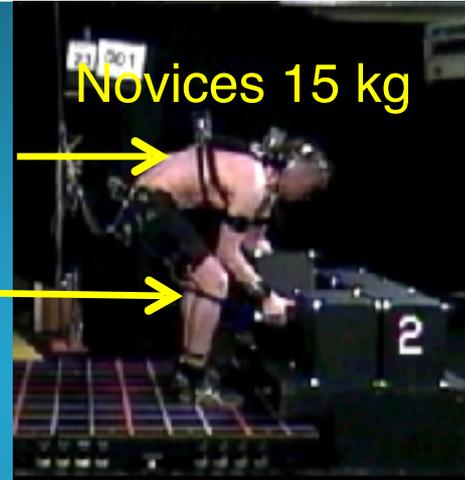
Experts 15 kg

66° →  
70° →



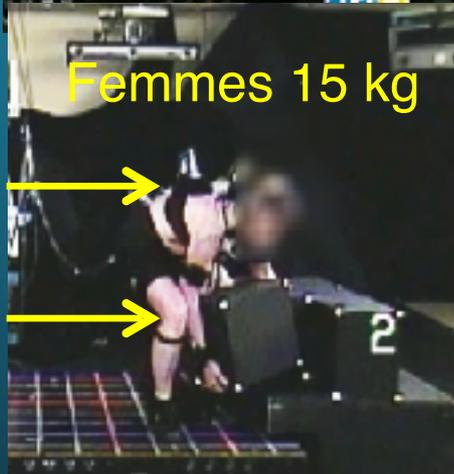
Novices 15 kg

82° →  
50° →



Femmes 15 kg

87° →  
49° →



# Facteur de risque – Importance de la posture

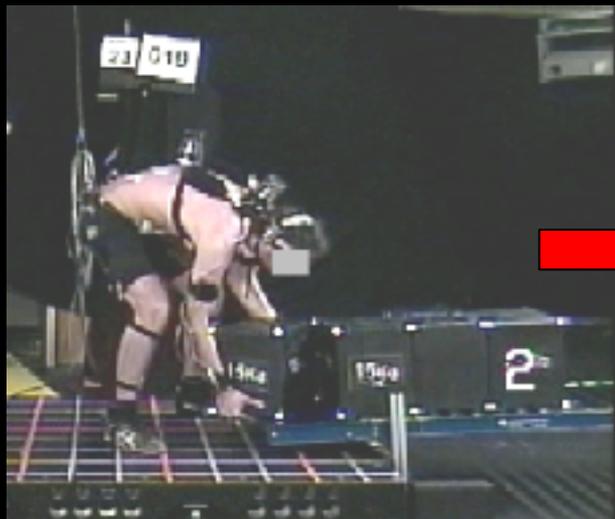
**La flexion lombaire  
prononcée observée chez  
les femmes et les**



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**

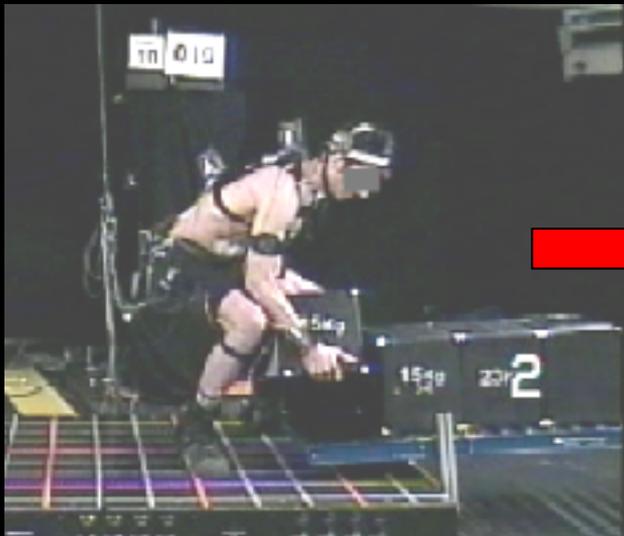




Charges  
vertébrales  
moins bien  
distribuées

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

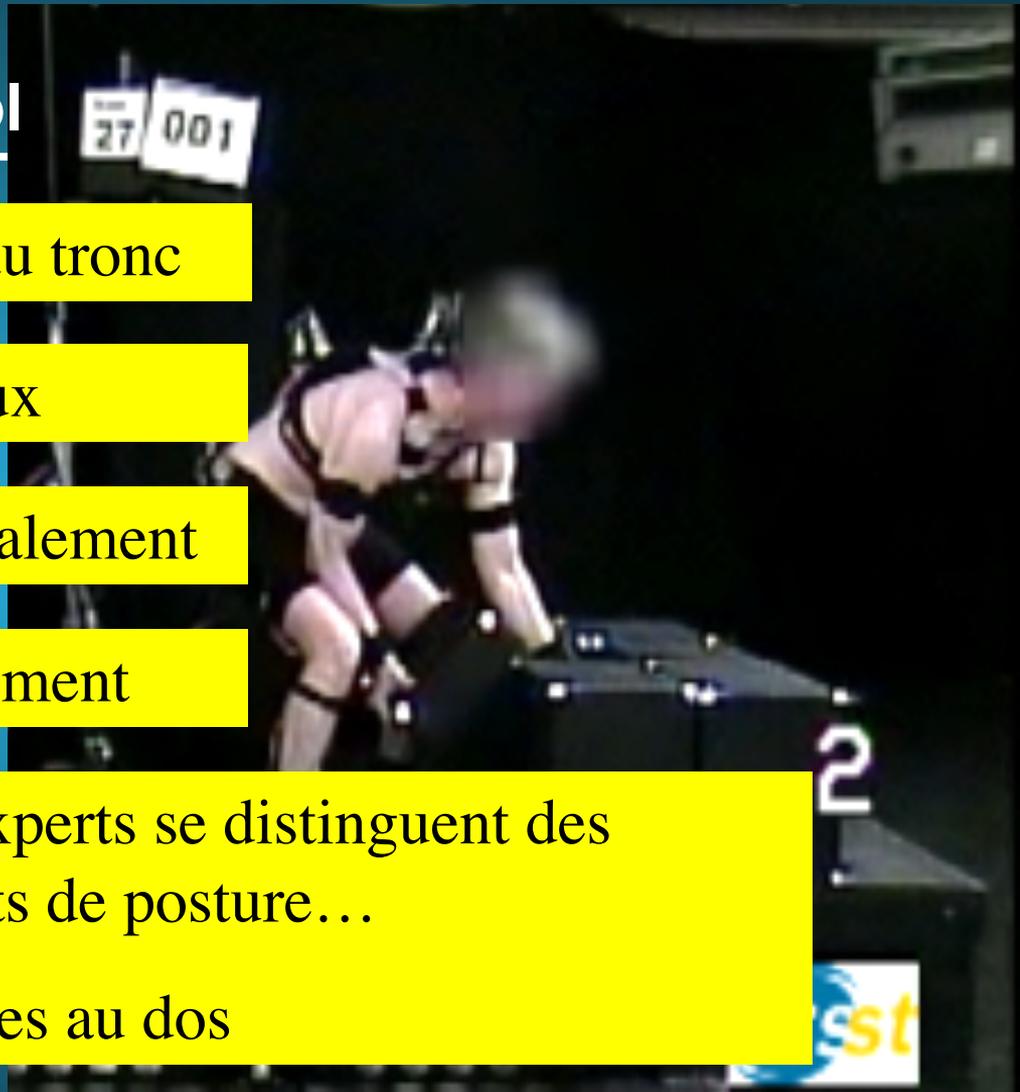
Experts : plus fléchis des genoux

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...			

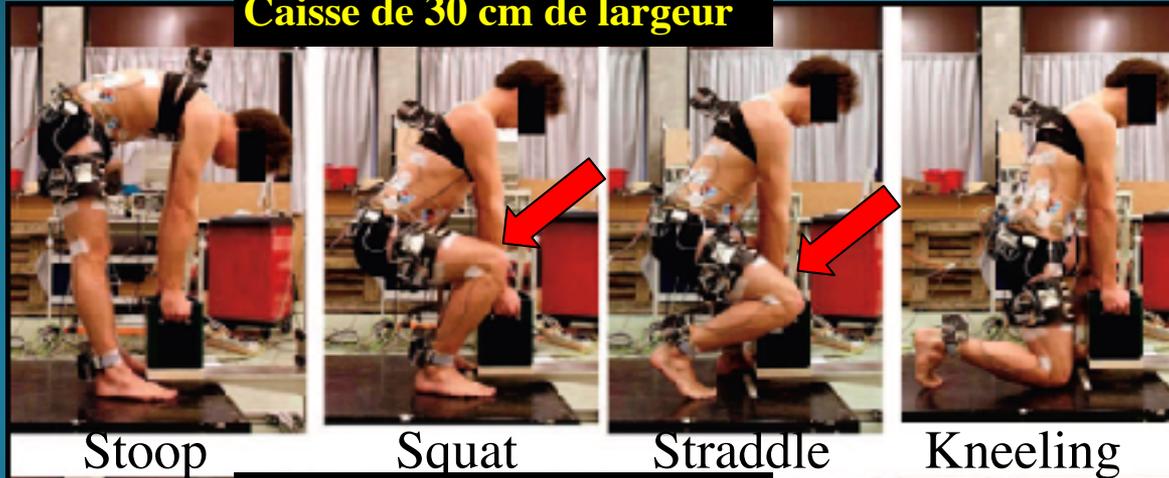
Adapté de Plamondon *et al.* (2012) et Kingma *et al.* (2009)

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.

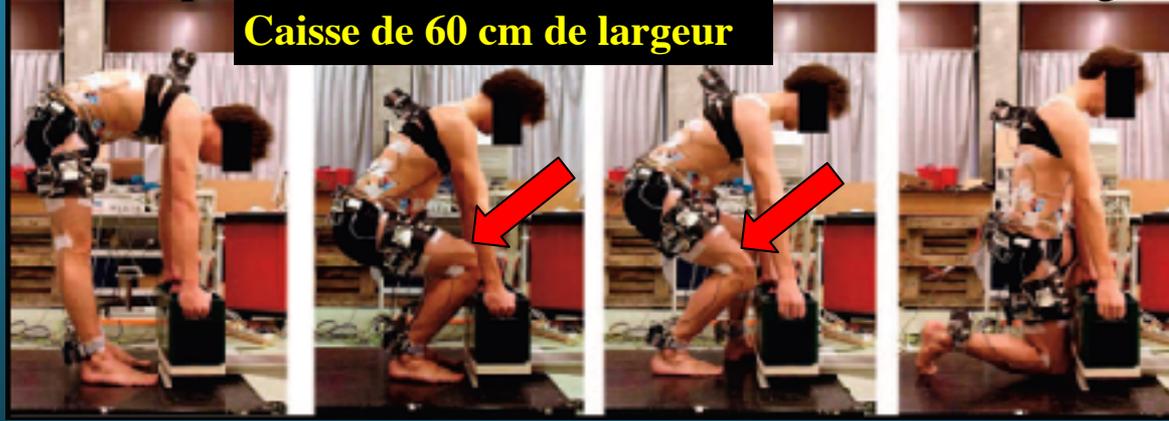
Kingma, I., van Dieen, J., de Looze, M., Hoozemans, M., Faber, G., et Toussaint, H. (2009). *Lifting technique and low back loading*. Communication présentée à Conference on MSD, Dresden, Allemagne.

# Technique de manutention= réduction du chargement au dos?

**Caisse de 30 cm de largeur**



**Caisse de 60 cm de largeur**



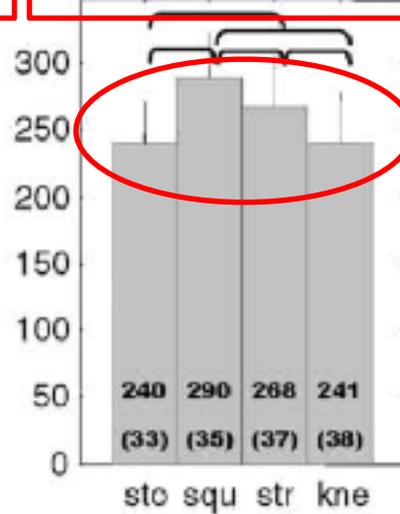
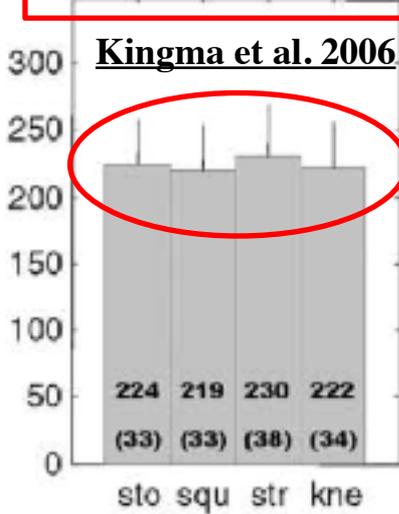
# Technique de

light: 300-mm box, 50 mm height

600-mm box, 50 mm height

# gement au dos?

**Kingma et al. 2006**



eling

**Caisse de 60 cm de largeur**



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.

# 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

# 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



ys



ophie



ude



ian



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