



Cinématique et modélisation biomécanique de l'épaule lors de tâches de manutention

Projet 2010-0024

Mickaël Begon

André Plamondon, Paul Allard

Landry Desmoulins, Benjamin Michaud

Contexte

- Professeur (2008)
 - Kinésiologie
 - Génie biomédical
- Équipe pluridisciplinaire
 - Kinésilogues
 - Ingénieurs
 - Médecins
 - Physiothérapeutes

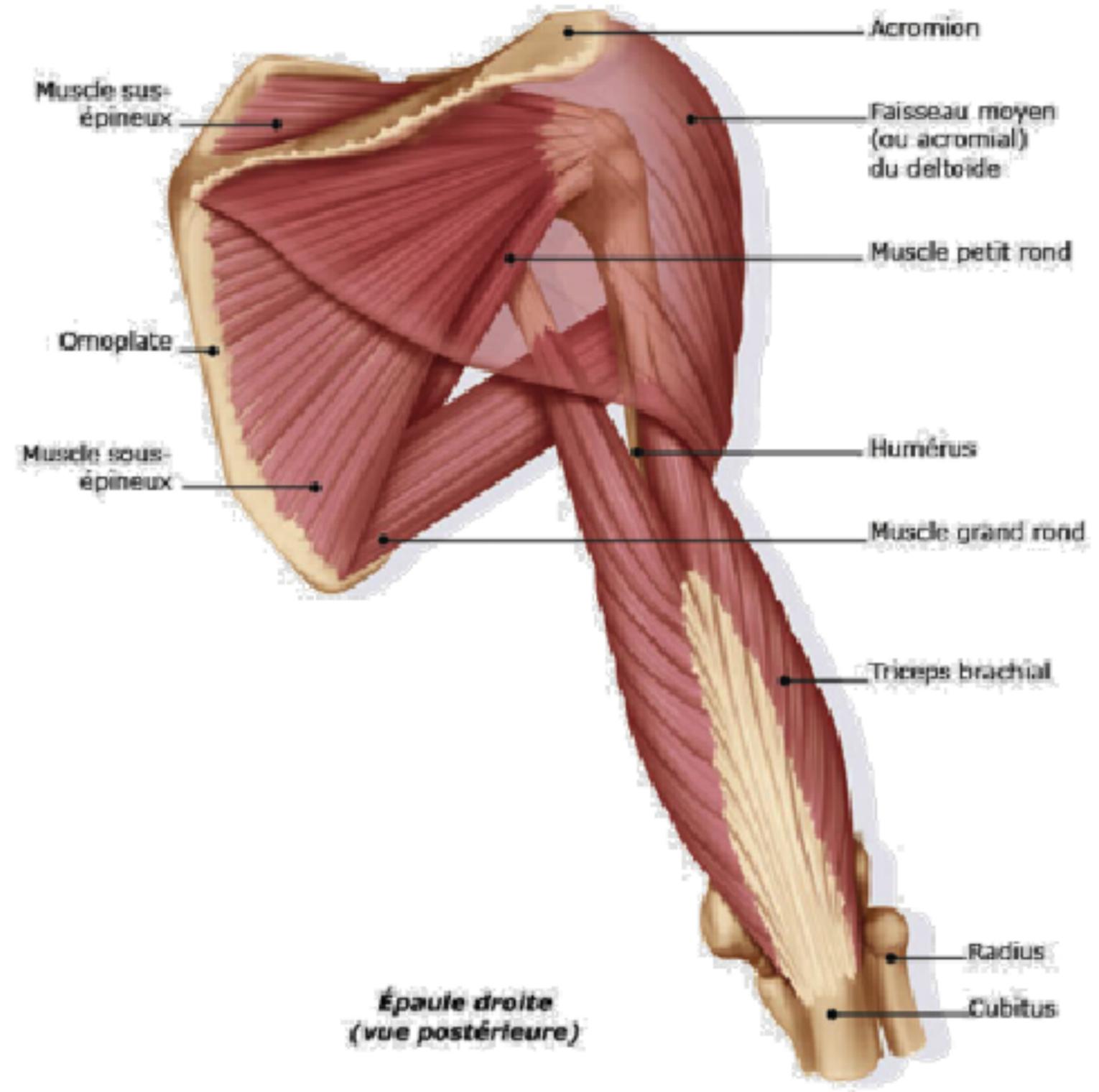
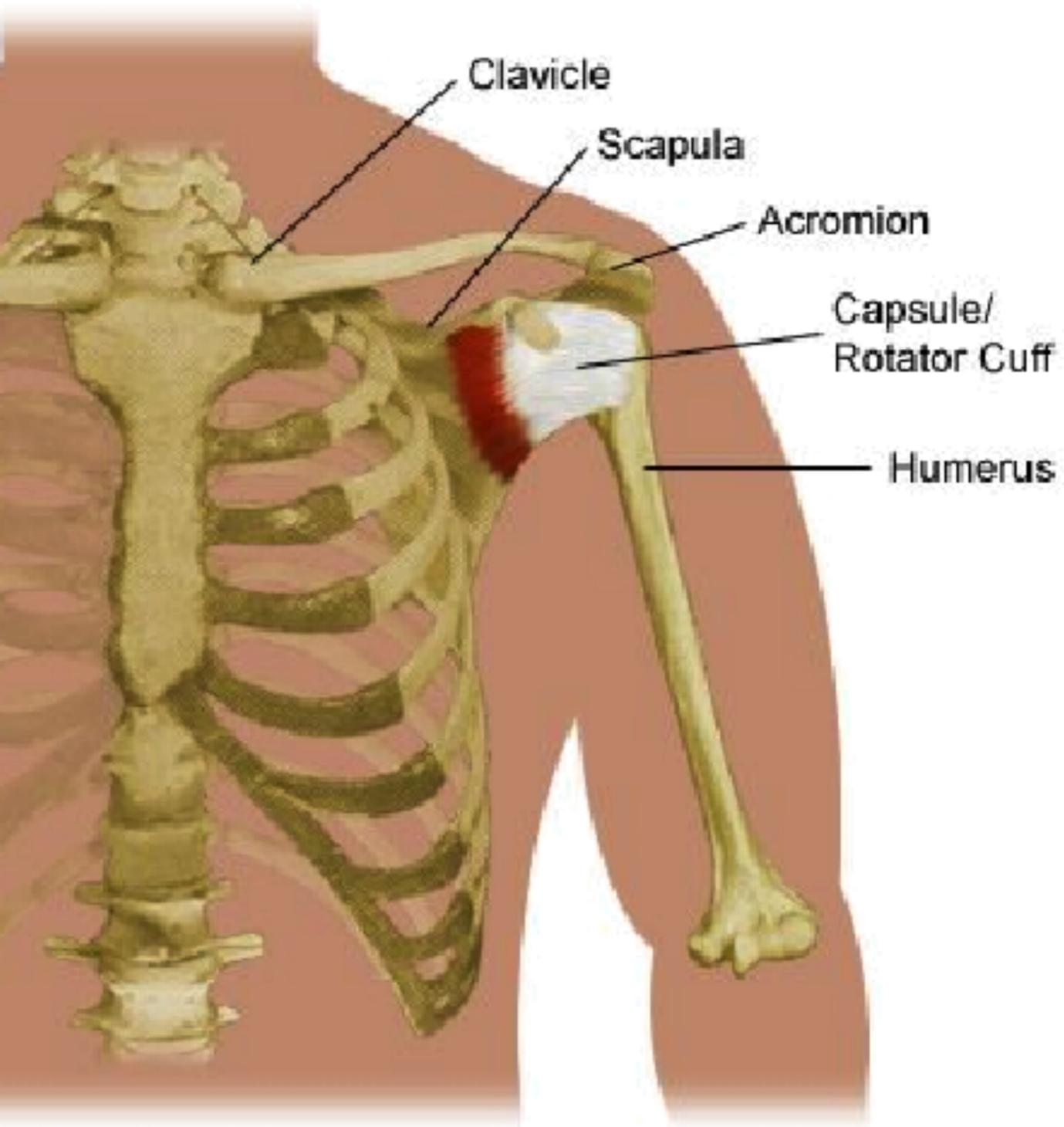
Prévention
Entraînement
Réathlétisation



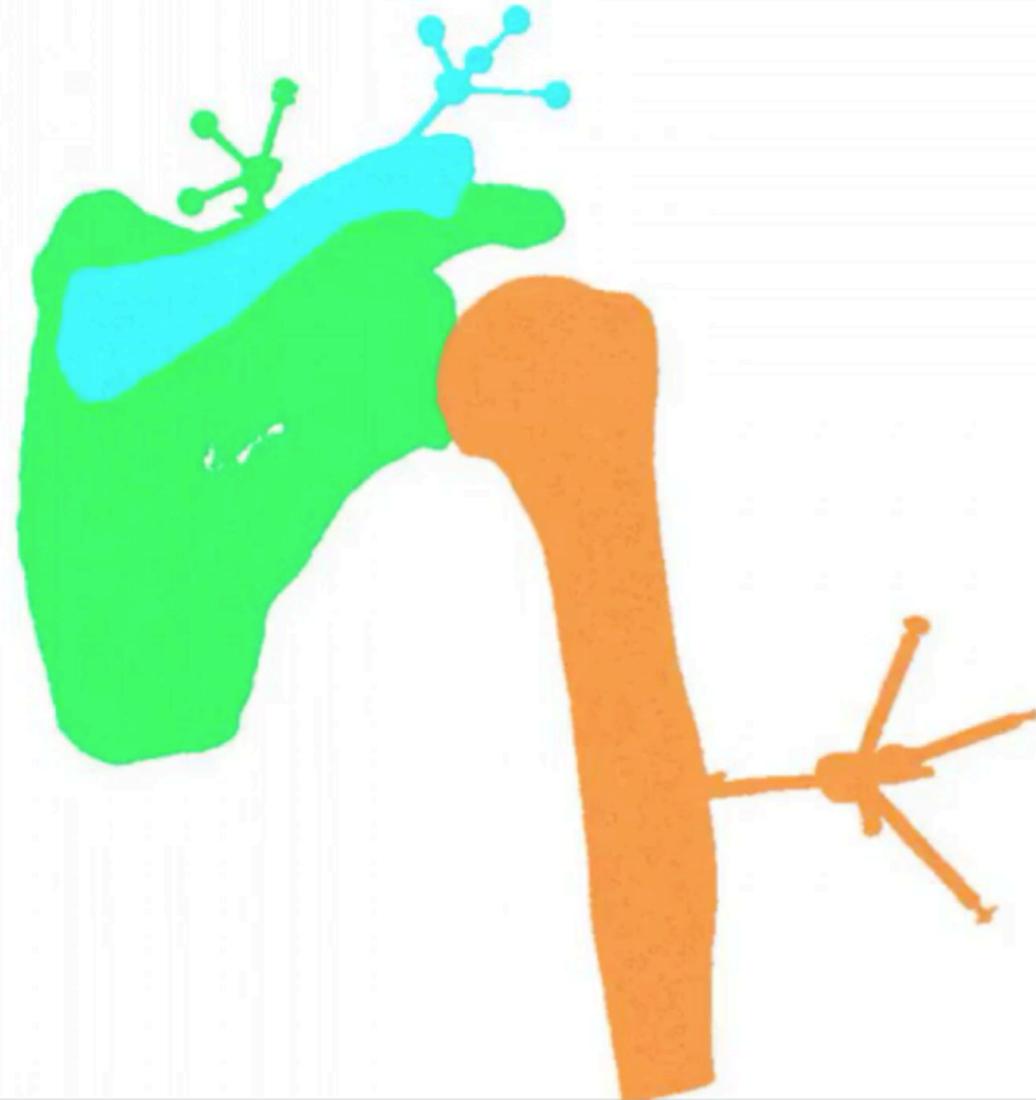
développement
d'équipements

modèles

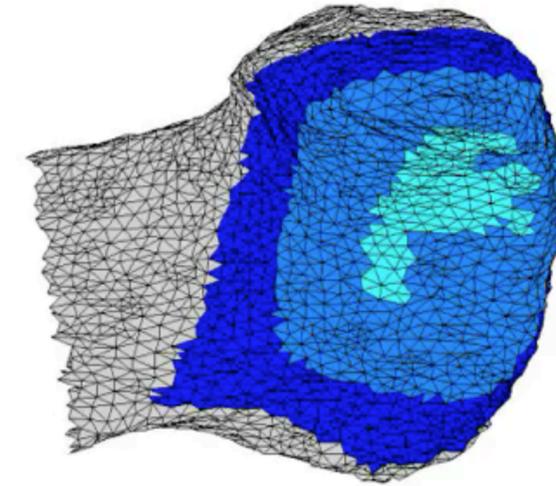
Anatomie de l'épaule



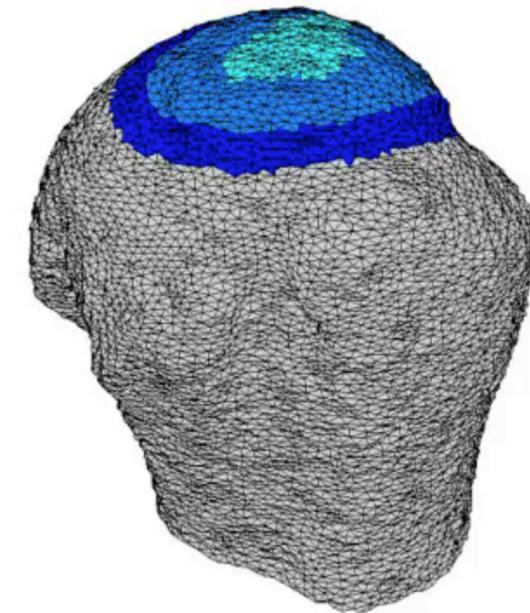
Anatomie fonctionnelle et coincement



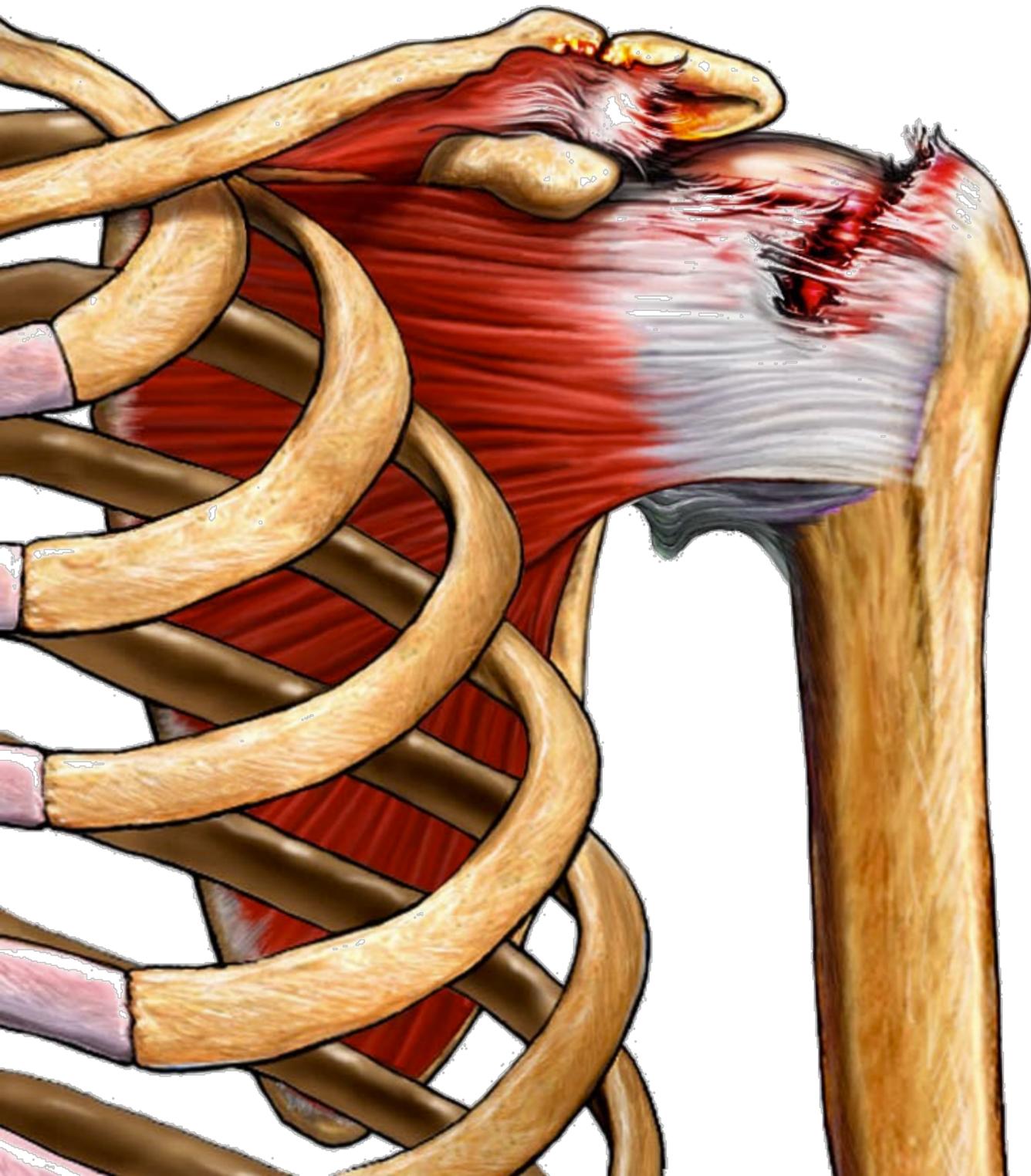
sous l'acromion



tête humérale



Épaule



- **Membre supérieur**
 - mobilité et redondance
 - interaction avec l'environnement
 - **Épaule**
 - 20 % de la population adulte a des problèmes à la coiffe
(Yamamoto, Takagishi et al. 2010)
 - 300 000 réparations de coiffe par an aux États-Unis
 - 1 à 2 ans d'attente pour une chirurgie au Québec

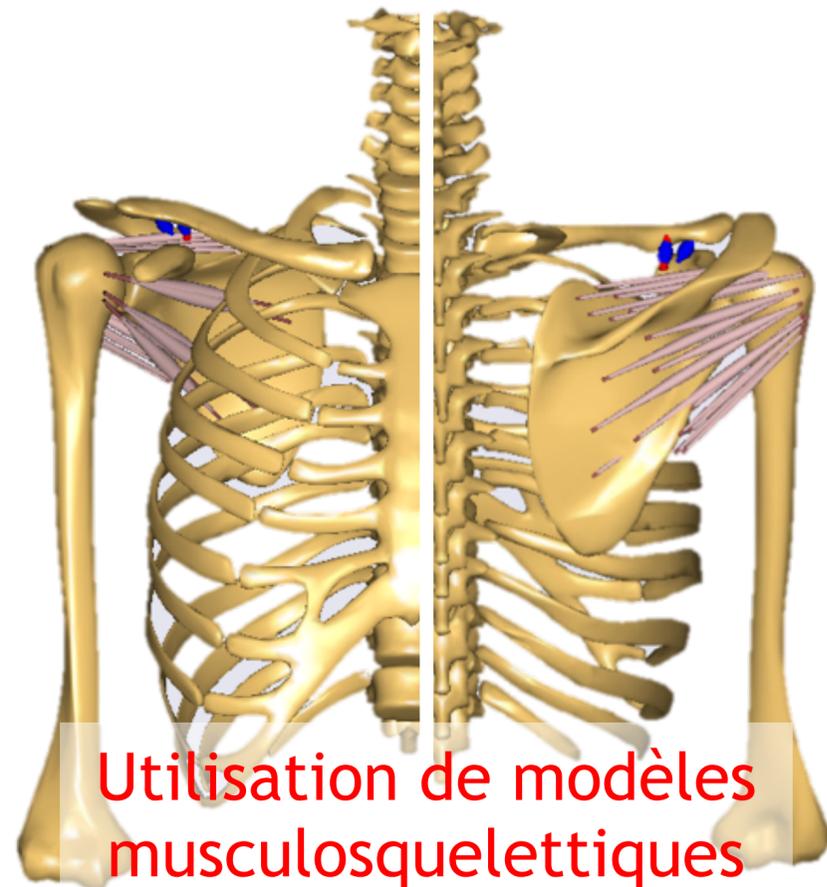
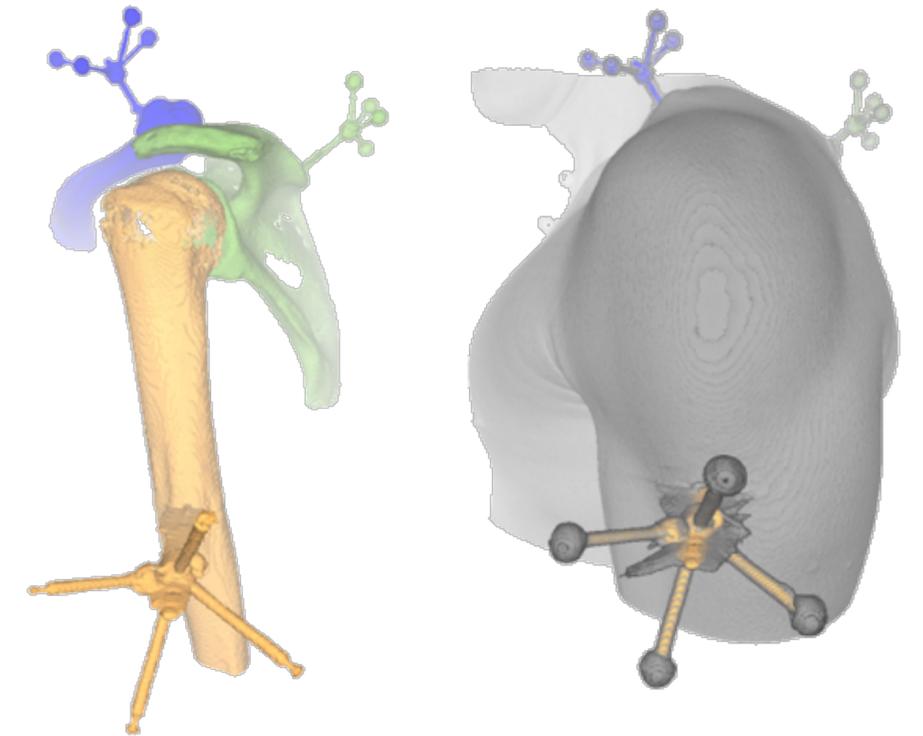
Motivations de recherche

- Prévenir les blessures à l'épaule
- Accélérer la réadaptation de l'épaule
- Améliorer les techniques gestuelles
- Développer de nouveaux modèles pour...



Laboratoire Ingénierie du Mouvement

- Études fondamentales
 - arthrocinématiques
 - EMG intramusculaire
- Études appliquées



Utilisation de modèles musculosquelettiques

2 ans d'attente
pour une chirurgie
Réadaptation longue



Constat international

- 10 % des travailleurs avec des problèmes d'épaule

(Urwin, Symmons et al. 1998; Luime 2004; Fallentin, Juul-Kristensen et al. 2001)

Table 16-1. Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs) of the Neck, Back, and Upper Extremity, Washington State Fund Workers' Compensation Claims, 1997–2005

Type	Incidence per 10,000 FTEs	Median Lost Workdays	Median Cost
All	258.0	42	\$939
Neck	31.5	53	\$950
Back	133.9	24	\$834
Sciatica	5.7	260	\$22,768
Upper extremity	97.9	74	\$948
Shoulder	35.5	83	\$1,111
Rotator cuff syndrome	17.3	142	\$7,589
Elbow/forearm	16.8	64	\$672
Epicondylitis	11.1	92	\$1,238
Hand/wrist	49.4	69	\$555
Carpal tunnel syndrome	20.4	93	\$7,225
Tendonitis	15.3	80	\$1,483
Knee	9.8	38	\$1,569
Tendonitis/Bursitis	0.5	42	\$713

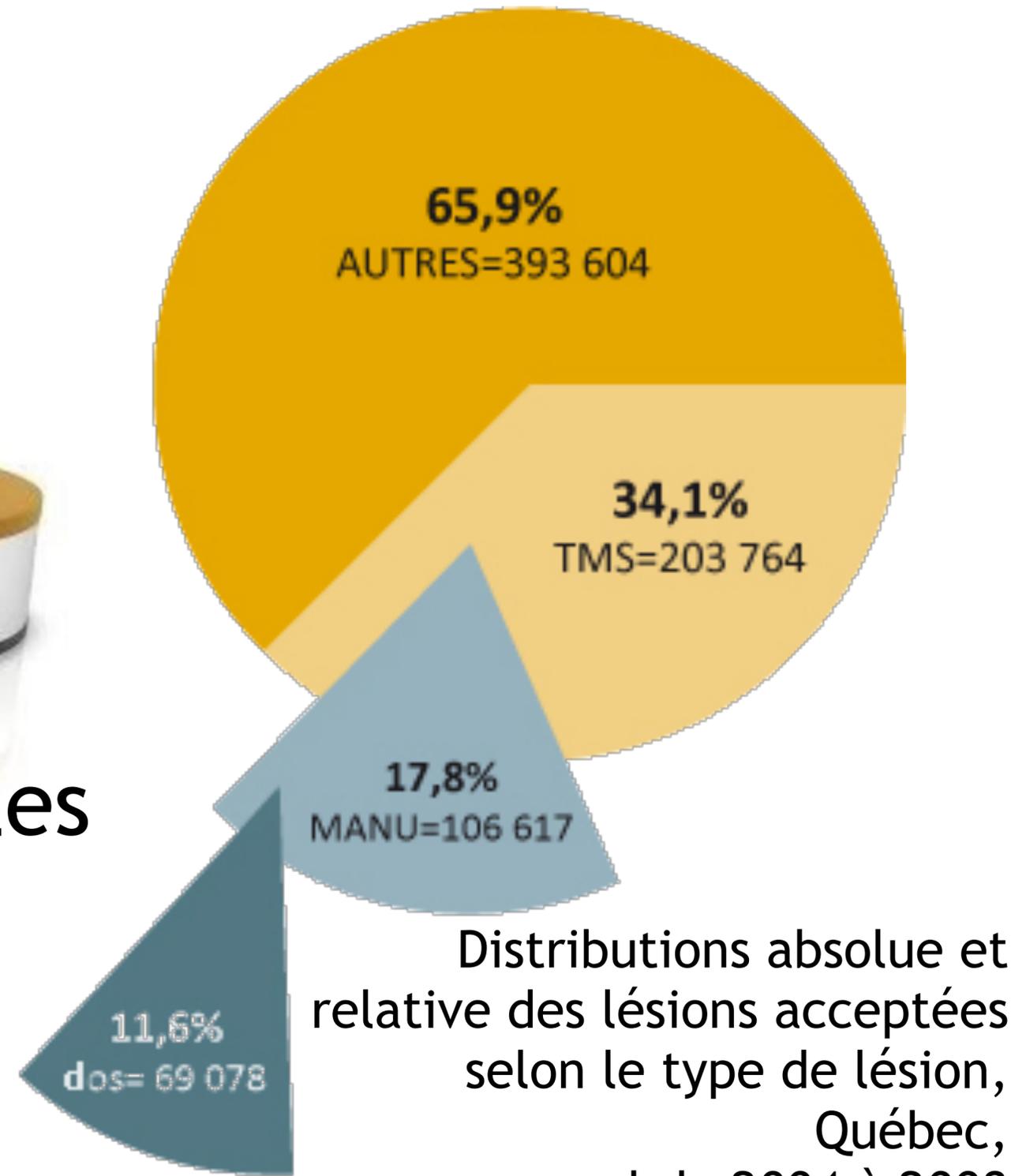


Silverstein, B. et Bradley, E. Musculoskeletal disorders in Occupational and Environmental Health: Recognizing and Preventing Disease and Injury. 6^e édition, Oxford University Press 2011, p. 335-365.

Au Québec



- 10 % des lésions professionnelles indemnisées au Québec
- Débours moyen de 12 500 \$ et 120 jours indemnisés



Distributions absolue et relative des lésions acceptées selon le type de lésion, Québec, cumul de 2004 à 2008

Les évidences?

- Facteurs de risque
 - répétition, charge et posture (élévation des bras $> 60^\circ$)
 - (van der Windt, Thomas et al. 2000, Punnett and Wegman 2004, Sommerich and Hughes 2006, Rijn, Huisstede et al., 2010)
- Études isolées avec des populations différentes
 - de nouvelles études sont nécessaires (Rijn, Huisstede et al., 2010)
- Manque d'information quantitative sur les contraintes musculosquelettiques
 - mouvements dynamiques avec les mains au-dessus de la tête (Garg and Kapellush, 2009)

Manque d'information quantitative sur les contraintes musculosquelettiques

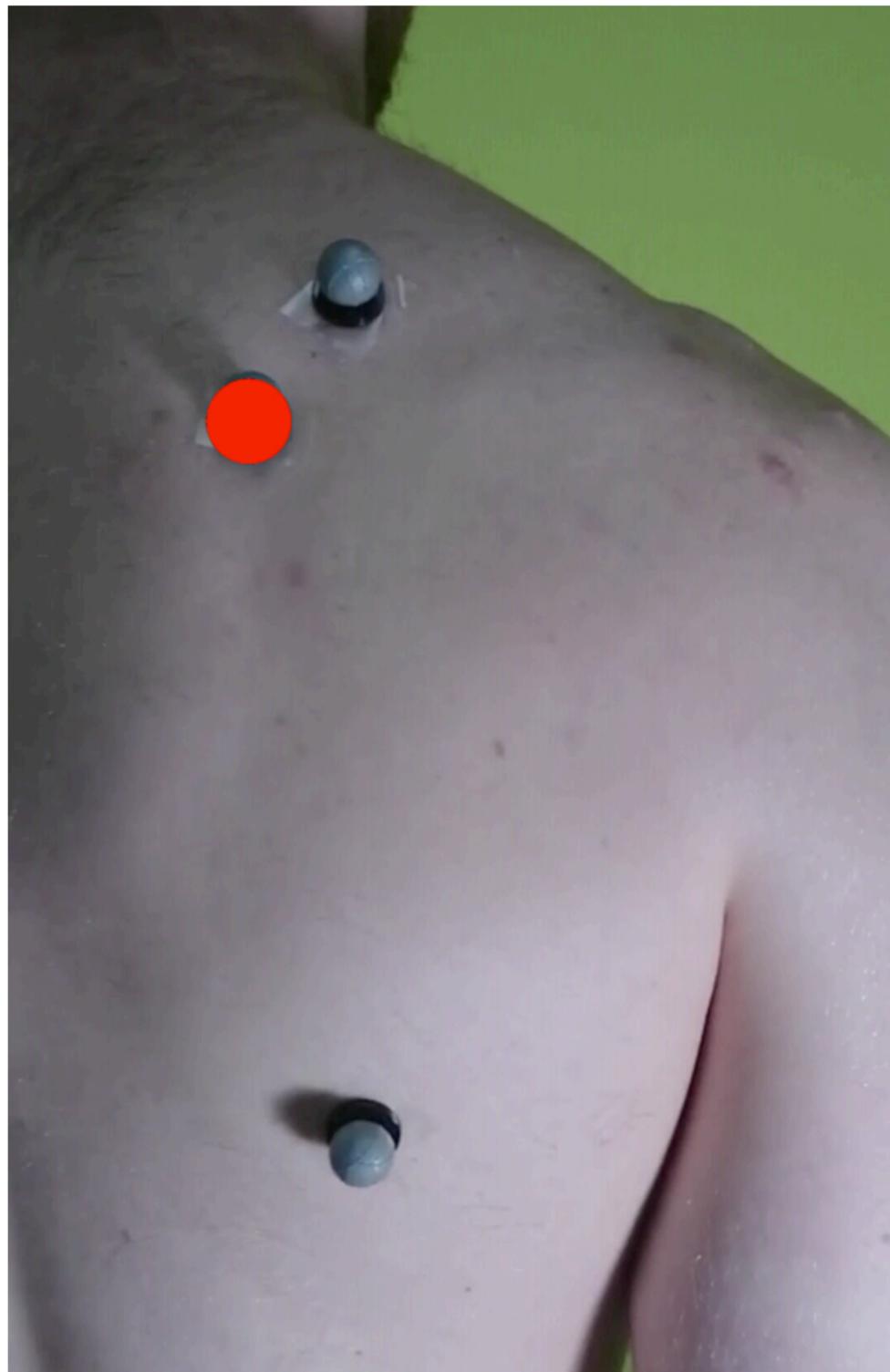
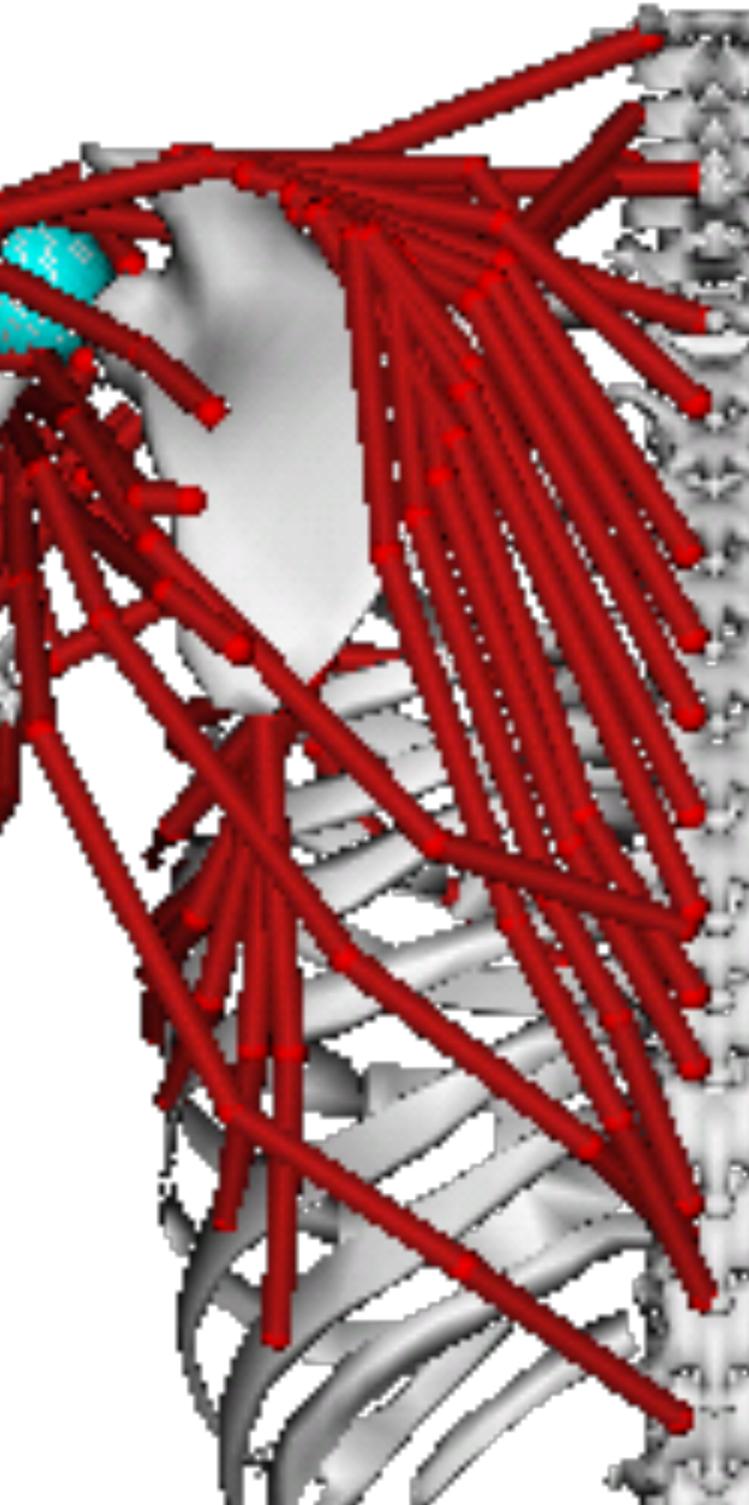


Modèles (cinématique et musculosquelettique) sensibles à la manutention

Expériences : hommes vs femmes experts vs novices, fatigue

**Réduire les blessures à l'épaule
Accélérer le retour au travail**

Difficultés expérimentales



Os glissent sous la peau

3D

Scapula : 18 muscles

Humérus : 27 muscles

Muscles pluriarticulaires

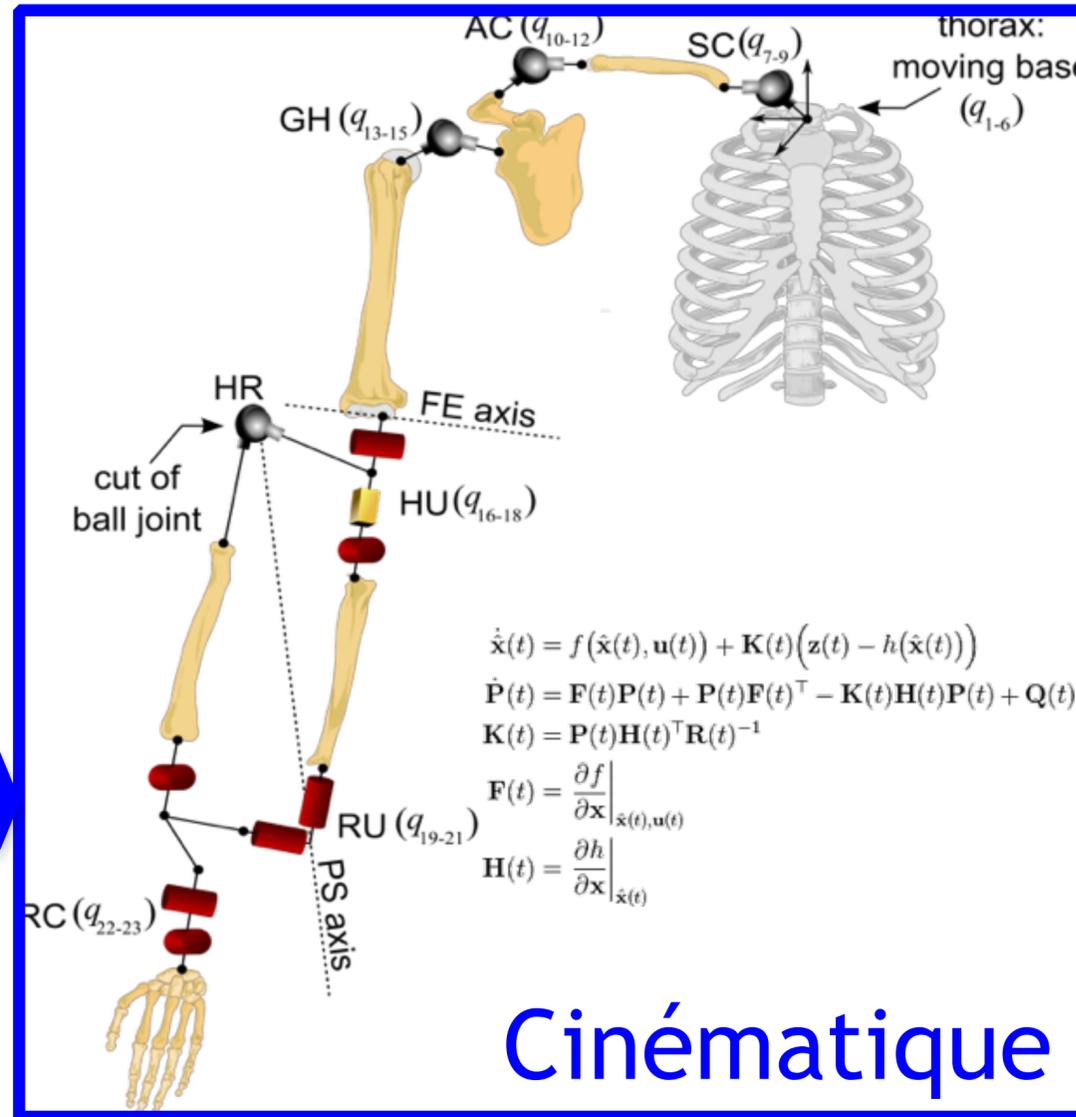
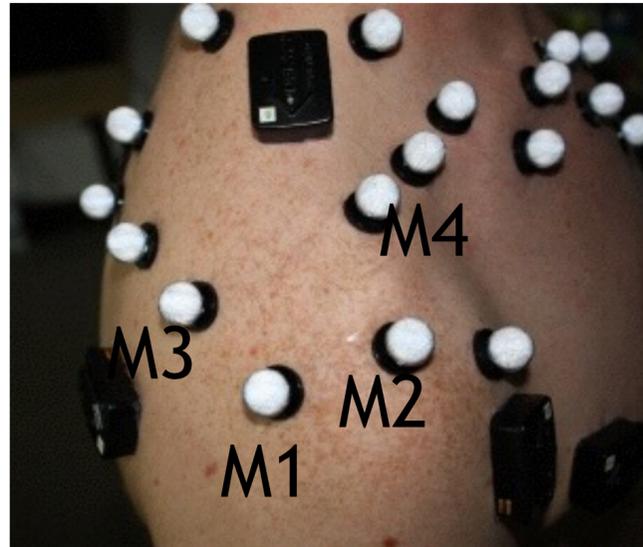
90 % des modèles
pour la marche

Objectifs du projet IRSST

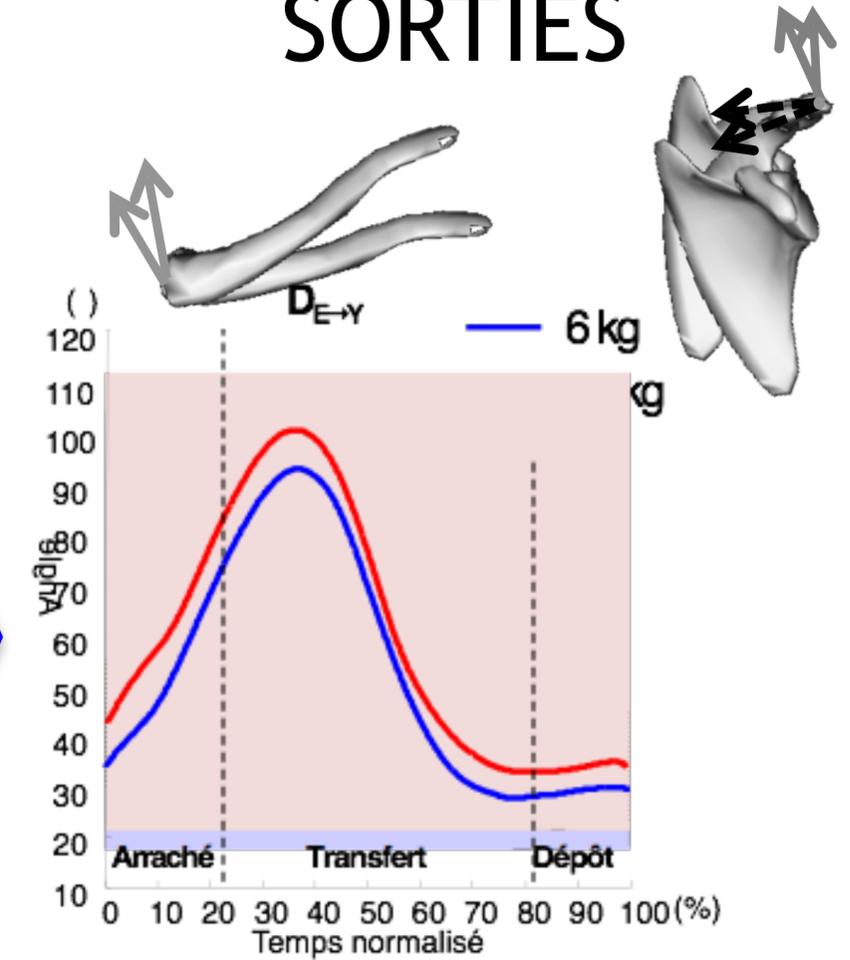
Développer (1) un modèle *cinématique* et (2) un modèle *musculosquelettique* de la ceinture scapulaire et du bras pour étudier la biomécanique de l'épaule lors de la manutention et (3) en tester la **sensibilité** aux conditions de tâches et masses.

Modèle?

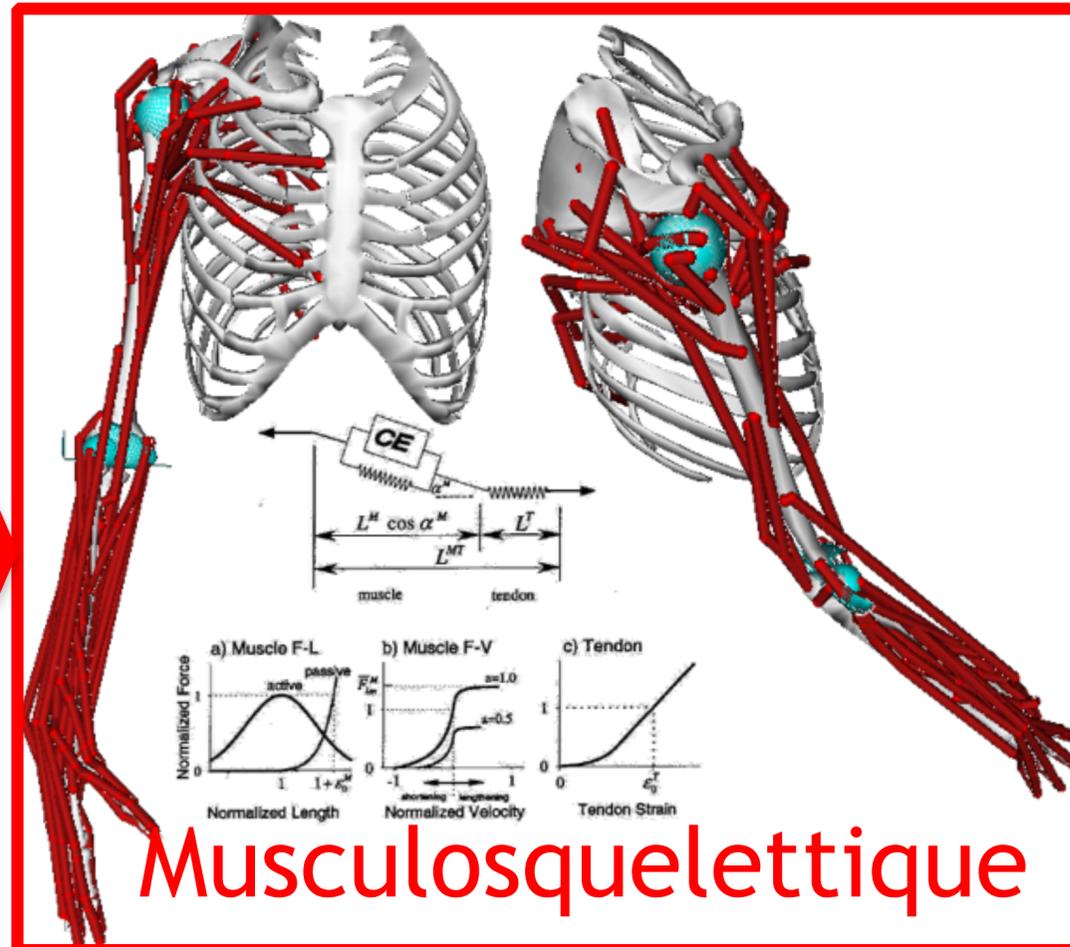
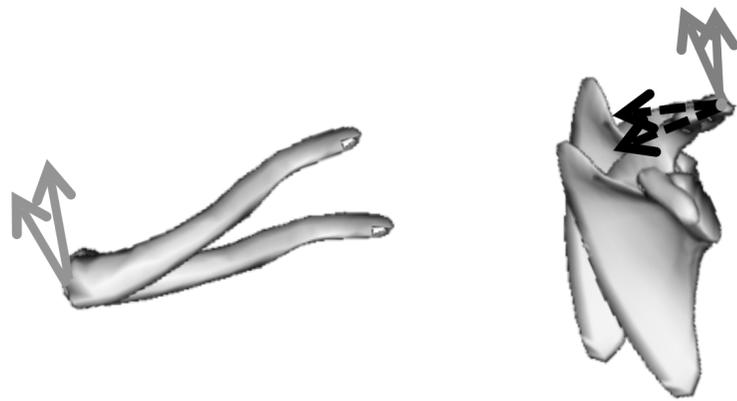
ENTRÉES



SORTIES

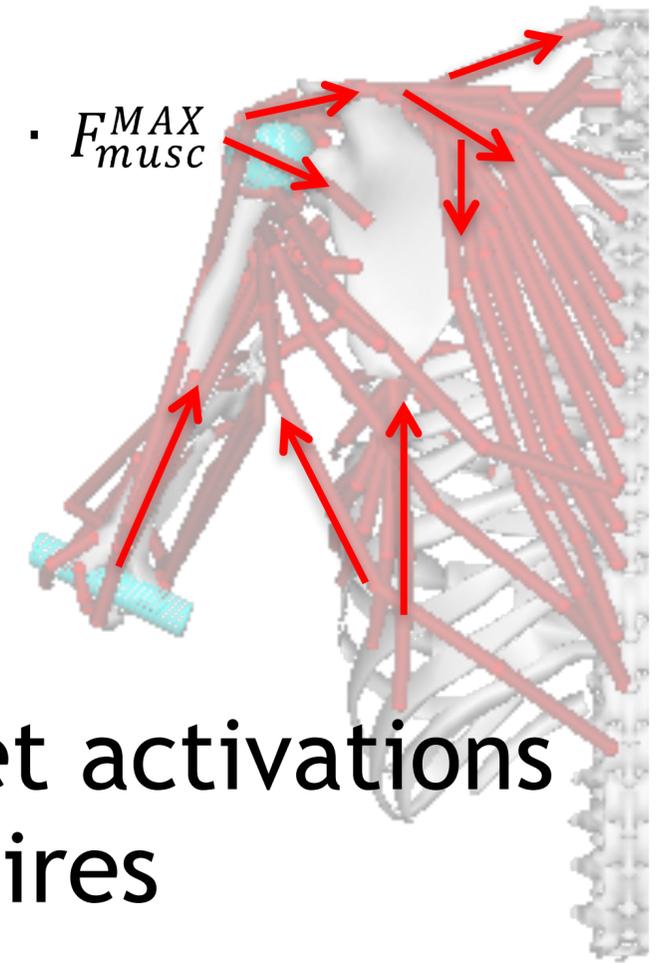


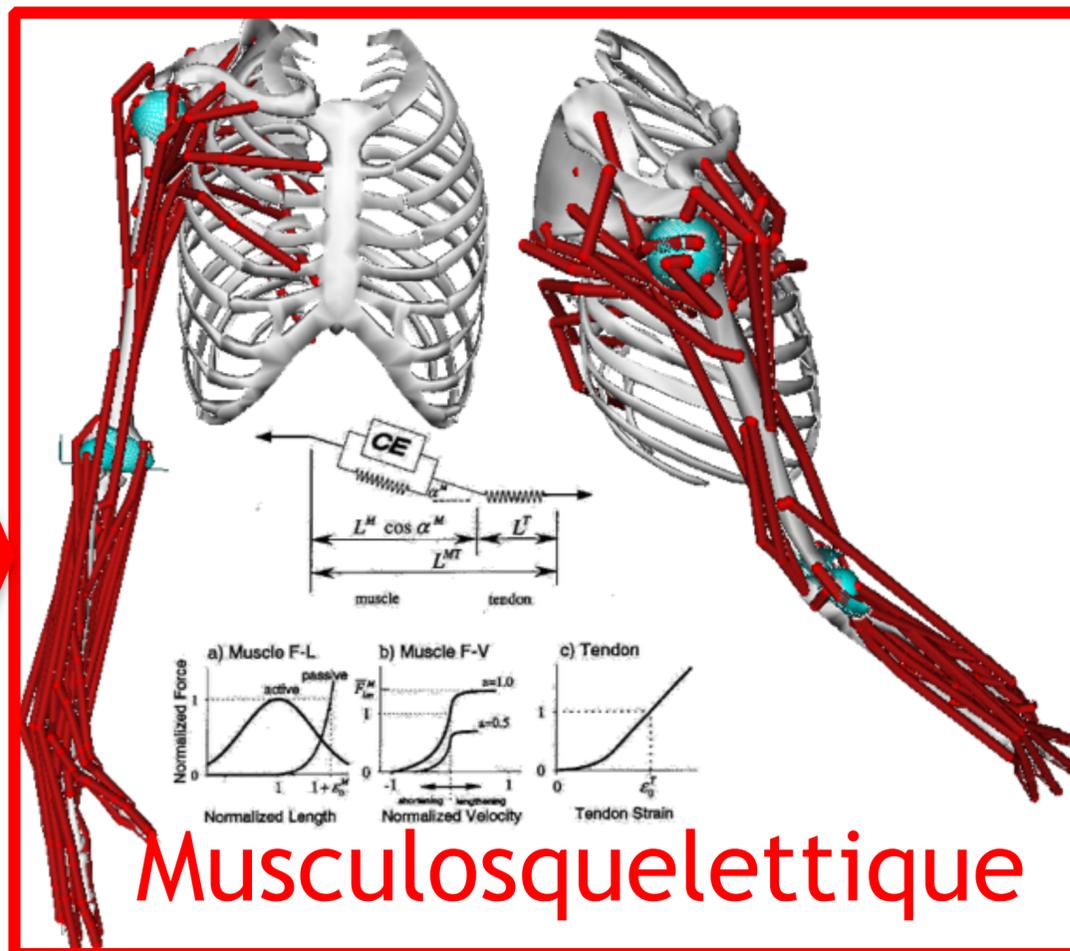
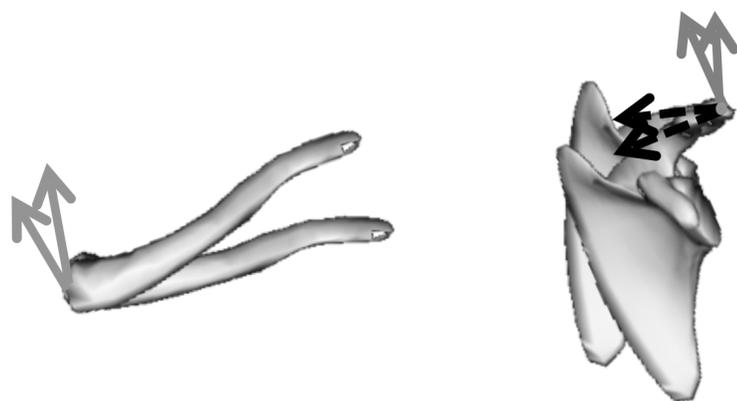
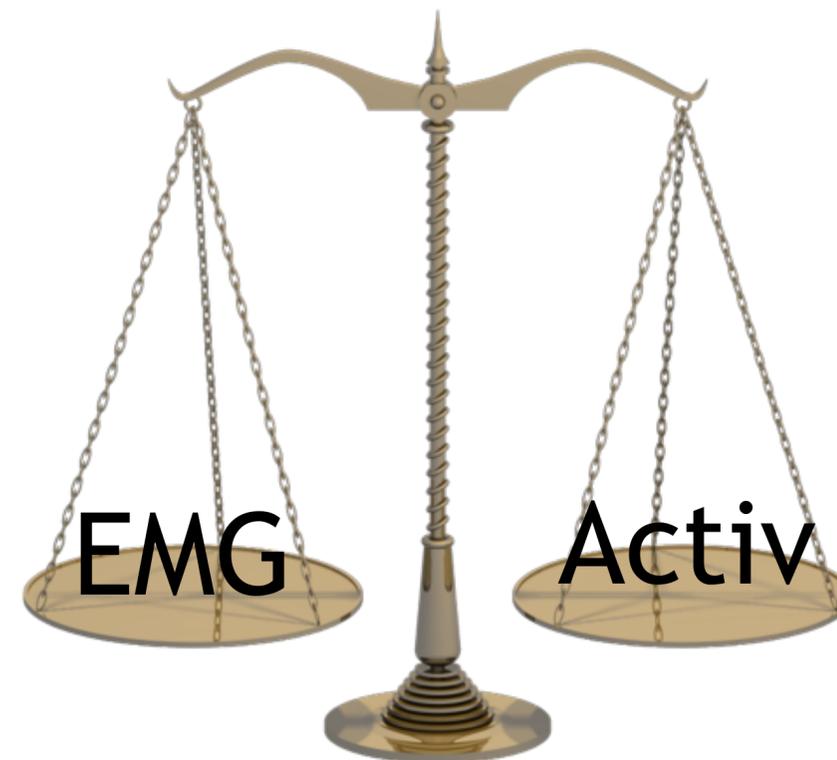
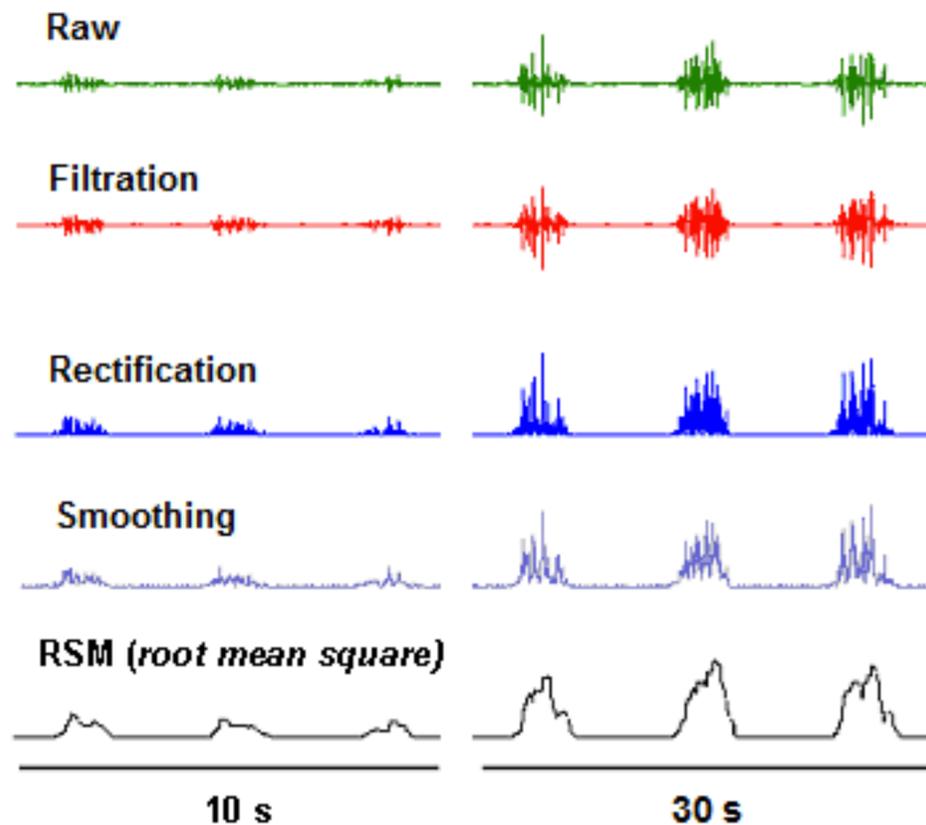
Modèle?



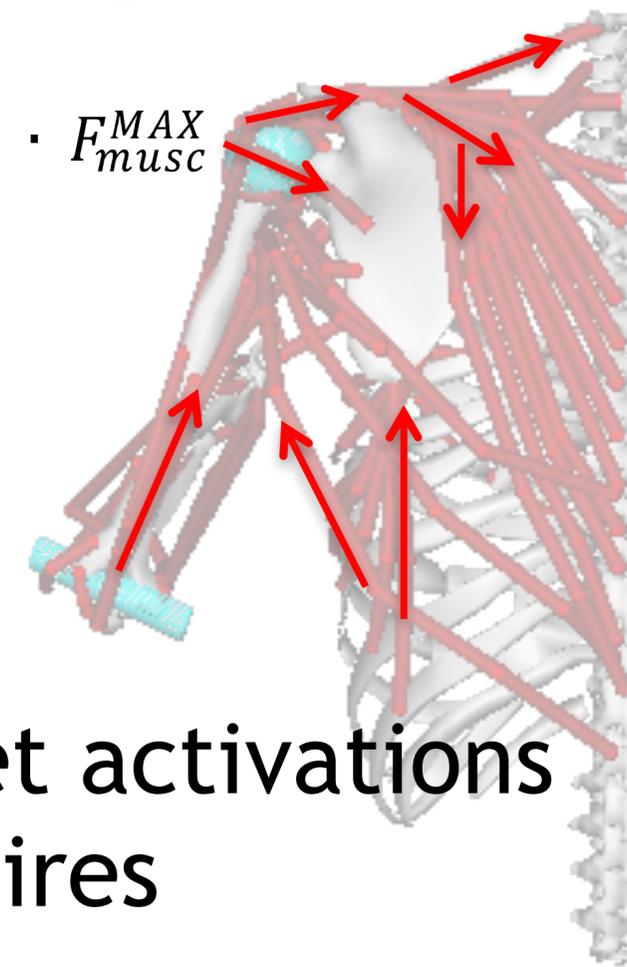
$$F_{mus} = Activ \cdot F_{musc}^{MAX}$$

Forces et activations musculaires



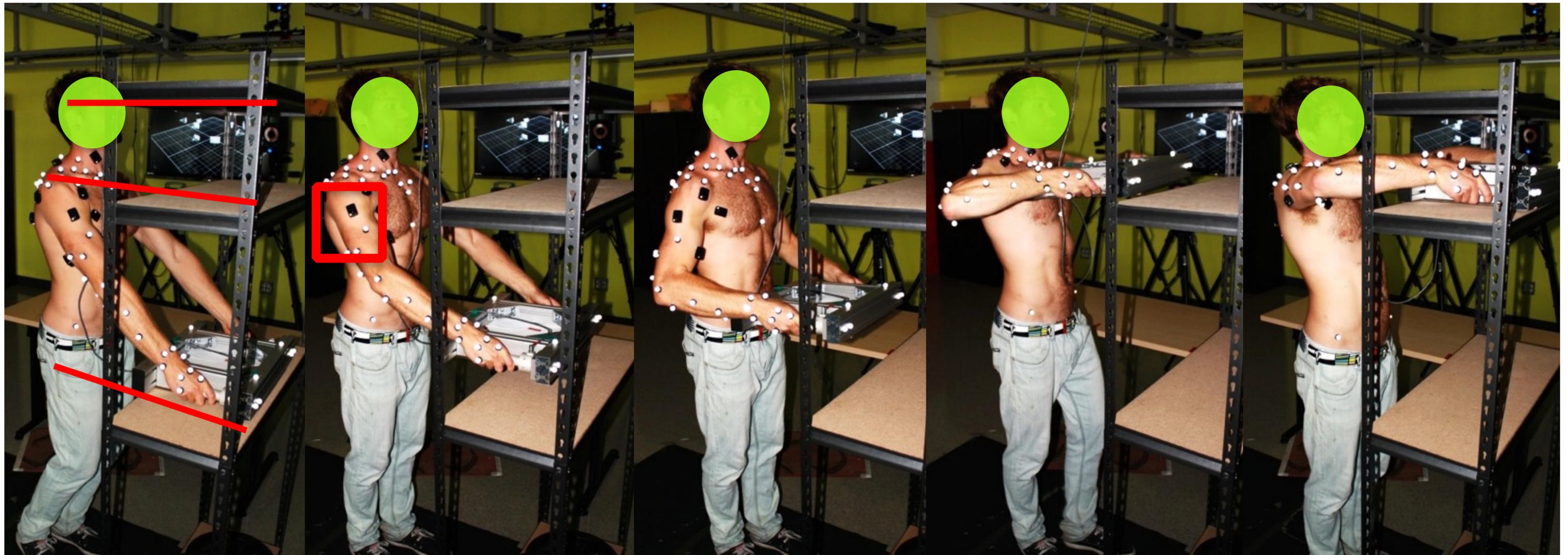


$$F_{mus} = Activ \cdot F_{musc}^{MAX}$$



Forces et activations musculaires

Protocole expérimental



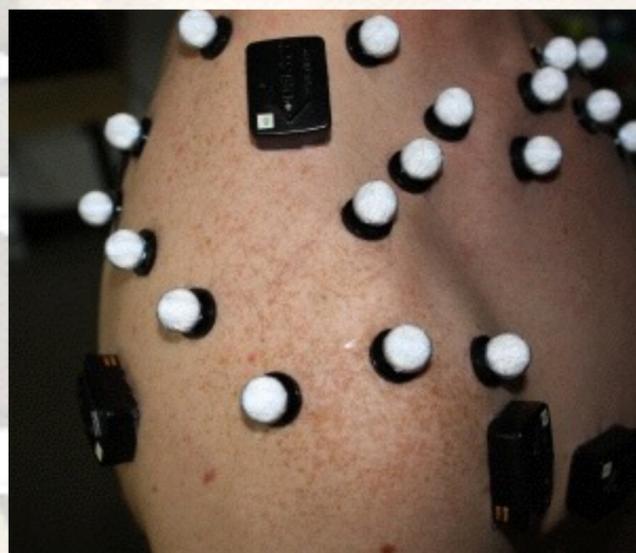
Protocole expérimental

- 3 masses : 6, 12 et 18 kg
- 3 hauteurs : hanches, épaules, yeux
- 8 femmes et 10 hommes

Groupe

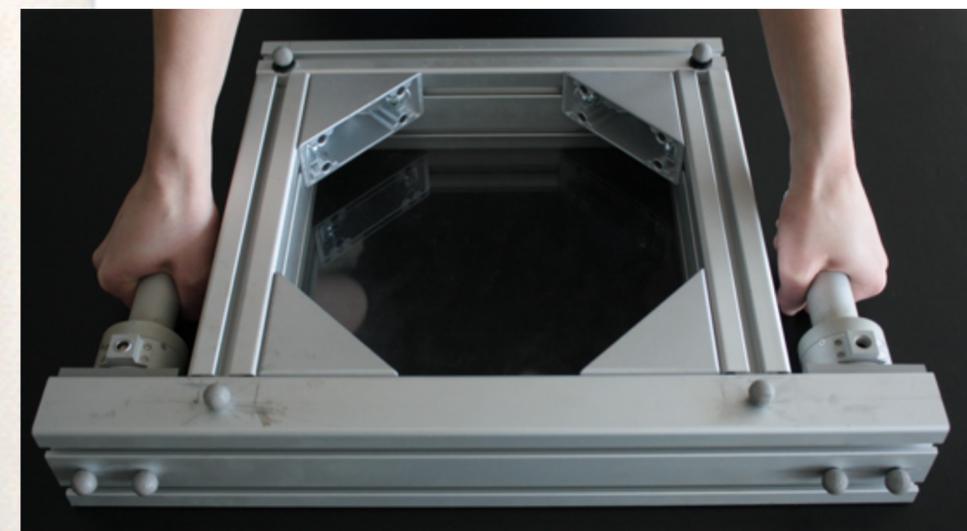


Mouvement



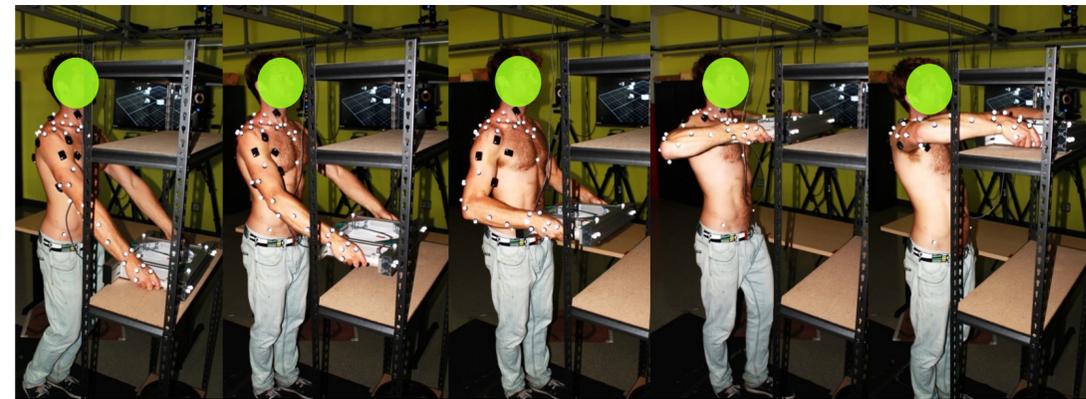
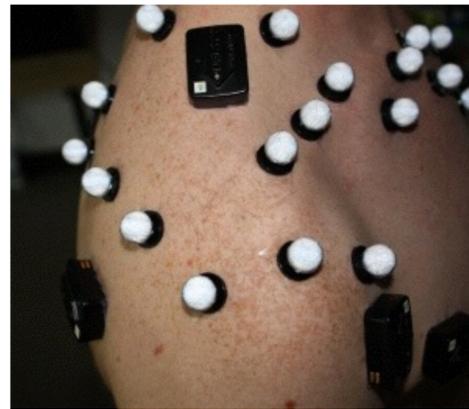
Activité musculaire

Forces à la main



80 minutes d'expérience

100 % des essais reconstruits



Explication
5 min



EMG
15 min

- Installation des électrodes [5 min]
- Tests de normalisation [10 min]



Cinématique 15 min

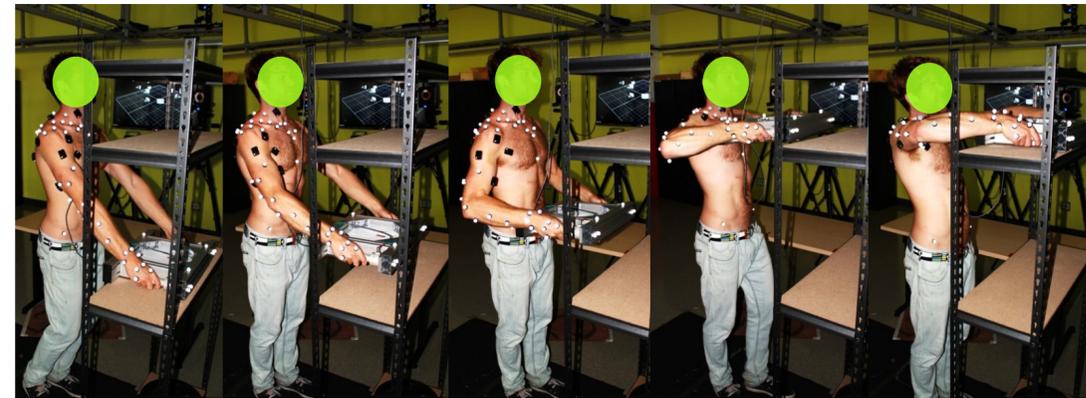
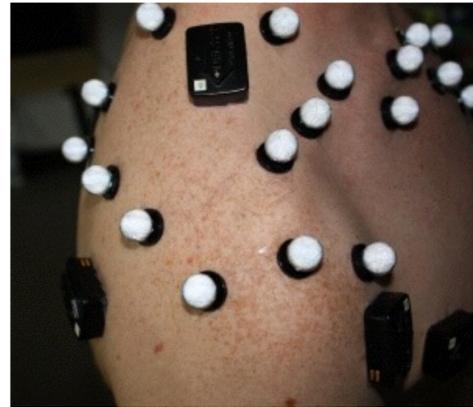
- Installation des marqueurs [10 min]
- Location des centres de rotation [5 min]



Gestes de manutention
45 min

- 3 répétitions
- 3 hauteurs (6 mouvements)
- H : 3 masses
- F : 2 masses
- TOTAL : 54 essais

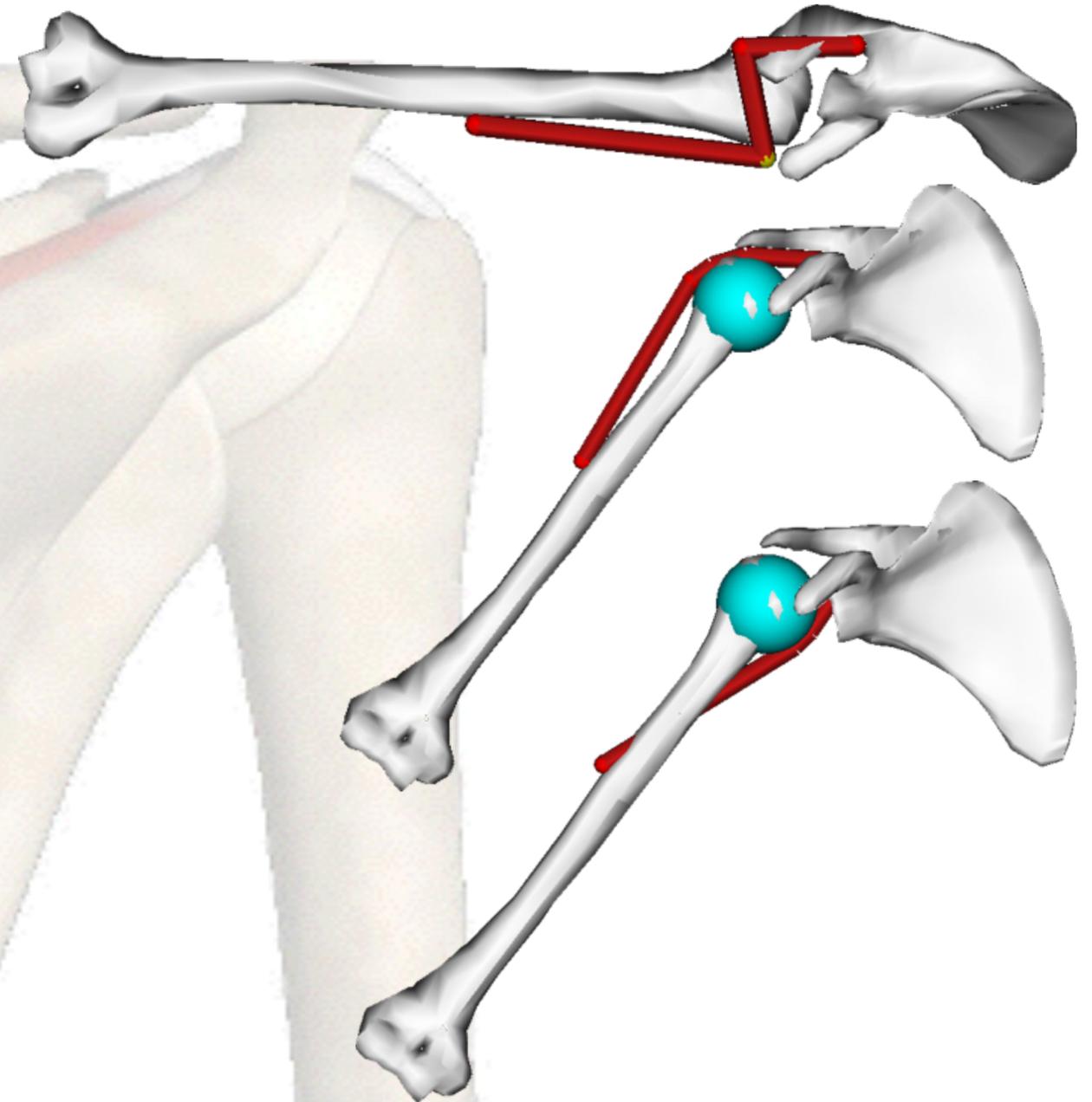
80 minutes d'expérience 100 % des essais reconstruits



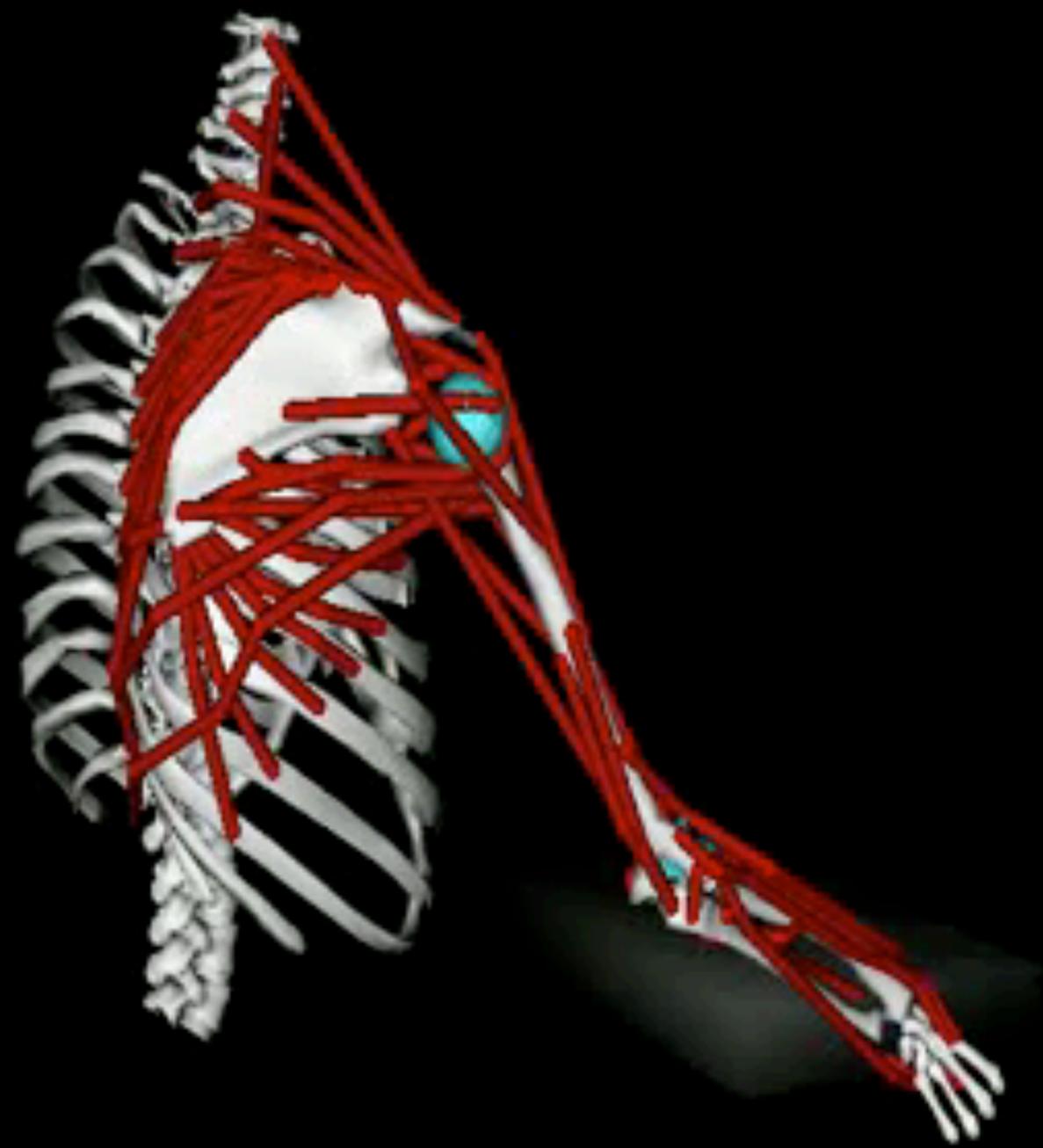
Méthode robuste aux occlusions
Importance de la redondance
Modèle personnalisé (centre articulaire et ellipsoïde)

Améliorations du modèle

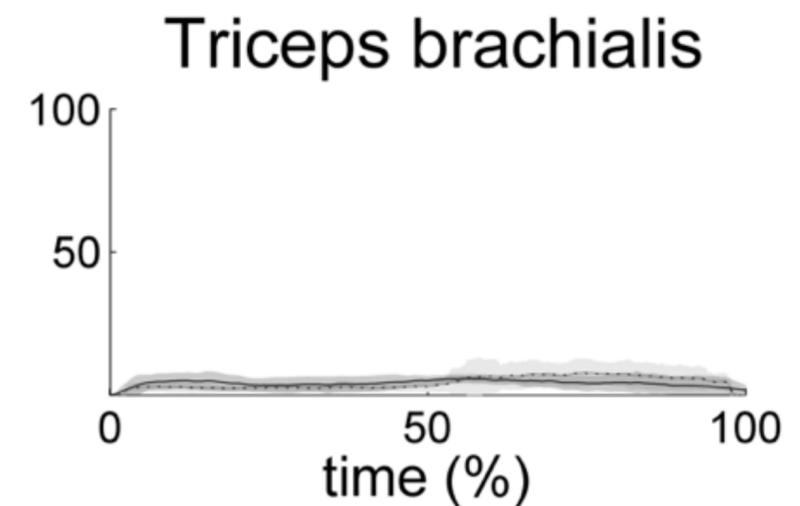
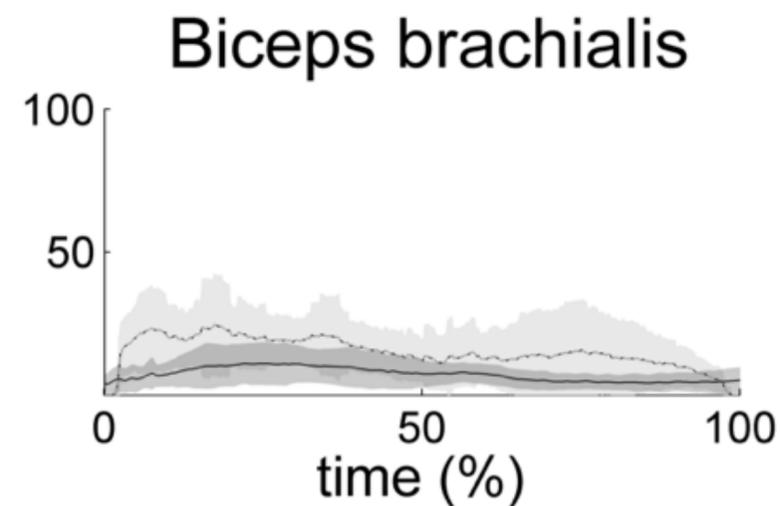
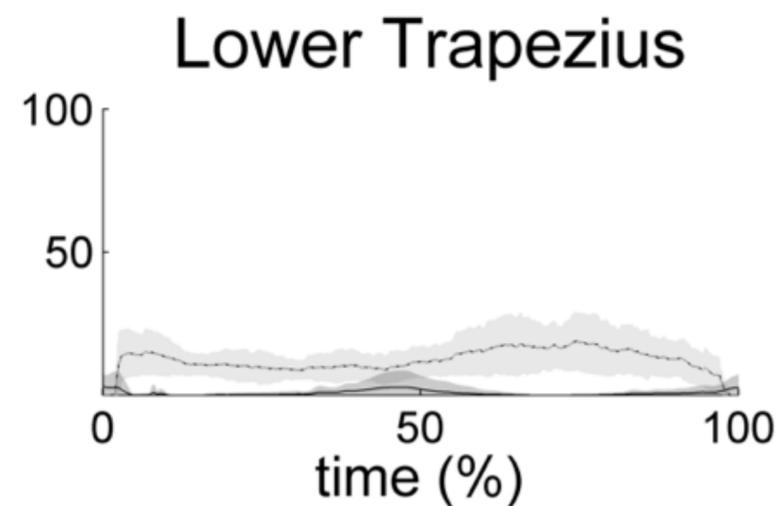
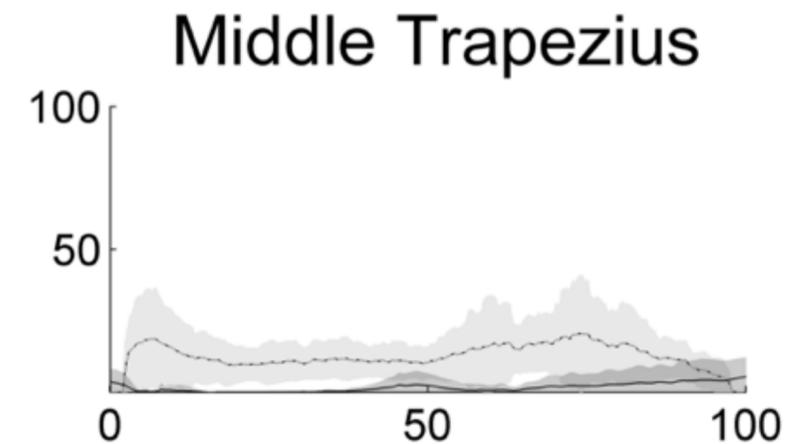
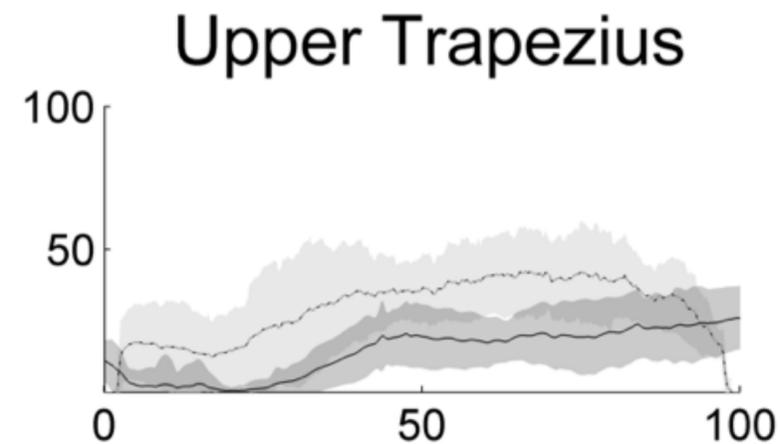
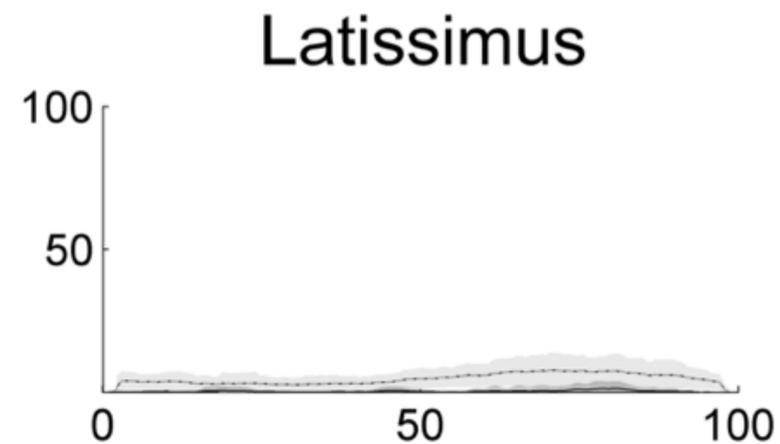
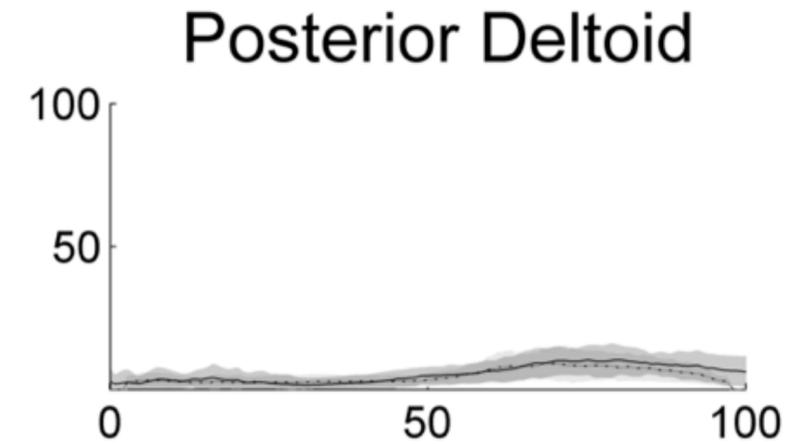
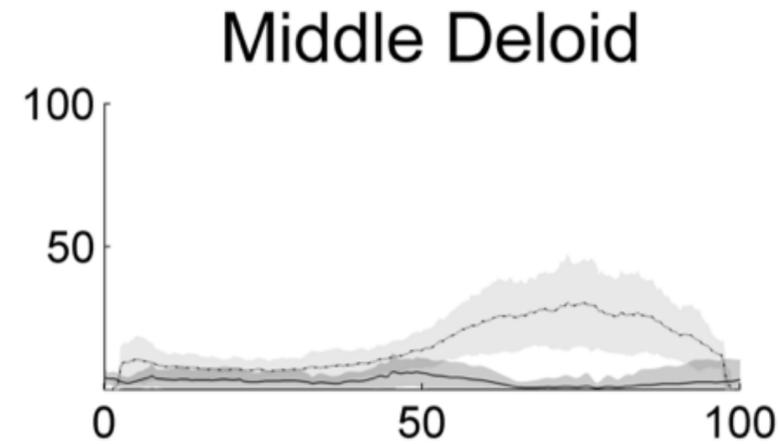
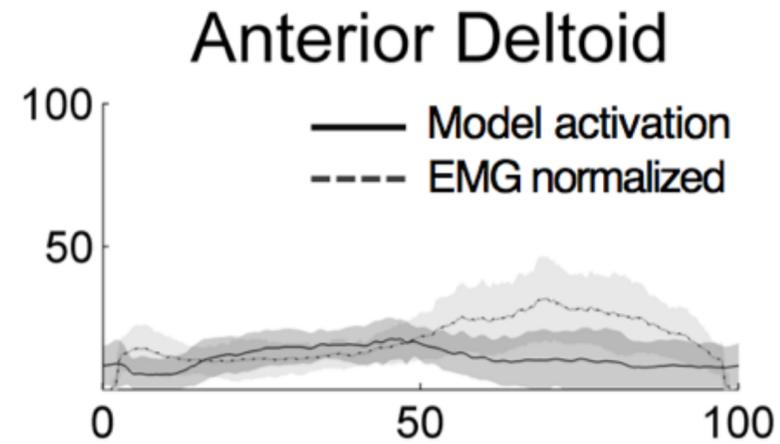
- Points de passage
- Objets de contournement
- Mise à l'échelle



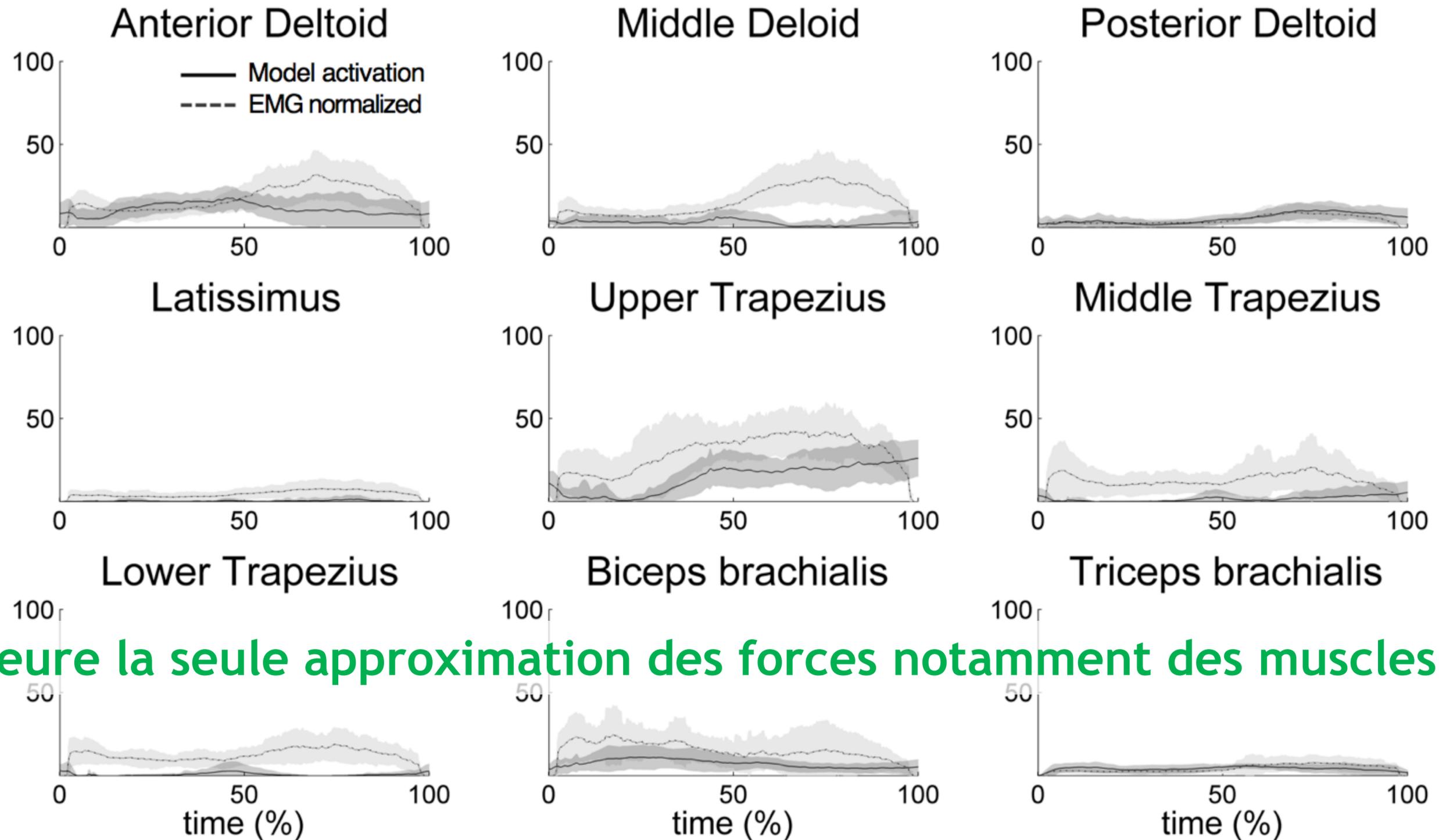
Le modèle est ainsi adapté à la manutention et, à la différence du modèle de Dickerson, il tient compte des relations force-longueur et force-vitesse.



Activation *versus* EMG (adéquation)



L'optimisation statique sous-estime les activations musculaires, notamment des antagonistes.



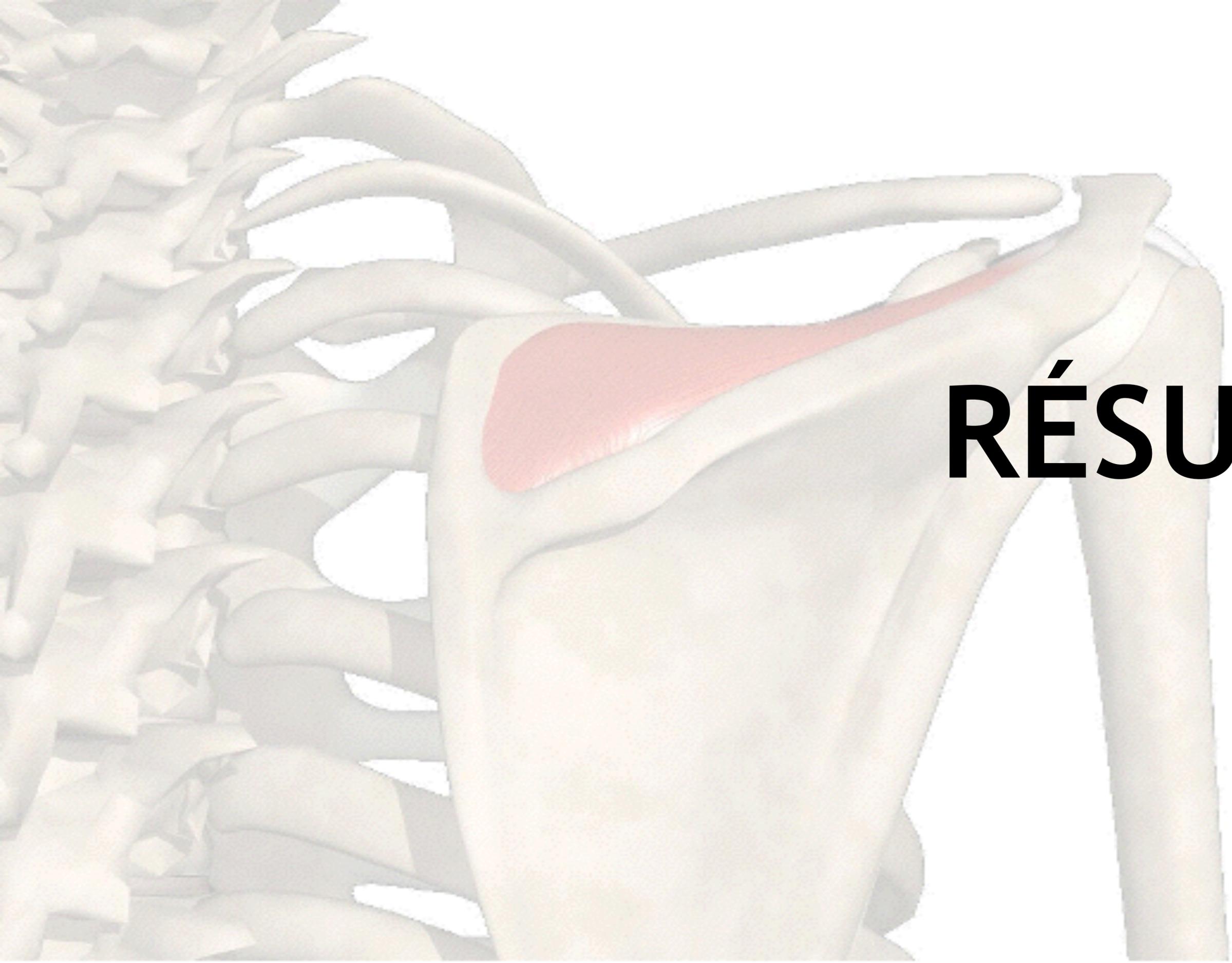
Mais demeure la seule approximation des forces notamment des muscles profonds

Modèle musculosquelettique

- Limites
 - sous-estimation
 - poursuivre les développements
 - rester critique
- Applications
 - forces internes nécessaires à la compréhension
 - modèle adapté à la manutention
 - directions des forces, muscles les plus sollicités
 - **et si?**
- Charge importante sur la coiffe des rotateurs

Begon 2014-2019

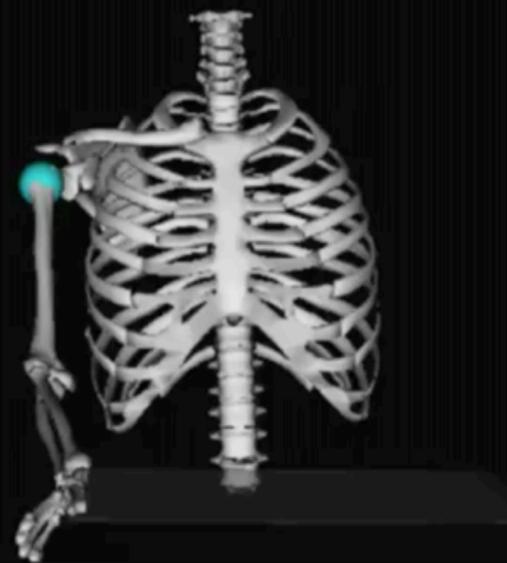




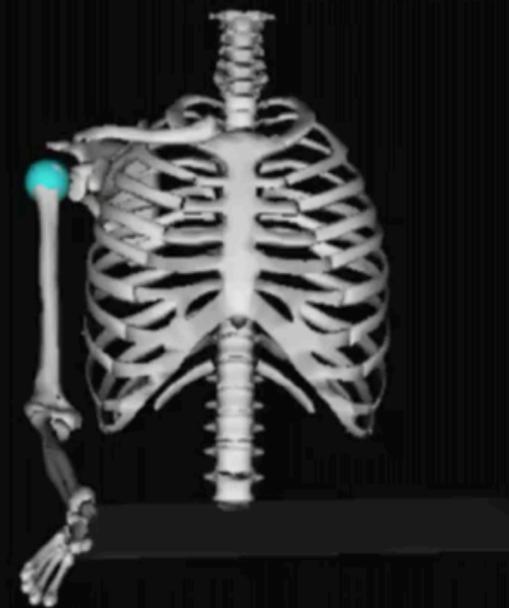
RÉSULTATS

Rythme scapulohuméral et travail du trapèze

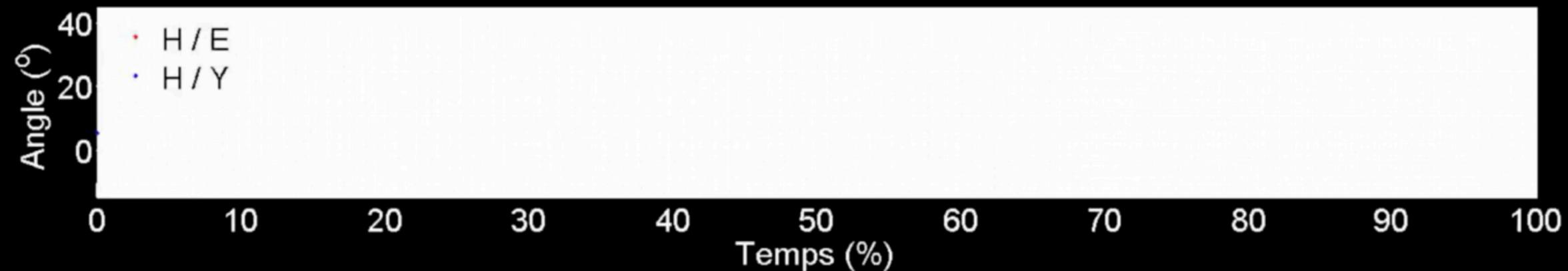
Bassin/Yeux



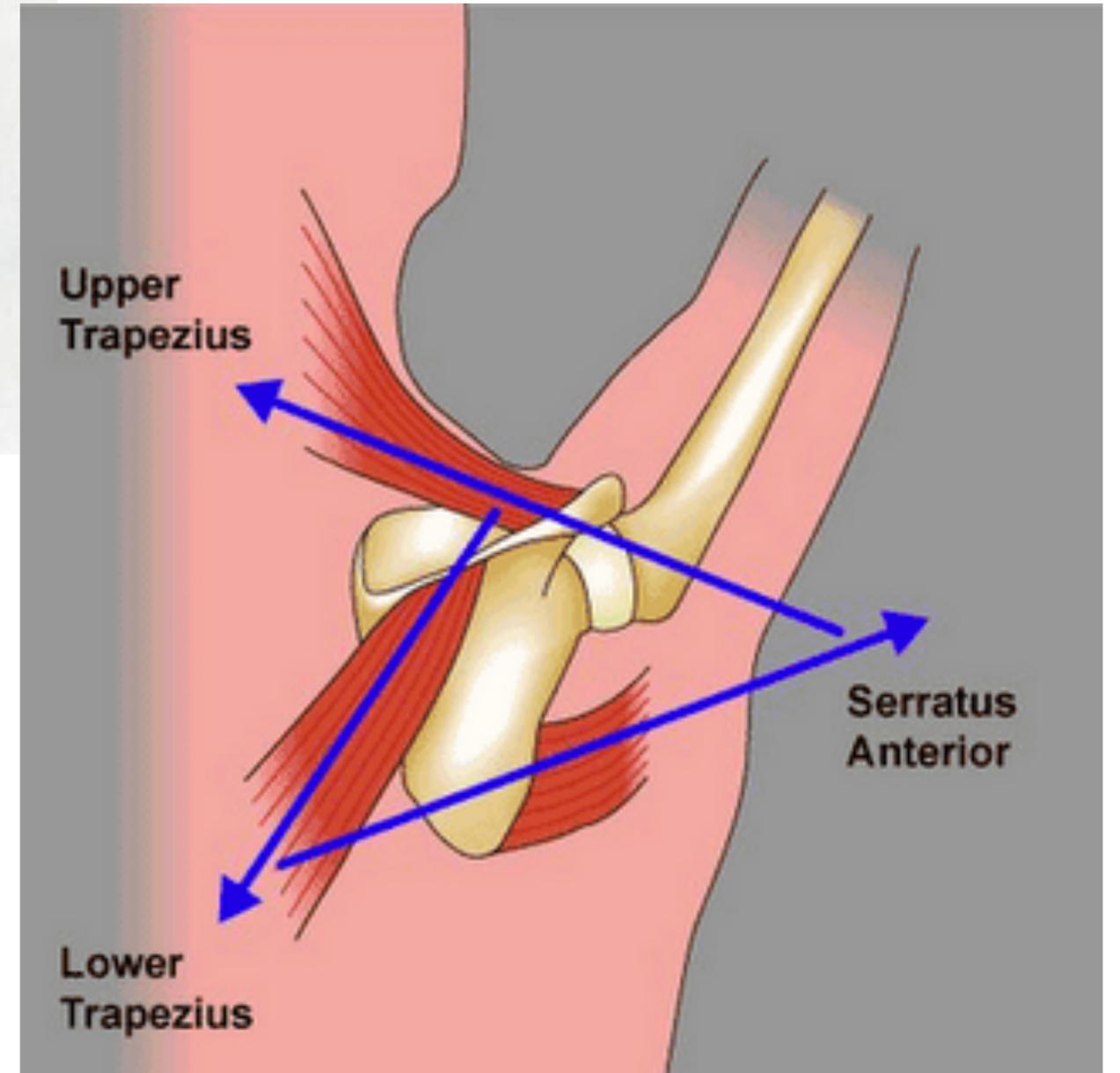
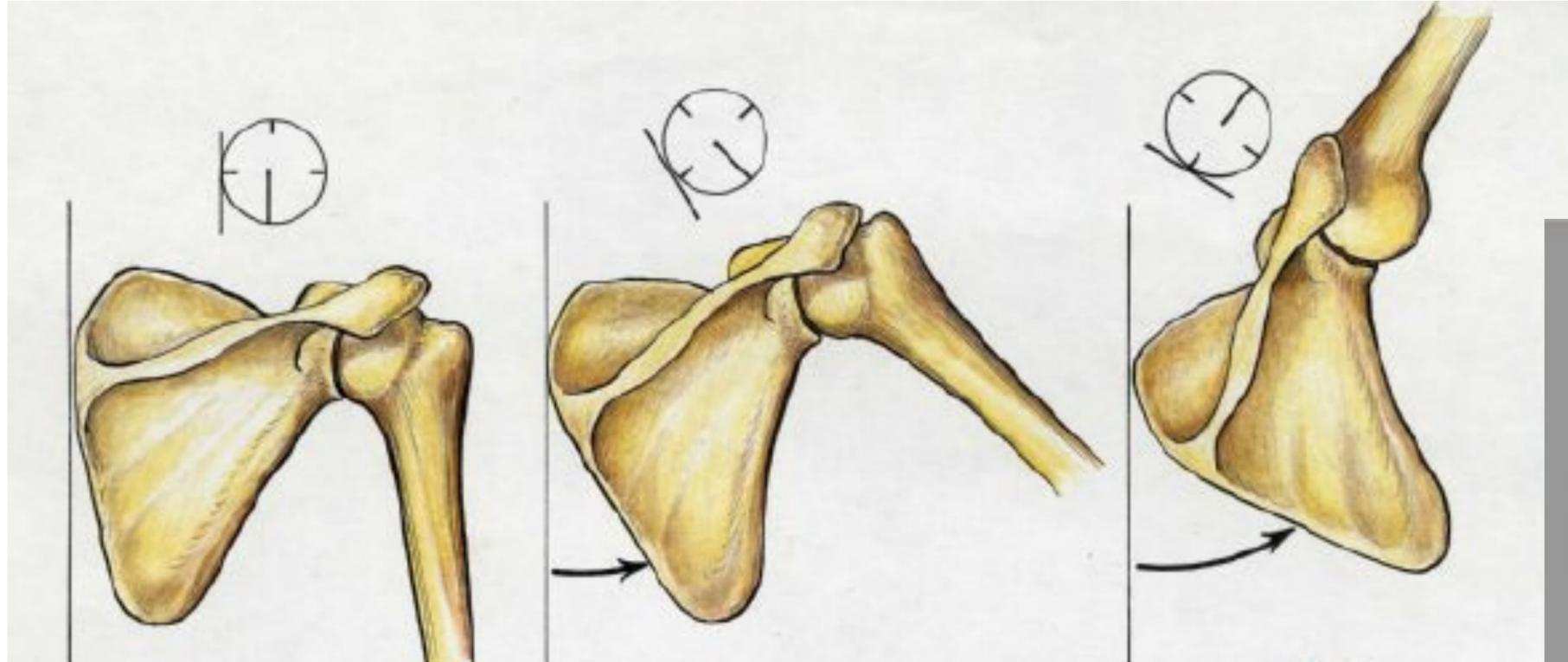
Bassin/Épaules



Elevation de la clavicule (SC)

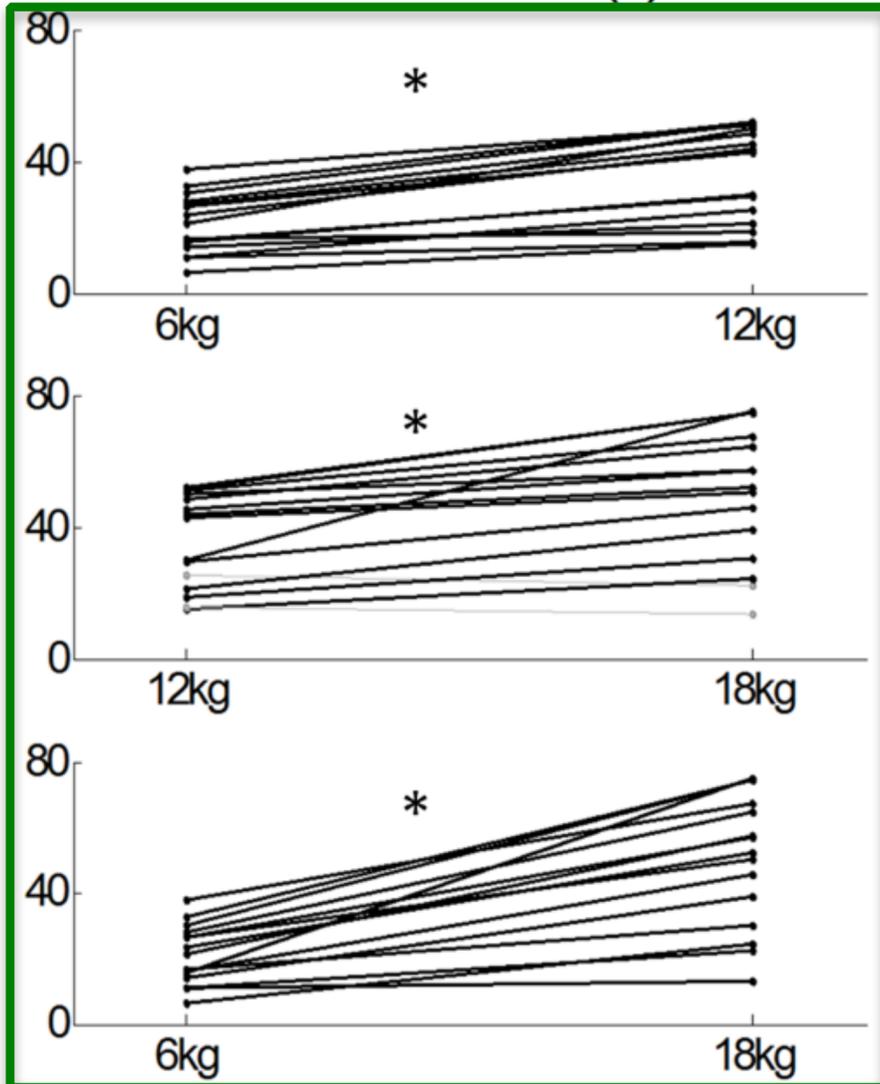


Rythme scapulohuméral et travail du trapèze

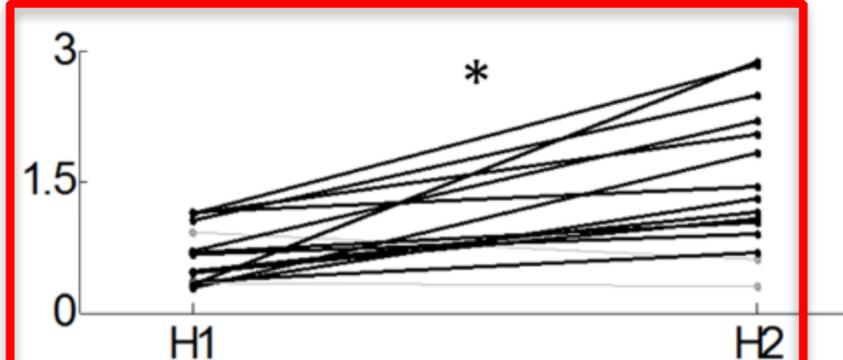
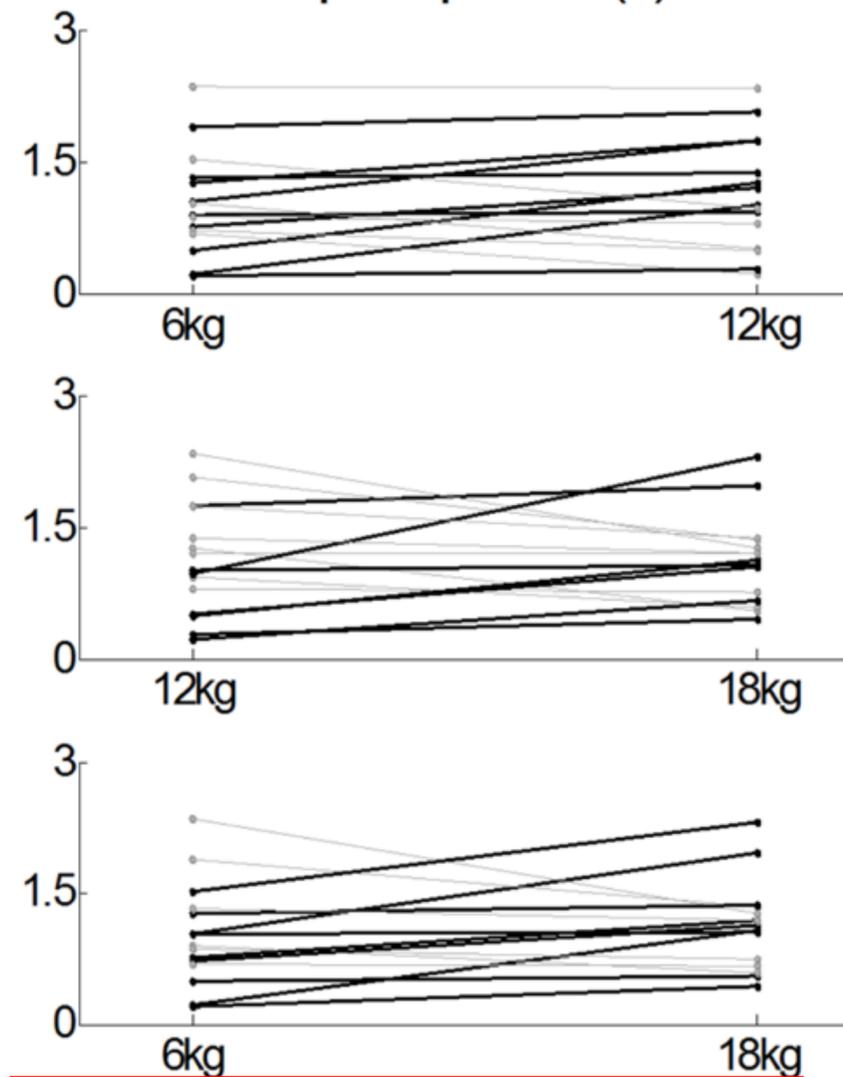


Effet de la charge et de la hauteur sur le travail

Ant Delt work (J)



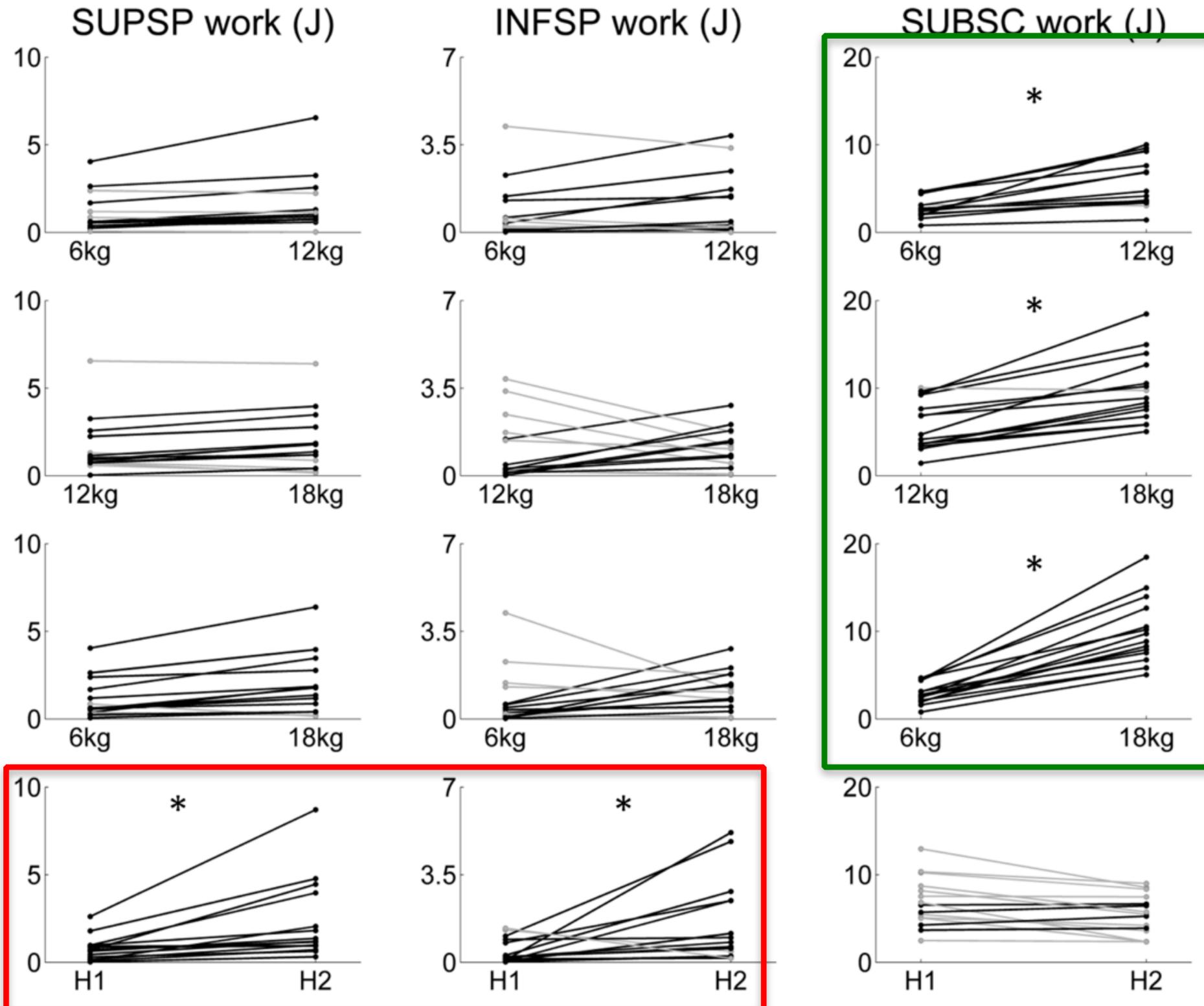
Up Trap work (J)



Effet de la charge
- ↗ Ant. Deltoid
(+147%, 6 kg → 18 kg)

Effet de la hauteur
- ↗ Up. Trapezius
(+127%, H1 → H2)

Effet de la charge et de la hauteur sur le travail



Effet de la charge
- ↗ Subscapularis
(+262%, 6 kg → 18 kg)

Effet de la hauteur
- ↗ Supraspinatus
(+150%, H1 → H2)
- ↗ Infraspinatus
(+86%, H1 → H2)

Effet de la hauteur

- Upper trapezius
- Supraspinatus
- Infraspinatus

Effet de la charge

- Anterior Deltoid
- Subscapularis

Modèle cinématique et musculosquelettique sensible

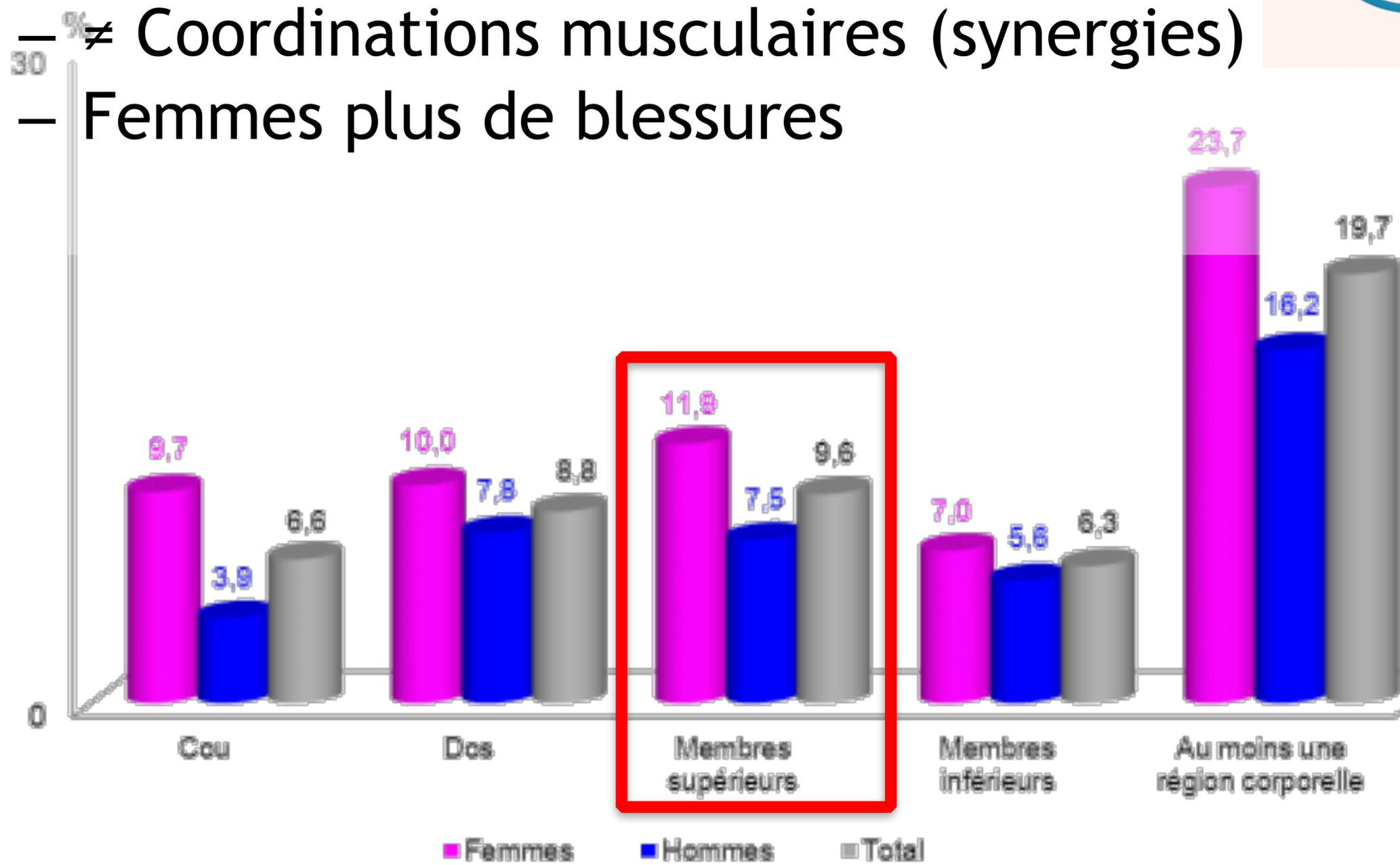
Fatigue

Hypothèses

TMS à l'épaule

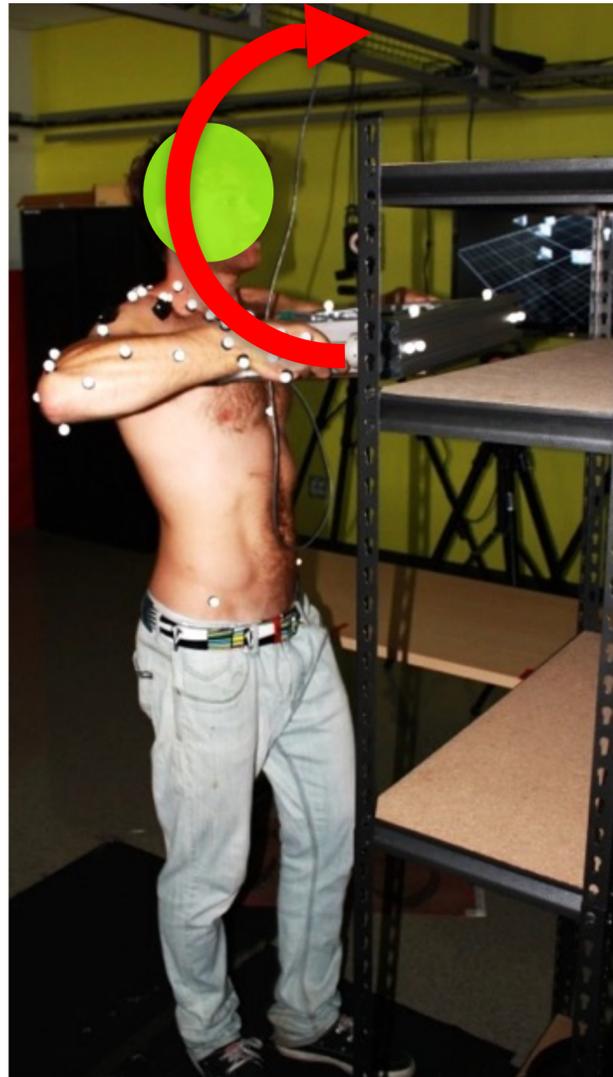
Analyse de l'EMG

- Intérêt du genre
 - Femmes $\frac{1}{2}$ à $\frac{2}{3}$ force des hommes
 - \neq Coordinations musculaires (synergies)
 - Femmes plus de blessures

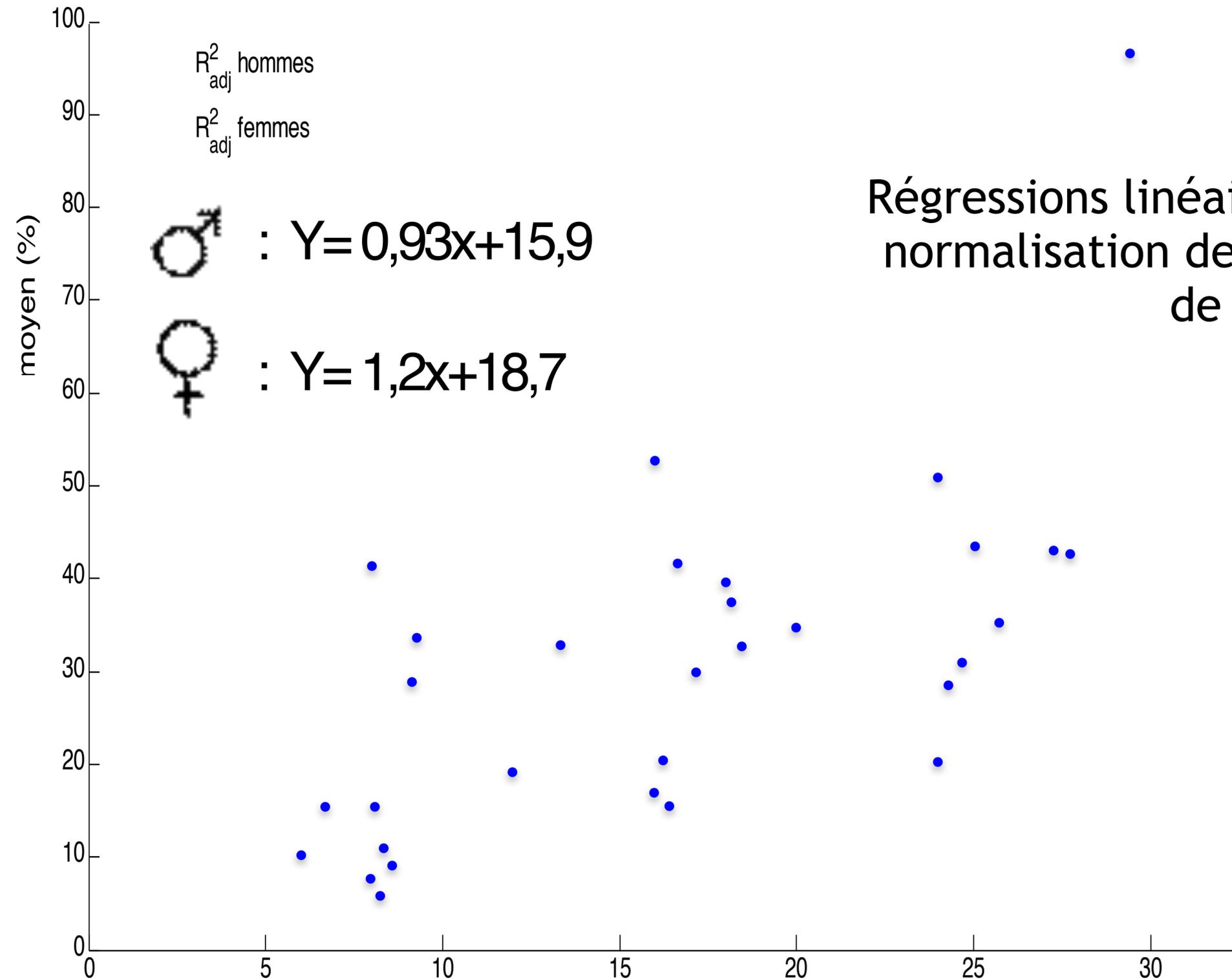


Source : Fichier maître de l'Enquête québécoise sur la santé de la population (EQSP). 2008. pour en savoir plus sur la santé des Québécois, Institut de la statistique du Québec. Tiré du rapport de l'onglet Plan commun de surveillance produit par l'Infocentre de santé publique à l'Institut national de santé publique du Québec, le 7 mars 2012. Mise à jour de l'indicateur le 16 mai 2011

Effet du genre



Deltoïde antérieur



Régressions linéaires après normalisation de la masse de la caisse.

Effet du genre



À charge relative égale,
les femmes mobilisent plus leur deltoïde

Manque d'information quantitative sur les contraintes musculosquelettiques



Modèles (cinématique et musculosquelettique) sensibles à la manutention



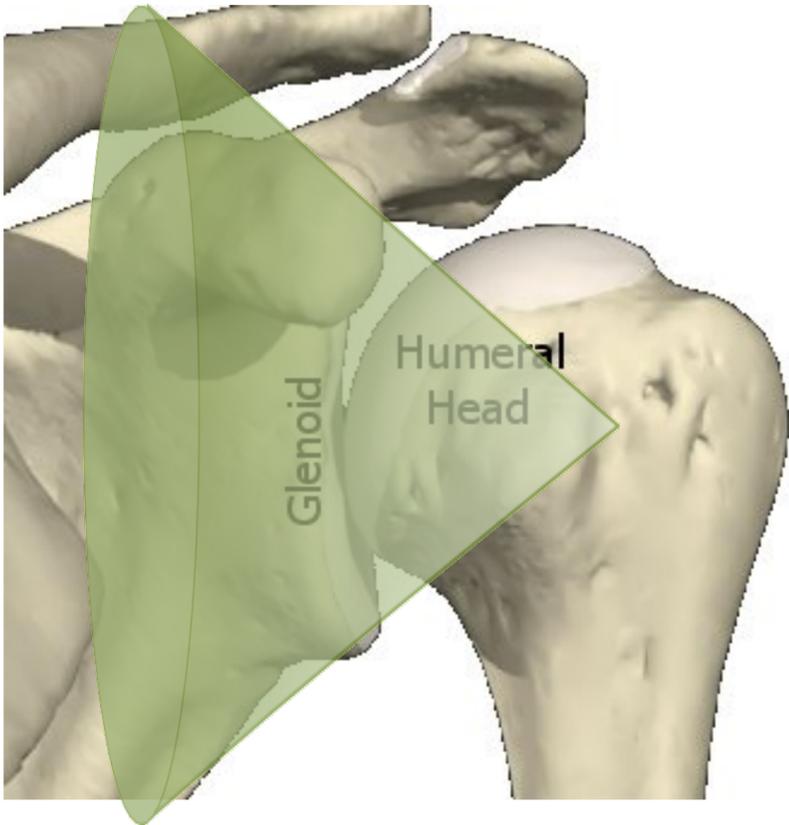
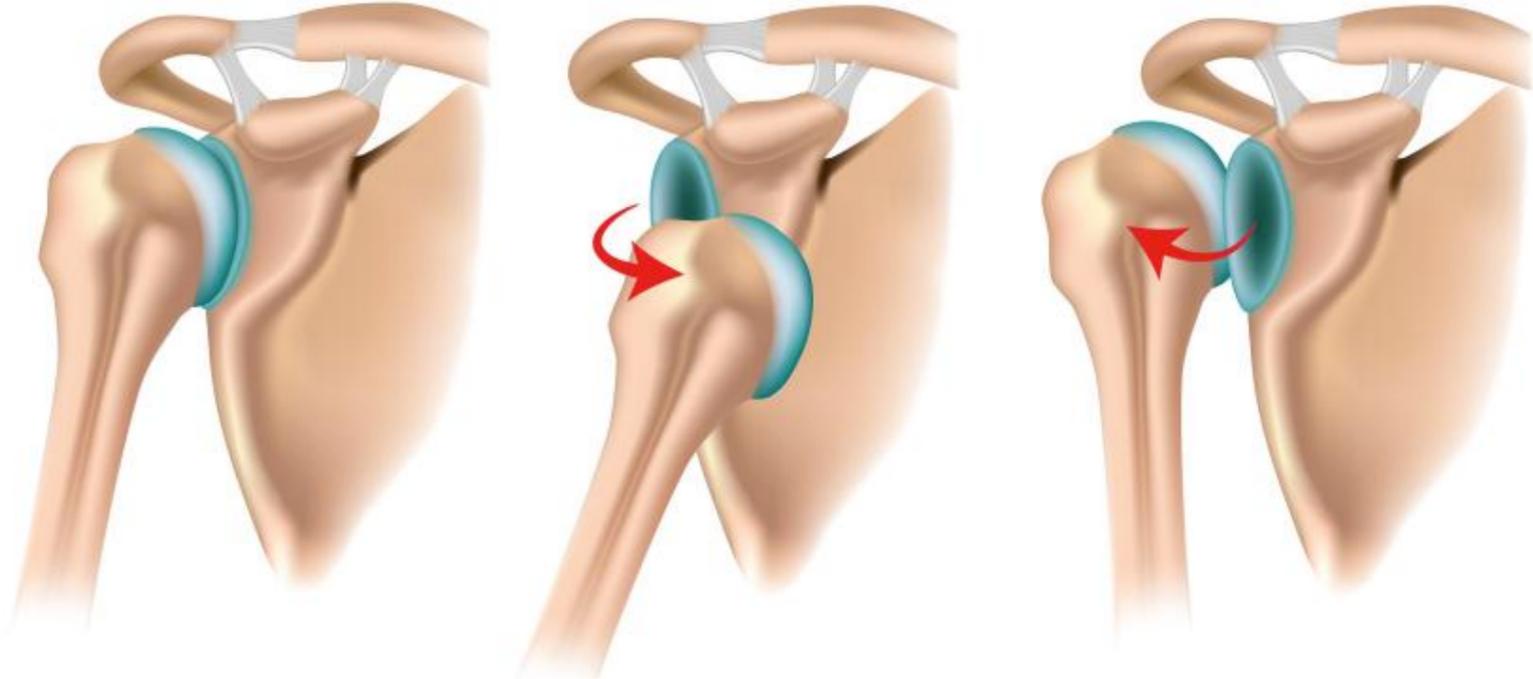
Expériences : hommes vs femmes experts vs novices, fatigue

**Réduire les blessures à l'épaule
Accélérer le retour au travail**

Prochaines études

- Genre
 - augmenter le nombre de sujets (2 x 20)
 - dégager les variables d'intérêt, les expliquer
- Expertise (expert - novice)
 - comprendre la pertinence des adaptations et leur transfert chez les novices
 - tâche simple, mais en condition de travail

Prochains modèles



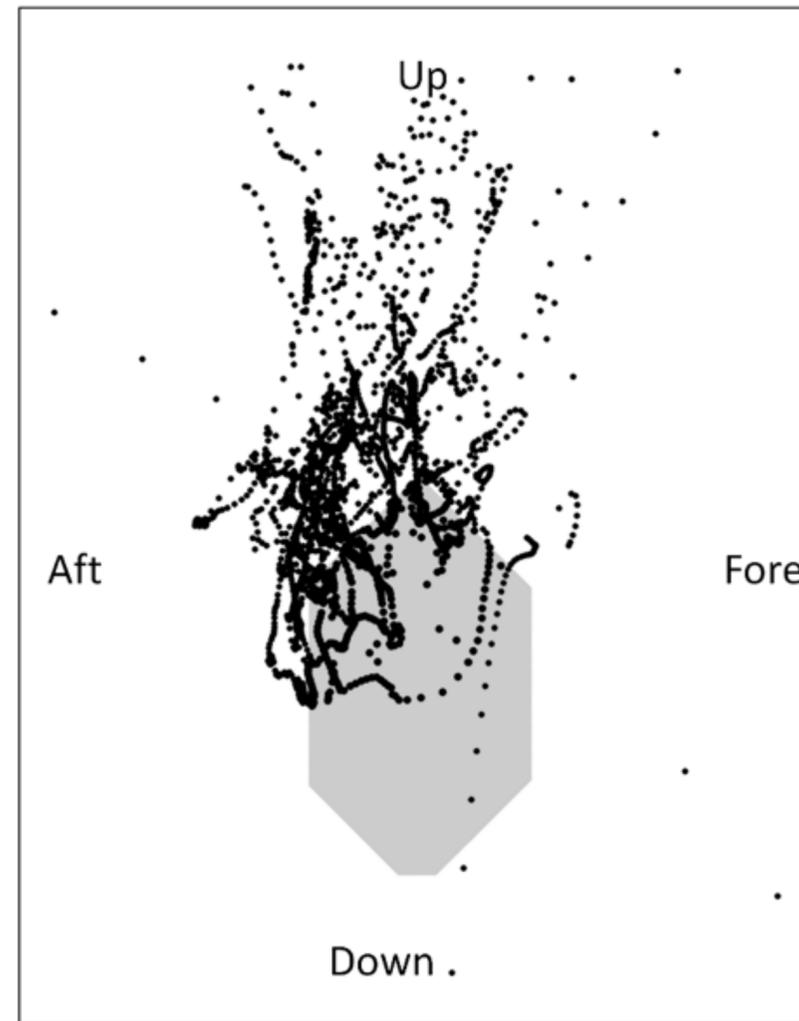
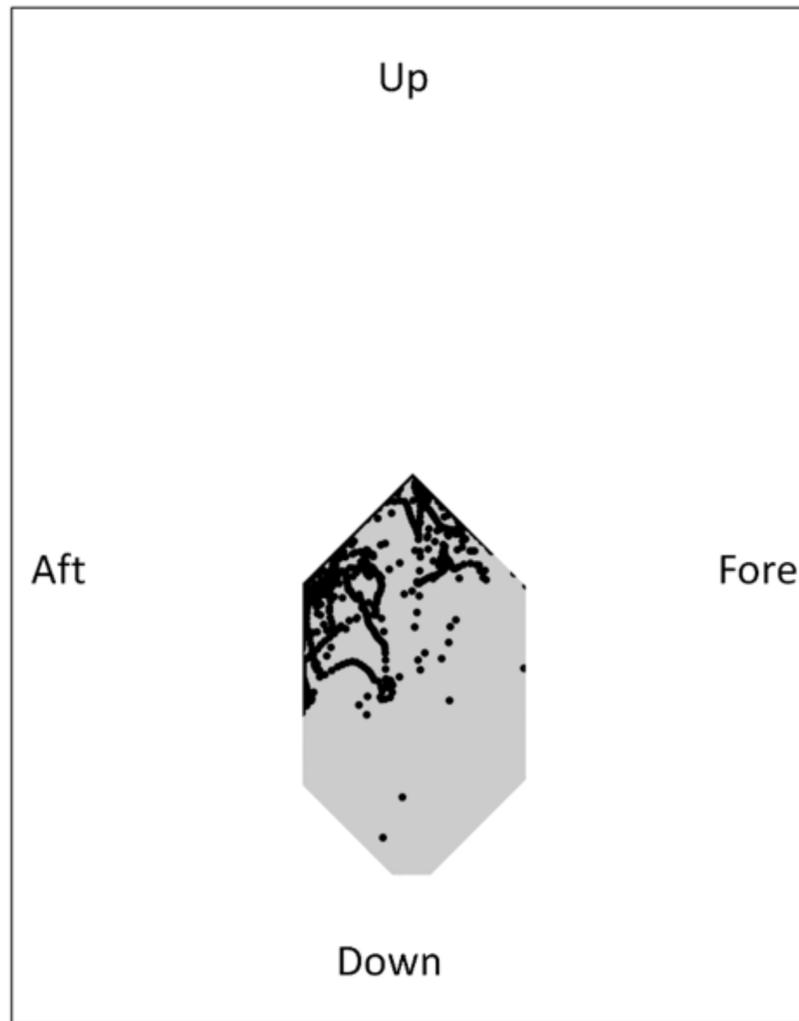
Stabilité

Contrainte de non-dislocation de GH

Instabilité

~~**Contrainte de non-dislocation de GH**~~

Rôle du supraspinatus!



Stabilité

**Instabilité
> 80 %**

