



► Une approche automatique et simplifiée pour la modélisation de chemin musculaire

Claire Livet - Mini séminaire - 22/02/2022

Pour me resituer...



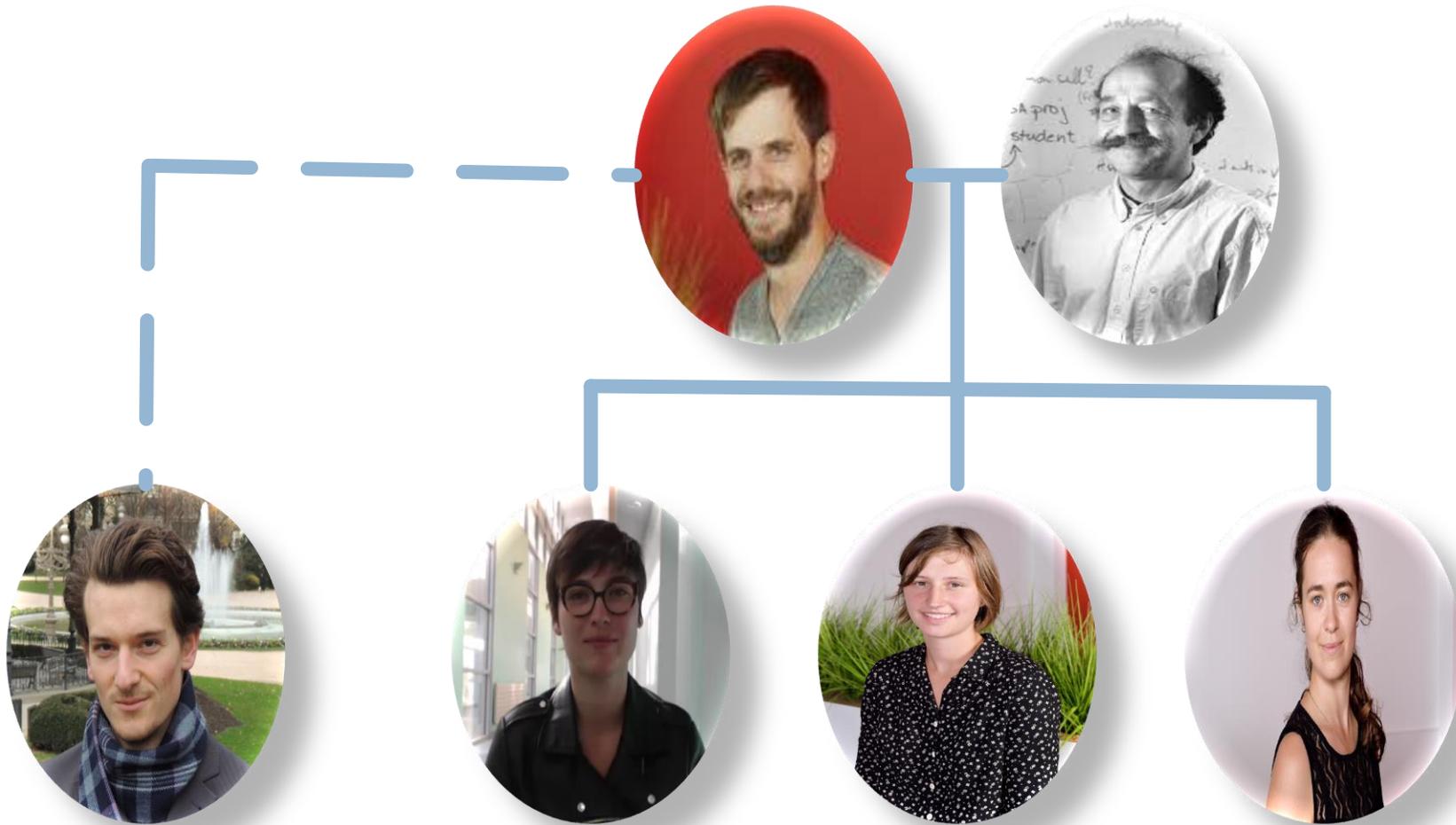
M2 **Mathématiques** et Applications
parcours Calcul Scientifique et
Modélisation (Rennes 1)

Thèse en **biomécanique**

Bon vieux
parcours en
mécatro classique

Agreg SII option
informatique

Ma famille de chercheurs (simplifiée)



Mouvements
de foule

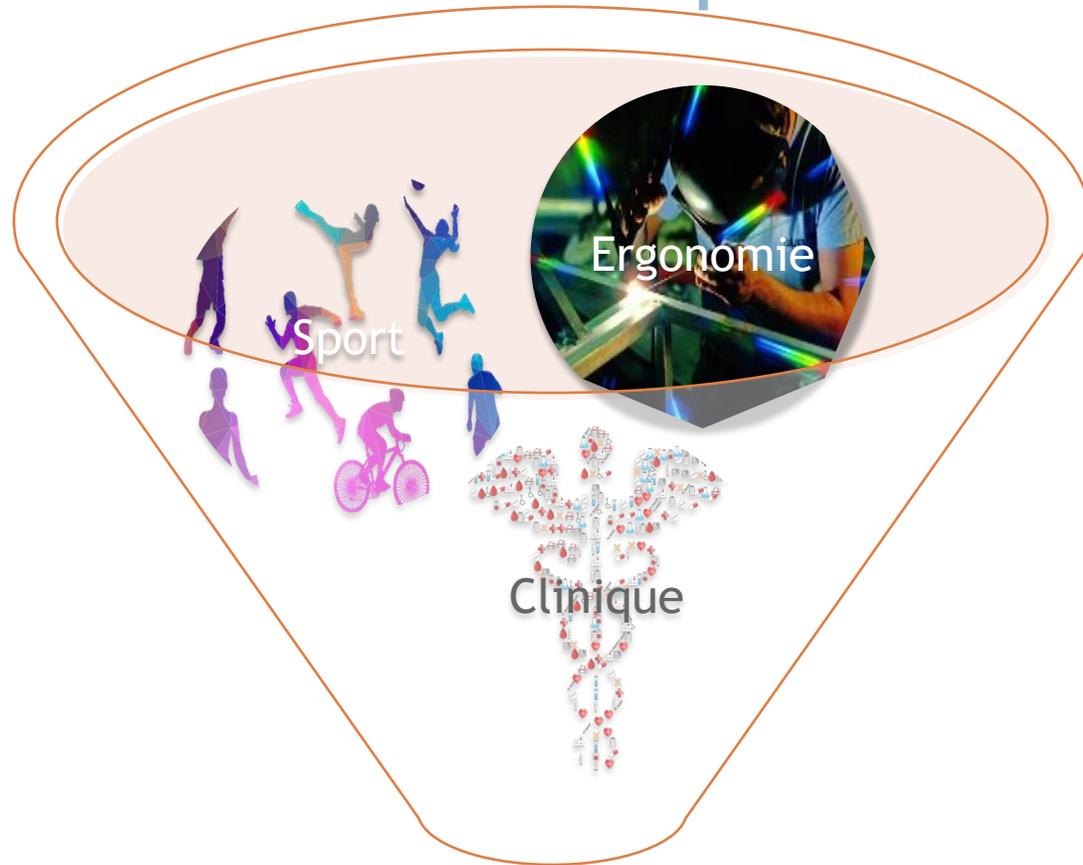
Boucles
fermées

Plongeur et
plongeur

Efforts au sol

3

Contexte : Simuler le corps humain



Boucles
fermées



Plongeur
et plongeur

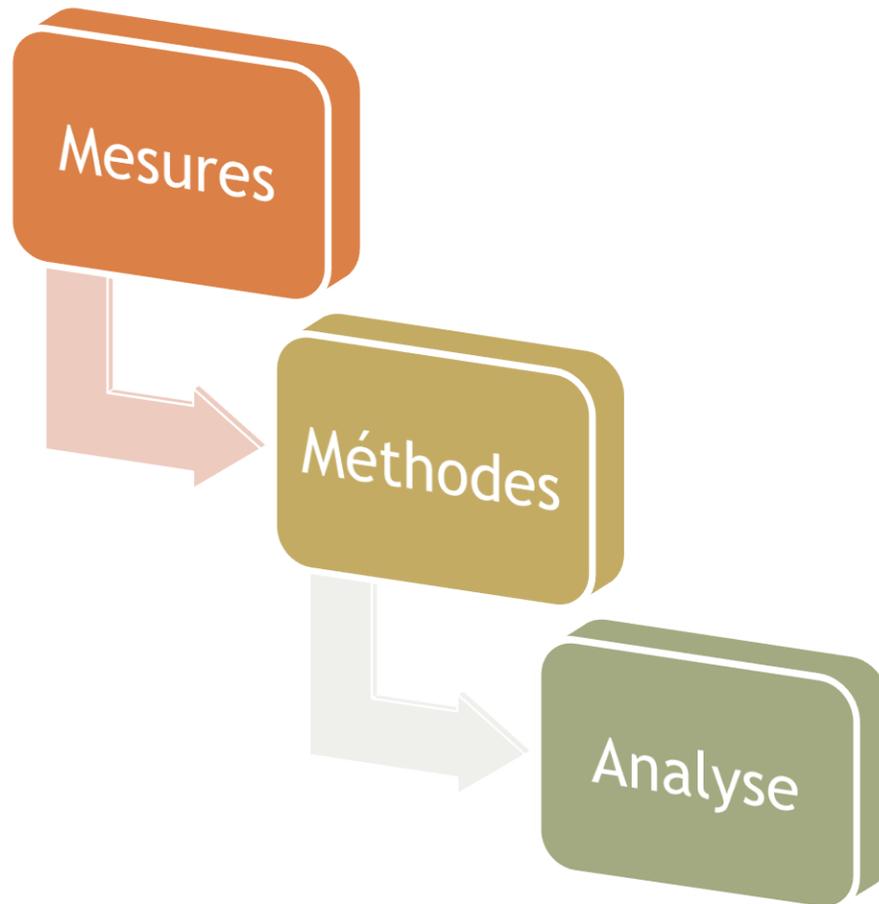


Efforts au sol

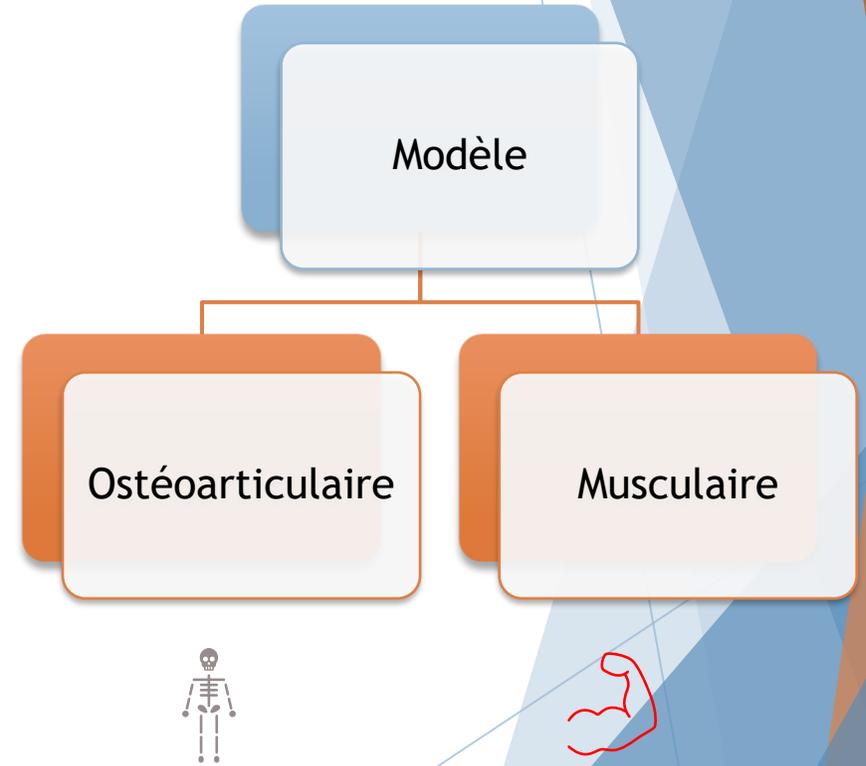
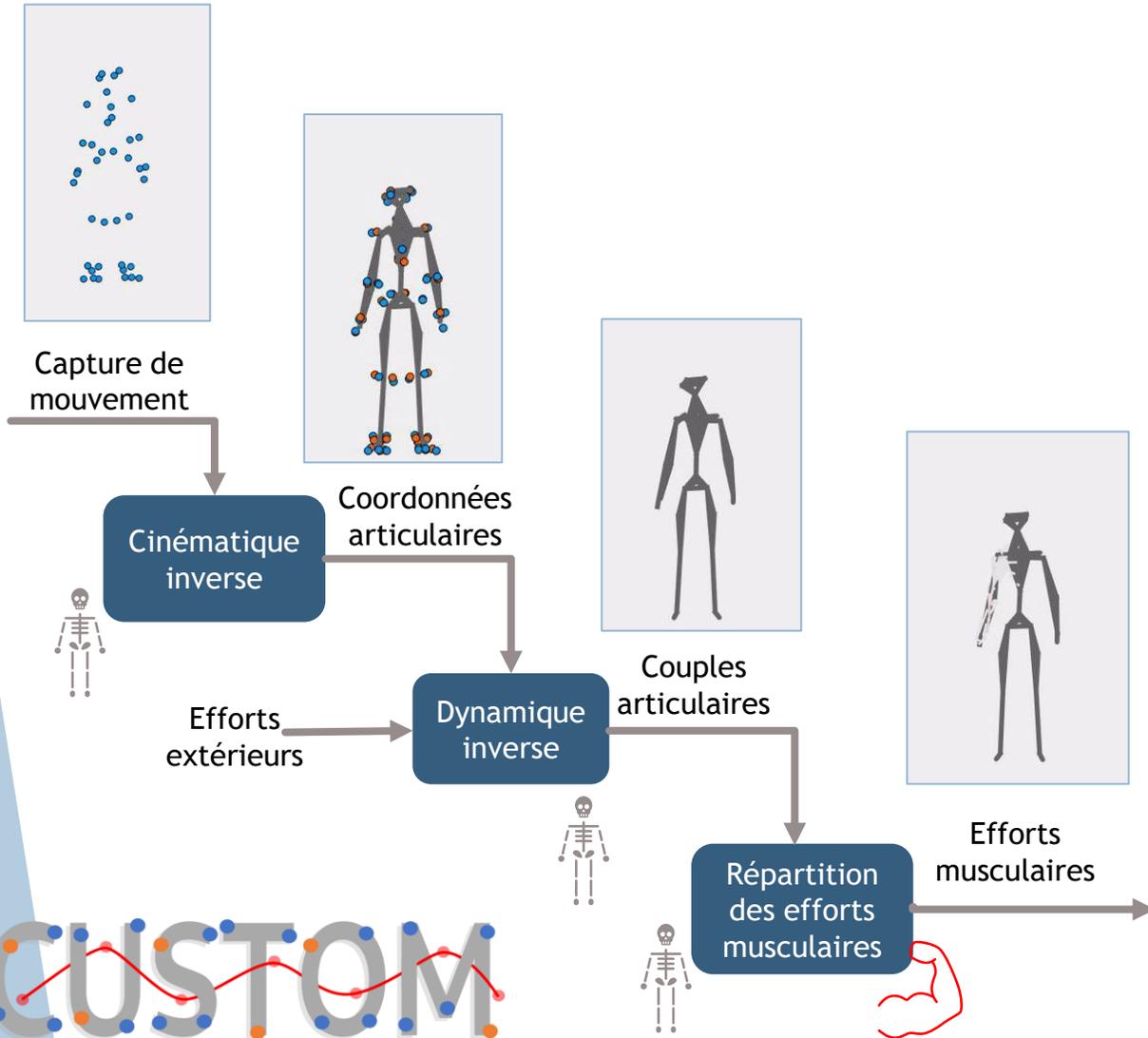
Comprendre, anticiper, améliorer

Contexte : Simuler le corps humain

Etapes nécessaires pour réaliser une analyse biomécanique



Méthode utilisée



Modèle musculaire



Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



Comment modéliser cette interaction?



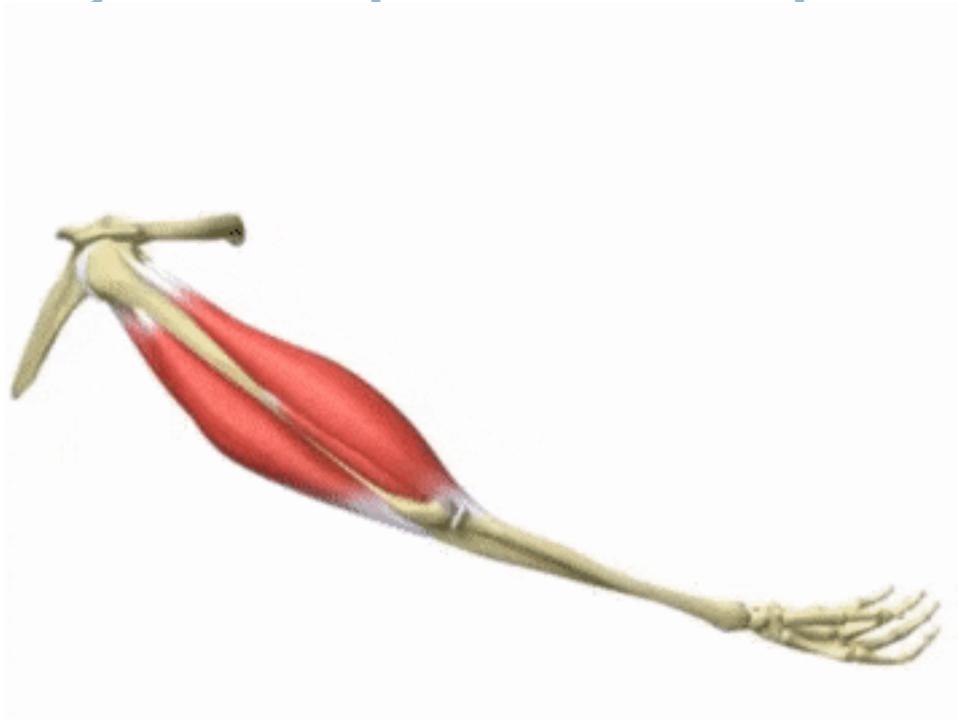
Méthode proposée



Résultats majeurs & conclusion

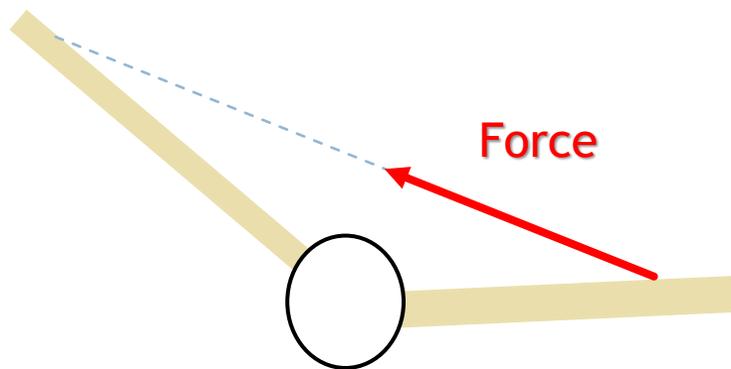
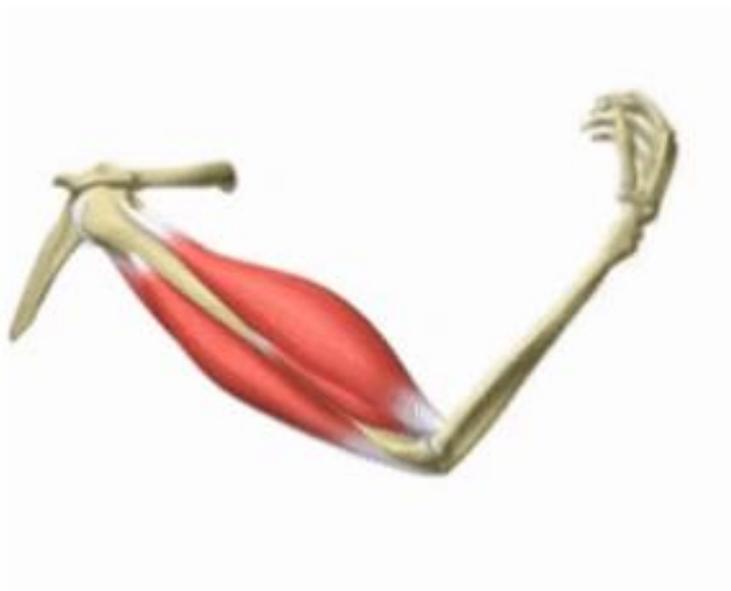


Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



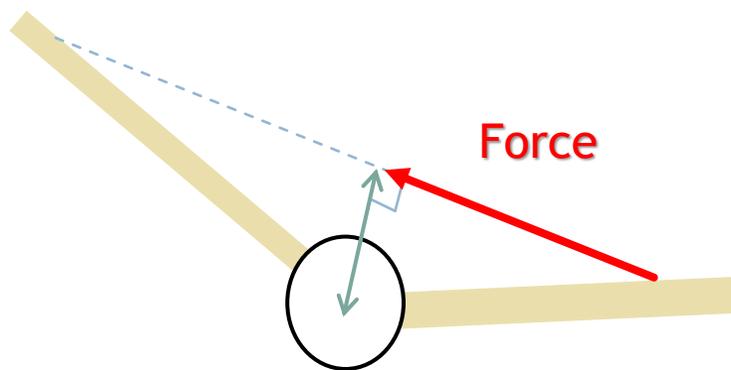
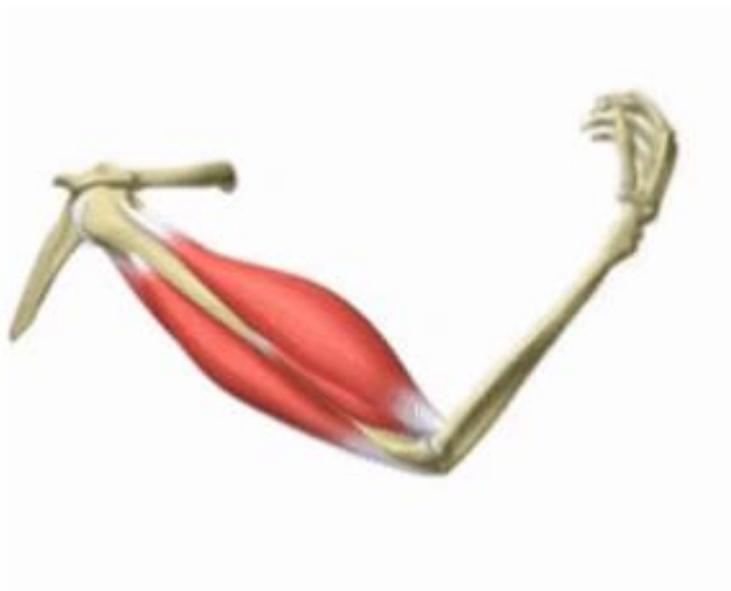


Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



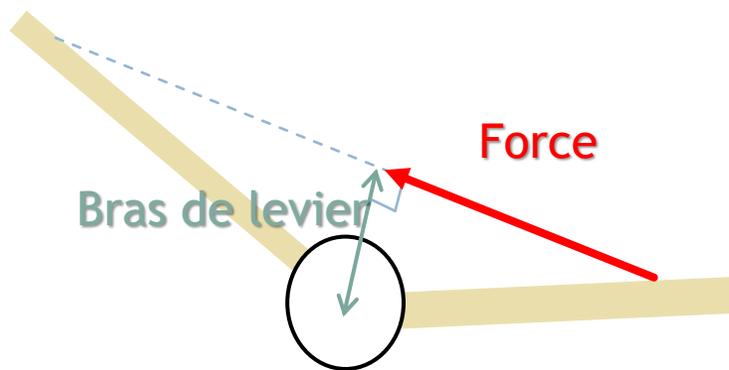
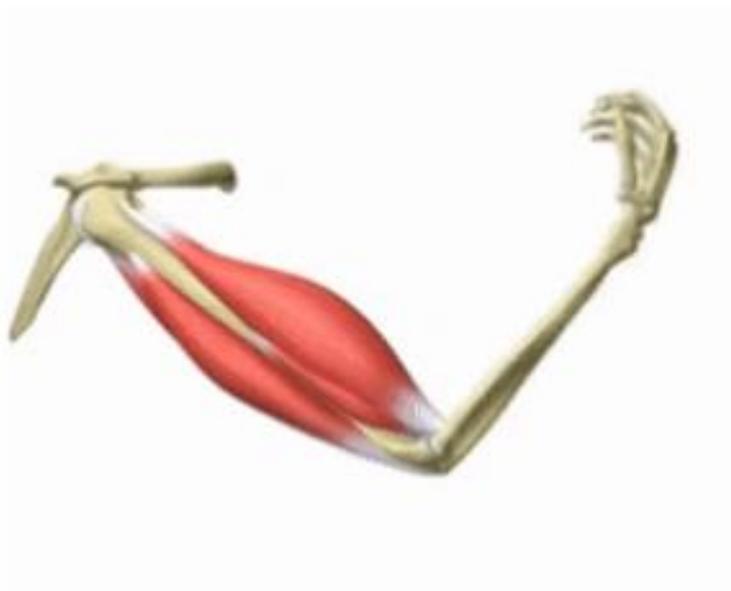


Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



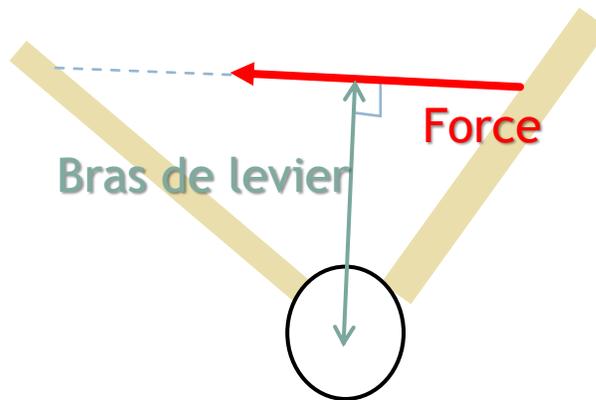
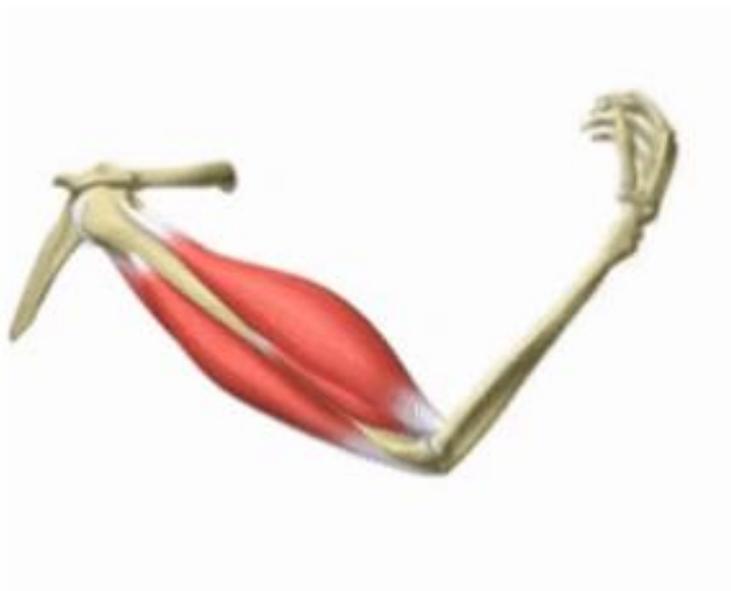


Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?





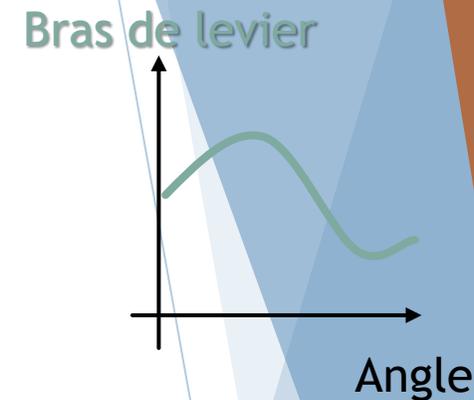
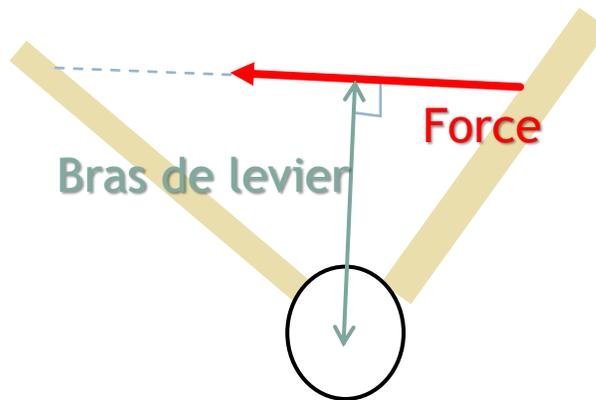
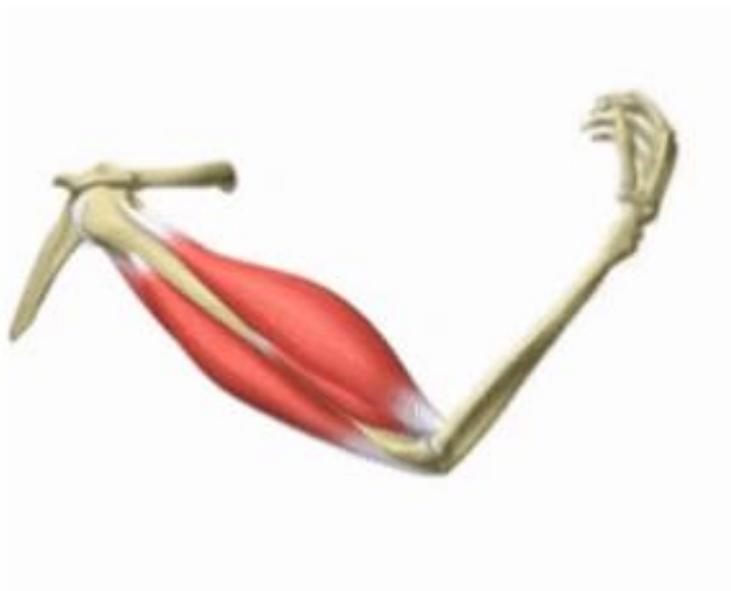
Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



Bras de levier x Force = Couple \longrightarrow Mouvement



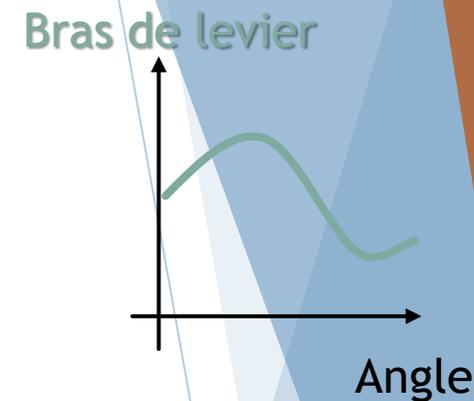
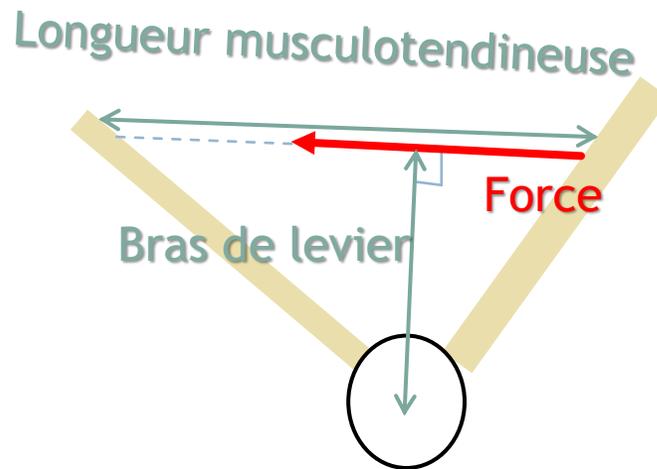
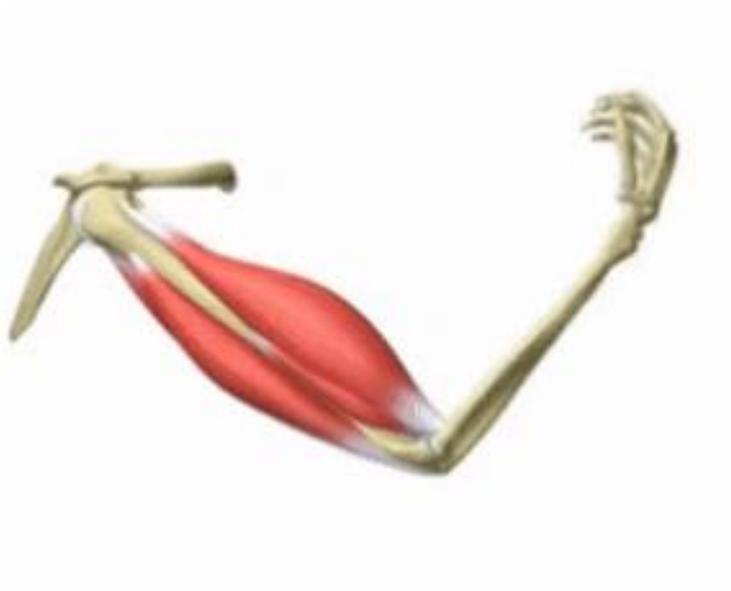
Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



$\text{Bras de levier} \times \text{Force} = \text{Couple} \rightarrow \text{Mouvement}$



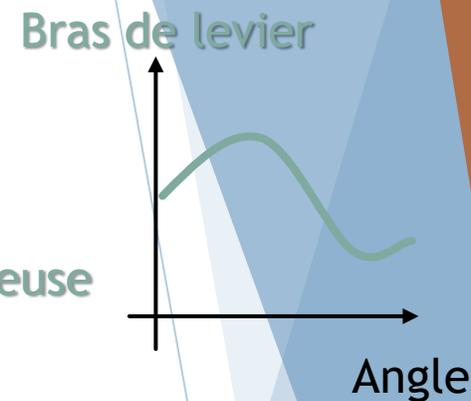
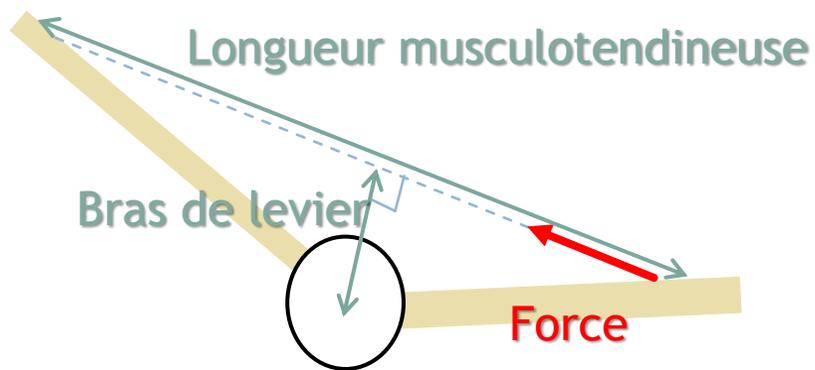
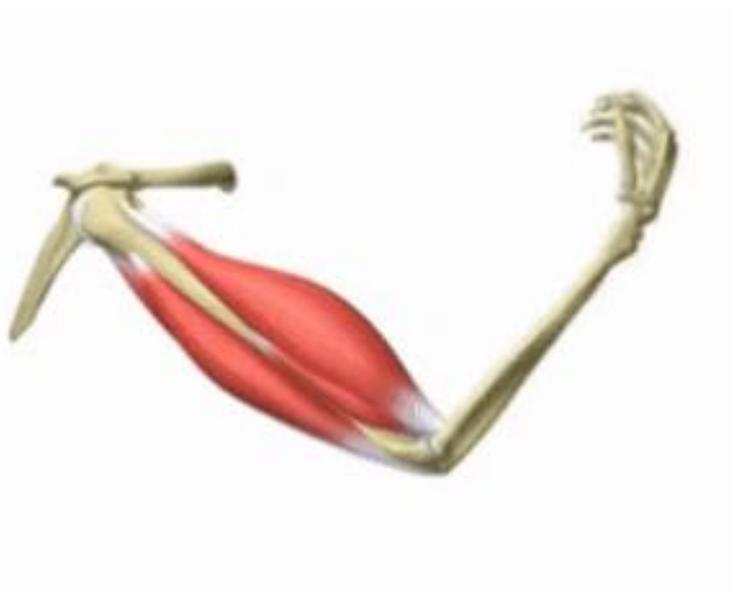
Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



$\text{Bras de levier} \times \text{Force} = \text{Couple} \rightarrow \text{Mouvement}$



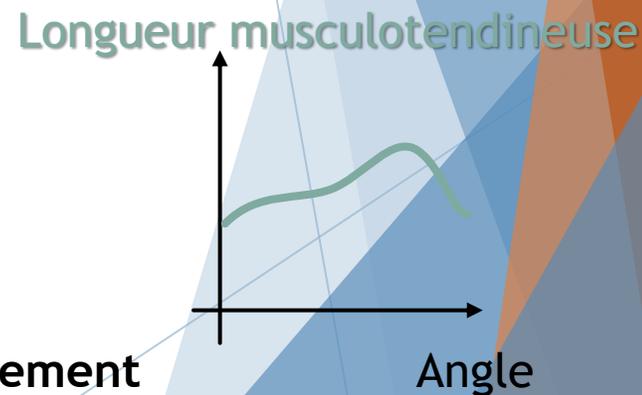
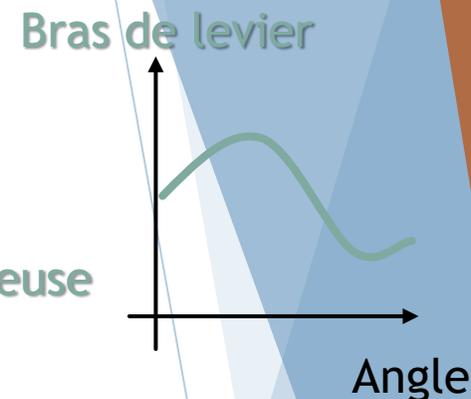
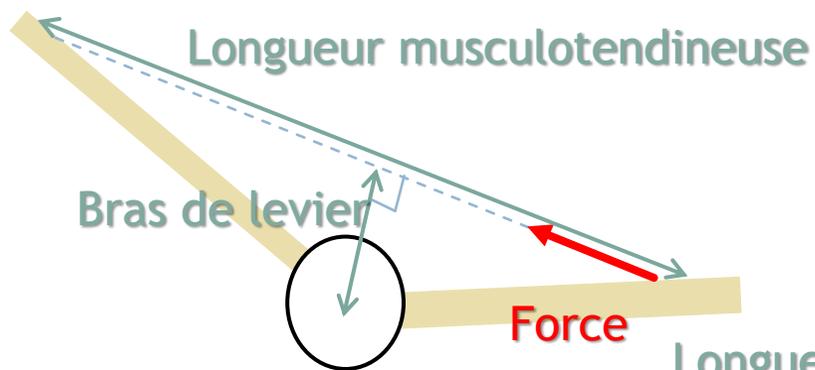
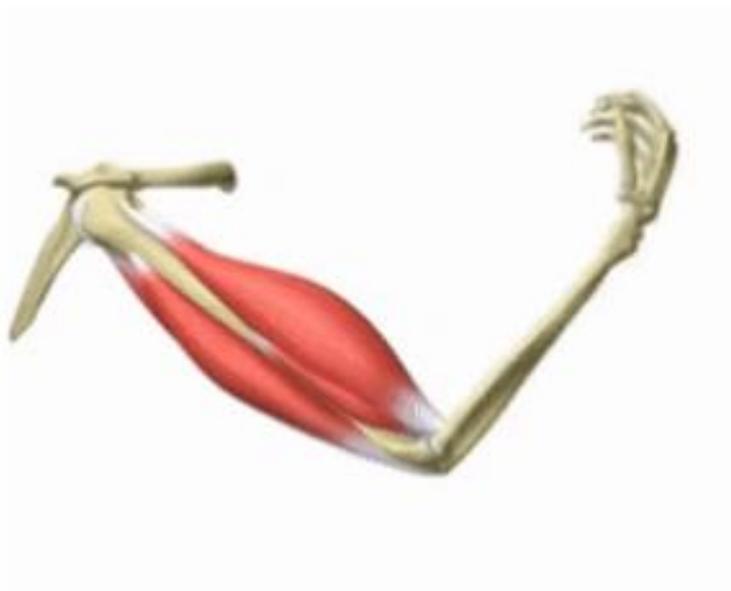
Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



$$\text{Bras de levier} \times \text{Force}(\text{Longueur musculotendineuse}) = \text{Couple} \longrightarrow \text{Mouvement}$$



Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?



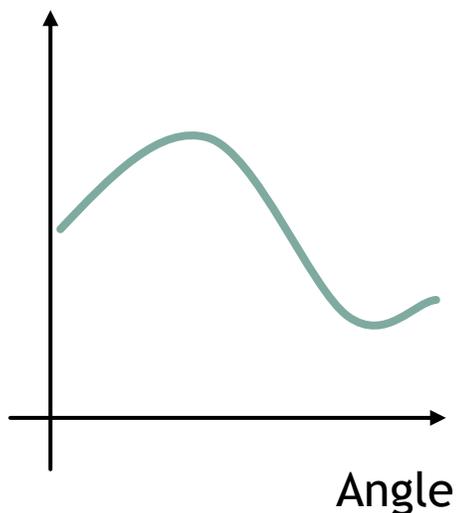
$\text{Bras de levier} \times \text{Force}(\text{Longueur musculotendineuse}) = \text{Couple} \longrightarrow \text{Mouvement}$



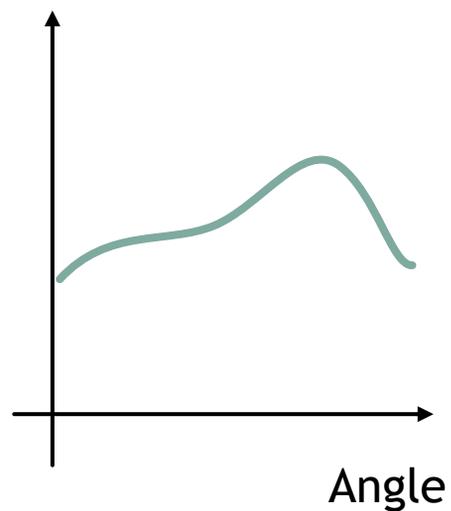
Comment un muscle interagit-il dans la dynamique du corps?

Les propriétés géométriques des muscles sont cruciales pour la dynamique

Bras de levier

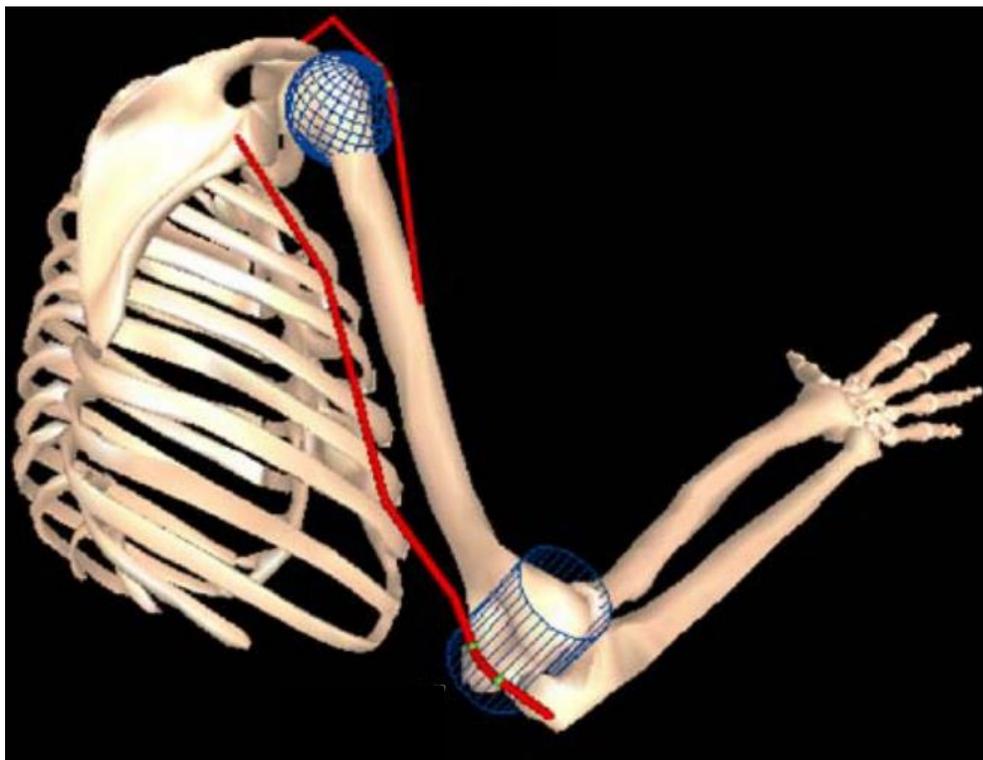


Longueur musculotendineuse





Comment modéliser cette interaction?

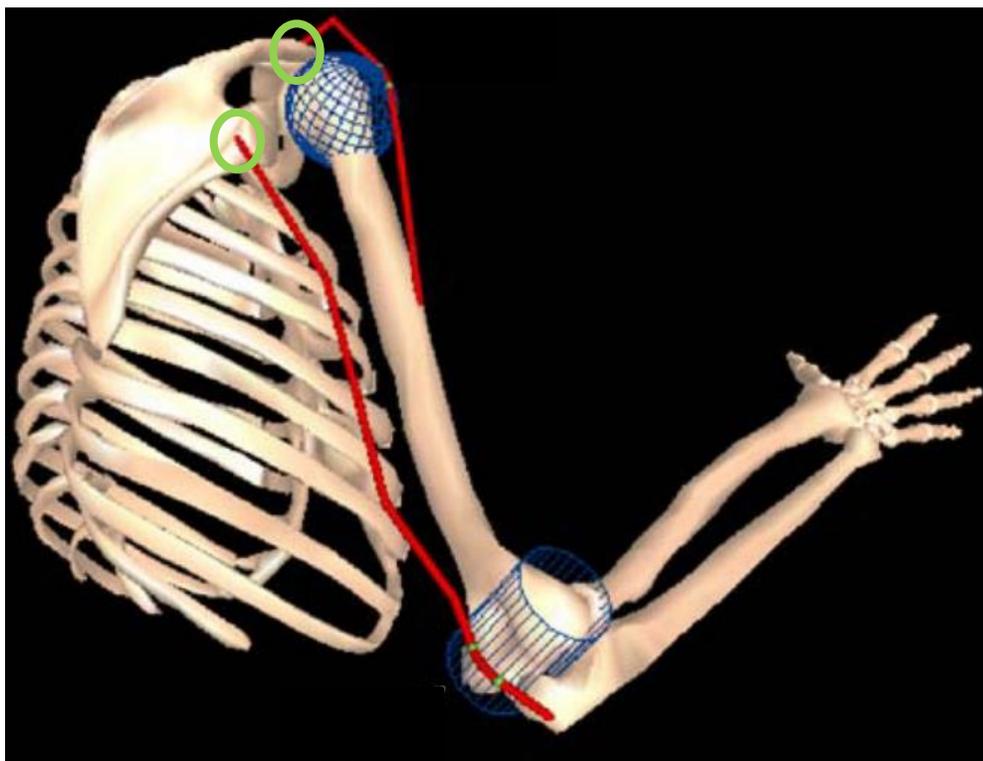


Gatti, C. J., & Hughes, R. E. (2009). Optimization of muscle wrapping objects using simulated annealing.



Comment modéliser cette interaction?

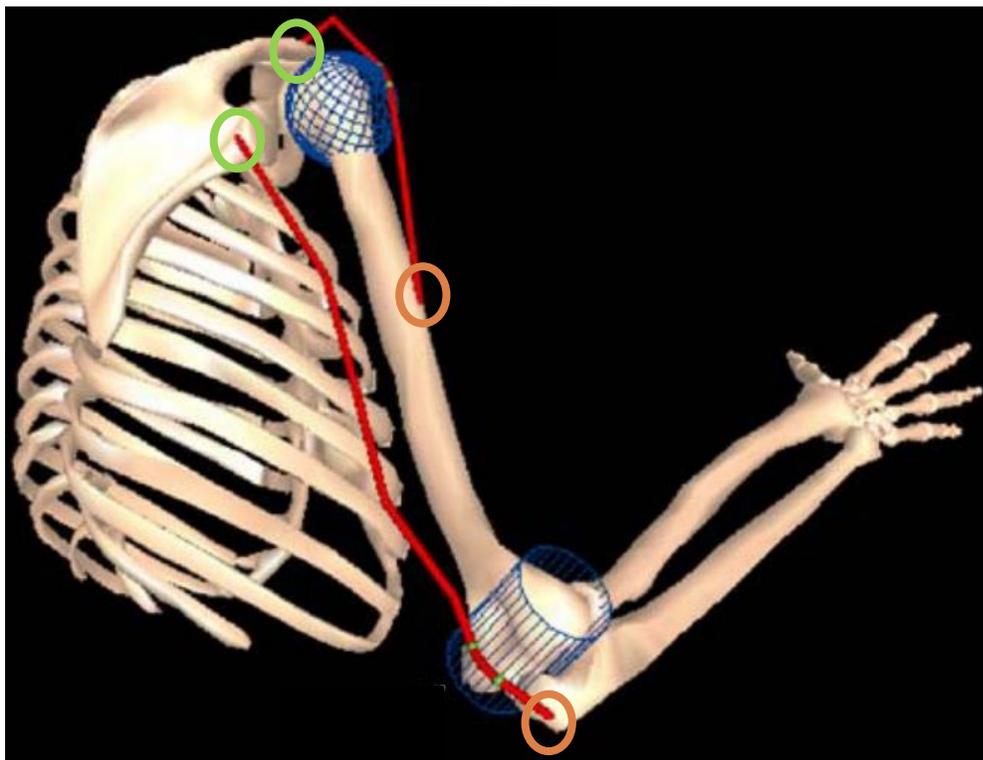
- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement





Comment modéliser cette interaction?

- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement

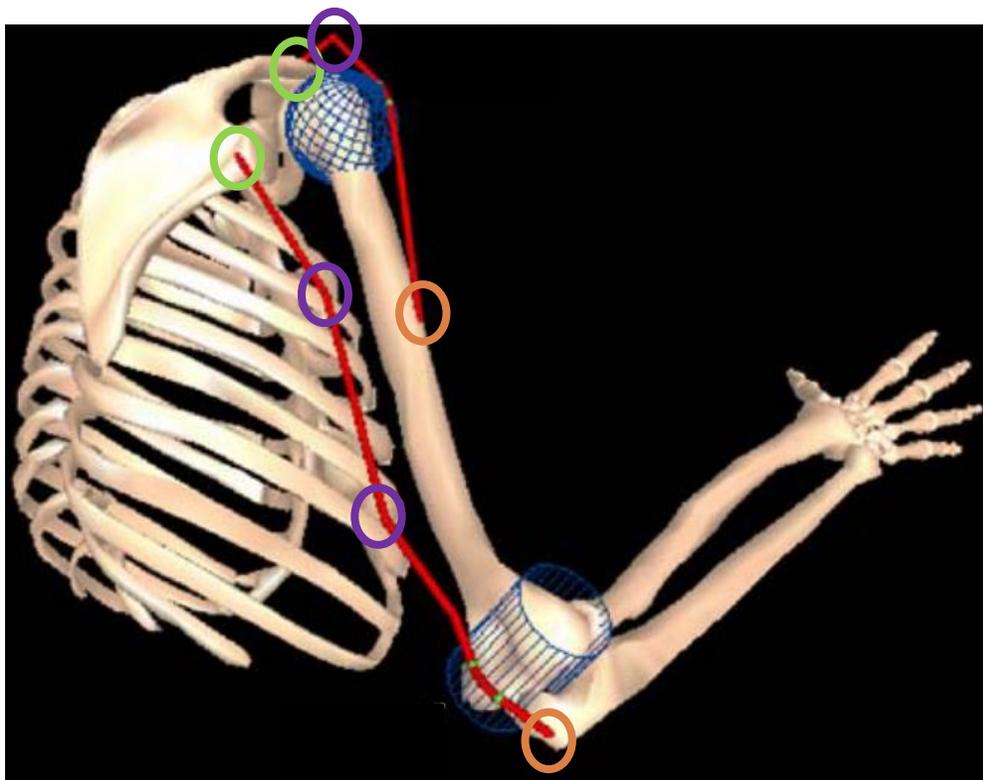


Gatti, C. J., & Hughes, R. E. (2009). Optimization of muscle wrapping objects using simulated annealing.



Comment modéliser cette interaction?

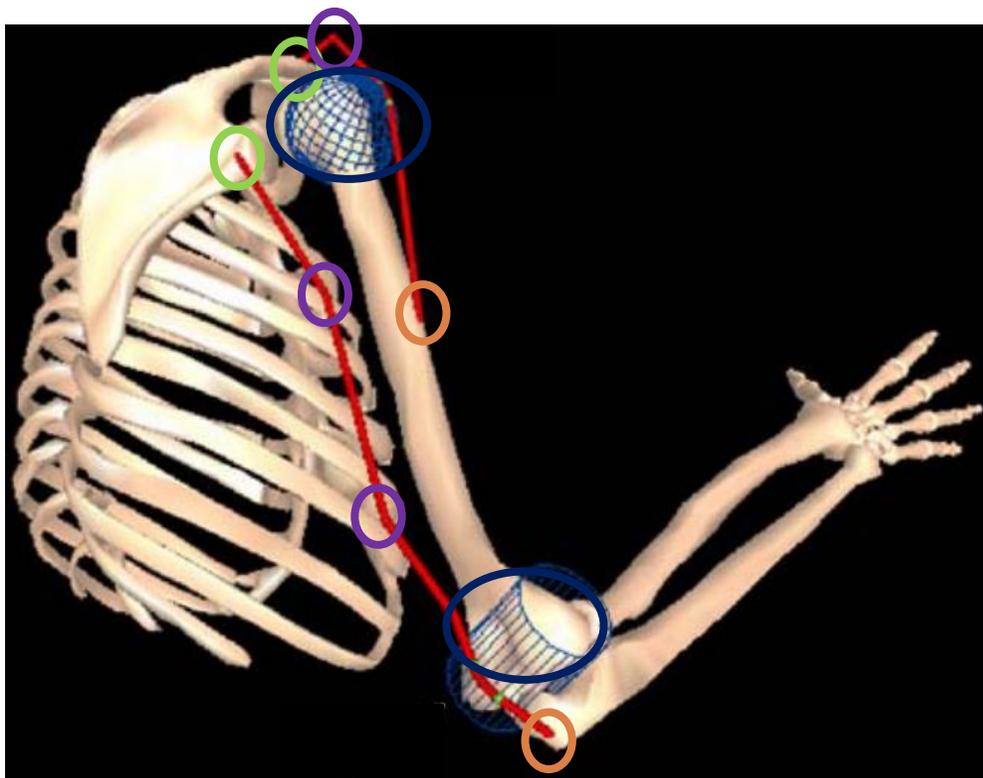
- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement





Comment modéliser cette interaction?

- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement

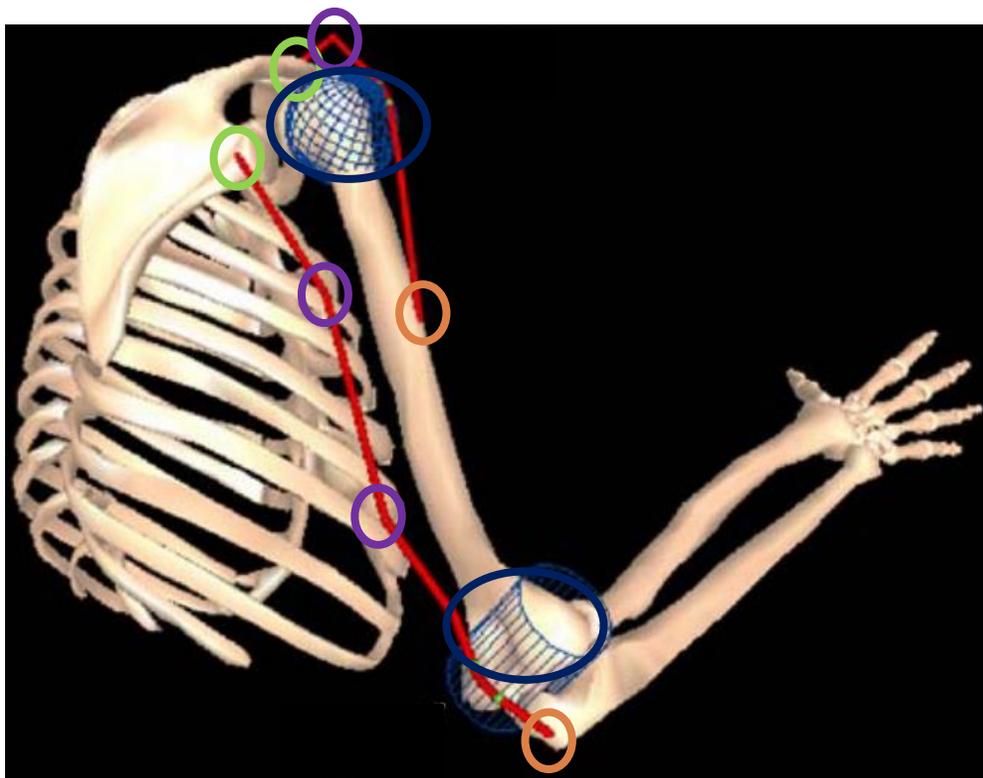


Gatti, C. J., & Hughes, R. E. (2009). Optimization of muscle wrapping objects using simulated annealing.



Comment modéliser cette interaction?

- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement

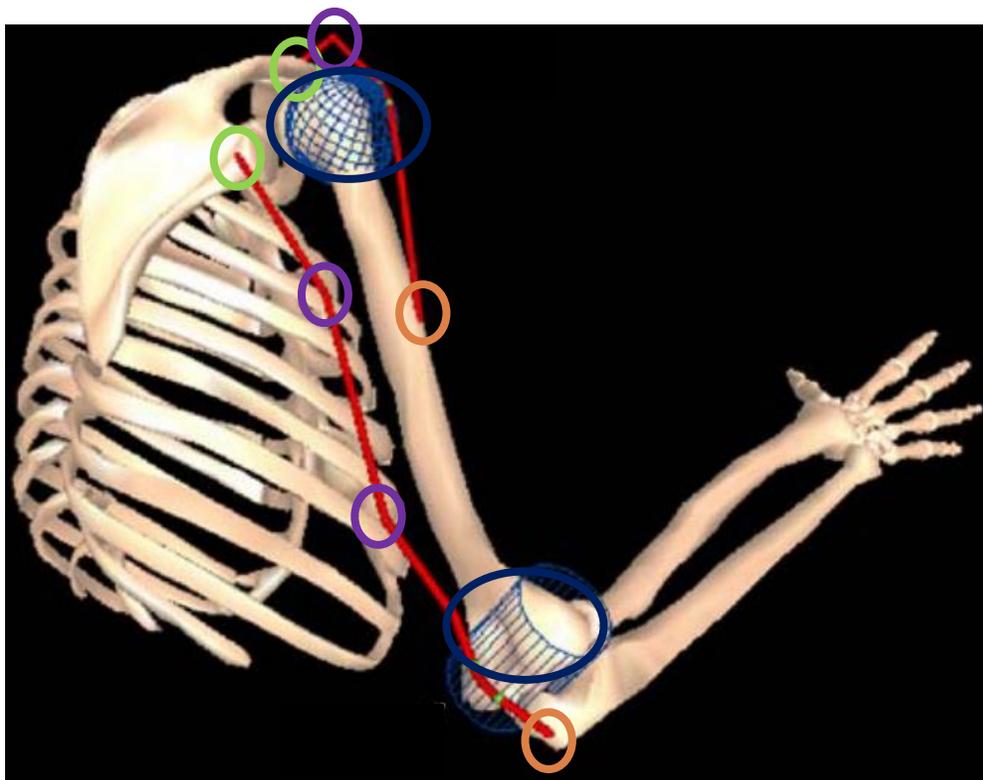


- ▶ La plupart du temps, ces paramètres sont **manuellement** ajustés pour s'approcher de courbes expérimentales de bras de levier et de longueur musculotendineuse pour **chaque muscle**



Comment modéliser cette interaction?

- ▶ Points d'origine, d'insertion et points de passages ou objets de contournement



- ▶ La plupart du temps, ces paramètres sont **manuellement** ajustés pour s'approcher de courbes expérimentales de bras de levier et de longueur musculotendineuse pour **chaque muscle**



Travail long et difficile



Comment modéliser cette interaction?

- ▶ La plupart du temps, ces paramètres sont **manuellement** ajustés pour s'approcher de courbes expérimentales de bras de levier et de longueur musculotendineuse pour **chaque muscle**



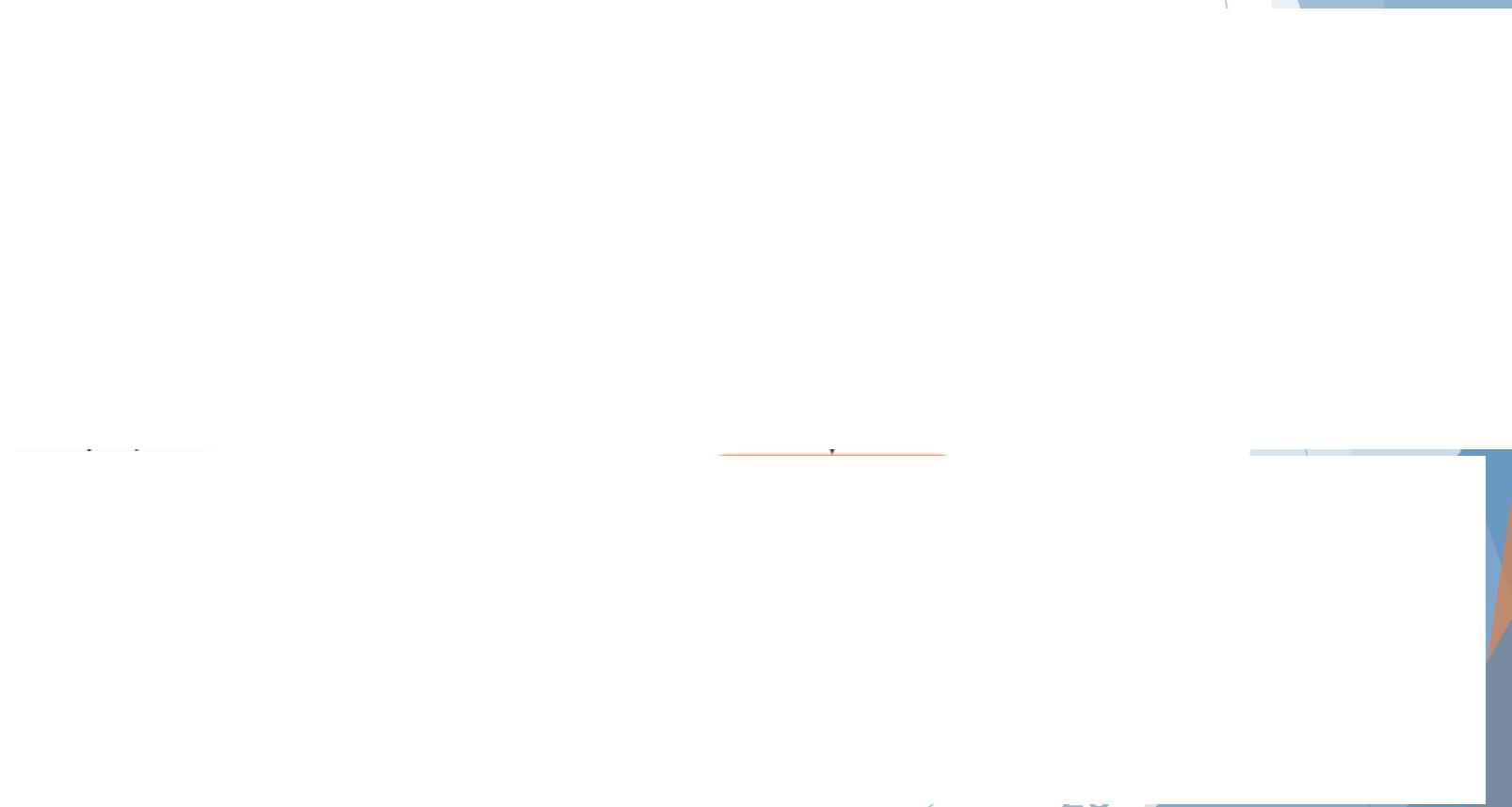
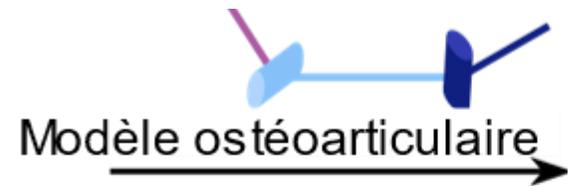
Travail long et difficile

Méthode proposée

- ▶ **Ajustement automatique** des paramètres du chemin musculaire pour approximer les données expérimentales de bras de levier et de longueur musculotendineuse avec un **chemin musculaire générique.**



Méthode proposée

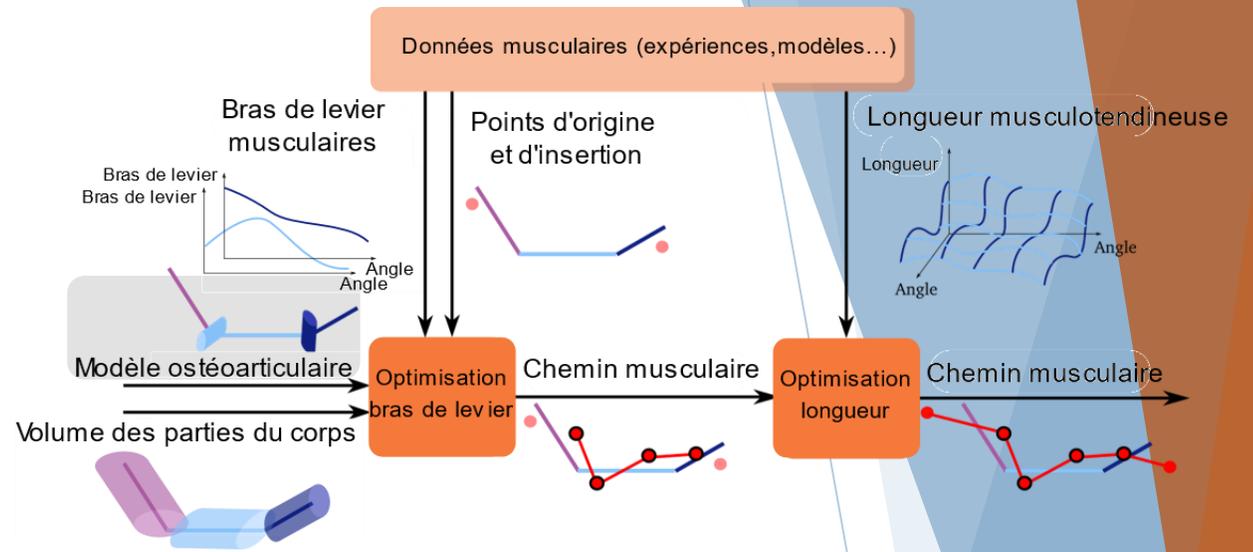
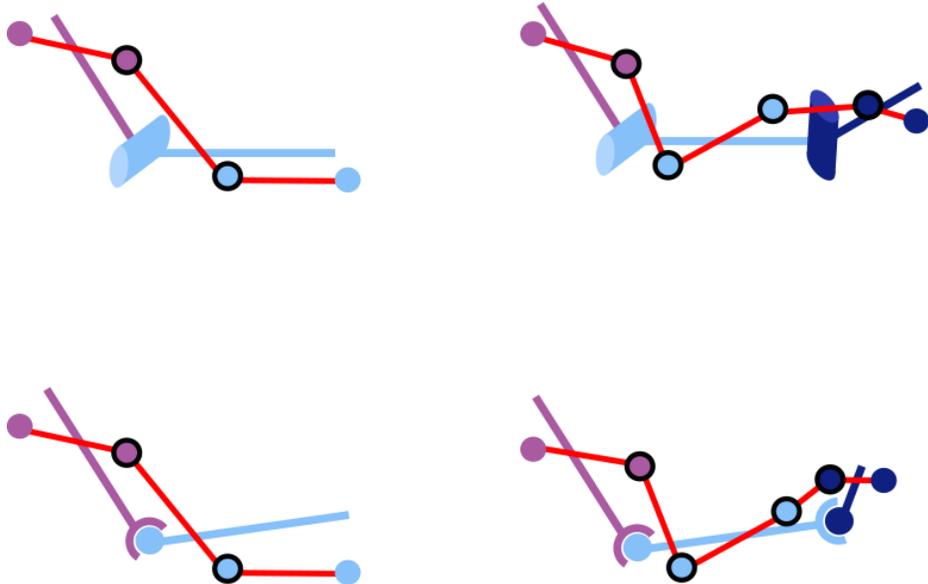




Méthode proposée

Chemin musculaire générique

- Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation

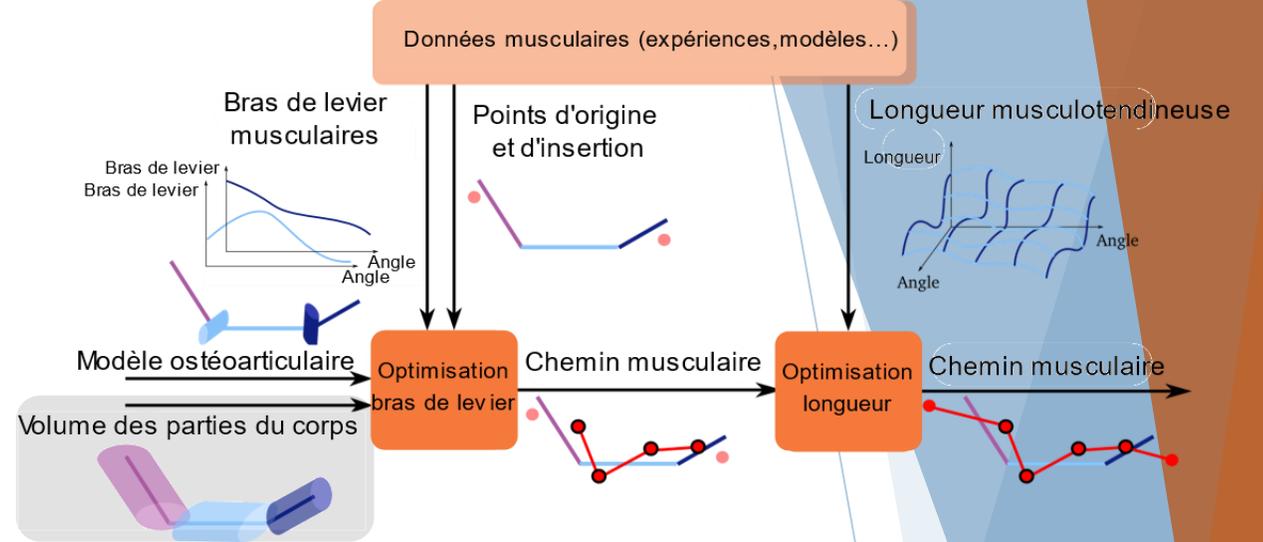




Méthode proposée

Chemin musculaire générique

- ▶ Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation
- ▶ Réalisme : les points de passage sont contenus dans les tissus mous

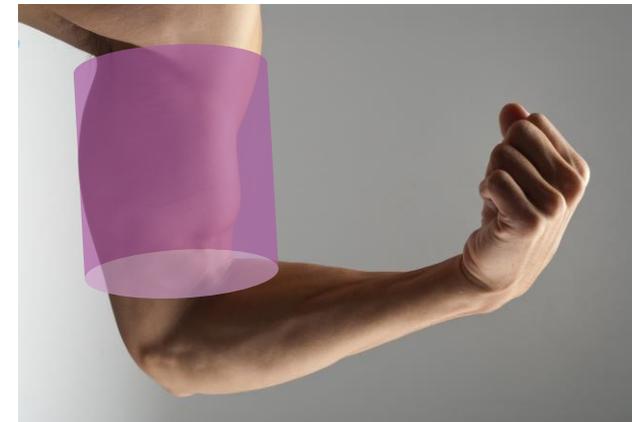
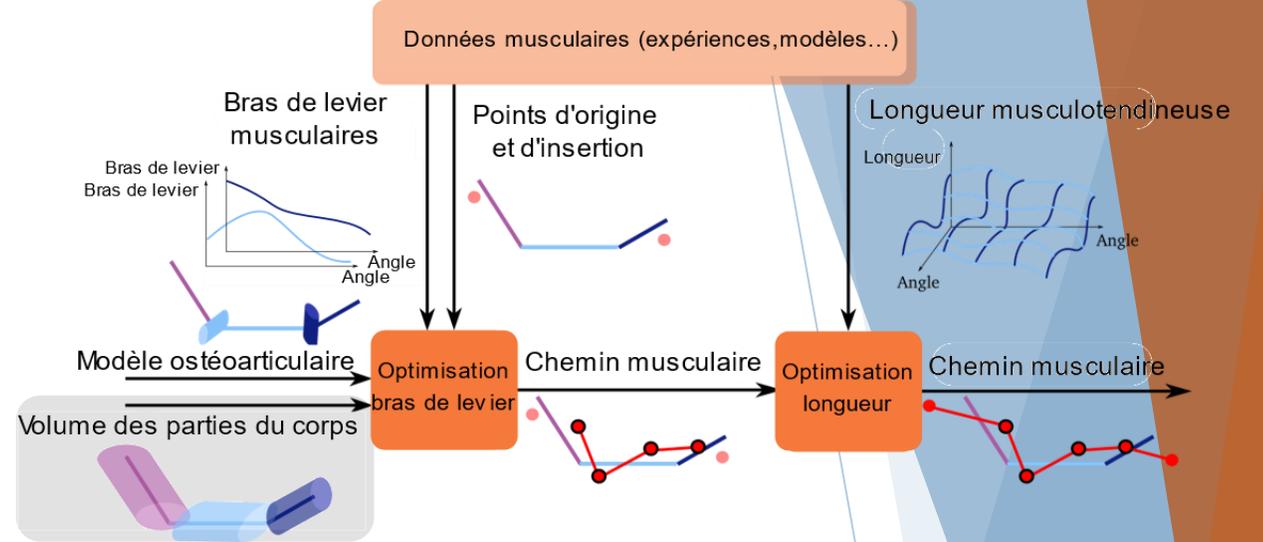




Méthode proposée

Chemin musculaire générique

- ▶ Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation
- ▶ Réalisme : les points de passage sont contenus dans les tissus mous

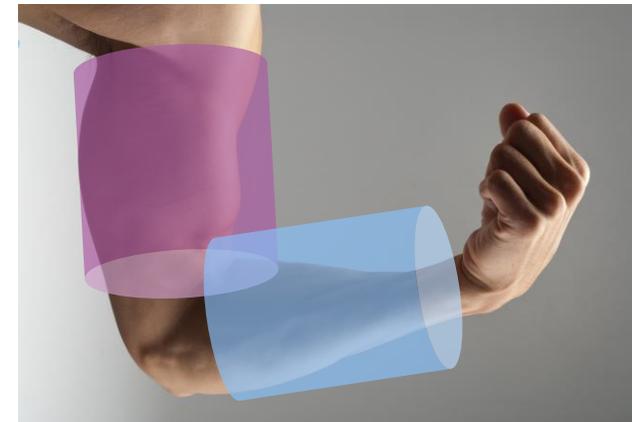
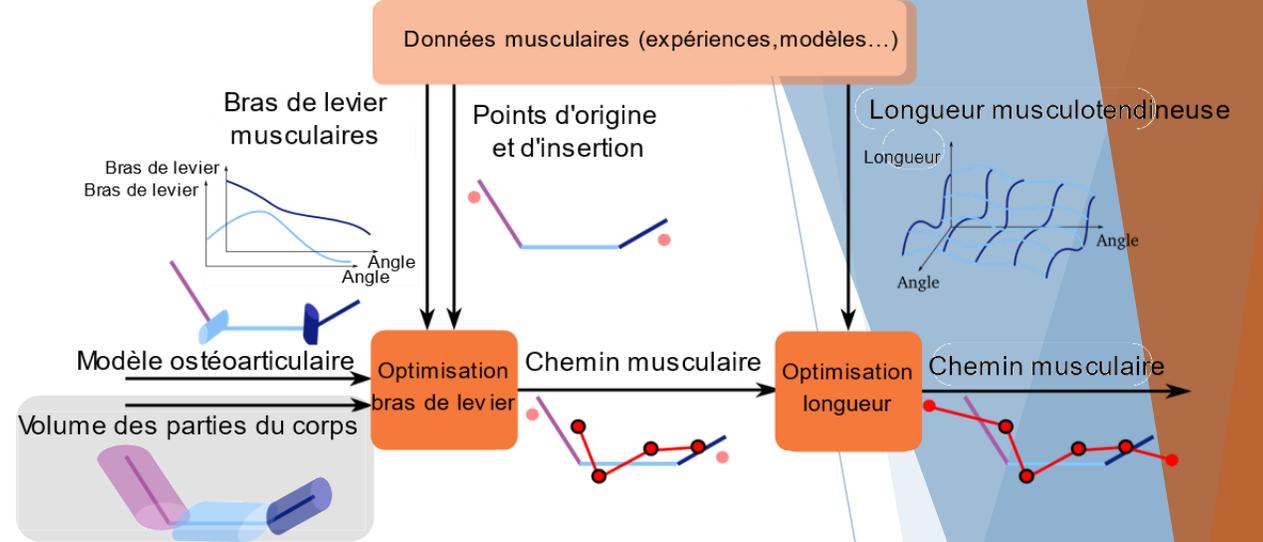




Méthode proposée

► Chemin musculaire générique

- Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation
- Réalisme : les points de passage sont contenus dans les tissus mous

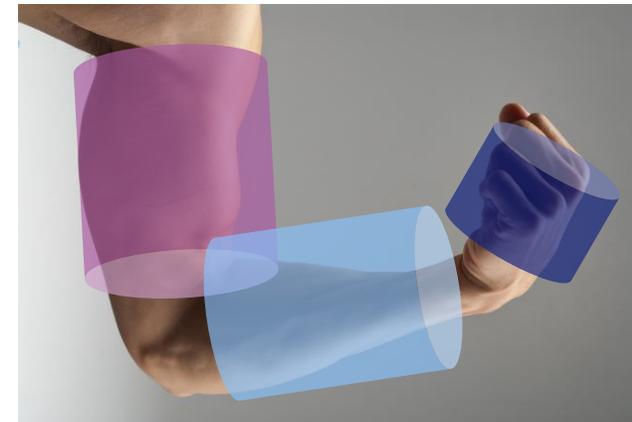
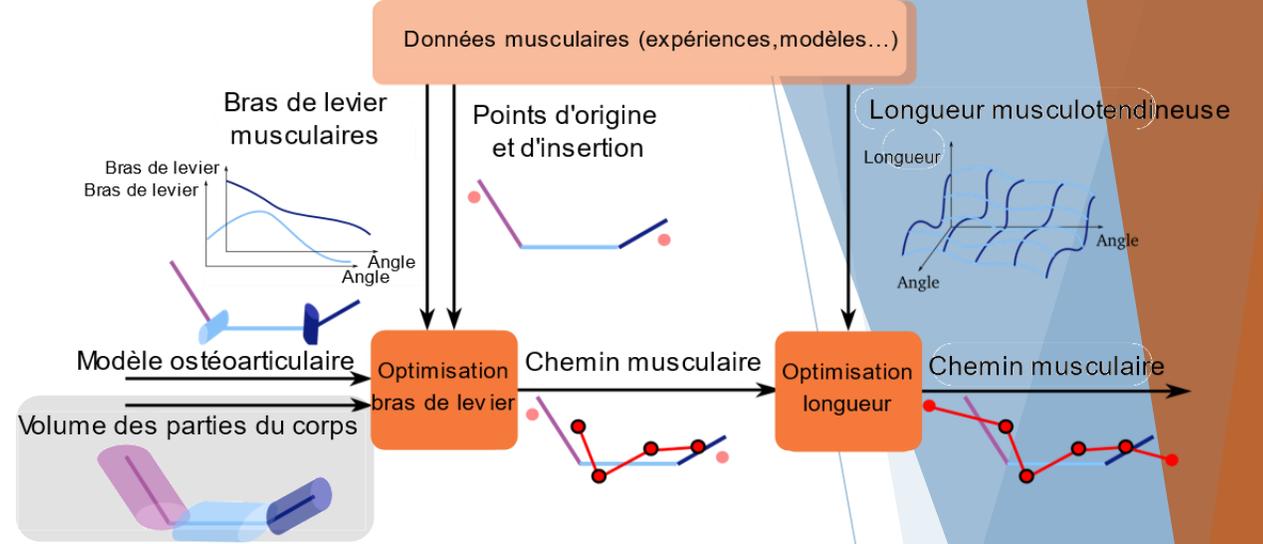




Méthode proposée

Chemin musculaire générique

- ▶ Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation
- ▶ Réalisme : les points de passage sont contenus dans les tissus mous

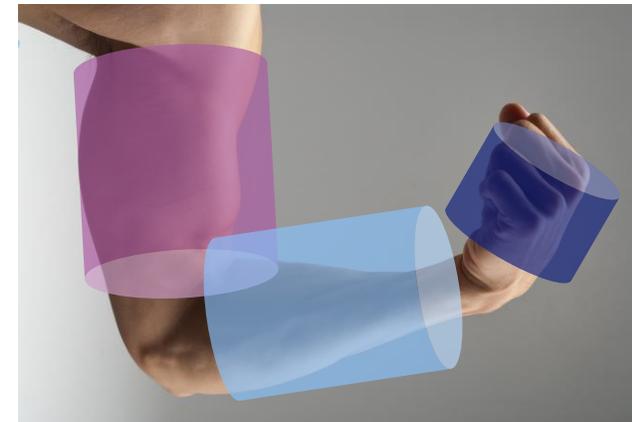
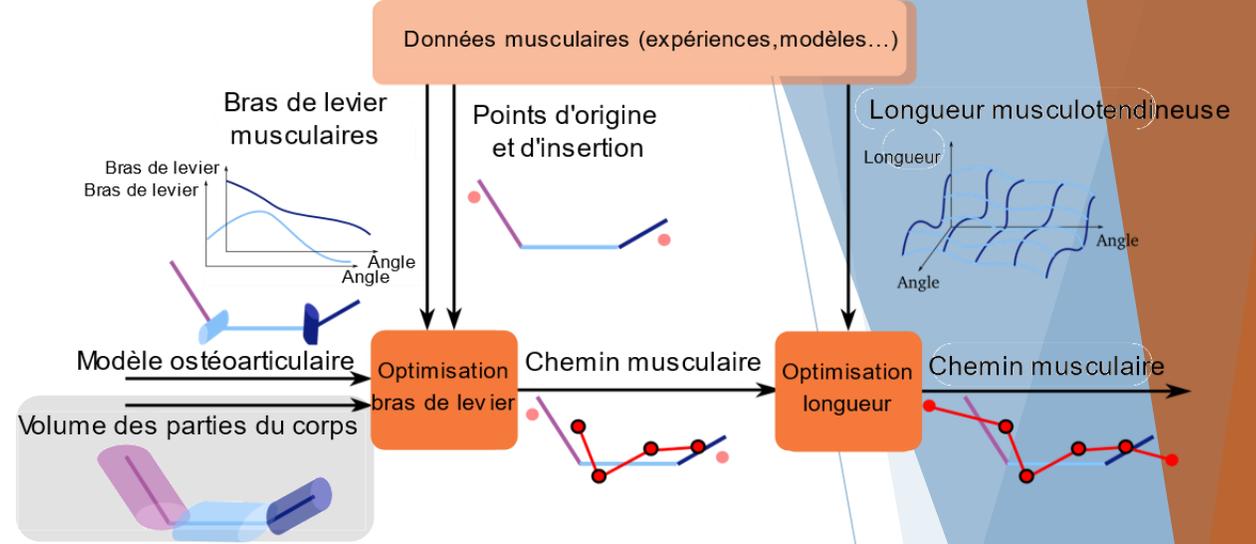
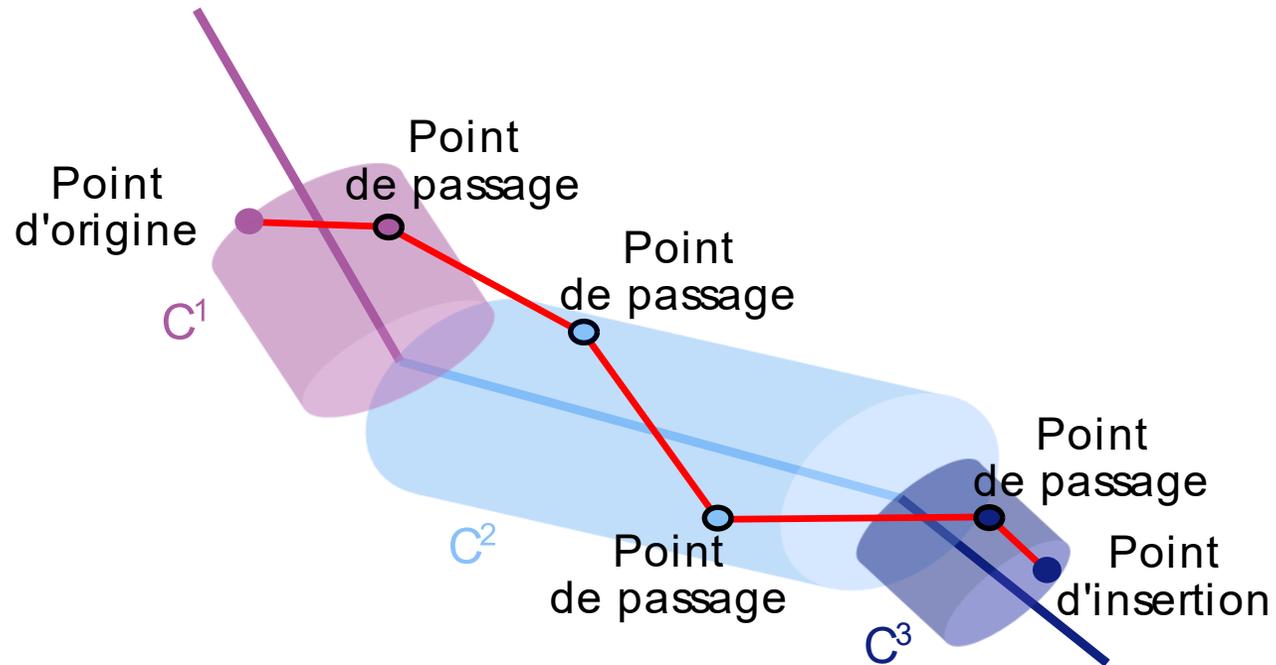




Méthode proposée

Chemin musculaire générique

- ▶ Influence du modèle ostéoarticulaire : 2 points de passage par articulation
- ▶ Réalisme : les points de passage sont contenus dans les tissus mous

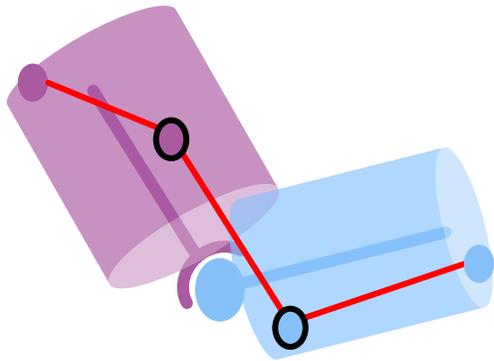
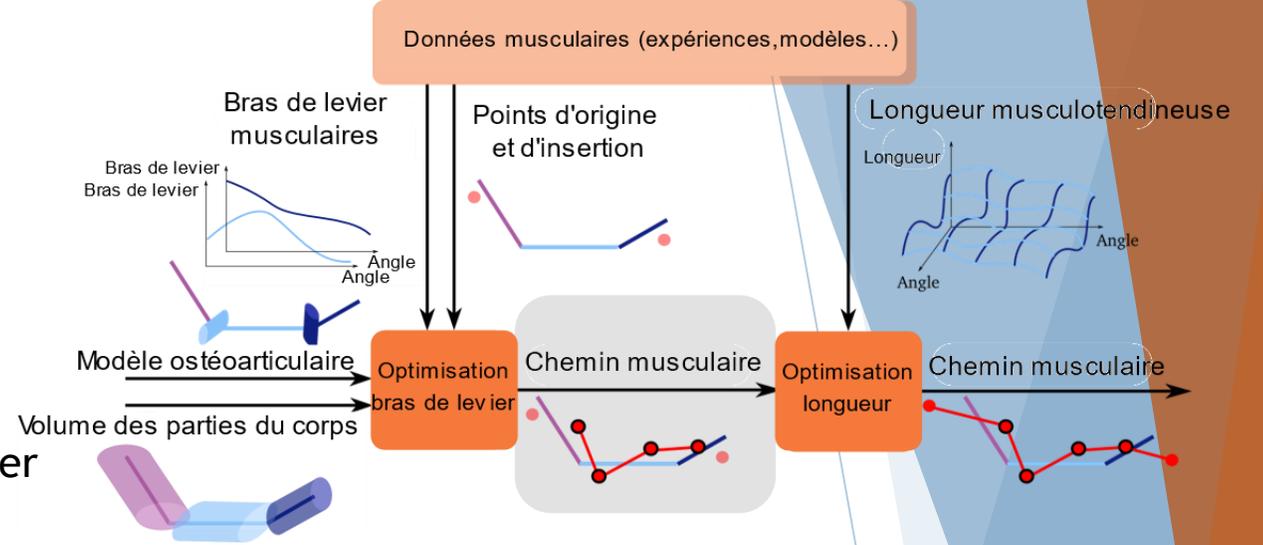




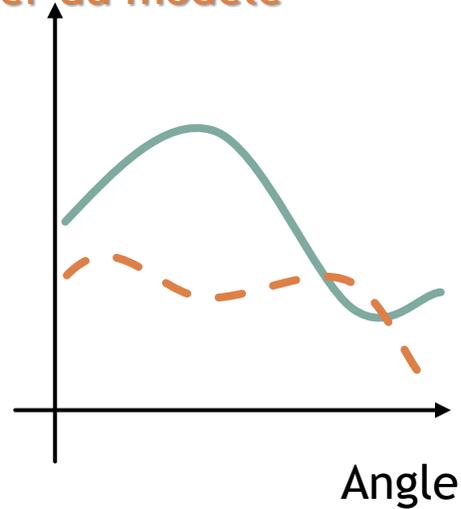
Méthode proposée

Optimisation des bras de levier :

- Placer les points de passage contenus dans les cylindres de façon à suivre les données de bras de levier



Bras de levier d'entrée
Bras de levier du modèle

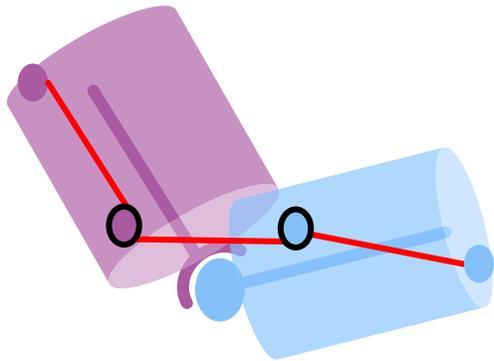
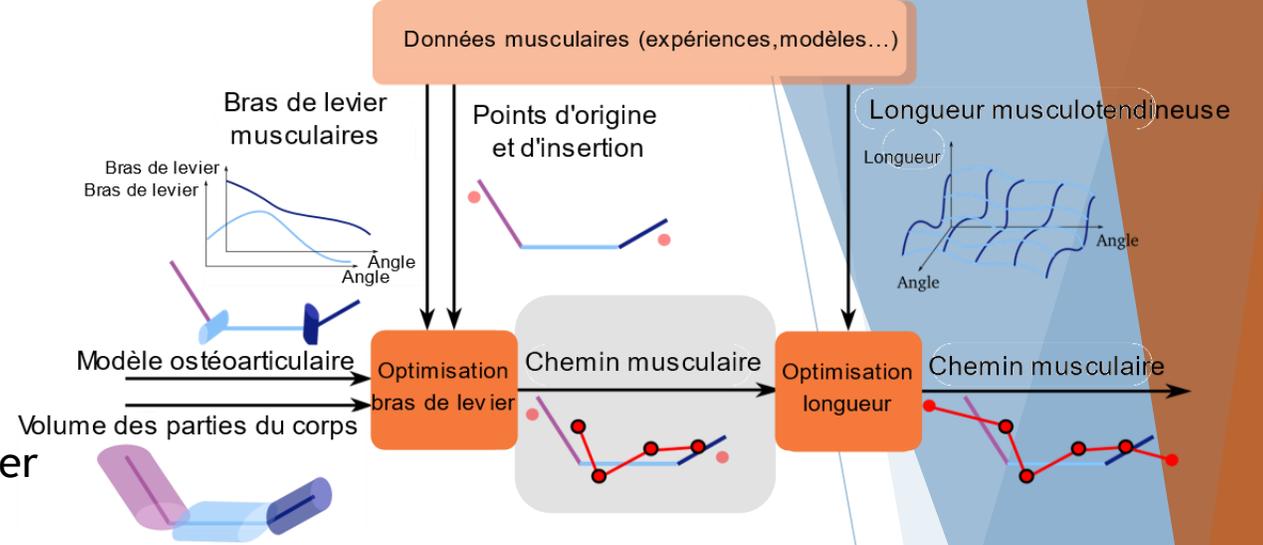




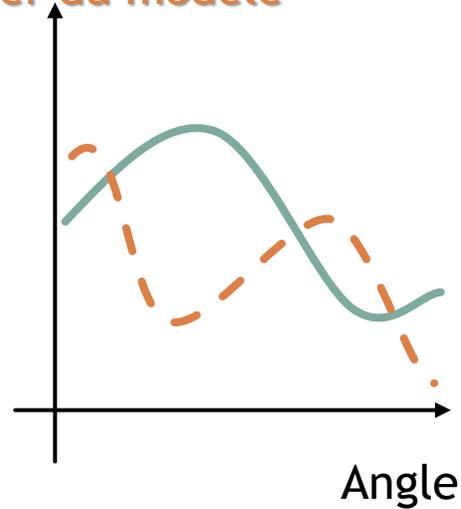
Méthode proposée

Optimisation des bras de levier :

- Placer les points de passage contenus dans les cylindres de façon à suivre les données de bras de levier



Bras de levier d'entrée
Bras de levier du modèle

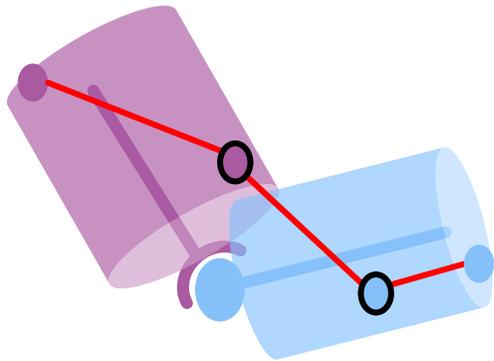
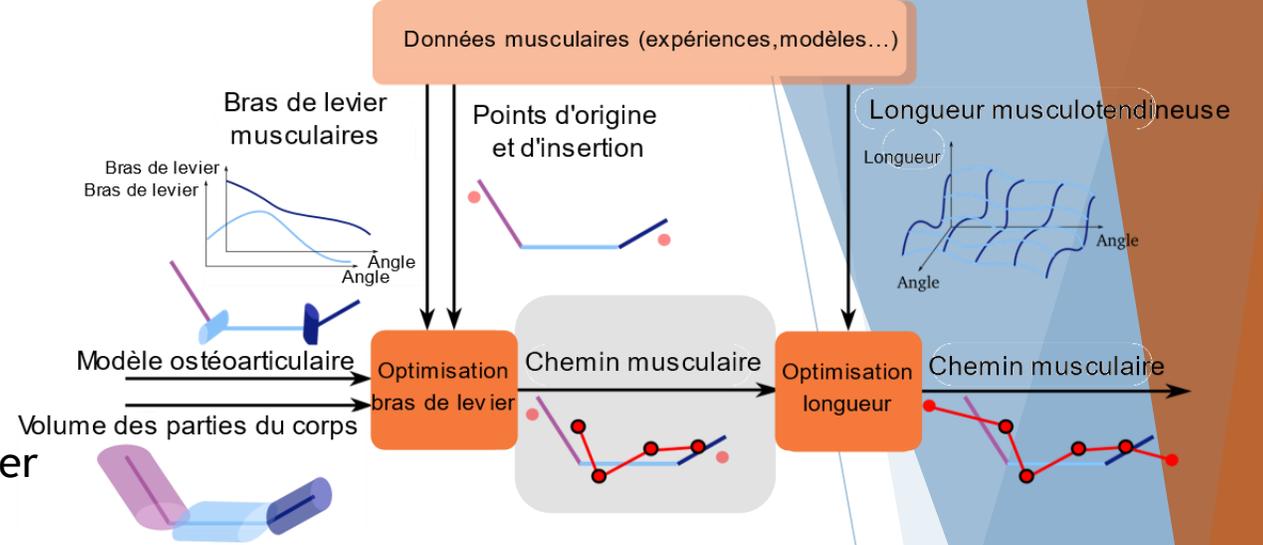




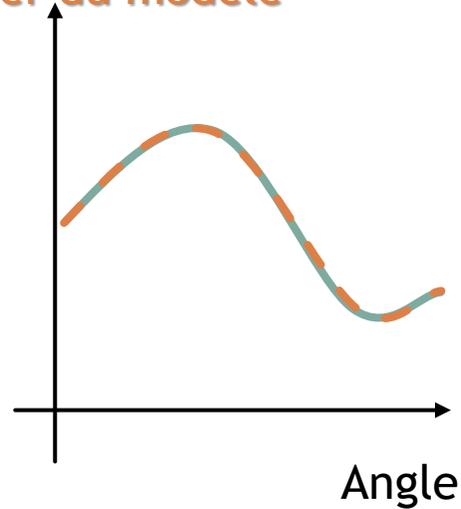
Méthode proposée

Optimisation des bras de levier :

- Placer les points de passage contenus dans les cylindres de façon à suivre les données de bras de levier



Bras de levier d'entrée
Bras de levier du modèle

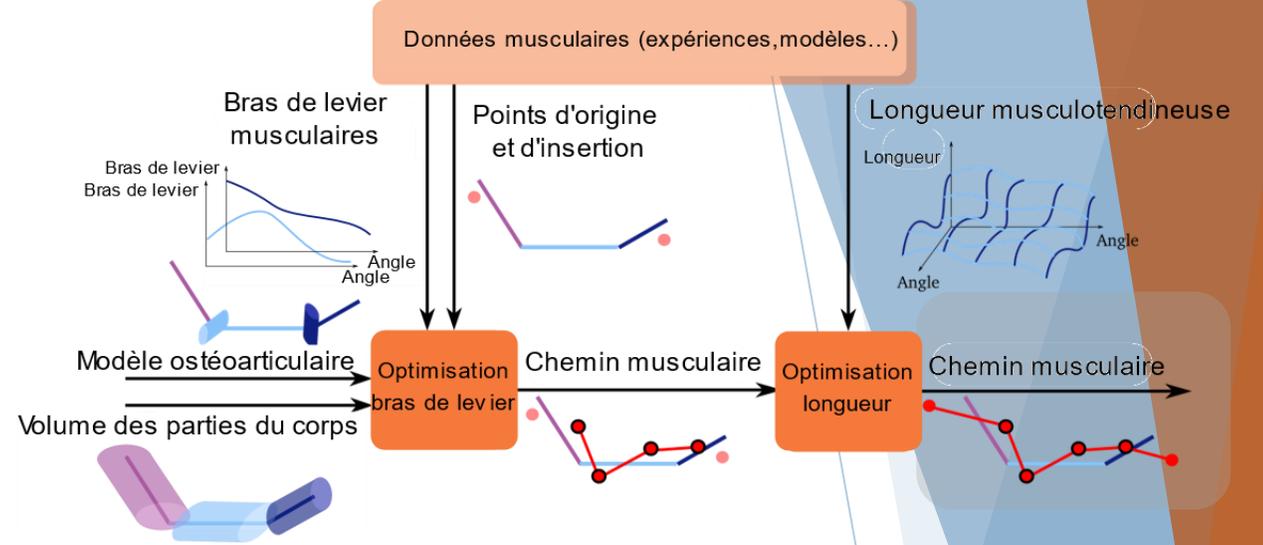




Méthode proposée

► Longueur musculotendineuse :

- Le bras de levier est la dérivée de la longueur musculotendineuse par rapport à l'angle
- Si le bras de levier est correct, la longueur musculotendineuse l'est aussi, à une constante près





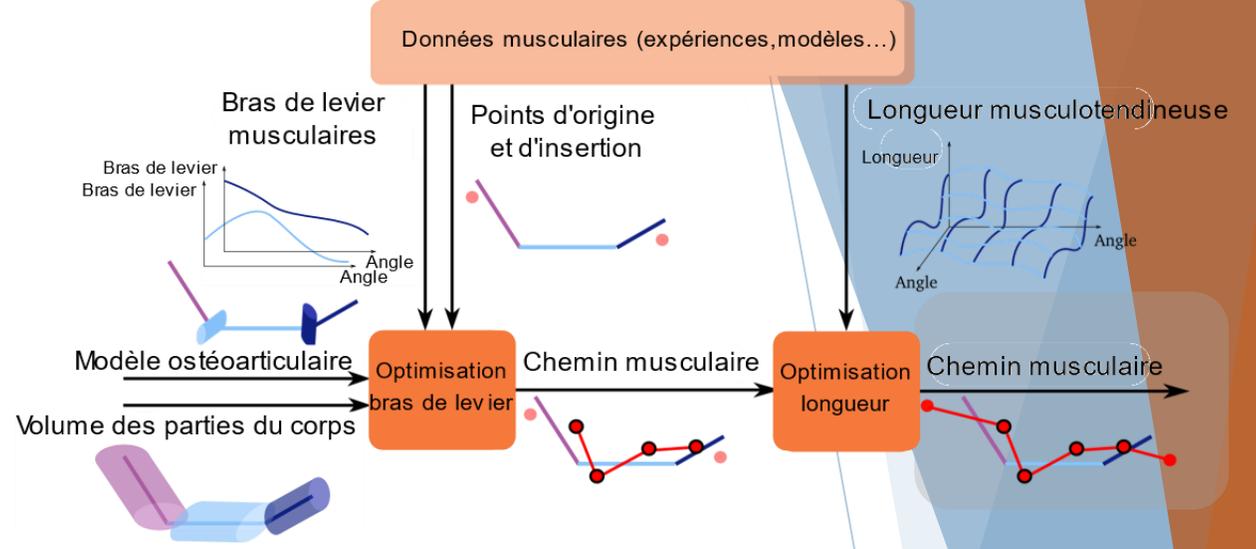
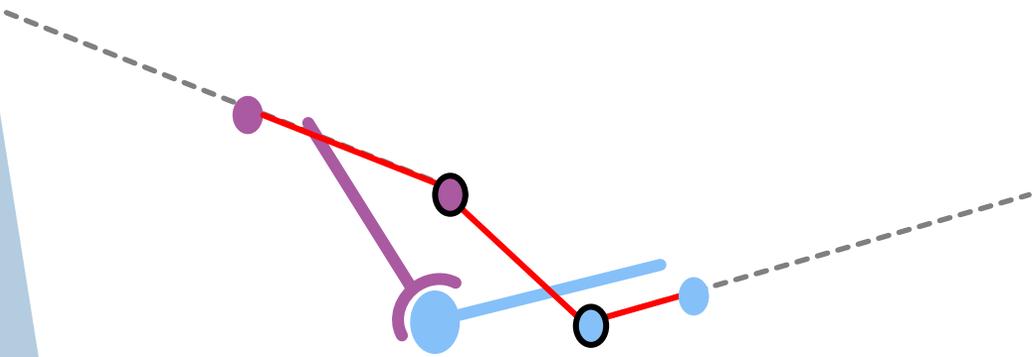
Méthode proposée

Longueur musculotendineuse :

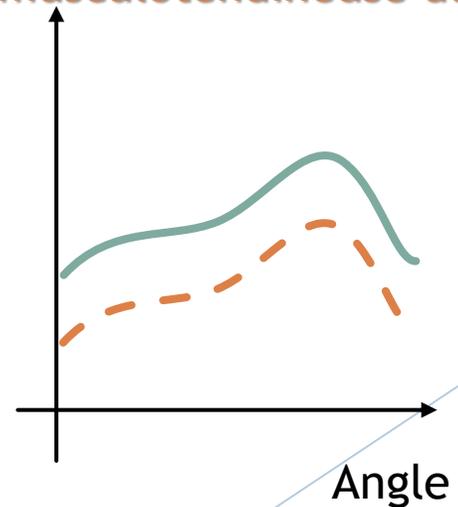
- ▶ Le bras de levier est la dérivée de la longueur musculotendineuse par rapport à l'angle
- ▶ Si le bras de levier est correct, la longueur musculotendineuse l'est aussi, à une constante près

Optimisation de la longueur musculotendineuse

- ▶ Placer les points d'origine et d'insertion pour suivre les données de longueur musculotendineuse



Longueur musculotendineuse d'entrée
 Longueur musculotendineuse du modèle





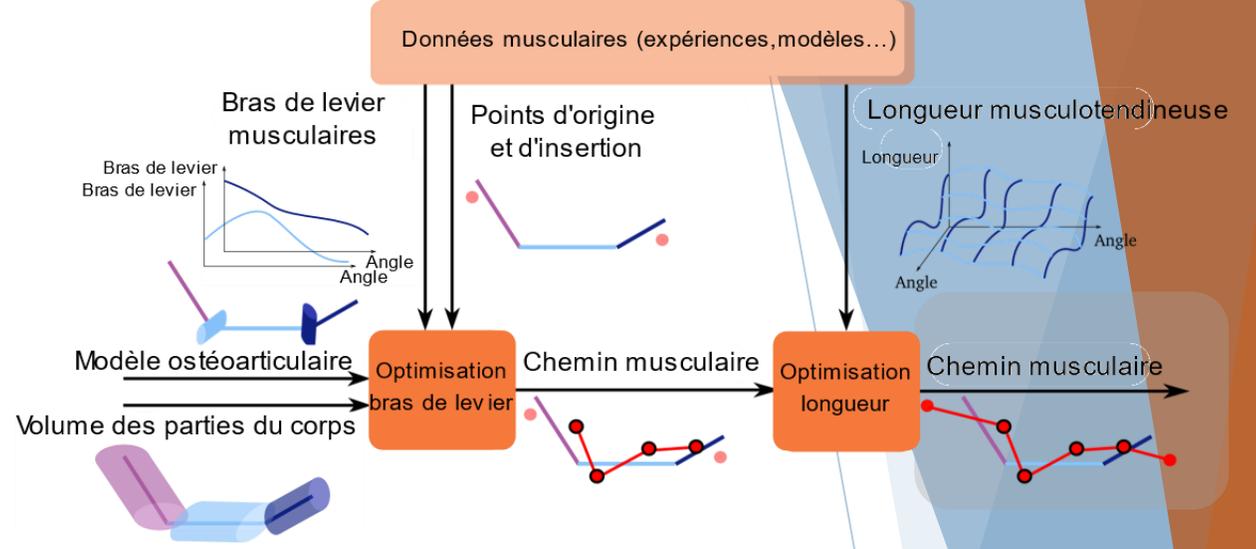
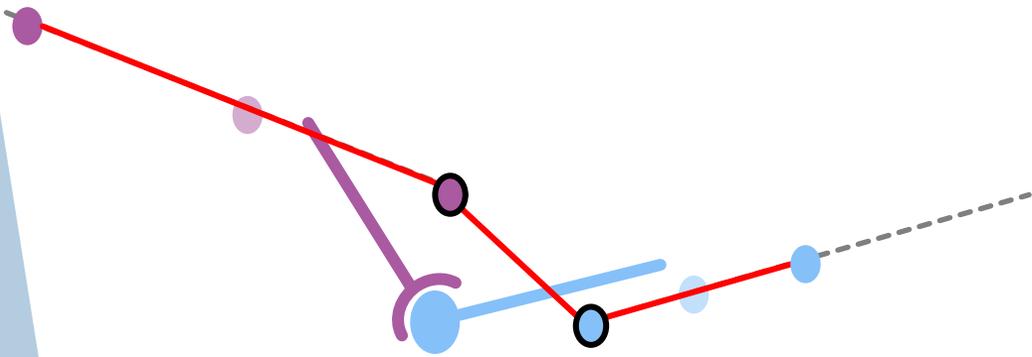
Méthode proposée

Longueur musculotendineuse :

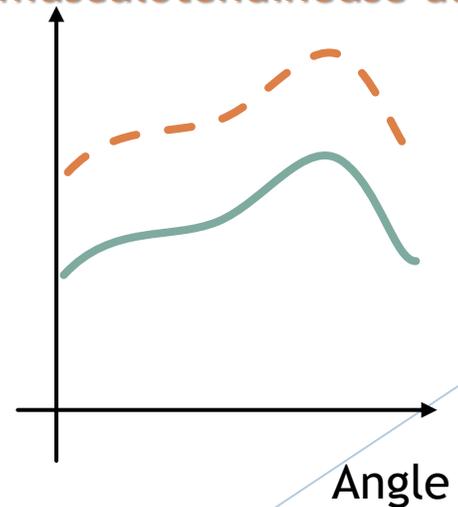
- ▶ Le bras de levier est la dérivée de la longueur musculotendineuse par rapport à l'angle
- ▶ Si le bras de levier est correct, la longueur musculotendineuse l'est aussi, à une constante près

Optimisation de la longueur musculotendineuse

- ▶ Placer les points d'origine et d'insertion pour suivre les données de longueur musculotendineuse



Longueur musculotendineuse d'entrée
Longueur musculotendineuse du modèle





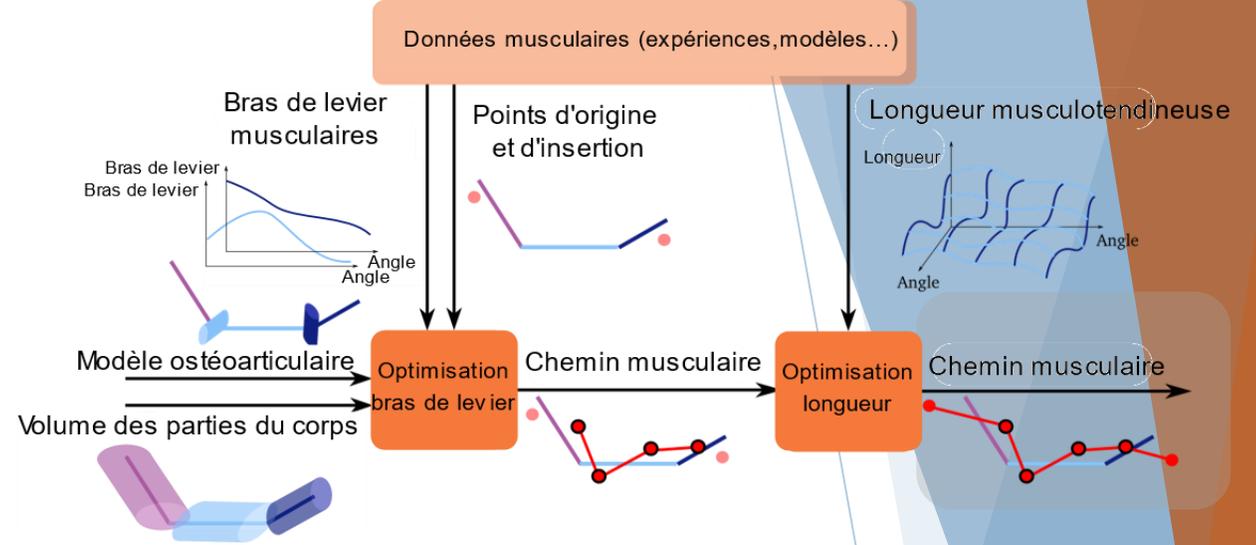
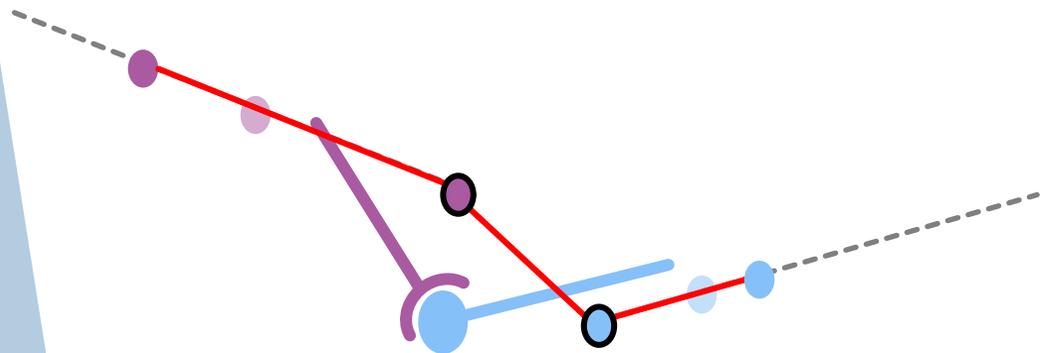
Méthode proposée

Longueur musculotendineuse :

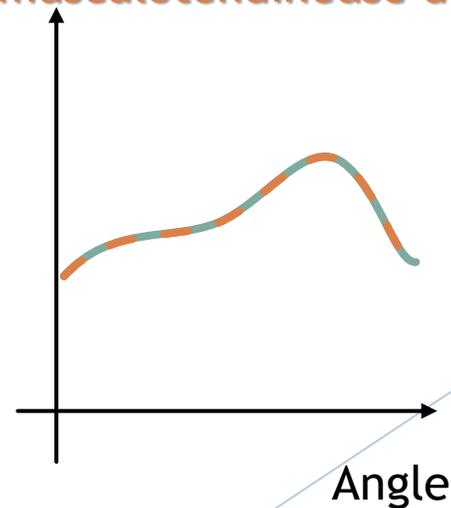
- ▶ Le bras de levier est la dérivée de la longueur musculotendineuse par rapport à l'angle
- ▶ Si le bras de levier est correct, la longueur musculotendineuse l'est aussi, à une constante près

Optimisation de la longueur musculotendineuse

- ▶ Placer les points d'origine et d'insertion pour suivre les données de longueur musculotendineuse



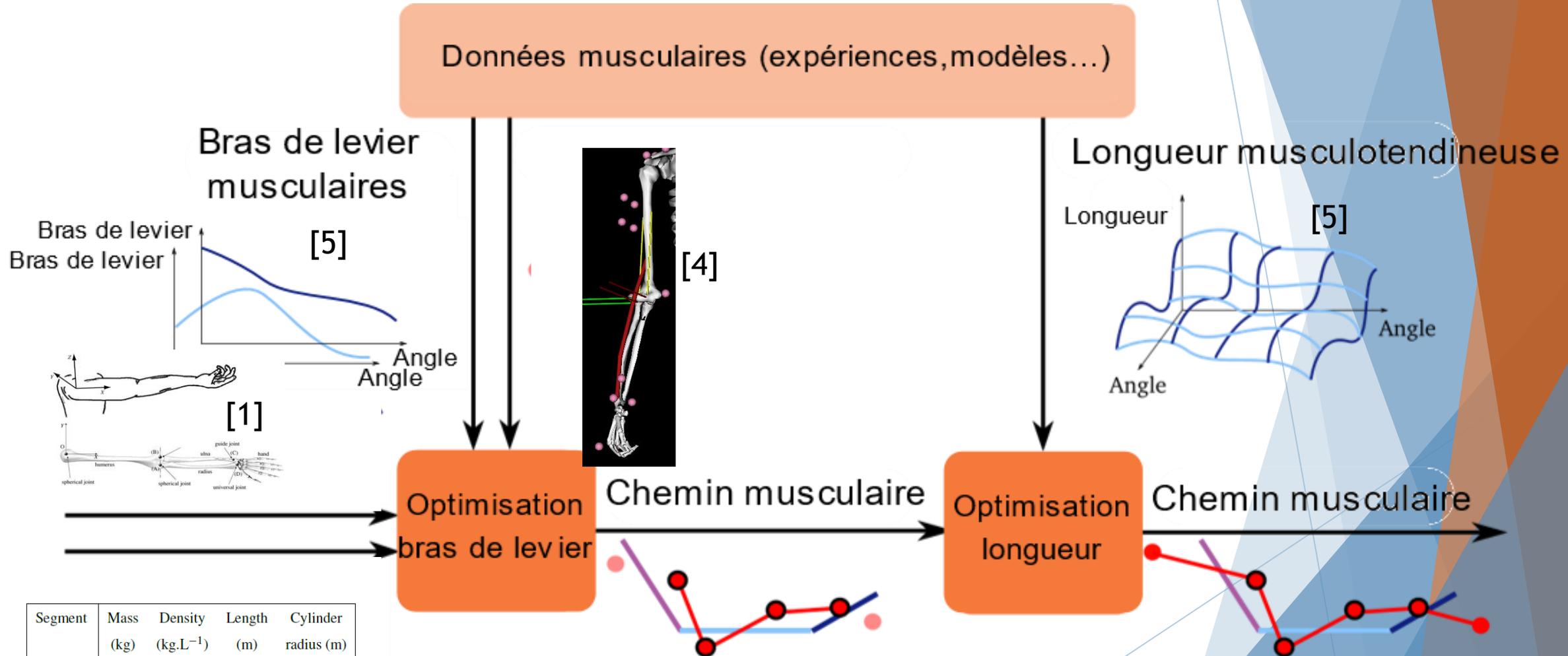
Longueur musculotendineuse d'entrée
 Longueur musculotendineuse du modèle





Cas d'usage

[1] Pennestri, E., Stefanelli, R., Valentini, P. P., & Vita, L. (2007). Virtual musculo-skeletal model for the biomechanical analysis of the upper limb.
 [2] Dumas, R., Chèze, L., and Verriest, J. P. (2007). Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters.
 [3] Yeadon, M. R. (1990). The simulation of aerial movement-II. A mathematical inertia model of the human body.
 [4] Holzbaur, K. R., Murray, W. M., and Delp, S. L. (2005). A model of the upper extremity for simulating musculoskeletal surgery and analyzing neuromuscular control.
 [5] Rankin, J.W., and Neptune, R. R. (2012). Musculotendon lengths and moment arms for a three-dimensional upper-extremity model.



Segment	Mass (kg)	Density (kg.L ⁻¹)	Length (m)	Cylinder radius (m)
Humerus	1.67	1.07	0.32	0.04
Radius	0.47	1.13	0.25	0.023
Ulna	0.72	1.13	0.023	0.029
Hand	0.42	1.16	0.013	0.030

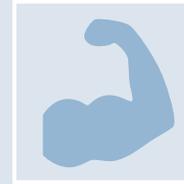
[1,2,3,4]



Résultats majeurs



Les résultats dans la **variation de l'état de l'art** pour la variation inter-specimen (max. 45.5% rRMSE pour le muscle extenseur du carpe [6])



L'optimisation musculotendineuse aurait pu être **aurait pu être sautée** pour quelques muscles



Réalisme du modèle : un muscle n'est pas vraiment composé de lignes droites. Cette hypothèse est suffisante tant qu'on ne cherche pas à calculer la friction entre les muscles.



Les bras de levier et la longueur musculotendineuse ne peuvent pas être obtenus pour tous les sujets. Cette méthode est adaptée pour générer un **modèle générique** mis à l'échelle pour le sujet.

Conclusion

- ▶ Un grand merci à Théo, Charles and Georges les collaborateurs de ces travaux !



Merci de votre attention !