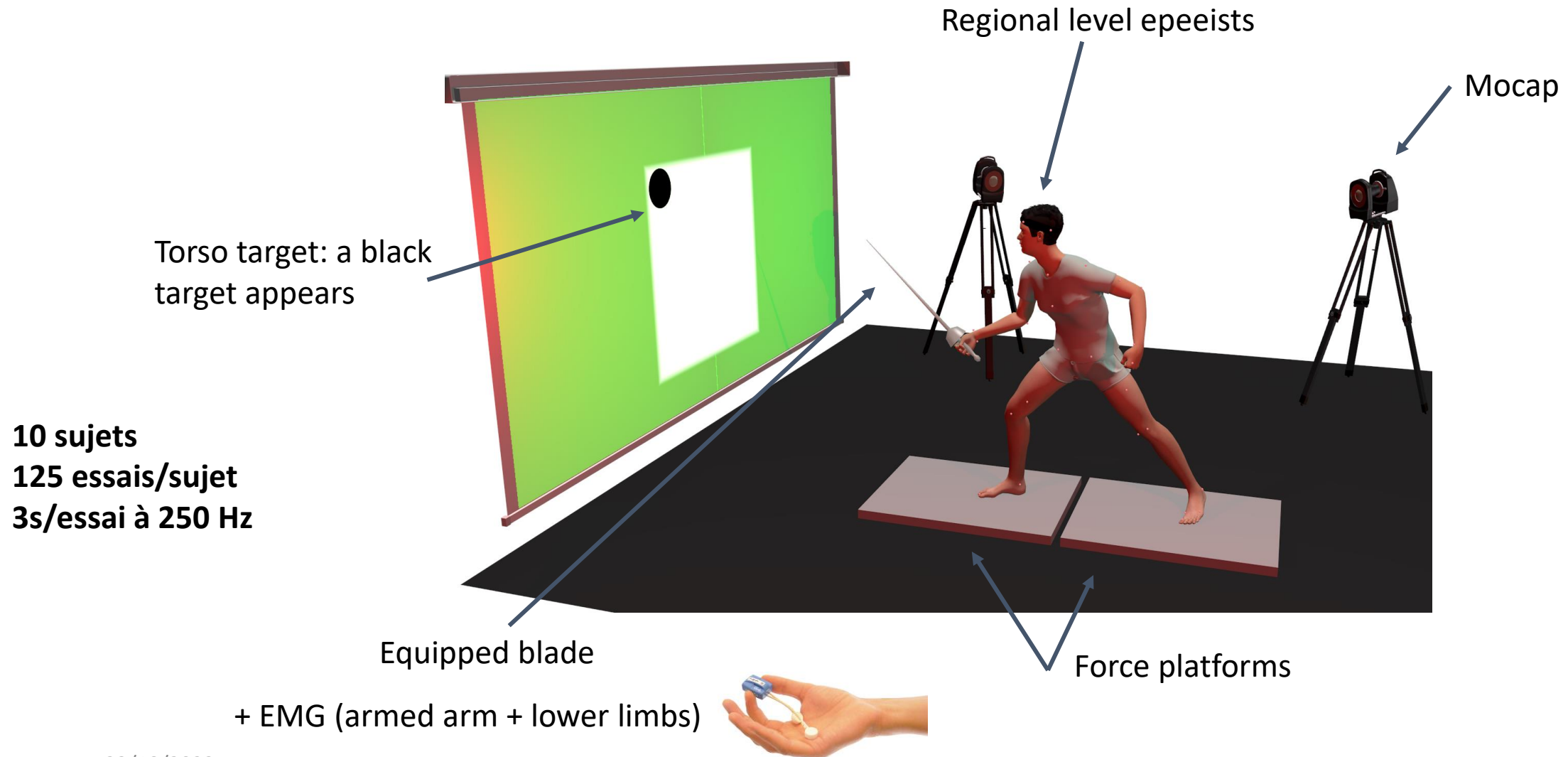


# Travaux pratiques : traitement de données biomécaniques

Charles Pontonnier, Franck Multon

# Exemple fil rouge: escrime



# Exemple fil rouge: escrime

1 subject (1m77, 85kg)

128 lunges:	Randomized order
Closed tasks	3 rép x 4 pos init x 2 Ø = 24
Opened tasks	3 rép x 4 pos init x 3 pos finale x 2 Ø = 72
Opened/closed tasks	2 rép x 4 pos init x 2 Ø x 2 ouverte/fermée = 32

- ➡ Performance (reaction times, accuracy,...)
- ➡ Kinematics (joint angles, velocities,...)
- ➡ Muscular (muscle patterns, synergies,...)



## Objectif du TP

- Etudier les données d'entrée de l'analyse
- Réaliser l'analyse cinématique et dynamique sous OpenSim
- Analyser la cinématique du bras armé
- Analyser le couple au genou sur la jambe d'appui

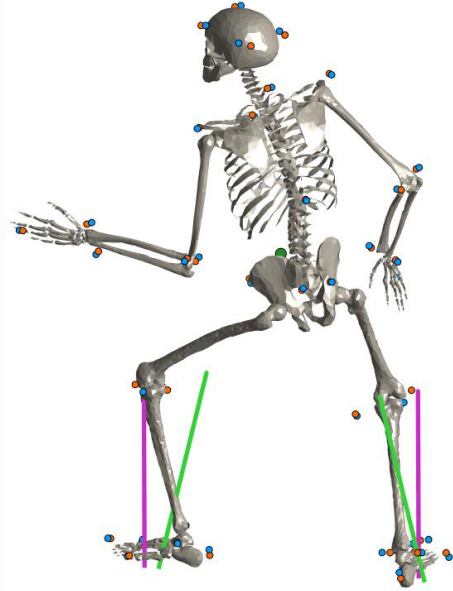
# Analyse musculo-squelettique

Obtenir des données biomécaniques à partir du mouvement humain

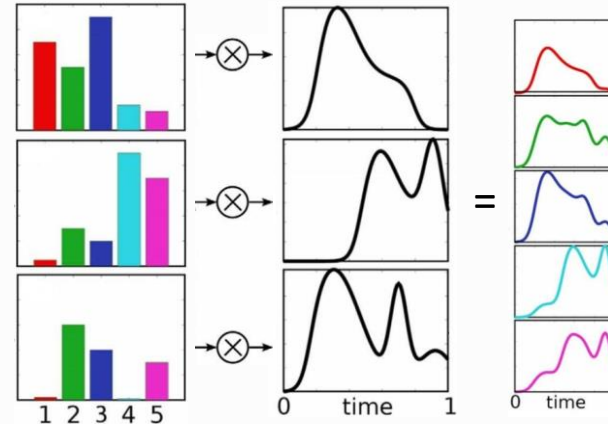
Données de mouvement



$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) = \tau + F_{ext} \quad \text{Equations du mouvement}$$



Modèle de l'humain



Modèle du contrôle moteur

Quantités articulaires  
(angles, couples, forces  
de compression)




Données de force




Quantités musculaires  
(longueurs, forces,  
activations)



# github.com/cpontonn/SPORT\_ET\_IA





[Pull requests](#) [Issues](#) [Marketplace](#) [Explore](#)


 [cpontonn / SPORT\\_ET\\_IA](#) Public

[Pin](#) [Unwatch 1](#) [Fork 0](#)

[Code](#) [Issues](#) [Pull requests](#) [Actions](#) [Projects](#) [Wiki](#) [Security](#) [Insights](#) [Settings](#)

 [main](#)

 1 branch


 0 tags












[Go to file](#)

[Add file](#)

[Code](#)






[About](#)

 **cpontonn** Create README.md d714011 5 minutes ago 🕒 3 commits

 DATA	Main Commit	5 minutes ago
 Python	Main Commit	5 minutes ago
 .gitattributes	Initial commit	6 minutes ago
 ID_fencing.xml	Main Commit	5 minutes ago
 IK_fencing.xml	Main Commit	5 minutes ago
 LICENSE	Initial commit	6 minutes ago
 README.md	Create README.md	5 minutes ago
 anthropometrics.txt	Main Commit	5 minutes ago
 external_loads_fencing.xml	Main Commit	5 minutes ago
 fencing_model.osim	Main Commit	5 minutes ago
 scaling_fencing.xml	Main Commit	5 minutes ago

## About

Travaux pratiques biomécanique

-  Readme
-  GPL-3.0 license
-  0 stars
-  1 watching
-  0 forks

---

## Releases

No releases published

[Create a new release](#)

---

## Packages

No packages published

[Publish your first package](#)

# Workflow

(Jupyter Notebook #1)

## **Nature des données d'entrée Données**

- Capture de mouvement
- Données de plateforme de force
- Différentiation numérique
- Méthodes et filtrage

(OpenSim 4.2)

## **Analyse cinématique et dynamique**

- Ouverture, investigation modèle
- Mise à l'échelle
- Inverse Kinematics
- Inverse Dynamics

(Jupyter Notebook #2)

## **Post-Processing**

- Investigation ddl's épaule et coude
- Couple genou

## (Jupyter Notebook #1)

### **Nature des données d'entrée Données**

- Capture de mouvement
- Données de plateforme de force
- Différentiation numérique
- Méthodes et filtrage



## (OpenSim 4.2)

- Ouvrir le modèle `fencing_model.osim`
- Explorer les données expérimentales (mokka ou opensim)

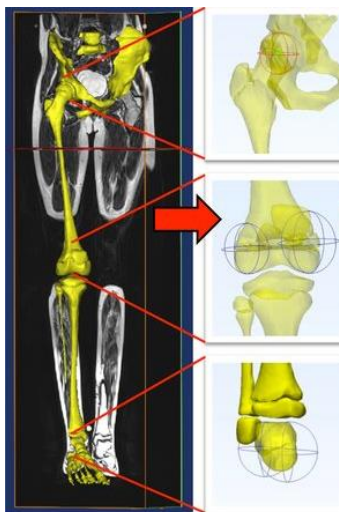
## (OpenSim 4.2)

- Mettre à l'échelle le modèle à l'aide des données expérimentales

# Calibration géométrique

Calibrer les longueurs de segments, les positions des marqueurs, les axes de rotation

## A partir d'imagerie



Kainz et al., 2016

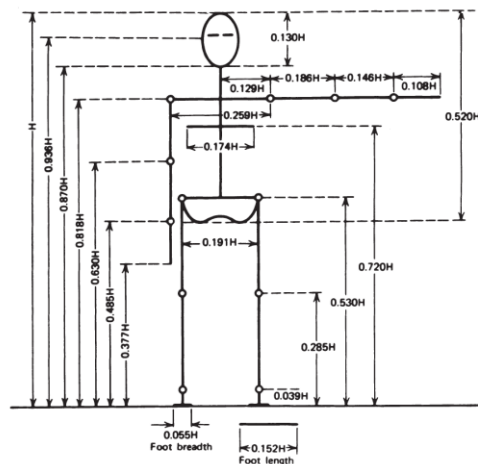
## A partir de modèles cadavériques



Carbone et al., 2015

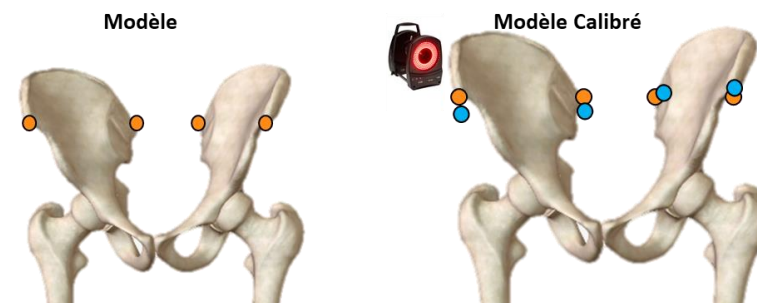


Horsmann et al., 2007



Carbone et al., 2015

## A partir de capture de mouvement



### Mise à l'échelle par optimisation

Van den Bogert et al. 1994  
Andersen et al. 2010;  
Lund et al. 2015

### Sur plusieurs poses

Minimisation des distances entre les **marqueurs des modèles** et les **marqueurs expérimentaux**

Limite les erreurs dues aux placements de marqueurs et aux artefacts de tissus mous

### Mise à l'échelle individuelle des segments

### Sur une unique pose

Delp et al. 2007  
Ding et al. 2019;  
Nolte et al. 2020

## Exemple fil rouge: escrime



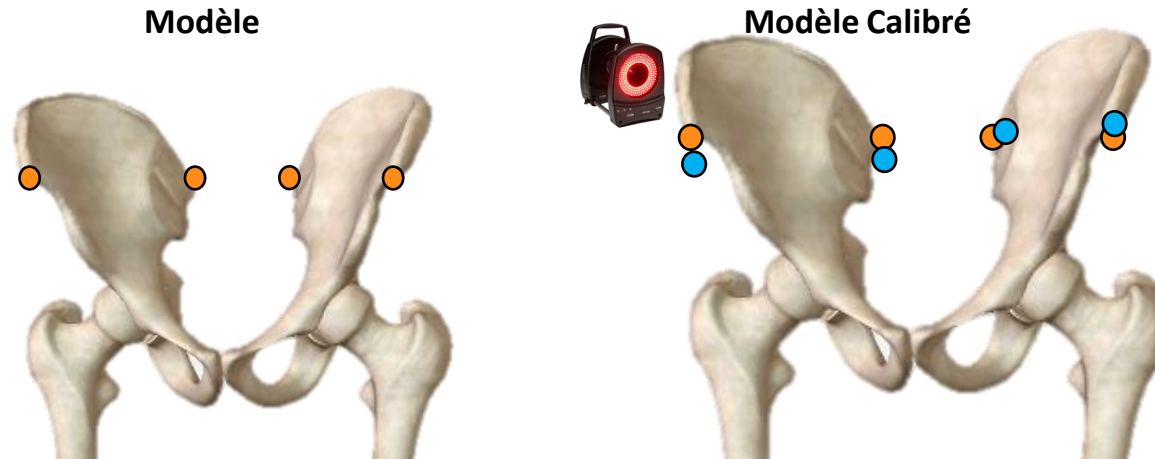
Sorel, A., Plantard, P., Bideau, N., & Pontonnier, C. (2019). Studying fencing lunge accuracy and response time in uncertain conditions with an innovative simulator. *Plos One*, 14(7), e0218959.

Morin, P., Muller, A., Pontonnier, C., & Dumont, G. (2021, July). Studying the impact of internal and external forces minimization in a motion-based external forces and moments prediction method: application to fencing lunges. In *ISB 2021-XXVIII Congress of the International Society of Biomechanics* (p. 1).

Plantard, P., Sorel, A., Bideau, N., & Pontonnier, C. (2017). Motion adaptation in fencing lunges: a pilot study. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 20(sup1), S161-S162.

Pontonnier, C., Livet, C., Muller, A., Sorel, A., Dumont, G., & Bideau, N. (2019). Ground reaction forces and moments prediction of challenging motions: fencing lunges. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 22(sup1), S523-S525.

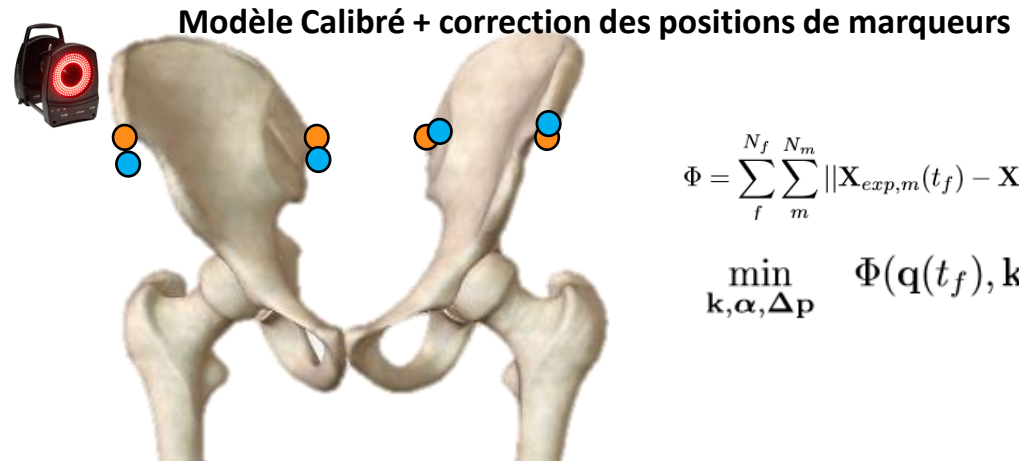
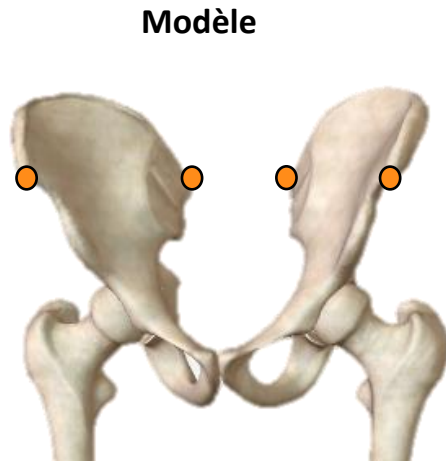
# Calibration des longueurs segmentaires



$$\Phi = \sum_f^{N_f} \sum_m^{N_m} \|X_{exp,m}(t_f) - X_{mod,m}^{Rglobal}(\mathbf{q}(t_f), \mathbf{k}, \alpha, \Delta \mathbf{p})\|^2$$
$$\min_{\mathbf{k}, \alpha, \Delta \mathbf{p}} \Phi(\mathbf{q}(t_f), \mathbf{k}, \alpha, \Delta \mathbf{p})$$

*CusToM, Muller et al., 2019*

# Calibration des positions anatomiques des marqueurs



$$\Phi = \sum_f^{N_f} \sum_m^{N_m} \|X_{exp,m}(t_f) - X_{mod,m}^{R_{global}}(q(t_f), k, \alpha, \Delta p)\|^2$$
$$\min_{k, \alpha, \Delta p} \Phi(q(t_f), k, \alpha, \Delta p)$$

*CusToM, Muller et al., 2019*

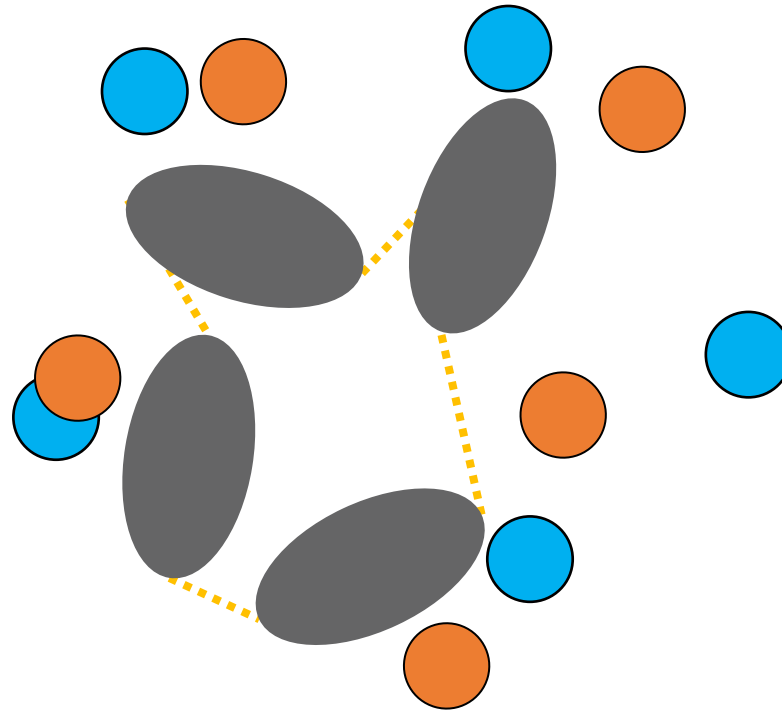
## (OpenSim 4.2)

- Réaliser l'étape de cinématique inverse
- Quelle performance ? Ouvrir le Notebook TP 2

# Optimisation cinématique multicorps

$$\min_{\mathbf{q} \in Q} \sum_{i=1}^m \|\mathbf{x}_{exp}^i - \mathbf{x}_{mod}^i(\mathbf{q})\|^2$$

tel que  $\mathbf{h}(\mathbf{q}) = \mathbf{0}$

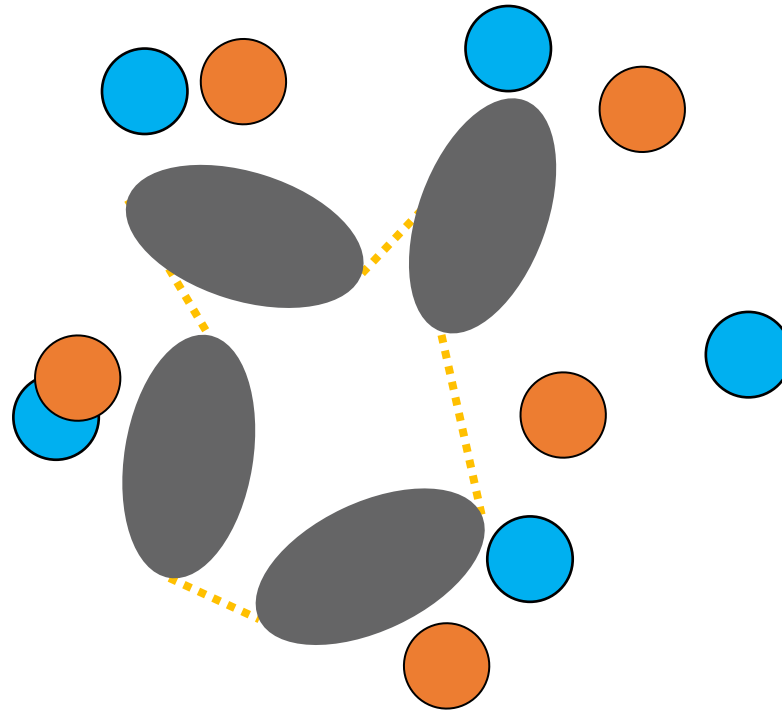




# Optimisation cinématique multicorps

$$\min_{\mathbf{q} \in Q} \sum_{i=1}^m \left\| \mathbf{x}_{exp}^i - \mathbf{x}_{mod}^i(\mathbf{q}) \right\|^2$$

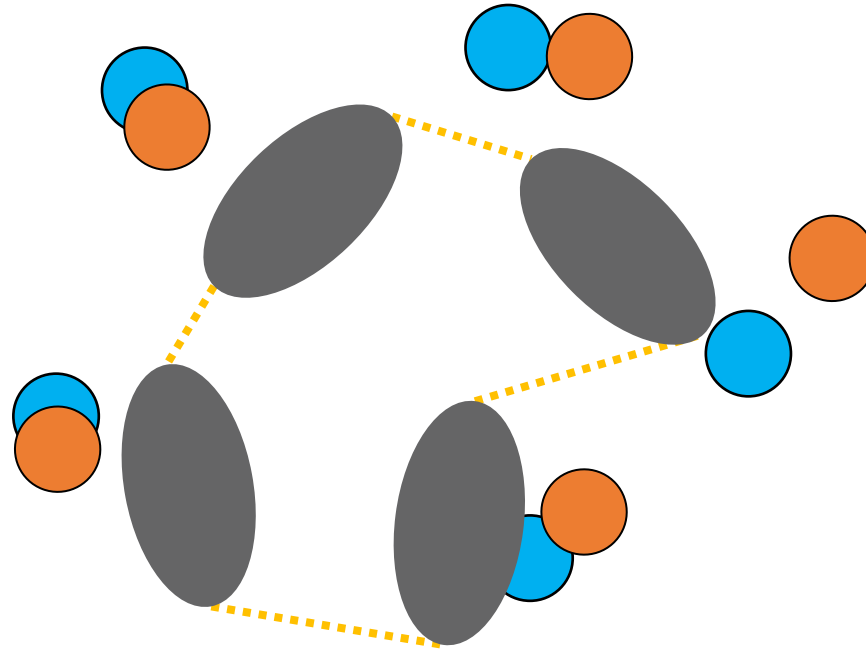
tel que  $\mathbf{h}(\mathbf{q}) = \mathbf{0}$



# Optimisation cinématique multicorps

$$\min_{\mathbf{q} \in Q} \sum_{i=1}^m \|\mathbf{x}_{exp}^i - \mathbf{x}_{mod}^i(\mathbf{q})\|^2$$

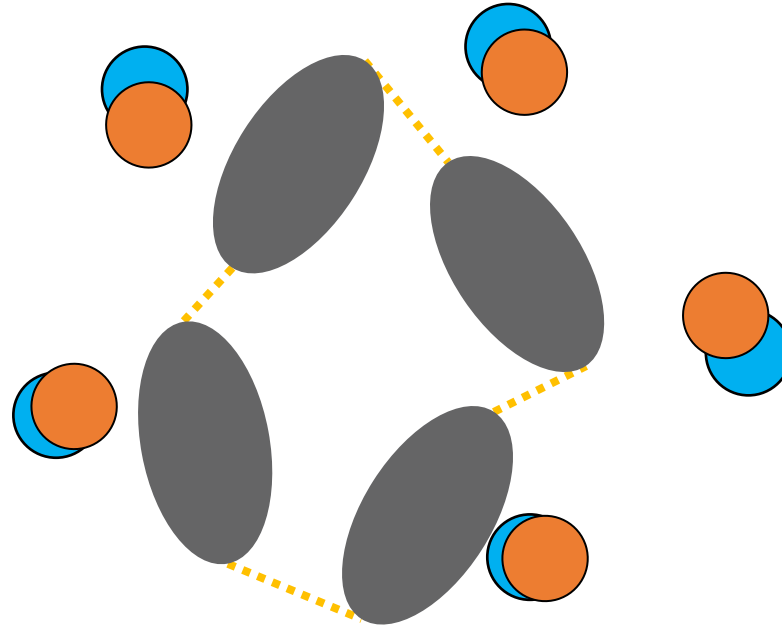
tel que  $\mathbf{h}(\mathbf{q}) = \mathbf{0}$



# Optimisation cinématique multicorps

$$\min_{\mathbf{q} \in Q} \sum_{i=1}^m \left\| \mathbf{x}_{exp}^i - \mathbf{x}_{mod}^i(\mathbf{q}) \right\|^2$$

tel que  $\mathbf{h}(\mathbf{q}) = \mathbf{0}$



Avec un algorithme d'optimisation adapté (SQP, Levenberg-Marquardt)

De nombreuses méthodes concurrentes (estimateur type Kalman étendu, machine learning...)

## (OpenSim 4.2)

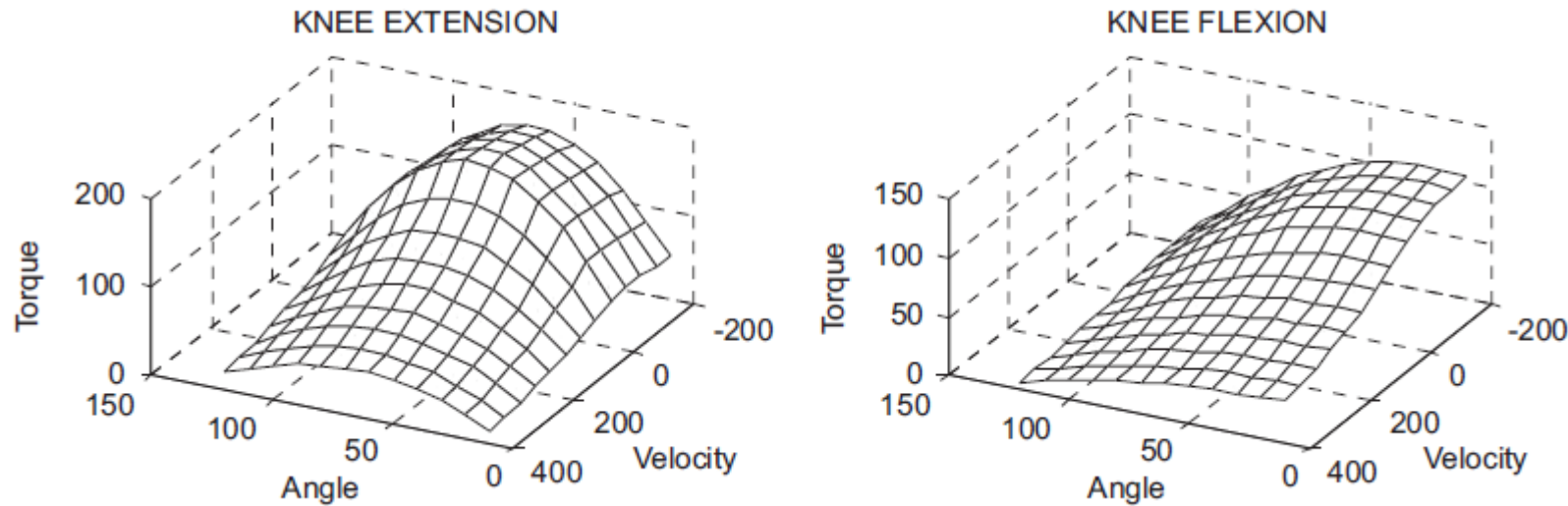
- Lancer la dynamique inverse
- Comment sont générés les fichiers de force (.mot) ?

## (Jupyter Notebook #2)

### **Post-Processing**

- Investigation ddls épaule et coude
- Couple genou

# Anderson et al. 2007



Anderson, Dennis E., Michael L. Madigan, and Maury A. Nussbaum. "Maximum voluntary joint torque as a function of joint angle and angular velocity: model development and application to the lower limb." *Journal of biomechanics* 40.14 (2007): 3105-3113.



Normaliser par rapport au couple max

## Aller **plus loin**

Vers une estimation des actions musculaires (membres inf)

→ problématique de la mise à l'échelle des paramètres musculaires

Lien vers la documentation **OpenSim**

<https://simtk-confluence.stanford.edu:8443/display/OpenSim/Documentation>

# Travaux pratiques : traitement de données biomécaniques

Charles Pontonnier, Franck Multon

A vous