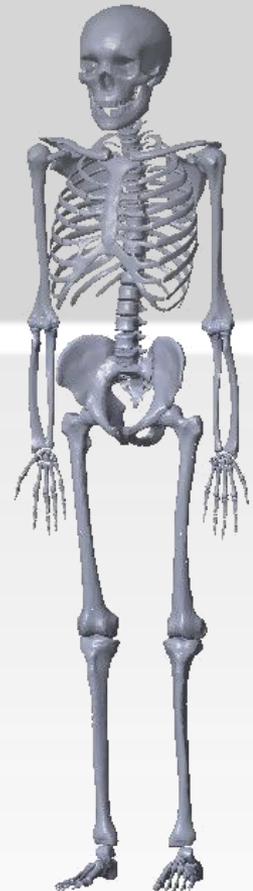


# Méthodes de détermination de modèles biomécaniques personnalisés à partir d'une capture de mouvement

Antoine MULLER  
Agrégé Préparateur, ENS Rennes



# Laboratoire / équipe de recherche



Equipe de recherche : MimeTIC

IRISA (Institut de Recherche en Informatique  
et Systèmes Aléatoires)



M2S (Mouvement Sport Santé)

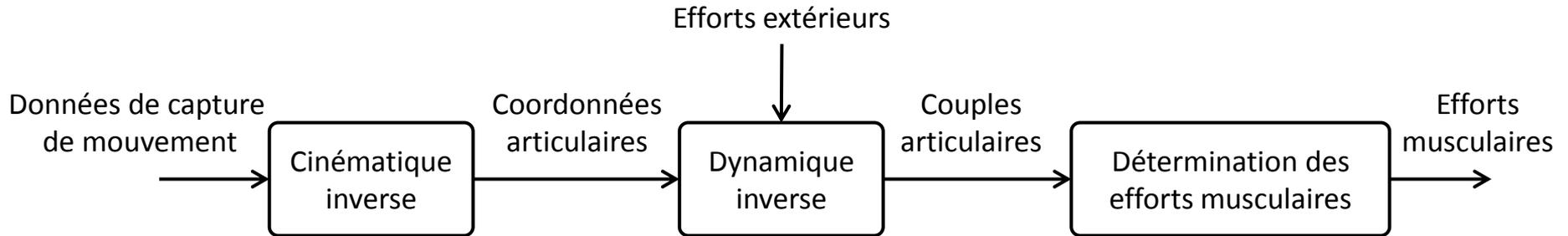


Axe de recherche :  
biomécanique et analyse de mouvement

Encadrants de thèse : Georges Dumont, Charles Pontonnier

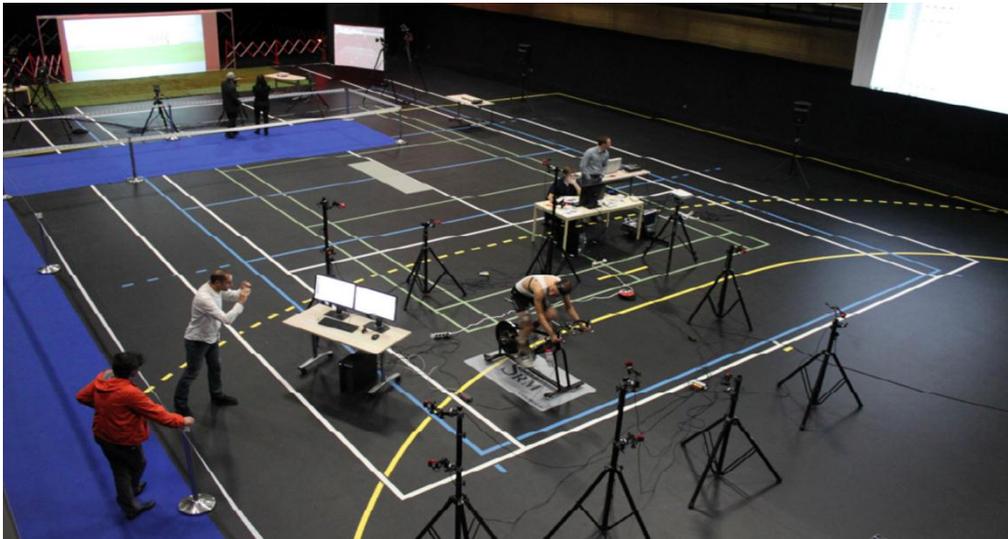
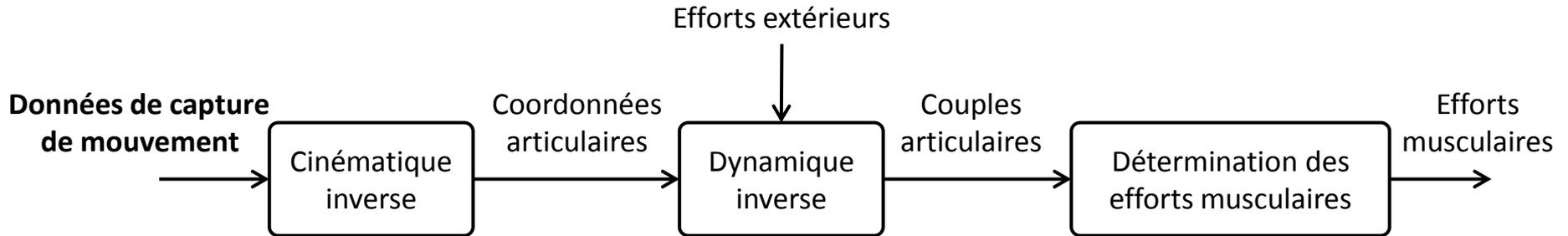
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



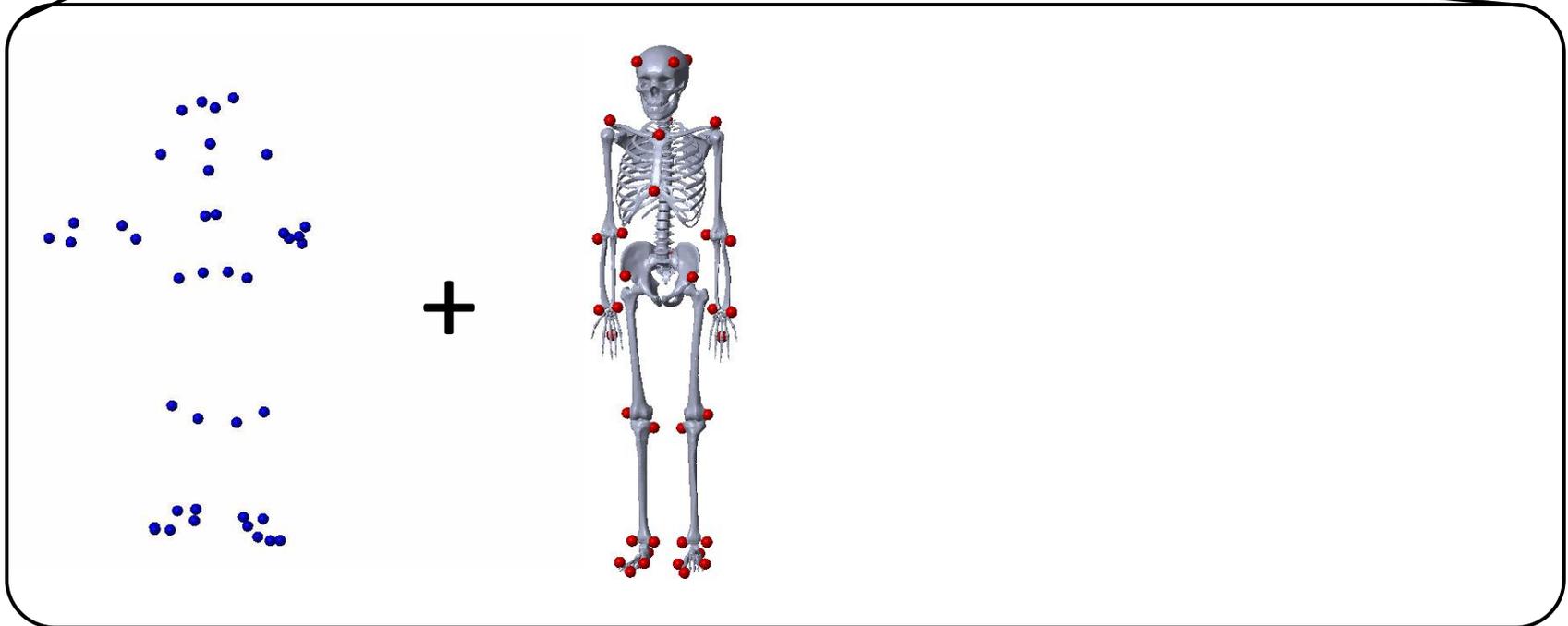
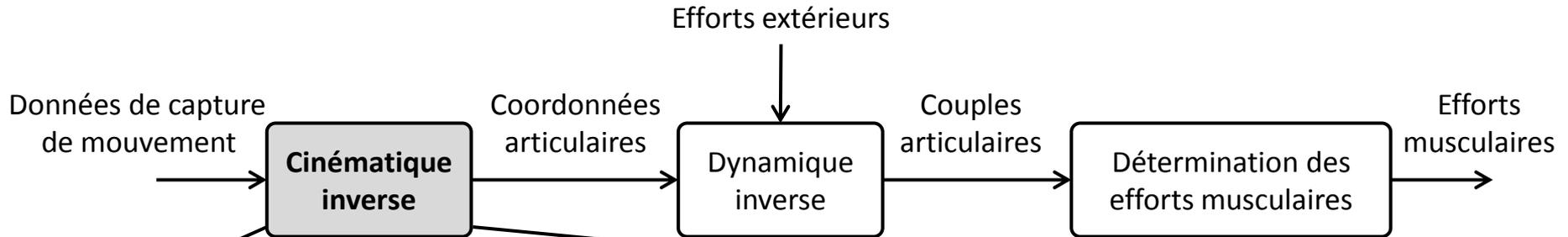
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



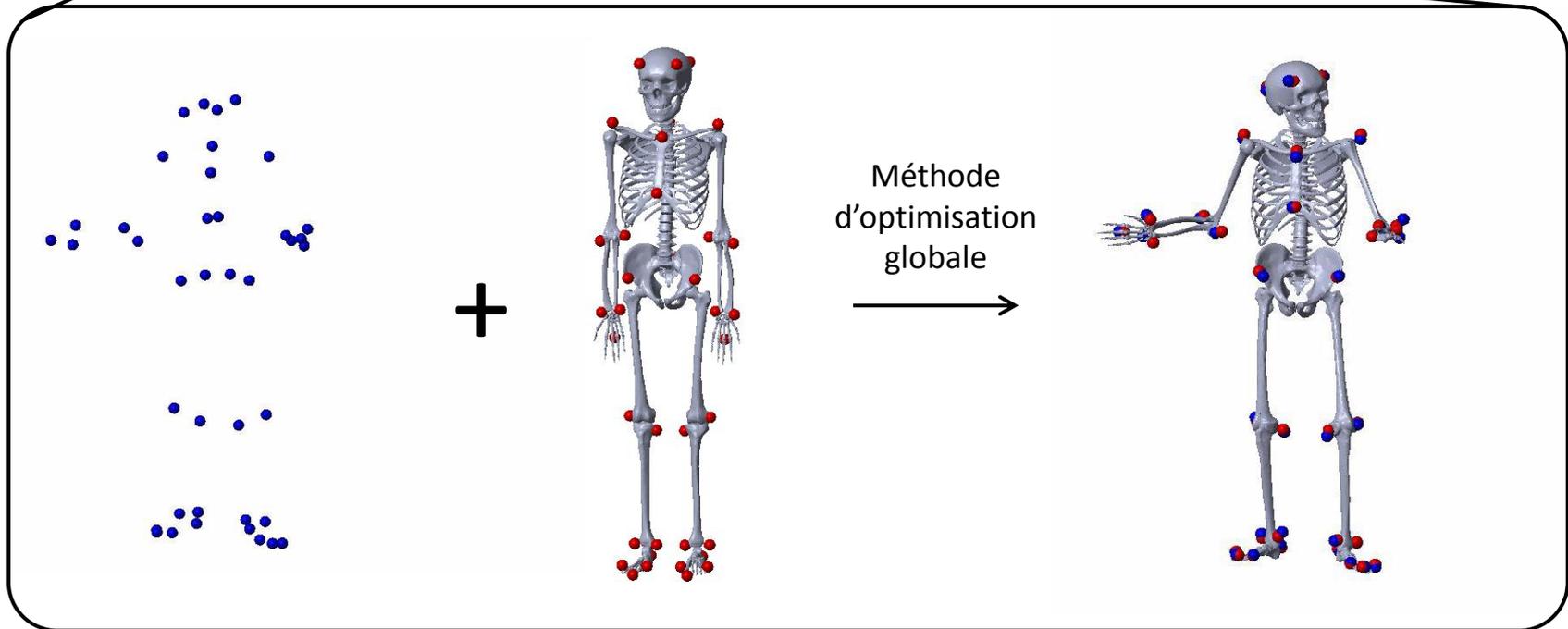
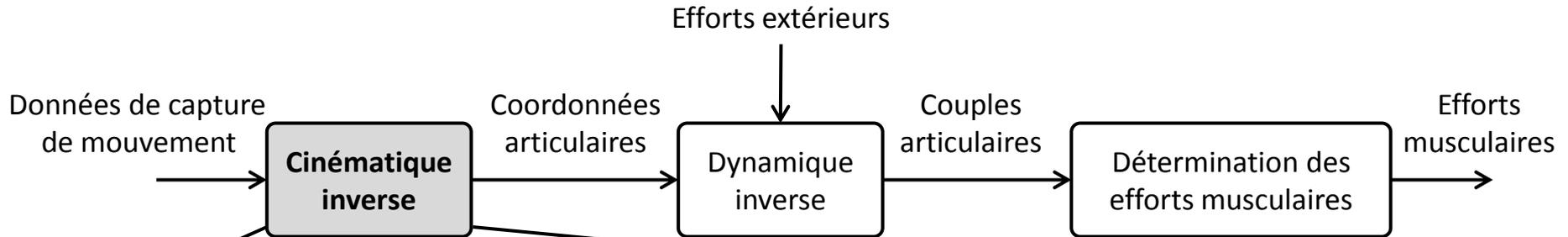
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



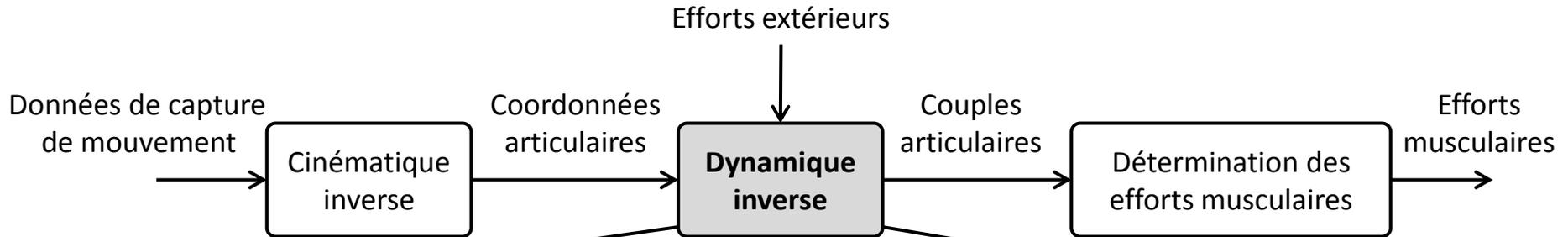
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



Détermination des couples articulaires  $\lambda$

$$M\ddot{q} + C\dot{q} + Kq + \lambda + E = 0$$

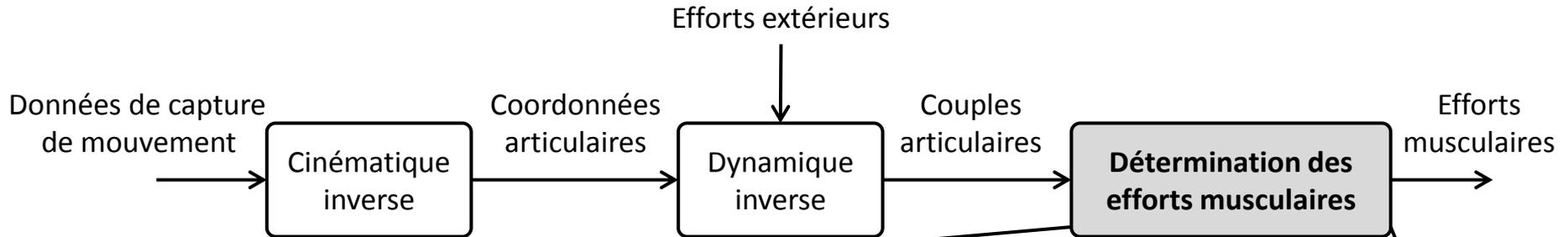
Algorithme récursif de Newton-Euler

Utilisation  
des  
plateformes  
de force



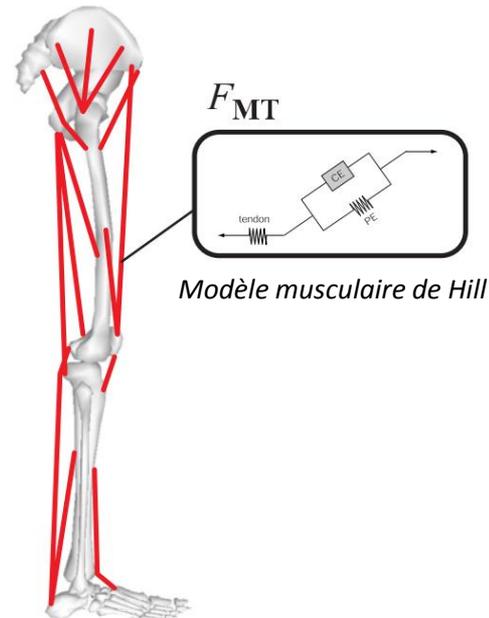
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



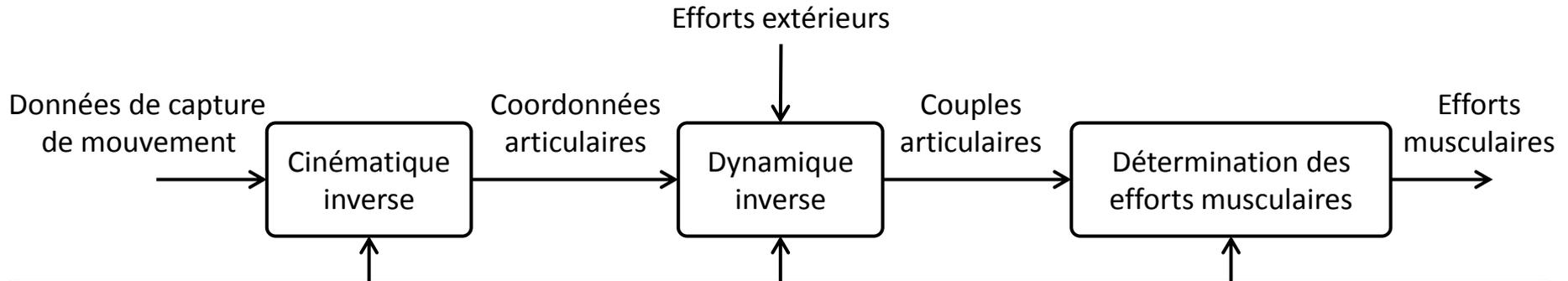
## Méthode d'optimisation

- Système sur-actionné
- Choix d'un critère d'optimisation



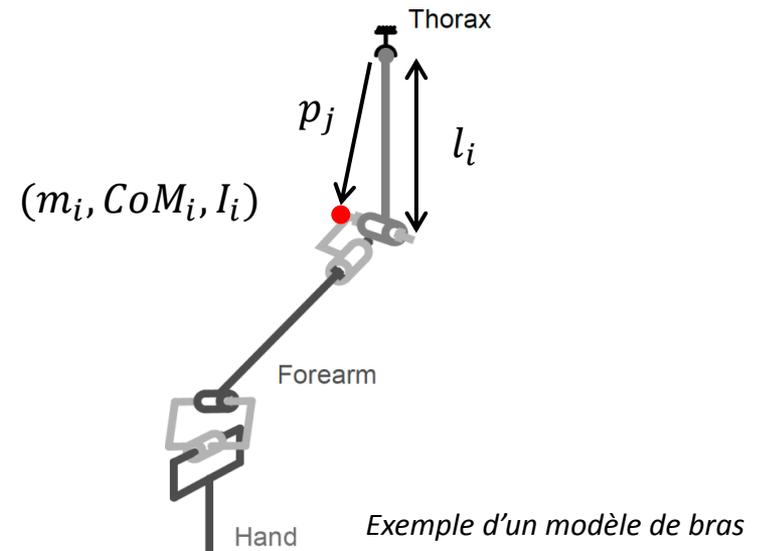
# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



## Modèle biomécanique

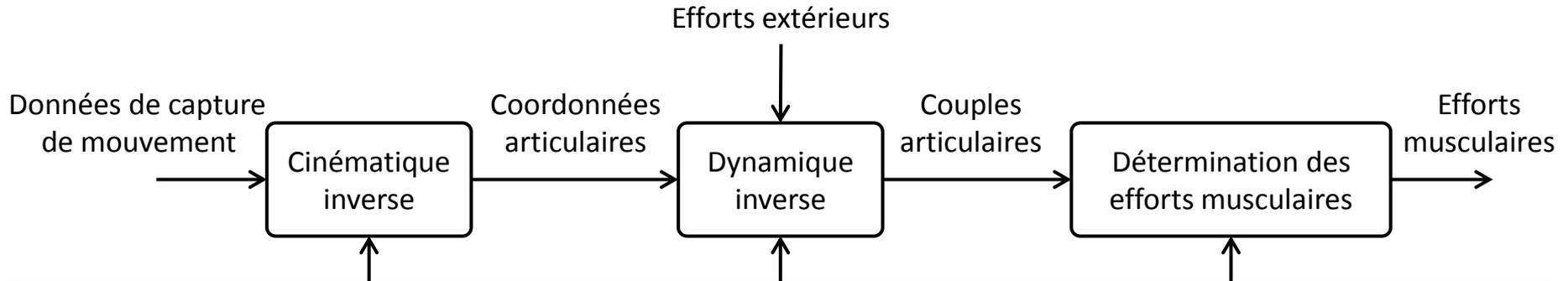
- Modèle solides corps rigides
  - Liaisons cinématiques;
  - Dimensions géométriques;
  - Paramètres inertiels



**Détermination d'un modèle biomécanique personnalisé avec l'utilisation d'une capture de mouvement**

# Contexte

Analyse de mouvement par méthode dite de « dynamique inverse » :



## Modèle biomécanique

- Modèle solides corps rigides

- Liaisons cinématiques;

**Choix d'un modèle dans la littérature**

- Dimensions géométriques;

**Calibration des paramètres géométriques**

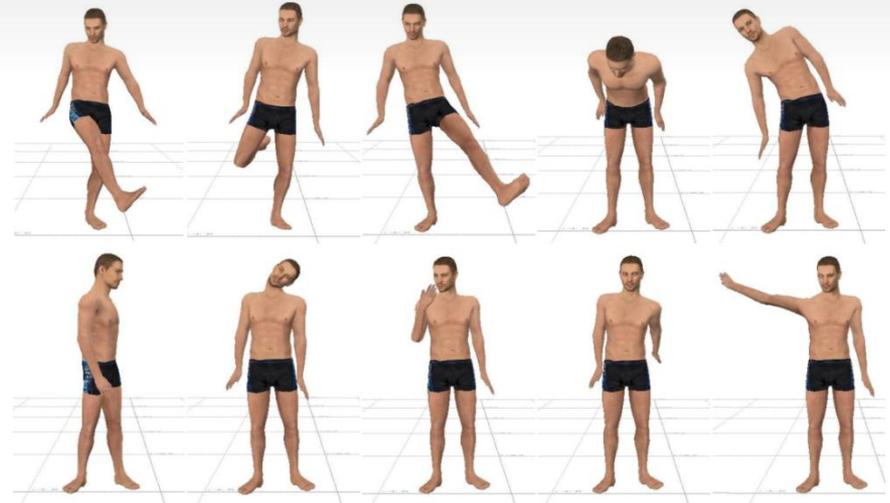
- Paramètres inertiels

**Calibration des paramètres inertiels**

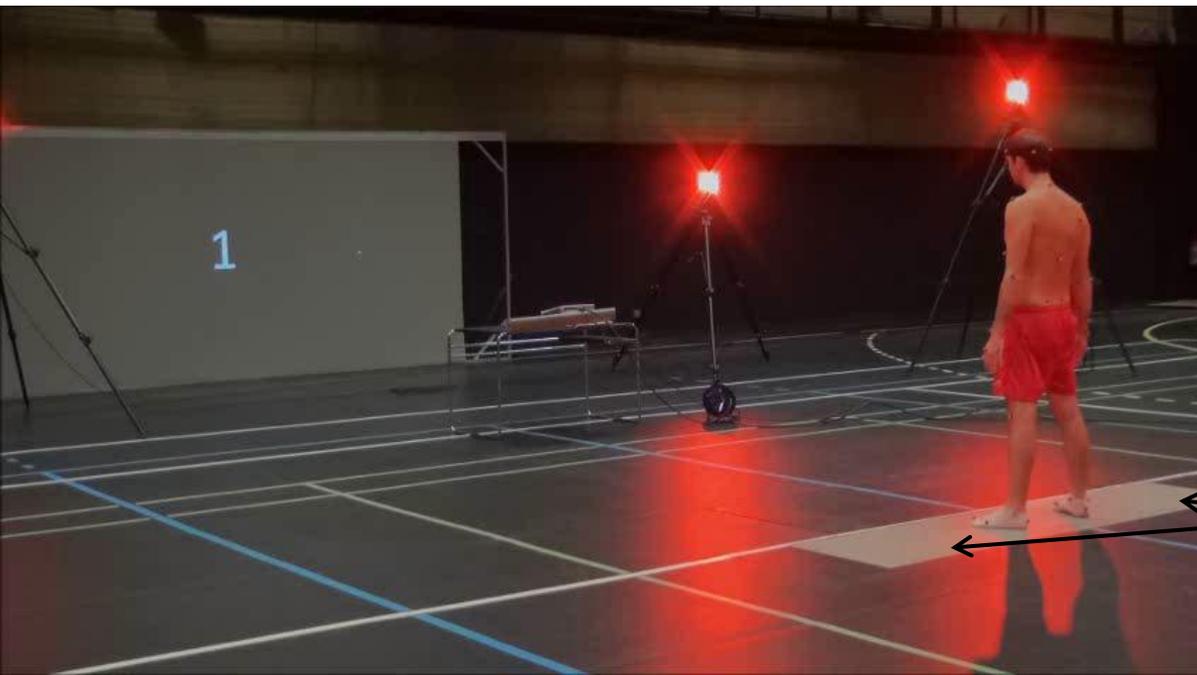
**Détermination d'un modèle biomécanique personnalisé avec l'utilisation d'une capture de mouvement**

# Expérimentations

- 10 sujets
- $1,7 \text{ m} < \text{taille} < 1,9 \text{ m}$
- $58 \text{ kg} < \text{masse} < 86 \text{ kg}$



*Consigne vidéo*



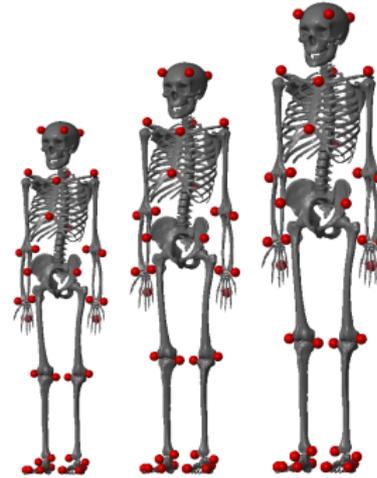
2 plateformes de force

# Pré-calibration

## Utilisation de données anthropométriques

Taille du sujet

Mise à l'échelle uniforme  
dans toutes les directions  
→



Masse du sujet

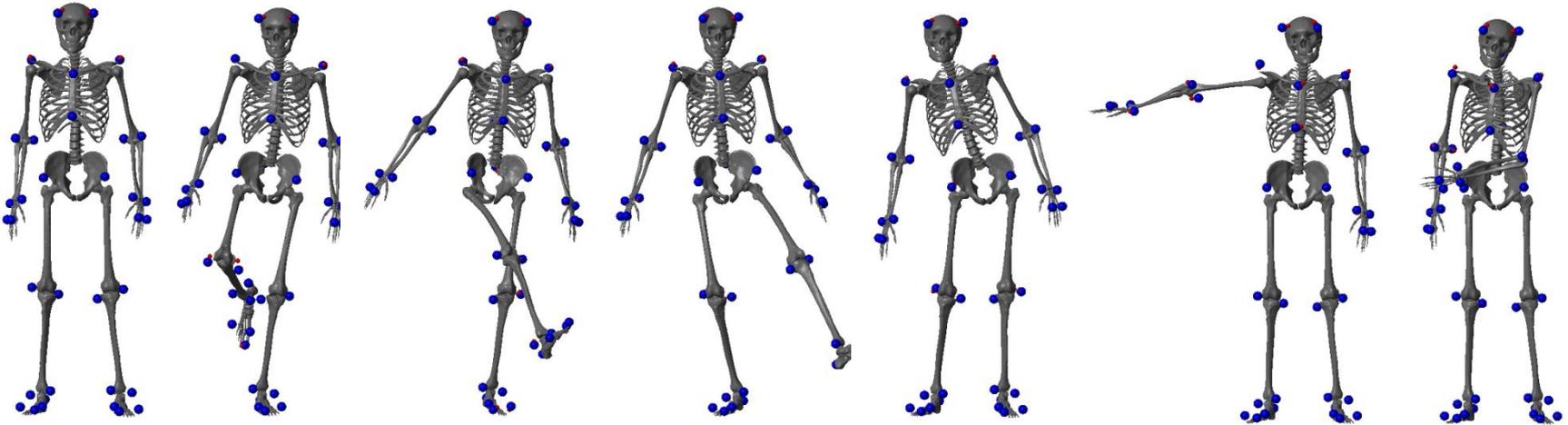
Régression linéaire  
→

$(m_i^{init}, CoM_i^{init}, I_i^{init})$

- La calibration est réalisée à partir d'un modèle pré-calibré

# Calibration des paramètres géométriques

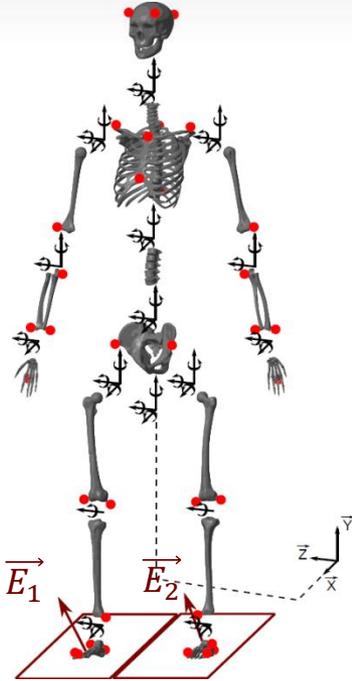
## Méthode d'optimisation



Pour un ensemble de postures :

- Paramètres géométriques : invariants cinématiques
- Identification des paramètres géométriques permettant de minimiser l'erreur de reconstruction

# Calibration des paramètres inertiels



- Liaison 6 degrés de liberté (DoF) (floating base)
- Résolution dynamique :

$$M \begin{pmatrix} \ddot{q}_{6dof} \\ \ddot{q}_* \end{pmatrix} + C \begin{pmatrix} \dot{q}_{6dof} \\ \dot{q}_* \end{pmatrix} + K \begin{pmatrix} q_{6dof} \\ q_* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \lambda_{6dof} \\ \lambda_* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_{6dof} \\ E_* \end{pmatrix} = 0$$

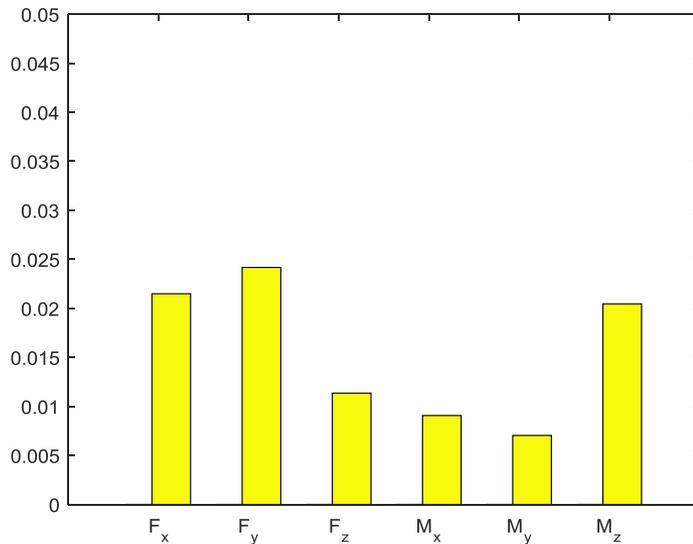
- S'il n'y a aucune erreur dans la résolution dynamique :

$$\lambda_{6dof} = \mathbf{0}$$

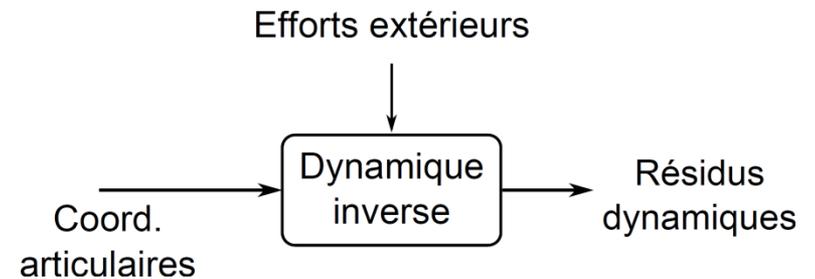
**Principe de la méthode :** Utilisation des efforts généralisés dans la liaison 6 DoF pour identifier les paramètres inertiels

# Calibration des paramètres inertiels

**Problématique** : répercussion des erreurs cinématiques et des erreurs de plateformes dans la résolution dynamique



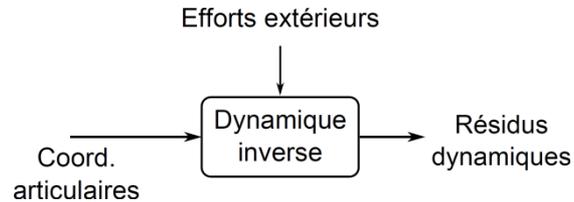
■ Résidus dynamiques (efforts normalisés par  $mg$  et moments par  $mgh$ )



- Possibilité de calibrer les paramètres inertiels sans overfitting ?

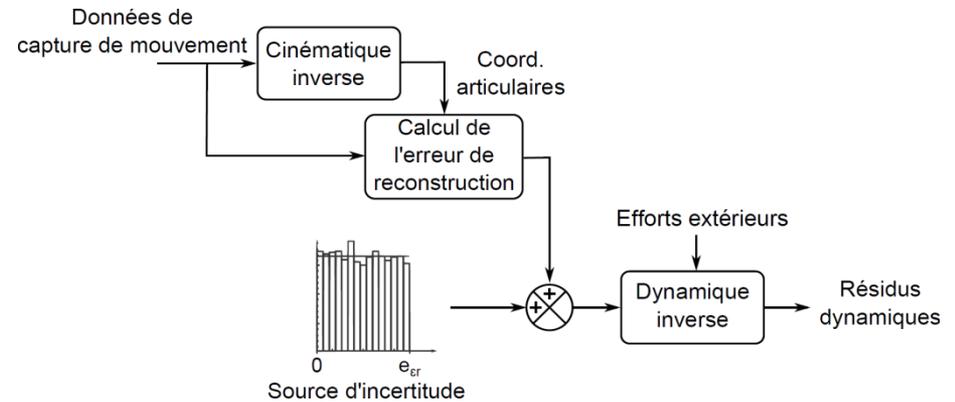
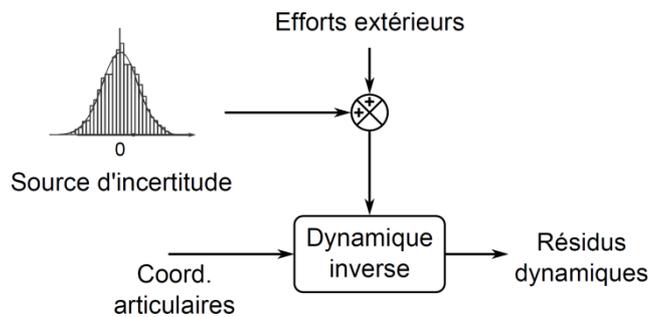
# Calibration des paramètres inertiels : étude de sensibilité

## Utilisation des méthodes de Monte Carlo

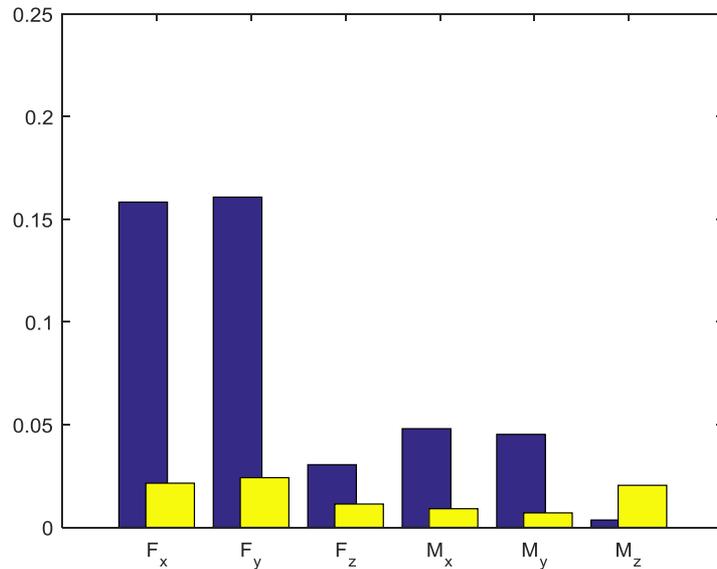


Propagation des incertitudes dues aux plateformes

Propagation des incertitudes dues à l'erreur de reconstruction



# Calibration des paramètres inertiels : étude de sensibilité



-  Résidus dynamiques (efforts normalisés par  $mg$  et moments par  $mgh$ )
-  Incertitudes dues à l'erreur cinématique et aux plateformes (efforts normalisés par  $mg$  et moments par  $mgh$ )

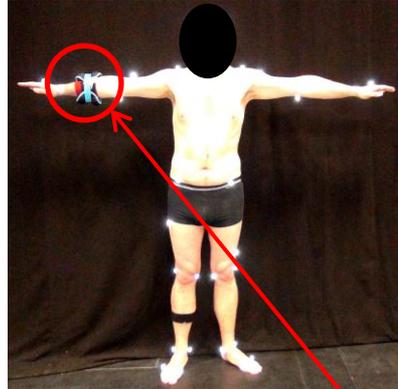
- Incertitude plus importante que les résidus dynamiques à optimiser
  - Modèle cinématique trop pauvre
  - Données anthropométriques proches du sujet

# Calibration des paramètres inertiels : conclusion

- Dégradation de la justesse des données anthropométriques



*Sujet « normal »*



*Ajout d'une masse de 1kg*



- Étude d'incertitude avec ces « nouveaux sujets »
- Calibration des paramètres inertiels

# Méthodes de détermination de modèles biomécaniques personnalisés à partir d'une capture de mouvement

Merci de votre attention

Antoine MULLER  
Agrégé Préparateur, ENS Rennes

