

# Analyse de sensibilité d'un simulateur de locomotion basé physique

Thomas BONIS, Nicolas PRONOST  
- Equipe SAARA



# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats
- 4 Résultats et discussion
- 5 Perspectives

# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats
- 4 Résultats et discussion
- 5 Perspectives

# Objectif de l'étude

## Contexte

Modelling and simulation of the musculoskeletal system for the study of the influence of a pathology

Peu d'études de sensibilité, bien que plusieurs méthodes de prédictions existent (LEE et al. 2019, FALISSE et al. 2019, ONG et al. 2019)

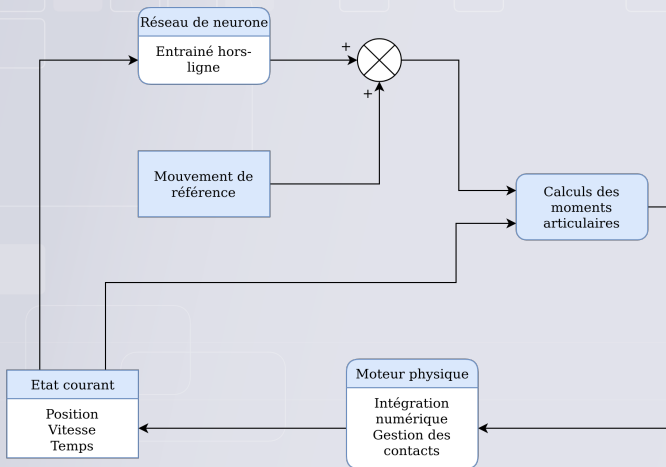
## Objectif

Evaluation de la capacité prédictive du simulateur

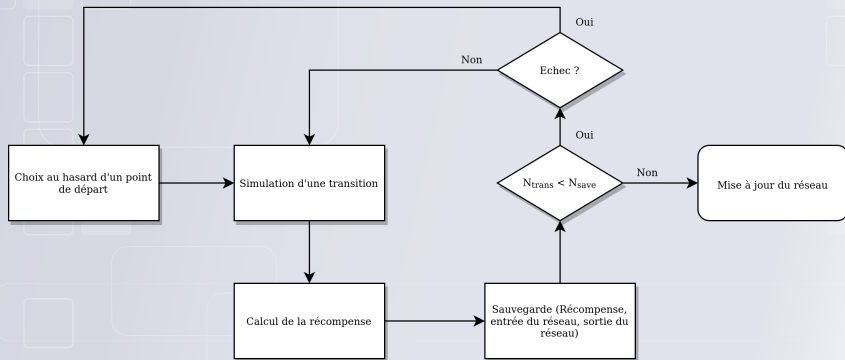
# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats
- 4 Résultats et discussion
- 5 Perspectives

# Architecture du simulateur I



## Architecture du simulateur II



# Caractéristiques de mon simulateur

## Pré-traitement du mouvement de référence

- Amélioration du résultat de la cinématique inverse
- "Cyclification" du mouvement de référence
- Estimation des trajectoires des orteils

## Modifications de l'architecture

- Remplacement du modèle musculaire par un modèle basé couple
- Modification du calcul des récompenses (fonction de coût)



# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats**
- 4 Résultats et discussion
- 5 Perspectives

# Démarche d'analyses des résultats I

## Le "screening"

Méthode de Morris, effet de la variation d'un paramètre, nombre minimal de simulations.

## Une méthode basée sur la décomposition de variance

Méthode de Sobol, plus de simulations (séquence de Sobol) mais résultats plus précis SALTELLI et al. 2010

# Démarche d'analyses des résultats II

## Analyse de l'entraînement

On s'intéresse à :

- La reproductibilité
- La sensibilité (méthode de Morris)

Paramètres étudiés :

- Modifications des trajectoires
- Modifications dans le calcul des récompenses
- Changements dans le modèle d'interaction

## Analyse de la simulation

On s'intéresse à :

- La précision
- La robustesse
- La sensibilité (indice de Sobol)

Paramètres étudiés :

- Modification des trajectoires
- Modification des paramètres musculosqueletiques

# Démarche d'analyses des résultats III

## Mesures utilisées

- 9 mesures spatio-temporelles (vitesse de marche, cadence, etc.)
- 35 mesures angulaires (inclinaison moyenne du pelvis, flexion maximum du genou droit, etc.)

# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats
- 4 Résultats et discussion**
- 5 Perspectives

# Résultats et discussion I

## Expériences effectuées :

Reproductibilité de l'entraînement.

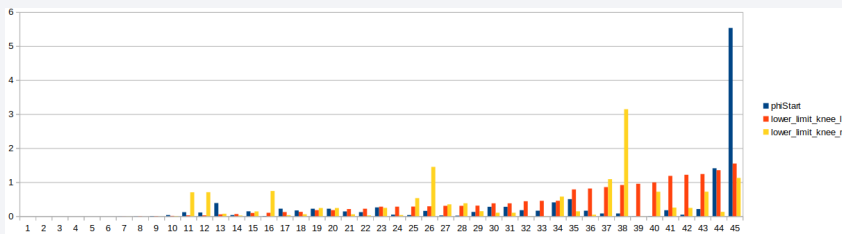
Précision, sensibilité et robustesse de la simulation.

## Robustesse :

- $0 < \phi < 1$
- Flexion maximum autorisée du genou gauche  $\alpha$  :  
 $120^\circ > \alpha > 45^\circ$
- Flexion maximum autorisée du genou droit  $\alpha$  :  
 $120^\circ > \alpha > 55^\circ$

# Résultats et discussion II

## Sensibilité sur 10 000 évaluations :



Contribution de chaque paramètre à la variance totale

1 à 7 : Mesure relative aux chevilles

26 : Amplitude du mouvement du genou droit

39 : Amplitude du mouvement du genou gauche

38 : Cadence

# Plan

- 1 Objectif de l'étude
- 2 L'architecture du simulateur
- 3 Démarche d'analyses des résultats
- 4 Résultats et discussion
- 5 Perspectives



# Perspectives

## Analyse du simulateur

Poursuite de l'étude sur les paramètres

Pathologie musculaire donc besoin d'un modèle (ex : JIANG et al. 2019)

## Limitation du modèle de contact

Les forces de contact entre le pied et le sol ne sont pas comparables avec les forces mesurées

Merci pour votre attention

# Bibliographie I



Antoine FALISSE et al. « Rapid predictive simulations with complex musculoskeletal models suggest that diverse healthy and pathological human gaits can emerge from similar control strategies ». In : *Journal of the Royal Society Interface* 16.157 (2019), p. 20190402. ISSN : 17425662. DOI : 10.1098/rsif.2019.0402. URL : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2019.0402>.



Yifeng JIANG et al. « Synthesis of biologically realistic human motion using joint torque actuation ». In : *ACM Transactions on Graphics* 38.4 (2019), p. 1-12. ISSN : 15577368. DOI : 10.1145/3306346.3322966. arXiv : 1904.13041.

## Bibliographie II



Seunghwan LEE et al. « Scalable muscle-actuated human simulation and control ». In : *ACM Transactions on Graphics* 38.4 (2019), ACM Transactions on Graphics. ISSN : 15577368. DOI : 10.1145/3306346.3322972. URL : <http://mrl.snu.ac.kr/research/ProjectScalable/Preprint.pdf> %7B%5C% %7D0Ahttps://www.youtube.com/watch?v=a3jfyJ9JVeM%7B%5C&%7Dfeature=youtu.be.

## Bibliographie III



Carmichael ONG et al. « Predicting gait adaptations due to ankle plantarflexor muscle weakness and contracture using physics-based musculoskeletal simulations ». In : *bioRxiv* (2019), p. 597294. DOI : 10.1101/597294. URL : <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/597294v2.abstract>.



Andrea SALTELLI et al. « Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index ». In : *Computer Physics Communications* 181.2 (2010), p. 259-270. ISSN : 00104655. DOI : 10.1016/j.cpc.2009.09.018. URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2009.09.018>.