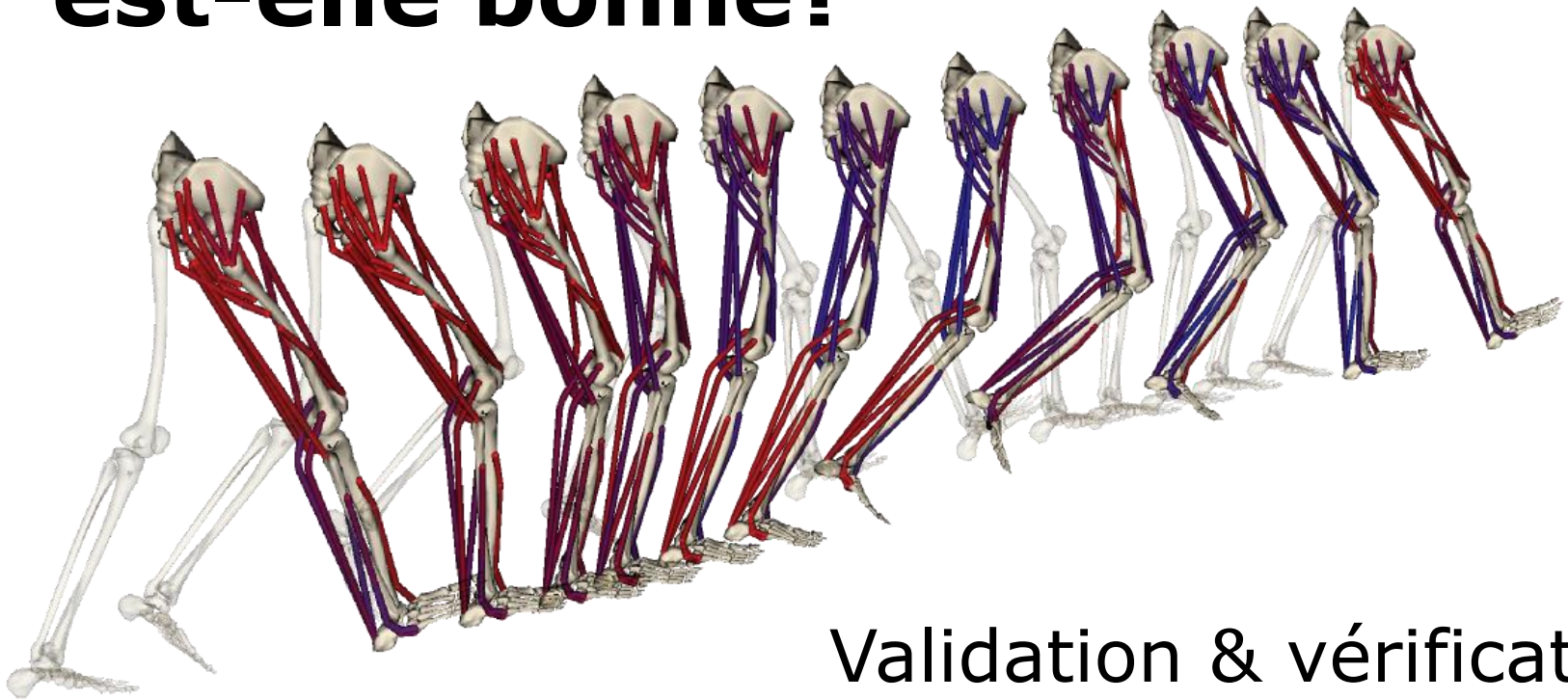


# Ma simulation est-elle bonne?



Validation & vérification  
pour la modélisation et la  
simulation biomécanique

---

OpenSim Workshop

# **Définitions: Validation et Vérification**

## **Vérification**

C'est s'assurer qu'un modèle numérique est fidèle au modèle mathématique sous-jacent et à sa solution.

“résoudre les équations correctement”

## **Validation**

C'est contrôler à quel point un modèle est une représentation fidèle de la réalité, dans les limites des utilisations prévues du modèle.

“résoudre les bonnes équations”

# **Principes clés pour la validation et la vérification**

1. Définir sa problématique.
2. Comprendre et évaluer ses méthodes.
3. Évaluer la sensibilité.
4. Comparer avec des expériences et d'autres modèles.
5. Faire des prédictions et des hypothèses réalistes.

## **Les défis à relever**

- Créer plus de données étalons
- Partager ses modèles et ses simulations que la communauté peut reproduire et améliorer
- S'assurer que le modèle utilisé a été validé pour votre application
- Développer des outils pour automatiser la validation et les tests de sensibilité
- Apprendre et enseigner à la communauté ce qui se trouve dans la "boîte noire"

## Règles de bonne conduite - Scaling

- Utiliser les **repères anatomiques** et les centres articulaires fonctionnels (FJC)
- Scaling est une méthode itérative. Utiliser l'option "**preview static pose**" dans le GUI.
- Surveiller les **marker errors**:
  - La marker error maximale pour les marqueurs anatomiques doit être inférieure à 2 cm.
  - La RMS error doit être inférieure à 1 cm.
  - Faire très attention aux erreurs pour les marqueurs anatomiques et les FJC lors de l'évaluation de la qualité des résultats de mise à l'échelle.
- Visualiser le modèle et vérifier sa forme.
- **Ajuster** les marqueurs virtuels et le poids des marqueurs pour améliorer vos résultats (MAIS PAS les marqueurs anatomiques ni les FJC)

## Règles de bonne conduite – IK/ID

- Les **marqueurs de “mouvement” sur les segments** (marqueurs techniques) doivent être plus lourds que les marqueurs anatomiques
- **Le poids relatif des marqueurs** est plus important que leurs valeurs absolues
- **Vérifier les marker errors**
  - La marker error maximale doit être inférieure à 2-4 cm, et la RMS error doit être inférieure à 2 cm.
- Comparer avec d'autres logiciels de capture de mouvement 3D
  - Ne pas s'attendre à un accord parfait
    - Cf. offset du système de coordonnées du bassin et de l'angle de la hanche.
    - Cf. cinématique de la cheville avec l'articulation sous-talienne.

# Suggestion d'articles sur le sujet

**Jennifer L. Hicks<sup>1</sup>**  
Department of Bioengineering,  
Stanford University,  
Stanford, CA 94305  
e-mail: jenhicks@stanford.edu

**Thomas K. Uchida**  
Department of Bioengineering,  
Stanford University,  
Stanford, CA 94305

**Ajay Seth**  
Department of Bioengineering,  
Stanford University,  
Stanford, CA 94305

**Apoorva Rajagopal**  
Department of Mechanical Engineering,  
Stanford University,  
Stanford, CA 94305

**Scott L. Delp**  
Department of Bioengineering and the  
Department of Mechanical Engineering,  
Stanford University,  
Stanford, CA 94305

## Is My Model Good Enough? Best Practices for Verification and Validation of Musculoskeletal Models and Simulations of Movement

*Computational modeling and simulation of neuromusculoskeletal (NMS) systems enables researchers and clinicians to study the complex dynamics underlying human and animal movement. NMS models use equations derived from physical laws and biology to help solve challenging real-world problems, from designing prosthetics that maximize running speed to developing exoskeletal devices that enable walking after a stroke. NMS modeling and simulation has proliferated in the biomechanics research community over the past 25 years, but the lack of verification and validation standards remains a major barrier to wider adoption and impact. The goal of this paper is to establish practical guidelines for verification and validation of NMS models and simulations that researchers, clinicians, reviewers, and others can adopt to evaluate the accuracy and credibility of modeling studies. In particular, we review a general process for verification and validation applied to NMS models and simulations, including careful formulation of a research question and methods, traditional verification and validation steps, and documentation and sharing of results for use and testing by other researchers. Modeling the NMS system and simulating its motion involves methods to represent neural control, musculoskeletal geometry, muscle-tendon dynamics, contact forces, and multibody dynamics. For each of these components, we review modeling choices and software verification guidelines; discuss variability, errors, uncertainty, and sensitivity relationships; and provide recommendations for verification and validation by comparing experimental data and testing robustness. We present a series of case studies to illustrate key principles. In closing, we discuss challenges the community must overcome to ensure that modeling and simulation are successfully used to solve the broad spectrum of problems that limit human mobility. [DOI: 10.1115/1.4029304]*

Special Issue Article

Institution of  
**MECHANICAL  
ENGINEERS**



## On validation of multibody musculoskeletal models

Morten Enemark Lund<sup>1</sup>, Mark de Zee<sup>2</sup>, Michael Skipper Andersen<sup>1</sup>  
and John Rasmussen<sup>1</sup>

Proc IMechE Part H:  
J Engineering in Medicine  
226(2) 82–94  
© IMechE 2012  
Reprints and permissions:  
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav  
DOI: 10.1177/0954411911431516  
ph.sagepub.com  
**SAGE**

## Verification, validation and sensitivity studies in computational biomechanics

ANDREW E. ANDERSON, BENJAMIN J. ELLIS and JEFFREY A. WEISS\*

Departments of Bioengineering and Orthopedics, Scientific Computing and Imaging Institute, University of Utah, 50 S. Central Campus Drive Rm 2480, Salt Lake City, UT 84112, USA

(Received 28 September 2006; in final form 5 December 2006)

Computational techniques and software for the analysis of problems in mechanics have naturally moved from their origins in the traditional engineering disciplines to the study of cell, tissue and organ biomechanics. Increasingly complex models have been developed to describe and predict the mechanical behavior of such biological systems. While the availability of advanced computational tools has led to exciting research advances in the field, the utility of these models is often the subject of criticism due to inadequate model verification and validation (V&V). The objective of this review is to present the concepts of verification, validation and sensitivity studies with regard to the construction, analysis and interpretation of models in computational biomechanics. Specific examples from the field are discussed. It is hoped that this review will serve as a guide to the use of V&V principles in the field of computational biomechanics, thereby improving the peer acceptance of studies that use computational modeling techniques.

**Keywords:** Verification; Validation; Sensitivity studies; Computational modeling; Biomechanics; Review