

Titre	Personnalisation de modèles numériques du corps complet : application au confort d'assise
Titre en anglais	Subject-specific computational models of the whole human body for sitting discomfort
Laboratoire	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC) Unité Mixte Univ Eiffel – Univ Lyon 1, site de Lyon/Bron
Spécialité de la thèse	Mécanique, biomécanique, méthodes numériques
Ecole doctorale	Ecole Doctorale MEGA (ED 162) Mécanique, énergétique, génie civil, acoustique
Directeurs de thèse	Yoann LAFON (yoann.lafon@univ-eiffel.fr) Philippe Beillas (codirection).
Financement	Chaire industrielle ANR HBM4SEAT (2025-2029)

Contexte et enjeux.

La France se distingue par un usage intensif des moyens de transport sur de longues distances, supérieur à la moyenne européenne, grâce au transport ferroviaire à grande vitesse et à la qualité de ses infrastructures (cf. étude statistique 2024). La conception des sièges utilisés dans les transports doit permettre de maximiser le confort d'assise pour limiter la fatigue, le stress mental, les douleurs lombaires et cervicales, voire les risques de thrombose veineuse profonde, tout en respectant diverses contraintes, comme le poids lié à l'empreinte carbone ou la réponse mécanique en cas d'accident. Or, le confort est actuellement évalué par des testeurs sur des prototypes physiques.

La chaire industrielle ANR HBM4SEAT réunit le LBMC et des industriels majeurs des secteurs du transport ferroviaire, aérien et routier (ALSTOM, SAFRAN, FORVIA) ainsi que de la simulation numérique (ALTAIR) pour répondre à leurs besoins : disposer d'une plateforme open source d'aide à la conception de sièges dès la phase de conception. Le développement d'un modèle open source du corps humain en éléments finis (EF) capable de simuler l'assise d'usagers sera réalisé durant deux thèses coordonnées : l'une concerne le développement et la validation de ce modèle, tandis que l'autre portera sur la personnalisation du modèle EF. Au cœur de ce concept de jumeau numérique, l'enjeu scientifique porte bien sûr sur les méthodes numériques pour personnaliser, mais surtout sur les données expérimentales pour construire les modèles.

Objectifs de la thèse.

Ce travail de thèse a pour objectif de représenter, à l'aide de ce modèle éléments finis, des individus de morphologies variables dans différentes positions assises. Le travail consistera (1) à acquérir une base de données, (2a) à prédire la forme externe à partir d'informations limitées (ou prédicteurs) d'une personne (anthropométrie, âge, sexe), (2b) à en déduire la forme du squelette pour cette personne, (3) à mettre l'enveloppe et le squelette dans une posture d'assise donnée, puis (4) à personnaliser l'enveloppe et le squelette du modèle EF dans cette posture.

Approche.

- 1. Données.** Développer un protocole expérimental sur volontaires pour acquérir l'enveloppe externe (grâce à un système de scan innovant et ultra-rapide), les épaisseurs locales de tissus mous (par échographie) et les chargements externes (capteurs de pression/force) pour différentes postures (assise, debout, couchée) d'un grand nombre de sujets. Ce travail s'appuiera sur l'antériorité du LBMC (Grebouval, 2021) et la littérature (Figure 1).



Figure 1 : protocole expérimental pour le scan de surfaces de volontaires en postures assises et couchées (Jones et al., 2016)

2. Modèle de la forme du corps complet (enveloppe et squelette).

- Pour chacune des postures précédentes, construire un modèle de forme pour prédire l'enveloppe externe à partir de prédicteurs du sujet (Wang et al., 2020).
- Pour la posture couchée, prédire la forme du squelette à l'aide des informations précédentes pour un sujet donné. Ce travail s'appuiera sur un modèle de forme du squelette complet, utilisant les mêmes approches que le modèle précédent d'enveloppe, développé en parallèle de la thèse par un post-doc sur une autre base de données. Des travaux intensifs similaires (Figure 2) sont menés pour l'analyse de vidéos (Keller et al., 2022) ou l'étude de dispositifs de sécurité (Park et al., 2022).

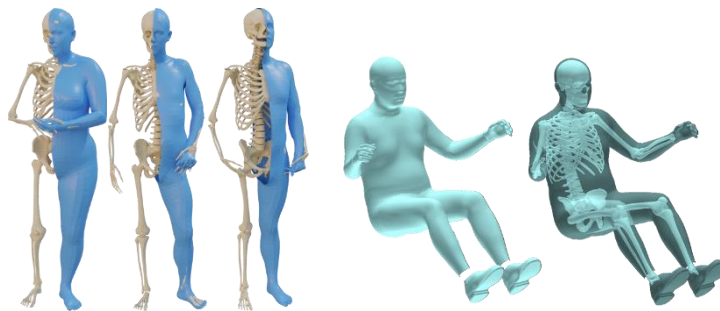


Figure 2 : exemples de formes du squelette prédites à partir de l'enveloppe en posture debout (Keller et al., 2022) ou assise (Park et al., 2022).

- 3. Mise en position.** Prédire la forme de l'enveloppe et du squelette pour une posture assise donnée. Le passage de la posture couchée à la posture assise cible se fera en utilisant un modèle cinématique et des techniques de skinning contraintes pour garantir la pertinence biomécanique des centres articulaires (Figure 3). Ce type d'approche, couramment utilisé pour changer les postures d'avatars (dans l'animation ou le divertissement, par exemple), sera ainsi compatible avec une estimation future des forces de réaction et articulaires.



Figure 3 : forme externe transformée par skinning (Polanco et al., 2023)

4. Personnalisation du modèle EF. La forme de l'enveloppe et du squelette en posture cible du modèle EF développé par l'autre doctorant sera personnalisée à l'aide de méthodes numériques éprouvées (Janák et al., 2021), afin de valider le modèle EF. Des simulations sous chargement simple seront également réalisées pour s'assurer de la simulabilité des modèles lorsqu'ils représentent une large gamme de morphologies et de postures.

Résultats attendus.

Ce projet permettra de mettre en place des données et des méthodes qui seront diffusées sous licence open source, afin qu'elles puissent bénéficier à d'autres applications nécessitant de personnaliser des modèles déformables ou multi-corps rigides (par exemple, le développement d'implants, l'étude du risque lésionnel, la modélisation du système musculosquelettique ou l'aide à l'animation d'avatars pour le divertissement).

Collaborations.

Ce projet sera mené en étroite collaboration avec l'équipe académique, qui comprend des étudiants en M2, des doctorants et des chercheurs à temps plein. L'interdépendance des travaux entre les partenaires permettra d'assurer des publications scientifiques communes. Des interactions régulières sont également prévues avec les industriels du projet HBM4SEAT.

Profil recherché.

Ce travail permettra de développer des compétences à l'intersection de la mécanique, de la biomécanique et des méthodes numériques. Les candidat(e)s devront donc être titulaires d'une formation M2 ou Ingénieur en mécanique ou biomécanique, et avoir une appétence à la fois pour les méthodes numériques et l'expérimentation. Des compétences en informatique graphique, en traitement d'images médicales ou en robotique sont un atout pour la candidature. Une bonne connaissance du langage de programmation Python ainsi qu'une bonne capacité rédactionnelle en français et en anglais sont souhaitées.

Références.

- Données et études statistiques du Commissariat général au développement durable. (2024, August). Mobilité des personnes. [Lien](#).
- Liu, S., Beillas, P., Ding, L., & Wang, X. (2023). PIPER adult comfort: an open-source full body human body model for seating comfort assessment and its validation under static loading conditions. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1170768.
- Grébonval, C. (2021). Automatisation des véhicules et nouveaux habitacles : postures de confort et risques associés en cas de choc (Doctoral dissertation, Université de Lyon).
- Jones, M. L. H., Ebert, S. M., Hu, J., Park, B. K., & Reed, M. P. (2016). Quantifying body shape differences between supine and standing postures for adults with high body mass index. In *Proc. 4th International Digital Human Modeling Conference*. Montreal, Canada.
- Wang, X., Beurier, G., Lafon, Y., & Peng, J. (2020). Creating a Personalized Full 3D Body Shape from a Limited Number of Predictors. In *DHM2020* (pp. 40-47). IOS Press.
- Keller, M., Zuffi, S., Black, M. J., & Pujades, S. (2022). OSSO: Obtaining skeletal shape from outside. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 20492-20501).
- Park, B. K. D., Jones, M. L., Ebert, S., & Reed, M. P. (2022). A parametric modeling of adult body shape in a supported seated posture including effects of age. *Ergonomics*, 65(6), 795-803.
- Polanco, A., Lafon, Y., Beurier, G., Peng, J., & Wang, X. (2023, July). A Workflow for Deforming External Body Shapes with the Help of an Anatomically Correct Skeletal Model. In *International Conference on Digital Human Modeling* (pp. 168-176).
- Janák, T., Lafon, Y., Petit, P., & Beillas, P. (2021). A method to use kriging with large sets of control points to morph finite element models of the human body. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(2), 021013.