

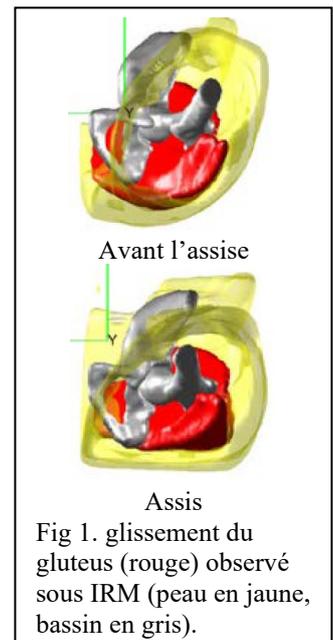
Proposition de sujet de thèse Année 2025

Titre	Réponse interne et modélisation des tissus mous lors de l'assise
Titre en anglais	Internal response and modelling of the soft tissues when sitting
Laboratoire et référent	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC) Unité Mixte Univ Eiffel – Univ Lyon 1 Philippe Beillas, Directeur de recherche
Directeur du laboratoire	David Mitton
Spécialité de la thèse	Biomécanique / Mécanique
Site	Lyon / Bron
Etablissement d'inscription	Université Gustave Eiffel
Ecole doctorale	Ecole Doctorale MEGA (ED 162) - Mécanique, énergétique, génie civil, acoustique
Directeurs de thèse prévus	Philippe Beillas (philippe.beillas@univ-eiffel.fr), Yoann Lafon (codirection).
Financement	Chaire industrielle ANR HBM4SEAT (2025-2029)

Contexte

La conception de siège pour le transport est un processus complexe qui doit maximiser le confort d'assise tout en respectant diverses contraintes (ex : poids lié à l'empreinte carbone, réponse mécanique en cas d'accident). Le confort étant actuellement principalement évalué par des testeurs, la **chaire industrielle ANR (HBM4SEAT)** réunissant le LBMC et des industriels majeurs des transports ferroviaire, aérien et routier a pour objectif de **développer des connaissances et une plateforme de simulation numérique open source pour évaluer numériquement le confort** des sièges utilisés dans les transports et ainsi faciliter la conception de sièges plus confortables et performants. En pratique, des modèles du corps humain en éléments finis capables de simuler l'assise d'une population d'utilisateurs seront mis en place, et leurs réponses seront interprétées en termes d'inconfort que les usagers pourraient percevoir.

L'approche repose sur l'hypothèse que des grandeurs mécaniques comme **les déformations de tissus mous**, qui pourraient être prédites par simulation numérique, sont **reliées à la sensation d'inconfort**. À ce jour, ces déformations et plus généralement la réponse interne des tissus mous lors de l'assise restent mal comprises et modélisées à cause de verrous expérimentaux et numériques : elles sont difficiles (1) à observer *in-situ* et (2) à représenter dans des modèles. **Expérimentalement**, les résultats récents obtenus en IRM ouvert montrent que l'assise n'est pas une simple compression des tissus fessiers mais une combinaison de déformations et de glissements du muscle gluteus (mouvement de structure) (Wang et al., 2021, Fig. 1). Toutefois, la relation entre l'amplitude du chargement (pourcentage du poids du corps) et la réponse n'est pas connue et aucun résultat équivalent ne semble disponible pour le dos (muscles dorsaux, omoplates, etc.).



En conséquence, si le premier modèle Open Source PIPER Comfort pour l'étude du confort d'assise mis au point au laboratoire a permis de commencer à explorer la problématique (Liu et al., 2023, Fig. 2), sa validation interne est limitée en partie à cause de l'absence de données de référence. **Numériquement**, plusieurs problématiques restent à traiter comme la représentation des glissements internes entre structures (très limitée dans PIPER Comfort), la représentation du comportement des tissus mous (matériaux, importance de l'état initial, simplifications des états actifs), ainsi que la procédure de simulation (comment représenter le fait de s'asseoir dans une simulation, exploré dans Liu et al., 2024).

Le travail proposé vise à avancer à la fois sur les aspects expérimentaux et numériques. Il se déroulera dans un l'environnement projet de la chaire avec des interactions avec deux autres doctorants travaillant sur la modélisation géométrique de population et sur la caractérisation expérimentale d'inconfort, des post doctorants et les acteurs industriels.

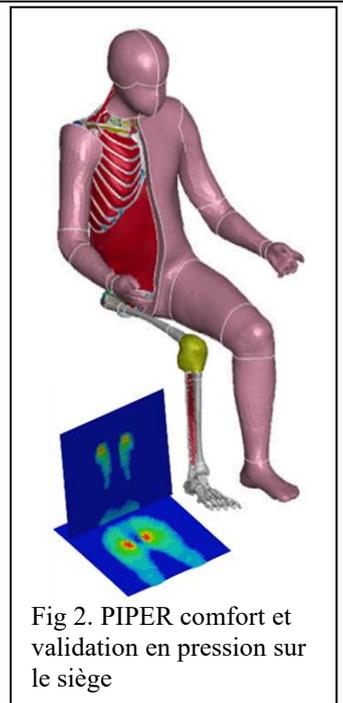


Fig 2. PIPER confort et validation en pression sur le siège

Objectifs et approche

L'objectif général de la thèse est d'améliorer la compréhension des déformations internes du corps humain lors de l'assise ainsi que leur représentation dans des modèles numériques simulant l'assise. Les objectifs spécifiques sont :

1. Observer et mieux comprendre les réponses internes du corps humain lors de l'assise et collecter des données de référence pour la simulation (approche expérimentale). Les avancées viseront principalement la relation entre chargement (ex : pourcentage du poids du corps) et déformation, ainsi que l'interaction avec le dossier. Les données collectées serviront aussi de données de référence pour la validation des modèles.
2. Mettre en place des méthodologie numériques pour mieux représenter la physique de l'assise dans des modèles éléments finis. Les questions de glissement, d'état d'initial de tissus mous et de procédure du geste d'assise seront étudiées à travers des prototypes de modèles afin de mettre au point les méthodologies.
3. Transférer ces résultats dans le modèle open source PIPER Comfort et valider le modèle en utilisant les résultats expérimentaux.

Chaque objectif pourra donner lieu à une ou deux publications.

Approches et travaux réalisés

L'amélioration de la compréhension sera basée sur des observations expérimentales sur participants. Elles viseront à observer les tissus internes à grâce à des méthodes d'imagerie non invasives telles que l'IRM ouverte et/ou l'échographie (Fig. 3). Les travaux incluront la mise au point du protocole (scénarios d'assises, moyens d'observation, etc.), la réalisation et l'exploitation des essais. Ils s'appuieront sur l'expérience du laboratoire lors d'études utilisant l'IRM ouvert ou l'imagerie ultrasonore combinée avec des modèles géométriques (ex : Beillas et al., 2009, Tran et al., 2016, Grebonval 2021, Wang et al., 2021, 2023). La définition des conditions d'essais et dispositif expérimentaux sera partagées entre doctorants du projet.

Les travaux sur la représentation des mécanismes de déformation des tissus mous dans les modèles éléments finis débuteront avec le modèle open source PIPER Comfort. Diverses formulations et représentations seront testées afin d'évaluer leur capacité à représenter les mécanismes identifiés expérimentalement (prototypes numériques). Des études de sensibilité seront conduites pour tester leur robustesse. Les résultats finaux seront implémentés dans une version mise à jour de PIPER Comfort avec les nouvelles conditions de validation (avec l'aide de permanents). Les travaux s'appuieront sur l'expérience du laboratoire en modèles humains (mise au point PIPER Comfort, Liu et al., 2023, 2024, PIPER Child, Beillas et al 2016, et abdomen du GHBMC depuis 2008, ex : Beillas et Berthet, 2018). Le travail sur l'identification d'un état initial pourra donner lieu à une collaboration avec une thèse cours sur la modélisation de sujets obèses.

L'approche conjointe expérimentale et numérique est essentielle pour développer la compréhension de la problématique, chaque aspect permettant de nourrir et compléter l'autre.

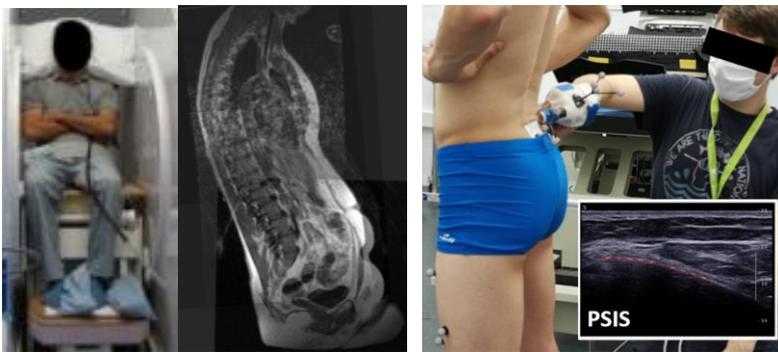


Fig 3. Utilisation d'approches d'imagerie pour mesurer des paramètres internes : IRM positionnel (gauche, Wang et al 2021 pour assise, Beillas et al. 2009 pour tronc complet) et échographie (droite, 2021).

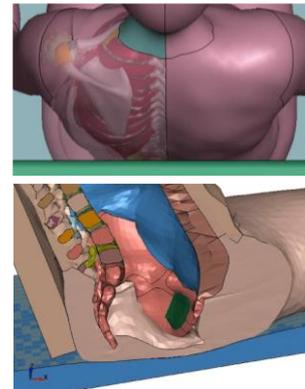


Fig 4. Zones d'intérêt pour la modélisation (assise, dos)

Connaissances acquises

Les connaissances et compétences acquises sont transversales et ont de nombreuses applications en biomécanique que ce soit en lien avec la santé ou les transports : méthodes d'imagerie non invasive et essais sur participants (mise en place, analyse), modélisation éléments finis d'être humain, modélisation de tissus mous *in situ*, validation de modèles, recherche collaborative académique et industrielle.

Profil recherché

Formation en M2 biomécanique ou d'ingénieur en mécanique, avec une forte motivation pour la recherche ayant de bonnes connaissances en mécanique, un intérêt pour l'expérimental. Connaissances en éléments finis et python souhaitées.

Mots clés

Modélisation éléments finis, observation expérimentale, modélisation des tissus mous, IRM, ultrasons, Biomécanique

Références

- Beillas, P., Lafon, Y., Smith, F.W., 2009. The effects of posture and subject-to-subject variations on the position, shape and volume of abdominal and thoracic organs. *Stapp Car Crash J* 53, 127–154. <https://hal.science/hal-00984359v1>
- Beillas, P., Giordano, C., Alvarez, V., Li, X., Ying, X., Chevalier, M.-C., Kirscht, S., Kleiven, S., 2016. Development and performance of the PIPER scalable child human body models, in: 14th International Conference on the Protection of Children in Cars. MUNICH, Germany, p. 19 <https://hal.science/hal-01720414v1>
- Beillas P., Berthet F. (2018) Effect of Contact Separation on the Abdominal Response to Impact of a Human Body Model. Short Communication. 62nd Stapp Car Crash Conference. November 12-14, San Diego, California <https://hal.science/hal-03882040v1>
- Grébonval, C., 2021. Automatisation des véhicules et nouveaux habitacles : postures de confort et risques associés en cas de choc (Thèse de doctorat). Lyon. <https://theses.fr/2021LYSE1328>
- 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, *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 30 May 2023. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1170768>
- Liu, S., Beillas, P., Ding, L., Wang, X., 2024. Effects of loading processes on contact forces when simulating static seating with a finite element human body model. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 1–8. <https://doi.org/10.1080/10255842.2024.2410225>
- Tran, D., Podwojewski, F., Beillas, P., Ottenio, M., Voirin, D., Turquier, F., Mitton, D., 2016. Abdominal wall muscle elasticity and abdomen local stiffness on healthy volunteers during various physiological activities. *J Mech Behav Biomed Mater* 60, 451–459. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.03.001>
- Wang, X., Grebonval, C., Beillas, P., 2023. Validation of a method of locating the pelvis and spinal joint position in a seated position, in: 28th Congress of the European Society of Biomechanics. Maastricht, Netherlands, <https://hal.science/hal-04177329/>
- Wang, X., Savonnet, L., Capbern, L., Duprey, S., 2021. A case study on the effects of foam and seat pan inclination on the deformation of seated buttocks using MRI. *IISE transactions on occupational ergonomics and human factors* 28p. <https://hal.science/hal-03380365v1>