

Proposition de sujet de Post-doc

Titre	Modélisation statistique de forme du squelette complet en position assise, à partir de l'imagerie médicale
Titre en anglais	Statistical shape modelling of the whole skeleton in sitting posture based on medical images
Laboratoire	Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC) Unité Mixte Univ Eiffel – Univ Lyon 1
Directeur	David Mitton, Directeur de Recherche
Référent	Yoann LAFON, Directeur de Recherche, (yoann.lafon@univ-eiffel.fr)
Site principal	Université Gustave Eiffel, Lyon / Bron
Durée	18 mois
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 (donc déformables) 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 utilisateurs pourraient percevoir. Pour réaliser ce travail, 3 sujets de thèse (et ce post-doc) sont à pourvoir : le premier sujet de thèse concerne la modélisation paramétrée et articulée de l'enveloppe et du squelette pour l'étude de l'assise, le deuxième traite de l'étude de la réponse interne et de la modélisation des tissus mous lors de l'assise, le troisième pour l'objectivation de l'inconfort d'assise par une investigation biomécanique. Ce sujet de post-doctorant, sur la modélisation statistique de forme du squelette complet en position assise à partir de l'imagerie médicale, sera donc réalisé en interaction avec les trois autres doctorants, plus particulièrement en étroite collaboration avec le premier sujet de thèse.

Représenter une population d'utilisateurs nécessite d'abord de connaître les géométries cibles. La méthode traditionnelle pour représenter la géométrie d'une population consiste à utiliser des modèles statistiques : les variables d'entrée (anthropométrie, âge, sexe) permettent de prédire/inférer (par combinaison de modes propres) une forme/surface ([lien](#)). Le premier verrou scientifique tient au **manque d'information disponible pour construire un tel modèle statistique de forme corps complet**. Les seules données d'un squelette corps complet existantes sont issues de [OSSO](#), avec des modèles statistiques de formes du squelette et de la peau construits à l'aide de données cohérentes : la surface externe et le squelette sont reconstruits par recalage d'objets 3D sur leur silhouette d'images DXA 2D. Mais ces données 2D et en position couchée demandent un workflow conséquent pour garantir la pertinence du squelette inféré à partir de la

peau ([3dbones](#), [SKEL](#), [TAILORME](#)). Aussi, disposer de données cohérentes et complètes est un pré-requis pour limiter la complexité des corrections à posteriori pour une utilisation en biomécanique, aux contraintes plus lourdes que pour l'animation ou le divertissement. Dans un précédent projet financé par la DSR, le laboratoire LBMC a développé une méthode pour traiter des CT scans de corps complets afin d'extraire la géométrie du squelette complet sous une forme standardisée, utile à une modélisation statistique de forme par exemple ([lien](#)). Cette méthode s'appuie sur la registration (recalage) non-linéaire d'un modèle géométrique générique articulé du squelette, guidée par des points de contrôle et des surfaces : la registration d'un maillage générique est par ailleurs nécessaire pour personnaliser les modèles mécaniques par morphing. La difficulté réside la multiplicité des structures anatomiques à reconstruire, la création de ponts artificiels entre les os à cause de la résolution (par exemple les facettes articulaires vertébrales) ou du vieillissement, la posture très variable des sujets (bien qu'allongés) sur les images (des bras, des mains, des pieds), la présence d'objets (vêtements, prothèses...). Or, des méthodes récentes utilisant l'IA permettent de faciliter la reconstruction du squelette complet ([lien](#)) et de labelliser automatiquement la plupart des os du squelette dans l'image (même si dans ce cas, la qualité reste insuffisante pour une personnalisation détaillée des modèles mécaniques).

La littérature rapporte de nombreux modèles statistiques de formes, mais essentiellement d'os isolés (fémur, bassin, tibia, rachis, [lien](#)), parfois d'articulations (e.g. [genou](#)), rarement de plusieurs os du membre complet ([lien](#)), et toujours sans les données permettant une inférence (anthropométrie, âge, sexe). Un ensemble cohérent fonctionnel est complexe ([lien](#)) : **le second verrou à lever durant ce travail porte sur la construction d'un modèle statistique multi-organes**. Car ces modèles parcellaires locaux (qui ne couvrent pas l'ensemble du squelette) n'ont pas assez d'information pour être assemblés : la position et l'orientation relative des os pour une posture donnée sont soumises à des contraintes géométriques fonctionnelles (contact entre les surfaces articulaires, congruence, cinématique articulaire infra-lésionnelle) pour construire un squelette fonctionnel. **La construction de modèles statistiques impliquant plusieurs structures anatomiques doit donc capturer à la fois les variations de forme et de position relative des organes, tout en conservant la cohérence anatomique et fonctionnelle** ([lien](#), [lien](#)).

Objectifs.

Le travail proposé vise donc (i) à reconstruire le squelette complet et l'enveloppe de CT scans d'une base de données conséquentes d'images médicales (ii) pour construire un modèle statistique complet du squelette humain en position allongée puis assise. Ce travail se déroulera dans l'environnement projet de la chaire, avec des interactions avec les autres doctorants, post-doctorants, académiques et acteurs industriels impliqués sur les multiples aspects de cette thématique. Plusieurs résultats pourront donner lieu à des publications scientifiques.

Approche.

Le premier travail concerne l'acquisition des données à traiter. L'approche consistera d'abord à améliorer le process de reconstruction du squelette corps complet et de l'enveloppe externe existant (fig.1, [lien](#)), en s'appuyant sur des méthodes récentes automatisant certaines tâches de

traitement (pré-segmentation des structures anatomiques, détection de repères anatomiques). Cette nouvelle méthode sera évaluée sur un jeu de données déjà traitées ($n = 14$) et des données segmentées de la littérature aux licences d'exploitation compatibles pour ajuster la démarche, avant de traiter l'ensemble des CT scans à disposition ($n > 100$).

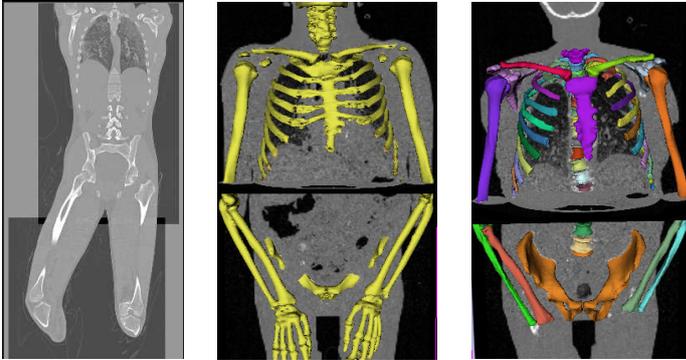


Fig. 1 : (a) exemple de CT scan, (b) segmentation d'initialisation, (c) registration d'un maillage générique.

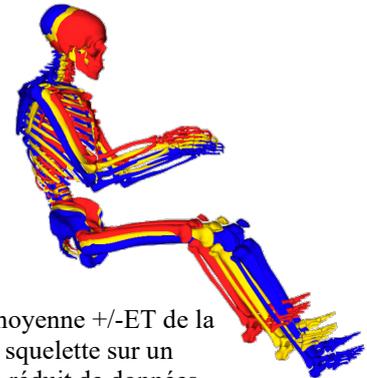


Fig. 2 : moyenne +/-ET de la forme du squelette sur un ensemble réduit de données (Hoffmann et al., 2023)

Dans un deuxième temps, la posture des modèles de squelette corps complet sera normalisée. Plusieurs approches de normalisation pourront être investiguées ([lien](#), [lien](#), [lien](#), [lien](#)). Un modèle statistique de forme du squelette sera créé par une approche classique impliquant l'ensemble des structures (fig. 2), avant d'envisager des méthodes pour capturer à la fois les variations de forme et de position relative des structures anatomiques, tout en conservant la cohérence anatomique et fonctionnelle. La mise en posture assise des géométries inférées se fera à l'aide d'une méthode de changement de posture développée au LBMC garantissant le respect des contraintes anatomiques fonctionnelles (surfaces articulaires) ([lien](#)).

Connaissances acquises

Les connaissances et compétences acquises sont transversales (traitement d'images médicales multi-approches, modèles statistiques de forme corps complet) ont de nombreuses applications en biomécanique (santé et transports), voire dans le divertissement comme le montre l'étendue des usages de modèles tels que [SMPL](#). Il s'agit de plus d'une expérience unique de recherche collaborative appliquée entre académiques et industrielles.

Profil recherché

Doctorat en Informatique graphique et géométrie, Image, Vision et apprentissage, Traitement d'images médicales, IA, avec une expérience pratique dans l'un des domaines du travail demandé et une forte motivation pour le travail en équipe. Connaissances en python souhaitées.

Mots clés

Traitement d'images médicales, segmentation, registration, IA, squelette, modèle statistique de forme, modèle cinématique, changement de postures.