





PhD Thesis Fall 2023	Towards a more equitable protection of vehicle occupants: combining human body models and metamodeling techniques to improve safety	
	Doctoral School: MEGA (Mechanics), 3 years starting October 2023	
Keywords	Biomechanics, Finite element modelling and simulation, Metamodeling, Machine learning	
Work place / academic	LBMC, Univ Eiffel – Univ Lyon 1, Bron (Lyon), France (Biomechanics and Impact Mechanics Lab)	
Industry partners	Autoliv (Gothenburg, Sweden) 	LAB PSA Renault (Nanterre, France)  STELLANTIS  Renault Group 
Advising team	Academic: Philippe Beillas, Yoann Lafon, Eric Jacquelin, Denis Brizard, Alexy Mercier (LBMC) Industry: Bengt Pipkorn and Martin Östling (Autoliv), Philippe Petit and Eric Song (LAB PSA Renault)	
Application	For more info: <a href="mailto:philippe.beillas@univ-eiffel.fr">philippe.beillas@univ-eiffel.fr</a> Application: Send resume, transcript (grades) and an explanation about your interest for this topic	

**Background:** continuous improvements of the protection systems inside vehicles (seat belts, airbags, seats) have contributed to the reduction of the number of fatalities and injuries due to road accidents over the years [1].

Future improvements may come from **more robust, inclusive and equitable** protection systems (e.g. [2-3]). An idea is to simulate the diversity of occupants (sex, age, height, weight, postures adopted) and crash conditions (severity, frequency) (e.g. [4-6]), formulate an objective function **and then to optimize the system across all conditions**. Benefits are expected in many areas (e.g. moderate injuries from low severity crashes, protection of the elderly, better risk balance between population groups, systems adapting to specific occupants). State-of-the-art **human body models** (HBM, Fig 1) that can be morphed and positioned to represent the human diversity (e.g. [6-8]) are expected to play a role in that vision. Altogether, this would represent a departure from the classical approach based on a few dummy sizes subjected to severe crashes.

However, using HBMs and adding new parameters to the design, optimization and assessment processes would substantially increase the computational costs. In fact, the number of simulations could quickly become impractical if using all parameter combinations. But experience and known safety trends suggest that a much smaller number of simulations may be needed in the end. For example, some changes in the protection system may affect similarly occupants of different characteristics, or the responses from simplified HBM that run quickly could be mapped onto more detailed HBM that can predict injuries. Beyond the principles, an objective assessment is needed to know which simulations should be run, and how to interpret the results.

Various methods often labelled under the broad categories of **metamodeling or machine learning can be used to tackle such issues**. Examples include interpolation on surface responses, kriging models, model order reduction, or transfer learning, etc. [9-15].

**Objectives:** the overall objective will be to **evaluate and if needed adapt methods** to reduce computing costs to the case of the design and optimization of occupant protection systems based on simulations with HBM. The study will be broken into different scenarios of increasing complexity and associated methods will be identified. Potential benefits of the methods will be quantified, both in terms of safety and computational cost.

**Approach:** the work will start by a literature review and a first test case. The aim will be to parametrize and to try to describe with common metamodeling methods (e.g. kriging) the responses of HBMs subjected to different decelerations for different protection systems. The case will rely as much as possible on existing simulations made with the detailed GHBMC (Fig 1), results at industry partners and complementary simulations with a simplified version of the GHBMC. Other parameters will then be introduced (e.g. human variability) and more advanced methods investigated. **The thesis will include short stays at both industry partners to help formulate the problem and transfer the results.**








**Profile of the candidate:** mechanical engineering, a strong interest for numerical methods, finite element simulation and research. Simple programming skills (e.g. Python). Communication and writing skills in English are required.

**Skills Acquired:** experience with metamodeling methods (used in many fields), finite element modeling and simulation (Ls-Dyna), biomechanics, safety, experience of international collaborative research between academic and industry.



Fig. 1. Example of HBM simulation with a GHBMC detailed model ([www.ghbmc.com](http://www.ghbmc.com)). With 2.5M elements and most anatomical structures, the model better describes the human response than dummies but is also much more computationally intensive. It can be morphed and positioned to describe the diversity of occupants.

French speaking candidates are welcomed but it is not required to speak French for this topic. Topic in English page 1. References page 3.

Sujet these 2023	Vers une protection plus équitable des occupants de véhicules : combiner des modèles humains et des métamodèles pour améliorer la sécurité		
	École doctorale : MEGA (Mécanique), 3 ans à partir d'octobre 2023		
Mots-clés	Biomécanique, Éléments finis, modélisation et simulations, métamodèles, apprentissage automatique		
Lieu de travail académique	LBMC, Univ Eiffel – Univ Lyon 1, Bron (Lyon), France (Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs)		 
Partenaires industriels	Autoliv (Gothenburg, Suède) 	LAB PSA Renault (Nanterre, France)	  
Équipe encadrement	Académique : Philippe Beillas, Yoann Lafon, Eric Jacquelin, Denis Brizard, Alexy Mercier (LBMC) Industrie : Bengt Pipkorn and Martin Östling (Autoliv), Philippe Petit and Eric Song (LAB PSA Renault)		
Application	Pour plus d'infos : <a href="mailto:philippe.beillas@univ-eiffel.fr">philippe.beillas@univ-eiffel.fr</a> Candidature : CV, relevé de notes et une explication sur votre intérêt pour ce sujet		

**Contexte** : l'amélioration continue des systèmes de protection à l'intérieur des véhicules (ceintures de sécurité, airbags, sièges) a contribué à la réduction du nombre de tués et de blessés dus aux accidents de la route au fil des ans [1].

Les améliorations futures pourraient provenir de systèmes de protection plus robustes, inclusifs et équitables (ex : [2-3]). Une idée est de simuler la diversité des occupants (sexe, âge, taille, poids, postures adoptées) et des conditions de crash (gravité, fréquence) (ex : [4-6]), de formuler une fonction d'objectif puis d'optimiser le système sur l'ensemble conditions. Des avantages sont attendus dans de nombreux domaines (ex : blessures modérées résultant d'accidents de faible gravité, protection des personnes âgées, meilleur équilibre des risques entre les groupes de population, adaptation des systèmes à des occupants spécifiques). Les modèles de corps humain de l'état de l'art (HBM, Fig 1) qui peuvent être transformés et positionnés pour représenter la diversité humaine (ex : [6-8]) devraient jouer un rôle dans cette vision. Dans l'ensemble, cela représenterait une rupture avec l'approche classique basée sur quelques tailles de mannequins soumis à des collisions sévères.

Cependant, l'utilisation d'HBM et l'ajout de nouveaux paramètres aux processus de conception, d'optimisation et d'évaluation augmenteraient considérablement les coûts de calcul. Le nombre de simulations pourrait rapidement devenir démesuré si toutes les combinaisons de paramètres étaient utilisées. Mais l'expérience suggère qu'un nombre beaucoup plus petit de simulations pourrait être suffisant. Par exemple, certains changements dans le système de protection peuvent affecter de manière similaire des occupants de caractéristiques différentes, ou les réponses d'un HBM simplifié à faible coût de calcul pourraient être projetées sur un HBM plus détaillé qui peut prédire les blessures. Au-delà des principes, une évaluation objective est nécessaire pour savoir quelles simulations doivent être exécutées et comment interpréter les résultats.

Diverses méthodes en lien avec les métamodèles ou l'apprentissage automatique peuvent être utilisées pour résoudre ces problèmes. Les exemples incluent l'interpolation sur des surfaces de réponse, les modèles de krigeage, la réduction de l'ordre des modèles ou l'apprentissage par transfert, etc. [9-15].

**Objectifs** : l'objectif global sera d'évaluer et si nécessaire d'adapter des méthodes de réduction des coûts de calcul au cas de la conception et de l'optimisation de systèmes de protection des occupants à partir de simulations avec HBM. L'étude sera décomposée en différents scénarios de complexité croissante et les méthodes associées seront identifiées. Les avantages potentiels des méthodes seront quantifiés, à la fois en termes de sécurité et de coût de calcul.

**Approche** : le travail débutera par une revue de la littérature et un premier cas test. L'objectif sera de paramétrer et d'essayer de décrire avec des méthodes de métamodélisation courantes (e.g. krigeage) les réponses des HBM soumis à différentes décélérations avec divers systèmes de protection. Le cas s'appuiera autant que possible sur des simulations existantes réalisées avec le GHBMC détaillé (Fig 1), des résultats chez des partenaires industriels et des simulations complémentaires avec une version simplifiée du GHBMC. D'autres paramètres seront ensuite introduits (ex : la variabilité humaine) et des méthodes plus avancées seront étudiées. La thèse comprendra de courts séjours chez les deux partenaires industriels pour aider à formuler le problème et à transférer les résultats.

**Profil recherché** : mécanique, un fort intérêt pour les méthodes numériques, la simulation par éléments finis et la recherche. Compétences en programmation simple (ex : Python). Compétences en communication et en rédaction en anglais requises.

**Compétences acquises** : expérience en métamodélisation (utilisées dans de nombreux domaines), modélisation et simulation éléments finis (Ls-Dyna), biomécanique, sécurité, recherche collaborative internationale entre académique et industriel.



Fig 1. Exemple de simulation avec un modèle détaillé ([www.ghbmc.com](http://www.ghbmc.com)). Incluant 2,5 M d'éléments et la plupart des structures anatomiques, le modèle décrit mieux la réponse humaine que les mannequins, mais il est également beaucoup plus gourmand en calculs. Il peut être transformé et positionné pour décrire la diversité des occupants.

## References

- [1] E.g. Autoliv range of products are estimated to save more than 30000 lives every year ([Autoliv 2022 Annual Sustainability Report](#)). Complementary information at <https://www.autoliv.com>.
- [2] E.g. Ad-hoc Group on “Data Equitable protection” created at the UNECE in 2022. [DEOP](#)
- [3] Euro NCAP roadmap and [vision 2030](#), M7-M9
- [4] Boyle et al. (2020) Restraint systems considering occupant diversity and pre-crash posture, [Traf. Inj. Prev., 21:sup1, S31-S36](#);
- [5] Perez-Rapela et al. (2021). Methodology for vehicle safety development and assessment accounting for occupant response variability to human and non-human factors. [CMBBE 24, 384–399](#).
- [6] Hu et al. (2019) Frontal crash simulations using parametric human models representing a diverse population, [Traf. Inj. Prev., 20:sup1](#);
- [7] Beillas and Berthet (2017) An investigation of human body model morphing for the assessment of abdomen responses to impact against a population of test subjects. [Traf. Inj. Prev. S142-S147](#),
- [8] Grébonval et al. (2021). Effects of seat pan and pelvis angles on the occupant response in a reclined position during a frontal crash. [PloS One](#)
- [9] Maliki et al. (2018) Comparative Study of Kriging and Support Vector Regression for Structural Engineering Applications. [J. of Risk and Uncertainty in Eng., Part A 4 \(2\)](#);
- [10] Bhattacharyya et al. (2022) Stochastic analysis of a crash box under impact loading by an adaptive POD-PCE model [Struct Multidisc Optim 65:229](#).
- [11] Joodaki et al. (2021) Leveraging machine learning for predicting human body model response in restraint design simulations. [CMBBE 24, 597–611](#).
- [12] F. Zhuang et al., (2021) A Comprehensive Survey on Transfer Learning, [in Proc. of the IEEE, 109\(1\)](#).
- [13] Gstalter et al. (2020). Toward new methods for optimization study in automotive industry including recent reduction techniques. [Adv. Mod. Sim. in Eng. 7, 17](#).
- [14] Assou et al. (2021), A reduced model using random forest: application on car crash optimization, [SeMA J, 78, pp 193–212](#)
- [15] Go et al. (2023). Model order reduction techniques to identify submarining risk in a simplified human body model. [CMBBE 0, 1–12](#).