

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Laboratoire de rattachement	LBMC
Encadrant référent Ifsttar	Beillas Philippe, Wang Xuguang
Titre de la thèse en français	Véhicules autonomes : évaluation des risques potentiels liés à de nouvelles postures pour les occupants
Titre de la thèse en anglais	Autonomous vehicles: evaluation of the possible risks associated with new occupant postures
Disciplines de la thèse	Mécanique
Ecole doctorale (prévision)	MEGA
Etablissement d'inscription (prévision)	UCBL
Directeur (et codirecteur) prévu(s) avec statut et affiliation	Beillas Philippe, DR HDR, Wang Xuguang, DR HDR,
Financement prévu	Projet FSR (50%) / Ifsttar (50%)
Cofinanceur ou financeur externe	Projet FSR
Employeur du doctorant	Ifsttar

Résumé
Contexte

Des efforts de recherche et développement considérables sont en cours sur la thématique de l'*automatisation des véhicules*. En libérant les conducteurs d'une partie ou de l'ensemble des tâches de conduite, de nouvelles possibilités s'ouvrent pour les activités de ses occupants et pour l'agencement de l'habitacle. Les sièges pourraient être plus éloignés des tableaux de bord pour permettre aux occupants de travailler ou de dormir, ou ils pourraient même avoir des orientations différentes (exemple : position face à face, voir Figure). Même si un grand niveau de sécurité est attendu de ces véhicules du futur, les accidents de la route ne disparaîtront probablement pas avec leur introduction (ex : accident non responsable, flotte partiellement automatisée, dysfonctionnements mécanique ou logiciel). Des accidents pourraient donc survenir avec des occupants dans des postures peu conventionnelles, c.a.d. pour lesquelles les dispositifs de protection actuels n'ont pas été conçus. En parallèle, l'automatisation des manœuvres d'urgences va continuer (aujourd'hui: essentiellement freinage et évitement automatiques). Ces manœuvres peuvent affecter la posture de l'occupant au moment du choc, et le contrôle ou la modification de postures ou positions juste avant l'impact peuvent être des leviers afin d'essayer de minimiser les conséquences d'un accident inévitable (ex : [2]).

Ainsi, que ce soit pour les véhicules autonomes ou pour les nouvelles stratégies pré-crash, il y a un intérêt à comprendre les relations entre nouvelles postures des occupants et risque lésionnel, à la fois pour la mise au point de stratégies de protection et pour la certification de véhicules.

Toutefois, les procédures actuelles d'évaluation du risque, qu'elles soient de type réglementaire ou consommateur (ex : EuroNCAP, www.euroncap.com), ne prennent encore pas bien en compte ces futurs usages ou stratégies. Elles utilisent des mannequins de chocs qui semblent peu adaptés au problème car ils sont typiquement conçus pour une direction de chargement unique (réponse et estimation lésionnelles soit pour le choc frontal, soit pour le choc latéral) et qu'ils ont des limites importantes de positionnement liés à leur réalisation mécanique. Parce qu'ils sont plus omni-directionnels et plus flexibles quant à leur positionnement, les modèles numériques humains tels que ceux du *Global Human Body Model Consortium* (GHBM, www.ghbmc.com), apparaissent comme une alternative crédible pour évaluer le risque lésionnel dans ces scénarios émergents. Leur usage était spécifiquement mentionné dans le document de politique vis-à-vis des véhicules autonomes de la *National Highway Traffic Safety Administration* aux États-Unis en 2016 [1].

Si certains mécanismes lésionnels, effets de posture, ou scénarios comme le pré-crash ont pu être étudiés à l'aide de modèles numériques (ex : [2-6]), l'exploration de postures plus diverses comme celles qui pourraient être rencontrées dans le contexte de véhicules autonomes fait aujourd'hui défaut et sera l'objet de la thèse. Les verrous incluent entre autres les difficultés à positionner les modèles humains, le besoin de mieux définir les postures d'intérêt, et la mise au point et la validation d'une méthodologie d'étude (procédure de simulation).

Cette thèse sera conduite dans le cadre d'un projet de la Fondation Sécurité Routière (FSR) en collaboration avec des constructeurs automobiles, qui vise à l'identification de nouveaux scénarios d'accidents en lien avec les véhicules autonomes et à étudier leurs impacts sur la sécurité passive des usagers de route.

Objectifs

L'objectif final de la thèse sera d'identifier les nouvelles postures à risque par la simulation numérique à l'aide de modèles numériques du corps humain. Une nouvelle procédure de simulation sera mise au point et validée. Les conditions étudiées incluront des scénarios d'accidents et d'aménagement de véhicule définis dans d'autres tâches du projet FSR. Elles devront prendre en compte des paramètres tels que la taille de l'occupant et leur position après des manœuvres d'urgence.

Approche

Des modèles humains détaillés du GHBMC seront mis en position et leur stature sera personnalisée pour mieux représenter la variabilité de la population tant au niveau de l'anthropométrie qu'au niveau de la position. Ces changements seront effectués à l'aide des outils logiciels innovants récemment développés dans le projet européen PIPER qui était coordonné par le LBMC (www.piper-project.eu). La définition des postures pourra s'appuyer sur des captures et reconstructions effectuées sur volontaires en laboratoire à partir des nouveaux scénarios d'accidents identifiés par le projet FSR. Les comportements pré-impact (manœuvre d'urgence, pré-crash) seront pris en compte de manière simplifiée à partir de données de la littérature. Pour les lésions, des critères seront sélectionnés sur la base de l'état de l'art pour couvrir les modes de chargement envisagés.

Les travaux incluront la mise en place des étapes de la procédure (ex : automatisation de la mise en position de modèles, vérification de la réponse mécanique dans diverses positions, choix et vérification des critères lésionnels, sensibilité), la réalisation des simulations (code éléments finis explicite Lsdyna) et leur analyse. Le risque associé aux nouvelles positions d'occupants sera ainsi évalué à partir de la procédure de simulation proposée et des recommandations seront formulées sur l'aménagement de l'habitacle et les dispositifs de protection.

Les travaux donneront lieu à des publications scientifiques sur les différents principaux verrous de l'étude (ex : définition de posture d'intérêt, procédure de mise en position et de simulation) ainsi que sur les résultats finaux et les recommandations.



Figure : image futuristique d'un habitacle de véhicule autonome (source [1]), modèle GHBMC lors de positionnement dans le logiciel PIPER et réponse en choc latéral lors d'une interaction avec airbag (source : LBMC)

Candidat

La principale discipline abordée pendant la thèse sera la mécanique, avec une forte orientation biomécanique. Les travaux aborderont des thématiques en lien avec la biomécanique des chocs (tolérance de l'être humain au choc) et l'ergonomie physique (étude posture) à l'aide d'approches numériques et expérimentales.

Le candidat idéal aura une formation en Mécanique, avec si possible une première expérience en simulation numérique par éléments finis, et un fort intérêt pour la biomécanique. Dans la mesure où l'étude abordera un sujet émergent en croissance rapide (la sécurité passive des futurs véhicules autonomes), la curiosité et l'ouverture d'esprit seront des qualités importantes pour le candidat.

Environnement et encadrement

Le doctorant sera accueilli au Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC, unité mixte Ifsttar et Université Lyon 1, site de Bron), au sein des équipes *Biomécanique des chocs* et *Biomécanique et ergonomie*. Il sera codirigé par Philippe Beillas et Xuguang Wang avec des expertises complémentaires en modélisation du corps

humain pour des applications en sécurité et ergonomie de l'automobile. Les travaux seront réalisés en interaction avec les partenaires du projet FSR qui incluent d'autres laboratoires de l'Ifsttar ainsi que les constructeurs automobiles français.

Références

- [1] Federal Automated Vehicles Policy: A Voluntary Approach to Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety. National Highway Traffic Safety Administration. September 2016.
- [2] Ostmann and Jakobsson (2012) An Examination of Pre-crash Braking Influence on Occupant Crash Response using an Active Human Body Model. Ircobi Conference 2016. Paper IRC-16-37.
- [3] Jones et al. (2016) Lumbar vertebrae fracture injury risk in finite element reconstruction of CIREN and NASS frontal motor vehicle crashes, *Traffic Inj Prev*, vol. 17 Suppl 1, p. 109-115, sept. 2016.
- [4] Iwamoto et al. (2015) Development and Validation of the Total HUMAN Model for Safety (THUMS) Toward Further Understanding of Occupant Injury Mechanisms in Precrash and During Crash, *Traffic Inj Prev*, vol. 16 Suppl 1, p. S36-48, 2015.
- [5] Poulard et al. (2014) The Contribution of Pre-impact Spine Posture on Human Body Model Response in Whole-body Side Impact, *Stapp Car Crash J*, vol. 58, p. 385-422, nov. 2014.
- [6] Yue and Untaroiu (2014) A numerical investigation on the variation in hip injury tolerance with occupant posture during frontal collisions, *Traffic Inj Prev*, vol. 15, n° 5, p. 513-522, 2014.

Mots-clefs : véhicule autonome, simulation numérique, lésion, Ls-Dyna, modèle humain, posture

Abstract:

Context

Considerable research and development efforts are ongoing on the subject of vehicle automation. Completely or partially freeing the drivers of their driving tasks would enable new activities for the occupants and new layouts for the vehicle. The seats could be positioned further away from the dashboard to allow the occupant to work or to sleep, and they could even have different orientations (e.g. seats facing each other, see Figure). Even if high safety performance levels are expected from these new vehicles, it is unlikely that road accidents will disappear with their introduction. These new vehicles could be involved in accidents due to traditional vehicles (as the vehicle fleet would be only partially automated at first), and there could still be mechanical or software malfunctions. Accidents could therefore occur with occupants in non-standard postures, i.e. in postures for which protection systems were not designed. In parallel, the automation of emergency maneuvers is going to continue (today: mostly Automatic Emergency Braking, Automatic Emergency Steering). These maneuvers can affect the occupant posture at the time of the crash, and checking or controlling the occupant postures or positions just prior to impact could be helpful to mitigate the consequences of an unavoidable accident.

Overall, whether for autonomous vehicles or for new pre-crash strategies, there is an interest to understand the relationships between new postures and injury risk, both to help design protection strategies and to certify new vehicles.

However current procedures to evaluate the risk, whether through regulations or consumers tests (e.g. EuroNCAP, www.euroncap.com), do not yet account for these future usage scenarios and strategies. They are using physical car crash dummies which seem somewhat inadequate for the problem because they are typically designed for a single loading direction (e.g. predicting a response and an injury risk in frontal or side impact) and because their mechanical design greatly limits their positioning ability. Because they are more omnidirectional and more flexible in terms of positioning, human body models such as the ones from the Global Human Body Model Consortium (GHBMC, www.ghbmc.com) appear as a credible alternative to evaluate the risk of injury in emerging scenarios. Such models were specifically mentioned in the policy document regarding autonomous vehicles redacted by the National Highway Traffic Safety Administration in the US in 2016.

However, while some injury mechanisms, effects of posture, or scenarios as pre-crash could be studied using numerical models in the past (ex: [2-6]), the exploration of more diverse postures such as the ones that could be used in autonomous vehicles is lacking today, and will be the objective of the thesis. Challenges include among others the difficulties to position the human models, the need to better define the postures of interest, and the development and validation of methodological approaches (simulation procedures).

The thesis will be conducted in collaboration with automotive manufacturer as part of a new project of the French Foundation for Road Safety (FSR) that aims to identify new accident scenarios related to autonomous vehicles and study their impact on the passive safety of road users.

Objectives

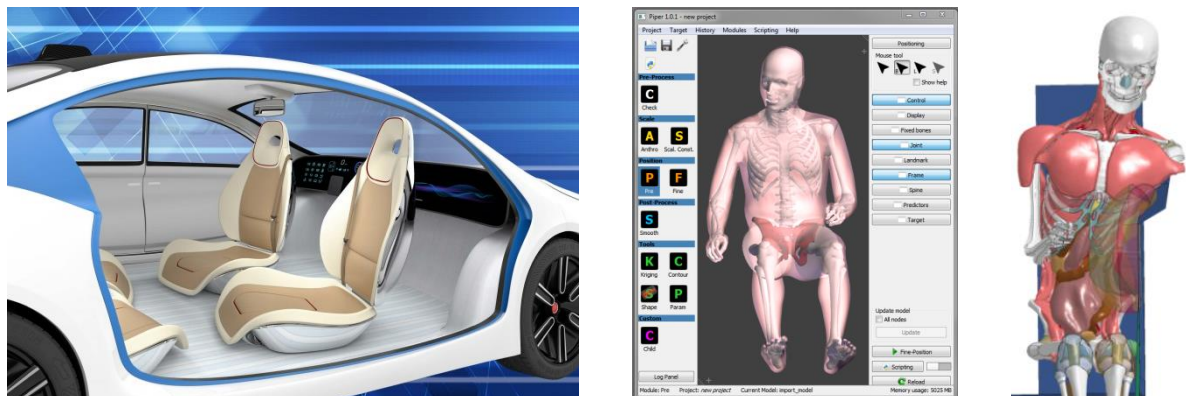
The final objective of the thesis will be to identify postures which carry a significant risk using numerical simulation with human body models. A new simulation procedure will be developed and validated. The study will cover impact scenarios and vehicle layouts defined in other tasks of the project. Parameters such as the size of the occupant and their position after emergency maneuvers will also be accounted for.

Approach

Detailed human body models from the GHBMCM will be positioned and their dimensions will be changed to better account for the variability of the population. This will be performed with the help of innovative software tools recently developed in the PIPER European project that was coordinated by the LBMC (www.piper-project.eu). The definition of the postures may use scans and reconstructions collected on volunteers in the laboratory as well as the new accident scenarios identified in the FSR project. Pre-impact behaviors such as emergency maneuvers and pre-crash response will be accounted for in a simplified manner using literature data. Injury criteria will be selected based on the state of the art to cover the body regions and loading modes of interest.

The work will include the development of the procedure (e.g. automation of the positioning of the models, verification of the response of the models after positioning, selection and verification of the injury criteria), the simulations campaign (with the explicit finite element solver LsDyna) and their analysis. The risks associated with new occupant postures will be determined based on the simulations and recommendation regarding possible vehicle layouts and protection systems will be formulated.

The research will lead to scientific publications on the main challenges of the study (e.g. definition of the postures of interest, positioning and simulation procedures) and the final results and recommendations.



From left to right : futuristic image of a future vehicle layout (source: [1]), GHBMCM model in the PIPER software during positioning and responses in lateral impact during interaction with an airbag (source: LBMC).

Candidate

Mechanical engineering will be the main discipline, with a focus on biomechanics. The work will cover themes related to impact biomechanics (human tolerance to impact) and physical ergonomics (study of postures) using both numerical and experimental approaches.

The ideal candidate will have a background in Mechanical Engineering, if possible with a first experience in numerical simulation using the finite element method, and a strong interest for biomechanics. As the topic will explore the emerging field of passive safety for automated vehicles which is a quickly growing field, curiosity and open-mindedness will be important qualities for the candidate. While not mandatory at the beginning of the thesis, the candidate will be expected to communicate in French with other project partners.

Work environment and direction

The PhD candidate will join the Laboratory of Biomechanics and Impact Mechanics (LBMC, joint research unit between Ifsttar and University Lyon 1, Bron site), and more specifically the teams *Impact Biomechanics* and

Biomechanics and Ergonomics teams. He will be co-directed by Philippe Beillas and Xuguang Wang with complementary expertise in human body modeling for automotive safety and ergonomics. The research will be done in interactions with the partners of the FSR project which include other Ifsttar laboratories and the French car manufacturers.

References

- [1] Federal Automated Vehicles Policy: A Voluntary Approach to Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety. National Highway Traffic Safety Administration. September 2016.
- [2] Ostmann and Jakobsson (2012) An Examination of Pre-crash Braking Influence on Occupant Crash Response using an Active Human Body Model. Ircobi Conference 2016. Paper IRC-16-37.
- [3] Jones et al. (2016) Lumbar vertebrae fracture injury risk in finite element reconstruction of CIREN and NASS frontal motor vehicle crashes, *Traffic Inj Prev*, vol. 17 Suppl 1, p. 109-115, sept. 2016.
- [4] Iwamoto et al. (2015) Development and Validation of the Total HUMAN Model for Safety (THUMS) Toward Further Understanding of Occupant Injury Mechanisms in Precrash and During Crash, *Traffic Inj Prev*, vol. 16 Suppl 1, p. S36-48, 2015.
- [5] Poulard et al. (2014) The Contribution of Pre-impact Spine Posture on Human Body Model Response in Whole-body Side Impact, *Stapp Car Crash J*, vol. 58, p. 385-422, nov. 2014.
- [6] Yue and Untaroiu (2014) A numerical investigation on the variation in hip injury tolerance with occupant posture during frontal collisions, *Traffic Inj Prev*, vol. 15, n° 5, p. 513-522, 2014.

Keywords: autonomous vehicle, numerical simulation, injury, Ls-Dyna, human body model, posture