

Offre de thèse de doctorat 2026

# Méthodes de simplification et réduction de modèles pour la simulation de collisions

Encadrement : Denis BRIZARD et Alexy MERCIER

Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs (LBMC UMR\_T9406),  
Université Gustave Eiffel et Université Claude Bernard Lyon 1



## Contexte de la thèse

La maîtrise des phénomènes d'impact en structures déformables, caractérisés par des sollicitations mécaniques extrêmes et décrits mathématiquement par des formulations fortement non linéaires et non régulières, constitue un enjeu majeur en sécurité routière. Les collisions, impliquant différents usages et usagers (piétons, cyclistes, conducteurs, passagers, etc.), provoquent des blessures graves et mettent en jeu des interactions rapides entre des structures mécaniques complexes et/ou le corps humain.

Afin de limiter la gravité des lésions, de nombreux dispositifs de protection ont été développés (barrières de retenue, atténuateurs de chocs, pare-chocs, crash-box, ceintures, airbags, etc.). Leur conception vise à dissiper ou redistribuer l'énergie d'impact afin de réduire les sollicitations transmises aux occupants et aux usagers vulnérables. La validation de ces dispositifs repose sur des critères mécaniques corrélés aux traumatismes (ASI<sup>1</sup>, THIV<sup>2</sup>, etc.) et garantissant un niveau de lésion compatible avec les exigences réglementaires.

L'évolution des mobilités (véhicules électriques, micro-mobilités, cohabitation d'usagers hétérogènes, nouvelles postures à bord de véhicules autonomes) diversifie et complexifie les scénarios incluant ces phénomènes d'impact, rendant encore plus nécessaire la capacité à modéliser les dispositifs de protection afin de les optimiser et d'améliorer leur comportement.

La conception et la validation de ces dispositifs vis-à-vis des normes reposent largement sur la simulation numérique, devenue indispensable pour limiter le recours à des essais expérimentaux coûteux. Ces simulations mobilisent des modèles décrivant le comportement mécanique et intégrant les grandes déformations, les phases de décollement/contact avec impact, les phases d'adhérence/glissement avec frottement, la plasticité, l'endommagement et la rupture. La résolution temporelle des problèmes associés est particulièrement coûteuse, en raison de la forte non-linéarité,

---

1. "Indice de Sévérité de l'Accélération", décrivant le niveau maximal de sévérité de l'accélération d'un véhicule pendant toute la phase de choc

2. "Vitesse d'Impact de la Tête Théorique", permettant d'évaluer la sévérité d'un choc pour les occupants des véhicules impliqués dans des collisions avec des dispositifs de retenue routiers.

voire de la non-régularité, des formulations. Elle impose des pas de temps très faibles, notamment en raison de l'utilisation de schémas explicites, ainsi qu'une gestion complexe des contacts sur de nombreuses interfaces. De plus, l'augmentation de la fidélité des modèles accroît les problèmes de robustesse numérique. Les problèmes de temps de calcul et de robustesse sont incompatibles avec les démarches d'optimisation, d'analyse de sensibilité et d'exploration de scénarios multiples.

Dans ce contexte, réduire drastiquement les temps de simulation tout en conservant une capacité fiable de prédiction des grandeurs d'intérêt constitue un enjeu central pour la sécurité routière et pour le développement de dispositifs de protection optimisés. Ce verrou scientifique et technologique s'ajoute à la question de la sobriété numérique, l'usage intensif de ressources de calcul haute performance engendrant un coût énergétique significatif.

## Objectifs et méthodologie

Les objectifs principaux du projet de thèse consistent à simplifier ou à réduire des modèles à haute fidélité de scénarios de collision entre structures déformables, en adaptant le niveau de description aux différentes zones (peu ou très déformées), en maîtrisant la complexité (en ne conservant que les mécanismes physiques déterminants lors d'une collision) et en permettant la construction de méta-modèles robustes dans des délais raisonnables.

L'enjeu principal réside dans la diminution des temps associés à la résolution temporelle, laquelle constitue un frein majeur dans un processus de conception.

La thèse qui s'inscrit dans la continuité des travaux<sup>3 4</sup>, propose ainsi de faire un compromis entre complexité et précision et s'articulera autour de trois axes complémentaires :

### **Axe 1 - Simplification et réduction de modèles par contrôle de la complexité pour les zones peu déformées :**

**Résumé :** L'objectif de cet axe est d'étudier des méthodologies permettant de simplifier la modélisation des parties du système mécanique peu déformées. La complexité y est maîtrisée afin de ne conserver que les mécanismes nécessaires et suffisants à la description du comportement global. Une approche fonctionnelle pourra être privilégiée (vision modale, utilisation d'éléments simples et/ou rhéologiques), permettant ainsi de s'affranchir de la description détaillée des différents organes et de l'architecture technologique.

**Verrou scientifique :** Identifier le niveau minimal de complexité physique et de modélisation fonctionnelle pertinents, garantissant des prédictions fiables sans compromettre la validité des critères normatifs à satisfaire.

### **Axe 2 - Réduction et simplification de modèles par contrôle de la complexité dans les zones très déformées :**

**Résumé :** L'objectif de cet axe est d'étudier des méthodologies permettant de simplifier la modélisation des parties du système mécanique très déformées. Des modèles simplifiés pourront être utilisés pour les parties de la structure jouant un rôle majeur dans la dissipation d'énergie. Compte tenu des grandes déformations, des nombreux contacts avec impact et des phénomènes d'adhérence et de glissement avec frottement, des méthodes de réduction adaptées seront privilégiées (Proper Orthogonal Decomposition (POD), Proper Generalized Decomposition (PGD)).

---

3. Nyobe, C. (2025). Contribution à l'élaboration de dispositifs de retenue de route entièrement ou partiellement en bois (Doctoral dissertation, Université Gustave Eiffel).

4. Bhattacharyya, B. (2020). Uncertainty quantification and propagation in rapid dynamics : application to crash problem (Doctoral dissertation, Université de Lyon).

**Verrou scientifique** : Déterminer des stratégies de réduction compatibles avec les fortes non-linéarités géométriques et matérielles ainsi qu’avec les conditions de contact avec impact, tout en garantissant la stabilité numérique et la précision des grandeurs d’intérêt.

### **Axe 3 - Construction de méta-modèles robustes fondés sur des modèles de substitution pour l’optimisation :**

**Résumé** : L’objectif de cet axe est de déduire de ces modèles simplifiés des méta-modèles permettant d’obtenir, à faible coût numérique faible, les grandeurs de sortie d’intérêt. La robustesse de ces méta-modèles serait également testée en étudiant l’influence de la variabilité de certains paramètres sur les grandeurs de sorties. Des approches intrusives ou non intrusives pourront être envisagées pour la construction des méta-modèles. Des développements fondés sur des bases polynomiales présentant des propriétés spécifiques pourront également être explorés.

**Verrou scientifique** : Concevoir des méta-modèles paramétriques capables de représenter fidèlement des réponses fortement non linéaires et non régulières, tout en garantissant une réduction significative des temps de calcul compatible avec des démarches d’optimisation.

## **Lieu de la thèse**

La thèse se déroulera entièrement au :  
Laboratoire de Biomécanique et Mécanique des Chocs  
Université Gustave Eiffel (campus de Lyon)  
25 avenue François Mitterrand, Case24 Cité des mobilités  
F-69675 Bron Cedex

## **Profil de candidat**

Candidat disposant d’un Master 2 et/ou diplôme d’ingénieur spécialisé en Mécanique et ayant :

- des bases solides en Mécanique des Milieux Continus (MMC) et en dynamique des structures.
- des bases solides en Mathématiques, Méthodes Numériques et Algorithmie.
- des expériences en utilisation de logiciels de simulations numériques basés sur la méthode des Éléments-Finis.
- des expériences en développement avec le langage PYTHON.

## **Démarrage**

Début année universitaire 2026-2027

## **Candidature**

Un CV et une lettre de motivation sont à transmettre par e-mail à [alexymercier@univ-lyon1.fr](mailto:alexymercier@univ-lyon1.fr). Des relevés des notes obtenues pourront également être demandés au candidat.