

## Sujet de stage M2 - PFE

# Développement d'un algorithme de détection de contact pour la modélisation numérique du contact mécanique

**Mots clés :** Éléments finis, algorithme de recherche, mécanique du contact, détection de contact, graph, optimisation contrainte, parallélisation, auto-contact.

---

### Contexte :

Le contact mécanique constitue une classe importante de problèmes d'ingénierie, pour lesquels la formulation mathématique et les solutions analytiques/numériques se heurtent à des difficultés importantes. D'apparence simpliste, la physique au cœur de l'interaction de contact est particulièrement complexe et présente un caractère multi-échelle et multi-physique. Par exemple, à une échelle suffisamment petite toutes les surfaces techniques sont rugueuses. Cette rugosité est intimement liée aux propriétés de l'interaction de contact, qui déterminent la morphologie et la physique de l'interface. Les problèmes de mécanique du contact sont donc intrinsèquement non-linéaires (non-pénétration, inégalités de contrainte, non-différentiabilité) ce qui les rend difficiles à résoudre sans recourir à des techniques approximatives. Compte tenu du fait que la recherche expérimentale sur ce sujet peut être très coûteuse et chronophage, voire parfois irréalisable, le domaine de la mécanique de contact computationnelle est un champ de recherche en pleine expansion, qui exige des techniques numériques puissantes capables de prédire avec précision les phénomènes de contact.

Pour répondre à cette problématique, les méthodes numériques sont largement utilisées. Parmi ces méthodes, la méthode des éléments finis (FEM) semble être la plus utilisée en mécanique des solides déformables. Avec une formulation basée sur des considérations énergétiques cohérentes, la FEM peut fournir des solutions précises pour les problèmes spécifiques en mécanique du contact. Le traitement numérique général du problème de mécanique du contact peut être divisé en deux étapes : la détection du contact et la résolution du contact. Plusieurs stratégies ont été proposées dans la littérature pour l'étape de résolution des contacts. Elles se distinguent par le type de discrétisation (par exemple, nœud à nœud, nœud à face, face à face,...) et la méthode de résolution utilisée (par exemple, pénalité, multiplicateurs de Lagrange,...). Quelle que soit la méthode employée, la phase de résolution des contacts est généralement précédée d'une étape de détection, dont la robustesse et l'efficacité déterminent respectivement la précision et la rapidité de l'ensemble du schéma de résolution.

La détection des contacts est un ingrédient crucial du cadre numérique permettant de traiter les problèmes de contact. L'objectif principal est d'identifier les corps ou les éléments finis susceptibles d'entrer en contact, c'est-à-dire de définir la liste des paires d'éléments à intégrer. Il s'agit d'un aspect algorithmique essentiel de toute formulation de contact, qui peut être décomposée en deux sous-étapes distinctes : une étape de recherche globale (qui détermine grossièrement les solides en contact potentiels) et une étape de recherche locale (qui prend en compte les primitives de discrétisation des solides, c'est-à-dire les nœuds et les faces). Les algorithmes de détection de contact représentent une proportion importante du coût de calcul global, il est donc très souhaitable de disposer d'un algorithme de détection de contact efficace pour résoudre les problèmes de contact à forte intensité de calcul.

### Objectifs du stage :

Le (la) candidat(e) participera au développement et à l'implémentation d'un algorithme de détection de contact dans un code de calcul éléments finis. Dans la perspective de pouvoir traiter des problèmes de contact avec un grand nombre d'éléments finis et des surfaces plus ou moins régulières, l'algorithme développé devra satisfaire des contraintes d'efficacité en terme de précision, de complexité et de coût de calcul.

Les différentes phases du stage seront :

- Bibliographie sur les méthodologies et algorithmes de détection de contact.
- Sur la base de la bibliographie, définition d'un algorithme de détection de contact en 2D puis en 3D.
- Implémentation de l'algorithme dans le code développé au G2lab.
- Test et analyse de l'algorithme développé sur des objets maillés présentant des surfaces de différentes régularités.
- En fonction des résultats et de l'intérêt du (de la) candidat(e), l'étude pourra inclure une modélisation par éléments finis d'un problème de contact intégrant l'algorithme de détection développé.

### Compétences requises - Profil de l'étudiant(e) :

Le (la) candidat(e) au stage doit avoir des compétences en modélisation numérique (éléments finis). Une formation théorique en mécanique des solides n'est pas obligatoire. En outre, le (la) candidat(e) doit montrer un fort intérêt pour le développement d'outils de modélisation et code de calcul scientifique. Il (elle) doit être motivé(e) par la recherche appliquée en collaboration avec des chercheurs de différentes disciplines. Un bon niveau d'anglais et des capacités de rédaction sont demandés.

Étudiant(e) en formation en 3<sup>ème</sup> année École d'Ingénieur (Bac+5) ou Master 2 en mathématique appliquée (méthodes numériques, modélisation numérique), en mécanique, physique appliqué.

**Pré-requis :** Notion sur la méthode des éléments finis, programmation (Java, Python), notion en algorithmique.

### Informations complémentaires :

- Environnement :
  - Laboratoire : Laboratoire de Génie Électrique de Grenoble (G2Elab)
  - Equipe de recherche : MAGE - Modèles, Méthodes et Méthodologies Appliqués au Génie Électrique
  - Encadrants :
    - \* Nicolas Galopin : nicolas.galopin@univ-grenoble-alpes.fr
    - \* Jean-Michel Guichon : jean-michel.guichon@univ-grenoble-alpes.fr
  - Localisation : Bâtiment GreEn-ER - Grenoble
  - Durée du stage : de 5 à 6 mois entre Février et Juillet 2024
- Comment postuler ? Envoyer une lettre de motivation et un CV aux superviseurs.

## Internship subject M2 - PFE

# Development of a contact detection algorithm for numerical modeling of mechanical contact

**Keywords:** Finite elements, search algorithm, contact mechanics, contact detection, graph, constrained optimization, parallelization, self-contact.

---

### Context:

Mechanical contact constitutes an important class of engineering problems, for which mathematical formulation and analytical/numerical solutions face significant difficulties. Simplistic in appearance, the physics at the heart of contact interaction is particularly complex, with a multi-scale, multi-physics character. For example, at a sufficiently small scale, all technical surfaces are rough. This roughness is closely linked to the properties of the contact interaction, which determine the morphology and physics of the interface. Contact mechanics problems are therefore intrinsically non-linear (non-penetration, stress inequalities, non-differentiability), making them difficult to solve without resorting to approximate techniques. Given that experimental research on this subject can be very costly and time-consuming, and sometimes even unfeasible, the field of computational contact mechanics is a rapidly expanding field of research, requiring powerful numerical techniques capable of accurately predicting contact phenomena.

Numerical methods are widely used to solve these problems. Among these methods, the finite element method (FEM) seems to be the most widely used in deformable solid mechanics. With a formulation based on consistent energy considerations, FEM can provide accurate solutions for specific problems in contact mechanics. The general numerical treatment of the contact mechanics problem can be divided into two stages: contact detection and contact resolution. Several strategies have been proposed in the literature for the contact resolution stage. They can be distinguished by the type of discretization (e.g. nœud to nœud, nœud to face, face to face,...) and the resolution method used (e.g. penalty, Lagrange multipliers,...). Whatever the method used, the contact resolution phase is generally preceded by a detection step, whose robustness and efficiency determine the accuracy and speed of the whole resolution scheme, respectively.

Contact detection is a crucial ingredient in the numerical framework for dealing with contact problems. The main objective is to identify the bodies or finite elements likely to come into contact, i.e. to define the list of element pairs to be integrated. This is an essential algorithmic aspect of any contact formulation, which can be decomposed into two distinct sub-steps: a global search step (which roughly determines potential contacting solids) and a local search step (which takes into account the discretization primitives of solids, i.e. nodes and faces). Contact detection algorithms account for a significant proportion of the overall computational cost, so an efficient contact detection algorithm is highly desirable for solving computationally-intensive contact problems.

### **Internship objectives:**

The candidate will participate in the development and implementation of a contact detection algorithm in a finite element calculation code. In order to be able to handle contact problems with a large number of finite elements and more or less regular surfaces, the algorithm developed will have to satisfy efficiency constraints in terms of accuracy, complexity and computational cost.

The different phases of the internship will be:

- Bibliography on contact detection methodologies and algorithms.
- Based on the bibliography, definition of a 2D and 3D contact detection algorithm.
- Implementation of the algorithm in the code developed at G2lab.
- Testing and analysis of the algorithm developed on mesh objects with surfaces of different regularities.
- Depending on the results and the candidate's interest, the study may include finite element modeling of a contact problem incorporating the developed detection algorithm.

### **Required skills - Student profile:**

The candidate for the internship must have skills in numerical modeling (finite elements). Theoretical training in solid mechanics is not mandatory. In addition, the candidate must show a strong interest in the development of modeling tools and scientific calculation codes. He/she must be motivated by applied research in collaboration with researchers from different disciplines. A good level of English and good writing skills are required.

2nd year Master student or 3rd year Engineering School student in applied mathematics (numerical methods, numerical modeling), mechanics, applied physics.

**Prerequisites:** Notion of the finite element method, programming (Java, Python), notion of algorithmics.

### **Additional information:**

- Environment:
  - Laboratory: Grenoble Electrical Engineering laboratory (G2Elab)
  - Research team: MAGE - Models, Methods and Methodologies Applied to Electrical Engineering
  - Supervisors :
    - \* Nicolas Galopin: nicolas.galopin@univ-grenoble-alpes.fr
    - \* Jean-Michel Guichon: jean-michel.guichon@univ-grenoble-alpes.fr
  - Location: Building GreEn-ER - Grenoble
  - Duration of internship: 5 to 6 months between February and July 2024
- How to apply ? Send a motivation letter and CV to supervisors.