



THESE

présentée par

Ayaovi Dzifa KUDAWOO

pour obtenir le grade de **Docteur de l'Université Aix-Marseille**

École doctorale : **Sciences pour l'ingénieur : Mécanique, Physique, Micro et Nanoélectronique**

Spécialité : Mécanique des solides

Titre de la thèse :

Problèmes industriels de grandes dimensions en mécanique numérique du contact : performance, fiabilité et robustesse

Soutenance le 22 novembre 2012,
Salle de Conférences du Campus Joseph Aiguier CNRS,
Adresse : 31 Chemin Joseph Aiguier CNRS, 13009 Marseille

Jury de thèse :

Rapporteurs :

Pr Jérôme Fortin	Université de Picardie
M. Lionel Fourment	École des Mines de Paris, CEMEF, CR HDR

Examineurs :

Pr Laurent Champaney	ENSAM Paris
M. Serges Dumont	Université de Picardie, CR HDR
Pr Patrick Hild	Université de Toulouse

Encadrement de thèse :

Pr Frédéric Lebon	Université Aix Marseille
M. Mickaël Abbas	EDF R&D AMA, Ingénieur de recherche
M. Iulian Rosu	LMA CNRS, Ingénieur de recherche

Résumé

Ce travail de thèse concerne la mécanique numérique du contact entre solides déformables. Il s'agit de contribuer à l'amélioration de la performance, de la fiabilité et de la robustesse des algorithmes et des modèles numériques utilisés dans les codes éléments finis en particulier *Code_Aster* qui est un code libre développé par Électricité De France (EDF) pour ses besoins en ingénierie. L'objectif final est de traiter les problèmes industriels de grande dimension avec un temps de calcul optimisé. Pour y parvenir, les algorithmes et formulations doivent prendre en compte les difficultés liées à la mécanique non régulière à cause des lois de Signorini-Coulomb ainsi que la gestion des non linéarités dues aux grandes déformations et aux comportements des matériaux étudiés.

Le premier axe de ce travail s'est consacré à une meilleure compréhension de la formulation dite de « Lagrangien stabilisé » initialement implémentée dans le code. Il a été démontré l'équivalence entre cette formulation et la formulation bien connue de « Lagrangien augmenté ». Les caractéristiques mathématiques liées aux opérateurs discrets ont été précisées et une écriture énergétique globale a été trouvée.

Une piste de réflexion a été menée en vue de renforcer de manière faible la condition cinématique sur la normale dans la zone de contact via les techniques d'optimisation sans contraintes. La nouvelle formulation est dite de « Lagrangien augmenté non standard ».

Trois nouvelles stratégies basées sur le Lagrangien augmenté ont été implémentées. Il s'agit de la méthode de Newton généralisée : c'est une méthode d'optimisation qui permet de résoudre toutes les non linéarités du problème en une seule boucle d'itérations. La méthode de Newton partielle est une méthode hybride entre la méthode historique du code appelée méthode de point fixe et la méthode de Newton généralisée. Enfin, on a mis en place une façon originale de traiter le cyclage : ce phénomène apparaît souvent au cours de la résolution du problème et il entraîne la perte de convergence des algorithmes. La stratégie nouvelle permet d'améliorer la robustesse des algorithmes.

Mots Clefs : Éléments finis, contact-frottement, Lagrangien augmenté, Newton généralisé, cyclage, problèmes industriels, quasi-statique, régularisation dynamique

Abstract

This work deals with computational contact mechanics between deformable solids. The aim of this work is to improve the performance, the reliability and the robustness of the algorithms and numerical models set in *Code_Aster* which is finite element code developed by Électricité De France (EDF) for its engineering needs. The proposed algorithms are used to solve high dimensional industrial problems in order to optimize the computational running times. Several solutions techniques are available in the field of computational contact mechanics but they must take into account the difficulties coming from non-smooth aspects due to Signorini-Coulomb laws coupled to large deformations of bodies and material non linearities.

Firstly the augmented Lagrangian formulation called « stabilized Lagrangian » is introduced. Successively, the mathematical properties of the discrete operators are highlighted and furthermore a novel energetic function is presented.

Secondly the kinematical condition with regard to the normal unknowns are reinforced through unconstrained optimization techniques which result to a novel formulation which is so-called « non standard augmented Lagrangian formulation ».

Three types of strategies are implemented in the code. The generalized Newton method is developed : it is a method in which all the non linearities are solved in one loop of iterations. The partial Newton method is an hybrid technique between the generalized Newton one and a fixed point method. Finally, a treatment of cycling effects is implemented : some oscillations on contact point status can lead to non convergent algorithms, hence in this work a control strategy is proposed in order to improve the robustness of solutions techniques.

Keywords : Finite element, frictional-contact, augmented Lagrangian, Generalized, cyclage, industrial problems, quasi-static, dynamic regularisation