

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Monsieur Taoufik KRIFLOU

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Le Lundi 22 Mai, 2023 à 10H au Grand amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

**MODÉLISATION ET SIMULATION NUMÉRIQUE DU CHOC DE POUTRES
ÉLASTOPLASTIQUES SOUS IMPACT SPHÉRIQUE**

Devant le Jury composé de :

Président :

Pr. Saâd Charif d'Ouazzane, PES, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat (ENSMR)

Directeur de thèse :

Pr. Lahcen Azrar, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Co-Directeur de thèse :

Pr. Khalid El Bikri, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Nadia FAKRI, PES, FST de Tanger, Université Abdelmalek Essaâdi

Pr. Nor Eddine LAGHZALE, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Malika SAADAoui, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Examineurs :

Pr. Abdelhamid EL AMRI, PES, ENSEM, Université Hassan II, Casablanca

Pr. Farah ABDOUN, PH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat



Résumé : Ce travail a pour objectif l'élaboration de la modélisation et la simulation numérique par la méthode des éléments finis du problème d'impact sphérique transversal des poutres à comportement élastoplastique. Le problème d'impact de poutres a été formulé et étudié semi-analytiquement en combinant la méthode des différences finies avec la théorie de contact Hertzien et le modèle de contact de Stronge. Pour avoir un modèle de référence, le problème d'impact considéré a été principalement simulé numériquement par la méthode des éléments finis. Une méthodologie numérique permettant de tenir compte de différents modèles de contact, d'impact et plasticité a été élaborée dans le cadre de cette thèse.

La plasticité générale de la poutre a été intégrée dans le modèle semi-analytique et pour la première fois, la déformation plastique a été prédite au point d'impact et aussi aux différents points de la poutre. Les résultats de cette étude ont montré qu'avec une vitesse d'impact faible, la déformation plastique est limitée au point d'impact, alors qu'une vitesse d'impact élevée provoque une déformation plastique en flexion dans des points ailleurs que celui de l'impact.

Le modèle semi-analytique élaboré dans le cadre de cette thèse a montré une très bonne corrélation de la réponse transitoire semi-analytique à la fois avec celle éléments finis et expérimentale. Notons que les prédictions ainsi obtenues sont meilleures que celle du modèle théorique de la littérature. Il a été montré qu'une intégration numérique dans l'épaisseur de la poutre pourrait diminuer le temps de calcul. Cela a prouvé que notre approche de modélisation du problème d'impact est à la fois précise et avantageuse.

L'écroutissage a été aussi intégré dans le modèle de contact. Sept modèles de contact élastoplastique ont été sélectionnés et comparés. Il a été démontré que l'effet d'écroutissage est significatif avec des faibles et grandes vitesses d'impact et en particulier sur la force d'impact et sur l'indentation.

Il est à noter que l'écroutissage améliore de plus en plus la résistance aux chocs de la poutre. Nous avons démontré que les modèles de contact de Stronge et Christoforou et al sont les plus appropriés pour l'étude des problèmes d'impact des poutres élastoplastiques et que la durée d'impact, la vitesse de rebond et le coefficient de restitution ne sont pas influencés par l'écroutissage.

Enfin, nous avons montré que le modèle semi-analytique élaboré, peut être utilisé pour une meilleure prédiction de la réponse transitoire du problème d'impact sphérique normal des poutres élastoplastiques. La sélection du comportement réel du matériau montre une réponse structurelle plus réelle lors d'impact et qui doit être plus étudié dans l'avenir en tenant compte de la vitesse de déformation du matériau.

Mots-clés : Différences finies, Ecroutissage, Impact et contact élastoplastique, Méthode des éléments finis, Méthode Semi-analytique, Modèles de contact, Modélisation, Réponse transitoire.

Abstract: The purpose of the PhD thesis is the elaboration of mathematical modeling and numerical simulation of the transient response of the elastoplastic impact of a beam impacted by a rigid spherical mass. The impact problem has been studied semi-analytically by combining the finite difference method with Hertzian contact theory and Stronge's contact model. To have a reference model, the impact problem was mainly numerically simulated using the finite element method. A numerical methodology taking into account different models of contact, impact, and plasticity has been developed in the frame of this thesis.

The general plasticity of the beam has been integrated into the semi-analytical model, and for the first time, the plastic deformation was predicted at the point of impact and also at the different points of the beam. The results of this study showed that with a low velocity, the plastic deformation is limited to the point of impact, while a high impact velocity causes plastic deformation by bending at points other than the point of impact. The semi-analytical model elaborated herein showed a very good correlation of the semi-analytical transient response with both the finite element and experimental results, better than the theoretical model found in the literature. It has been shown that a numerical integration in the thickness of the beam could reduce the computation time. This proved that our approach to modeling the impact problem is both accurate and advantageous.

The hardening has also been integrated into the contact model, and seven elastoplastic contact models were selected and compared. We demonstrated that the strain hardening effect is significant with low and high impact velocities, especially on impact force and indentation. The integration of hardening improves the impact resistance of the beam. We demonstrated that the contact models of Stronge and Christoforou et al. are the most suitable for the study of the impact problems of elastoplastic beams. It has been shown that impact duration, rebound velocity, and coefficient of restitution are not influenced by strain hardening.

Finally, we demonstrated that the elaborated semi-analytical model can be used for a better prediction of the transient response of the normal spherical impact problem of elastoplastic beams. The selection of the true behavior of the material shows a more real structural response during impact and that needs further investigation in the future, namely the material strain rate

Keywords: Contact models, finite difference, elastoplastic contact impact, finite element method, hardening, mathematical modeling, semi-analytical method, transient response.