



HAL
open science

FER/Impact: Logiciel de simulation numérique des problèmes d'impact

Zhi-Qiang Feng, Benoit Magnain, Jean-Michel Cros

► **To cite this version:**

Zhi-Qiang Feng, Benoit Magnain, Jean-Michel Cros. FER/Impact: Logiciel de simulation numérique des problèmes d'impact. 7e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2005, Giens, France. <hal-01812969>

HAL Id: hal-01812969

<https://hal.science/hal-01812969v1>

Submitted on 12 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC0 1.0 - Universal - International License

FER/Impact : Logiciel de simulation numérique des problèmes d'impact

Zhi-Qiang Feng — Benoît Magnain — Jean-Michel Cros

Laboratoire de Mécanique et d'Énergétique d'Évry
Université d'Évry - Val d'Essonne
40, rue du Pelvoux
F-91020 Évry Cedex
{feng,magnain,cros}@iup.univ-evry.fr

RÉSUMÉ. Cette communication présente le code de calcul FER/Impact pour simuler des problèmes de contact/impact, entre solides déformables ou non, avec ou sans frottement. Ce code de calcul combine la méthode du bi-potentiel et un schéma d'intégration en temps du premier ordre. Les différentes possibilités de simulation et l'efficacité sont indiquées et illustrées par quelques exemples.

ABSTRACT. This paper presents the program FER/Impact for the modelling of contact/impact problems between deformable bodies with or without friction. This program combines the bi-potential method and a time-stepping scheme of first order. Different possibilities and the efficiency of the code are illustrated from several numerical examples.

MOTS-CLÉS : Contact, Impact, Éléments finis, Schéma implicite.

KEYWORDS: Contact, Impact, Finite element, Implicit scheme.

1. Introduction

La famille des logiciels FER (Finite Element Research), développée par le groupe MDS (Modélisation en Dynamique des Structures) du Laboratoire de Mécanique et d'Énergétique d'Évry (LMEE) permet de traiter de nombreux problèmes en mécanique des solides et des structures par la méthode des éléments finis. Récemment, un nouvel outil nommé FER/Impact a été ajouté afin de résoudre les problèmes d'impact. La résolution de ces problèmes fait apparaître deux grandes difficultés qui sont, d'une part, le problème du contact avec frottement et, d'autre part, l'intégration temporelle des équations du mouvement. Au cours des deux dernières décennies, des avancées importantes ont été accomplies dans l'analyse des problèmes de contact par la méthode des éléments finis. La méthode de pénalisation ou de régularisation est la plus couramment utilisée dans les logiciels industriels (ANSYS, RADIOSS,...) pour traiter les problèmes de contact. Mais pour ce type de méthode, les conditions de contact et les lois de frottement ne sont pas satisfaites exactement. De plus, il est délicat pour les utilisateurs de choisir le facteur de pénalité adéquat. Les expériences ont montré que ces méthodes présentent des inconvénients en ce qui concerne la stabilité et la précision numérique, en particulier pour tout ce qui touche à la simulation des phénomènes de frottement. Pour pallier ces insuffisances, une méthode du bi-potential a été développée [DES 98] et appliquée avec succès aux problèmes du contact en statique. Une extension de cette méthode à l'analyse des problèmes d'impact est proposée et décrite dans un papier "compagnon" [MAG 05]. Pour la résolution des problèmes d'impact, les schémas d'intégration du second ordre sont les plus utilisés [ARM 98]. Dans les schémas du second ordre, l'accélération est supposée constante ou alors elle varie de façon linéaire. Or, pour les problèmes d'impact, la vitesse et l'accélération ne sont pas continues en raison du changement brutal des conditions de contact (impact, rebond,...). Dans ces conditions, les algorithmes du second ordre peuvent conduire à de graves erreurs [WRO 94]. Il est possible de corriger ces problèmes [ARM 98, LOV 03], via par exemple des techniques de régularisation mais qui conduisent à des développements complexes. Une alternative consiste à employer des algorithmes du premier ordre [JEA 89, WRO 94]. Ainsi, l'algorithme implanté dans le code de calcul FER/Impact combine la méthode du bi-potential et un schéma d'intégration temporelle du premier ordre.

2. Domaines d'application de FER/Impact

Les différentes caractéristiques du code et les possibilités de simulation sont les suivantes :

- Méthode des éléments finis : formulation lagrangienne totale
- Loi de comportement : élastique linéaire ou hyper-élastique (Blatz-Ko...).
- Problèmes 2D ou 3D : différents éléments finis ont été implantés afin de pouvoir résoudre des problèmes 2D (éléments à 3 et 4 noeuds) ou 3D (élément tétraèdre à 4 noeuds et brique à 8 noeuds).

– Contact/Impact entre plusieurs solides déformables ou plusieurs solides déformables et rigides : le code incorpore une méthode automatique de détection du contact entre les solides qui nécessite simplement la définition, préalable au calcul, des zones susceptibles d’être en contact.

– Prise en compte du frottement : loi de frottement de type Coulomb (isotrope et orthotrope). Il convient d’ajouter que le contact unilatéral et le frottement sont couplés par l’intermédiaire du bi-potential. Un point essentiel de la méthode du bi-potential est que le correcteur peut être analytiquement trouvé en ce qui concerne les trois statuts possibles du contact (contact avec adhérence, pas de contact, contact avec glissement). Il est important de souligner que la formule explicite de correction est valable à la fois pour les problèmes de contact 2D et 3D avec frottement de Coulomb et permet d’obtenir des résultats très stables et précis.

– Schéma d’intégration en temps : le schéma du premier ordre (méthode du point milieu) est privilégié, mais afin de mener des études comparatives, un schéma du second ordre de type Newmark est également implanté.

3. Organisation générale du code

Le code prototype FER/Impact (environ 4 000 lignes), est principalement écrit en C++ suivant un modèle de programmation orienté objet. Les sous-programmes de calcul (factorisation, résolution de système linéaire,...) sont écrits en Fortran et exploitent les bibliothèques mathématiques optimisées (BLAS, LAPACK,...) dans un souci de performance. Le code est de plus portable puisque des simulations ont été conduites sur différents types de machines mono ou multi-processeur (station Linux, IBM SP4, SGI 3800,...). Le code est organisé de façon très modulaire, ce qui permet d’ajouter de nouvelles fonctions de manière très simple, comme par exemple l’ajout d’un schéma du second ordre, ou plus délicat la prise en compte du frottement orthotrope ou d’une loi de comportement hyper-élastique. Par ailleurs, lorsque l’on traite des problèmes faisant intervenir plusieurs solides élastiques en interaction (chocs de plusieurs billes par exemple), le parallélisme est évident, chaque bille pouvant être traitée indépendamment, l’interaction se situant uniquement sur les zones de contact. Cela s’apparente à des méthodes de décomposition de domaine. Pour le moment, l’extension des possibilités du code (nouvelles lois de comportement, nouveaux éléments) est privilégiée. Aussi, le parallélisme se limite à la construction du problème condensé sur les zones de contact.

4. Exemples d’illustration

Un petit échantillon de résultats démontre les capacités du code pour résoudre divers types de problèmes. D’autres exemples sont disponibles en téléchargement sur la page web du laboratoire [FEN 00]. Les résultats sont visualisés à l’aide du logiciel de post-traitement FER/View [FEN 04] développé également au sein du laboratoire. Dans la suite, toutes les figures représentent la contrainte équivalente de von Mises.

Le premier exemple est l'impact d'un cylindre sur un bloc de caoutchouc qui repose sur un sol rigide. Les vues prises à différents instants (figures 1 à 3) montrent que sous l'impact du cylindre le bloc se déforme et décolle du sol, le cylindre ayant quant à lui rebondi. On remarque, au passage, que les parties rigides sont maillées très grossièrement. Le second exemple (figure 4) montre des contacts multiples entre des solides déformables dont le comportement est hyper-élastique. Enfin, le dernier exemple, tiré de [LOV 03], consiste en l'impact de deux blocs 3d élastiques. Initialement les deux blocs sont distants mais ils ont leurs faces parallèles, le petit bloc est alors animé par une vitesse initiale ayant une composante normale et tangentielle. Suite au contact entre les deux solides, il s'ensuit une phase de glissement, mais le frottement entraîne le basculement du solide impacteur (figure 5).

5. Conclusion

Cette communication donne un aperçu des possibilités du code FER/Impact pour la simulation de problèmes de contact/impact avec frottement. Quelques exemples illustrent les performances de l'algorithme, notamment dans le cas de multi-contact entre solides déformables (élastiques ou hyper-élastiques).

Remerciements

Une partie des calculs a été réalisée sur les machines du CINES et de l'IDRIS.

6. Bibliographie

- [ARM 98] ARMERO F., PETOCZ E., « Formulation and analysis of conserving algorithms for frictionless dynamic contact/impact problems », *Comp. Meth. Appl. Mech. Engng.*, vol. 158, 1998, p. 269-300.
- [DES 98] DE SAXCÉ G., FENG Z.-Q., « The bi-potential method : a constructive approach to design the complete contact law with friction and improved numerical algorithms », *Mathematical and Computer Modeling*, vol. 28(4-8), 1998, p. 225-245, special issue Recent Advances in Contact Mechanics.
- [FEN 00] FENG Z.-Q., « <http://gmfe16.cemif.univ-evry.fr:8080/~feng/FerSystem.html> », 2000.
- [FEN 04] FENG Z.-Q., FENG Z., « FER/View - An interactive finite element post-processor », YAO Z.-H., YUAN M.-W., ZHONG W.-X., Eds., *Computational Mechanics, WCCM VI in conjunction with APCOM04*, Tsinghua University Press, Springer, 2004.
- [JEA 89] JEAN M., « Dynamics with partially elastic shocks and dry friction : double scale method and numerical approach », *4d Meeting on unilateral problems in structural analysis*, 1989, Capri.
- [LOV 03] LOVE G., LAURSEN T., « Improved implicit integrators for transient impact problems-dynamic frictional dissipation within an admissible conserving framework »,

Comp. Meth. Appl. Mech. Engng., vol. 192, 2003, p. 2223-2248.

[MAG 05] MAGNAIN B., FENG Z.-Q., CROS J.-M., « Extension de la méthode du bi-potentiel à l'analyse des problèmes d'impact », *7ème Colloque National en Calcul des Structures*, 2005.

[WRO 94] WRONSKI M., « Couplage du contact et du frottement avec la mécanique non linéaire des solides en grandes déformations, application à l'étude des blocs de mousses en polyuréthane », PhD thesis, UTC, 1994.

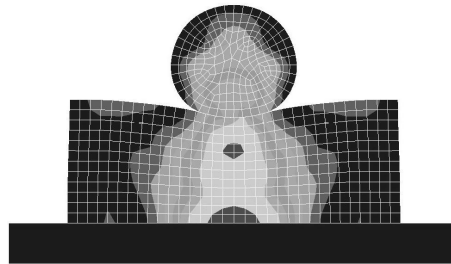


Figure 1. *Le cylindre écrase le bloc*

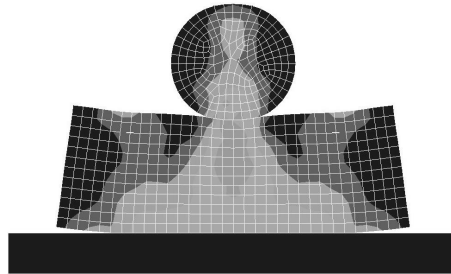


Figure 2. *Le bloc se déforme et ses extrémités décollent de la paroi*

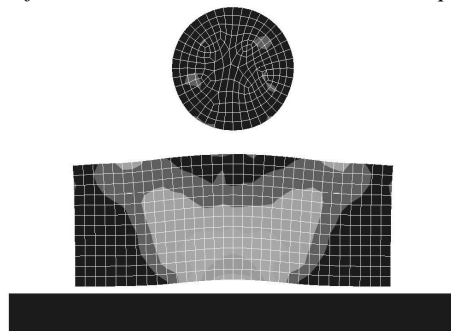


Figure 3. *Le cylindre rebondit après l'impact, le bloc décolle complètement*

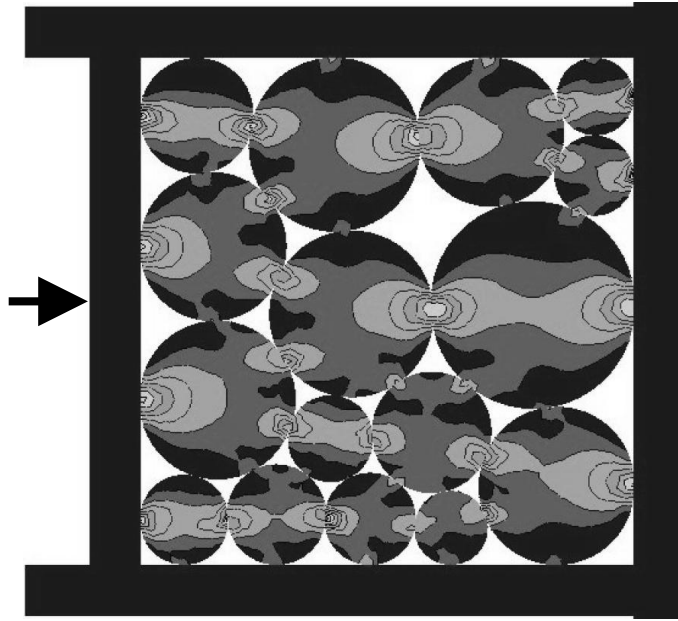


Figure 4. *Multi-contact entre solides hyper-élastiques*

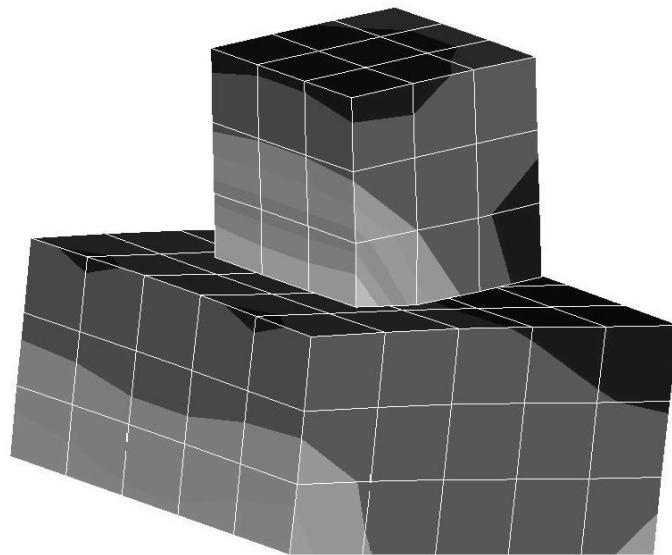


Figure 5. *Impact de deux solides élastiques 3d*