



HAL
open science

OpenFEM et la Structural Dynamics Toolbox

Etienne Balmès, Jean-Philippe Bianchi, Michel Leclère

► **To cite this version:**

Etienne Balmès, Jean-Philippe Bianchi, Michel Leclère. OpenFEM et la Structural Dynamics Toolbox. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01495596

HAL Id: hal-01495596

<https://hal.science/hal-01495596>

Submitted on 25 Mar 2017

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.

Public Domain

OpenFEM et la Structural Dynamics Toolbox

Boîte à outils Matlab/Scilab

Etienne Balmès
Jean-Philippe Bianchi
Jean-Michel Leclère

SDTools
44 rue Vergniaud
75013 Paris (France)
info@sdtools.com

RÉSUMÉ. OpenFEM (www.openfem.net) est une boîte à outils éléments finis, développée par SDTools et l'INRIA, dans les environnements de calculs matriciels MATLAB et SCILAB et est distribuée avec une licence libre de type LGPL. La Structural Dynamics Toolbox (www.sdtools.com/sdt) est un produit commercial sous MATLAB. La SDT utilise OpenFEM comme moteur de calcul élément fini, fournit des outils de pré- post-traitement intégrés et des interfaces avec de nombreux codes élément fini (NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, PERMAS, SAMCEF, etc.) et propose des extensions liées à la dynamique des structures : sous-structuration dynamique et superéléments, corrélation calcul/essai et simulations dynamiques.

ABSTRACT. OpenFEM is a finite element toolbox designed to be used within the open matrix computing environments MATLAB and SCILAB. This toolbox has been jointly developed by INRIA and SDTools and is freely distributed under the terms of the LGPL license The Structural Dynamics Toolbox is a commercial product. The SDT uses the OpenFEM finite element capabilities, provides pre- and post- post-processing tools, is interfaced to industrial FE codes (NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, PERMAS, SAMCEF, ...) and has extensions linked to dynamic substructuring, test/analysis correlation and dynamic simulation.

MOTS-CLÉS : éléments finis, logiciel libre, vibrations.

KEYWORDS: finite elements, open source software, vibrations.

1. Introduction

OpenFEM (www.openfem.net) est une boîte à outils éléments finis, développée par SDTools et l'INRIA, dans les environnements de calculs matriciels MATLAB et SCILAB (cette version n'est plus maintenue actuellement). Cette librairie est distribuée librement avec une licence de type LGPL (GNU Lesser Public License) et est une plateforme ouverte pour la recherche et l'enseignement. OpenFEM fournit des outils de génération et manipulation de modèles structurés, d'éléments multi-physiques et de post-traitement. Les derniers développements réalisés dans OpenFEM concernent une extension des formulations multi-physiques, l'introduction d'un assemblage parallèle sous OpenMP, l'introduction de cartes d'orientation matérielle pour gérer les matériaux anisotropes.

La *Structural Dynamics Toolbox* [1], est un produit commercial sous MATLAB. Cette toolbox est spécialisée en vibration des structures: calculs vibratoires et corrélation calcul/essai. SDT intègre OpenFEM comme moteur de calcul élément fini. En dehors d'outils de pré- post-traitement intégrés et d'interfaces avec de nombreux codes élément fini (NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, PERMAS, SAMCEF, etc.), la SDT propose des extensions liées à la dynamique des structures: sous-structuration dynamique et superéléments, corrélation calcul/essai et simulations temporelles. La vente de licences SDT est la principale source de financement d'OpenFEM.

2. OpenFEM un environnement ouvert pour le calcul élément fini

Manipulations de maillages

OpenFEM inclus un grand nombre de routines de génération de maillages structurés et de manipulations de maillages. Ces routines sont un aspect crucial de l'utilité de la librairie pour des utilisations sur des modèles réalistes. Des liens vers GMSH [2] et VTK [3] ont été ajoutés à l'ancienne interface vers les formats NOPO de l'INRIA et GID.

Calculs élémentaires

La librairie d'éléments d'OpenFEM distingue les topologies (lignes, surfaces 2D et 3D, volumes 2D et 3D). Pour chaque topologie, les fonctions de formes et règles d'intégration standard sont implémentées. Pour chaque famille de topologies (volumes 3D par exemple), on peut définir une formulation multiphysique, sous forme de commandes d'une fonction de propriété élémentaire, par la donnée

- de la liste des DDL en chaque noeud (jusqu'à 99),
- de la formule de construction du champ de déformation (ou équivalent multiphysique) comme combinaison des champs et de leurs gradients,

- de la manière de construire la loi de comportement à partir des constantes fournies par l'utilisateur.

Cette procédure permet un choix dynamique de la règle d'intégration, ainsi que des schémas distincts selon les champs considérés. Les formulations d'élasticité 2D et 3D, l'acoustique, le couplage fluide/structure et l'équation de la chaleur sont intégrées en standard. SDT propose par ailleurs des formulations volumes et coques piézoélectriques. Les procédures de calcul des matrices élémentaires, des seconds membres et d'assemblage sont donc compilées sous OpenFEM. Elles extrêmement performantes tout en gardant la souplesse d'une écriture en MATLAB et un accès complet au code source.

Les développements récents, concernent l'exécution de l'assemblage en parallèle sur des machines OpenMP, et l'introduction de la notion d'orientation matérielle au niveau du point d'intégration.

Pour les applications en mécanique 3D, la grande transformation en élasticité et hyperélasticité avec termes visqueux sont implémentés. Ces développements ont été réalisés pour le code Cœur de l'INRIA MACS illustrés en figure 1. Cette figure montre un modèle 3D simplifié de contraction de cœur. Les contractions du myocarde sont provoquées par des stimulations électriques. Dans le ventricule droit, la contraction est observée comme la propagation d'une onde plane (onde électrique) de la base vers haut du cœur. Cet exemple illustre la possibilité d'introduire aisément de nouvelles lois de comportement en profitant du fait que les fonctionnalités d'OpenFEM (règles d'intégration, topologies d'éléments, etc.) sont bien séparées.

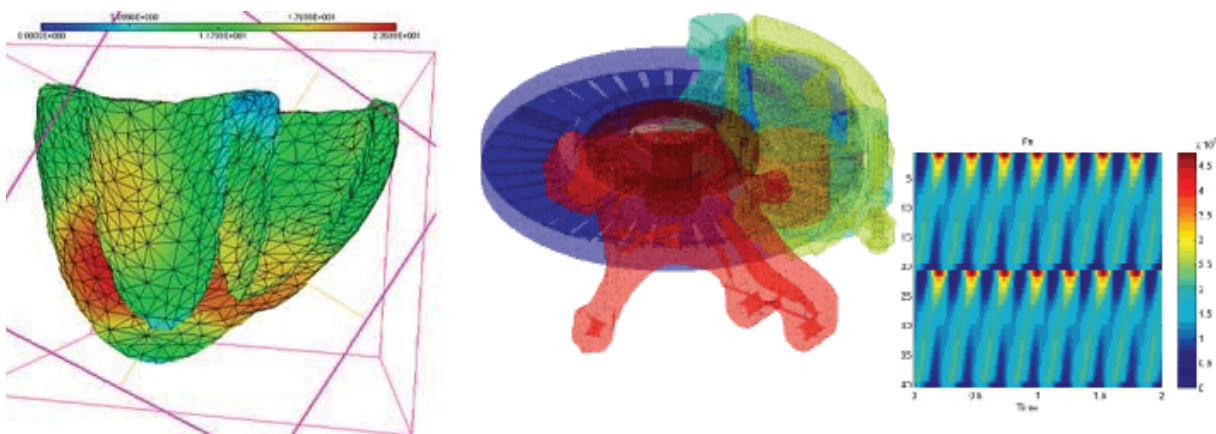


Figure 1. *Simulation cardiaque (INRIA MACS) – Simulation temporelle du contact frottement dans un ensemble de frein (SDTools, BOSCH).*

Par ailleurs un certain nombre d'éléments hérités de MODULEF sont toujours disponibles (bien qu'ils aient tous un équivalent par l'approche multiphysique

générale qui est plus rapide et permet la sélection dynamique de la règle d'intégration). Le développement d'éléments en fonction MATLAB .m restent possibles pour de nouveaux utilisateurs. Ils sont cependant sensiblement plus lents que ceux compilés. Les éléments de barres, ressorts, masses concentrées et de coques (à 3 et 4 nœuds) sont implémentés de la sorte.

Solveurs

La performance d'OpenFEM pour des modèles de grande taille repose significativement sur sa capacité à appeler des librairies de matrices creuses efficaces. L'objet `ofact` qui permet la gestion de l'allocation dynamique des matrices creuses (sparse) et leur factorisation de façon indépendante de la librairie réellement choisie. OpenFEM inclut les sources nécessaires pour lier `ofact` à PARDISO [4] qui est largement considérée comme la librairie la plus adaptée au calcul temporel ou non-linéaire itératif. SDTools propose par ailleurs des liens vers les librairies SPOOLES [5] et TAUCS [6].

L'intégration temporelle est prise en compte de manière détaillée dans `fe_time` qui implémente les solveurs de Newmark linéaires et non linéaires de façon détaillée avec en partie une gestion optimisée des sorties partielles. La pratique montre que l'implémentation du solveur en tant que fonction MATLAB n'induit pas de perte de performance par rapport à des codes entièrement compilés (le résultat étant plus lisible il est souvent plus optimisé et donc même plus rapide). La figure 1 illustre ainsi un résultat de simulation temporelle de contact/frottement réalisé en utilisant le schéma de Newmark implicite d'OpenFEM. La simulation de 250 000 pas de temps faisant intervenir deux surfaces de contact est réalisé en 4 h. La flexibilité d'OpenFEM a permis d'étudier rapidement la stabilité des schémas d'intégration par des méthodes de pénalisation et de multiplicateurs de Lagrange, aussi bien en implicite qu'en explicite.

Une mise en forme de l'utilisation d'ARPACK est le seul solveur fourni pour les calculs vibratoires.

3. La Structural Dynamics Toolbox

La *Structural Dynamics Toolbox* est un produit commercial qui permet de financer la forte implication de SDTools dans le développement d'OpenFEM. Cette boîte à outils fournit par ailleurs un certain nombre d'extensions à OpenFEM :

Des interfaces graphiques intégralement accessibles par programme. L'interface `feplot` gère la visualisation des modèles, les chargements, les conditions aux limites, l'animation de réponses et le lancement de calculs. L'interface `iipplot` gère la visualisation et les traitements de réponses calculées et mesurées.

Des solveurs spécialisés dans le domaine de la dynamique des structures (calculs de valeurs propres, synthèse modale, gestion de superéléments, symétrie cyclique...).

L'outil logiciel DYNVOIE, développé sous SDT pour la SNCF (figure 2), permet la prise en compte du comportement dynamique couplé véhicules ferroviaires et des voies en présence de défauts de voie ou de forme des roues. L'objectif de cet outil est d'améliorer la compréhension du comportement de voies grande vitesse pour de grand nombre de circulations. Cet outil utilise les superéléments paramétrés SDT pour gérer des modèles réduits de tranche (avec non-linéarité de semelle) et le solveur de modes périodiques pour générer la base de réduction. Les capacités récentes d'assemblage de modèles avec liaisons internes après renumérotation ont par ailleurs permis de mettre en place une approche de constitution de la voie dans des bibliothèques de modèles de voies, blochets et rails.

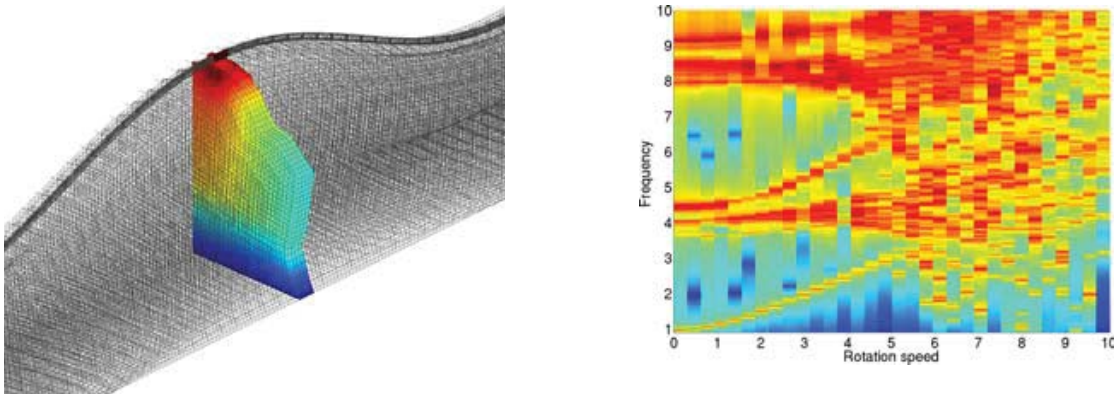


Figure 2. DYNVOIE un outil pour la simulation d'interaction voie/véhicule (SNCF/SDTools) Evolution avec la vitesse de rotation de la réponse forcée d'un disque aubagé (MSSMat/SNECMA).

FEMLink permet d'importer et d'exporter des modèles vers les formats NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, universel, SAMCEF, PERMAS.

Un environnement complet pour l'**analyse modale** expérimentale et la **corrélation calcul/essai**. La figure 3 illustre ainsi les modèles utilisés pour la corrélation lors d'essais sur la plateforme HYDRA de l'ESA/ESTEC et ainsi que des résultats de calculs et d'essais sur une poutre en nid d'abeille munie d'actionneur piézoélectriques modélisée sous SDT.

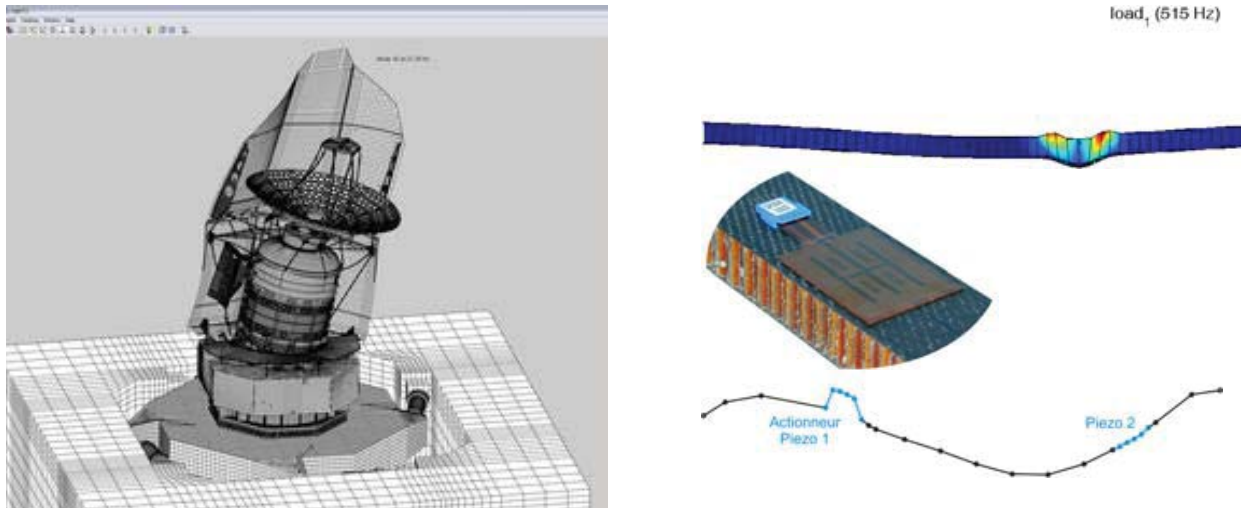


Figure 3. *Modèle couplé plateforme/satellite pour simulation d'essai (ESA/ESTEC)-Corrélation calcul/essai d'une poutre en nid d'abeille avec actionneurs piézo-électriques (MSSMat/ONERA).*

4. Bibliographie

- [1] Balmès E., Leclère J.-M., Structural Dynamics Toolbox- FEMLink, User's Guide Version 5.2, 2005.
- [2] Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities, <http://www.geuz.org/gmsh/>
- [3] VTK: the Visualization ToolKit, <http://www.vtk.org/>
- [4] PARDISO libraries, <http://www.computational.unibas.ch/cs/scicomp/software/pardiso>
- [5] SPOOLES 2.2, <http://netlib.bell-labs.com/netlib/linalg/spooles/spooles.2.2.html>
- [6] TAUCS, a C library of sparse linear solvers, <http://www.tau.ac.il/~stoledo/taucs>