



**HAL**  
open science

## Logiciel MULTI: les applications multi-domaines, multiéchelle et multirésolution de la méthode LATIN

Jérémie Bellec, Damien Violeau, Alain Caignot

### ► To cite this version:

Jérémie Bellec, Damien Violeau, Alain Caignot. Logiciel MULTI: les applications multi-domaines, multiéchelle et multirésolution de la méthode LATIN. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01413604

**HAL Id: hal-01413604**

**<https://hal.science/hal-01413604v1>**

Submitted on 10 Dec 2016

**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 Attribution 4.0 International License

# Logiciel MULTI : les applications multi-domaines, multiéchelle et multirésolution de la méthode LATIN

J. Bellec<sup>12</sup>, D. Violeau<sup>12</sup>, A. Caignot<sup>12</sup>

<sup>1</sup> LMT-Cachan (ENS Cachan/CNRS/UPMC/PRES Universud Paris)  
61, avenue du Président Wilson, F-94235 Cachan cedex, France  
bellec@lmt.ens-cachan.fr

<sup>2</sup> Structure Computation, société en création  
61, avenue du Président Wilson, F-94230 Cachan, France

---

**Résumé** – Le logiciel MULTI, présenté ici, mutualise une partie des développements méthodologiques effectués au LMT-Cachan depuis plusieurs années. Des exemples d'application concrets, basés sur l'application de la méthode LATIN et du formalisme de décomposition de domaine qui lui est régulièrement associé, mettent en relief les performances de ce logiciel de calcul sur des problématiques industrielles.

**Mots clés** – Méthode LATIN, multi-domaine, multiéchelle, multirésolution.

---

## 1 Introduction

Les contraintes auxquelles sont soumis les acteurs industriels de la construction mécanique les poussent à revoir l'équilibre entre les essais et les calculs, et à donner une part plus importante à la simulation numérique. Ce glissement vers le « virtual testing » implique une forte évolution des outils de simulation, et des méthodes de calcul qui doivent permettre une modélisation beaucoup plus précise de la réalité :

- modélisation d'assemblages complets avec des liaisons complexes ;
- prise en compte de l'influence du comportement de la microstructure sur le comportement globale de la structure ;
- prise en compte de l'ensemble des variabilités observées sur des structures réelles...

Un certain nombre de laboratoires développent ce type de méthodes depuis plusieurs années, et certaines de ces méthodes ont aujourd'hui atteint un seuil de maturité suffisant du point de vue de la recherche. L'enjeu est maintenant de mutualiser ces développements méthodologiques sur des logiciels qui doivent eux mêmes répondre à d'autres contraintes :

- optimiser l'utilisation des calculateurs à architectures parallèles ;
- permettre l'intégration de nouvelles méthodes de calcul.

Depuis plusieurs années maintenant, le LMT-Cachan a entrepris cette démarche en développant, d'une part, une plate-forme regroupant des outils d'analyse numérique programmés dans un formalisme adapté aux calculateurs modernes, et d'autre part, des logiciels « métier » dédiés à la résolution de problèmes mécaniques spécifiques. La plate-forme est présentée dans ce colloque par Hugo Leclerc sous le titre suivant : « *Adaptation automatique de codes de calcul mécanique pour matériels hétérogènes* ». Dans cet article nous allons présenter un des logiciels « métier », appelé MULTI, basé sur l'utilisation de la méthode LATIN et ses développements.

## 2 Présentation du logiciel MULTI

Parmi l'ensemble des développements réalisés autour de la méthode LATIN, ce logiciel permet aujourd'hui de mettre en oeuvre les points suivants :

- Le formalisme de décomposition de domaine sans recouvrement, avec sous structures et interfaces, associé à la méthode LATIN et décrit dans [1].
- La technique LATIN-multiéchelle (micro/macro) décrite dans [2], [3].
- Les points P1 et P2 de la LATIN, à savoir :
  - P1, la séparation des équations en deux groupes :  $A_d$  regroupant l'ensemble des équations linéaires, éventuellement globales, et  $I$  regroupant l'ensemble des équations locales, éventuellement non linéaires.
  - P2, la technique de résolution itérative permettant de converger vers la solution exacte en calculant alternativement une solution vérifiant les équations du groupe  $A_d$ , associées à une direction de recherche  $E^+$ , et une solution vérifiant les équations du groupe  $I$  associées à une direction de recherche  $E^-$  (voir [1]).
- La prise en compte des variations des paramètres de chargement, des paramètres matériaux, et aussi des petites variations géométriques au niveaux des liaisons (jeu, usure, défauts de forme...) grâce à leur description analytique dans le comportement des interfaces.
- La LATIN-multirésolution, présentées dans [4] et [5], qui permet d'optimiser fortement le coût d'une série de calculs paramétriques en se basant sur les points suivants :
  - une seule mise en donnée au début de la première résolution ;
  - réinitialisation de la solution de la résolution  $n$  à partir de la solution de la résolution  $n-1$  ;
  - conservation des opérateurs constants d'une résolution à l'autre.
- La vérification globale des calculs basée sur l'utilisation de l'erreur en relation de comportement...

Dans la suite, plusieurs exemples d'applications concrets sont présentés pour illustrer ces développements et donner des indications sur les performances obtenues par le logiciel MULTI.

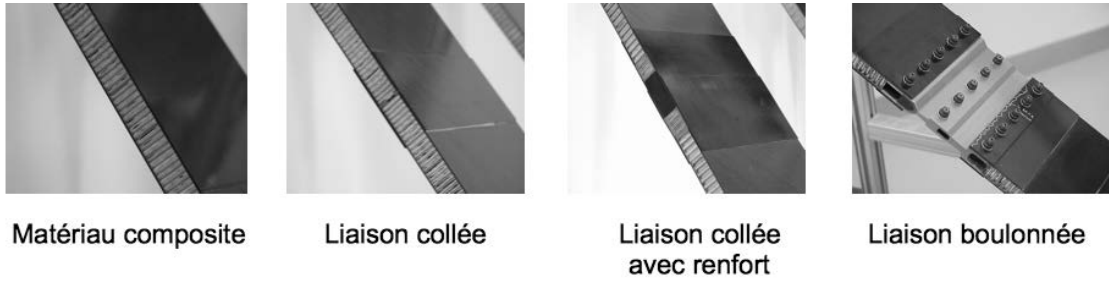
## 3 Applications

Nous avons choisis trois applications mettant en valeur les compétences principales proposées par MULTI :

- calcul d'assemblages complexes avec de nombreuses liaisons :
  - multiplicité des comportements de liaison (contact, parfaite, jeux...)
  - application de précharges et de jeux.
- calcul d'échantillons de matériaux évolués à l'échelle de la microstructure :
  - calcul multiéchelle
  - calcul massivement parallèle
- prise en compte de faibles variations géométriques au niveau des liaisons
  - calculs paramétriques utilisant la multirésolution
  - modélisation analytique des petites variations géométriques

### 3.1 Calcul d'assemblages complexes

Cette première application, tirée de [7], concerne l'étude de l'amortissement dans les liaisons du lanceur Ariane 5. L'exemple traité ici concerne les liaisons du module SYLDA 5, qui permet de lancer deux satellites lors d'un même tir. Le SYLDA 5 est composé de panneau en matériau composite (peaux en carbone stratifié et âme en nid d'abeille d'aluminium). Ces différents panneaux sont reliés entre eux par différentes liaisons :



Cet assemblage présente donc une géométrie complexe avec des comportements d'interface particuliers. Différents essais sur cette liaison ont montré que l'amortissement se concentrait essentiellement dans les liaisons boulonnées (qui ont un comportement fortement non-linéaire) et qu'il variait fortement en fonction du nombre de cycle (effet de rodage). L'objectif de ce problème est donc de représenter finement les liaisons boulonnées afin de déduire leur contribution à l'amortissement par le calcul.

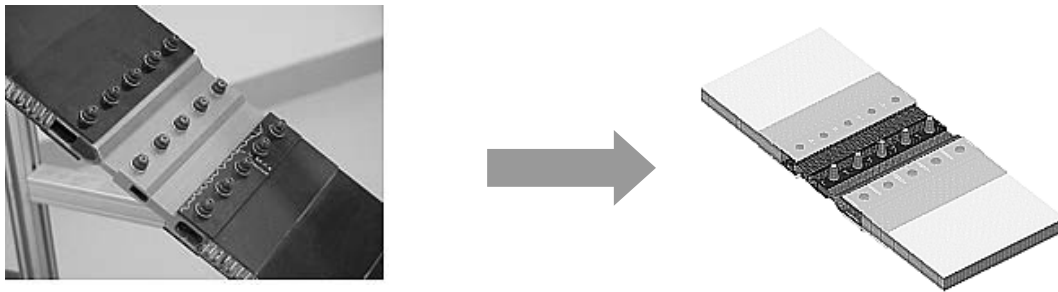


Figure 1 - modélisation de l'ensemble de la liaison boulonnée

Chaque boulon est représenté de la manière suivante :

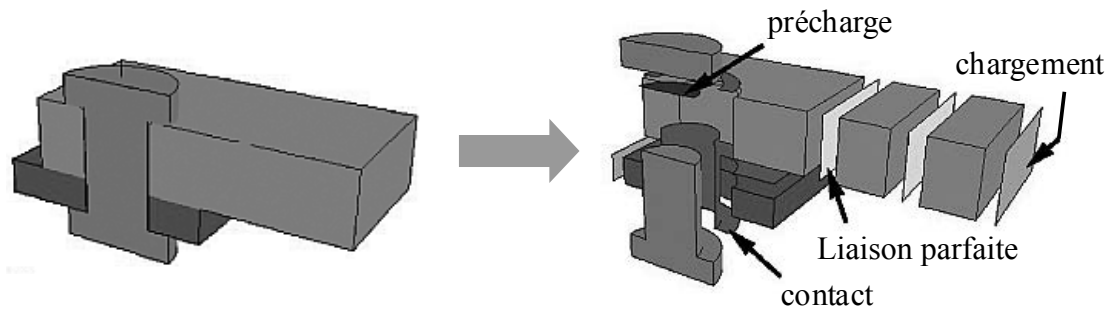


Figure 2 - modélisation de chaque boulon

Les caractéristiques du problème numérique obtenu sont les suivantes :

- 320 000 degrés de liberté ;
- parallélisation des calcul sur 7 processeurs ;
- calcul quasistatique avec 1302 pas de temps ;
- temps de calcul : environ une journée.

### 3.2 Calcul à l'échelle de la microstructure

Cet exemple, tiré de [6], représente l'étude de l'évolution des dégradations dans une éprouvette composite stratifiée bi-entallée  $[0/90]_s$  en traction.

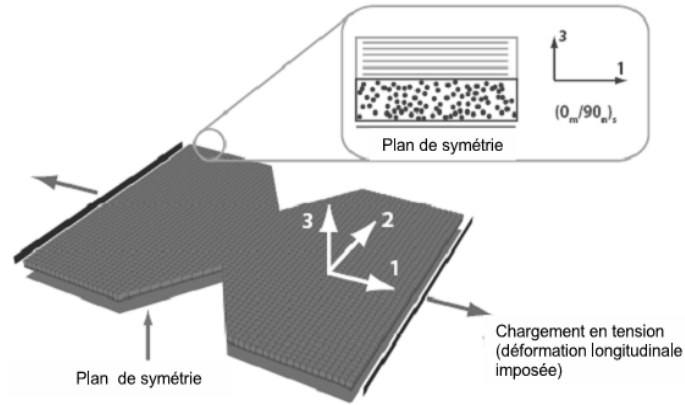


Figure 3 – éprouvette

Le maillage réalisé sur cette éprouvette est basé sur la microstructure réelle du matériaux composite considéré. Toutes les micro-surfaces potentiellement cassables sont représentées avec des comportements différents selon leur orientation vis à vis des fibres.

Les caractéristiques du problème numérique obtenu sont les suivantes :

- 10 millions de degrés de liberté ;
- 20 000 surfaces endommageables (comportement cohésif avec prise en compte du contact avec frottement une fois la surface rompue) ;
- calcul quasistatique avec 300 pas de temps ;
- temps de calcul inférieur à 3 jours.

Les résultats obtenus par ce calcul ont été comparés aux résultats d'essais sur la même éprouvette. Cette comparaison essais-calculs est illustrée sur la figure suivante :

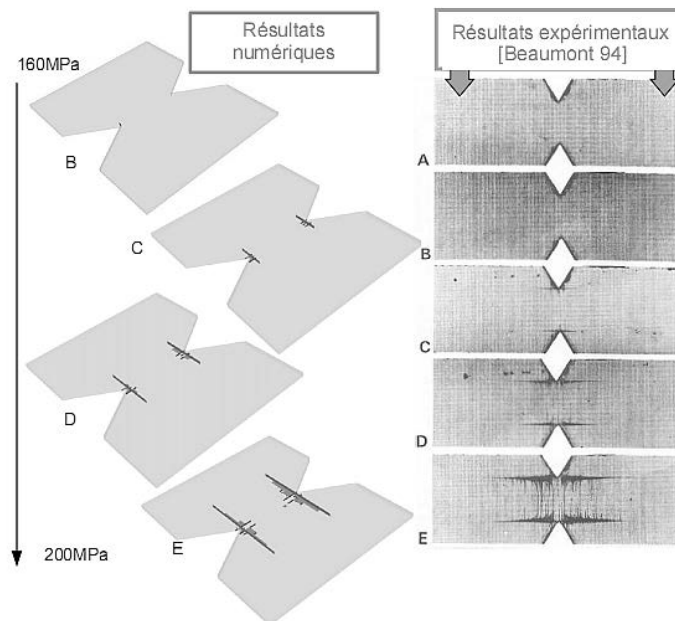


Figure 4 – éprouvette

### 3.3 Prise en compte de la variabilité

La complexité et la multitudes des modes de fabrication, des conditions d'utilisation ou des chargements sur les structures réelles nous obliges à prendre en compte les variations d'un nombre toujours plus grand de paramètres dans les calculs. Ceci particulièrement sur les assemblages complexes ou les liaisons constituent des zones sensibles et mal connues.

Ce dernier exemple, tirée de [8], détaille l'étude du comportement de l'assemblage entre une aube de turbine HP et le disque en liaison avec l'arbre de rotation du moteur. Nous regardons les variations de la contrainte maximale en fonction des variations de l'usure de la couche de lubrifiant solide déposée sur le pied de l'aube.

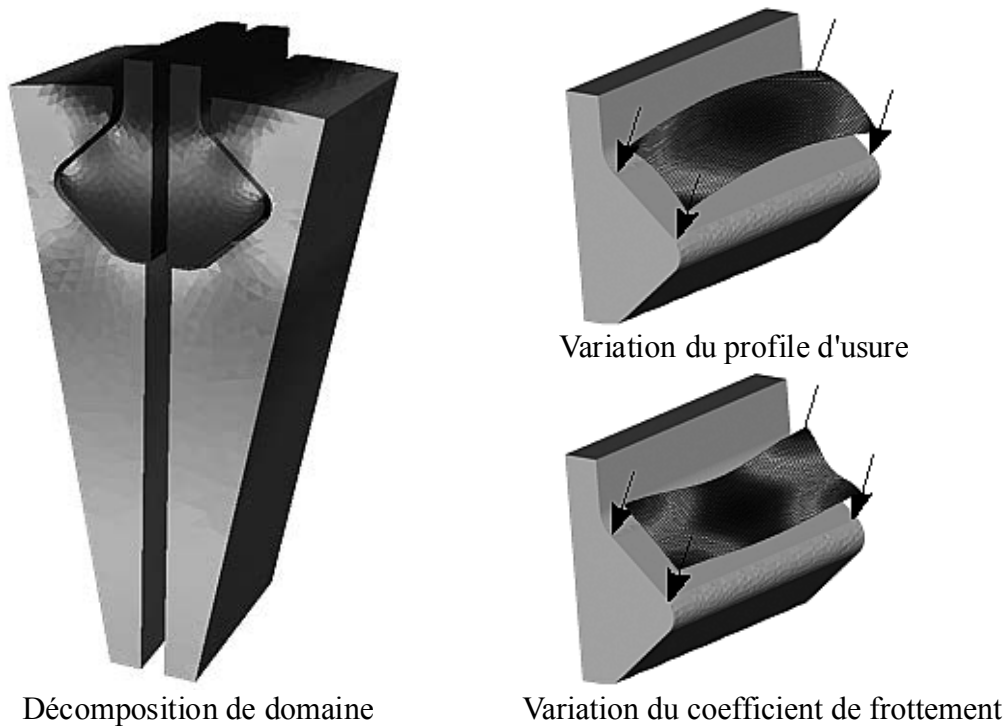


Figure 5 – Assemblage aube-disque

Le calcul a été effectué avec quatre paramètres variables représentatif de l'usure aux extrémités de la surface de contact. Ce calcul a permis d'estimer la loi de répartition de la contrainte maximale de Von Mises au niveau des zones de plus forte courbure du disque :

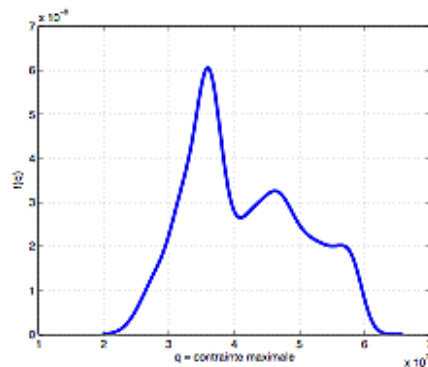


Figure 6 – loi de répartition de la contrainte maximale

## 4 Conclusion

Cet article vous a présenté le logiciel MULTI développé par plusieurs doctorants successifs du LMT-Cachan. Ce logiciel mutualise aujourd'hui un grand nombre de développements, effectués dans ce laboratoire, autour de la méthode LATIN. Il permet de résoudre un grand nombre de problèmes particulièrement complexes comme ceux que nous avons cités précédemment.

Ce logiciel a entre autres avantages :

- permettre la capitalisation des recherches et l'obtention de résultats plus marquants ;
- offrir un outils de développement performants avec des sources accessibles pour les nouveaux doctorants.

Le développement de ce logiciel a bien sûr demandé un effort supplémentaire de la part des doctorants, mais le résultats, après cinq ans, semble à la hauteur des ambitions initiales pour le LMT-Cachan. Il permet d'envisager de nouvelles perspectives de recherche, et d'accélérer le transfert de technologie vers l'industrie.

## Références

- [1] P. Ladevèze. *Nonlinear Computational Structural Mechanics -- New Approaches and Non-Incremental Methods of Calculation*, Springer Verlag, 1999.
- [2] P. Ladevèze, A. Nouy. On a multiscale computational strategy with time and space homogenization for structural mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3061-3087, 192, 2003.
- [3] P. Ladevèze, O. Loiseau, D. Dureisseix. A micro-macro and parallel computational strategy for highly heterogeneous structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 121-138, 52, 2001.
- [4] L. Champaney, P. A. Boucard, S. Guinard. Adaptive multi-analysis strategy for contact problems with friction. *Computational Mechanics*, 305—315, 42, 2007.
- [5] L. Champaney. Approche multirésolution pour l'étude paramétrique d'assemblages par contact et frottement. *Revue Européenne des Eléments Finis*, 437-448, 13, 2004
- [6] D. Violeau. *Une stratégie de calcul pour l'analyse à l'échelle micro des endommagements jusqu'à rupture des composites stratifiés*. PhD thesis, LMT-Cachan, 2007.
- [7] A. Caignot. *Prédiction par essais virtuels de l'amortissement dans les structures spatiales*. PhD thesis, LMT-Cachan, à paraître.
- [8] J. Bellec. *Prise en compte de la variabilité dans le calcul de structures avec contact*. PhD thesis, LMT-Cachan, 2008.