

TITRE	Modélisation numérique pour l'étude des produits minces sous chargements complexes
Acronyme du projet	
Modalités d'encadrement, de suivi de la formation et d'avancement des recherches du doctorant	Thèse Mines ParisTech
Objectif général	Le but principal de cette thèse est d'améliorer les capacités de Forge à modéliser des produits minces. Le premier levier sera l'utilisation des lois de comportement mieux adaptées à l'anisotropie des matériaux et ce pour des trajets de chargement non proportionnels complexes.
Contexte	<p>La mise en forme de produits minces occupe aujourd'hui une grande place dans l'industrie. Ce type de produit est utilisé pour fabriquer une grande variété des pièces dans les secteurs les plus actifs de l'industrie aéronautique, automobile, énergétique ou du bâtiment.</p> <p>Quelque soit le secteur visé, les objectifs de réductions des coûts et du poids sont prépondérants et conduisent à une diminution systématique des épaisseurs. On constate ainsi que la mise en forme de ces produits, à chaque fois plus minces, pose des difficultés liées à l'apparition de zones d'endommagement. La maîtrise de ces procédés de mise en forme passe par une meilleure compréhension du comportement plastique du matériau (fortement anisotrope) et de l'endommagement qui en découle. La simulation numérique devient ainsi un outil incontournable.</p> <p>Le logiciel Forge, dédié à la modélisation des matériaux soumis à de grandes déformations plastiques, est un logiciel leader dans le domaine de la mise en forme des produits massifs, et ce notamment grâce à un remaillleur automatique performant. Les fonctionnalités actuellement présentes dans Forge limitent cependant son utilisation pour la modélisation des produits minces. En effet, la représentation de produits minces à l'aide d'éléments volumiques tétraédriques nécessite le développement de méthodes numériques adaptées pour une bonne maîtrise du temps de calcul et une gestion efficace du contact. De plus, de telles applications nécessitent d'intégrer des lois de comportement avancées (écrouissages cinématiques, critères anisotropes, modèles d'endommagement dédiés ...) pour modéliser avec précision l'apparition potentielle de zones de striction ou de rupture ou pour prédire correctement les retours élastiques.</p> <p>Cette thèse vise à améliorer les capacités de Forge à modéliser la mise en forme des produits minces et ce pour des trajets de</p>

Présentation détaillée
avec si possible figure(s)

chargement non proportionnels complexes.

Une des raisons pour lesquelles les simulations numériques ne sont pas capables de prédire ces zones d'endommagement est liée à la complexité des trajets de chargement imposés à ces pièces. Cette complexité demande une très bonne représentation de la réponse plastique du matériau dont l'anisotropie doit être prise en compte de manière précise.

Le but principal de cette thèse est d'améliorer les capacités de Forge à modéliser des produits minces. Le premier levier sera l'utilisation des lois de comportement mieux adaptées à l'anisotropie des matériaux et ce pour des trajets de chargement non proportionnels complexes.

Ces lois de comportement anisotropes seront implémentées dans une bibliothèque externe qui sera couplée à un solveur mécanique dans Forge. Ce type d'approche donne une plus grande flexibilité pour l'implémentation de nouvelles lois de comportement et permet de séparer la structure des données éléments finis des aspects purement liés aux lois de comportement. Le candidat devra donc avoir un goût prononcé pour le **développement numérique dans cadre du calcul parallèle en C++ et Fortran.**

Ce couplage nécessite le développement d'une formulation éléments finis adaptée ; le candidat développera une maîtrise avancée des méthodes éléments finis.

Avec les nouvelles lois de comportement anisotrope intégrées dans Forge, le projet s'orientera vers l'amélioration des techniques de modélisation de la mise en forme de produits minces. Pour ce faire, **l'application des techniques d'adaptation de maillage anisotrope sera utilisée pour minimiser le temps de calcul requis.**

L'impact de l'adaptation de maillage anisotrope et des méthodes pour la gestion du contact dans le cadre de la formulation éléments finis développée sera également étudié. Les développements réalisés dans cette thèse donneront lieu à des publications dans des revues internationales reconnues ainsi qu'à des participations à des conférences internationales dans le domaine de la mécanique numérique. Des collaborations avec l'Université de Rosario (Argentine) et l'Université Catholique de Santiago (Chili) sont prévues.

Réf. bibliographiques

Objectifs de valorisation
des travaux de recherche
du doctorant

Publications et Conférences

Outils

Programmation en C++ et Fortran -- Forge

Mots-clé	<i>Anisotropie – Adaptation de maillage – Programmation en C++ et Fortran – Méthode des éléments finis</i>
Type projet/ collaboration	Thèse financée par CEMEF Mines ParisTech
Profil & compétences	Diplômé d'une école d'ingénieur ou titulaire d'un Master2, le candidat devra posséder des compétences en mécanique numérique, programmation en C++ et Fortran, comportement mécanique non linéaire des matériaux métalliques et en métallurgie . Il devra également présenter un goût prononcé pour le développement numérique, la programmation et le calcul intensif. Des connaissances dans le domaine de l'anisotropie plastique des matériaux sont souhaitables. Son dynamisme, sa rigueur, sa capacité à travailler en équipe dans un contexte multidisciplinaire et ses compétences en anglais seront également des qualités importantes pour la sélection.
Lieu	Cette thèse aura lieu au laboratoire Cemef de Mines ParisTech à Sophia-Antipolis. Le Cemef propose un environnement scientifique de renommée internationale qui permettra au candidat de collaborer avec des partenaires académiques de premier plan.
Equipe(s) de recherche	Computational Solid Mechanics (CSM) au CEMEF,
Encadrant / Dir. de thèse	Daniel Pino Munoz (daniel.pino_munoz@mines-paristech.fr) Pierre-Olivier Bouchard (pierre-olivier.bouchard@mines-paristech.fr) Katia Mocellin (katia.mocellin@mines-paristech.fr) François Bay (francois.bay@mines-paristech.fr)
TITLE	Numerical modeling of thin products forming under complex loads
Project acronym	
Global objective of work	The main purpose of this thesis is to improve the capabilities of Forge to model thin products. The first challenge to rise will be related to the development of constitutive laws adapted to reproduce the anisotropy of materials under complex non-proportional loading paths.
Context	Thin products forming into complex shapes is getting more and more important in the industry. This type of product is used to manufacture a wide variety of parts in the most active sectors of the aerospace, automotive, energy or building industry. Whatever the sector targeted, the objectives of cost and weight reductions are preponderant and lead to a systematic decrease in thickness. We note that the shaping of these products, each time thinner, rises difficulties related to damage and failure issues. A better control of these forming processes involves a better understanding of the plastic behavior of the material (highly anisotropic) and the related damage process. Numerical simulations become an essential tool. The Forge software, dedicated to the modeling of materials subjected to large plastic deformations, is a leading software in the field of bulk forming, thanks in particular to an efficient automatic remesher. The features currently present in Forge, however, limit its use for modeling

thin products. Indeed, the representation of thin products using tetrahedral bulk elements requires the development of numerical methods adapted to improve the computational time and the contact detection/resolution techniques. In addition, such applications require the integration of advanced constitutive laws (kinematic hardening, plastic anisotropy, dedicated damage models, etc.) to accurately reproduce the potential initiation of zones of necking, rupture or to correctly predict springback.

This thesis aims to improve Forge's ability to model the forming of thin products under complex non-proportional loading paths.

Detailed presentation with figure(s)

One of the reasons why numerical simulations are not able to predict these areas of damage is related to the complexity of loading paths imposed on the material. This complexity requires a very good representation of the plastic response of the material whose anisotropy must be taken into account precisely.

The main purpose of this thesis is to improve the capabilities of Forge to model thin products. The first challenge to rise will be related to the development of constitutive laws adapted to reproduce the anisotropy of materials under complex non-proportional loading paths.

These anisotropic behavior laws will be implemented in an external library that will be coupled to a mechanical solver in Forge. This type of approach improves the flexibility in order to develop new constitutive laws and it also allows to separate the finite element data structure from the rheological behavior of the material. The candidate will have to be particularly interested in numerical **development within a parallel computing framework in C++ and Fortran.**

This coupling requires the development of a suitable finite element formulation; the candidate will develop advanced skills related to finite element methods.

With the new constitutive laws of anisotropic behavior integrated in Forge, the project will move towards the improvement of the modeling techniques of thin products forming. To this end, **the application of anisotropic mesh adaption techniques will be used to minimize the required computational time.** The impact of anisotropic mesh adaption and contact techniques as part of the developed finite element formulation will also be studied.

The developments in this thesis will result in publications in recognized international journals as well as participation in international conferences in the field of computational mechanics. Collaborations with the University of Rosario (Argentina) and the Catholic University of Santiago (Chile) are planned.

Tools C++ and Fortran Programming – Forge

Key-words Anisotropy – Mesh adaption – C++ and Fortran programming – Finite elements method

Project type/ cooperation PhD funded by CEMEF (Mines ParisTech)

Skills, abilities requested

Degree: MSc or MTech in Metallurgy, Materials Science, Non-linear Solid Mechanics, with excellent academic records. Skills: Computational mechanics, C++ and Fortran programming, non-linear mechanics of materials and metallurgy. The candidate should be particularly interested in programming and numerical modeling and knowledge of plastic material anisotropy would be appreciated. Ability to work with multi-disciplinary teams is also a must.

Location

The PhD will be done at CEMEF at Sophia Antipolis (South East of France).

CEMEF team(s)

Computational Solid Mechanics (CSM) at CEMEF.

Supervisor(s)

Daniel Pino Munoz (daniel.pino_munoz@mines-paristech.fr)
Pierre-Olivier Bouchard (pierre-olivier.bouchard@mines-paristech.fr)
Katia Mocellin (katia.mocellin@mines-paristech.fr)
François Bay (francois.bay@mines-paristech.fr)