

## Club des Utilisateurs du code Z-set

**4 février 2014**  
**Onera, Châtillon**

9h30 Accueil autour d'un café

10h Quelques rappels sur la formulation des lois de comportement en transformations finies.  
Samuel Forest, Centre des Matériaux - Mines ParisTech.

10h50 Comportements et éléments grandes déformations dans Z-set.  
Jacques Besson, Centre des Matériaux - Mines ParisTech.

11h40 Dilatation plastique dans les polymères semi-cristallins. Applications industrielles avec des éléments "grandes transformations" dans Z-set.  
Lucien Laiarinandrasana, Centre des Matériaux - Mines ParisTech.

12h15 Déjeuner

13h20 Homogénéisation en grandes déformations et applications aux matériaux cellulaires.  
Alexandre Iltchev, Onera.

13h50 Construction de modèles objectifs pour des matériaux viscoélastiques en transformations finies avec la dérivée de Lie et un formalisme 4-D.  
Emmanuelle Rouhaud, UTT.

14h50 Remaillage en grandes déformations.  
Sylvia Feld-Payet et Vincent Chiaruttini, Onera.

15h30 Discussions autour d'un café.



## RÉSUMÉS

### **Quelques rappels sur la formulation des lois de comportement en transformations finies**

Samuel Forest

Centre des Matériaux - Mines ParisTech, Samuel.Forest@mines-paritech.fr


On rappellera brièvement les mesures de déformations et de contraintes utilisées dans ce contexte, et deux façons d'introduire les déformations plastiques, à savoir les approches basées sur l'écriture des lois en référentiel local objectif, d'une part, et celles ayant recours à une décomposition multiplicative du gradient de la transformation, d'autre part. Dans le premier cas, on illustrera le lien avec la notion de dérivation objective en indiquant les cas programmés dans Z-set. Au passage, on rappellera que la formulation des lois se fait en deux temps, à savoir en veillant au respect du principe d'isotropie de l'espace, d'une part, et au respect des symétries matérielles, d'autre part.

### **Comportements et éléments grandes déformations dans Z-set**

Jacques Besson

Centre des Matériaux - Mines ParisTech, Jacques.Besson@mines-paritech.fr

Point sur les fonctionnalités grandes déformations dans Z-set.




## **Homogénéisation en grandes déformations et applications aux matériaux cellulaires.**

A. Iltchev<sup>1</sup>, V. Marcadon<sup>1</sup>, S. Kruch<sup>1</sup>, B. Langrand<sup>2</sup>, S. Forest<sup>3</sup>

(1) Onera Châtillon, (2) Onera Lille, (3) Centre des Matériaux - Mines ParisTech


L'étude d'un matériau cellulaire périodique sous chargements sévères est présentée. Le matériau est réduit à sa cellule unitaire sur laquelle est appliquée l'homogénéisation périodique en grandes déformations. La méthode est décrite ainsi que son utilisation dans le cadre de Z-set. Le traitement et les transports des grandeurs macroscopiques des contraintes et de déformation sont discutés. Les résultats de modélisation pour un matériau adoucissant sont présentés pour des chargements multi-axiaux pour finalement parler des perspectives d'identification de lois homogènes équivalentes.



## **Dilatation plastique dans les polymères semi-cristallins. Applications industrielles avec des éléments “grandes transformations” dans Z-set**

L. Laiarinandrasana  
Centre des Matériaux - Mines ParisTech,  
Lucien.Laiarinandrasana@mines-paritech.fr

Les mécanismes de déformation observés à travers l'évolution de la microstructure (MEB, Tomographie, Laminographie) de certains polymères semi-cristallins montrent d'importante cavitation. Cette dernière se décline en une véritable variation de volume irréversible dénotée également dilatation plastique dans la littérature. L'exposé retrace l'historique des collaborations avec des industriels pour à des fins de dimensionnement et/ou de durabilité des structures en polymères. Quelques exemples de calculs numériques utilisant des modèles plastiques poreux avec les éléments formulés en grandes transformations dans Z-set sont fournis. Dans ces réalisations, les difficultés rencontrées dans la mise en oeuvre numérique seront discutées. Enfin, les perspectives concernant l'anisotropie constatée de ces cavités sont abordées.



## Construction de modèles objectifs pour des matériaux viscoélastiques en transformations finies avec la dérivée de Lie et un formalisme quadri-dimensionnel

O. Ameline<sup>1</sup>, G. Altmeyer<sup>1</sup>, E. Rouhaud<sup>1</sup>, B. Panicaud<sup>1</sup>, M. Wang<sup>1</sup>, A. Roos<sup>1</sup>,  
R. Kerner<sup>2</sup>

(1) Université de Technologie de Troyes (UTT), Troyes, France, (2) UPMC, Paris, France

Dire qu'un modèle de comportement doit vérifier le principe d'objectivité matérielle semble a priori un lieu commun dans le domaine de la mécanique des milieux continus pour les transformations finies. Un important problème concerne la définition des dérivées par rapport au temps respectant ce principe d'indifférence matérielle. Ces dérivées apparaissent dans la forme incrémentale des modèles de comportement, quand l'invariance à la superposition d'un mouvement de corps rigide est requise. Pour résoudre ce problème en 3D, des transports objectifs sont alors définis. Une des difficultés consiste à définir un critère pour choisir "le bon" transport objectif parmi l'infinité de transports possibles. Dans le cadre d'une description eulérienne, la formulation des modèles hypoélastiques et visco-élastiques nécessite des transports objectifs.

D'autre part, le principe de covariance de la relativité générale garantit la validité des équations de la physique quel que soit le système de coordonnées et quel que soit le référentiel grâce à la définition de l'espace-temps 4D, et à l'utilisation de tenseurs, opérations et opérateurs 4D. L'invariance par changement de référentiels étant un concept essentiel pour la formulation de modèles de comportement de la matière en transformations finies, nous proposons donc d'écrire ces modèles en utilisant le principe de covariance grâce au formalisme 4D. Une méthode générale est ainsi proposée pour construire une loi de comportement avec un point de vue quadridimensionnel. Le formalisme 4D permet en effet de définir des dérivées par rapport au temps qui sont des quadri-tenseurs. Autrement dit, ces dérivées sont par construction invariantes par changement de référentiels. Pour garantir l'invariance par changement de référentiels d'un modèle de comportement écrit sous forme variationnelle, il faut utiliser une de ces dérivées en choisissant en plus, celle qui est invariante par superposition de mouvements rigides, c'est à dire la dérivée de Lie.

Nous proposons d'utiliser ces outils pour construire des lois hyper-élastiques et en déduire la formulation incrémentale correspondante. Il est ainsi possible de construire un modèle hypo-élastique linéaire ou pas, incompressible ou pas, isotrope ou pas correspondant à toute loi hyper-élastique donnée. On peut ensuite associer ces modèles à un modèle de comportement visqueux. On obtient alors des modèles physiquement réalistes pour des solides visco-élastiques ou des fluides élastiques qui peuvent être soumis à des déformations importantes et/ou des taux de déformations importants. Ces modèles ont été implémentés dans Z-set.




## Remaillage en grandes déformations

S. Feld-Payet et V. Chiaruttini

Onera Châtillon

Un problème bien connu associé aux grandes déformations est l'aplatissement des éléments dans certaines zones du maillage. L'augmentation du facteur de forme a un impact négatif sur le conditionnement des équations et la précision de la solution. Pour éviter ces problèmes, il est possible de recourir à des techniques d'adaptation de maillage. Cet exposé abordera les problématiques associées au remaillage en grandes déformations et les possibilités offertes par le code Z-set. Ce dernier offre notamment la possibilité d'effectuer ce remaillage soit sur configuration initiale soit sur la configuration courante : ces deux options seront comparées. D'autres thématiques associées, partagées par les cadres des grandes et des petites déformations, seront également abordées, telles que le calcul d'une nouvelle carte de taille de maille appropriée et l'intérêt de préférer le remaillage local au remaillage global. En effet, des développements récents permettent une utilisation simplifiée des mises en oeuvre exploitant de manière robuste le remaillage adaptatif automatique en cours de calcul. Plusieurs applications seront présentées sur des problématiques académiques et industrielles.



Les sessions se déroulent à l'Onera Châtillon.  
29 avenue de la Division Leclerc  
92320 Châtillon

Moyens d'accès sur le site <http://www.onera.fr/fr/nos-centres/chatillon>