

Activités d'enseignement et de recherche en Mécanique Numérique au Cemef

François Bay
Réunion CARMA

« De la Conception Assistée par Ordinateurs
au Calcul de Structures »
Aix-en-Provence - 26 Novembre 2002



Cemef

Centre de Mise en Forme des Matériaux

Directeur : **J.L. CHENOT**
Directeur Adjoint : **J.F. AGASSANT**
Directeur CNRS UMR 7635 : **P. NAVARD**
Directeur Administratif : **P. COELS**

Ecole des Mines de Paris
CNRS UMR 7635
Armines



I.E.N.

Les missions du CEMEF

- ▶ Formation
- ▶ Recherche Appliquée
- ▶ Collaboration avec l'industrie



La formation au CEMEF

- ▶ **Mastères Spécialisés**
 - Mécanique Numérique (F. Bay)
 - Matériaux & Mise en Forme (J.M. Haudin)
- ▶ **D.E.A.**
 - Mécanique Numérique (Y. Demay)
 - Physique et Génie des Matériaux (F. Delamare)
- ▶ **Doctorats de l'Ecole des Mines de Paris**
 - Mécanique Numérique (J.L. Chenot)
 - Sciences et Génie des Matériaux (F. Delamare)

I.E.N.

La recherche au CEMEF

▶ Physique et Mise en Forme - Les groupes de recherche

Métaux : MSR (Métallurgie, Structure et Rhéologie)
Polymères : CES - PCP
Pluri-Matériaux : SET (Surfaces et Tribologie)

▶ Mécanique Numérique - Les groupes de recherche

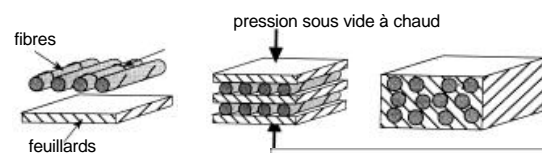
En Mise en Forme des Métaux et Polymères: TMP - CIM - EVE
(exemples d'applications dans présentation A. Rodrigues-Villa - Transvalor)

En relation avec la Mise en Forme: I.E.N.

- Calcul de structures - Mécanique de la rupture
- Relations mise en forme - Propriétés en service
- Couplages multi-physiques

I.E.N.

1. Modélisation multi-matériaux - Mise en forme

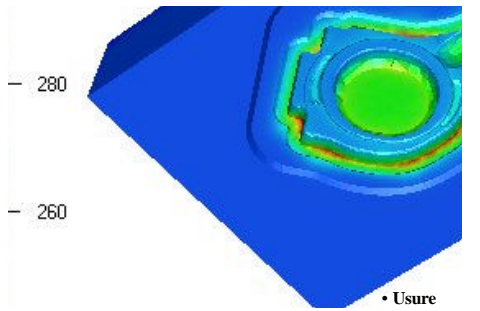


- ◆ Priorité aux fibres
- ◆ Gestion du contact
- ⇨ Temps de fermeture des porosités



I.E.N. Modélisation multimatériaux

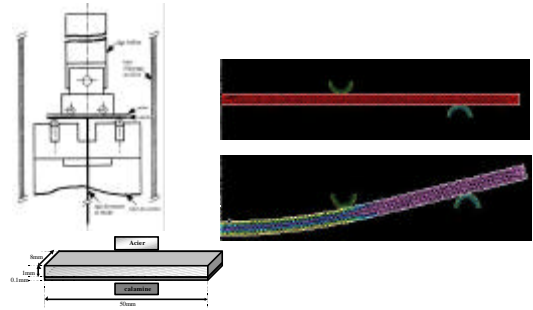
1. Couplage pièce-outil déformable en forgeage



- Usure
- Durée de vie

I.E.N. Modélisation multimatériaux

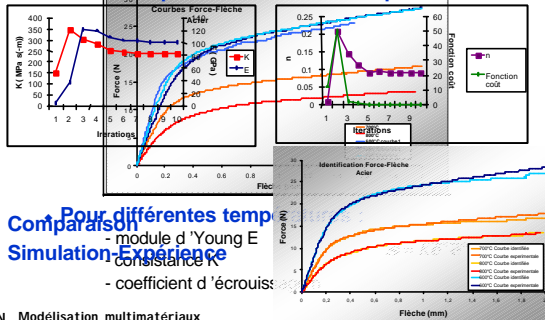
1. Analyse Inverse : Essai de flexion 4 points



I.E.N. Modélisation multimatériaux

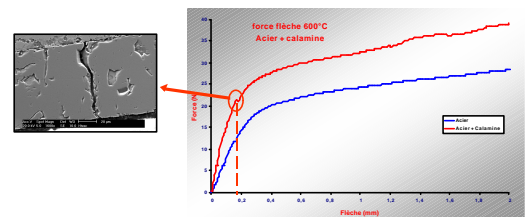
1. Analyse Inverse : Identification de paramètres mécaniques

Évolution des paramètres à identifier pour T=600°C



I.E.N. Modélisation multimatériaux

1. Analyse Inverse : Identification de paramètres critiques



- On repère le niveau de contrainte atteint lors de la simulation pour une flèche de 0,18 mm

↳ Contrainte critique de la calamine

I.E.N. Modélisation multimatériaux

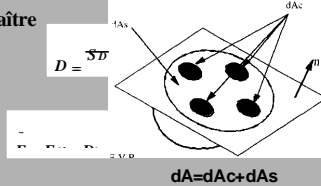
2. Endommagement et Rupture en Mise en Forme

- ◆ Sollicitations thermomécaniques sévères
 - ↳ endommagement du matériau
- ◆ Modèles d'endommagement couplés
 - ↳ évolution d'une variable d'endommagement
 - ↳ endommagement ↔ comportement global

◆ Modèle Couplé de Lemaître

On multiplie σ_0 et E par (1-D)

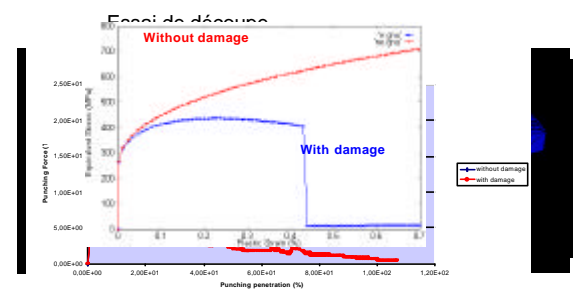
↳ module d'Young effectif



I.E.N. Endommagement et Rupture

2. Exemple d'endommagement couplé

Essai de traction simple



I.E.N. Endommagement et Rupture

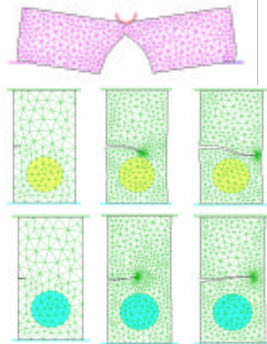
2. Fissuration et Rupture en 2D

Essai de flexion 3 points

Propagation dans un composite

inclusion moins rigide

inclusion plus rigide

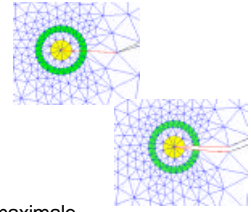


I.E.N. Endommagement et Rupture

2. Modélisation de la propagation de fissures

◆ Critères d'amorçage

- ◆ Contrainte critique
- ◆ Endommagement critique



◆ Critères de bifurcation

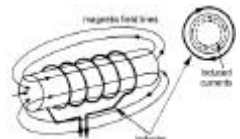
- ◆ Contrainte circonférentielle maximale
- ◆ Densité d'énergie de déformation minimale
- ◆ Taux de restitution d'énergie maximal
- ◆ Taux de cisaillement maximal

I.E.N. Endommagement et Rupture

3. Couplages multiphysiques - Le chauffage par induction

Couplage entre problèmes :

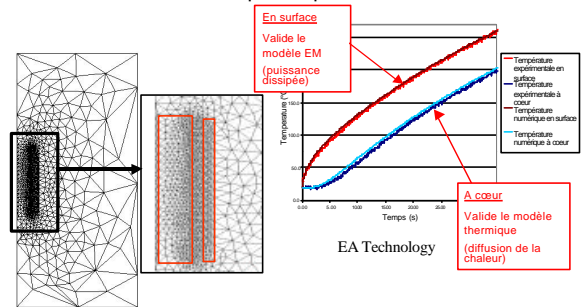
- électromagnétique
- thermique
- mécanique



I.E.N. Couplages multiphysiques

3. Couplages multiphysiques - Électromagnétisme

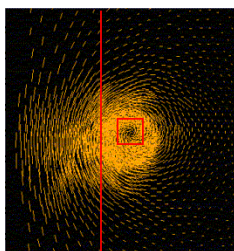
Discretisation spatiale par éléments finis



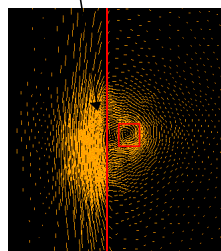
I.E.N. Couplages multiphysiques

3. Couplages multiphysiques - Électromagnétisme

Resserrement des lignes de champ en présence d'un matériau ferromagnétique



Matériau paramagnétique $\mu = \mu_0$

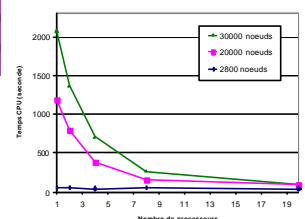
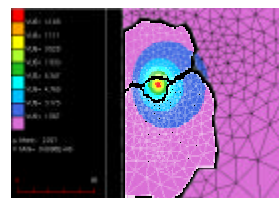


Ferromagnétiques

I.E.N. Couplages multiphysiques

3. Couplages multiphysiques - Calcul Parallèle

Méthode de partitionnement de domaine



I.E.N. Couplages multiphysiques

3. Contrôle optimal - Optimisation de paramètres procédé

Formulation du problème d'optimisation

Trouver $\bar{u} \in U_{ad}$ tel que $J(T(t, \bar{u})) = \min_{\bar{u} \in U_{ad}, \bar{u}(0)=0} J(T(t, \bar{u}))$ $U_{ad} = \{f, J, vit\} \in \mathfrak{R}^+ \times \mathfrak{R}^+ \times \mathfrak{R}^+$

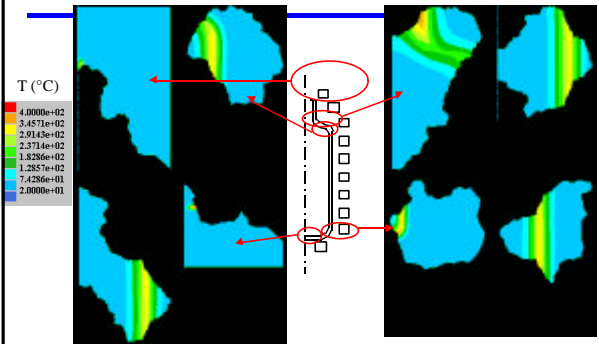
Préchauffage : $J(t, u, u) = \int_{\Omega} (T(t, u) - T^{opt}(t, u))^2 dw$

Traitements thermiques : $J(t, u) = \int_{t_0}^{t_f} \int_{\Omega} (T(t) - T^{opt}(t))^2 dw dt$

Méthode de l'état adjoint + algorithme gradient conjugué

I. E. N. Couplages multiphysiques

3. Optimisation des procédés d'induction : Nettoyage organique



Recherche de la densité de courant optimale dans les inducteurs

I. E. N. Couplages multiphysiques

Activités d'enseignement et de recherche en Mécanique Numérique au Cemef

François Bay (francois.bay@ensmp.fr)

Réunion CARMA
« De la Conception Assistée par Ordinateurs
au Calcul de Structures »
Aix-en-Provence - 26 Novembre 2002