

# Propagation numérique d'une fissure via X-FEM dans un matériau de Gurson

*Matériaux 2014 - Montpellier*

Jean-Philippe Créte<sup>1</sup>, Patrice Longère<sup>2</sup>, Jean-Marc Cadou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bretagne-Sud UBS/LIMATB

<sup>2</sup>Université de Toulouse ISAE/ICA

27 Novembre 2014



- I Contexte de l'étude
- II Description du comportement du matériau
- III Modélisation de la macro-fissuration
- IV Traitement numérique de la localisation

I Contexte de l'étude

II Description du comportement du matériau

III Modélisation de la macro-fissuration

IV Traitement numérique de la localisation

# Contexte de l'étude

## Objectif

- Modélisation d'une rupture ductile par endommagement

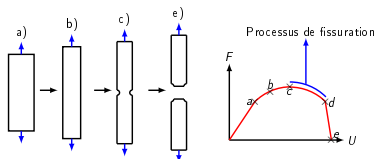


Figure : Exemple des différentes étapes menant à rupture

## Cadre

- Matériau fortement non linéaire : DH36
- Structures 2D (hypothèses des petites perturbations)

I Contexte de l'étude

II Description du comportement du matériau

III Modélisation de la macro-fissuration

IV Traitement numérique de la localisation

# Description du comportement du matériau

## Phénomènes modélisés

- Ecrouissage isotrope
- Endommagement du matériau induit par l'initiation et la croissance de vides

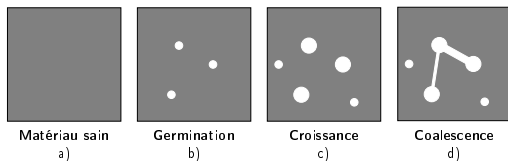


Figure : Représentation schématisée du processus d'endommagement du DH36 au niveau microscopique

# Description du comportement du matériau

## Phénomènes modélisés

- Ecrouissage isotrope
- Endommagement du matériau induit par l'initiation et la croissance de vides

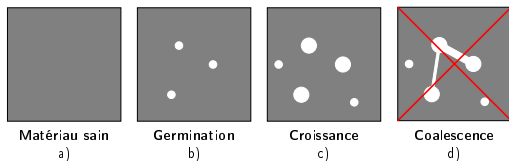


Figure : Représentation schématisée du processus d'endommagement du DH36 au niveau microscopique

# Description du comportement du matériau

## Phénomènes modélisés

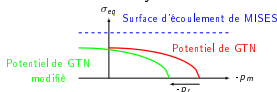
- Ecrouissage isotrope
- Endommagement du matériau induit par l'initiation et la croissance de vides

## Potentiel d'état

- $\omega(\underline{\epsilon}^e, \kappa) = \omega_r(\underline{\epsilon}^e) + \omega_s(\kappa)$

## Potentiel plastique [Gurson, JEMT 1977][Longère et al., IJDM 2012]

- $\Phi = \left(\frac{\sigma_{eq}}{\sigma_y}\right)^2 + 2q_1 f \cosh\left(-\frac{3}{2}q_2 \frac{p_m + p_r}{\sigma_y}\right) - (1 + (q_1 f)^2)$





- I Contexte de l'étude
- II Description du comportement du matériau
- III Modélisation de la macro-fissuration**
- IV Traitement numérique de la localisation

# Modélisation de la macro-fissuration [Crété et al., CMAME 2014]

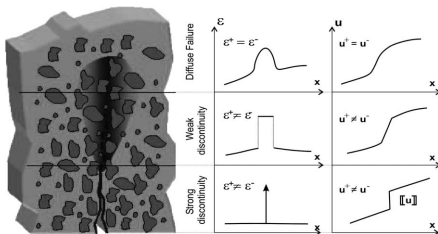


Figure : Approche mécanique des phénomènes physiques observés en pointe de fissure [Oliver et al., IJNME 2003]

## Cadre restrictif

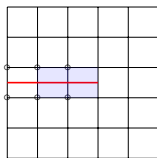
- Structure pré-fissuré
- Pas de représentation de la méso-fissure
- Transition instantanée entre matériau homogène et macro-fissure

# Modélisation de la macro-fissuration : Macro-fissure

X-FEM [Moes et al, 1999 IJNME][Zi et al, IJNME 2003]

- Champ de déplacement enrichi :

$$u(x, t) = \overbrace{\sum_{i \in I} N_i(x) a_i(t)}^{\text{continu}} + \overbrace{\sum_{j \in J} N_j(x) b_j(t) (H(x) - H(j))}^{\text{discontinu}}$$



— Fissure

- Noeud enrichi par la fonction de Heaviside

- Intégration numérique :
  - Utilisation de 64 Points de Gauss

# Modélisation de la macro-fissuration : Méthode de Propagation

## Objectifs

- Modéliser une rupture ductile par endommagement
- Réduire la dépendance au maillage → Approche globale

## Méthode

- Direction de propagation → Analyse de bifurcation
- Critère de propagation → Basé sur l'énergie stockée
- Longueur de propagation → Méthode d'épuisement du critère



Détermination de la direction potentielle

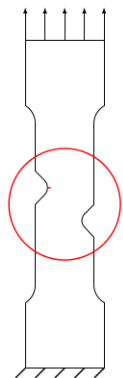


Vérification du critère

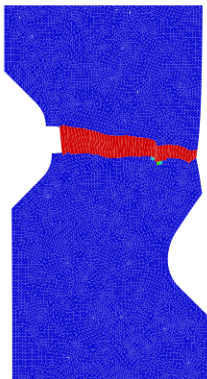


Calcul de l'avancée de fissure si le critère est vérifié

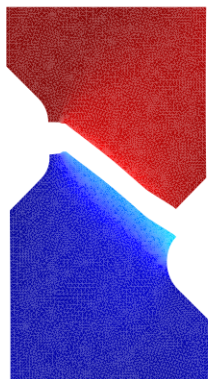
# Modélisation de la macro-fissuration : Application



Experiment



Method 1  
(El. del. + fail. poros.)



Method 2  
(X-FEM + non-local)

# Modélisation de la macro-fissuration : Conclusions et Remarques

---

## Conclusions

- Direction de propagation en accord avec l'expérimental
- Propagation instantanée de la fissure dès qu'elle s'amorce

## Remarque

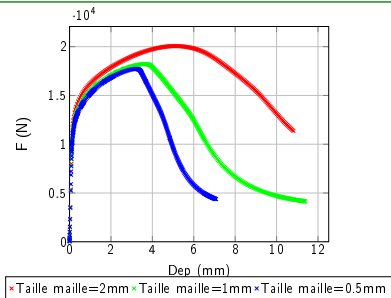
- Incapacité du modèle à forcer la localisation de l'endommagement dans la direction selon laquelle la fissure va se propager

## Objectif

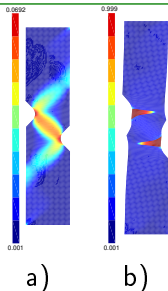
- Régulariser la direction dans laquelle l'endommagement se localise

- I Contexte de l'étude
- II Description du comportement du matériau
- III Modélisation de la macro-fissuration
- IV Traitement numérique de la localisation**

# Phénomène de localisation : Approche classique



Evolution de l'effort durant l'essai en fonction du déplacement



Répartition de la porosité dans la structure a)  $t=13.4s$  et b)  $t=141s$

**Remarque : Forte dépendance de la taille de maille**

- Sur la direction de localisation de l'endommagement
- Sur l'amorçage de la chute de l'effort
- Sur l'intensité de la chute



# Phénomène de localisation : Contexte

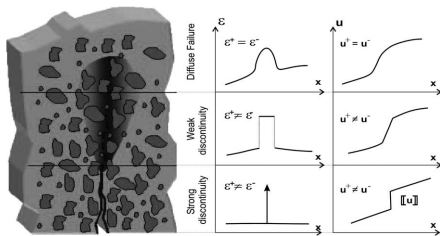


Figure : Approche mécanique des phénomènes physiques observés en pointe de fissure [Oliver et al., IJNME 2003]

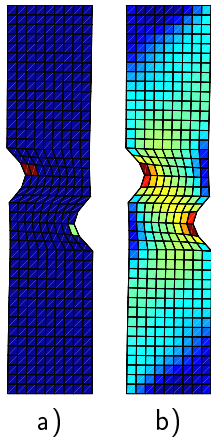
## Cadre restrictif

- Structure sans pré-fissure
- Traitement numérique de la méso-fissure
- Pas de représentation de la macro-fissure

# Phénomène de localisation : Direction

## Contexte numérique

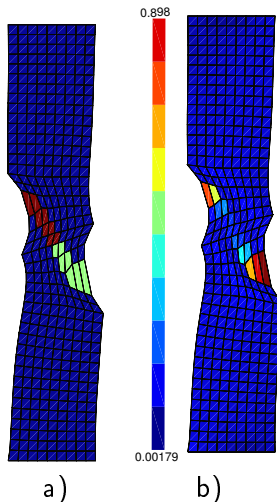
- Apparition d'une méso-fissure
  - Critère de porosité minimum
  - Direction de localisation → locale
- Propagation de la méso-fissure :
  - Élément par élément
  - Direction de localisation → globale
- Élément proches de la méso-fissure
  - Pas de croissance ni d'amorçage des vides



# Phénomène de localisation : Direction

## Contexte numérique

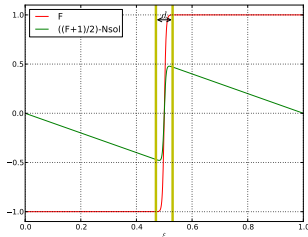
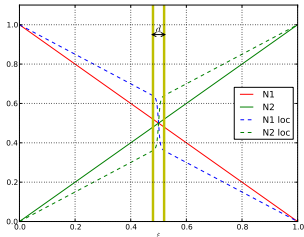
- Apparition d'une méso-fissure
  - Critère de porosité minimum
  - Direction de localisation → locale
- Propagation de la méso-fissure :
  - Élément par élément
  - Direction de localisation → globale
- Élément proches de la méso-fissure
  - Pas de croissance ni d'amorçage des vides



# Phénomène de localisation : Régularisation

## Approche proposée

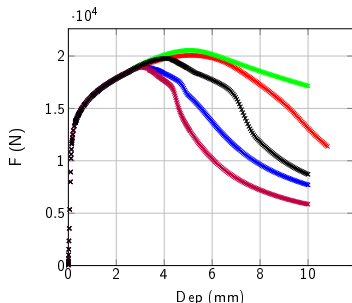
- Concentration des déformations au sein d'un élément fini
  - Modification de l'interpolation
- Chargements : Elastique/Plastique où Plastique/Plastique
- Champ de déplacement (EF) :  $u^e(x, t) = \sum_{i \in \mathcal{E}_4} \bar{N}_i(x) a_i(t)$   
 $\bar{N}_i(x) = N_i(x) + \left[ C_1 H(\psi(x_i)) \left( \frac{F(x)+1}{2} - N_{sol}(x) \right) \right]$



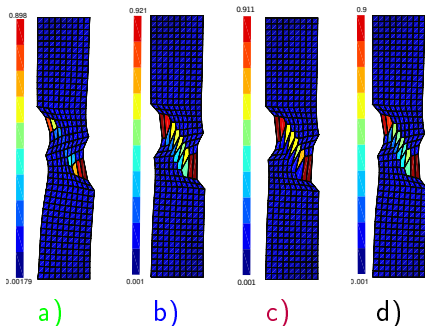
# Phénomène de localisation : Régularisation

## Evolution de C1

- $C1 = \min(X, Y\Delta f)$



× AC × Sans reg × X=0.8 et Y= 20 × X=1 et Y= 20 × X=0.8 et Y= 5



Evolution de l'effort durant l'essai en fonction du déplacement

Répartition de la porosité dans la structure

# Phénomène de localisation : Conclusions et Remarques

---

## Conclusions

- Modèle permettant d'identifier la direction de localisation de l'endommagement
- Méthode de régularisation simple permettant d'homogénéiser la répartition de l'endommagement au sein de la bande

## Perspectives

- Etudier l'influence du coefficient  $C1$
- Comparer les résultats avec l'expérimental
- Coupler la méthode de traitement de la localisation avec la X-FEM

# Propagation numérique d'une fissure via X-FEM dans un matériau de Gurson

*Matériaux 2014 - Montpellier*

Jean-Philippe Créte<sup>1</sup>, Patrice Longère<sup>2</sup>, Jean-Marc Cadou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bretagne-Sud UBS/LIMATB

<sup>2</sup>Université de Toulouse ISAE/ICA

27 Novembre 2014

