

Aspects dynamiques de la propagation de fissure : modélisation par éléments joints

G. Debruyne , J. Laverne

EDF R&D
AMA

Sommaire

- *Rupture dynamique*
 - Chargement dynamique
 - Propagation rapide de fissure
- *Critères de propagation et d'arrêt*
 - Approche statique, critère d'arrêt
 - Approche dynamique
- *Modélisation classique de la propagation dynamique*
 - Modélisation de la cinématique
 - Critère de propagation
- *Alternative de modélisation par éléments de joint.*
- *Exemple de propagation-arrêt sur un disque fissuré*

Aspects de la rupture dynamique

Définition : amorçage, propagation (arrêt) de fissure sous variation rapide de chargement ou de conditions aux limites

- ***Amorçage de fissure sous chargement dynamique :***

Séisme, machines tournantes, chocs.....

$$u_i = \frac{K(t)}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} g_i(\theta) \sigma_{ij}(t) = \frac{K(t)}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta), K(t) \leq K_D(T, \dot{\epsilon})$$

- ***Propagation rapide de fissure sous chargement quasi-statique***

Amorçage sous choc thermomécanique, propagation rapide et arrêt (DSR)

$$u_i(t) = \frac{K(t,V)}{2\mu} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} g_i(\theta,V) \sigma_{ij}(t) = \frac{K(t,V)}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta,V), K(t,V) \leq K_D(T,V)$$

$$\dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t} - V \nabla u \cong -V \nabla u, E_{cin} \approx E_{elas}$$

Critères de propagation et d'arrêt

- *Deux approches : statique et dynamique*

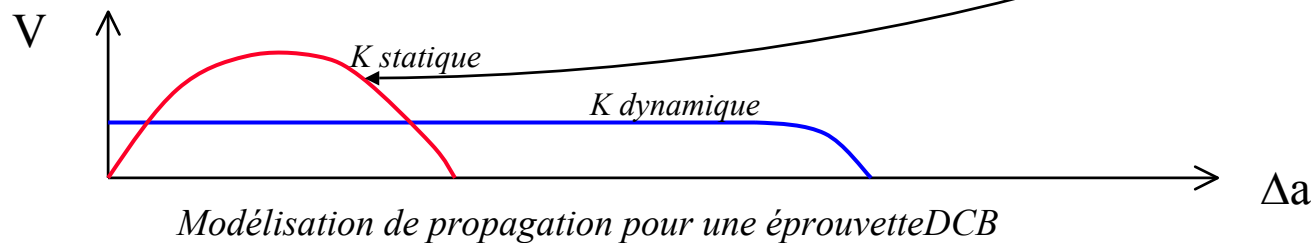
Statique (pas de simulation de propagation)

$$K = K_{Ic} (T) \quad K = K_{Ia} (T) \quad \text{Anticonservatisme possible}$$

OK si Δa petit, non réflexion des ondes

Dynamique (simulation de propagation)

$$K = K_{ID} (V, T)$$



modélisation classique de la propagation dynamique

- *Simulation de la cinématique du défaut*

- Libération des contraintes en fond de fissure : gestion délicate du relâchement des nœuds (brutal ou adouci, groupe de nœuds,....)

- Convection de maillage : problème non symétrique avec amortissement, remaillage

- *Définition d'un taux de restitution d'énergie élastodynamique par la méthode théta.*

Bilan d'énergie : $dW_e + dW_{cin} + dW_{ext} + dW_{rupt} = 0$

$$\mathbf{G} = - \left(\frac{\partial W_{el}}{\partial \ell} + \frac{\partial W_{ext}}{\partial \ell} + \frac{\partial W_{cin}}{\partial \ell} \right) < \mathbf{G}_c$$

$$G_{\theta}^{dyn} = \int_{\Omega} \theta \left(\omega_e + \frac{1}{2} \rho \dot{u} \cdot \dot{u} \right) \operatorname{div} \theta + \sigma \nabla u \cdot \nabla \theta + \int_{\Omega} \theta \left(\rho \dot{u} \cdot \nabla u \cdot \theta - \rho u \cdot \nabla u \cdot \theta \right)$$

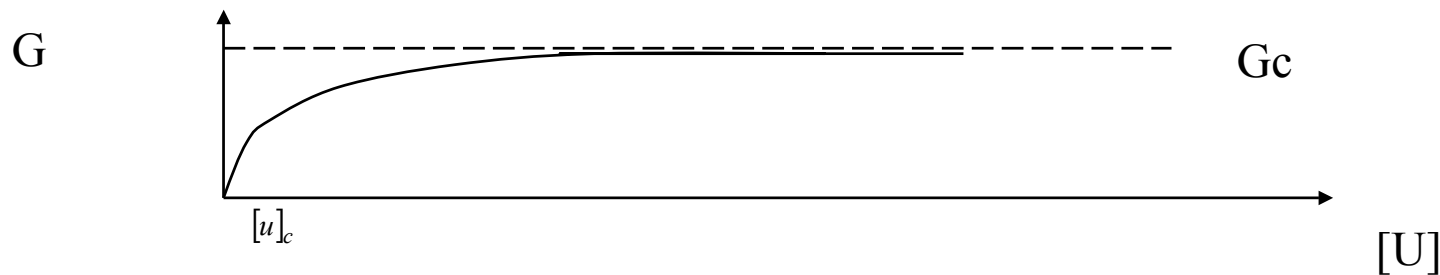
Alternative de modélisation par éléments de joint

- Cinématique et critère intégrés dans le modèle.*

*Elément de joint à forces cohésives (énergie de surface de Barenblatt) :
cinématique d'ouverture-glissement, dissipation progressive de
l'énergie de la surface de discontinuité*

Energie de surface

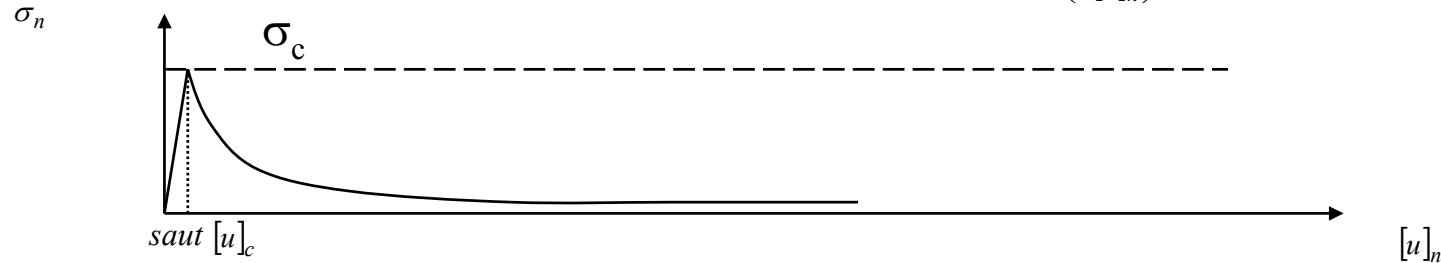
$$E_S = \int_{\Gamma} G([\mathbf{U}]) d\Gamma$$
$$G([\mathbf{U}]) = G_C \left(1 - e^{-\frac{\sigma_c}{G_C} [\mathbf{U}]} \right)$$



Implémentation dans le Code_Aster

Contrainte dans l'élément :

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_n \\ \sigma_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial G}{\partial [u]_n} \\ \frac{\partial G}{\partial [u]_t} \end{pmatrix}$$

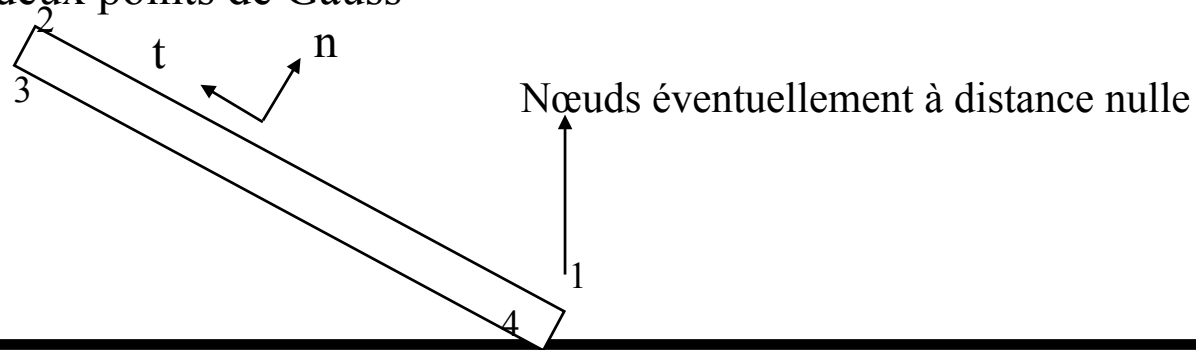


Deux données matériau : σ_c, G_c

Une donnée « numérique » : $[u]_c$

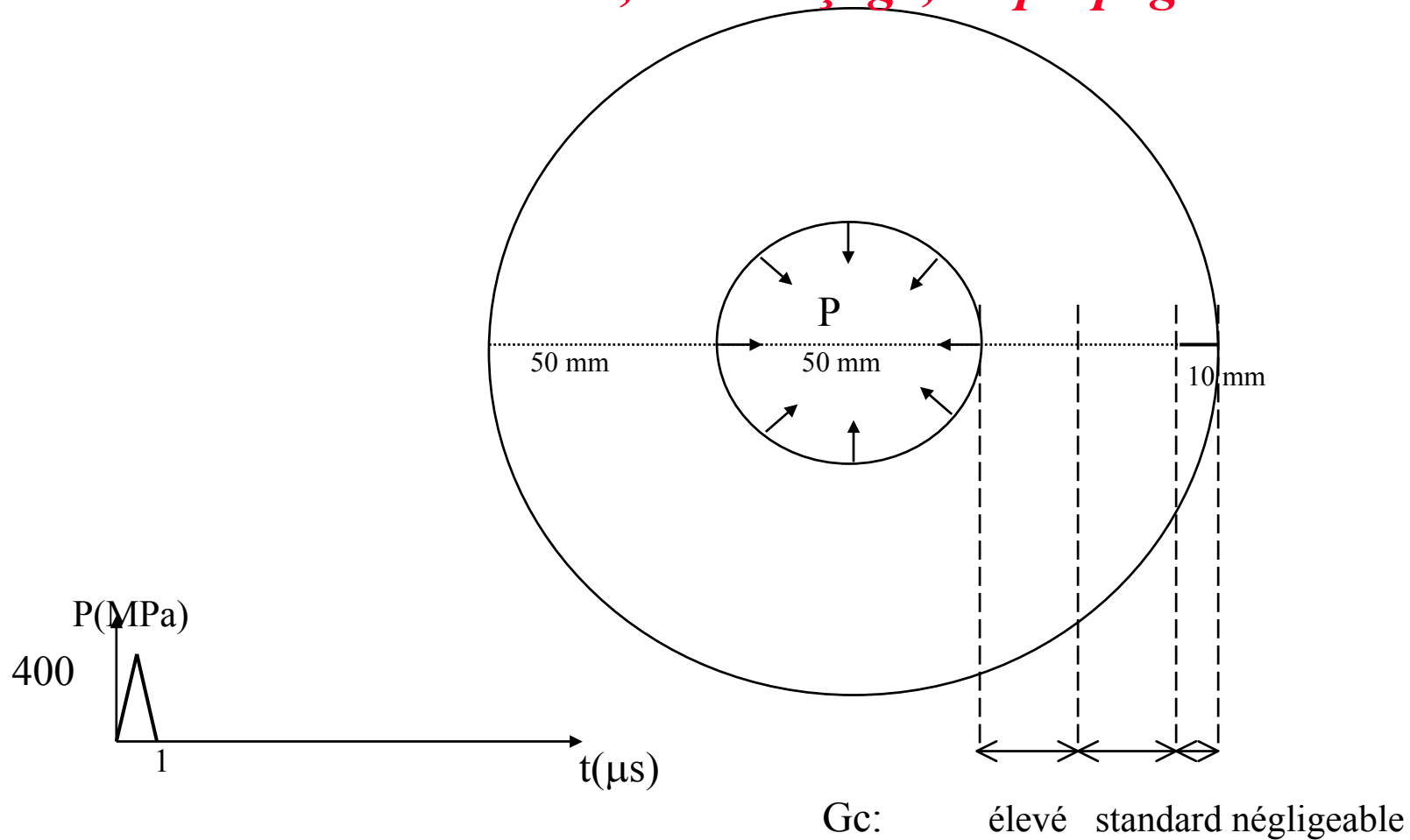
Energie de pénalisation évitant l'interpénétration des lèvres $[u]_n \geq 0$

E.F disponible dans *Code_Aster* (à insérer sur la frontière d'éléments mécaniques élastiques ou non) : QUAD4 deux points de Gauss



Exemple d'un disque fissuré sollicité par une onde de pression

- Prévision d'initiation, d'amorçage, de propagation et d'arrêt*



Perspectives

- *Extension des possibilités des éléments joints*

- Plus de choix pour la loi d'interface : seuils de contrainte normale et tangentielle différenciés, introduction de viscosité dans l'énergie dissipée
- Joints 3D

- *Elements à discontinuité (en cours)*

- Prise en compte de la loi de comportement du matériau avant décollement