

Simulation numérique des phénomènes d'Emission Acoustique associés à la propagation de fissures

Gaëtan Hello, Mabrouk Ben Tahar, Jean-Marc Roelandt – 2010/2011

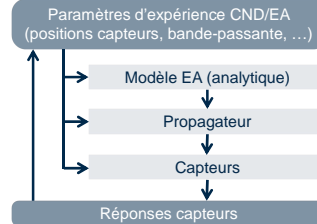


Motivations et contexte du projet

- Le projet ANR MACSIM a pour objectif le développement d'une stratégie de **modélisation des méthodes de Contrôle Non Destructif (CND) par Emission Acoustique (EA)**. Ce projet fait l'objet d'un **partenariat** entre plusieurs acteurs tant académiques qu'industriels : CEA, CETIM, DCNS, EADS IW, Roberval/UTC.
- Le **laboratoire Roberval** a la responsabilité de mener les travaux relatifs au développement des **modèles de source** d'Emission Acoustique associés à la propagation de fissures.
- Les **applications industrielles** concernent des systèmes où les procédures de contrôle de l'intégrité structurale doivent répondre à des exigences de sécurité fortes. Il s'agit par exemple d'**enceintes sous pression**, de **chaudières pour sous-marin nucléaires**, ou encore de **panneaux d'avions**.

Hypothèses générales

- La nature des expériences CND/EA envisagées ($[L]=\text{qlq m}$, $[f]=\text{MHz}$, $[\lambda]=\text{mm}$) exclut une simulation numérique simultanée de tous les phénomènes. Le **simulateur se décompose ainsi en différents modules successifs** :



- Un **couplage faible** est supposé entre les mécanismes physiques responsables de l'**Emission Acoustique** et ceux présidant à la **propagation des ondes**. La croissance des fissures génère ainsi des ondes qui n'influencent pas en retour l'évolution des défauts.

Solutions pour l'élasticité en milieux fissurés

- Une **définition analytique** des solutions au problème d'élasticité linéaire peut être obtenue par l'introduction de **potentiels complexes**. Cette approche, certes exacte, n'est applicable que pour **certaines configurations fissurées en 2D**.

$$\begin{cases} \sigma_{11}(z) + \sigma_{22}(z) = 4Re[\phi'(z)] \\ \sigma_{22}(z) - \sigma_{11}(z) + 2i\sigma_{12}(z) = 2[\bar{z}\phi''(z) + \psi'(z)] \end{cases}$$

- La représentation des états de **contraintes** par un **développement asymptotique en fond de fissure** s'avère quant à elle parfaitement **générale**. Elle suppose toutefois la **détermination** préalable des **coefficients de la série**. En outre, la **convergence** n'est garantie qu'à **proximité du fond de fissure**.

$$\sigma_{ij}(r, \theta) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} a_k^m J_k^{m,ij}(\theta) r^{\frac{k}{2}-1}$$

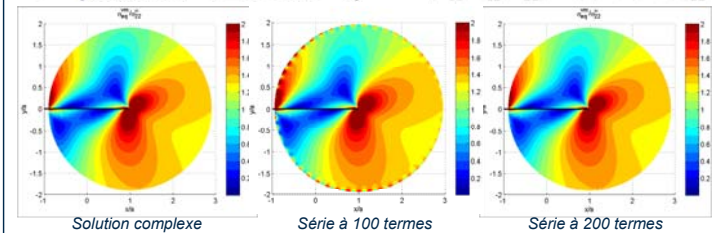
- La réponse offerte par une représentation en **série tronquée** peut être grandement **améliorée** par son **approximation** au moyen d'une **fraction rationnelle** (approximant de Padé).

$$[p/q]_{\sigma_{ij}}(r, \theta) = \frac{1}{\sqrt{r}} \sum_{m=1}^M \frac{\sum_{k=0}^M p_k^{m,ij}(\theta) r^{k/2}}{\sum_{k=0}^N q_k^{m,ij}(\theta) r^{k/2}}$$

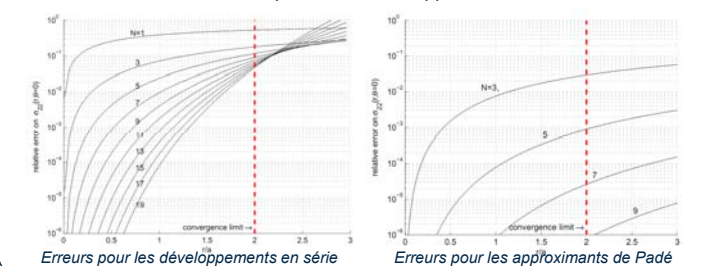
Applications et améliorations des solutions

- Solutions au problème d'une plaque infinie fissurée soumise à un état de contrainte à l'infini. Performances de la solution en série identifiées.

$$\Gamma = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid -a \leq x \leq a, y = 0\} \quad (\sigma_{11}^{\infty}, \sigma_{12}^{\infty}, \sigma_{22}^{\infty}) = (1/2, 1/2, 1)\sigma_{22}^{\infty}$$

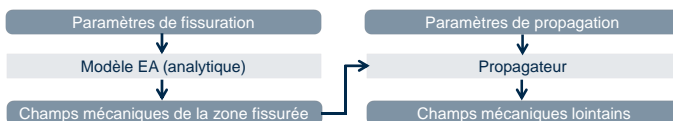


- Erreur à la solution complexe de référence pour des développements en série à N termes. Amélioration des réponses avec les approximations de Padé associées.



Couplage modèle de source / propagateur

- Le **modèle de source** permet d'accéder à la connaissance des champs mécaniques induits par l'évolution spatio-temporelle des défauts. Ces champs d'intérêt constituent ensuite les **conditions-limites** d'excitation prises en compte dans le module de **propagation**.

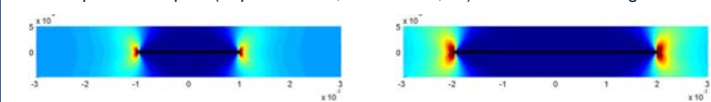


- Le **propagateur élasto-dynamique** disponible à **Roberval** pour valider les modèles de source est de nature numérique. Il s'appuie sur la **méthode des équations intégrales de frontière** formulées en sauts par approche variationnelle.

$$\int_{S_d} \mathbf{u}^*(\mathbf{x}) \mathbf{u}(\mathbf{x}) dS(\mathbf{x}) = \int_{S_d} \int_{S_d} \mathbf{u}^*(\mathbf{x}) (G(\mathbf{x}, \mathbf{y}) [\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{y})] - T(\mathbf{x}, \mathbf{y}) [\mathbf{u}(\mathbf{y})]) dS(\mathbf{y}) dS(\mathbf{x})$$

Exemple d'une simulation d'Emission Acoustique

- Etant donnés les paramètres de fissuration associés à l'avancée d'une fissure en mode-I, le modèle de source donne accès à l'évolution spatio-temporelle des champs mécaniques (déplacements, contraintes, ...) dans une boîte englobante.



- Le **propagateur**, formulé en domaine fréquentiel, reçoit en conditions-limites la Transformée de Fourier (TF) des excitations sur les parois de la boîte. Il offre ensuite les réponses pour différentes fréquences. Leur recombinaison par TF-1 conduit aux champs solution du problème élasto-dynamiques en temporel.

