

# Applications Cast3M en enseignement

---

**Andrei Constantinescu**

**Kostas Danas**

**Habibou Maitournam**

*Ecole Polytechnique*

Problemes Inverses

Projets Numériques

*ParisTech – Master Magis*

Méthodes Numériques

# Pourquoi Cast3m

- open source / libre
- langage orienté objet
- ESOPE - compilé
- GIBIANE - interprété

... donc très souple



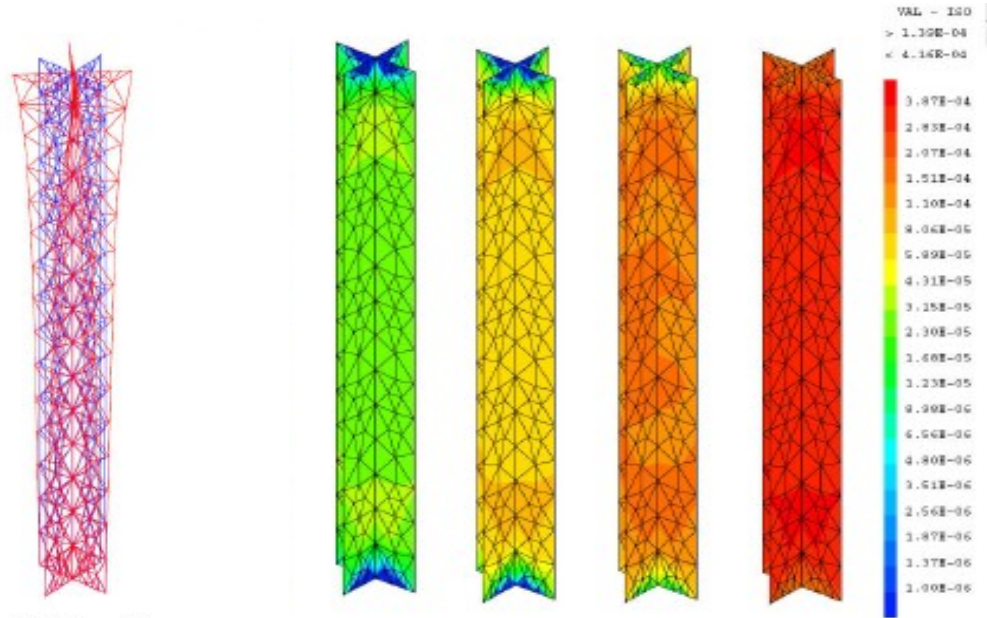
# Projets structure: Flambage et enfoncement



(a) Début de la phase de flambage (flexion de chaque ailette)

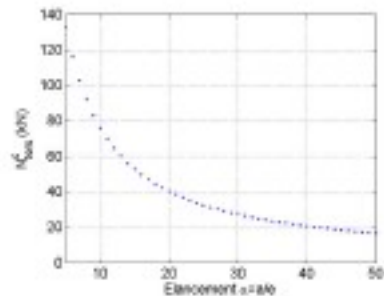


(b) Deuxième phase de : (torsion importante)

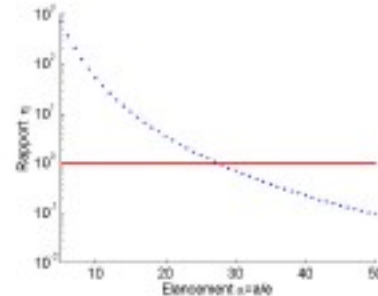


(a) Vue 3D

FIG. 8: EVOLUTION de la déformation plastique à différents instants



(a) Charge critique  $N_{cr}$



(b) Rapport  $\eta$

FIG. 3: Charges critiques du flambage en fonction de l'élongement

# Projets structure: Flambage et enfondrement

---

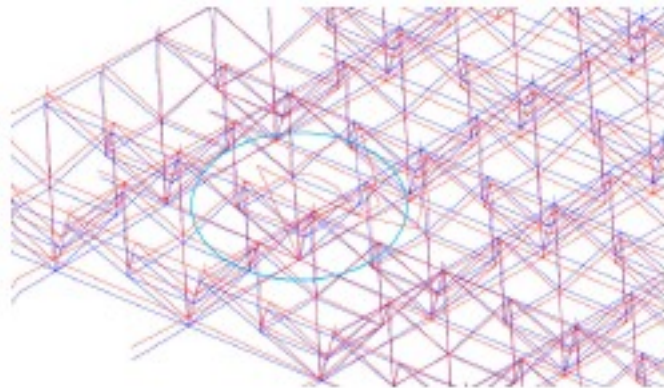


FIG. 25: Flambage local d'une poutre au niveau d'un piliier



- 1978 Efondrement du Hartford Arena (USA)
  - Projet J.Bleyer – Anne Chevalier 2010
  - 10 x 4 heures

# Projet structure: Accident ICE Eschede

---

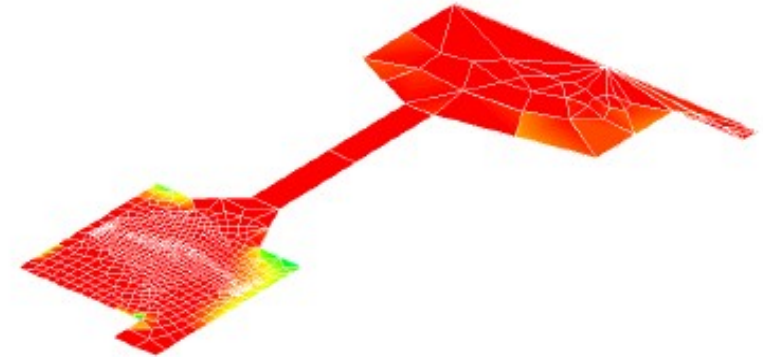


- Fissuration sur défaut
- Roue avec insert de caoutchouc

# Projet structure: Accident ICE Eschede



FIG. 5 - Maillages 3D de la roue.



- Accident ICE
  - Projet Sandra Ferragutti – Loic Was 2010
  - 10 x 4 heures

# Projets: Incident tuyauterie - Fatigue



- Calcul Elastoplastic
- Fatigue thermique
- Projet 2010
  - A.Peyret D.Paulhiac

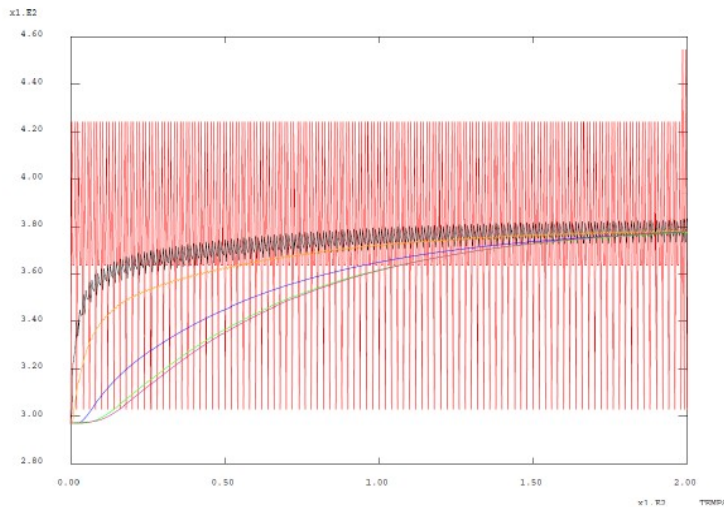


FIGURE 11 – Evolution des températures pour une fréquence de 2.5 Hz aux 6 points, définis sur 7. Unités : la température est en Kelvin et le temps en seconde. Légende des couleurs : point 21 (rouge), point 26 (noir), point 22 (orange), point 23 (bleu), point 24 (vert), point 25 (rose).

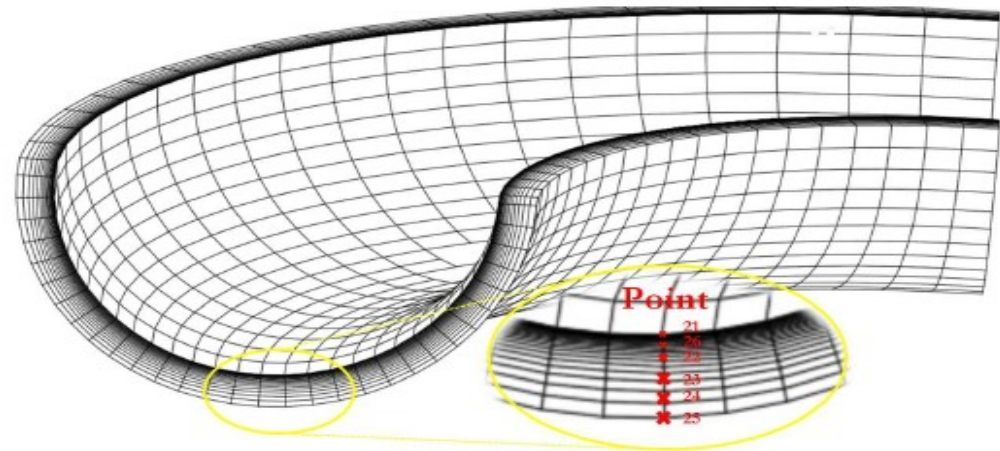


FIGURE 7 – Coude maillé et points représentatifs du volume

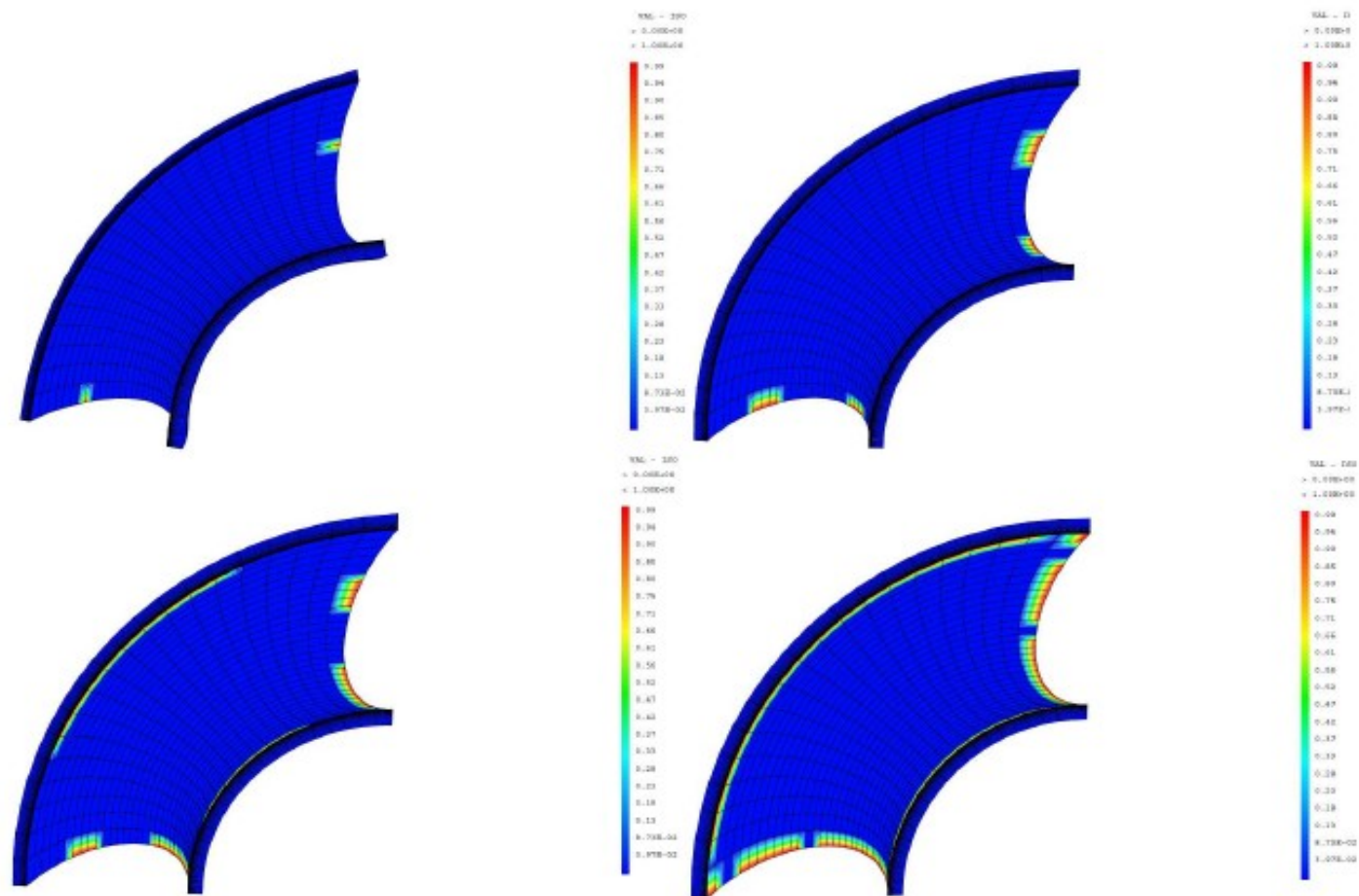


FIGURE 19 – Points critiques pour le critère de Manson. En haut,  $N_{fmin}$  et  $[N_{fmin}; N_{fmin} + 50000]$ . En bas,  $[N_{fmin}; N_{fmin} + 100000]$  et  $[N_{fmin}; N_{fmin} + 200000]$ .



# Problemes Inverse: Cloaking (Harry Potter)

---

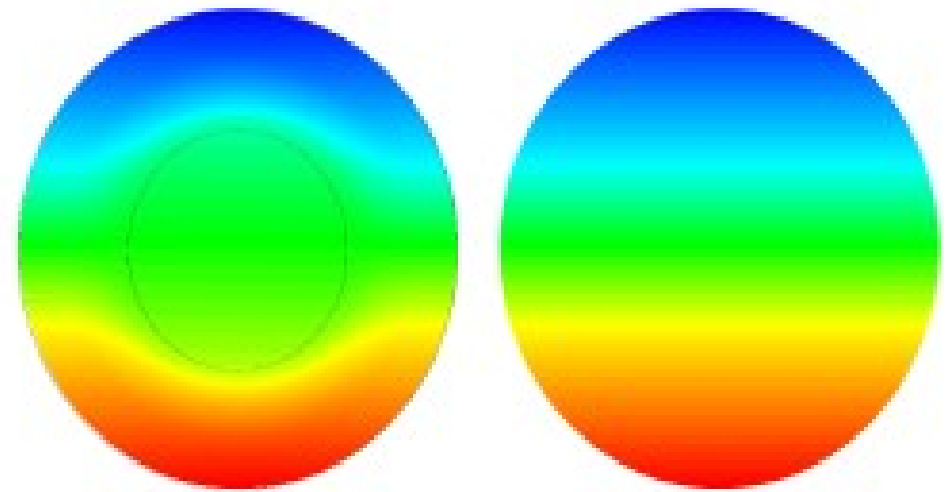
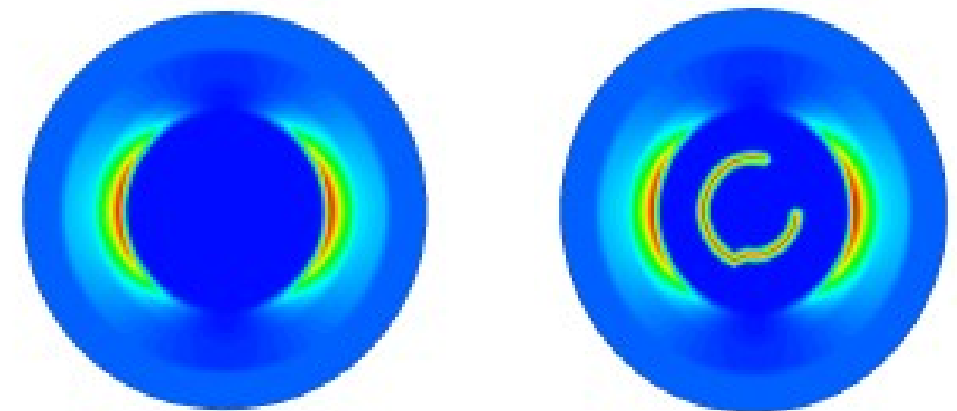


FIGURE 4 - Temperature pour métramatériau et cas isotrope



- Conductivite
- Anisotropie
  - Projet Doveta - Kaladijian

# Problemes Inverses: Inclusion & Linear Sampling

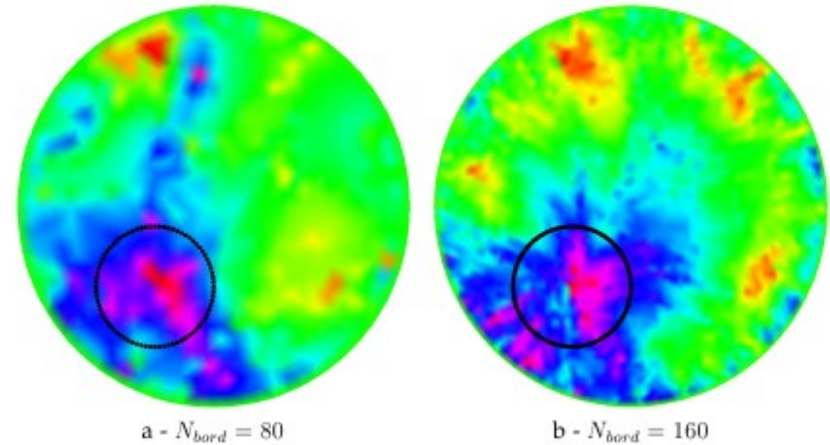
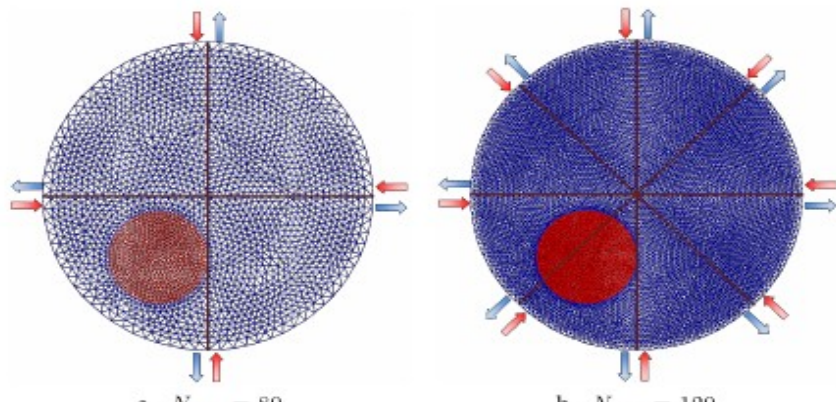


FIG. 7 – Effet de la précision du maillage sur la localisation des inclusions.

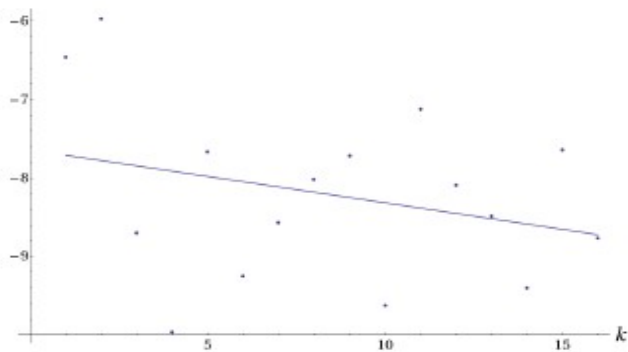


FIG. 10 –  $\text{Log}((g_{z,d}, \nu_k)^2)$  en fonction de  $k$  et linéarisation.

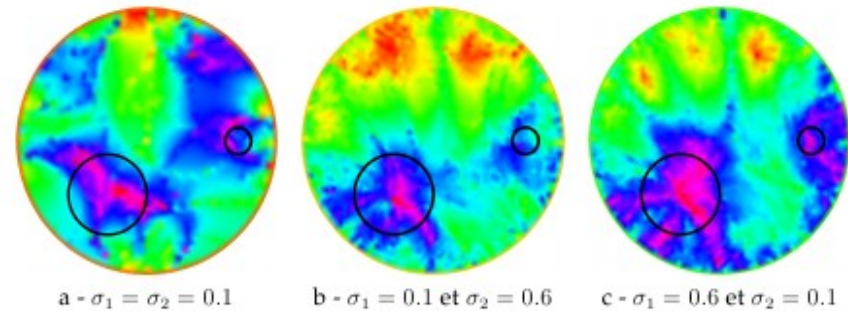
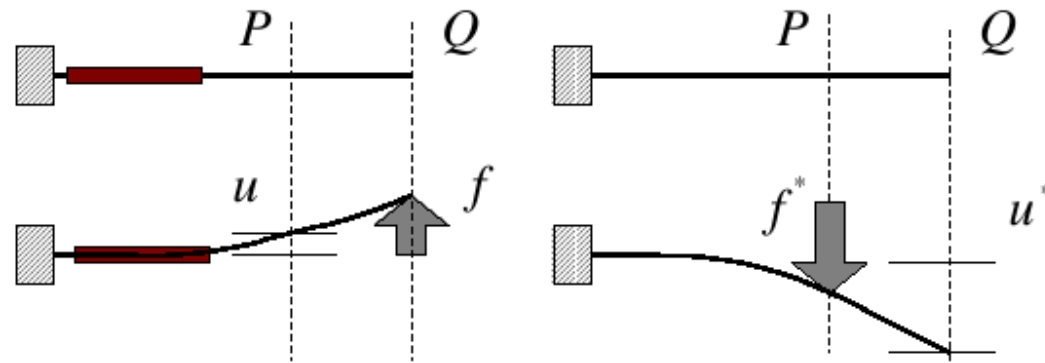


FIG. 8 – Effet de la conductivité sur la localisation des inclusions.

- Conductivite
- Couplage Cast3m / Mathematica - SVD

# Problemes Inverses: Identification Fissures Reciprocite

Réciprocité de Maxwell-Betti



$$\underline{u}_1^T \cdot \underline{f}_2^* \neq \underline{u}_2^{*T} \cdot \underline{f}_1.$$

Ecart à la Réciprocité

$$\begin{aligned} (\underline{A} + \delta \underline{A}) \cdot \underline{u}_1 &= \underline{f}_1, \\ \underline{A} \cdot \underline{u}_2^* &= \underline{f}_2^*, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{R} &= \underline{u}_1^T \cdot \underline{f}_2^* - \underline{u}_2^{*T} \cdot \underline{f}_1 \\ &= \underline{u}_2^{*T} \cdot (\delta \underline{A}) \cdot \underline{u}_1. \end{aligned}$$

# Problemes Inverses: Fissures

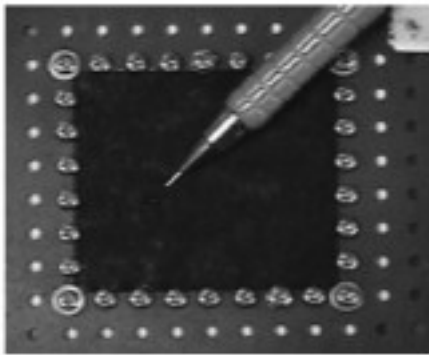
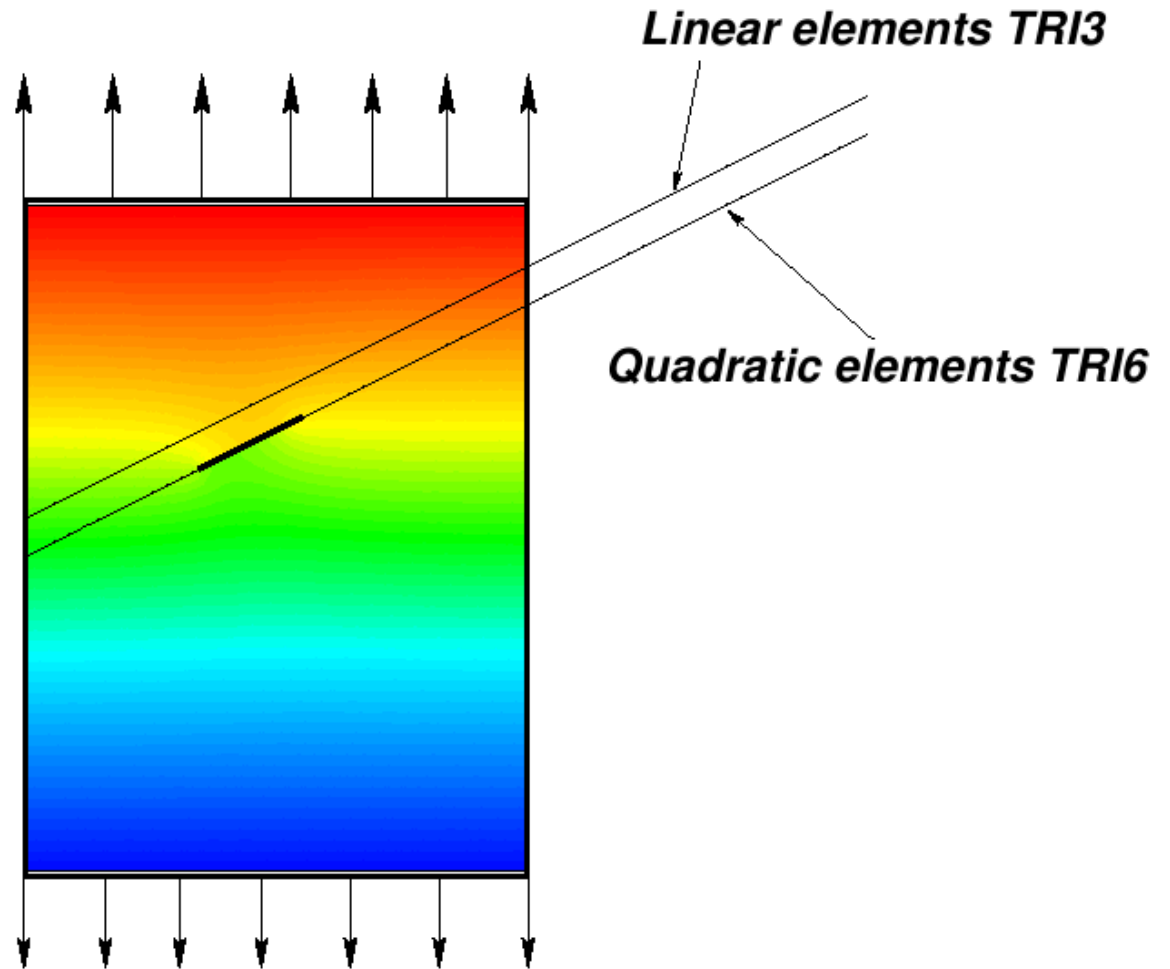


Fig. 7. Carbon paper with surrounding electrodes and internal crack (indicated).

Experience d'après Rittel et al. [RL02]



# POD Proper orthogonal decomposition

- Lumley et al. 1996, Holmes et al. 1997, ... **D.Ryckelnyck**

$$\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = \sum_j a_j(t) \varphi_j(\mathbf{x}).$$

## 4.1. Derivation of empirical eigenfunctions

In mathematical terms, a normalized basis element  $\varphi$  is optimal if the average projection of  $\mathbf{u}$  onto  $\varphi$  is maximized; i.e., we seek

$$\max_{\varphi \in X} \langle |\langle \mathbf{u}, \varphi \rangle|^2 \rangle / \|\varphi\|^2, \quad (5)$$

where  $|\cdot|$  denotes the modulus and  $\|\cdot\|$  is the  $L^2$ -norm,  $\|f\| = (f, f)^{1/2}$ . This can be reformulated in terms of the calculus of variations, with a functional for the constrained variational problem

$$J[\varphi] = \langle |\langle \mathbf{u}, \varphi \rangle|^2 \rangle - \lambda(\|\varphi\|^2 - 1). \quad (6)$$

A necessary condition for extrema is the vanishing of the functional derivative for all variations  $\varphi + \varepsilon\psi \in X$ :

$$\left. \frac{d}{d\varepsilon} J[\varphi + \varepsilon\psi] \right|_{\varepsilon=0} = 0. \quad (7)$$

Some algebra, together with the fact that  $\psi(\mathbf{x})$  is an arbitrary variation, shows that the condition (7) reduces to

$$\int_{\Omega} \underbrace{\langle \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \mathbf{u}^*(\mathbf{x}', t) \rangle}_{R(\mathbf{x}, \mathbf{x}')} \varphi(\mathbf{x}') d\mathbf{x}' = \lambda \varphi(\mathbf{x}). \quad (8)$$

# POD Proper orthogonal decomposition

---

- Correlation spatiale des déplacements dans le temps

- `xxt`

$$R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') = \frac{1}{T} \int_0^T \mathbf{u}_t(\mathbf{x}') \otimes \mathbf{u}_t(\mathbf{x}) dt$$

- Probleme a valeurs propres

- `vibr[ation]`

- Points extremaux du coeffecient de Rayleigh

$$\int_{\Omega} R(\mathbf{x}, \mathbf{x}') \phi(\mathbf{x}') - \lambda \phi(\mathbf{x}) = 0$$

# Avantages & Difficultés

---

- **Avantages**

- Oriente objet, programmation
- Couvre bon partie de la mécanique

- **Difficultés**

- Messages d'erreurs
- Manque de références commentaires dans les notices, exemples
  - Détails algorithmiques
- Manque exemples de bonne programmation
- Manque d'opérateurs mathématiques standard
- Priorité opérations
- Syntaxe pas systématique
- Français / anglais