

8<sup>èmes</sup> Journées

Fiabilité des  
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES

Aix-en-Provence,  
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTAUX  
**ECCOREV**  
ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX



# Identification du plan de maintenance optimal pour une structure soumise à la fatigue

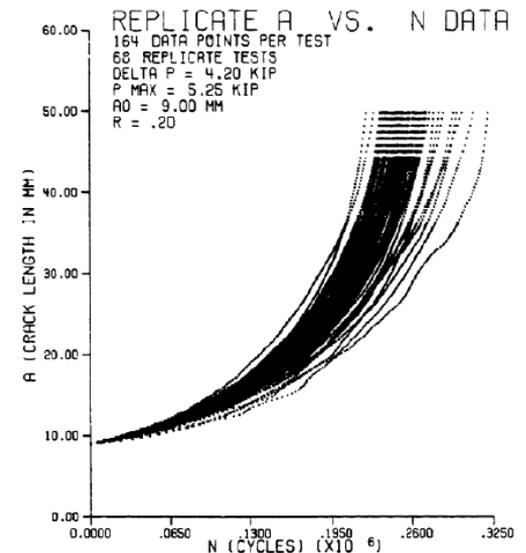
P. Beaurepaire



Institut Français de Mécanique Avancée, Clermont-Ferrand, France  
CNRS, UMR 6602, Institut Pascal

# Introduction

- Endommagement de fatigue causé par l'application de chargements variables
- Apparition et propagation de fissures, puis rupture
- Phénomène hautement aléatoire
- Prévention des problèmes causés par la fatigue en planifiant des opérations de maintenance
  - Contrôles non-destructifs
  - Réparation ou remplacement de composants lorsque cela est nécessaire



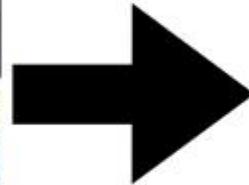
Virkler 1977

# Introduction

- La maintenance à des effets bénéfiques uniquement si elle est effectuée de façon appropriée
  - Exemple : accident ferroviaire d'Eschede (Allemagne, 1998)



Adequate  
maintenance  
scheme



Sufficient  
reliability

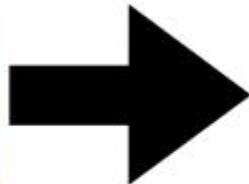


# Introduction

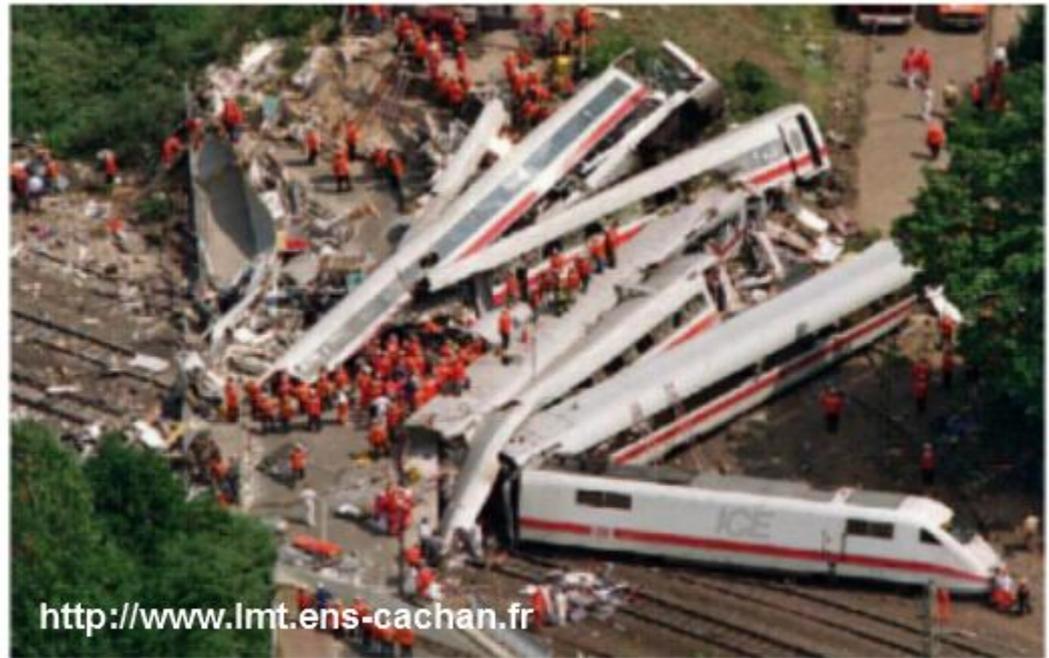
- La maintenance à des effets bénéfiques uniquement si elle est effectuée de façon appropriée
  - Exemple : accident ferroviaire d'Eschede (Allemagne, 1998)



Inadequate  
maintenance  
scheme

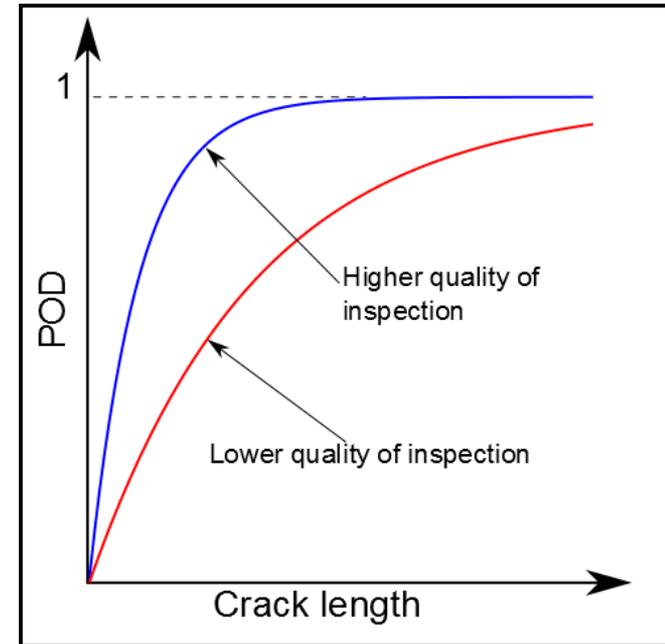


Catastrophic  
consequences



# Contrôle Non Destructif (CND)

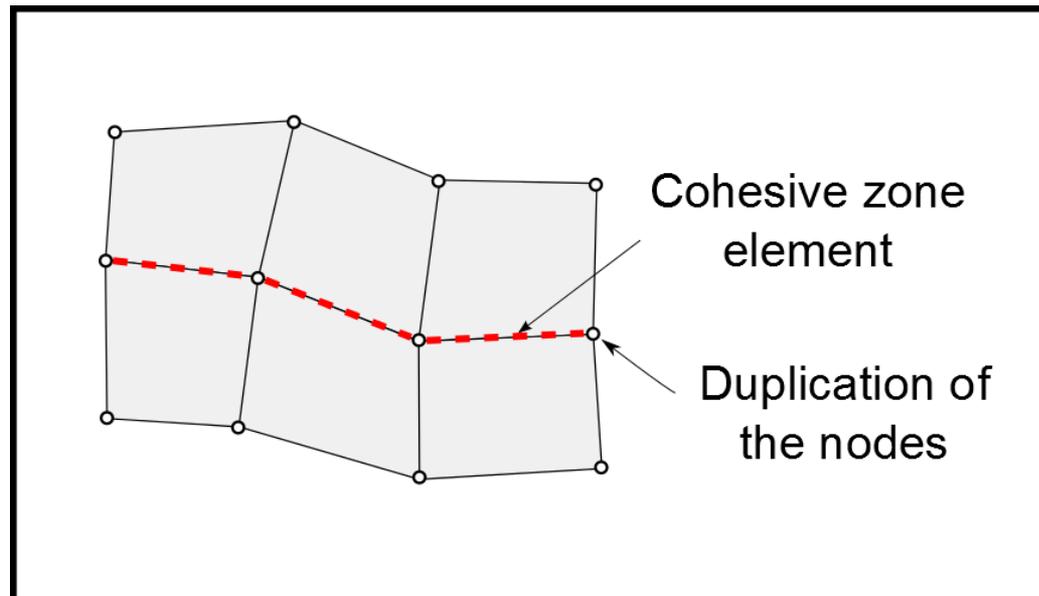
- Détection des fissures
  - Fonction de probabilité de détection (POD)
  - La POD dépend de la longueur des fissures, et d'un paramètre de qualité  $q$
  - Il est supposé que  $q$  est un réel
  - Fixer  $q$  revient à choisir une technique de contrôle
- Mesure des fissures
  - Erreurs de mesure supposées indépendantes de la valeur de  $q$
- Réparation de la structure
  - Si la longueur mesurée excède une limite donnée



$$\underbrace{l_{meas}}_{\text{Measured crack length}} = \underbrace{l}_{\text{Actual crack length}} + \underbrace{\epsilon}_{\text{Sizing error}}$$

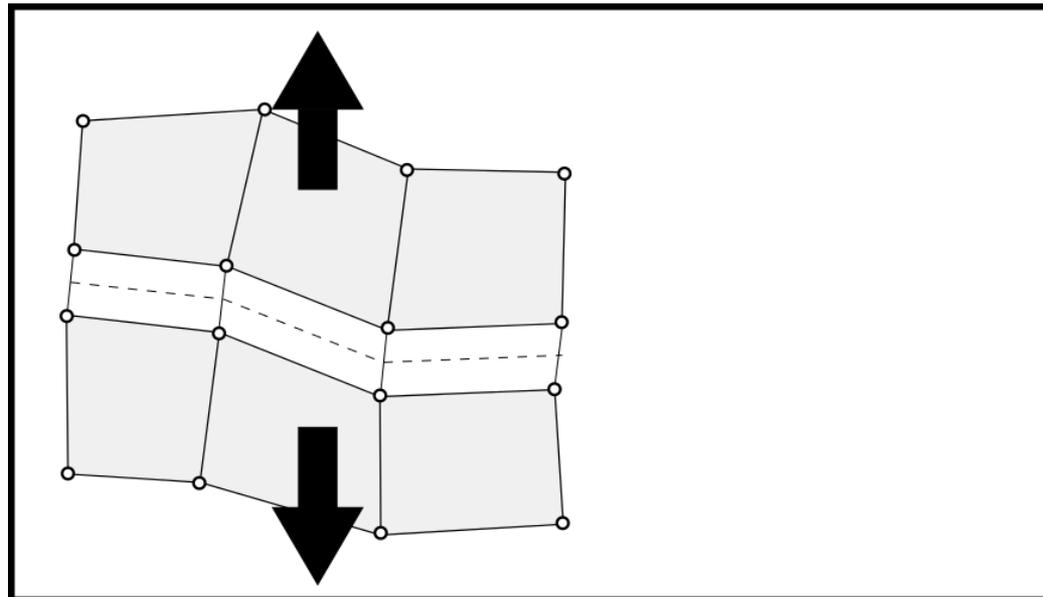
# Elements cohésifs

- Utilisation d'éléments cohésifs pour modéliser la fatigue avec un modèle par éléments finis
- Éléments 1D insérés sur le chemin de fissure
- Connectent les éléments solides
  - Par le biais d'une loi de traction-déplacement



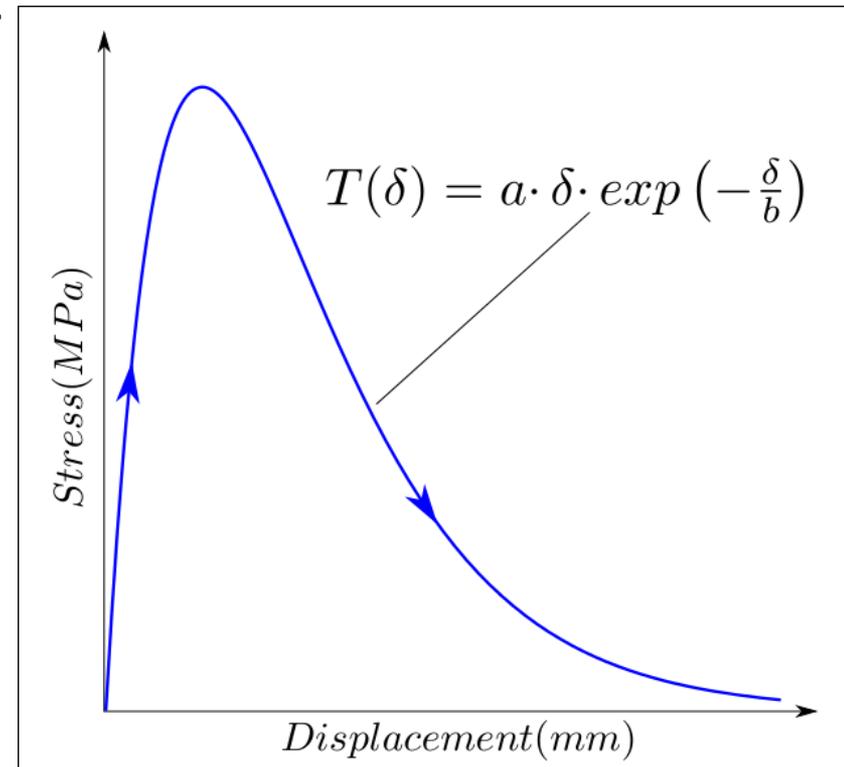
# Elements cohesifs

- Utilisation d'éléments cohésifs pour modéliser la fatigue avec un modèle par éléments finis
- Elements 1D insérés sur le chemin de fissure
- Connectent les éléments solides
  - Par le biais d'une loi de traction-déplacement



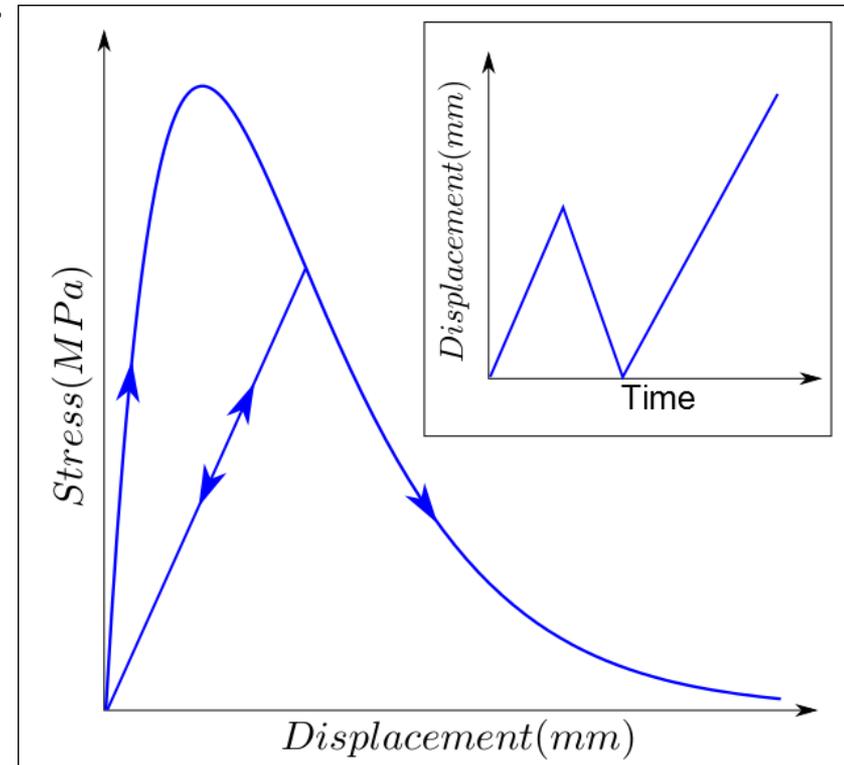
# Elements cohésifs

- Loi de traction-déplacement
  1. Opposition à l'ouverture de fissures
  2. Perte de résistance
- Endommagement
- Cycles d'hystérésis



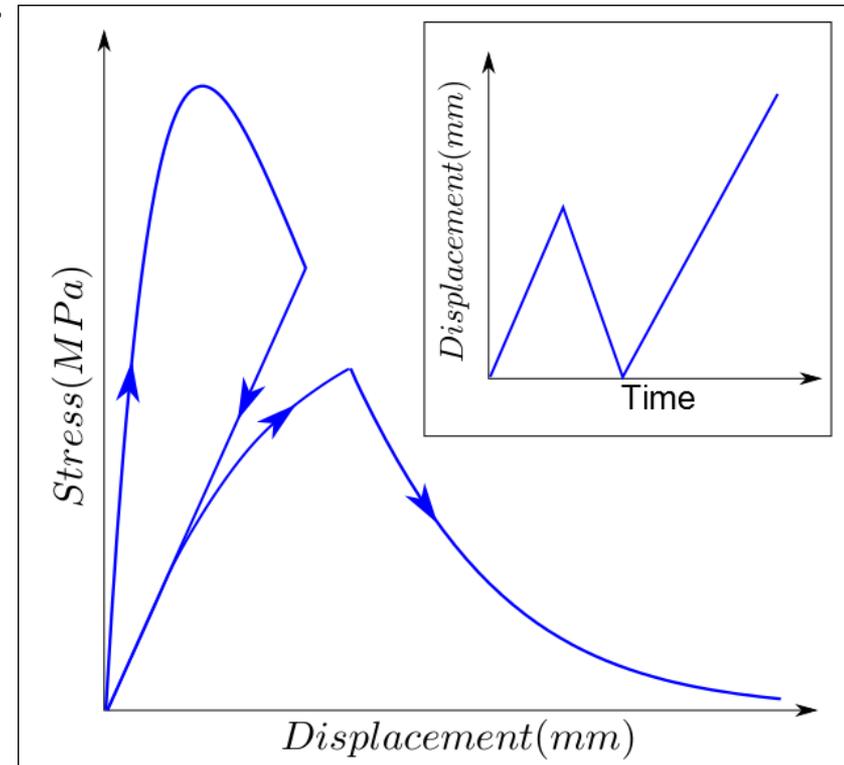
# Elements cohésifs

- Loi de traction-déplacement
  1. Opposition à l'ouverture de fissures
  2. Perte de résistance
- Endommagement
- Cycles d'hystérésis



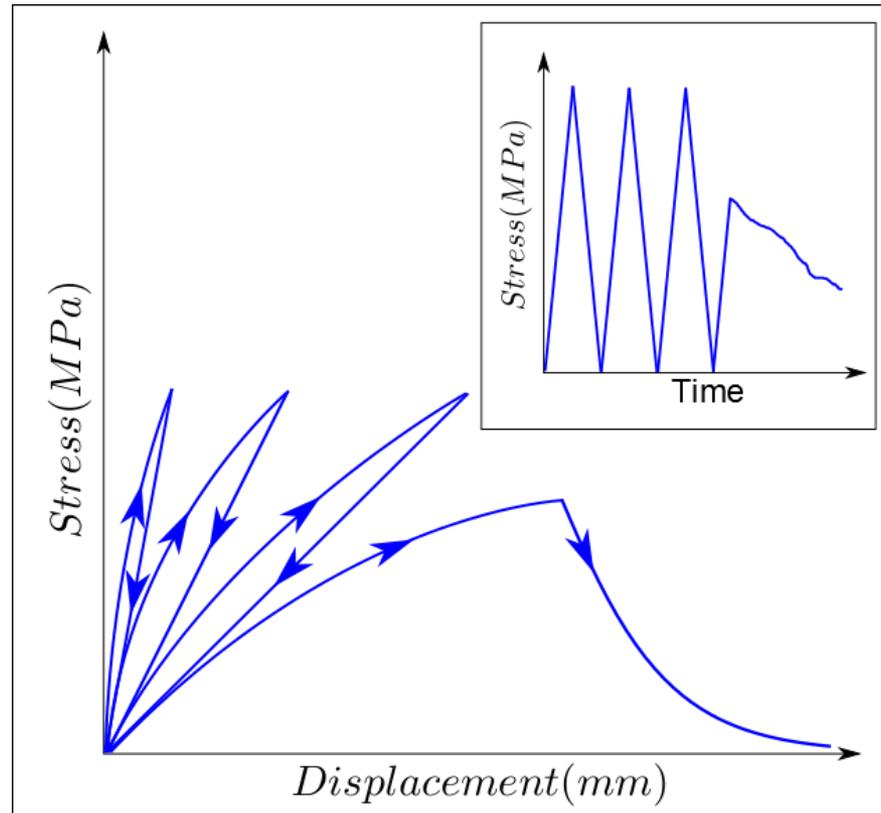
# Elements cohésifs

- Loi de traction-déplacement
  1. Opposition à l'ouverture de fissures
  2. Perte de résistance
- Endommagement
- Cycles d'hystérésis



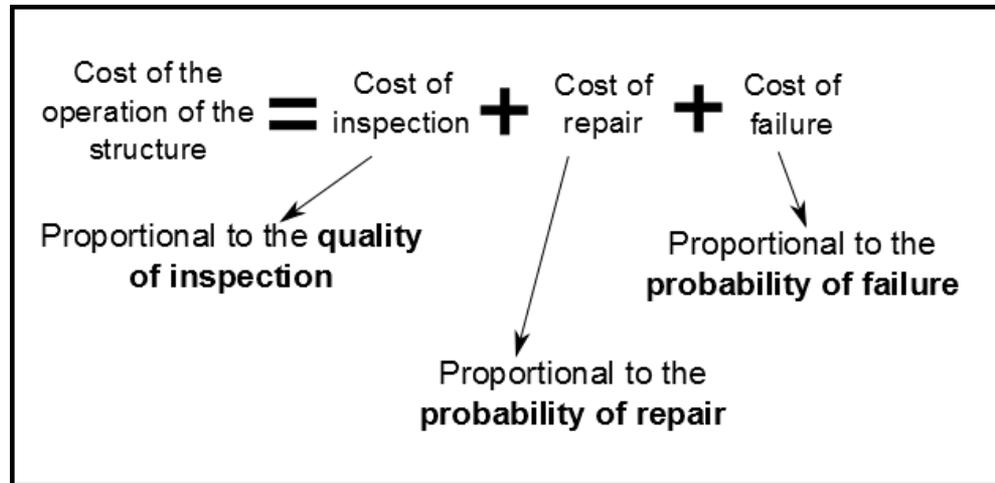
# Elements cohesifs

- Evolution des contraintes sur plusieurs cycles
- La modélisation est valide uniquement si il y a des concentrations de contrainte



# Plan de maintenance optimal

- Coûts associés à une structure

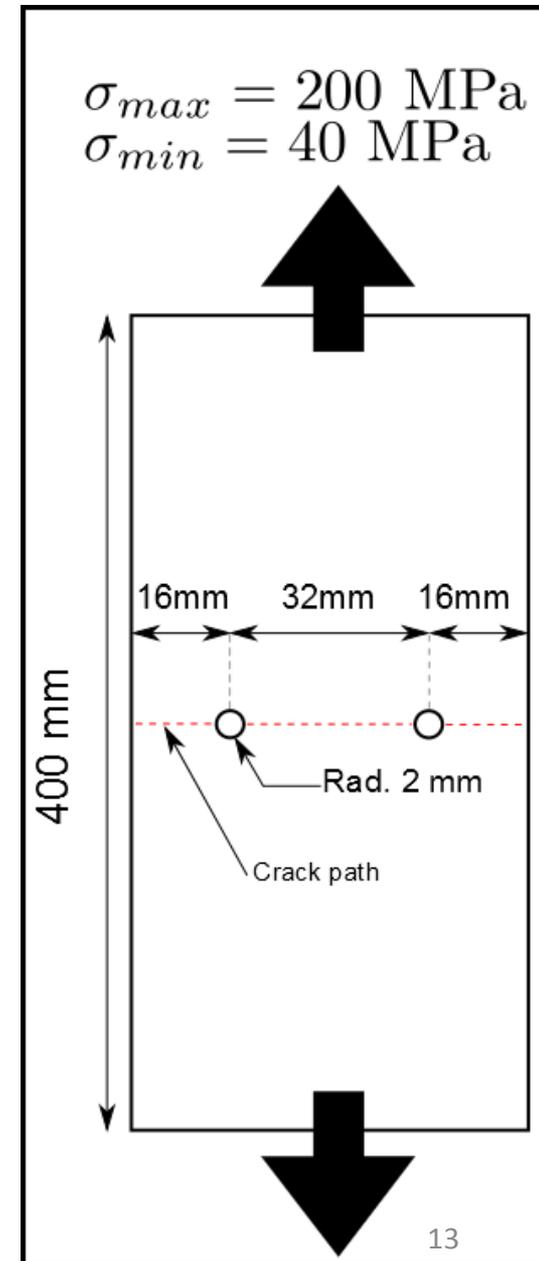


- Objectif : identification du plan de maintenance optimal, minimisant les coûts
- Utilisation d'une procédure d'optimisation fiabiliste [1]

[1] P. Beaurepaire, M.A. Valdebenito, G.I. Schuëller and H.A. Jensen, Reliability based optimization of maintenance scheduling of mechanical components under fatigue, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2012

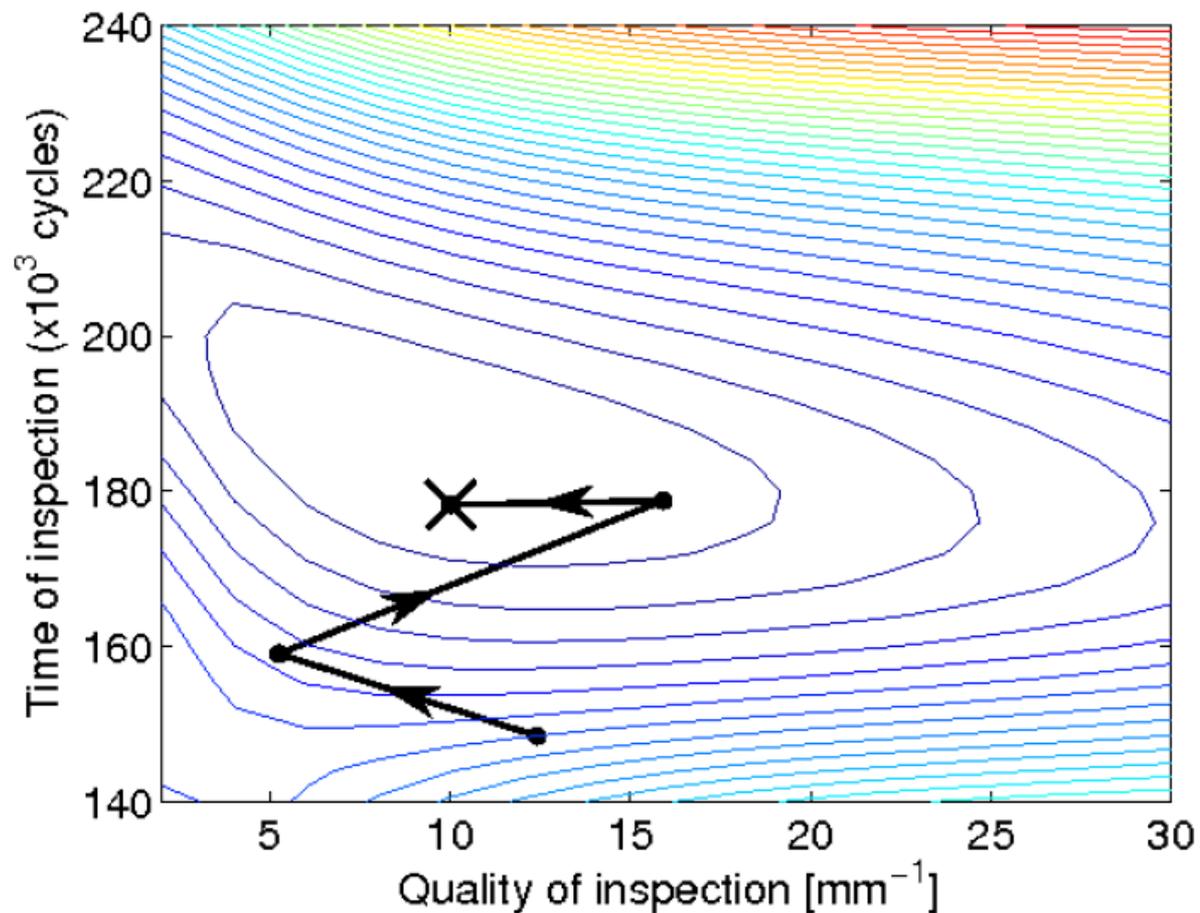
# Exemple

- Fissures attendues sur la ligne médiane de la structure
- Incertitudes dans les paramètres de la loi de traction-déplacement
- La structure est inspectée une seule fois pendant son service, et réparée si cela est jugé nécessaire
- Paramètres d'optimisation
  - Le paramètre de qualité  $q$  des CND
  - Le moment de l'inspection



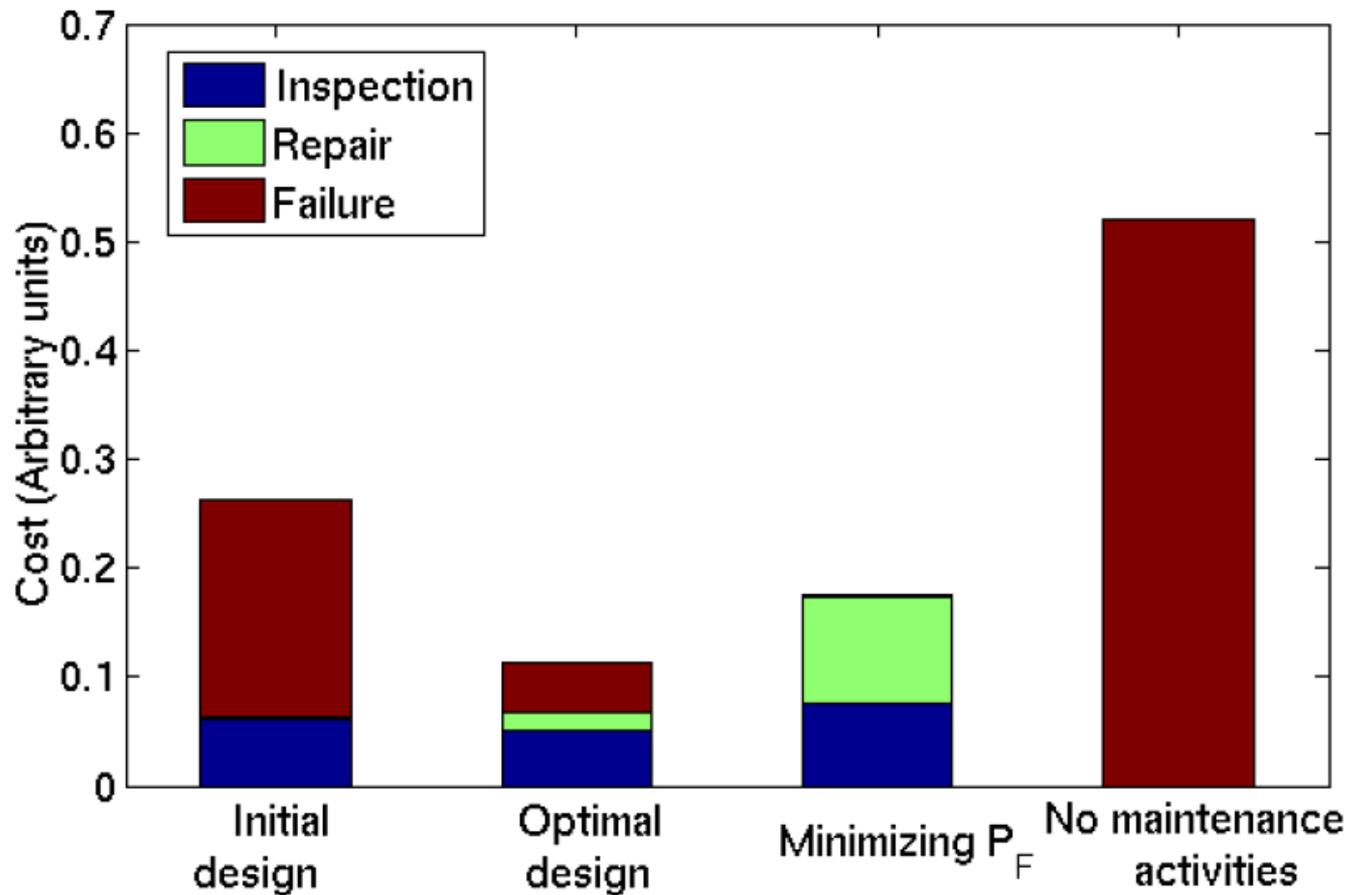
# Résultats

- Convergence de la procédure vers le plan de maintenance minimisant les coûts



# Résultats

- Comparaison de différentes stratégies de maintenance



# Conclusions

- Identification du plan de maintenance qui minimise les coûts d'exploitation d'une structure
- L'optimum est un compromis entre les différents coûts, associés au différents événements