

Mécanique de la rupture

Introduction



École des Ponts

Daniel Weisz-Patrault

Ecole des Ponts

12 Février 2020

Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

Objectifs

- Différencier les principaux mécanismes de ruines
 - Grandes transformations (ruine plastique)
 - Propagation de fissure (fragile et ductile)
 - Fatigue
 - Endommagement
- Mécanique linéaire de la rupture et ses hypothèses
 - Thermodynamique
 - Critère énergétique
 - Facteur d'intensité de contrainte
 - Ténacité
- Compréhension énergétique
- Outils numériques
 - FEM
 - Partition de l'unité
 - Fonctions de niveau
 - X-FEM
- Pratiquer sur un projet approfondi

Objectifs

Conception saine, dimensionnement, maintenance

- Compréhension en profondeur des concepts clés
- Comprendre les relations entre la mécanique et les matériaux
- Comprendre les différents mécanismes de ruine
- Suivi en service
- Connaître les hypothèses et limites des approches
- Mesurer l'étendu de son ignorance (mesurer les incertitudes)

Acceptabilité sociale

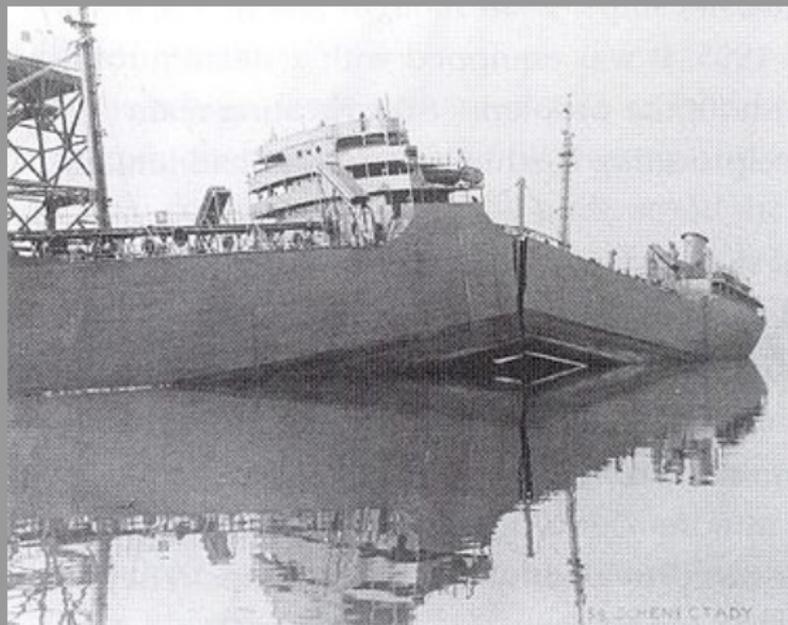
- Démonstration de sûreté
- Responsabilité des ingénieurs
- Cadre règlementaire *vs* expertise

Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

Différents type de ruine

Rupture fragile



Différents type de ruine

Rupture fragile : design de système de sécurité



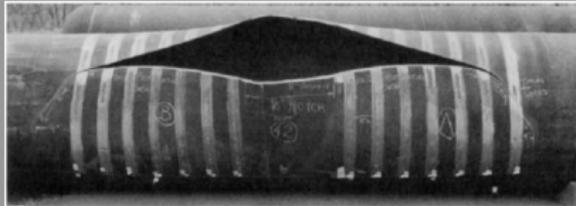
Différents type de ruine

Rupture fragile : rupture hydrolique



Différents type de ruine

Ductile



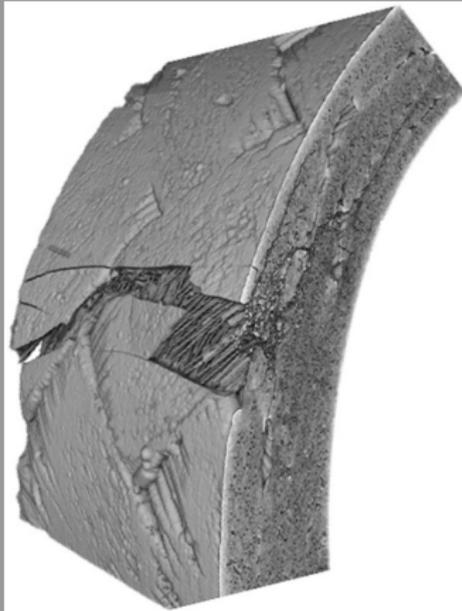
(a)



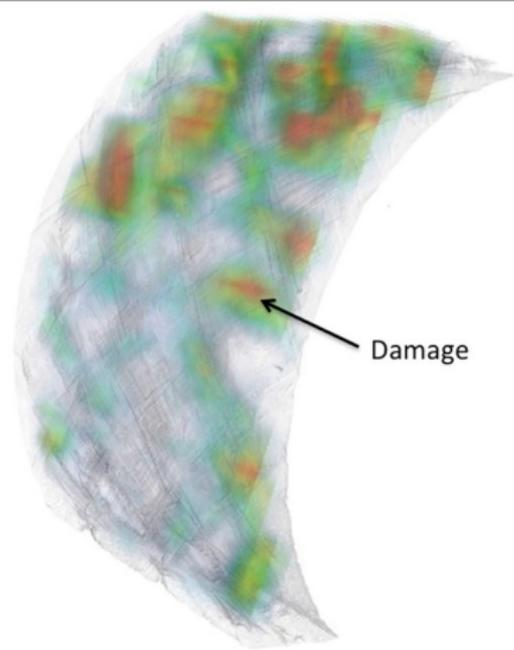
(b)

Différents type de ruine

Endommagement



Tomography



Tomography and Digital Volume Correlation

Différents type de ruine

Endommagement



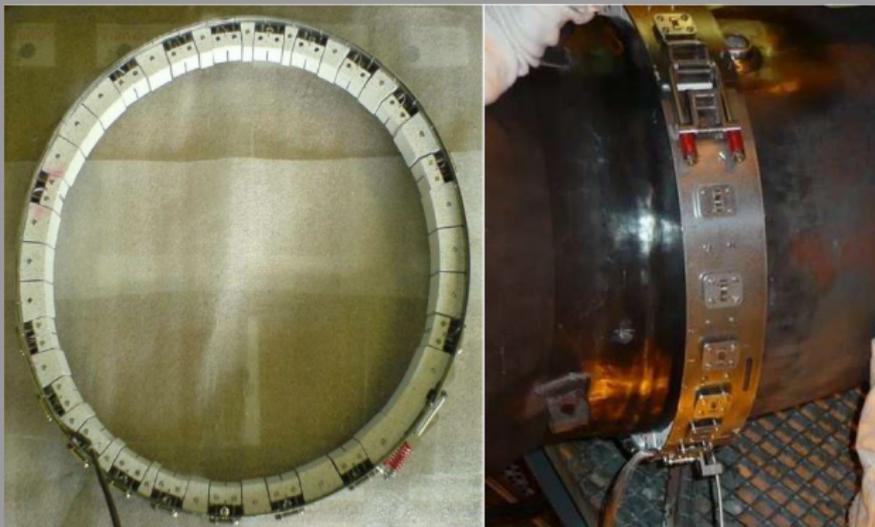
Différents type de ruine

Fatigue



Différents type de ruine

Fatigue



Différents type de ruine

Grandes transformations : ruine plastique



Différents type de ruine

Corrosion



Différents type de ruine

Corrosion



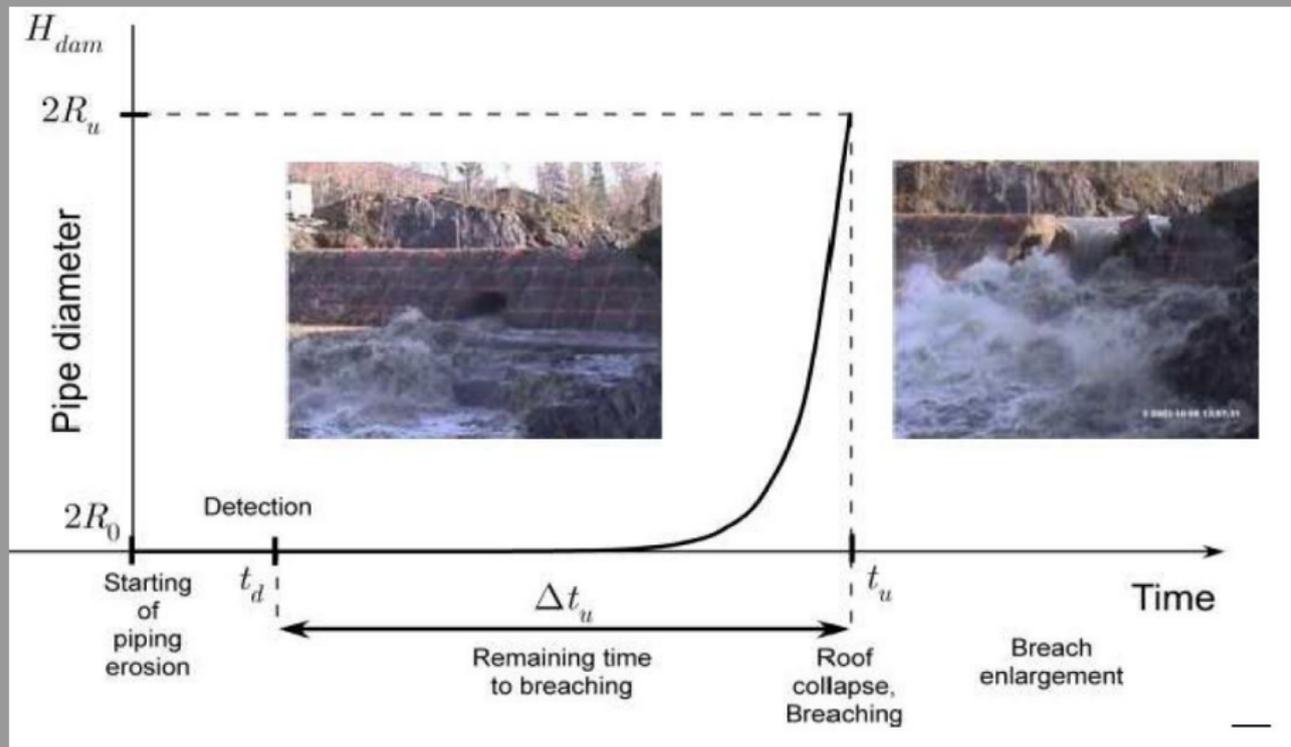
Différents type de ruine

Corrosion



Différents type de ruine

Erosion



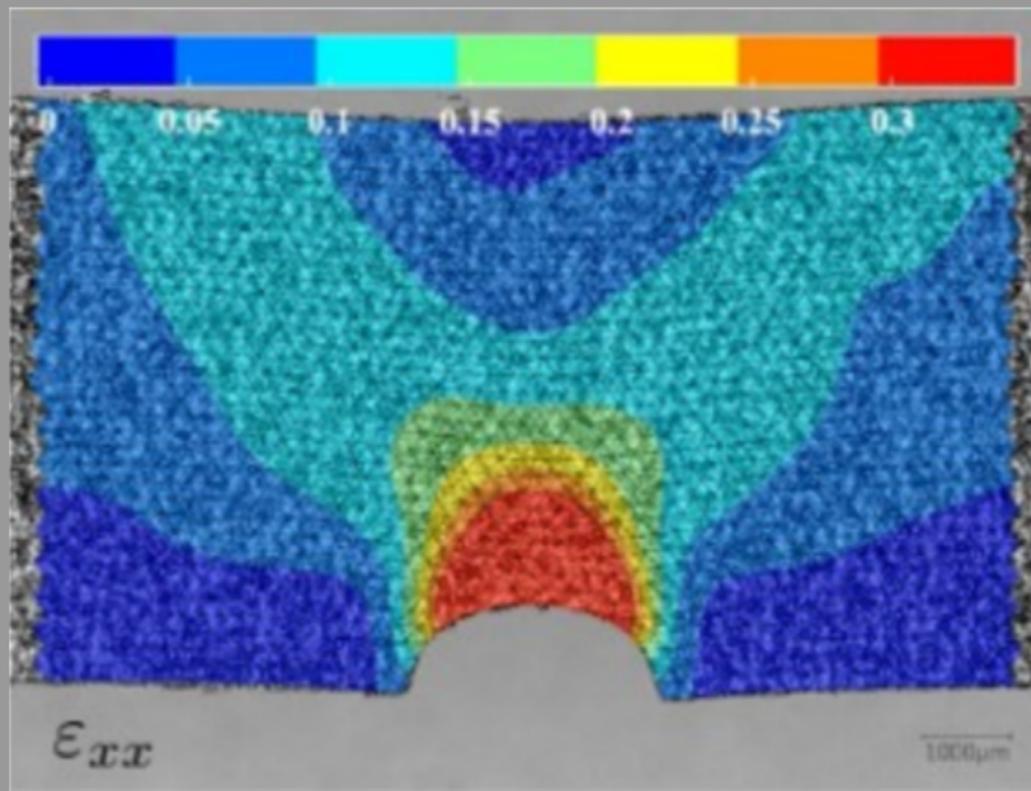
Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure**
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

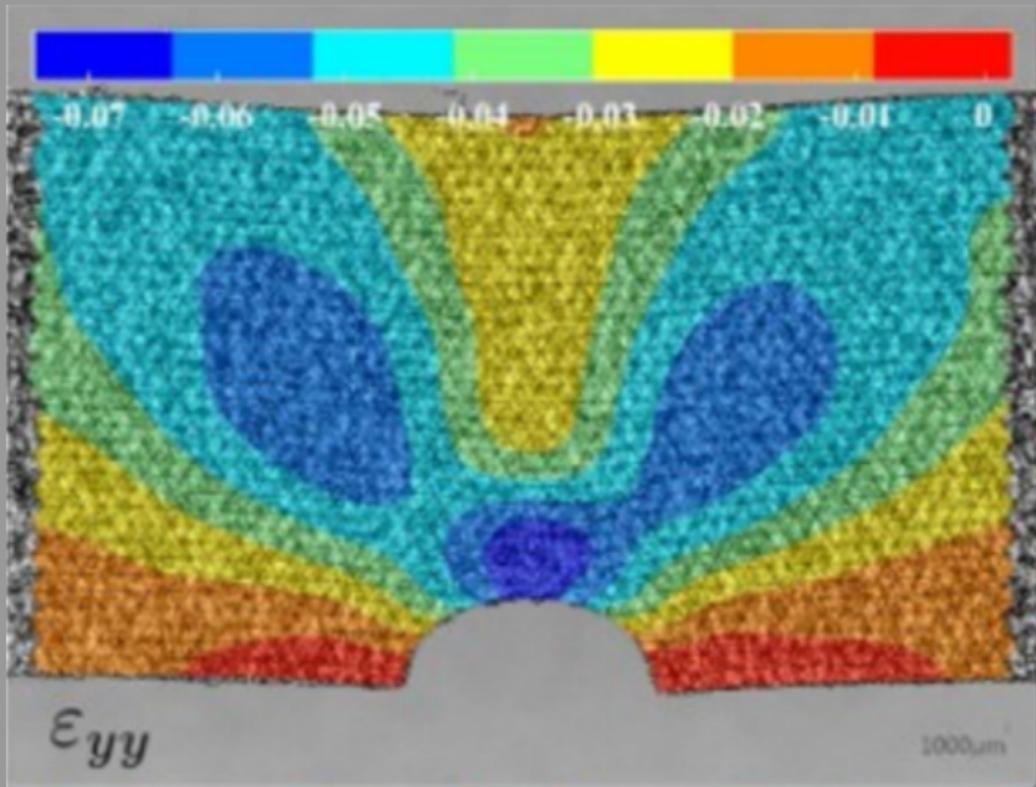
Propagation d'une fissure

- **Notion de concentration de contraintes**
- Rupture fragile
- X-FEM
- Rupture ductile

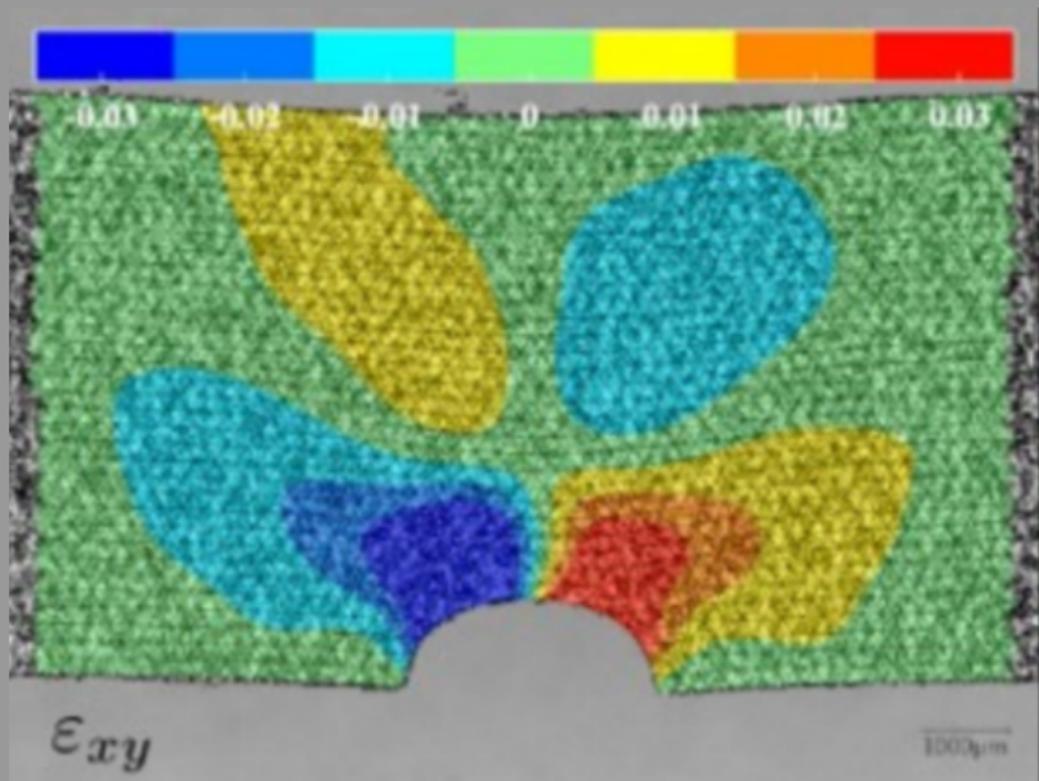
Notion de concentration de contraintes



Notion de concentration de contraintes



Notion de concentration de contraintes



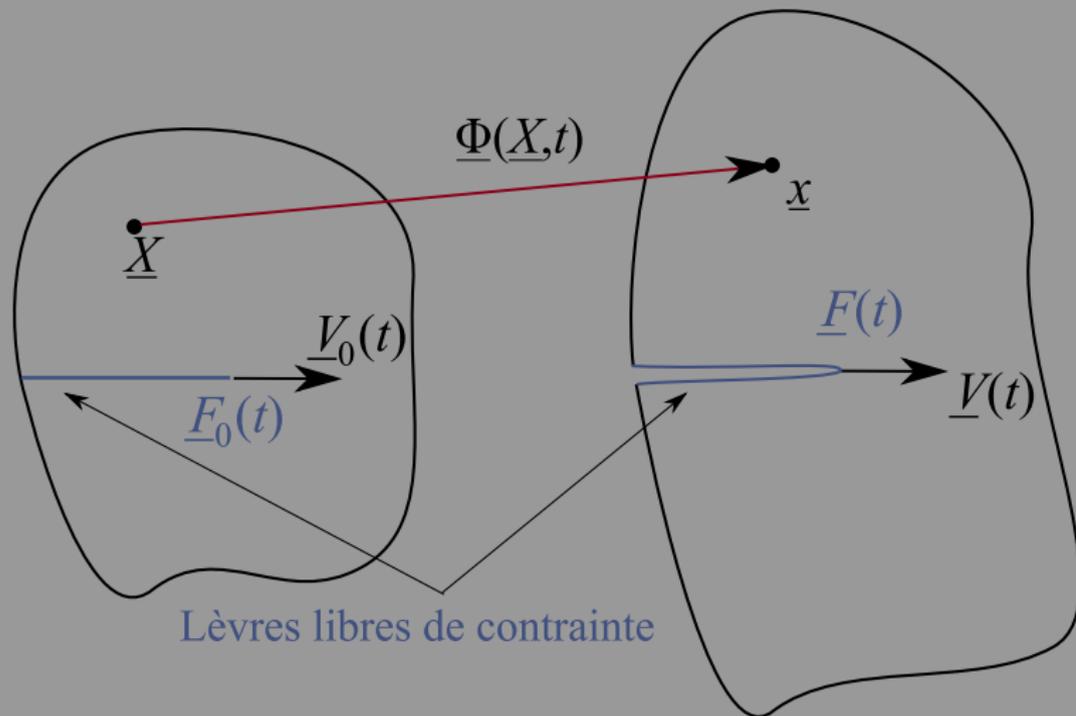
Propagation d'une fissure

- Notion de concentration de contraintes
- **Rupture fragile**
- X-FEM
- Rupture ductile

Rupture fragile

Notion de puissance dissipée par l'avancée d'une fissure

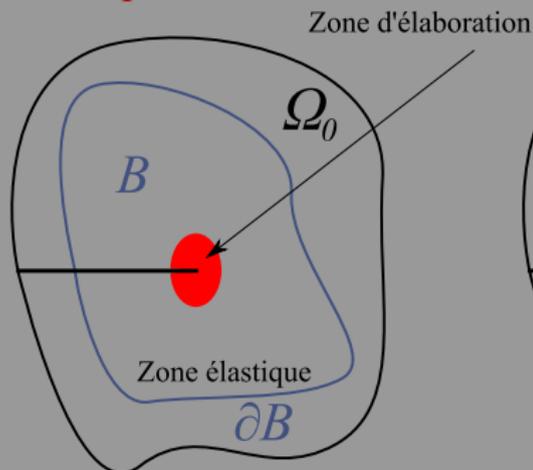
Points mobiles dans configuration de référence : l'extrémité de la fissure



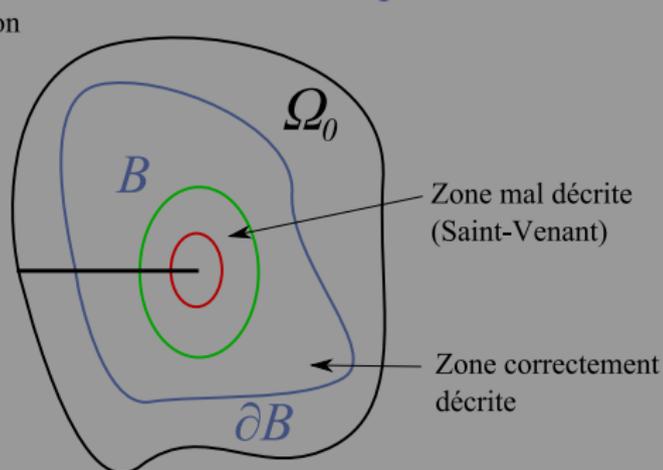
Rupture fragile

Hypothèse de confinement

Description non-linéaire

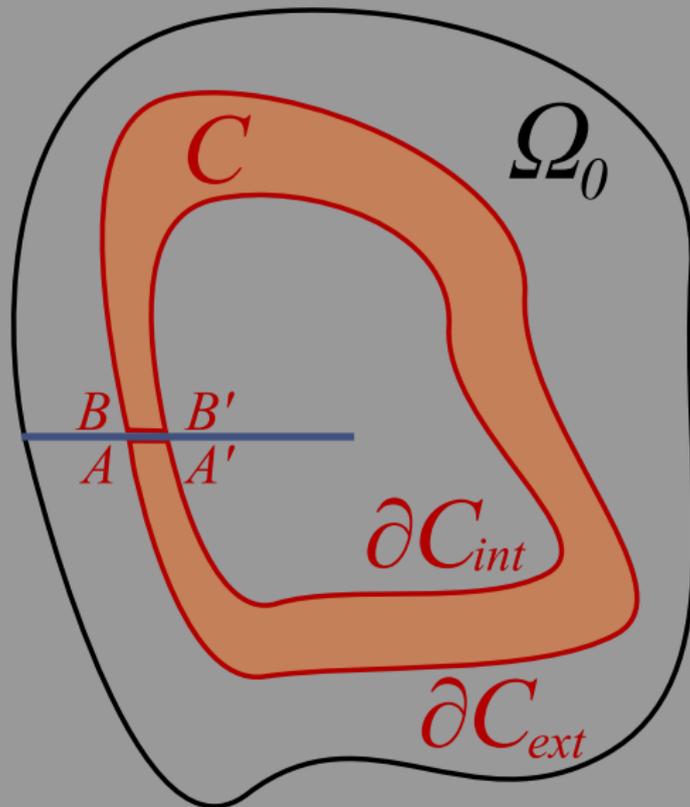


Modélisation élastique



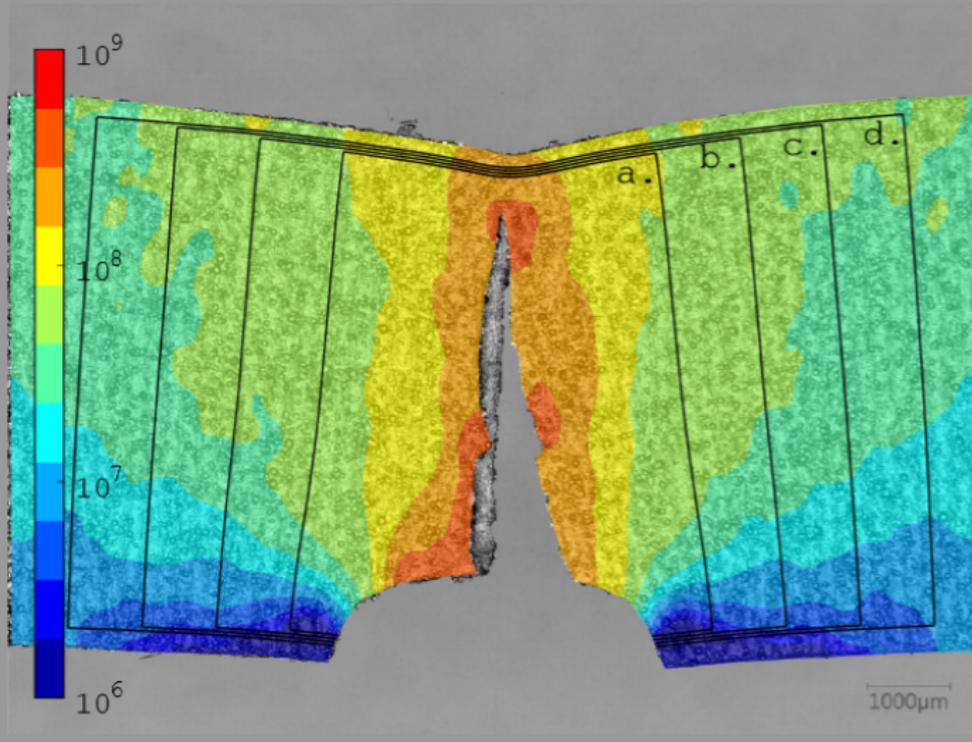
Rupture fragile

Notion d'intégrale indépendante du contour



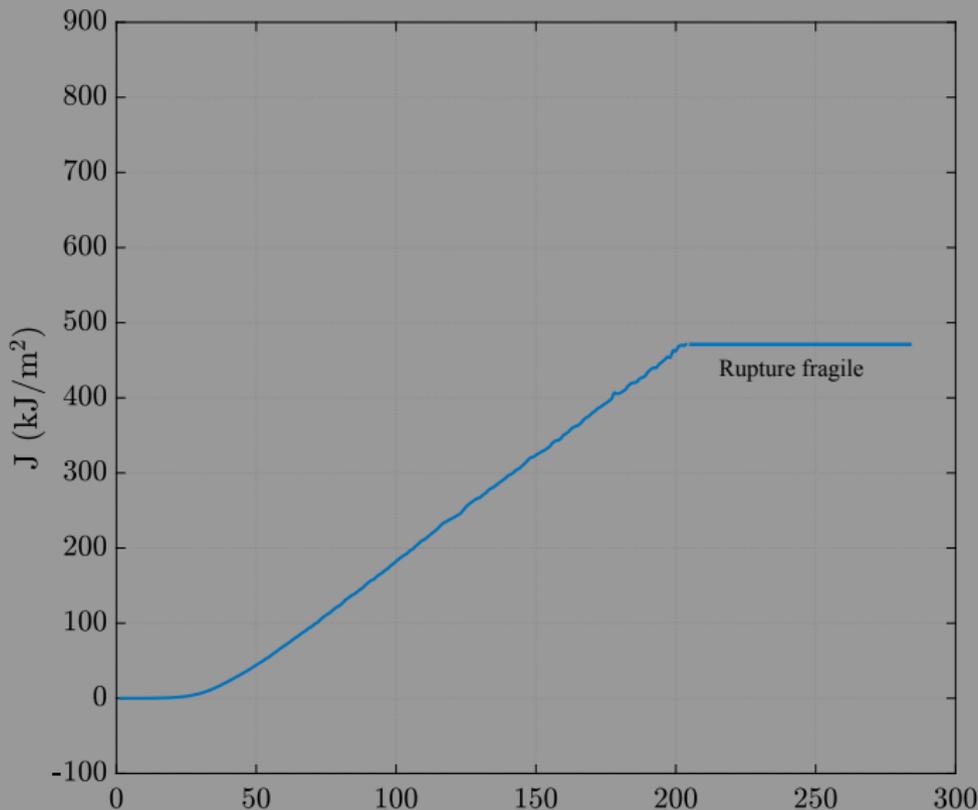
Rupture fragile

Notion d'intégrale indépendante du contour



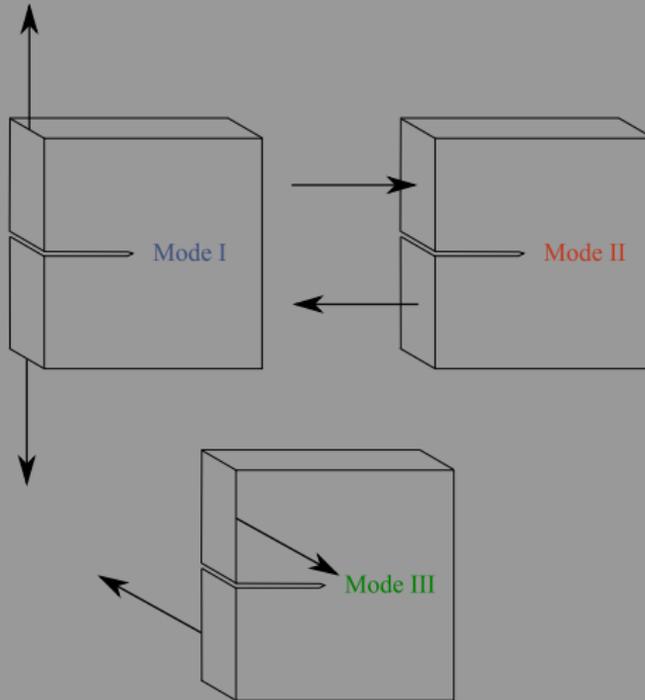
Rupture fragile

Notion d'intégrale indépendante du contour



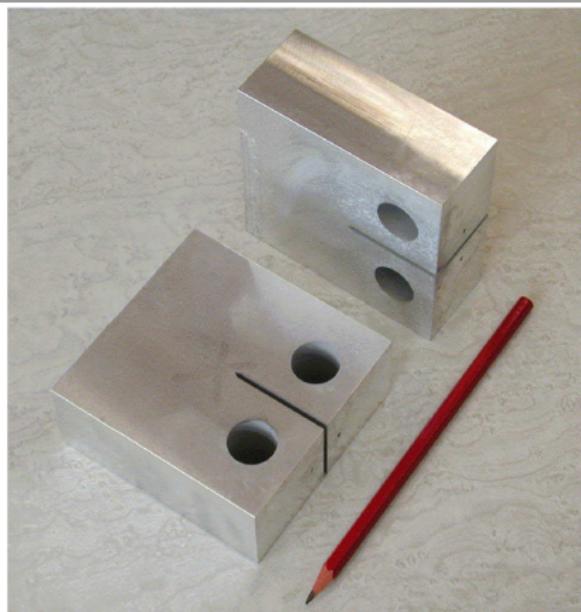
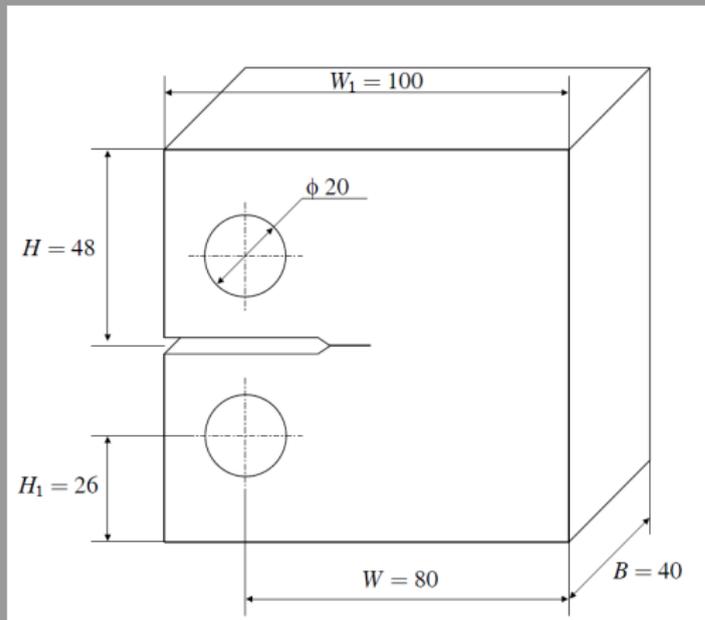
Rupture fragile

Notion de facteur d'intensité de contraintes



Rupture fragile

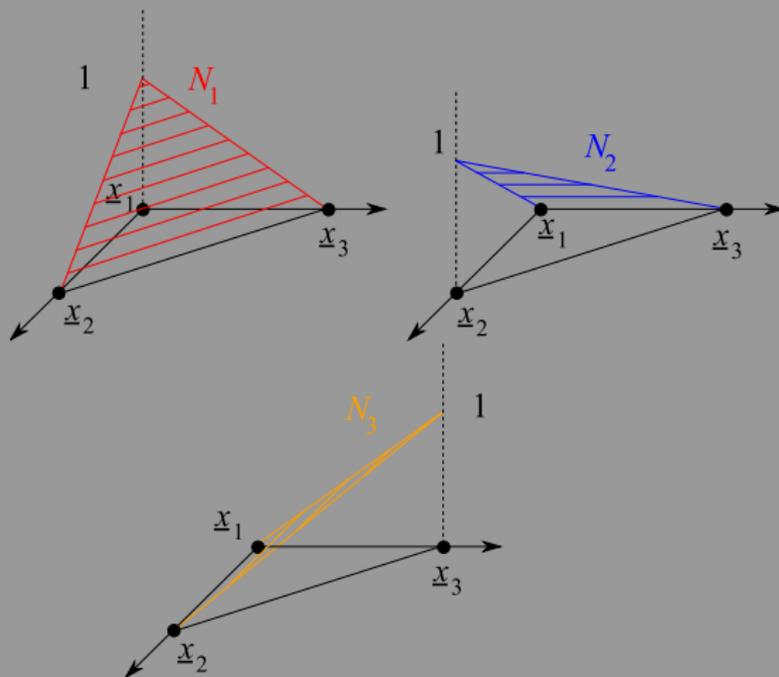
Eprouvette CT



Propagation d'une fissure

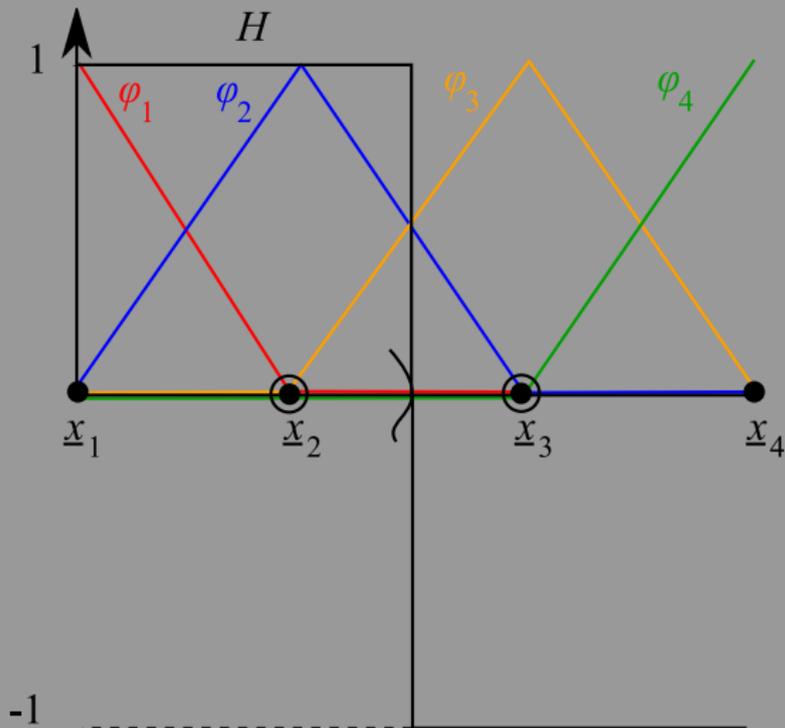
- Notion de concentration de contraintes
- Rupture fragile
- **X-FEM**
- Rupture ductile

Enrichissement des fonctions de formes

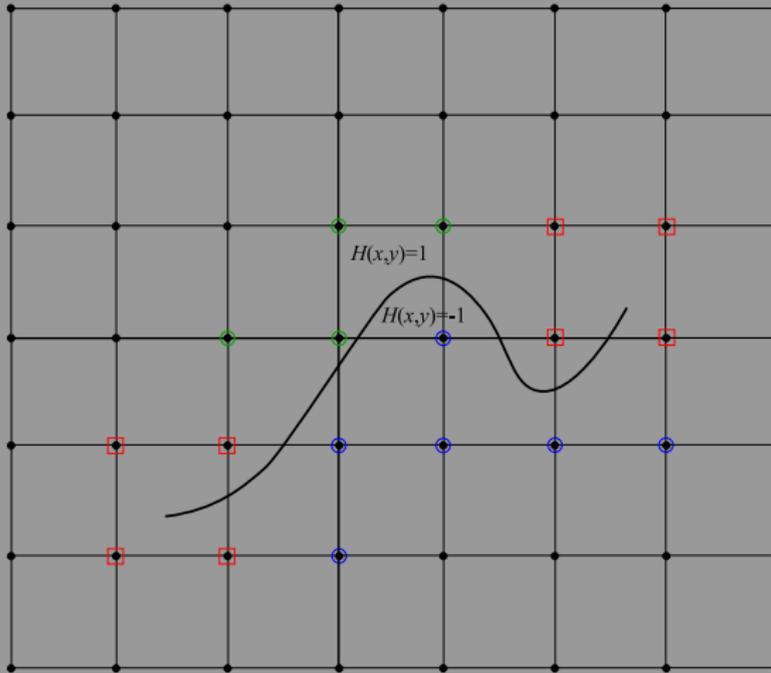


X-FEM

Enrichissement des fonctions de formes

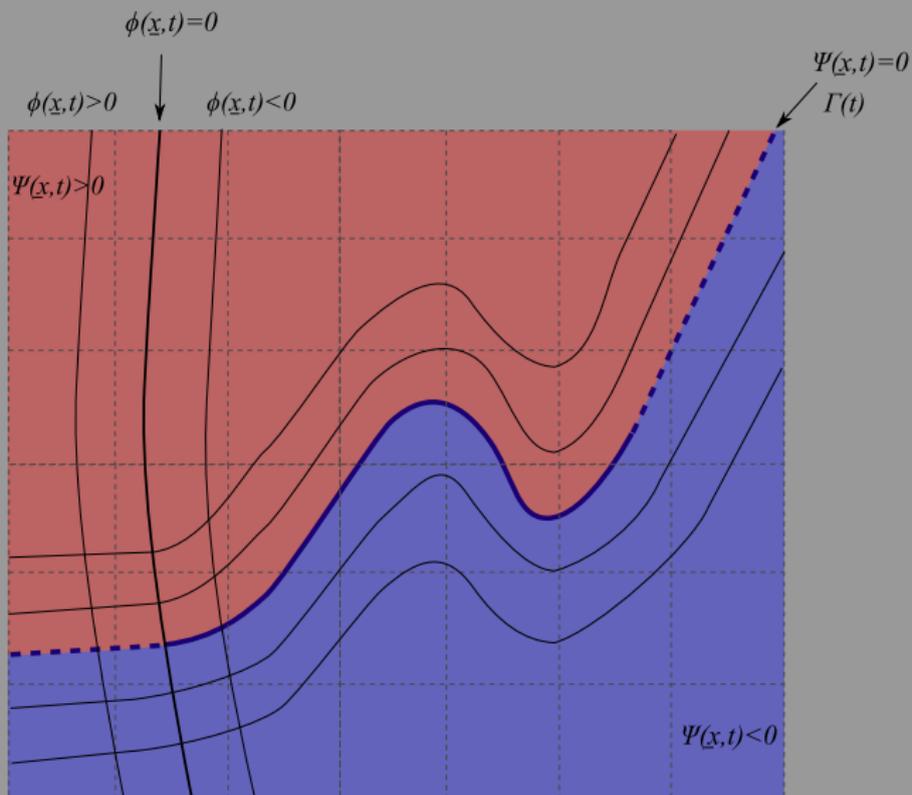


Fonctions de niveaux



X-FEM

Fonctions de niveaux

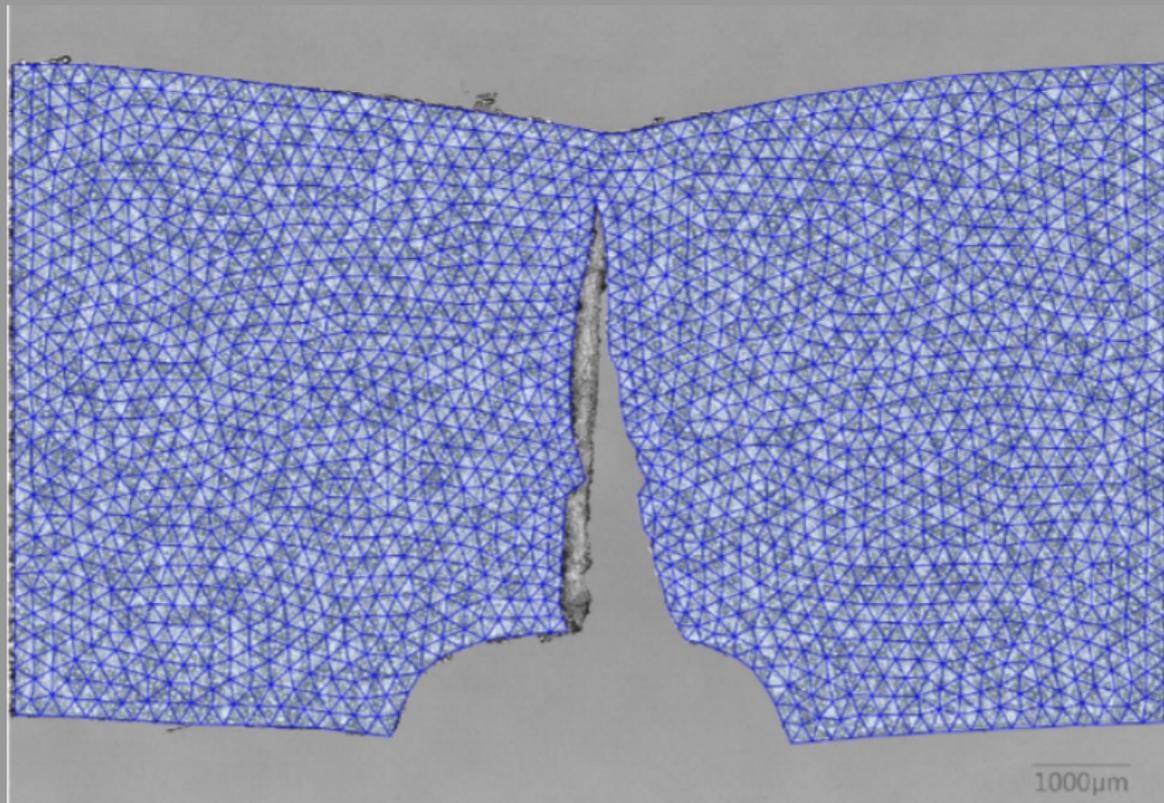


Propagation d'une fissure

- Notion de concentration de contraintes
- Rupture fragile
- X-FEM
- **Rupture ductile**

Rupture ductile

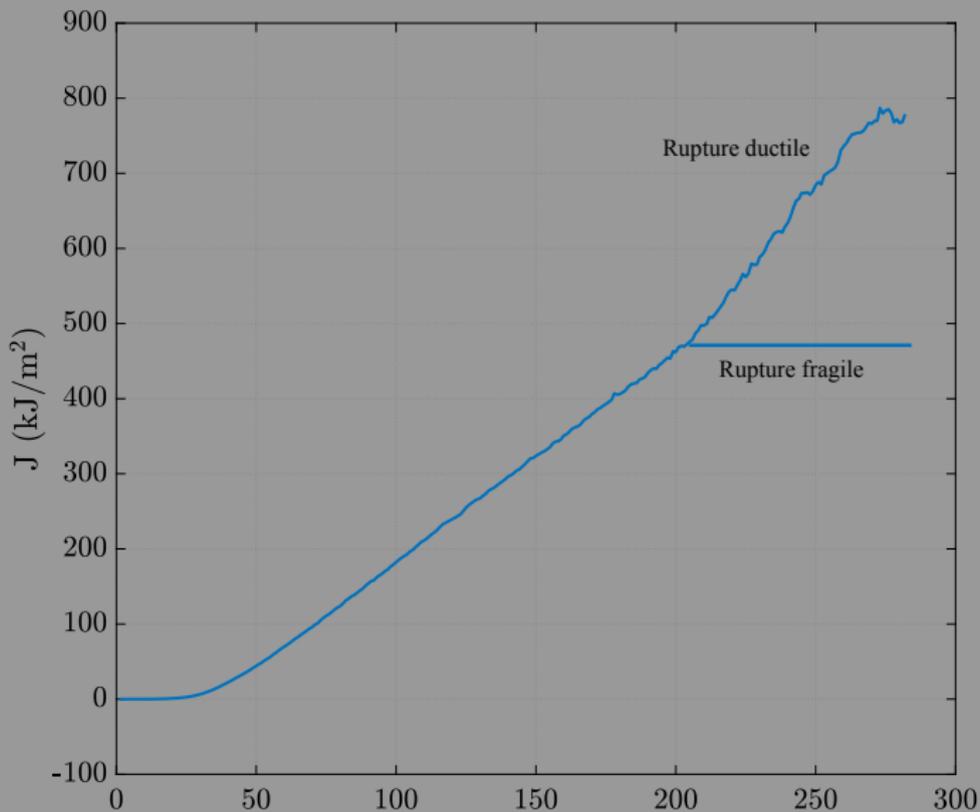
Plasticité non confinée



Rupture ductile

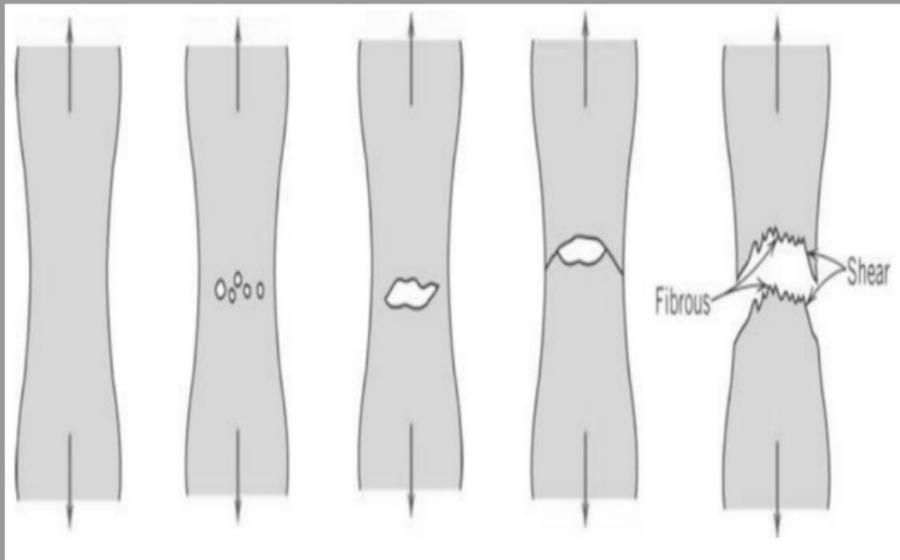
Rupture ductile

Plasticité non confinée



Rupture ductile

Cavitation plastique



Rupture ductile

Cavitation plastique



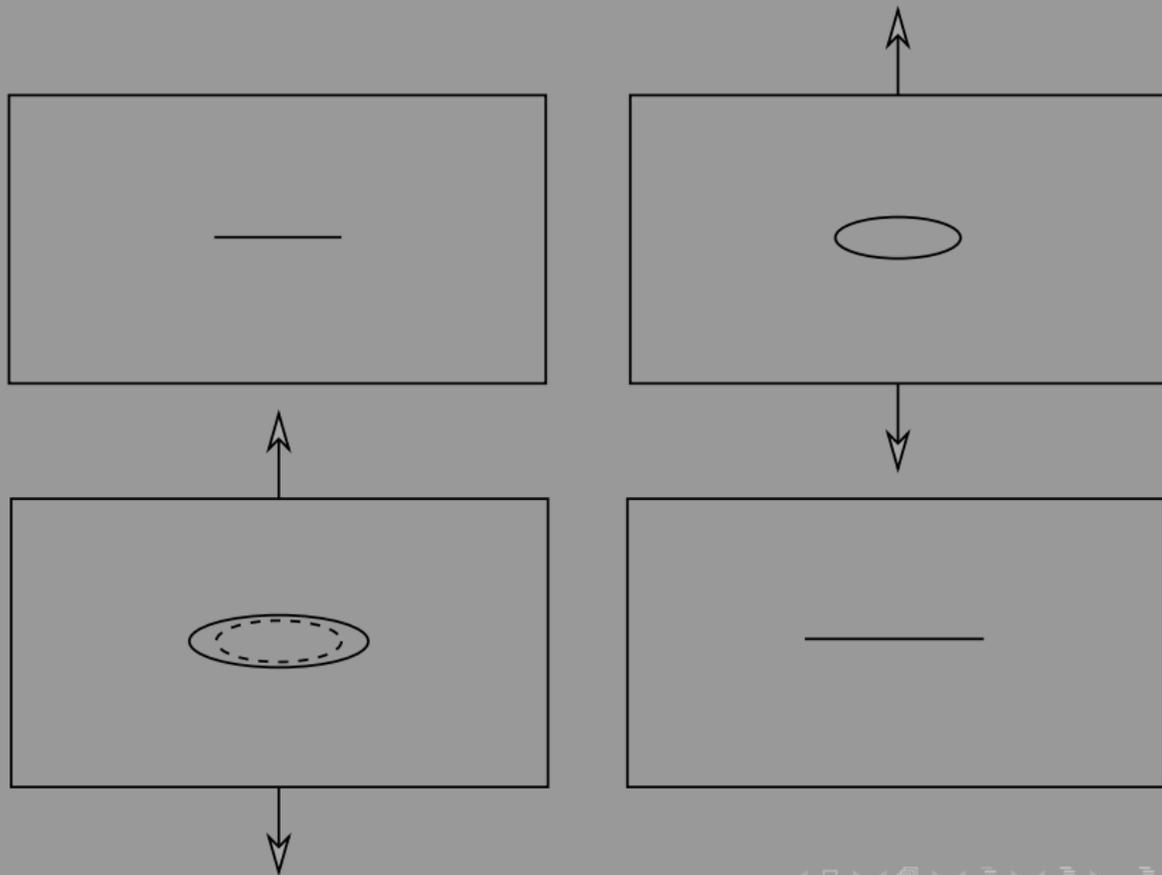
Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue**
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

Fatigue

- Evolution de fissure par déformation plastique
- Grain mal orienté : plasticité cristalline

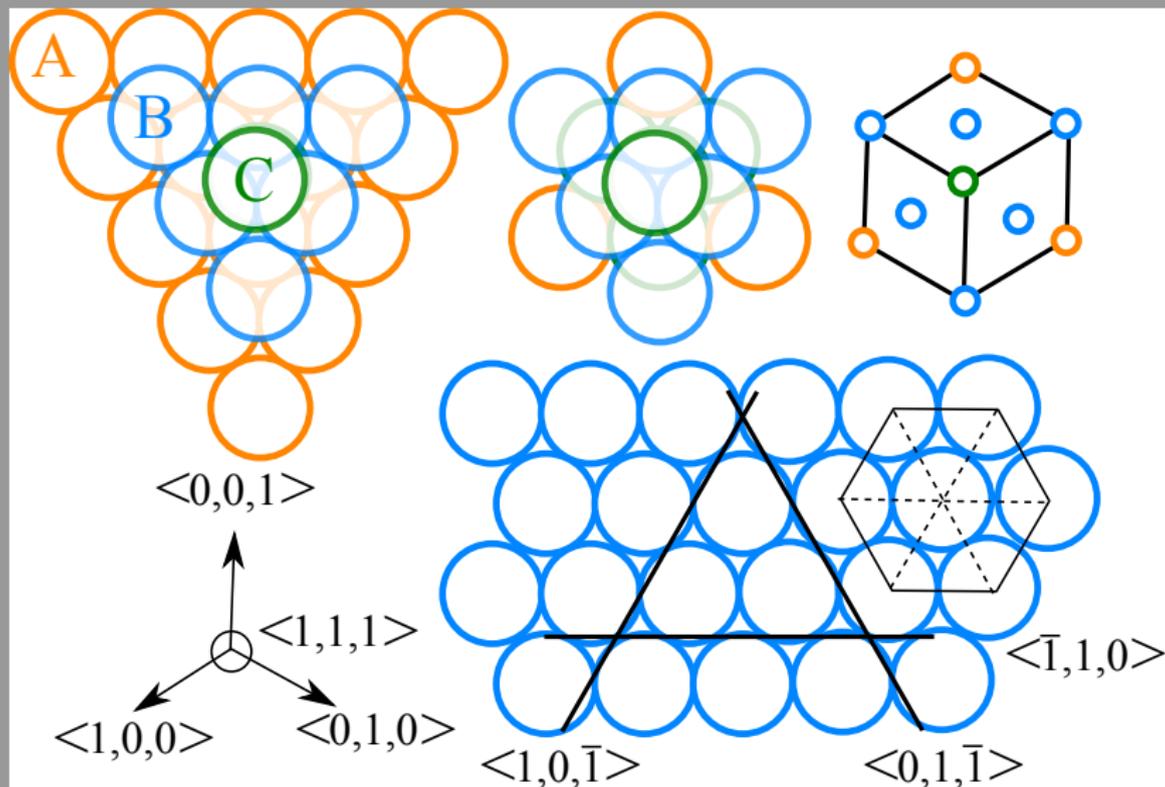
Evolution de fissure par déformation plastique



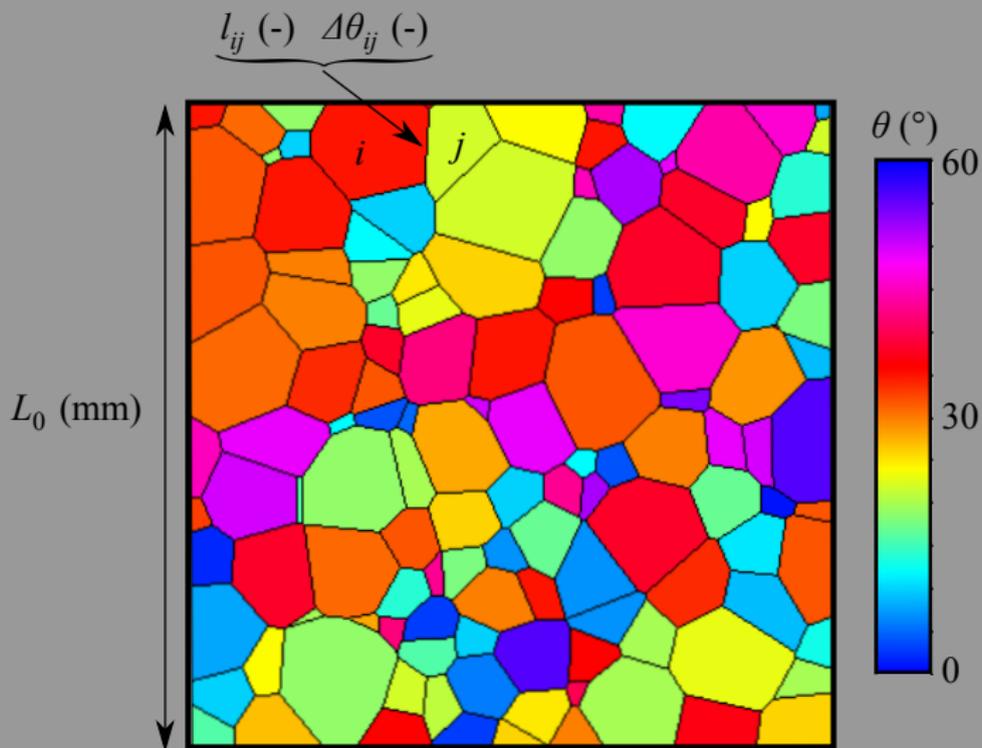
Fatigue

- Evolution de fissure par déformation plastique
- Grain mal orienté : plasticité cristalline

Grain mal orienté : plasticité cristalline



Grain mal orienté : plasticité cristalline



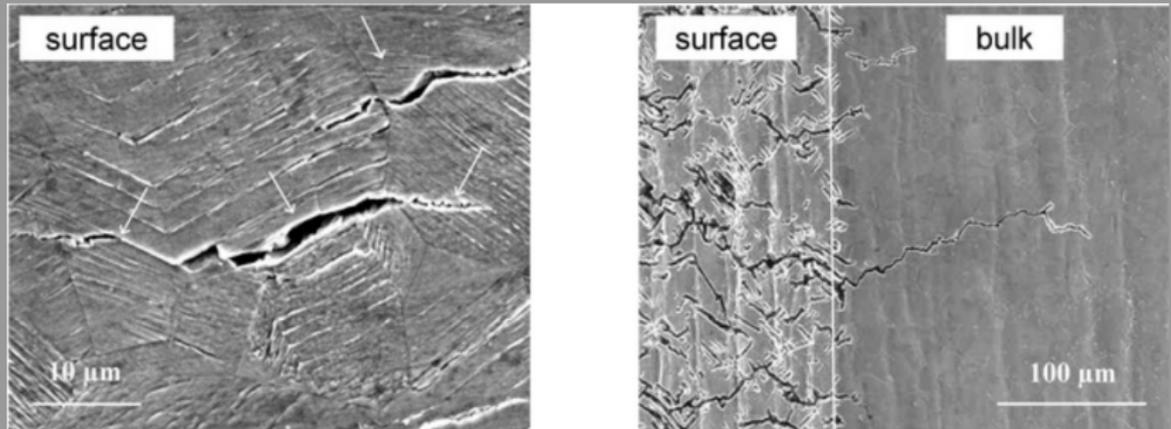
Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement**
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances

Endommagement

- **Micro-fissuration**
- Comportement
- Méthodes en champ de phase

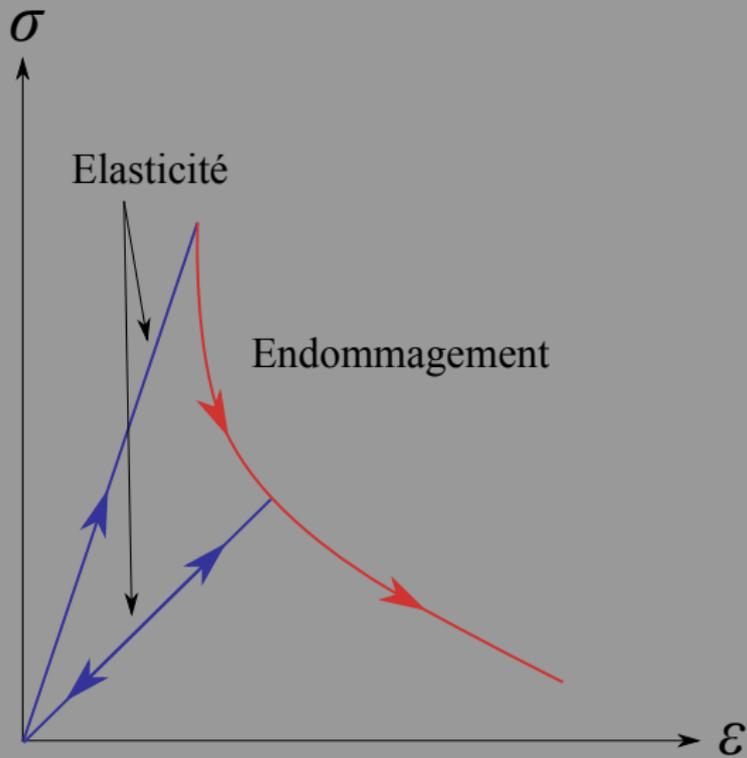
Micro-fissuration



Endommagement

- Micro-fissuration
- **Comportement**
- Méthodes en champ de phase

Comportement

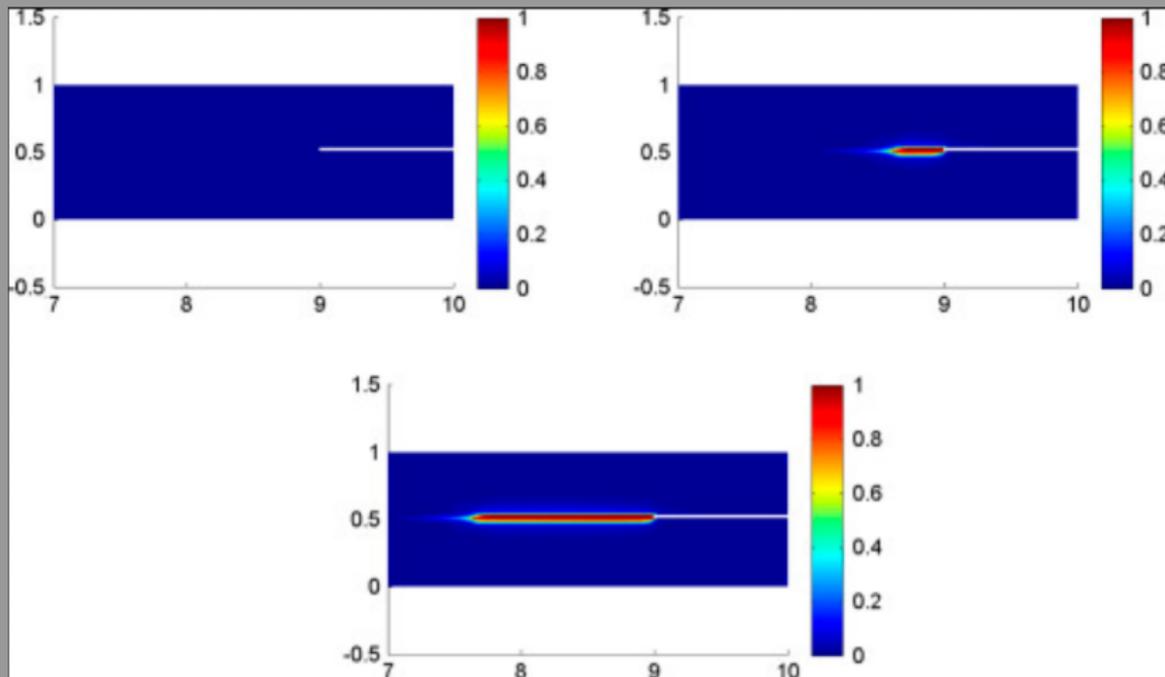


Endommagement

- Micro-fissuration
- Comportement
- Méthodes en champ de phase

Méthodes en champ de phase

T.T. Nguyen, J.Yvonnet, Q-Z. Zhu, M. Bornet, C. Chateau (2016)



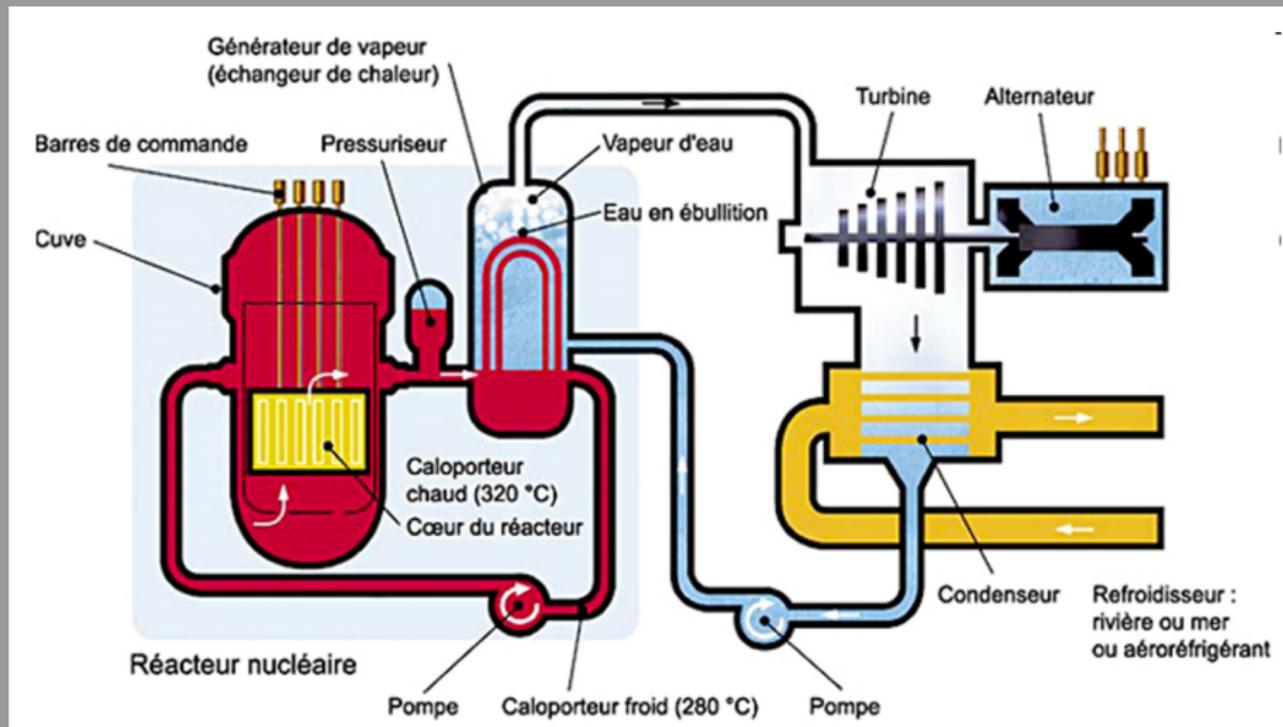
Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie**
- 7 Plan des séances

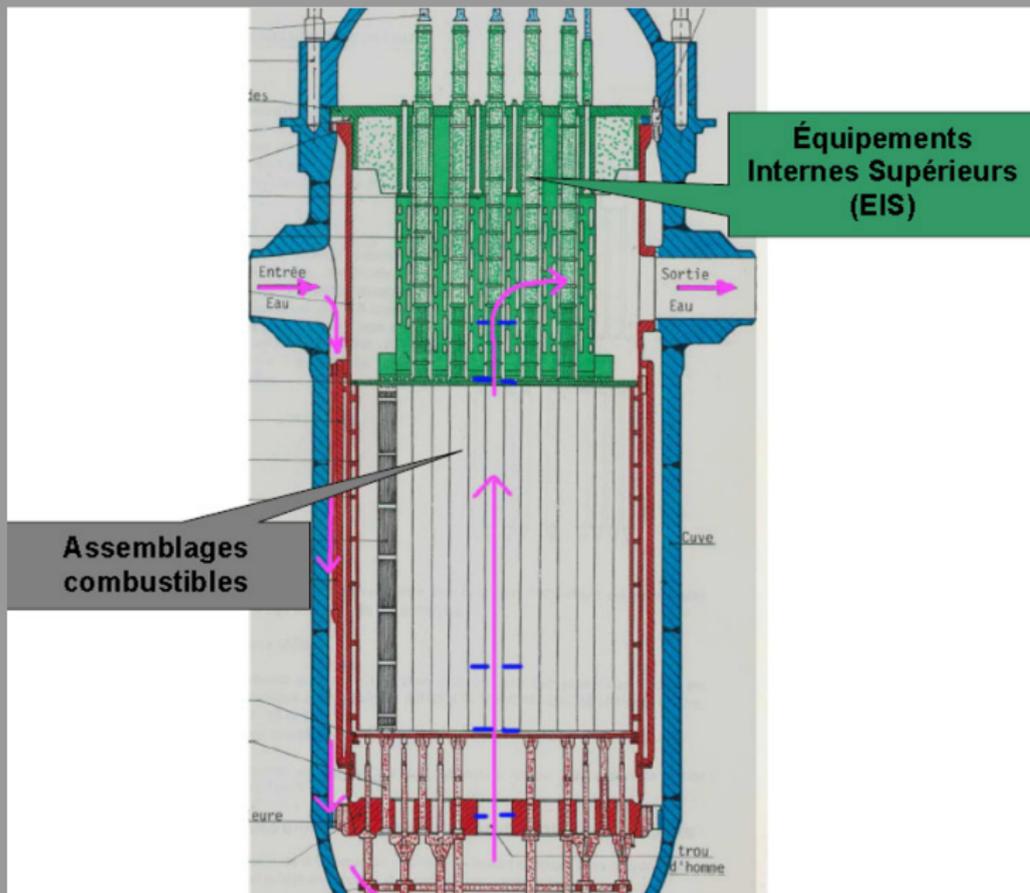
Projets d'ingénierie

- **Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire**
- Fatigue d'un mât d'éolienne
- Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide
- Rupture des avions comètes
- Stockage du CO₂
- Rupture du foie sous impact

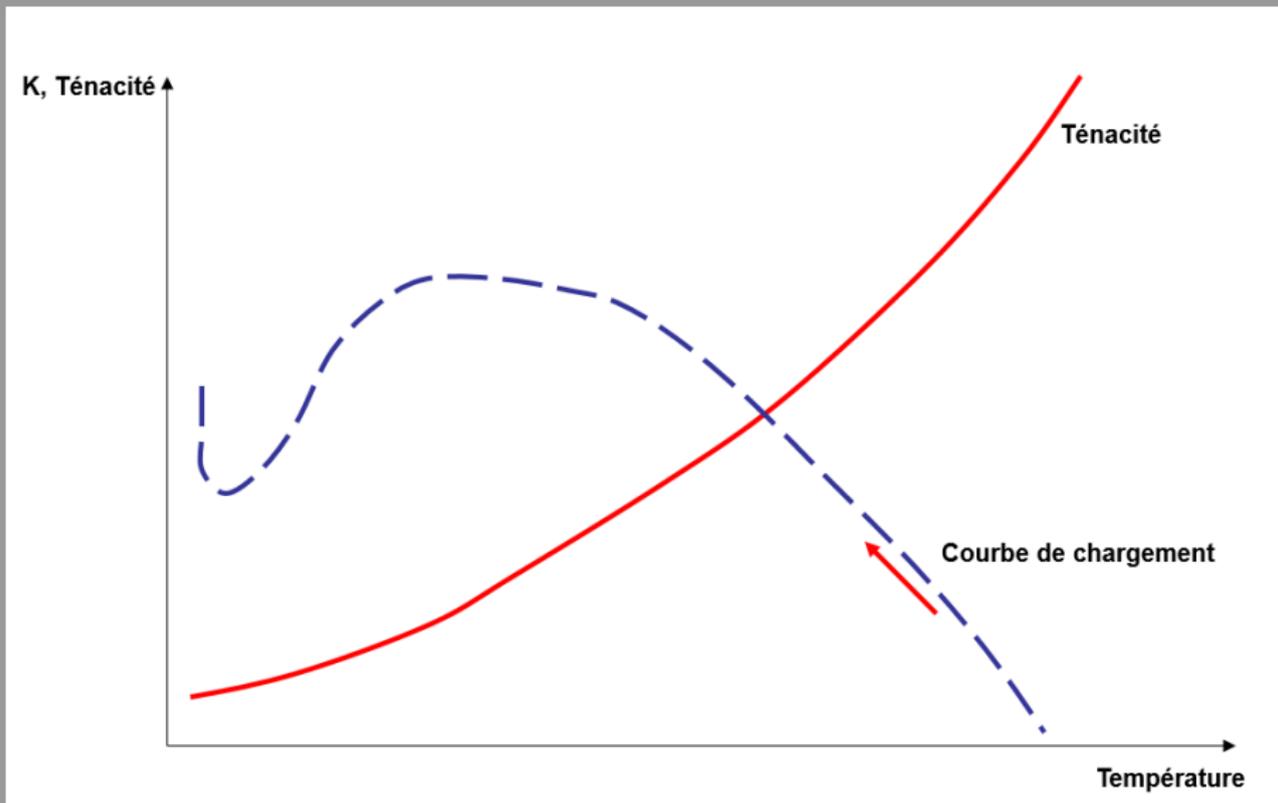
Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire



Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire



Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire



Projets d'ingénierie

- Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire
- **Fatigue d'un mât d'éolienne**
- Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide
- Rupture des avions comètes
- Stockage du CO₂
- Rupture du foie sous impact

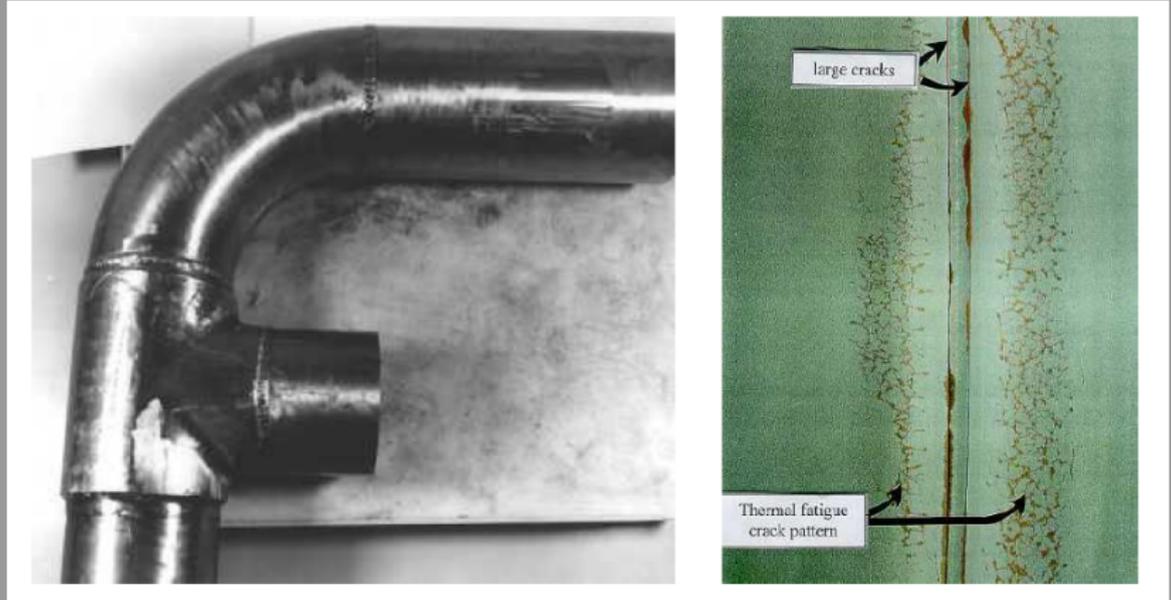
Fatigue d'un mât d'éolienne



Projets d'ingénierie

- Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire
- Fatigue d'un mât d'éolienne
- **Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide**
- Rupture des avions comètes
- Stockage du CO₂
- Rupture du foie sous impact

Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide



Projets d'ingénierie

- Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire
- Fatigue d'un mât d'éolienne
- Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide
- **Rupture des avions comètes**
- Stockage du CO₂
- Rupture du foie sous impact

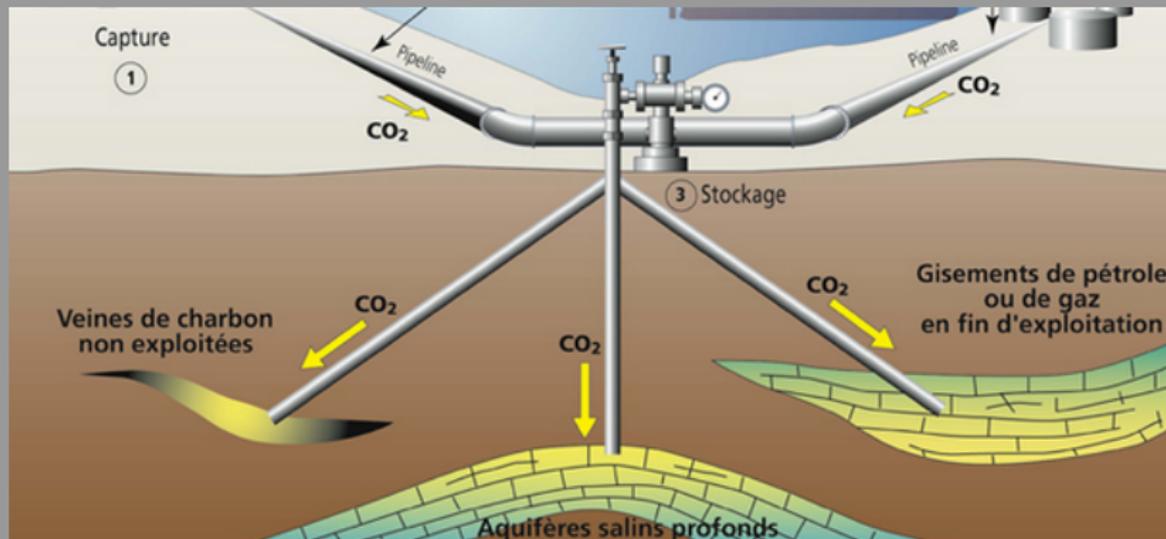
Rupture des avions comètes



Projets d'ingénierie

- Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire
- Fatigue d'un mât d'éolienne
- Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide
- Rupture des avions comètes
- **Stockage du CO₂**
- Rupture du foie sous impact

Stockage du CO₂



Projets d'ingénierie

- Choc thermique sur une cuve de centrale nucléaire
- Fatigue d'un mât d'éolienne
- Fatigue d'un té de mélange eau chaude / froide
- Rupture des avions comètes
- Stockage du CO₂
- Rupture du foie sous impact

Rupture du foie sous impact

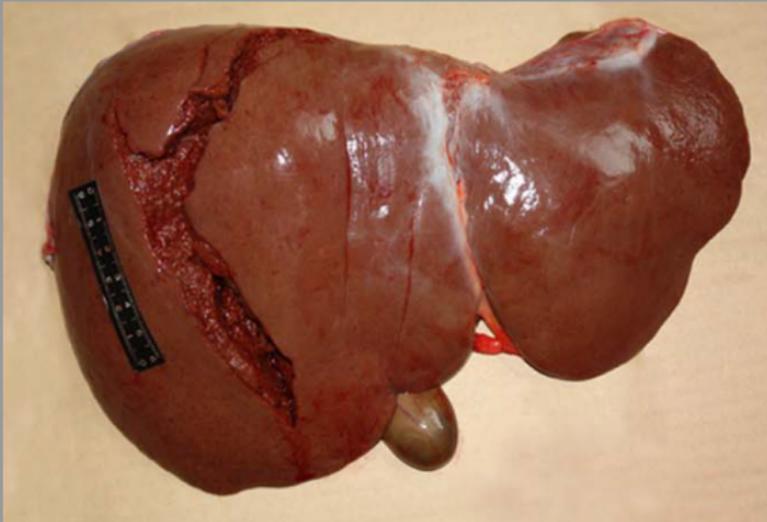


Rupture du foie sous impact



Rupture du foie sous impact

Yu Shao et al. (2013)



Plan de la séance

- 1 Objectifs
- 2 Différents type de ruine
- 3 Propagation d'une fissure
- 4 Fatigue
- 5 Endommagement
- 6 Projets d'ingénierie
- 7 Plan des séances**

Plan des séances

Séance 1 Introduction

Séance 2 Thermodynamique d'une fissure qui se propage

Séance 3 Mécanique linéaire de la rupture

Séance 4 Exercices+Projets

Séance 5 X-FEM

Séance 6 Fatigue

Séance 7 Exercices+Projets

Séance 8 Rupture ductile et endommagement

Séance 9 Projets

Séance 10 Projets

Séance 11 Projets

Séance 12 Projets

Séance 13 Oral rendu projets et examen