



Chaire ANR MESSIAH

Mini-Eprouvettes pour le Suivi en
Service des structures avec Application
au transport d'Hydrogène

Mini-épreuves à EDF R&D

07/12/2020



Laboratoire essais mécaniques d'EDF R&D

- Missions du groupe Mécanique des Matériaux et des Structures au sein du département Matériaux et Mécanique des Composants d'EDF R&D
 - Répondre aux attentes des clients en termes de justification mécanique des composants
 - Fournir des caractéristiques mécaniques et des méthodes optimales pour répondre à ce besoin
 - Maintenir une expertise expérimentale et numérique sur la mécanique des matériaux
- Missions du laboratoire au sein du groupe Mécaniques des Matériaux et des Structures
 - Caractériser les propriétés mécaniques des matériaux (principalement métalliques) utilisés sur le parc de production
 - Mettre en œuvre des essais standards / normalisés, développer des essais « à façon » dédiés à une problématique précise, réaliser des essais sur composants à échelle réduite ou réelle
 - Permettre des caractérisations adaptées en utilisant une instrumentation dédiée et innovante
 - Favoriser le dialogue expérience / simulation
- Domaines investigués
 - Comportement des matériaux métalliques (y compris haute température)
 - Durée de vie en fatigue (amorçage et propagation)
 - Endommagement et rupture

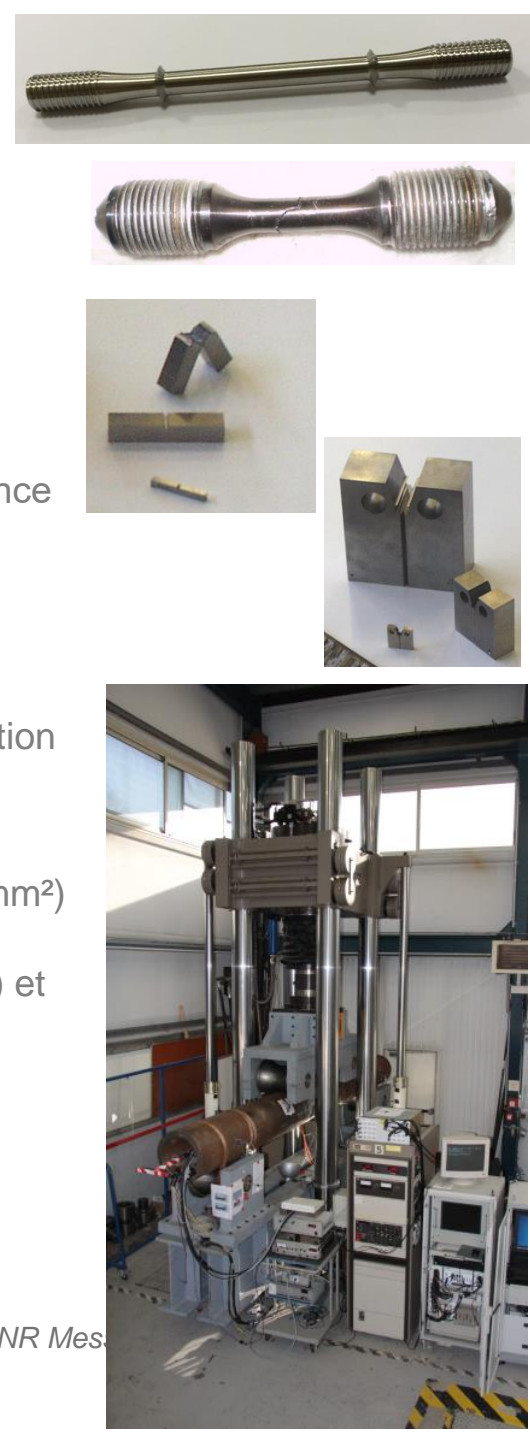
Laboratoire essais mécaniques d'EDF R&D

■ Essais normalisés

- Comportement haute température
 - Essais de quelques centaines à plus de 200 000 heures à des températures allant à + de 1000°C
- Fatigue
 - Application de sollicitations cycliques (contrainte/déformation) sur éprouvette lisse : essai d'endurance (contrainte imposée) / de fatigue oligocyclique (déformation imposée)
 - Essais de propagation en fatigue
- Comportement
 - Dureté Vickers, Brinell, Rockwell
 - Détermination des caractéristiques conventionnelles de traction et des courbes rationnelles de traction de -160°C à 950°C
- Endommagement et rupture
 - Essais de résilience instrumentés de -160°C à 600°C sur éprouvettes KCV/KCU standard (10x10mm²) ou sur mini-éprouvettes (4x3mm²)
 - Essais de mécanique de la rupture entre -160°C à 600°C : résistance à la rupture brutale (K_{IC} , K_{JIC}) et résistance à la déchirure ductile (courbes J/Da , $J_{0,2}$, DJ/Da)
 - Éprouvettes de type CT, SENB, SENT, AE

■ Essais à la carte

- Par exemple, essais sur composants (Flexion sur tuyauteries, essais d'éclatement sur collecteur)



Laboratoire essais mécaniques d'EDF R&D

■ Matériel disponible

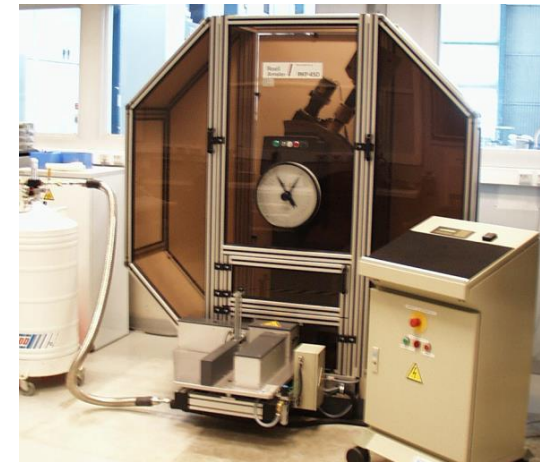
- Machines pour le comportement et la rupture ($-160^{\circ}\text{C} < T < 600^{\circ}\text{C}$)
- 6 machines hydrauliques de capacité 100, 250, 1000 et 5000 kN
- 2 machines de traction électromécanique de capacité 30 et 100 kN
- 2 moutons Charpy de capacité 450 et 25 Joules
- 1 duromètre automatisé Reichert UH250
- 1 microscope numérique Keyence

■ Machines pour la fatigue (ambiante et à chaud)

- 4 machines hydrauliques de capacités 25 à 100 kN
- 2 machines électromécaniques de 100 kN

■ Machines hautes températures

- 41 machines de fluage (28 machines MF11 / 13 machines TAC S)
- 2 machines de micro-fluage
- 3 machines de relaxation



Mini-épreuves mises en œuvre dans le passé à EDF R&D

- **Traction**
 - Sur éprouvettes plates de faible épaisseur (1mm)
- **Résilience**
 - Sur mini-épreuves standard 4mmx3mmx27mm
 - Application aux matériaux pour le thermique à flamme, à la caractérisation des gradients de propriété dans les gros forgés
- **Résistance à la déchirure ductile**
 - Sur éprouvettes CT10-5 (et DCT ep. 4,62mm avec ORNL)
 - Application aux produits moulés du CPP pour le suivi en service du vieillissement
- (Small Punch Test...)

Développement des essais sur éprouvettes mini-CT

■ Contexte

- Extension de la durée de fonctionnement des centrales REP
- Besoin de mieux caractériser la ténacité fin de vie de l'acier des cuves

■ Objectif

- Validation de l'utilisation des mini-CT pour déterminer la ténacité des aciers faiblement alliés à partir d'éprouvettes de résilience rompues dans le cadre du Programme de Surveillance des effets de l'Irradiation

■ Méthodologie

- Développement de la méthode sur matériau non irradié dans le cadre d'un programme international (CRIEPI, Prometey, Kurchatov Institut, EDF Energy)
 - 1^{er} Round Robin en deux phases :
 - 1^{ère} phase : sur des éprouvettes usinées et pré-fissurées par le CRIEPI
 - 2^{ième} phase : éprouvettes à usiner et pré-fissurer à partir d'un barreau fourni par le CRIEPI

Développement des essais sur éprouvettes mini-CT

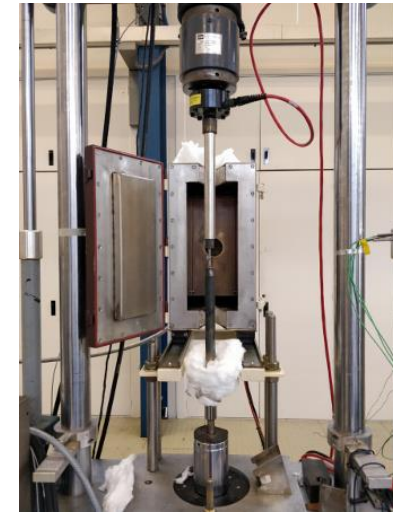
- Dispositif d'essai
 - Pré-fissuration par fatigue
 - Machine hydraulique MTS 100kN
 - Cellule 25kN classe
 - Mesure de l'ouverture en face avant
 - Essai de ténacité
 - Machine hydraulique MTS 250kN
 - Cellule 25kN
 - 3 thermocouples : 2 sur l'éprouvette, 1 sur la goupille
 - Pilotage en déplacement vérin imposé
 - Mesure de l'ouverture en face avant



=> Travail en cours, premiers résultats satisfaisants

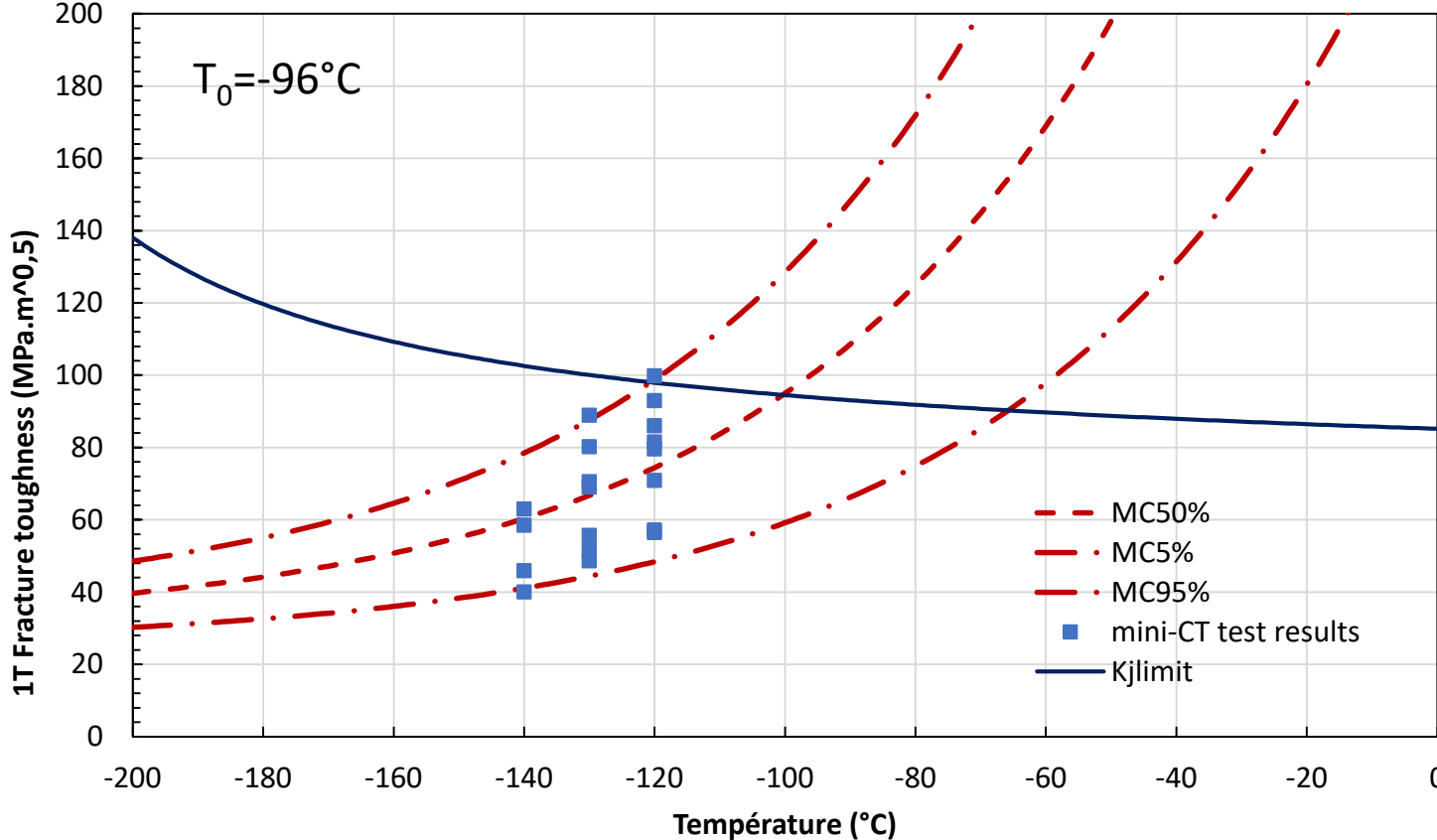
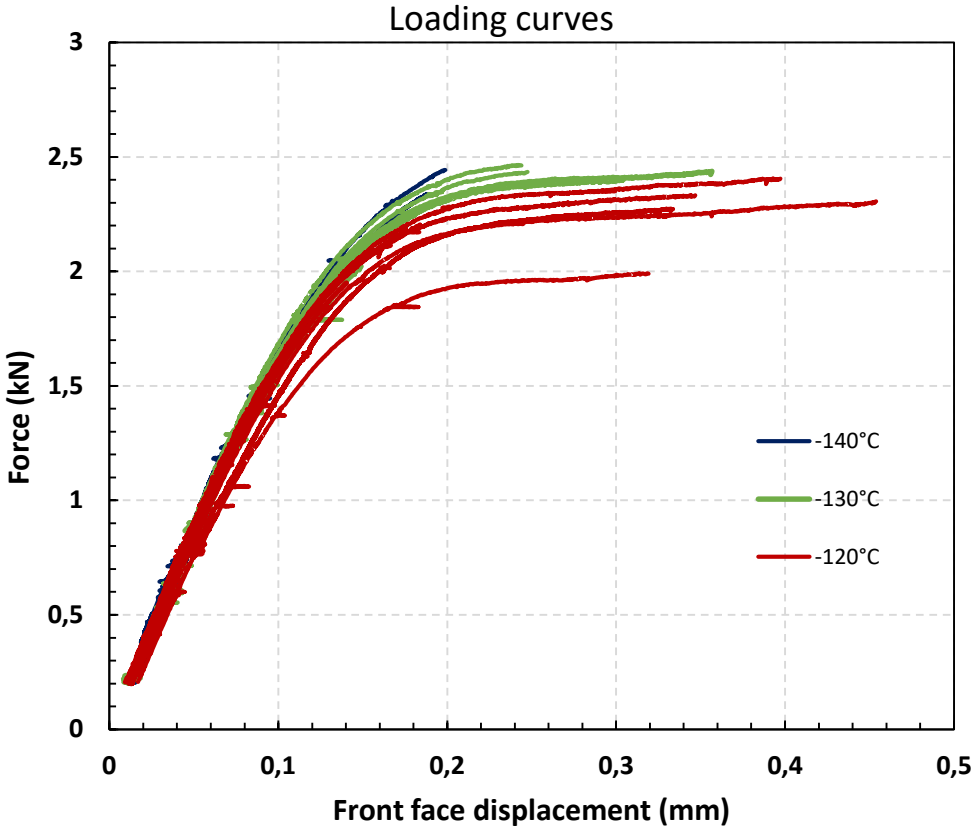


Temps de pré-fissuration légèrement plus long : fréquence plus faible pour garantir le maintien en position de l'extensomètre



Développement des essais sur éprouvettes mini-CT

- Résultats



Développement des essais sur éprouvettes mini-CT

■ Conclusions

- Mise en œuvre effective au laboratoire essais mécaniques
- Résultats comparables aux résultats des autres partenaires du Benchmark, dispersion de l'ordre de 10°C sur la température T_0

■ Perspectives

- Poursuite du programme dans le contexte de la durée de vie des Cuves
- Application à la problématique de la caractérisation de l'effet de meso-ségrégation dans les gros composants forgés => Chaire Messiah => nécessité d'adapter la taille de l'éprouvette à la taille des ségrégations à caractériser

An aerial photograph of a dam with a reservoir. The dam is a long, curved concrete structure with several spillways, situated in a rugged, rocky landscape. The water in the reservoir is a deep blue color. The surrounding terrain is rocky and sparsely vegetated.

Merci