

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Simulation de l'emboutissage de godets avec Cast3M

N. Mozzani^a, Q. Auzoux^a, D. Le Boulch^a, E.
Andrieu^b, C. Blanc^b and C.P. Scott^c

^a**CEA-DEN, Section for Irradiated Materials Study, Saclay, France**

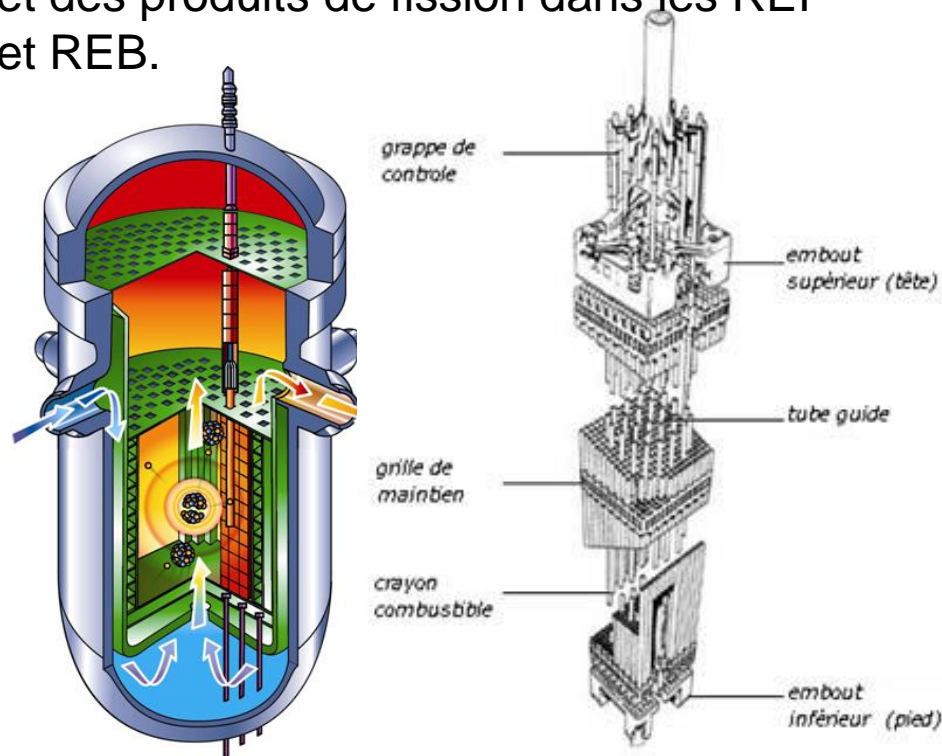
^b**CIRIMAT-ENSIACET, Toulouse, France**

^c**AREVA, AREVA NP, Lyon, France**

Club CAST3M | Nathanaël Mozzani

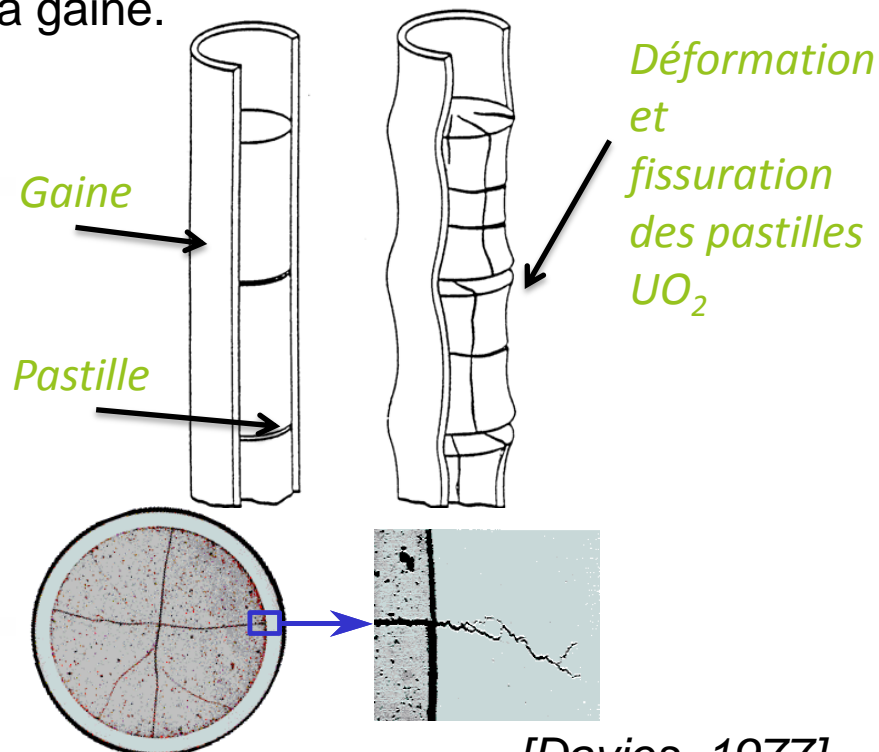
- **Contexte**
- **Modèle de comportement mécanique**
- **Etudes de la fissuration par CSC-I des alliages de Zirconium en méthanol iodé réalisées**
- **Simulation de l'emboutissage de godets emboutis avec CAST3M**
- **Conclusions**

Les gaines des crayons combustibles en alliages de zirconium sont la première barrière de confinement du combustible et des produits de fission dans les REP et REB.



Les gaines sont alors susceptibles de rompre par un phénomène attribué à la corrosion sous contrainte par l'iode (CSC-I)

Du fait du gonflement de la pastille et du fluage de la gaine, le jeu initial est rattrapé. Lors de transitoires incidentels de puissance, la pastille gonfle rapidement et impose sa déformation à la gaine.



[Davies, 1977]

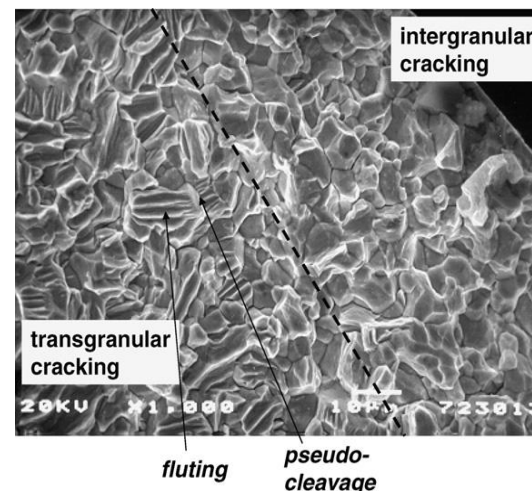
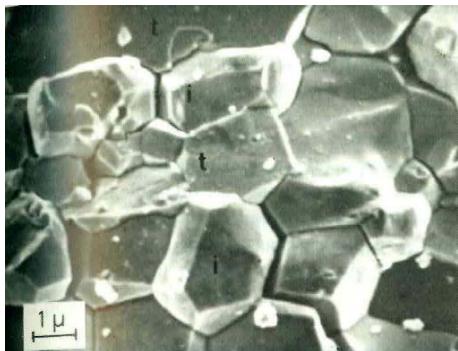
Milieu iode vapeur :

- Sous pression
- Température ~ 300°C
- Pressurisation interne sur tube

Milieu méthanol iodé:

- Pression atmosphérique
- Température ambiante
- Essais sur tôles

Même phénoménologie en laboratoire (iode vapeur ou méthanol iodé) qu'en REP.

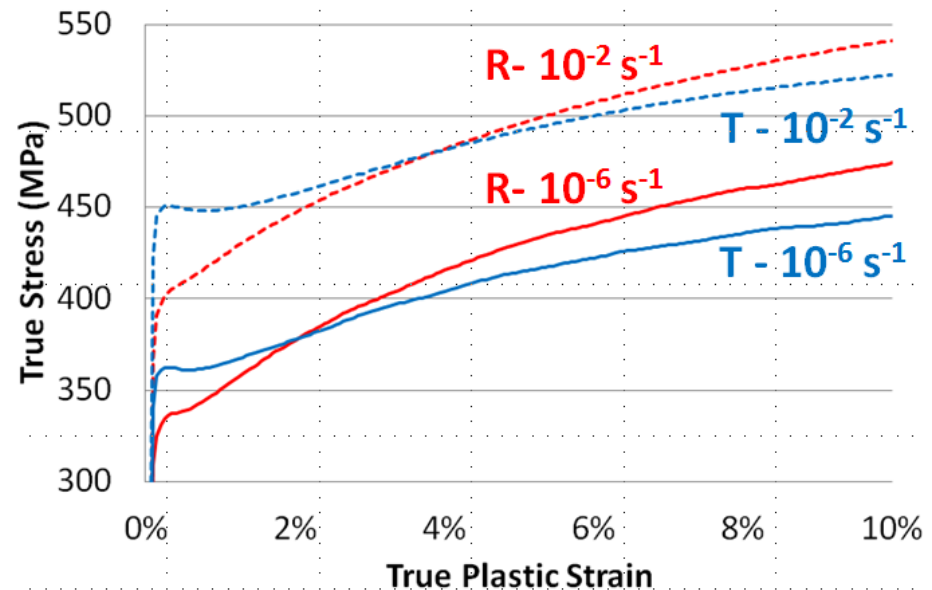
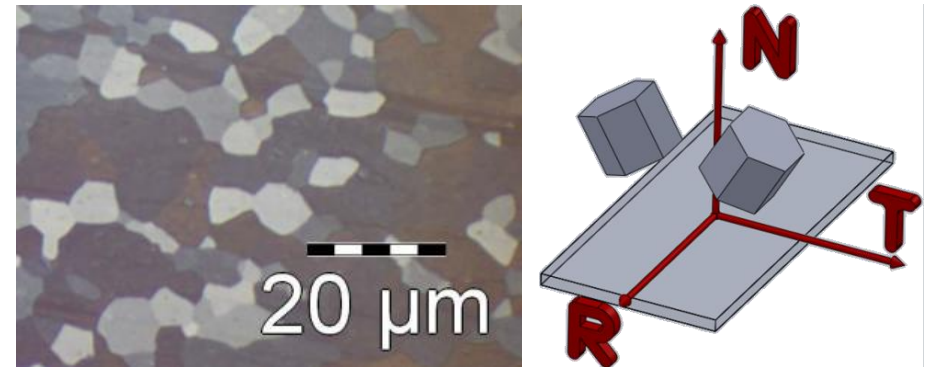


Traction, méthanol iodé, Zircaloy-4 irradié [Fregonese, 2000]

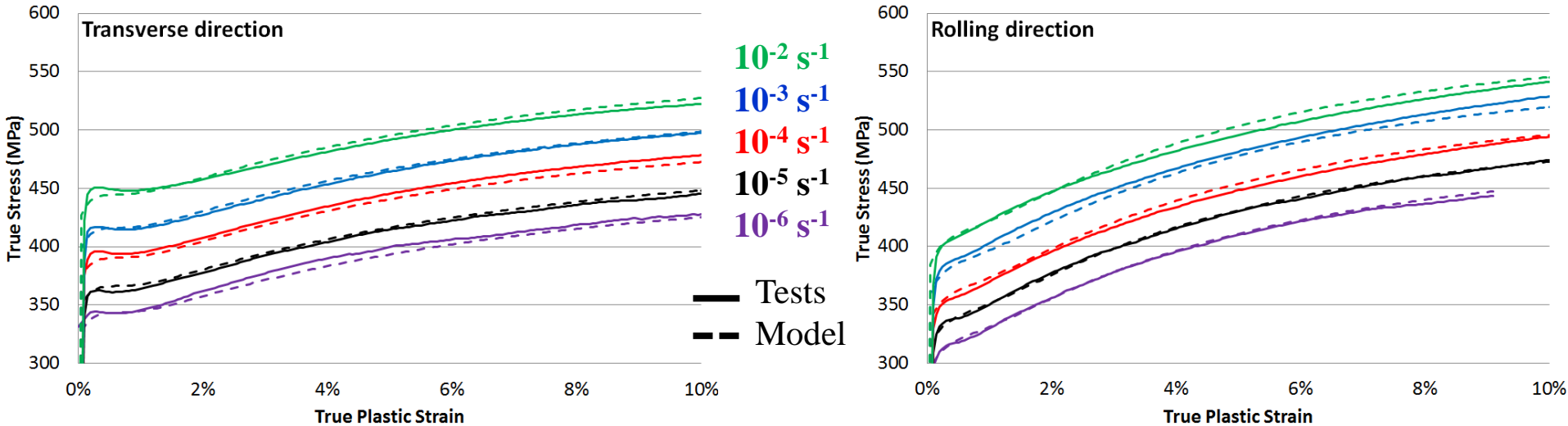
Pressurisation interne, iode vapeur, T=350°C, Zircaloy-2 irradié [Shimada, 1983]

- Cette présentation porte sur les études de l'amorçage de fissures de CSC-I dans des tôles en Zircaloy-4
 - En méthanol iodé
 - A température ambiante
- Les effets de vitesse de déformation et de biaxialité des contraintes sont étudiés
 - A l'aide d'essais de traction
 - Sur des éprouvettes saines ou pré-entaillés
- Les mécanismes impliqués dans la CSC-I sont également étudiés par immersions d'éprouvettes dans du méthanol iodé
 - A l'aide de godets emboutis par exemple
- L'influence de la concentration d'iode est étudiée

- Matériau étudié
 - Rx Zircaloy-4 récrystallisé
 - Feuillard (épaisseur < 0.5 mm)
 - Microstructure hexagonale compacte texturé
 - Anisotrope et viscoplastique à température ambiante
- Un modèle anisotrope et viscoplastique a été établi pour le Zircaloy-4 Rx à température ambiante
- Basé sur des essais de traction uni-axiale sur éprouvettes saines
- Optimisé sur la base d'essais de traction uni-axiale sur éprouvettes entaillées



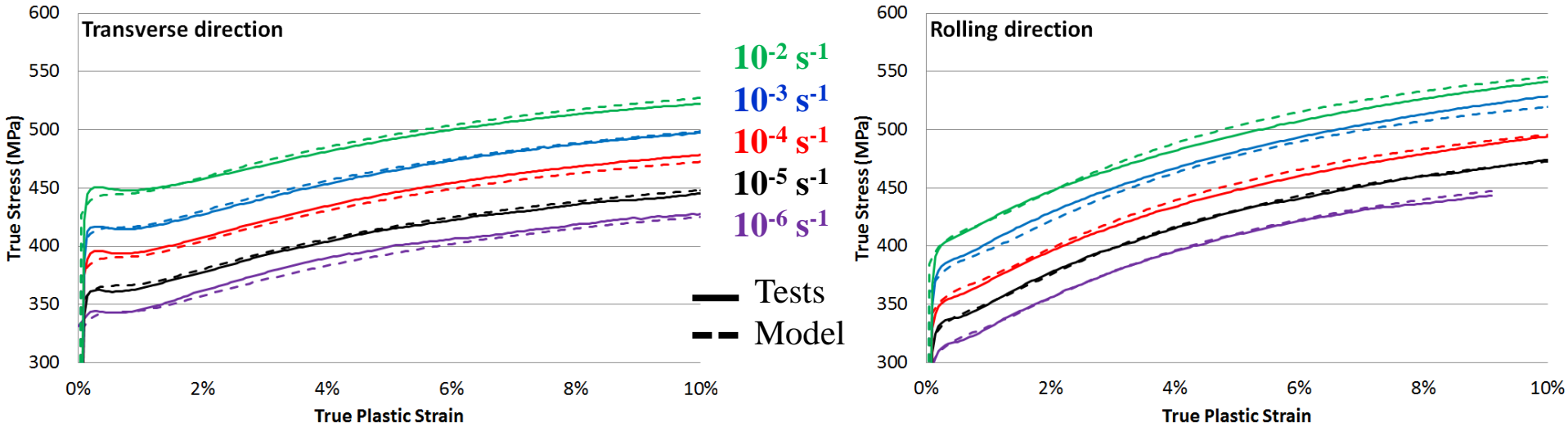
Modèle identifié sur éprouvettes saines



- Le modèle est utilisé dans CAST3M via MISTRAL.
- MISTRAL est un logiciel qui se présente comme un catalogue de lois de comportement
 - développé au CEA-Saclay (DEN-DANS/DMN/SEMI/LCMI).
 - utilisable dans CAST3M via l'interface UMAT.

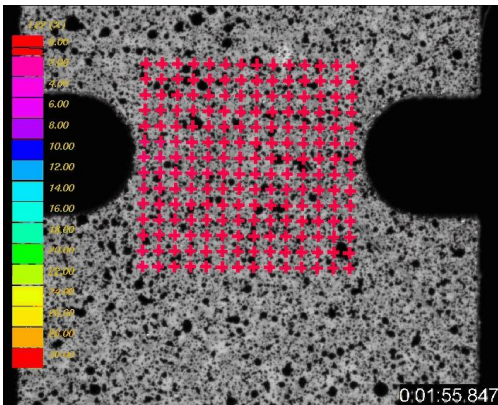
MODÈLE DE COMPORTEMENT MÉCANIQUE

La réponse du modèle obtenue sur éprouvettes saines ...

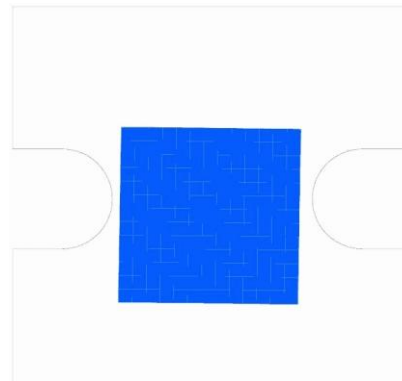


... est vérifiée sur éprouvettes entaillées

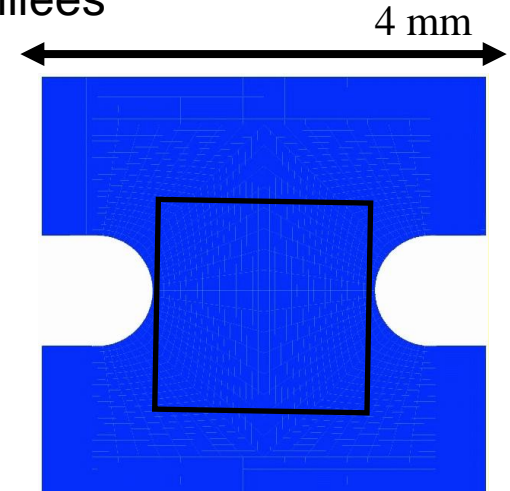
Mesures par corrélation d'images



Mesures importées dans CAST3M

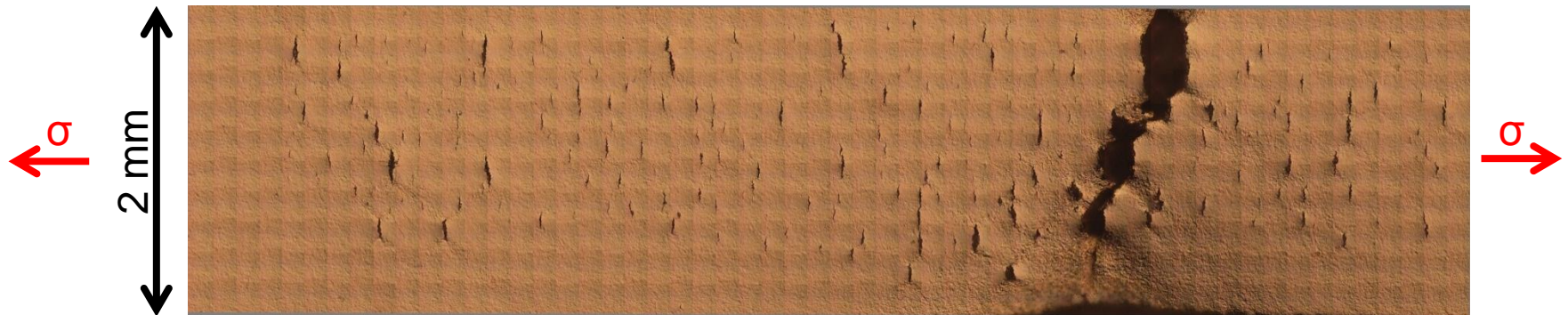
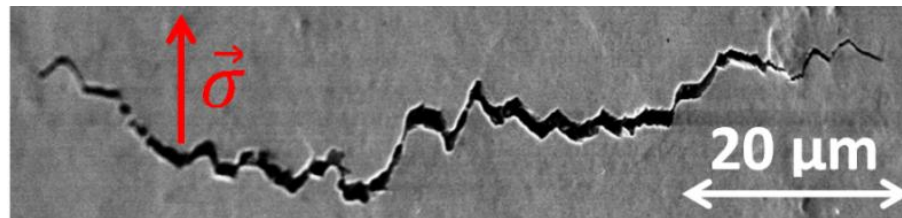


Calculs CAST3M



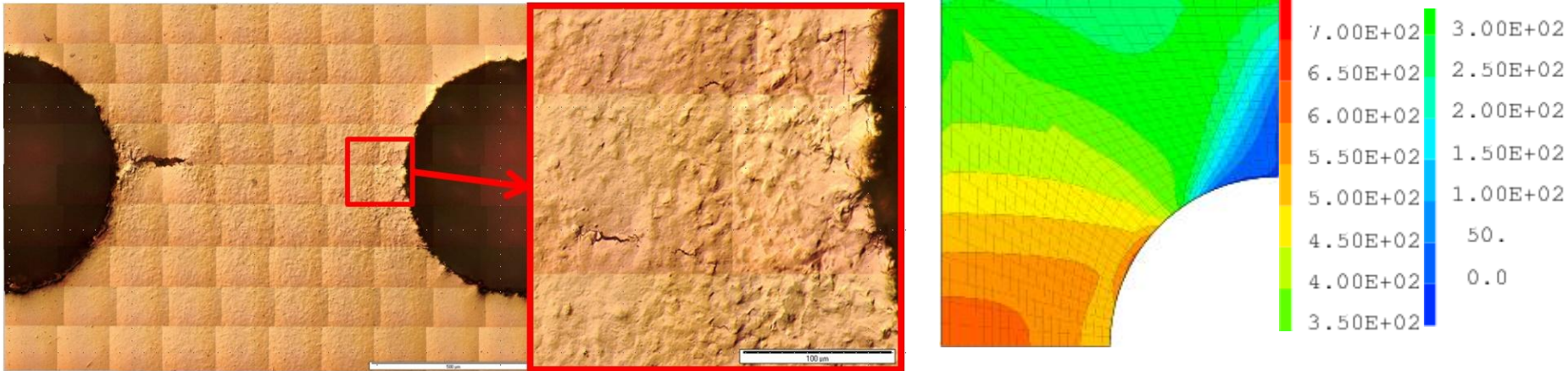
CSC-I SUR ÉPROUVETTES SAINES

- Eprouvettes polies, bords protégés
- Essais interrompus, dans les directions T et R de la tôle
- Decreasing final plastic strain until no crack is found



- Fissures intergranulaires, perpendiculaires à la contrainte appliquée
- Détermination expérimentale de domaines de fissuration ($d\varepsilon/dt$, ε_p , l)

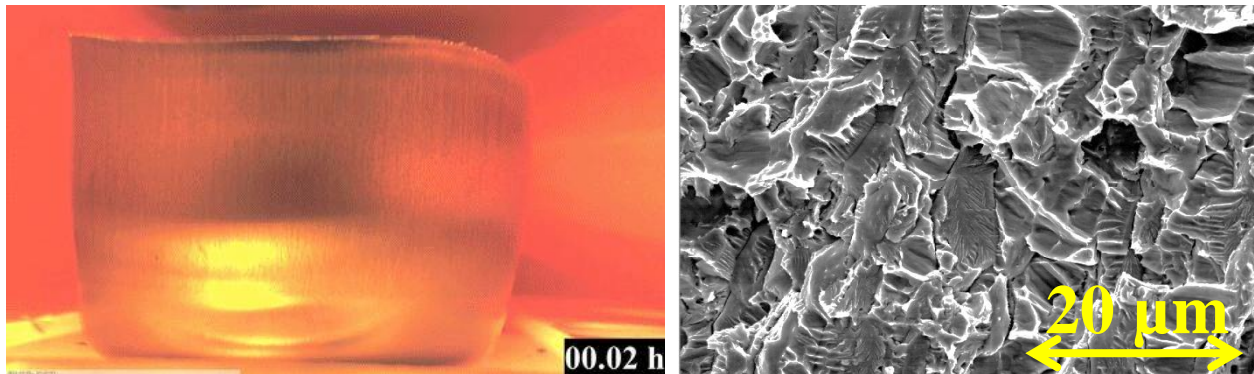
- Essais de traction sur éprouvettes entaillées : rayons de 0.3, 0.5 ,0.7 ou 1 mm



- Fissures intergranulaires, perpendiculaires à la contrainte appliquée
- On utilise des calculs EF avec CAT3M et le modèle de comportement viscoplastique du Zy-4 RX pour évaluer les champs mécaniques locaux.
- Détermination expérimentale de domaines de fissuration ($d\varepsilon/dt$, ε_p , l) + état de contrainte local non uni-axé

IMMERSION DE GODETS EMBOUTIS

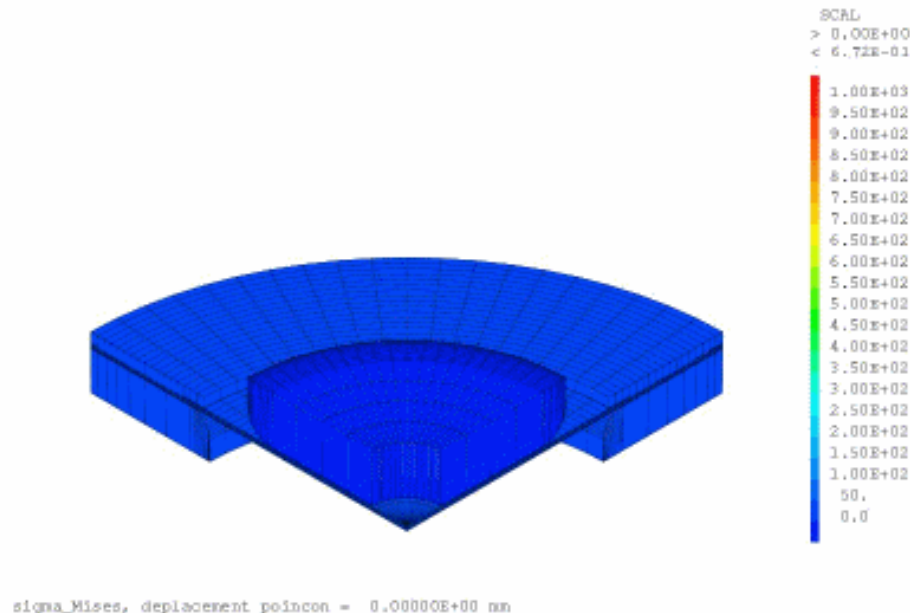
- L'influence de la contrainte est en cours d'investigation à l'aide de godets immergés dans du méthanol iodé
- Les godets ont été fabriqués par emboutissage de la tôle de Zircaloy-4 RX
- Les contraintes résiduelles (dus à l'emboutissage) sont responsables de la fissuration par CSC-I en méthanol iodé



- Simulation de l'emboutissage avec CAST3M :
 - En vue d'évaluer ces contraintes résiduelles
 - En vue d'évaluer des grandeurs

IMMERSIONS DE GODETS EMBOUTIS

- Calculs EF avec CAST3M en cours. Eléments massifs (CUB8)
- Déplacements verticaux imposés au sommet du poinçon.
- Pression imposée sur la face supérieure des serres flans.
- Contact avec frottement entre l'éprouvette et le poinçon, l'éprouvette et les serres flans.

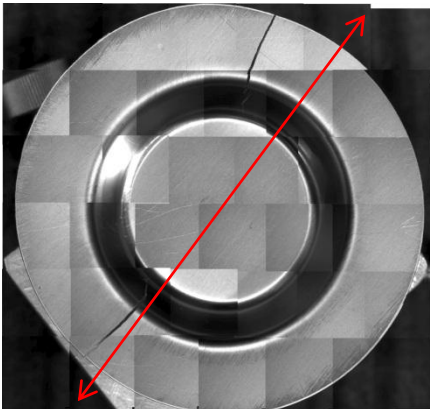
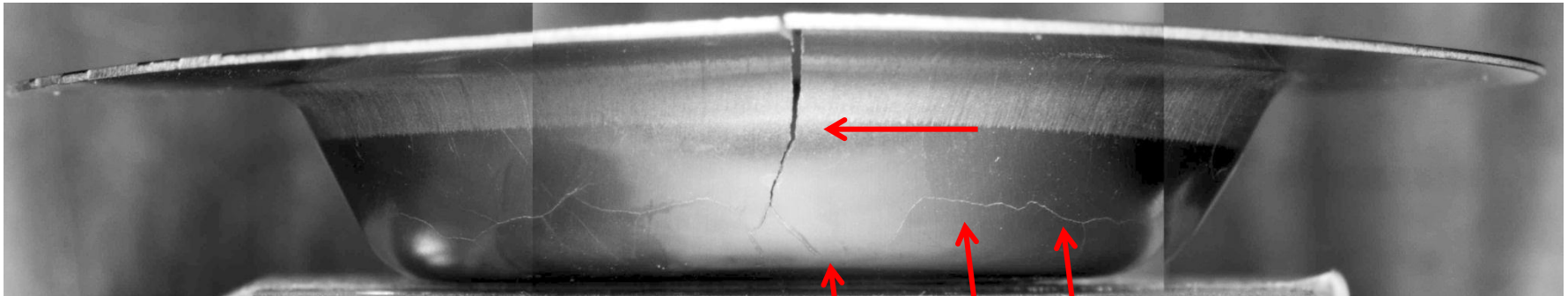


Emboutissage, Contrainte de Von Mises (MPa) => Contraintes résiduelles

IMMERSION DE GODETS EMBOUTIS

- Différents avalements ont été utilisés, modifiant :
 - les niveaux de contrainte
 - La biaxialité des contraintes
 - Les lieux d'amorçages de fissures
 - Les directions de propagation de fissures

Godet 40%



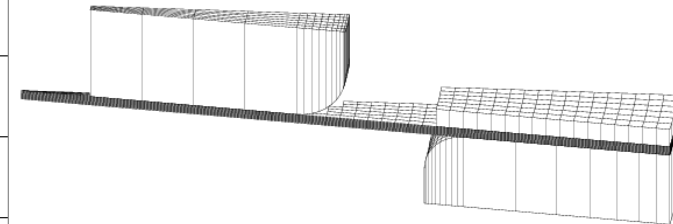
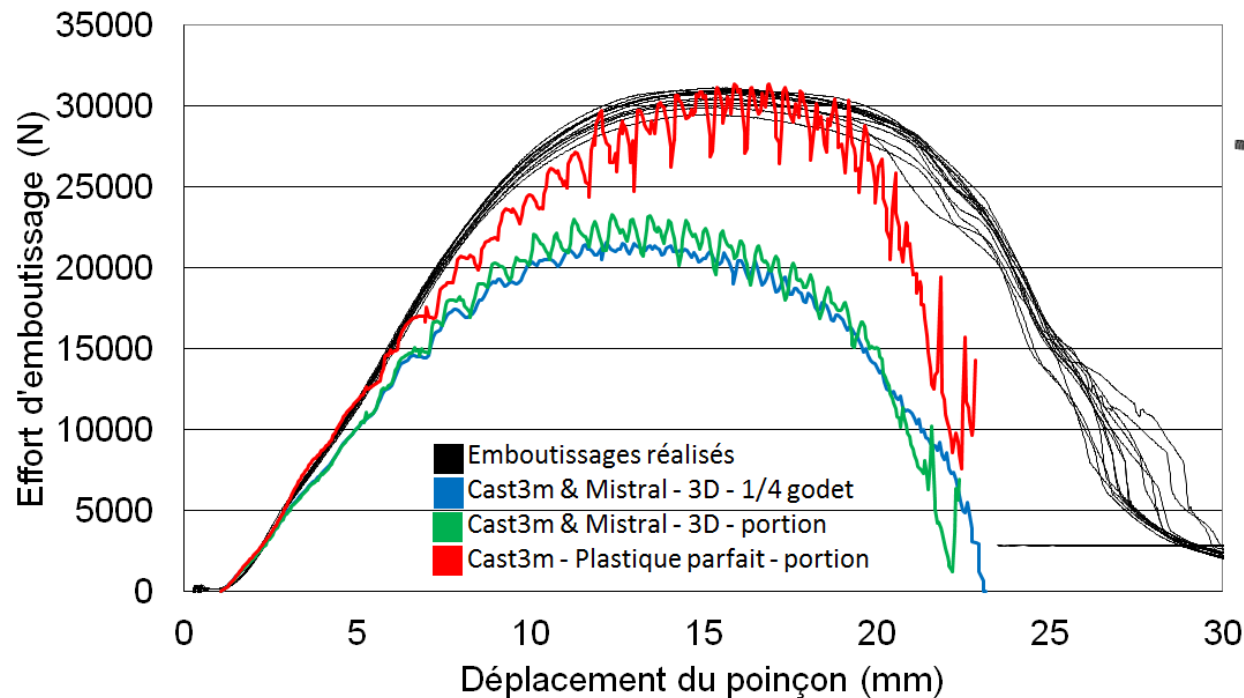
Direction laminage

Passage d'une fissuration axiale à circonférentielle
au bout d'une certaine longueur

Répartition préférentielle des fissures
selon certaines directions de la tôle

IMMERSIONS DE GODETS EMBOUTIS

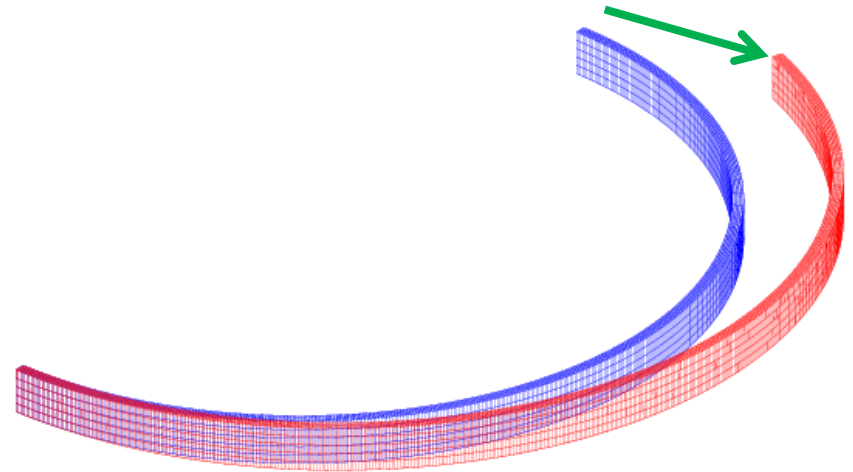
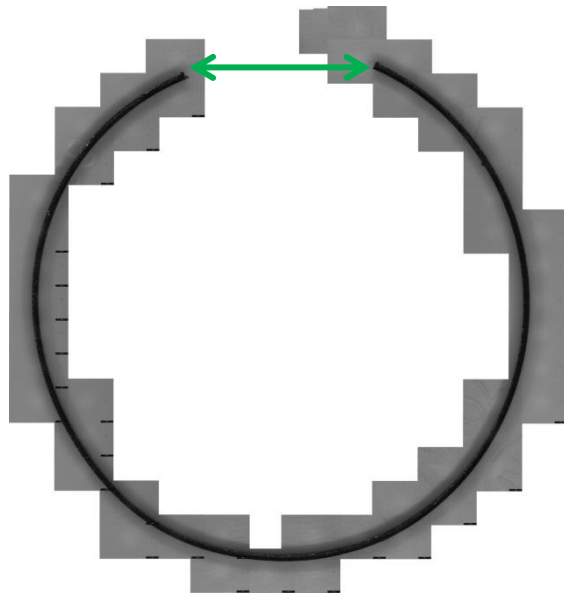
- Comparaison avec les données d'emboutissage:
- Modèle Mistral sous-estime l'effort et la déformation du godet
 - Modèle identifié sur essais de traction uniaxiale ($\varepsilon < 15\%$)
 - Un modèle plastique isotrope ($R_p^{0.2}$ et écrouissage plus importants) permet de retrouver les courbes expérimentales



Calculs sur portion de plaque
(augmentation densité nœuds)

IMMERSIONS DE GODETS EMBOUTIS

- Mesures des contraintes résiduelles en peau externe et comparaison avec modèle Mistral
 - Par (découpe + ouverture) d'anneaux et simulation Castem (car formules analytiques pour petits angles)

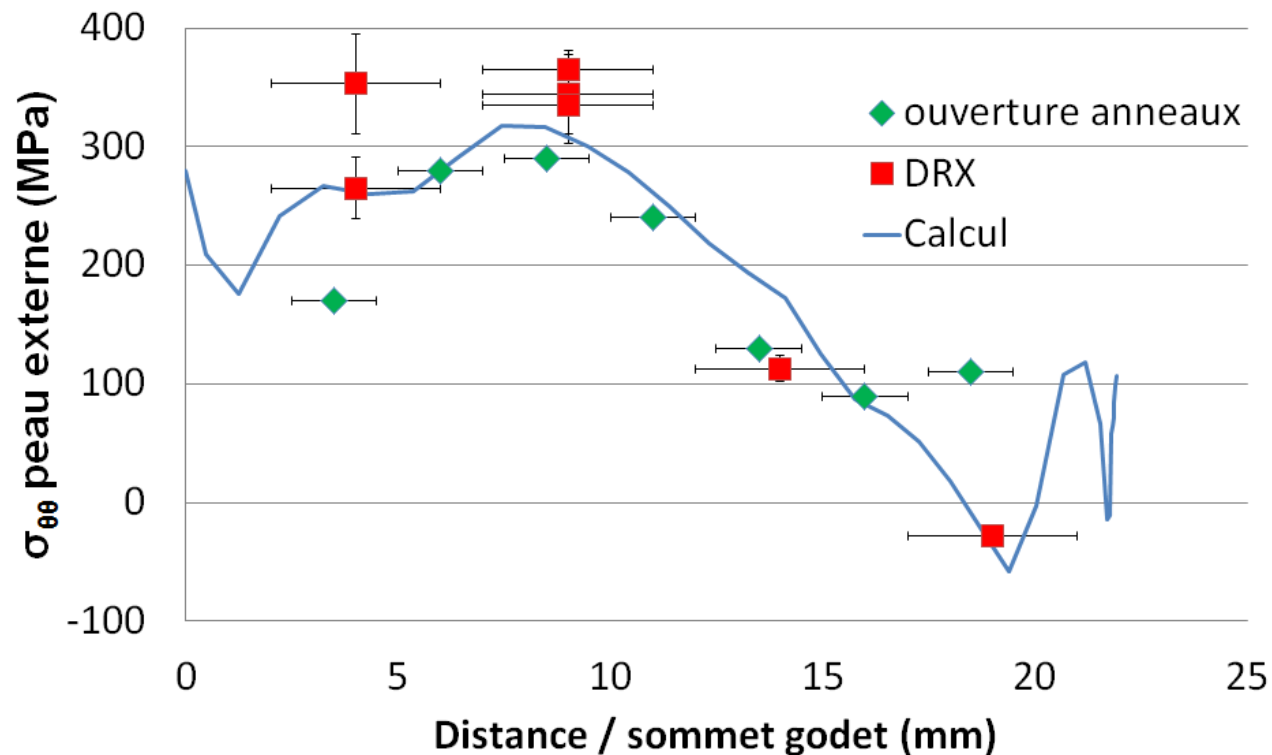


Simulation élastique d'ouverture d'un demi anneau
Imposition d'un profil de contrainte circonférentielle
Relachement des forces nodales sur une "face de symétrie"

IMMERSIONS DE GODETS EMBOUTIS

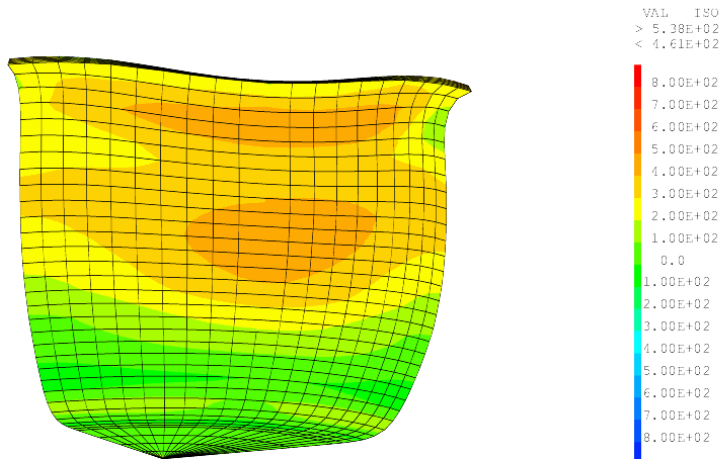
- Mesures des contraintes résiduelles en peau externe et comparaison avec modèle Mistral
 - Par diffraction des rayons X

Mesures des contraintes résiduelles

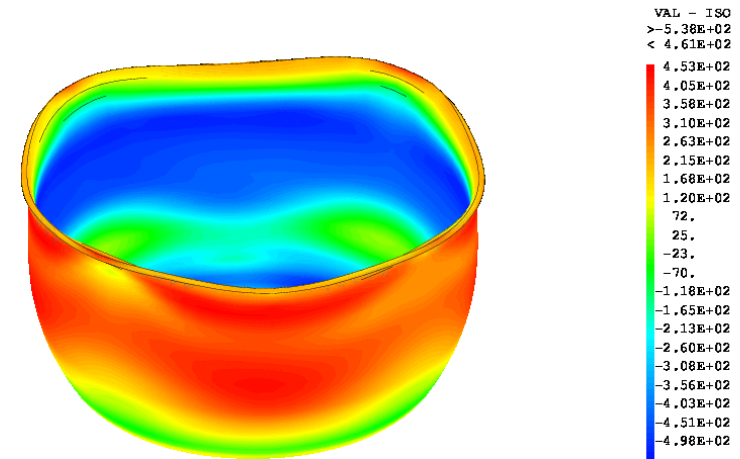


IMMERSIONS DE GODETS EMBOUTIS

- Calculs EF avec CAST3M en cours.
- Reprise du calcul à partir:
 - des déplacements à la fin de l'emboutissage,
 - Des contraintes résiduelles à la fin de l'emboutissage.



Contrainte circonférentielle moyennée (OE113) GEO_DEF



SMTI, index0=0

Fissuration par déboutonnage de noeuds
=> Calcul de ténacité avec G-THETA

Fissuration à l'aide d'éléments de zone
cohésive
=> Calcul de ténacité

- Etude de l'amorçage de fissures de CSC-I en méthanol iodé:
 - Essais de tractions sur éprouvettes saines
 - Ces essais permettent d'établir des lois de comportement viscoplastiques anisotropes pour les matériaux étudiés
 - Essais de traction sur éprouvettes entaillées
 - Nécessite des calculs EF avec CAST3M
 - Avec les lois de comportement étudiées
 - Essais d'immersion de godets préalablement emboutis
 - Calculs d'emboutissage de tôles avec CAST3M
 - Reprise des calculs d'emboutissage en vue d'étudier la fissuration par CSC-I
 - G-THETA
 - Zones Cohésives

Merci pour votre attention

CEA/DEN/DANS/DMN/SEMI/LCMI |
29 novembre 2012

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
T. +33 (0)1 69 08 57 89 | F. +33 (0)1 69 08 93 24

DEN/DANS
DMN
SEMI/LCMI

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019