ÉTABLISSEMENT DES LOIS DE COMPORTEMENTS DE MÉTAUX, ADAPTÉES AUX PROCÉDÉS À HAUTES TEMPÉRATURES ; APPLICATION AU SOUDAGE ET AU DÉPÔT.

> <u>Philippe GILLES</u> Vincent ROBIN, AREVA-NP <u>Michel CORET</u> Daniel NELIAS, INSA-Lyon



Plan

Intro

- 1. Les matériaux, les chargements
- 2. Des essais représentatifs
- 3. Des lois de comportement *ad-hoc*
- 4. Confrontation maquette/simulation

Bilan



Introduction: enjeux industriels

- La simulation des effets mécaniques du soudage a une importance clé dans les analyses des risques de corrosion sous contrainte, d'amorçage en fatigue ou en fluage et de tenue à la rupture fragile
- Les mesures de contraintes résiduelles sont couteuses, difficiles à mettre en œuvre en particulier dans l'épaisseur du composant
- La simulation de l'état résiduel après soudage permet de tester l'effet des sollicitations sur la relaxation des contraintes

Introduction: exigences industrielles

- La qualité de la simulation de l'état résiduel du soudage dépend principalement de trois facteurs:
 - 1. La robustesse des modèles
 - 2. Le comportement cyclique de puis l'ambiante jusqu'à 75% de la température de fusion
 - 3. La compétence des utilisateurs
- Aujourd'hui AREVA estime mature la prédiction des contraintes résiduelles en grande partie suite aux actions lancées avec l'INSA-Lyon

Les matériaux,

les chargements

Les matériaux, les chargements

- Les matériaux les plus utilisés dans le nucléaire à eau légère sont:
 - Les aciers ferritiques (16MND5, aciers C-Mn) qui présentent des transformations de phase
 - Les aciers inoxydables austénitiques (304L, 316L)
 - Les alliages à base nickel
 - Le zirconium



	1 cm
-	
	Concerning a statistic family in provide the
1000	And a state of the
	The set of the set of the set
the second	AND A AND AND AND AND AND AND AND AND AN
100	
	and the second second
	the second statement of the
Concession in the local division in the loca	1
and the second second	
	and the second second
and the second se	
	The second
C. Contraction	
and the second second	ALL
	and the second se



Les matériaux, les chargements

- Le chargement qui agit sur le matériau est un flux de chaleur caractérisé par
 - Un coefficient d'efficacité
 - un cycle thermique
- Ce chargement est représenté par une source de chaleur calibrée à partir de mesures de taille de zone fondue et / ou de mesures de température pendant le soudage



Des essais

représentatifs

Waching Marine M

Les machines

Chauffage	-2	-1	0	1	2	3	4
			Log(† [°/s])			

Refroidissement	-2	-1	0	1	2	3	4
			Log(Ť[°/s])			

Vitesse de déformation								
	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5

Schenck 250 kN



Traction/compression Hydraulique Induction





Traction/torsion 100 kN/1000N/m

Traction/Torsion Hydraulique Joule





• Gleeble 100 kN

Traction/compression Hydraulique Joule



• Dilatométrie libre (+10/-10°C/s)



• Dilatométries libres *rapides* (+[6-10000]/-10°C/s)



• Essais d'écrouissage (20-1000°C, 10-4/s)



Essais d'écrouissage cycliques



Essais d'écrouissage cycliques



Essais d'écrouissage cycliques



Plasticité de transformation



• Ténacité pendant un changement de phase



Des modèles de

comportement

Approche

- Objectif: identifier les interactions Thermiques, Métallurgiques & Mécaniques associées (modèle TMM)
- Analyse des modèles de comportement de la structure sur la base d'essais de chauffage fortement instrumentés (disques INZAT)
- Analyse des phénomènes à l'échelle de l'Elément de Volume Représentatif sur la base d'essais unidimensionnels de type « Satoh »
- Exemple du comportement viscoplastique des phases de l'acier 16MND5

Un dispositif d'essais analytiques



Mesures

Températures Déplacements

Déformées Déformations Contraintes Micrographies

Des modèles de comportement



Des modèles de comportement

GENERALISATION DU MODELE DE LEBLOND A LA VISCOPLASTICITE



Confrontation maquette/simulation

Plaque

• Dépôt de NOREM (Thèse Beaurin, EDF)



Dépôt de NOREM par procédé PTA sur plaque de 316L



Disque



Mesures



- Température
- Déplacements
- Déformée par CIN
- Contraintes résiduelles (trou incrémental)





Cas AXI 2

Température



Déplacements (C.I.N.)



Déplacements







Bilan

Une coopération exemplaire

- Identification des phénomènes physiques
- Caractérisation de l'apport de chaleur
- Etablissement de lois de comportement
- Constitution d'une base de donnée (16MND5, 316L) INSA-Autorité de sûreté-EDF-AREVA
- Validation des modèles de prédiction des contraintes résiduelles et des distorsions
- Analyse de robustesse
- Un lieu d'échanges entre chercheurs et industriels