





Simulation 3D du soudage multi-passes d'un tube incliné pénétrant dans une plaque: la maquette MUSICA

Vincent ROBIN, Florence GOMMEZ, Philippe GILLES (AREVA)
Philippe MOURGUE (ESI Group)

RESTRICTED AREVA

*The information in this document is AREVA property and is intended solely for the addressees.
Reproduction and distribution are prohibited. Thank you*

Engineering & Projects Organization

AREVA
forward-looking energy

Sommaire



- ▶ **Présentation de la maquette AREVA pour le projet MUSICA**
- ▶ **Méthodologie de simulation**
- ▶ **Principaux résultats**
- ▶ **Conclusion**



Présentation de la maquette AREVA pour le projet MUSICA

RESTRICTED AREVA

The information in this document is AREVA property and is intended solely for the addressees.

Reproduction and distribution are prohibited. Thank you

Engineering & Projects Organization

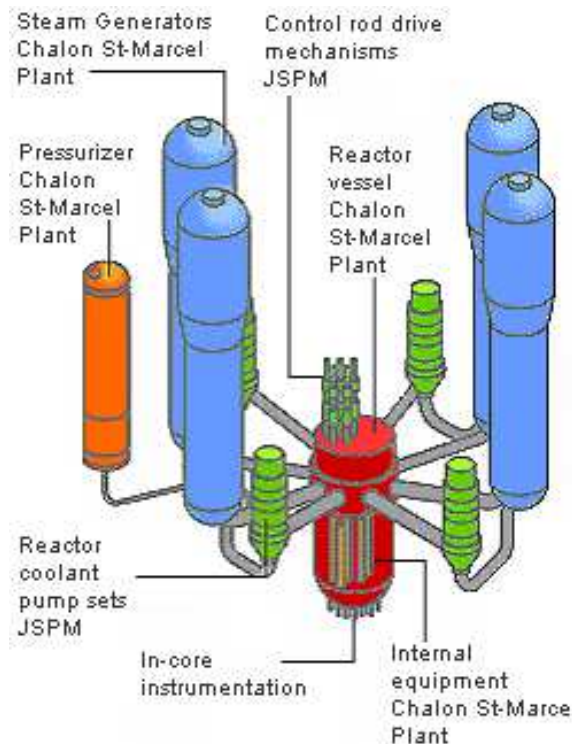
AREVA
forward-looking energy

Simulation du soudage de la maquette MUSICA, une histoire...

(*) *Méthodologie Unifiée pour la Simulation de l'Intégrité et la Contrôlabilité des Assemblages*

► Projet MUSICA(*) (2005-2009)

- ◆ AREVA a proposé un démonstrateur industriel pour valider et vérifier les solutions de Simulation Numérique du Soudage
- ◆ La maquette concernait la réalisation d'une soudure en J entre un tube de passage d'instrumentation ou de mécanisme de commande de grappe et le couvercle de la cuve d'un Réacteur à Eau Pressurisée



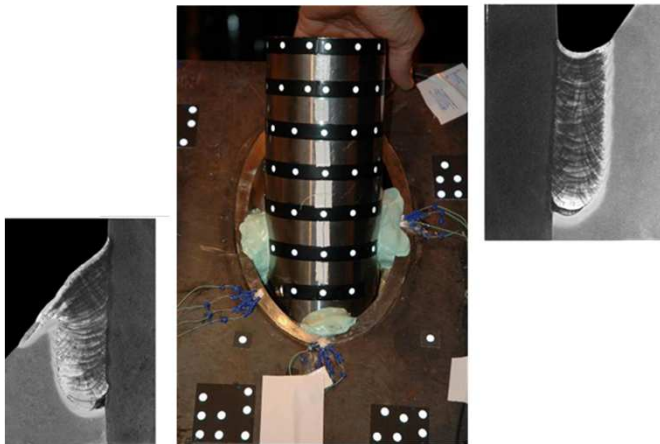
Le projet a été mené en parallèle du développement de l'automatisation du soudage de ce composant (« Adaptateur ») qui reste une opération délicate pour les configurations les plus inclinées

Simulation du soudage de la maquette MUSICA, une histoire...



- ▶ **Le principal objectif de la SNS était de déterminer**
 - ◆ Les distorsions qu'il faut maîtriser pour les adaptateurs périphériques
 - ◆ Les contraintes résiduelles

- ▶ **La configuration choisie a nécessité la mise en œuvre d'une simulation tridimensionnelle du soudage qui, au début du projet, constituait un challenge pour des applications multi-passes**
 - ◆ Préparation du modèle EF (géométrie complexe)
 - ◆ Temps de calcul (7 m de soudure, chanfrein étroit, remplissage partiel)
 - ◆ Robustesse (convergence des calculs, non-linéarités matériaux, distorsions du maillage)



A la fin du projet, la maquette a été simulée par une méthode transitoire pas à pas qui consiste à déposer le métal d'apport secteur par secteur

Simulation du soudage de la maquette MUSICA, une histoire...



► 2009

◆ Faisabilité de la SNS 3D sur maquette MUSICA

- 20 passes (remplissage partiel)
- 7 m de soudure
- 60 jours de calcul

◆ Problèmes de robustesse

► 2010

◆ Amélioration de la robustesse

- Maillage, transport de quantités physiques
- Lois de comportement
- Choix des pas de temps

► 2011

◆ Mise à disposition d'une version DMP (Distributed Memory Processing)



Les tests en version DMP ont montré une réelle efficacité jusqu'à 8 processeurs permettant d'atteindre moins de 15 jours de calcul

... qui continue



- ▶ **Mise en place d'une méthodologie industrielle, utilisée aujourd'hui pour la prédiction des contraintes résiduelles et des distorsions sur des configurations de soudage en J avec tube incliné**

- ▶ **Projet MUSICAS(*) (2013-2016)**
 - ◆ **Poursuite des développements en SNS orientés**
 - Métallurgie du soudage
 - Examens Non Destructifs
 - Durée De Vie

() Méthodologie Unifiée pour la Simulation de l'Intégrité et la Contrôlabilité des Assemblages Soudés*



Méthodologie de simulation

RESTRICTED AREVA

The information in this document is AREVA property and is intended solely for the addressees.

Reproduction and distribution are prohibited. Thank you

Engineering & Projects Organization

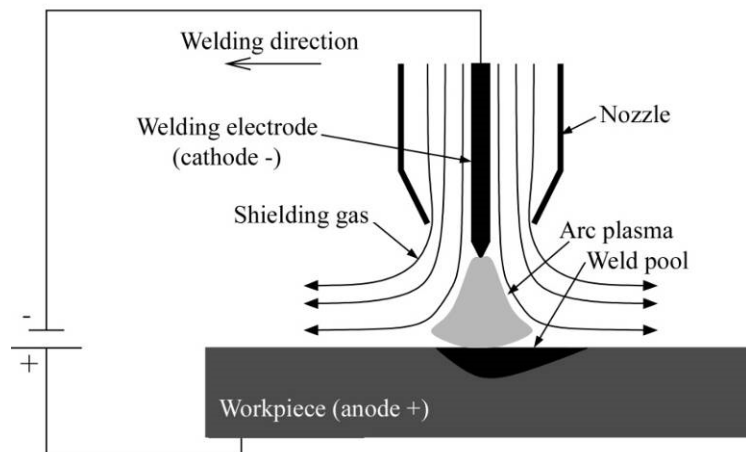
AREVA
forward-looking energy

Méthodologie de simulation Apport de chaleur

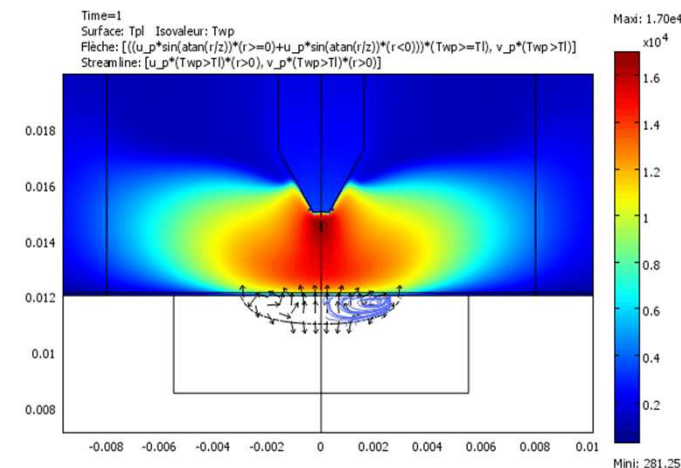


► Modélisation de l'apport de chaleur

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) – Tungsten Inert Gas (TIG)



Source: Brochard PhD (2009)



Source: Traida PhD (2011)



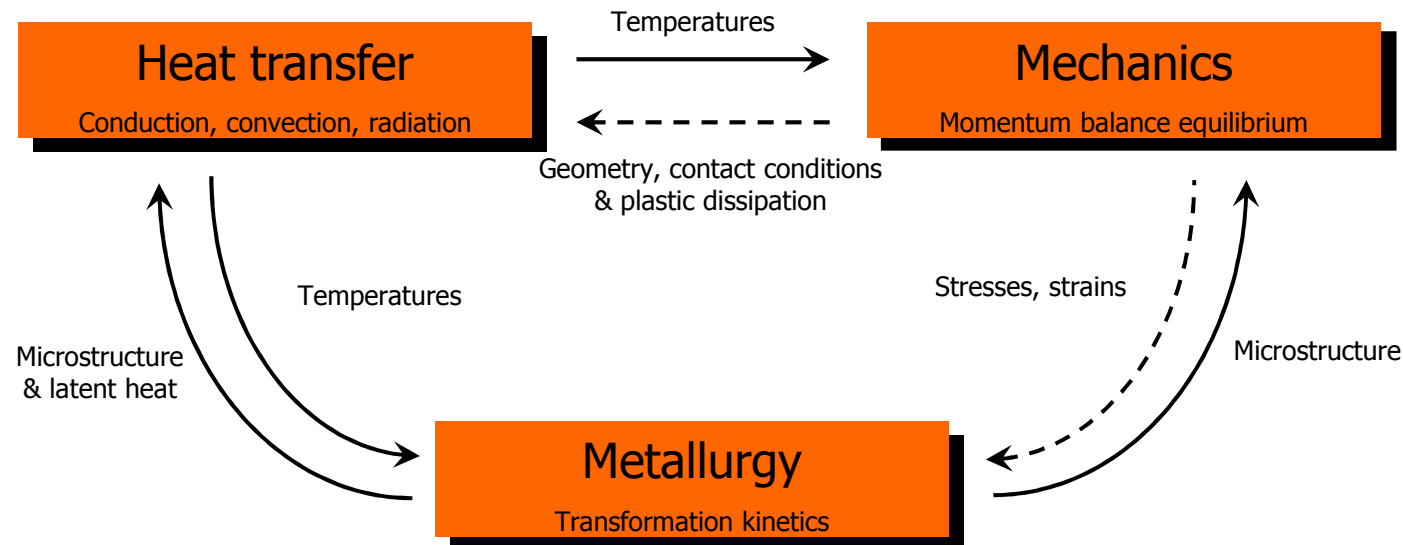
Le simulation du procédé (couplage arc, plasma, bain) et la simulation des conséquences thermo-mécaniques sur la pièce sont deux disciplines distinctes et complémentaires

Méthodologie de simulation

Conséquences Thermo-Métallurgiques et Mécaniques



► Couplages et interactions



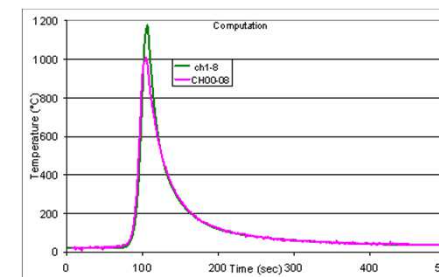
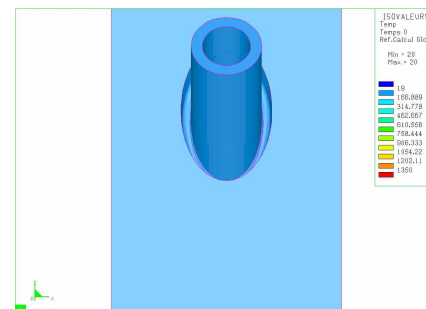
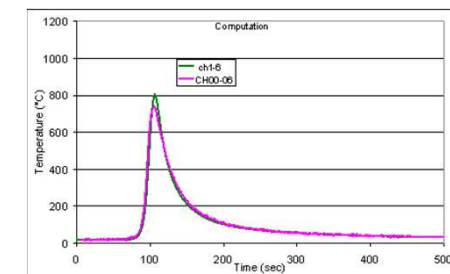
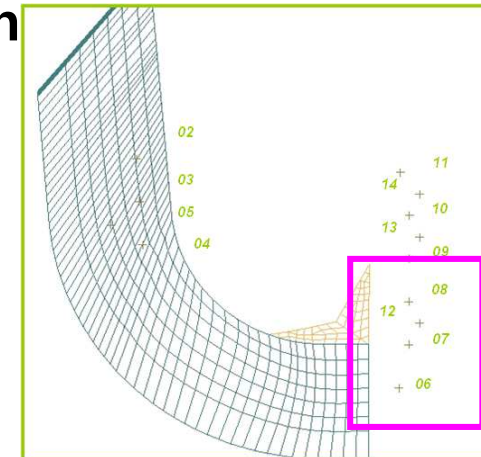
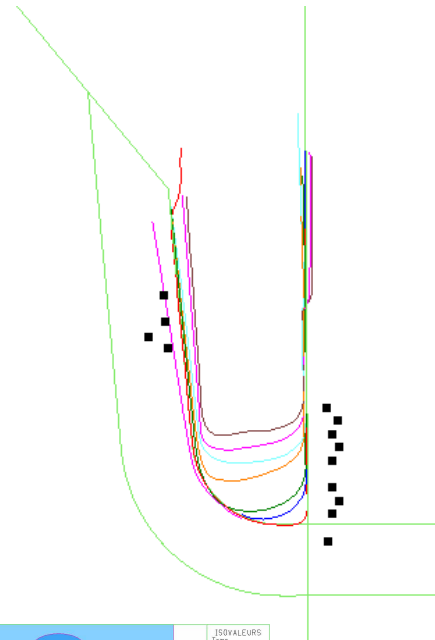
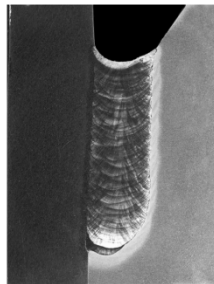
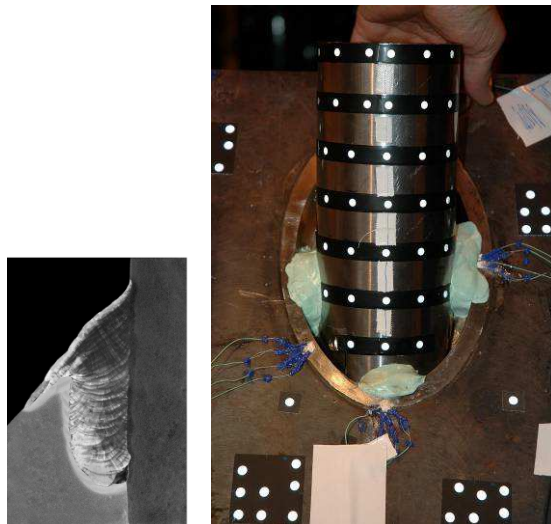
► La SNS est un outil d'aide à la décision basé sur l'analyse

- ◆ Des distorsions
- ◆ Des contraintes résiduelles
- ◆ De la microstructure
- ◆ Du risque d'apparition de défauts (en fabrication ou en service)
 - besoin de définir des critères basés sur les grandeurs calculées
 - besoin de simuler le comportement des soudures en service

Méthodologie de simulation Apport de chaleur



► Géométrie, position des thermocouples, calibration



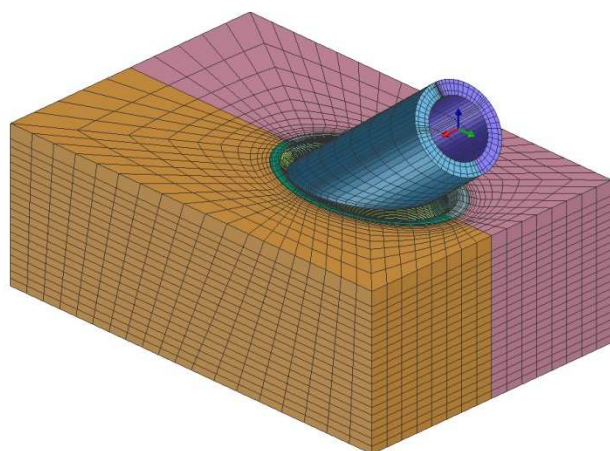
Méthodologie de simulation

Modèle EF et Apport de chaleur

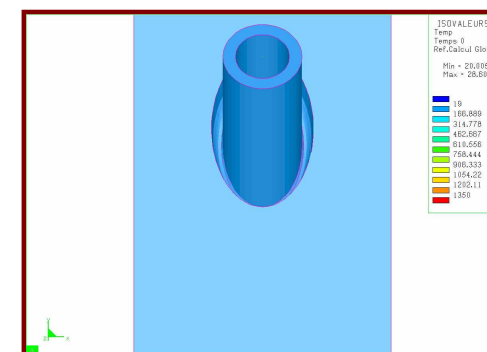
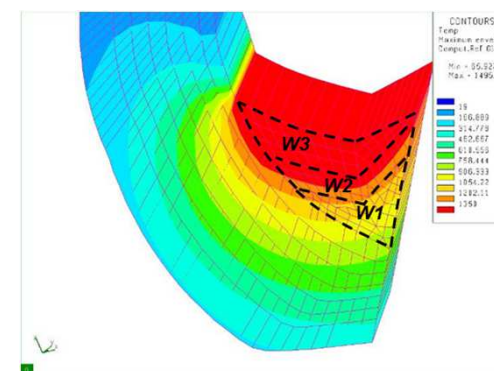
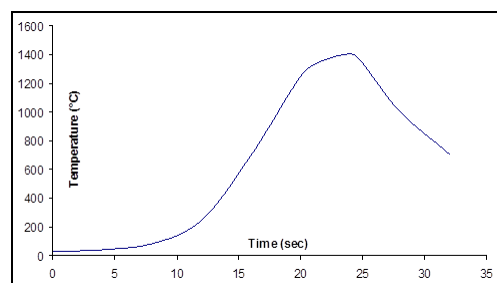


Application du chargement thermique par secteur de 90°

Maillage
132 000 nodes



Identification d'un cycle thermique représentatif

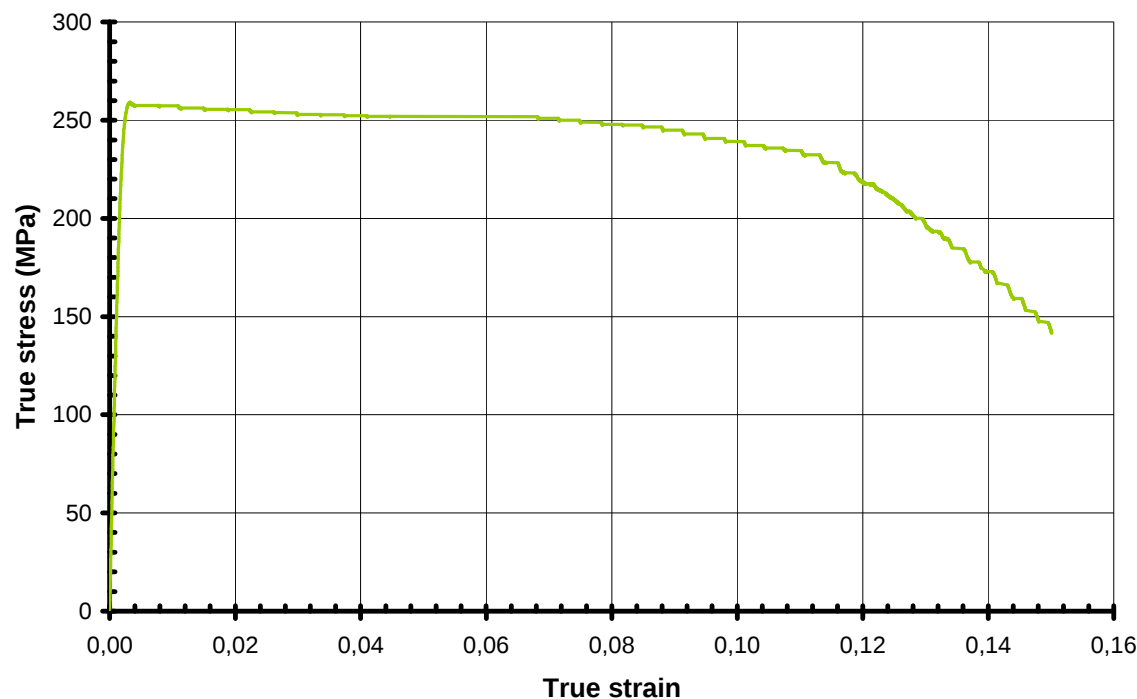


Comportement thermo-métallurgique et mécanique des matériaux à hautes températures



► Les essais de caractérisation doivent être conduits dans des conditions proches de celles vues par le matériau en cours de fabrication (σ , ε , $\dot{\varepsilon}$, θ , $\dot{\theta}$)

- ◆ Transformations de phase,
- ◆ Recristallisation, mise en solution-précipitation,
- ◆ Comportement élasto-viscoplastique...



Inconel 52 à 800° C

$$F(\sigma_{ij}, \chi_{ij}) = \sqrt{\frac{3}{2} (\hat{\sigma}_{ij} - \chi_{ij})(\hat{\sigma}_{ij} - \chi_{ij})} - \sigma_0$$
$$\dot{\chi}_{ij} \equiv \left(\frac{\sigma_{VM}^2 - \sigma_0^2 - R(\varepsilon_{eq}^p)}{K} \right)$$
$$F(\sigma_{ij}) = \sigma_{VM} - \sigma_0 - R(\varepsilon_{eq}^p)$$

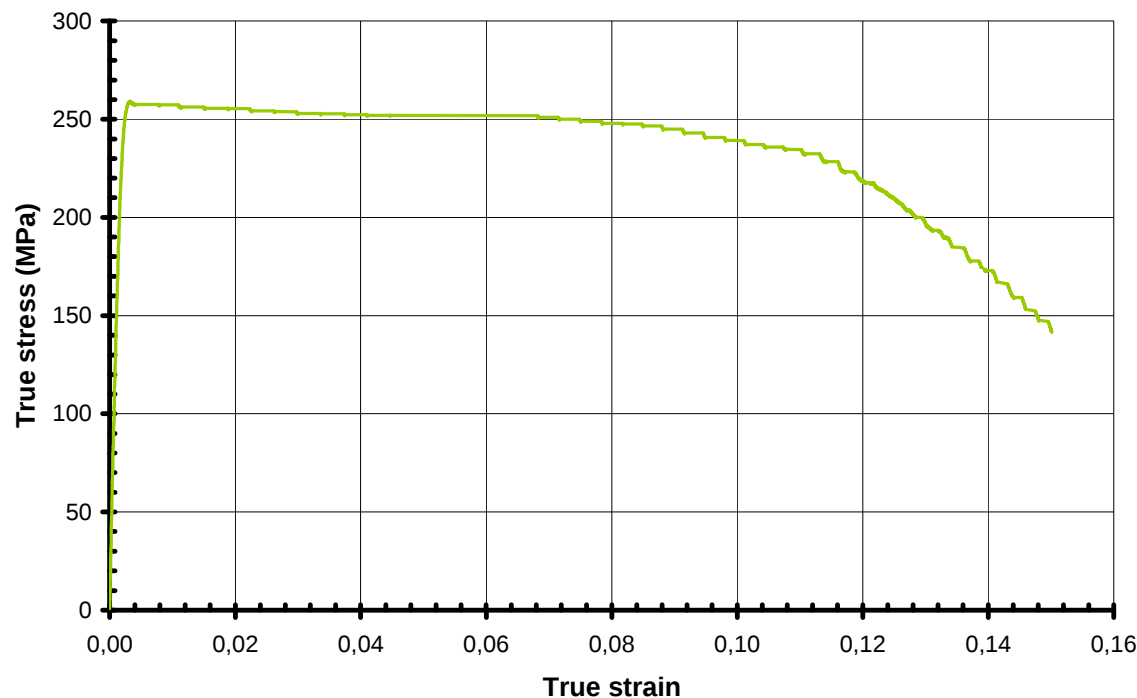
» La connaissance du comportement du matériau est primordiale dès lors où l'on s'intéresse aux problèmes de fabrication

Comportement thermo-métallurgique et mécanique des matériaux à hautes températures



► Le choix du modèle doit dépendre de l'objectif visé

	Températures	Modèle
Métallurgie (phase solide)	[200°C ; 1000°C]	Thermique-Métallurgique-(Mécanique)
Distorsions	[20°C ; 1400°C]	Thermique-(Métallurgique)-Mécanique
Contraintes résiduelles	[20°C ; 800°C]	Thermique-Métallurgique-Mécanique



Inconel 52 à 800°C

$$F(\sigma_{ij}, \chi_{ij}) = \sqrt{\frac{3}{2} (\hat{\sigma}_{ij} - \chi_{ij})(\hat{\sigma}_{ij} - \chi_{ij})} - \sigma_0$$

$$\dot{\chi}_{ij} \equiv \left(\frac{\sigma_{VM}^2 - \sigma_0^2 - R(\epsilon_{eq}^p)}{K} \right)$$

$$F(\sigma_{ij}) = \sigma_{VM} - \sigma_0 - R(\epsilon_{eq}^p)$$



On ne dispose pas forcément d'un modèle unifié pour traduire tous les comportements de tous les matériaux. Il faut faire des choix !



Principaux résultats

RESTRICTED AREVA

The information in this document is AREVA property and is intended solely for the addressees.

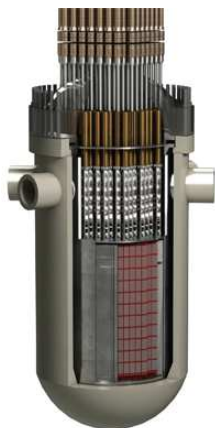
Reproduction and distribution are prohibited. Thank you

Engineering & Projects Organization

AREVA
forward-looking energy

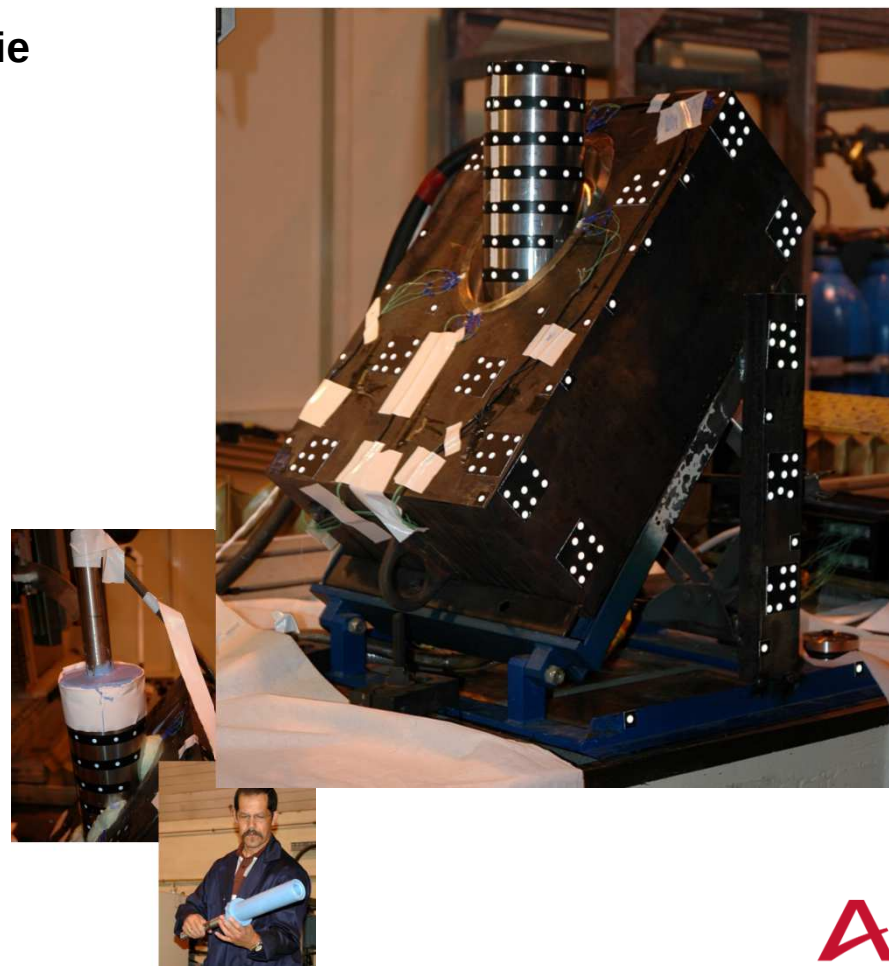
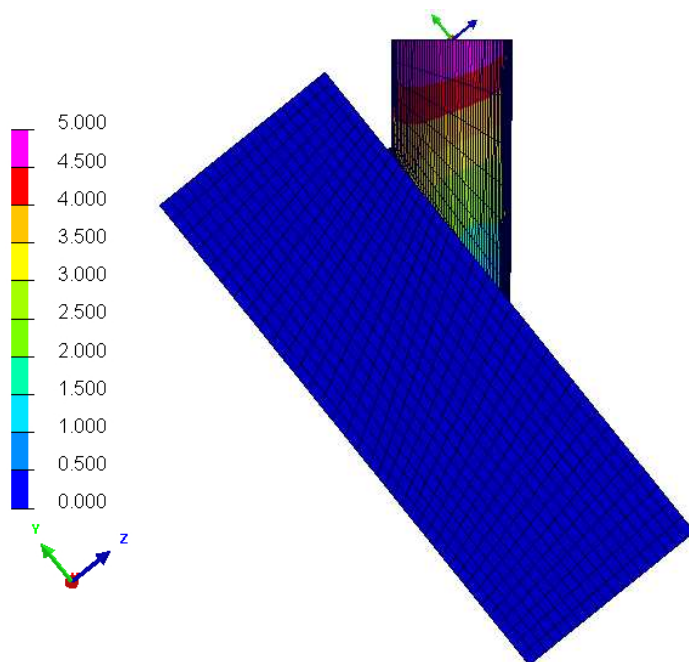
Maquette MUSICA

Résultats de calcul et mesures



► Maquette et mesures

- ◆ Photogrammétrie
- ◆ Empreintes
- ◆ Thermocouples

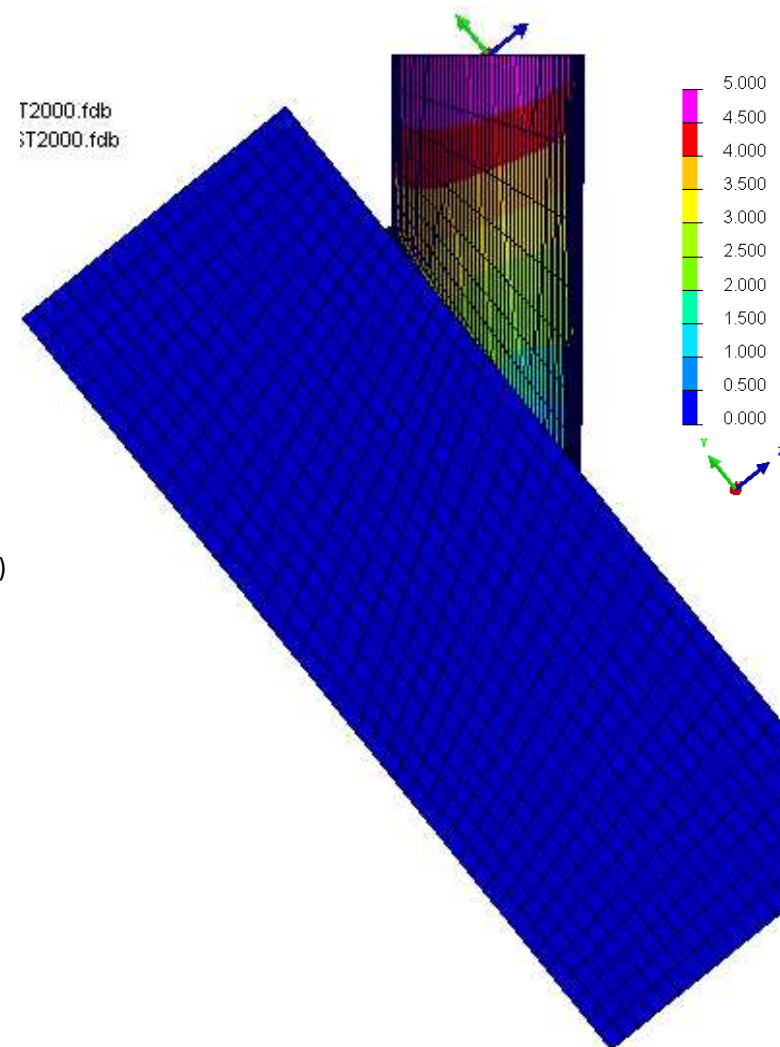
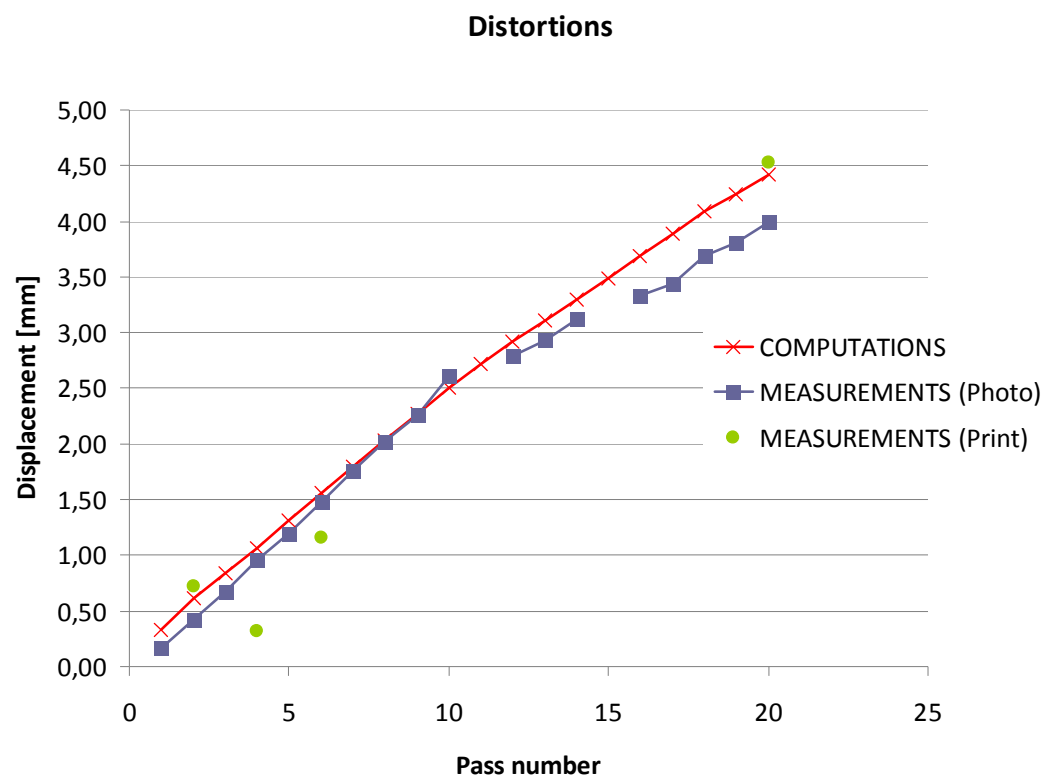


Maquette MUSICA

Résultats de calcul et mesures



► Distorsions

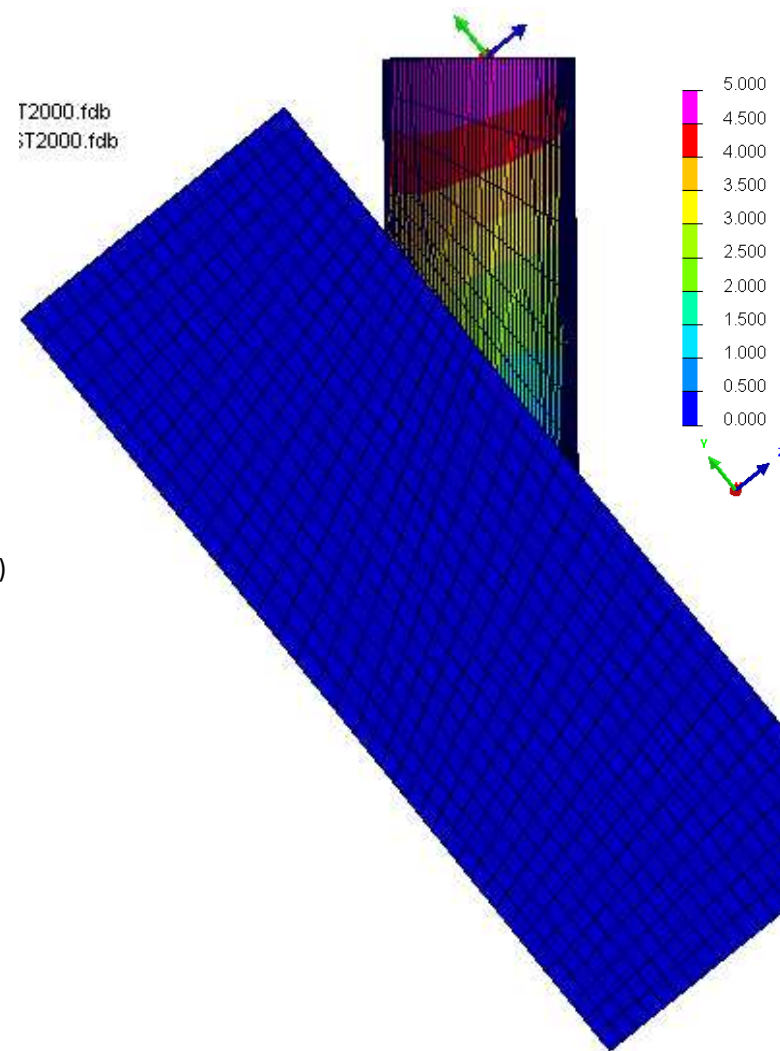
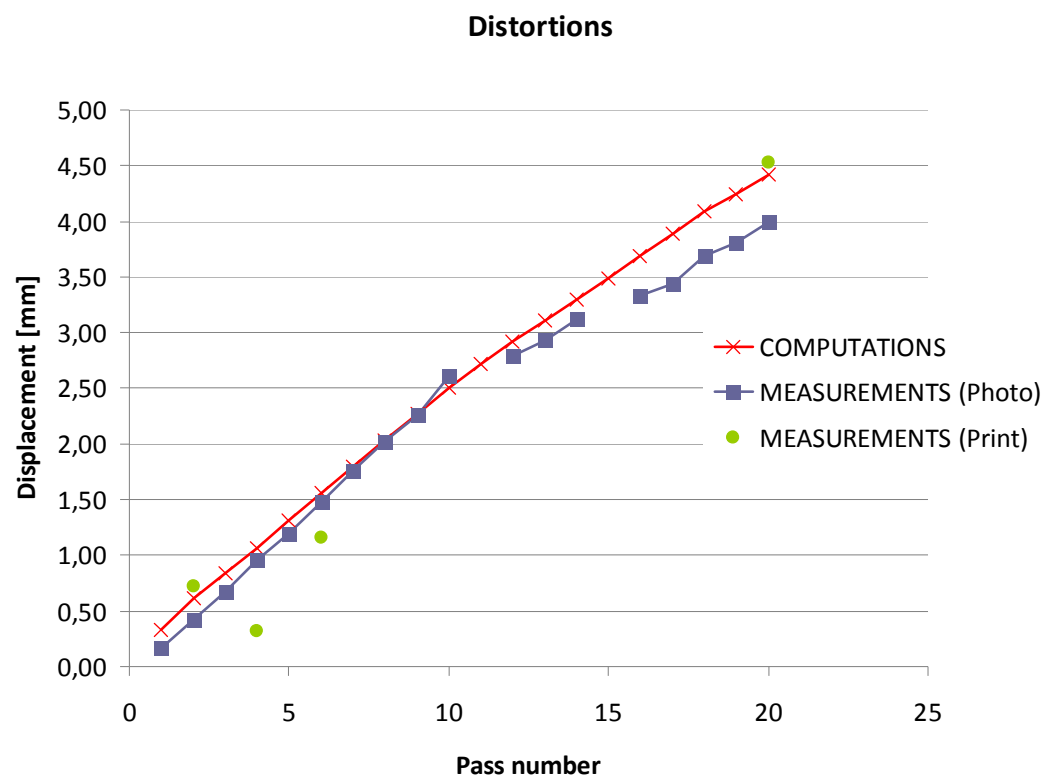


Maquette MUSICA

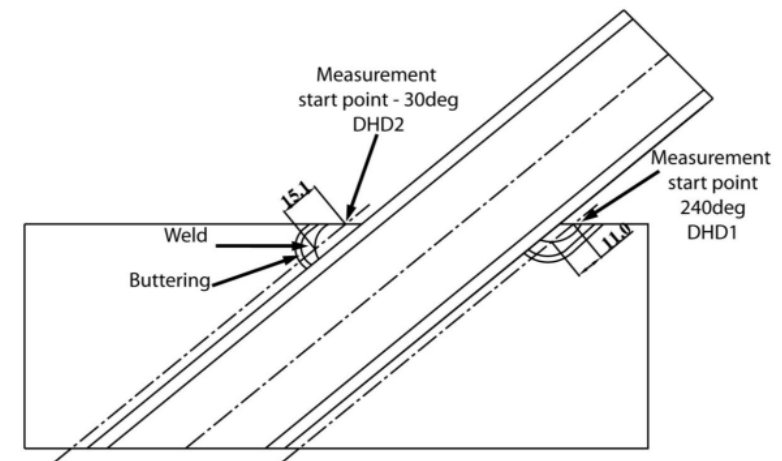
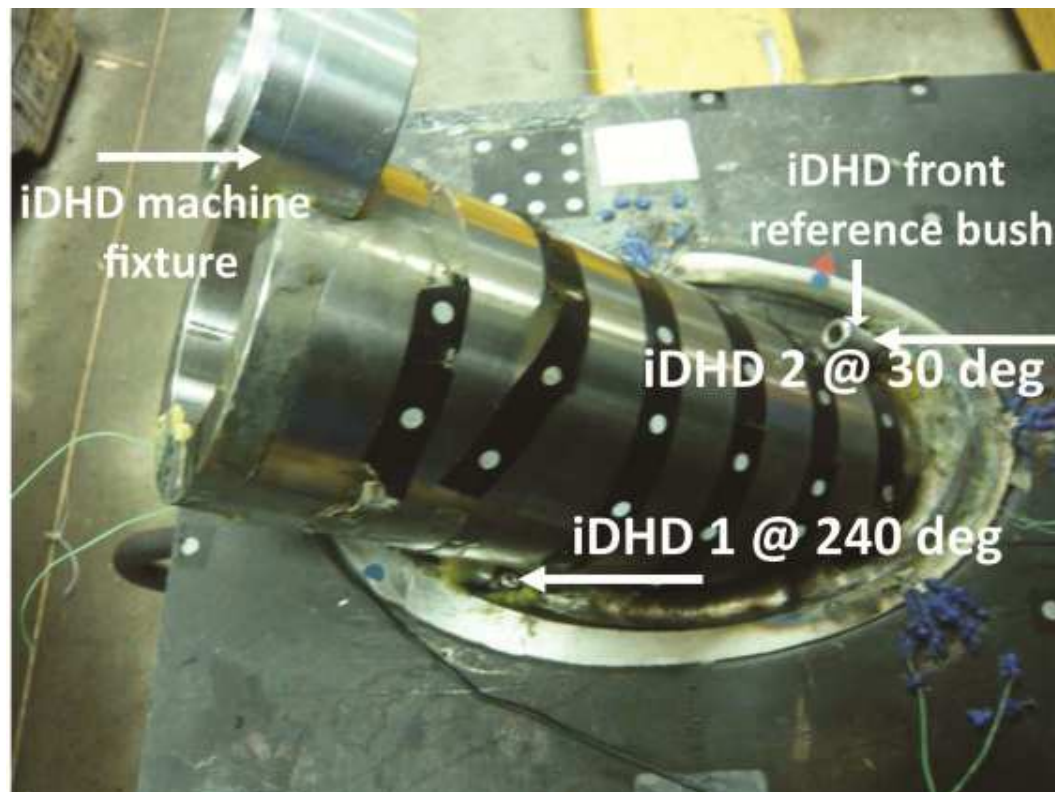
Résultats de calcul et mesures



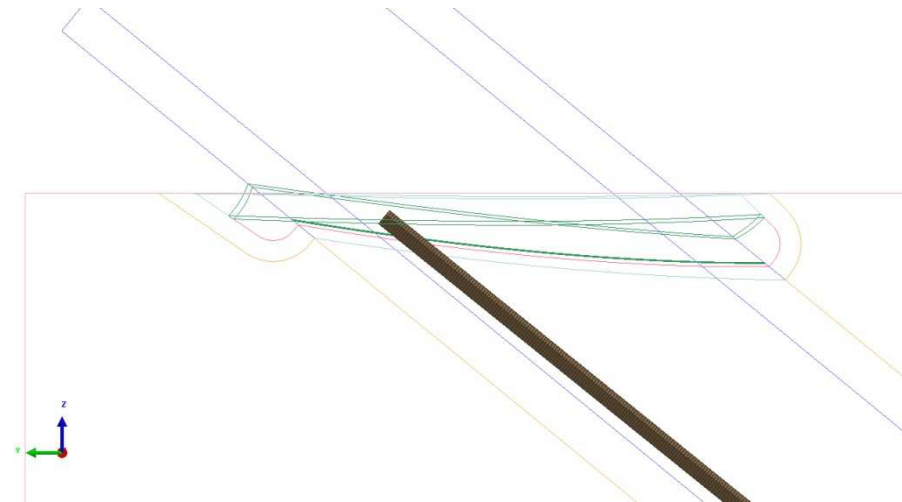
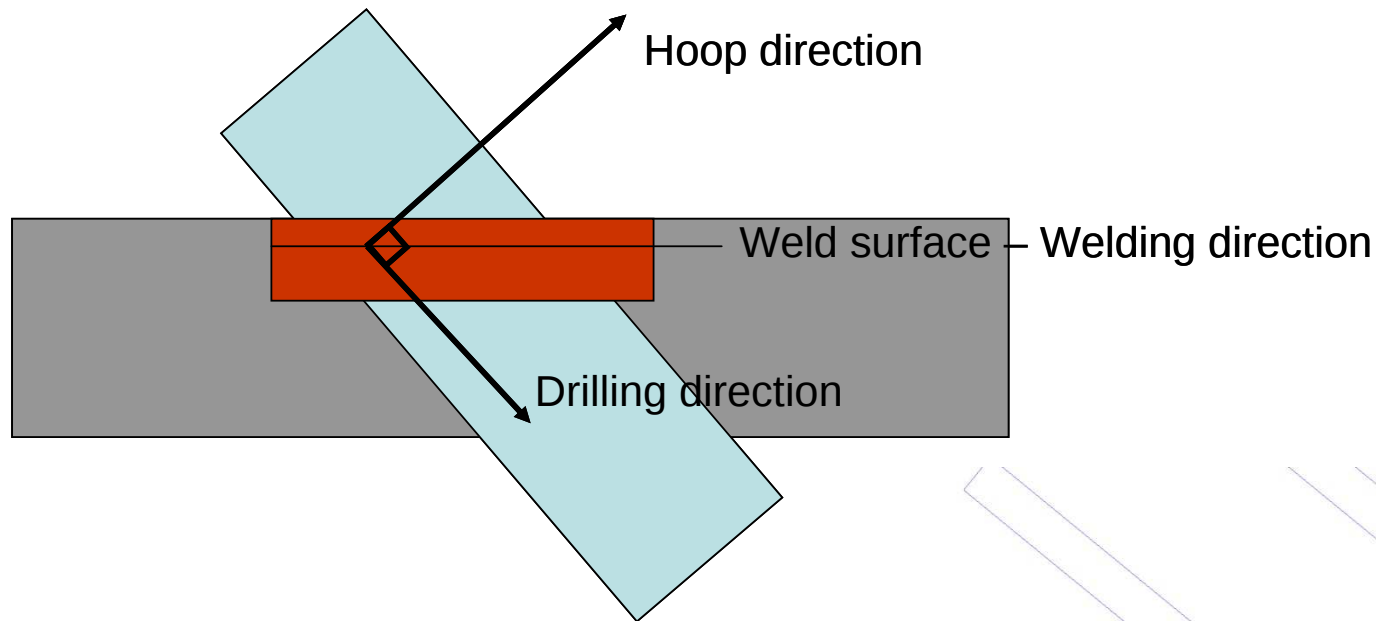
► Distorsions



Position des points de mesure pour la détermination des contraintes résiduelles

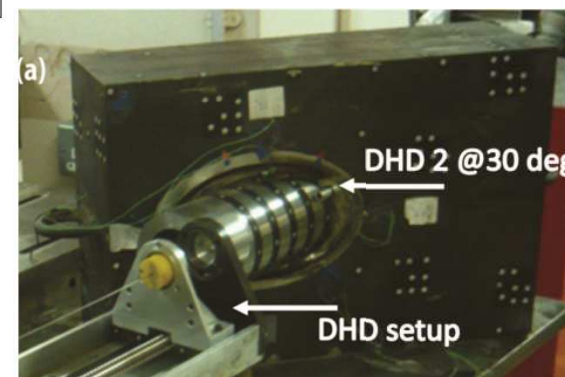
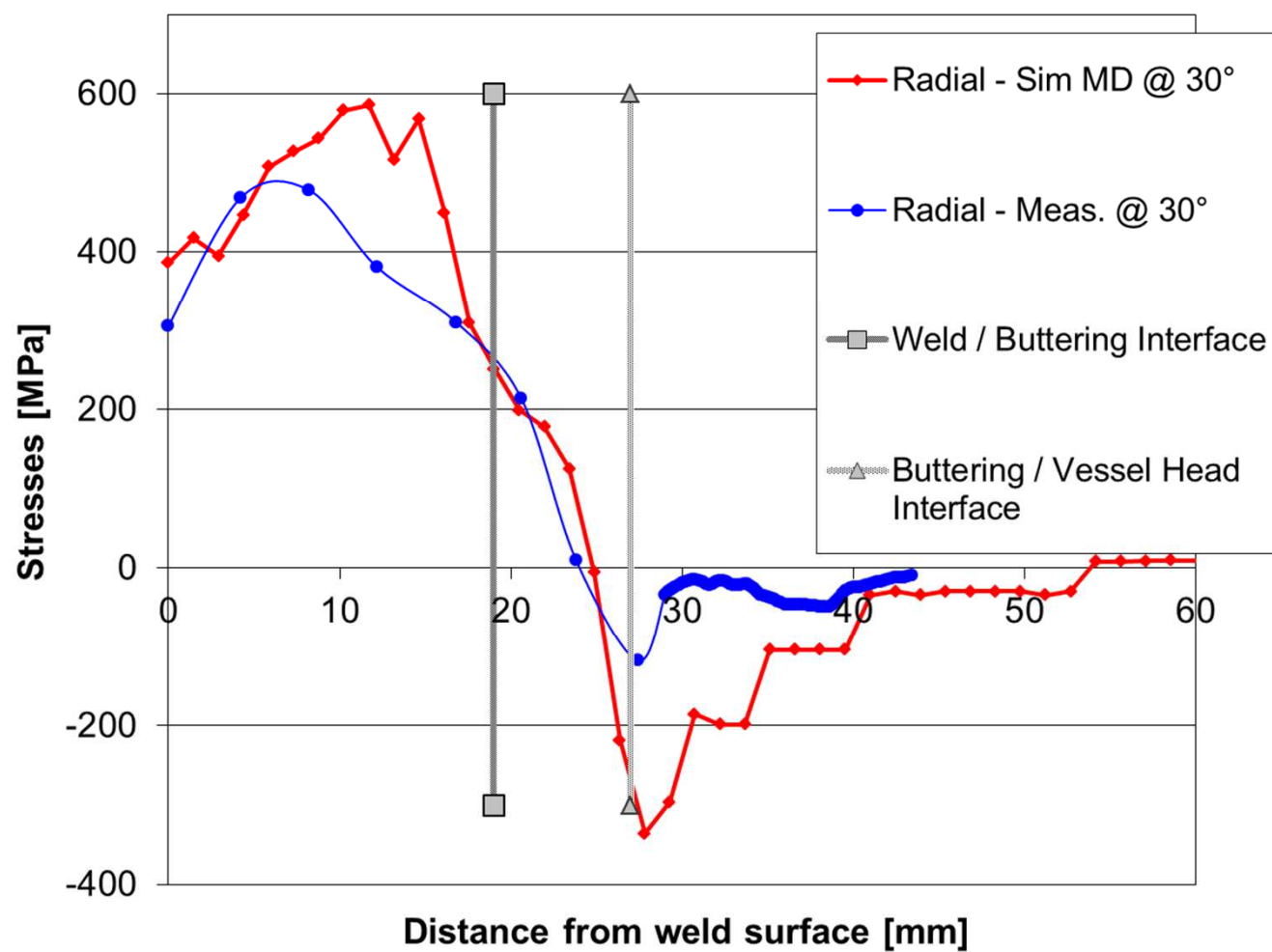


Orientation des contraintes mesurées



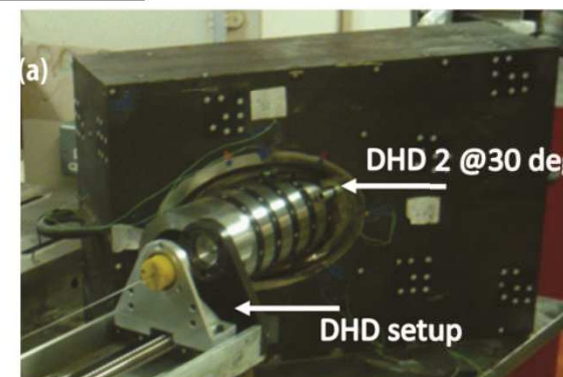
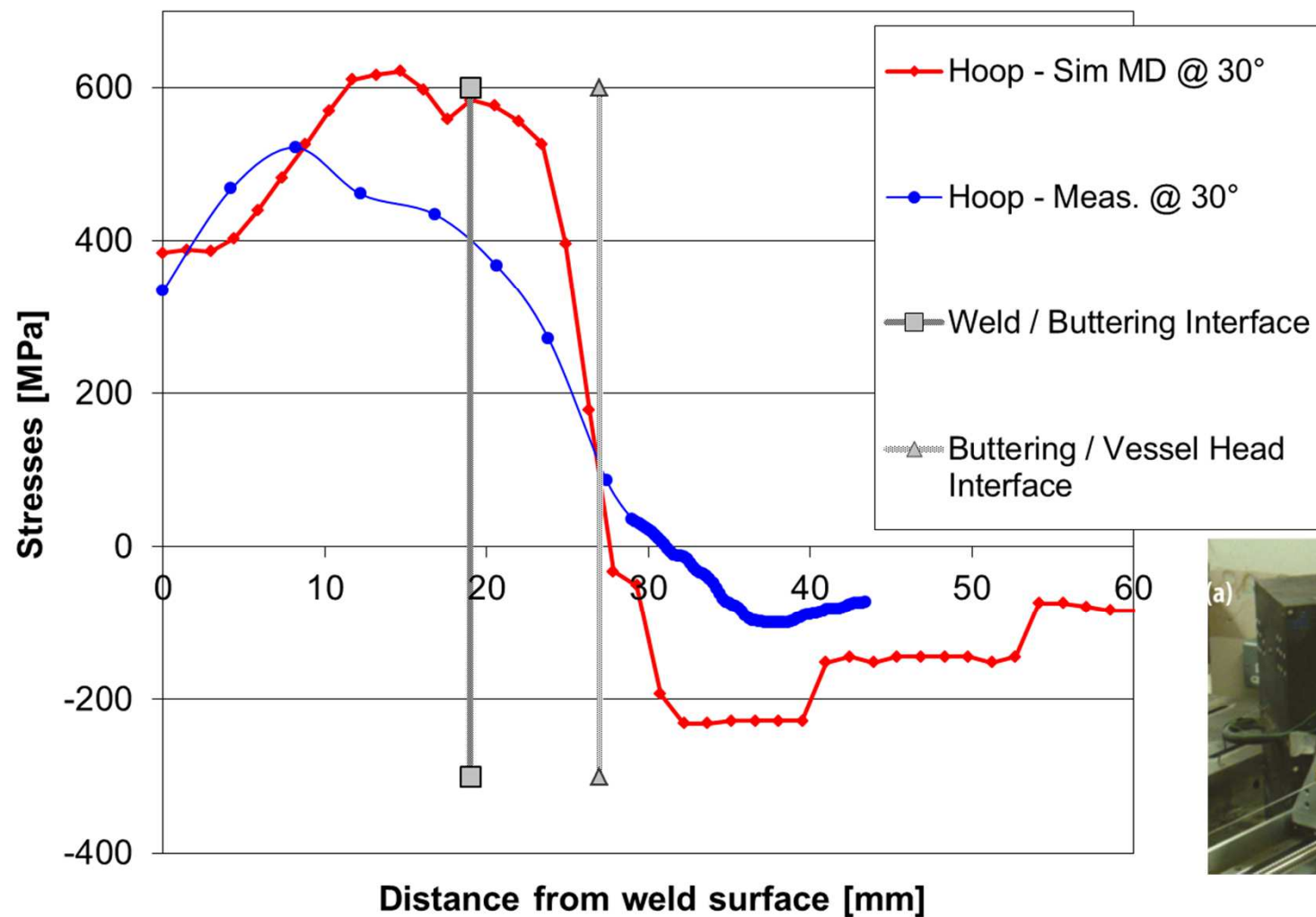
“ iDHD2 @ 30°

Comparaisons



“ iDHD2 @ 30°

Comparaisons





Conclusion

RESTRICTED AREVA

The information in this document is AREVA property and is intended solely for the addressees.

Reproduction and distribution are prohibited. Thank you

Engineering & Projects Organization

AREVA
forward-looking energy

SNS 3D

Soudage multi-passes et géométries complexes



► Méthodologie de SNS en 3D performante

- ◆ Méthodologie validée
- ◆ Temps de calcul raisonnable
- ◆ Simulation robuste

► Besoin d'améliorer le traitement des résultats

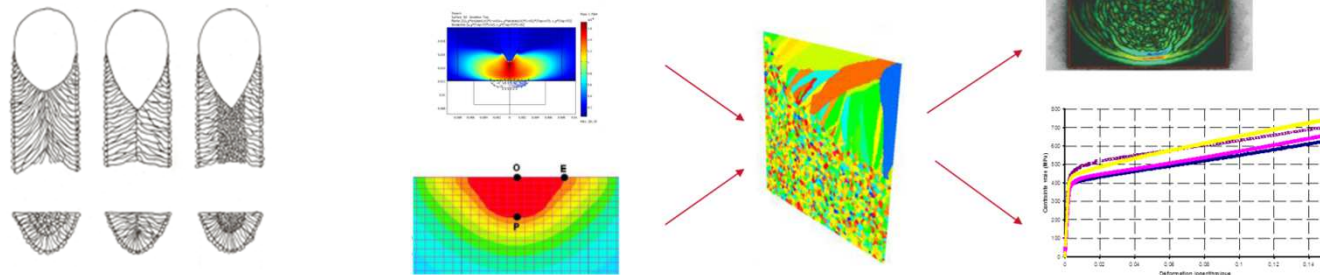
- ◆ Le passage en 3D apporte une modélisation plus riche
- ◆ Le passage en 3D a également un coût
 - Plus de données à analyser
 - Des fichiers plus volumineux à traiter
- ◆ Un meilleur traitement des résultats permettrait de se recentrer sur l'interprétation des simulations

Métallurgie du soudage MUSICAS (2013-2016)

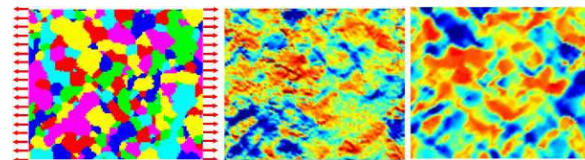


- Autre voie de développement / *Métallurgie du soudage*
 - ◆ Prédiction du comportement mécanique en joint soudé et détection des risques de fissuration

- Réaliser le lien entre la microstructure et le comportement mécanique
 - Prédiction de la structure de solidification



- Modèles de plasticité polycristalline permettant de remonter au comportement macroscopique du matériau



- Intégrer aux calculs de soudage des critères de fissuration / non fissuration à partir des grandeurs macroscopiques calculées (σ , ε , $\dot{\varepsilon}$, θ , $\dot{\theta}$)