

# DEVELOPPEMENT ET VALIDATION D'OUTILS DE SIMULATION POUR LE CONTRÔLE ULTRASONORE DE SOUDURES AUSTENITIQUES

- | Souad BANNOUF, Déborah ELBAZ - EXTENDE
- | Bertrand CHASSIGNOLE – EDF R&D
- | Nicolas LEYMARIE – CEA
- | Patrick RECOLIN - DCNS



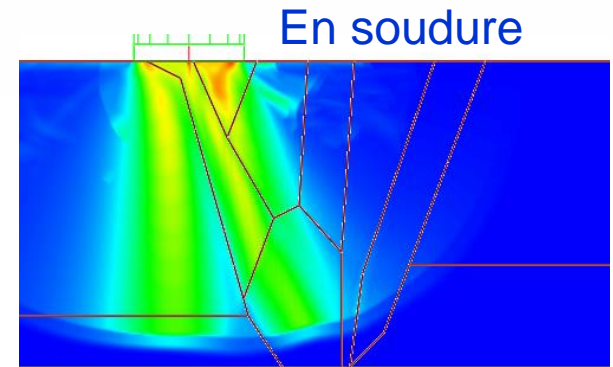
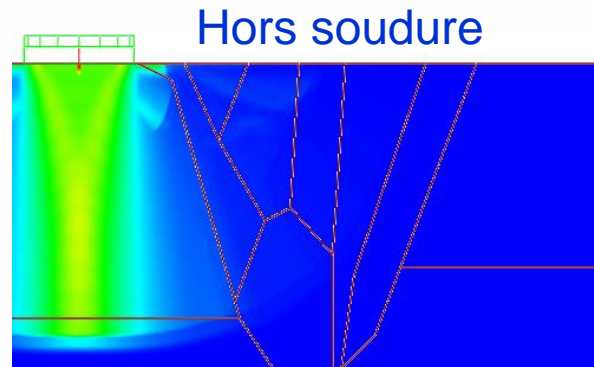
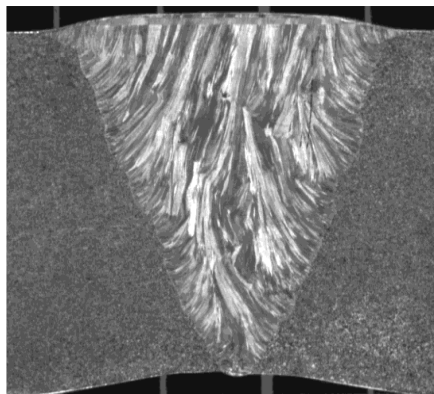
Journées COFREND 2014 - Bordeaux

# Plan de la présentation

- | Contexte
- | Le projet MOSAICS
- | Le modèle continûment variable de CIVA
- | Le code ATHENA 3D
- | Soudure avec chanfrein en V – *application EDF*
- | Piquage des SSP (Soupape Sureté Primaire) – *application DCNS*
- | Conclusion

# Contexte

- | Développement de moyens de simulation en END, validés et opérationnels :
  - Etudes paramétriques pour déterminer les performances et les limites d'un procédé END (impact des paramètres influents, qualification des procédés)
  - Compréhension de phénomènes physiques complexes
- | Difficultés du contrôle ultrasonore des soudures austénitiques des circuits primaires et auxiliaires des centrales à réacteur à eau pressurisée :
  - Structure à gros grains, anisotrope et hétérogène
  - Déviation, division et atténuation du faisceau et bruit de structure



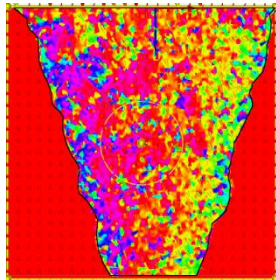
# Le projet MOSAICS

- | Projet ANR MOSAICS : MOdélisation d'une Soudure Austénitique Inspectée par Contrôle ultraSonore (10/2011 – 01/2015)
  
- | 6 partenaires : EDF – DCNS – CEA – EXTENDE – Université d'Aix-Marseille – INSA de Lyon
  
- | Objectif : développer des codes de simulation numérique permettant de prédire les phénomènes de propagation ultrasonore dans les soudures austénitiques pour fiabiliser un diagnostic de contrôle non destructif
  - Développement et utilisation d'outils de modélisation prenant en compte des configurations complexes 3D
    - Code aux éléments finis ATHENA 3D
  
    - CIVA : modèle continûment variable

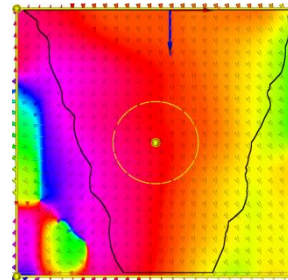
# Le modèle continûment variable de CIVA

- | Méthode des rayons paraxiaux dans un milieu anisotrope et doucement inhomogène (thèse A. Gardahaut, 2013 – session poster)
  - | Soudure décrite comme une cartographie d'orientations cristallines
    - Obtention grâce au plug-in Orientation J du logiciel Image J (EPFL)
    - Détermine l'orientation de chaque pixel de l'image
    - Image d'orientation représentée sur l'intervalle  $[-90^\circ, 90^\circ]$
  - | Filtre de lissage (fonction gaussienne) dont la largeur est liée à la longueur d'onde  $\lambda$
  - | Décimation spatiale pour réduire le temps de chargement de la cartographie
- } À préciser avant calcul

Avant lissage et  
décimation



Après lissage et  
décimation



# Le code ATHENA

| Code aux éléments finis basé sur la résolution des équations de l'élastodynamique exprimées en termes de contraintes et vitesses de déplacement

| Modélisation de l'ensemble de la chaîne de contrôle US : pièce, capteur et défaut

| Discrétisation

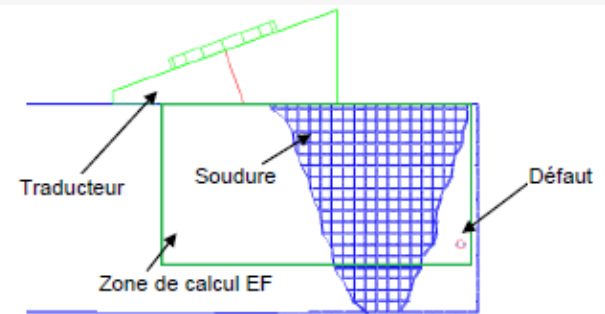
- zone de calcul : maillage régulier 3D
- Défaut : domaines fictifs (maillage séparé)

| Cartographie d'orientation des grains

- grille constituée de carrés de 2 mm de côté
- Mesure des orientations des grains colonnaires par traitement d'image sur macrographie (transformée de Hough)

| Modèle d'atténuation traduisant le phénomène de diffusion aux joints de grain implémenté en 2D et en cours de développement pour la version 3D

| Version 3D validée en milieu isotrope homogène (C. Rose, *ATHENA 3D : A finite element code for ultrasonic wave propagation*, IOP Publishing, *Journal of Physics: Conference Series* 498 (2014) )



# Objectif de l'étude

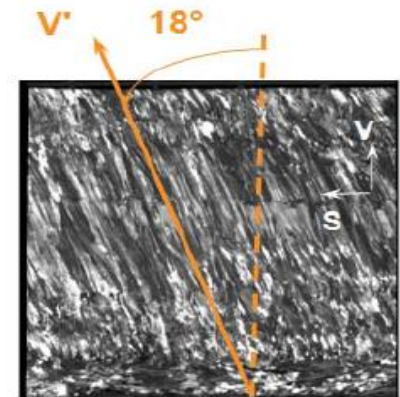
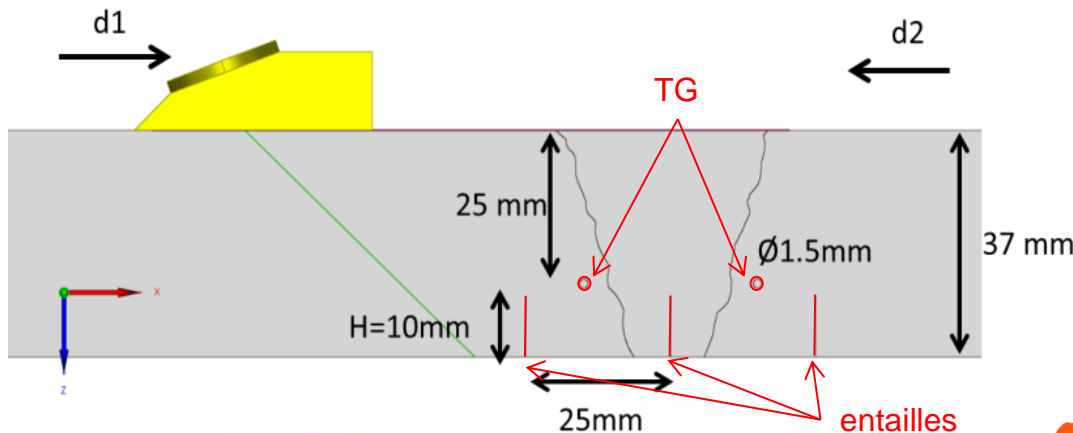
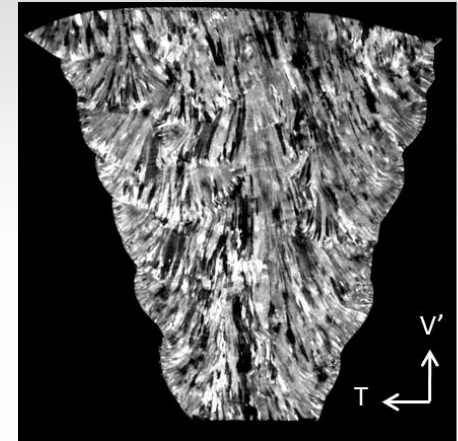
- | Validation du module continûment variable de CIVA et du code ATHENA 3D
  - Analyse des amplitudes avec et sans traversée de la soudure pour différents défauts calibrés :
    - Trous Génératrices
    - Entailles débouchantes en fond de soudure
  
- | 2 cas d'applications :
  - Cas EDF : soudure en V anisotrope et de symétrie orthotrope
  - Cas DCNS : Piquage des SSP (Soupape Sureté Primaire)

# Soudure avec chanfrein en V – application EDF

- | Soudure en acier inoxydable austénitique de nuance 316 L soudée à l'électrode enrobée et en position verticale montante
- | Matériau anisotrope et de symétrie orthotrope :

$$\rho = 7.85 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \text{ et } C_{ij} = \begin{pmatrix} 247 & 110 & 148 & 0 & 0 & 0 \\ 110 & 247 & 148 & 0 & 0 & 0 \\ 148 & 148 & 218 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 105 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 105 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 80 \end{pmatrix}$$

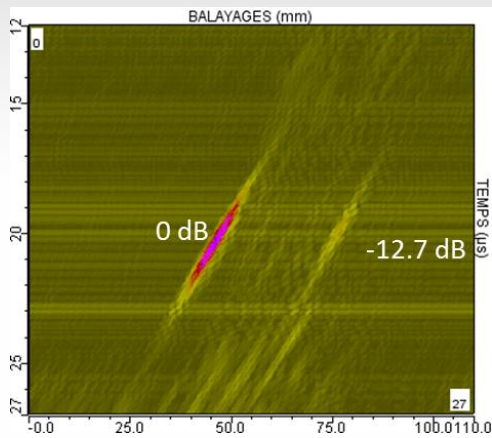
- | Chanfrein en V d'épaisseur 37 mm
- | Désorientation moyenne des grains de 18° dans le sens de soudage



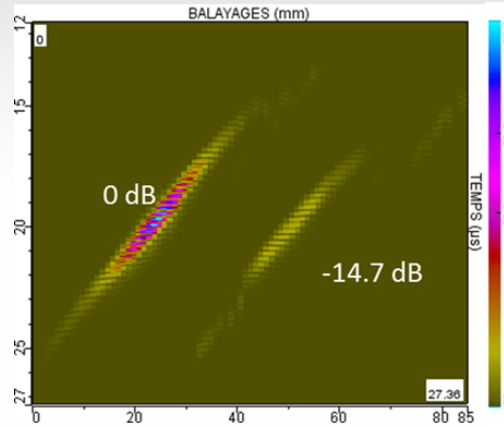


# Résultats de validation sur les TG

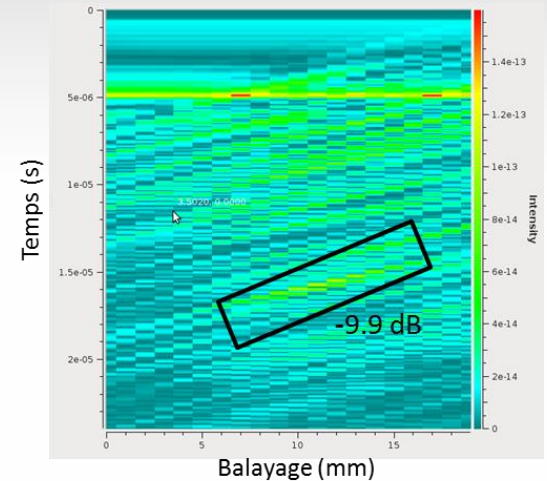
Expérience



CIVA CV (avec atténuation)



ATHENA 3D



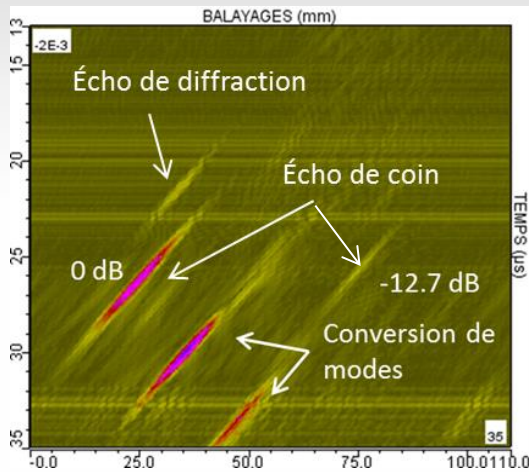
$\sigma = 3 \text{ mm}$   
 Décimation = 2 mm

Valeurs choisies pour que l'amplitude simulée du TG avant soudure soit au plus près de l'expérimentale

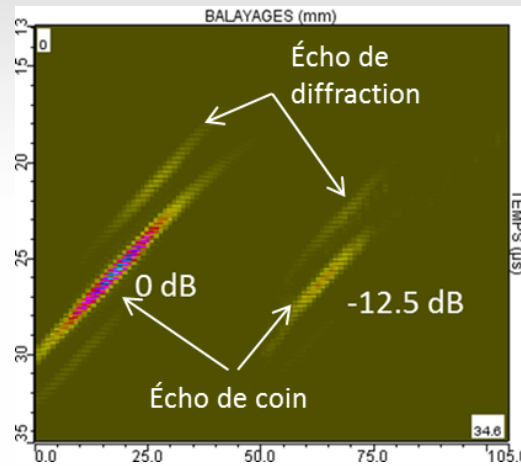
	Expérience (dB)	Civa (dB)	ATHENA 3D (dB)
<b>Sens d1</b>	-12.7 ± 0.6	-14.7	-9.9
<b>Sens d2</b>	-9.3 ± 0.7	-10.1	-3.8

# Résultats de validation sur les entailles

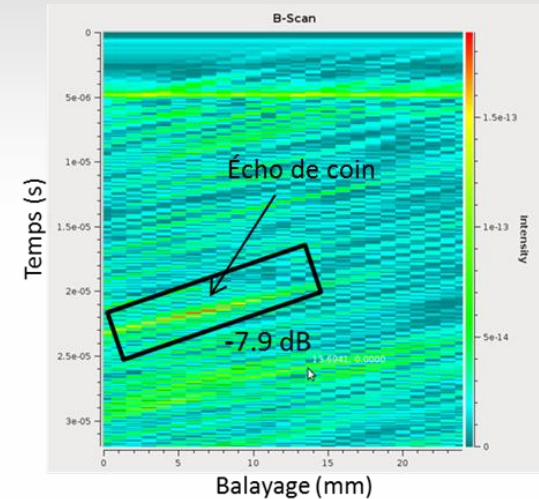
Expérience



CIVA CV (avec atténuation)



ATHENA 3D



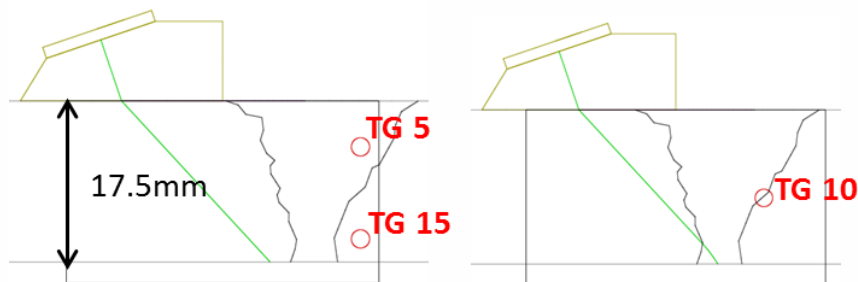
$\sigma = 3 \text{ mm}$   
 Décimation = 2 mm

	Expérience (dB)	Civa (dB)	ATHENA 3D (dB)
<b>Sens d1</b>	-12.7 ± 0.6	-12.5	-7.9
<b>Sens d2</b>	-10.6 ± 0.9	-7.8	-5.9

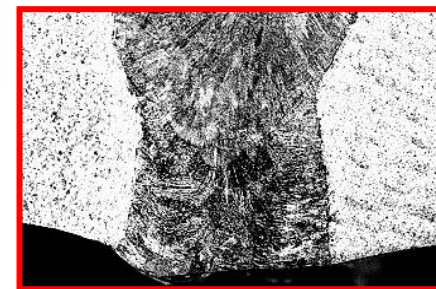
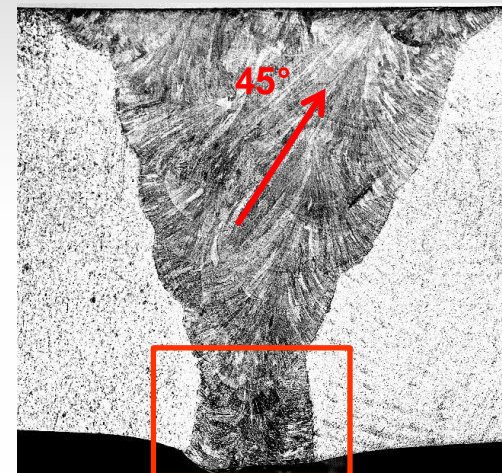
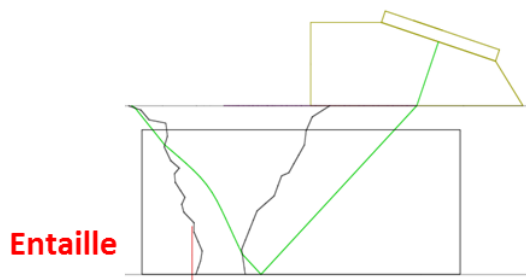
- ❑ CIVA : résultats proches de l'expérience
- ❑ ATHENA : atténuation bien mise en évidence mais sous-estimée
  - absence de modèle d'atténuation lié à la diffusion aux joints de grain dans la version 3D
  - Implémentation en cours basée sur les travaux de caractérisation de l'INSA de Lyon
  - Etude spécifique à mener sur la reproduction du bruit de structure en simulation

# Piquage des SSP (Soupape Sureté Primaire) – application DCNS

- | Soudure orbitale en acier austénitique de type 26Bis (équivalent 316L) réalisée en position corniche après une passe de fusion en TIG
- | Non symétrique : inclinaison des grains vers la droite ( $\theta \approx 45^\circ$ ) causée par la position de soudure en corniche
- | Pas d'orientation dendritique particulière au niveau de la racine



Capteur OL45 de diamètre  $\varnothing 12,5$  mm et de fréquence 2 MHz



Passe de fusion TIG

# Résultats de validation sur les TG

$\sigma = 2 \text{ mm}$   
 Décimation = 5 mm

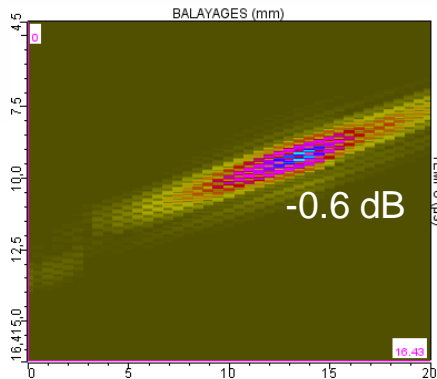
} Valeurs choisies pour que l'amplitude du TG après soudure soit au plus près de l'expérimentale (2 dB d'écart)

Résultat sur le TG de référence à 15mm de profondeur

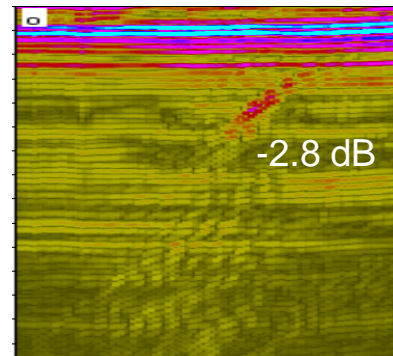
	Expérience (dB)	Civa (dB)
Après traversée de la soudure (TG 15mm)	-8,2	-10,2

Résultat sur le TG 10

CIVA CV



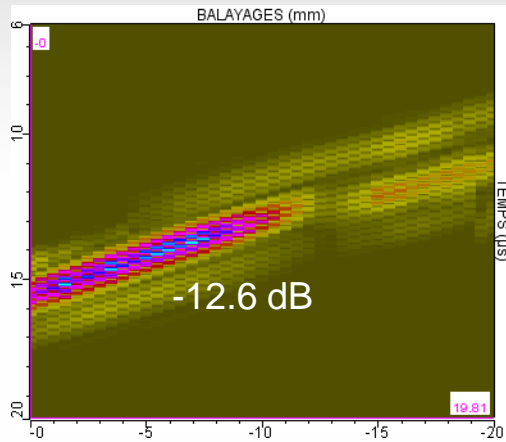
Expérience



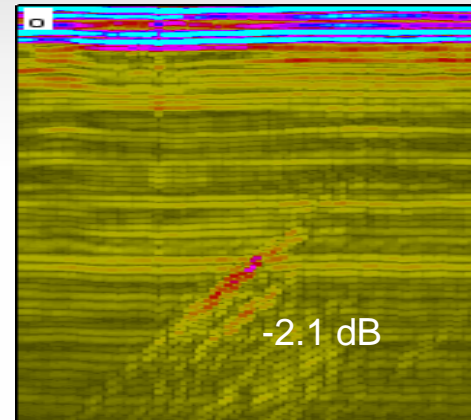
- ❑ Résultats satisfaisants entre expérience et CIVA continuum variable pour des défauts de type TG (2 dB d'écart)

# Résultats de validation sur l'entaille

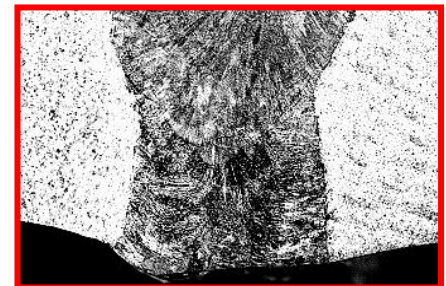
CIVA CV



Expérience



- | Ecart important entre la mesure expérimentale et simulée (10.5 dB)
- | Explication : pour détecter l'entaille le faisceau passe par la racine de la soudure
  - fortement hétérogène
  - anisotropie mal maîtrisée
  - Orientations dendritiques erronées



# Conclusion et perspectives

## Avancées de MOSAICS :

- Codes adaptés pour traiter des configurations 3D (anisotropie quelconque, capteur, défaut)
- CIVA\_CV : plus de limitations liées aux structures fortement hétérogènes
- ATHENA3D : configurations non traitables à ce jour en 2D
- Validation expérimentale
  - Plusieurs configurations de soudure et de défauts testées, ondes L
  - Prédiction des perturbations (atténuation, déviation) et de l'influence de la dissymétrie de la structure (variations entre les directions de contrôle)
  - Modèles à affiner pour meilleure estimation des amplitudes

## Etudes complémentaires :

- Autres types de soudures et autres modes de propagation
- Modèle d'atténuation 3D (constantes d'élasticité complexes)
- Etude de sensibilité sur les paramètres matériau (type de description de soudure, constantes d'élasticité, paramètres de lissage dans CIVA...)

**Merci pour votre attention !**