



**HAL**  
open science

## **Modélisation de la propagation des ultrasons dans les aciers austéno-ferritiques moulés et validation expérimentale**

Zakaria Aghenzour, Pierre-Emile Lhuillier, Nicolas Leymarie, Vincent Dorval,  
Alexandre Imperiale, Jérémy Dalphin

### ► **To cite this version:**

Zakaria Aghenzour, Pierre-Emile Lhuillier, Nicolas Leymarie, Vincent Dorval, Alexandre Imperiale, et al.. Modélisation de la propagation des ultrasons dans les aciers austéno-ferritiques moulés et validation expérimentale. 7ème Edition des Doctoriales de la Cofrend 2024, Cofrend, Nov 2024, Fontainebleau, France. pp.14-15. <cea-05306562>

**HAL Id: cea-05306562**

**<https://cea.hal.science/cea-05306562v1>**

Submitted on 9 Oct 2025

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Modélisation de la propagation des ultrasons dans les aciers austéno-ferritiques moulés et validation expérimentales

Doctorant : ZAKARIA AGHENZOUR<sup>1,2</sup>

Co-Auteurs : Pierre-Emile LHUILLIER<sup>2</sup>, Nicolas LEYMARIE<sup>3</sup>, Vincent DORVAL<sup>3</sup>, Alexandre IMPERIALE<sup>3</sup>, Jérémy DALPHIN<sup>4</sup>

1. Université de Paris-Saclay, E0BE
2. EDF R&D, Laboratoire Les Renardières
3. CEA LIST
4. EDF R&D, Laboratoire de Saclay

### Résumé

Les aciers inoxydables austéno-ferritiques moulés, appelés aussi aciers duplex, sont utilisés dans les tuyauteries du circuit primaire des réacteurs nucléaires en raison de leurs propriétés mécaniques et de leur résistance à la corrosion. Lors des contrôles non destructifs par ultrasons, les microstructures de ces matériaux – biphasiques, complexes et à gros grains - entraînent une diffusion des ondes ultrasonores, impliquant une atténuation importante et un bruit de structure élevé qui limitent les performances des inspections par ultrasons.

L'étude a pour objectif de simuler la propagation des ultrasons dans des métaux polycristallins à structures complexes et analyser les interactions entre les ondes ultrasonores et les microstructures des aciers duplex. L'étude commence par une caractérisation microstructurale détaillée de différents échantillons permettant d'obtenir des données quantitatives, sur la morphologie et la cristallographie des éléments de la microstructure. Cette analyse a permis d'établir une décomposition hiérarchique de la microstructure.

Une méthode numérique a ensuite été implémentée pour générer, à partir des données microstructurales mesurées, des Volumes Élémentaires Représentatifs (VER) des différents échantillons. Des mesures expérimentales par ultrasons ont été réalisées sur ces mêmes échantillons à différentes fréquences. Les microstructures synthétiques, validées par comparaison aux caractérisations métallurgiques, ont été utilisées comme milieu de propagation pour les ultrasons dans différents modèles numériques (Éléments finis et modèles semi-analytiques), et dans des configurations reproduisant les mesures expérimentales.

Les résultats numériques, avec les différents modèles, montrent un excellent accord avec les mesures expérimentales à différentes fréquences, sur la décroissance moyenne d'écho de fond de pièce. Un résultat remarquable montre notamment que la prise en compte de différentes microstructures numériques permet de reproduire la dispersion statistique des échos examinés aussi bien sur l'amplitude que sur le temps de vol apparent des échos.

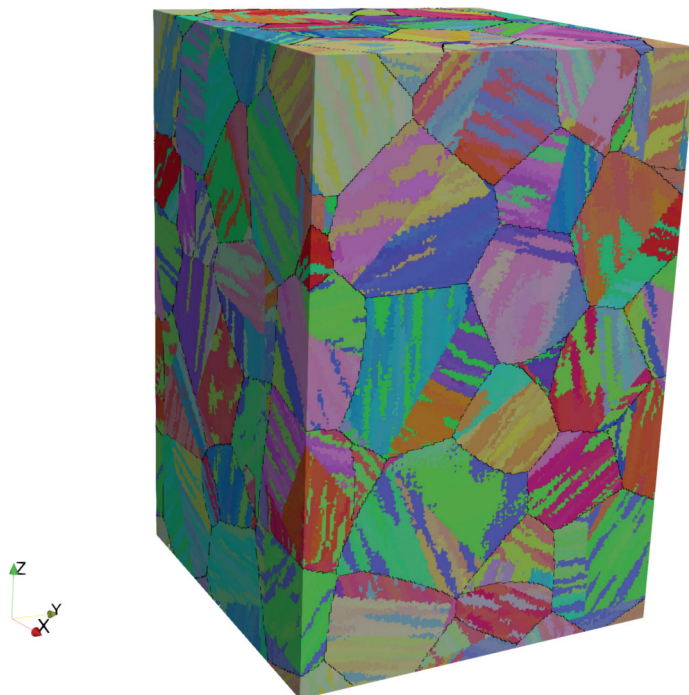


Figure 1 : Volume élémentaire représentatif d'un échantillon austéno-ferritique. La modélisation de cette microstructure est basée sur les mêmes observables et statistiques expérimentales.

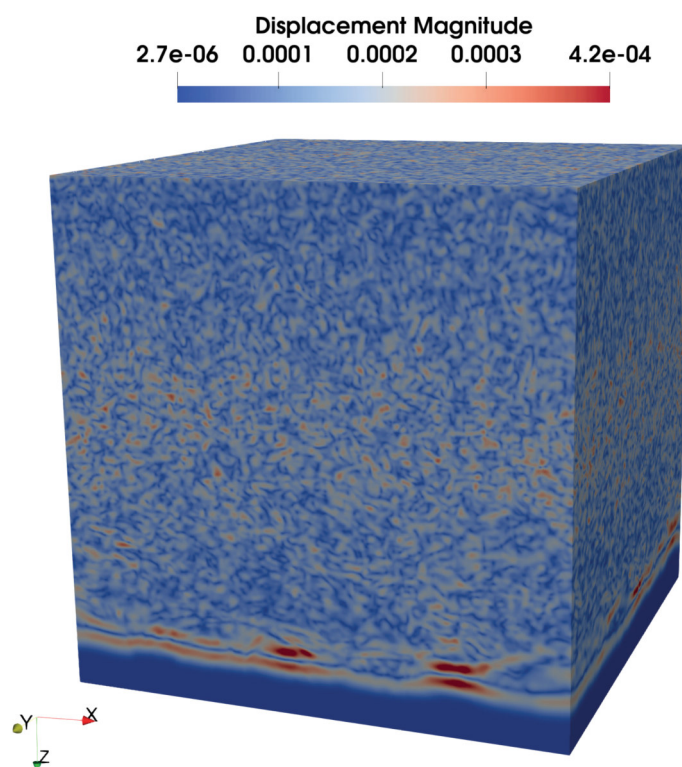


Figure 2 : Propagation d'une onde longitudinale plane dans un volume élémentaire représentatif, montrant l'amplitude du champ de déplacement à un instant donné.

## Références

1. Vincent Dorval, Nicolas Leymarie, Alexandre Imperiale, Edouard Demaldent, Zakaria Aghenzour, and Pierre-Emile Lhuillier. Determining ultrasonic propagation effective properties in complex heterogeneous media through microstructure-scale simulation. *Research and Review Journal of Nondestructive Testing*, 1(1), August 2023.
2. P. E. Lhuillier, B. Chassignole, M. Oudaa, S. O. Kerhervé, F. Rupin, and T. Fouquet. Investigation of the ultrasonic attenuation in anisotropic weld materials with finite element modeling and grain-scale material description. *Ultrasonics*, 78:40–50, July 2017.
3. S. Morito, H. Tanaka, R. Konishi, T. Furuhashi, and T. Maki. The morphology and crystallography of lath martensite in Fe-C alloys. *Acta Materialia*, 51(6):1789–1799, April 2003.
4. A. Van Pamel, G. Sha, S. I. Rokhlin, and M. J. S. Lowe. Finite-element modelling of elastic wave propagation and scattering within heterogeneous media. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 473(2197):20160738, January 2017. Publisher: Royal Society
5. Zakaria Aghenzour, Pierre-Émile Lhuillier, Nicolas Leymarie, Vincent Dorval, and Alexandre Imperiale. Characterisation and 3d Modelling of Cast Duplex Stainless Steel Microstructure: Application to Ultrasonic Wave Propagation Simulations. January 2024.