

FROM RESEARCH TO INDUSTRY

cea tech



CND DES SOUDURES, DE LA SIMULATION AU DÉMONSTRATEUR

Dubois Anthony

PLAN DE L'EXPOSÉ

- **Le CEA Tech en bref**
- **Le Département Imagerie et Simulation pour le Contrôle**
- **La simulation dans CIVA**

Le **C**ommissariat à l'**É**nergie **A**tomique et aux **É**nergies **A**lternatives

CEA Tech, un organisme de recherche public tourné vers les industriels

Technologie

**Défense
Sécurité**

*Direction
des Applications
Militaires*

**Énergie
Nucléaire**



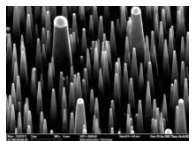
*Direction
de l'Énergie
Nucléaire*

**Technologies
Clés Génériques**



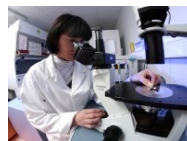
*Direction
de la Recherche
Technologique*

Science



Recherche fondamentale

*Direction des Sciences de la Matière
Direction des Sciences du Vivant*



16000 techniciens, ingénieurs,
chercheurs et collaborateurs

10 centres de recherche

4,5 Mds € de budget

4674 brevets prioritaires en portefeuille

701 dépôts de brevets prioritaires

157 start-up depuis 1972 dans
le secteur des technologies innovantes

LE CEA TECH



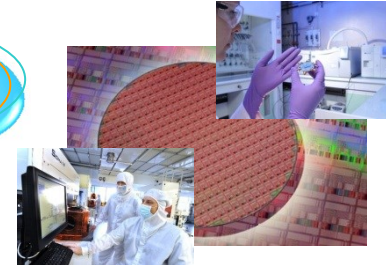
- Sites historiques
- Implantation en régions

leti

Laboratoire d'Électronique et des Technologies de l'Information

Micro et nanotechnologies et Intégration dans les systèmes

1967 - Grenoble
1800 salariés - 280 M€



liten

Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Énergies nouvelles et les Nanomatériaux

Nouvelles technologies de l'énergie Et nanomatériaux

2005 - Grenoble / Chambéry
1000 salariés - 180 M€

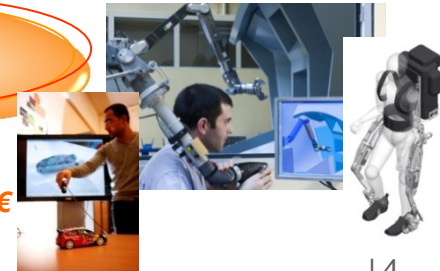


list

Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies

Système à logiciel prépondérant

2003 - Paris Sud
720 salariés - 90 M€



LE CEA TECH

DES PLATES-FORMES TECHNOLOGIQUES

Equipements industriels de pointe, infrastructures de grande ampleur et expertises multiples sur un même lieu



Plus de 25 plates-formes CEA Tech

LE CEA TECH

LES PLATES-FORMES EN PAYS DE LA LOIRE



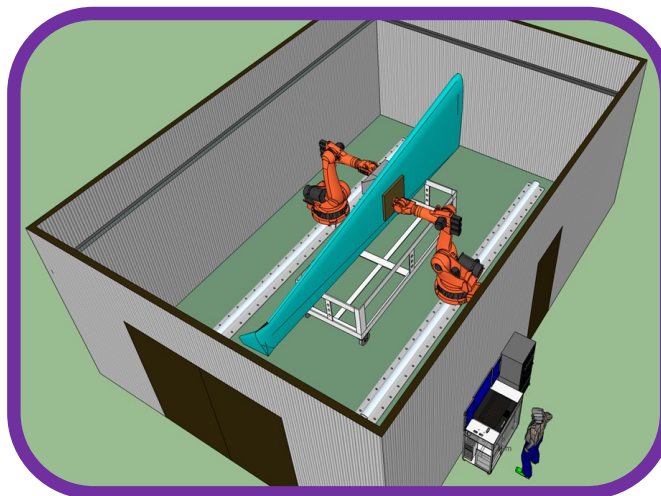
ASSISTANCE AU GESTE

Un moyen d'évaluation et d'amélioration
de l'ergonomie des postes



SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Marinisation, vieillissement, grand volume /
grande puissance,
optimisation énergétique,
intégration réseau



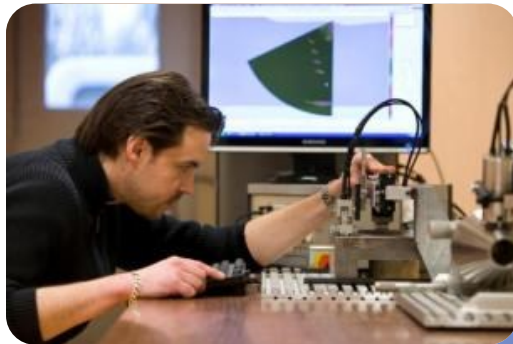
TOMOGRAPHIE RAYONS X

Un outil puissant pour accéder au cœur
de la matière, pour des pièces de
grandes dimensions

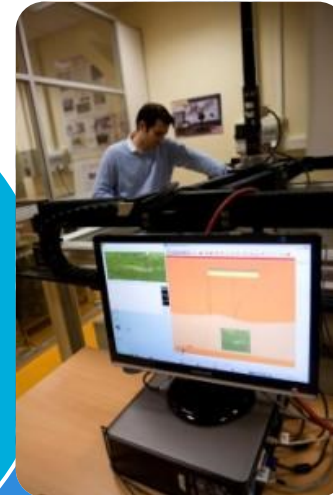
LE DÉPARTEMENT IMAGERIE ET SIMULATION POUR LE CONTRÔLE



R&D en imagerie, simulation et nouvelles technologies de capteurs pour le contrôle non destructif et la santé



MODÉLISATION
SIMULATION &
TRAITEMENT



INSTRUMENTATION
& CAPTEURS

PROCÉDÉS
INNOVANTS



LE DÉPARTEMENT IMAGERIE ET SIMULATION POUR LE CONTRÔLE



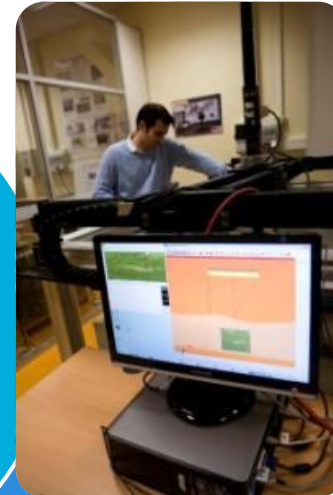
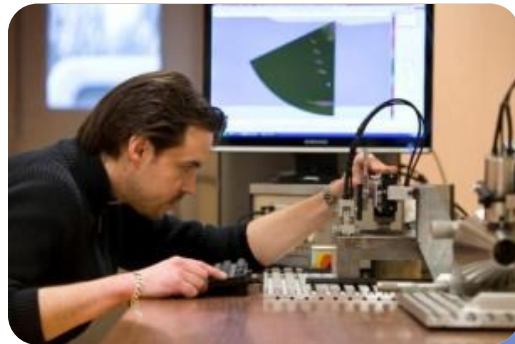
R&D en imagerie, simulation et nouvelles technologies de capteurs pour le contrôle non destructif et la santé

EXTENDE
CIVA

Plateforme simulation

CIVA
NDEI

MODÉLISATION
SIMULATION &
TRAITEMENT



INSTRUMENTATION
& CAPTEURS

PROCÉDÉS
INNOVANTS



LE DÉPARTEMENT IMAGERIE ET SIMULATION POUR LE CONTRÔLE

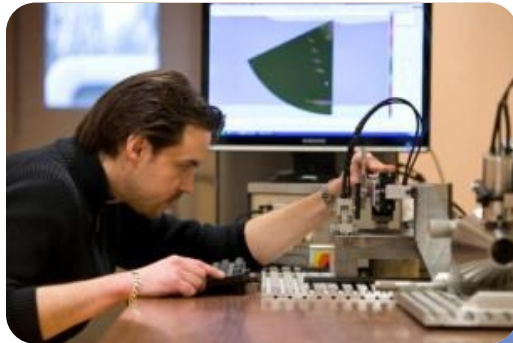


R&D en imagerie, simulation et nouvelles technologies de capteurs pour le contrôle non destructif et la santé

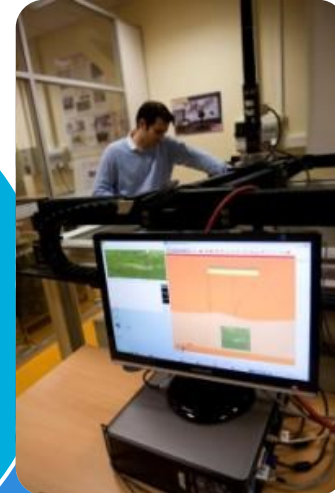
EXTENDE
CIVA

Plateforme simulation

CIVA
NDEI



MODÉLISATION
SIMULATION &
TRAITEMENT



IMASONIC

Accords licence
(capteurs)

STATICE
ETUDES ET
DEVELOPPEMENT

INSTRUMENTATION
& CAPTEURS

PROCÉDÉS
INNOVANTS

M 2 M



LE DÉPARTEMENT IMAGERIE ET SIMULATION POUR LE CONTRÔLE

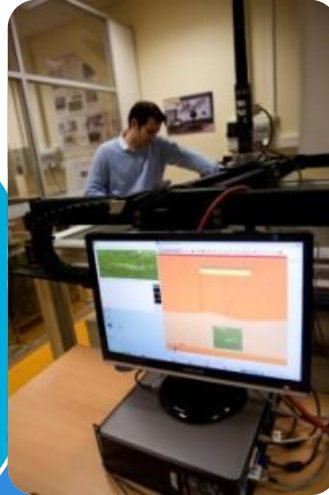


R&D en imagerie, simulation et nouvelles technologies de capteurs pour le contrôle non destructif et la santé

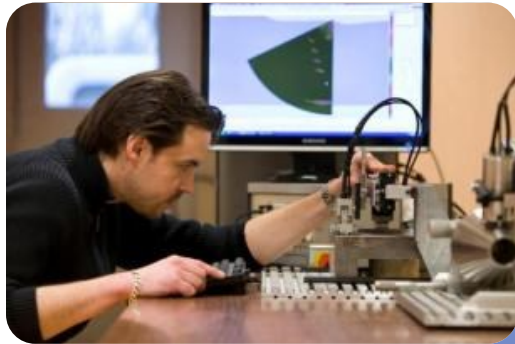
EXTENDE
CIVA

Plateforme simulation

CIVA
NDEI



MODÉLISATION
SIMULATION &
TRAITEMENT



IMASONIC

Accords licence
(capteurs)

STATICE
ETUDES ET
DEVELOPPEMENT

INSTRUMENTATION
& CAPTEURS

PROCÉDÉS
INNOVANTS

M 2 M

GERIM2

Plateforme équipements

Le Contrôle Non Destructif (CND)

- **Ensemble de méthodes** permettant de **tester l'intégrité** de structures ou de matériaux sans en dégrader leurs propriétés physiques

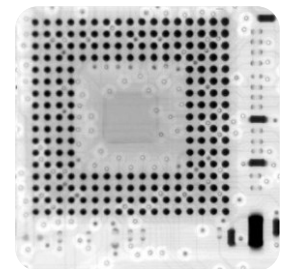
- Mise en œuvre dans de **nombreux secteurs industriels**

- Nucléaire
- Pétrolier
- Aéronautique
- Transports
- ...

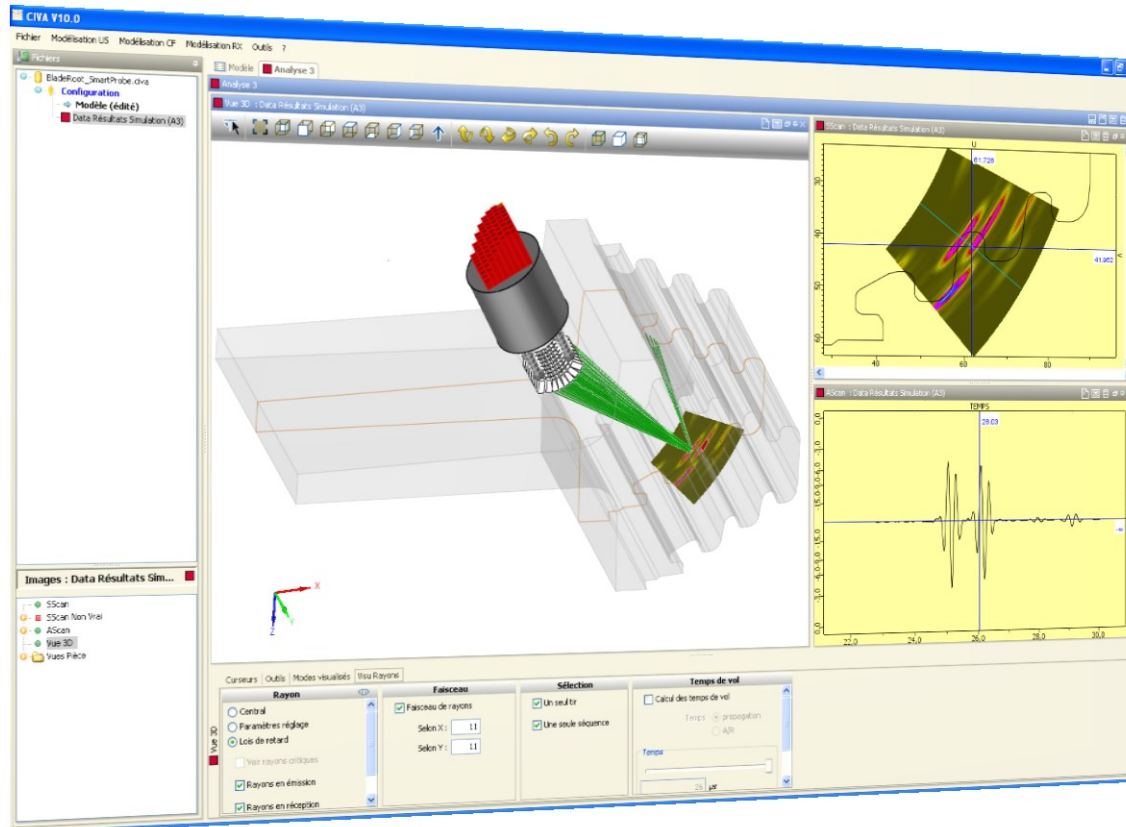


- Application de **différentes techniques de contrôle**

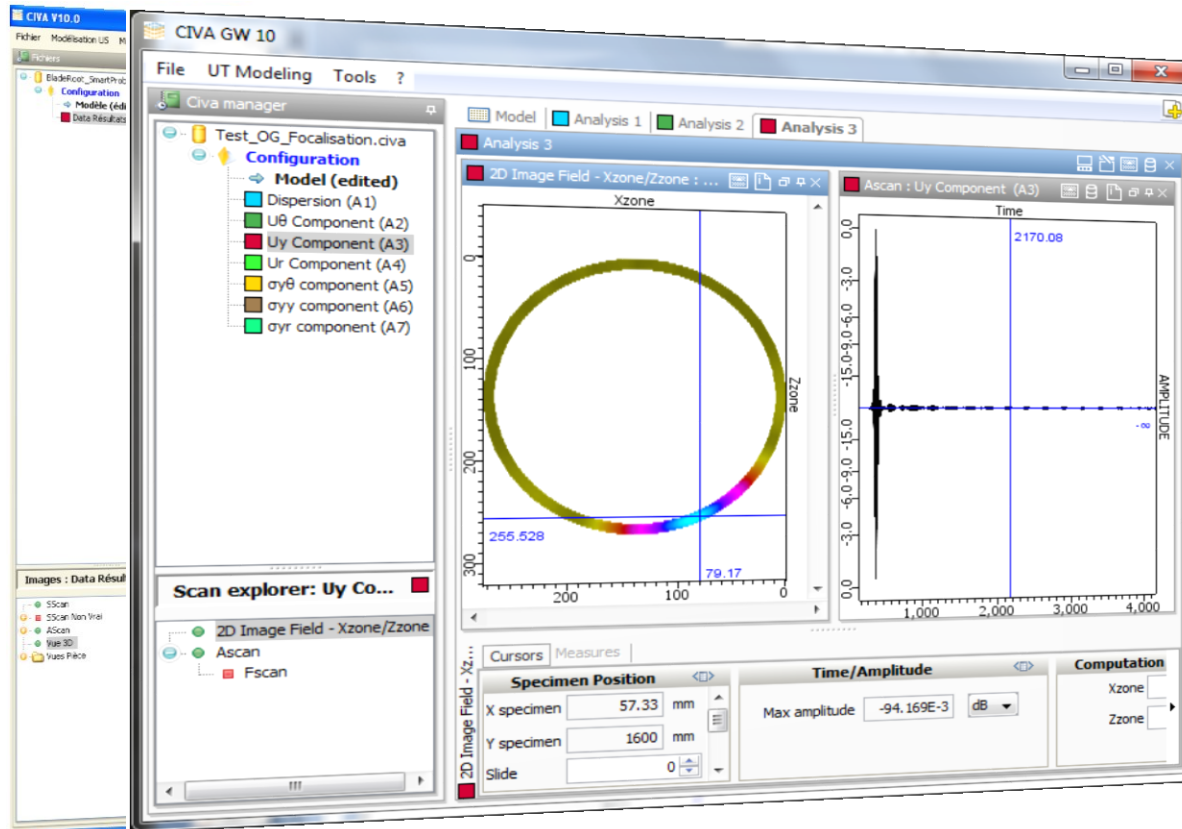
- Ultrasons
- Courants de Foucault
- Rayons X
- ...



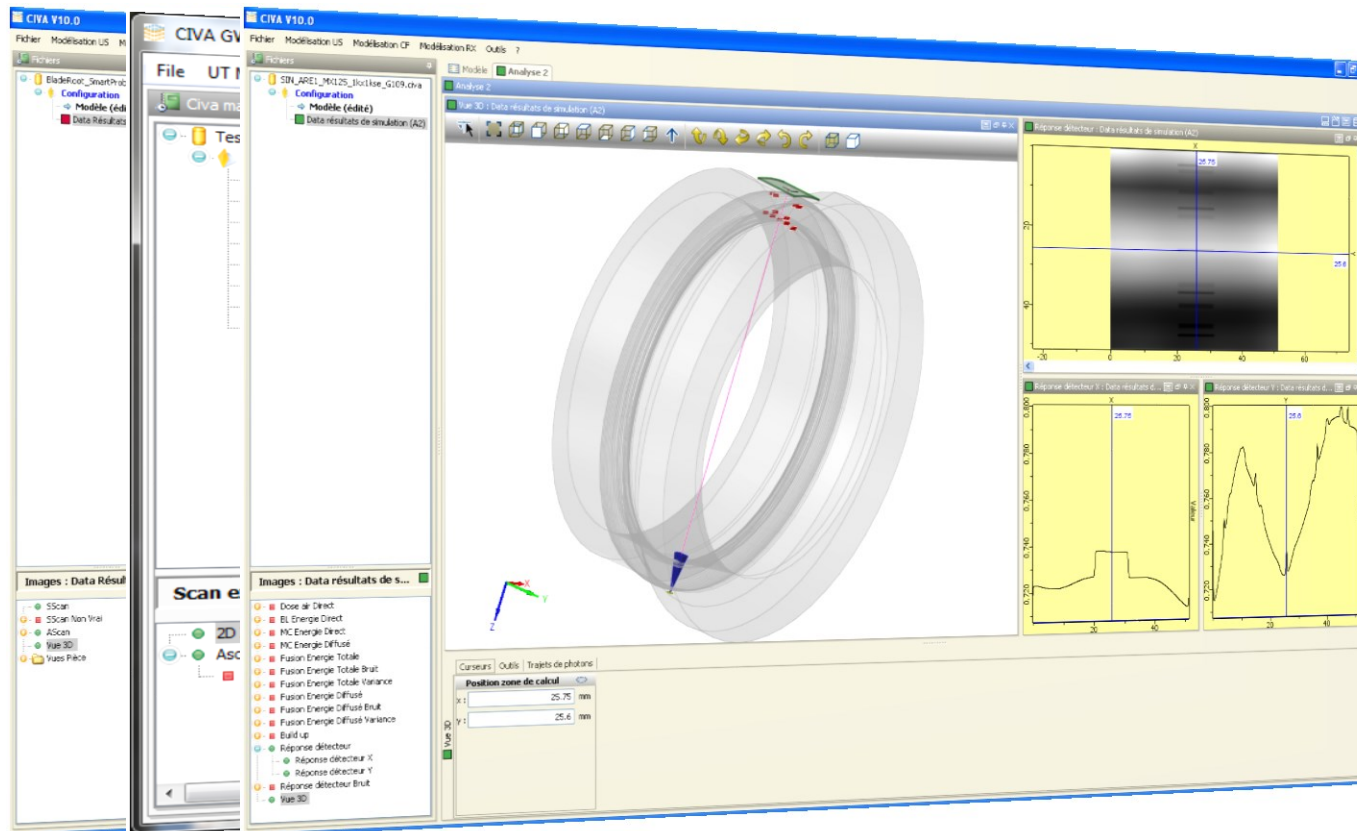
- Une plateforme de simulation multi techniques dédiée au CND
 - Ultrasons (UT)



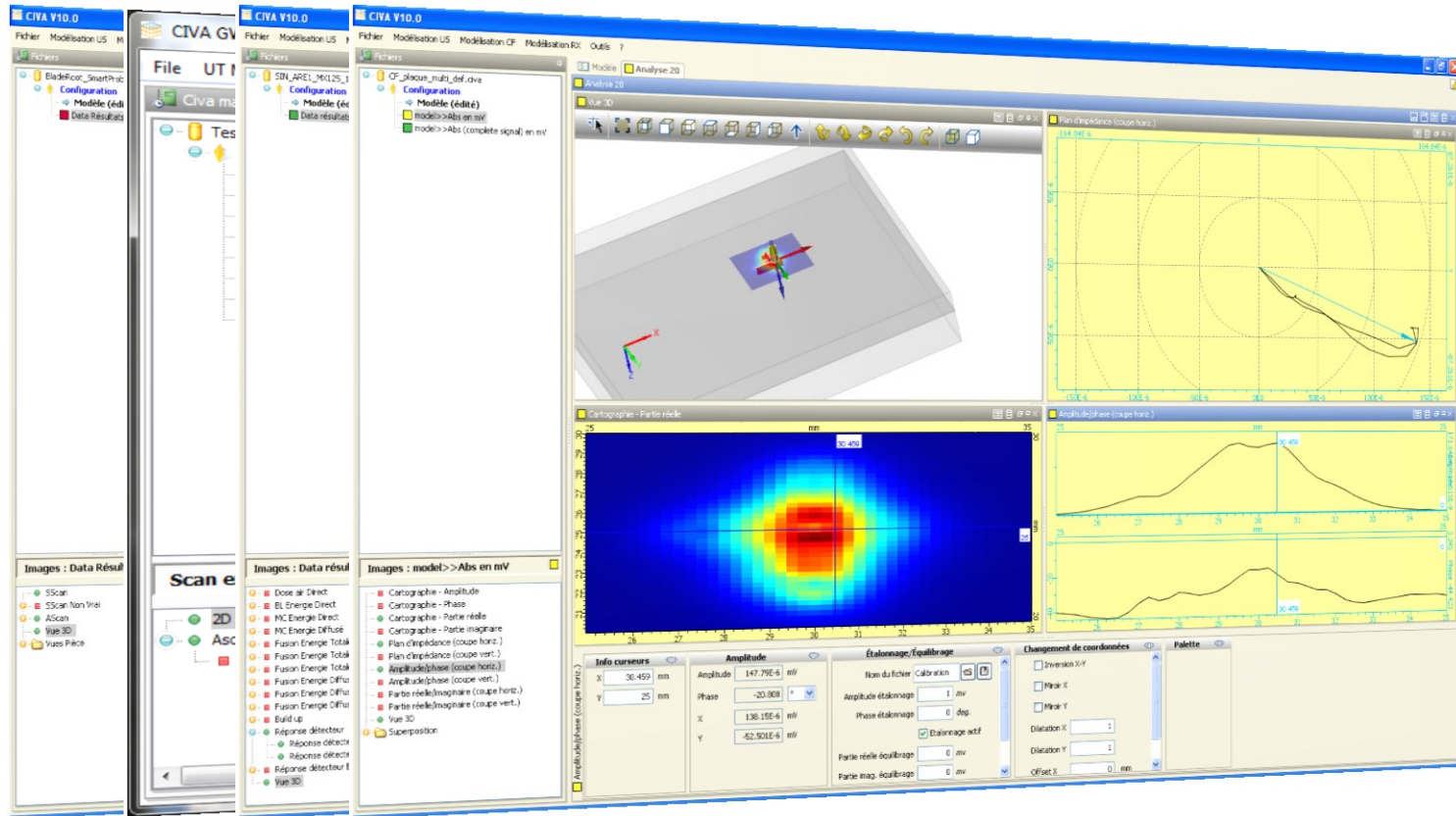
- Une plateforme de simulation multi techniques dédiée au CND
 - Ultrasons (UT)
 - Ondes guidées (GWT)



- Une plateforme de simulation multi techniques dédiée au CND
 - Ultrasons (UT)
 - Ondes guidées (GWT)
 - Rayons X – Γ , tomographie (RT/CT)



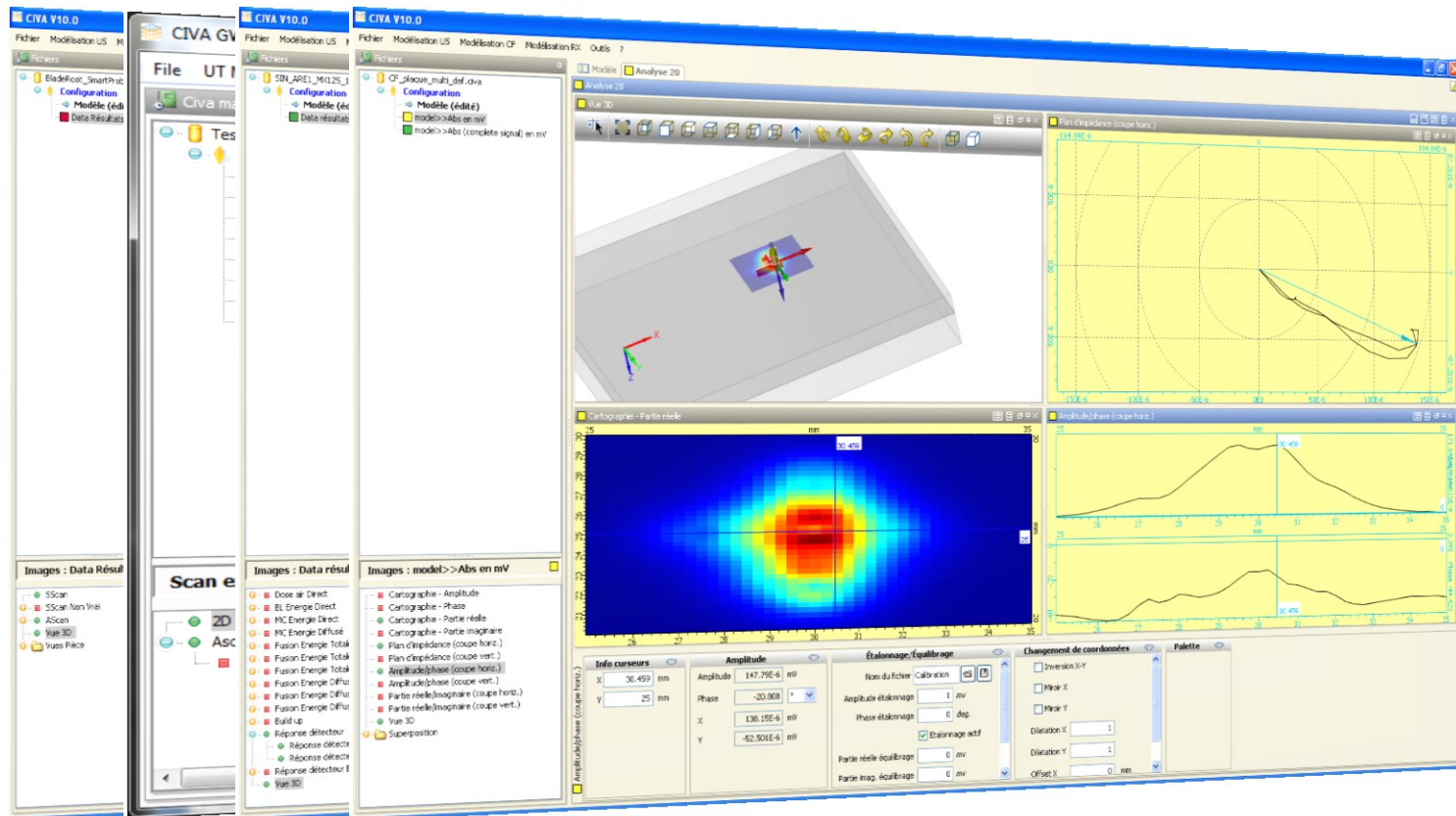
- Une plateforme de simulation multi techniques dédiée au CND
 - Ultrasons (UT)
 - Ondes guidées (GWT)
 - Rayons X – Γ , tomographie (RT/CT)
 - Courants de Foucault (ET)



- Une plateforme de simulation multi techniques dédiée au CND

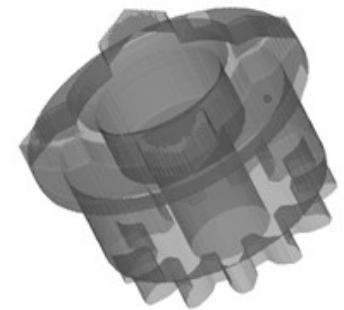
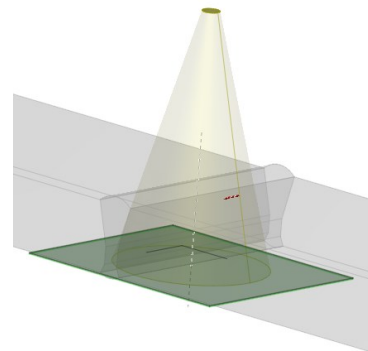
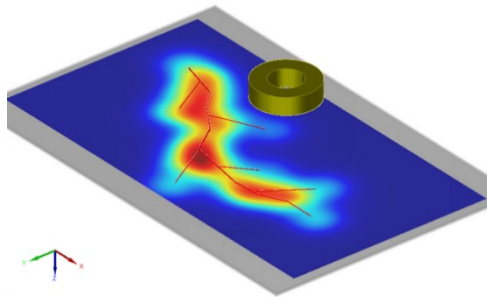
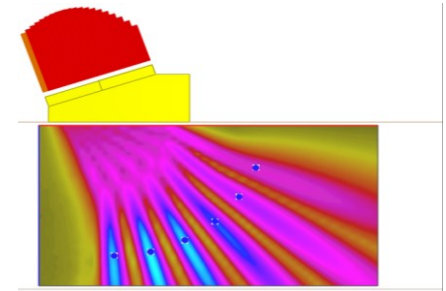
- Ultrasons (UT)
- Ondes guidées (GWT)
- Rayons X – Γ , tomographie (RT/CT)
- Courants de Foucault (ET)

- IHM commune, orientée métier du CND
- Distribuée par EXTENDE **EXTENDE** **N·D·E** **CIVA**
(~230 licences dans 34 pays)



- Intérêts de la simulation en CND

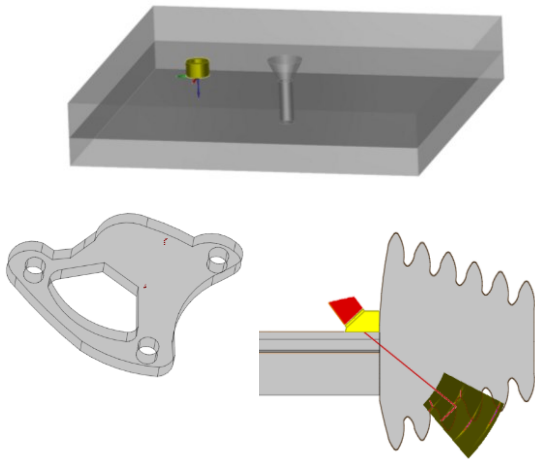
- Design de capteurs, mise en œuvre de nouvelles méthodes et procédures
- Prédiction des performances des contrôles
- Qualifications de méthodes
- Analyses d'incertitudes (POD)
- Interprétations des résultats : analyse, diagnostic
- Contrôle virtuel lors de la phase de conception
- Formation
- Vecteur d'innovation...



LA PLATEFORME LOGICIELLE CIVA

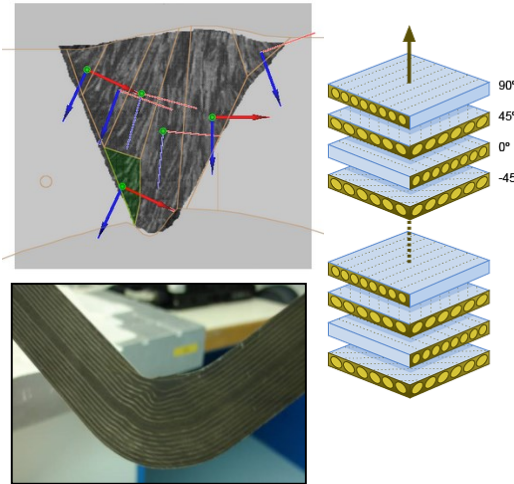
Pièces

Canoniques
Paramétriques
CAO



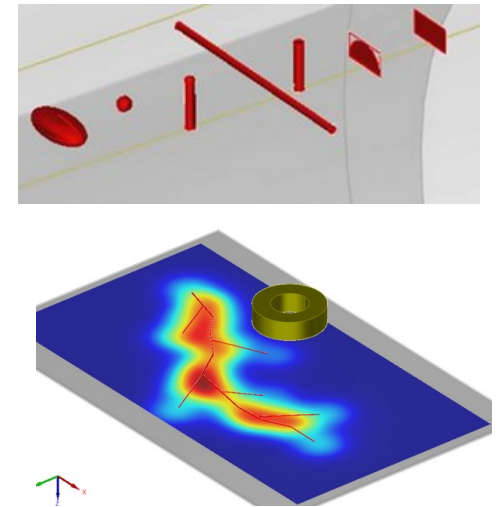
Matériaux

(In)homogènes
(An)isotropes
Composites



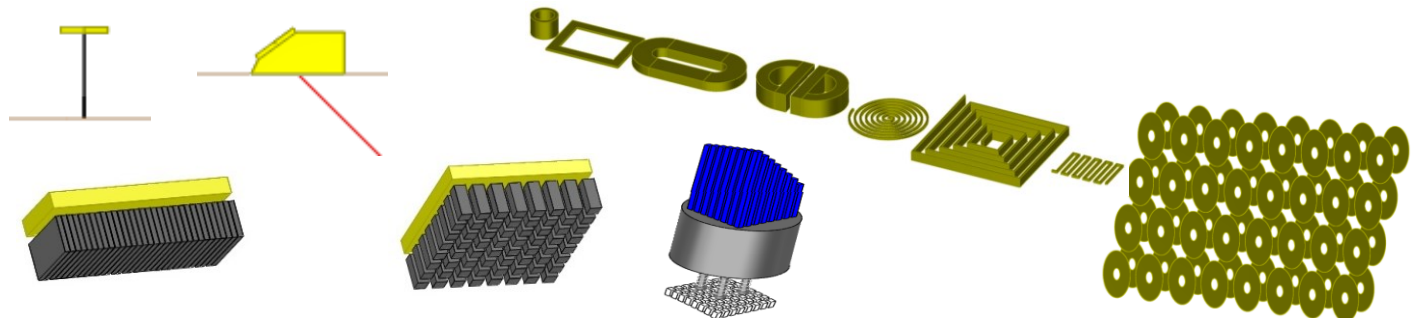
Défauts

Étalonnage
Réalistes



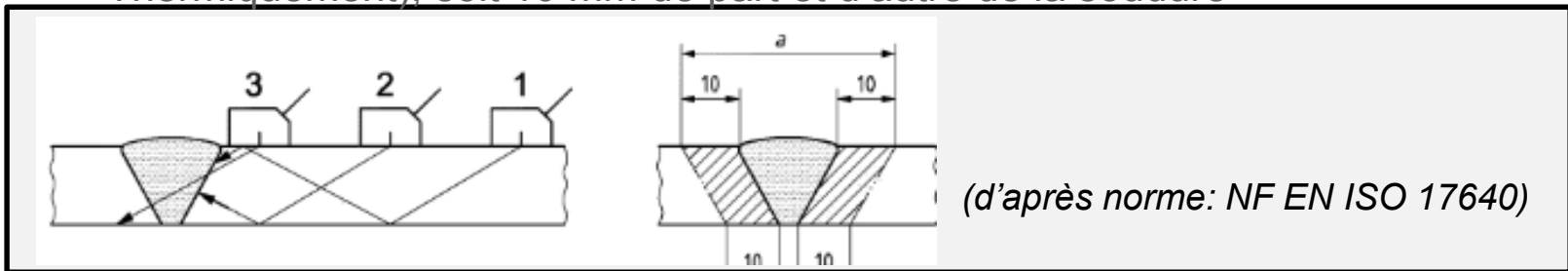
Sondes

Mono-éléments
Multi-éléments



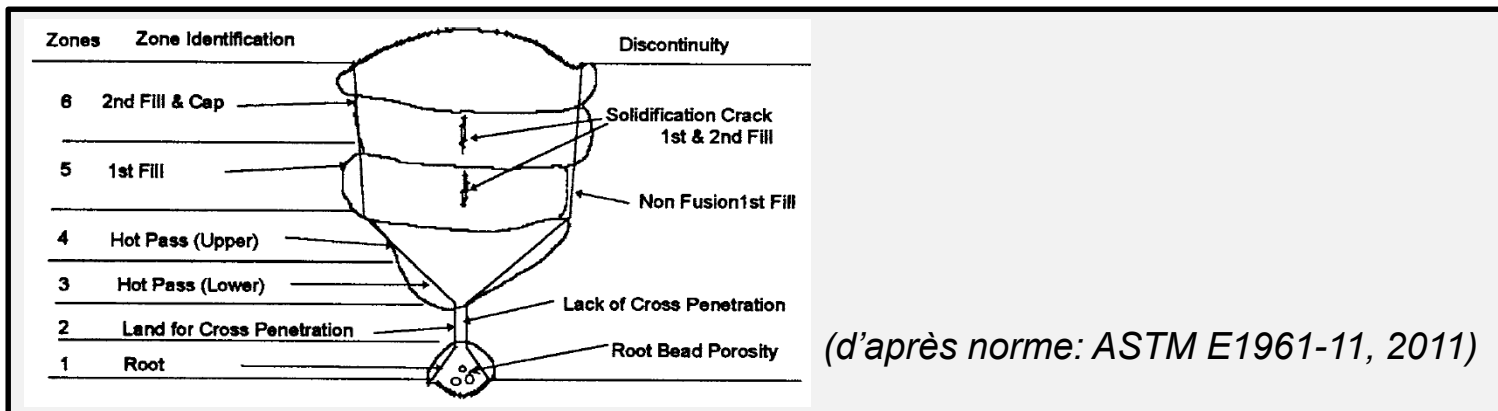
Aspects réglementaires

- Normes existantes selon le secteur
- En règle générale : contrôle de tout le volume soudé + ZAT (Zone Affectée Thermiquement), soit 10 mm de part et d'autre de la soudure



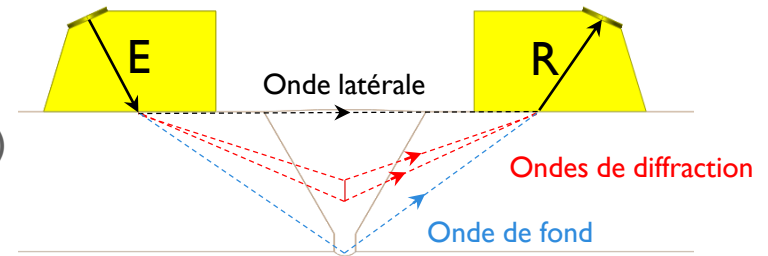
Principales difficultés

- Géométrie
- Matériaux
- Défauts de différentes natures (le long du chanfrein ou dans la soudure)



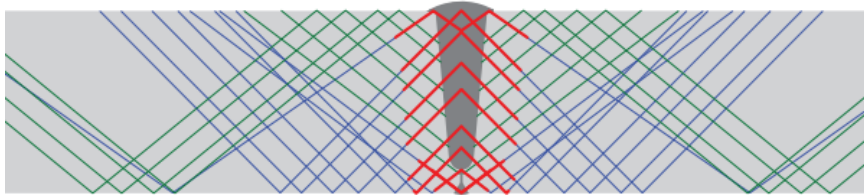
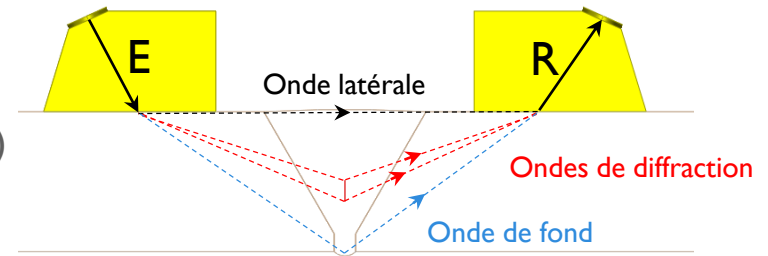
- Principales méthodes

- UT conventionnels
- TOFD (Time of Flight Diffraction technique)



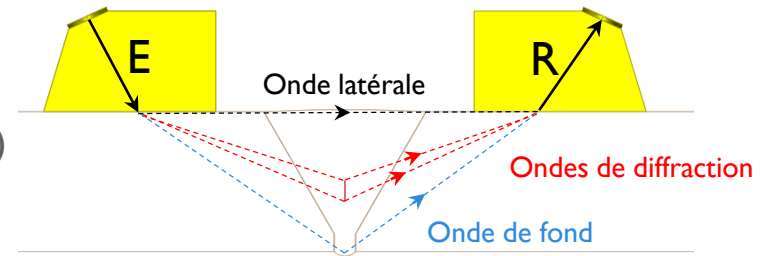
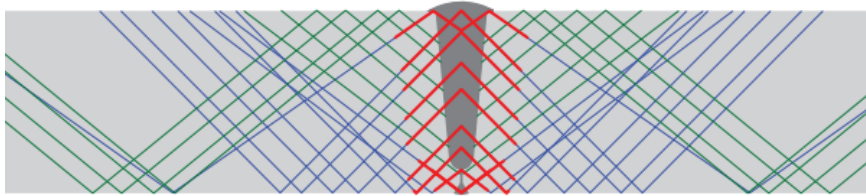
- Principales méthodes

- UT conventionnels
- TOFD (Time of Flight Diffraction technique)
- ZDM (zonal discrimination method)

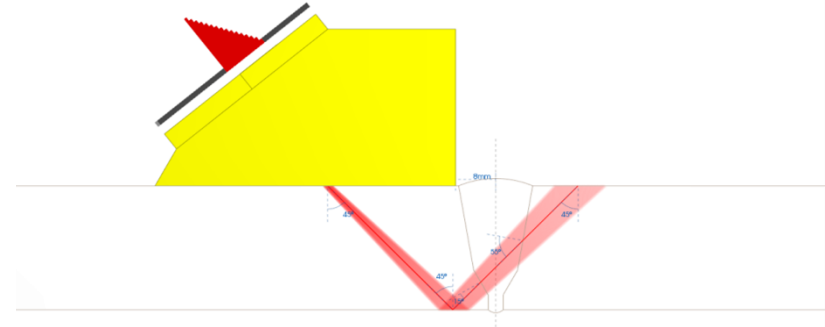


- **Principales méthodes**

- UT conventionnels
- TOFD (Time of Flight Diffraction technique)
- ZDM (zonal discrimination method)

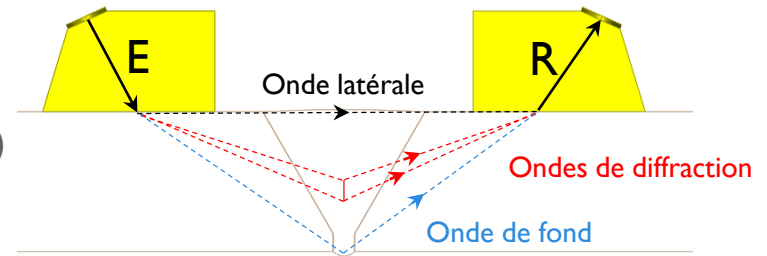
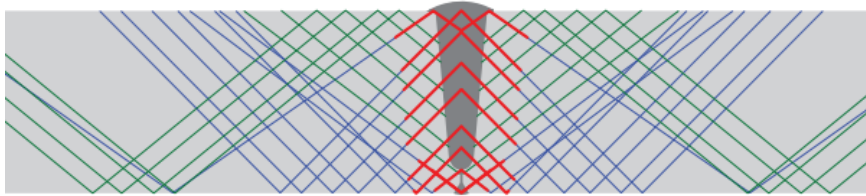


- PAUT (Phased Array Ultrasonic Technique)

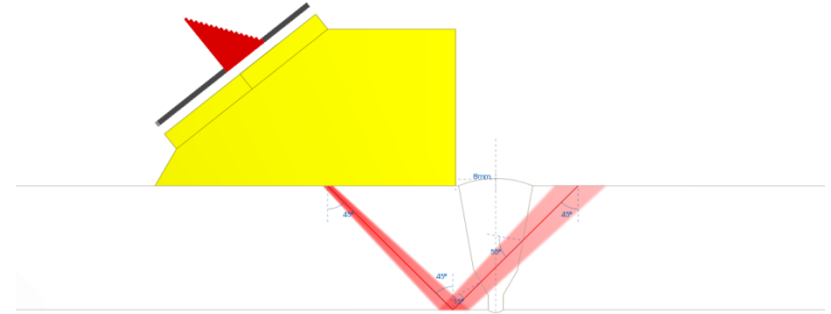


- Principales méthodes

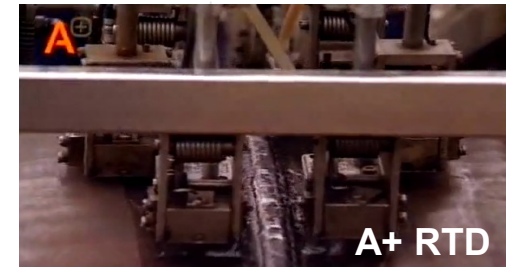
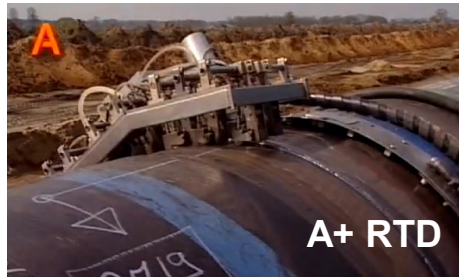
- UT conventionnels
- TOFD (Time of Flight Diffraction technique)
- ZDM (zonal discrimination method)



- PAUT (Phased Array Ultrasonic Technique)

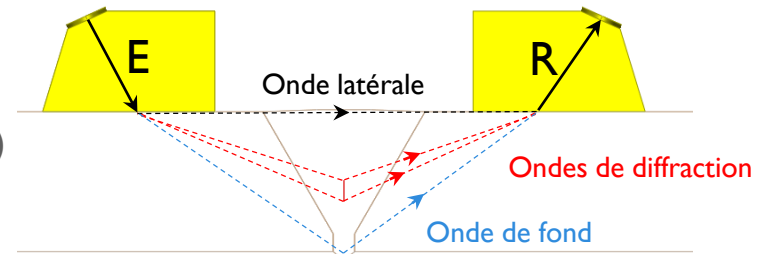
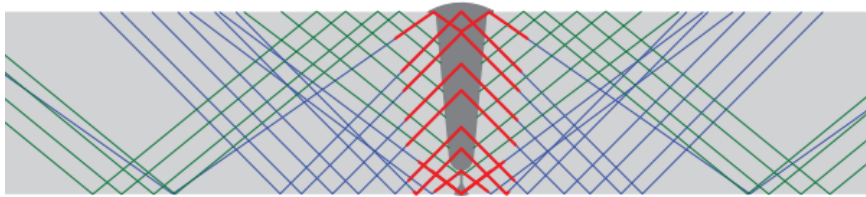


- Mise en œuvre (semi-)automatisée

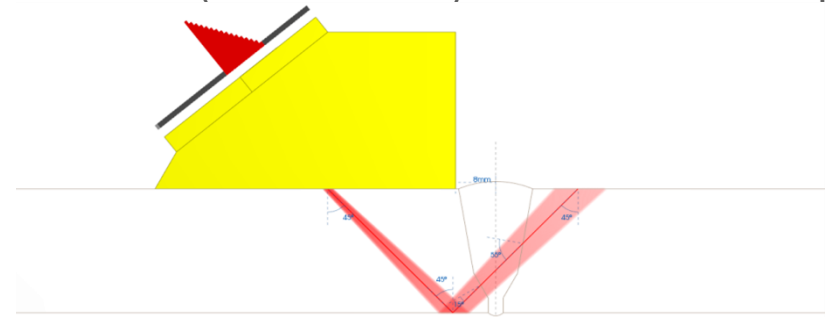


- Principales méthodes

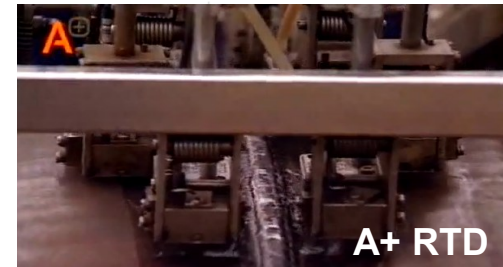
- UT conventionnels
- TOFD (Time of Flight Diffraction technique)
- ZDM (zonal discrimination method)



- PAUT (Phased Array Ultrasonic Technique)



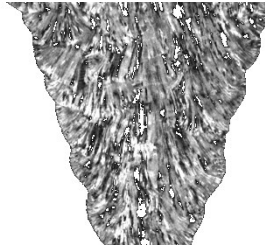
- Mise en œuvre (semi-)automatisée



- Effets de la soudure

- Atténuation du faisceau : **perte de détection** (manque de sensibilité)
- Déviation/Déformation du faisceau : **perte de localisation**
- **Evaluation qualitative, voire quantitative de ces effets à l'aide de la simulation ?**

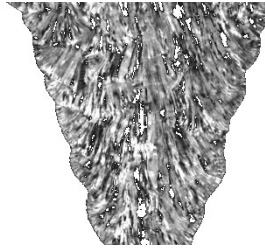
Type de soudure: SMAW
(Application DCNS)



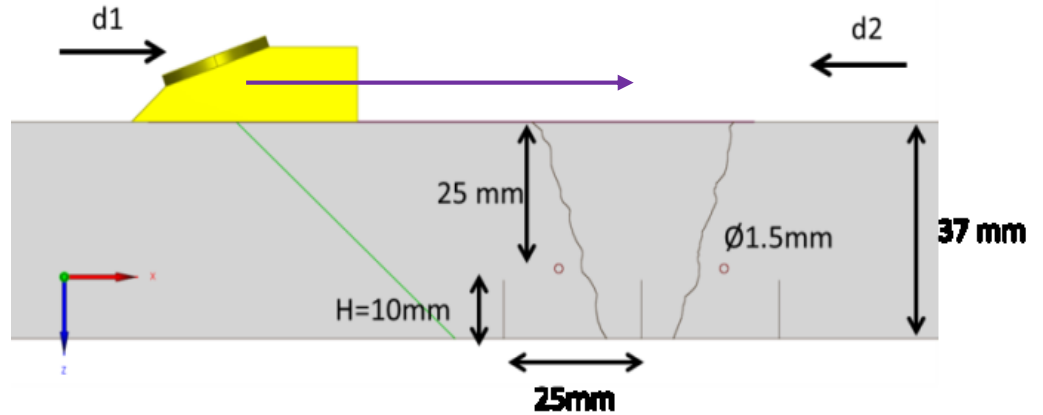
B. Chassignole, P. Recolin, N. Leymarie, D. Elbaz, P. Guy, G. Corneloup, « Methodology for 3D modelling of ultrasonic inspection of austenitic welds : MOSAICS project », IIW conference, 2015

MISE EN ÉVIDENCE D'EFFETS DE LA SOUDURE : RÉPONSE DE RÉFLECTEURS AVANT/APRÈS SOUDURE

Type de soudure: SMAW
(Application DCNS)



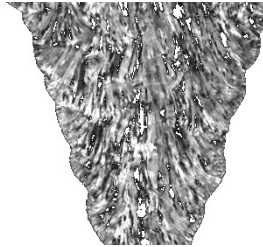
Implantation de défauts de référence
(maquette soudée et arasée)



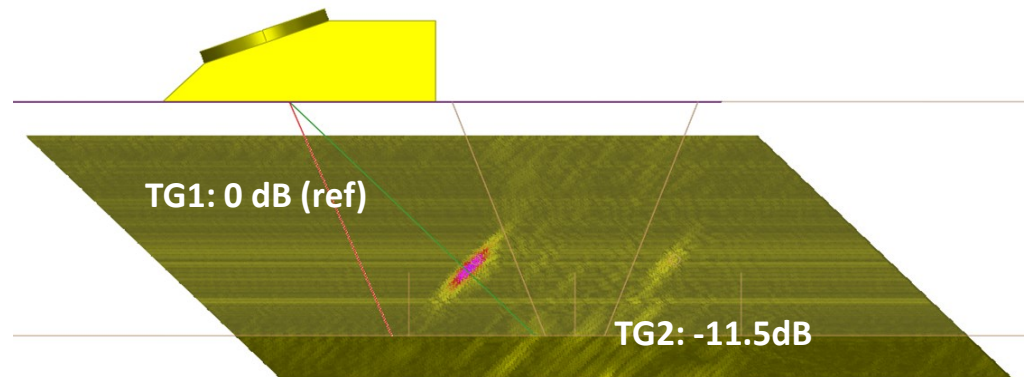
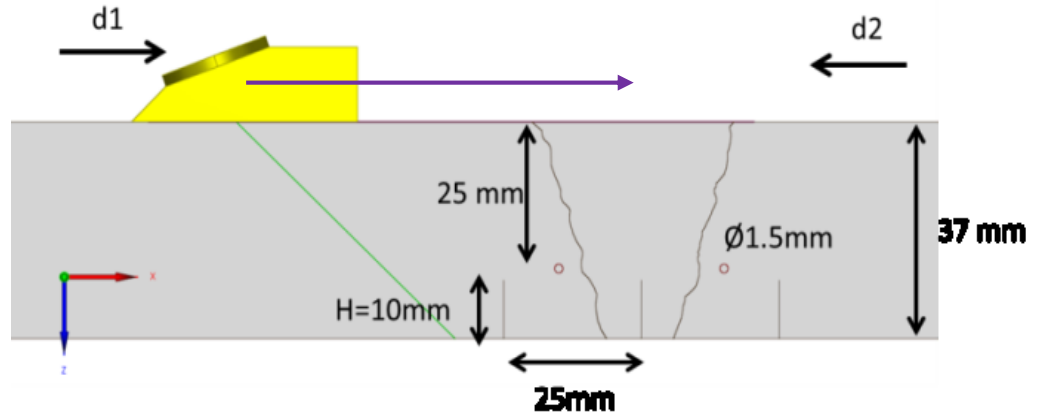
B. Chassignole, P. Recolin, N. Leymarie, D. Elbaz, P. Guy, G. Corneloup, « Methodology for 3D modelling of ultrasonic inspection of austenitic welds : MOSAICS project », IIW conference, 2015

MISE EN ÉVIDENCE D'EFFETS DE LA SOUDURE : RÉPONSE DE RÉFLECTEURS AVANT/APRÈS SOUDURE

Type de soudure: SMAW
(Application DCNS)



Implantation de défauts de référence
(maquette soudée et arasée)



B. Chassignole, P. Recolin, N. Leymarie, D. Elbaz, P. Guy, G. Corneloup, « Methodology for 3D modelling of ultrasonic inspection of austenitic welds : MOSAICS project », IIW conference, 2015

- **Usage de la simulation**

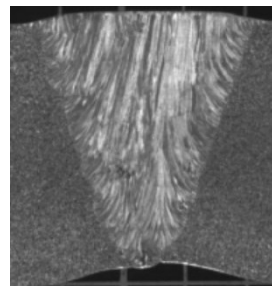
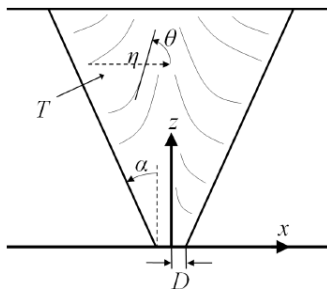
- Milieu **anisotrope et inhomogène**
- Difficultés de contrôle dues à la structure interne → perturbation du faisceau :
 - Divisions/déviations
 - Échos de lignes
 - Atténuation

- **Outils de simulation**

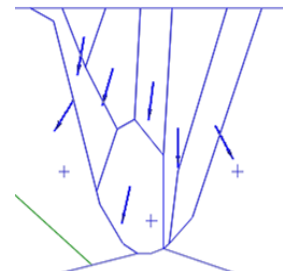
- Calcul de champ : prédiction des effets de déviation, **couverture de zone**
- Simulation d'inspection : prédiction des **performances d'inspection**

- **Données d'entrée:**

- Capteur, méthode
- Données matériaux : soudure
- Description « paramétrique » ou « experte »



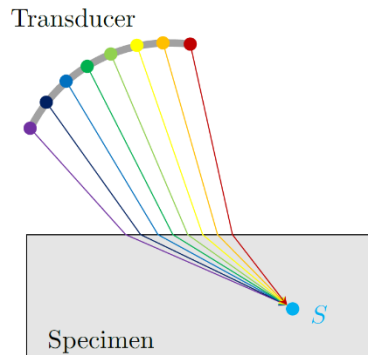
Macrographie



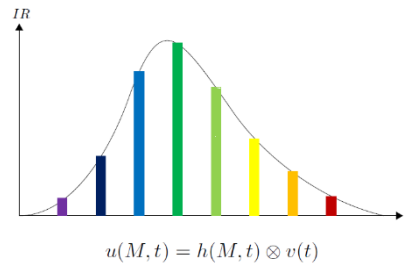
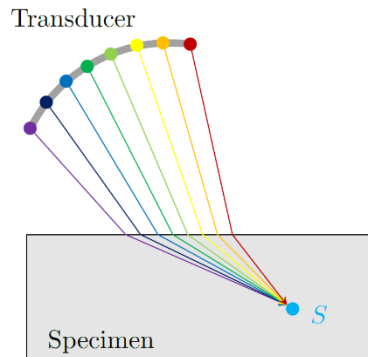
Découpe

- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**
 - Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce

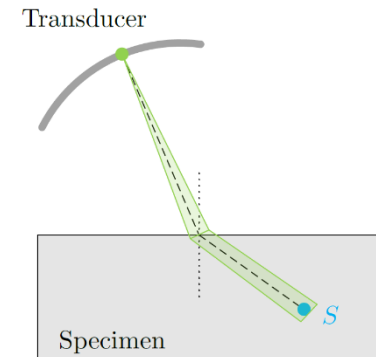
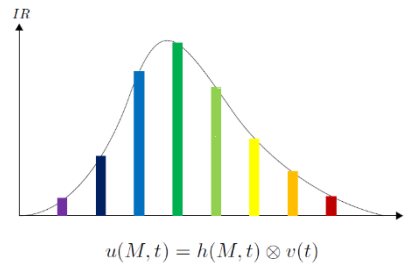
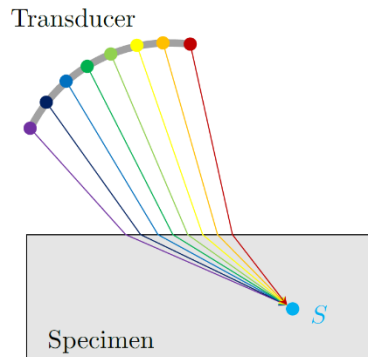
- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**
 - Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce
 - Résolution de l'intégrale de rayonnement de Rayleigh
→ Discrétisation de la surface du transducteur



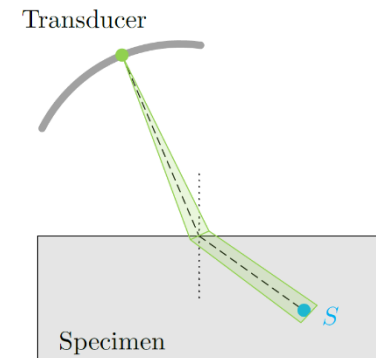
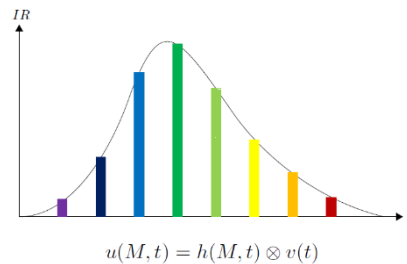
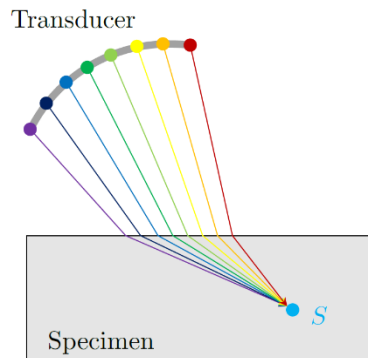
- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**
 - Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce
 - Résolution de l'intégrale de rayonnement de Rayleigh
→ Discrétisation de la surface du transducteur
 - Approche asymptotique de chaque contribution par une méthode de rayons



- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**
 - Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce
 - Résolution de l'intégrale de rayonnement de Rayleigh
→ Discrétisation de la surface du transducteur
 - Approche asymptotique de chaque contribution par une méthode de rayons
 - Obtention de la réponse impulsionnelle du transducteur par sommation de toutes les sources élémentaires



- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**
 - Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce
 - Résolution de l'intégrale de rayonnement de Rayleigh
→ Discrétisation de la surface du transducteur
 - Approche asymptotique de chaque contribution par une méthode de rayons
 - Obtention de la réponse impulsionnelle du transducteur par sommation de toutes les sources élémentaires

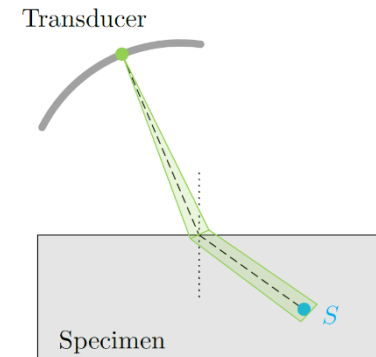
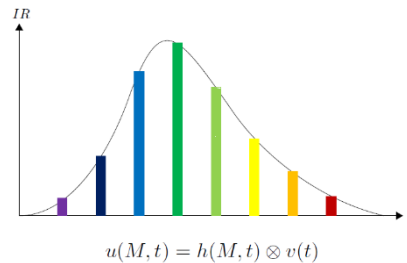
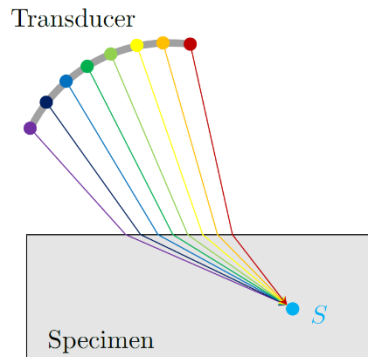


1. Résolution de l'équation eikonale:
→ Trajectoires des rayons et temps de vol

$$(\nabla T)^2 = \frac{1}{c(x)^2}$$

- **Simulation du champ ultrasonore dans un milieu complexe**

- Modèle évaluant le champ engendré par un transducteur quelconque en un point situé dans la pièce
 - Résolution de l'intégrale de rayonnement de Rayleigh
→ Discrétisation de la surface du transducteur
 - Approche asymptotique de chaque contribution par une méthode de rayons
 - Obtention de la réponse impulsionnelle du transducteur par sommation de toutes les sources élémentaires



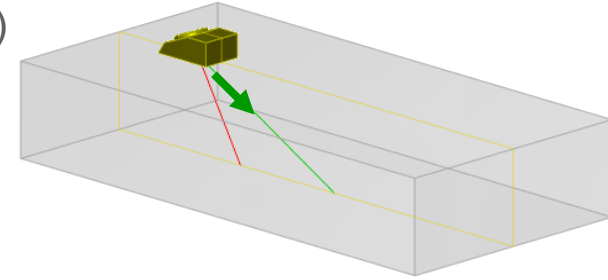
1. Résolution de l'équation eikonale:
→ Trajectoires des rayons et temps de vol

$$(\nabla T)^2 = \frac{1}{c(x)^2}$$

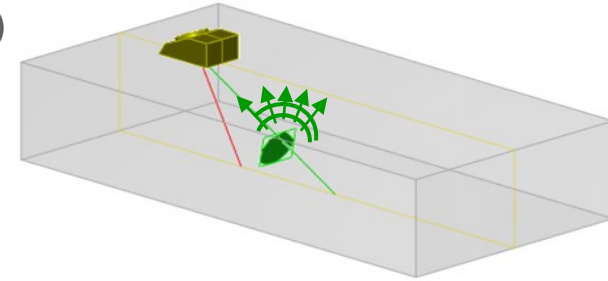
2. Résolution de l'équation de transport:
→ Amplitude du rayon lors de la propagation

$$A(x)\nabla^2 T(x) + 2\nabla A(x) \cdot \nabla T(x) = 0$$

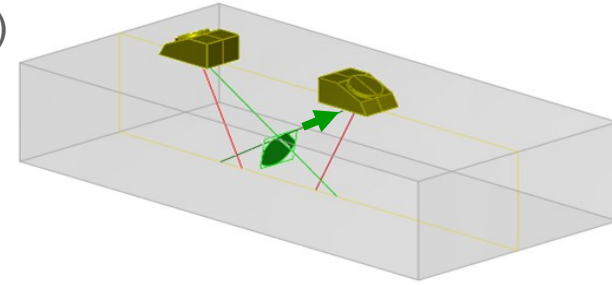
- **Simulation de l'inspection de matériaux complexes**
 - Évaluation du champ incident (longitudinal ou transverse)



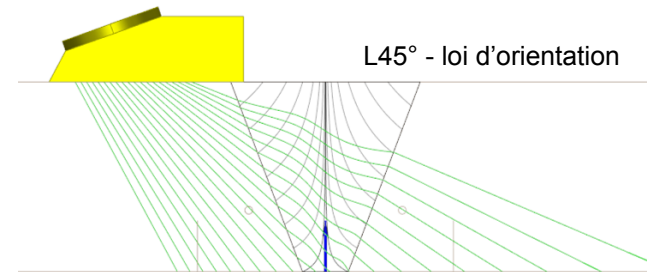
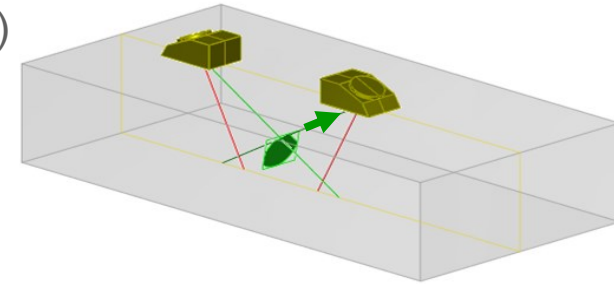
- **Simulation de l'inspection de matériaux complexes**
 - Évaluation du champ incident (longitudinal ou transverse)
 - Interaction du champ avec le défaut : coefficients de diffraction



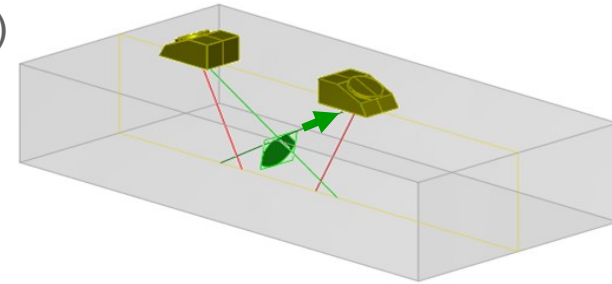
- **Simulation de l'inspection de matériaux complexes**
 - Évaluation du champ incident (longitudinal ou transverse)
 - Interaction du champ avec le défaut : coefficients de diffraction
 - Synthèse de l'écho par le principe de réciprocité de AULD



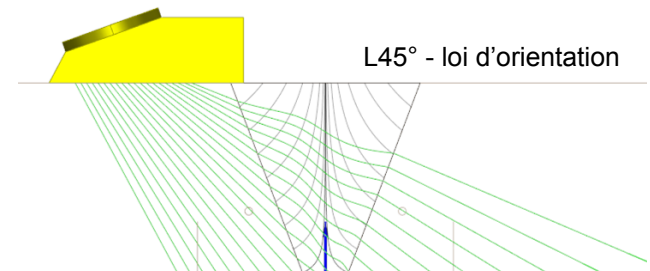
- **Simulation de l'inspection de matériaux complexes**
 - Évaluation du champ incident (longitudinal ou transverse)
 - Interaction du champ avec le défaut : coefficients de diffraction
 - Synthèse de l'écho par le principe de réciprocité de AULD
- **Modélisation semi-analytique (CIVA)**
 - Basée sur la méthode des rayons dans les milieux anisotropes et inhomogènes
 - Soudures décrites en domaines, à l'aide d'une loi d'orientation, par une cartographie



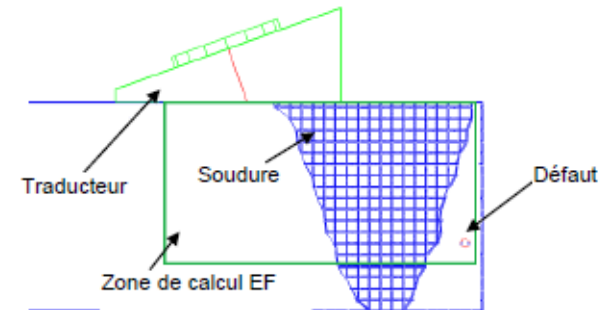
- **Simulation de l'inspection de matériaux complexes**
 - Évaluation du champ incident (longitudinal ou transverse)
 - Interaction du champ avec le défaut : coefficients de diffraction
 - Synthèse de l'écho par le principe de réciprocité de AULD



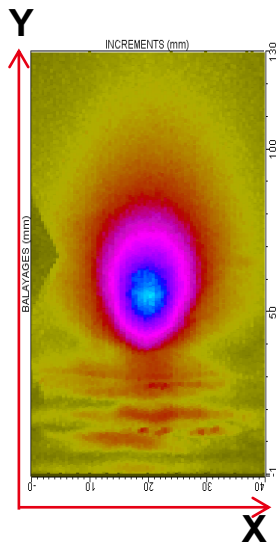
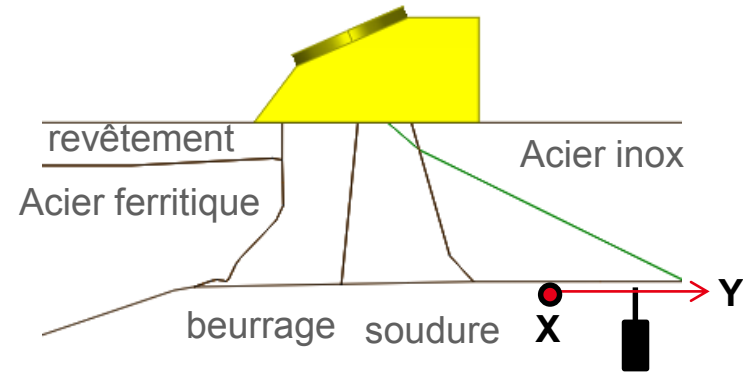
- **Modélisation semi-analytique (CIVA)**
 - Basée sur la méthode des rayons dans les milieux anisotropes et inhomogènes
 - Soudures décrites en domaines, à l'aide d'une loi d'orientation, par une cartographie



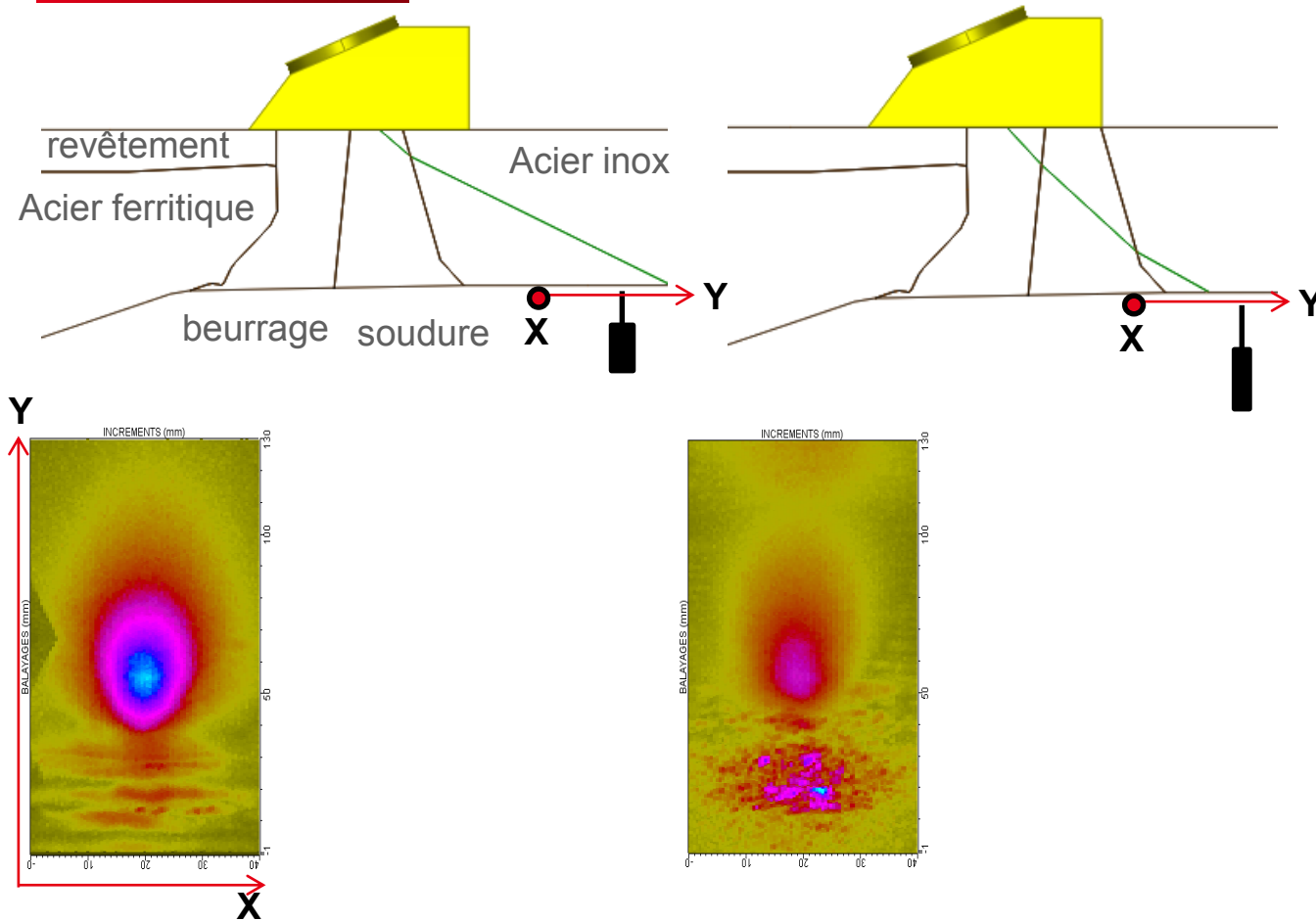
- **Modélisation hybride CIVA/ATHENA**
 - Évaluation du champ via le modèle semi-analytique de CIVA
 - Fourni comme donnée d'entrée d'une boîte de calcul
 - Code éléments finis appliqués ensuite sur un maillage régulier de cette boîte de calcul
 - Orientation dans la soudure fournie sur une grille régulière



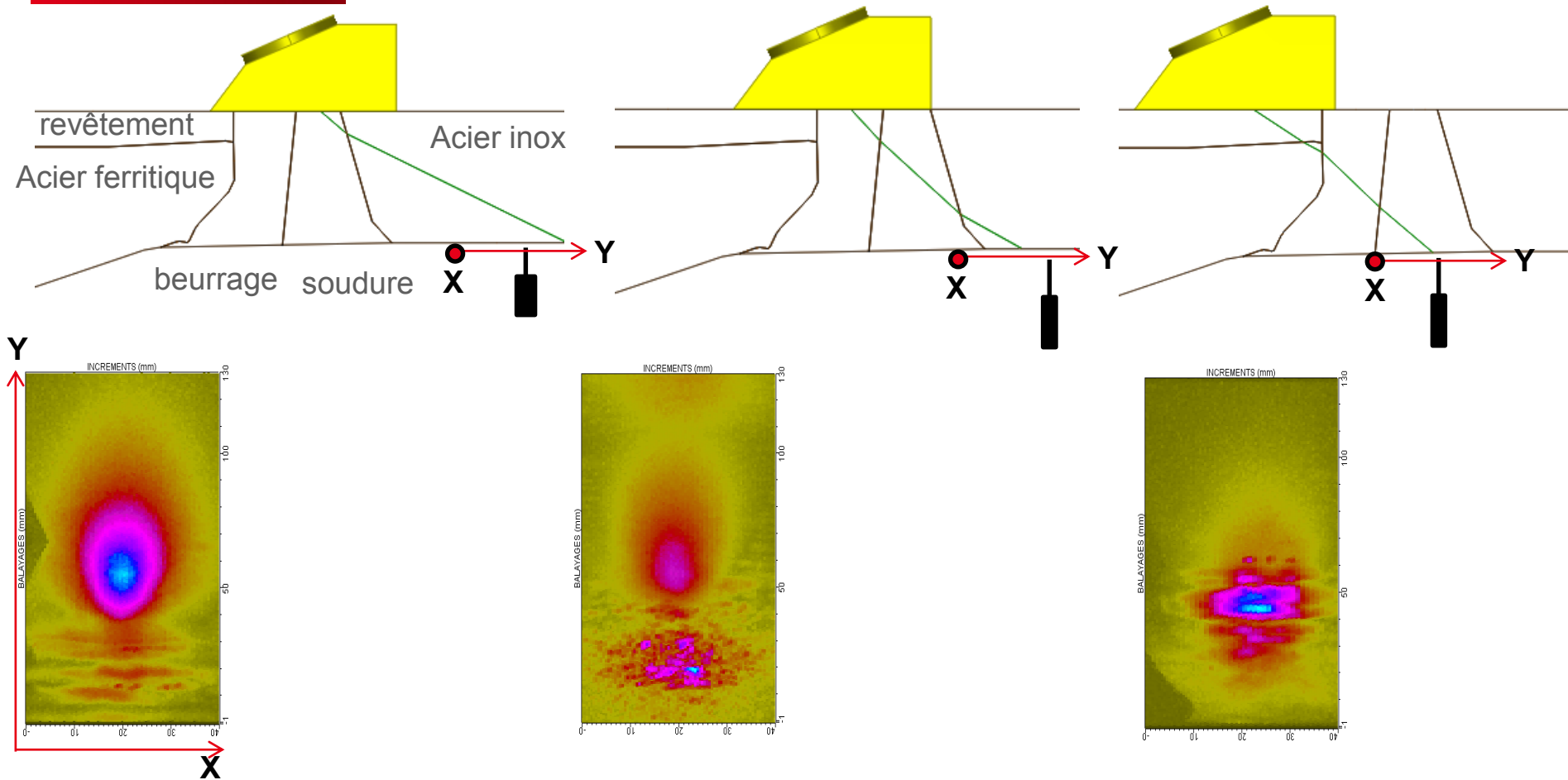
EXEMPLE DE PROPAGATION À TRAVERS LA SOUDURE : MESURE DU CHAMP TRANSMIS EN DIFFÉRENTES POSITIONS DE CAPTEUR



EXEMPLE DE PROPAGATION À TRAVERS LA SOUDURE : MESURE DU CHAMP TRANSMIS EN DIFFÉRENTES POSITIONS DE CAPTEUR

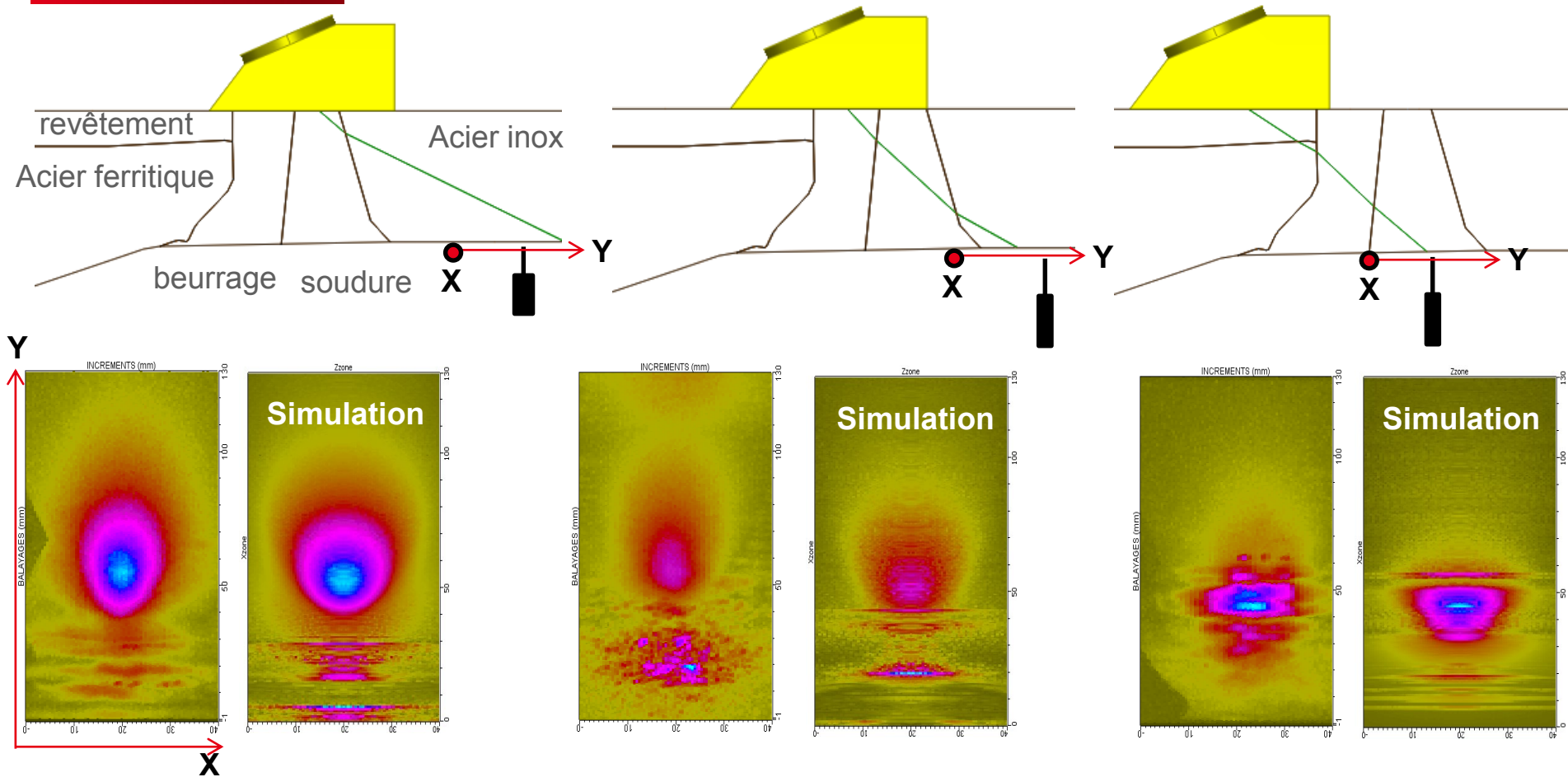


EXEMPLE DE PROPAGATION À TRAVERS LA SOUDURE : MESURE DU CHAMP TRANSMIS EN DIFFÉRENTES POSITIONS DE CAPTEUR



- **Déformation, déviation et atténuation du faisceau ultrasonore transmis (caractéristiques variables en chaque position du capteur)**

EXEMPLE DE PROPAGATION À TRAVERS LA SOUDURE : MESURE DU CHAMP TRANSMIS EN DIFFÉRENTES POSITIONS DE CAPTEUR



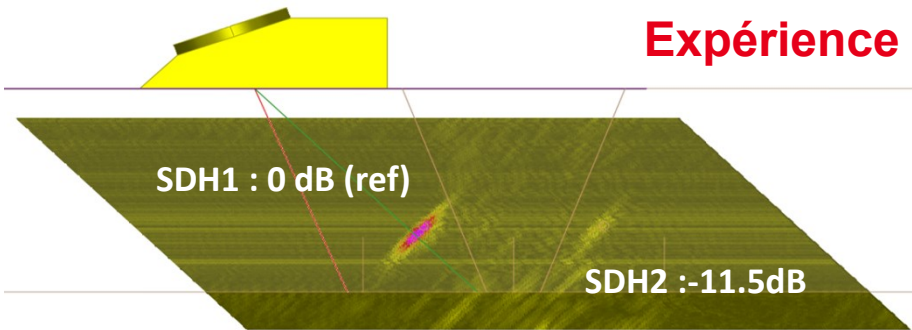
- **Déformation, déviation et atténuation du faisceau ultrasonore transmis (caractéristiques variables en chaque position du capteur)**
- **Bon accord qualitatif entre simulation et mesure**

RÉPONSE DE RÉFLECTEURS AVANT/APRÈS SOUDURE : COMPARAISON SIMULATION / EXPÉRIENCE

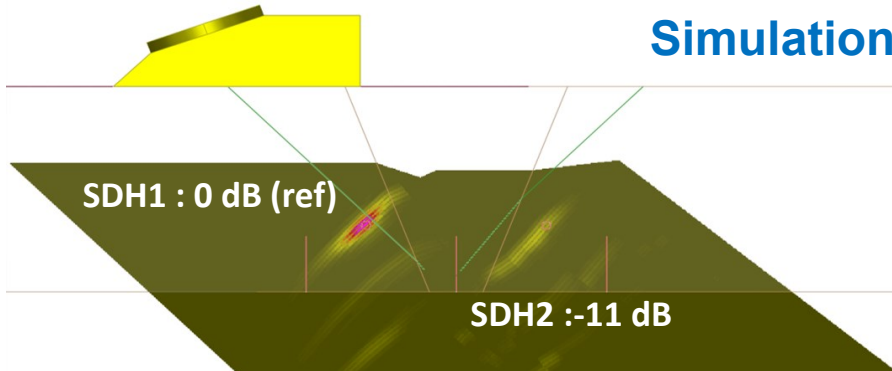
Trous
génératrices



Expérience



Simulation

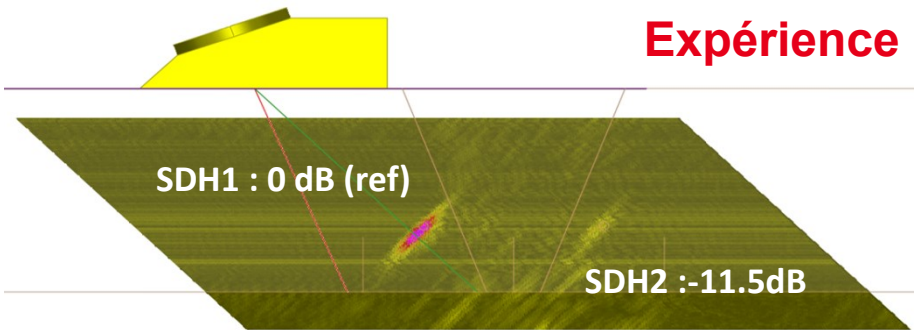


RÉPONSE DE RÉFLECTEURS AVANT/APRÈS SOUDURE : COMPARAISON SIMULATION / EXPÉRIENCE

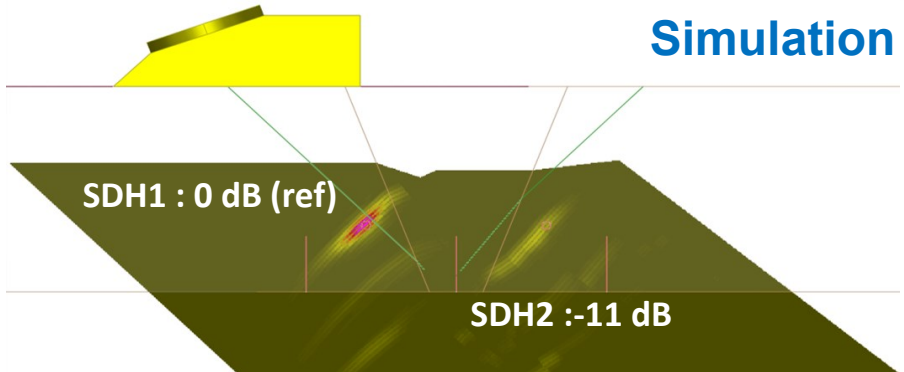
Trous génératrices



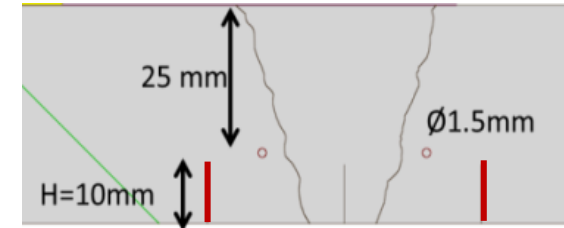
Expérience



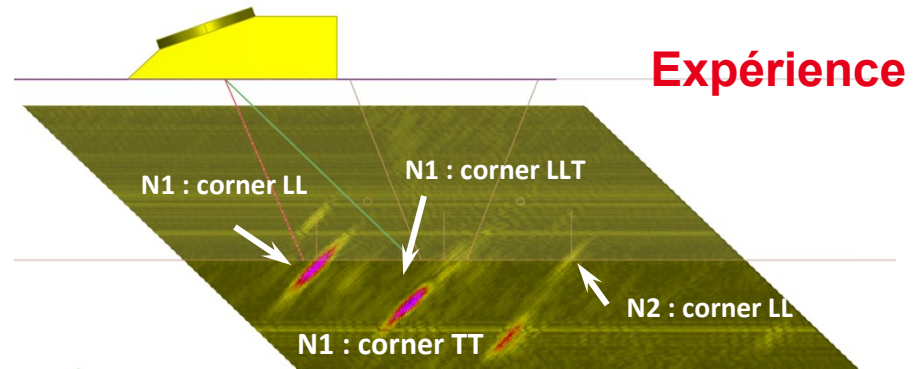
Simulation



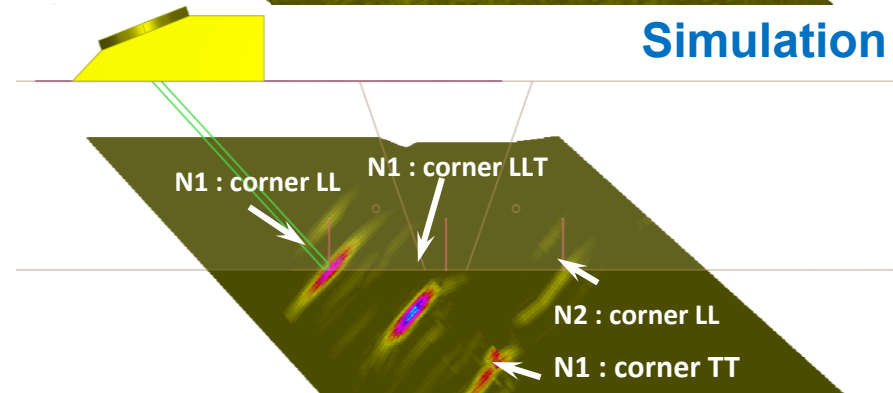
Entailles



Expérience



Simulation

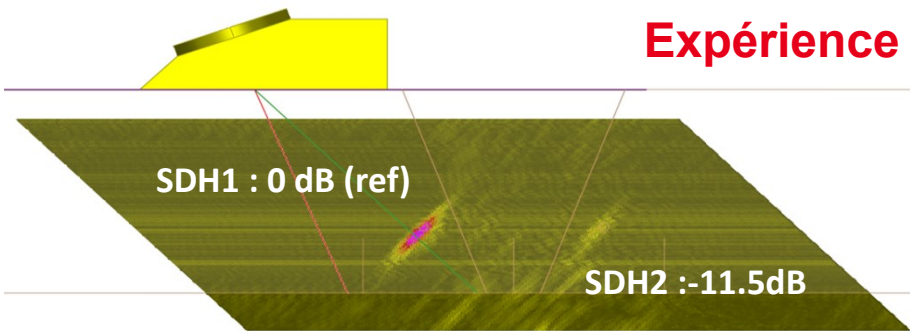


RÉPONSE DE RÉFLECTEURS AVANT/APRÈS SOUDURE : COMPARAISON SIMULATION / EXPÉRIENCE

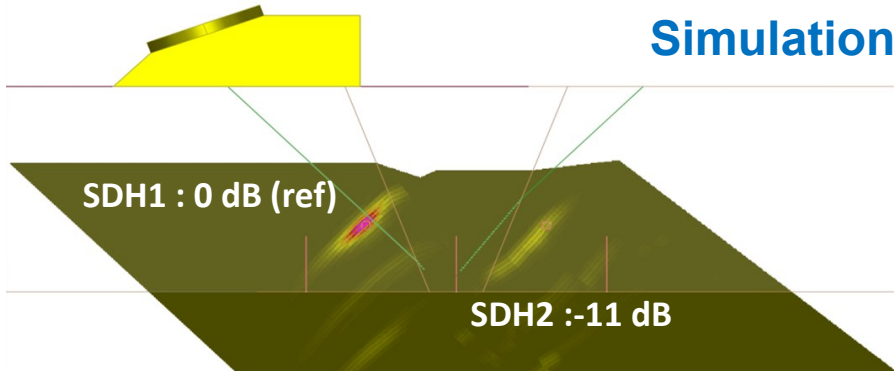
Trous génératrices



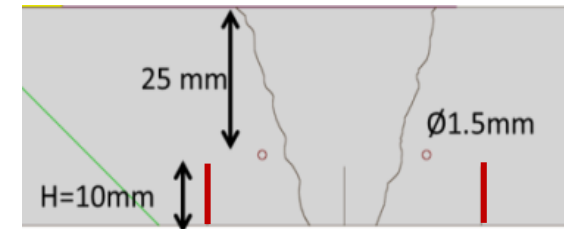
Expérience



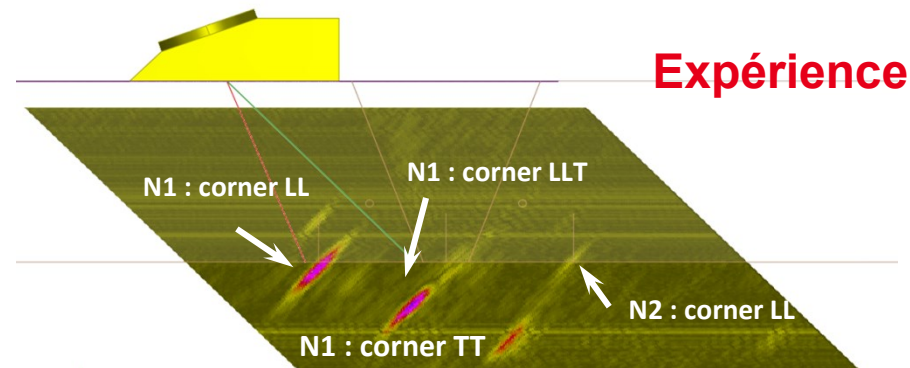
Simulation



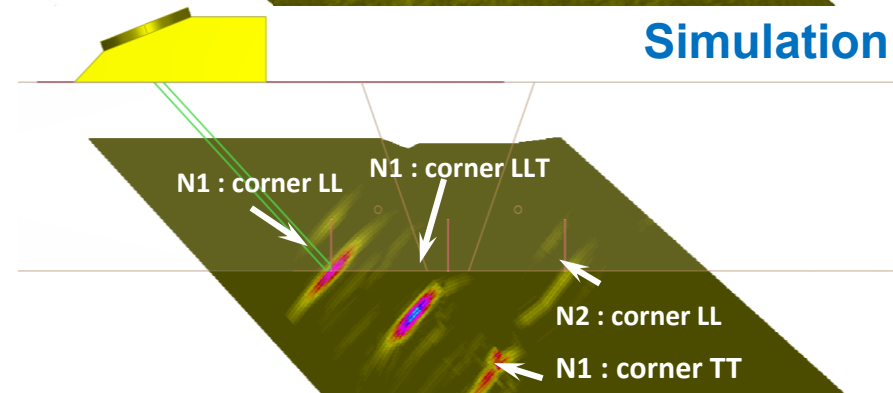
Entailles



Expérience



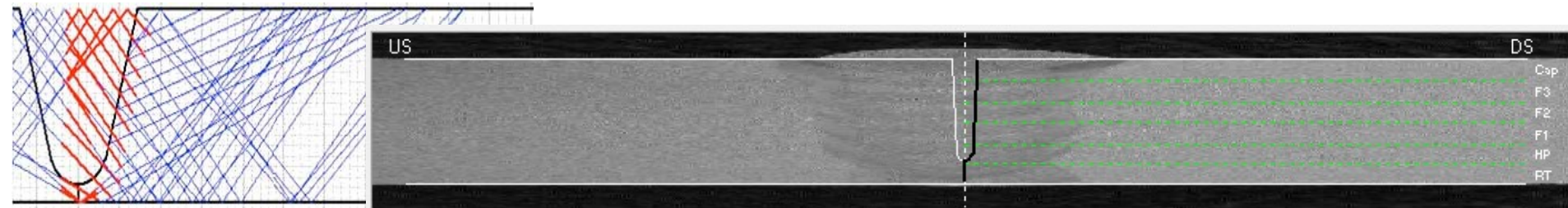
Simulation



- Bon accord expérience/simulation qualitatif (échos bien prédits et positionnés)
- Bon accord quantitatif général (sauf écho de coin en LT, car atténuation non prise en compte)

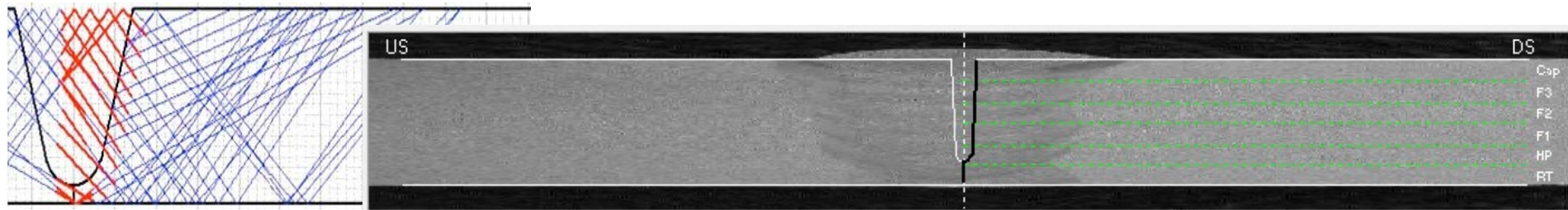
EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

- Contexte: ZDM pour le contrôle de soudures bout à bout

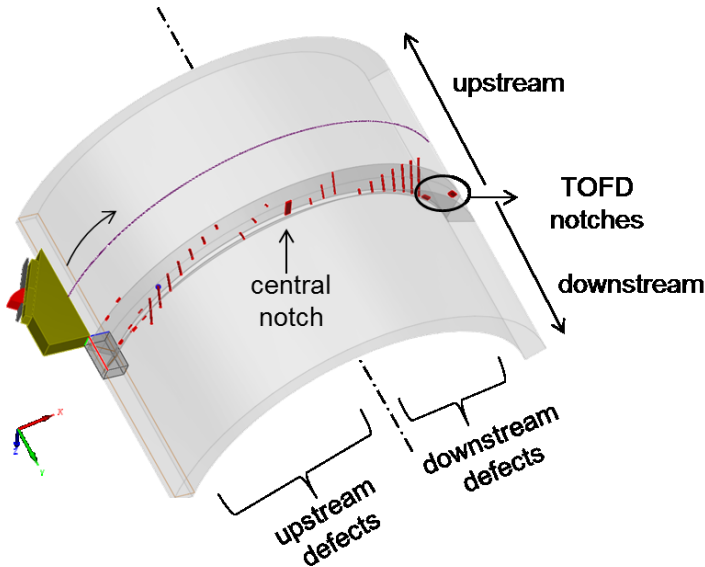


EXEMPLE D'EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

- Contexte: ZDM pour le contrôle de soudures bout à bout

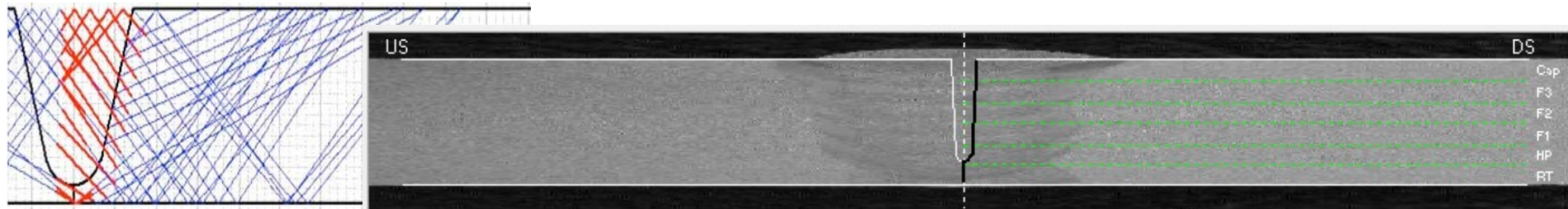


- Simulation de la technique sur maquette d'étalonnage

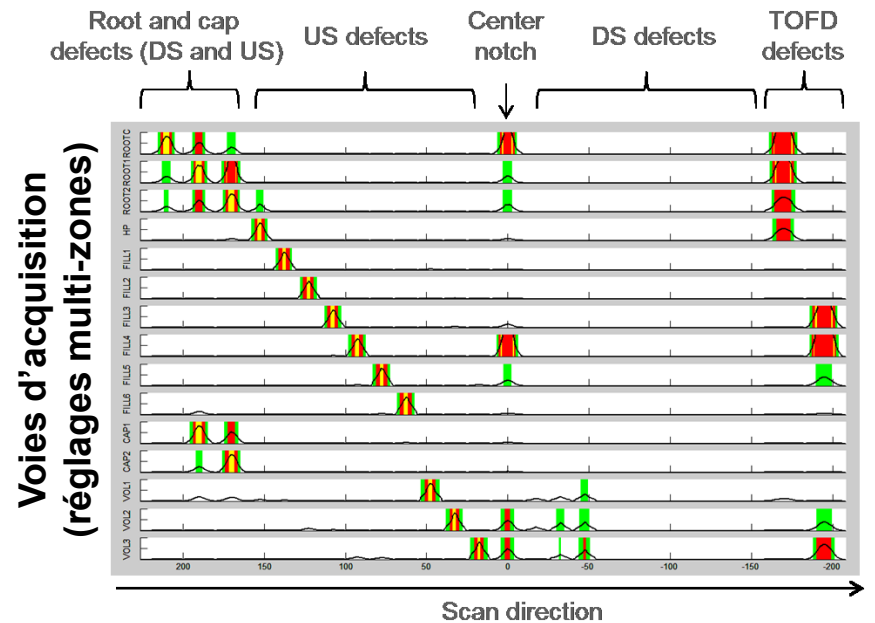
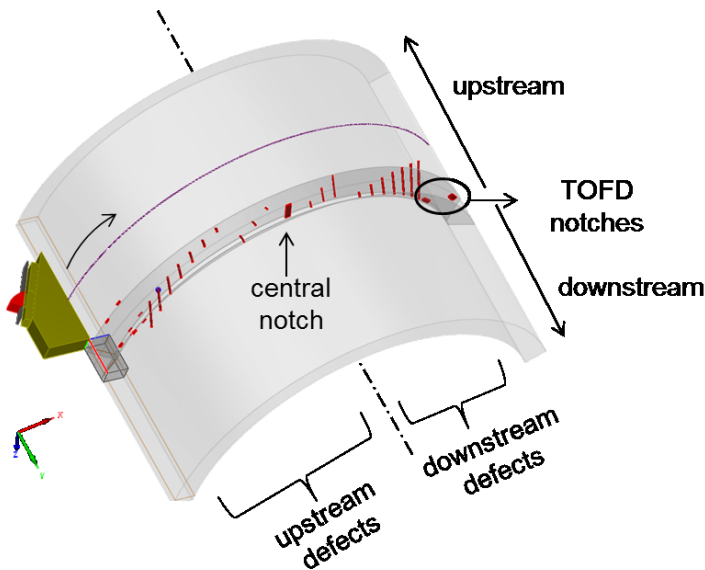


EXEMPLE D'EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

- Contexte: ZDM pour le contrôle de soudures bout à bout

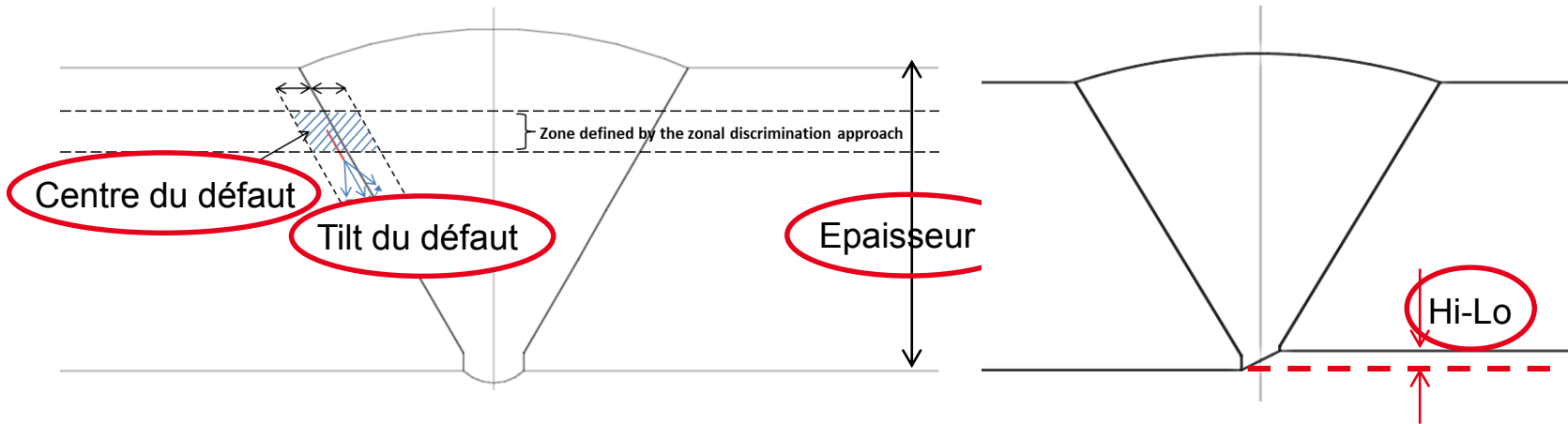


- Simulation de la technique sur maquette d'étalonnage



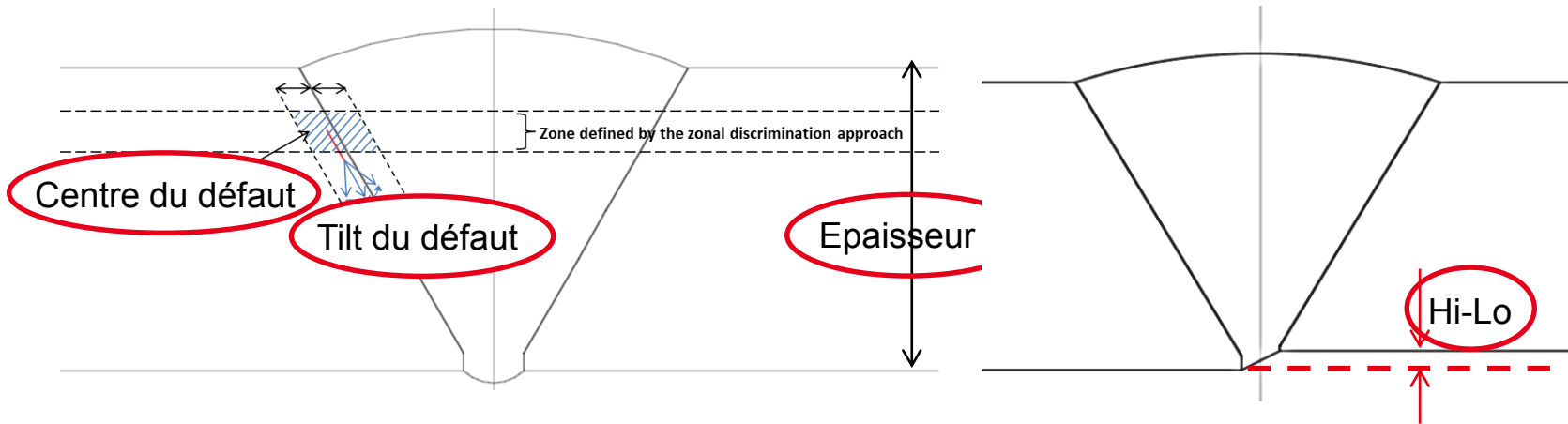
EXEMPLE D'EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

- Prise en compte de paramètres d'entrée incertains en simulation



EXEMPLE D'EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

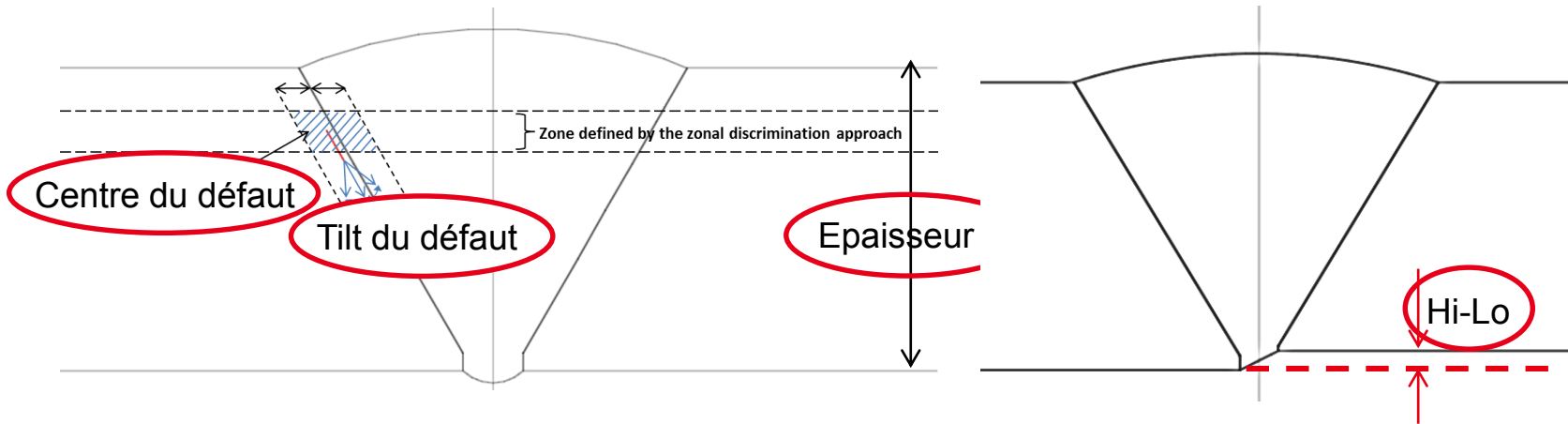
- Prise en compte de paramètres d'entrée incertains en simulation



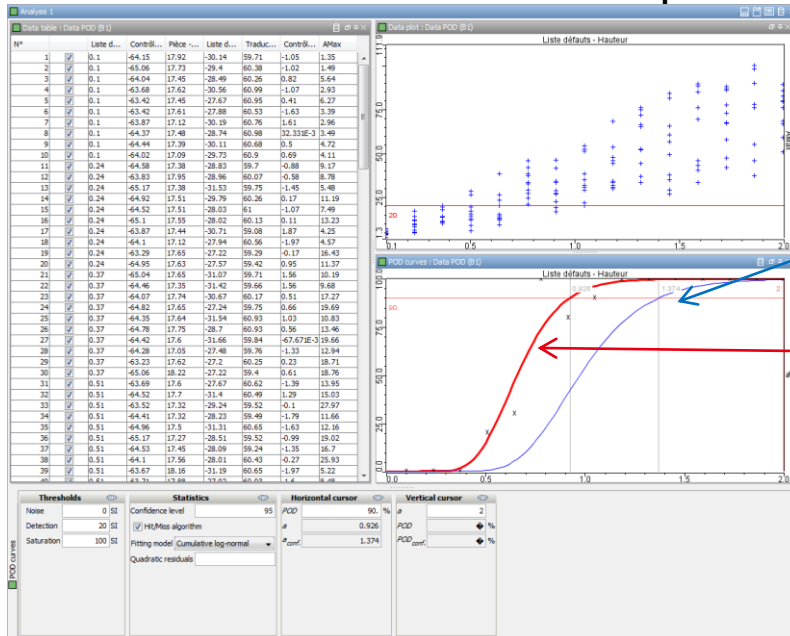
- Simulation sur données avec paramètres incertains \Rightarrow POD sur données simulées

EXEMPLE D'EVALUATION DE LA FIABILITÉ DES MÉTHODES DE CND DES SOUDURES

- Prise en compte de paramètres d'entrée incertains en simulation



- Simulation sur données avec paramètres incertains → POD sur données simulées



Bande de confiance à 95%
 $a_{90/95} = 1,4 \text{ mm}$

Courbe POD
 $a_{90} = 0,9 \text{ mm}$



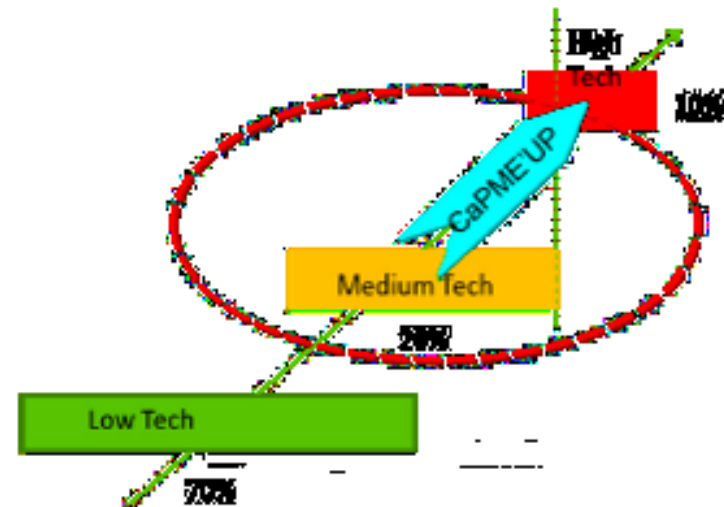
Appel à Projet « Valorisation Carnot »



- Objectif: Renforcer la recherche et l'innovation au service des PME et des ETI

- 3 plateformes

- Robotique interactive
- Intégration systèmes
- **CND innovants**
 - Rendre la simulation plus accessible aux PME pour l'aide à la définition de configurations
 - Outils dédiés, interfaces simplifiées, bases de données capteurs...



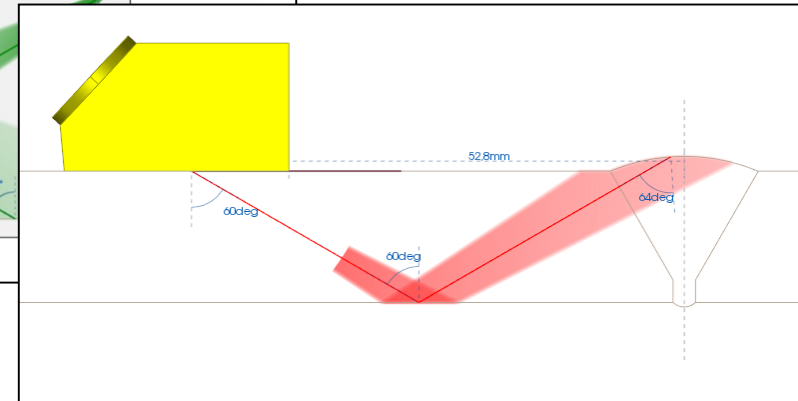
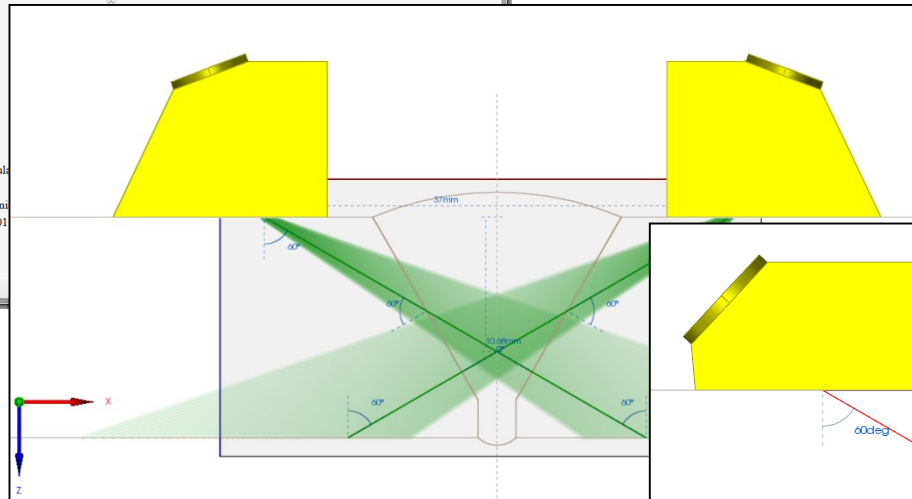
• Outils dédiés

- Aides graphiques (modules rayons avancés, angles, distances)
- Nouvelles soudures (à clin)
- Connexion bases de données capteurs
- Prise en compte des normes de contrôle
- Outils de couverture de zone (rayon, champ, défaut)

Numéro de modèle	Description	Série	Constructeur	Forme des éléments	Fréquence nominale	Sabot intégré
Imasonic 104768103		00000	IMASONIC	Rectangulaire	5.0	<input checked="" type="checkbox"/>
ConfigMaticielle_3-5MHz_M2M		00000	M2M	Rectangulaire	3.5	<input checked="" type="checkbox"/>
MWB60-N4	contact plan T60 krautkramer	00000	KRAUTKRAMER	Rectangulaire	4.0	<input checked="" type="checkbox"/>
MWB45-N4	contact plan T45 krautkramer	00000	KRAUTKRAMER	Rectangulaire	4.0	<input checked="" type="checkbox"/>
9337A101	2barettes2x 14eltsseparation2...	00000	IMASONIC	Rectangulaire	7.0	<input checked="" type="checkbox"/>
9337A101	2barettes2x 14eltsseparation2...	1816	IMASONIC	Rectangulaire	7.0	<input checked="" type="checkbox"/>
6129A101	lineaxe avec sabot cylindrique	00000	AMDEHENCL Socarav	Circulaire	3.0	<input checked="" type="checkbox"/>

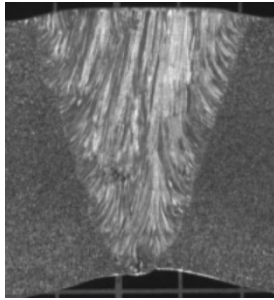
Traducteur :

Ecart entre les élément sur la dimension A : 0.3
 Type de capteur : Contact
 Paramètres de la surface de focalisation : 5
 Série : 1816
 Taille d'un élément sur la dimension B : 6.0
 Fréquence nominale : 7.0
 Nombre d'élément sur la dimension B : 1.0
 Forme des éléments : Rectangulaire
 Surface de focalisation : Plane
 Type de focalisation : Pastille m...
 Numéro de modèle : 9337A101
 Nombre total d'éléments : 14.0
 Taille d'un élément sur la dimension A : 4.15

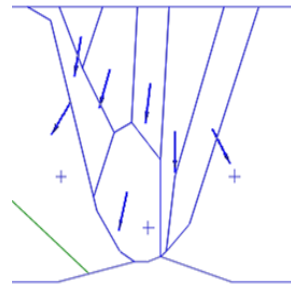


- **Connaissance des données d'entrée**
 - Caractéristiques physiques de la soudure
 - Dimensions et type de la soudure
 - Données matériaux (constantes élastiques, densité)

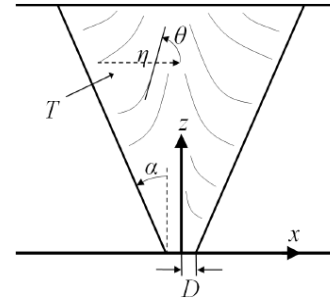
- **Connaissance des données d'entrée**
 - Caractéristiques physiques de la soudure
 - Dimensions et type de la soudure
 - Données matériaux (constantes élastiques, densité)
 - Description de la structure cristallographique de la soudure



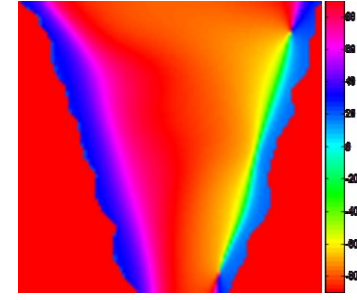
Macrographie



Découpe



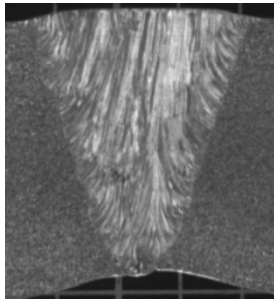
Loi analytique



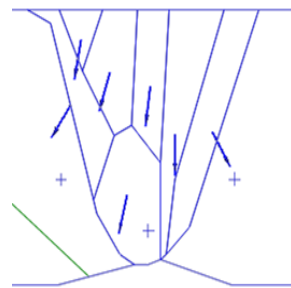
Cartographie

- **Connaissance des données d'entrée**

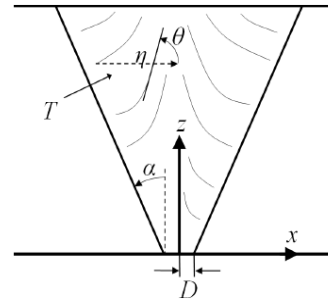
- Caractéristiques physiques de la soudure
 - Dimensions et type de la soudure
 - Données matériaux (constantes élastiques, densité)
- Description de la structure cristallographique de la soudure



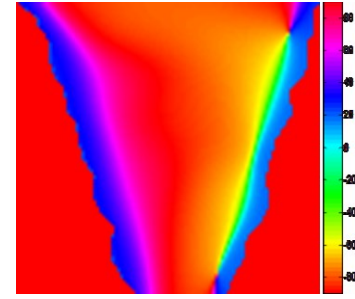
Macrographie



Découpe



Loi analytique



Cartographie

- **Limites des modèles physiques**

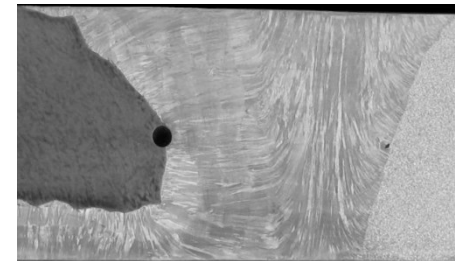
- Longueur caractéristique du modèle et longueur d'onde
 - Petits domaines devant la longueur d'onde
 - Fortes variations des propriétés physiques
- Géométrie de la soudure pas toujours adaptée
 - Description à l'aide d'une loi ou d'une cartographie pas toujours possible
 - Interface trop tranchante non adaptée (ligne brisée, interface entre 3 domaines)

- **Limites des modèles d'interaction**

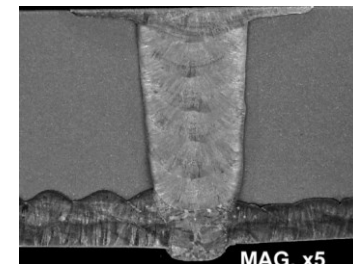
- Évaluation de la réponse de défauts de petites dimensions (Méthodes Kirchoff et GTD invalides) – Application de la méthode des éléments finis de frontière (BEM)
- Ondes de surface et creeping waves sur le fond de la pièce non évaluées

- **Modèle en constante validations**

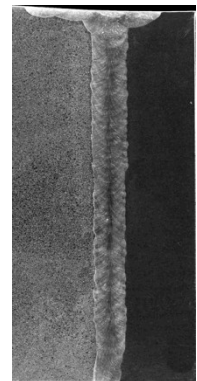
- Application pour différents types de soudures
 - Liaison BiMétallique
 - Girth Welds
 - Chanfreins étroits
- Différents modes d'inspections
 - Ondes longitudinales ou transverses
 - Modes directs ou demi-bonds
- Contrôles de défauts de géométries différentes
 - Trous génératrices
 - Entailles électroérodées
 - Défauts multi-facettes



Liaison BiMétallique



Girth Welds



Chanfreins étroits

- **Outils existants en simulation**
 - Calculs de champs
 - Simulation d'inspection (codes semi-analytiques ou hybrides)
 - Estimation performances (PoD)
 - Outils dédiés au CND des soudures (projet CAPME'Up)
- **Résultats sur différents secteurs (nucléaire, pétrolier)**
 - Projets collaboratifs
 - Études de cas industriels
- **Validations expérimentales**
 - Étude sur différentes maquettes (avec caractérisation des soudures)
 - Comparaison simulations CIVA/expériences + codes hybrides et/ou purement numériques (ATHENA)

- **Outils paramétriques**
 - Approche CAPME'Up: outils « simplifiés » avec jeu de paramètres restreint aux applications soudures, prise en compte des normes, bases de données capteurs
 - Utilisation de soudures paramétriques, données matériaux
 - Aides à l'analyse (outils de couverture de zone et cartographie de sensibilité des défauts)
- **Développements de nouveaux outils**
 - Code hybride CIVA/ATHENA 3D
 - Évaluation atténuation (L,T...)
 - Caractérisation de soudures par inversion de mesures US
- **Validations expérimentales**
 - Validations pour d'autres secteurs industriels en cours
 - Publication/communication avec autres partenaires industriels

ANTHONY DUBOIS

chef de projets CND

CEA Tech – Pays de la Loire

5, rue de l'Halbrane

F-44340 BOUGUENAIS

TEL. 02 28 44 35 27

anthony.dubois@cea.fr

AUDREY GARDAHAUT

ingénieur - chercheur

CEA Tech – LIST/DISC

Digitéo Labs | Bât. 565 - PC120

F-91191 Gif-sur-Yvette Cedex

TEL. 01 69 08 40 26

audrey.gardahaut@cea.fr