

Contrôle Non Destructif par Ultrasons

La recherche



CARNAUTO

Plus d'innovations
pour la compétitivité des PME
de l'automobile et de la mobilité

Les instituts CARNOT de l'automobile et de la mobilité

Philippe GUY



Laboratoire de Vibrations et d'Acoustique
INSA Lyon
philippe.guy@insa-lyon.fr

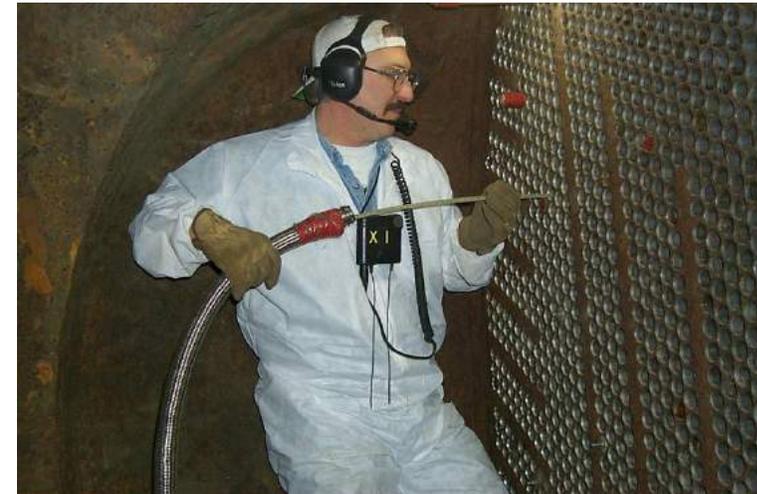
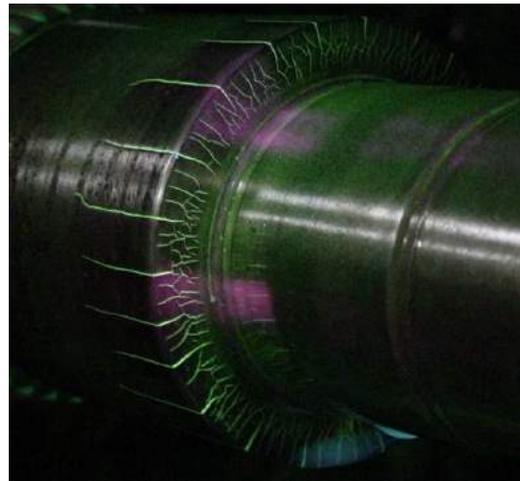


Les Essais Non Destructifs (END) pourquoi?

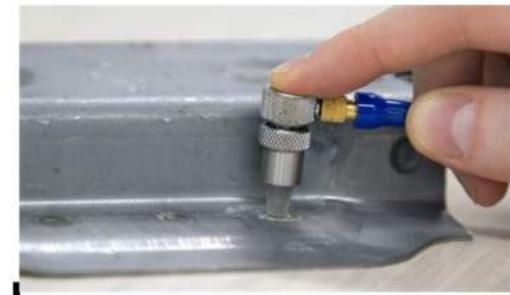
Prévenir des accidents industriels (Explosion de chaudières, rupture catastrophique d'une structure, ruptures d'ouvrages d'art ...)



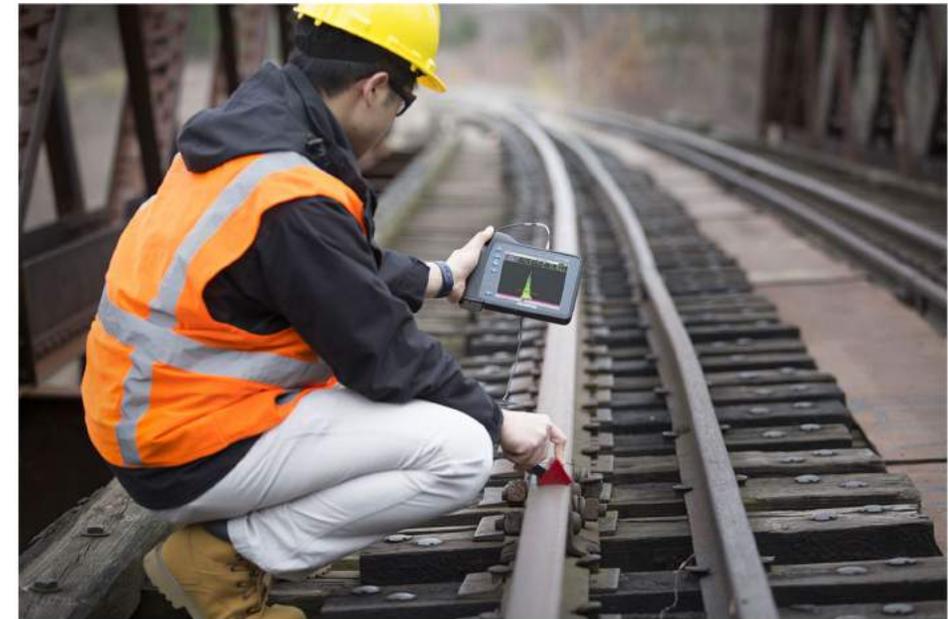
Garantir la qualité et la sécurité



Les END c'est quoi ?



- « Les Essais Non Destructifs (END) sont un ensemble de méthodes permettant de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader et à différents stades de leur cycle de vie. » [site COFREND](#)
- Le contrôle par ultrasons est l'une des méthodes d'END les plus utilisées dans l'industrie.



Industries



Transports



Génie Civil - Ouvrages d'art



**Sidérurgie - Fonderie
Tubes**



Énergie - Oil & Gas



Aéronautique - Aérospatiale

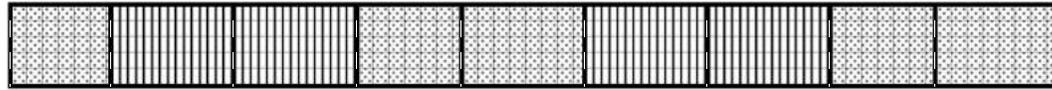
Un marché en pleine croissance

- Le recours aux END devient de nos jours un élément indispensable dans :
 - le contrôle de la qualité des produits
 - la gestion des risques
- Ils contribuent ainsi à la sécurité des personnes et des biens
- Ils sont parfois imposés par la réglementation :
 - Réservoirs de pression
 - Remontées mécaniques
 - ...
- Leur périmètre d'application s'étend à de plus en plus de secteurs

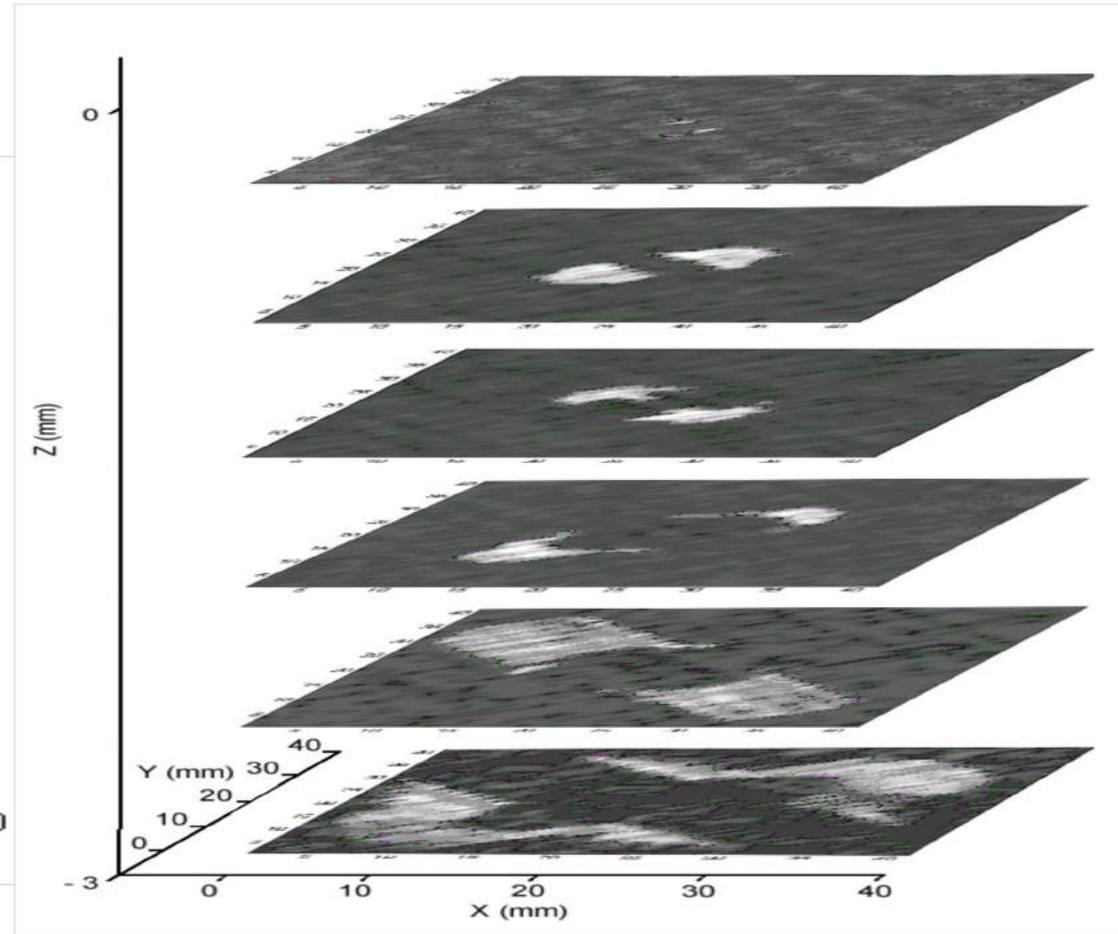
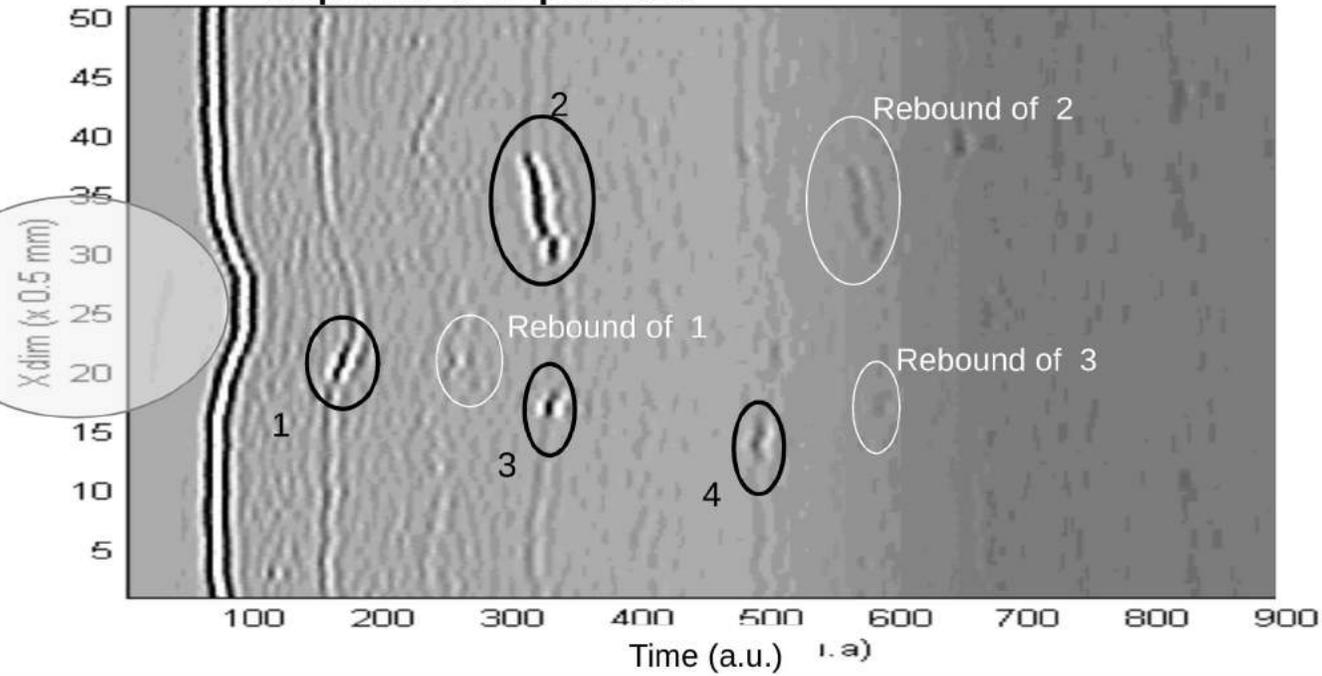
Les ultrasons pour quoi faire ?

- recherche de fissures, d'inclusions, de porosités ...
- contrôle des soudures
- contrôle des matériaux composites (délaminages, ruptures de fibre, fissuration de la matrice ...)
- mise en évidence d'hétérogénéités physiques
- mise en évidence d'irrégularités de propriétés (microstructure, variations de texture, de rugosité etc.)
- mesures des propriétés viscoélastiques
- mesures de contraintes résiduelles
- mesures d'épaisseur

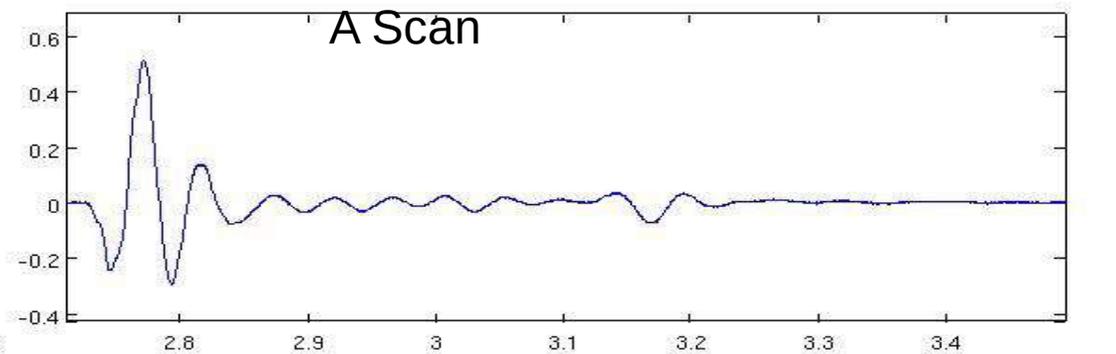
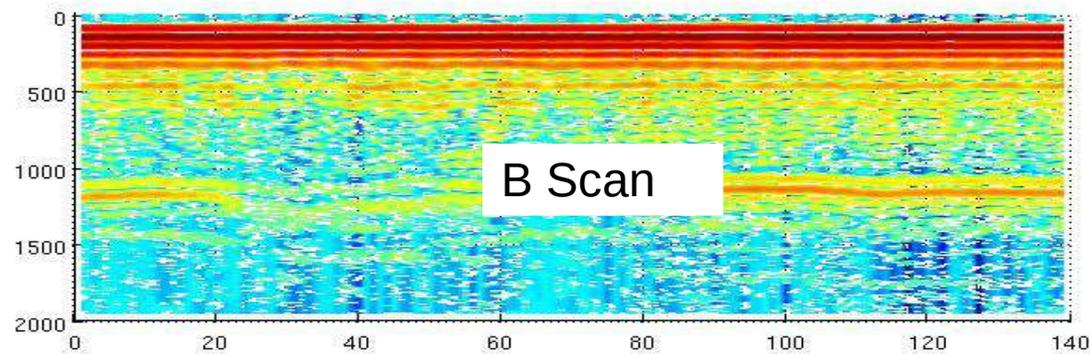
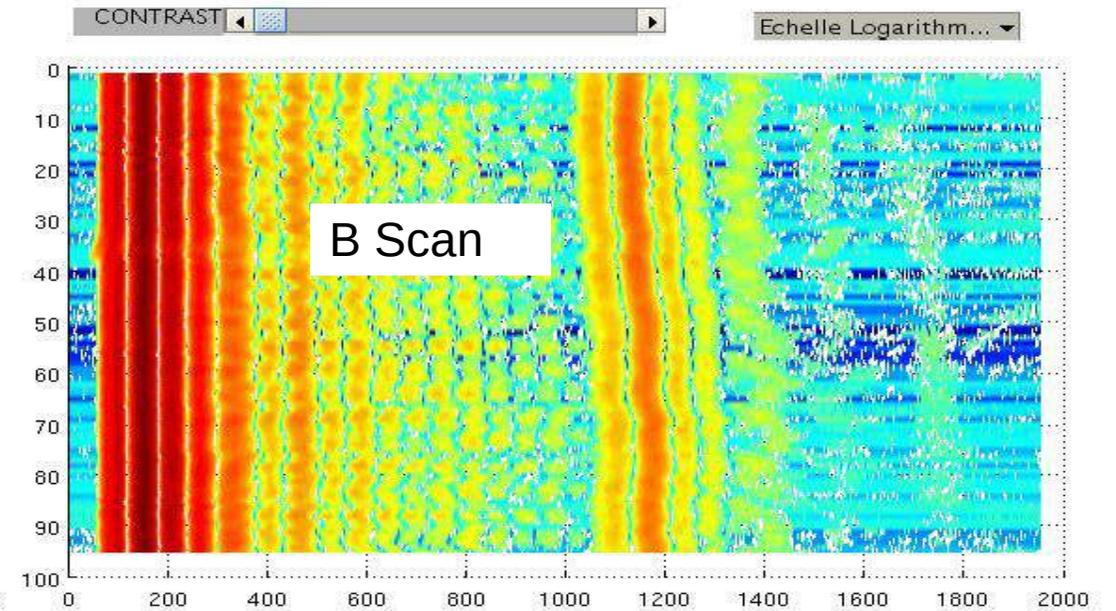
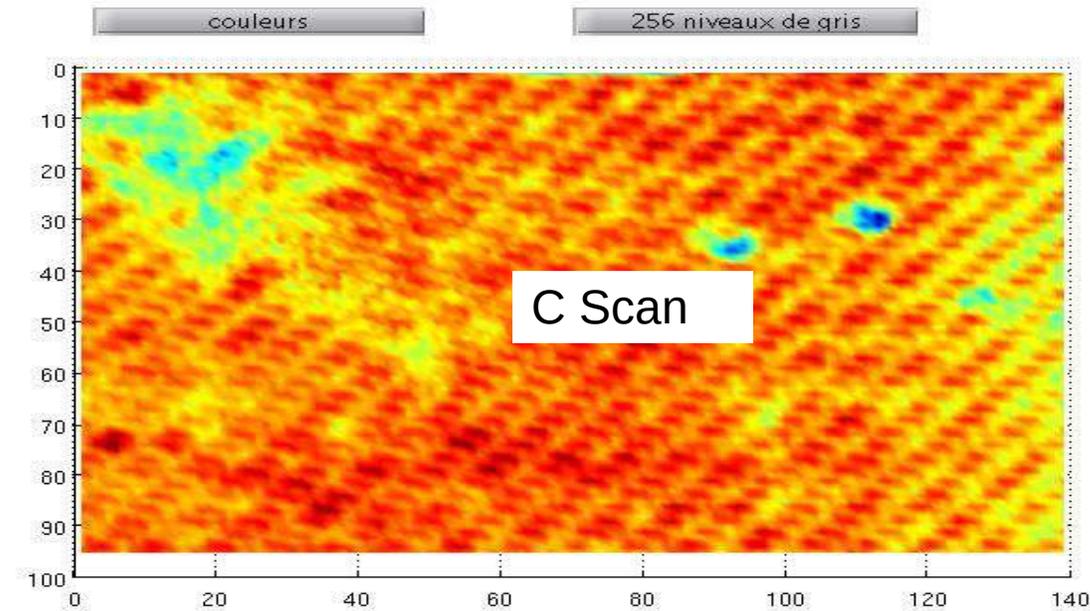
Endommagement d'un composite (CFRP)



séquence d'empilement



Exemples d'images sur un composite tissé



Les ultrasons à quel moment ?

Il existe des applications à tous les stades du procédé de production et du cycle de vie d'une structure industrielle.

- **Assistance au développement d'un produit**
- **Tri ou qualification des matières premières**
- **Suivi ou optimisation du procédé de fabrication**
- **Vérifier les caractéristiques en regard du CdC**
- **Vérifier la bonne exécution du procédé comme par exemple le traitement thermique**
- **Vérifier l'assemblage (soudures, collages ...)**
- **Maintenance contrôle**
- **Contrôles périodiques en service**

Avantages des UT (1)

- méthode de volume : **profondeur** de pénétration supérieure à celle des autres techniques d'END (RX, ET, MT, PT)
- sensibilité aux **défauts internes ET/OU de surface**
- grande sensibilité sur une **large gamme de dimensions de défauts et de pièces** en jouant sur les paramètres de la méthode (telle la fréquence utilisée) ;
- adaptabilité des méthodes aux **matériaux** et aux **géométries** des pièces. Applicabilité à la plupart des matériaux (**métalliques, plastiques, céramiques, composites ...**)
- richesse de l'information fournie : **localisation** en profondeur, estimation de la **taille, forme** des défauts, **images** de haute résolution
- rapidité et simplicité de mise en œuvre
- Préparation limitée de la pièce à tester
- méthode ne nécessitant l'accès à la pièce que d'un seul côté en mode pulse-écho

Avantages des UT (2)

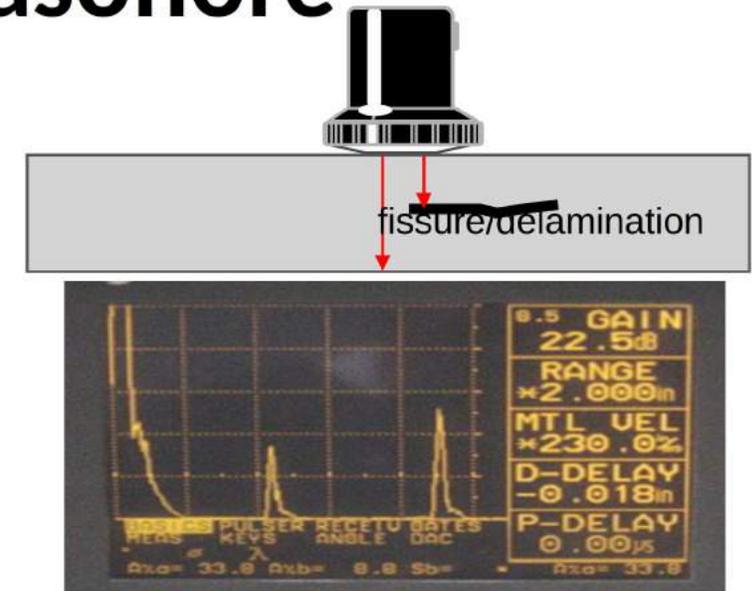
- possibilité de mesures en **temps réel**.
- permet en plus de la détection de défauts de faire du **contrôle d'épaisseur**.
- possibilité de **caractérisation** des propriétés viscolélastiques.
- disponibilité de techniques multiéléments démultipliant les performances des ultrasons conventionnels ;
- absence d'inconvénients d'ordre chimique ou radiologique
- diagnostics et évaluation des performances de la méthode quantitatifs.
- évolution constante et rapide des matériels, des outils de traitement du signal et de simulation

Limitations des UT

- La surface doit être accessible pour transmettre les US.
- Inspection difficile des matériaux rugueux, de forme irrégulière, très petits, de très faible épaisseur ou très inhomogènes.
- Nécessitent souvent un milieu de couplage qui améliore la transmission de l'énergie US dans la pièce à tester
- Certains matériaux à gros grains sont difficiles à inspecter à cause d'une faible transmission et un rapport signal sur bruit élevé.
- Des défauts linéaires orientés parallèlement au faisceau peuvent ne pas être détectés.
- Formation des inspecteurs longue et exigeante

Principes du contrôle ultrasonore

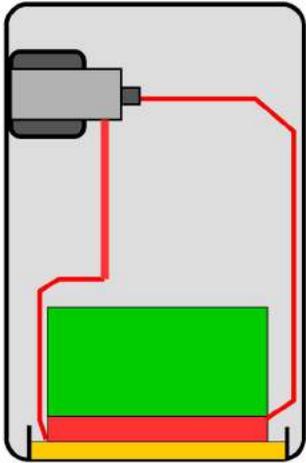
- ▶ Les ondes ultrasonores sont introduites dans le matériau et se propagent **en ligne droite** (matériau isotrope) à **vitesse constante** jusqu'à ce qu'elles rencontrent une surface (limites de la pièce, défauts ...).
- ▶ L'énergie de l'onde est alors partiellement réfléchiée et partiellement transmise.
- ▶ Les quantités d'énergie réfléchiée et transmise renseignent sur la taille du réflecteur.
- ▶ Le temps de vol peut être mesuré et permet de connaître la distance à laquelle se trouve le réflecteur.



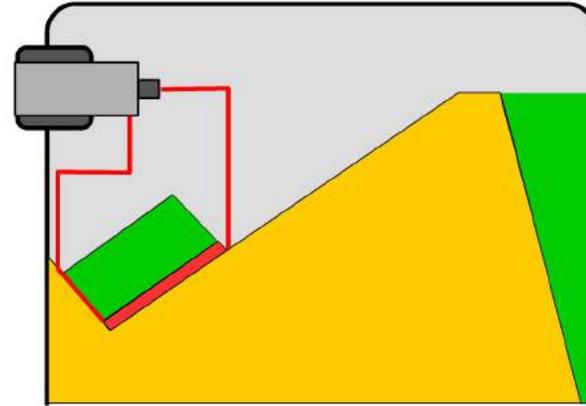
IL FAUT ÊTRE CAPABLE DE REPÉRER ET D'ANALYSER LES « ANOMALIES » DE PROPAGATION DU FAISCEAU ULTRASONORE

Transducteurs ultrasonores piezo électriques

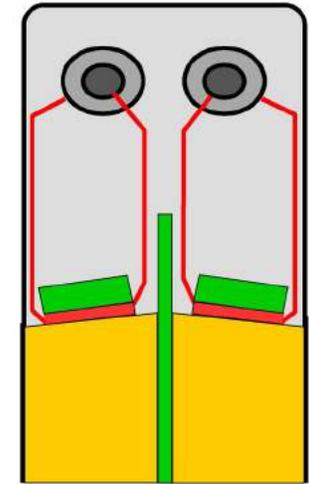
- cristal
- amortisseur
- couche d'abrasion – ligne à retard



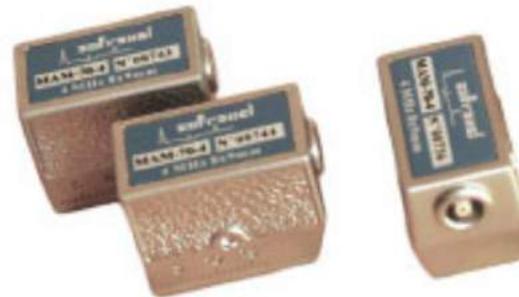
traducteur droit



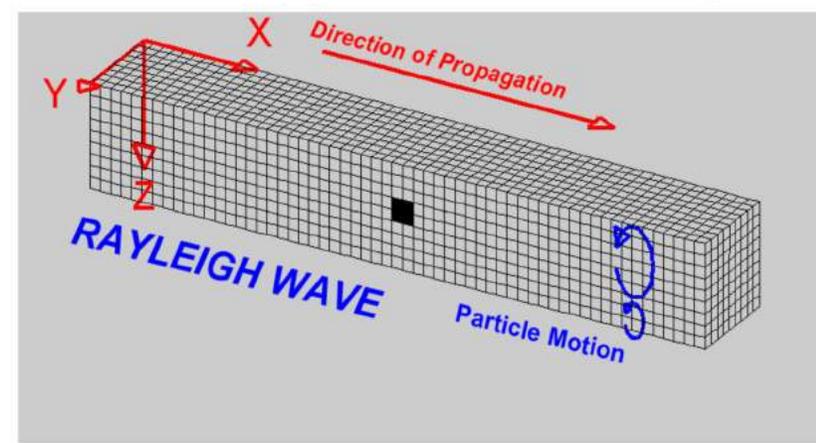
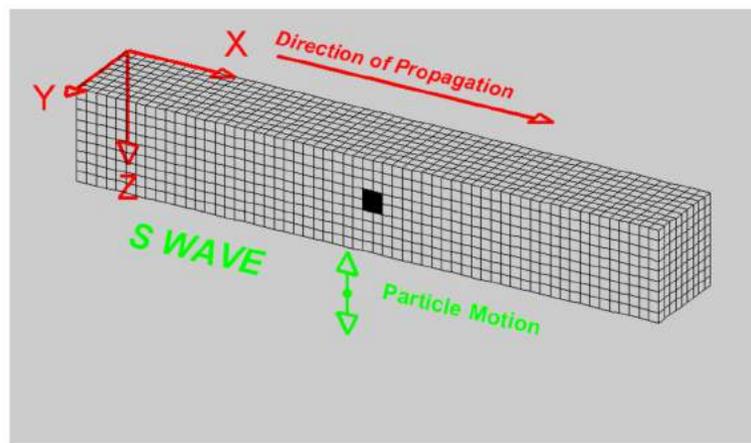
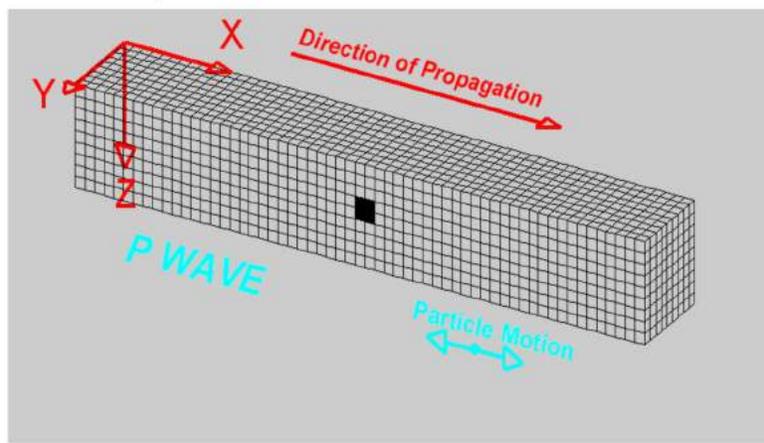
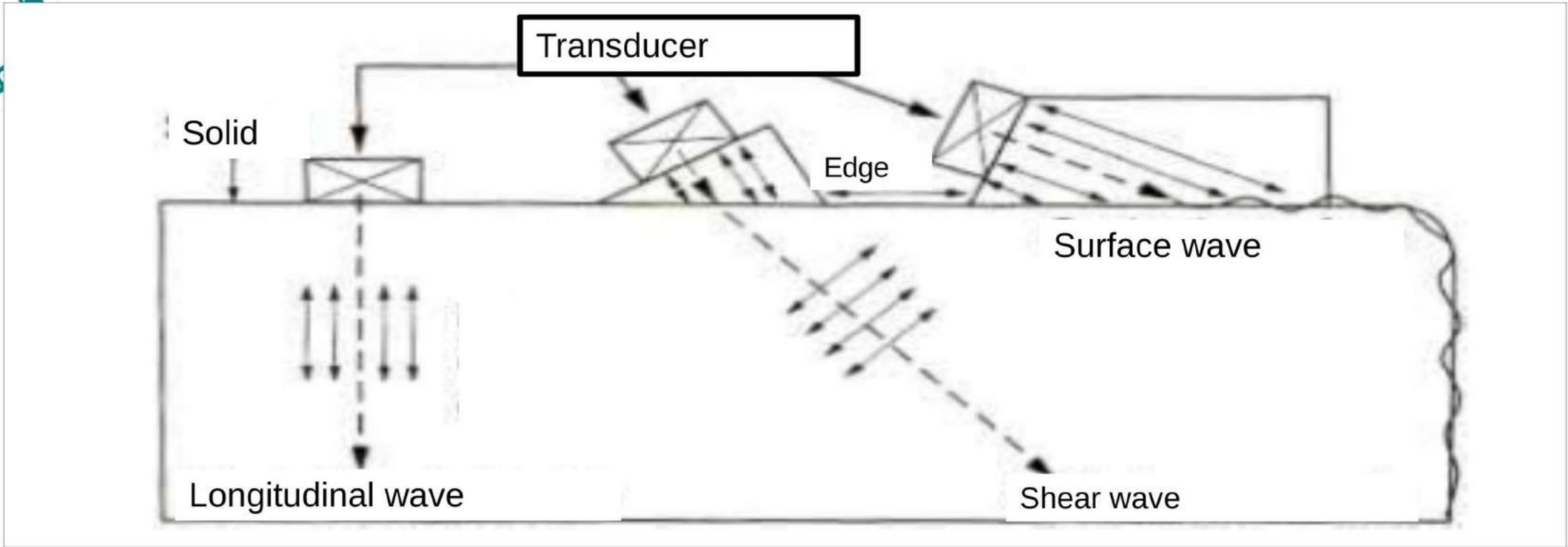
traducteur d'angle



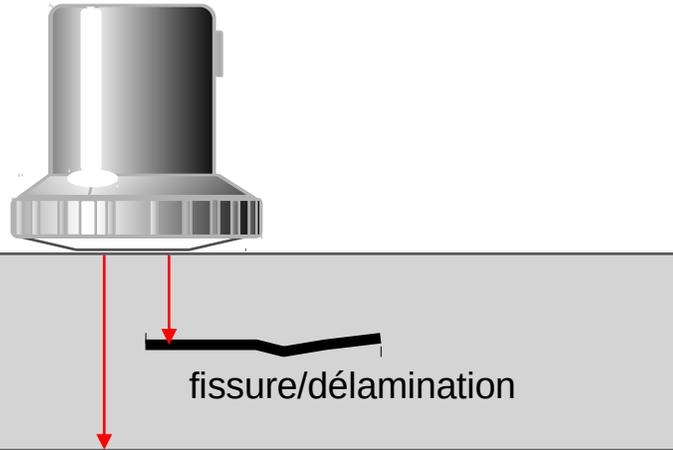
émetteur-récepteur
séparés



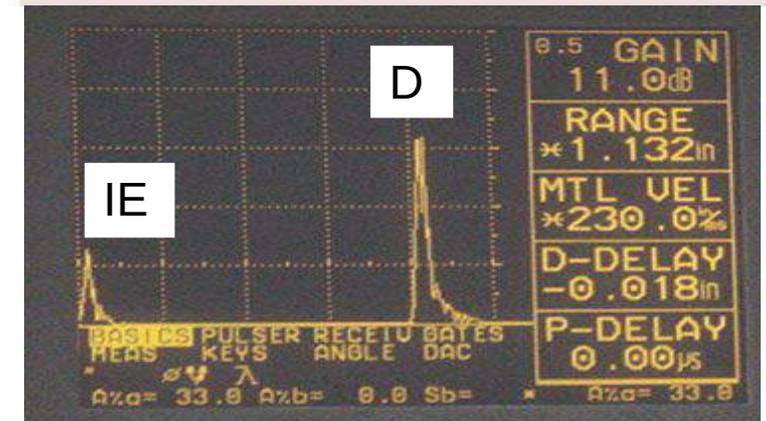
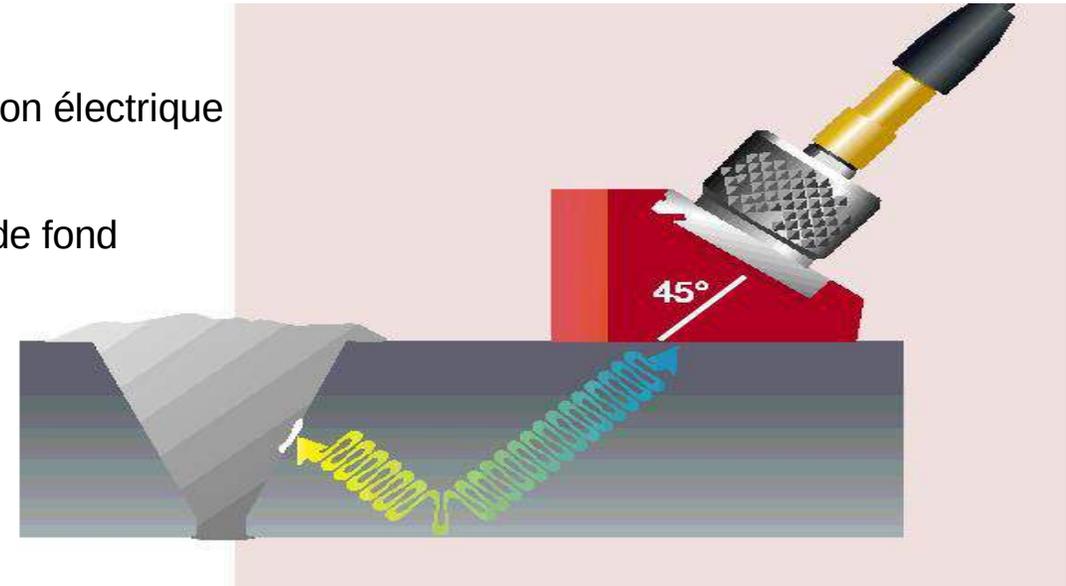
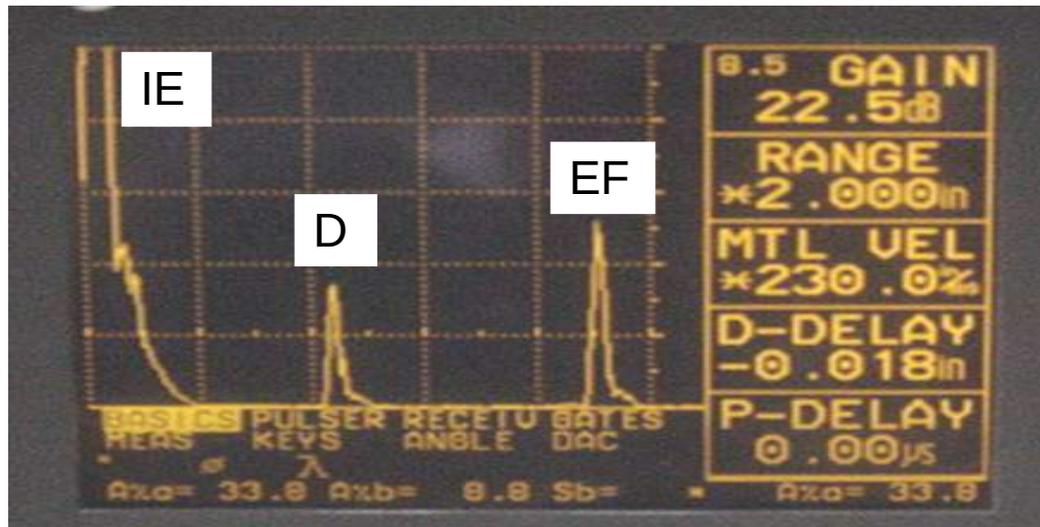
Mise en oeuvre



Méthode Pulse-Echo (ou réflexion)

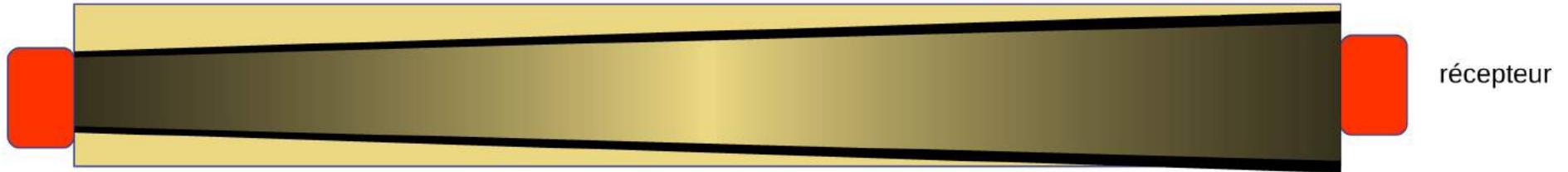


IE = Impulsion électrique
 D = Défaut
 EF = Echo de fond

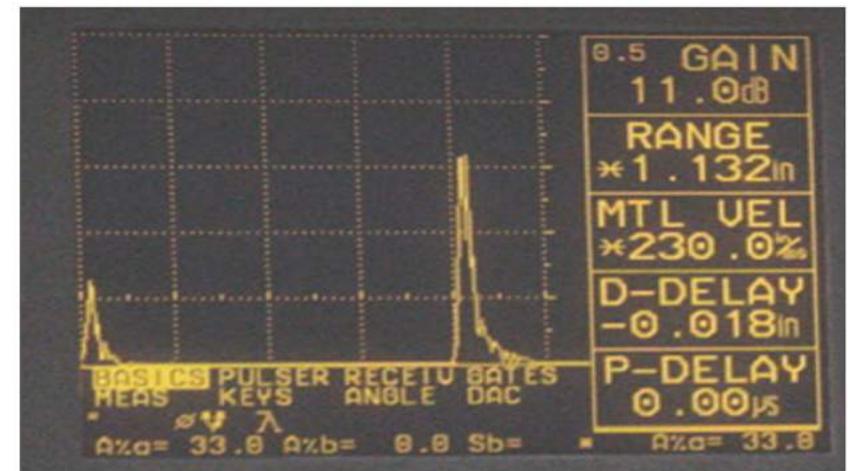
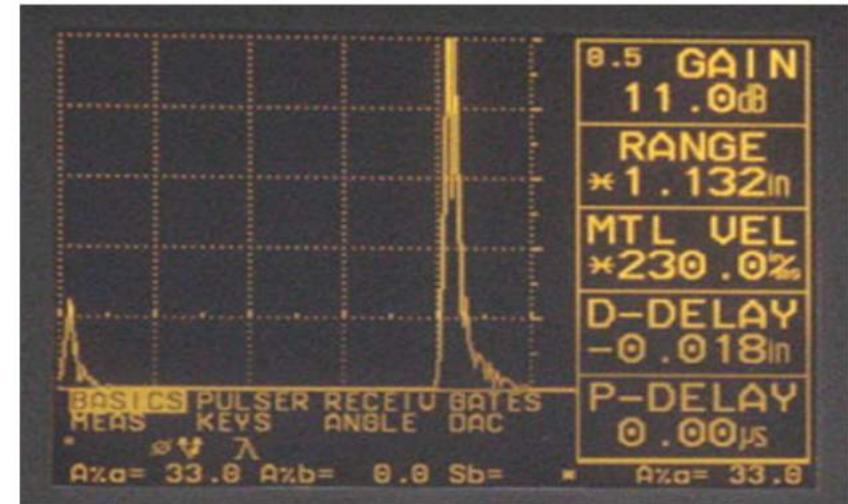
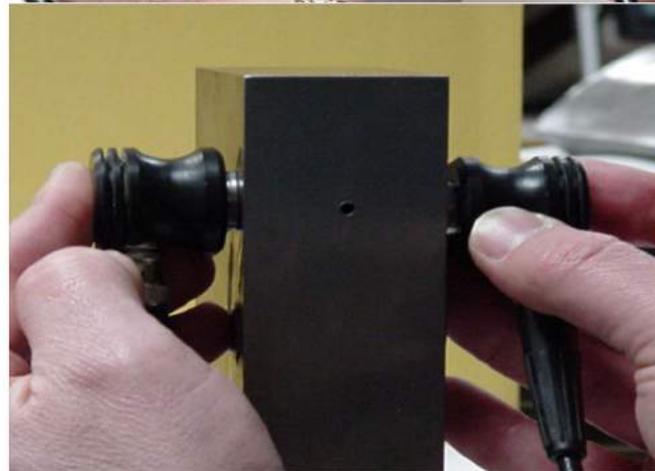


- Accès d'un seul côté
- Localisation du défaut
- Possibilité d'estimer sa dimension

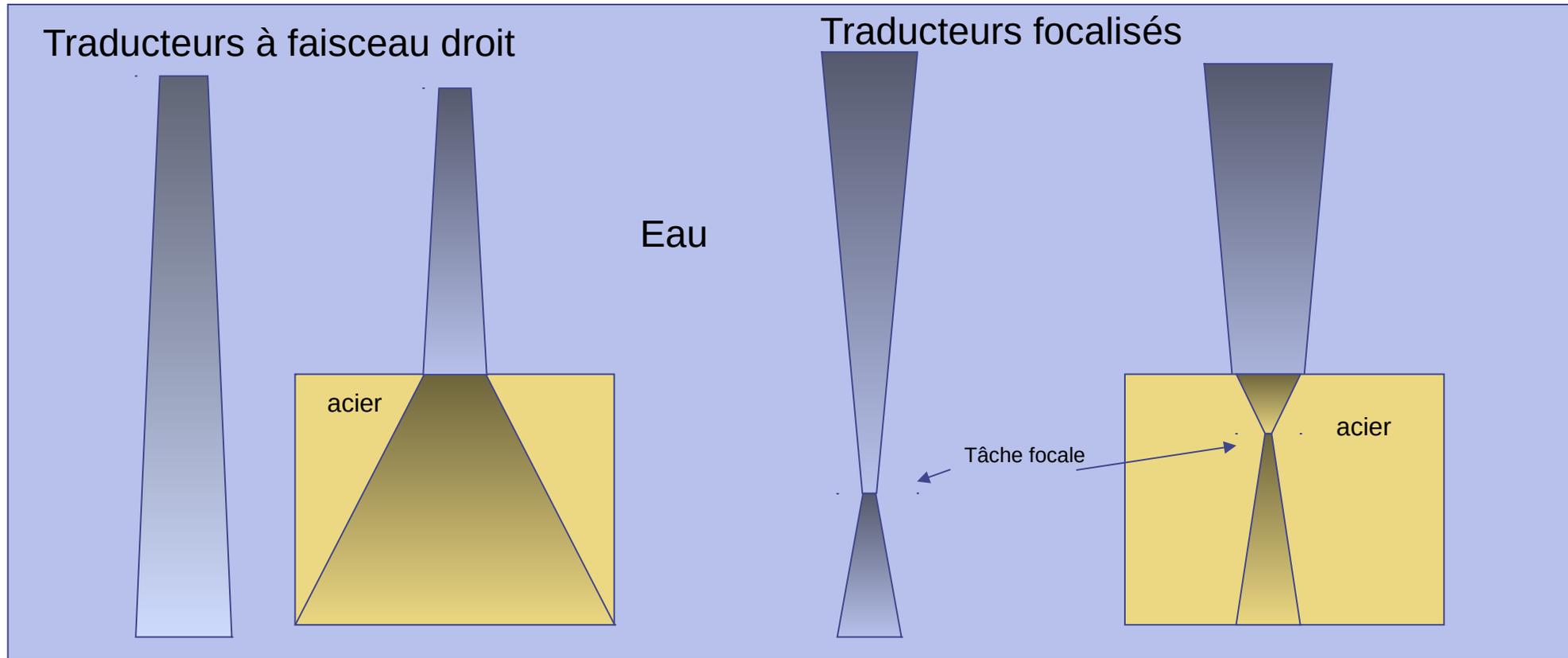
Méthode Pitch-Catch (ou transmission)



- Deux capteurs
- Pas de localisation



Immersion

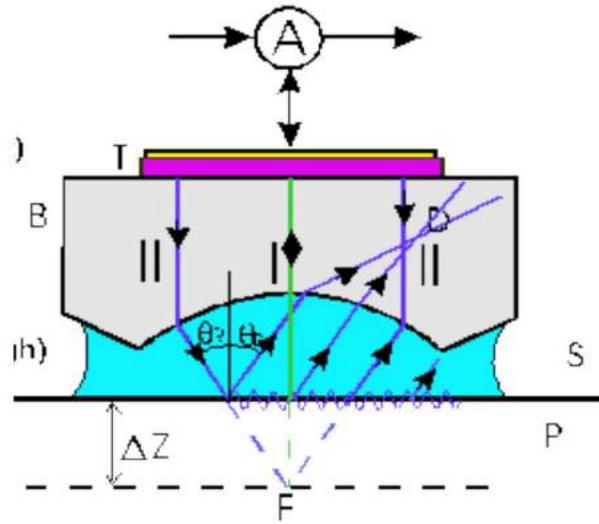


L'immersion peut être partielle

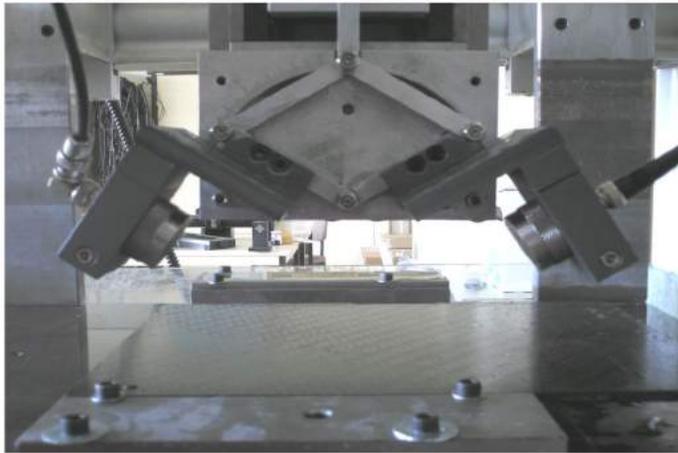
- **boite à eau**
- **jet d'eau**
- **rouleaux**



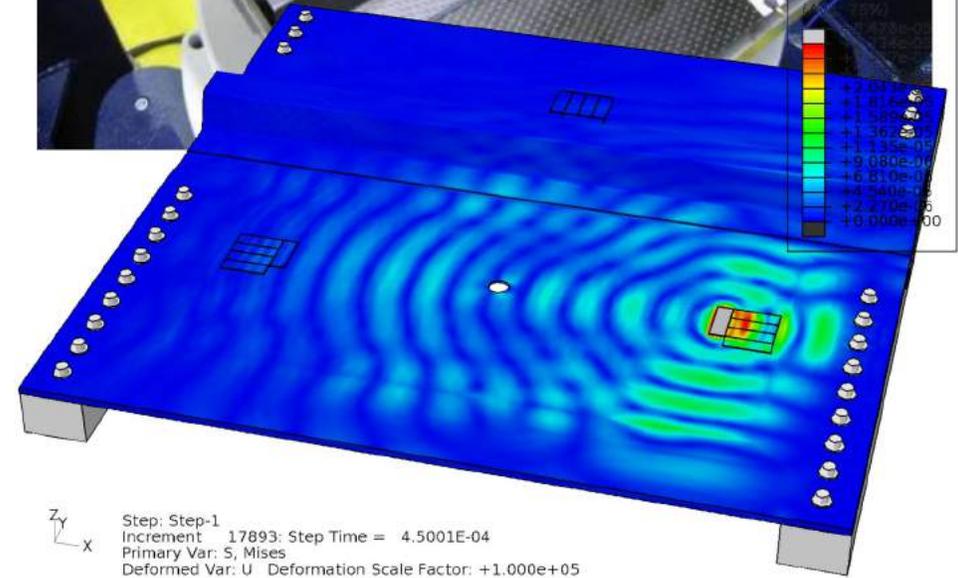
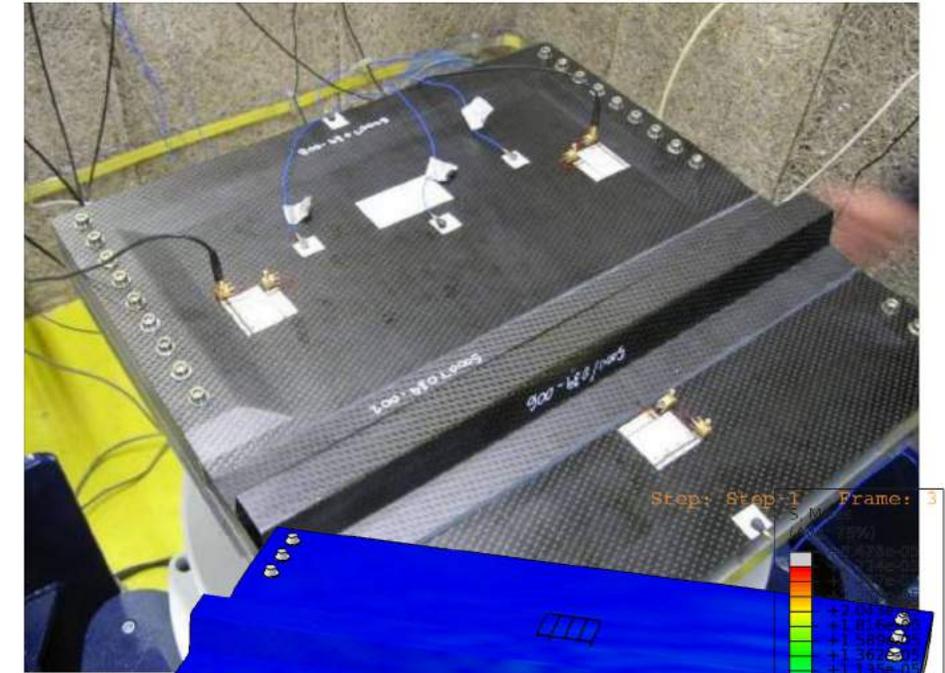
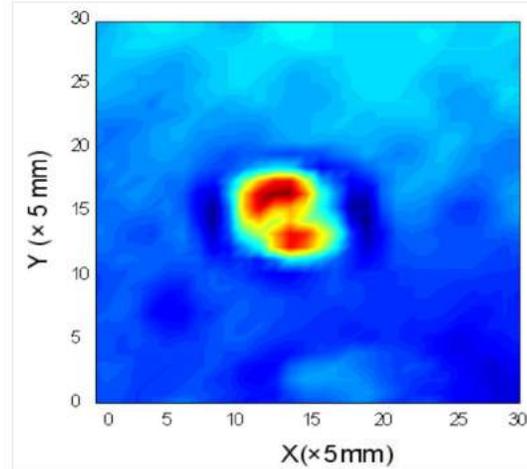
Ondes guidées



**Microscopie acoustique
 Mode image + caractérisation**

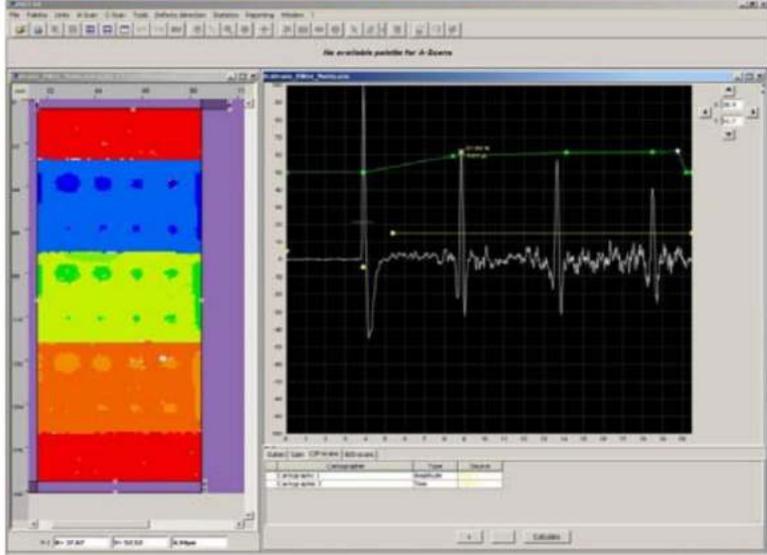


Imagerie en ondes guidées

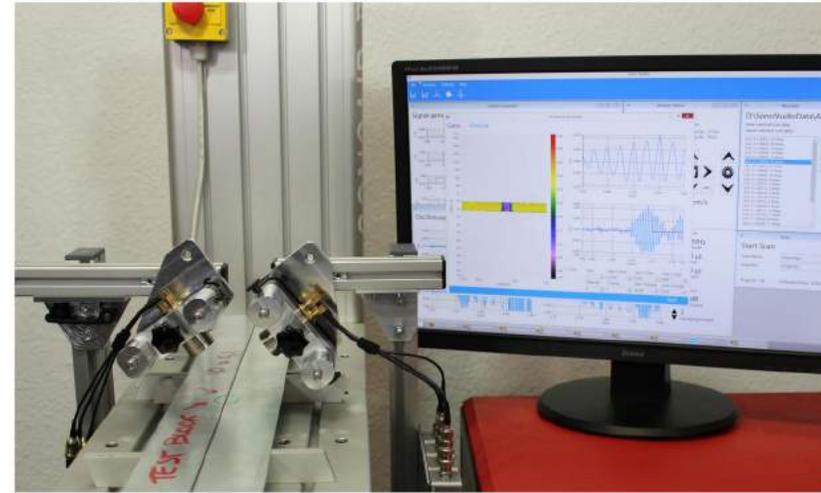


Ondes de Lamb (SHM)

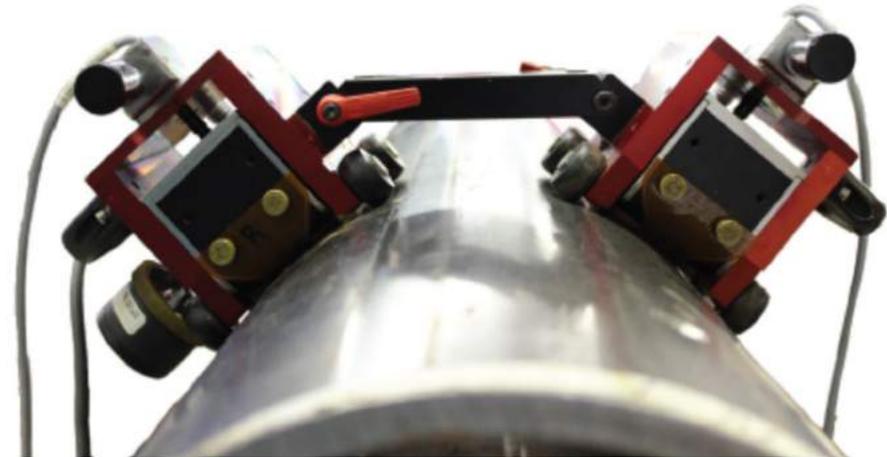
Techniques sans contact (sans couplant)



Laser-Ultrasons

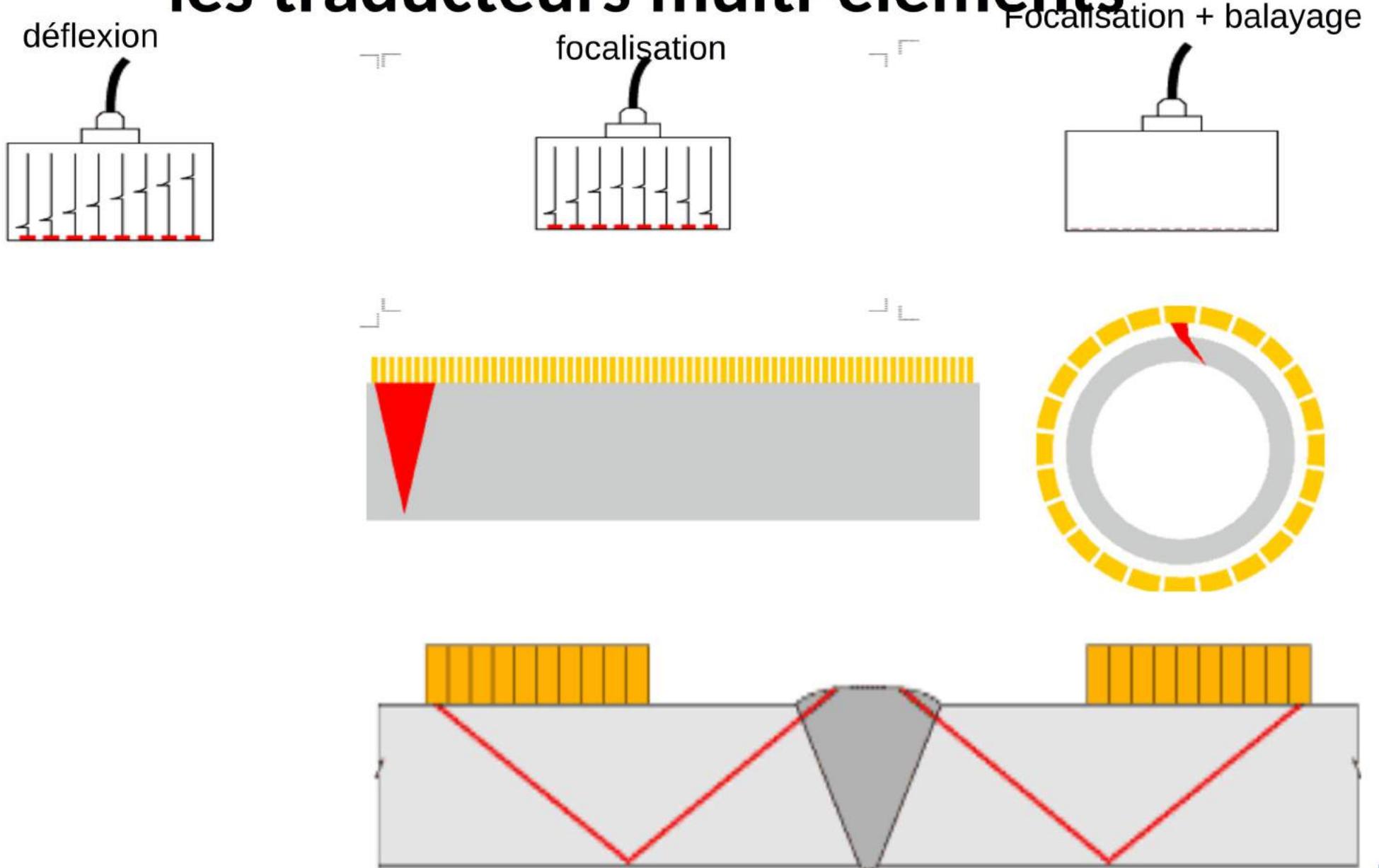


Traducteurs à couplage aérien



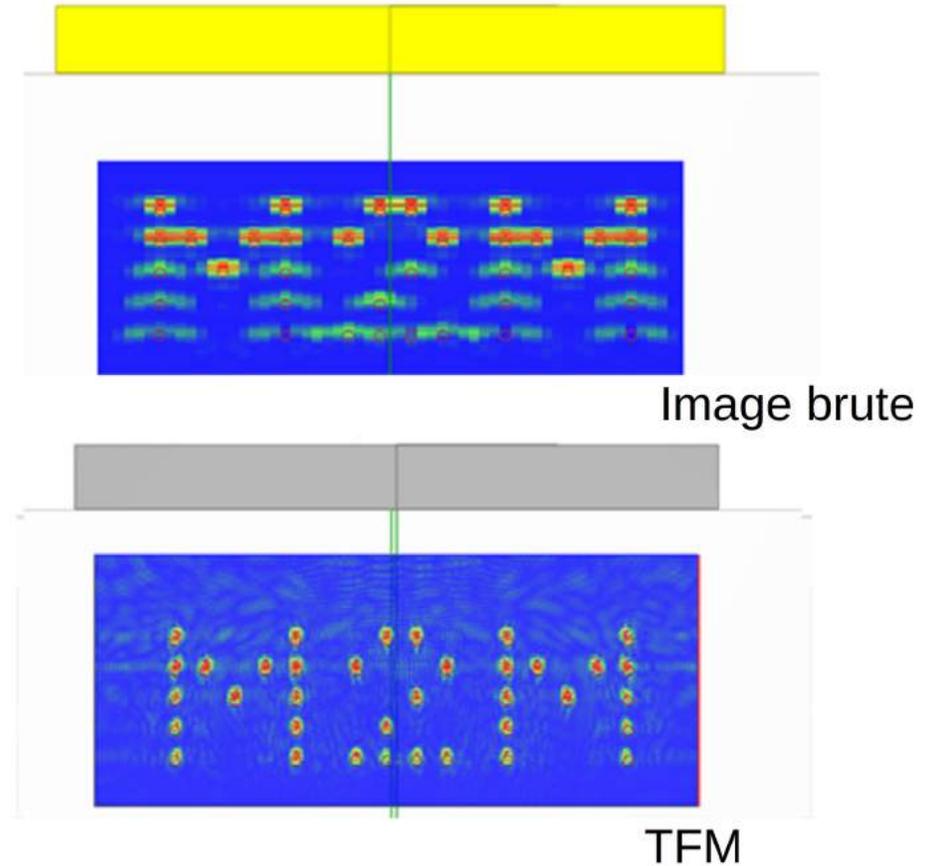
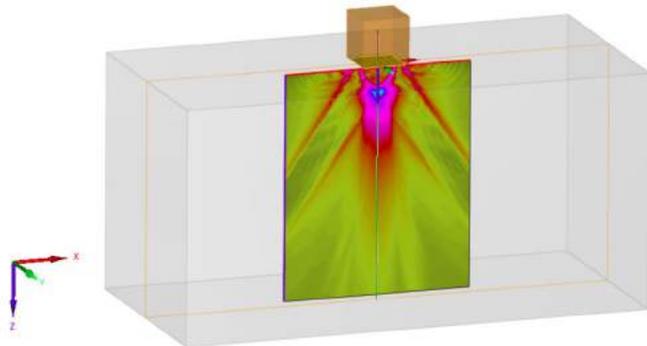
Electromagnetic Acoustic Transducers (EMAT)

Un bond technologique : les traducteurs multi-éléments



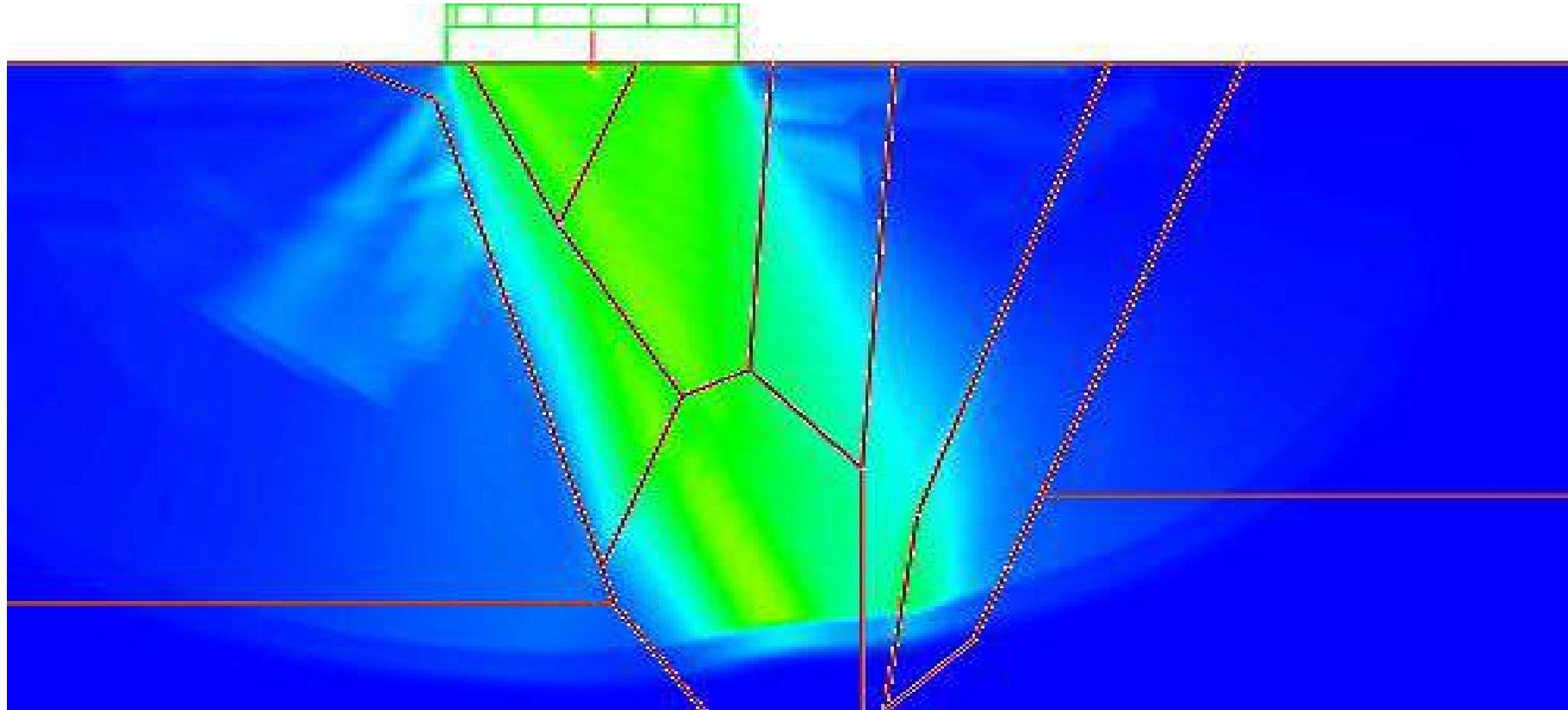
Évolutions récentes

- Synthetic Aperture Focusing Technic (SAFT)
- Full Matrix Capture (FMC)
- Total Focusing Method (TFM)
- Big Data
- Deep Learning
- Internet des objets
- Simulations
- Bases de données



Vers l'industrie 4.0

- Techniques autonomes \Rightarrow Techniques multimodales (ex : imageries médicales)
 - Mélanges de modalités (ondes de volumes + ondes guidées, acoustique linéaire + non linéaire ...)
 - Mélange de techniques : UT, RX, ET
 - Fusion de données
- Capteurs intelligents, énergétiquement autonomes, communicants
Surveillance de l'état de santé des structures (SHM)
- Le machine learning, le monitoring intelligent, les réseaux de capteurs intelligents élargissent le spectre des applications des END et leur ouvrent de nouveaux marchés
- La surveillance intelligente devra inclure le développement de matériaux nouveaux, le design des systèmes, les procédés de maintenance et de recyclage



MERCI POUR VOTRE ATTENTION