

**LES  
JOURNÉES  
COFREND**

*Spécial 50<sup>ème</sup>  
anniversaire*



## **ETUDE DE FAISABILITE DE LA CARACTERISATION PAR FMC/FTP DE DEFAUTS PLANS DANS UNE SOUDURE CIRCULAIRE**

- | **Souad BANNOUF**, Sébastien LONNE, (EXTENDE)
- | **Loïc DE ROUMILLY**, Christophe GIBERT, (EDF CEIDRE)

# Sommaire

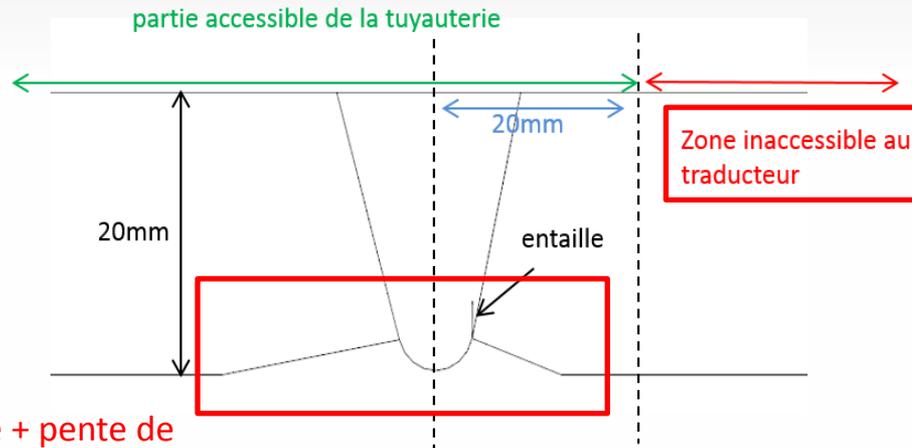
1. Contexte
2. Problématique
3. Méthode de contrôle – Matériel
4. Principe de l'imagerie FTP
5. Résultats en mode *direct*
  - i. Sur maquette usinée
  - ii. Sur coupon fissuré
6. Résultats en mode *écho de coin*
  - i. Reconstruction de profil
  - ii. Sur maquette usinée
  - iii. Filtrage d'artefact
  - iv. Sur coupon fissuré
7. Conclusion

# Contexte

- | Les assemblages soudés des circuits des Centres Nucléaires de Production d'Electricité présentent des géométries variées.
  
- | Certaines géométries limitent l'accès des traducteurs d'un côté de la soudure  
→ **Limitation de la couverture de zone ou de caractérisation**
  
- | Objectifs :
  - Investiguer dans un contexte de **veille technologique** l'intérêt de la technique de **Focalisation en Tous Points** dans ces configurations
    - Détection
    - Caractérisation (volumique ou non volumique)
    - Pouvoir de discrimination artefact/défaut
    - Dimensionnement en hauteur

# Problématique

- I Connaissance du profil nécessaire pour :
  - Reconstruction et interprétation des résultats



Cordon de soudure + pente de délardage



Source d'artefact



Problèmes de caractérisation  
+  
discrimination artefact/défaut

Optimisation des  
paramètres de contrôle et  
des options de post-  
traitement anticipée par  
simulation sous CIVA

Intérêt de la  
technique FTP ?

# Méthode de contrôle - Matériel

## Maquettes

- | Maquette usinée :
  - Acier ferritique
  - Entailles électroérodées de hauteur comprise entre 1,5mm et 8mm
  
- | Coupons fissurés :
  - Acier ferritique
  - Géométrie complexe 3D
  - Un fissure de fatigue en bord de cordon



## Capteur/Système

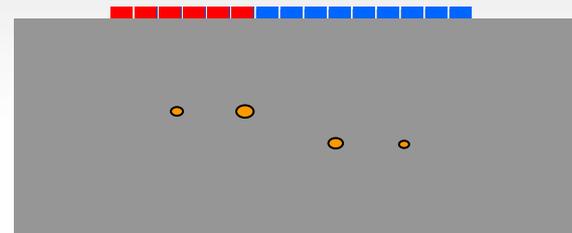
- | Capteur 64 éléments de pitch 0,6mm
- | Fréquence 5MHz
- | Système MultiX de chez M2M



# L'imagerie FTP : principe

## □ Etape 1 : acquisition FMC (Full Matrix capture)

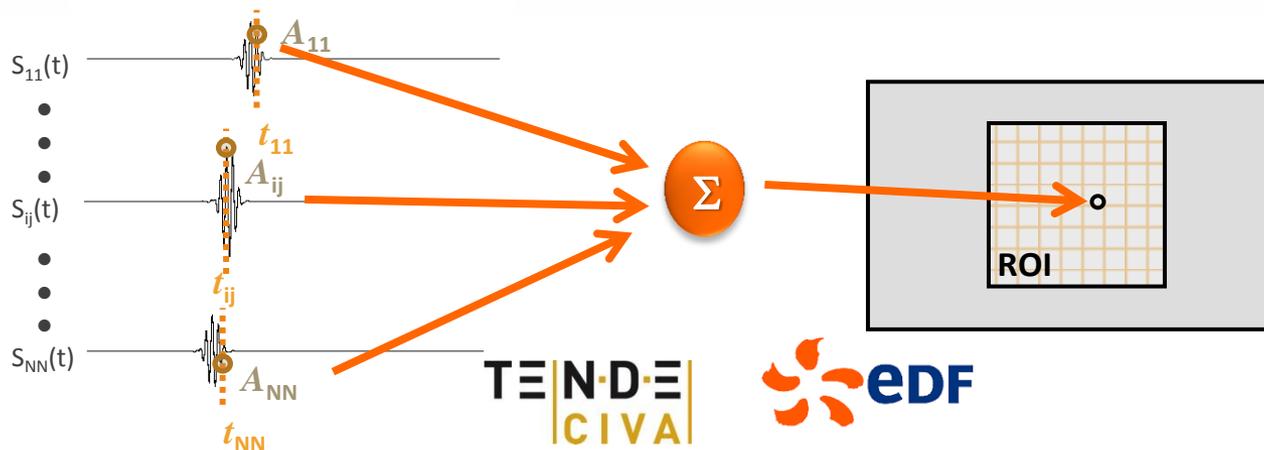
- 1 élément à l'émission, N éléments à la réception
- Acquisition d'une matrice de dimension  $N \times N$



## □ Etape 2 : Construction de l'image FTP

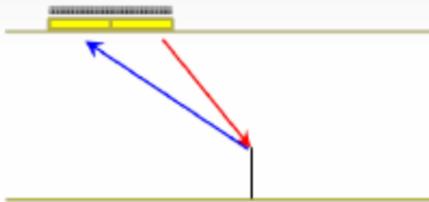
- **Focalisation *a posteriori* par sommation cohérente** de tous les signaux reçus  $S_{ij}(t)$  pour **tous les points  $P$**  de la zone de reconstruction

**Algorithme :** Calcul des temps de vol  $T_{ij}(P)$  pour tous les couples émetteur/récepteur  $(i;j)$

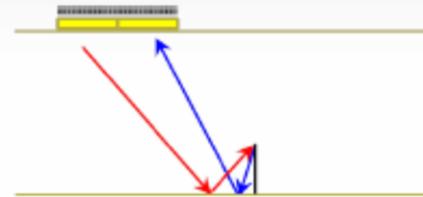


# Modes de reconstruction possibles

Trajet *direct*



Trajet *indirect*

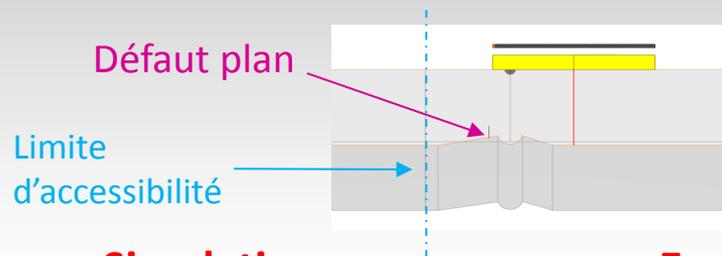


Trajet en *écho de coin*



- Adapté aux défauts plans
- Reconstruction sur toute la longueur du défaut

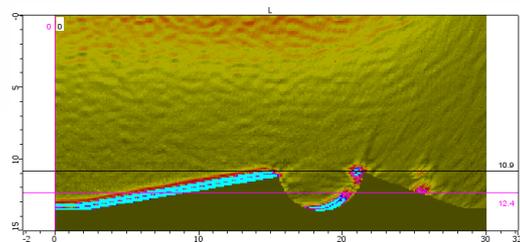
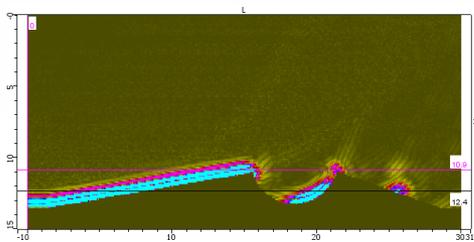
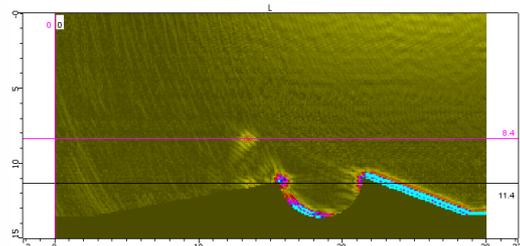
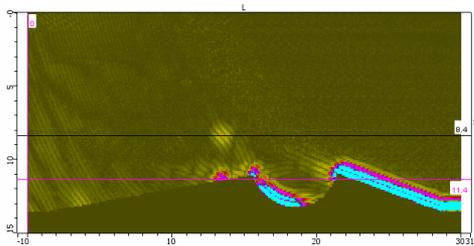
# Résultats en mode *direct* sur la maquette usinée



L'ouverture du traducteur ne couvre pas entièrement la zone à contrôler

**Simulation**

**Expérience**



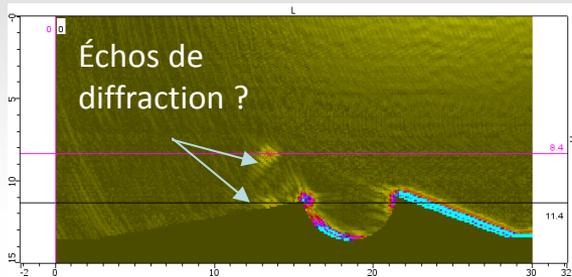
N° entaille	Hauteur théorique (mm)	Hauteur LL en simulation (mm)	Hauteur LL expérimentale (mm)
1	3	3	3
2	1.5	1.5	1.4

La détection et le dimensionnement en hauteur sont possibles.

Bonne estimation de la hauteur du défaut en mesurant la distance entre le maximum des échos de diffraction

Bon accord entre les résultats de simulation et les résultats expérimentaux

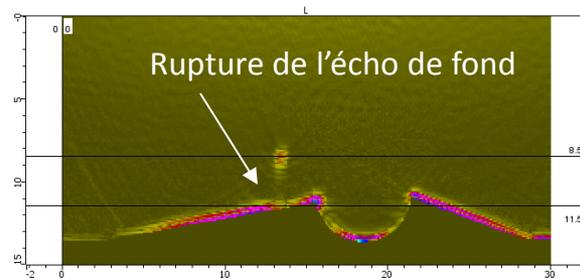
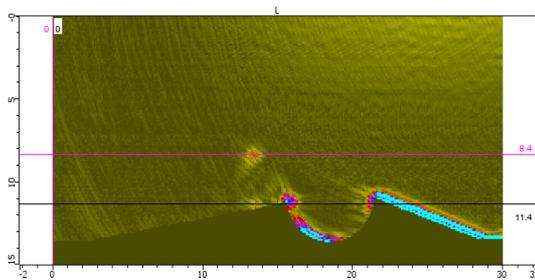
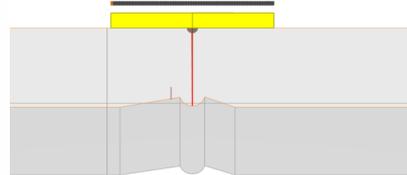
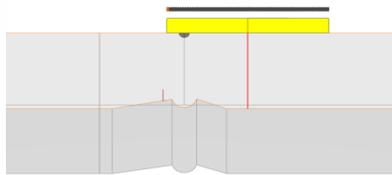
# Caractérisation en mode *direct* sur la maquette usinée



Les échos observés appartiennent-ils à un défaut plan ou à des défauts volumiques de type inclusion ?



Vérification en mode *direct* en déplaçant l'ouverture du transducteur



La rupture de l'écho de fond associé à l'écho de diffraction indique la présence d'un défaut plan débouchant

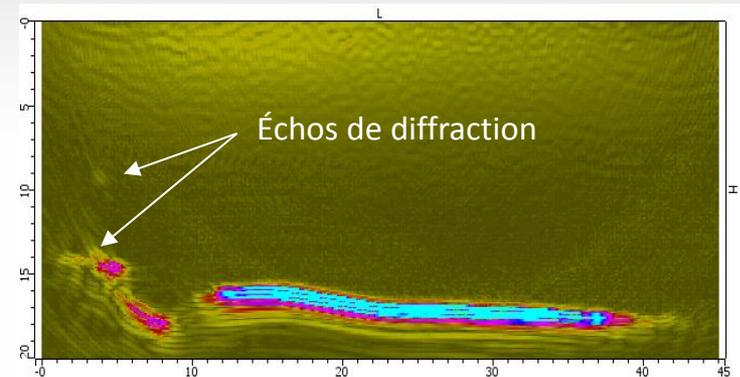
# Résultats en mode *direct* sur un coupon fissuré



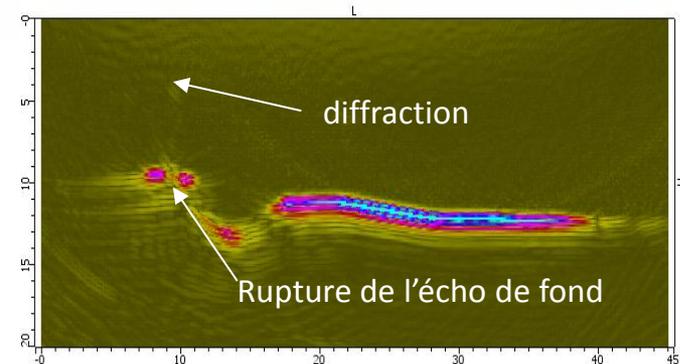
Les mesures expérimentales sur le coupon fissuré montrent que la technique FMC/FTP permet la **détection** et la **caractérisation** en mode *direct* d'une **fissure de fatigue**.

La hauteur mesurée est égale à la hauteur réelle du défaut à  $\pm 0,2$  mm (hauteur = 5mm)

Expérience – ouverture du capteur décalée



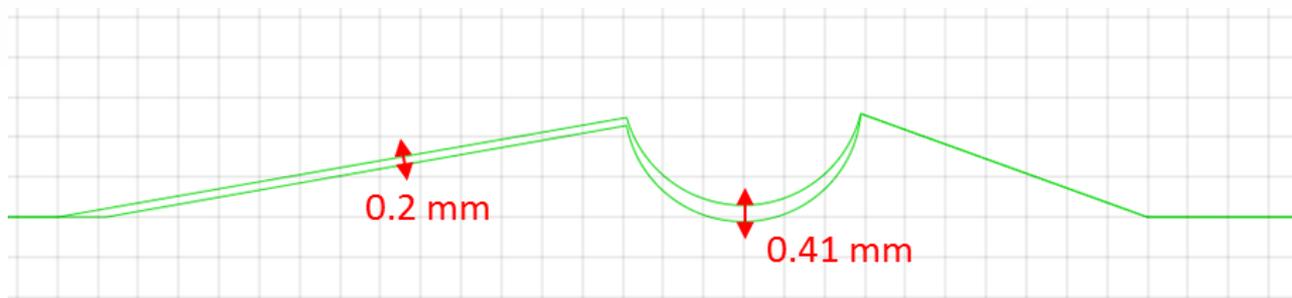
Expérience – ouverture du capteur au-dessus de la fissure



# Résultats en mode *écho de coin* – *reconstruction de profil*

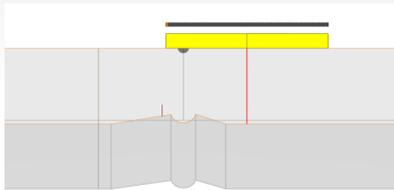
- I La connaissance du profil du fond de la pièce est nécessaire à la bonne reconstruction de l'image en mode *écho de coin*
- I CIVA dispose d'une option permettant d'obtenir cette reconstruction en exploitant l'imagerie FTP.
  - Donne de bons résultats lorsque le couplage transducteur/pièce est bon et lorsque la géométrie de la pièce à reconstruire est 2D

*Comparaison profil du fond de la maquette usinée*



# Résultats en mode écho de coin sur la maquette usinée

Recherche par simulation du mode de reconstruction le plus pertinent → LTdT

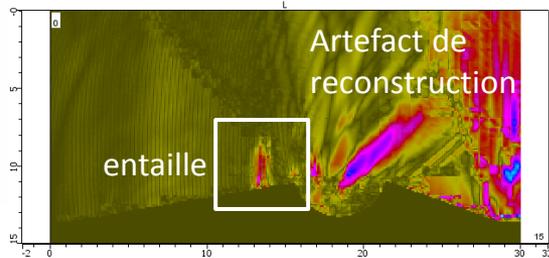


**Simulation**

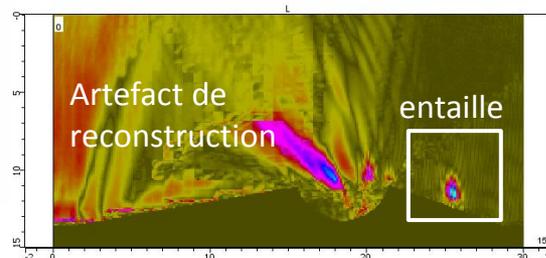


**Simulation**

Bonne estimation de la hauteur du défaut

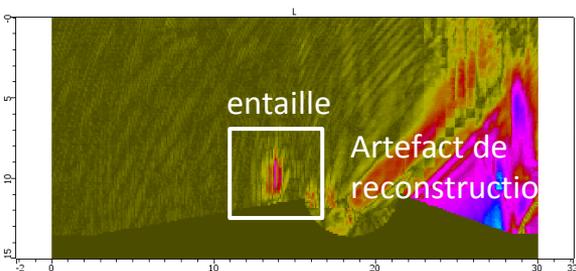


**Expérience**

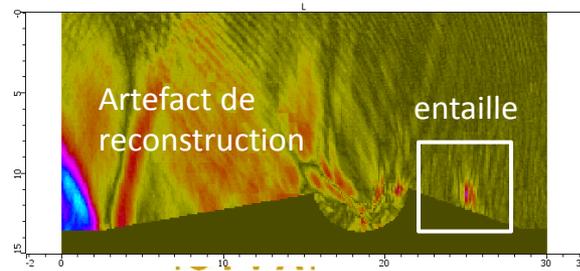


Bon accord entre simulation et expérience

Dimensionnement en hauteur par chute à -6 dB : OK si défaut de hauteur inférieure à la taille du faisceau US et non mélangé à un artefact de reconstruction



**Expérience**

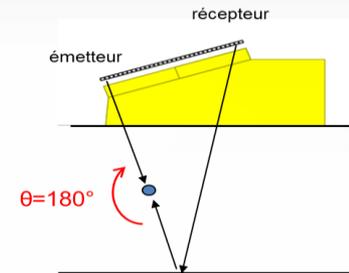


# Filtrage d'artefact

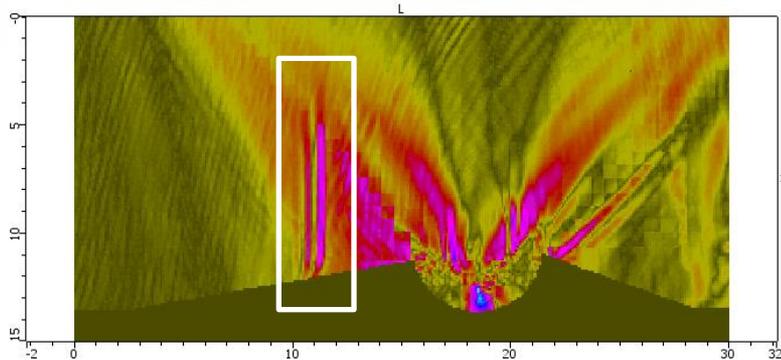
## Filtrage d'artefact :

- Option disponible dans CIVA 2016
- Filtre les artefacts causés par l'écho de fond dans les reconstructions en mode *écho de coin*
- Elimination des trajets sans sens physique

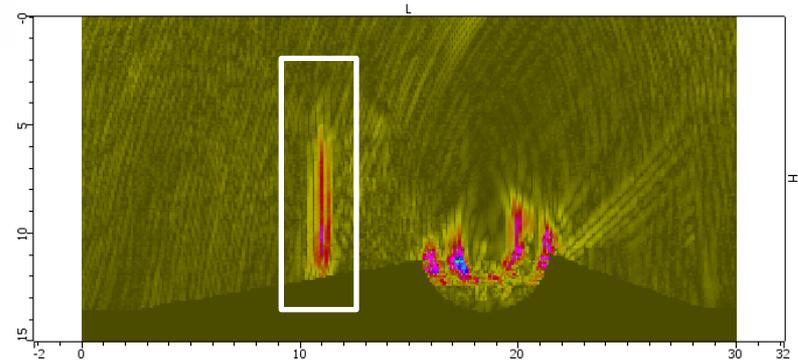
$$f(\theta) = \cos^2(\theta/2) = \frac{1 + \cos(\theta)}{2}$$



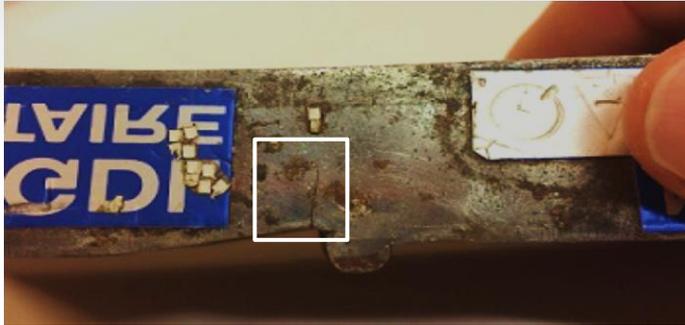
**Sans filtrage d'artefact**



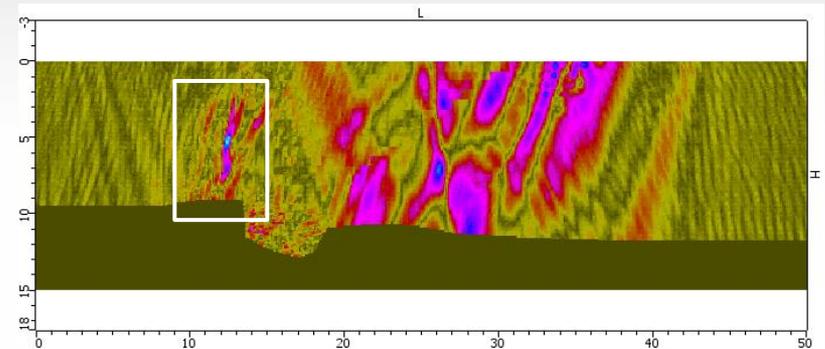
**Avec filtrage d'artefact**



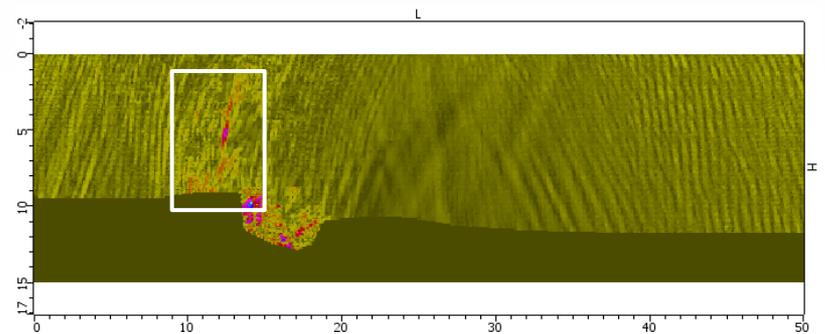
# Résultats en mode écho de coin sur un coupon fissuré



Sans filtrage d'artefact



Avec filtrage d'artefact



Présence d'une signature acoustique à la position de la fissure

Reconstruction moins « nette » que celle d'une entaille usinée

→ géométrie complexe (coupon vrillé)

→ Couplage pièce/traducteur non-optimal

Caractérisation possible mais plus délicate

# Conclusion

- | Mise en place par **simulation et validation expérimentale** d'une **méthodologie avancée** pour détecter et caractériser des fissures de fatigue thermique avec CIVA
- | Très **bon accord** simulation/expérience
  - **Détection :**
    - En mode LL
    - Observation de l'écho de diffraction ou de rupture de l'écho de fond
  - **Caractérisation :**
    - En mode LL : observation de l'écho de diffraction haute + rupture de l'écho de fond
    - En mode *écho de coin* LTdT : reconstruction du défaut sur sa hauteur

MERCI POUR VOTRE  
ATTENTION