



**Innover**  
en mécanique

# Caractérisation de fissures par tomographie à rayons X

Les enjeux

Les moyens d'acquisition

Les outils de caractérisation

Exemples de caractérisation simples

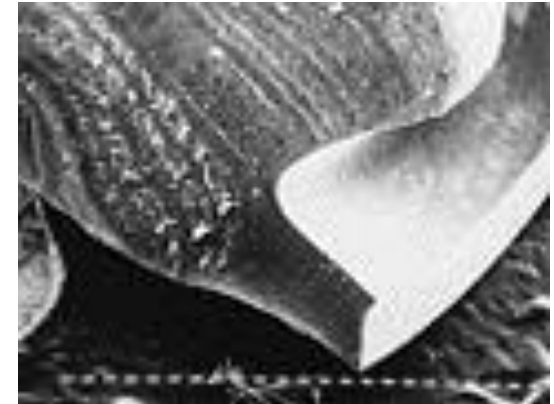
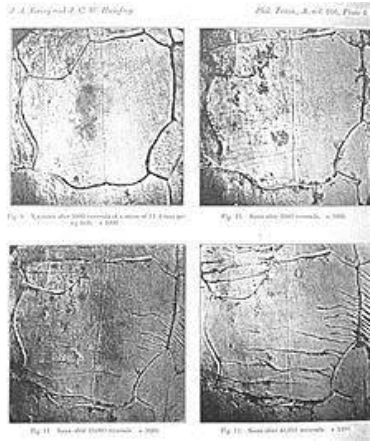
Exemple de caractérisation évoluée

Conclusion

Présentation réalisée par Sébastien BRZUCHACZ  
Coordinateur Métier Tomographie  
[Sebastien.brzuchaz@cetim.fr](mailto:Sebastien.brzuchaz@cetim.fr)  
Tél :03 44 67 23 33

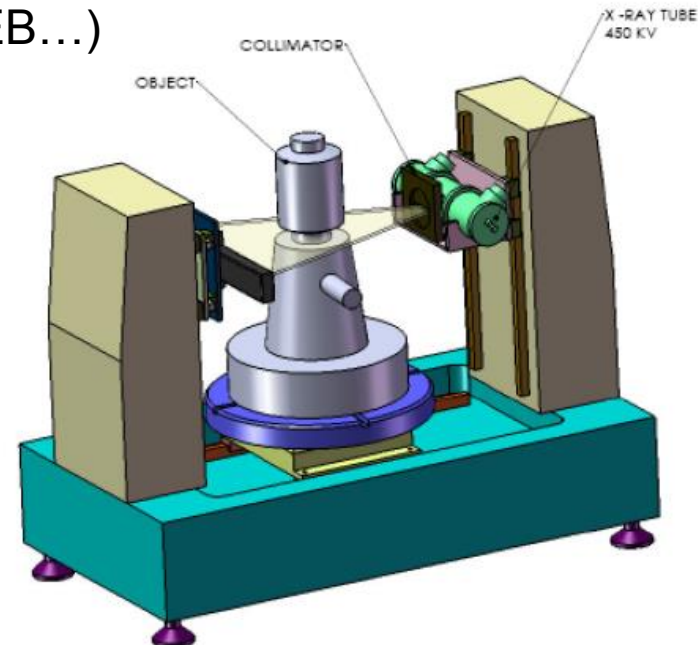
# Les enjeux de la caractérisation de fissures

- Domaines concernés et problématique rattachée :
  - Analyse de défaillance : apparition de la fissure
  - Fatigue des matériaux : loi de propagation
  - Contrôle non destructif : critère d'acceptation
  - Diagnostique d'installations industrielles : durée de vie
- Forme, dimensions et chemin de propagation des fissures fournissent une information sur leur origine et leur devenir



# Les enjeux de la caractérisation de fissures

- Démarche classique de la caractérisation de fissure :
  - Réalisation d'un cnd : surfacique (ressuage) en général pour repérer la fissure, complété par un volumique (radiographie) quelques fois ;
  - Découpe de la pièce au niveau de la fissure détectée en surface
  - Réalisation de coupes métallographiques
  - Analyse des échantillons (binoculaire, MEB...)
- Apport de la tomographie :
  - Détection en surface et en profondeur
  - Numérisation 3D
  - Caractérisation numérique



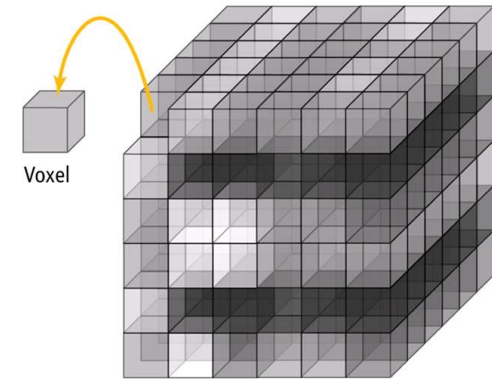
# Les moyens d'acquisition

- Choix de l'équipement dicté par les dimensions de l'objet analysé et de la fissure à caractériser
- Limitation résolution vs dimensions/matériau : caractérisation limitée pour les pièces volumineuses ou en matériau dense

Type	Nano tomographe	Micro tomographe	Macro tomographe		Scanner médical	Synchrotron
Caractéristiques						
Tension max	180 kV	240 kV	150 à 600 kV	1 à 15 MeV	160 kV	~450kV
Taille foyer	<1 $\mu$ m	1 à 5 $\mu$ m	0,4 à 1mm	0,5 à 2mm	1mm	<1 $\mu$ m
Type détecteur	plan	plan	Linéaire ou plan	Linéaire ou plan	Module de linéaires	Plan
D <sub>max</sub> objet	120mm	200mm	1m	>> 1m	1m	500mm
Résolution max	0,5 à 1 $\mu$ m	1 à 10 $\mu$ m	0,1 à 0,5mm	0,5 à 1mm	0,1 à 0,5mm	0,5 à 1 $\mu$ m

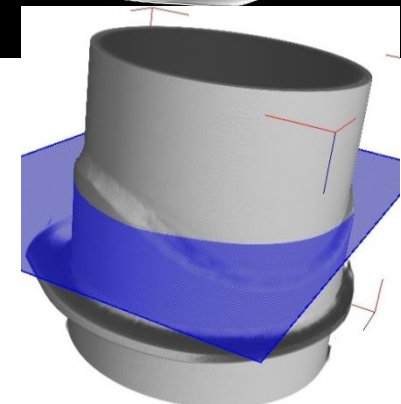
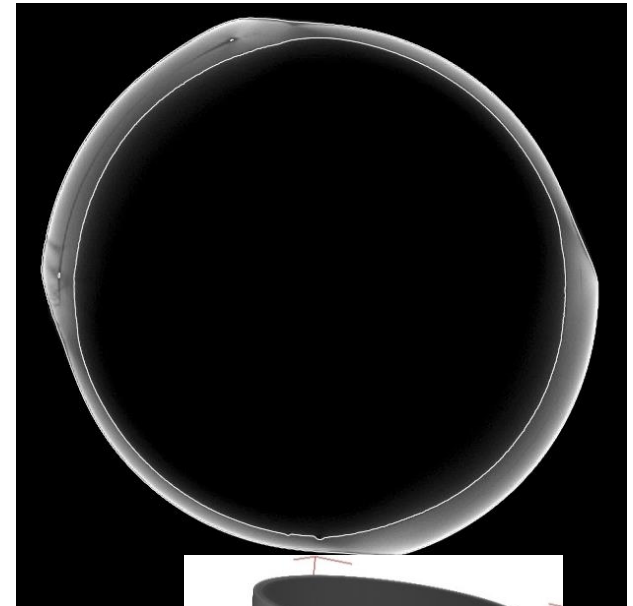
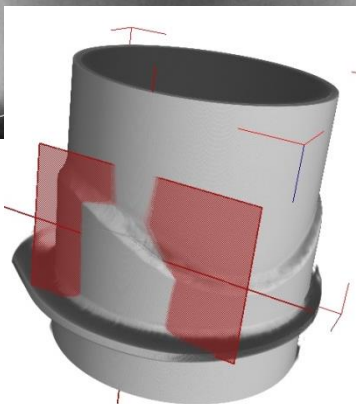
# Les outils de caractérisation

- Fonctions nécessaires :
  - Visualisation 2D et 3D
  - Outils de mesure simple : angle, distance
  - Outils de traitement d'image :
    - Algorithme de seuillage
    - Filtres numériques : réduction du bruit, netteté de l'image, segmentation ...
- Différentes stratégies possibles en fonction du contexte de la caractérisation et de son degré de sophistication :
  - Utilisation de logiciel clé en main
  - Utilisation de logiciel dédié au traitement d'image
  - Développement d'un outil de caractérisation



# Exemples de caractérisation simple

## Soudure de 2 tubes métalliques emmanchés



# Exemples de caractérisation simple

- Orientation des coupes métallographiques

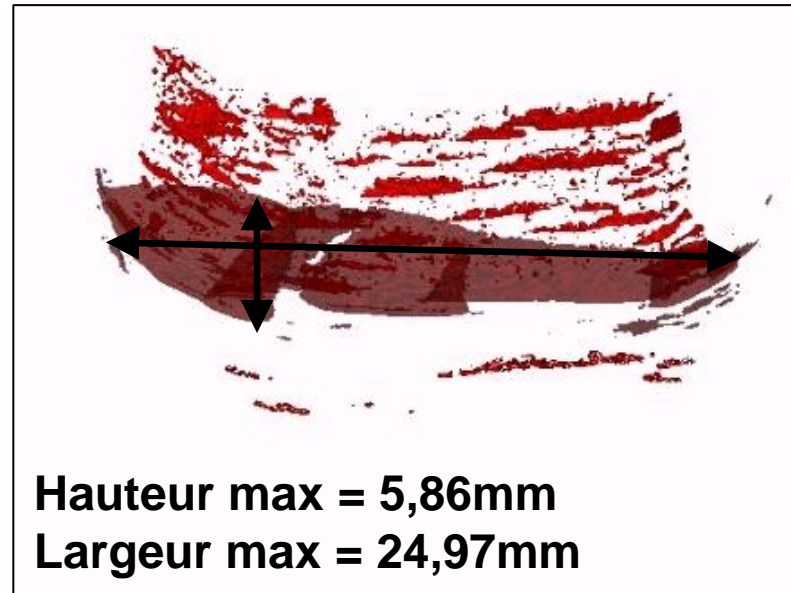
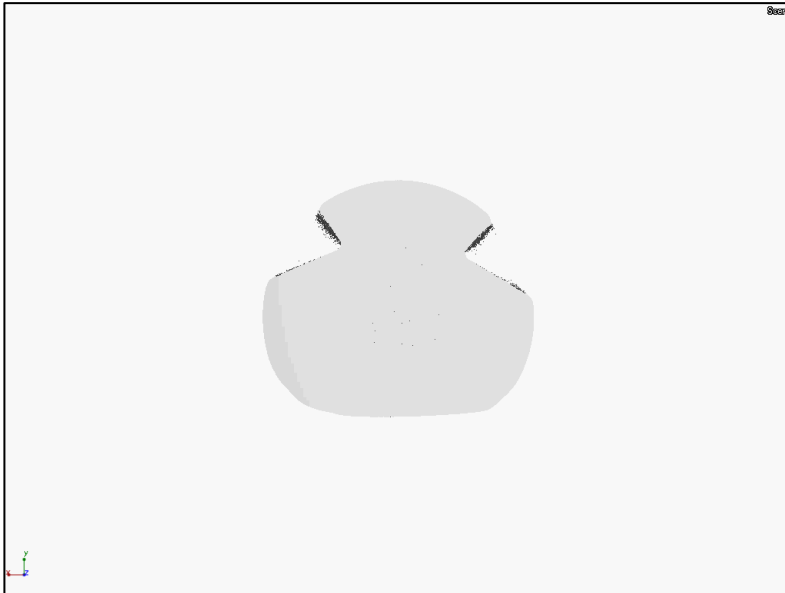




# Exemples de caractérisation simple

## Fissure de fatigue dans une barre métallique

- Fissure relativement ouverte, segmentée par simple seuillage
- Extraction de la fissure pour détermination hauteur et largeur maximales

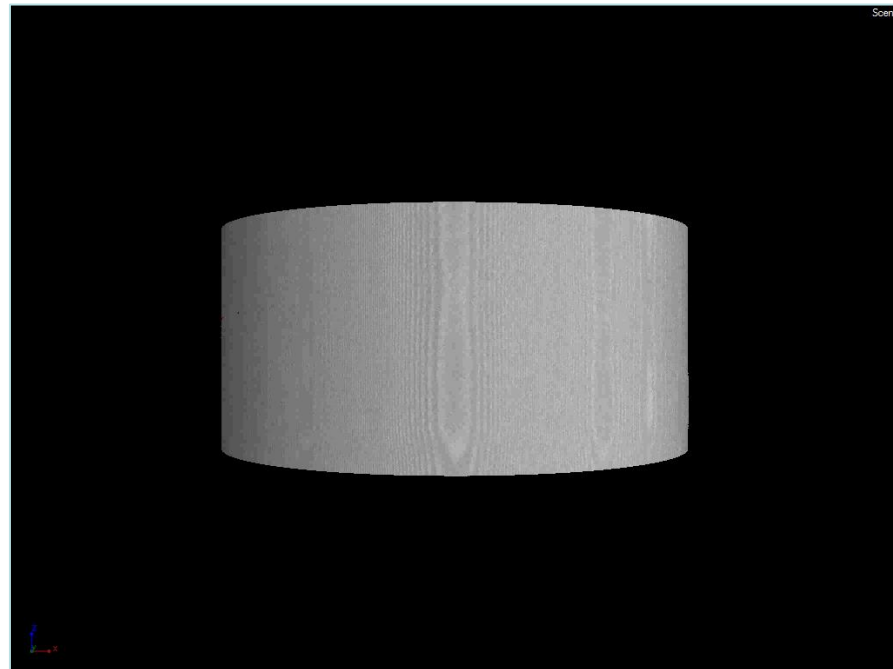


# Exemple de caractérisation évoluée

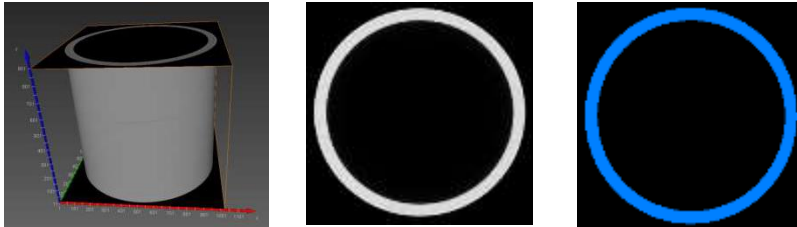
## Détermination de la profondeur de fissures circumférentielles dans des tubes métalliques en fonction de la position angulaire

- Fissures fermées, ramifiées, ne se propageant pas dans un plan
- Nécessité de développer un outil d'extraction et de caractérisation pour traiter précisément l'ensemble des fissures présentes dans le volume scanné

- Micro-tomographie à 20 $\mu$ m
- Segmentation avec VGS Max



# Exemple de caractérisation évoluée



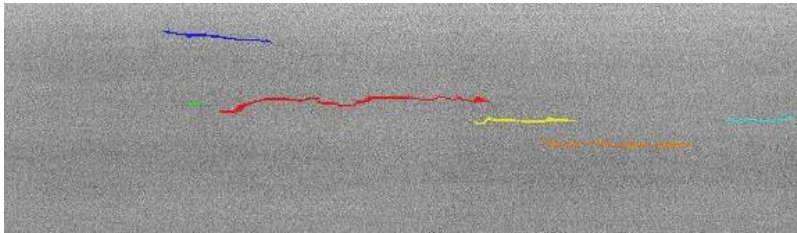
## Préparation données

- Chargement de l'empilement d'images de la zone traitée
- Détermination de la surface du tube
- Création d'un développé du tube à partir de la surface externe



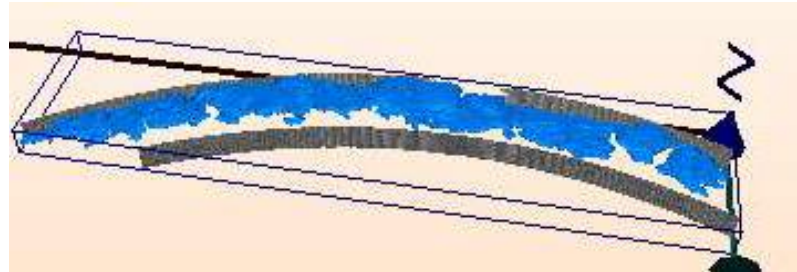
## Extraction des fissures

- Filtrage du volume pour réduire le bruit
- Détection des fissures par seuillage des niveaux de gris à partir de la surface externe
- Sélection manuelle des fissures et création d'un volume indépendant
- Segmentation 3D de la fissure à partir du germe 2D



## Caractérisation des fissures

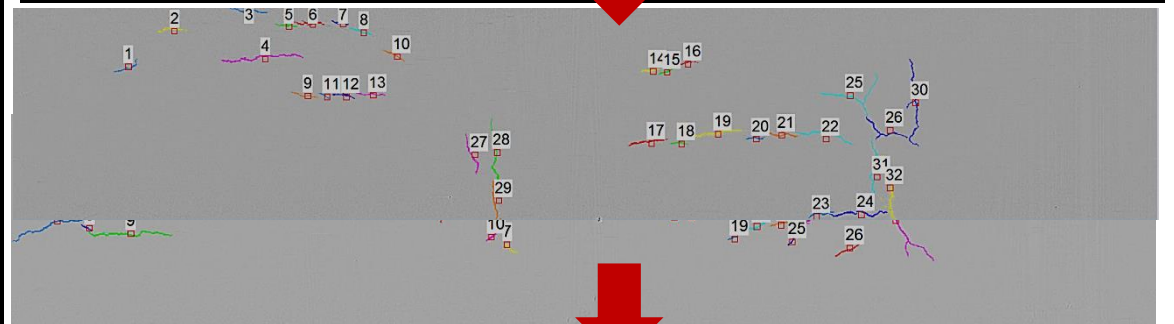
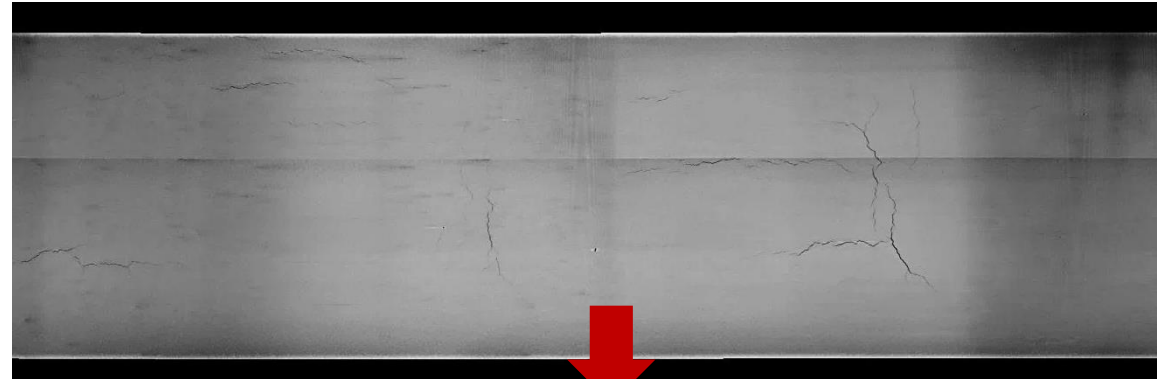
- Détermination du secteur angulaire couvert par la fissure sélectionnée
- Relevé des variations d'altitude min et max
- Détermination de la profondeur de la fissure en fonction de l'azimut



Id	Z min (Pixel)	Z min (mm)	Z max (Pixel)	Z max (mm)	Epais. min (mm)	Epais. max (mm)	Epais. moy (mm)	Prof. min (mm)	Prof. max (mm)
1	400	8.00	432	8.64	0.02	0.22	0.10	0.10	0.10

# Exemple de caractérisation évoluée

- Tomographie synchrotron à 13 $\mu$ m, caractérisation complète avec outil développé sous Visilog



N° Fissure	Visualisation 3D	Profil de profondeur		Valeurs numériques		
		Profondeur	Angle en degrés		pixel	mm
1			Zmin	397	5,42	
			Zmax	466	6,37	
			Prof. Min		0,01	
			Prof. Max		0,2	
			Secteur angulaire	23		
			Début	7		
			Fin	30		

# Conclusion

---

- La tomographie combinée au traitement d'image numérique peut être un bel outil de caractérisation des défauts de santé-matière, comme les fissures
- Limitations :
  - La technologie d'acquisition limite les caractérisations fines aux petits objets ou nécessite une destruction partielle de l'objet scanné afin d'en réduire le volume
  - Les outils de caractérisation des fissures ne sont pas très développés en raison de la difficile généralisation des traitements à tous les cas de figure
- Perspectives :
  - Développements d'outils de caractérisation plus dédiés aux fissures
  - L'extraction 3D et la quantification numérique amèneront à de nouvelles applications en simulation (CND, fatigue, diagnostique des ESP....)



**Innover**  
en mécanique