



**HAL**  
open science

## Modelling of wear defects under anti vibration bars in U-bend for the Eddy Current inspection of Steam Generator tube

Audrey Vigneron, Edouard Demaldent, Thierry Sollier, Jean-Marc Decitre

► **To cite this version:**

Audrey Vigneron, Edouard Demaldent, Thierry Sollier, Jean-Marc Decitre. Modelling of wear defects under anti vibration bars in U-bend for the Eddy Current inspection of Steam Generator tube. Journées COFREND 2023, Jun 2023, Marseille, France. 28500 (6 p.), 10.58286/28500 . cea-04520445

**HAL Id: cea-04520445**

**<https://cea.hal.science/cea-04520445>**

Submitted on 25 Mar 2024

**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.

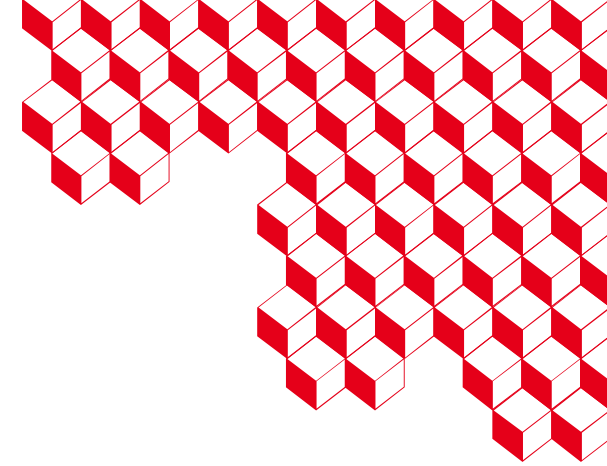
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



# **Modélisation des usures sous barres antivibratoires pour l'inspection par courants de Foucault des tubes de générateurs de vapeur**

Audrey Vigneron<sup>1</sup>, Edouard Demaldent<sup>1</sup>, Thierry Sollier<sup>2</sup>, Jean-Marc Decitre<sup>2</sup>

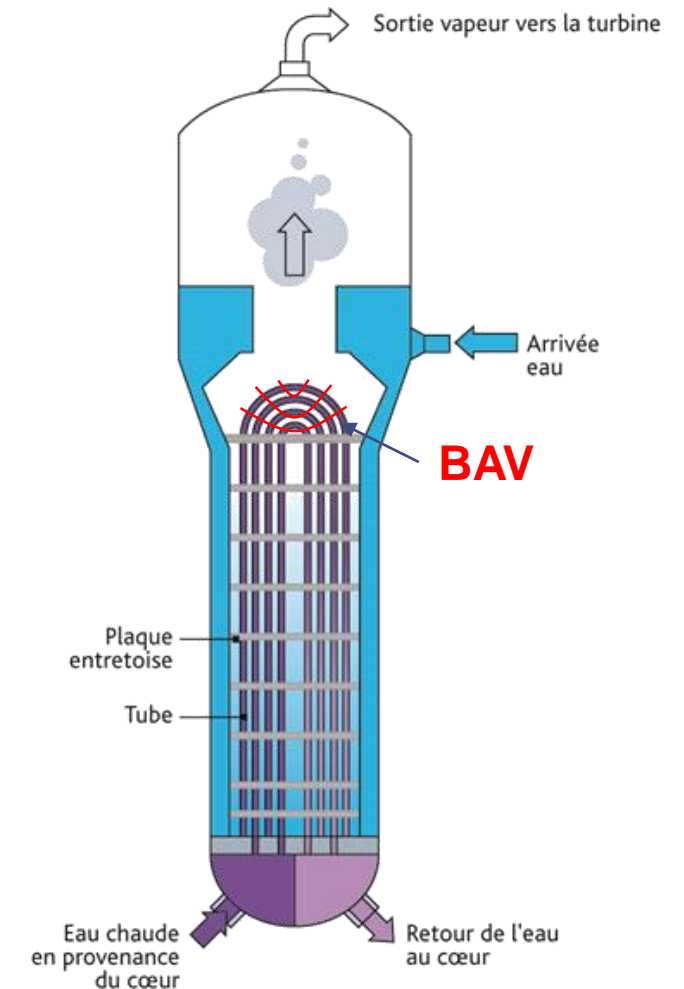
<sup>1</sup> Université Paris-Saclay, CEA LIST

<sup>2</sup> IRSN

**Journées COFREND 2023, Marseille**

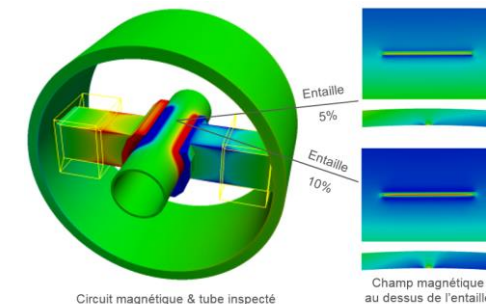
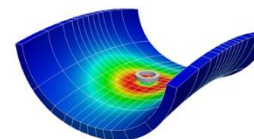
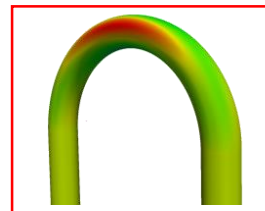
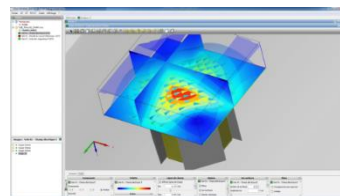
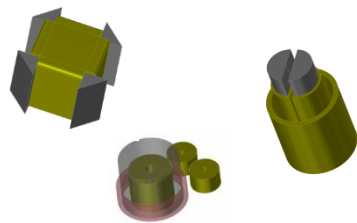
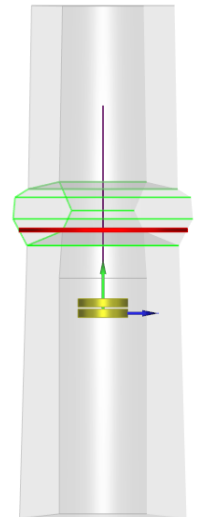
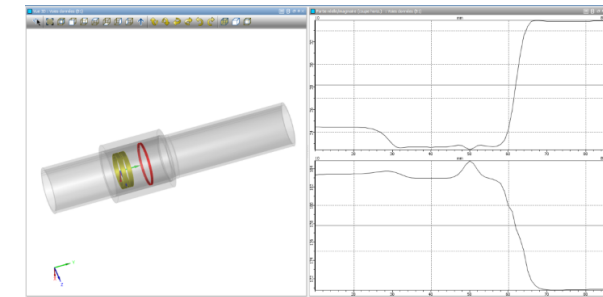
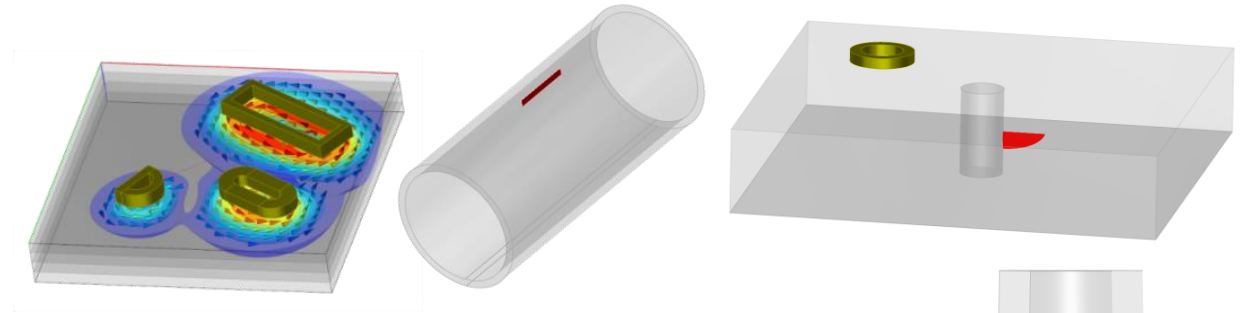
# Contexte et motivations

- ❑ Les barres anti-vibratoires (BAV) limitent les phénomènes vibratoires au niveau du chignon du faisceau tubulaire (cintres)
- ❑ Les BAV sont positionnées entre les tubes de générateur de vapeur (GV) et peuvent générer des usures de frottements fragilisant les tubes
- ❑ Les indications à détecter lors des contrôles courants de Foucault (CF) sont
  - Les usures sous BAV
  - Les pertes de matière
  - Les usures liées aux pertes de matière→ Afin de prévenir la rupture de tube
- ❑ L'objectif de l'étude entre le CEA LIST et l'IRSN est de valider un outil de simulation de l'inspection CF des tubes GV permettant la mise en œuvre d'études paramétriques



# Contexte et motivations

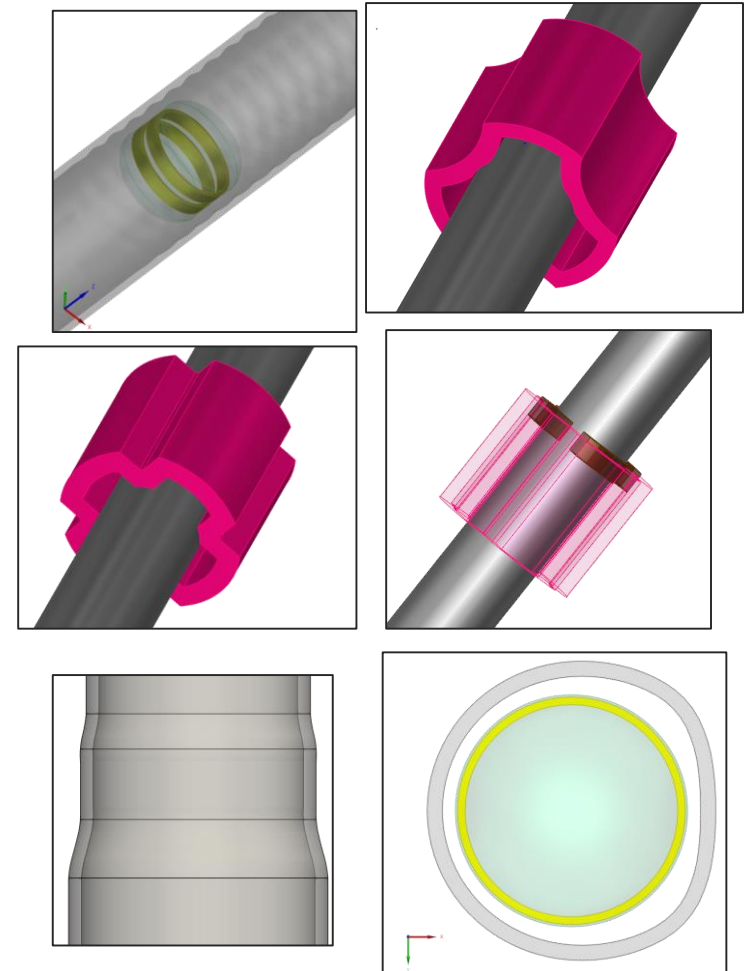
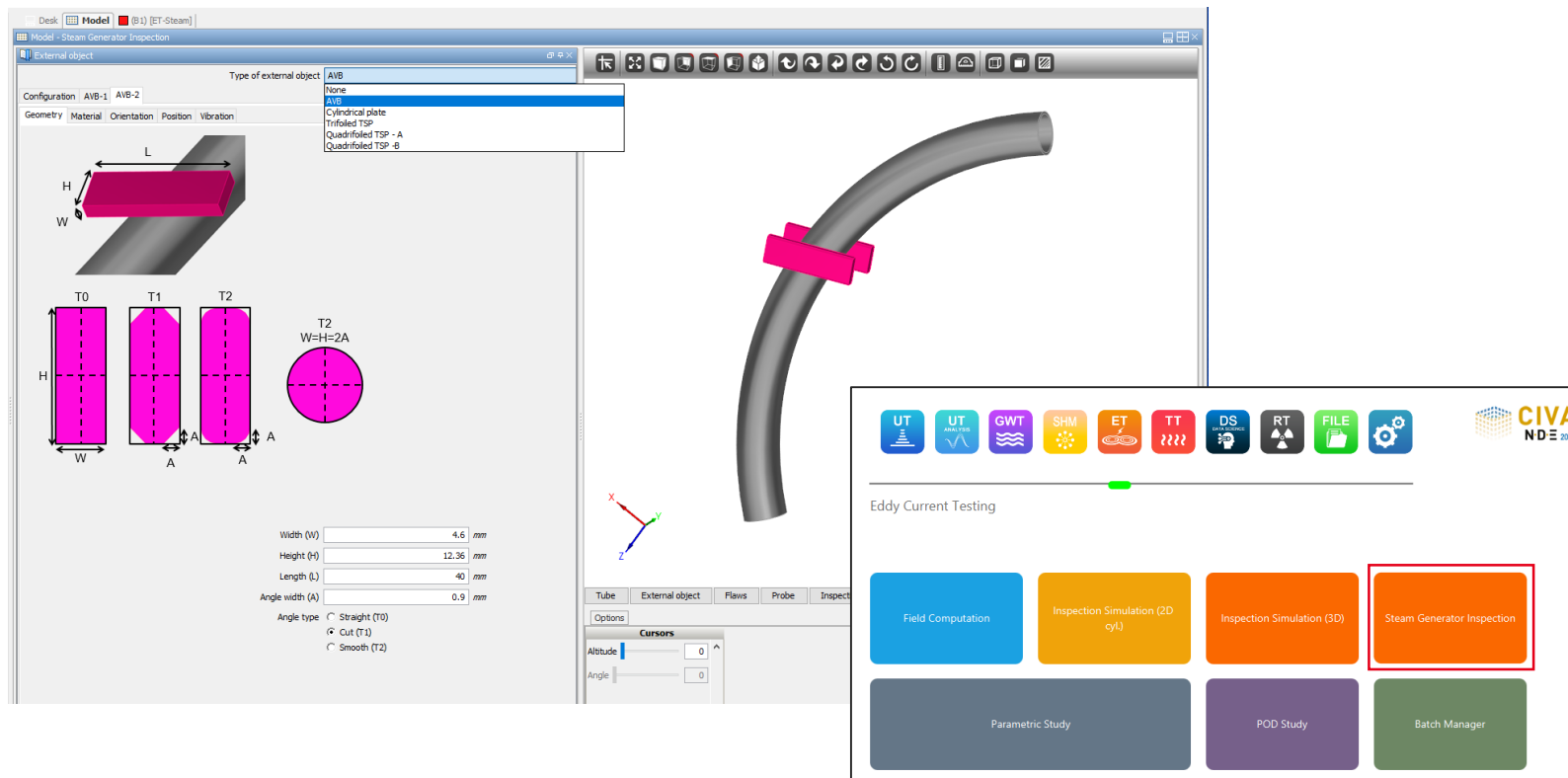
- ❑ Approche semi-analytique (méthodes modales)
  - Calculs rapides et précis
  - Limitée aux géométries canoniques
- ❑ Solveur 2D basé sur la méthode Finite Integration Technique (FIT)
  - Approche numérique 2D
- ❑ **Solveur 3D basé sur la méthode des éléments finis de frontière**
  - Pièces et capteurs de géométries complexes



Circuit magnétique & tube inspecté

# Module CIVA CF « inspection des tubes GV »

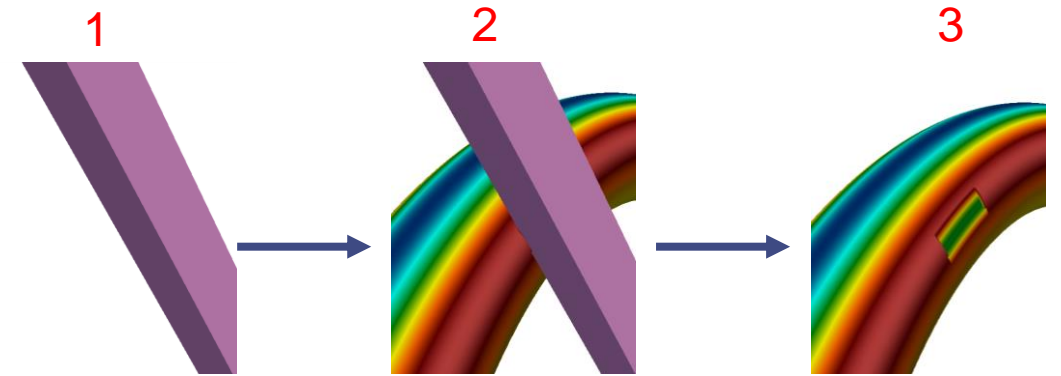
- ❑ Développement et validation d'un module de la plateforme **CIVA NDE I** dédié à l'inspection complète des tubes de générateur de vapeur



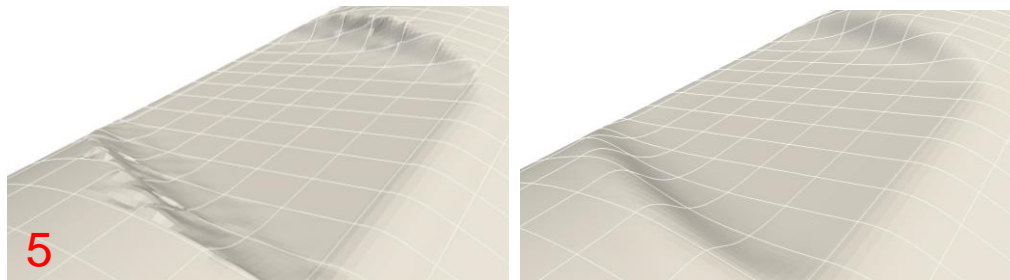
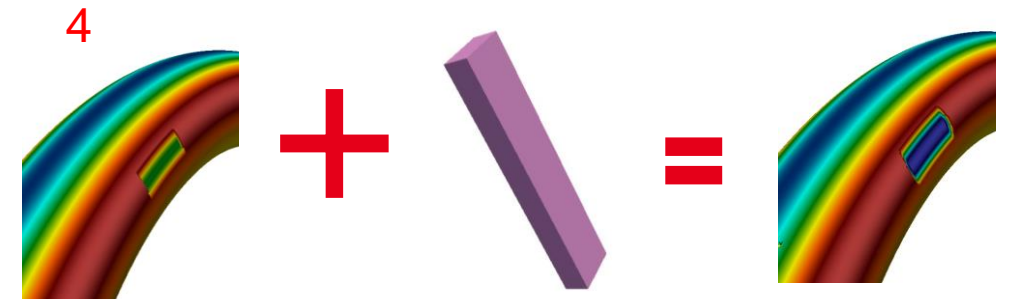
# Modélisation de l'usure sous BAV

□ L'usure par vibration sous un objet externe est définie par

1. Le maillage de l'objet extérieur
2. La position de l'objet externe par rapport au tube
3. La déformation de la paroi externe du tube

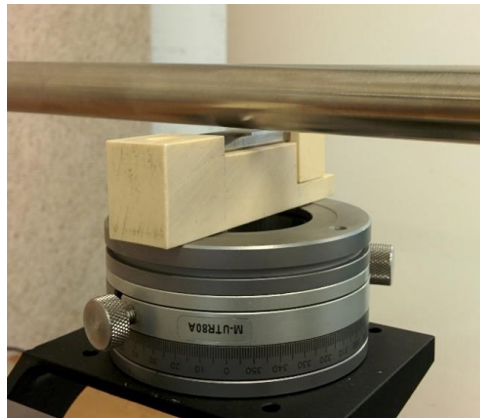


4. Introduction d'une vibration de l'objet pour représenter une usure de frottement
5. Procédure de lissage en post-traitement



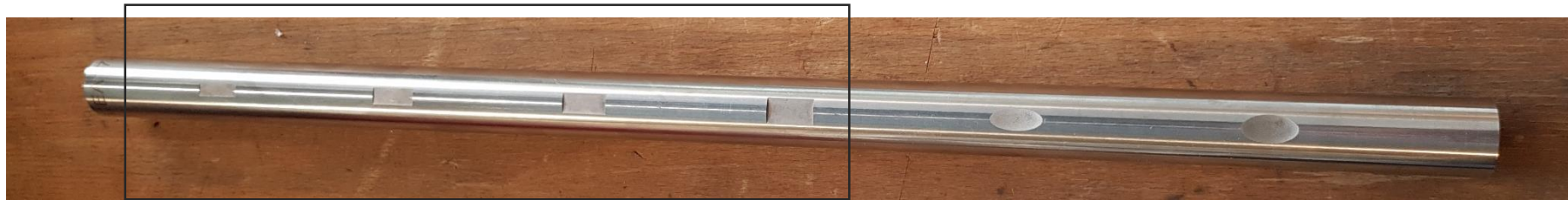
# Validations expérimentales : configuration

- ❑ Sonde : 2 bobines axiales (SAX)
- ❑ Appareil de mesure/alimentation : Impédance-mètre
- ❑ Fréquence : 280 kHz (Mode différentiel)
- ❑ Défaut étalon : 4 trous traversants  $\Phi 1$  (Amplitude = 1700 mV, Phase =  $-35^\circ$ )
- ❑ Matériau des BAV : Inconel 600
- ❑ Réglage micrométrique de la distance BAV/tube et l'angle de la BAV par rapport à l'axe du tube

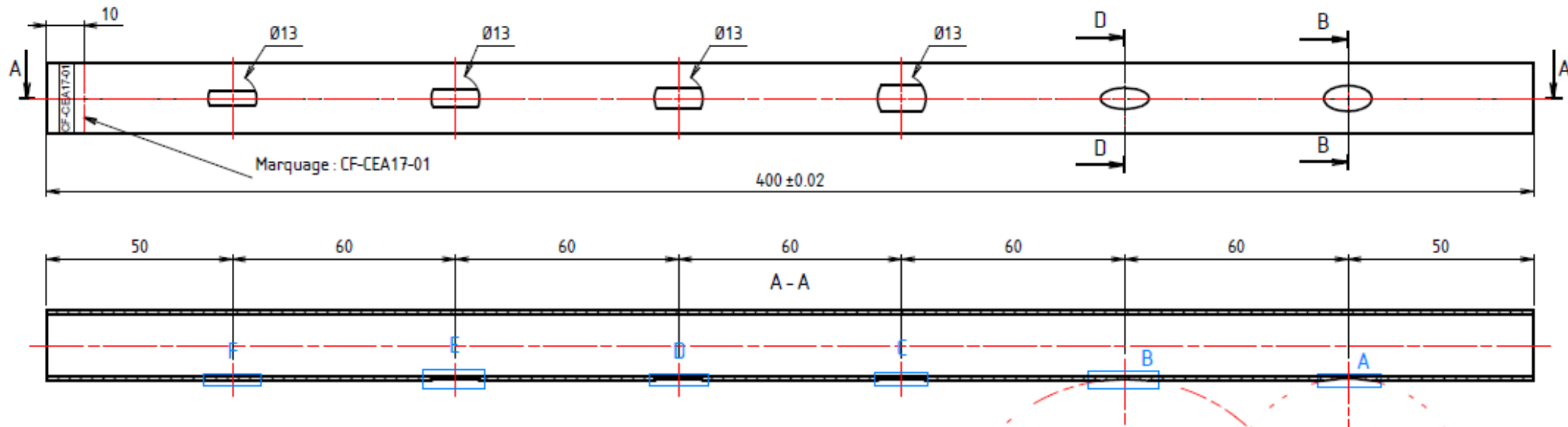


# Validations expérimentales : échantillons de tube

- ❑ 2 Echantillons de tubes GV de 19,05 mm de diamètre externe en inconel 690
  - 1 tube avec méplats à fond rectangulaire usinés à différents profondeurs (20 %, 40 %, 60 % et 80 %)
  - 1 tube d'étalonnage de la sonde SAX



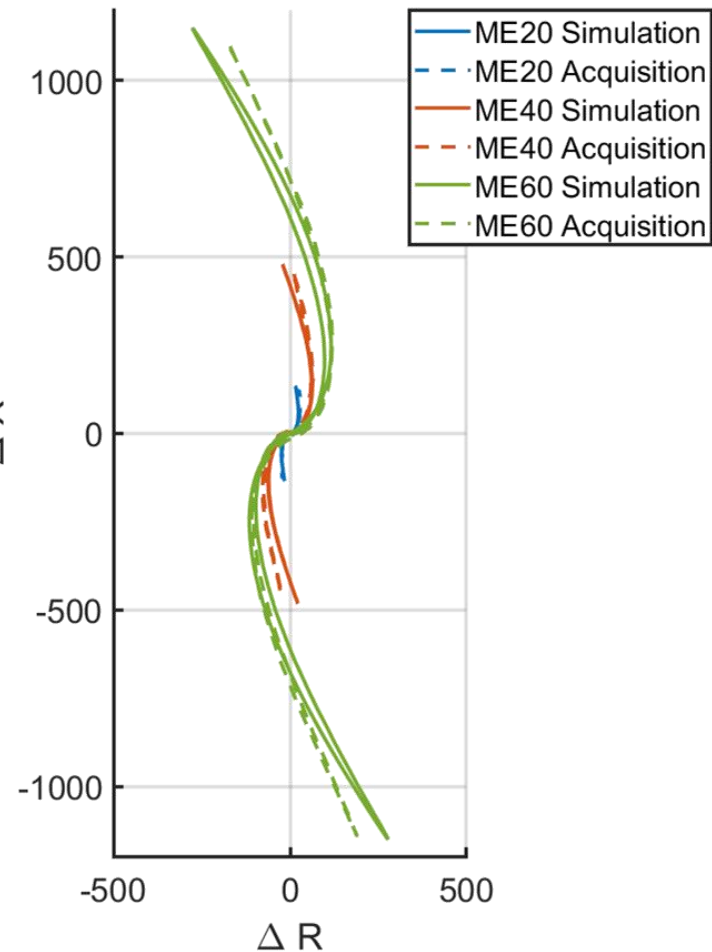
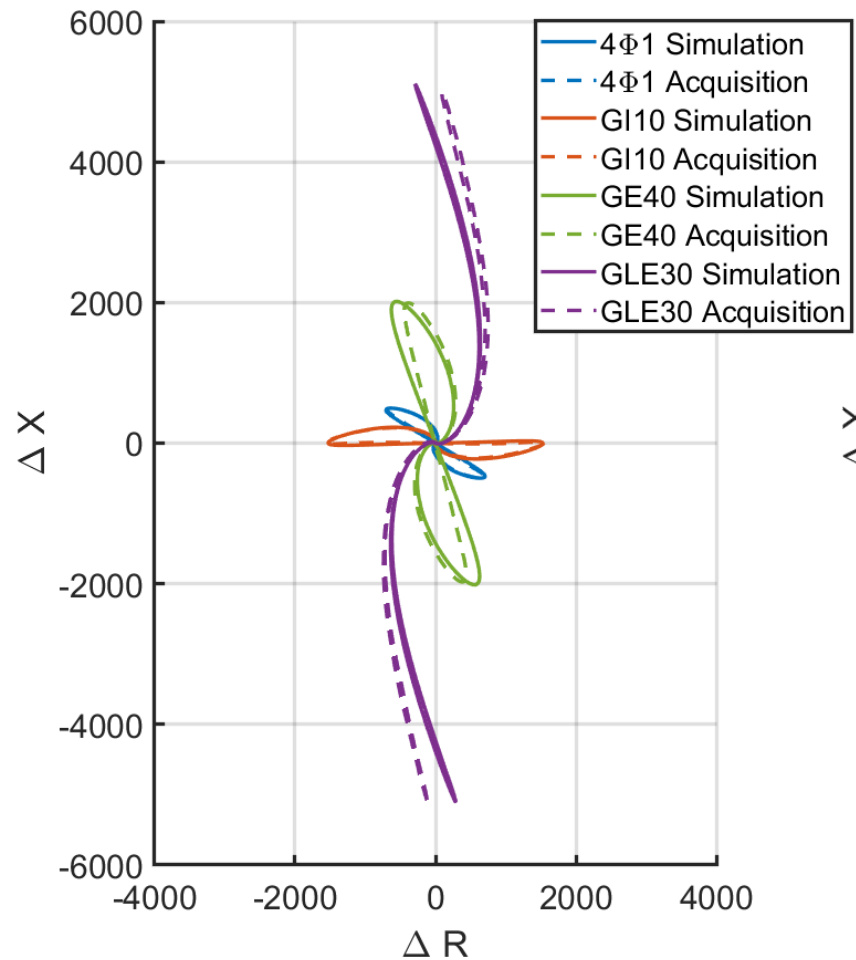
20%      30%      40%      60%



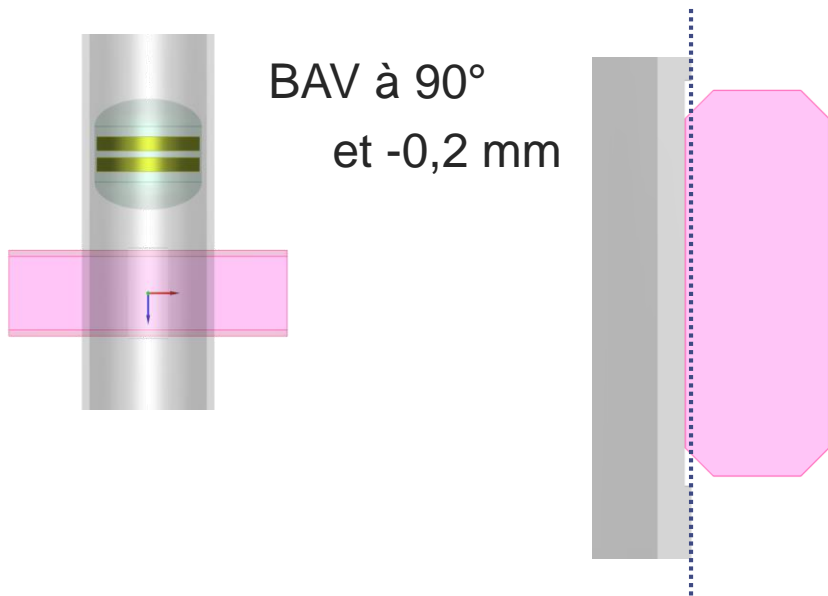


# Validation expérimentale : Défauts étalons et méplats

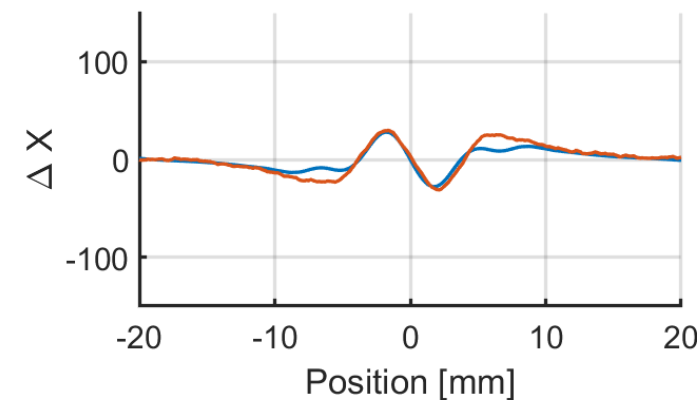
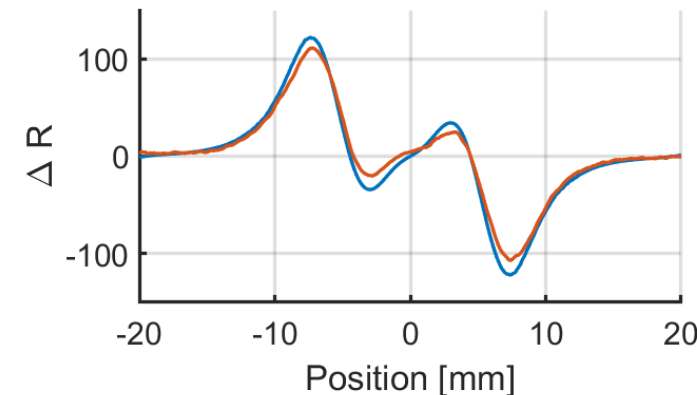
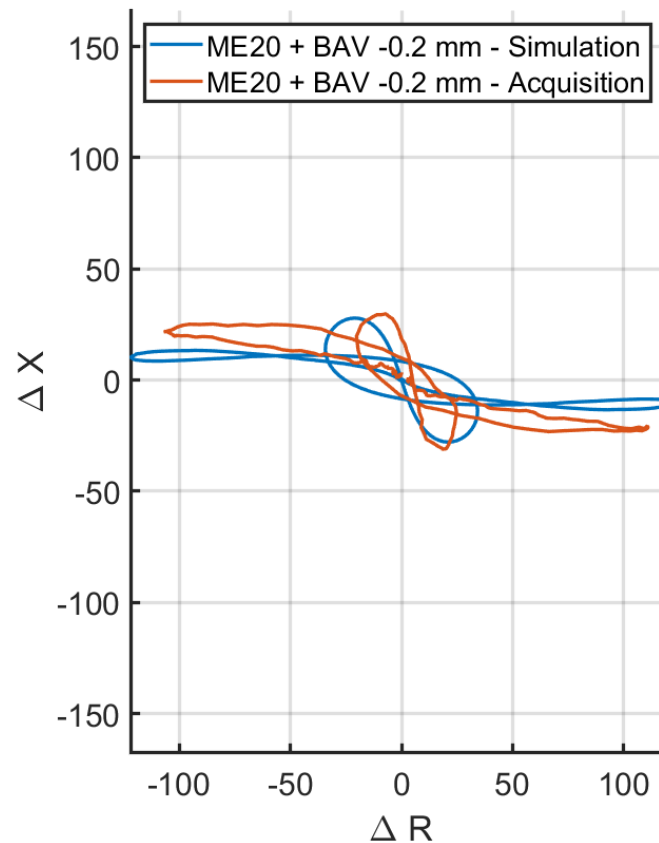
	Différence d'amplitude (%)	Différence de phase (°)
<b>Gorge interne 10%</b>	1,31	0,07
<b>Gorge externe 40%</b>	3,45	4,57
<b>Gorge large externe 30%</b>	0,74	4,33
<b>4Φ1</b>	0	0
<b>Méplat 20%</b>	4,80	3,91
<b>Méplat 40%</b>	4,54	4,77
<b>Méplat 60%</b>	3,69	4,33



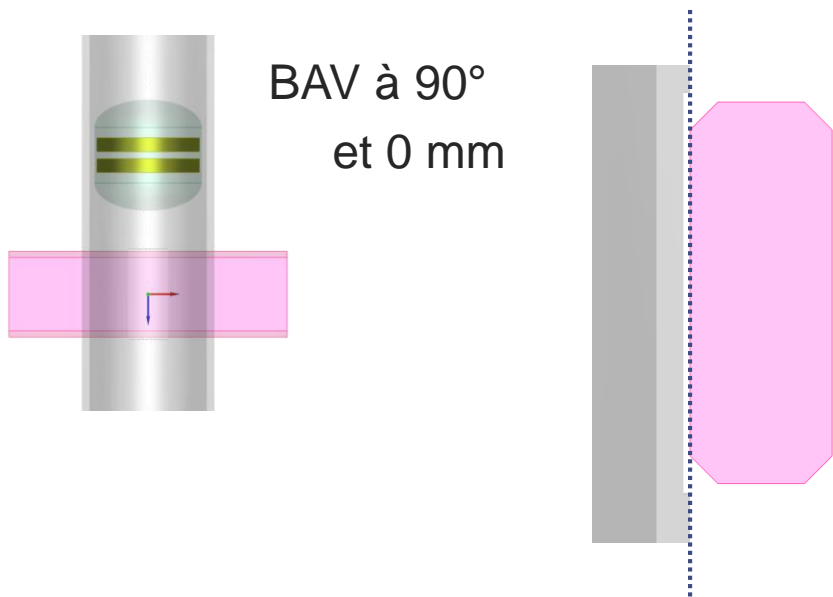
# Validation expérimentale : Méplat 20 % en présence d'une BAV



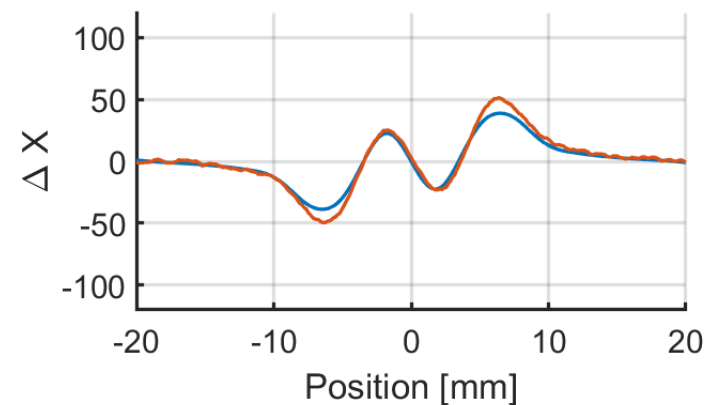
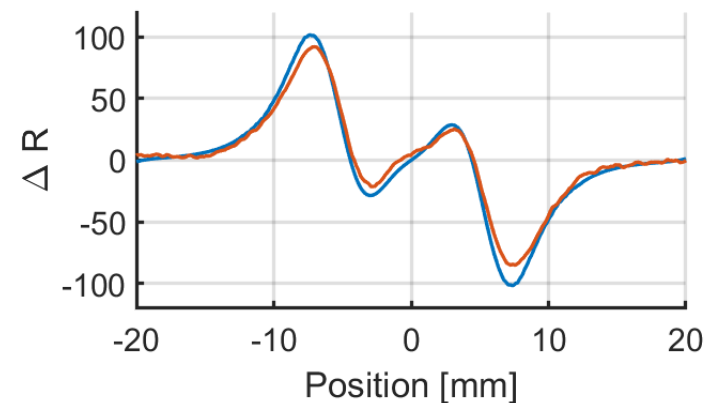
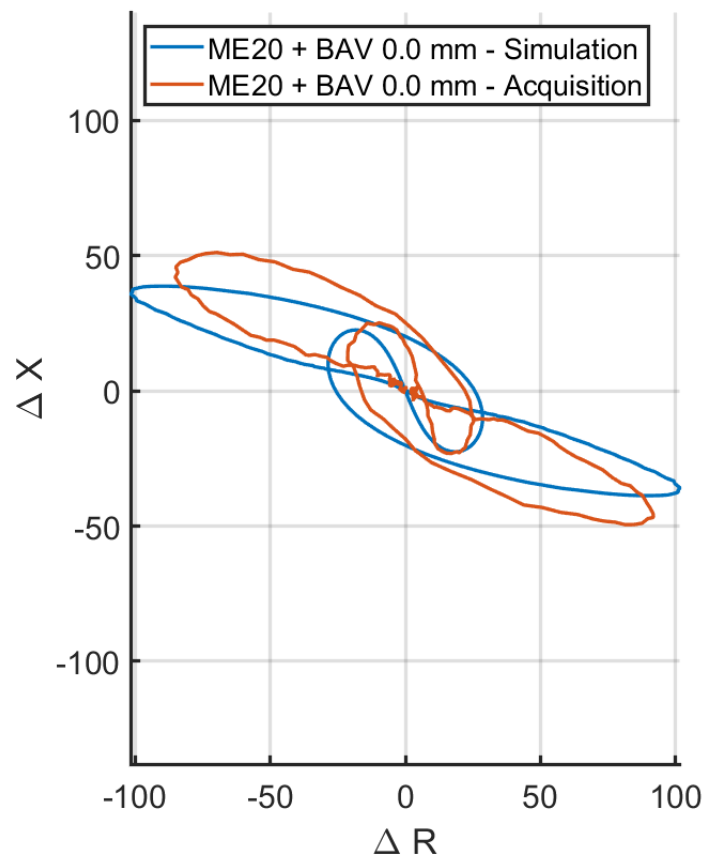
	-0,2 mm	0,0 mm	0,2 mm
Amplitude (mV)	245	216	205
Phase (°)	-5	-19	-35



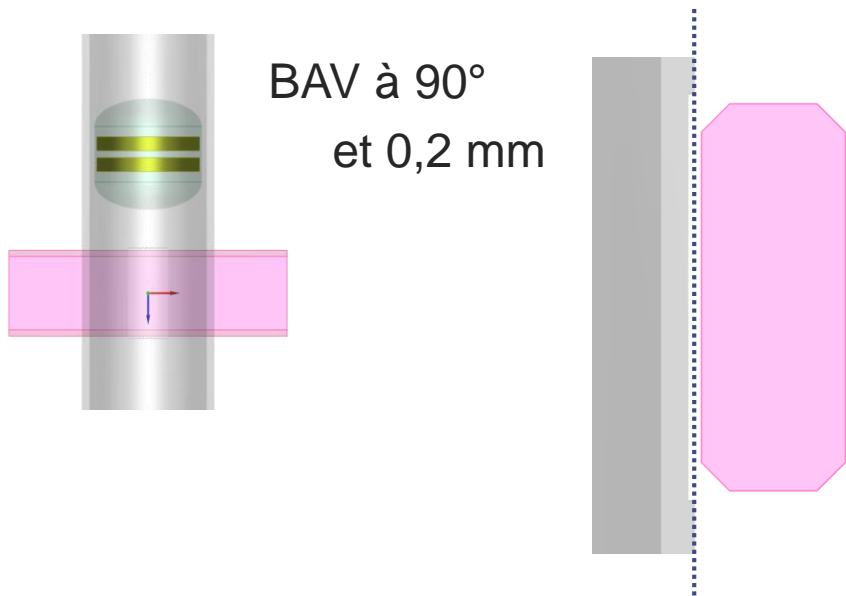
# Validation expérimentale : Méplat 20 % en présence d'une BAV



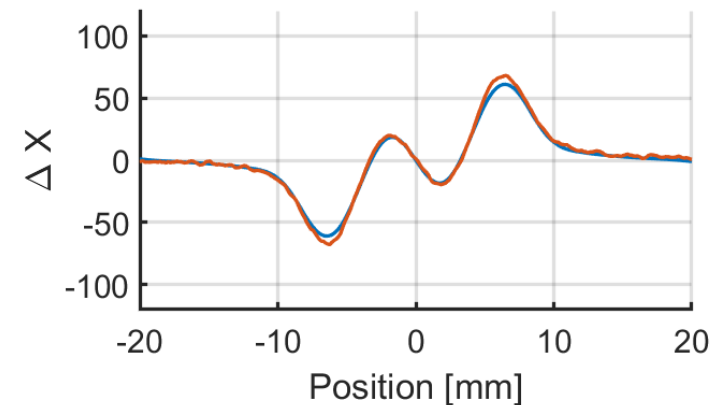
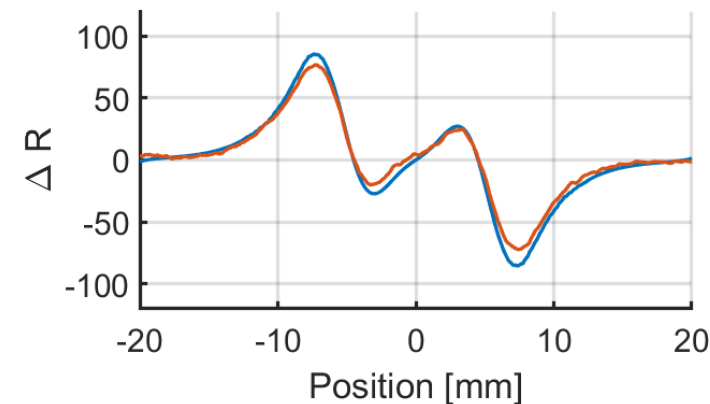
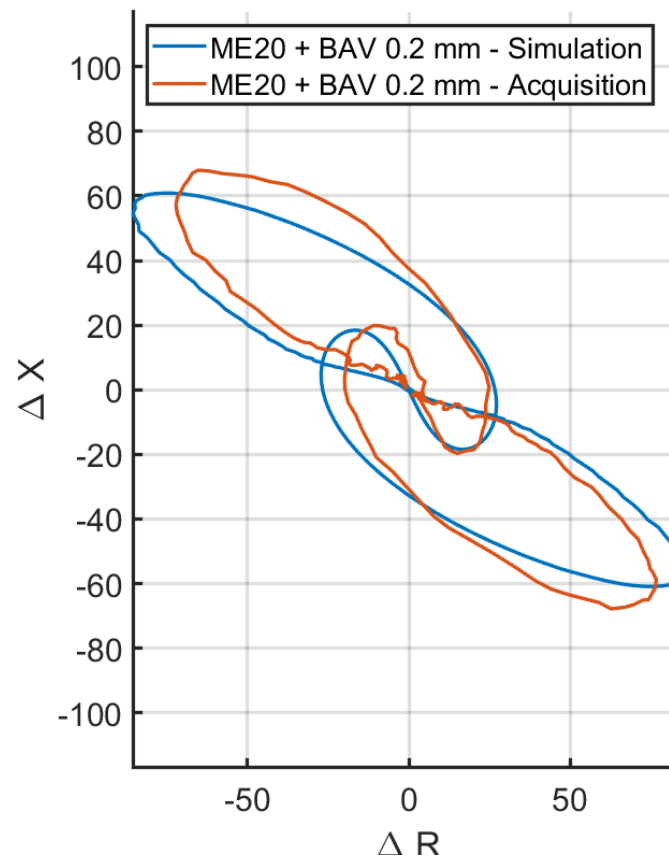
	-0,2 mm	0,0 mm	0,2 mm
Amplitude (mV)	245	216	205
Phase (°)	-5	-19	-35



# Validation expérimentale : Méplat 20 % en présence d'une BAV

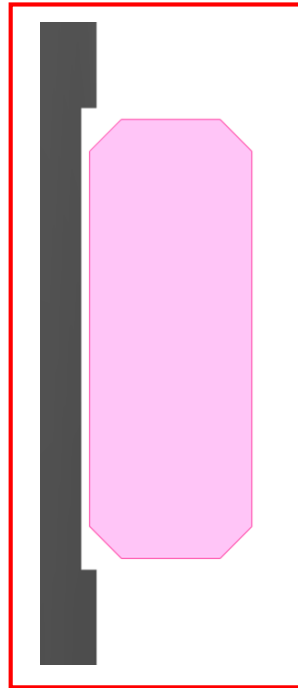
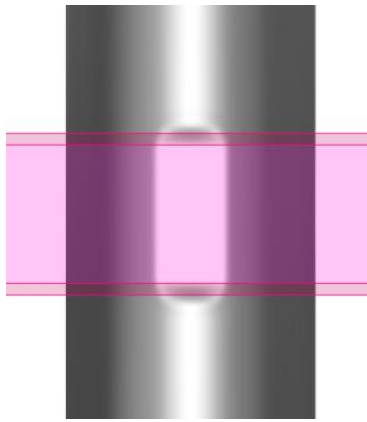


	-0,2 mm	0,0 mm	0,2 mm
Amplitude (mV)	245	216	205
Phase (°)	-5	-19	-35

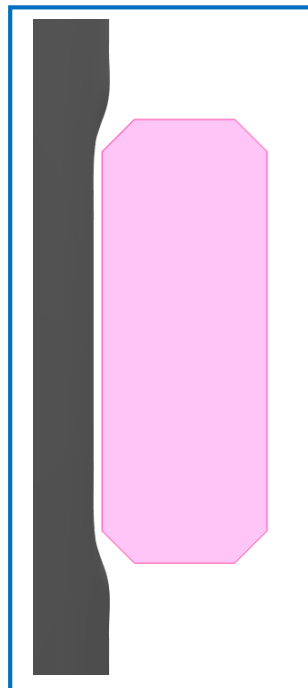


# Etude de l'effet de l'usure et de la présence de la BAV

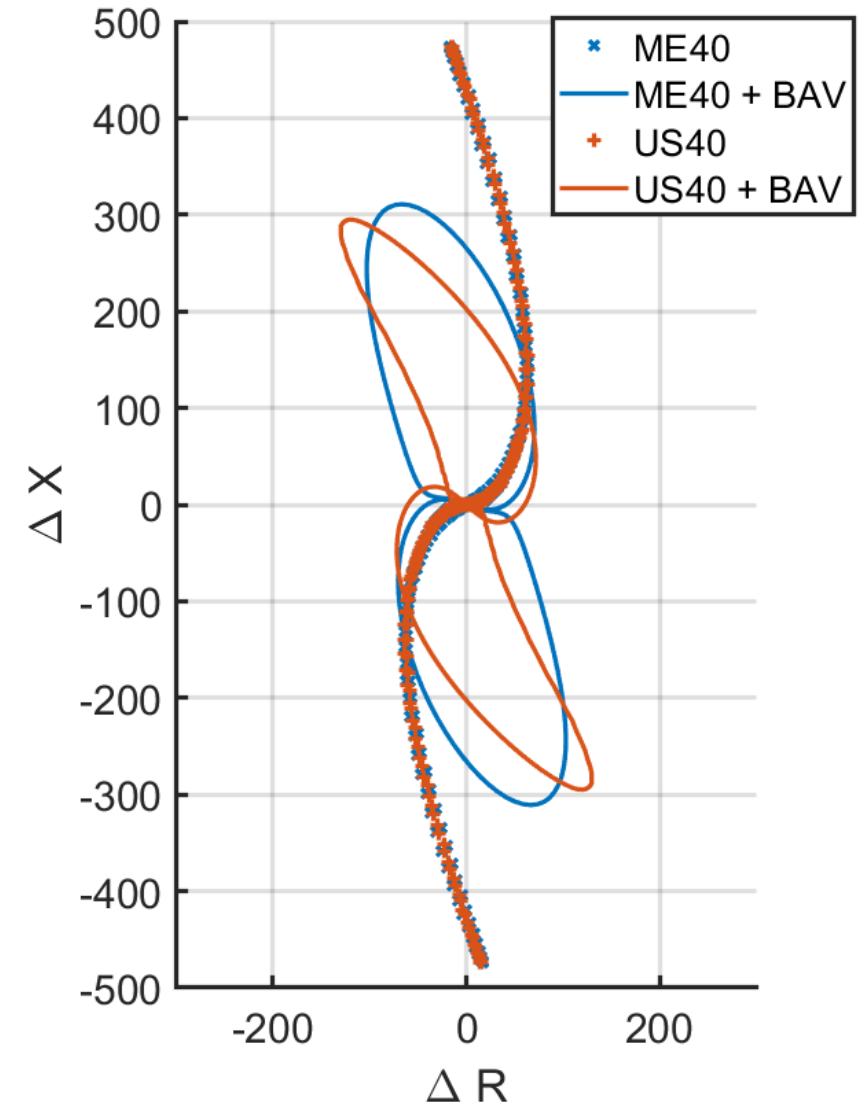
Distance = -0,2 mm, Angle = 90°, Profondeur = 40 %



ME : Méplat



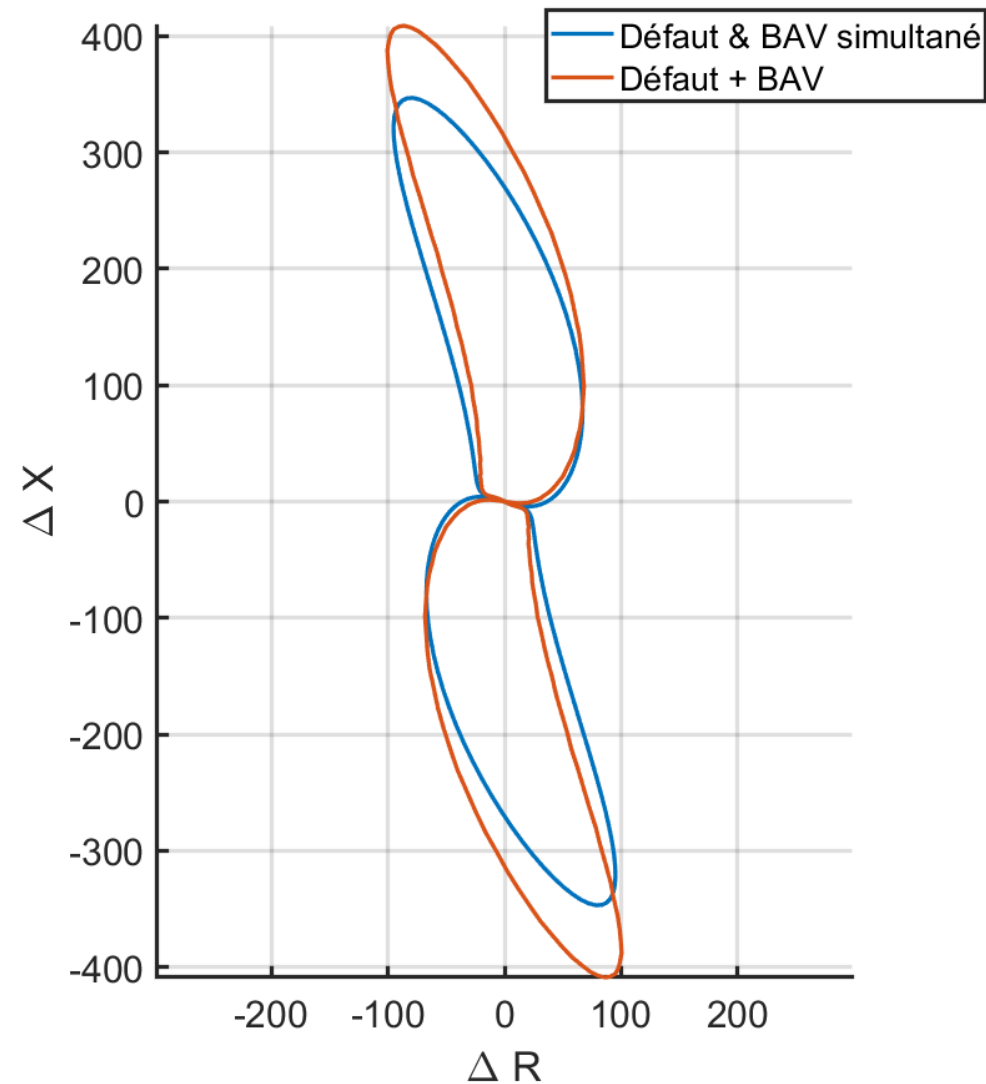
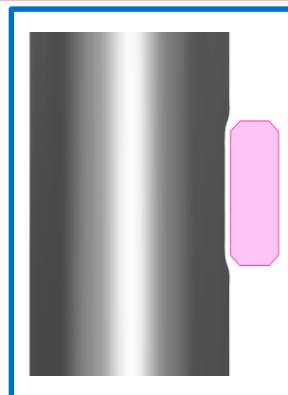
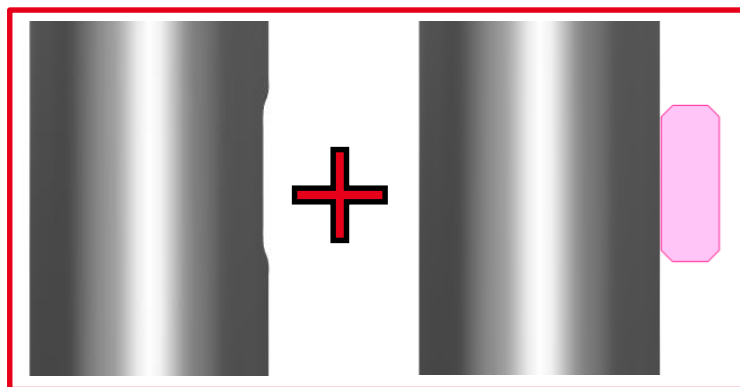
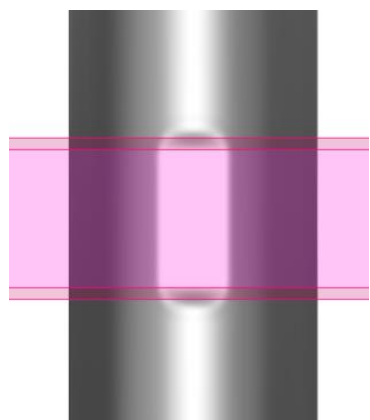
US : Usure  
par vibration



→ Nécessaire de prendre en compte la BAV et l'effet de la vibration

# Etude de l'effet de la prise en compte de la BAV et du défaut simultanément

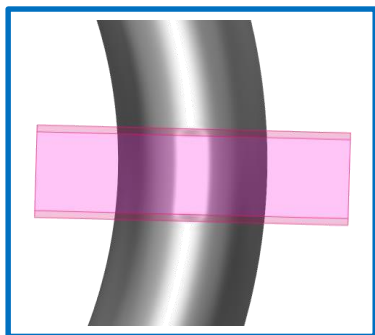
Distance = 0,1 mm, Angle = 90°, Profondeur = 40 %



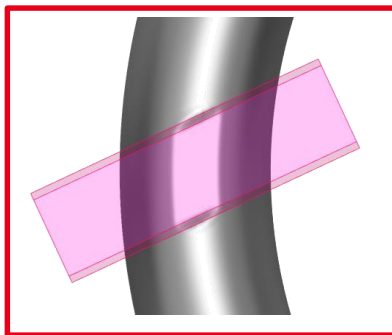
→ Nécessaire de prendre en compte la BAV et le défaut simultanément

# Etude de l'effet de la prise en compte de deux BAV avec défauts simultanément

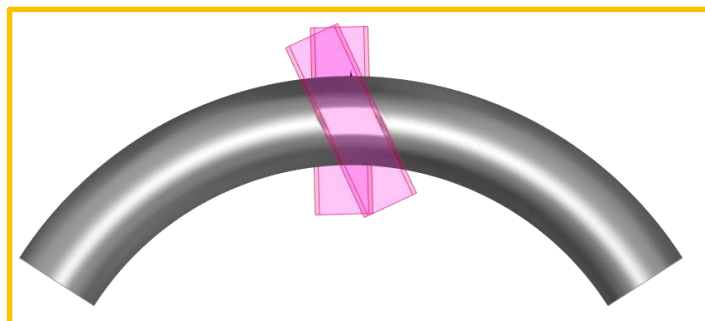
US 20%  
BAV 90° 0 mm  
Altitude + 2 mm



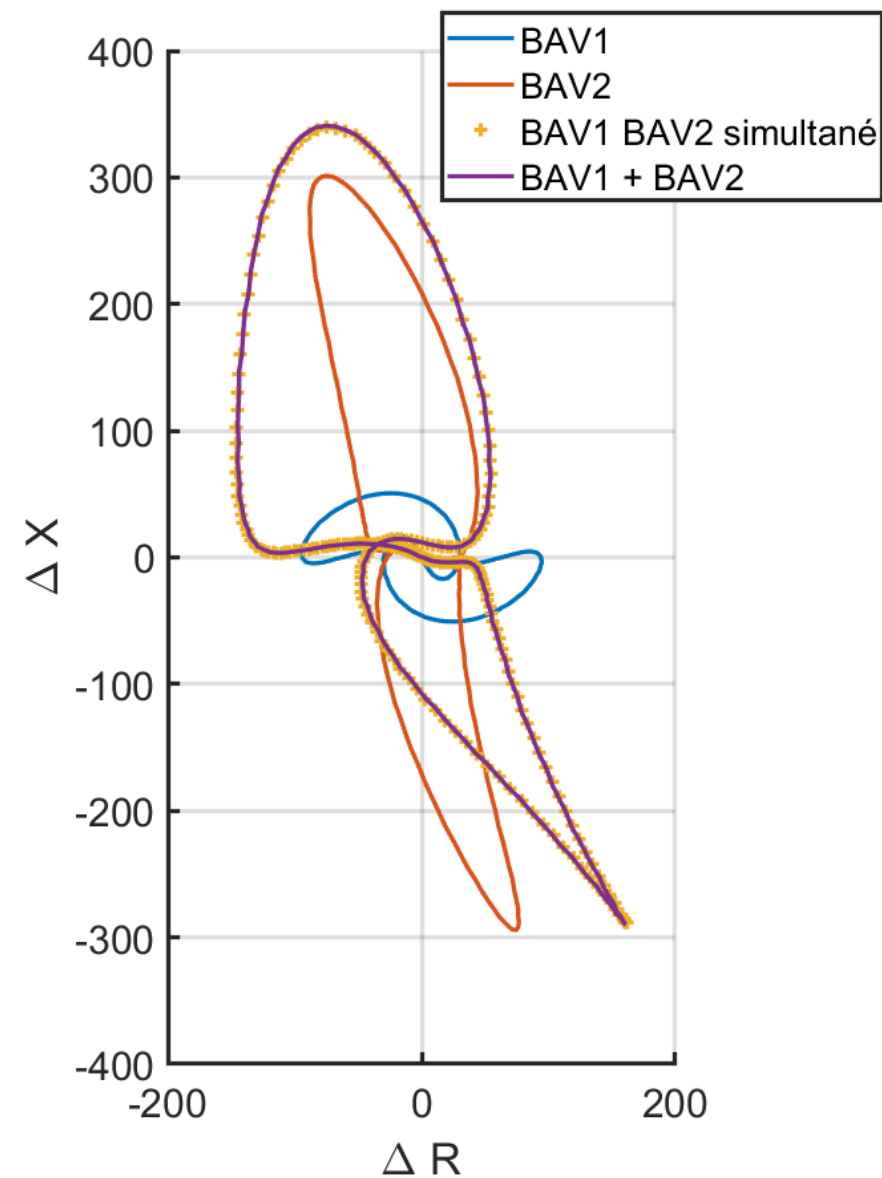
US 40%  
BAV 65° -0,2 mm



BAV1 + BAV2

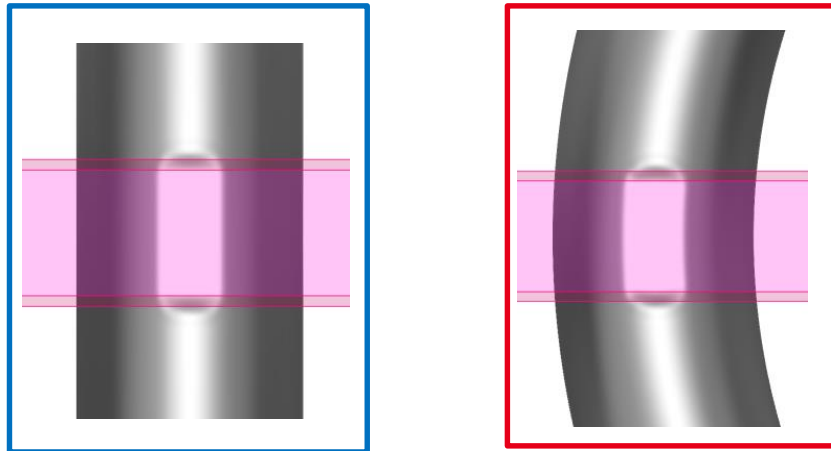


→ Non nécessaire de prendre en compte les 2 BAV simultanément

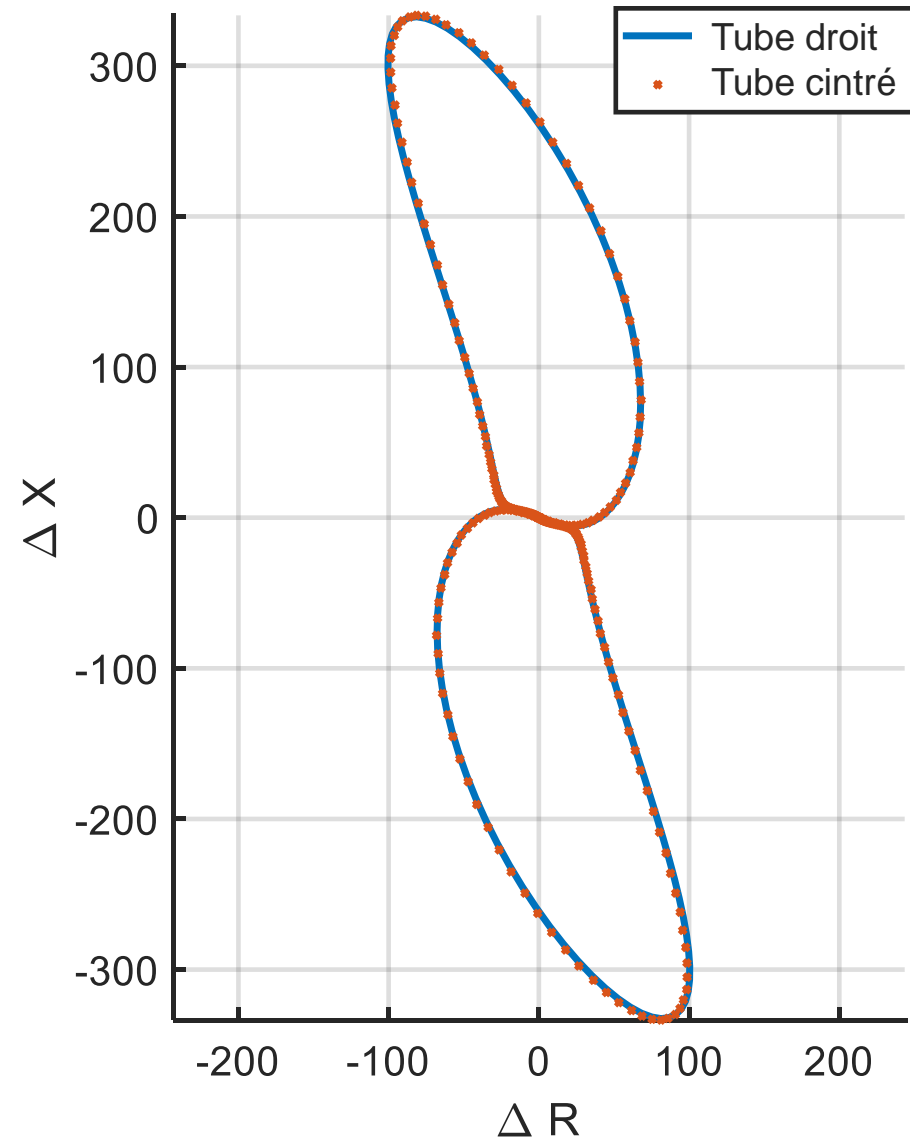


# Etude de l'effet du cintrage

Distance = 0 mm, Angle = 90°, Profondeur = 40 %



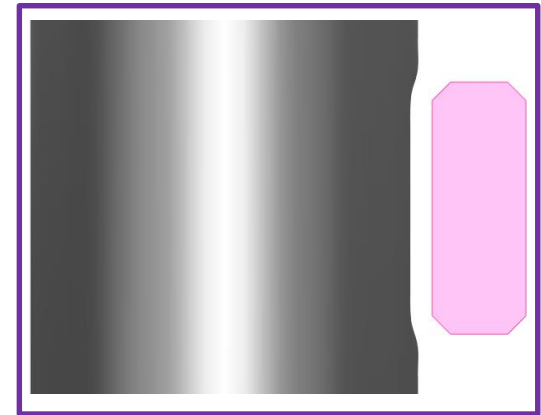
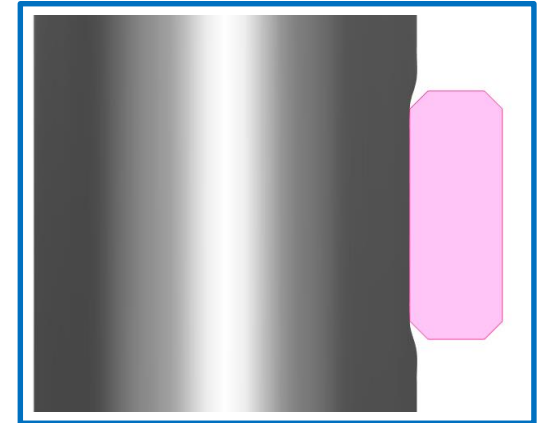
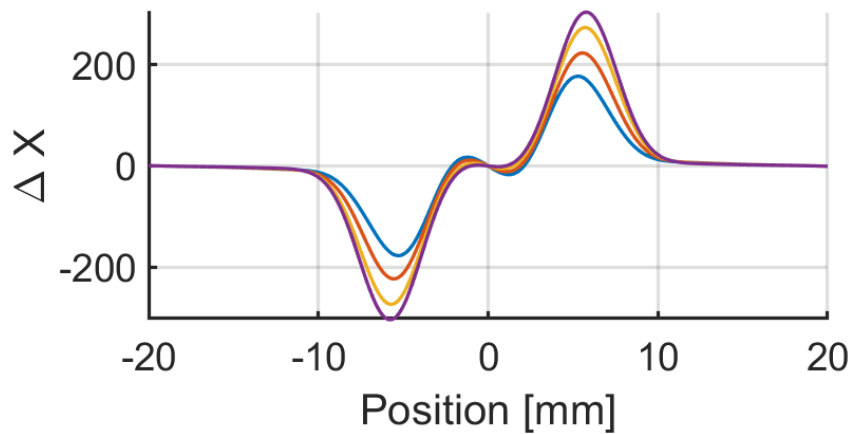
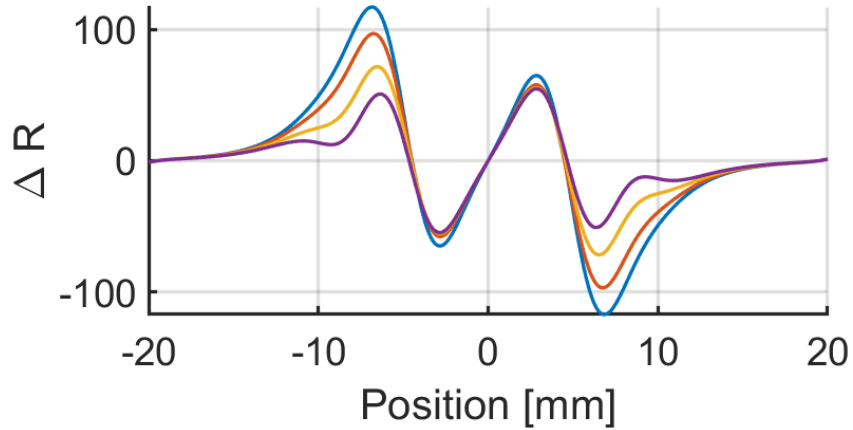
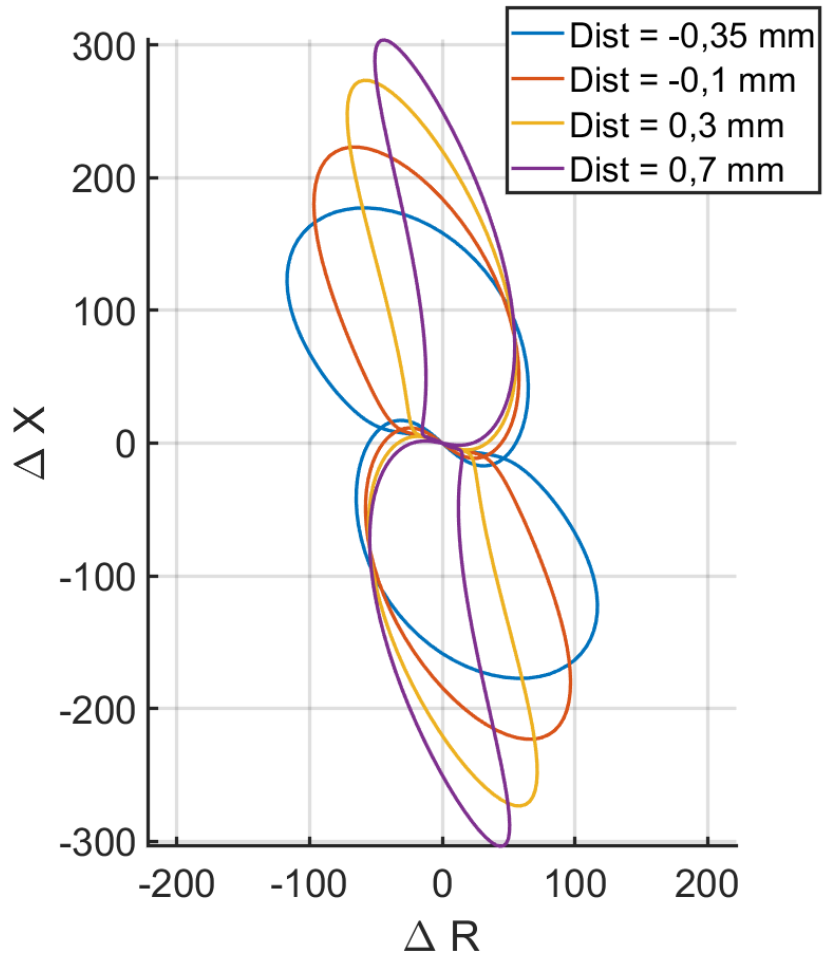
→ Effet négligeable du cintrage





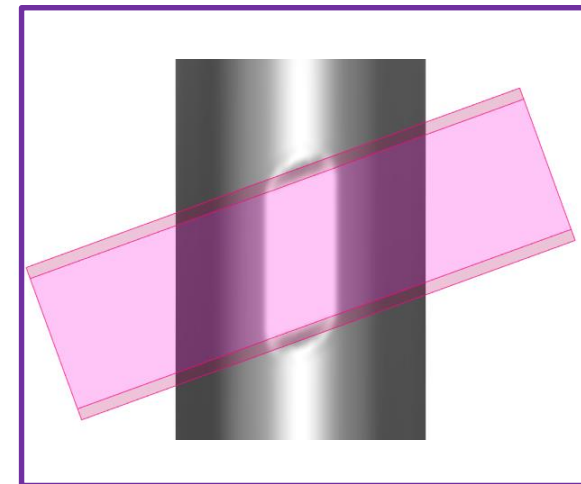
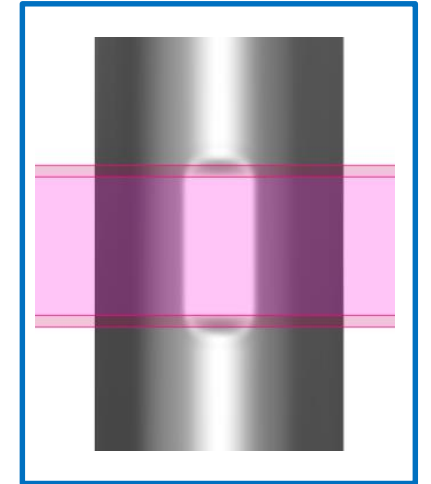
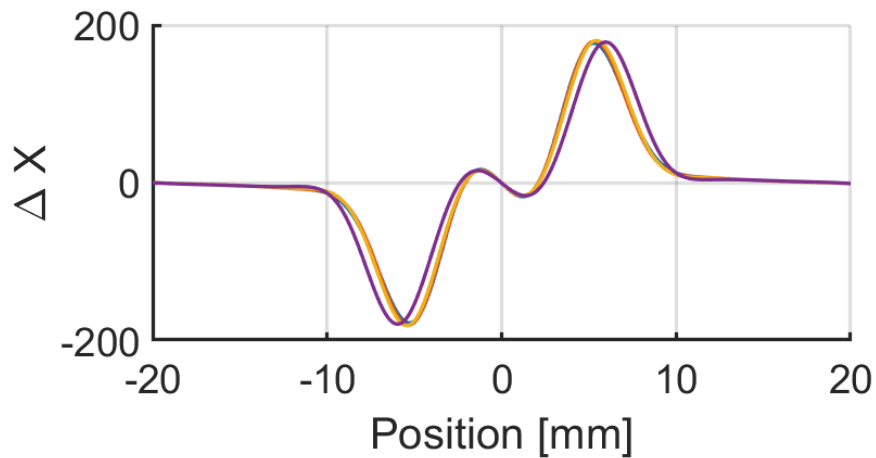
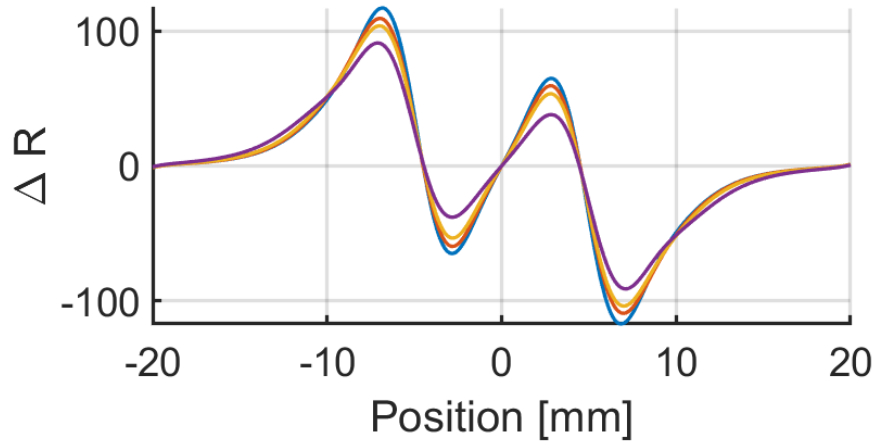
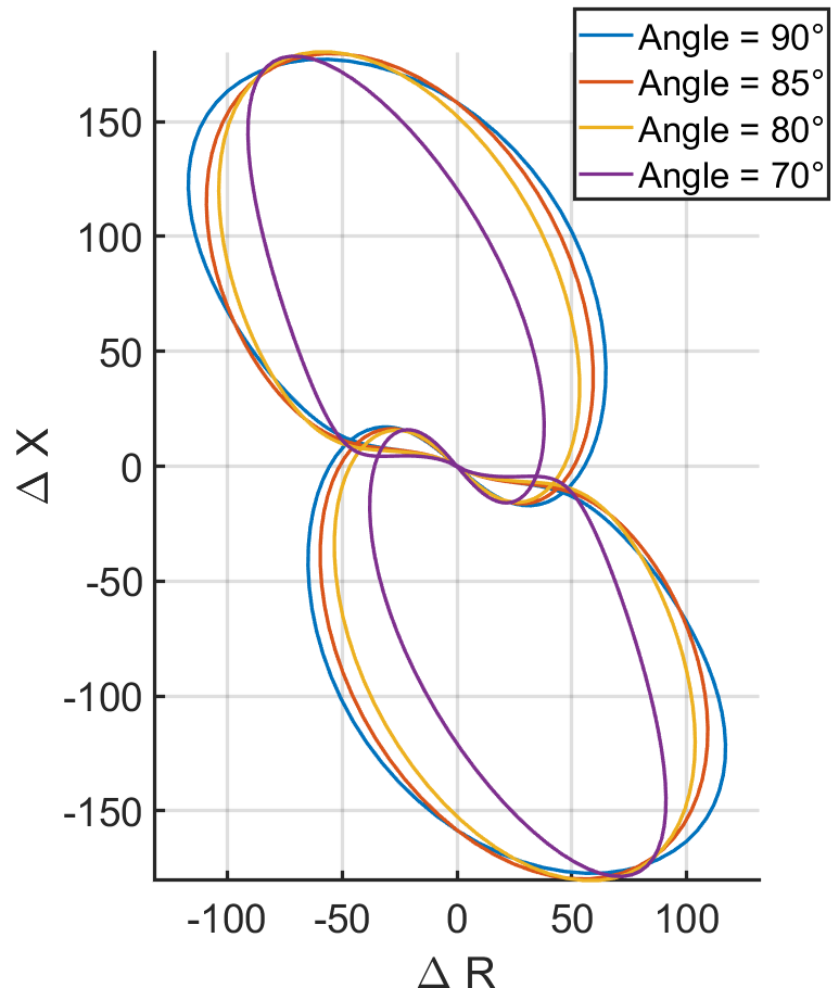
# Etude paramétrique : distance BAV - Tube

Angle = 90°, Profondeur = 35 %



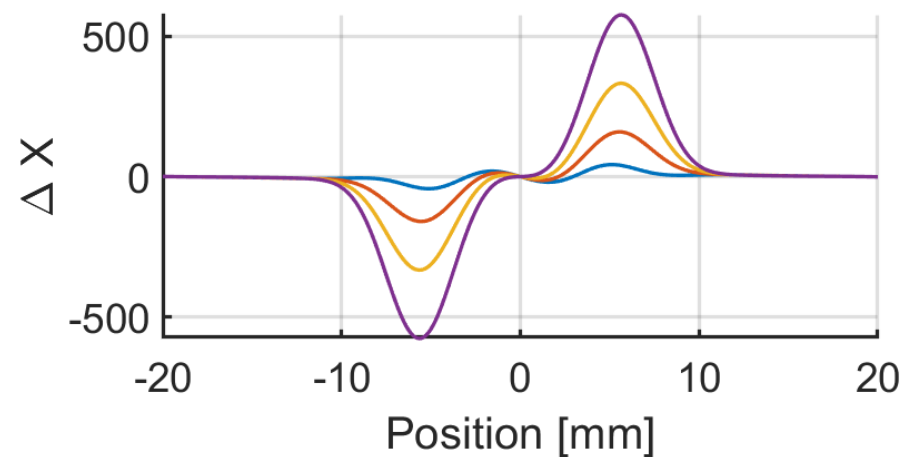
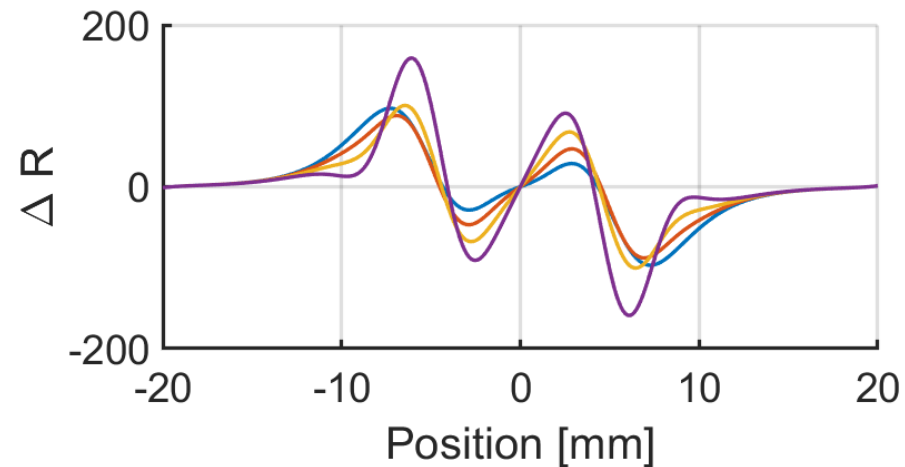
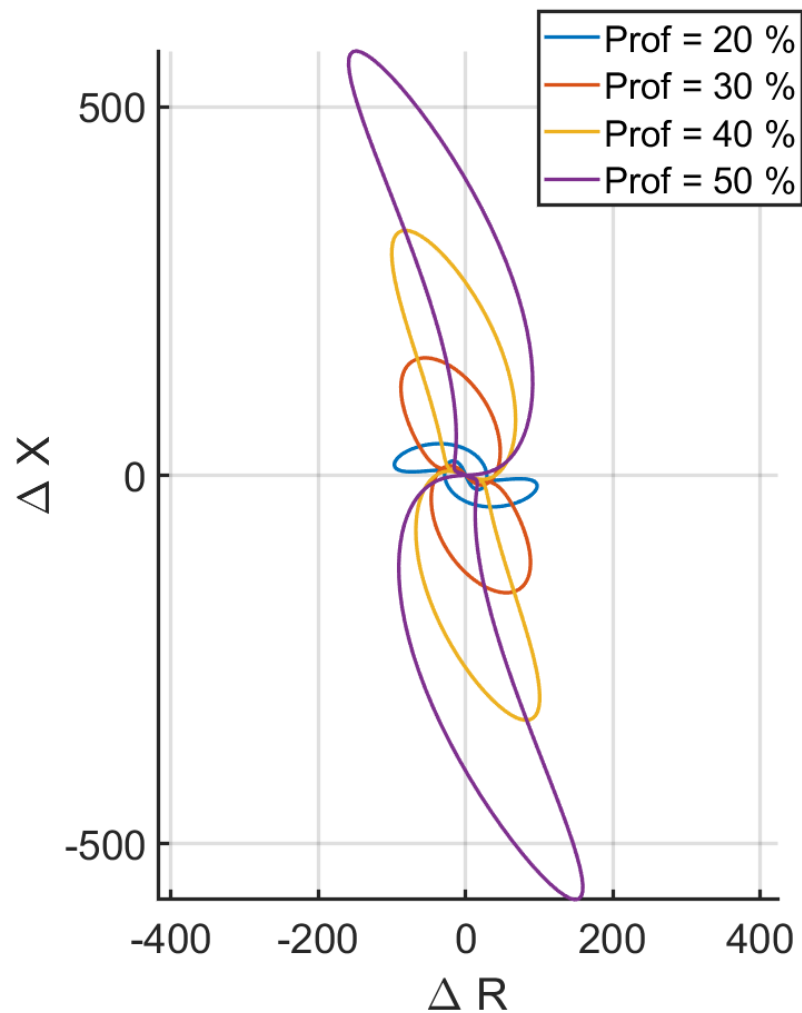
# Etude paramétrique : angle BAV - Tube

Distance = -0,35 mm, Profondeur = 35 %



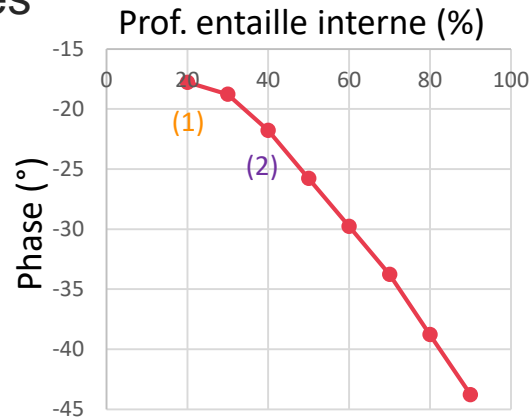
# Etude paramétrique : profondeur du défaut

Distance = 0 mm, Angle = 90°



# Etude IRSN : Evaluation de la profondeur d'une entaille longitudinale interne

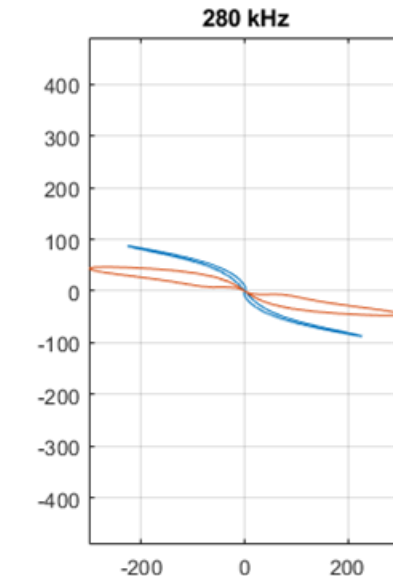
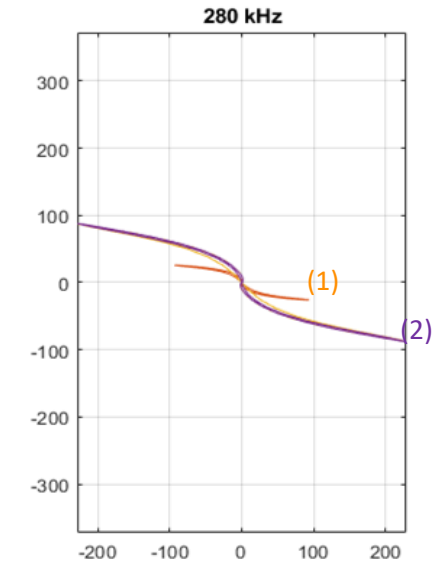
- Établissement d'une courbe d'étalonnage  $phase = f(prof.)$  pour entailles internes



Long. : 8 ou 10 mm  
 Ouverture : 200 μm  
 Hauteur : 20 à 90 %  
 Fréq : 280 kHz

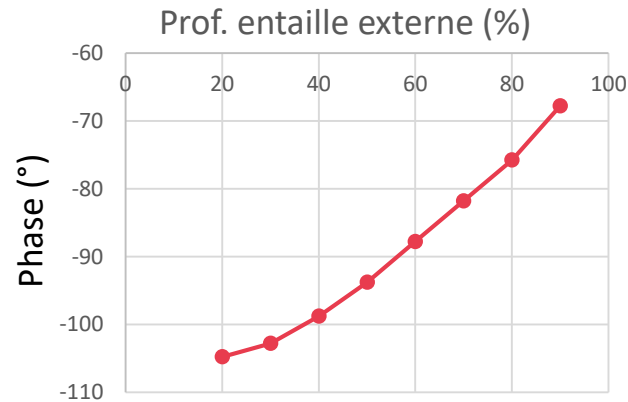
- En présence de BAV et d'une usure, légère surestimation de la profondeur de l'entaille (40 % → 50 %) en utilisant la courbe d'étalonnage → conservatif

2 barres anti-vibratoire	Usure	Entaille				Phase	Prof. estimée
		Ext/int	Orient.	Prof.	Long.		
-	-	Int.	Longi.	40%	8mm	-21°	40%
Centrées	18%	Int.	Longi.	40%	8mm	-25°	50%

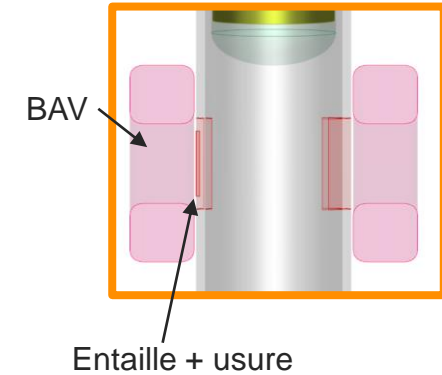


# Etude IRSN : Estimation de la hauteur d'une entaille longitudinale externe

- Établissement de la courbe d'étalonnage phase = f(prof.) pour entailles externes

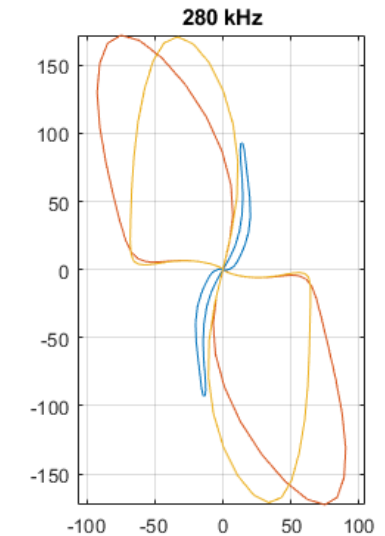


Long. : 8 ou 10 mm,  
Ouverture : 200 μm  
Hauteur : 20 à 90 %  
Fréq : 280 kHz



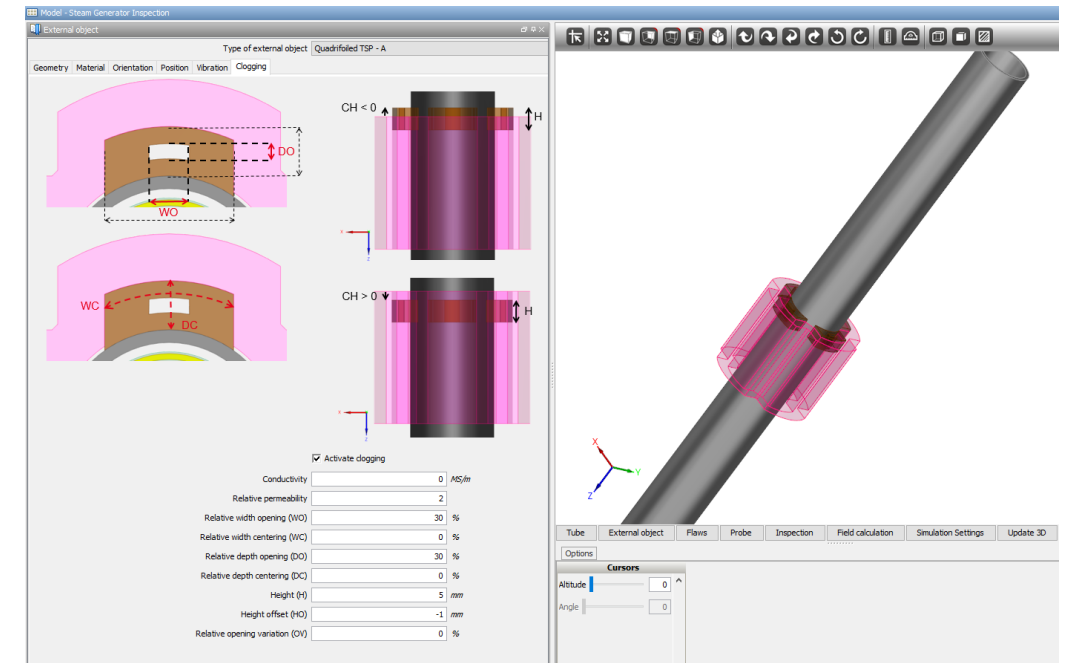
- En présence de BAV, avec ou sans usure, très nette surestimation potentielle de la profondeur de l'entaille (+ 30 %) en utilisant la courbe d'étalonnage → conservatif

2 BAV	Usures sous BAV	Entaille				Phase	Estimation hauteur
		Ext/int	Orient.	Prof.	Long.		
-	-	Ext.	Longi.	40%	8mm	-100°	40 %
centrées	-	Ext.	Longi.	60%	8mm	-65°	92 %
centrées	18% (côté défaut)	Ext.	Longi.	40%	8mm	-79°	73 %



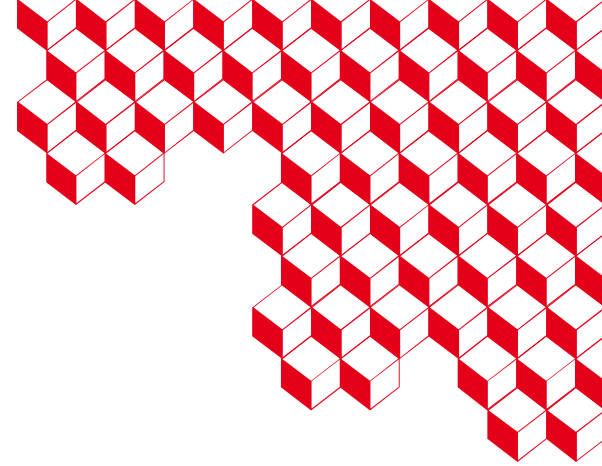
# Conclusions

- ❑ Etude collaborative entre le CEA LIST et l'IRSN pour la simulation de l'inspection par courants de Foucault des tubes de générateurs de vapeur
- ❑ Module dédié à l'inspection des tubes GV dans **CIVA NDE I**
- ❑ Modélisation des défauts d'usure par frottements sous BAV
- ❑ Bonne précision des validations expérimentales
- ❑ Etude de sensibilité des paramètres influents sur la réponse CF d'un défaut d'usure
- ❑ Utilisation du module CIVA par l'IRSN pour les besoins de leurs études
- ❑ Etude en cours sur la modélisation du colmatage des plaques entretoises pour diverses sondes





**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE



**Merci de votre attention.**

Audrey VIGNERON  
[audrey.vigneron@cea.fr](mailto:audrey.vigneron@cea.fr)