

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



maestral
la science en étanchéité

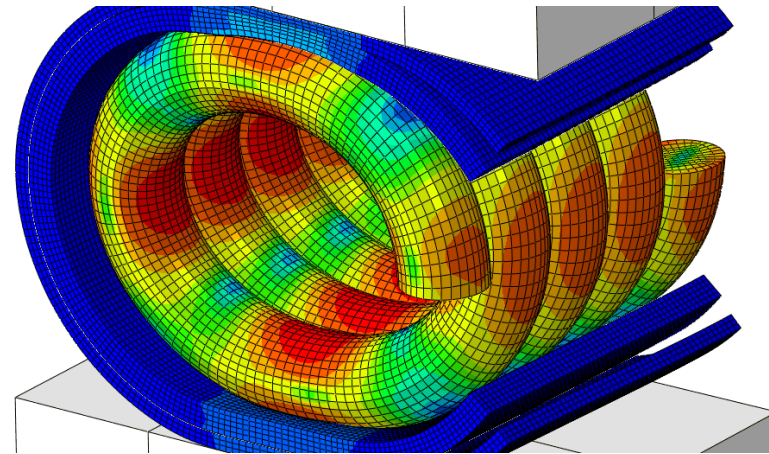
Technetics
GROUP

EnPro Industries companies

www.cea.fr

LA MODÉLISATION : UN OUTIL DE SUPPORT À LA CONCEPTION DE SOLUTIONS D'ÉTANCHÉITÉ

F. LEDRAPPIER, F ROUILLARD, K.VULLIEZ



12 OCTOBRE 2017

- Laboratoire d'étanchéité : Présentation
- Introduction
- Dimensionnement d'assemblages boulonnés
 - Objectifs
 - Méthodologie
 - Résultats
- Dimensionnement d'un Joint HELICOFLEX® haute pression
 - Rappels
 - Objectifs
 - Résultats



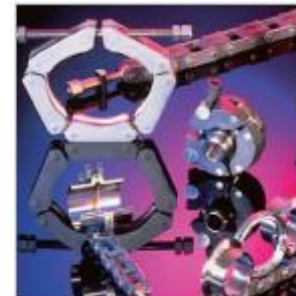
- Leader international de l'étanchéité haute performance
- Conçoit, fabrique et fournit des joints : nucléaire, aéronautique, aérospatial, médical, pétrole...
- 2 sites en France : Saint-Etienne et Montbrison
- Joints métalliques HELICOFLEX®, profilés et joints gonflables élastomères, joints matricés graphite

▪ Recherche et développement :

- Différents systèmes d'étanchéité (statiques, dynamiques, semi-dynamiques...)
- Techniques et conditions d'essais (contrôles d'étanchéité, chocs thermiques, vieillissements...)
- Matériaux utilisés (métaux et alliages, revêtement de surface, céramiques,...)

▪ Situé à Pierrelatte (Drôme)

▪ Salariés : 6 CEA, 7 Technetics Group France, 2 doctorants



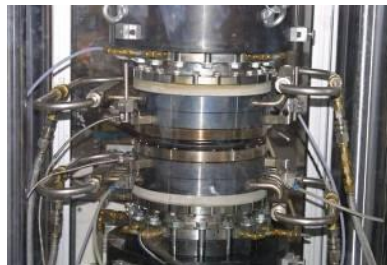
LABORATOIRE D'ÉTANCHÉITÉ

Banc d'essais mécaniques dédiés à la qualifications des joints et système d'étanchéité (Conception, dimensionnement et essais)

**Presses hydrauliques instrumentées
50kN, 200kN, 500kN & 2500kN**



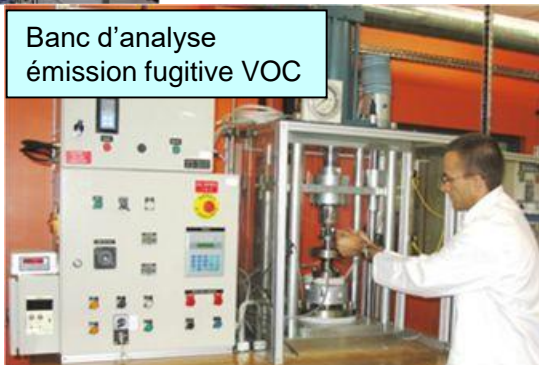
**Plateaux chauffant
Presse 2500kN (450°C)**



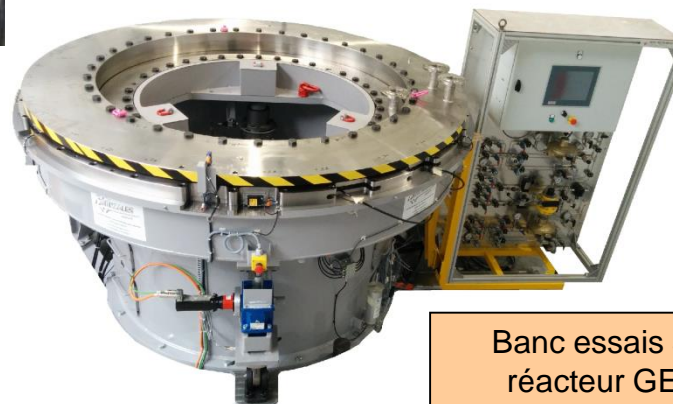
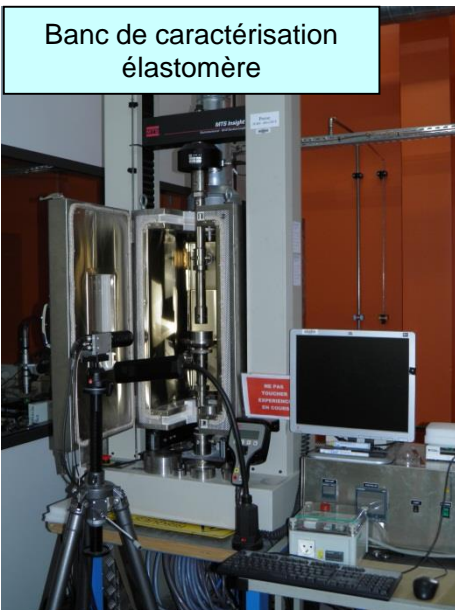
**Maquettes étanchéité
Métallique**



**Banc d'analyse
émission fugitive VOC**



**Banc de caractérisation
élastomère**



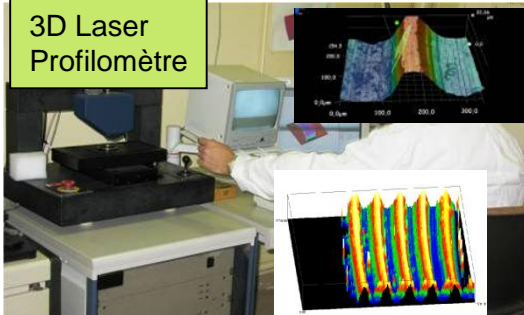
**Banc essais Joints
réacteur GEN IV**

Fours... jusqu'à 1100°C

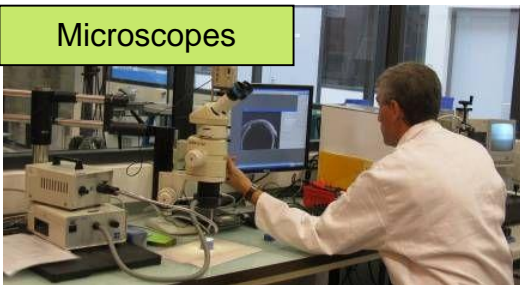


Expertise métallurgique et état de surface

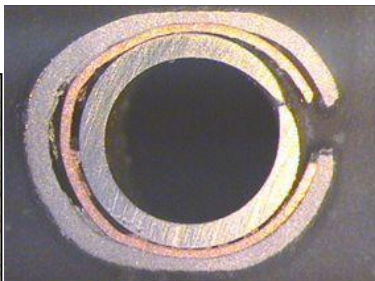
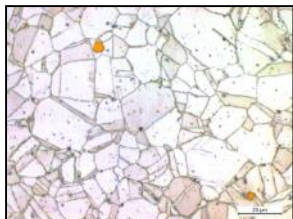
3D Laser Profilomètre



Microscopes

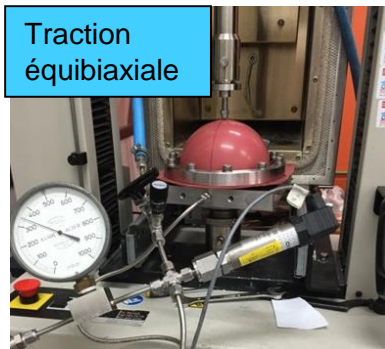


Analyses métallographiques

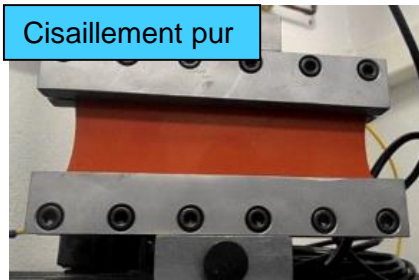


Caractérisation mécanique Matériaux hyperélastiques

Traction équiaxiale



Cisaillement pur



Compression hydrostatique et uniaxiale



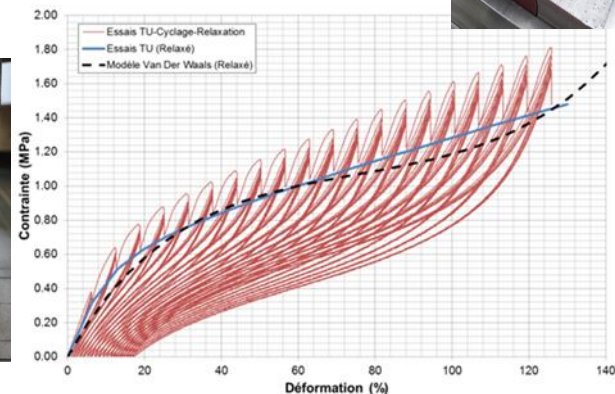
Traction uni-axiale



Essais de tribologie

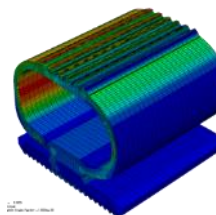
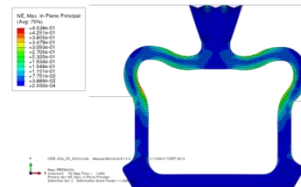
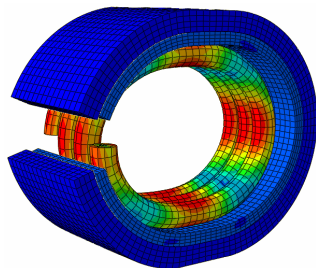


Perméabilité



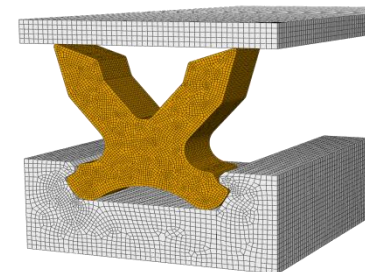
Joint métallique (2D/3D)

- Courbes caractéristiques
- Effets d'échelle
- Fluage
- Endommagement / vieillissement



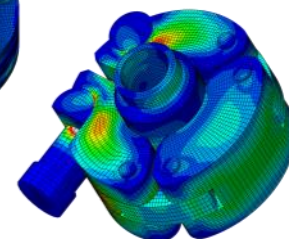
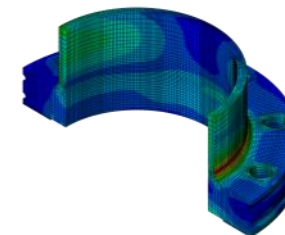
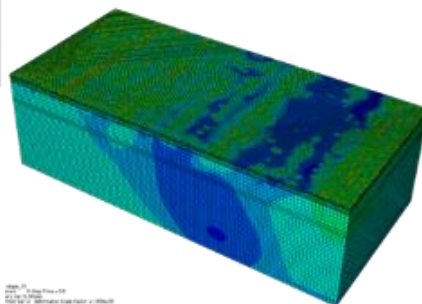
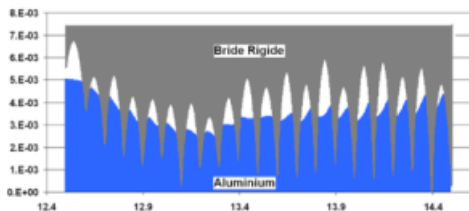
Joints élastomères (2D/3D)

- Courbes caractéristiques
- Analyse de sensibilité
- Etude d'endommagement
- Optimisation des designs



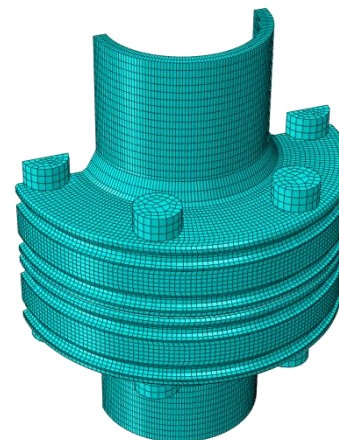
Modélisation au LE
(3 ingénieurs mécaniciens)

ABAQUS (depuis 2011)



Assemblages (2D/3D)

- Design de maquettes d'essais
- Dimensionnement
- Interaction joint/bride
- Analyse (CODAP C10)

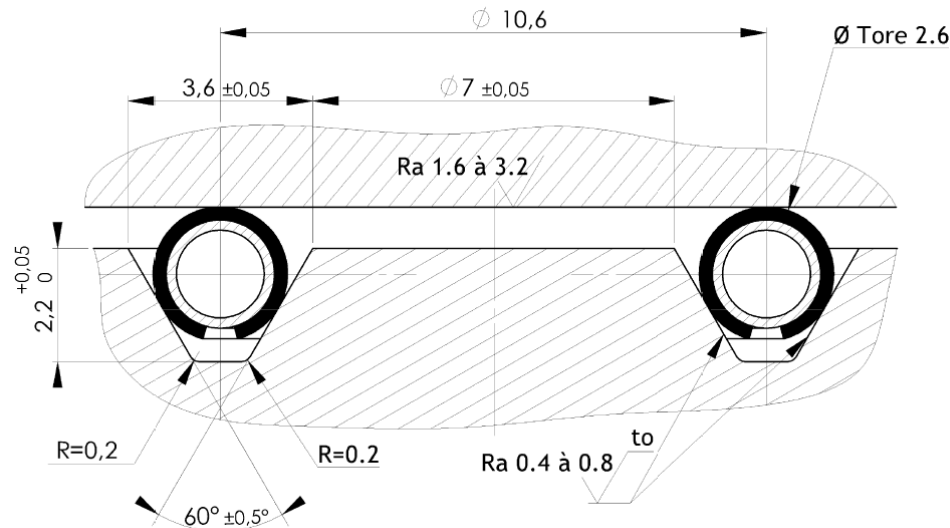


R&D

- Développement concepts innovants
- Recherche fondamentale : modèle prédictif de la fuite, mécanique du contact

- Problématiques liées à la simulation en étanchéité
 - Problèmes fortement non linéaires
 - ✓ Matériaux : plasticité, hyper-élasticité, fluage
 - ✓ Géométrie : grandes déformations, flambement
 - ✓ Contacts : instabilité, complexité géométrique des surfaces
 - Taille des modèles
 - Temps CPU importants
- Intérêt d'ABAQUS dans le cadre des études
 - Solveur implicite, explicite (avec couplage possible)
 - Lois matériaux complexes : hyper-élastique, fluage
 - Éléments finis type « gasket » (calculs d'assemblage)
 - Très bonne gestion des contacts et des non-linéarités
 - Création de plug-ins pour certains type de joints (HELICOFLEX®, CEFILAIR®) pour automatiser les calculs
 - Post traitement automatique (linéarisation contrainte)

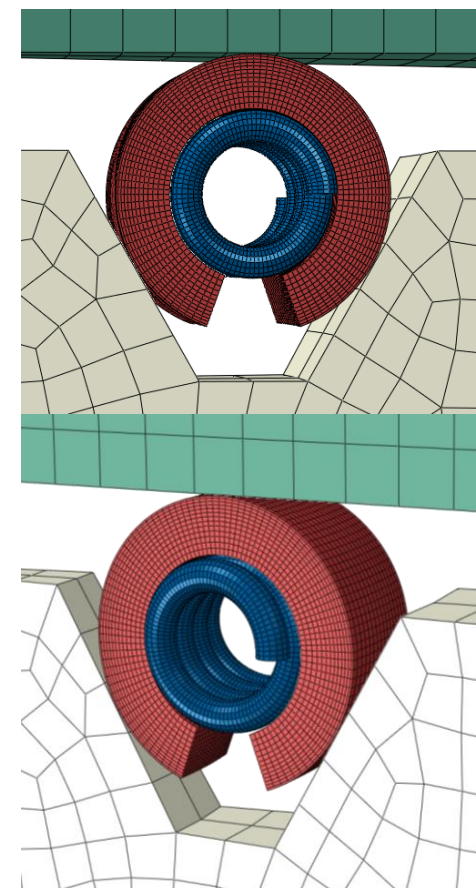
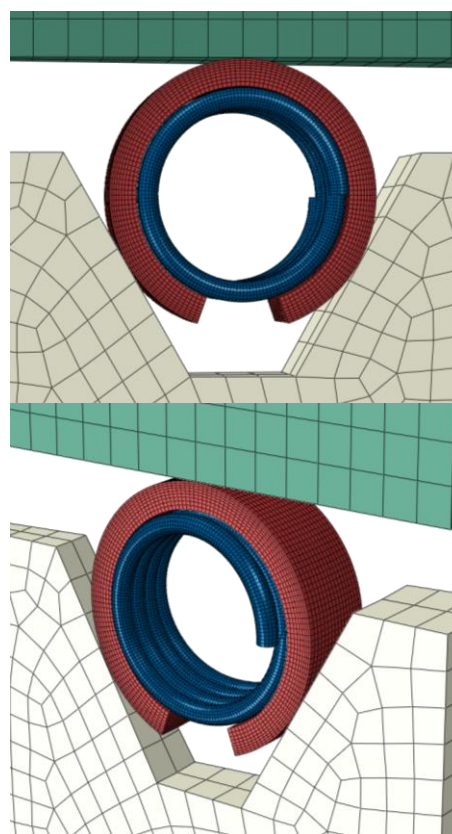
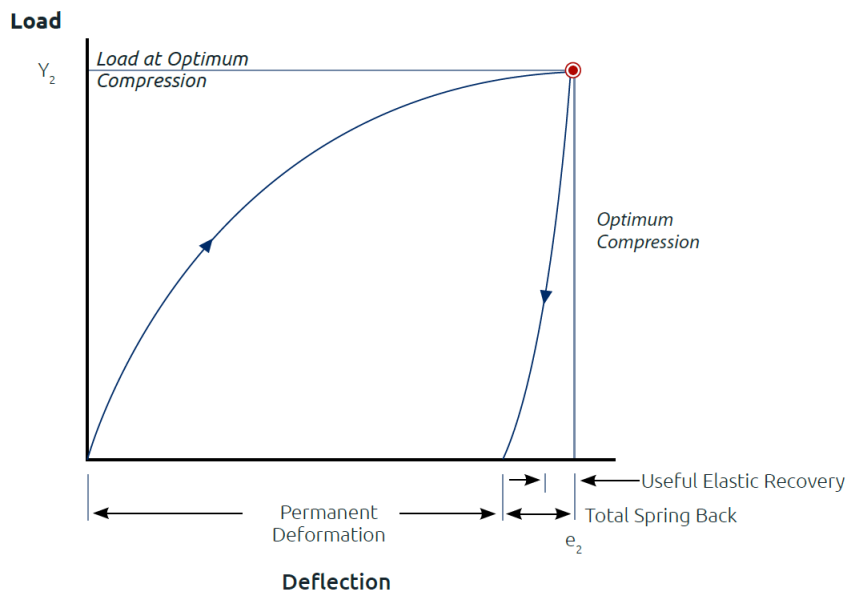
- Objectifs : dimensionnement du diamètre de fil pour un joint haute pression (1550 bars dans les deux directions)



- ➔ Données techniques fiables pour un appui sur deux faces (montage standard) mais pas pour un montage avec serrage sur trois faces
- ➔ Modèle 2D axisymétrique non utilisable (sur-contrainte)
- ➔ Construction d'un modèle 3D (200 000 DOF)

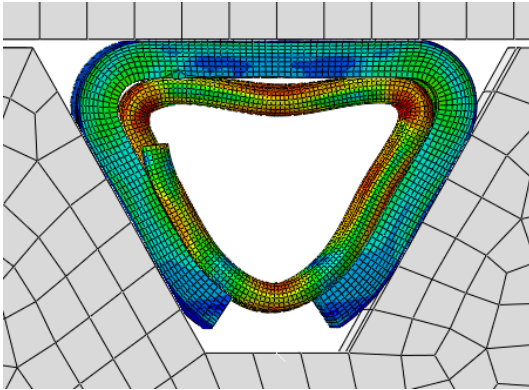
Différents cas de figures étudiés

- ➔ Calcul réalisé avec 3 spires de ressort
- ➔ 3 diamètres de fil
[0.2 mm - 0.25 mm - 0.3 mm]
- ➔ 2 épaisseurs de revêtement
[0.25 mm - 0.5 mm]
- ➔ 3 valeurs de compression
[0.4 mm - 0.6 mm - 0.8 mm]
- ➔ Pression interne de 1500 bars

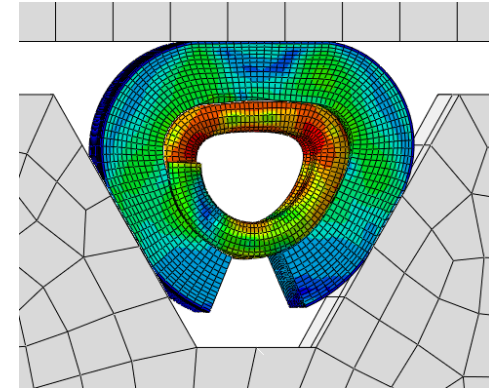


Rappel : Y_{2R} = charge linéaire résiduelle assurant le contact métal-métal entre brides

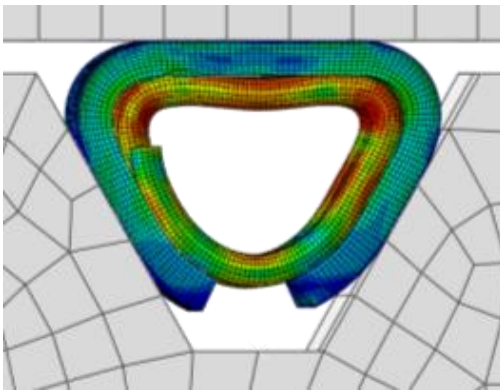
Résultats : phase de compression



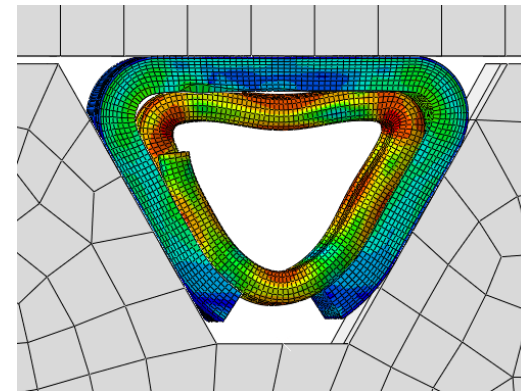
Ø 0.2 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.8 mm
 $Y_2 = 515 \text{ N/mm} \rightarrow \text{OK}$



Ø 0.3 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.4 mm
 $Y_2 > 1000 \text{ N/mm} \rightarrow \text{Trop élevé}$

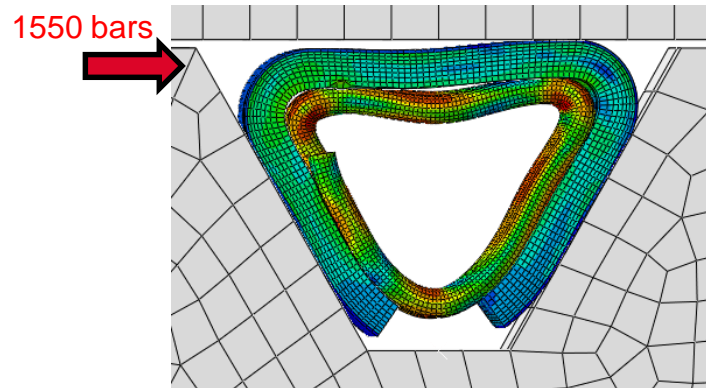


Ø 0.25 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.6 mm
 $Y_2 = 443 \text{ N/mm} \rightarrow \text{OK}$

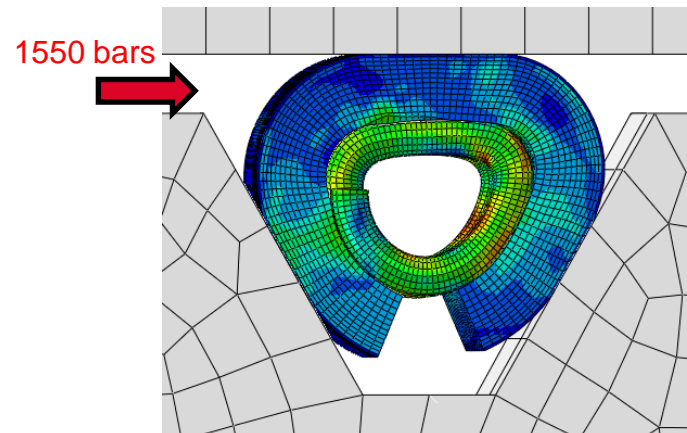


Ø 0.25 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.8 mm
 $Y_2 = 690 \text{ N/mm} \rightarrow \sim \text{OK}$

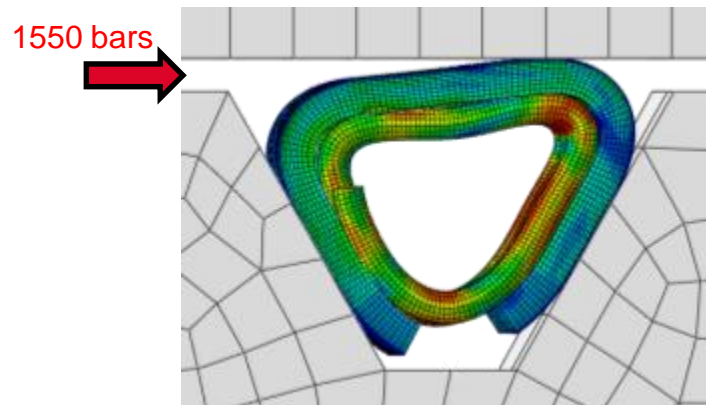
Résultats : Mise en pression



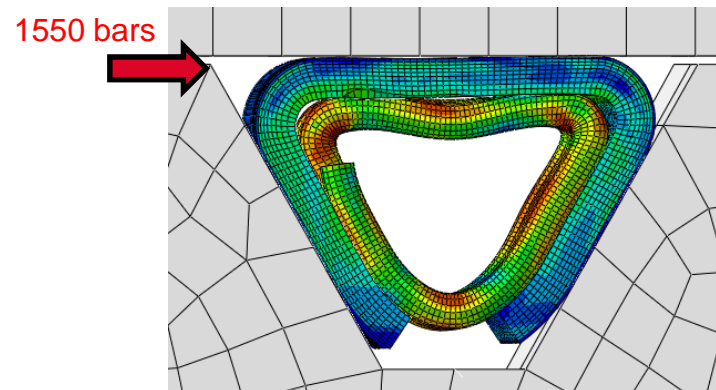
Ø 0.2 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.8 mm
 $Y_{2R} = 86 \text{ N/mm}$ → risque de perte de contact



Ø 0.3 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.4 mm
 $Y_{2R} = 225 \text{ N/mm}$



Ø 0.25 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.6 mm
 $Y_{2R} = 11 \text{ N/mm}$ → risque de perte de contact

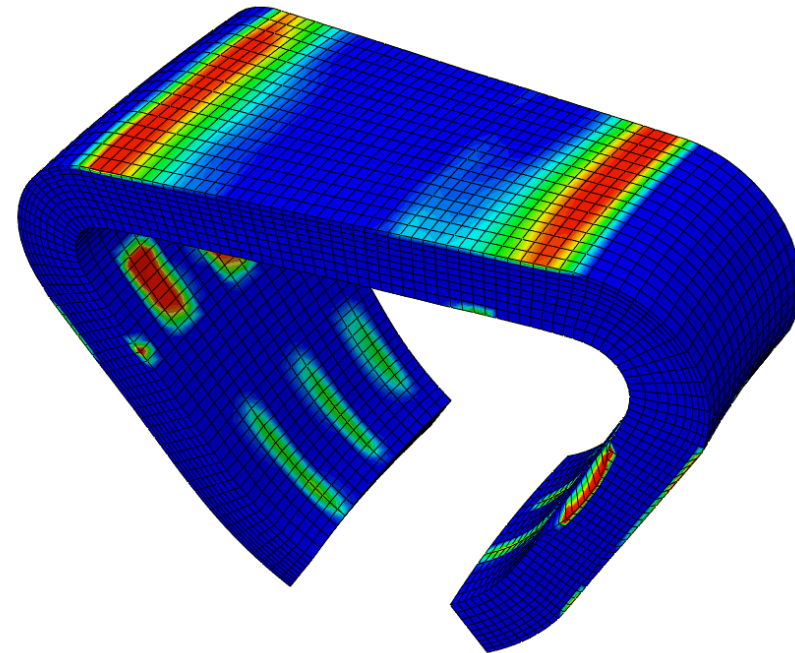
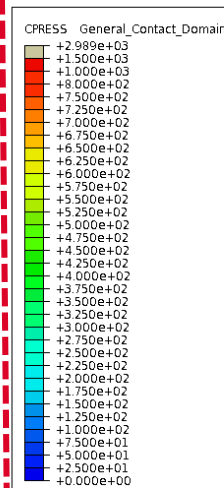
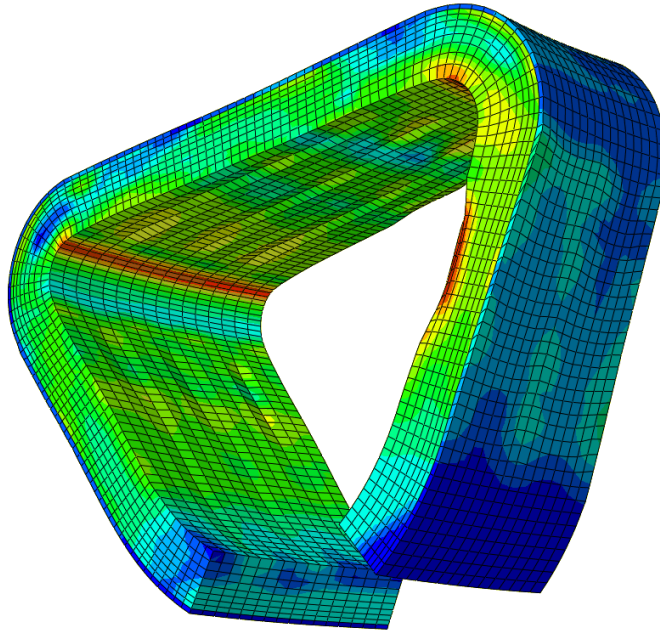
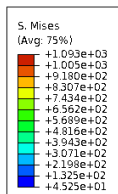


Ø 0.25 mm - ép. 0.25 mm - Compression 0.8 mm
 $Y_2 = 120 \text{ N/mm}$ → ~ OK

■ Configuration retenue : \varnothing 0.25 mm - Enveloppe de 0.25 mm - Compression 0.8 mm

■ Pénétration du fil dans le revêtement

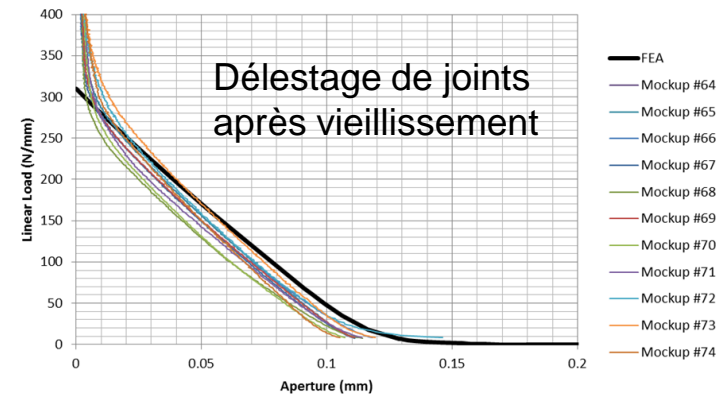
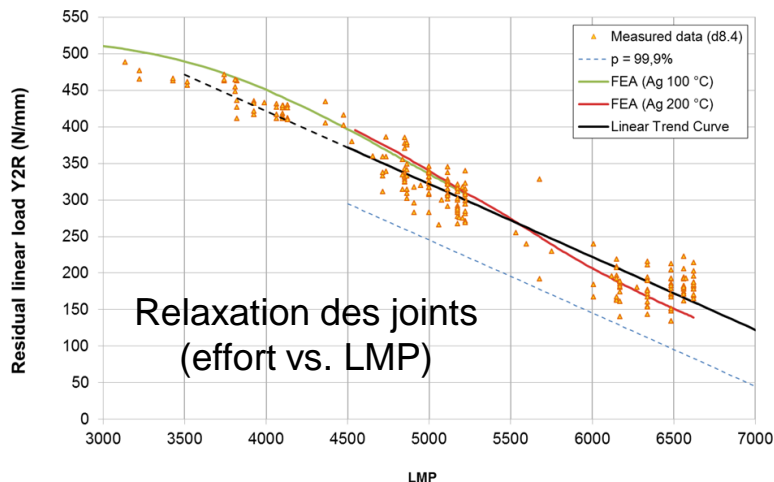
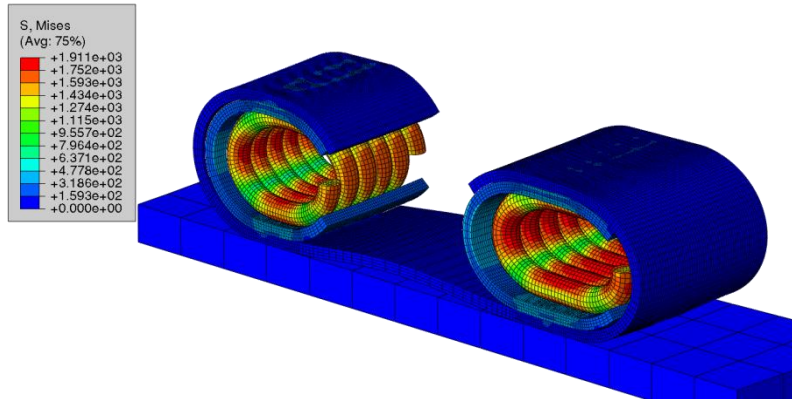
■ Distribution de la pression de contact



- Simulations 2D simplifiées non utilisables → 3D multi-spires
- Développement d'un modèle HELICOFLEX® 3D avec temps CPU acceptable (~30 min)
- Evaluation du principe du serrage 3 faces (incertitudes liées aux coefficients de frottement à explorer)
- Liens entre pression / conditions d'appui et étanchéité à confirmer

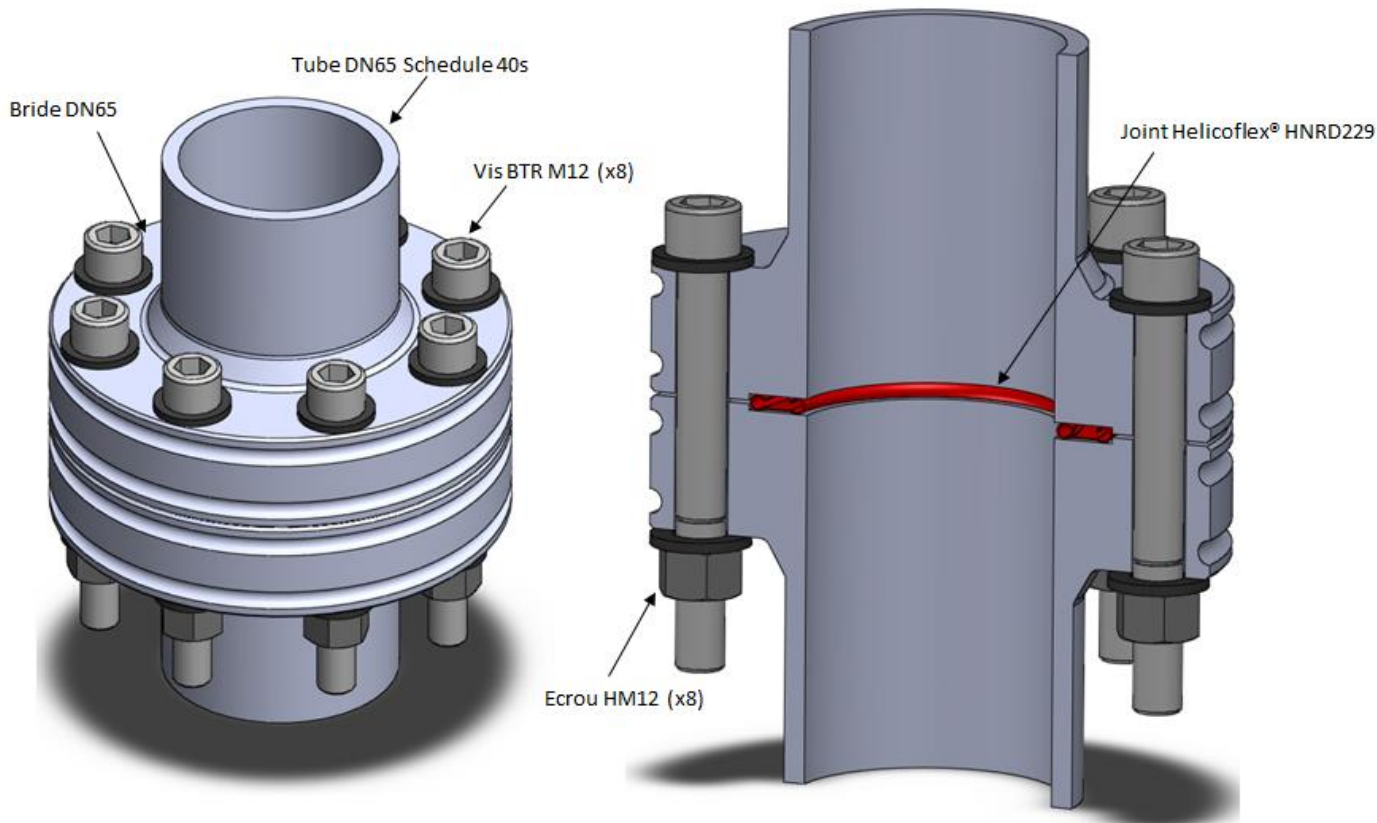
MODÉLISATION D'UN JOINT TYPE HELICOFLEX® : ANALYSE DU VIEILLISSEMENT DES JOINTS

- Simulation de vieillissement de conteneur de stockage de combustible nucléaire usagé
- ✓ Etude des scénarios de stockage temporaire
- ✓ Etude de restitution élastique résiduelle après vieillissement
- ✓ Etude validée par programme expérimental



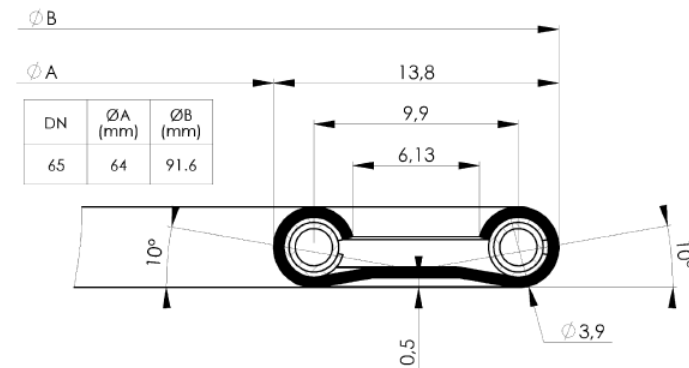
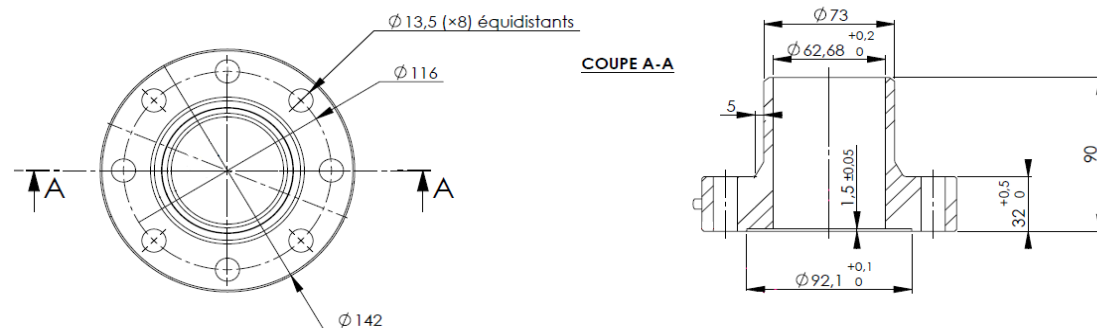
■ Objectifs :

- ✓ Mettre en adéquation Joint / Assemblage
- ✓ Valider le dimensionnement de l'assemblage complet sous contraintes en garantissant l'étanchéité.

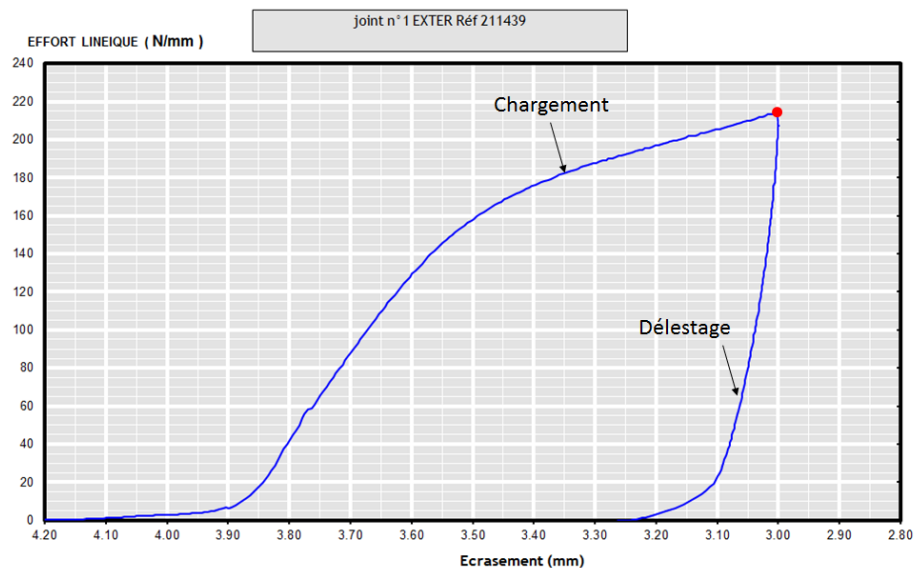


■ Données d'entrée :

✓ Géométries : brides, joint et boulonneries



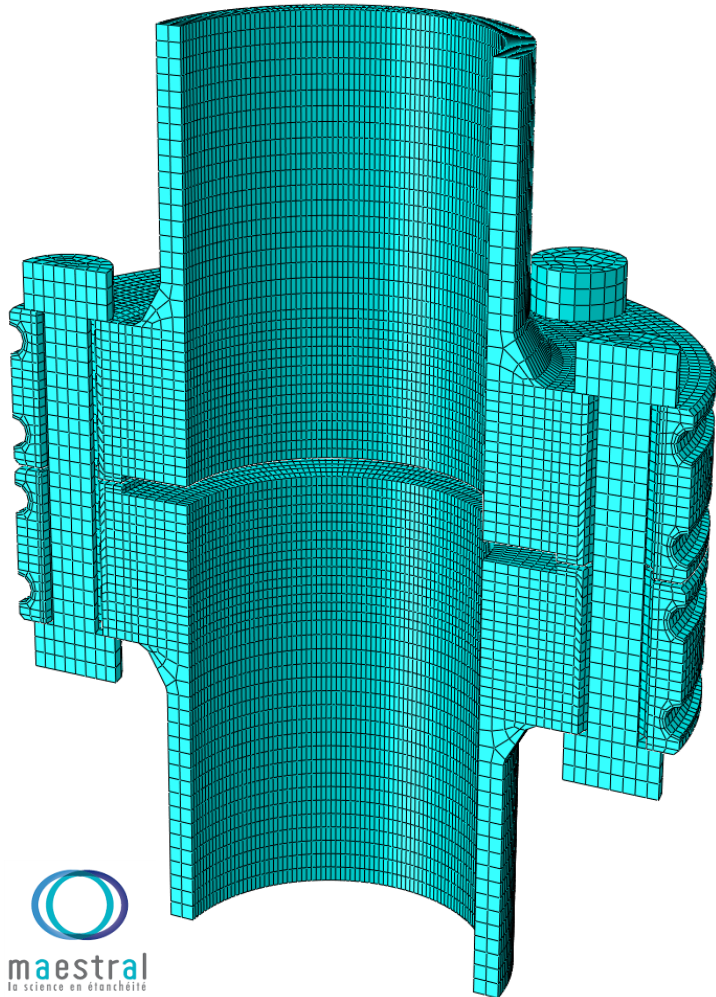
✓ Matériaux, courbe caractéristique du joint (mesures expérimentales)



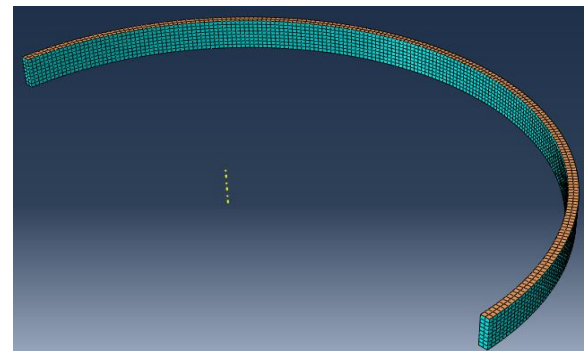
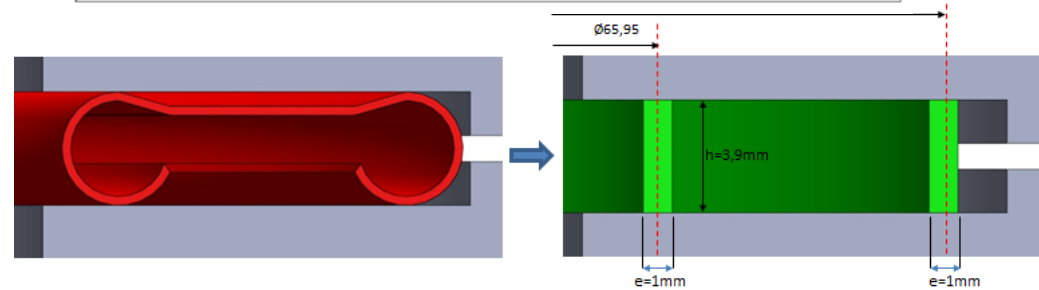
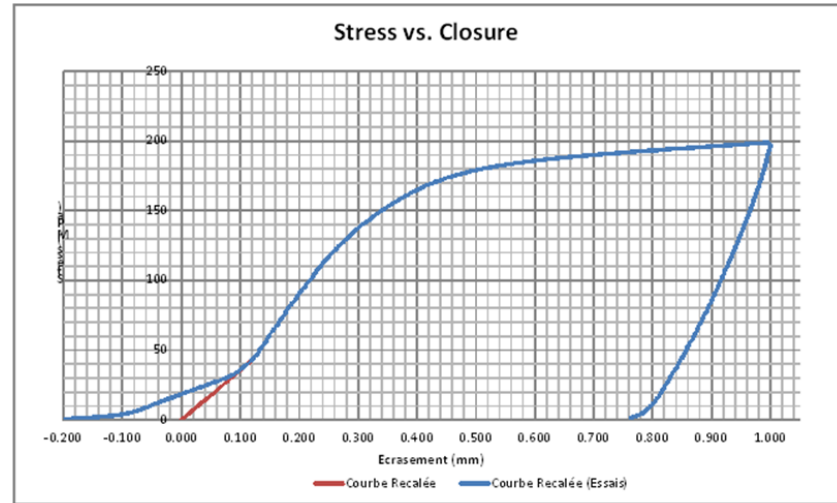
✓ Conditions d'utilisation
➔ Chargement, conditions aux limites

Construction du modèle

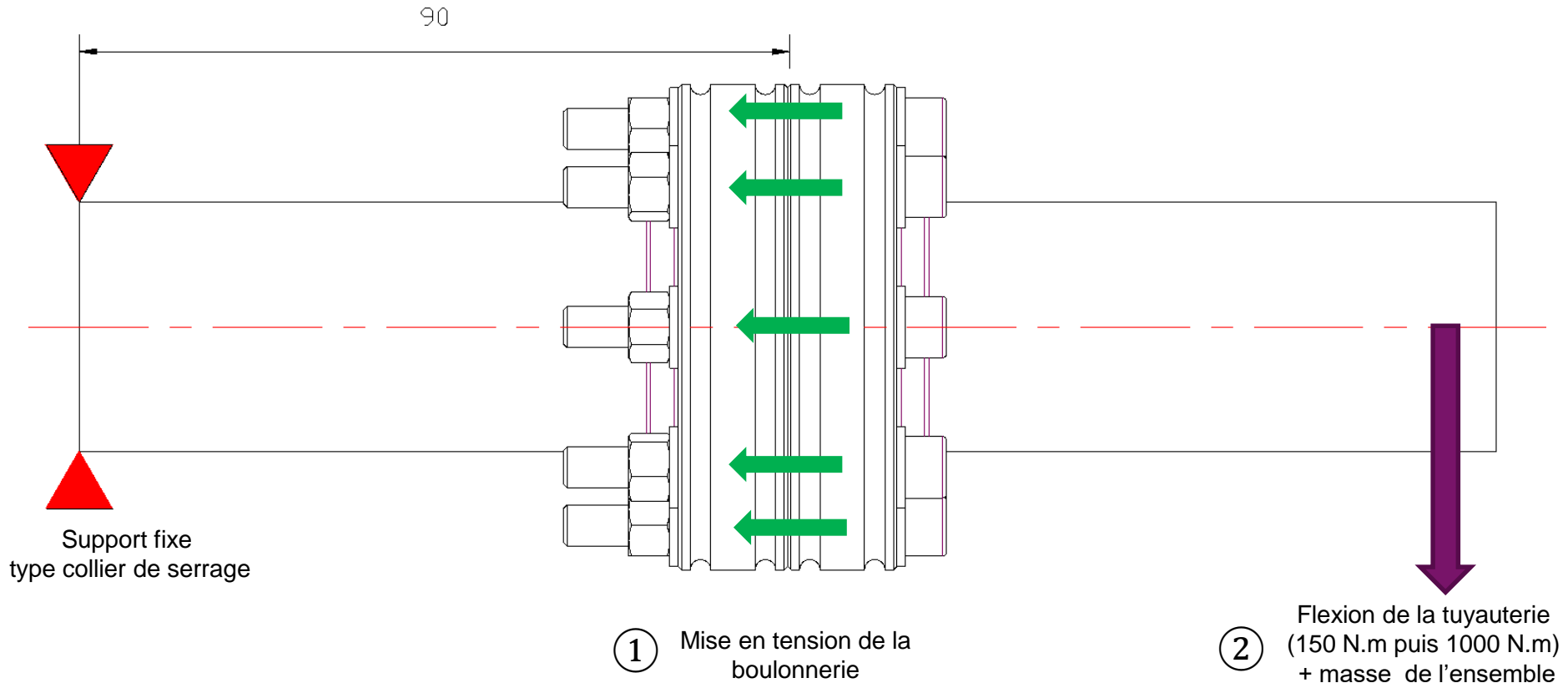
✓ Brides et boulonneries



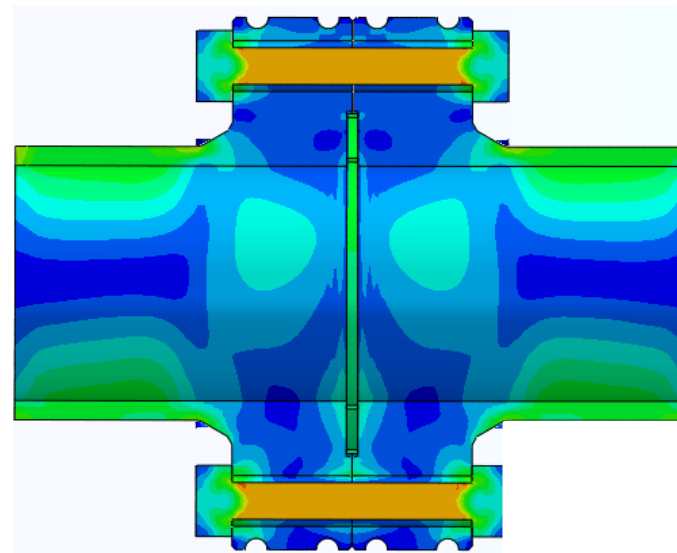
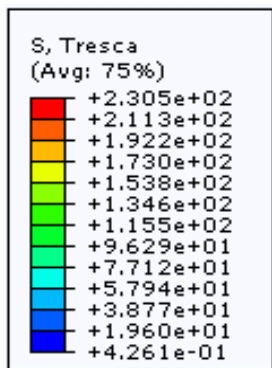
✓ Élément joint



■ Construction du modèle : Conditions aux limites et chargements



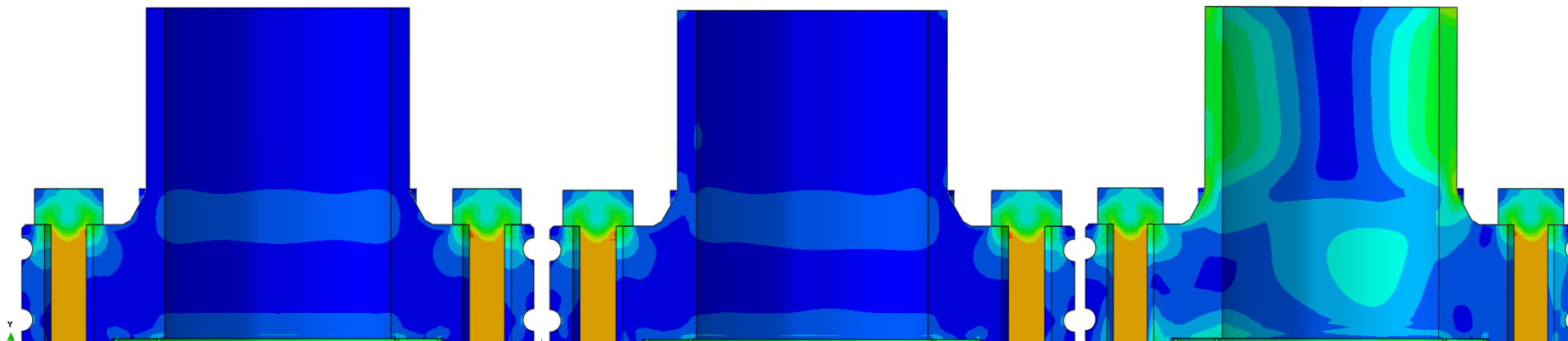
■ Contraintes dans l'assemblage [MPa]



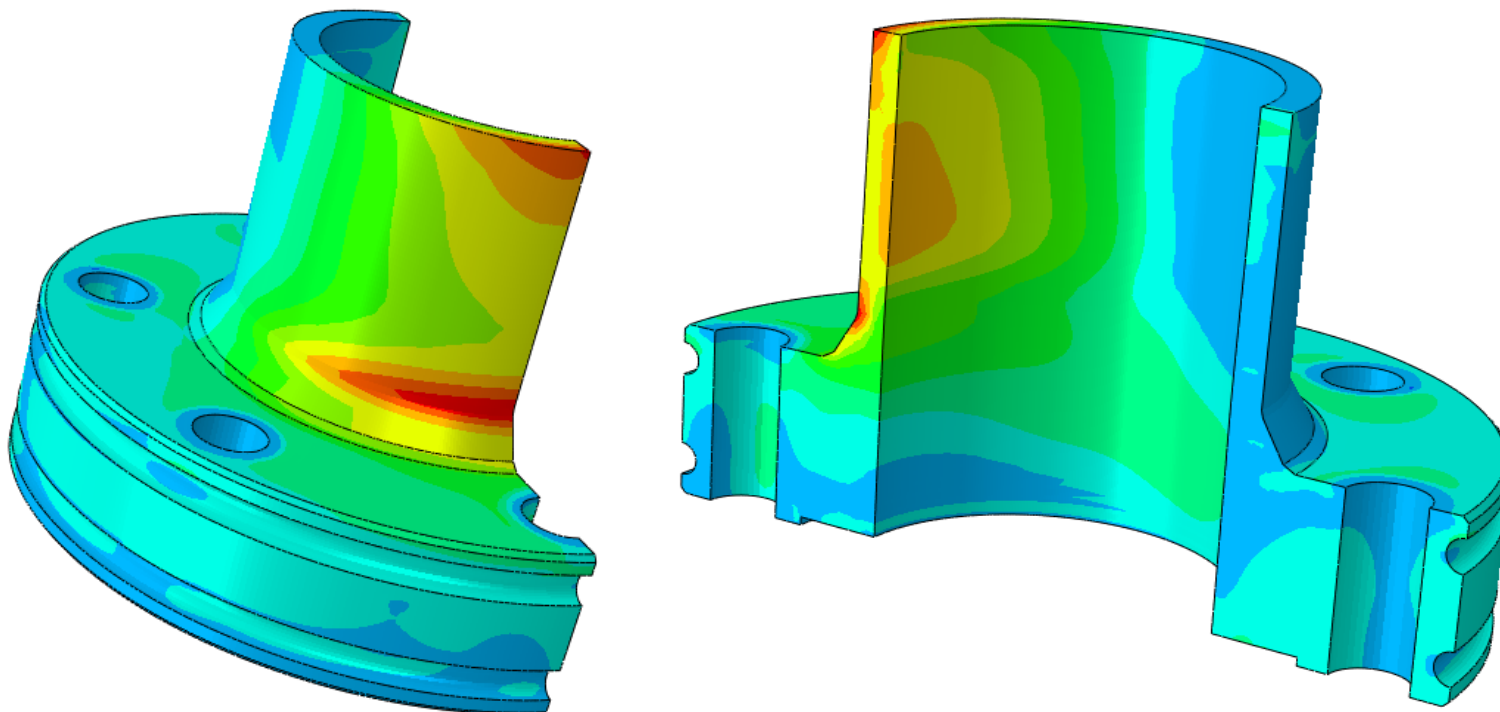
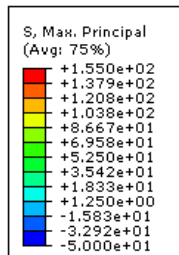
① Serrage

② Flexion 150 N.m

②' Flexion 1000 N.m



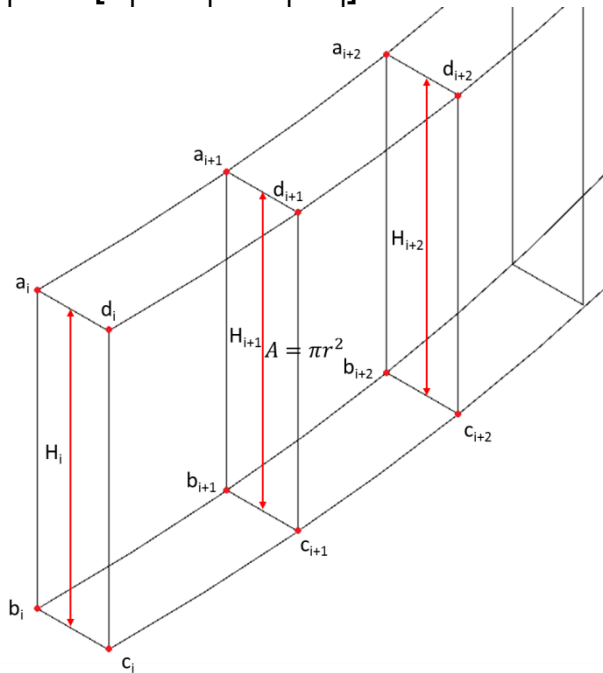
■ Contraintes dans l'assemblage [MPa]



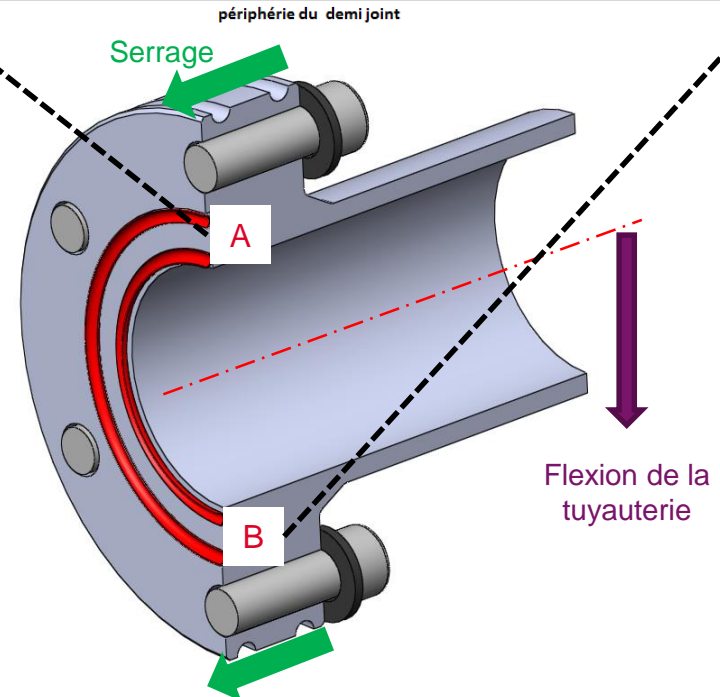
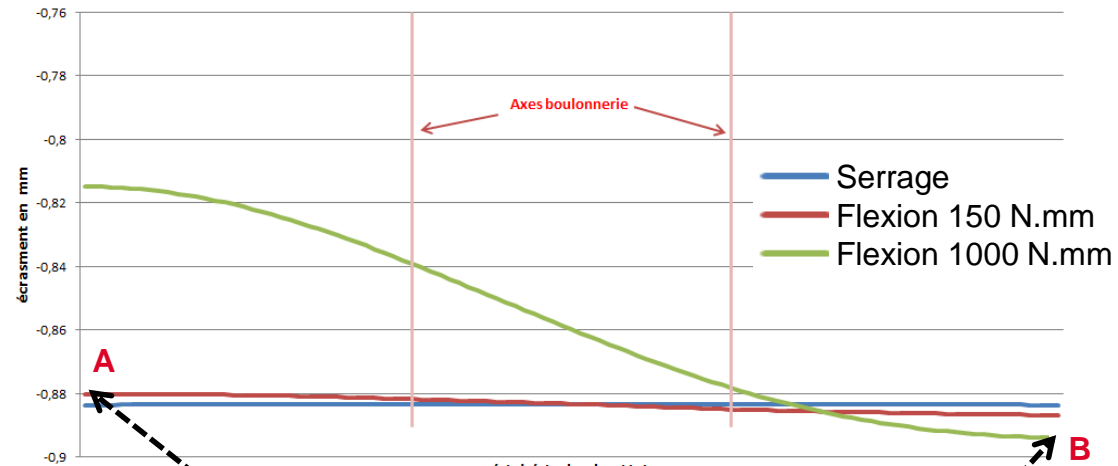
Fin de chargement en Flexion 1000 N.m

Ecrasement du joint (mm)

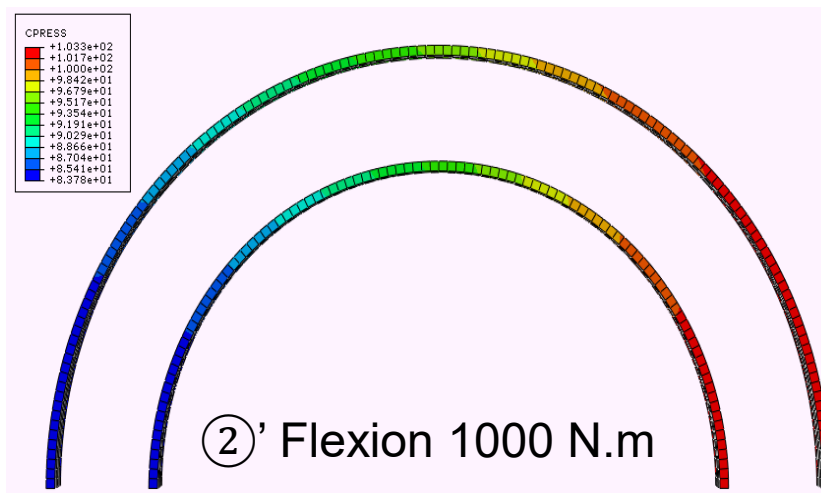
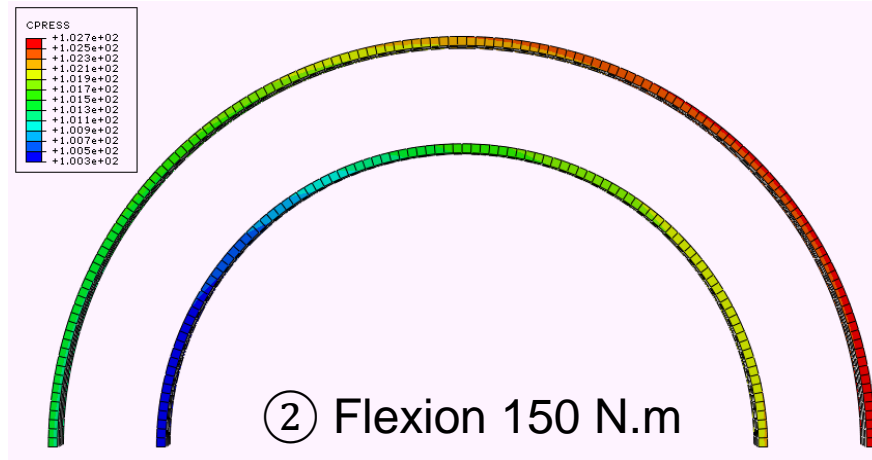
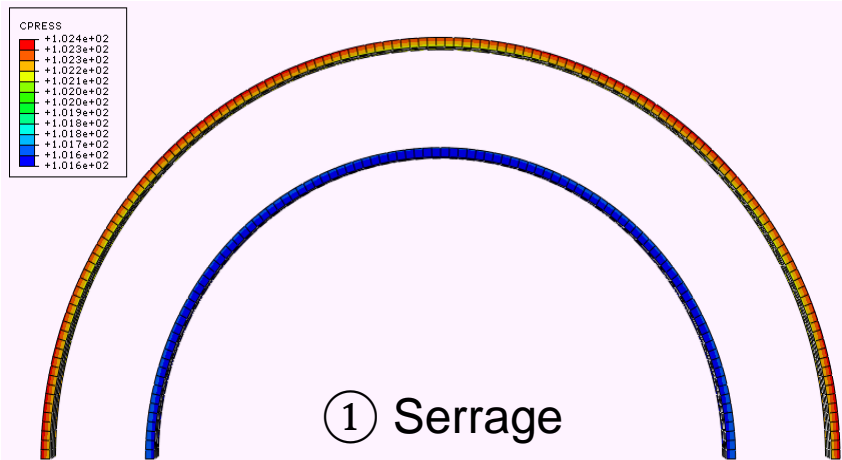
$$H_i = \frac{1}{2} [a_i - b_i + d_i - c_i]$$



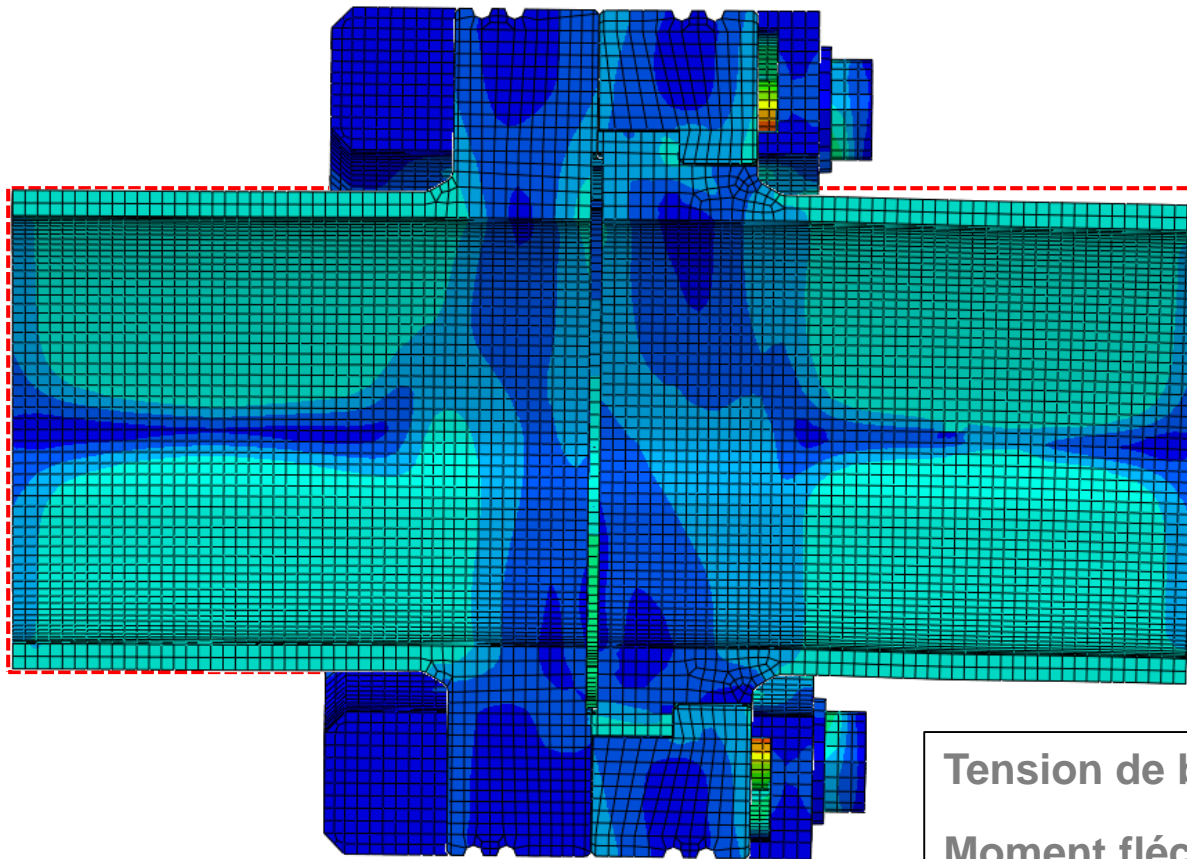
Ecrasement du joint intérieur pour les 3 étapes de calcul



Pression de contact sur les joints [MPa]

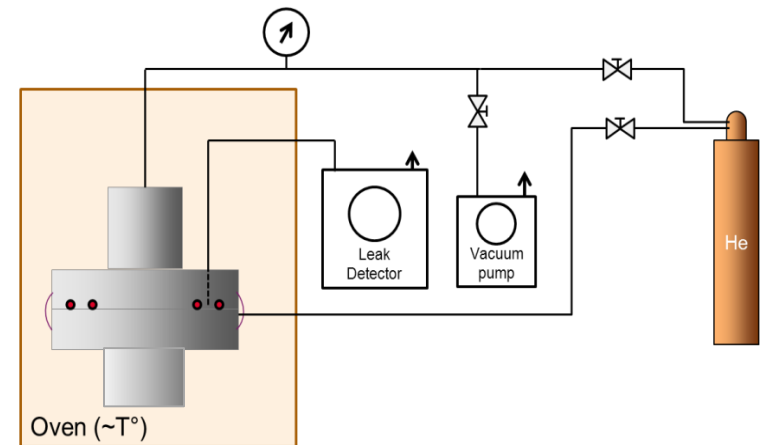
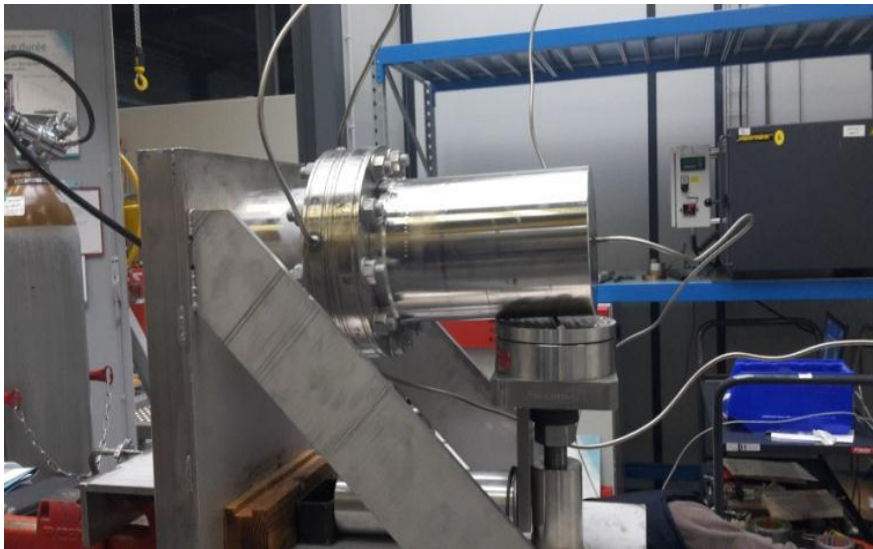
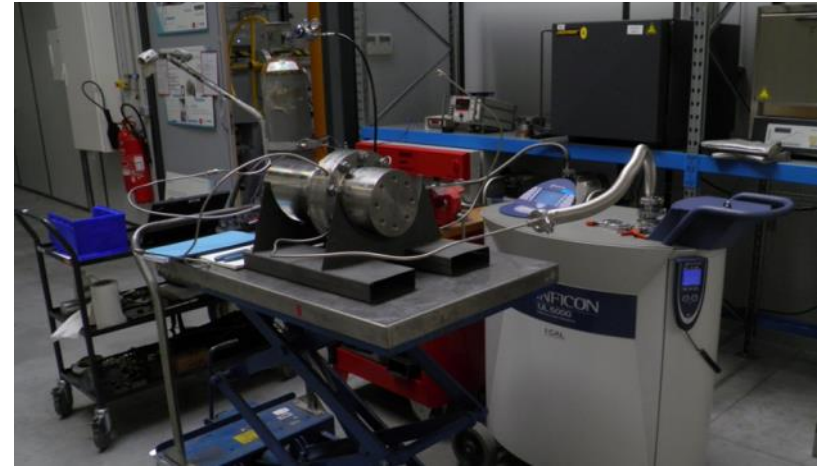


Déformation de la bride sous charge



Tension de boutonnerie: 60 kN/bolt
Moment fléchissant externe 11.3 kN.m

- Essais mécaniques et étanchéité sur maquette
- Mesure spectrométrie He à des seuils inférieurs à 10^{-10} Pa.m³/s
- Cycles thermiques (20°C ↔ 200°C)
- Essais de mise en flexion des brides



*Essais de flexion à 36kN
Moment fléchissant de 9kN.m*

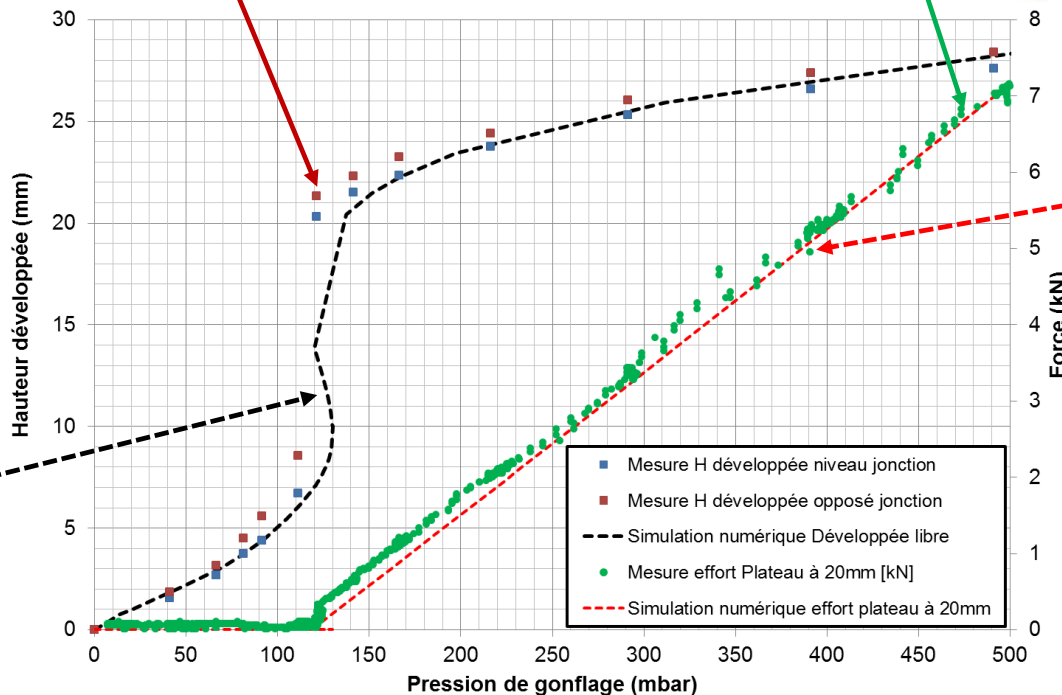
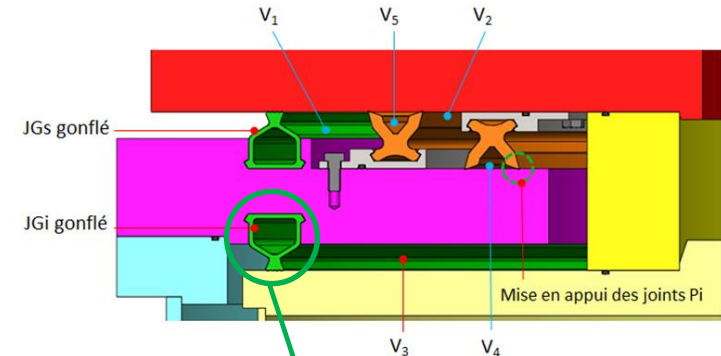
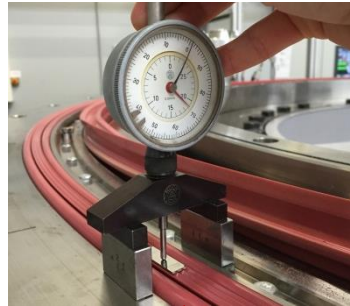
La caractérisation fine des lois matériaux à permis de réaliser des comparaisons mesures-calculs numériques avec **une très bonne corrélation**.

Mesure de la force de réaction avec plateau à 20 mm

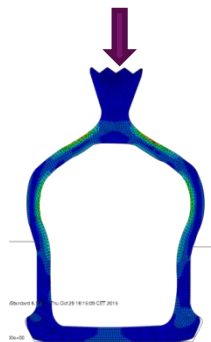
Mesures du déploiement libre



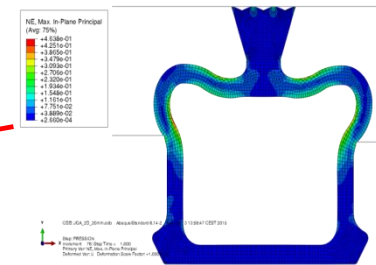
Géométrie : profil 2D axisymétrique, profil réel dupliqué par analyse optique



Mise en pression 0 → 500 mbars



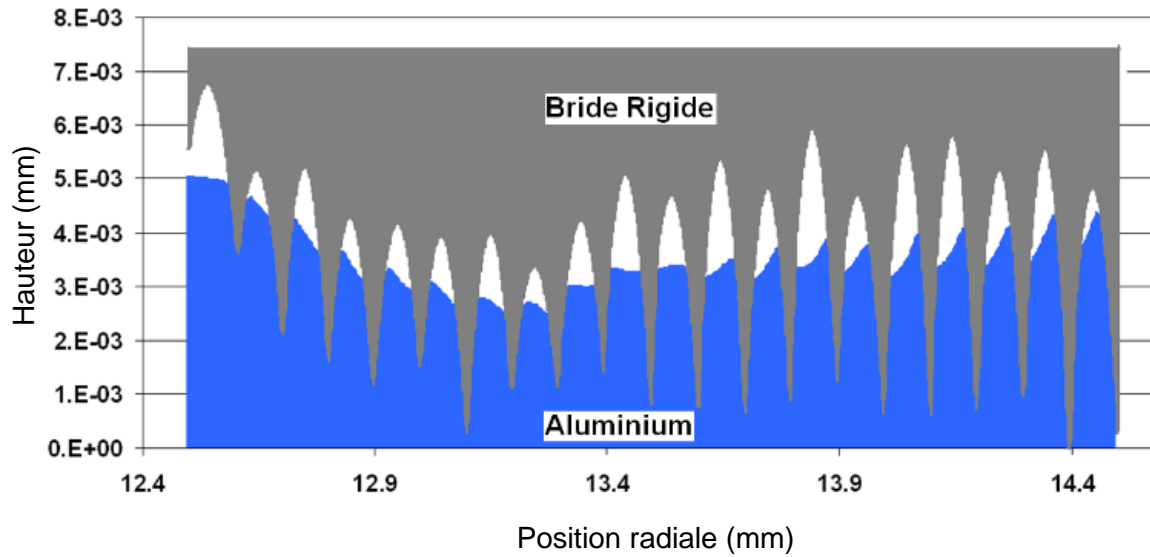
Calcul du déplacement de la tête du joint



Calcul de la pression exercée sur le plateau (à 20mm) en fonction de la pression de gonflage

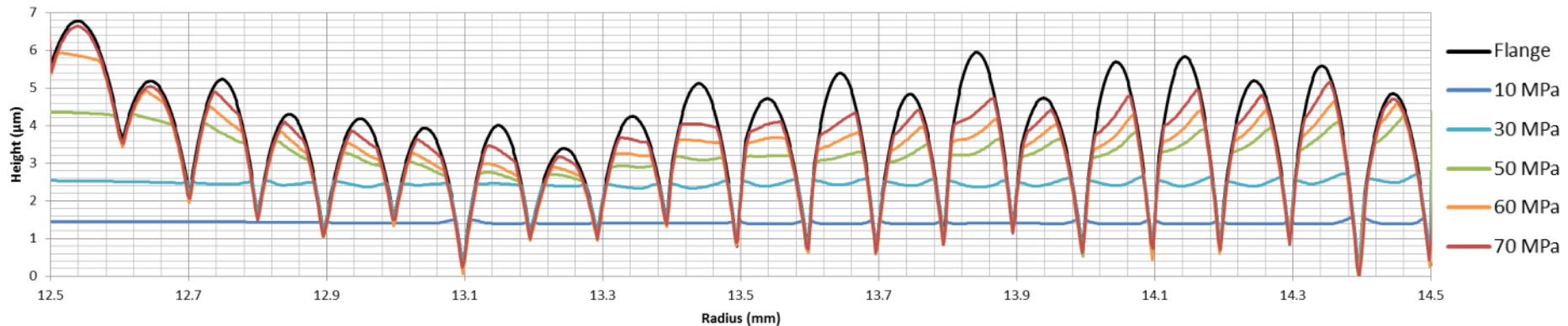
ETUDES FONDAMENTALES : ANALYSE DU CONTACT À L'ÉCHELLE DES RUGOSITÉS

Pression de contact moyenne = 55 MPa



Modèle de référence sur une surface 2D filtrée :

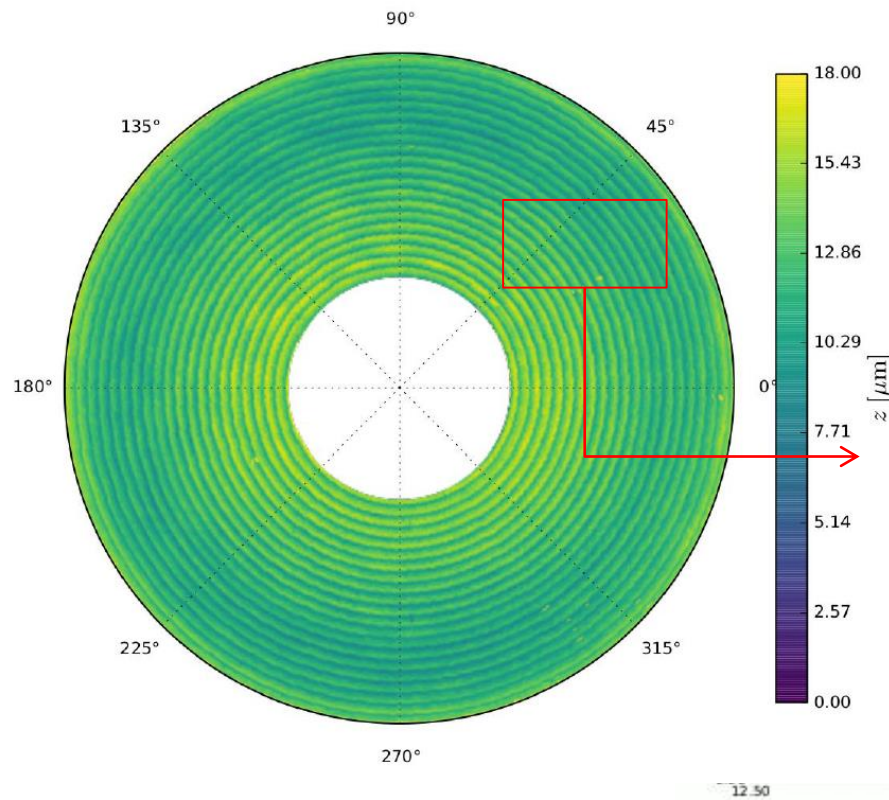
- Traces d'usinage de 100 μm de large
- Analyse de la section ouverte restante



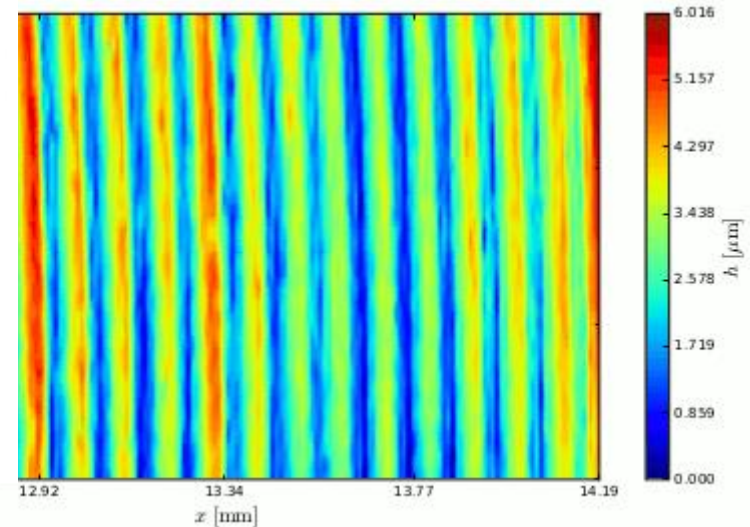
ETUDES FONDAMENTALES : ANALYSE DU CONTACT À L'ÉCHELLE DES RUGOSITÉS

Simulation sur un échantillon de surface 3D :

Mesure de la surface testée



Simulation du champ
d'ouverture (COPEN –
Charge croissante)



- La simulation numérique par éléments finis est aujourd'hui devenue au sein du Laboratoire d'Étanchéité un outil incontournable :
 - En appui aux essais mécaniques dans le cadre des études et des expertises
 - En support à la conception et aux développements de nouveaux concepts ou à l'optimisation de solutions techniques existantes
 - Pour le choix, l'analyse et le dimensionnement de montages mécaniques
 - A la base de nos études fondamentales dans la prédiction de l'étanchéité

- L'ensemble des outils numériques développés en interne au fil des années permet aujourd'hui de répondre à de très nombreuses problématiques techniques. De nouveaux développements sont toujours en cours pour automatiser les travaux de calculs pouvant l'être et d'autres l'utilisation de nouveaux outils (TOSCA) sont à l'étude.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



maestral
la science en étanchéité

Technetics
GROUP

EnPro Industries companies

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
T. +33 (0)4 75 27 39 04

Direction DEN
Département DTEC
Service SDTC

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019