



HAL
open science

Caractérisation des propriétés des joints en silicone : Application au réacteur ASTRID

F. Rouillard, K. Vulliez, L. Mirabel, M. Tessier, M. Berger, B. Rouchouze, A. Beziat, J.-F. Juliaa, O. Gastaldi, F. Dechelette, et al.

► To cite this version:

F. Rouillard, K. Vulliez, L. Mirabel, M. Tessier, M. Berger, et al.. Caractérisation des propriétés des joints en silicone : Application au réacteur ASTRID. Workshop d'étanchéité du laboratoire MAES-TRAL, Oct 2016, Paris, France. cea-02438344

HAL Id: cea-02438344

<https://cea.hal.science/cea-02438344>

Submitted on 14 Jan 2020

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.

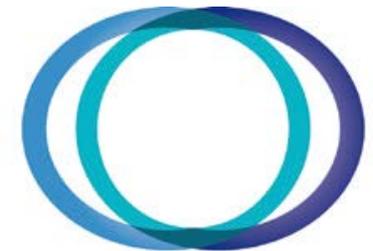
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



www.cea.fr

Caractérisation des propriétés des joints en silicone Application au réacteur ASTRID



maestral
science in sealing

F. ROUILLARD, K. VULLIEZ, L. MIRABEL, M. TESSIER, M. BERGER, B. ROUCHOUZE, A. BEZIAT, J.F. JULIAA, O. GASTALDI, F. DECHELETTE, H. LORCET

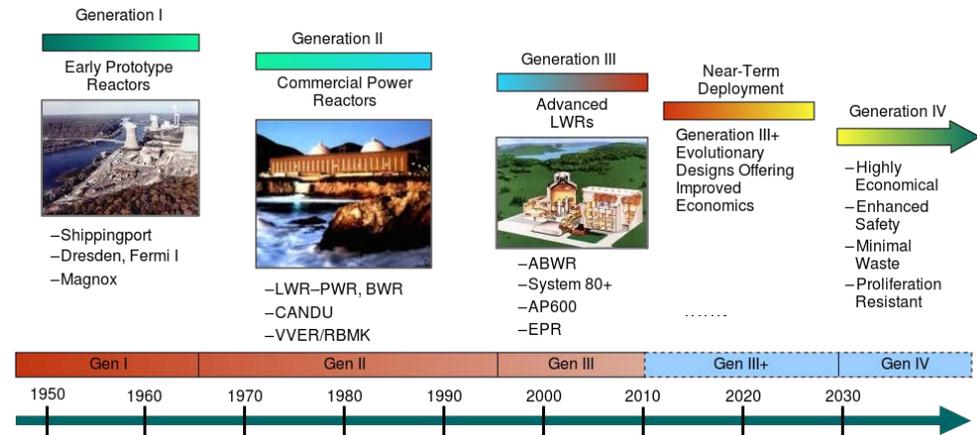
Workshop étanchéité 14 Octobre 2016, Paris

- Contexte / Objectifs
- Modélisation numérique du comportement des joints en silicone
- Caractérisation en étanchéité et en endurance des joints en silicone
- Conclusion / Perspectives

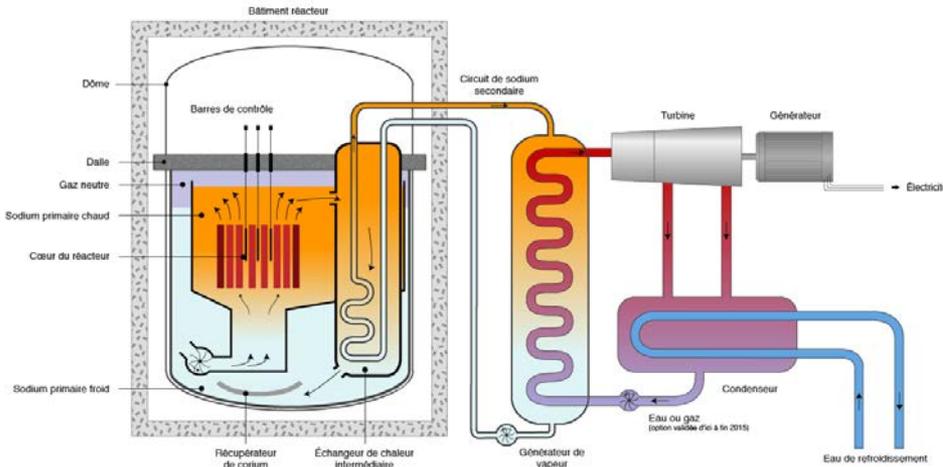
REACTEUR DE GENERATION IV

- **ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)** est un projet français de réacteur à neutrons rapides (RNR) refroidi au sodium liquide.
- Porté par le CEA, il a pour objectif de servir de démonstrateur de cette filière, une des options technologiques pour les réacteurs de génération IV.

Generation IV: Nuclear Energy Systems Deployable no later than 2030 and offering significant advances in sustainability, safety and reliability, and economics



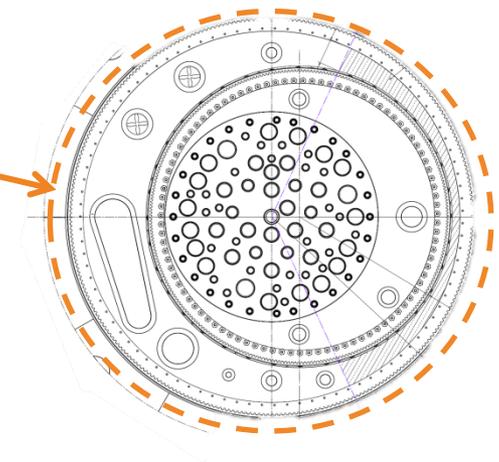
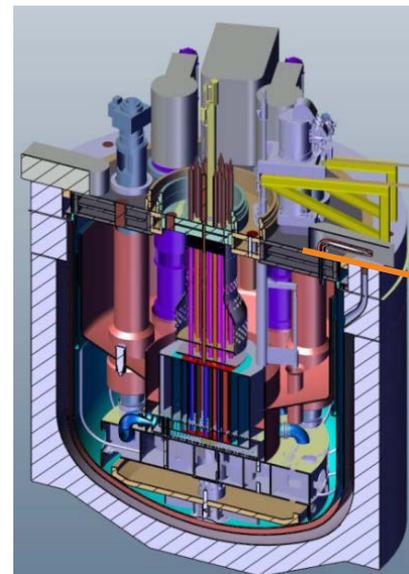
- Pour être un démonstrateur industriel plus qu'un prototype, le CEA s'appuie sur des partenariats industriels pour la conception d'ASTRID



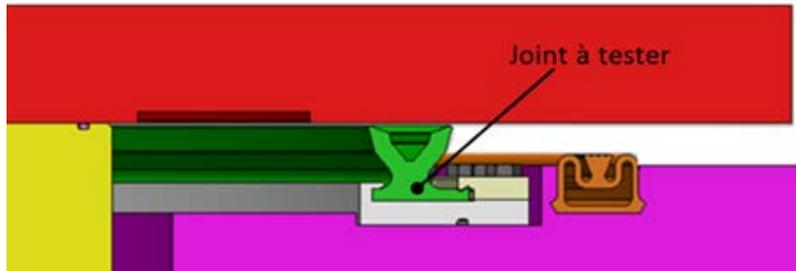
■ **ASTRID** : un réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium liquide

■ **BOUCHONS TOURNANTS :**

Mécanisme constitué de 2 couvercles cylindriques excentrés rotatifs permettant la manutention du combustible en assurant l'étanchéité de l'argon du ciel de pile



- **Objectif du LE** : Concevoir et qualifier le système d'étanchéité des Bouchons Tournants



Solution d'étanchéité proposée :

- Un joint **Gonflable** (montée/dépose)
- Un joint à **double Lèvres** (rotation)

Maquette de Bouchon Tournant



■ Cahier des charges :

- Durée de vie : 60 ans / 100 km de distance parcourue
- Température : 120 °C
- Différentiel de pression : 4 à 25 mbar
- Environnement : présence d'aérosol de sodium
- Critère d'étanchéité : en dynamique à 25 mbar 0,047 NL/h
- Mouvement rotation alternatif : 0 à 360 ° et translation de 0 à 20 mm
- Diamètres : petit bouchon 5,7 m / grand bouchon 8,1 m / maquette 2,2 m
- Jonctionnable sur site

MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT DES JOINTS EN SILICONE



- **Caractérisation sur éprouvettes** extrudées et moulées en silicone C85MC6THT/60 de dureté 60 Shore A

Traction uniaxiale



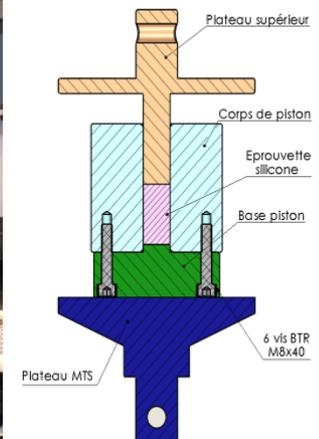
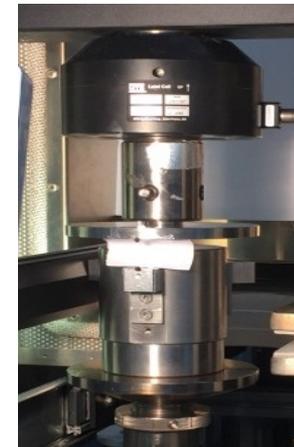
Traction équilibiaxiale



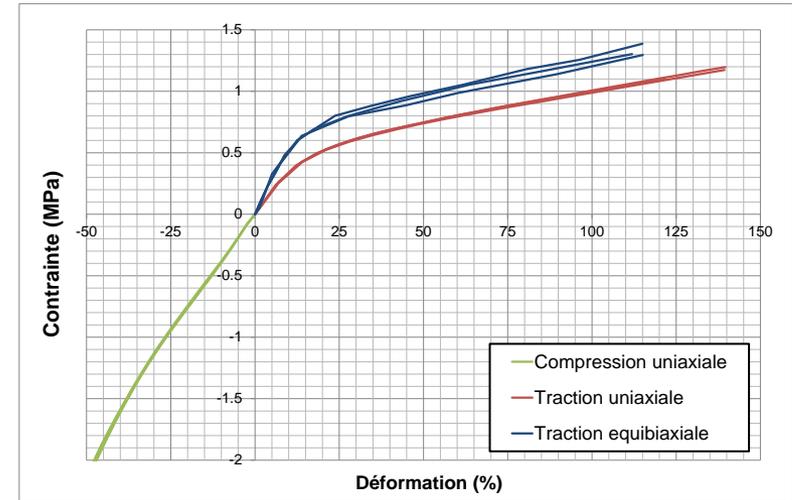
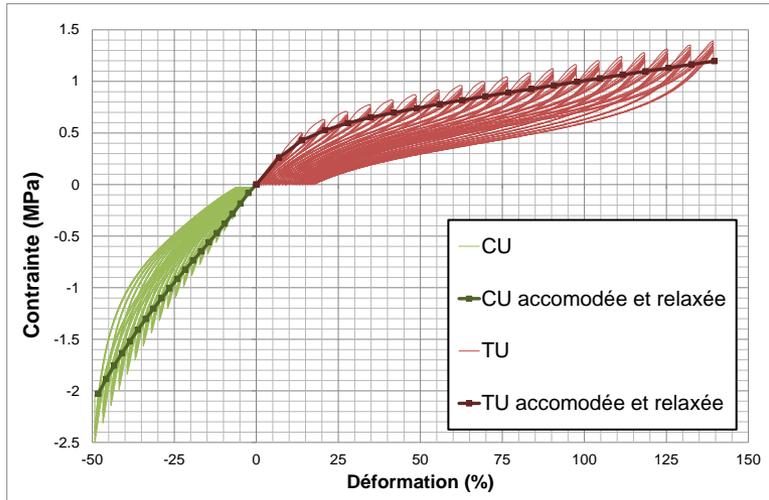
Compression uniaxiale



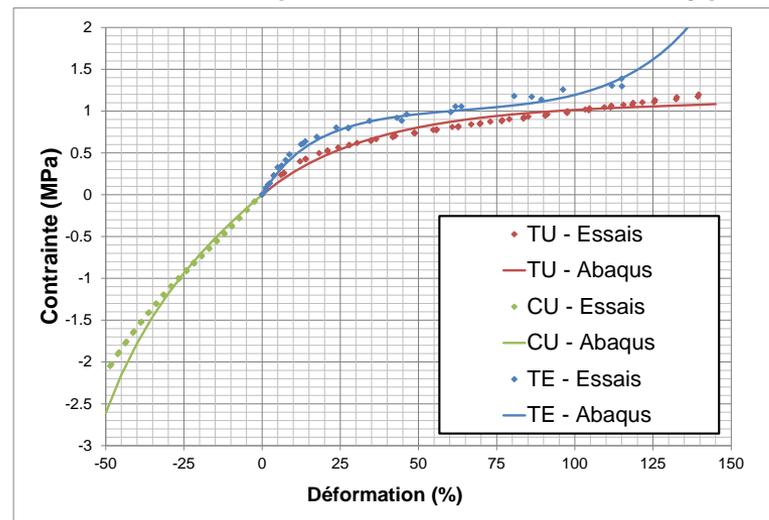
Compression hydrostatique



- Chargements avec cyclage et relaxation tenant compte de l'accomodation et des phénomènes de relaxation

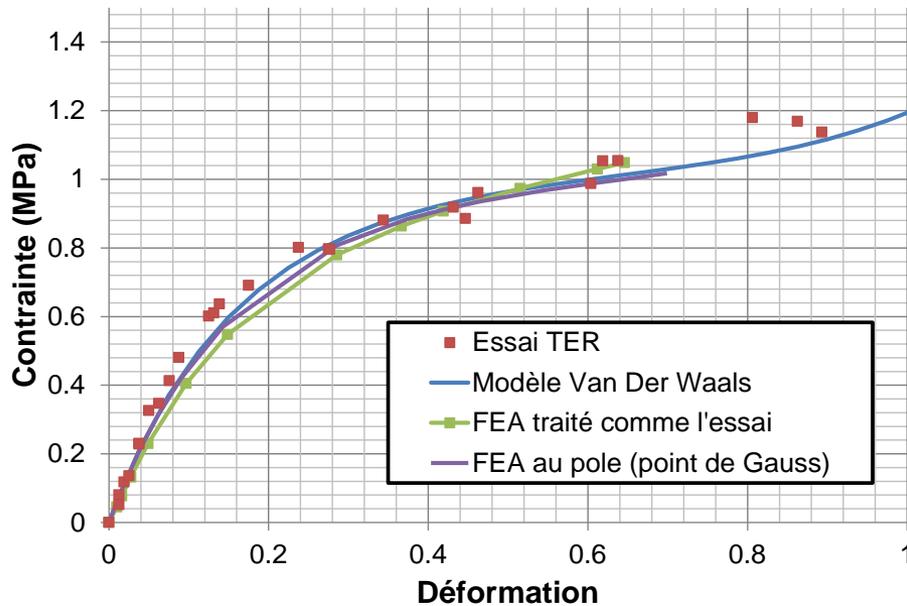
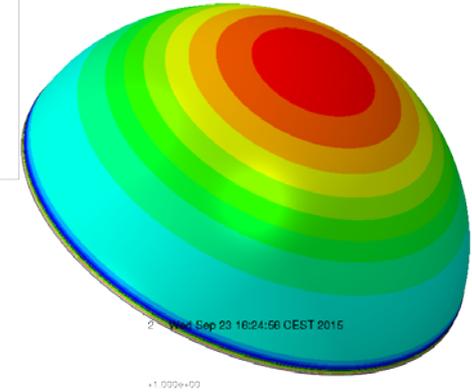
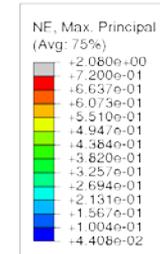
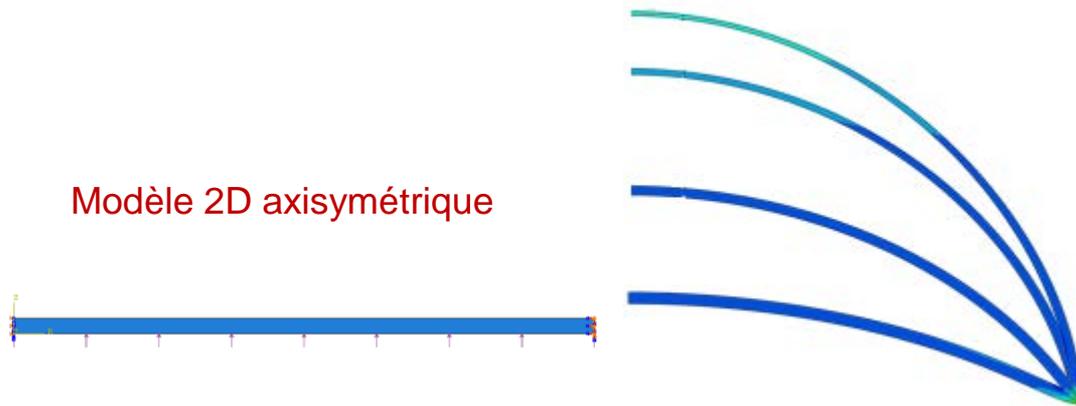


- Optimisation sous ABAQUS® des paramètres des lois hyperélastiques :



- Validation de l'essai de traction équi-biaxiale par gonflement de membrane :

Modèle 2D axisymétrique



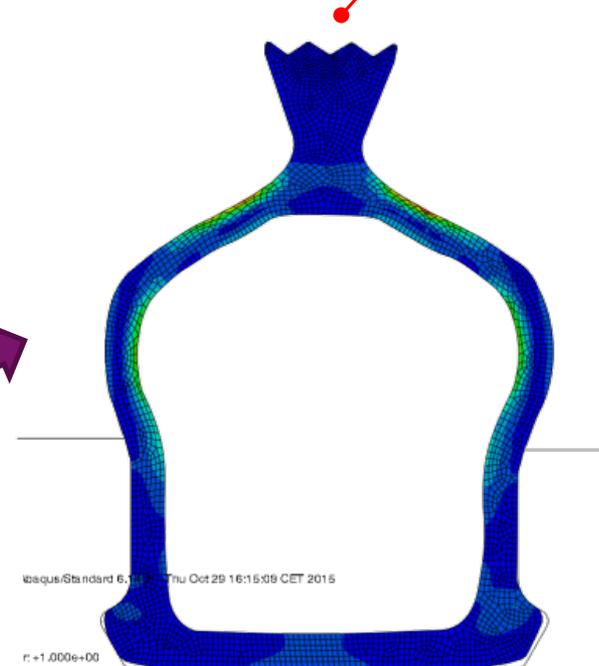
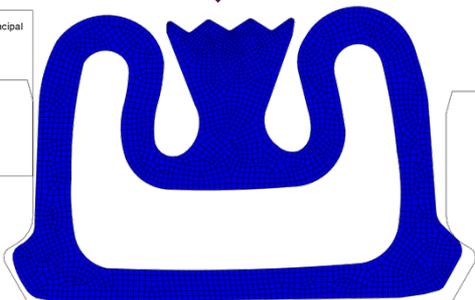
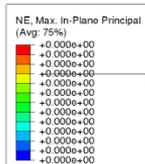
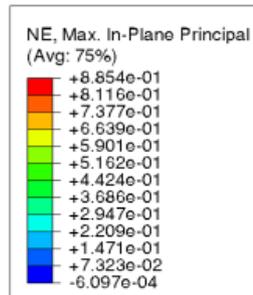
➔ Bonne corrélation calcul / essai

■ Objectif : valider les modèles numériques par comparaison calculs-essais

■ Conditions du calcul :

- Géométrie : 2D axisymétrique, profil réel dupliqué par analyse optique
- Sollicitation : mise en pression sous 500 mbar
- Montage : avec ou sans vis-à-vis à 20 mm du bord de gorge

Suivi du déplacement de la tête du joint



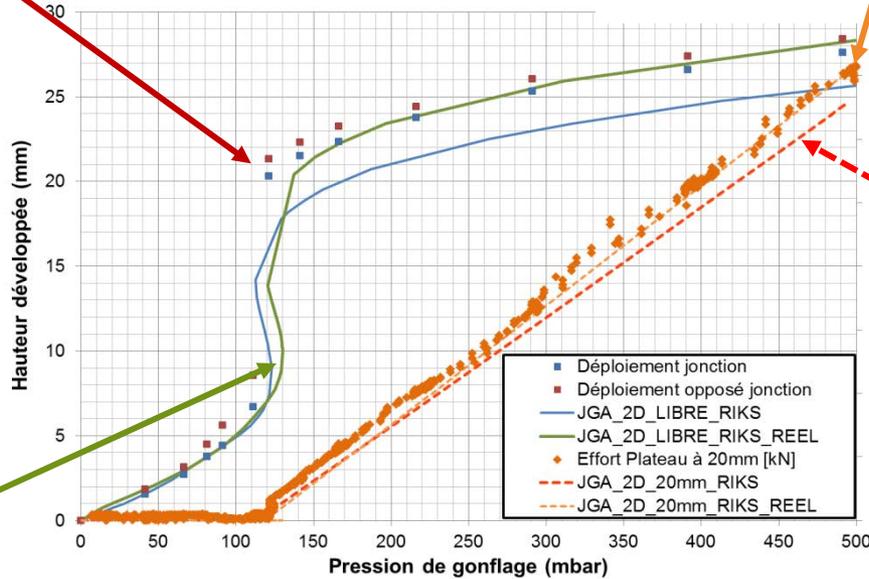
Cas expansion libre sans butée mécanique

ODB: JGA_00_LIBRE_RHS_FEELEdb: Abaqus/Standard 6.14.2 Thu Oct 29 16:15:09 CET 2015

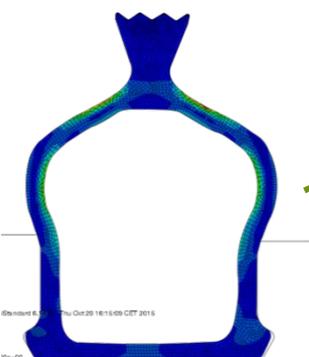
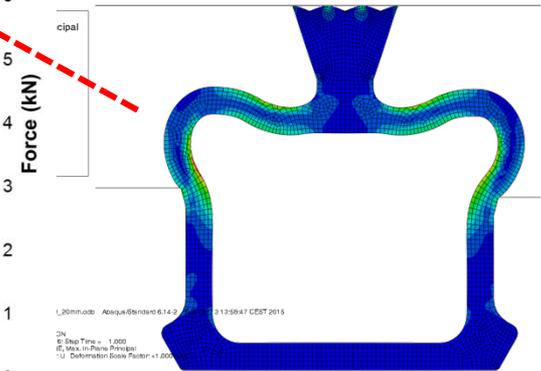
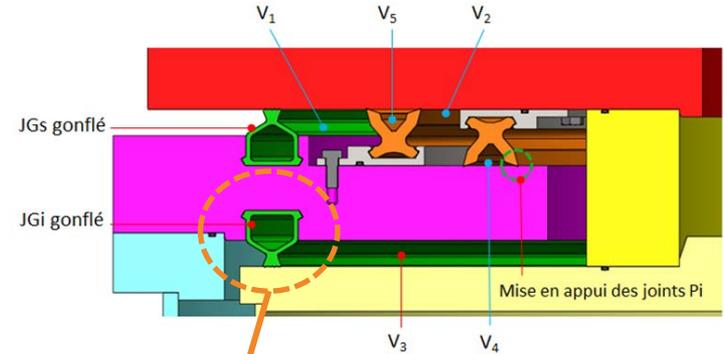
Plot: MONTAGE
 X: Invariant I, E: Step Time = 0.000
 Primary Var: NE, Max. In-Plane Principal
 Deformed Var: U, Deformation Scale Factor: +1.000e+00

Calcul de l'expansion libre du joint gonflable axial

Mesure du déploiement sans vis-à-vis

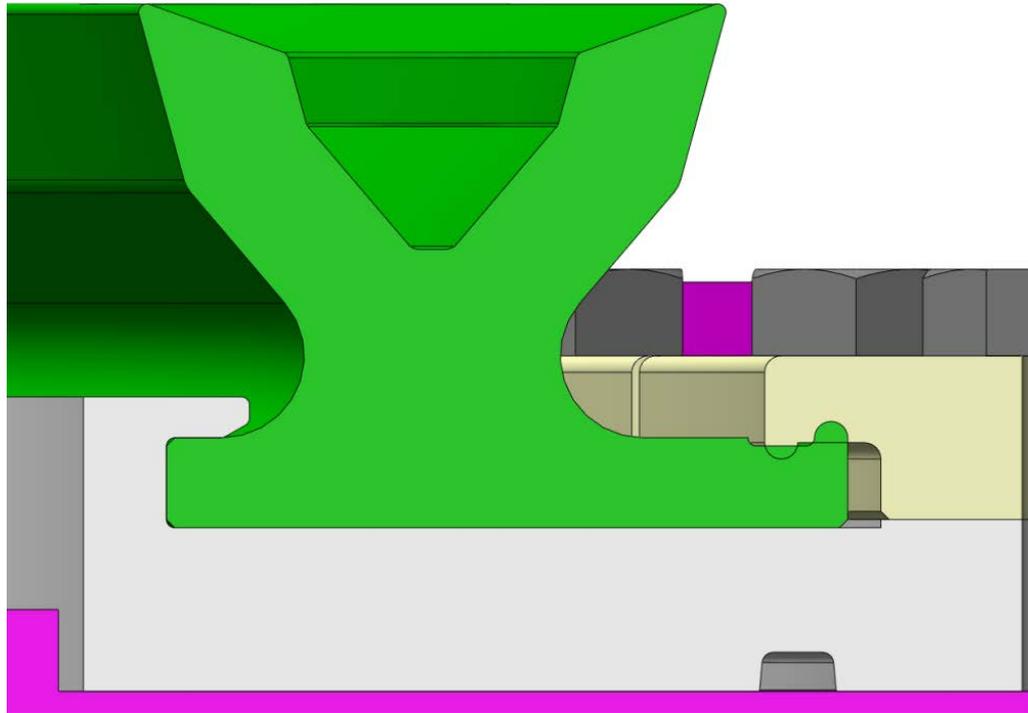


Mesure de la force de réaction sur appui plan à 20 mm



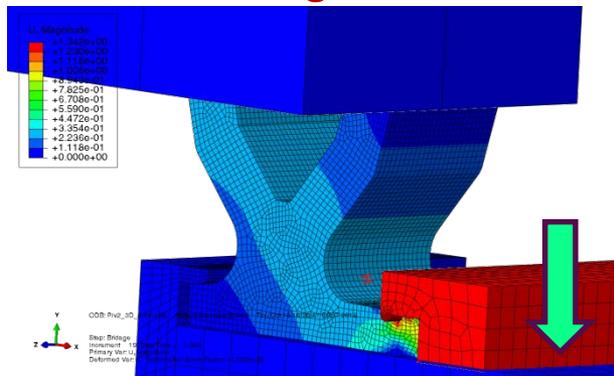
➔ Bonne corrélation calcul / essai

- Objectif : vérifier le fonctionnement mécanique du joint à température ambiante et à chaud
- Conditions du calcul :
 - Géométrie : *tronçon 3D avec symétrie périodique*
 - Sollicitation : *compression, rotation aller-retour, chauffage à 120 °C et décharge*

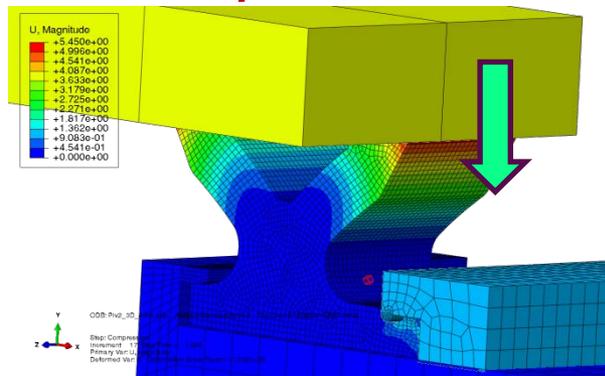


■ Résultats du calcul : isovaleurs de déplacement (total)

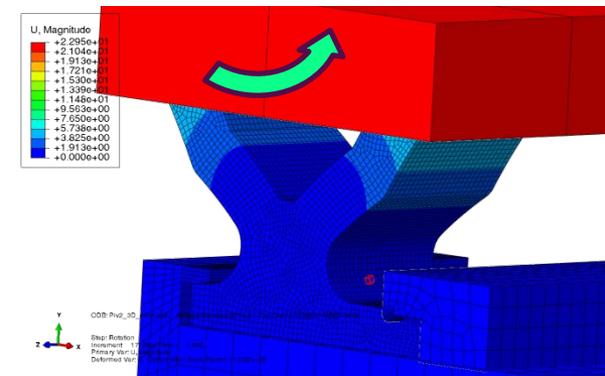
Bridage



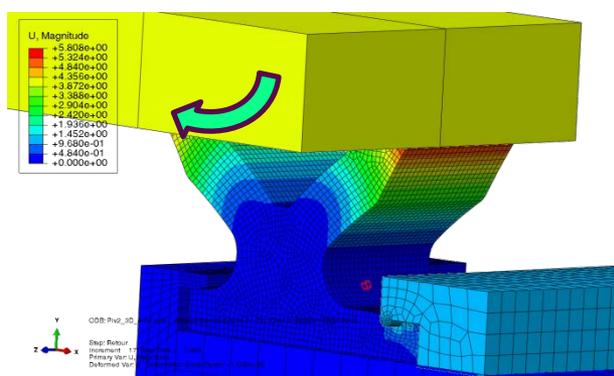
Compression



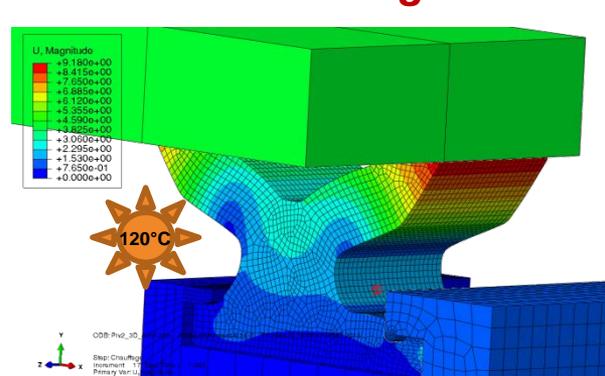
Rotation



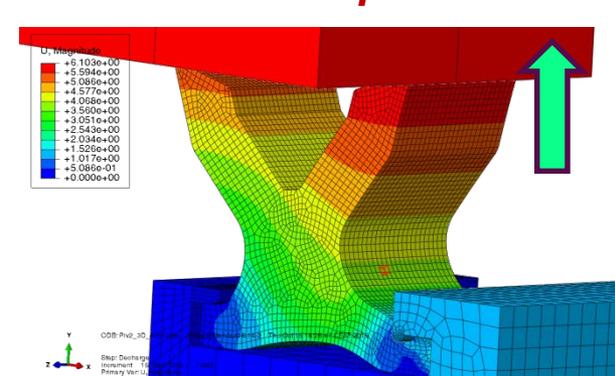
Rotation inverse



Chauffage



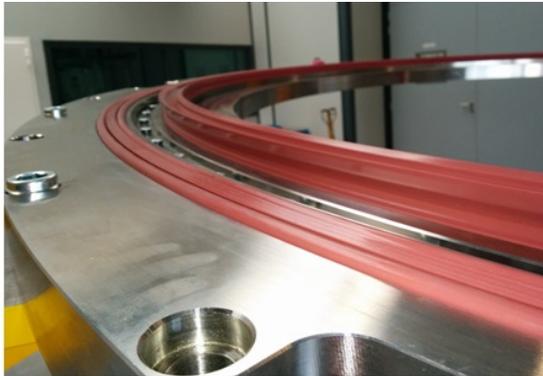
Décompression



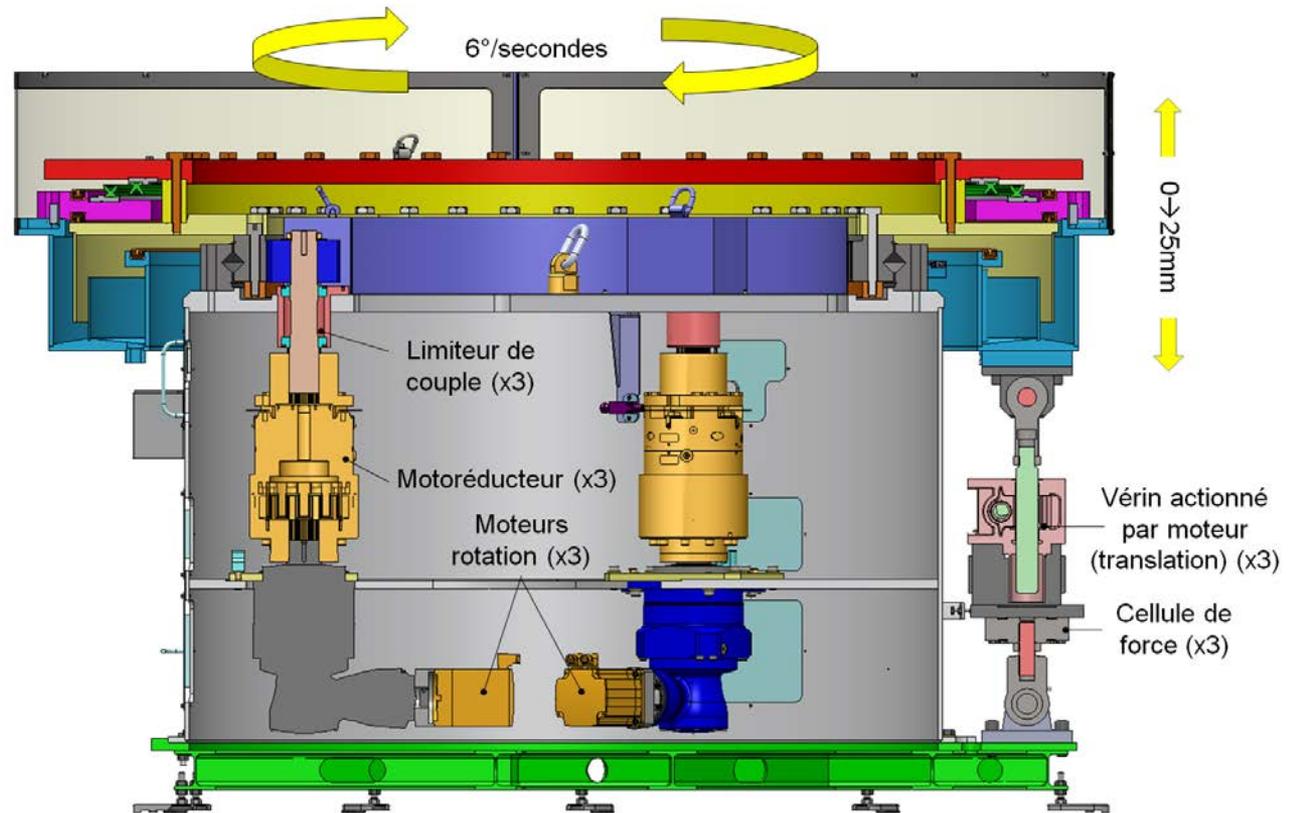
➔ Bon maintien en gorge en rotation et en température

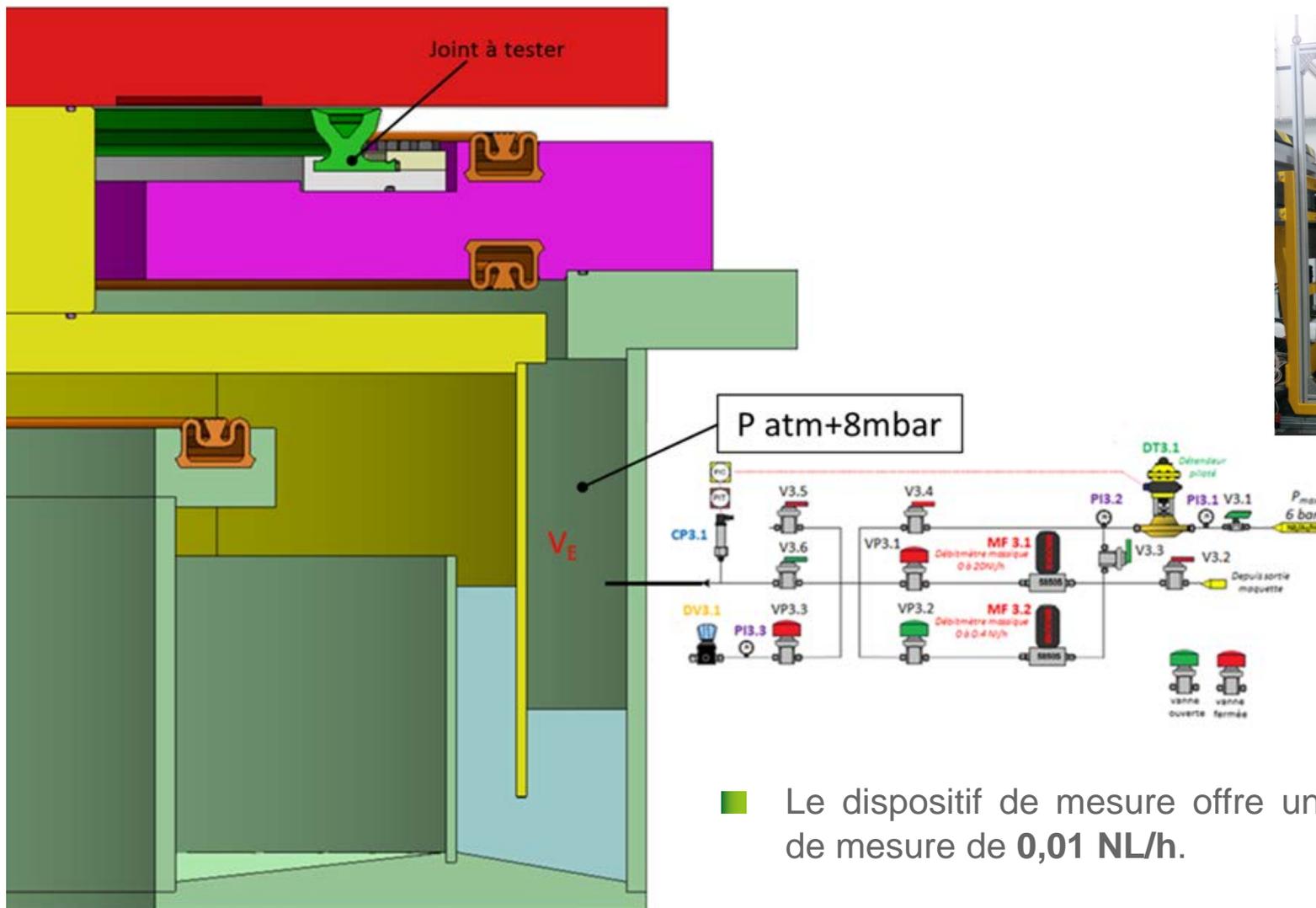
CARACTÉRISATION EN ÉTANCHÉITÉ ET EN ENDURANCE DES JOINTS EN SILICONE





- La Maquette est instrumentée, l'acquisition gère la mesure de **32 paramètres distincts** : débits, pressions, températures, positions, efforts, couples de rotation.





- Le dispositif de mesure offre une résolution de mesure de **0,01 NL/h**.

- Les débits de fuite par **perméabilité** (de l'intérieur vers l'extérieur du joint) ont été mesurés par débitmètrie à pression asservie et par chute de pression pour différente pression de gonflage



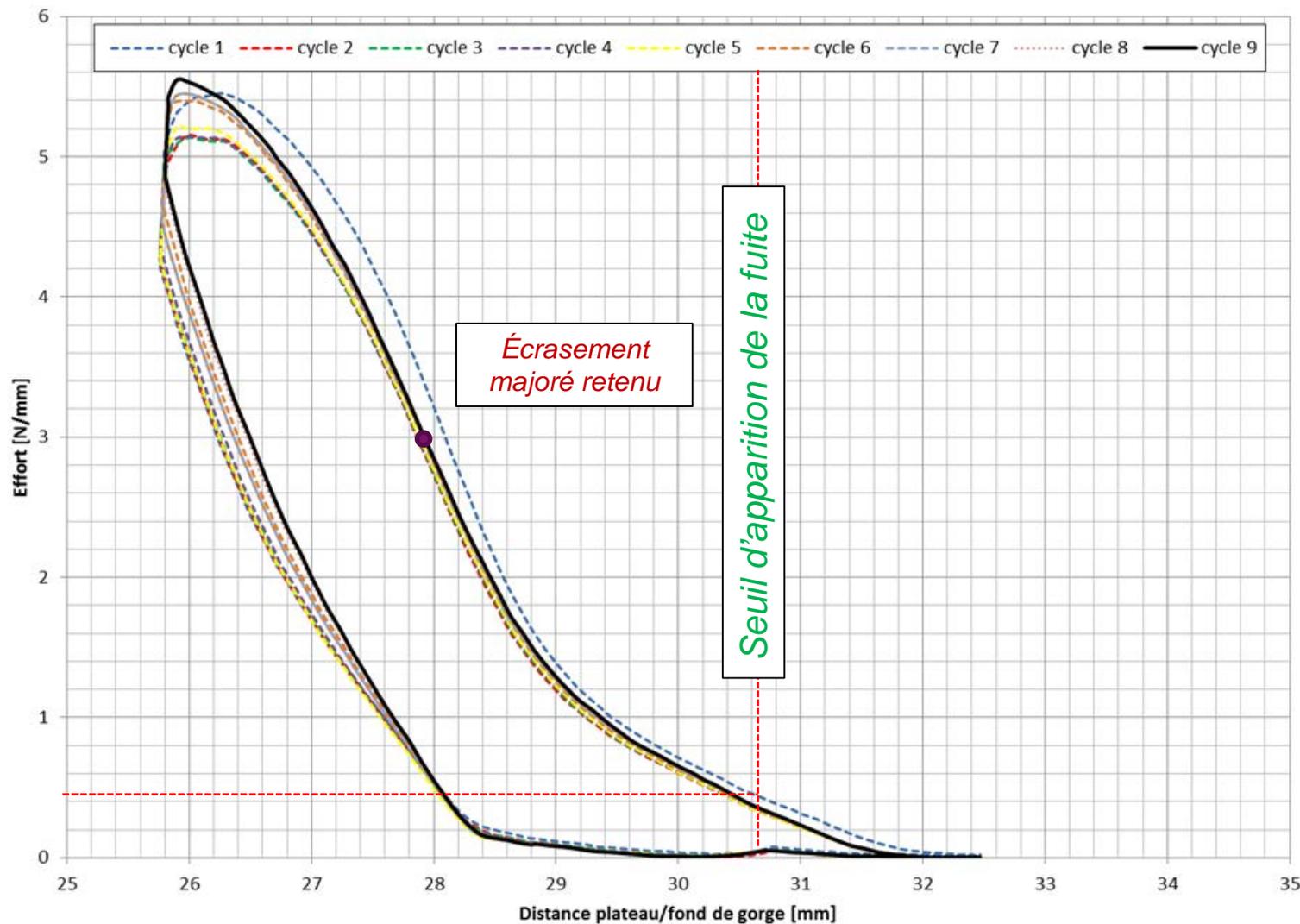
Pression de gonflage [mbar]	Fuite par perméabilité [NL/h]
400	0,09
600	0,13
800	0,2

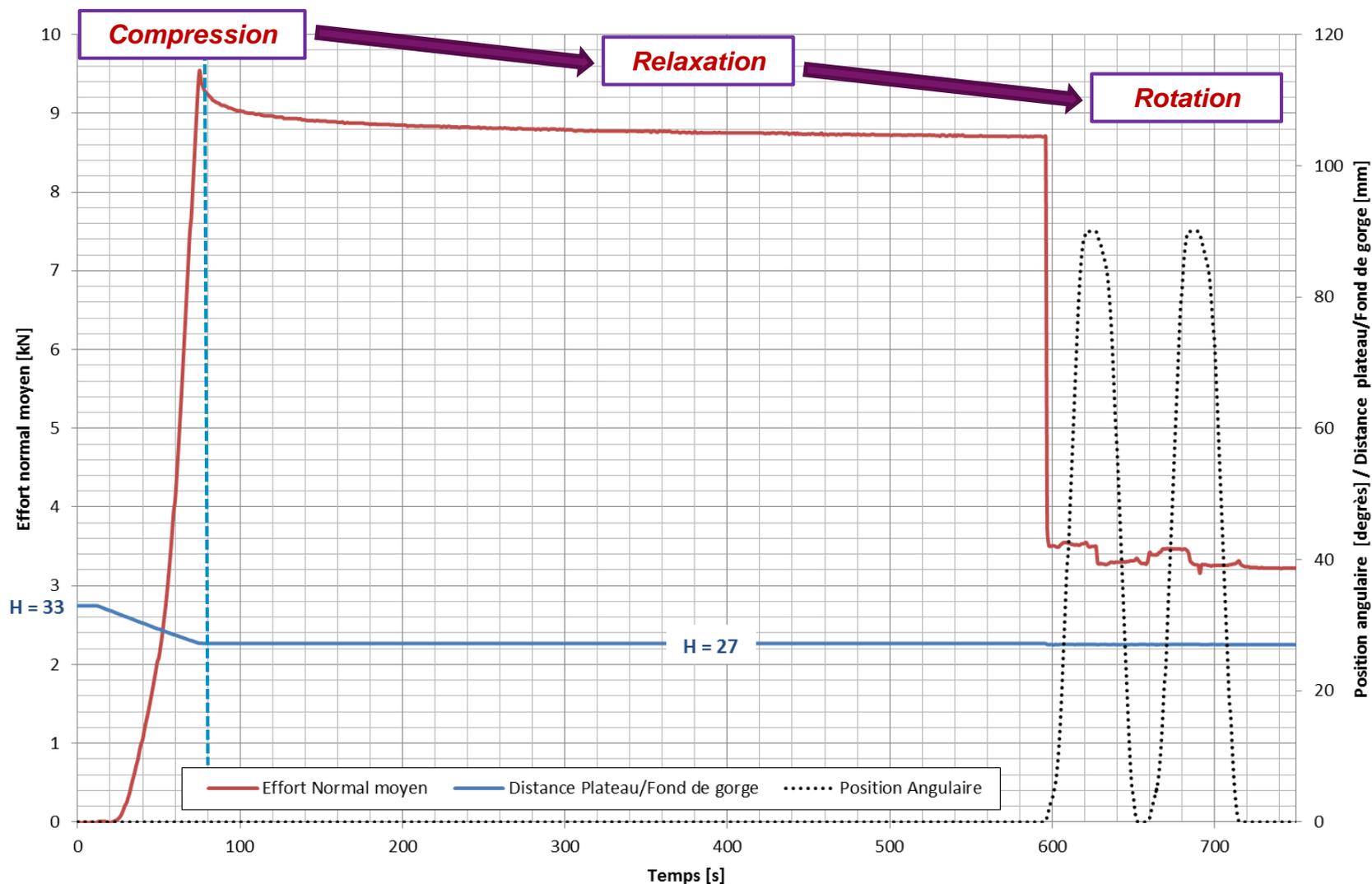
- La fuite à l'interface n'est plus mesurable (inférieur à l'apport de perméabilité) dès qu'une pression seuil de est atteinte. Sous un ΔP de 24 mbar l'étanchéité à l'interface est obtenue pour une pression de gonflage de 600 mbar :
 - En **statique** $Q < 0,1$ NL/h
 - En **dynamique** $Q < 0,1$ NL/h

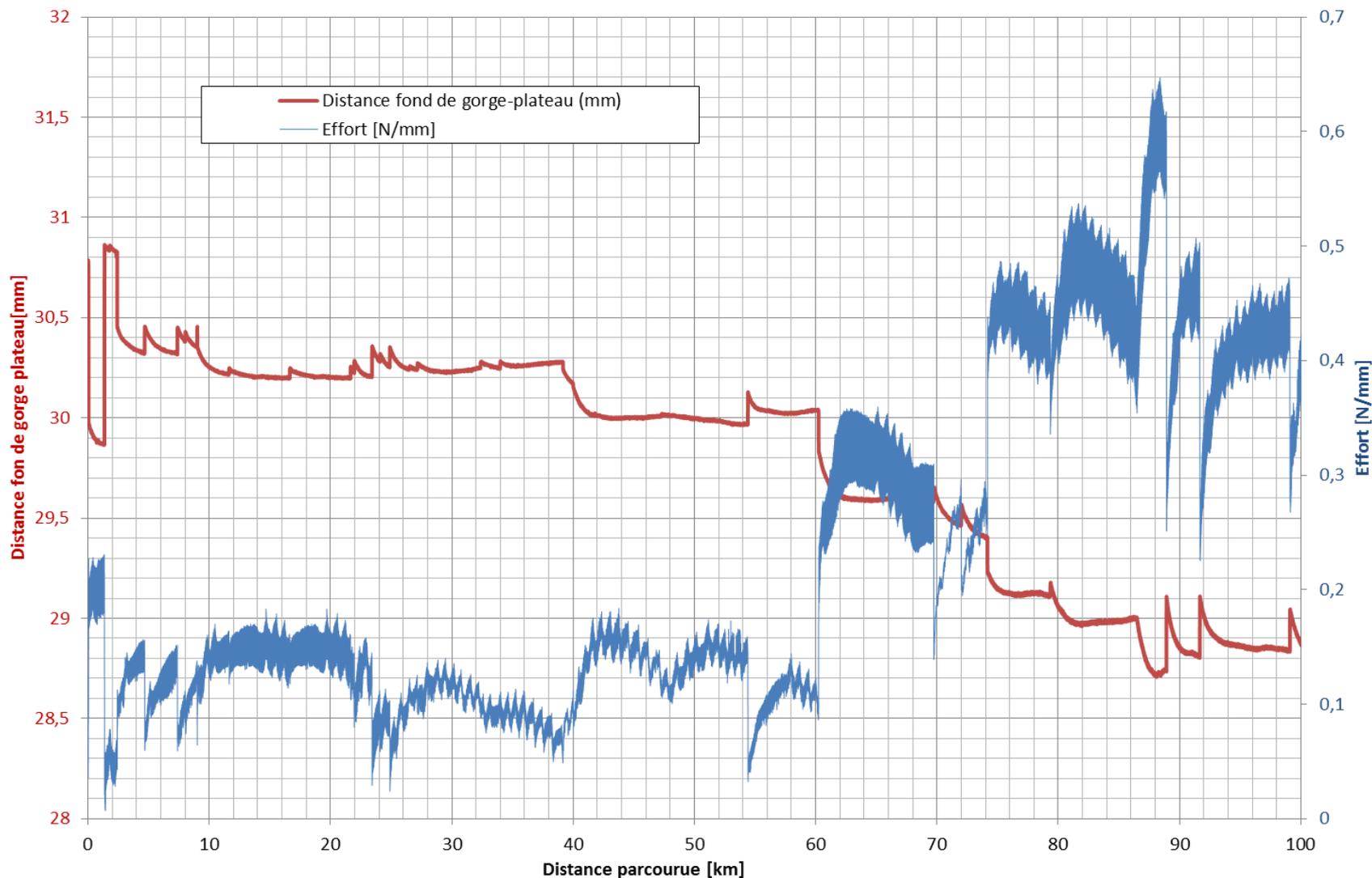


- Mesures en statique des taux de fuite aux interfaces :
Comportement « binaire » : un écrasement suffisant conduit à un débit de fuite inférieur à la résolution de mesure
- Mesures mécaniques : courbe de réponse mécanique conforme à l'attendu (dimensionnement FEA) avec des effets notables de relaxation en statique et en rotation
- Mesures d'étanchéité dynamique / essais d'endurance (100 km)
 - Essai réalisé en **charge imposée**, effort minimum conduisant à l'étanchéité (Y1)
 - Essai en **déplacement imposé**, écrasement majoré

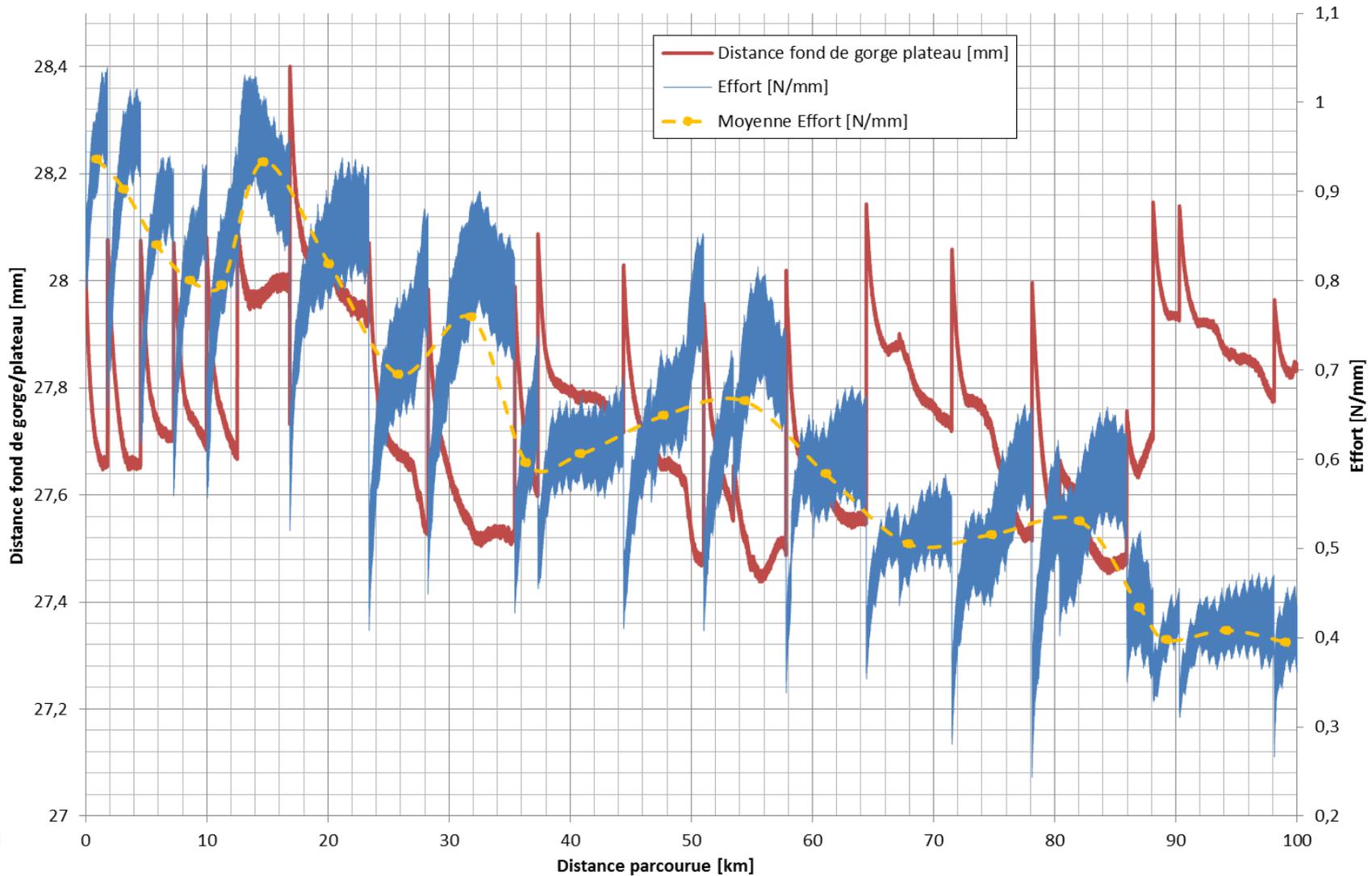


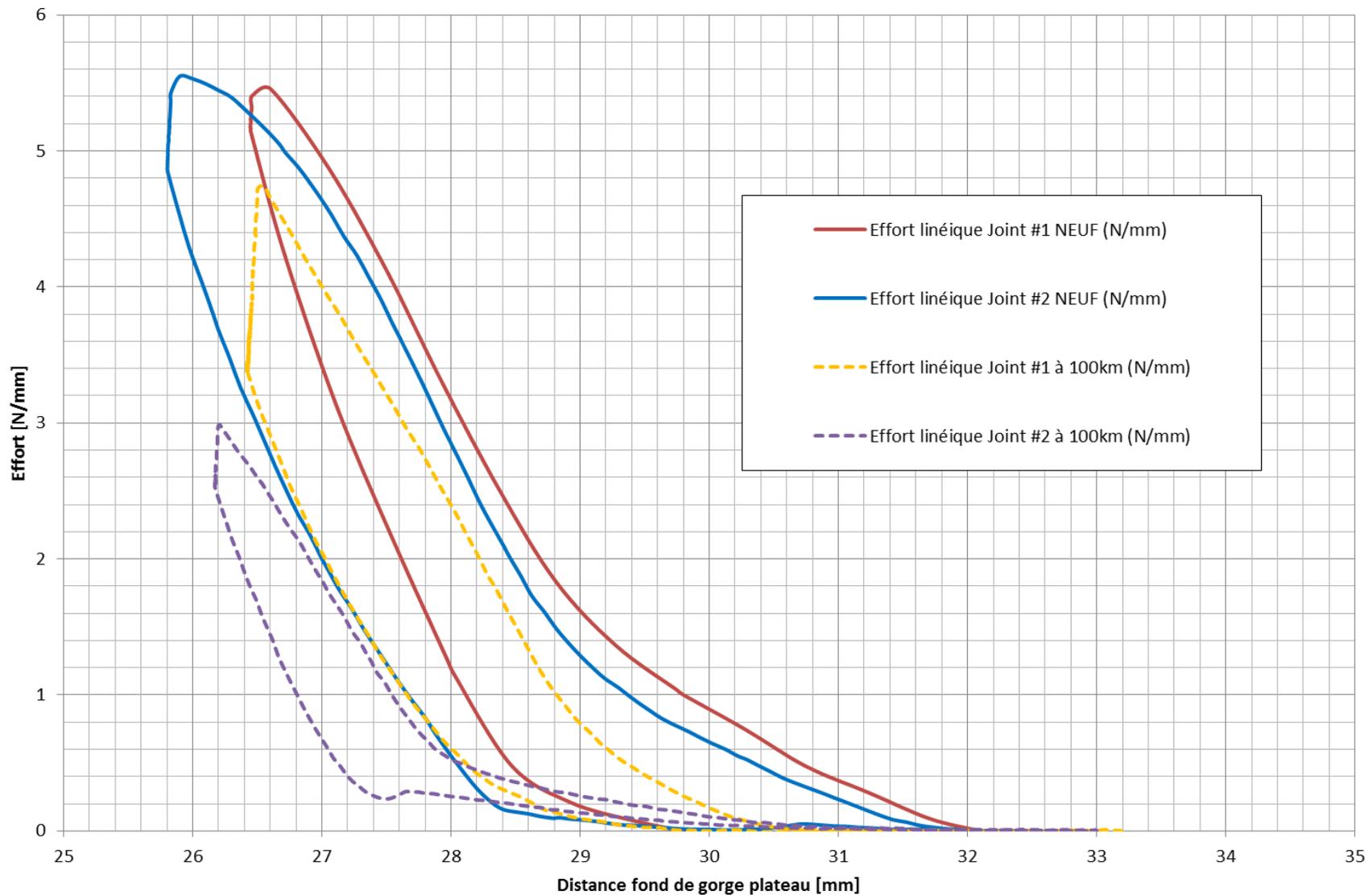


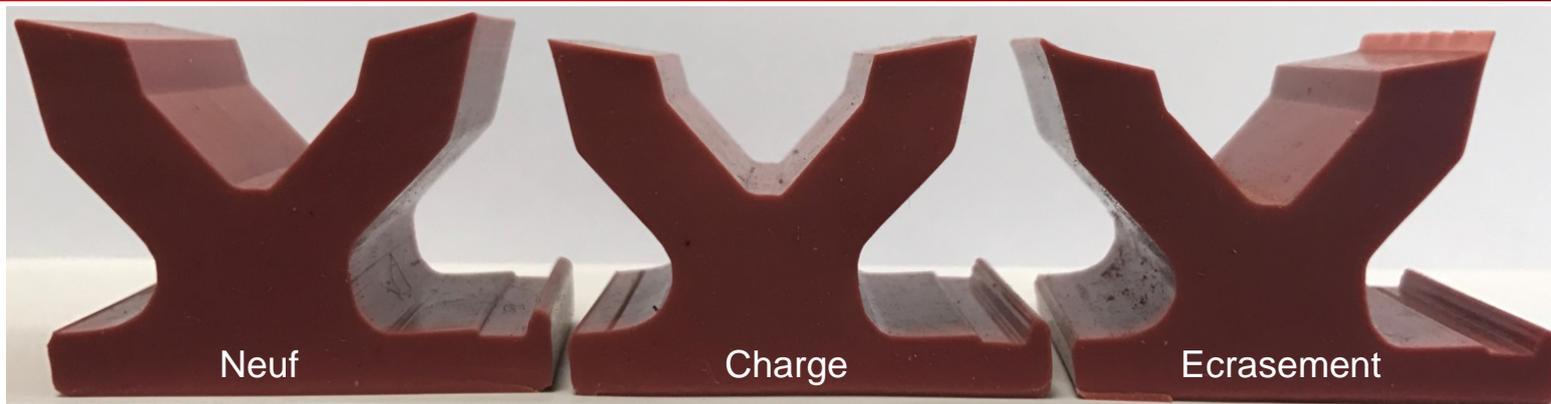




Joint à lèvres - Essai à écrasement imposé : endurance sur 100km





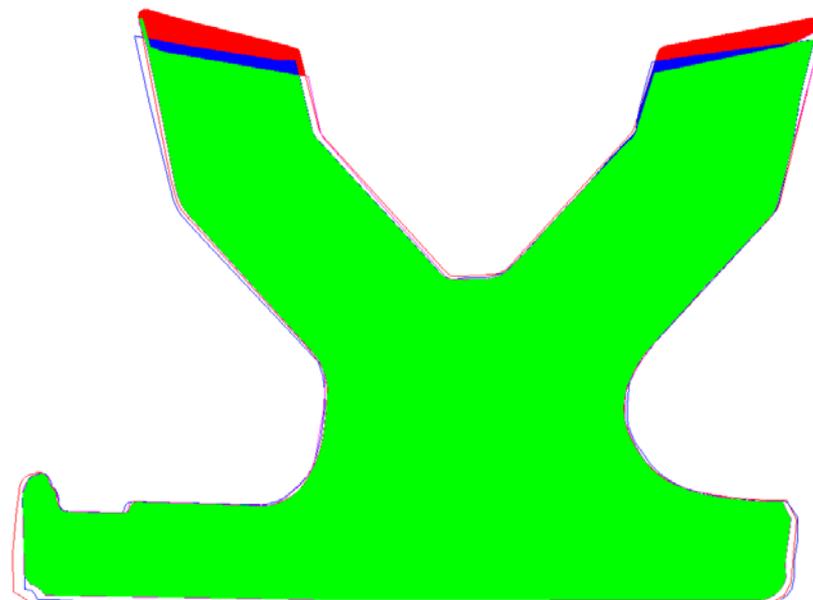


Essai charge imposée

Poids joint neuf [g]	5707
Poids joint usé 100km [g]	5636
Perte de masse (g)	71
Perte de masse (%)	1,2

Essai écrasement imposé

Poids joint neuf [g]	5674
Poids joint usé 100km [g]	5549
Perte de masse [g]	125
Perte de masse (%)	2,2



CONCLUSIONS / PERSPECTIVES

■ Bilan

- Sélection d'un matériau silicone hautes performances
- Comportement complexe nécessitant une caractérisation détaillée et une expertise matériau
- Outil numérique (EF) d'un grand support pour la conception et la compréhension
- Nécessité de moyens d'essais spécifiques (MBT, tribologie)

■ Perspectives

- Réalisation de nouveaux essais d'endurance sur joint à lèvres vieilli en température
- Comparaison de la solution à une solution de joints gonflables radiaux
- Calculs complémentaires sur nouveaux joints
- Etudes fondamentales en perméabilité et tribologie



maestral
science in sealing

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Marcoule |
2 Rue James Watt
26700 PIERRELATTE
T. +33 (0)4 75 27 39 00

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

Direction de l'Energie Nucléaire
Département des Technologies du Cycle du Combustible
Service de Développement des Technologies du Cycle