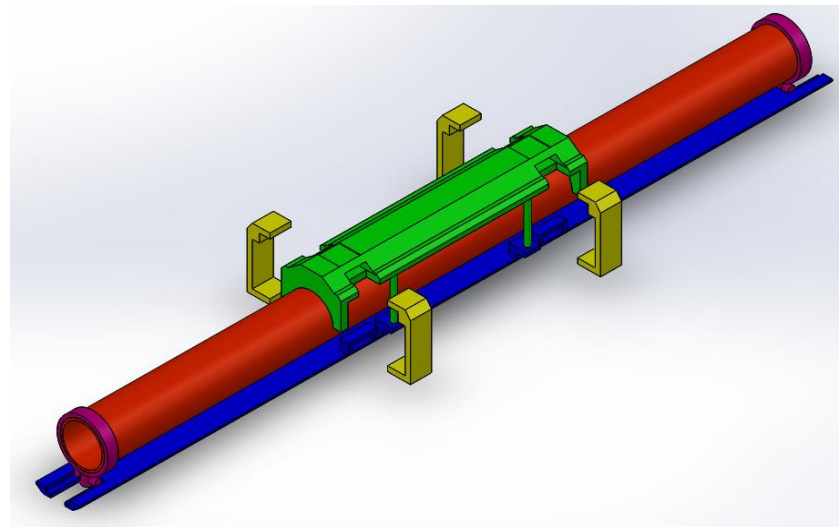


CONCEPTION ASSISTEE PAR CAST3M D'UN DISPOSITIF DE RELAXATION SOUS FLUX D'UN TUBE GUIDE EN FLEXION 4 POINTS



Paul LE GAILLARD (1) Guillaume ZUMPICCHIAT (2)

(1) : Université de Rennes I

(2) : CEA Saclay

Conception et simulation d'un dispositif de relaxation sous flux d'un tube guide en flexion 4 points

I. Contexte de l'étude

II. Conception et modélisation du dispositif

III. Qualification du dispositif par Cast3M

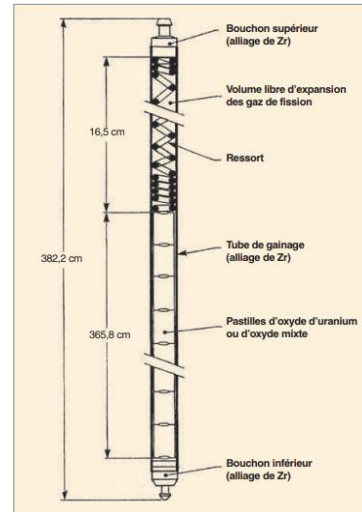
Le combustible nucléaire et les tubes guides

Pastille d'Uranium
(UO_2)



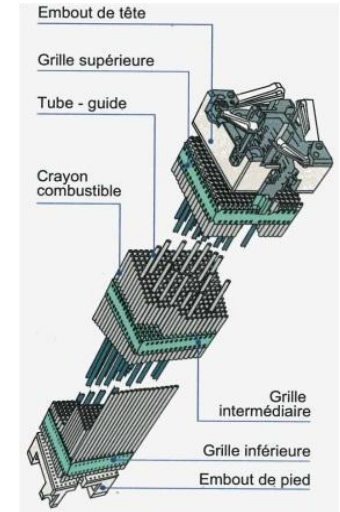
Empilement
dans une
gaine

Crayon combustible
(pastilles + gaine)



Regroupement
de 264 crayons

Assemblage Combustible



Un Assemblage Combustible = 264 crayons + 24 tubes guides

Leur fonction :

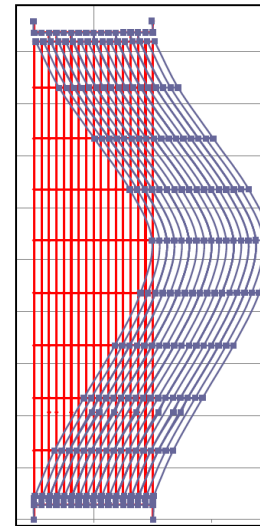
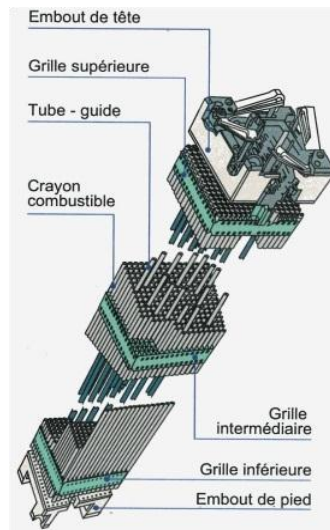
- maintenir la structure
- contenir l'instrumentation

Le Projet Assemblage

Objectifs du projet :

- Étudier le fluage et la croissance sous flux des matériaux des AC
- Etablir des lois de comportement de ces matériaux

Objectif de l'étude: Etudier les déformations latérales en fluage d'un AC

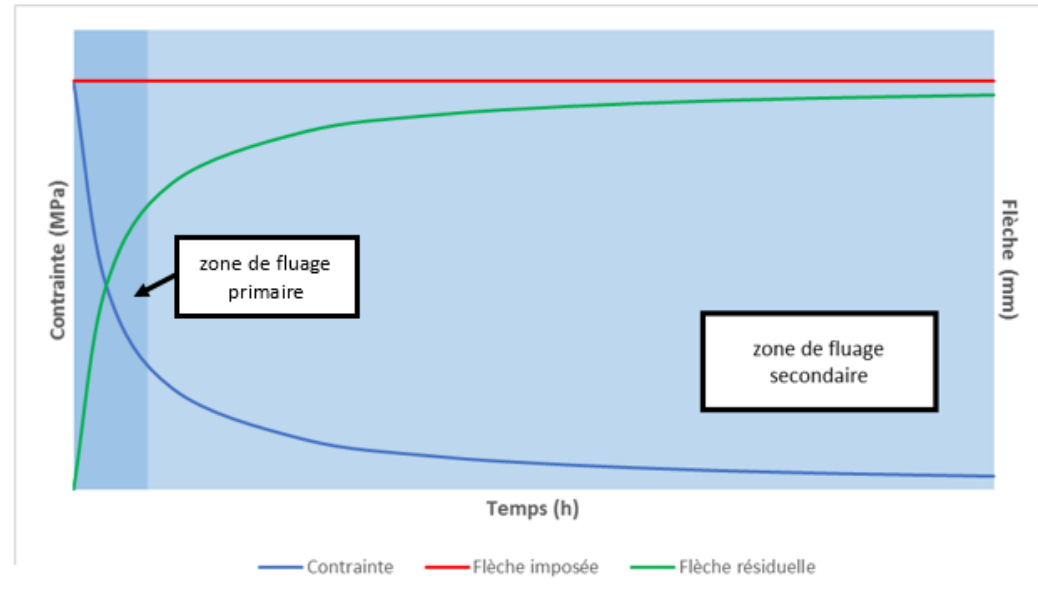


Mise au point d'un dispositif de flexion sur tube guide

Principe de l'essai

Essai de relaxation sur tube guide en flexion 4 points sous flux neutronique

- Réalisé dans le RJH en construction à Cadarache
- Phasage de l'irradiation
- Température : 315°C
- Flux neutronique : $1.10^{18} \text{ n.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- Flèche imposée : 0,5 mm



Flèche à l'appui (en mm)	Flèche centrale (en mm)	Contrainte induite (en MPa)
0.00	0.00	0
0.25	0.29	39
0.50	0.58	77
0.75	0.86	116
1.00	1.15	155
1.25	1.44	193

Choix de la flèche imposée

Plastification du tube

stique en fonction du temps

sttuée avec une loi de fluage

Conception et simulation d'un dispositif de relaxation sous flux d'un tube guide en flexion 4 points

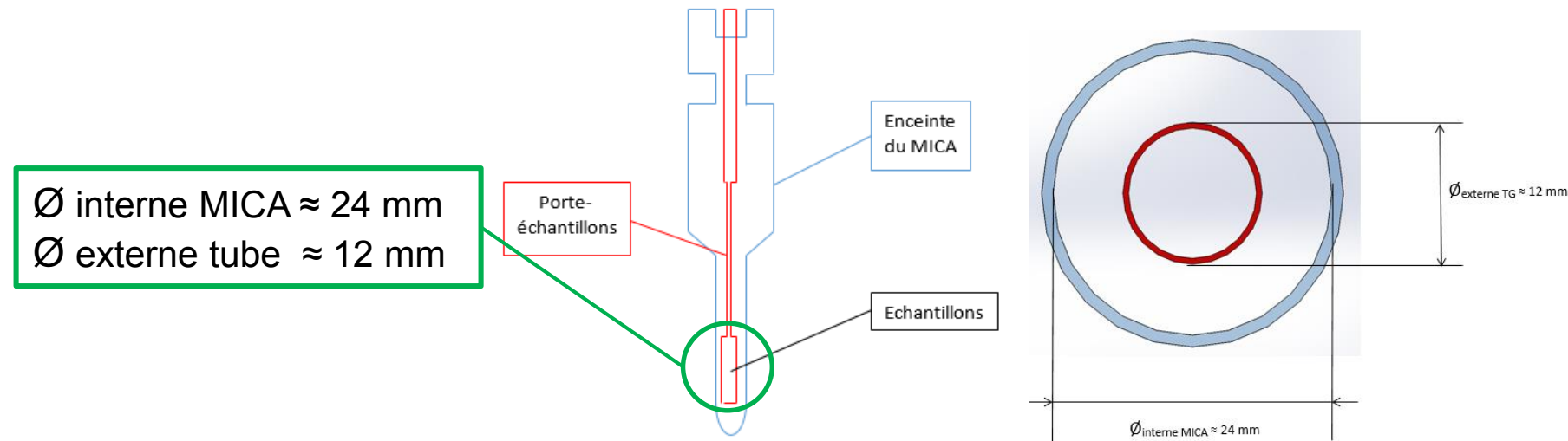
I. Contexte de l'étude

II. Conception et modélisation du dispositif


III. Qualification du dispositif par Cast3M

Analyse fonctionnelle

Définition des contraintes de conception  Conception du dispositif adéquat



 **Contrainte principale** : correspondre aux dimensions du dispositif d'irradiation

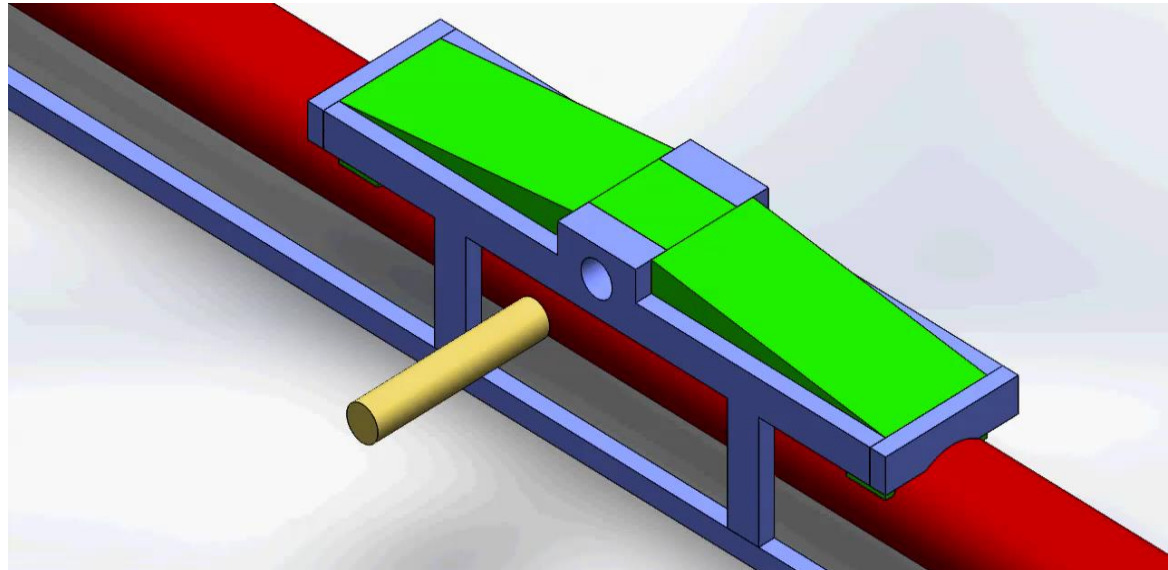
 **Autres contraintes** :

- Intégrité du tube
- Limiter l'échauffement nucléaire
- Flèche précise et répétable
- Manipulable en cellule blindée
- Flèche résiduelle mesurable
- Mesures de température et de fluence

Présentation du dispositif de flexion

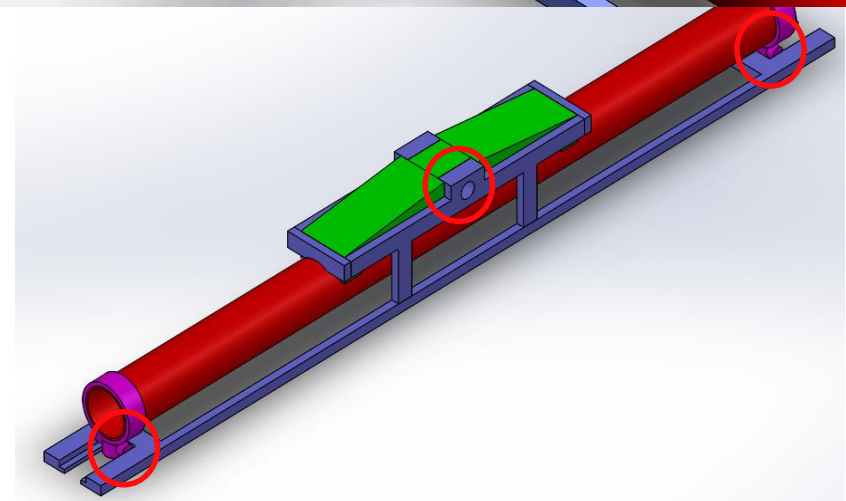
4 pièces ou groupes de pièces :

- Tube guide en rouge
- Bâti en bleu
- Pièce de chargement en vert
- Anneaux d'appui en violet



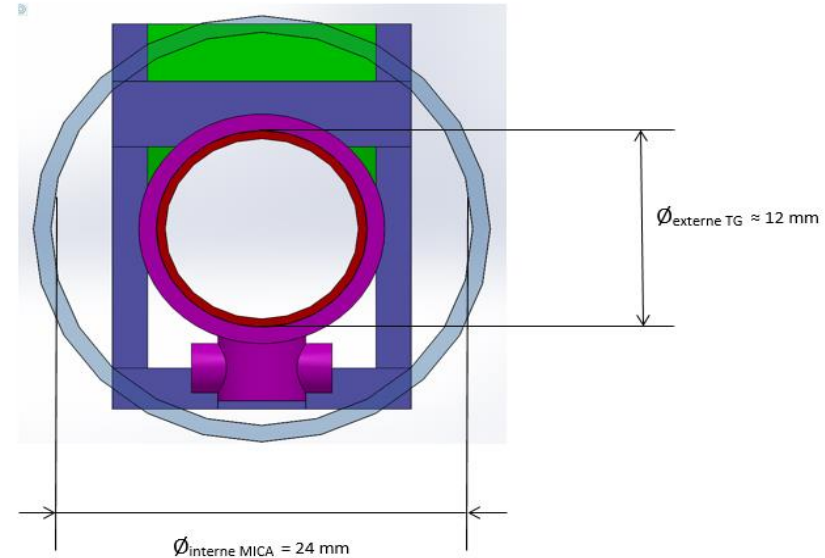
Respect des fonctions de contrainte :

Contrainte	Solution
Intégrité du tube	Liaison linéaire annulaire
Flèche	Alignement des alésages
Mesure de la flèche résiduelle	Profil du tube mesurable
Manipulation en cellule blindée	Non définie
Limiter l'échauffement	Non définie
Mesures de température et fluence	Non définie



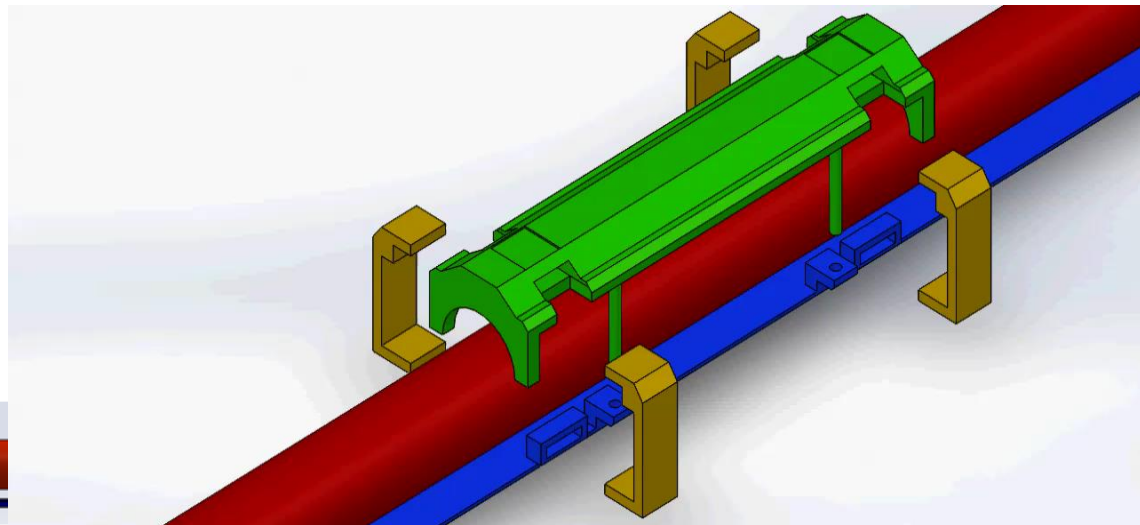
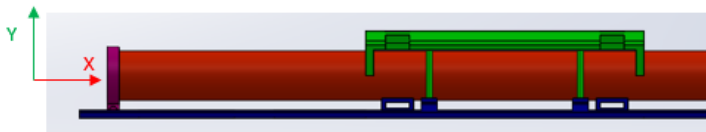
Présentation du dispositif

Problème : dispositif trop large



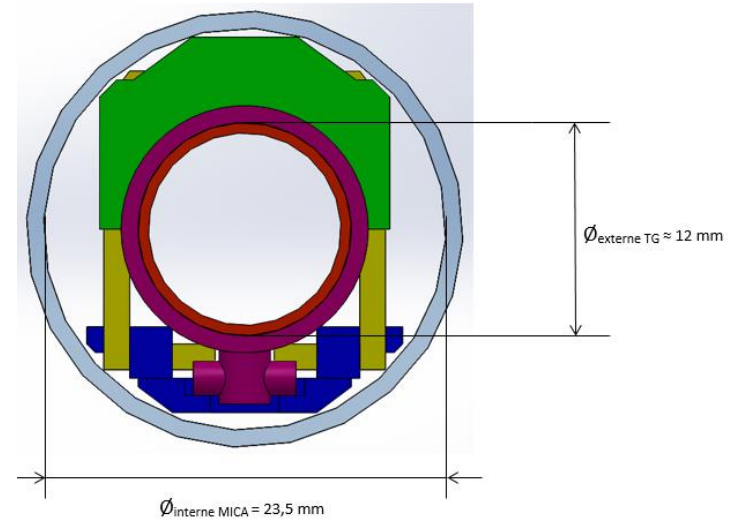
➔ Proposition d'un second dispositif adapté

- Flèche maintenue par les agrafes
- Pièce de chargement alignée au bâti par les guides



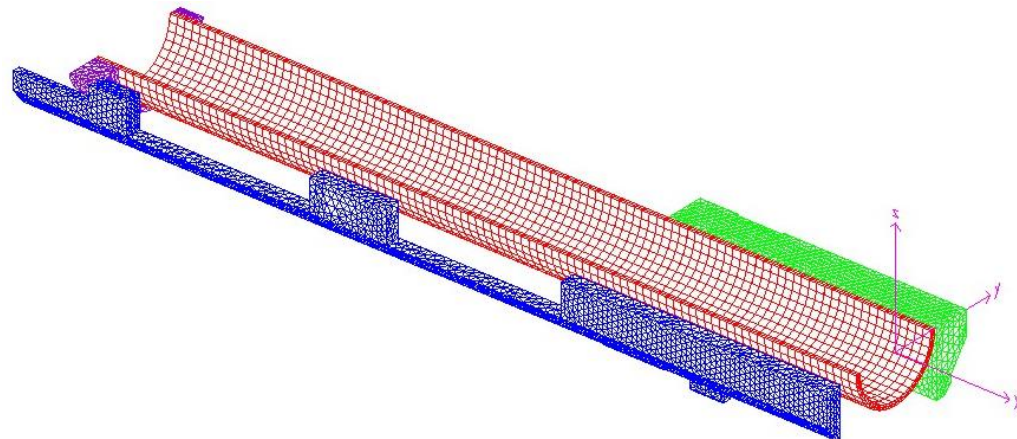
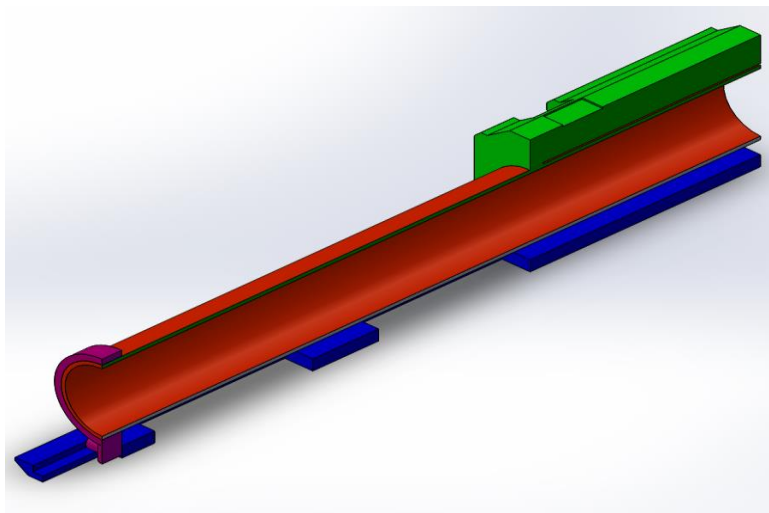
Modélisation

Dispositif insérable dans le MICA



Simulation de l'essai de relaxation sous Cast3M afin de valider le dispositif

Deux conditions de symétrie ($x = 0$ et $z = 0$)



Conception et simulation d'un dispositif de relaxation sous flux d'un tube guide en flexion 4 points

I. Contexte de l'étude

II. Conception et modélisation du dispositif

III. Qualification du dispositif par Cast3M

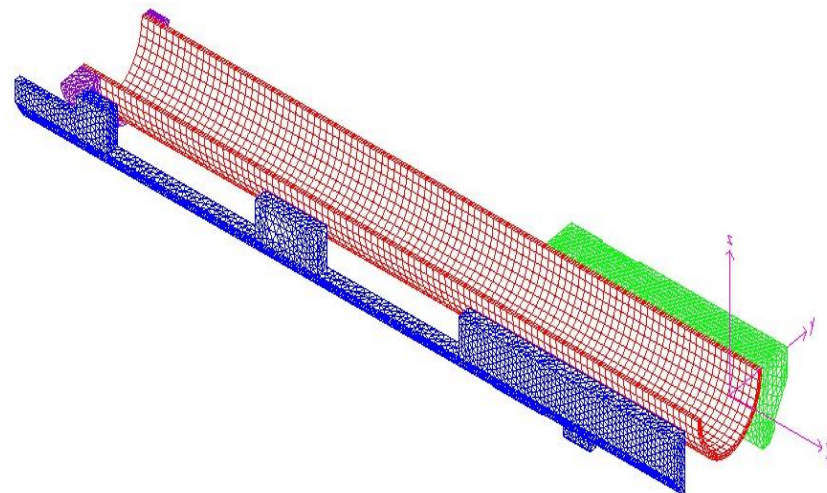
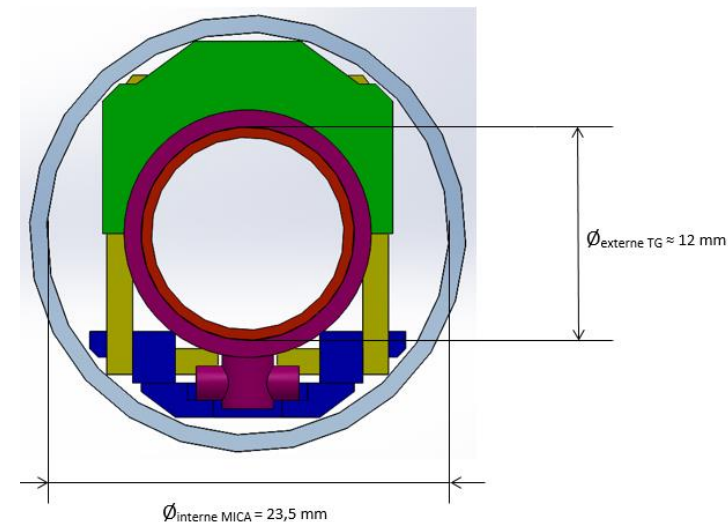
Objectif et déroulement de la simulation

Objectifs :

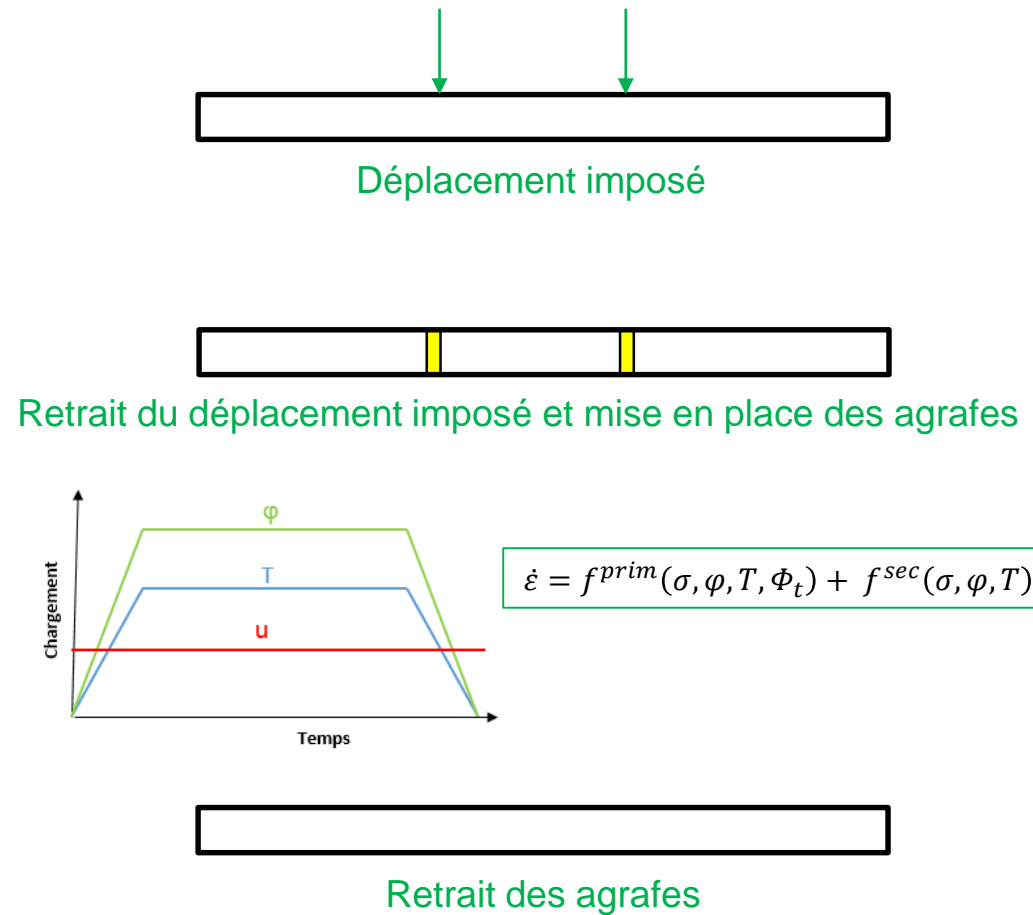
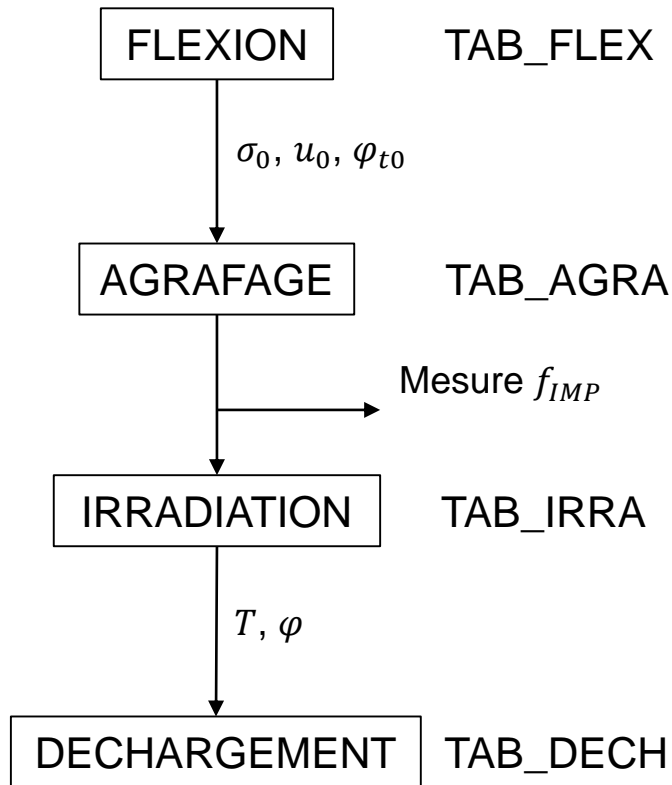
- Vérifier le fonctionnement du dispositif
- Observer la relaxation du tube guide
- Etudier l'influence de l'échauffement thermique

Déroulement d'un cycle d'irradiation :

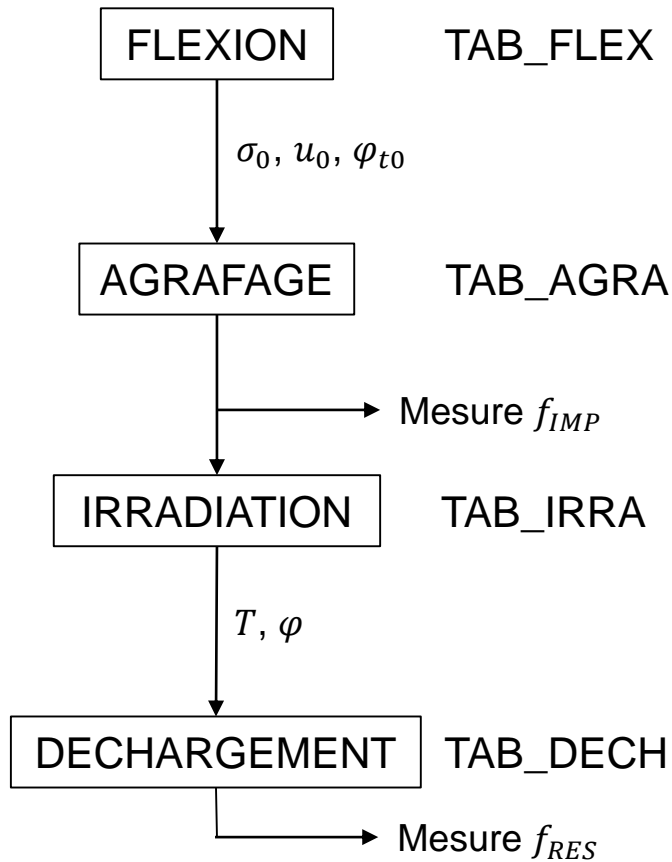
- Mise en flexion
- Agrafage
- Irradiation
- Déchargement



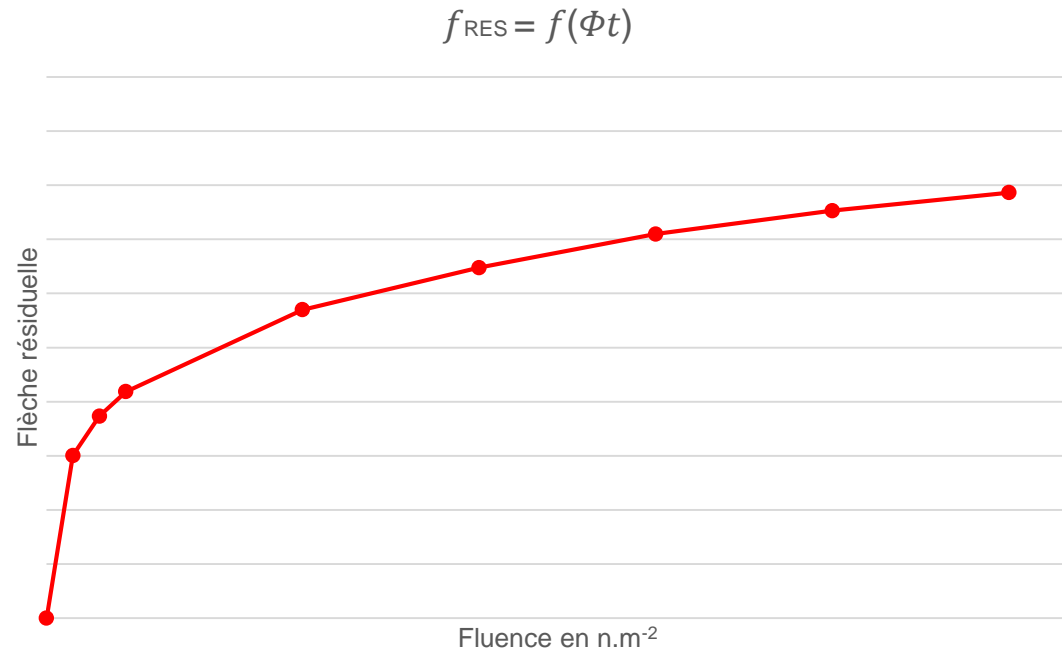
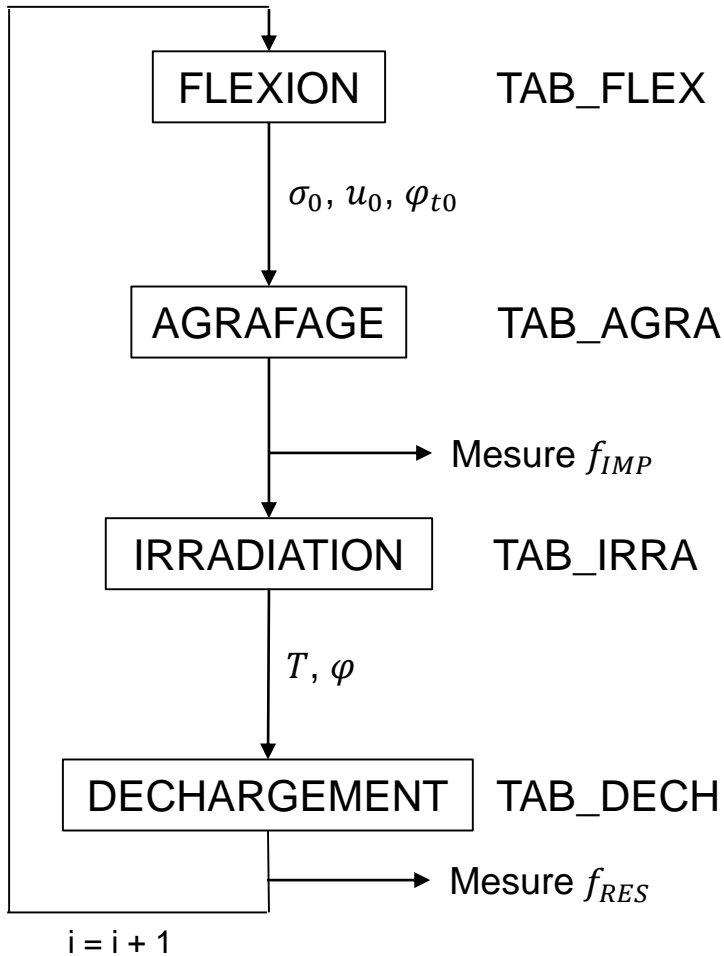
Description d'un cycle d'irradiation



Description d'un cycle d'irradiation



Description d'un cycle d'irradiation



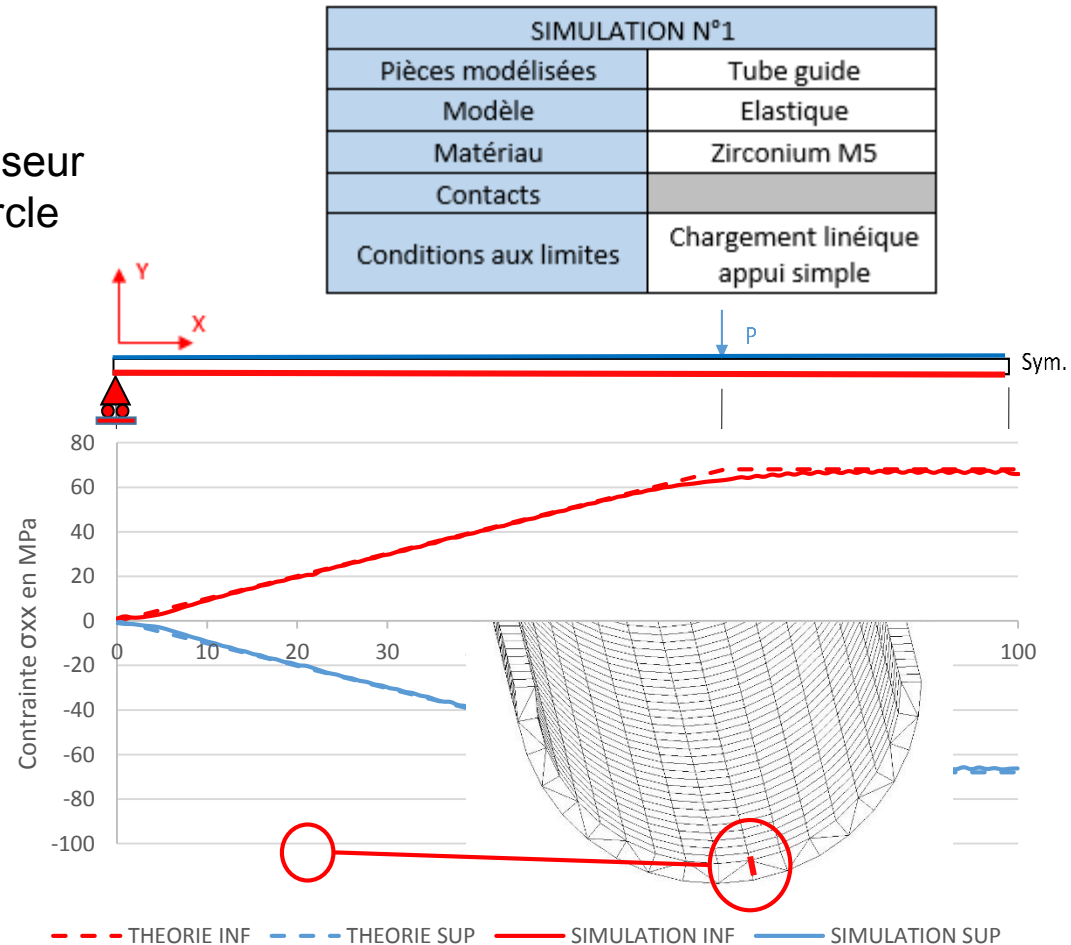
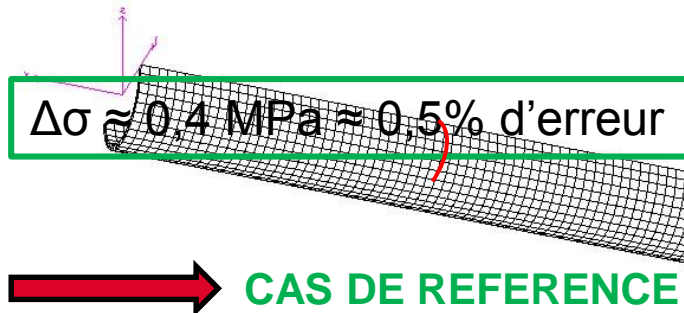
Simulation de la mise en flexion (Cas de référence)

Flexion du tube seul sous Cast3M

Conditions aux limites :

- Blocage d'une ligne de l'épaisseur
- Chargement sur un arc de cercle

Comparaison avec le cas théorique



Simulation de la mise en flexion

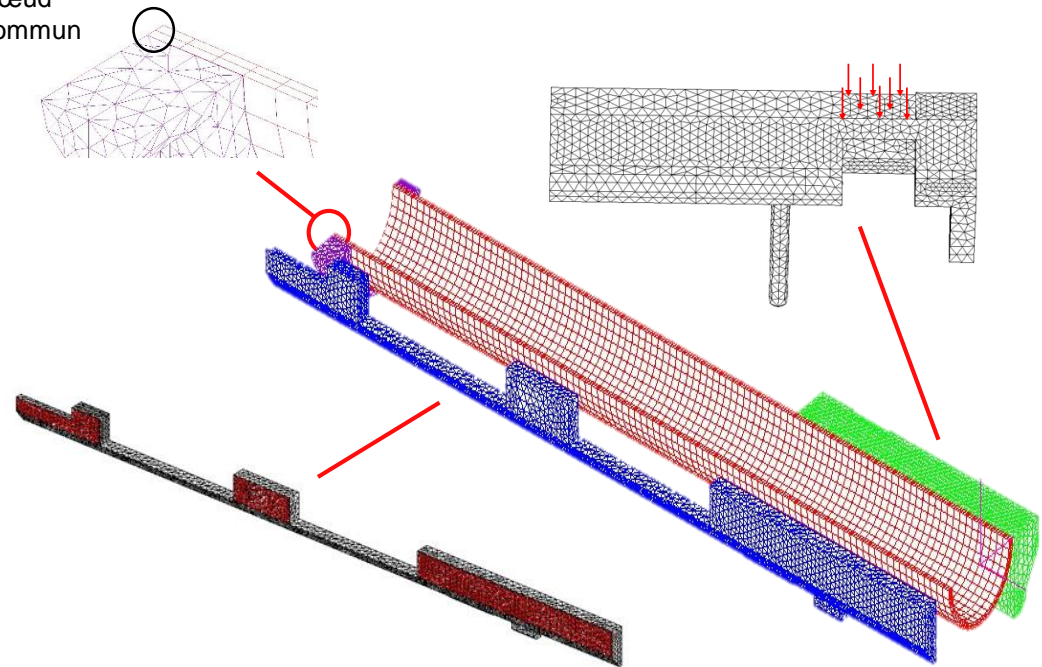
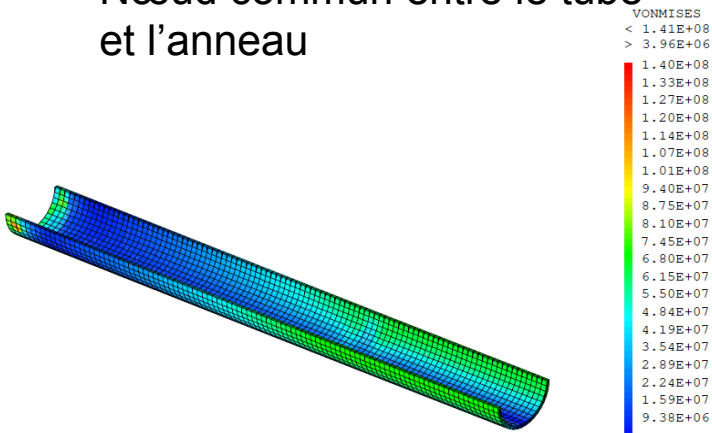
Flexion du tube via le dispositif complet sous Cast3M

- Modèle de contact unilatéral entre les pièces
- Chargement sur la surface supérieure de la pièce verte
- Blocage de la surface inférieure du bâti selon l'axe de chargement
- Nœud commun entre le tube et l'anneau

Simulation n°2

- Tube guide : Zr M5 , modèle élastoplastique
- Autres pièces : alliage 718, modèle élastoplastique

Nœud
commun



Simulation de la mise en flexion

Flexion du tube via le dispositif complet sous Cast3M

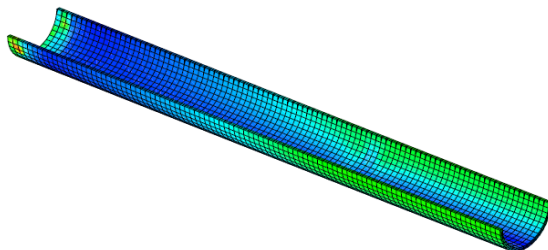
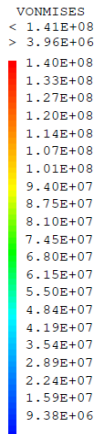
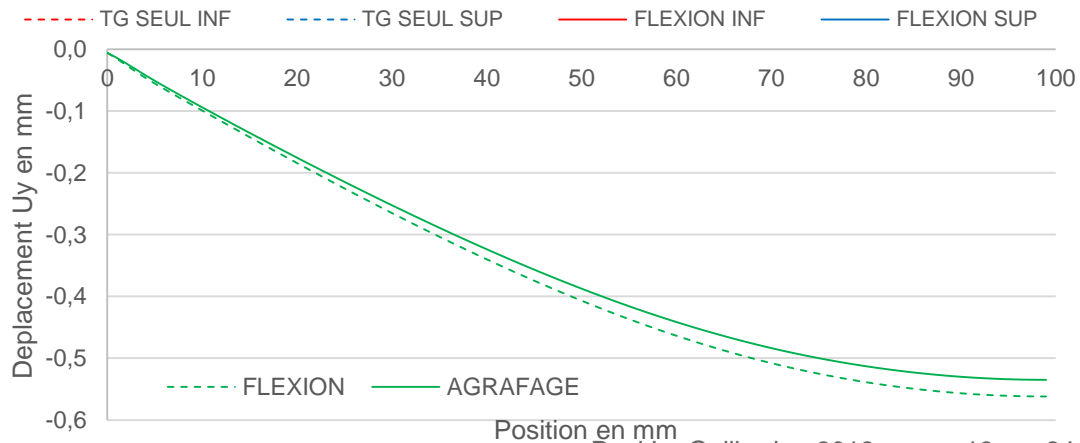
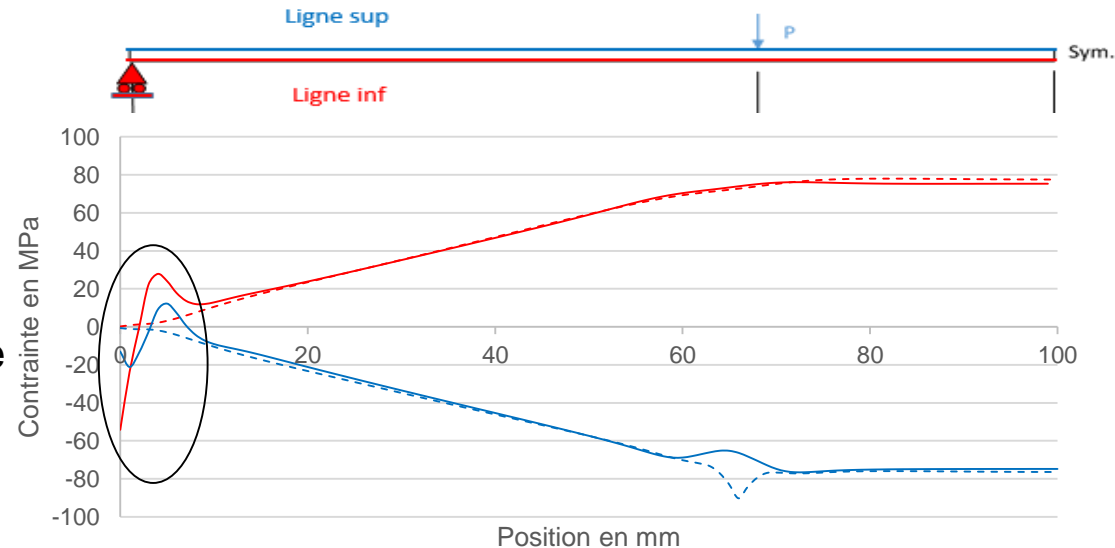


Contraintes de flexion correspondant au profil de référence



Cependant :

- Localisation de contrainte à l'extrémité du tube
- Légère perte de flèche et de contrainte lors de l'agrafage



Simulation de la mise en flexion

Flexion du tube via le dispositif complet sous Cast3M

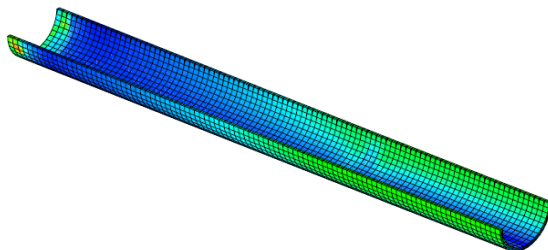
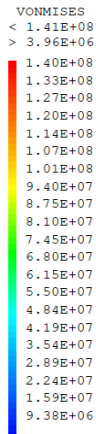
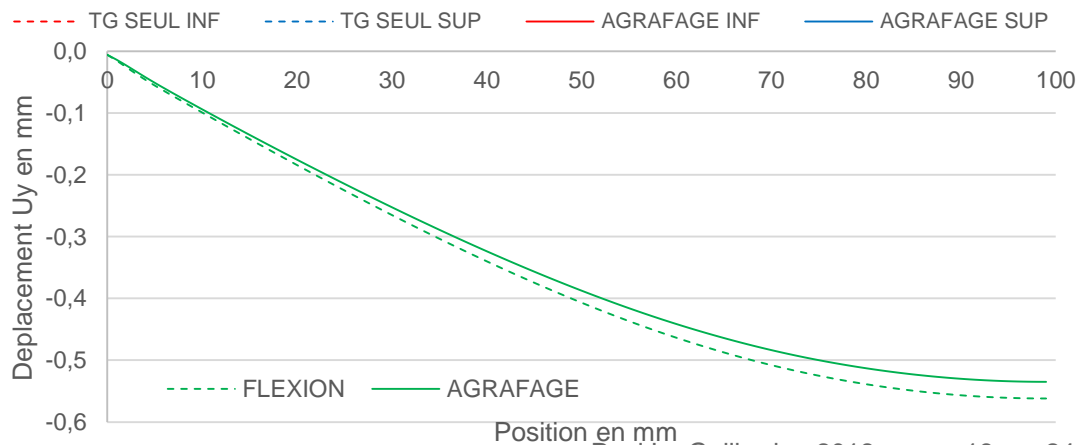
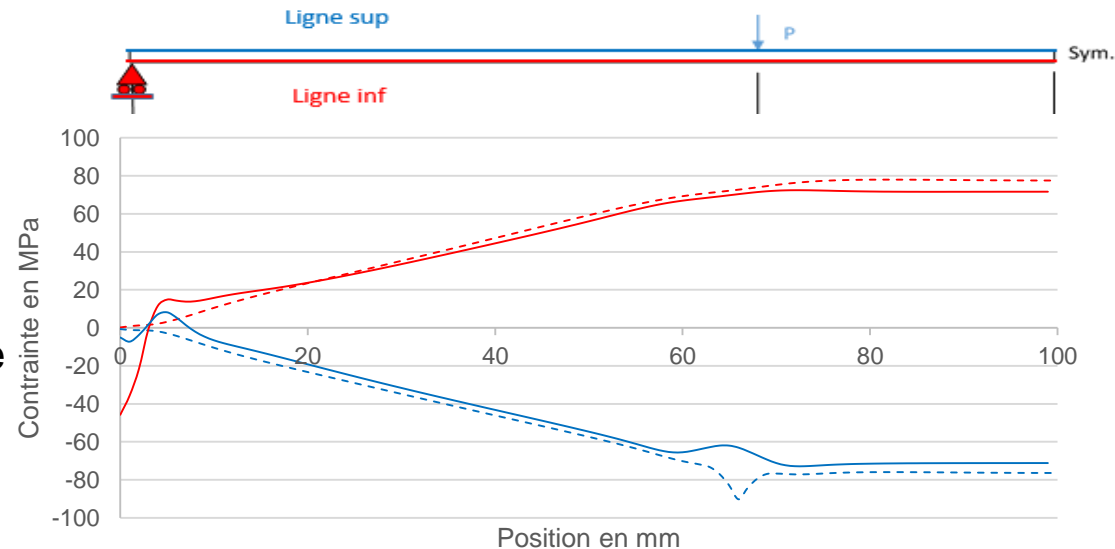


Contraintes de flexion correspondant au profil de référence



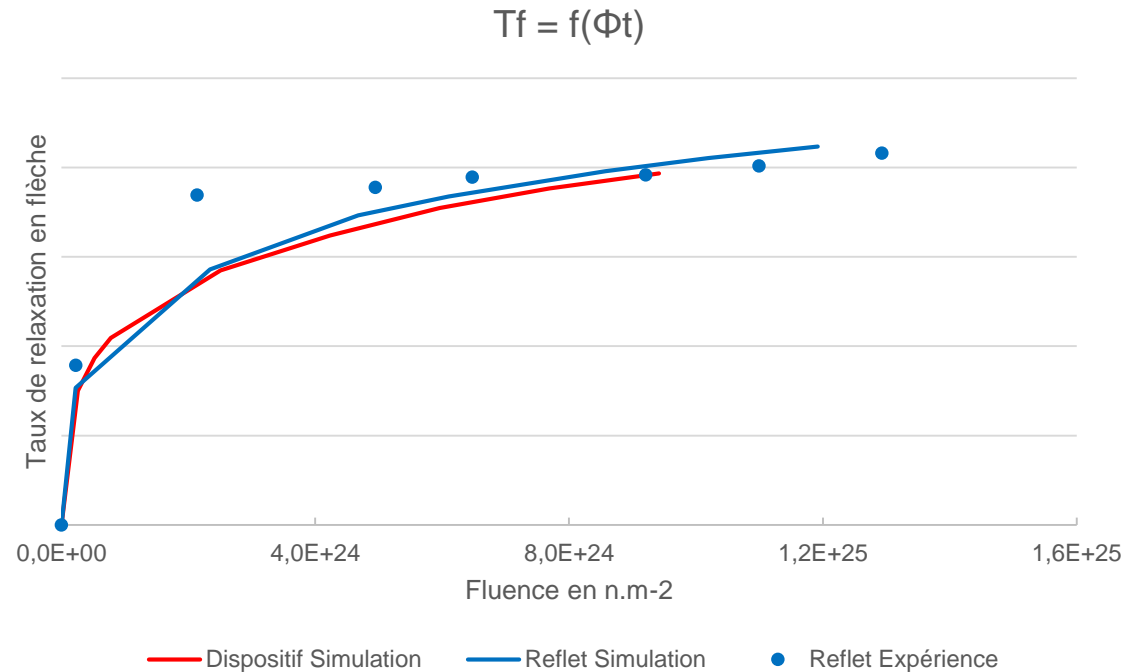
Cependant :

- Localisation de contrainte à l'extrémité du tube
- Légère perte de flèche et de contrainte lors de l'agrafage



Simulation de l'essai de relaxation

- 3 cycles courts (3 jours)
- 5 cycles longs (20 jours)
- $T = 315^{\circ}\text{C}$
- $\varphi = 1.10^{18} \text{ n.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- $T_f = \frac{f_{RES}}{f_{IMP}}$
- Comparaison avec Reflet



Etape suivante : Comparaison avec les données expérimentales

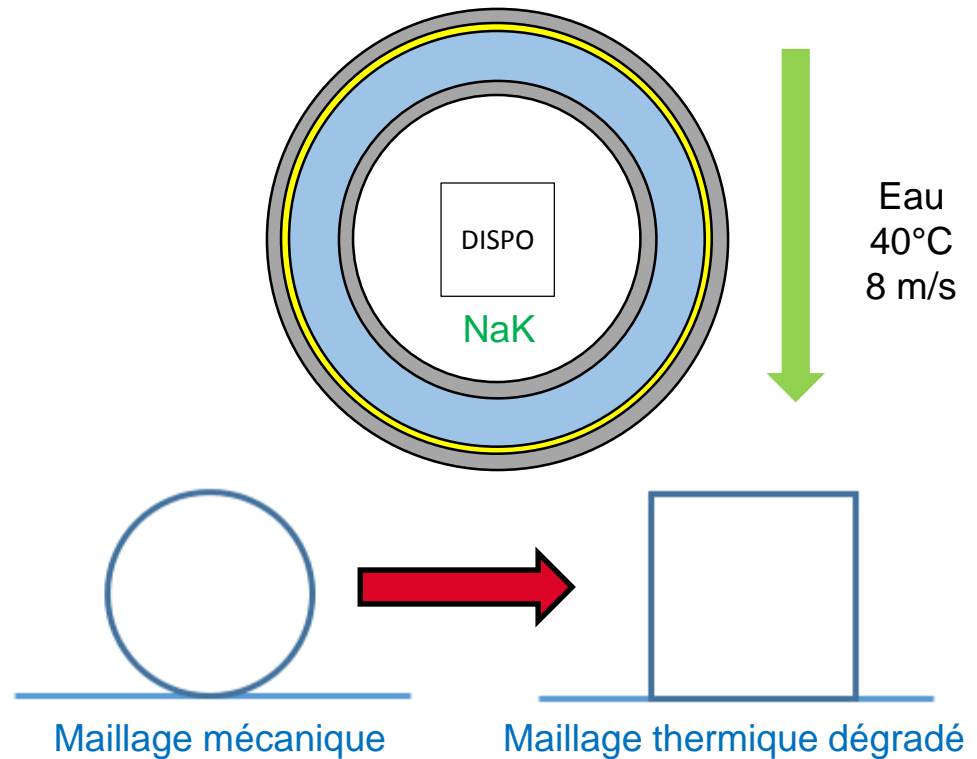
Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

Modélisation du MICA sur SALOME :

- Dispositif
- NaK
- Couche interne (acier inox)
- Chauffants (aluminium)
- Isolant (hélium)
- Couche externe (acier inox)

Maillage thermique dégradé:

- Suppression des jeux
- Agrafe plus grande
- Changement de certaines formes



Calcul thermique:

Conduction + Convection avec le circuit d'eau extérieur

$$T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$$



Echauffement γ
SOUR

$$T_{\gamma}$$



Puissance électrique
SOUR

$$T_{nomi} = 315^{\circ}\text{C}$$

Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

$T_{amb} = 20^{\circ}C$



T_{γ}

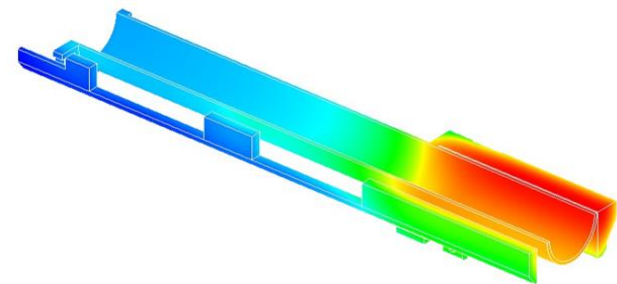
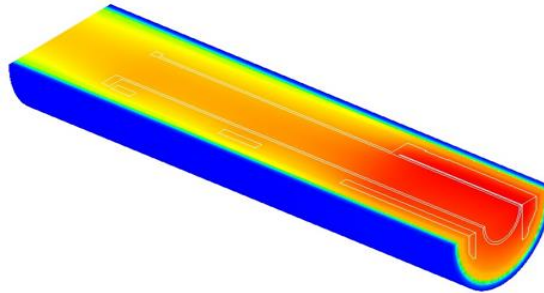


$T_{nomi} = 315^{\circ}C$

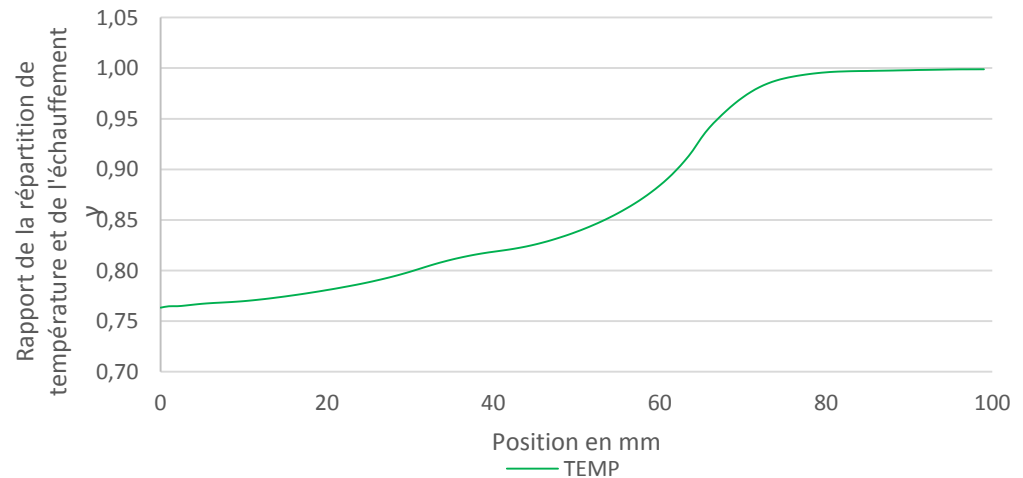
Echauffement γ

Puissance électrique

Gradient thermique $\approx 80^{\circ}C$!



Gradient thermique fonction:



Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

$T_{amb} = 20^{\circ}C$



Echauffement γ

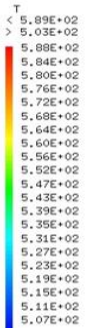
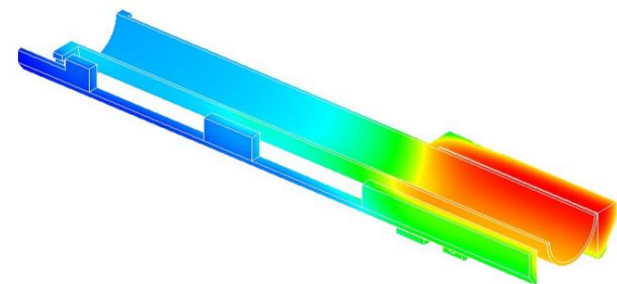
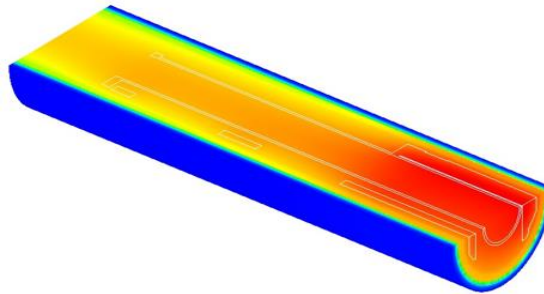
T_{γ}



Puissance électrique

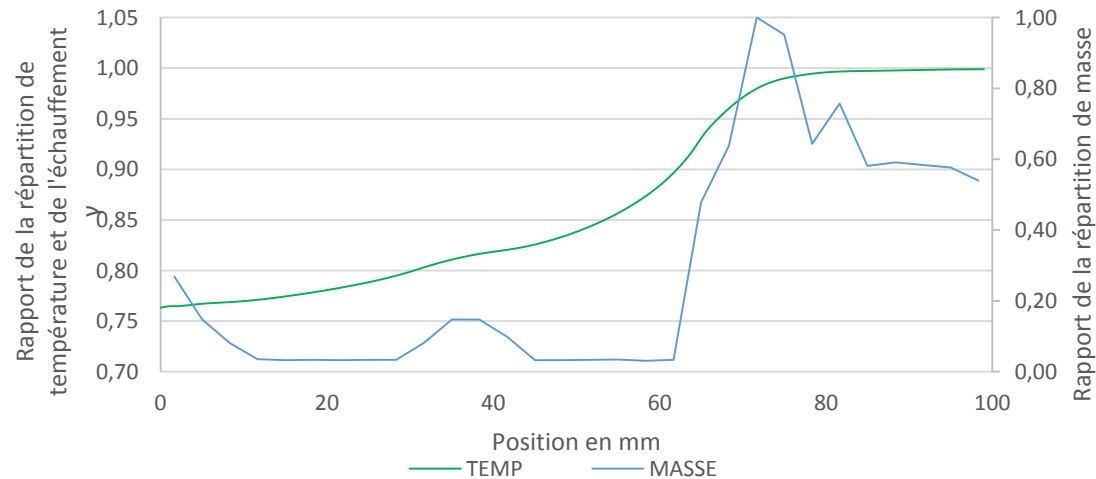
$T_{nomi} = 315^{\circ}C$

Gradient thermique $\approx 80^{\circ}C$!



Gradient thermique fonction:

- De la répartition de masse



Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

$T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$



Echauffement γ

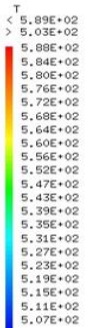
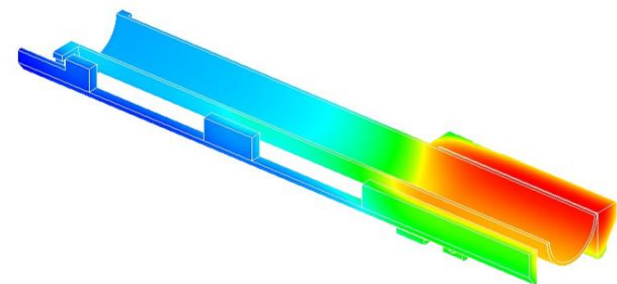
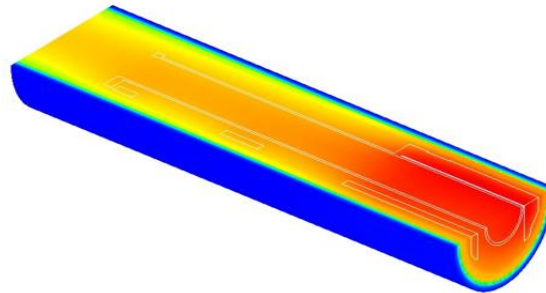
T_{γ}



Puissance électrique

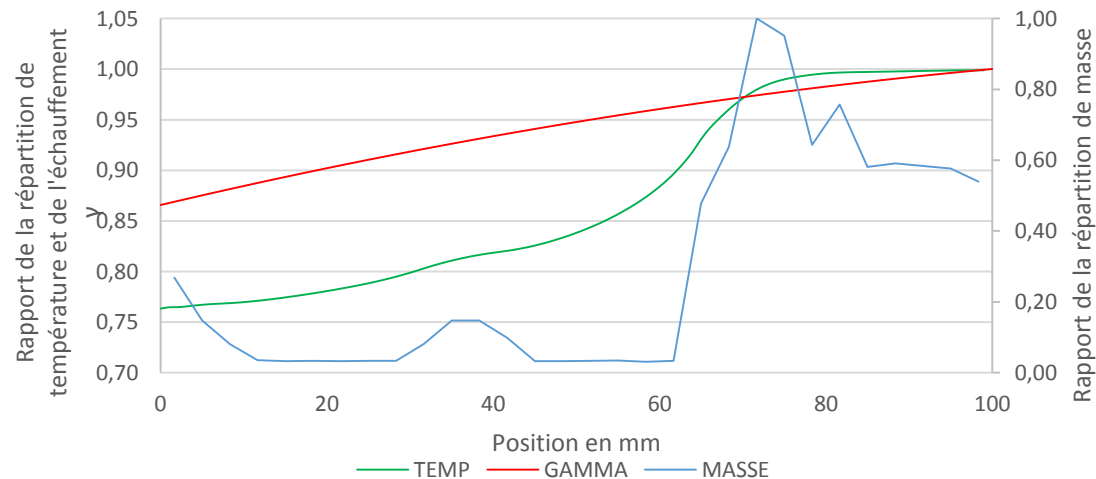
$T_{nomi} = 315^{\circ}\text{C}$

Gradient thermique $\approx 80^{\circ}\text{C}$!



Gradient thermique fonction:

- De la répartition de masse
- Et de la distribution de l'échauffement γ

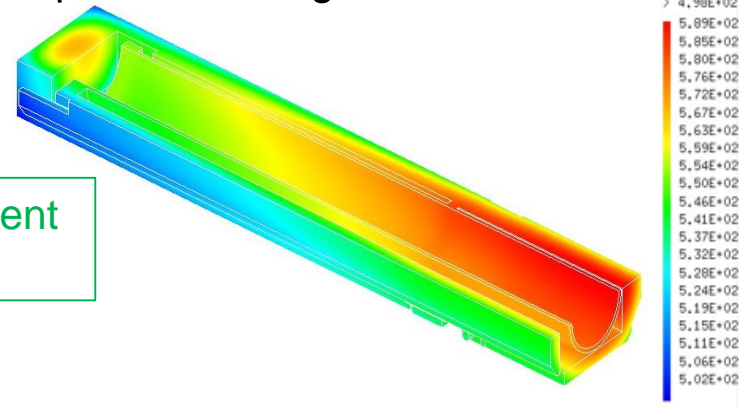
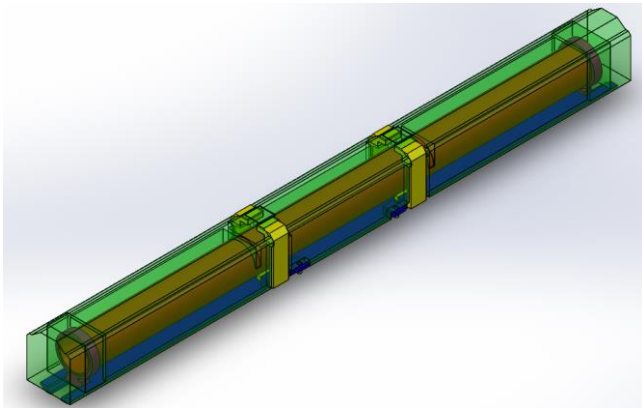


Pour diminuer le gradient thermique, il faut optimiser la distribution de masse du dispositif

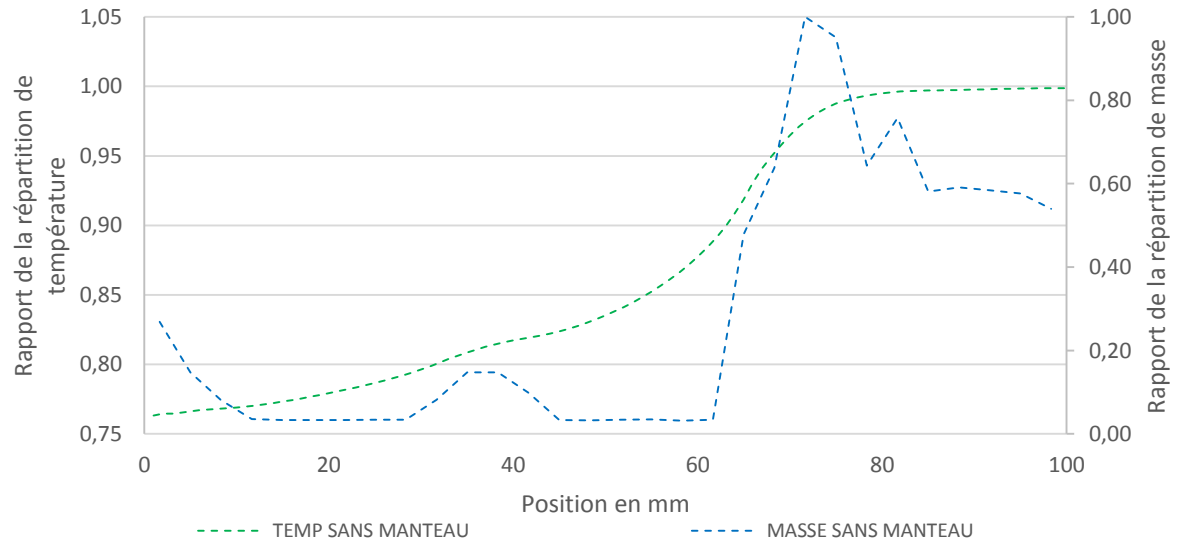
Simulation thermique : influence de l'échauffement γ



Ajout d'un manteau en prolongement de la pièce de chargement



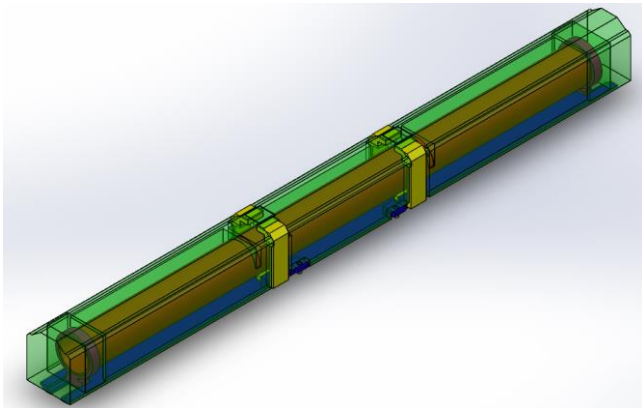
Nouveau gradient $\approx 30^\circ\text{C}$



Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

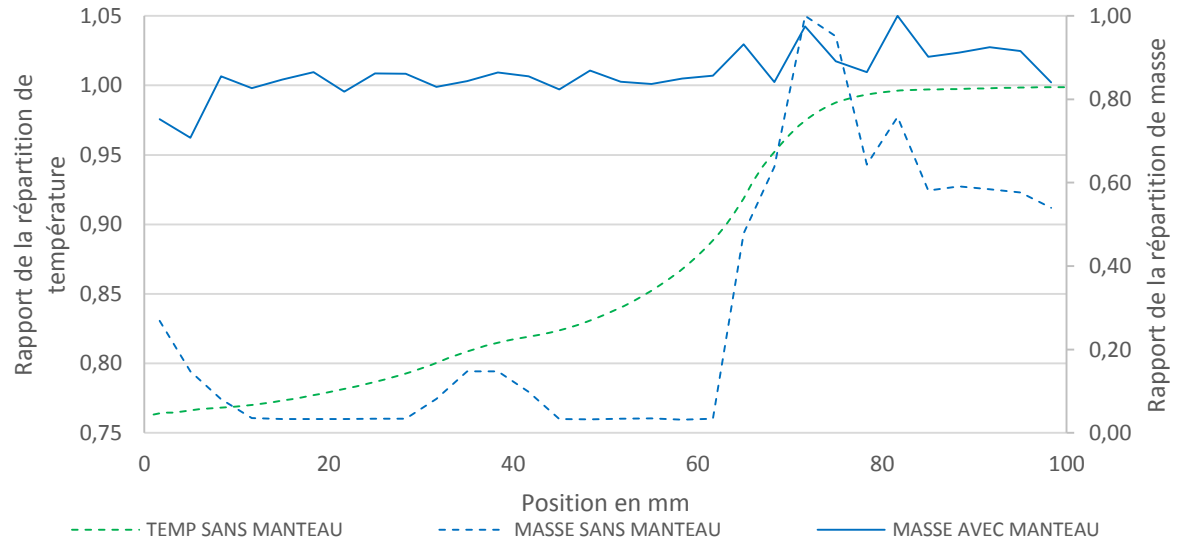
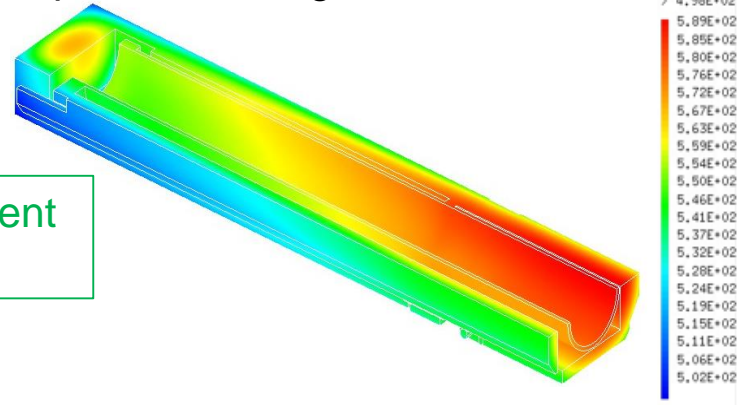


Ajout d'un manteau en prolongement de la pièce de chargement



Homogénéisation de la masse

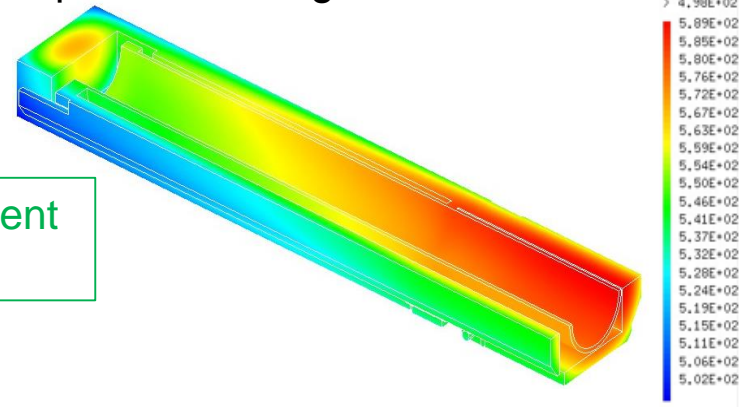
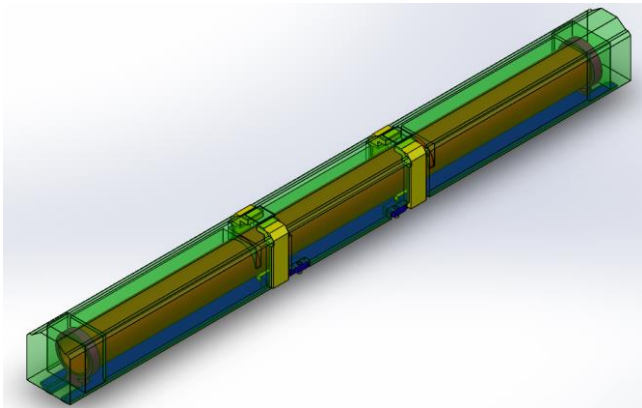
Nouveau gradient $\approx 30^\circ\text{C}$



Simulation thermique : influence de l'échauffement γ



Ajout d'un manteau en prolongement de la pièce de chargement

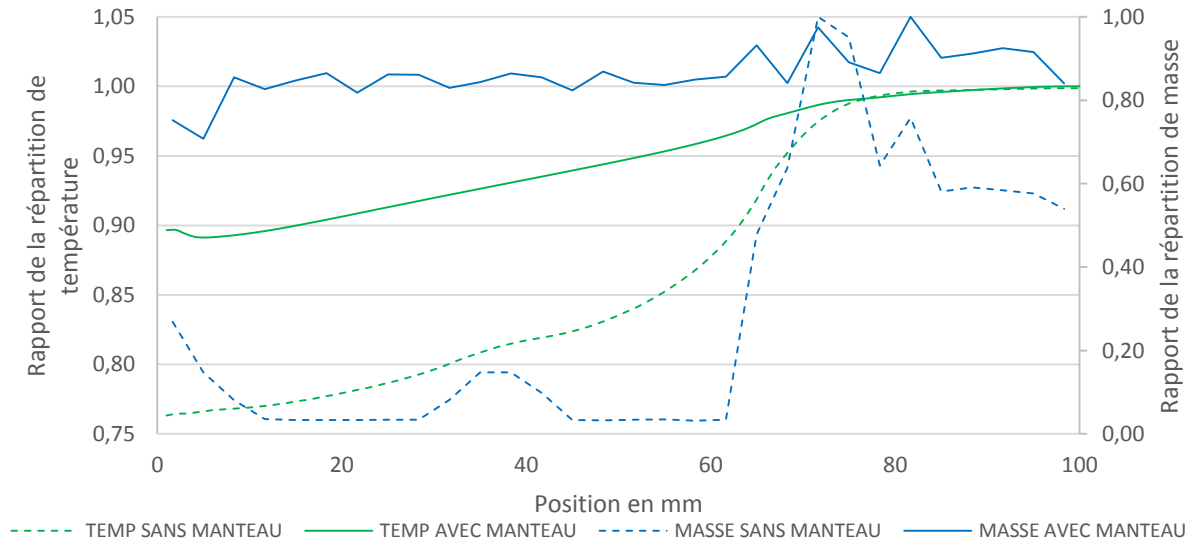


Nouveau gradient $\approx 30^\circ\text{C}$

Homogénéisation de la masse



Diminution du gradient thermique



Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

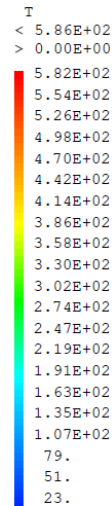
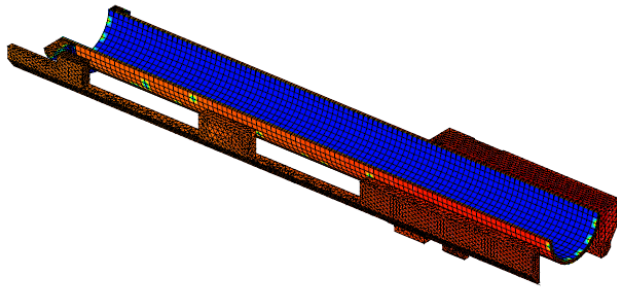
CALCUL THERMIQUE
 MAILLAGE THERMIQUE DEGRADE



CALCUL THERMOMECANIQUE
 MAILLAGE MECANIQUE

PROJECTION DU
 CHAMP DE
 TEMPERATURE

Avec l'opérateur PROJ :



Maillages différents



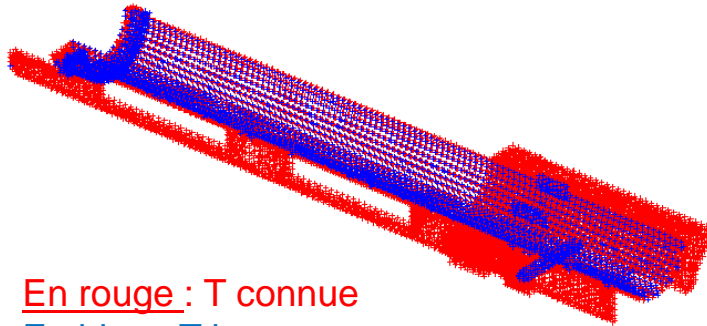
Informations aux
 nœuds manquantes



Création d'une procédure utilisateur « **projacr** »

Simulation thermique : influence de l'échauffement γ

Projection du champ thermique via **projacr** :

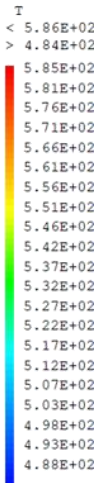
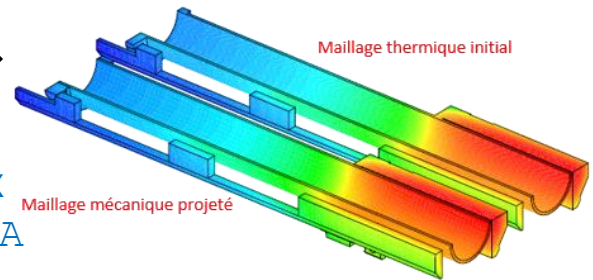


En rouge : T connue
En bleu : T inconnue

Blocage des nœuds rouges

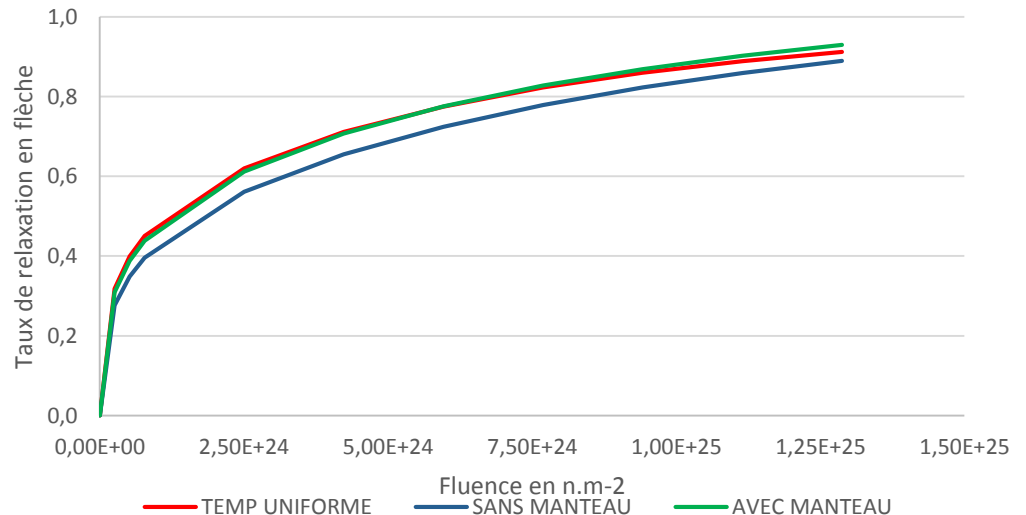


Accrochage des nœuds bleus aux rouges avec RELA 'ACCRO'



Nouvelle simulation de l'essai de relaxation en prenant en compte le gradient thermique :

Influence du gradient thermique rendu négligeable par la présence du manteau



Conclusions

- Proposition d'un dispositif inséra
- Simulation de l'essai de relaxatic
- Présence d'un gradient thermique modifiant la géométrie du dispos

Perspectives

- Optimisation du manteau
- Etude du blocage de l'anneau su
- Développement du procédé d'ap
- Etude de la manipulabilité du dispositif

