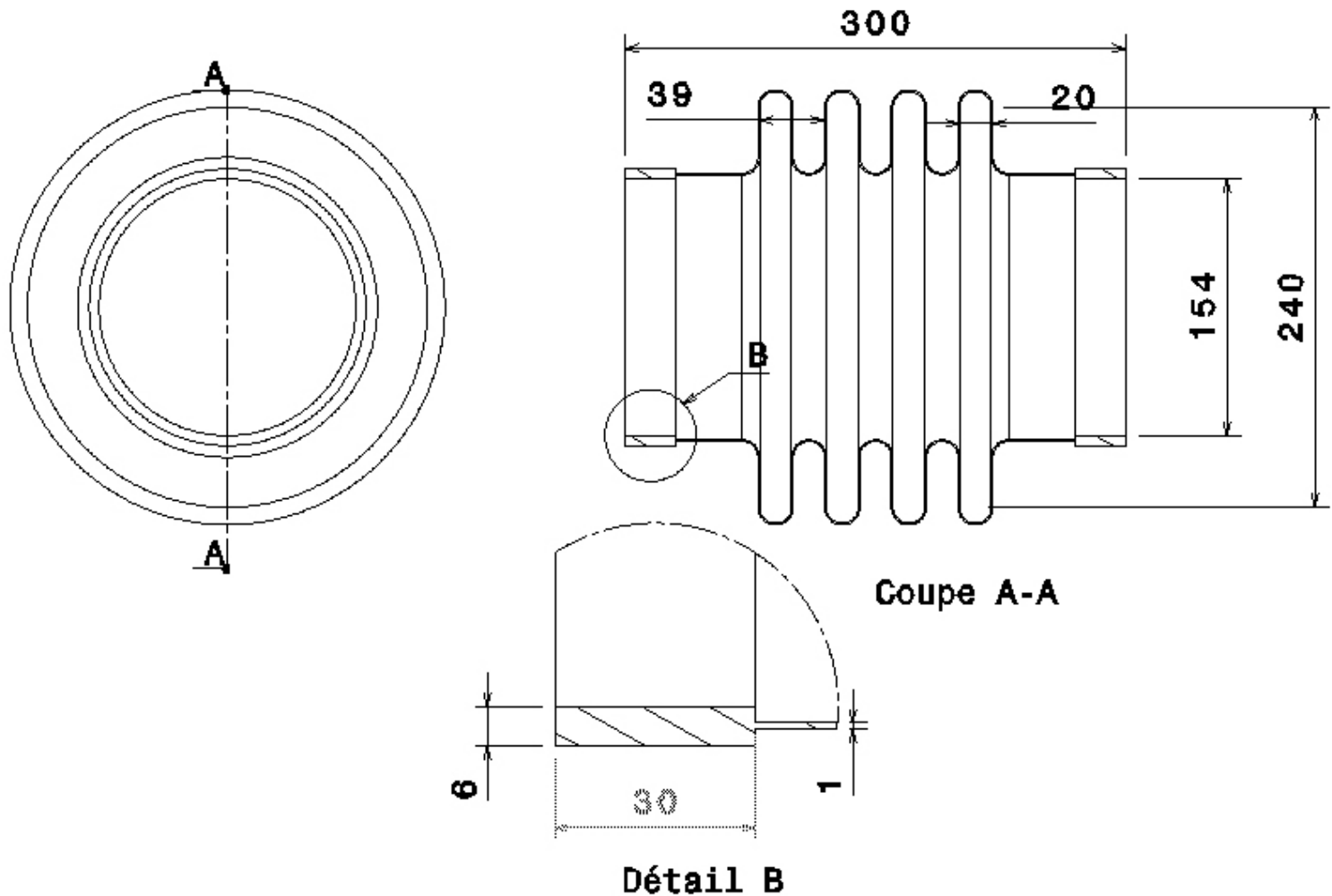
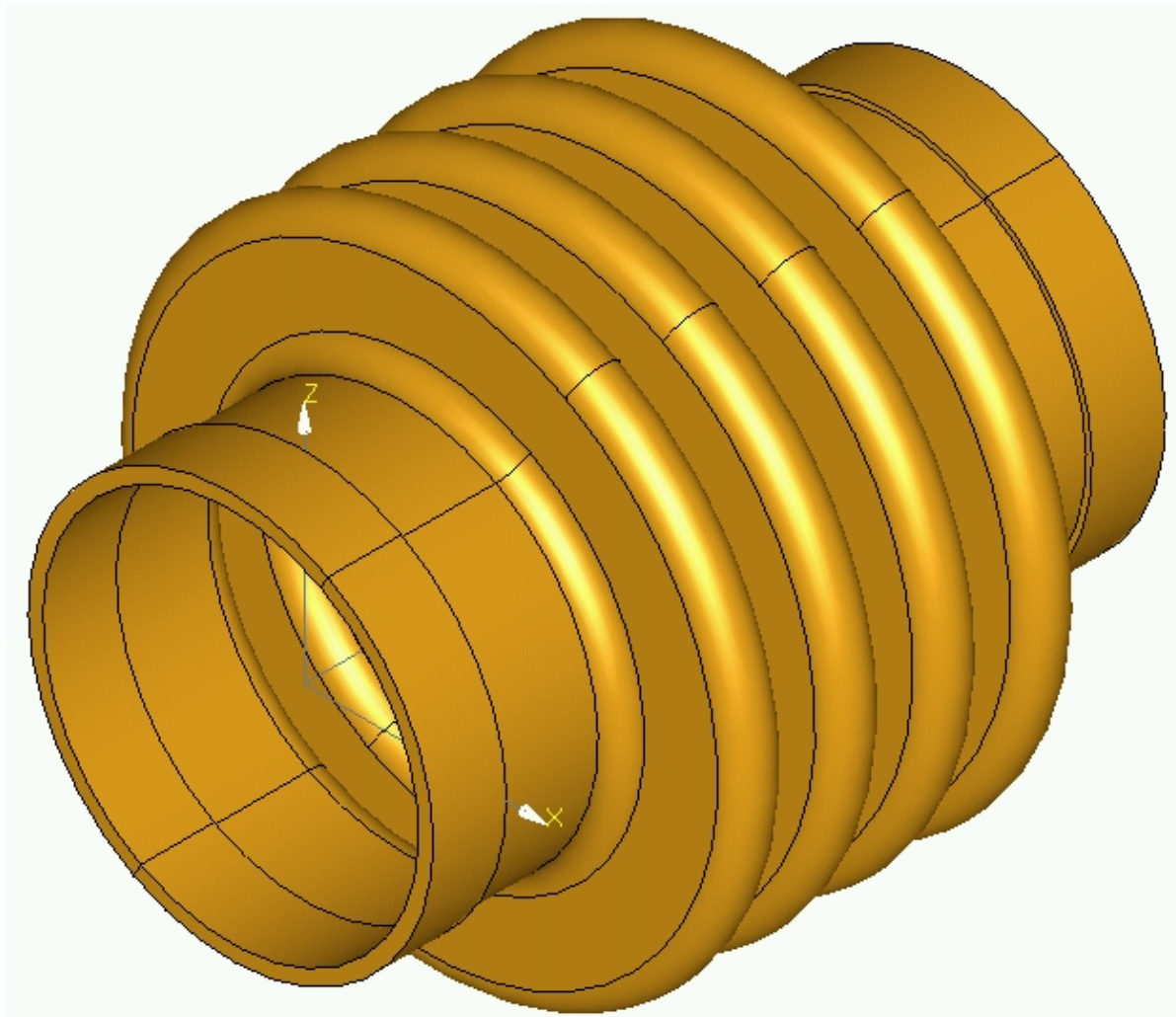


Calcul de structures en bureau d'études



Calcul de structures en bureau d'études

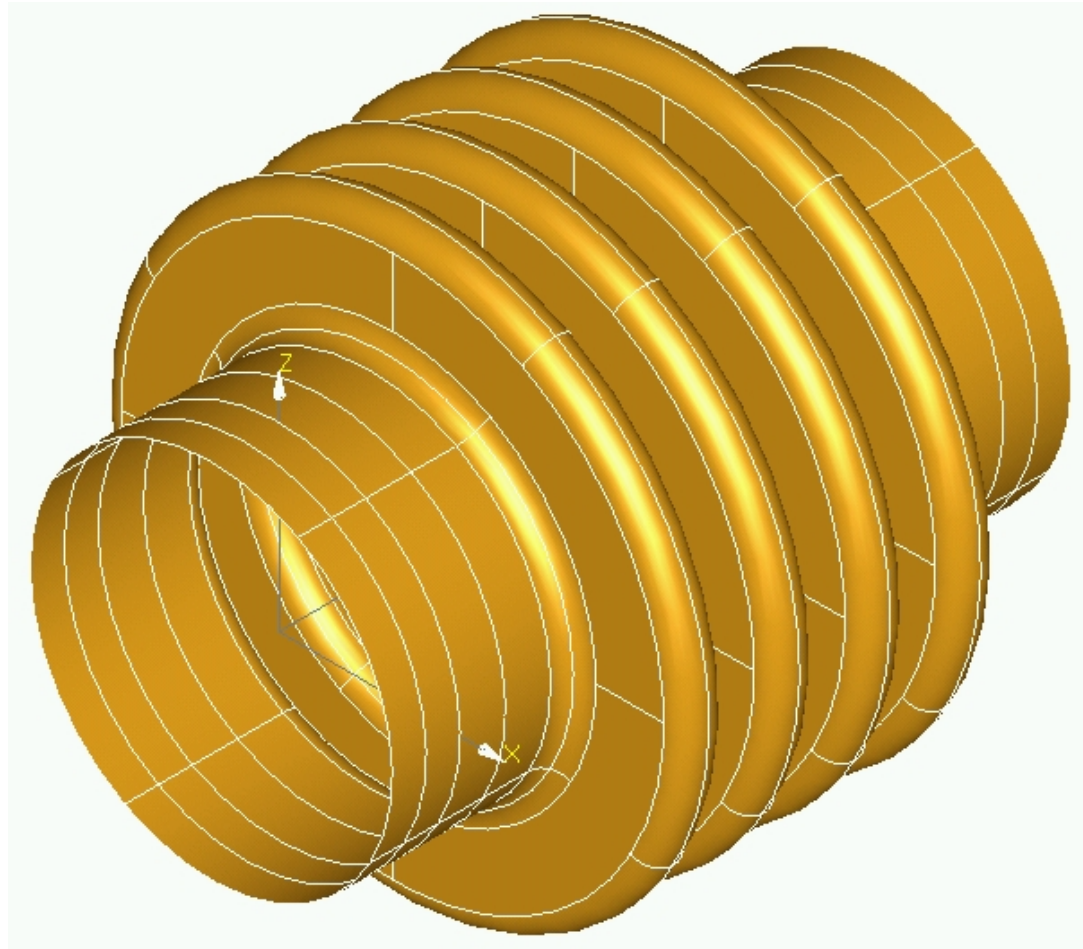


REPRESENTATION SURFACIQUE

Le soufflet est suffisamment mince pour que l'on puisse travailler avec une surface représentative : approximation « éléments finis ».

Calcul de structures en bureau d'études

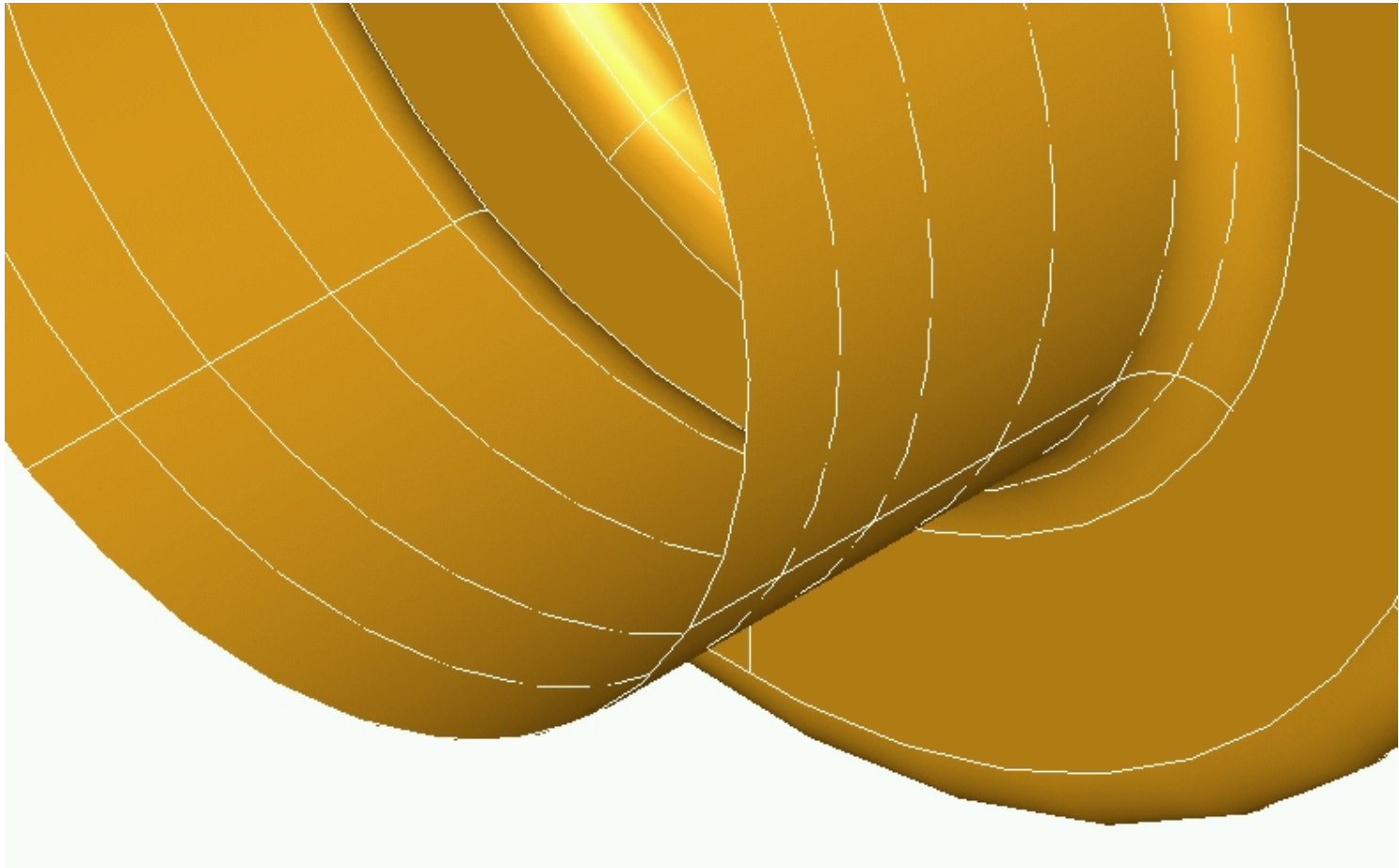
REPRESENTATION SURFACIQUE



Soufflet_coque.stp

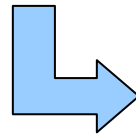
Calcul de structures en bureau d'études

REPRESENTATION SURFACIQUE

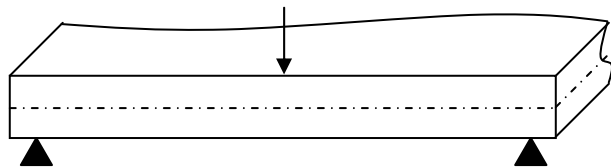


Élément fini de coque

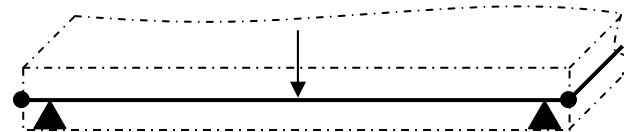
Topologie surfacique



Notion de feuillet moyen



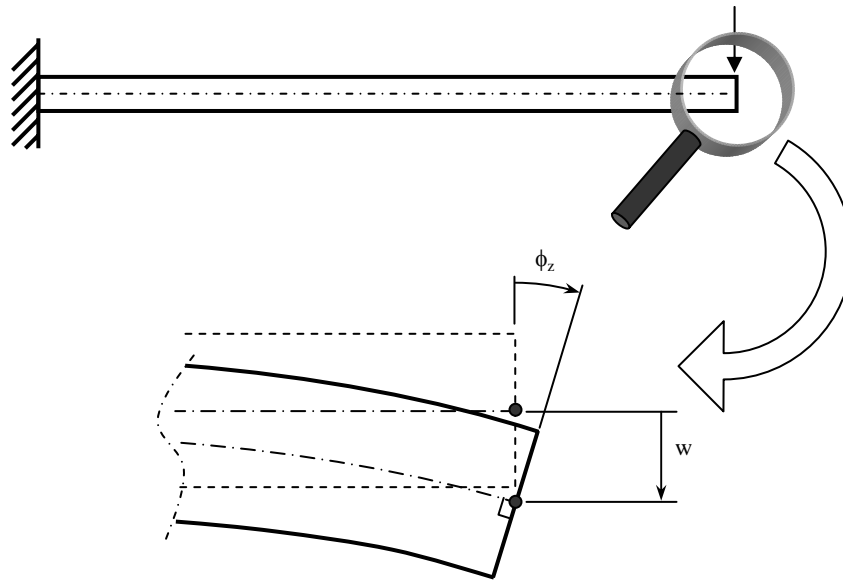
Modèle physique



Modèle élément fini de coque

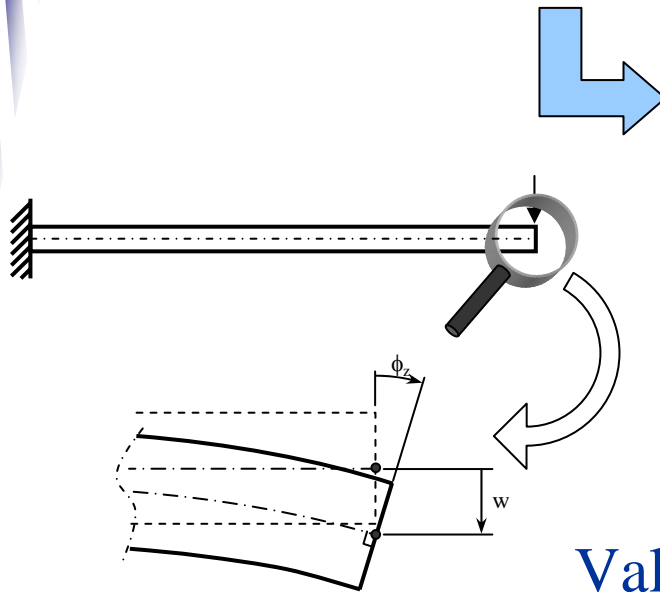
Calcul de structures en bureau d'études

Basculement de la section :
différence de déplacement entre le feuillet supérieur et le feuillet inférieur



Calcul de structures en bureau d'études

Pour prendre en compte l'évolution dans l'épaisseur, problème car définition surfacique

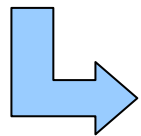


Degré de liberté de rotation au nœud
situé dans le feuillet moyen (modélisé)

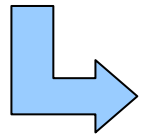
Valable tant que l'épaisseur est suffisamment
faible pour avoir une « rotation rigide »

Calcul de structures en bureau d'études

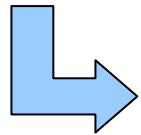
Les autres feuillets (à part le feuillet moyen) ne présentent pas d'intérêt particulier :



peau supérieure et peau inférieure



orientation de l'élément



Sens de la pression

Interprétation des résultats

Définition de l'empilement des plis si composite

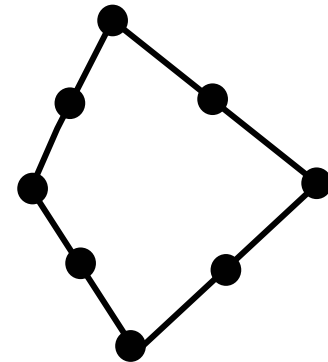
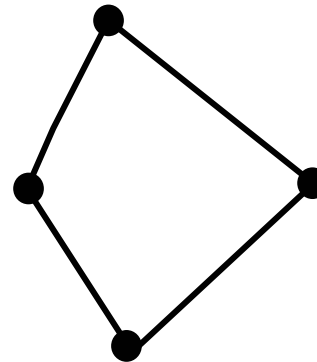
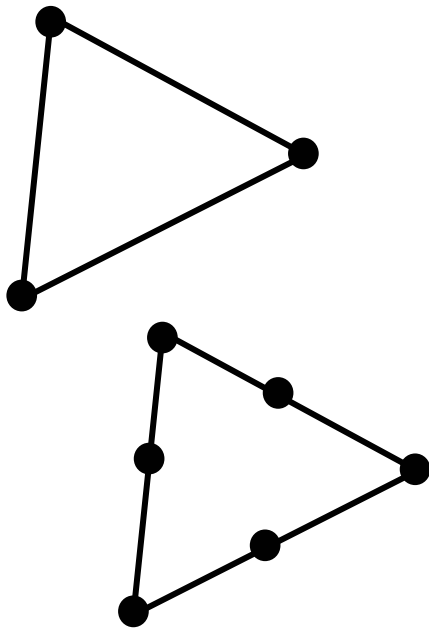
Calcul de structures en bureau d'études

Représentation surfacique :

Éléments plans ou gauches



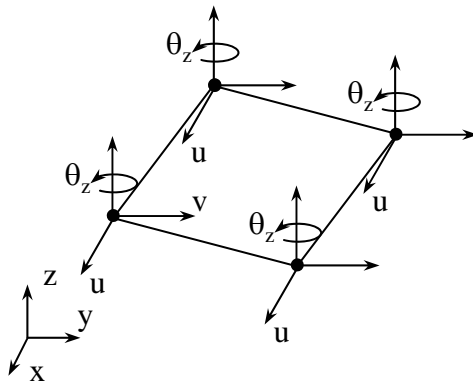
Distorsion !!!



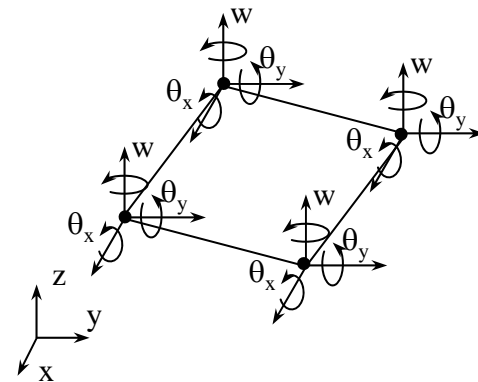
Courbures hors plan...

Coque = membrane + plaque

Comportement membranaire
= « in-plane »



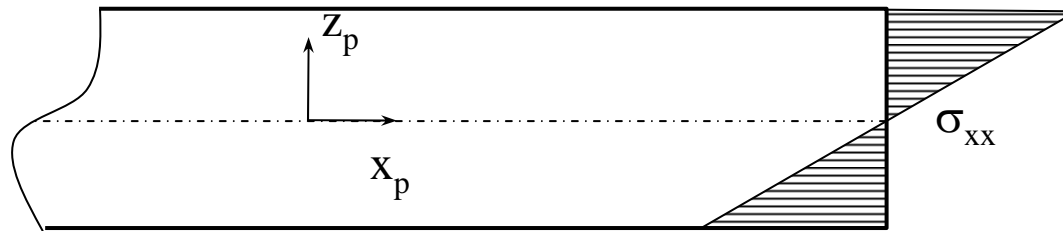
Comportement flexionnel
= « out-of-plane »



Calcul de structures en bureau d'études

Contrainte non uniforme dans l'épaisseur :

- chaque feuillet est étiré ou comprimé sous l'effet de la flexion
- les peau supérieure et inférieure sont les plus sollicitées



Contraintes de traction-compression dans l'épaisseur
d'une coque, dues à la charge transversale



Calcul de structures en bureau d'études

Comparaison coque/volume sur le plan informatique

Soit un parallélépipède modélisé par 2x2 coques et
2x2x1 volumes de degré 1.

Coques

9 nœuds ayant 6 ddls :
54 ddls

Matrice 54x54

Volumes

18 nœuds ayant 3 ddls
+ 9 modes internes par
élément : 90 ddls

Matrice 90x90



Calcul de structures en bureau d'études

Comparaison coque/volume sur le plan informatique

Coques

Chaque k_{ij} est une
somme sur 2×2 points
d'intégration

Largeur de front 54 :

Le temps de résolution
dépend de cette largeur

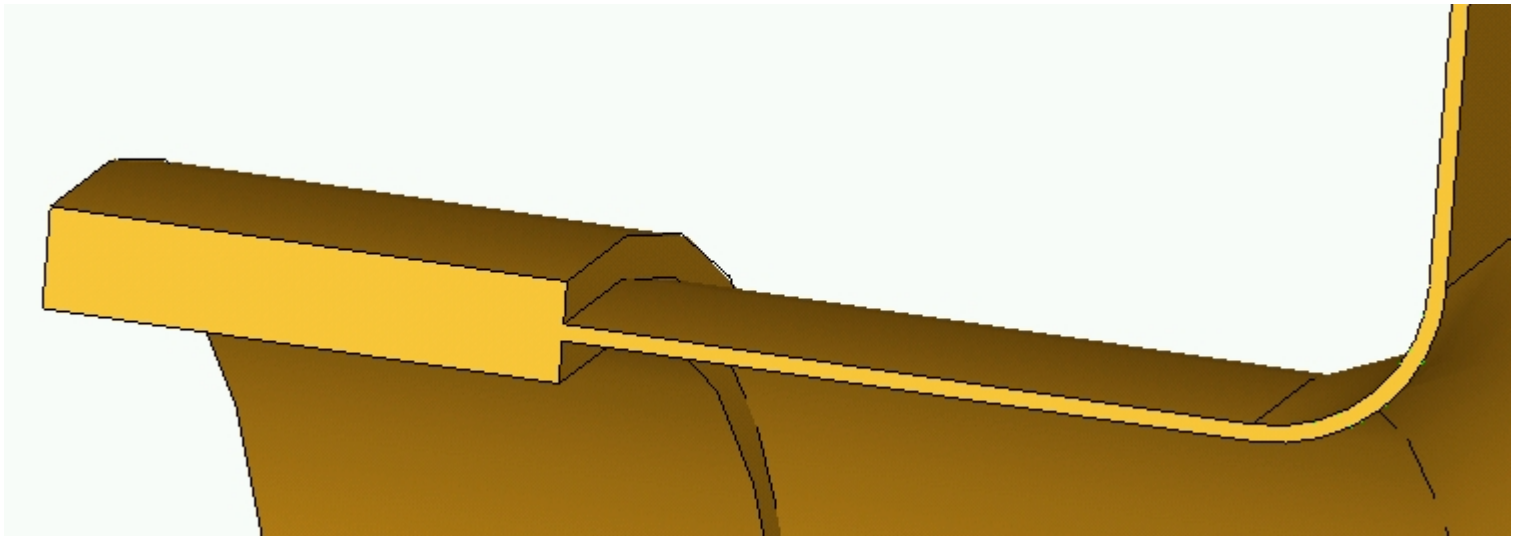
Volumes

Chaque k_{ij} est une
somme sur $2 \times 2 \times 2$
points d'intégration

Largeur de front 90 :

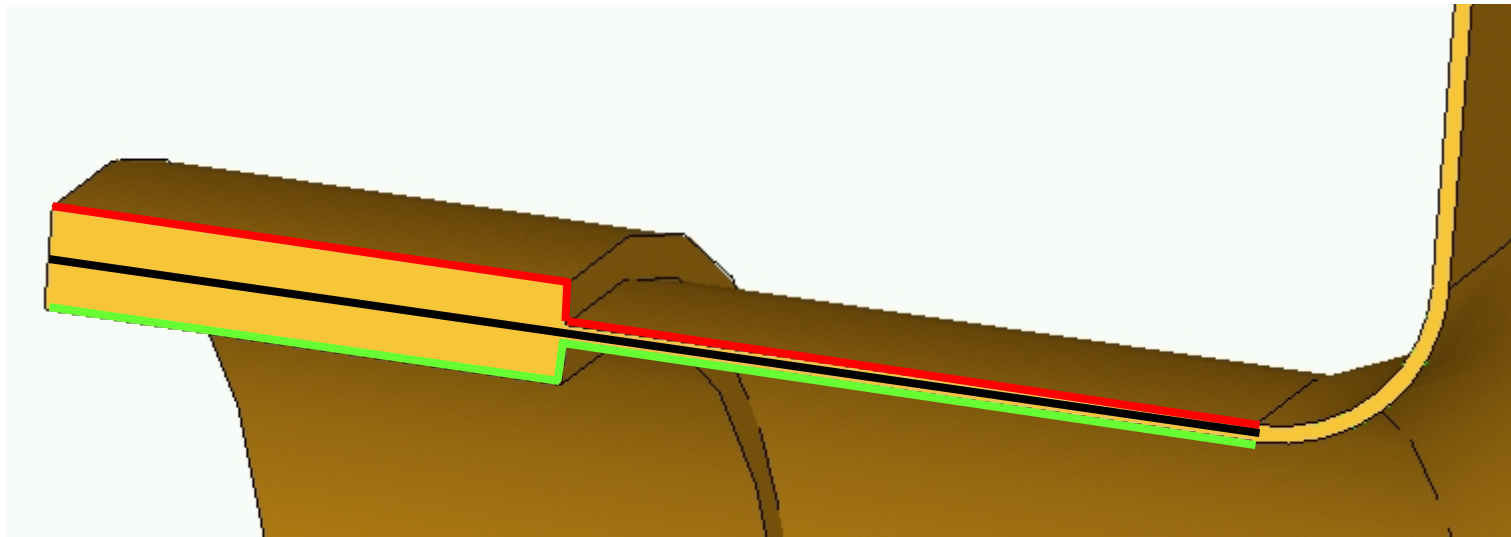
Le temps de résolution
dépend de cette largeur

Choix du feuillet pour le calcul :



Calcul de structures en bureau d'études

- Peau extérieure
- Peau intérieure
- Feuillet moyen à construire car non défini dans le modèle CAO



Peaux

Faciles à isoler dans le modèle CAO du soufflet
et rien à construire

$$y = \frac{1}{EI} f(x) \qquad \sigma = \frac{M_v}{I}$$

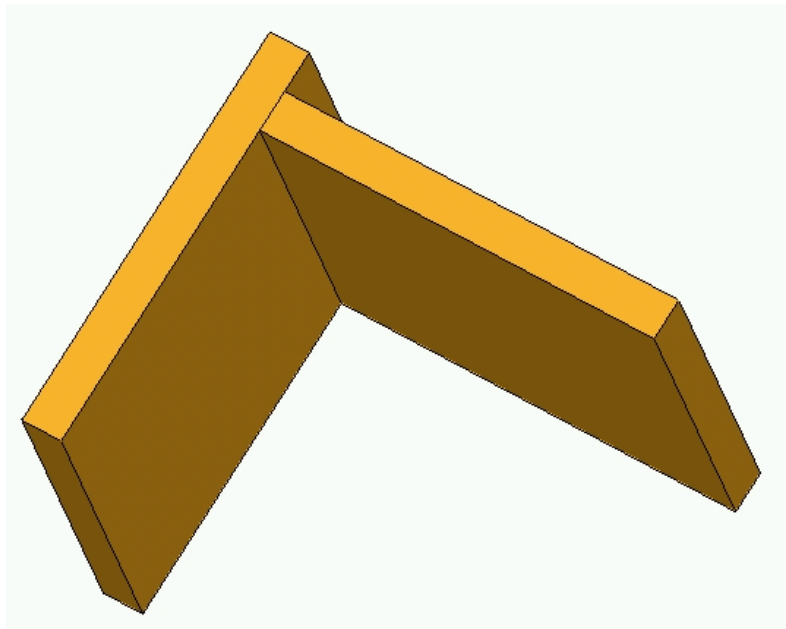
Peau intérieure : I est sous-estimé \longrightarrow y et σ sur-estimés

Peau extérieure : I est sur-estimé \longrightarrow y et σ sous-estimés

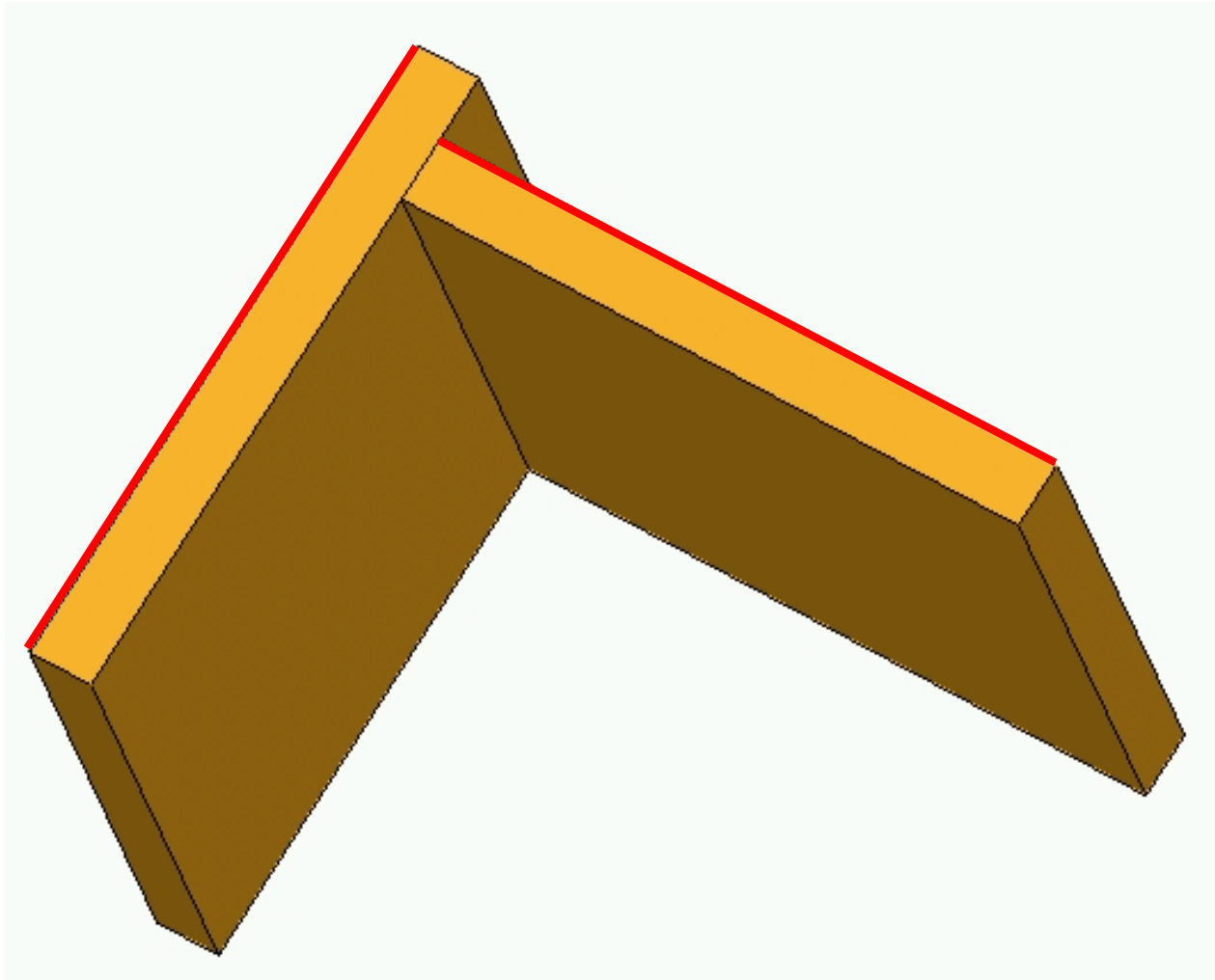
Feuillet moyen

N'existe généralement pas dans le modèle CAO, doit être explicitement construit pour la géométrie de calcul

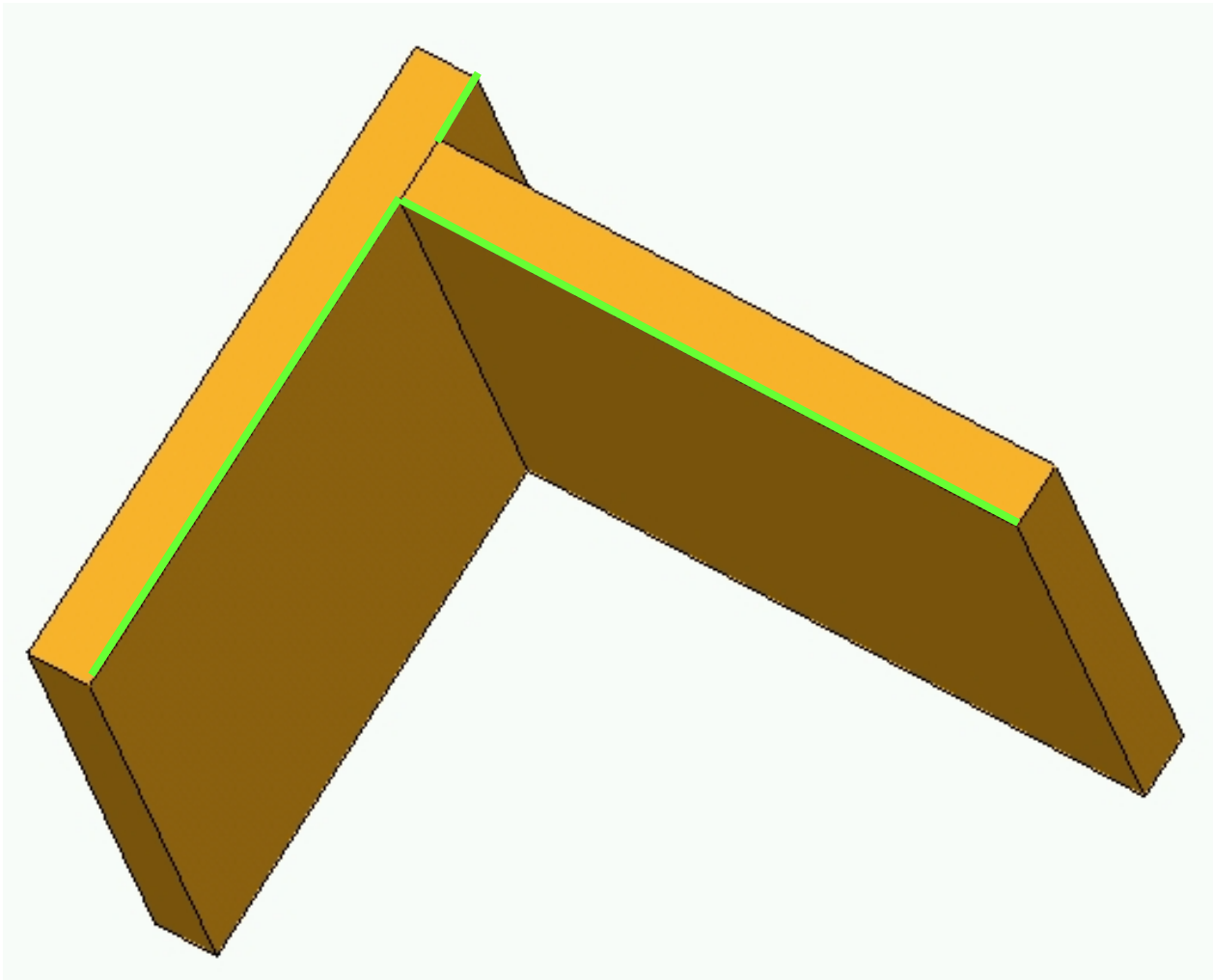
Continuité
du
maillage



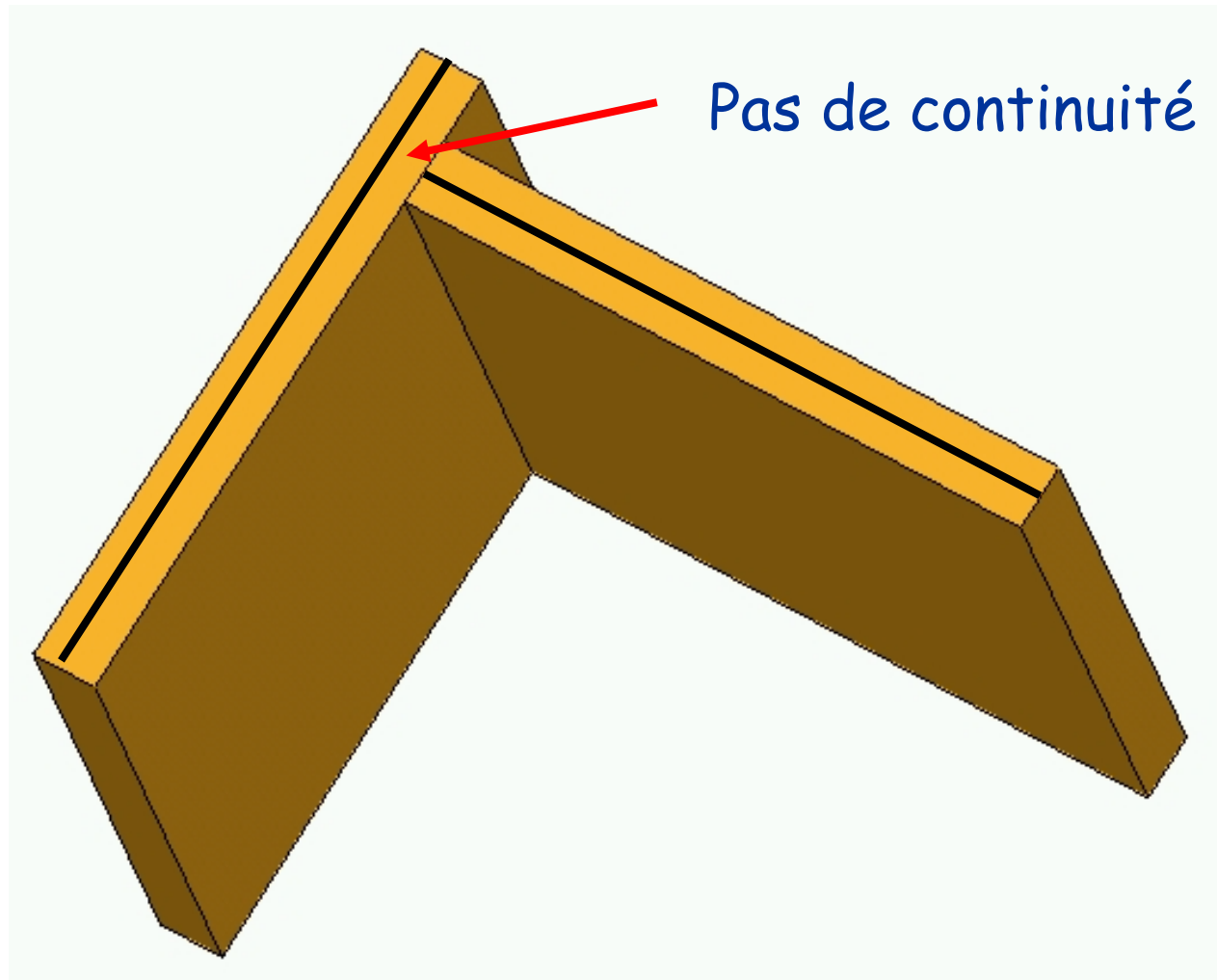
Calcul de structures en bureau d'études



Calcul de structures en bureau d'études



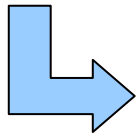
Calcul de structures en bureau d'études



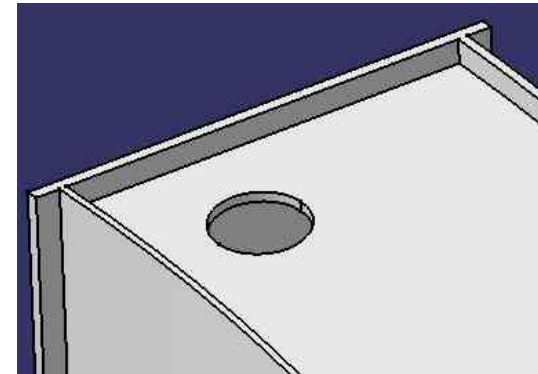
Feuillet moyen (exemple tiré de la cuve NEMO)

- Idéalisation et adaptation pour le maillage :

surfaces moyennes sans trous correctement raccordées, suppression de petites surfaces dépassant les intersections...



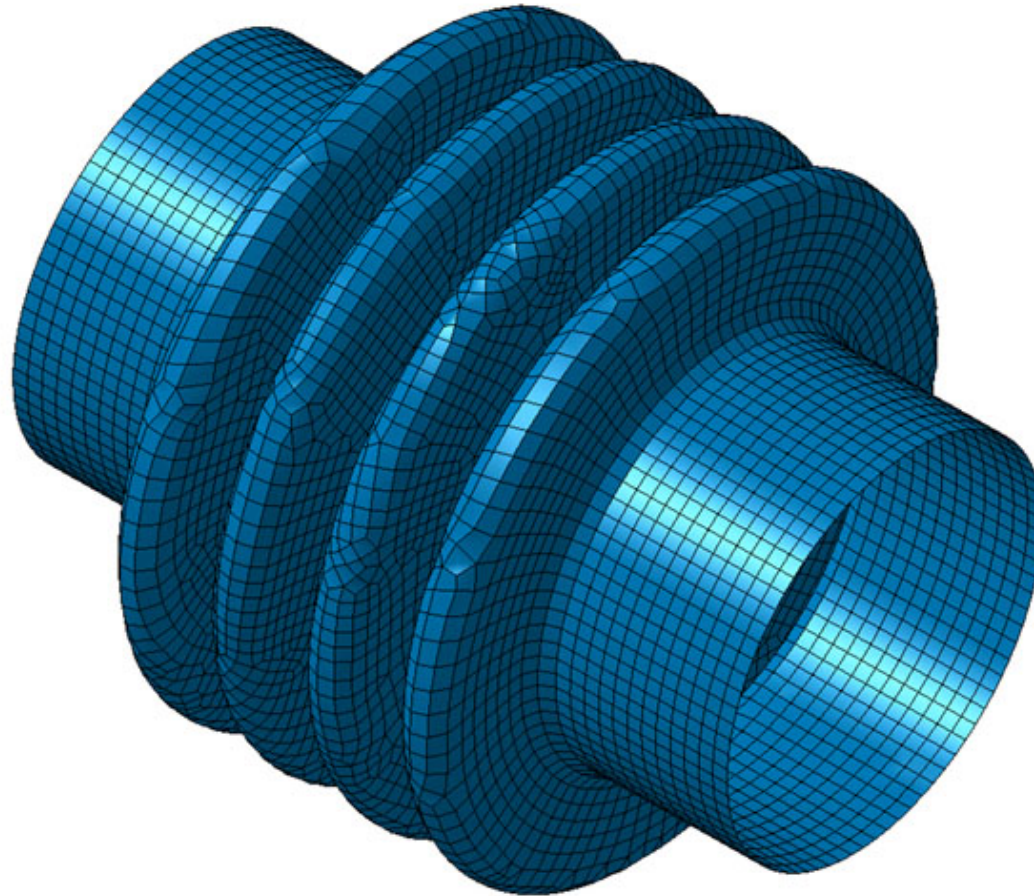
Évite les éléments de trop petite taille et donne un bon maillage



« Clic-bouton » sur la géométrie surfacique 3D : que peut-on en faire et est-ce intéressant ?

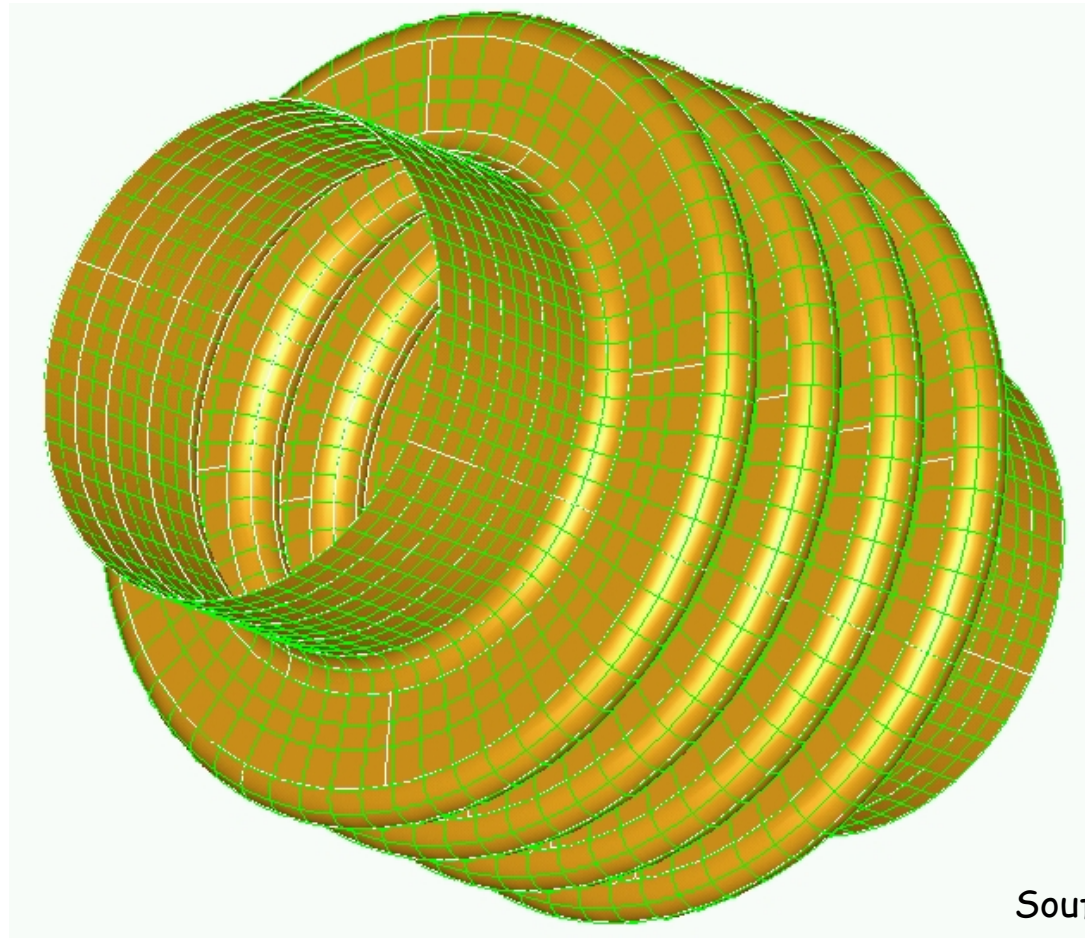
On n'est plus contraint par l'éclancement des éléments volumiques puisque l'on n'a que des éléments surfaciques. On peut par exemple prendre des éléments de taille 8. Il faut quand même faire bien attention au nombre d'éléments dans les congés du soufflet.

Maillage a priori



maillage_soufflet_coque_catia

Maillage a priori



Soufflet_coque3.sfield



Calcul de structures en bureau d'études

La taille moyenne des éléments est de 8 mm.

VOUS AVEZ GENERE

4560 éléments de coque

13 800 nœuds ayant 6 degrés de liberté chacun

82 800 degrés de liberté pour ce petit soufflet !!!

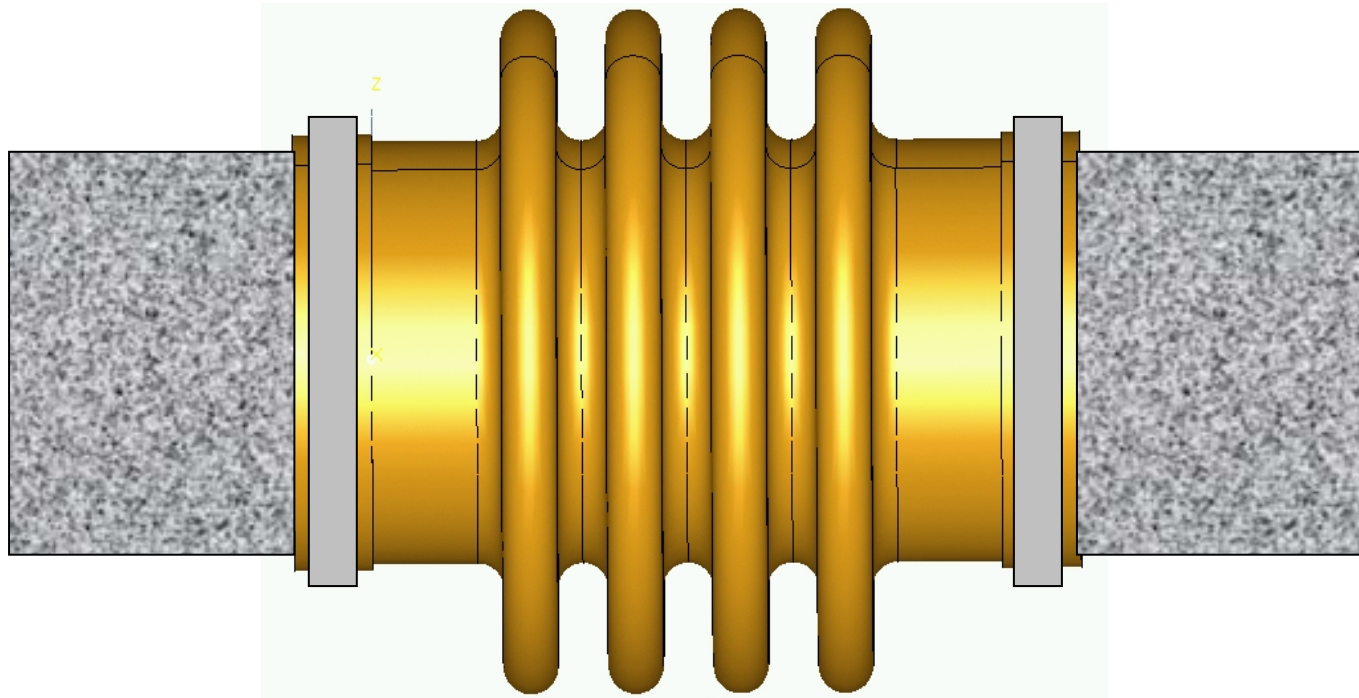
C'est plus raisonnable que 405 900, mais c'est encore beaucoup trop (temps CPU , espace disque) pour envisager une étude de sensibilité ou une optimisation.

Mais avant de se préoccuper du
maillage, comment gérer les
futures données éléments finis ?

Conditions aux limites, charges,
données physiques...

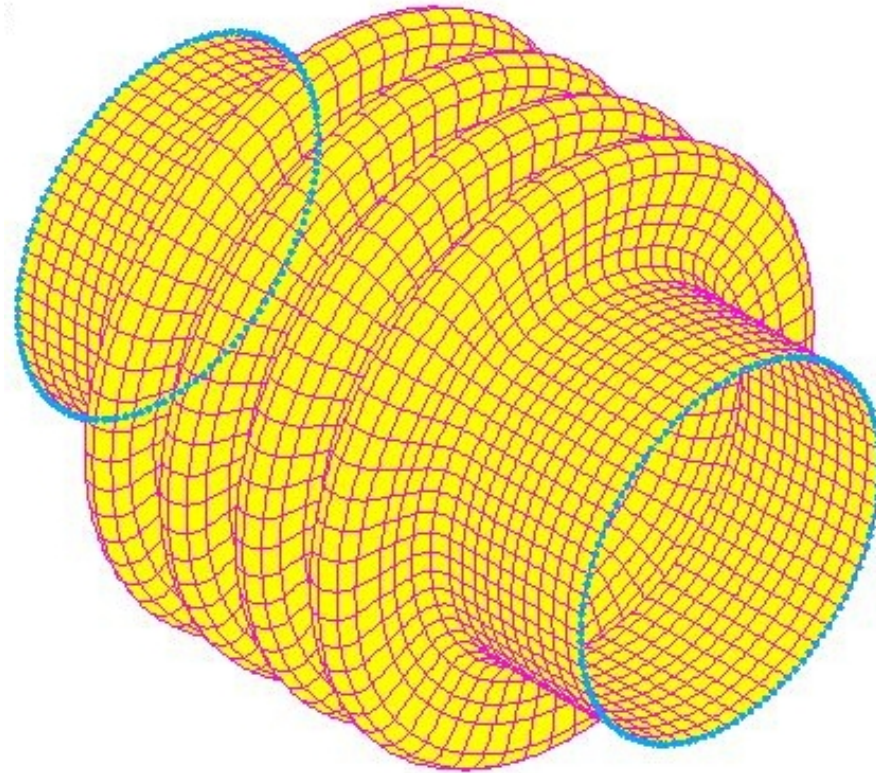
Calcul de structures en bureau d'études

Conditions aux limites



Quelles sont les hypothèses ?

Calcul de structures en bureau d'études



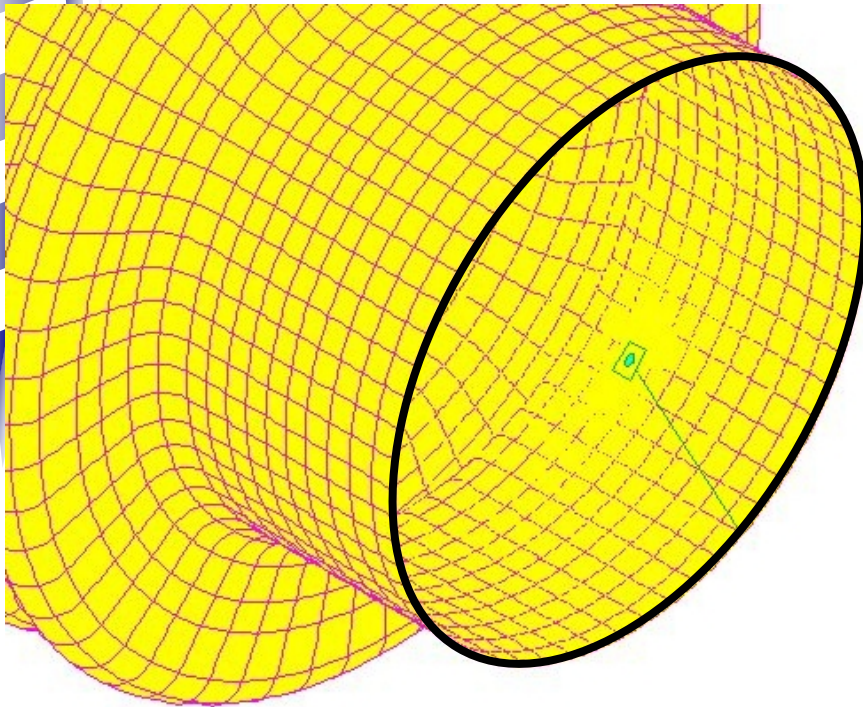
Si on encastre les deux extrémités, on ne peut plus appliquer le chargement.

Calcul de structures en bureau d'études

On encastre donc tous les nœuds situés
sur un cercle d'extrémité

Si on introduit une condition
de planéité sur le cercle
matérialisant l'autre
extrémité du tuyau :

La face reste plane mais le
diamètre ne se conserve pas
sous la charge. Or le tuyau
est emmanché sur un tuyau
métallique indéformable.



Corps rigide (1)

Pour préserver les distances :
corps rigides

Partie de structure suffisamment rigide
pour être considérée comme indéformable
par rapport au reste de la structure.

Pas de description géométrique, de maillage, de
propriétés matérielles ou physiques :

corps rigide = fonctionnalité cinématique

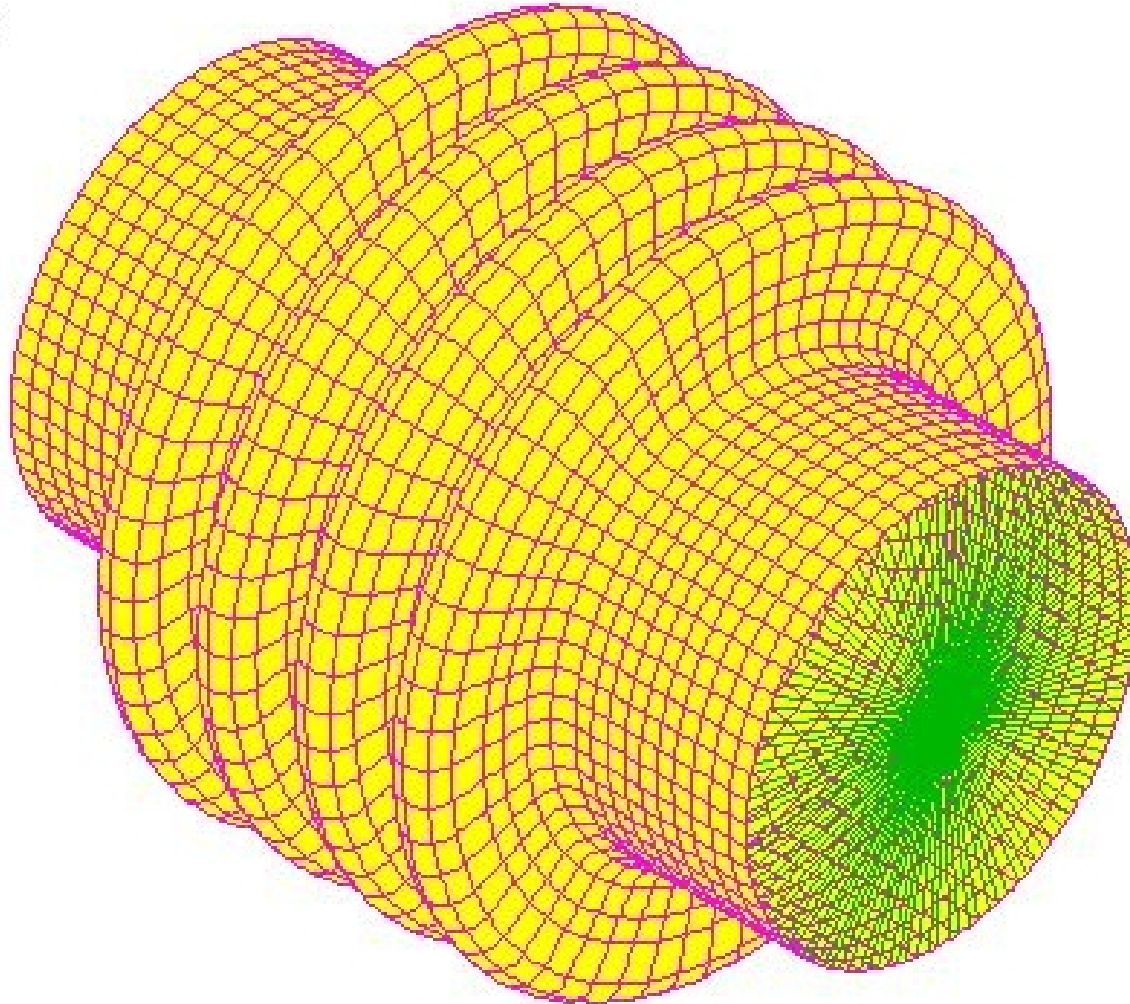
Corps rigide (2)

L'ensemble des nœuds esclaves suit la cinématique imposée par le nœud maître : conservation des distances relatives et des angles relatifs.

$$\vec{U}(E) = \vec{U}(M) + \vec{\Omega} \wedge \overrightarrow{ME} \qquad \vec{\Omega}(E) = \vec{\Omega}(M)$$

Pas de déformation ni de contrainte dans un corps rigide.

Calcul de structures en bureau d'études





Calcul de structures en bureau d'études

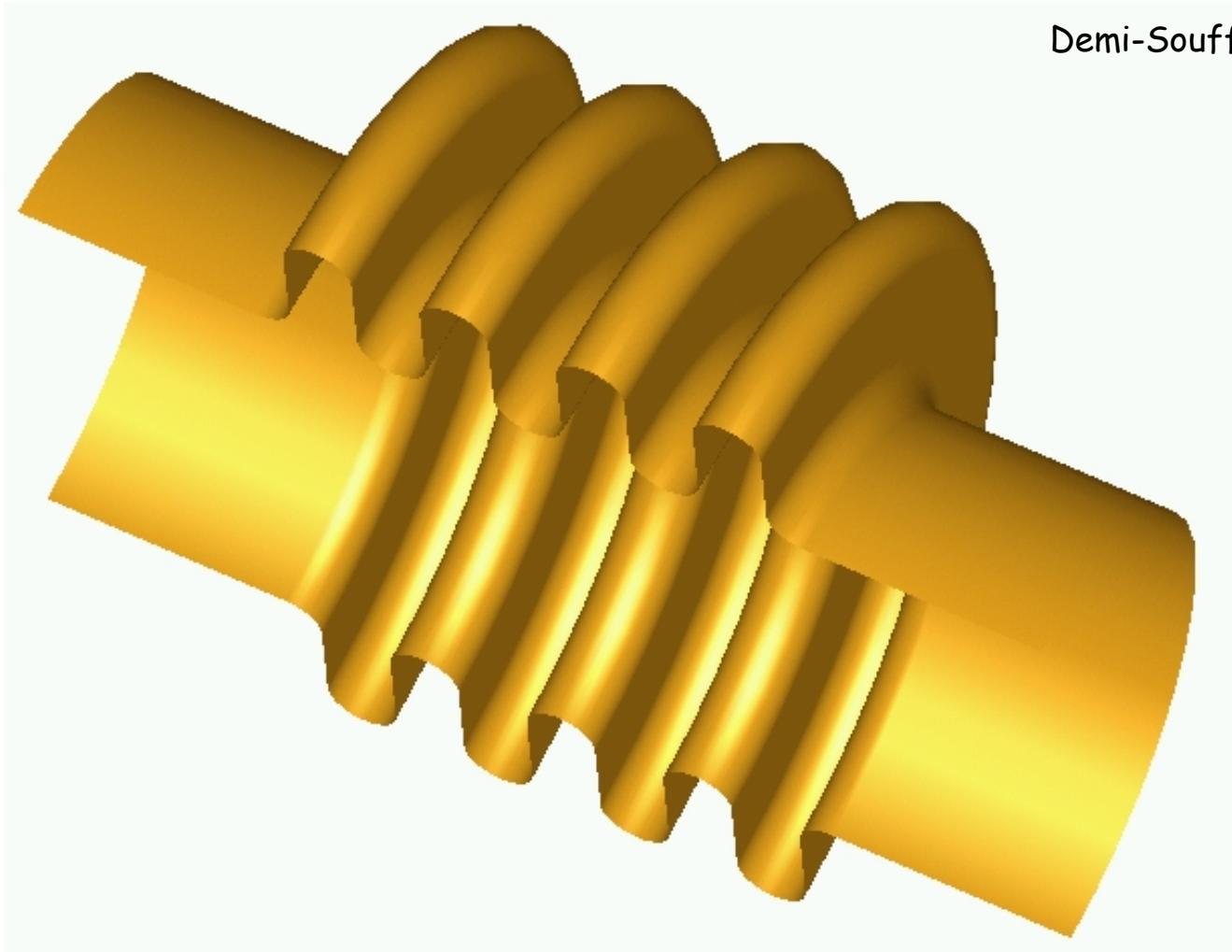
Une extrémité est fixe, on pilote le déplacement de l'autre en agissant sur le nœud maître du corps rigide.

Que peut-on améliorer dans ce modèle ?

Où peut-on gagner en productivité ?

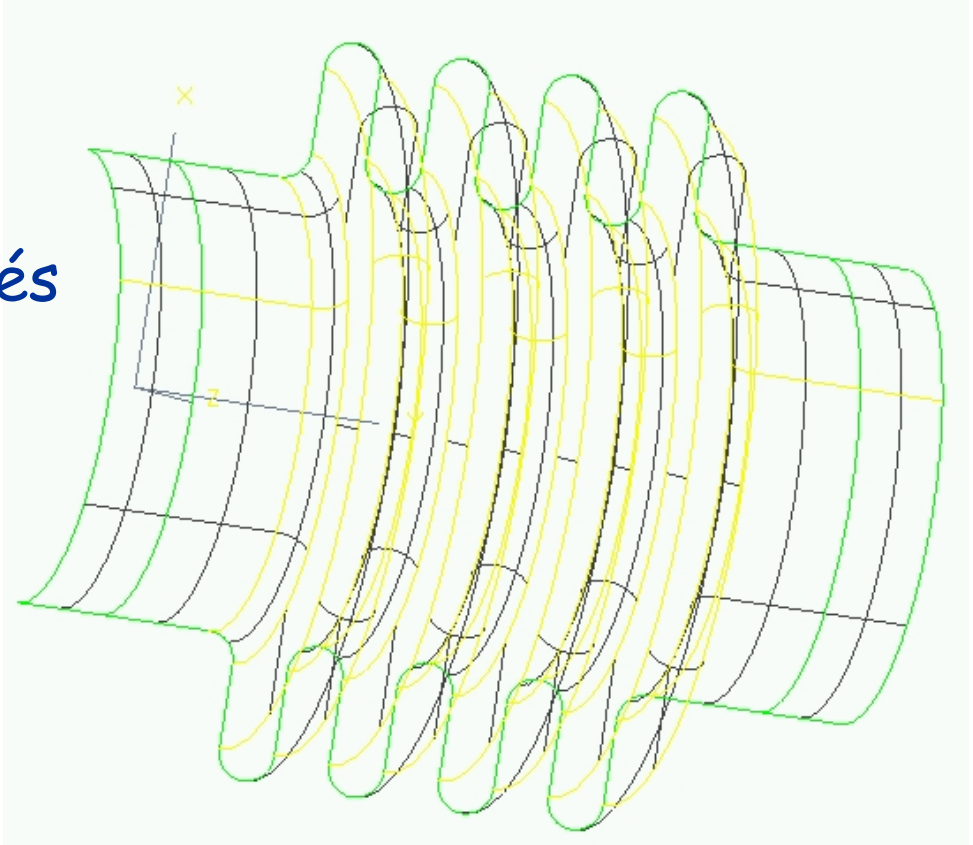
Calcul de structures en bureau d'études

Demi-Soufflet_coque.stp



Calcul de structures en bureau d'études

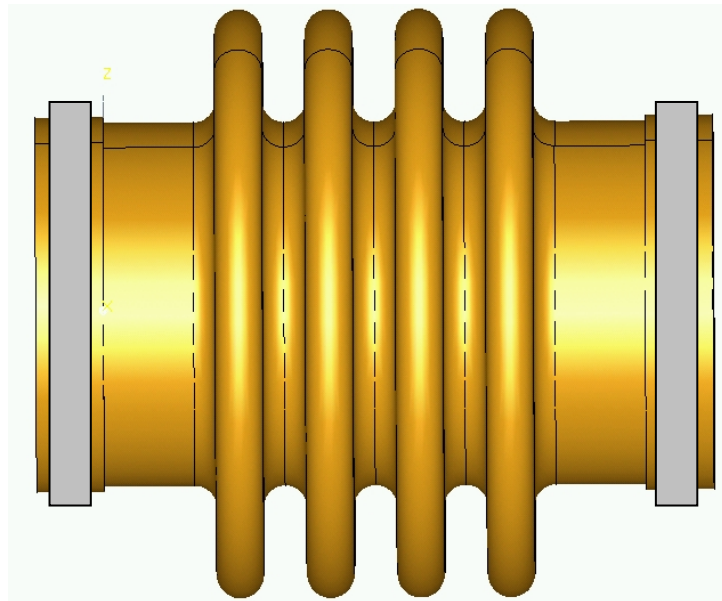
Même problème qu'en volumique : la géométrie du demi-soufflet n'est pas un revolve sur 180 degrés d'une génératrice.



Il faut redéfinir les surfaces pour le maillage par extrusion.

Calcul de structures en bureau d'études

Tuyaux métalliques indéformables : encastrement de toutes les zones emmanchées sur les tuyaux et serrées par les colliers.

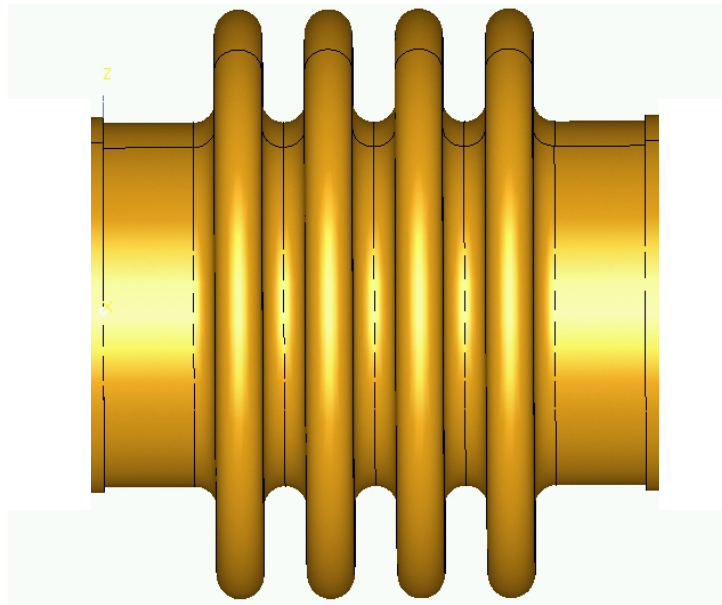


Calcul de structures en bureau d'études

Dans un élément de coque, on ne gère pas le pincement puisque l'hypothèse de base est :

$$\sigma_{zz} = 0$$

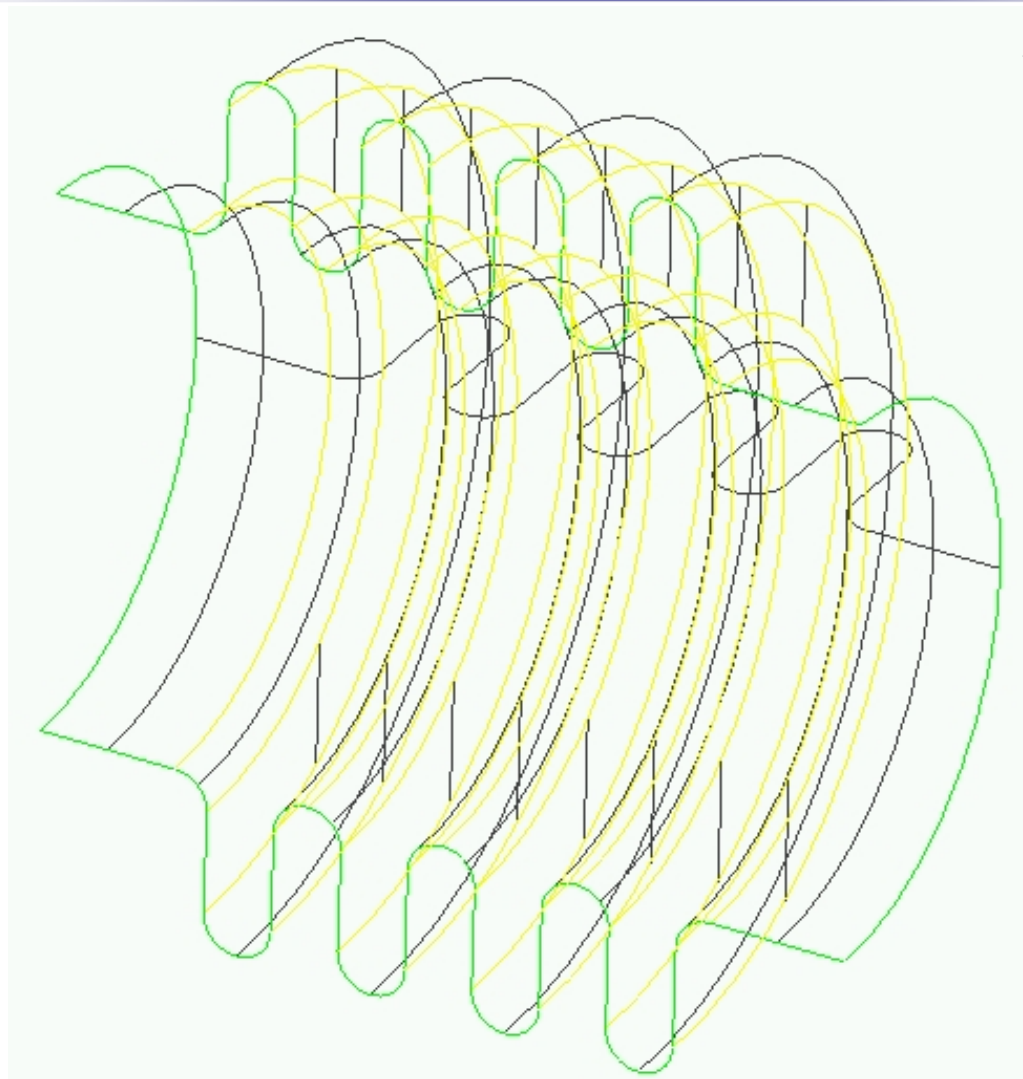
La zone sous collier ne sert à rien pour ce modèle.



Demi-structure limitée à la portion située entre les colliers, avec une modélisation surfacique. Une face encastree (en fait une ligne), une face « rigide » pour imposer les mouvements tout en reproduisant l'effet du tuyau métallique non modélisé.

Calcul de structures en bureau d'études

souf-coque2.stp





Calcul de structures en bureau d'études

Comportement : coque (shell)

Epaisseurs : 1 mm partout

Matériau : Young et Poisson

Conditions aux limites

Conditions de symétrie

Déplacements imposés ou pression uniforme

Conditions de symétrie pour les éléments de coque.

Pour tous les nœuds situés dans le plan de symétrie

- fixation de la translation orthogonale au plan de symétrie

- fixation de la rotation autour des deux axes situés dans le plan de symétrie



Calcul de structures en bureau d'études

Résolution séquentielle pour les 4 chargements

$$F = Kq$$

- on construit 4 fois la même matrice de raideur et les mêmes vecteurs F et q ,
- on inverse 4 fois la matrice K (l'essentiel du temps de résolution)
- on récupère 4 résultats « indépendants »



Calcul de structures en bureau d'études

Résolution simultanée pour les 4 chargements

$$\begin{pmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} q_1 & q_2 & q_3 & q_4 \end{pmatrix}$$

- on construit 1 fois la matrice de raideur et les vecteurs F et q,
- on inverse 1 fois la matrice K (l'essentiel du temps de résolution)
- on récupère 4 résultats « indépendants » qu'il est possible de recombinaison linéairement en post-traitement (notion de « cas de charge »)

Peut-on profiter de cette technique ?

NON car en fait, ce ne sont pas les
chargements qui changent d'un calcul à l'autre
mais bien les conditions aux limites.

Il faut donc faire quatre calculs séparés.

CALCUL

Tout va bien :

Pas de message d'avertissement,

Pas de message d'erreur,

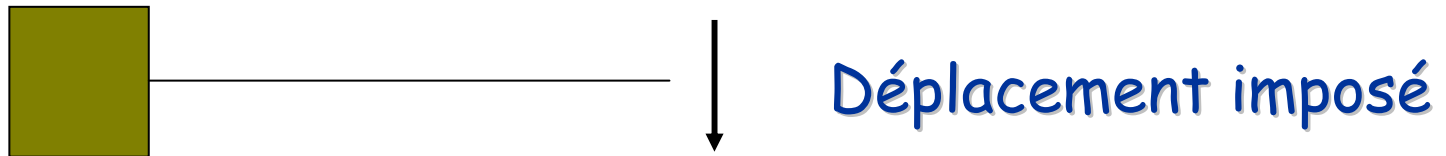
Système bien conditionné,

Pas de pivot nul (ou expliqué si existe),

Equilibre charge-réaction...

Calcul de structures en bureau d'études

Particularités concernant les charges et les réactions pour les 3 premiers cas de charge



$$F = \begin{pmatrix} F_l \\ R_f \\ R_i \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{ll} & K_{lf} & K_{li} \\ K_{fl} & K_{ff} & K_{fi} \\ K_{il} & K_{if} & K_{ii} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_l \\ q_f \\ q_i \end{pmatrix}$$



Calcul de structures en bureau d'études

On n'impose aucune force donc $F_i = 0$

On impose des déplacements nuls (ce sont les fixations) $q_f = 0$ et des déplacements non nuls q_i .

Le programme calcule les efforts qu'il faut appliquer sur les q_i pour qu'ils aient le déplacement voulu. Mais ces efforts sont comptabilisés en tant que réactions car ils ne sont pas explicitement introduits comme efforts dans les données.

Calcul de structures en bureau d'études



Les efforts de réaction sur les conditions aux limites équilibrent les efforts engendrés par les déplacements imposés :

$$R_f + R_i = 0$$

La somme des charges extérieures est nulle, la somme des réactions est nulle.

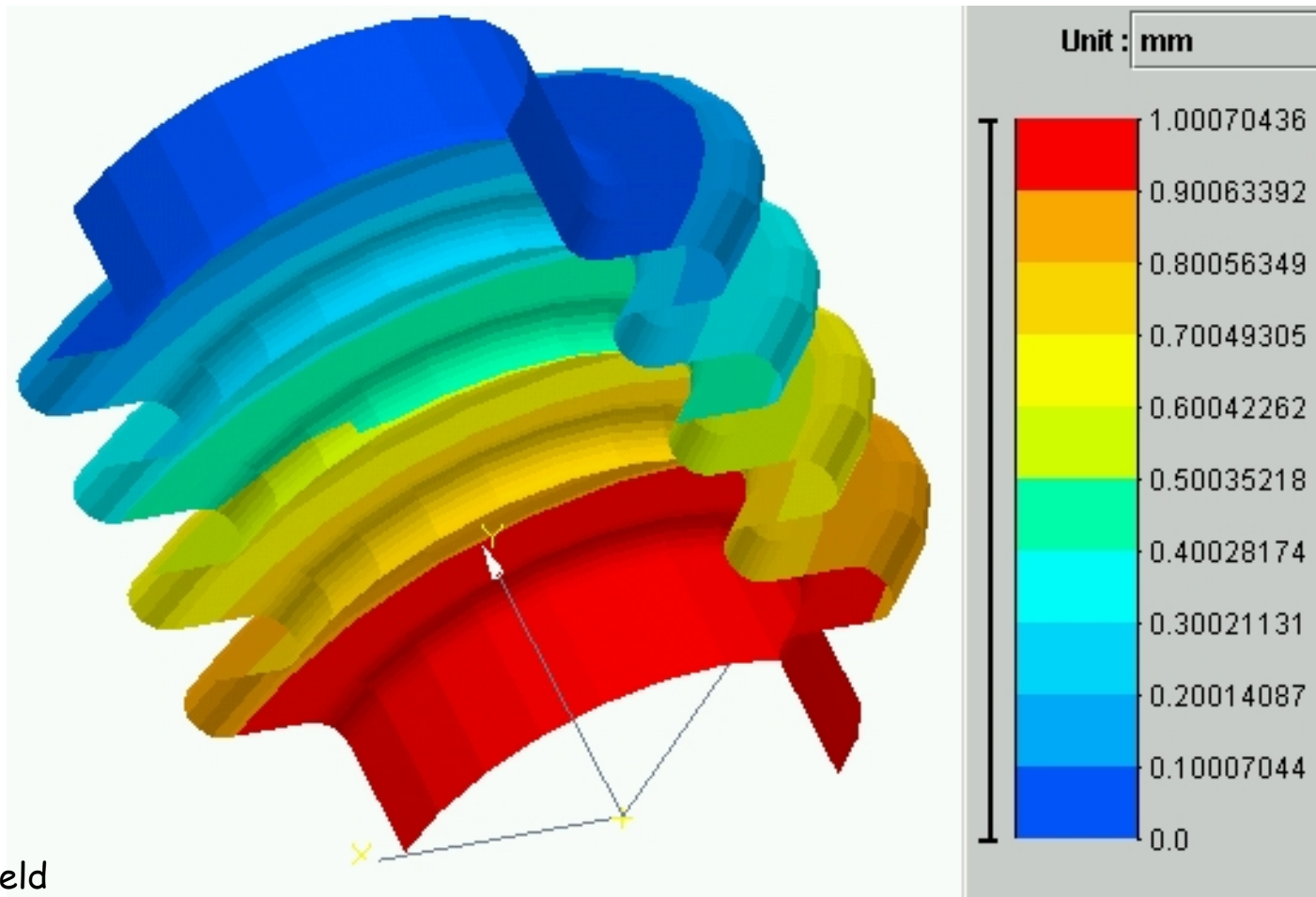
Qu'est-ce que le module des déplacements ?

$$\|\vec{u}\| = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$$

Toujours positif !!!

Calcul de structures en bureau d'études

Amplitude des déplacements, charge n°1



Contraintes équivalentes, rappel

Dans le repère principal des contraintes, la contrainte équivalente au sens de Von Mises est

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} [(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2]$$

Pour être dans le domaine linéaire d'un point de vue matériel, on doit vérifier que (attention hyperélastiques...)

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} [(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2] \leq \sigma_e^2$$

Contraintes équivalentes, rappel

Une contrainte équivalente n'est pas une contrainte « physique ». Elle ne s'identifie à une contrainte que pour des charges élémentaires sur éprouvettes. C'est une représentation scalaire de l'état de contrainte en un point.

Exemple de la traction monoaxiale uniforme :

$$\begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \Rightarrow \sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\sqrt{\sigma_I^2 + \sigma_I^2} \right) = |\sigma_I|$$



Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes et coques

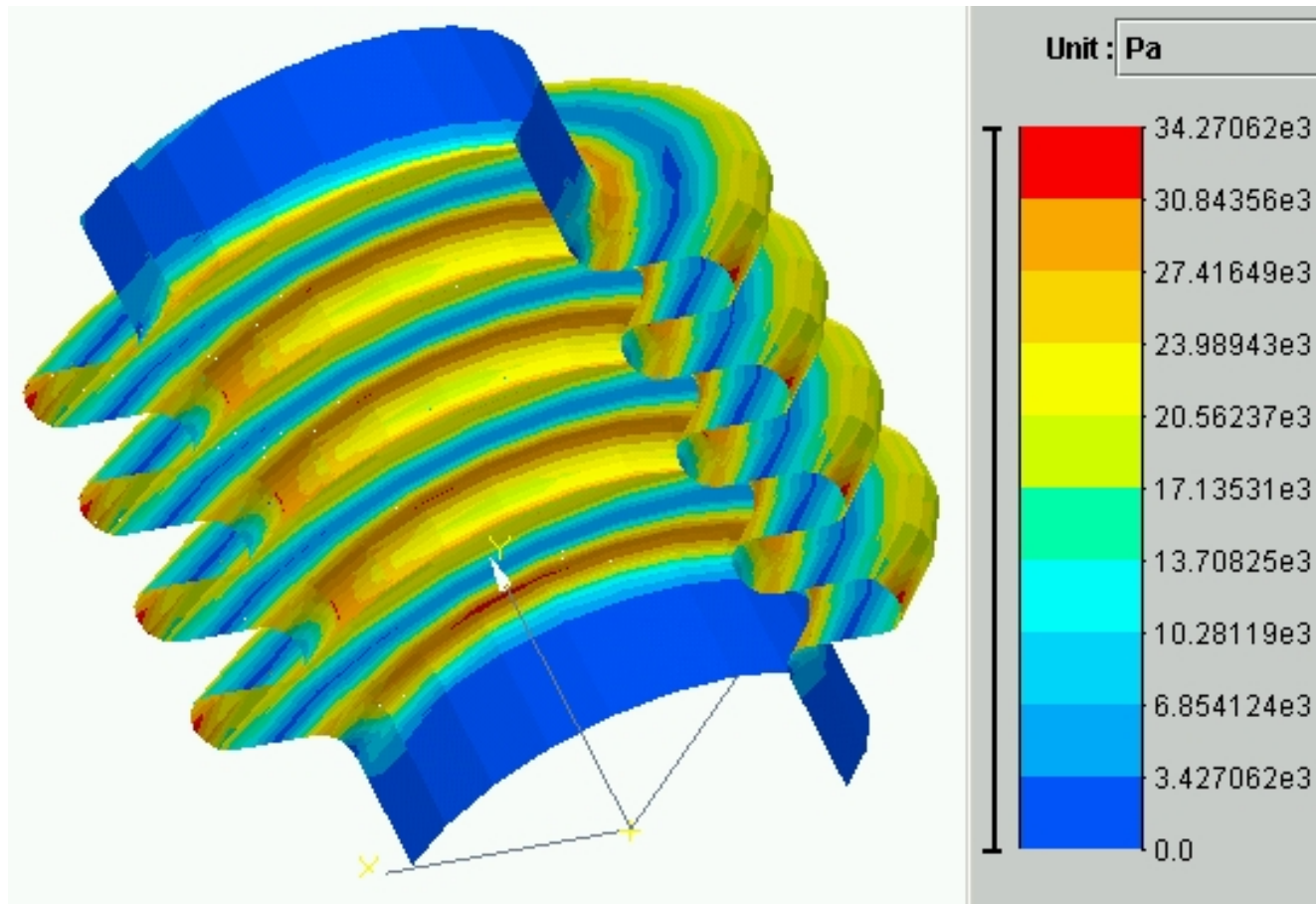
Pour le premier cas de charge, où faut-il analyser les contraintes et pourquoi ?

Peau supérieure, peau inférieure, feuillet moyen ?

Calcul de structures en bureau d'études

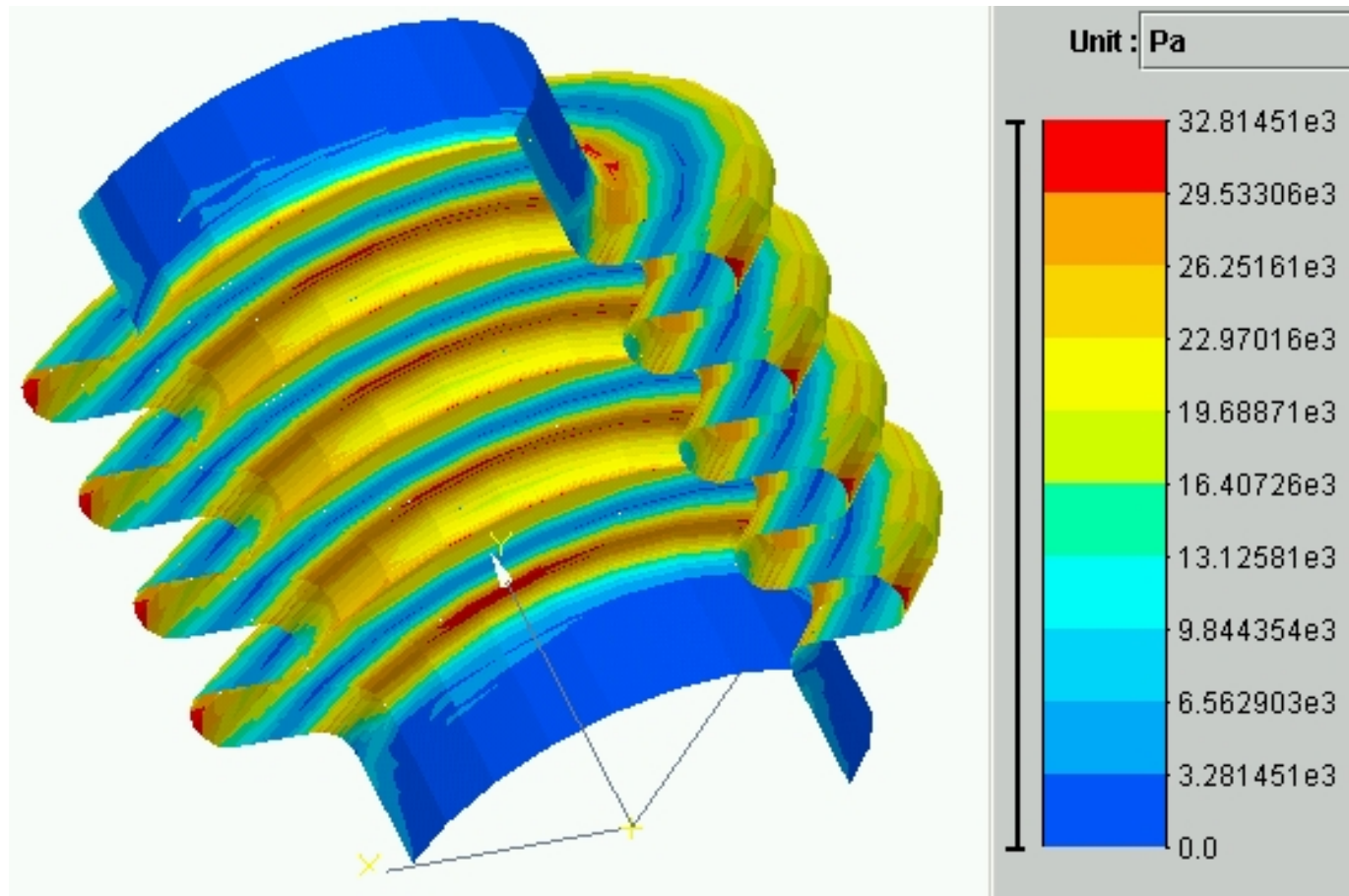
Coque-cha1.sfield

Contraintes équivalentes, charge n°1 peau inf.



Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°1 peau sup.





Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes et coques

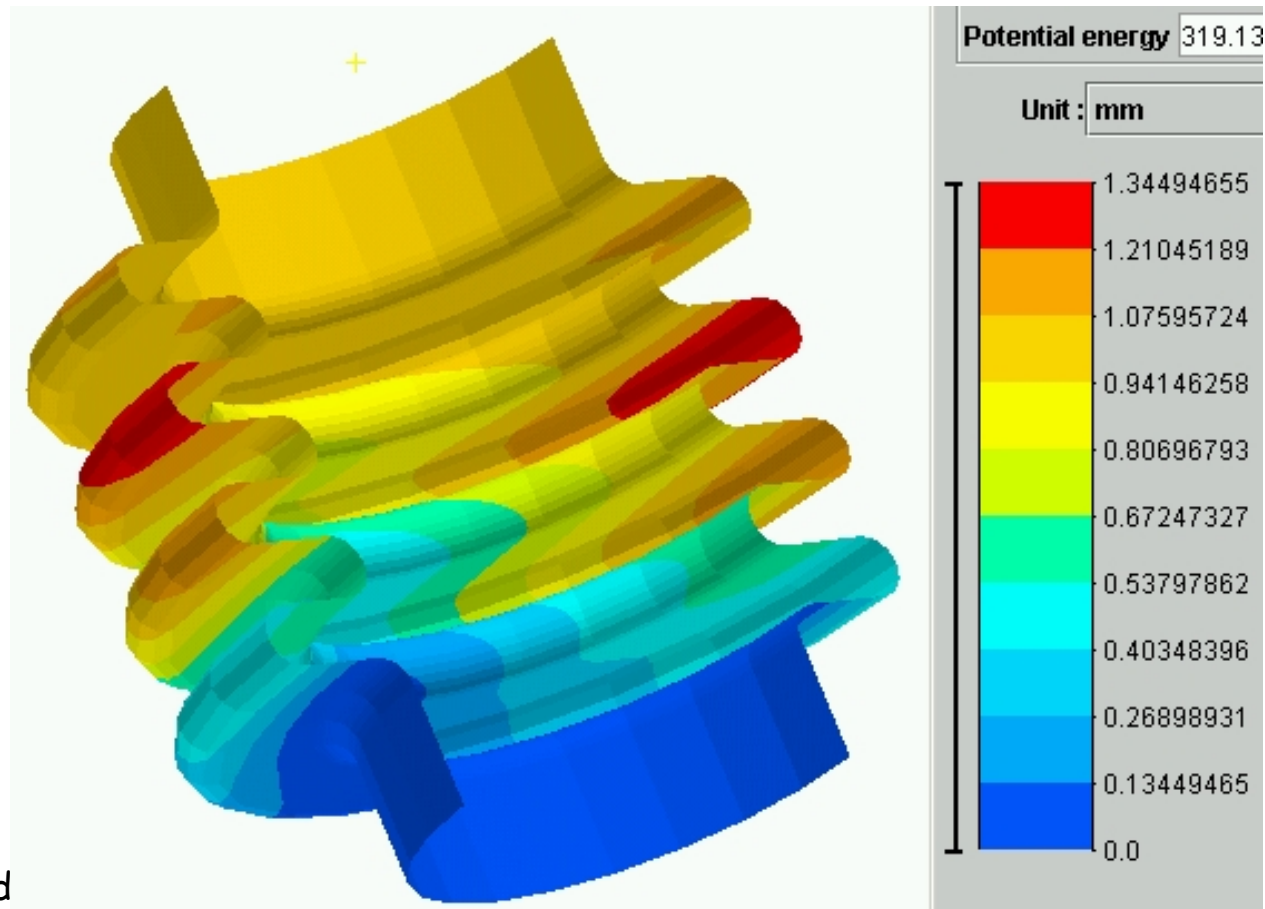
Pour le second cas de charge, où faut-il analyser les contraintes et pourquoi ?

Peau supérieure, peau inférieure, feuillet moyen ?

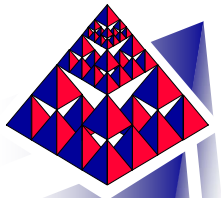
Calcul de structures en bureau d'études

Coque-cha2.sfield

Déplacements selon x, charge n°2

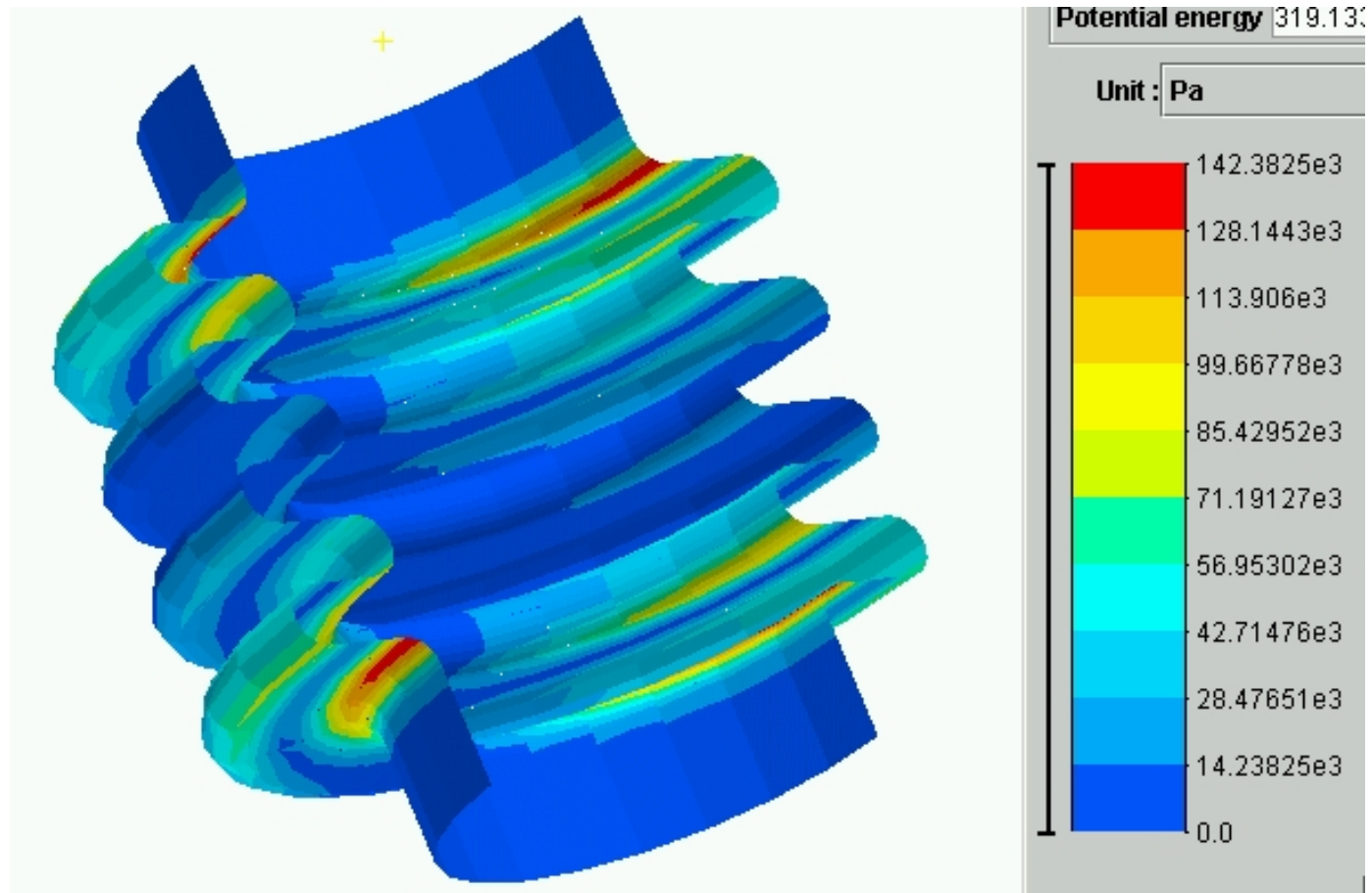


coque-cha2.sfield



Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°2 peau inf.





Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes et coques

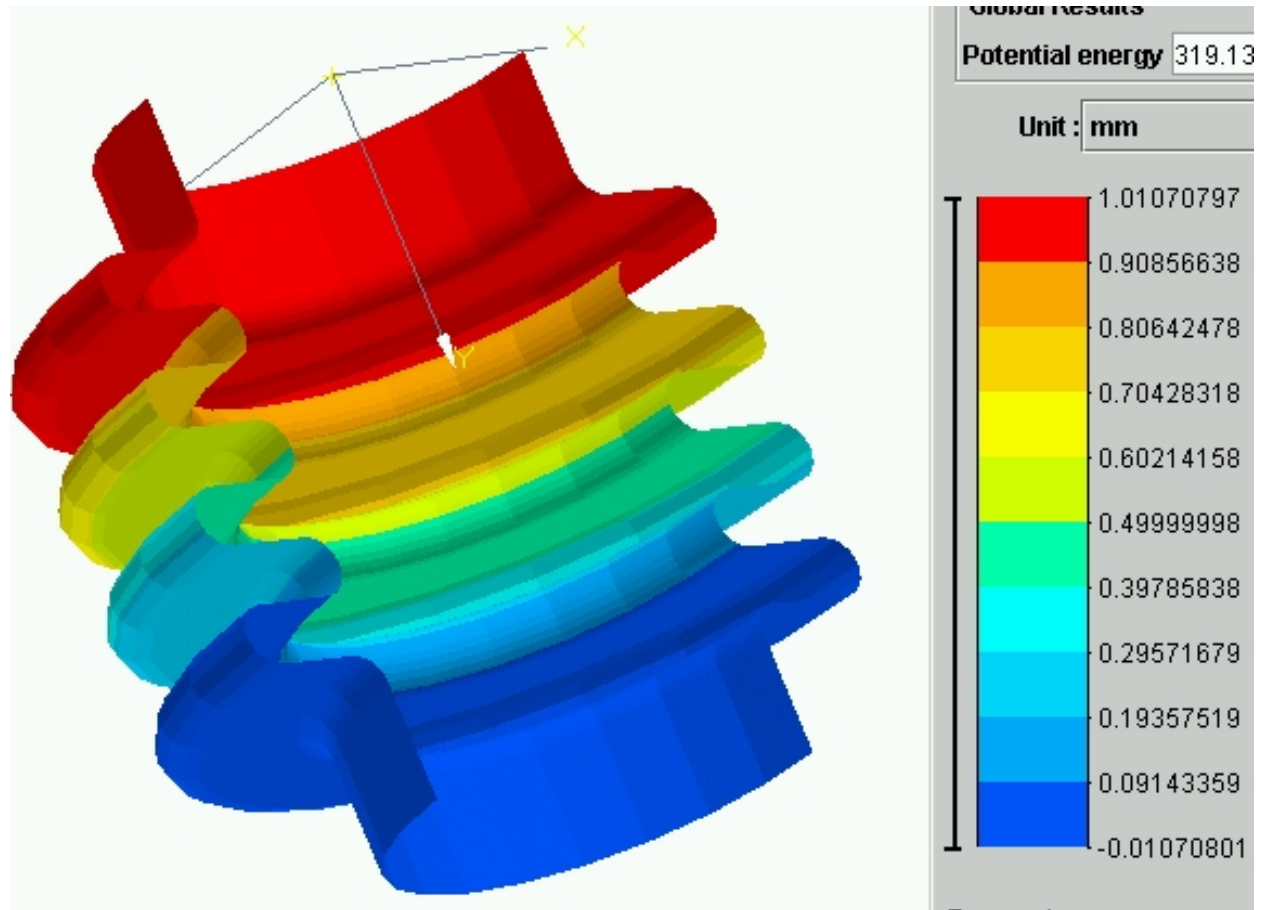
Pour le troisième cas de charge, où faut-il analyser les contraintes et pourquoi ?

Peau supérieure, peau inférieure, feuillet moyen ?

Calcul de structures en bureau d'études

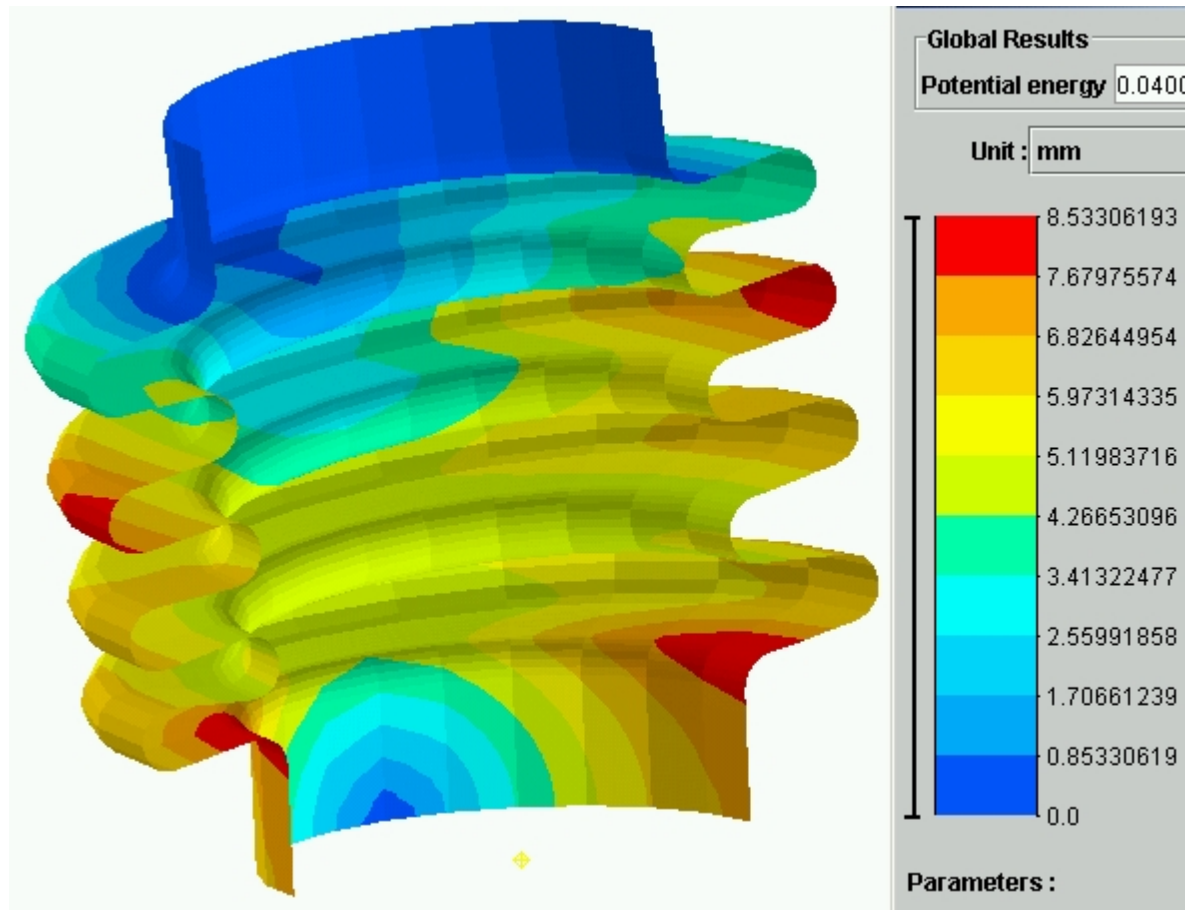
Coque-cha3.sfield

Déplacements sur x, charge n°3



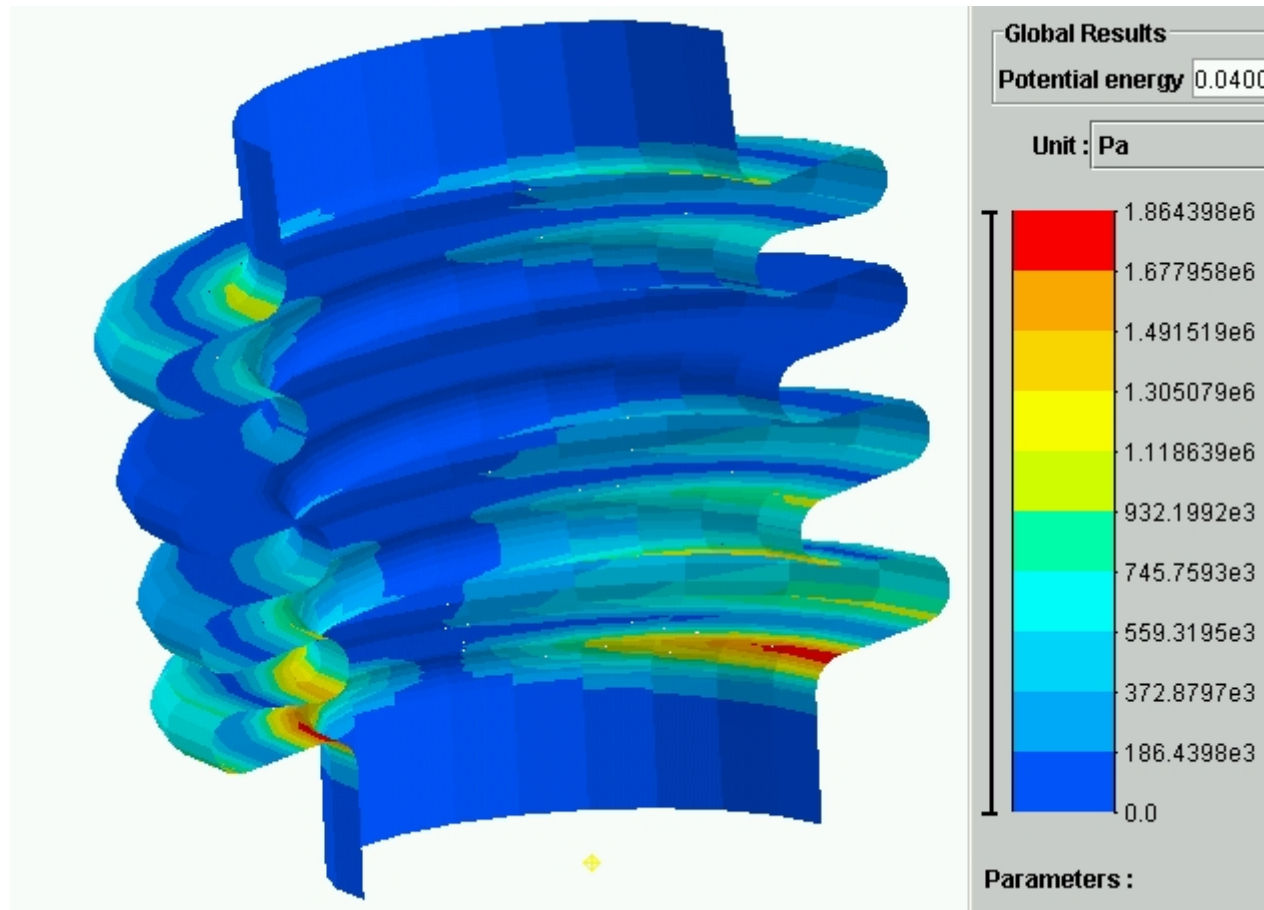
Calcul de structures en bureau d'études

Amplitude des déplacements, charge n°3



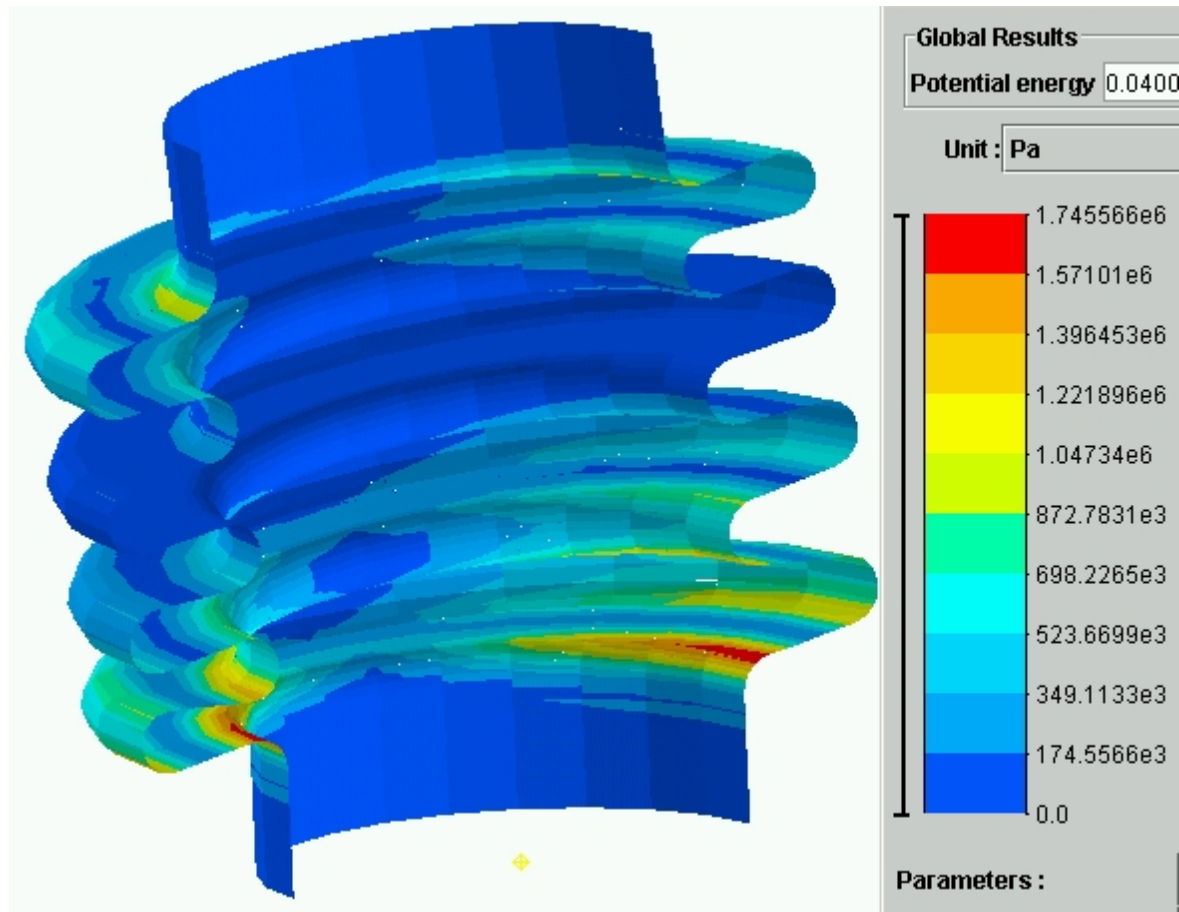
Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°3 peau inf.



Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°3 peau sup.





Calcul de structures en bureau d'études

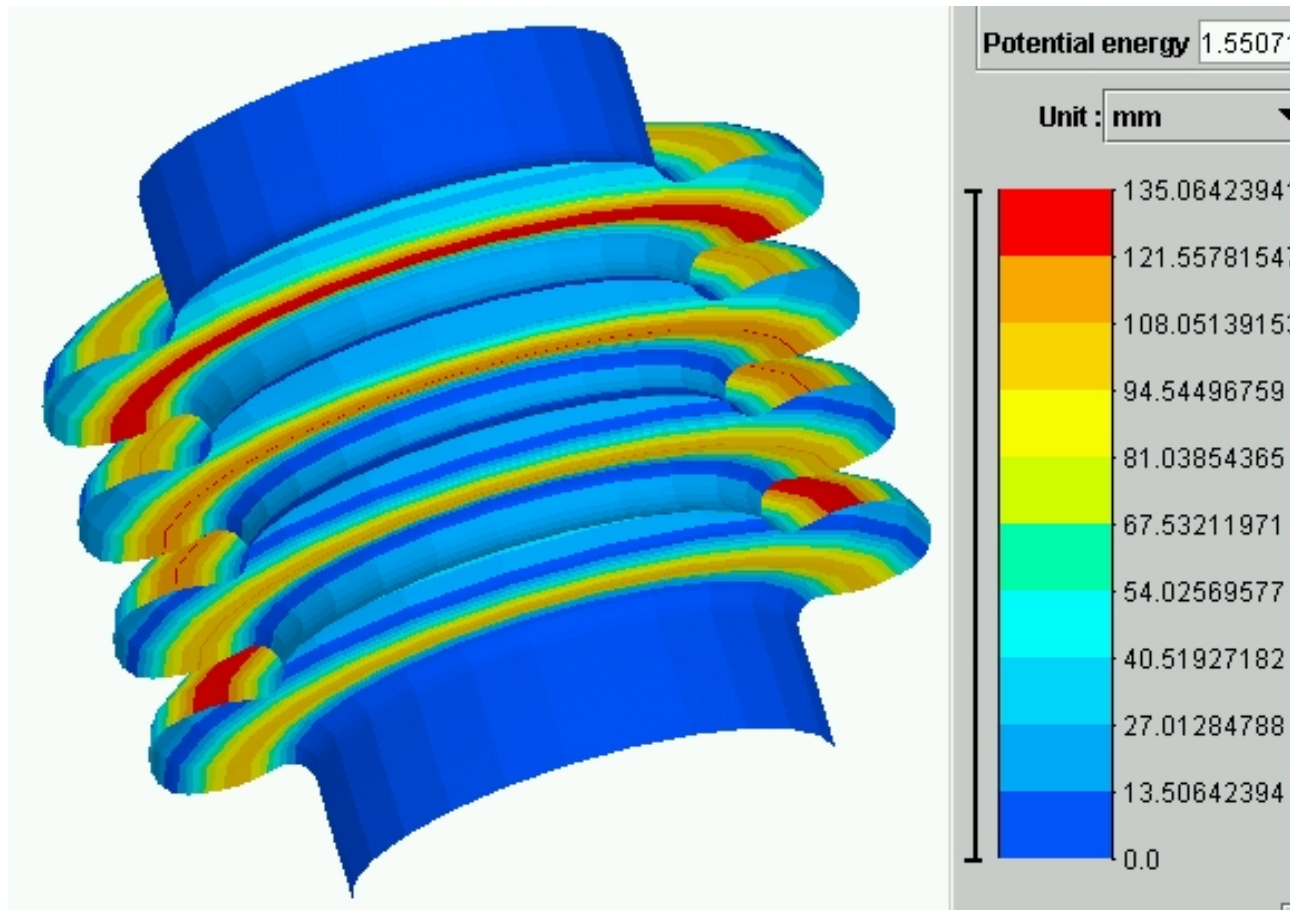
Contraintes équivalentes et coques

Pour le quatrième cas de charge, où faut-il analyser les contraintes et pourquoi ?

Peau supérieure, peau inférieure, feuillet moyen ?

Calcul de structures en bureau d'études

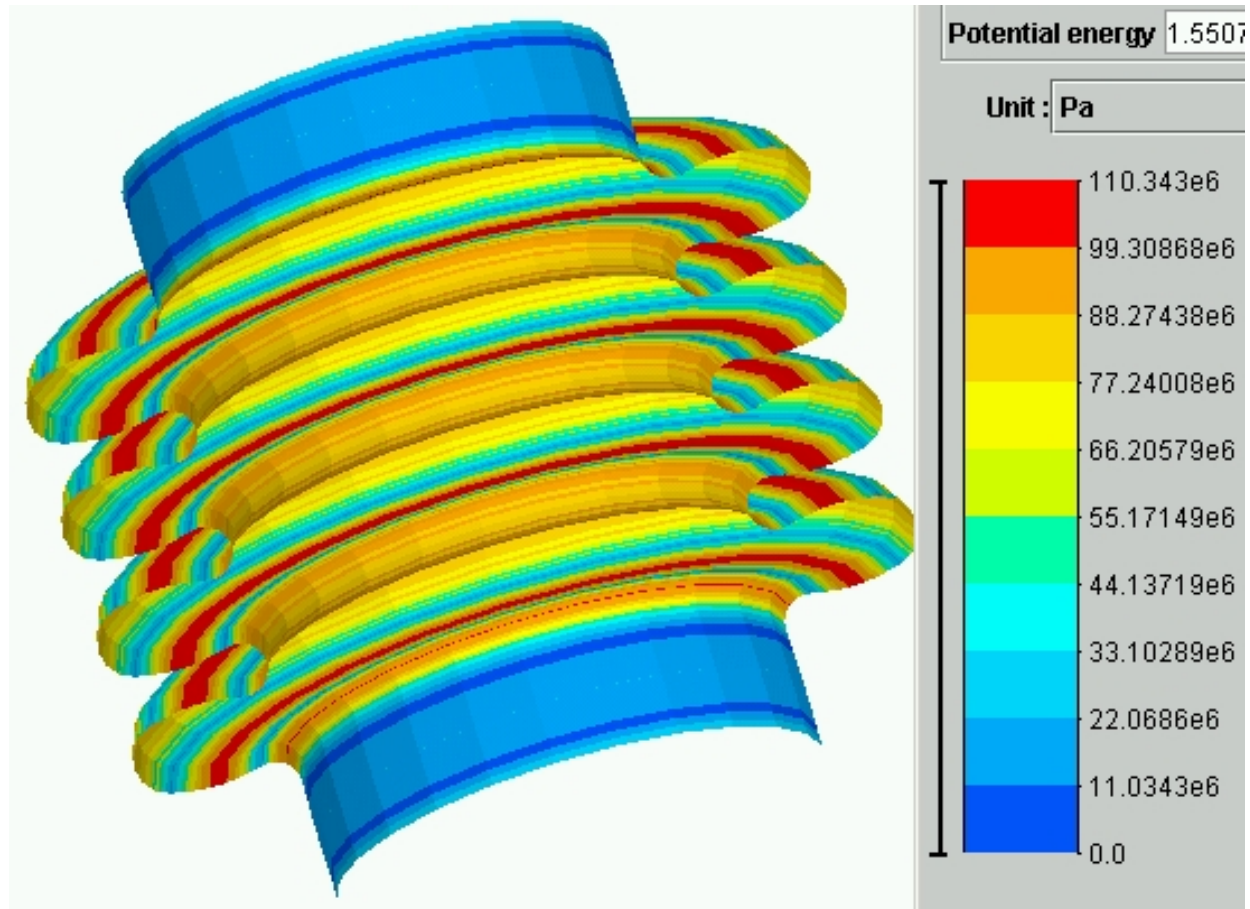
Amplitude des déplacements, charge n°4 ^{Coque-cha4.sfield}



coque-cha4.sfield

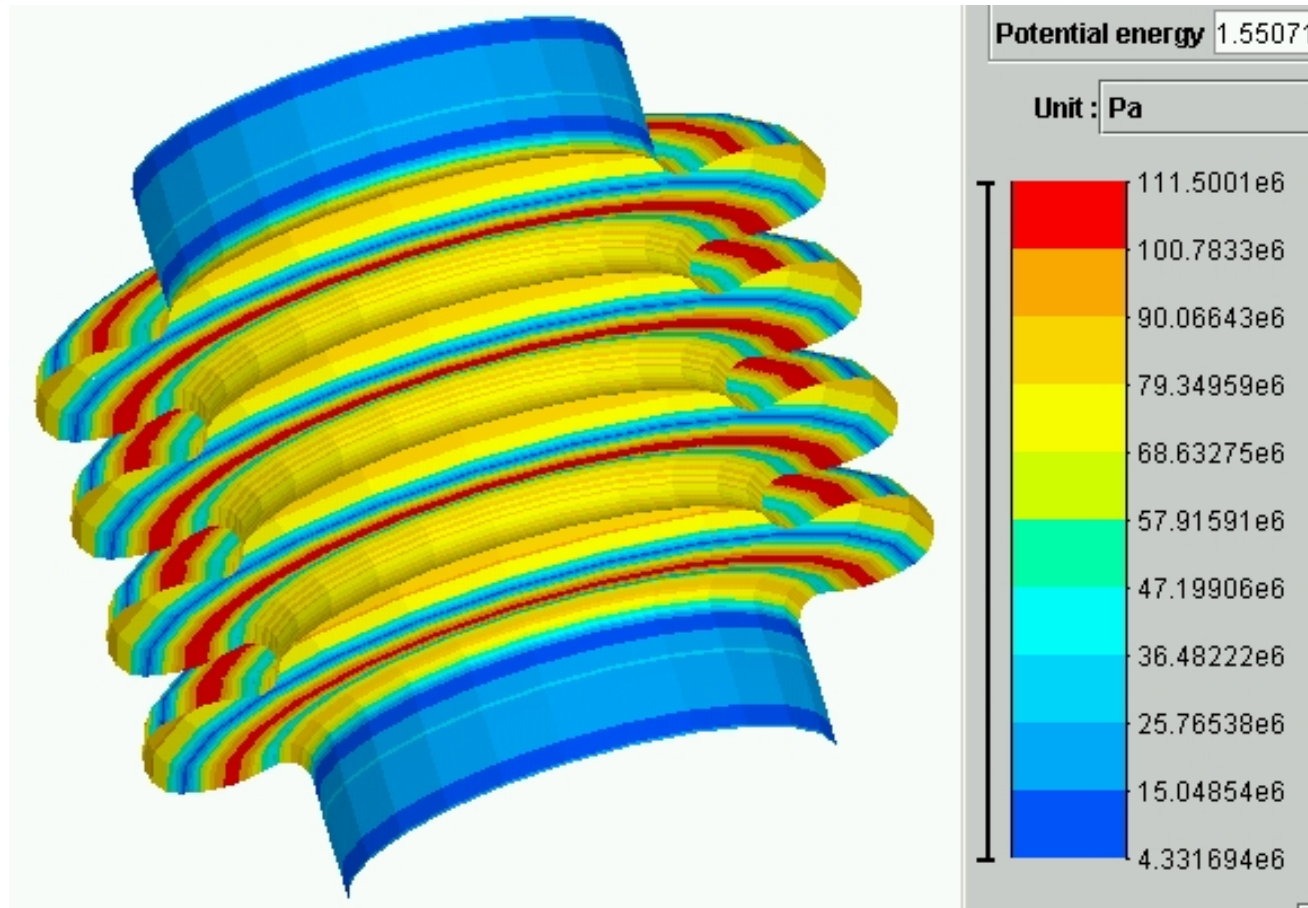
Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°4 peau inf.



Calcul de structures en bureau d'études

Contraintes équivalentes, charge n°4 peau sup.





Calcul de structures en bureau d'études

Les résultats sont admissibles pour les trois premières sollicitations (linéarité), mais pas pour la charge de pression.

Les déplacements sont trop importants même si les contraintes sont admissibles :
non linéarité géométrique



Calcul de structures en bureau d'études

Hypothèse : on divise par 20 la valeur de pression appliquée dans le soufflet, qui est alors de 0.1 bar.

Faut-il relancer les calculs ?

Les résultats ont-ils un sens ?



Calcul de structures en bureau d'études

On profite de la linéarité dont le solver s'est servi pour déterminer les résultats précédents : il suffit de diviser les résultats par 20.

Les déplacements sont de 7 mm environ, les contraintes maxi de 5 MPa.

Les résultats sont maintenant compatibles avec les hypothèses de linéarité.



Calcul de structures en bureau d'études

Hypothèse : on applique une pression
extérieure de 0.1 bar.

Faut-il relancer les calculs ?

Les résultats ont-ils un sens ?

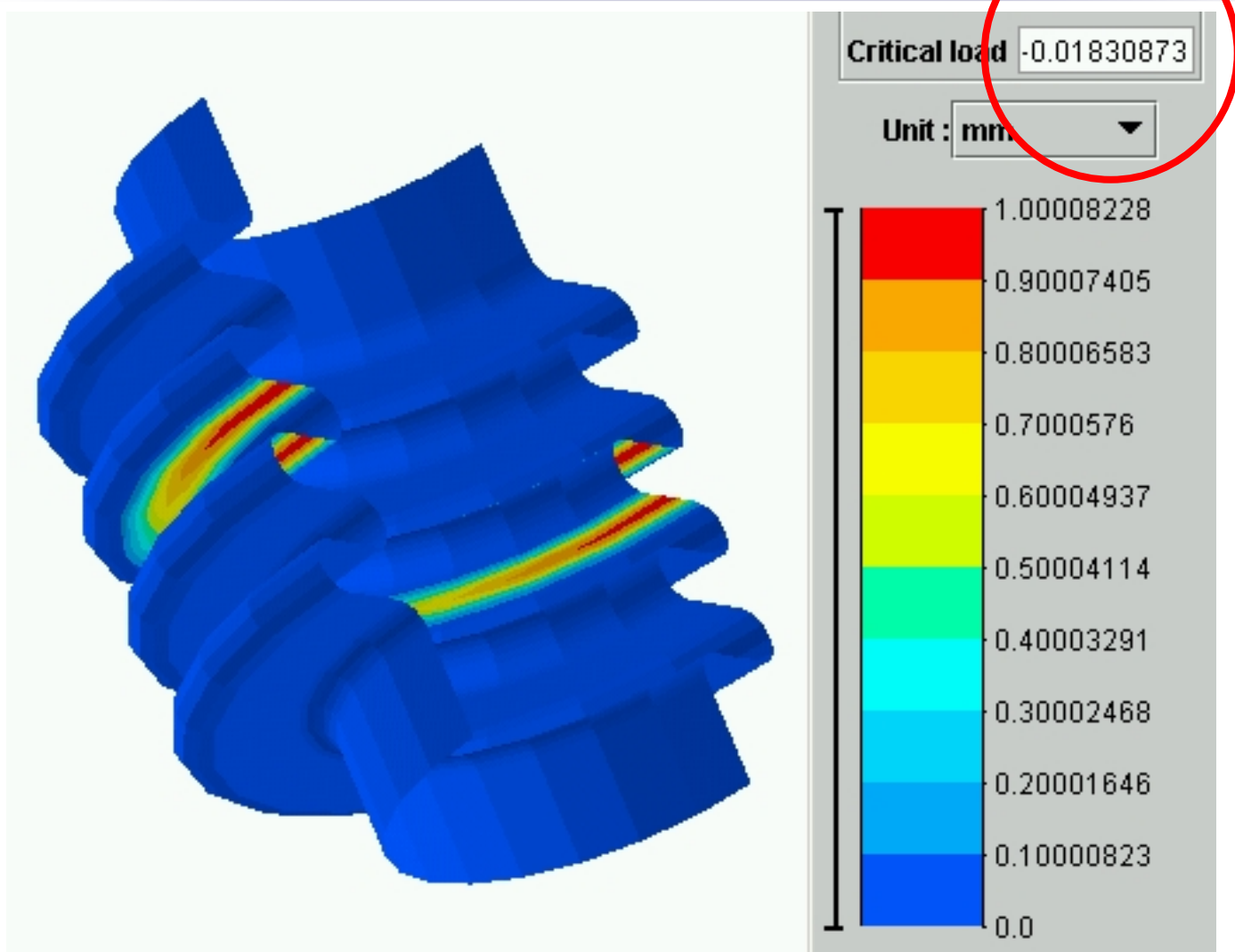


Calcul de structures en bureau d'études

Si on applique une pression extérieure de 0.1 bar, le soufflet étant bien mince, rien ne permet de garantir que les déplacements seront les opposés des précédents et les contraintes équivalentes identiques aux précédentes. Le soufflet peut flamber.

Si on calcule la première charge critique, elle est en effet de 0.04 bar soit deux fois et demie inférieure à la pression extérieure que l'on envisage d'appliquer. Les résultats du calcul n'auraient pas de signification physique.

Calcul de structures en bureau d'études



Calcul de structures en bureau d'études

AXI ?



Calcul de structures en bureau d'études

Pour deux « cas de charge », on peut simplifier la modélisation pour calculer la réponse de la structure.

Ce sont les cas n°1 et n°4.

Tout est symétrique par rapport à un même axe de révolution :

- géométrie,
- matériau,
- conditions aux limites,
- chargements.



Calcul de structures en bureau d'études

Donc la réponse présente la même symétrie par rapport à cet axe.

- Déplacement radial ou axial
- Contrainte radiale, circonférentielle, axial ou en cisaillement dans le plan (r,z)
- Volume : u_r et u_z
- Coque : u_r u_z et θ



Calcul de structures en bureau d'études

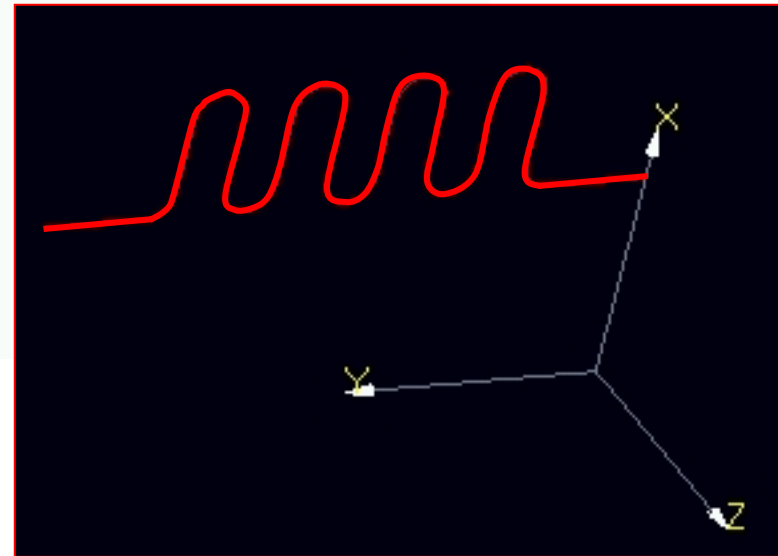
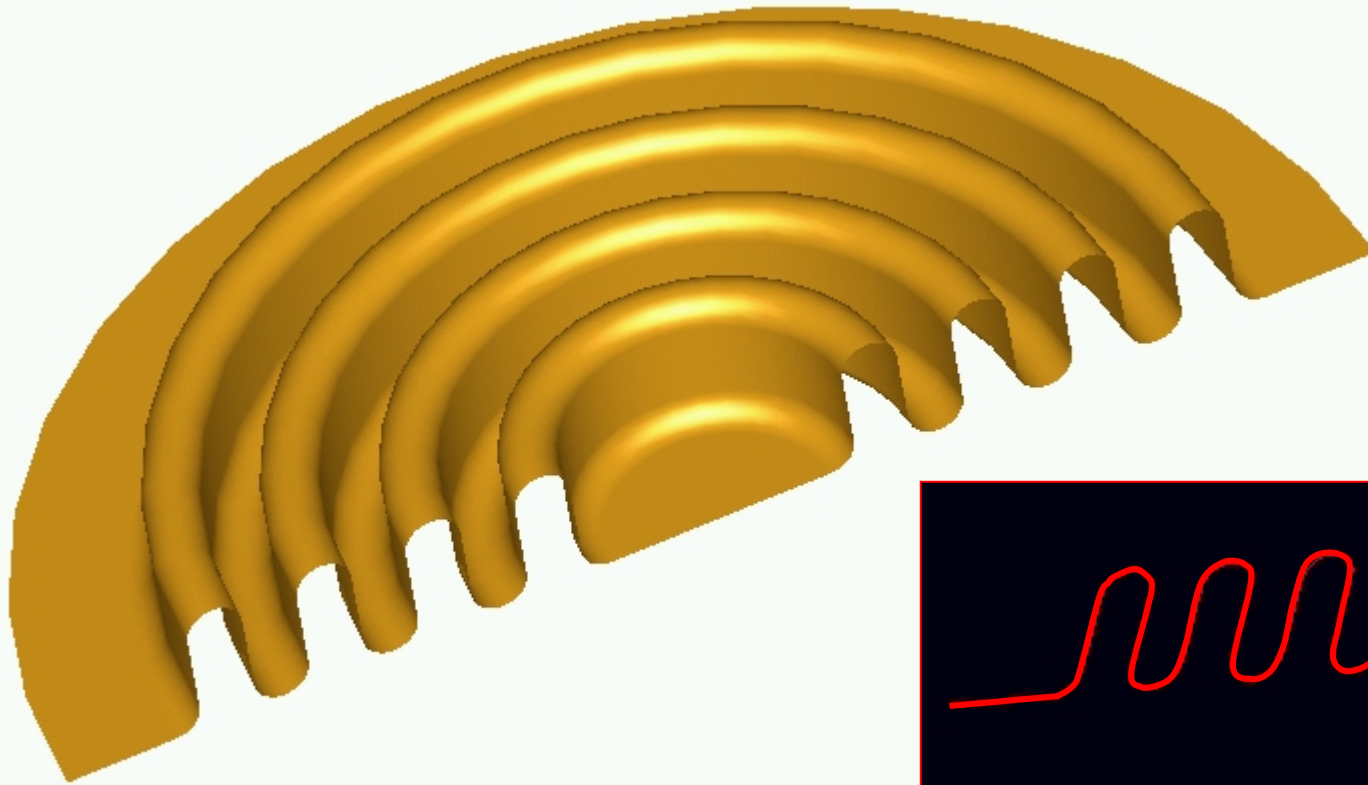
Modélisation axisymétrique

Le modèle mis en place et calculé est l'intersection de la structure avec un demi-plan méridien, cad contenant l'axe de révolution.

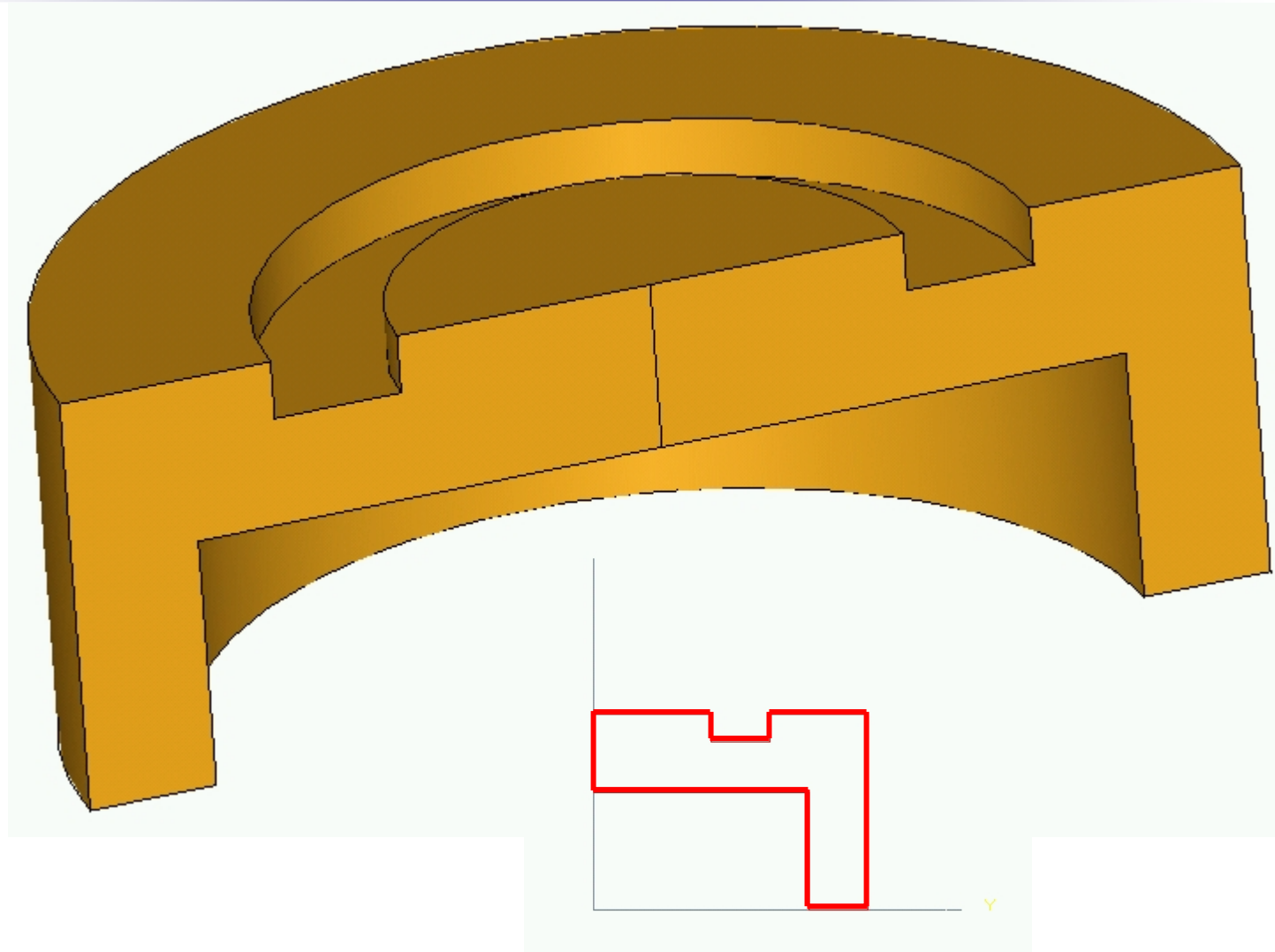
Épais en 3D : maillage surfacique en axisym.

Mince en 3D : maillage linéique en axisym.

Calcul de structures en bureau d'études



Calcul de structures en bureau d'études



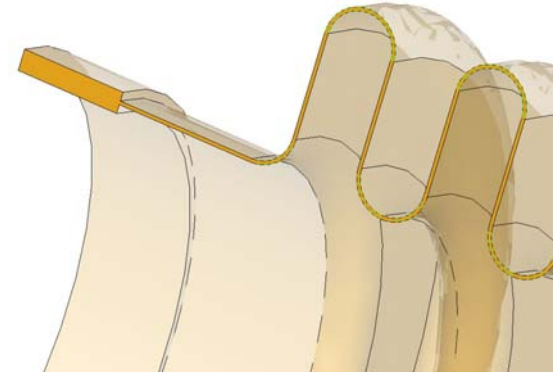
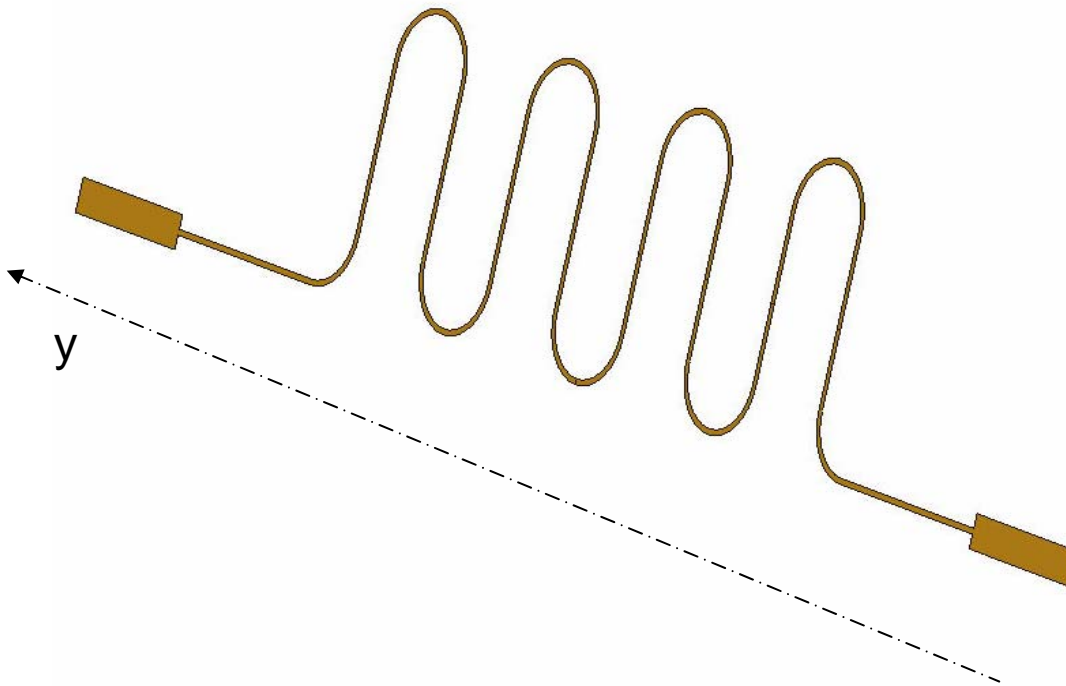


Calcul de structures en bureau d'études

- Réduction très importante de la taille informatique du modèle
- Pas de problème d'élancement des volumes du fait de la révolution
- Aucune hypothèse particulière : on obtient exactement les mêmes résultats qu'en 3D

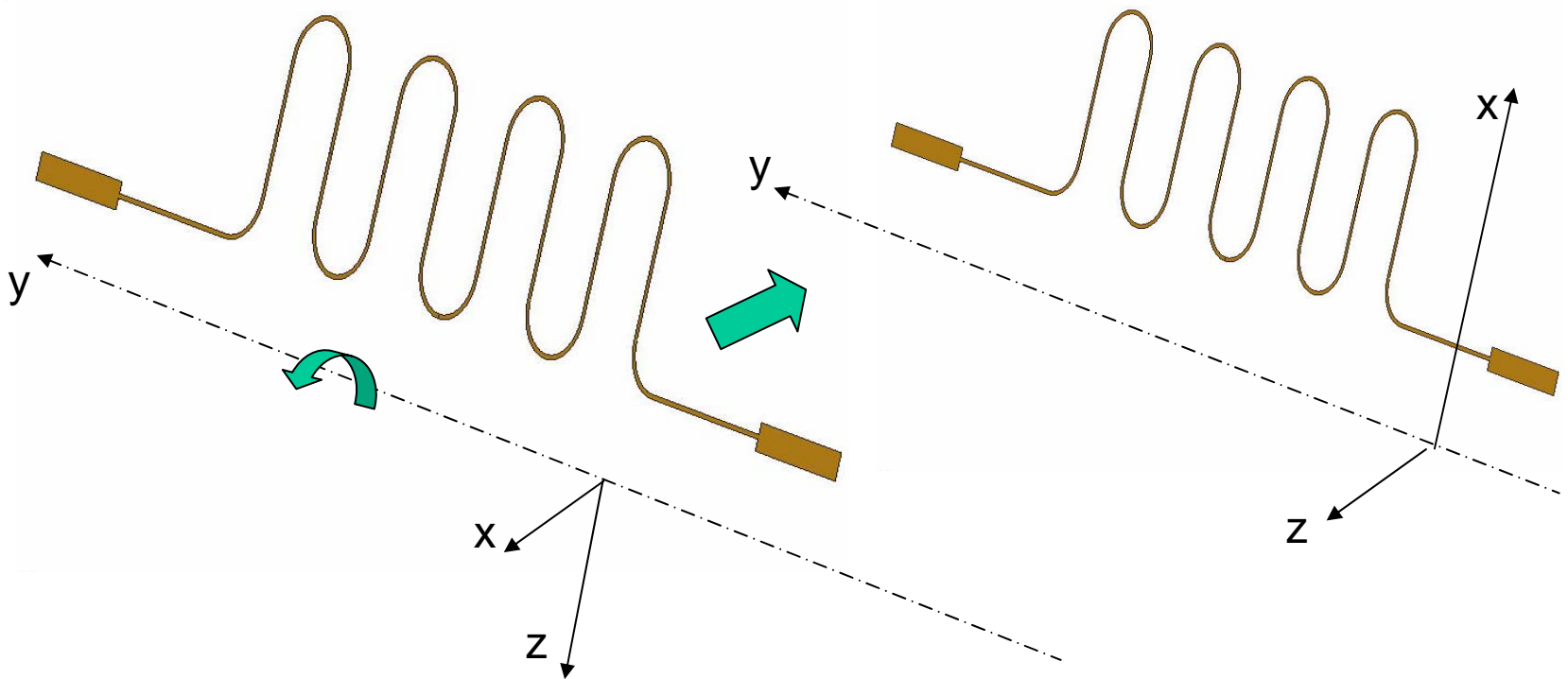
Modèle géométrique

- Attention à l'orientation / axes et / plans
- Modèle géométrique 2D
- Surface à mailler



Modèle géométrique

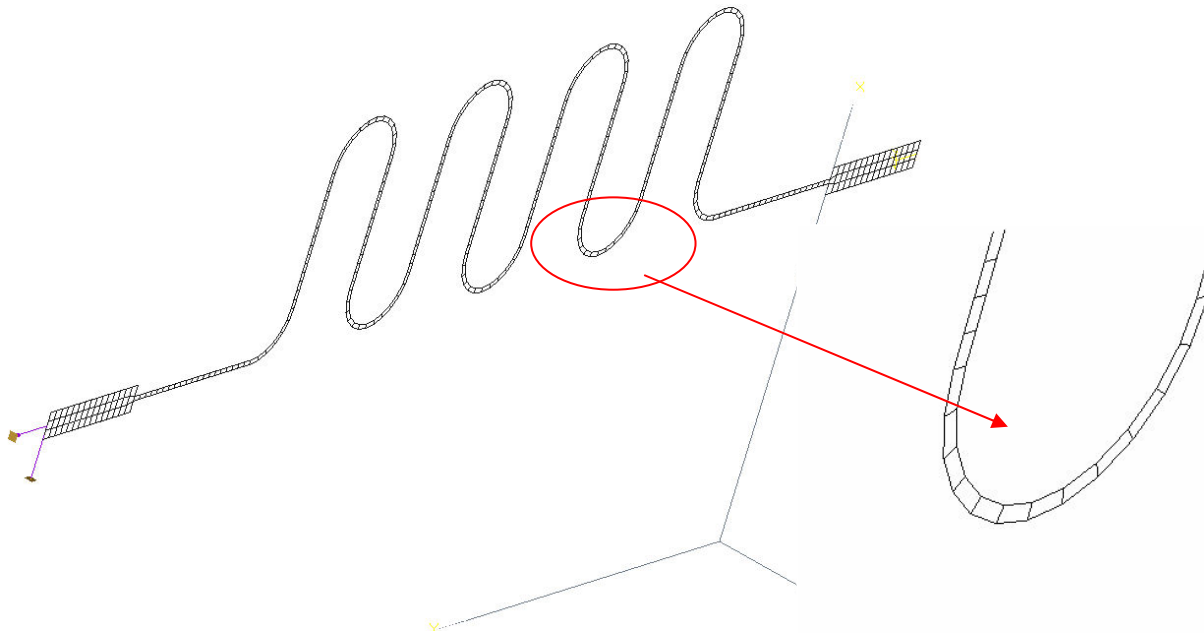
- Transformation géométrique (1 rotation)
- On ramène dans le plan (x,y) suivant $x > 0$



Calcul de structures en bureau d'études

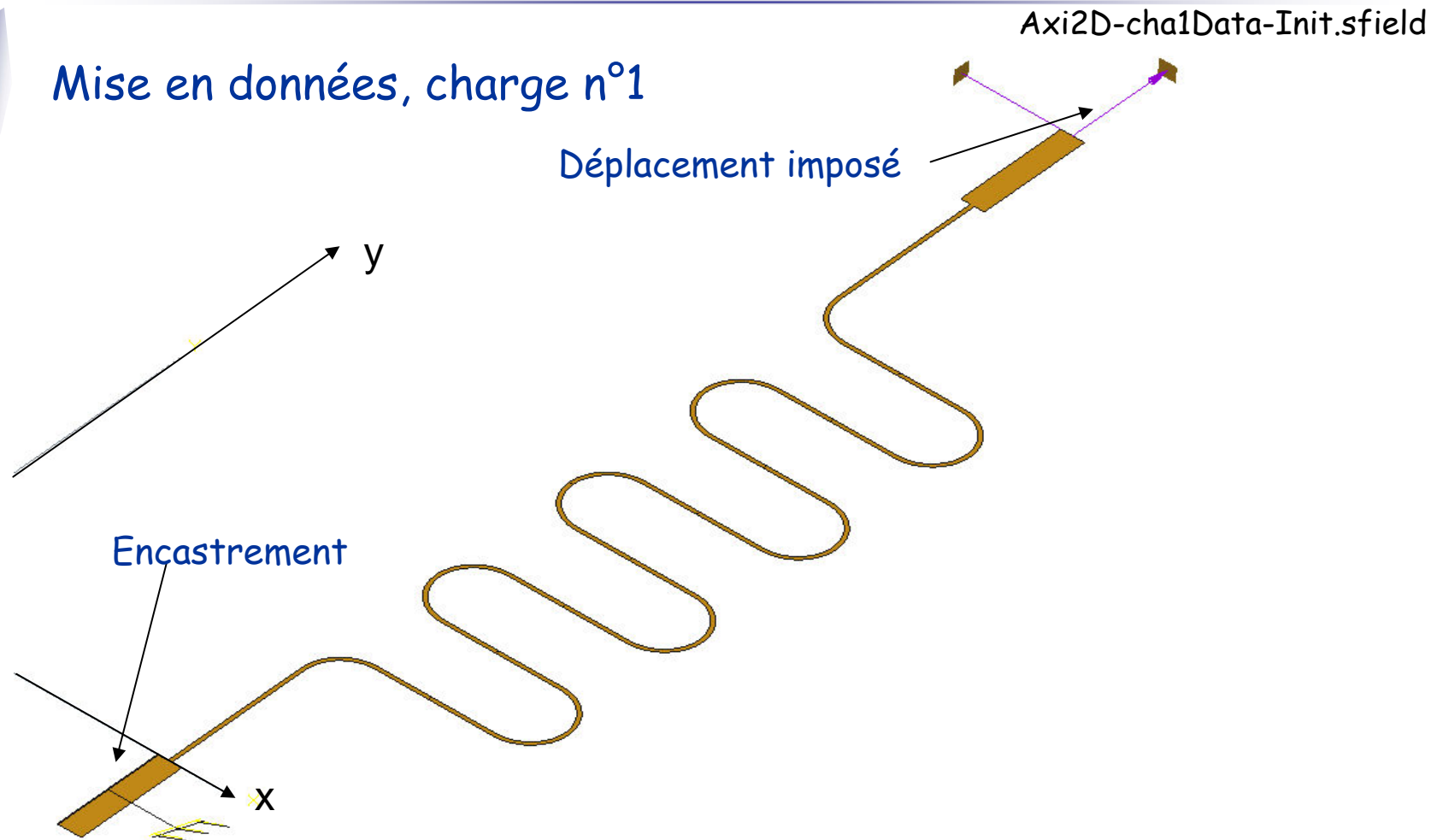
Axi2D-Mesh-Init.sfield

- 2 cas de charge à étudier:
 - Allongement / à y (1mm)
 - Pression interne à 2 bars
- Maillage volumique axisymétrique régulier (1 mm)
- Degrés de liberté : 6151



Calcul de structures en bureau d'études

Mise en données, charge n°1



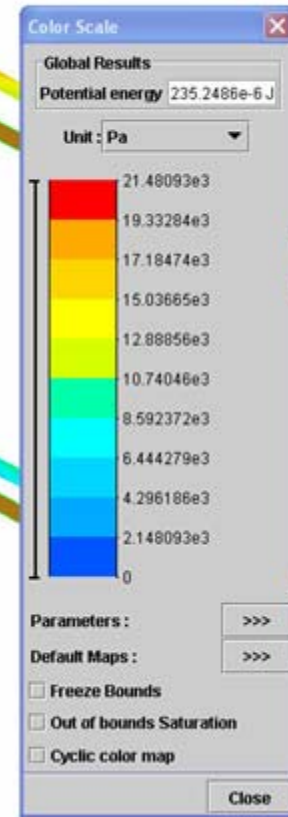
Calcul de structures en bureau d'études

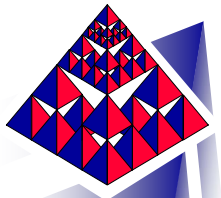
Contraintes équivalentes, charge n°1

Axi2D-cha1-Init.sfield

Déplacement sous charge

Modèle Géométrique

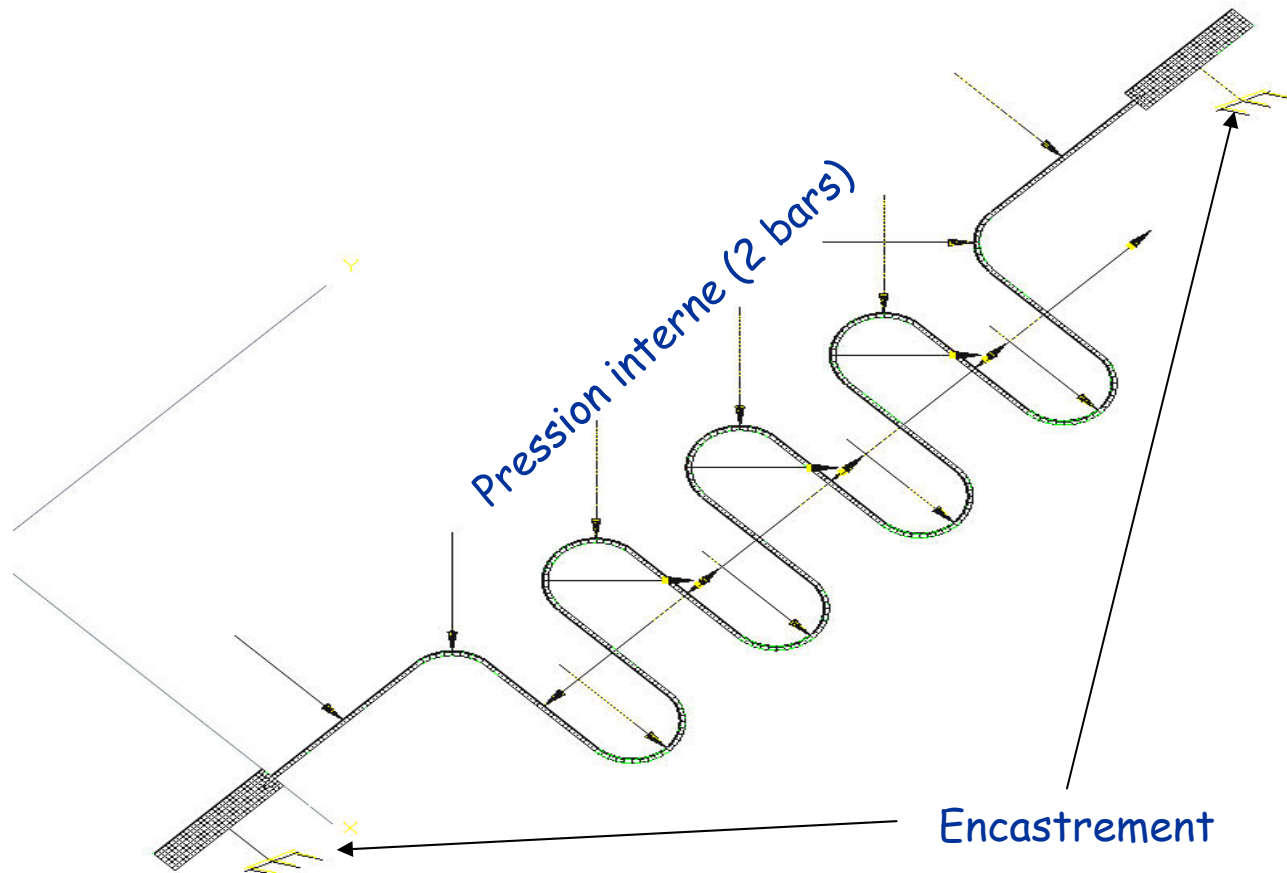




Calcul de structures en bureau d'études

Axi2D-cha4Data-init.sfield

Mise en données, charge n°4

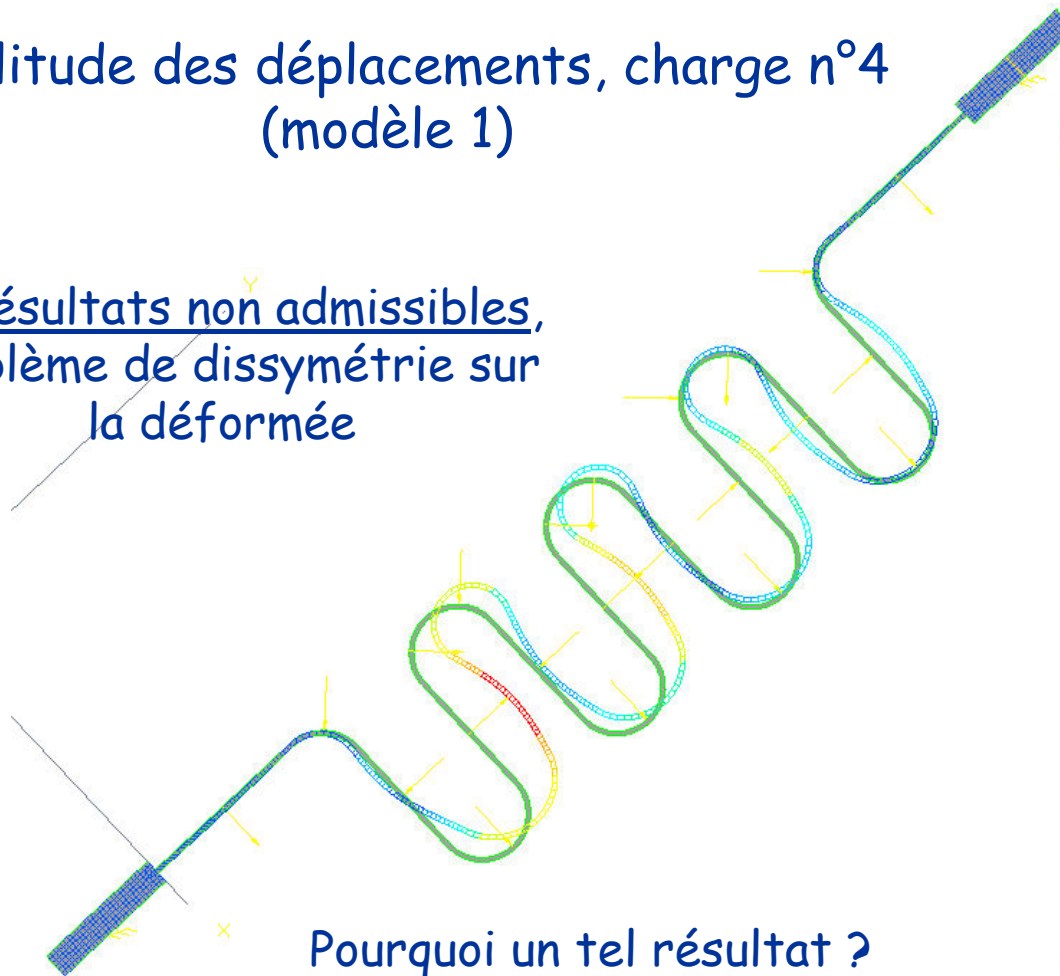


Calcul de structures en bureau d'études

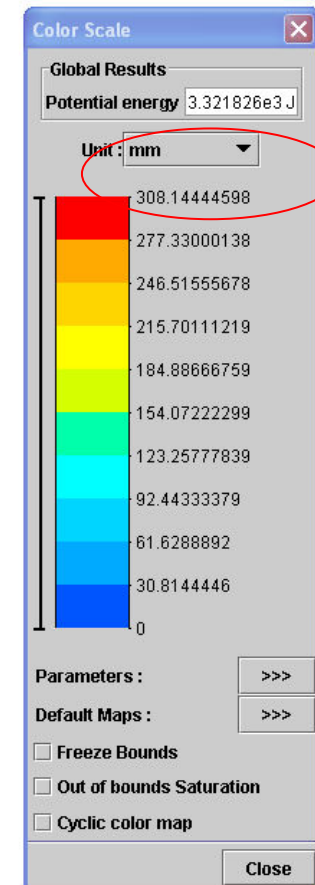
Amplitude des déplacements, charge n°4
(modèle 1)

Axi2D-cha4-Init.sfield

⇒ Résultats non admissibles,
problème de dissymétrie sur
la déformée



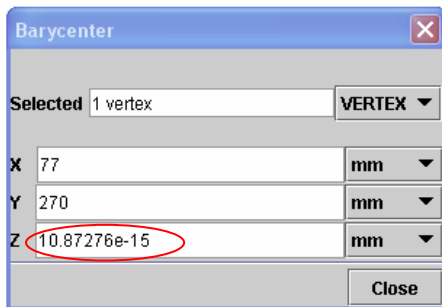
Pourquoi un tel résultat ?



Calcul de structures en bureau d'études

Après vérification de qq coordonnées de points du modèle géométrique, il s'avère qu'il y a un « léger » décalage sur z (on est pas tout à fait dans le plan xy). Ceci venant de la création de la surface en CAO.

Coordonnées du pt



Selected	VERTEX
1 vertex	
X	77 mm
Y	270 mm
Z	10.87276e-15 mm



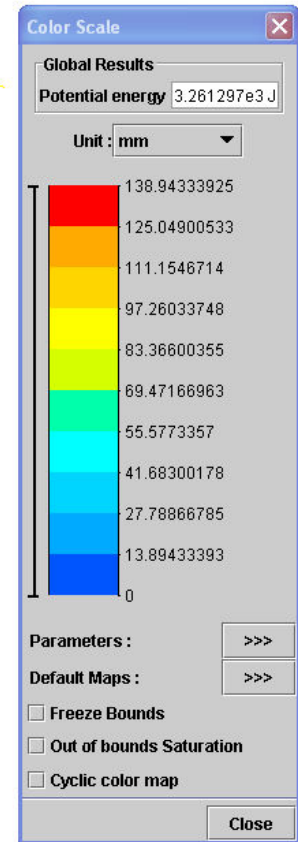
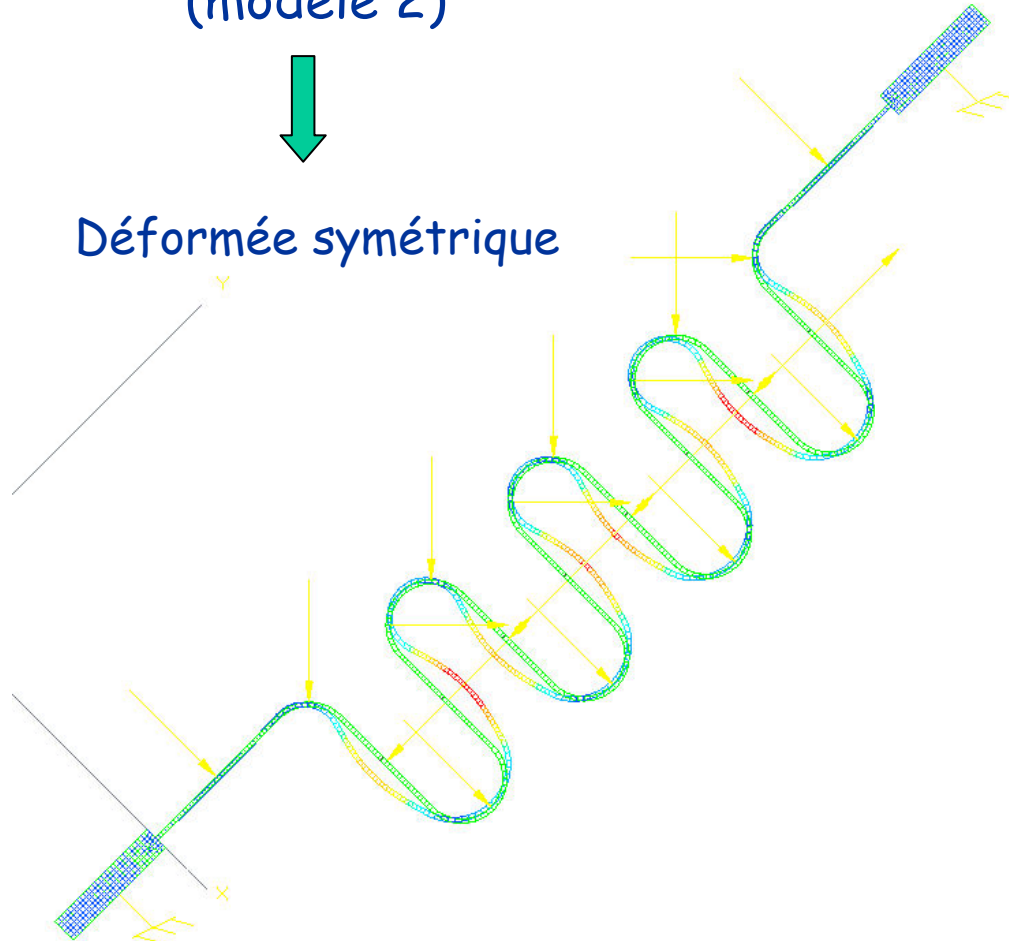
Solution: on utilise les outils SamcefField à disposition pour positionner la section correctement (ex: Modeler/Project/Wires).

Calcul de structures en bureau d'études

Amplitude des déplacements, charge n°4
(modèle 2)

Axi2D-cha4.sfield

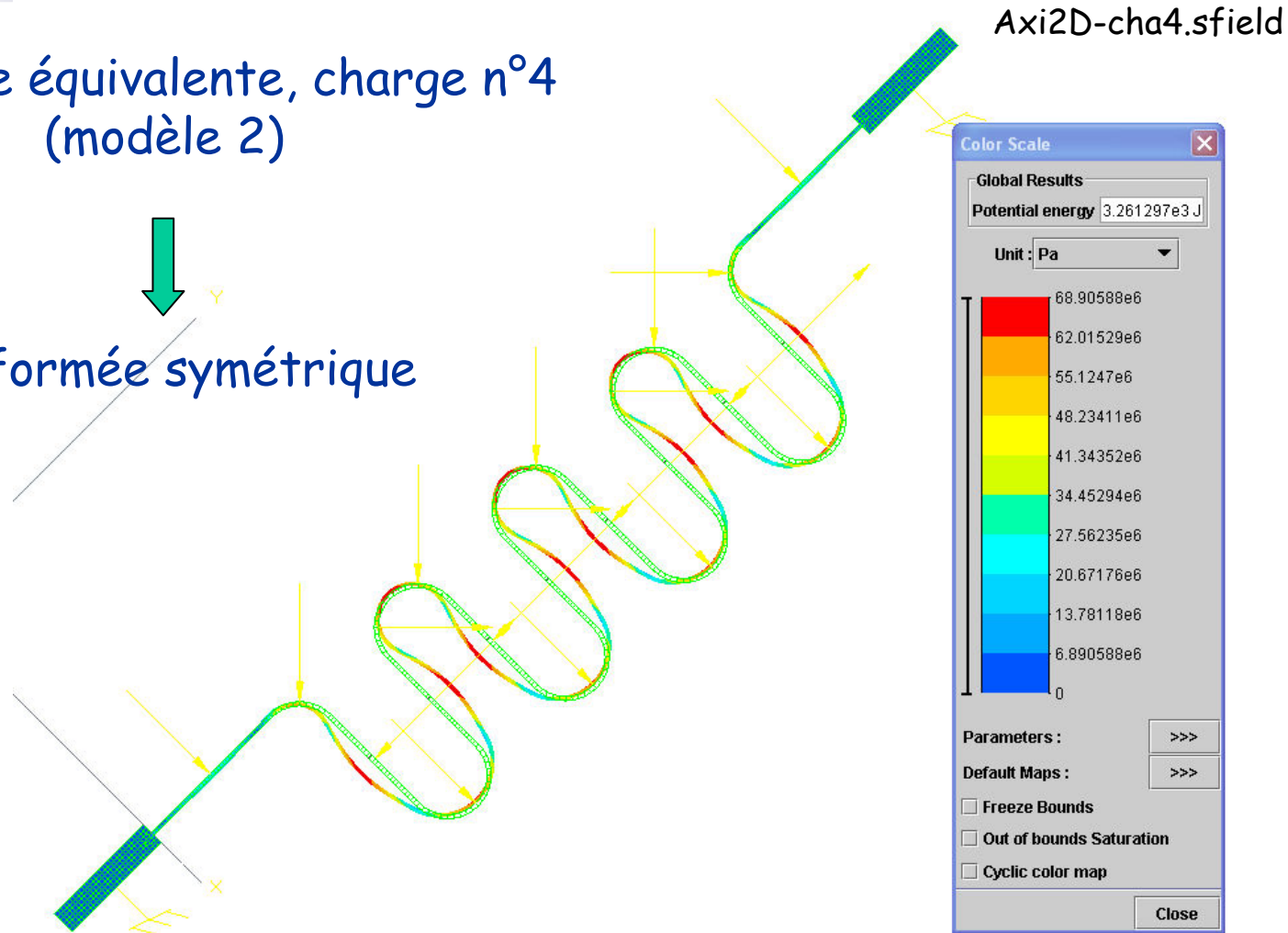
Déformée symétrique



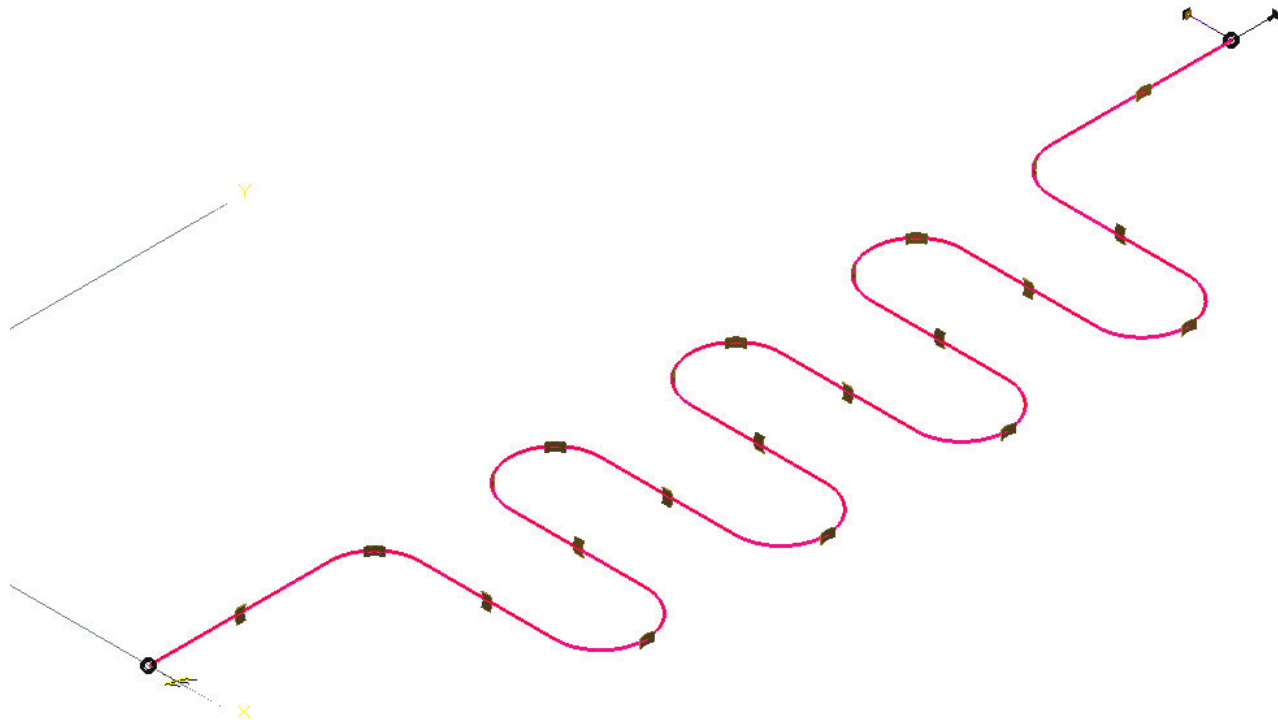
Calcul de structures en bureau d'études

Contrainte équivalente, charge n°4
(modèle 2)

↓
Déformée symétrique



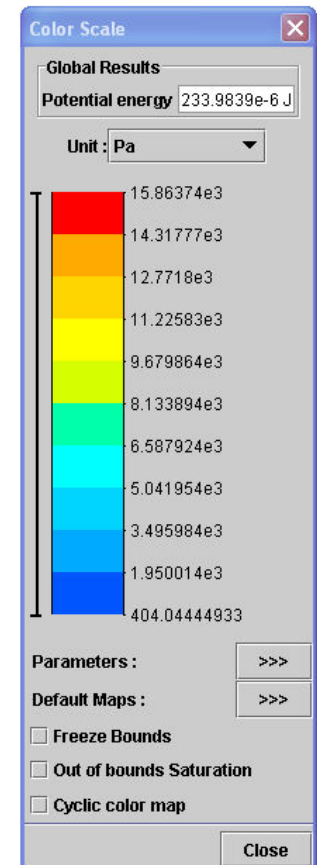
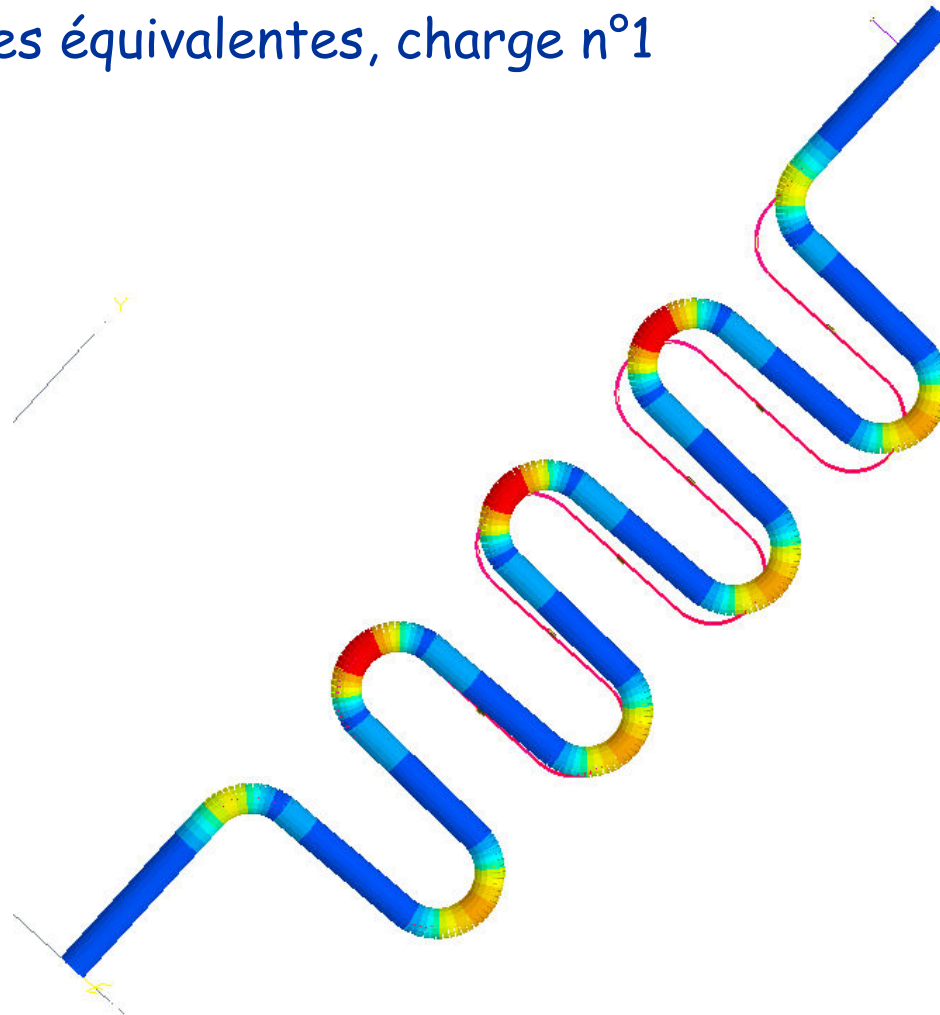
Modèle géométrique 1D



Calcul de structures en bureau d'études

Axi1D-cha1.sfield

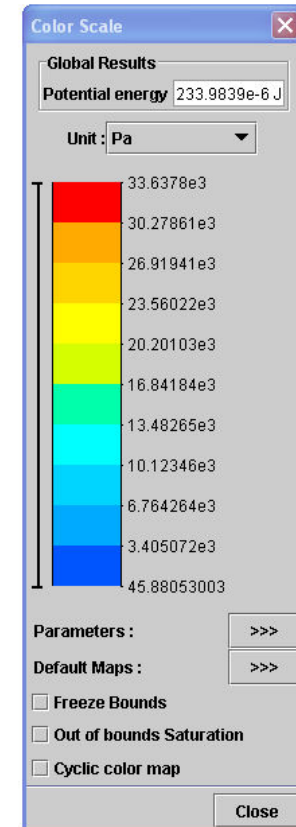
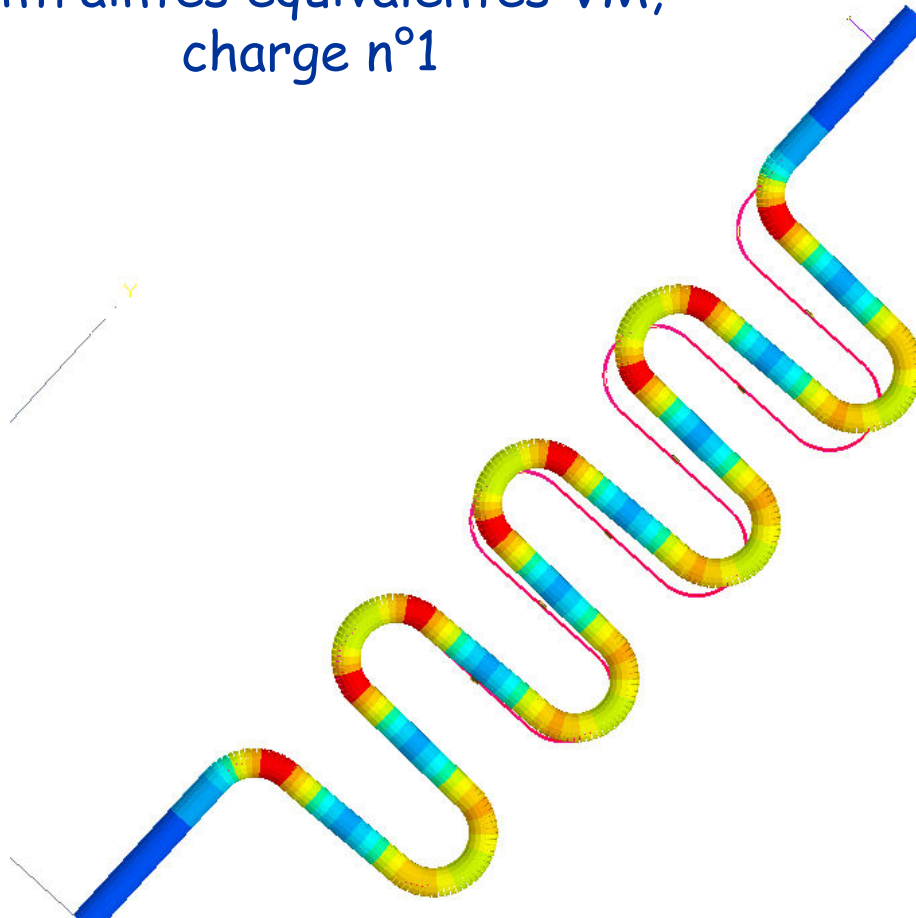
Contraintes équivalentes, charge n°1



Calcul de structures en bureau d'études

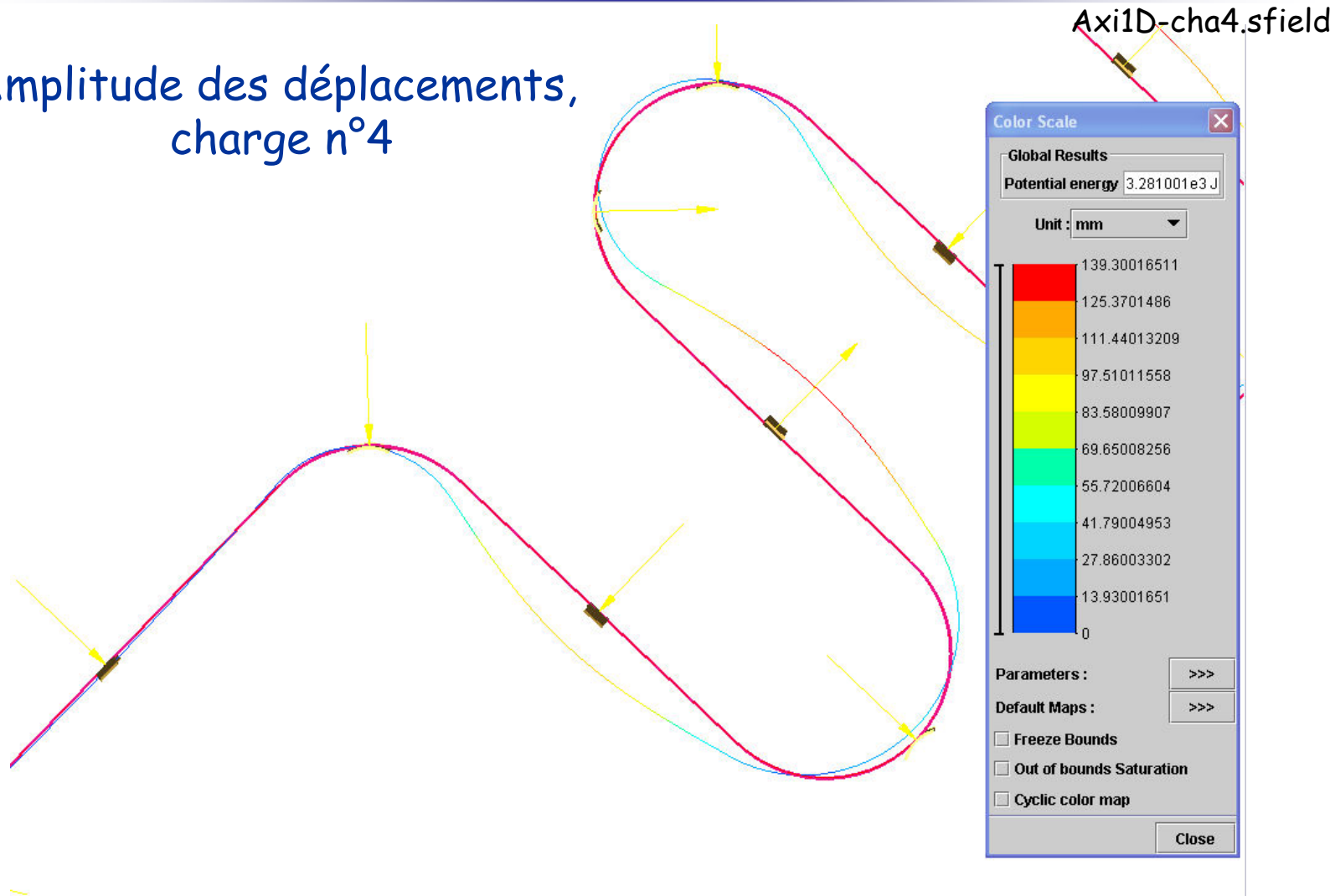
Axi1D-cha1.sfield

Contraintes équivalentes VM,
charge n°1



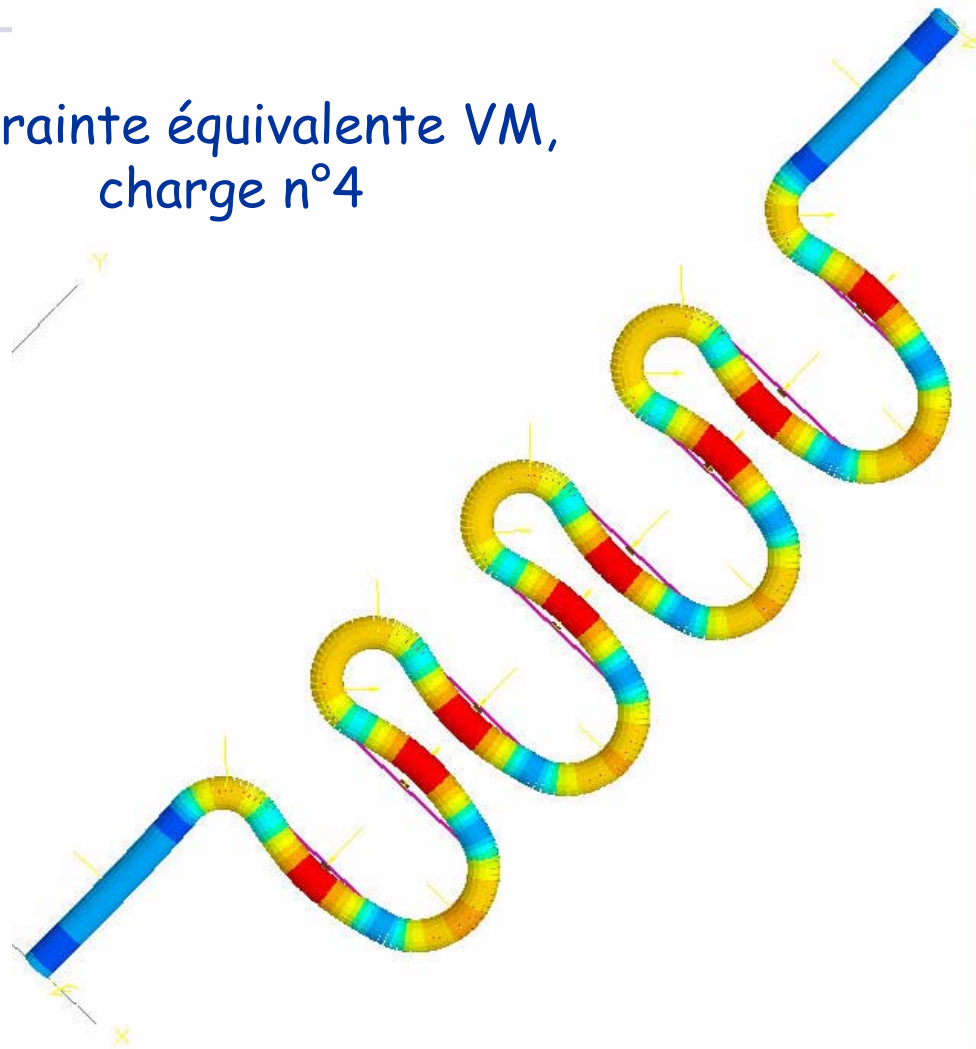
Calcul de structures en bureau d'études

Amplitude des déplacements,
charge n°4

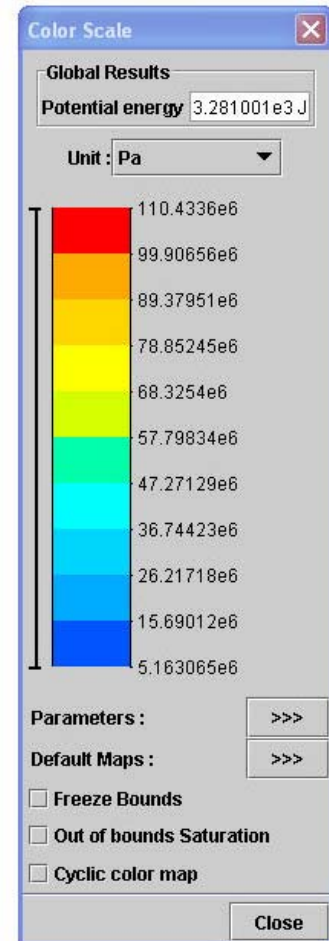


Calcul de structures en bureau d'études

Contrainte équivalente VM,
charge n°4



Axi1D-cha4.sfield



Questions subsidiaires

Au lieu de 250 MPa, le module d'élasticité du matériau est de 500 MPa.

Que peut-on dire pour les déplacements ?

Que peut-on dire pour les contraintes ?