

Calcul de structures sous CATIA V5 – Partie II

Quality Analysis à mettre à jour



Pascal MORENTON

pascal.morenton@ecp.fr

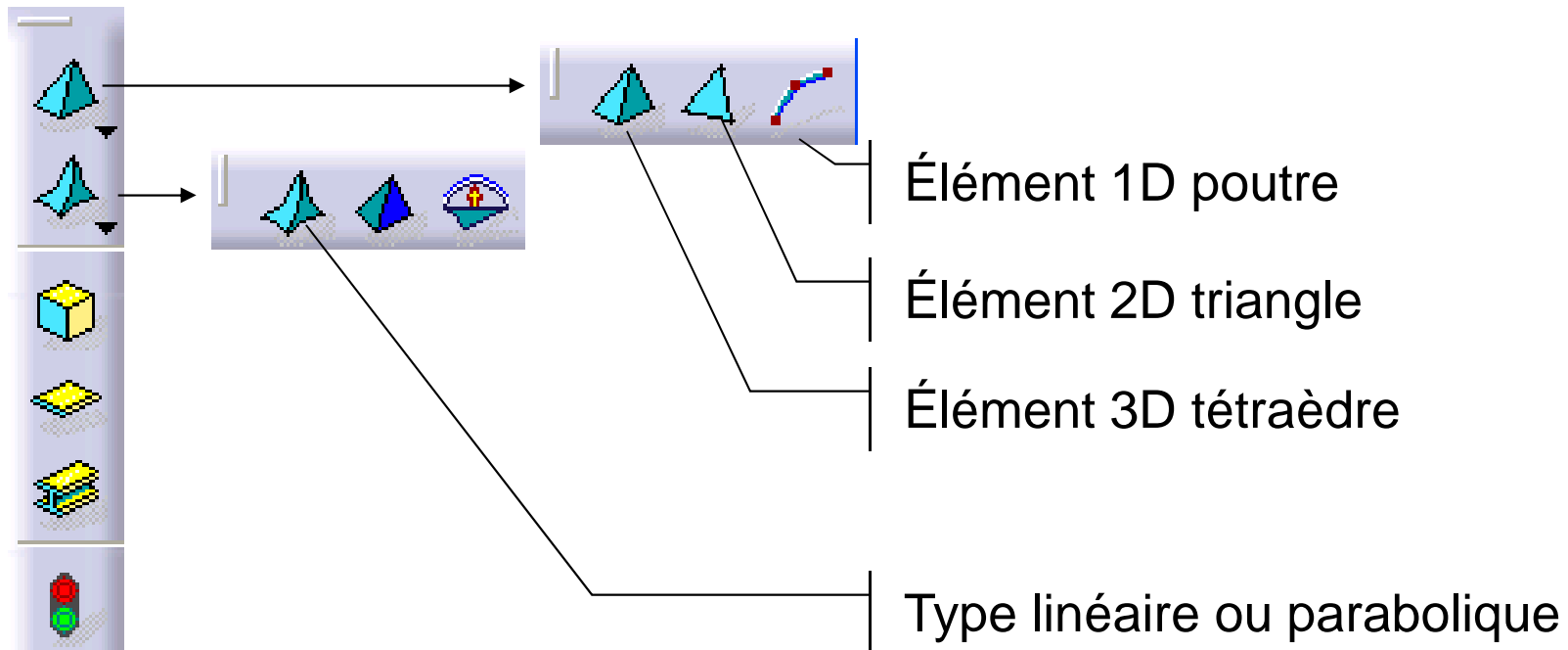
<http://cao.etudes.ecp.fr>

Merci à Pascal Laurent (Laboratoire MAS de l'ECP) pour ses remarques ou suggestions formulées lors de l'élaboration de ce document

- 1 Tailles et types d 'éléments**
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

1 - Tailles et types des éléments

Paramètres du maillage automatique



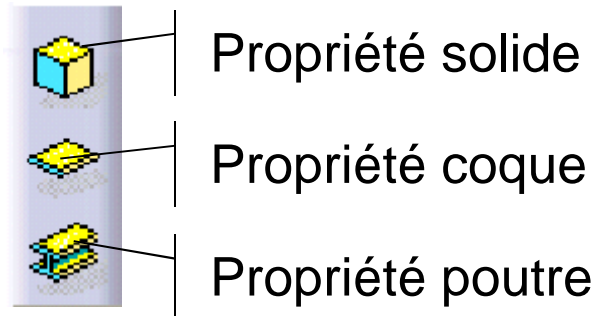
1 - Tailles et types des éléments

Paramètres du mailleur automatique



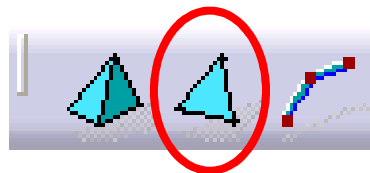
1 - Tailles et types des éléments

Définitions des propriétés



Par défaut, un modèle GSA est doté de paramètres de maillage 3D et d'une propriété solide.

La déclaration d'un maillage 2D ou 1D reste possible :



puis



Calculs de Structure sous CATIA V5 - II

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)**
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

2 - Analyse modale d'une plaque

Exemple : étude modale d'une plaque mince encastrée sur un côté

F1 : 008.4

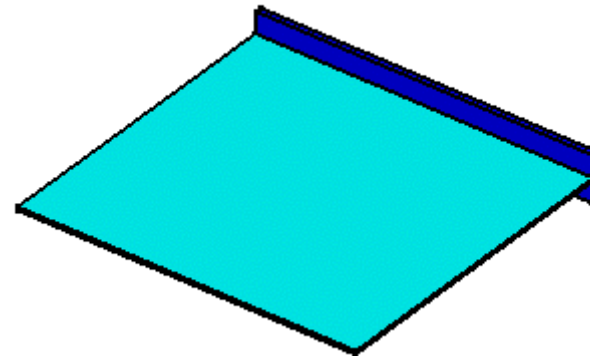
F2 : 020.5

F3 : 051.8

F4 : 066.3

F5 : 075.5

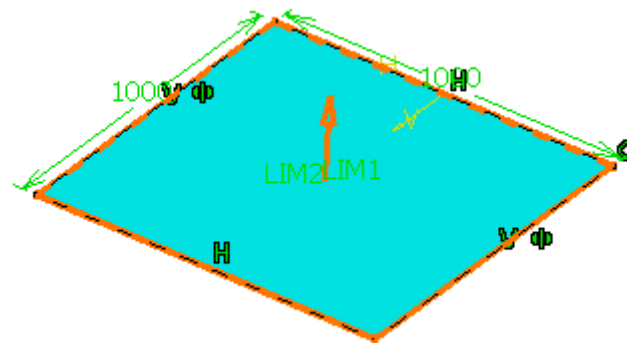
F6 : 133.9



Comparaison d'une solution de référence (R.D. Blevins, Formula for natural frequency and mode shape, Krieger, 1993) avec les résultats de différents modèles

2 - Analyse modale d'une plaque

Modèle 3D défini en « Part Design »

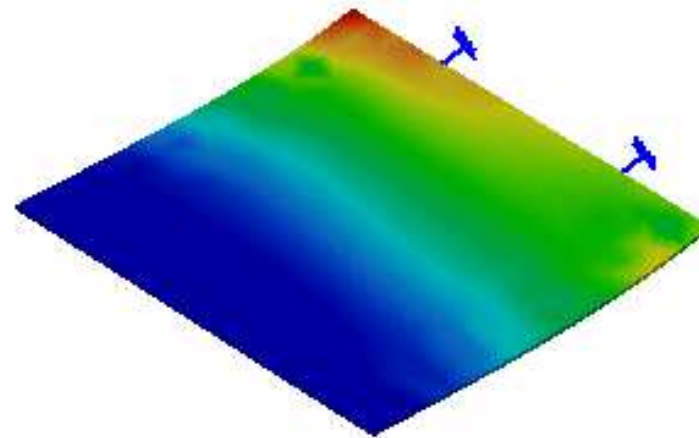


Extrusion d'un contour carré

2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage en 3D - 62 mm - Linéaire

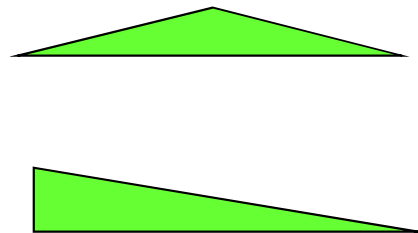
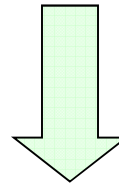
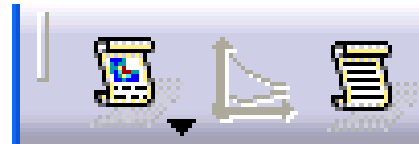
F1 : 054.6
F2 : 164.2
F3 : 342.8
F4 : 451.7
F5 : 531.8
F6 : 574.9



Erreur moyenne sur les 6 premiers modes propres : **558 %**

2 - Analyse modale d'une plaque

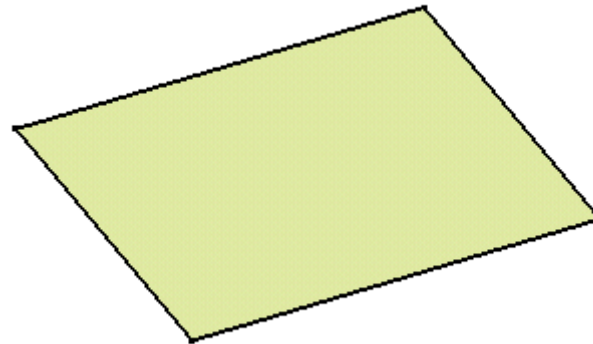
Critères d'appréciation des éléments



Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Skewness	0 (0.00%)	1498 (97.27%)	42 (2.73%)	0.999	0.852
Stretch	5 (0.32%)	1535 (99.68%)	0 (0.00%)	0.141	0.240
Longueur Min.	1540 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	10.000	10.739
Longueur Max.	1540 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	97.772	86.493
Facteur de forme	0 (0.00%)	1540 (100.00%)	0 (0.00%)	0.140	0.202
Rapport de longueur	28 (1.82%)	1512 (98.18%)	0 (0.00%)	9.758	8.220

2 - Analyse modale d'une plaque

Modèle 2D défini en « Wireframe & Surf. Design »

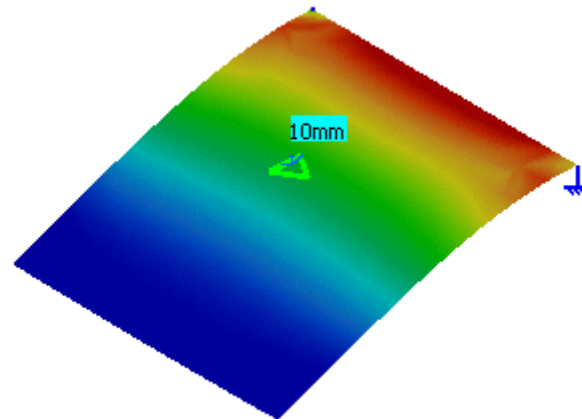


Remplissage d'un contour carré

2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage en 2D - 100 mm - Linéaire

F1 : 008.4
F2 : 020.5
F3 : 051.8
F4 : 066.3
F5 : 075.5
F6 : 133.9



Erreur moyenne sur les 6 premiers modes propres : **0.84 %**

2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage en 2D - 100 mm - Linéaire

Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Skewness	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.230	0.230
Distorsion	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	15.000	15.000
Stretch	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.717	0.717
Longueur Min.	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	100.000	100.000
Longueur Max.	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	141.421	141.421
Facteur de forme	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.866	0.866
Rapport de longueur	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1.414	1.414

2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage en 2D - 100 mm - Parabolique

F1 : 008.4

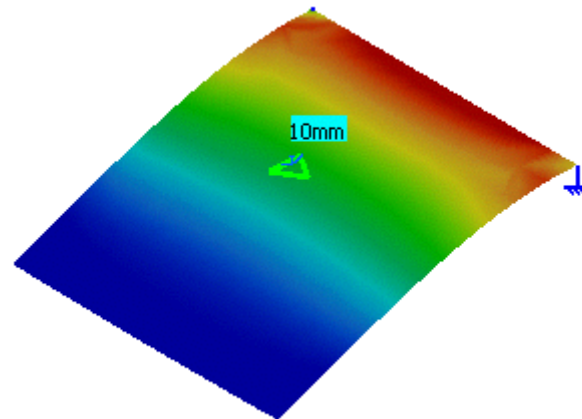
F2 : 020.4

F3 : 051.2

F4 : 066.4

F5 : 074.3

F6 : 130.7



Erreur moyenne sur les 6 premiers modes propres : **0.63 %**

2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage en 2D - 100 mm - Parabolique

Critère	Bon	Médiocre	Mauvais	Plus mauvais	Moyenne
Skewness	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.230	0.230
Distorsion	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	15.000	15.000
Stretch	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.717	0.717
Longueur Min.	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	100.000	100.000
Longueur Max.	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	141.421	141.421
Facteur de forme	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	0.866	0.866
Rapport de longueur	200 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	1.414	1.414

2 - Analyse modale d'une plaque

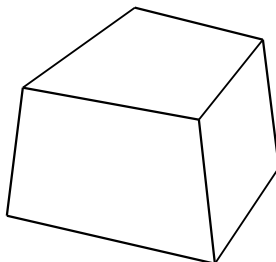
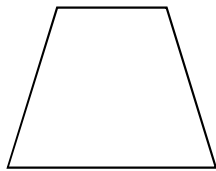
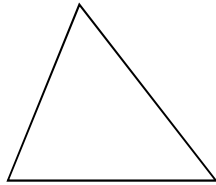
Synthèse

- 2D 100 P 0.63%
- 2D 100 L 0.84%
- 3D 065 L 558 %

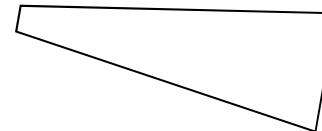
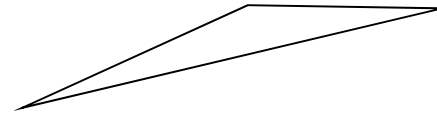
Une certaine prudence sur les résultats de certains modèles semble être nécessaire ...

2 - Analyse modale d'une plaque

« Bons » éléments



« Mauvais » éléments



2 - Analyse modale d'une plaque

Maillage d'une paroi mince



Pour une interpolation linéaire,
pas de variation du champ des contraintes dans un élément
(pour une interpolation quadratique, variation linéaire de la contrainte)

Pour une paroi mince, il est préférable d'avoir plusieurs
« couches » d'éléments pour rendre compte de façon
satisfaisante d'éventuelles variations de contraintes

2 - Choix d'un modèle 2D/3D

Conclusions :

Le modèle CAO 3D exact n'est pas nécessairement adapté à une étude par éléments finis

Nécessité de connaître les limites d'une modélisation

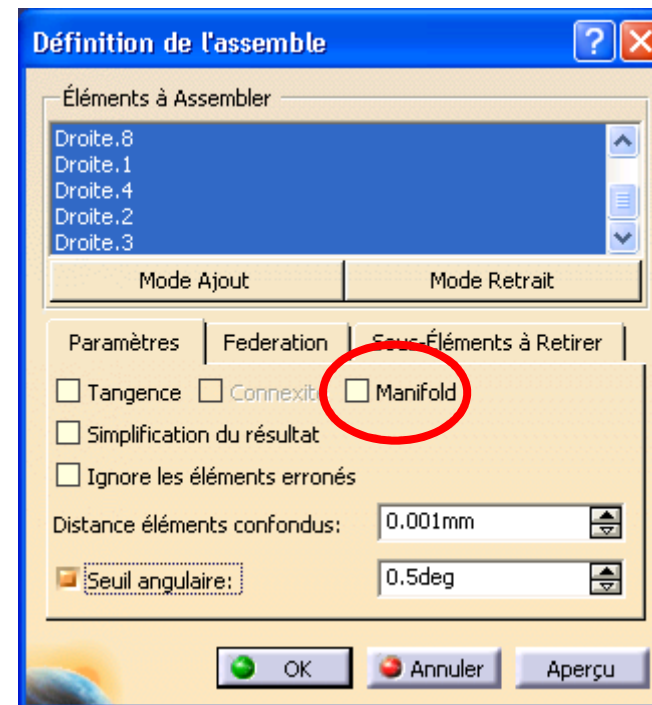
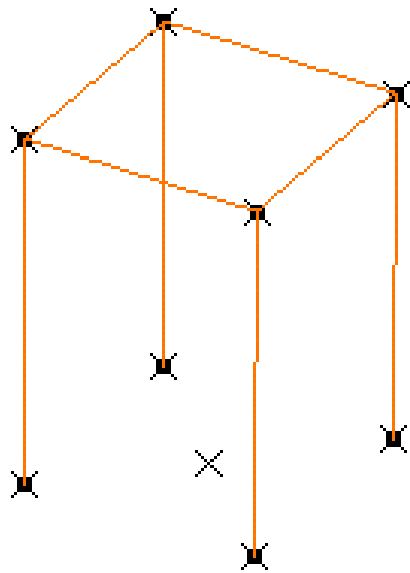
Tous les solides à parois minces sont mal adaptés à une étude 3D par éléments finis.

Modèle hybride 3D/2D pour l'instant impossible ou très difficile à étudier

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)**
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

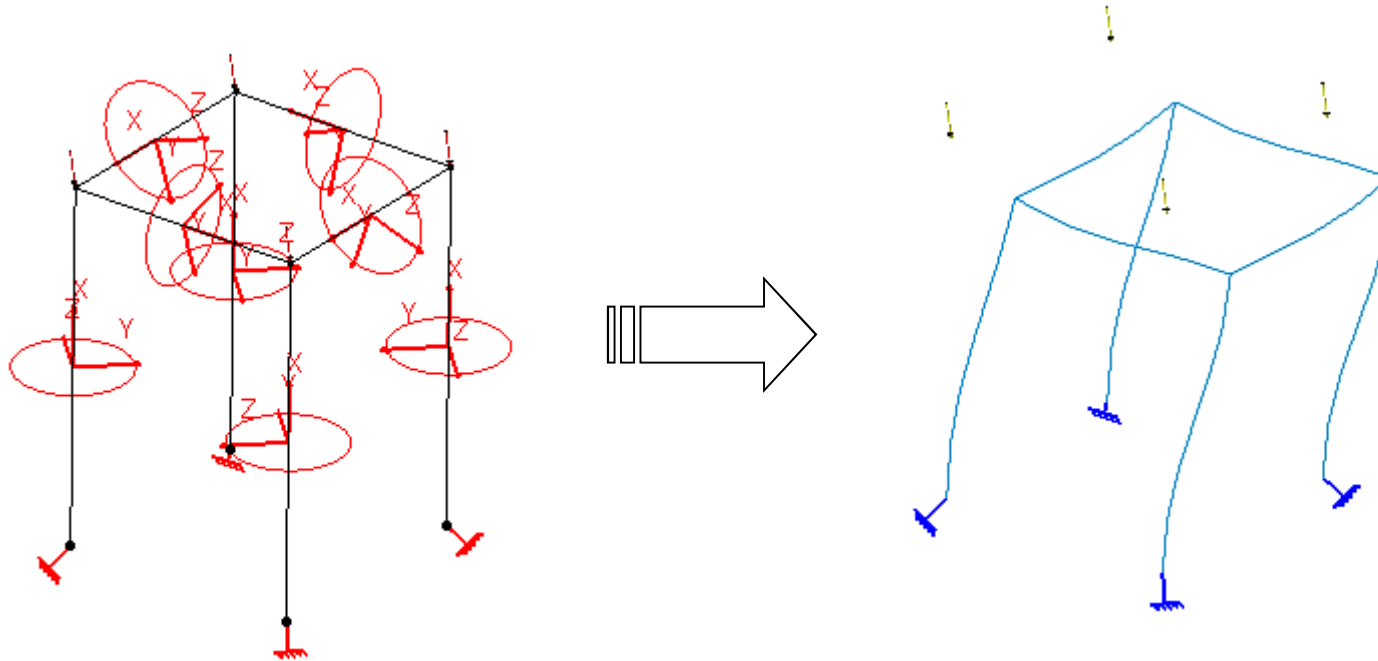
3 - Analyse d'un treillis (éléments 1D)

Création d'un modèle filaire dans l'atelier GSD



3 - Analyse d'un treillis (éléments 1D)

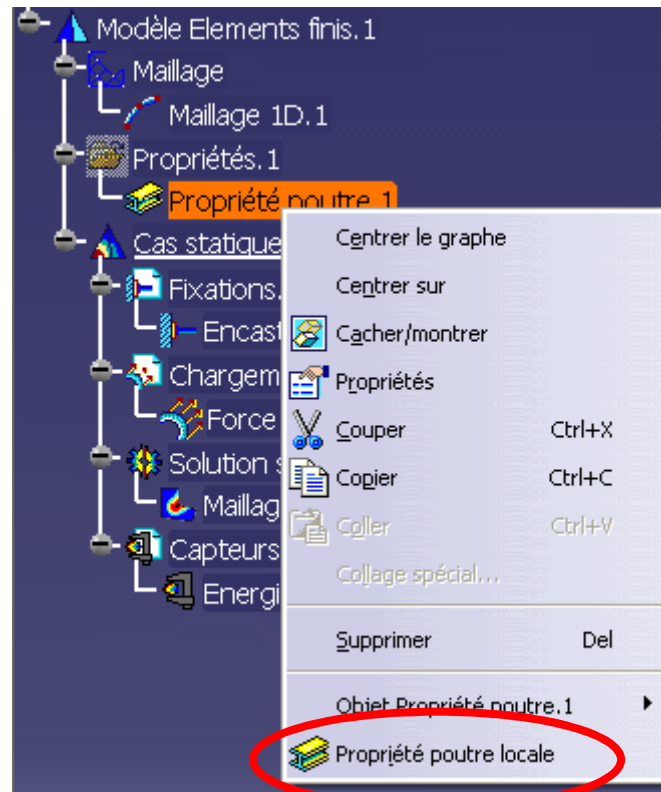
Création du modèle FEM dans l'atelier GSA



Le champ des contraintes n'est pas visualisable pour les éléments 1D, uniquement le champ des déplacements

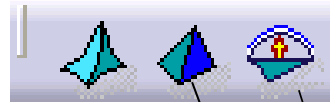
3 - Analyse d'un treillis (éléments 1D)

Propriété poutre locale



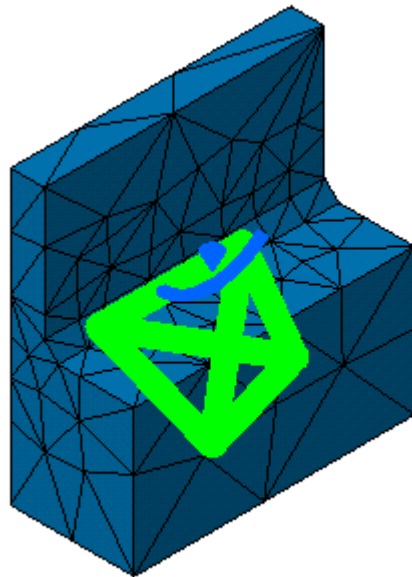
- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage**
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

4 - Boite d'adaptivité et taille locale du maillage

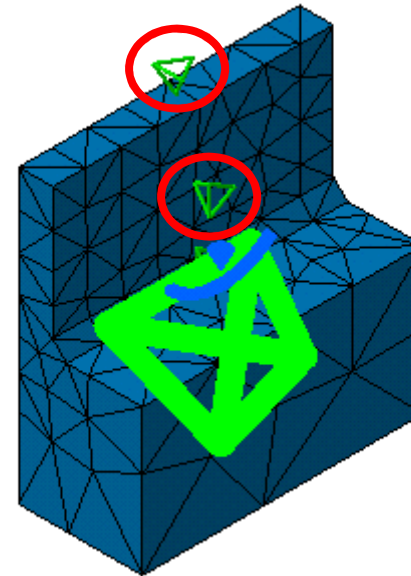


Flèche locale de maillage

Taille locale de maillage

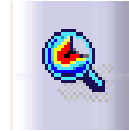


sans tailles locales

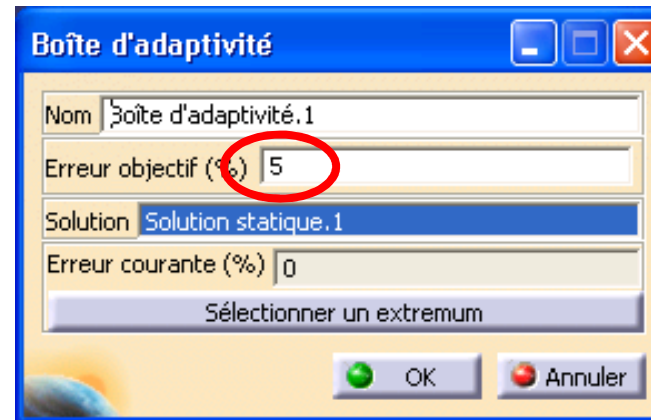
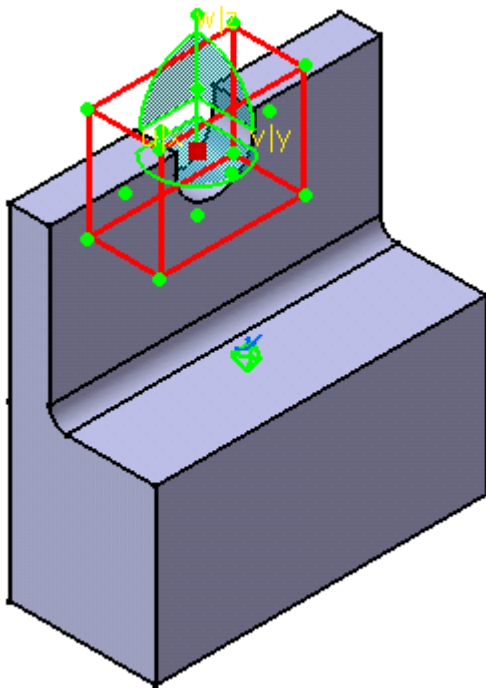


avec tailles locales

4 - Boîte d'adaptivité et taille locale du maillage

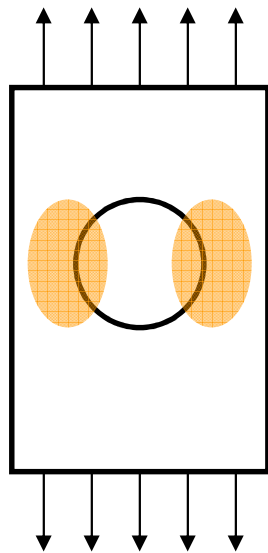


Définir un critère d'erreur pour fixer la taille du maillage sur un domaine délimité par une boîte

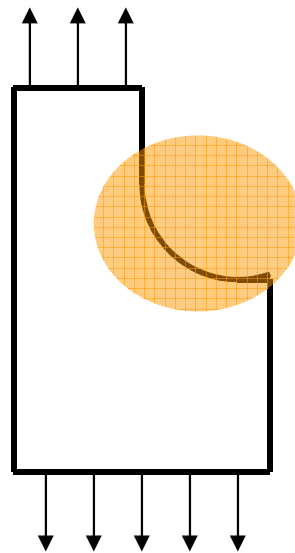


4 - Boite d'adaptivité et taille locale du maillage

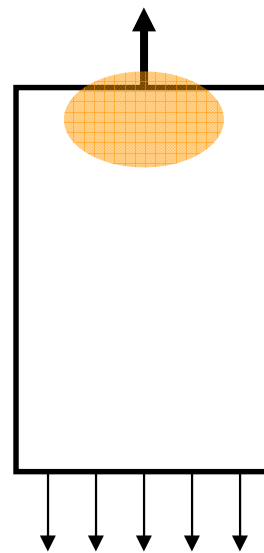
Exemples de géométries à raffiner



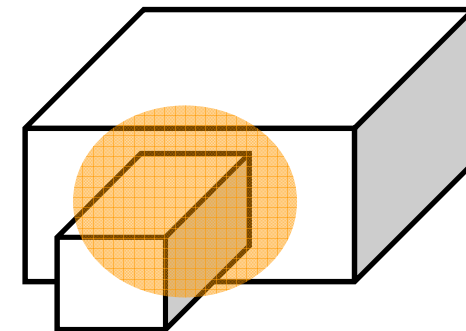
poches



congés



*charges
concentrées*

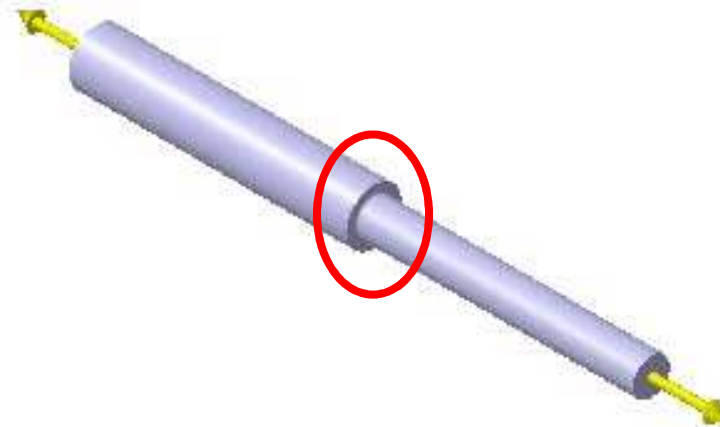


*brusques variations
de géométrie*

Calculs de Structure sous CATIA V5 - II

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé**
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

5 - Analyse d'un arbre épaulé



$$F = 20\,000\text{ N}$$

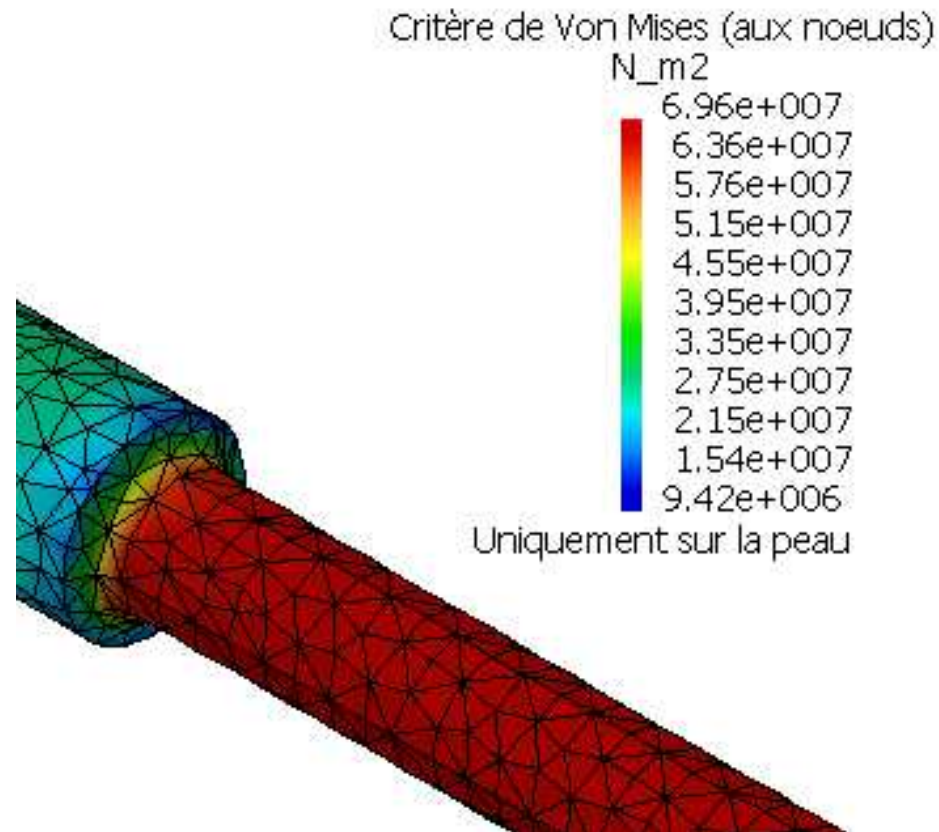
La contrainte maximum dépend de la valeur du congé entre les deux rayons (phénomène de concentration de contraintes) :

$$R = 4,0\text{ mm} \quad 098\text{ Mpa}$$

$$R = 1,2\text{ mm} \quad 140\text{ MPa}$$

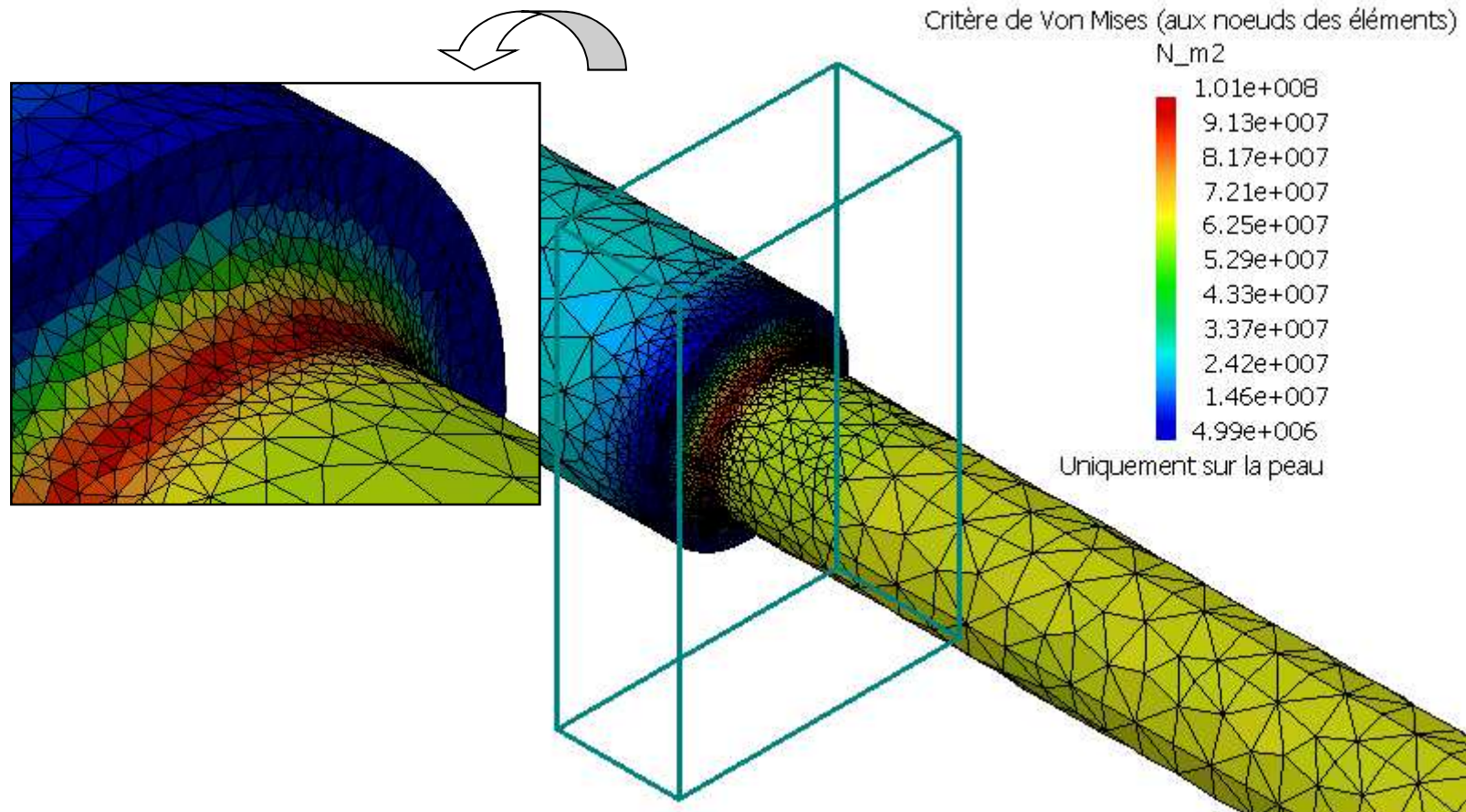
5 - Analyse d'un arbre épaulé

Maillage en 3D - 5 mm - Linéaire

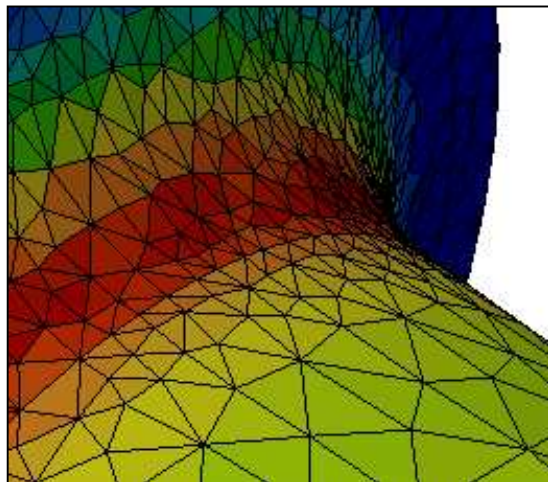
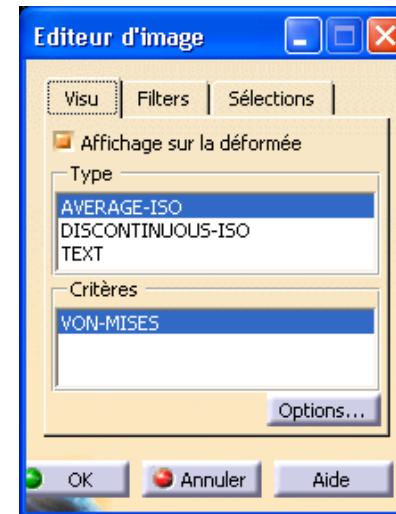
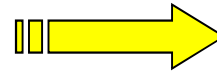


5 - Analyse d'un arbre épaulé

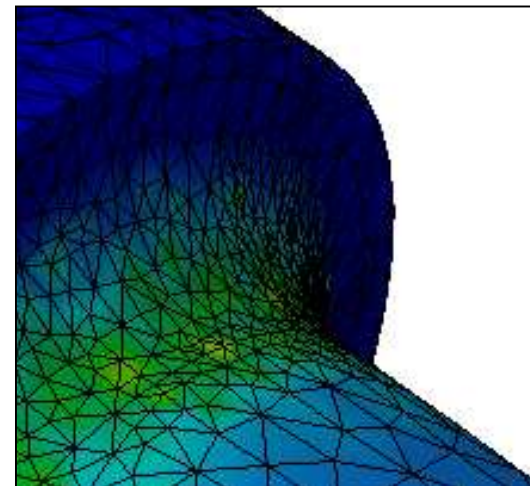
Maillage en 3D-5-L avec boîte d'adaptivité à 5% et nb itérations = 1



5 - Analyse d'un arbre épaulé



Discontinuous-ISO

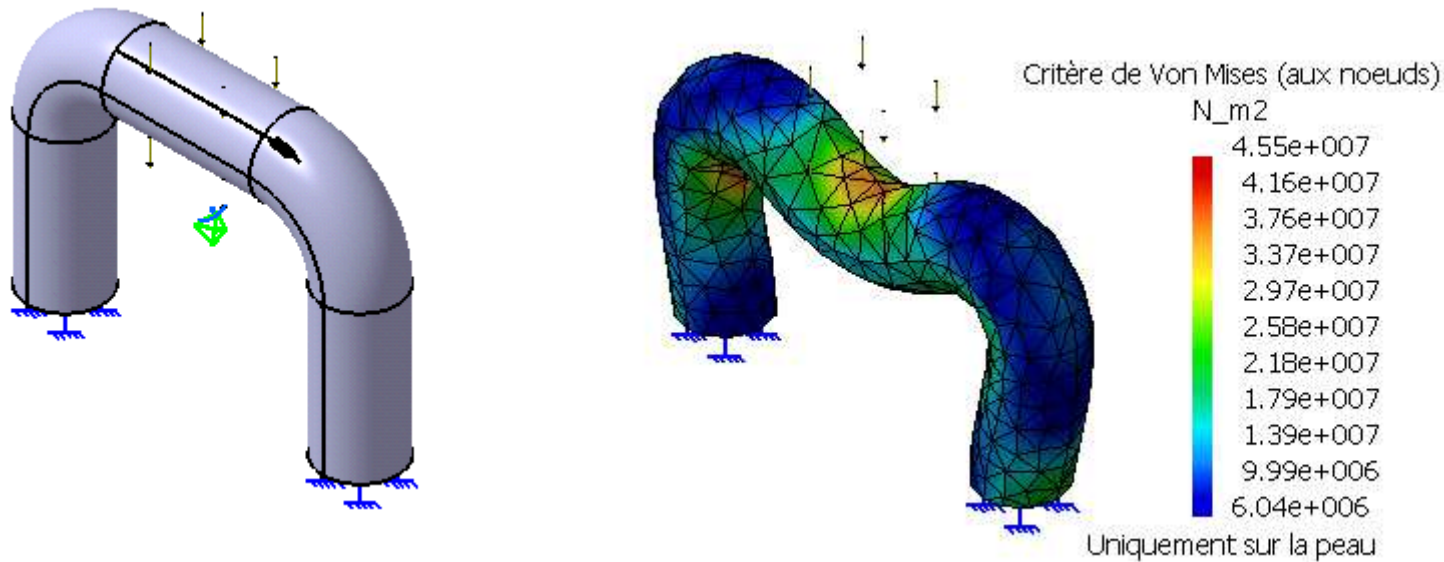


Average-ISO

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries**
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

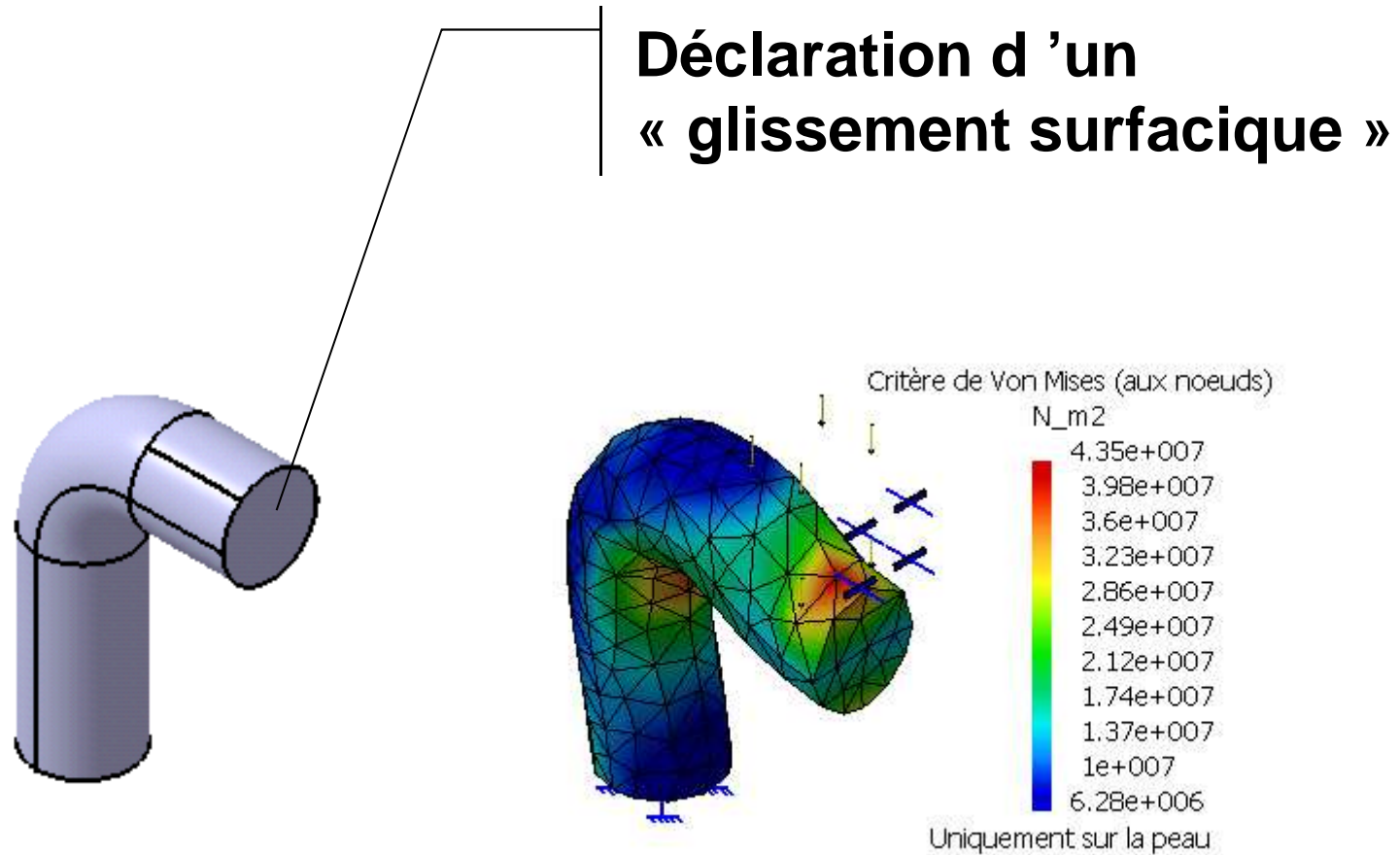
6 - Utilisation des symétries

Dans le cas de symétries de la géométrie et du chargement, on peut étudier la moitié ou le quart d'une pièce



Etude sur la totalité de la pièce

6 - Utilisation des symétries



Étude sur la moitié de la pièce

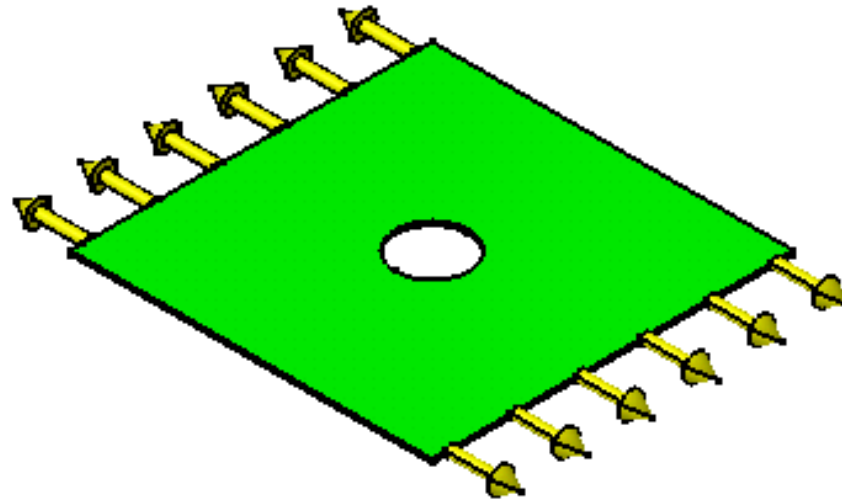
- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée**
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

7 - Analyse d'une plaque trouée

Plaque en acier de dimensions : 100x100x1 mm

R trou central = 10 mm

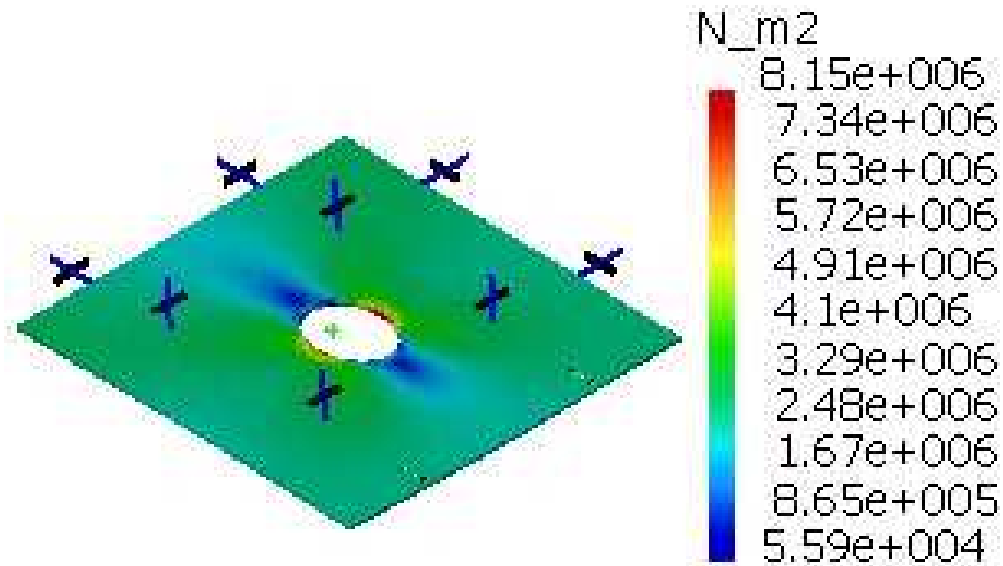
Chargement : 2.5 E+06 N/m² sur 2 faces opposées



Valeur de référence pour la contrainte maxi : **7,5 MPa**

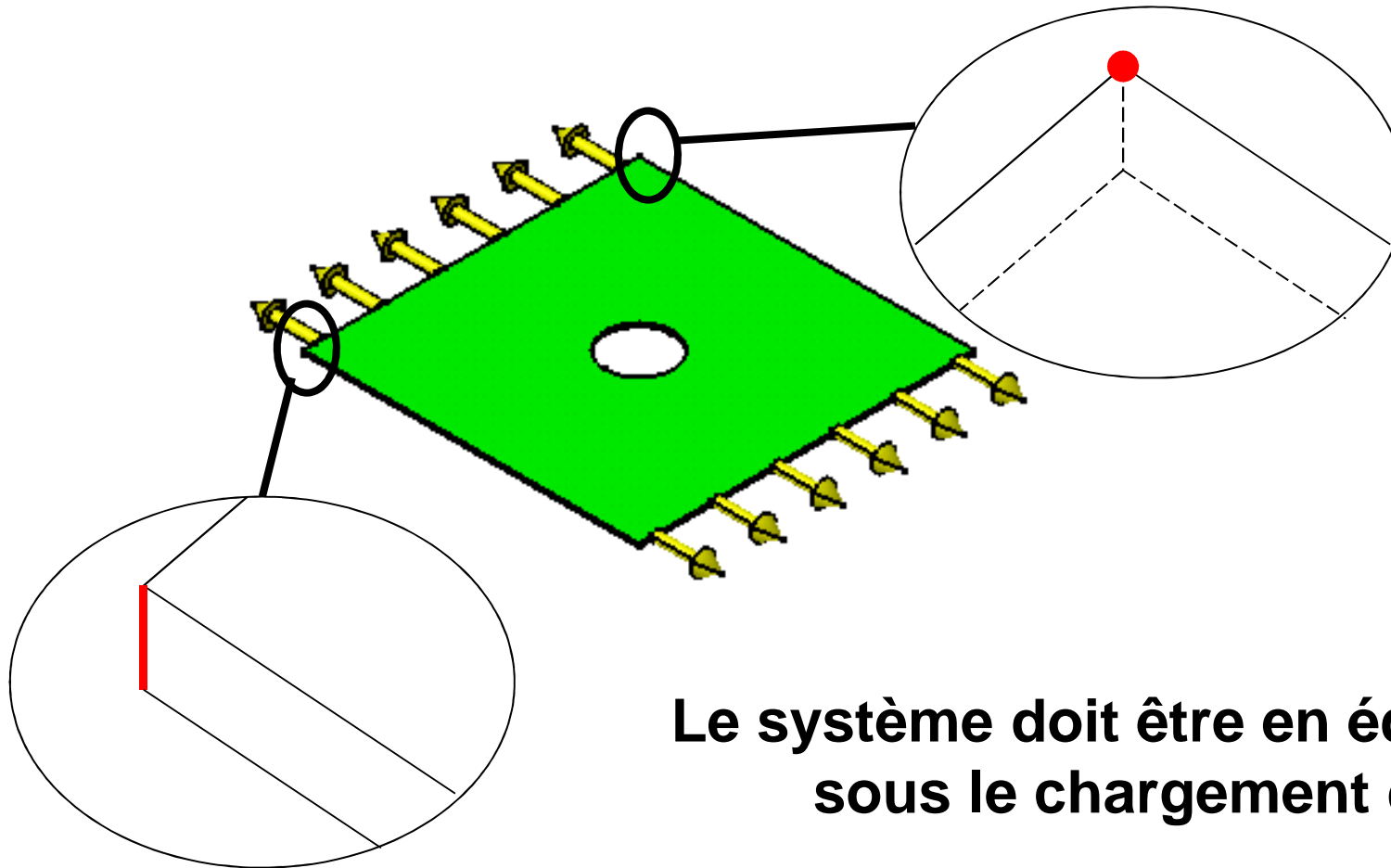
7 - Analyse d'une plaque trouée

Éléments 3D sur la plaque entière



7 - Analyse d'une plaque trouée

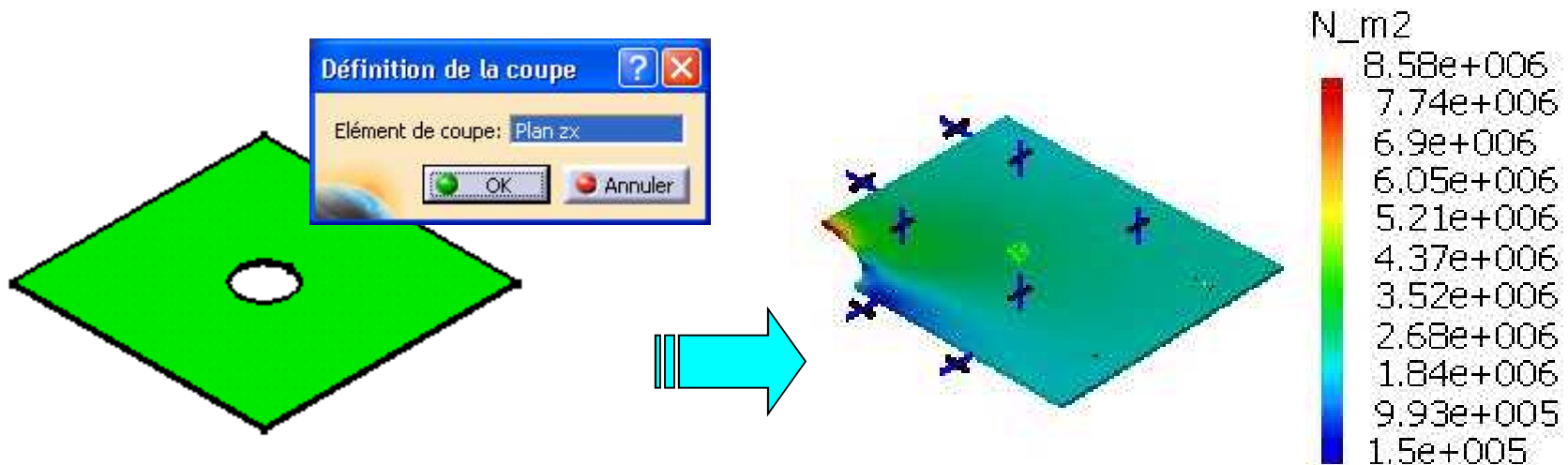
Éléments 3D sur la plaque entière - 2ème modèle



**Le système doit être en équilibre
sous le chargement déclaré**

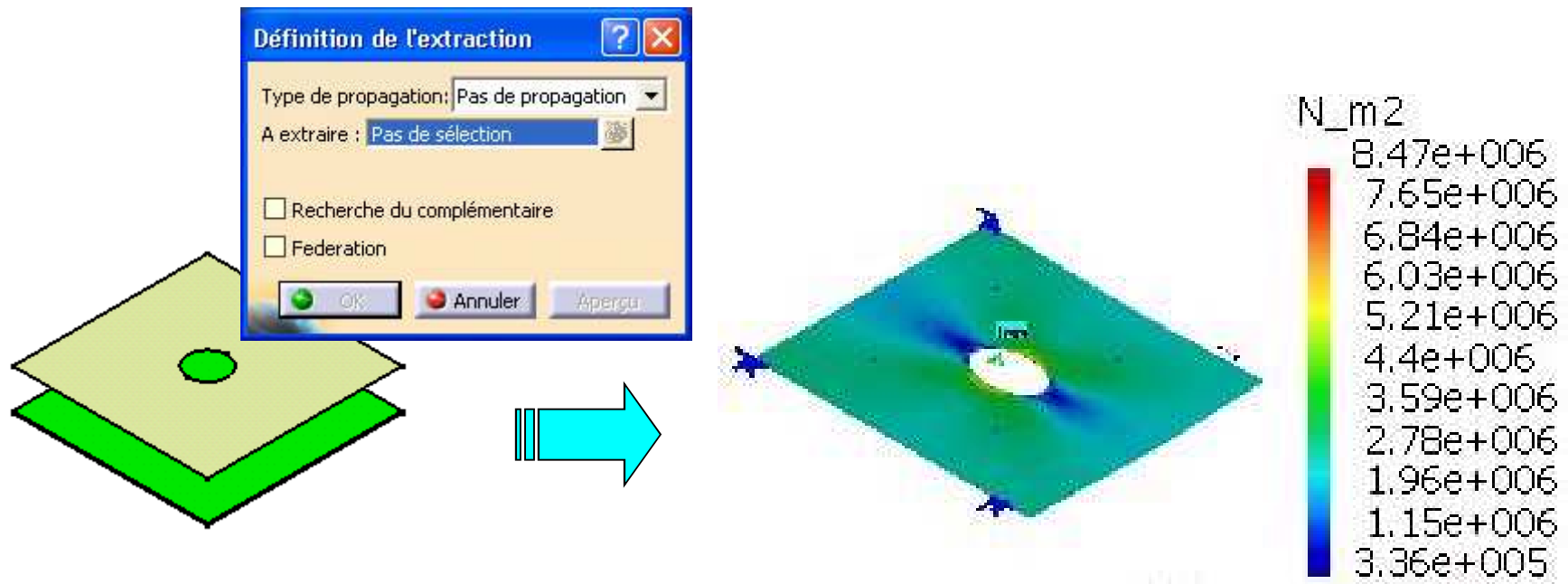
7 - Analyse d'une plaque trouée

Éléments 3D sur un quart de plaque



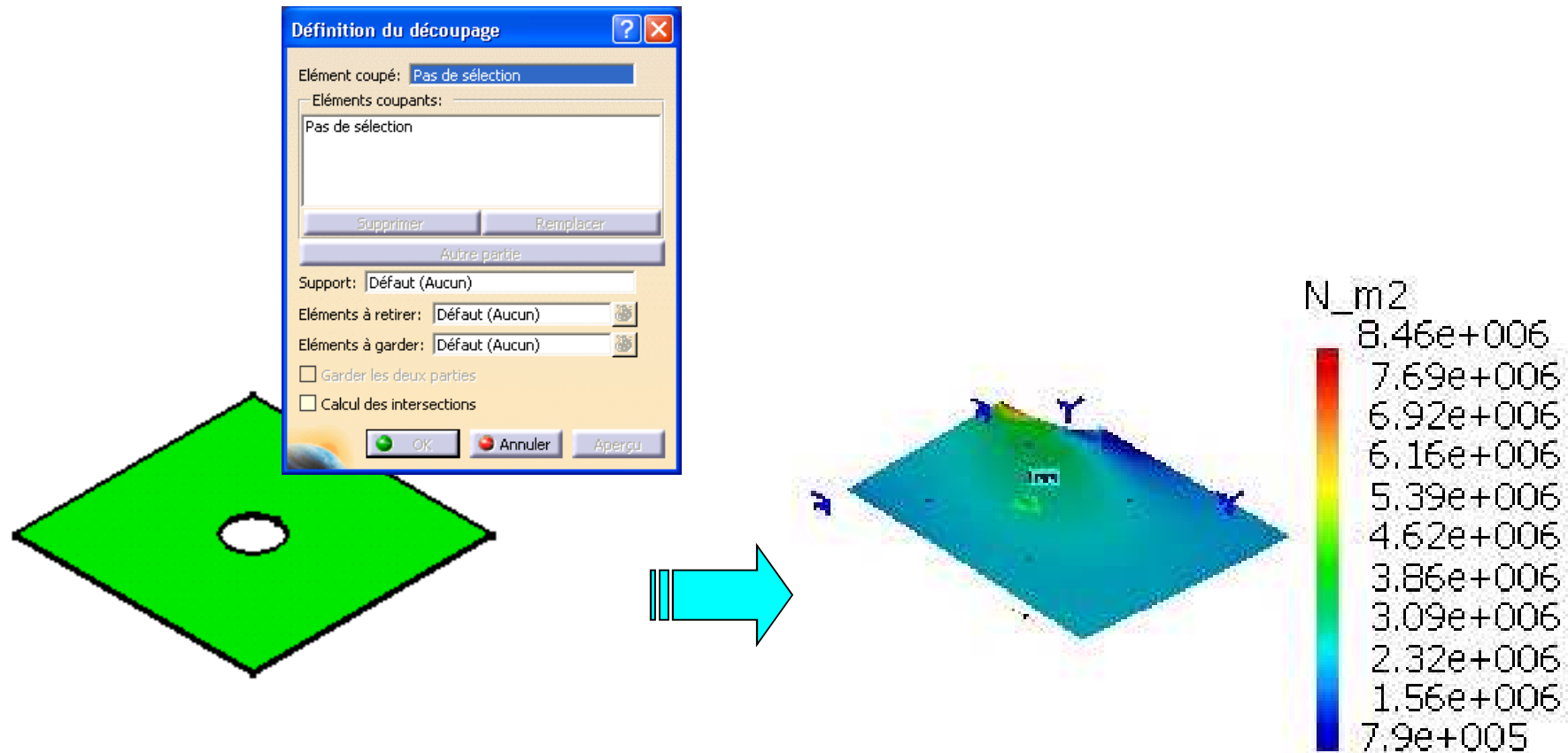
7 - Analyse d'une plaque trouée

Éléments 2D sur une plaque entière



7 - Analyse d'une plaque trouée

Éléments 2D sur un quart de plaque

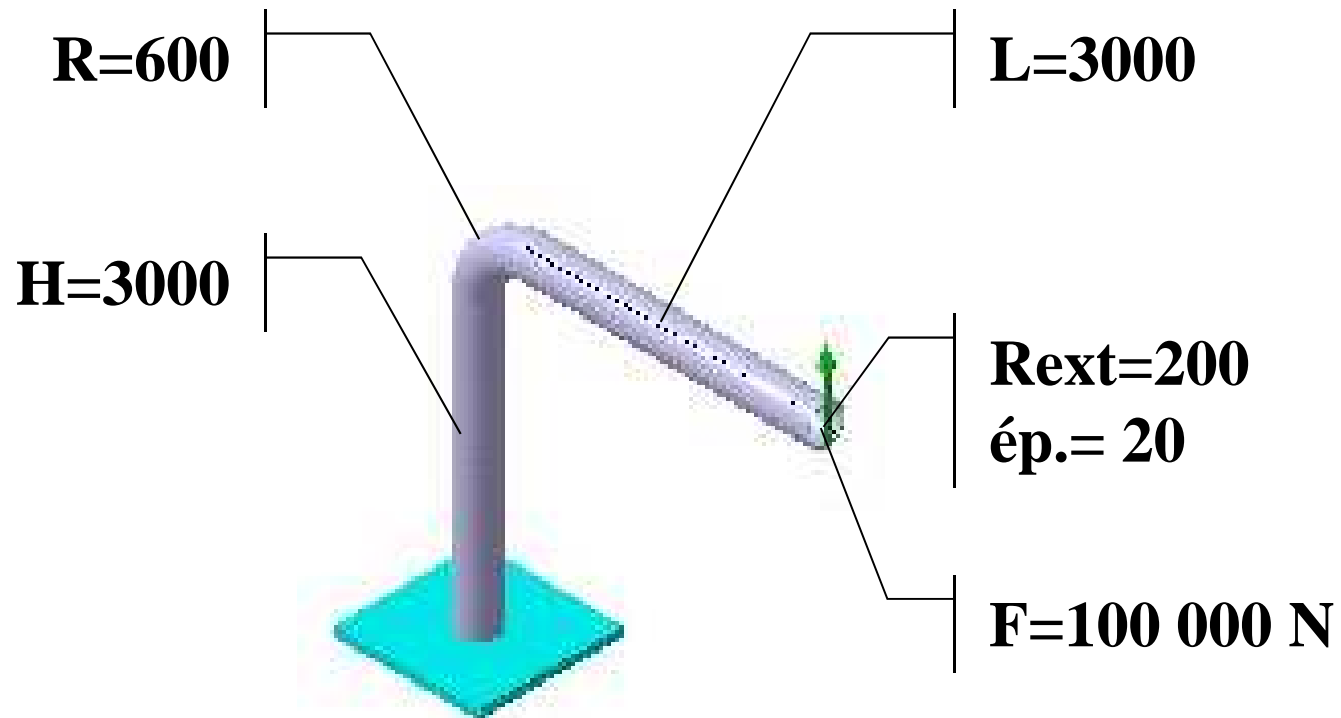


Conclusions

- Les conditions aux limites déclarées dans le modèle doivent supprimer toutes les mobilités rigides du solide.
- Si certaines mobilités subsistent, le calcul ne sera pas mené à son terme : « Singularité détectée (pivot relatif trop petit) »

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé**
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

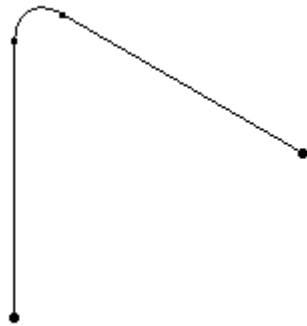
8 - Analyse d'un tuyau coudé



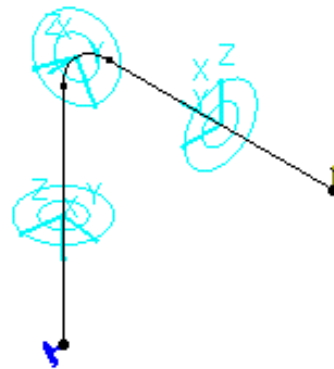
Études en éléments 1D, 2D et 3D ?

8 - Analyse d'un tuyau coudé

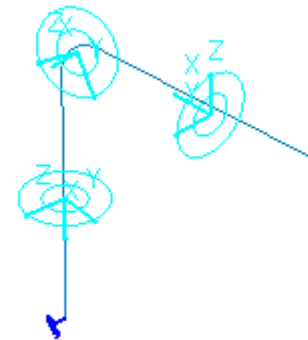
Éléments 1D - 100



Modèle géométrique



Modèle d'analyse

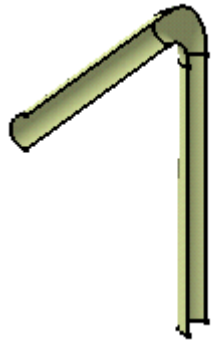


Résultats d'analyse

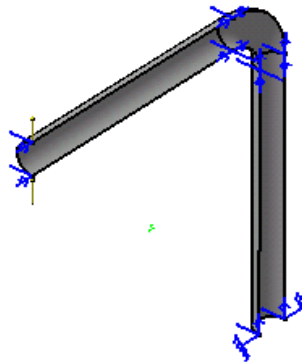
Déplacement maxi = 72 mm

8 - Analyse d'un tuyau coudé

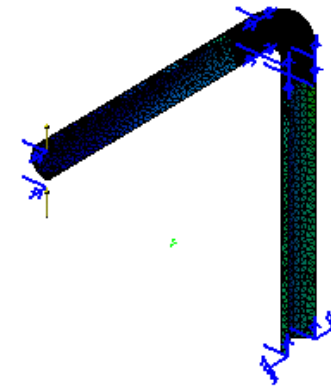
Éléments 2D - 75 - L



Modèle géométrique



Modèle d'analyse

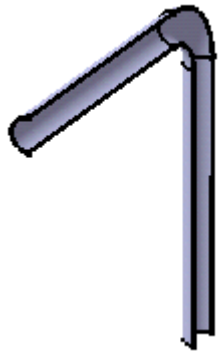


Résultats d'analyse

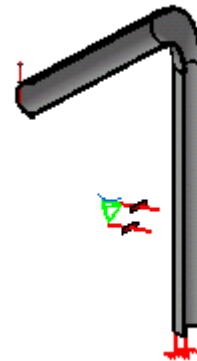
Contrainte maxi = 441 MPa

8 - Analyse d'un tuyau coudé

Éléments 3D - 237 - L



Modèle géométrique



Modèle d'analyse



Résultats d'analyse

Contrainte maxi = 128 MPa

8 - Analyse d'un tuyau coudé

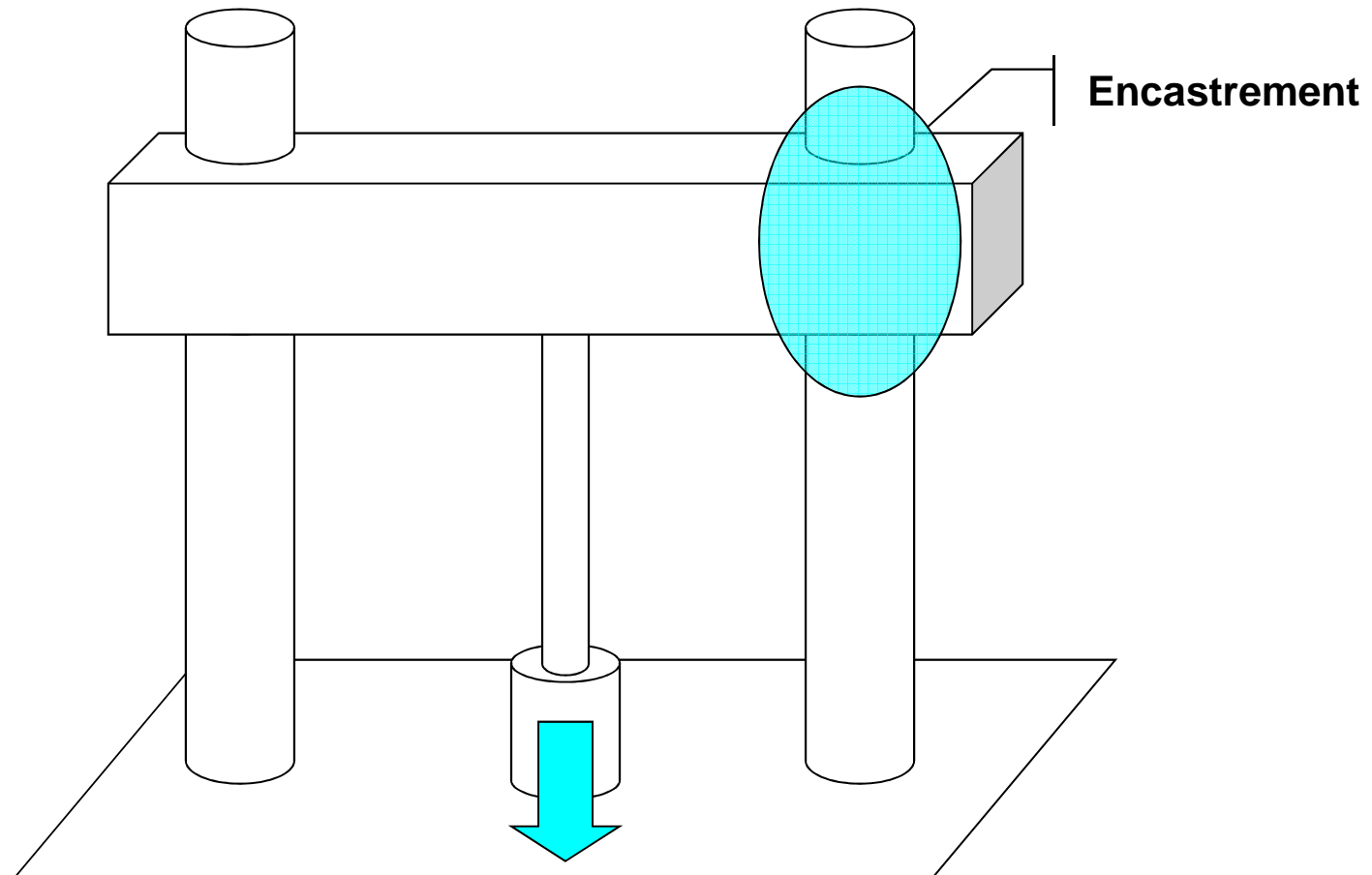
Ressources consommées

Type	Taille	Ram	Swap	Tps CPU
1D	100	066 Ko	020 Ko	<1s
2DL	075	011 Mo	039 Mo	40s
3DL	237	194 Ko	225 Ko	<1s

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai**
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

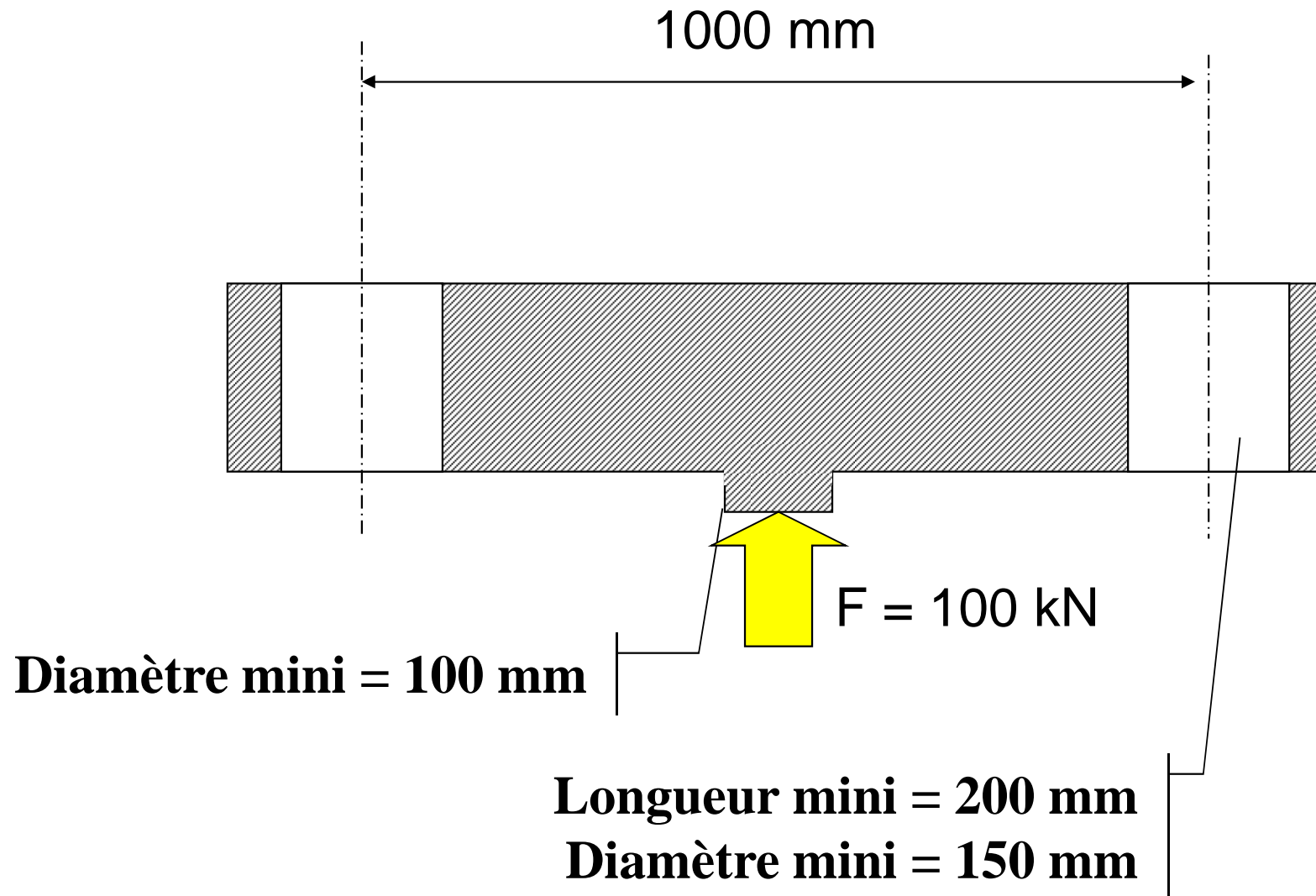
9 - Traverse de banc d'essai

Conception d'une traverse



Pascal MORENTON

9 - Traverse de banc d'essai



9 - Traverse de banc d'essai

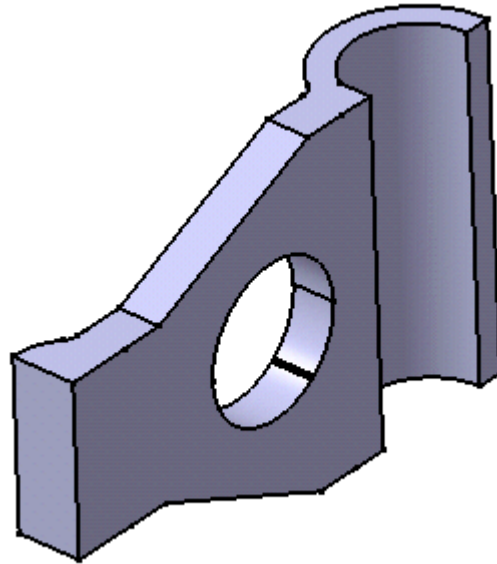
Reconception de la traverse



$M = 316 \text{ kg}$ déplacement sous charge = 0.023 mm

Reconcevoir la pièce en assurant une rigidité $< 0,01 \text{ mm}$
tout en minimisant son poids

9 - Traverse de banc d'essai



$M = 250 \text{ kg}$ - Gain de 20%
déplacement sous charge = 0.023 mm

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée**
- 11 Boitier de plaques minéralogiques

Extrait du cahier des charges de l'aileron de fusée

Mach 0.8

MEC5 : La force est appliquée au centre de gravité des ailerons. On contrôle simultanément 2 ailerons diamétralement opposés en appliquant le double de la force $F = 0.104 \times \text{Surface d'un aileron} \times V_{\text{max}}^2$. On doit alors avoir $d \leq l \times \text{Tg}10^\circ$ (voir figure 5).

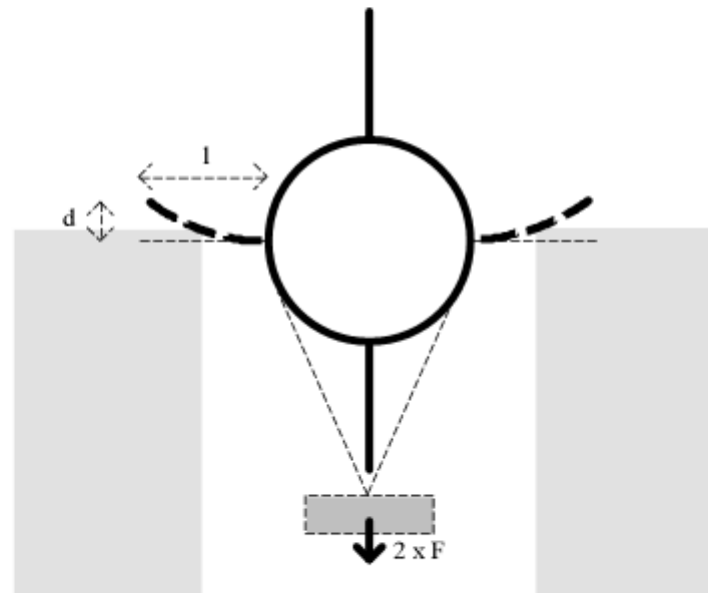


FIG. 5 - Résistance transversale des ailerons.

Calcul de la flèche maxi

$$V_{\max} = 0.8 * 340 \text{ m/s} = 272 \text{ m/s} = 979 \text{ km/h}$$

$$S = 0.033 \text{ m}^2$$

$$F = 0.104 * S * V_{\max} = 250 \text{ N}$$

$$L = 190 \text{ mm}$$

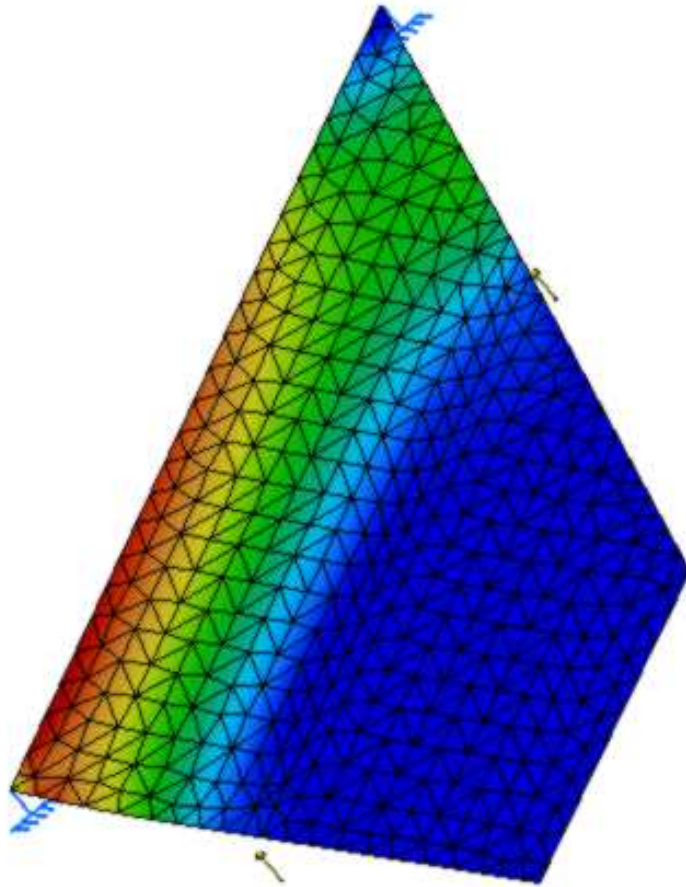
$$D < L * \text{Tg}10$$

$$D < 33 \text{ mm}$$

$$G_x=1 \text{ mm} \quad G_y=82 \text{ mm} \quad G_z=93 \text{ mm}$$

Trouver l'épaisseur minimale permettant de respecter le cahier des charges

Résultat de l'étude

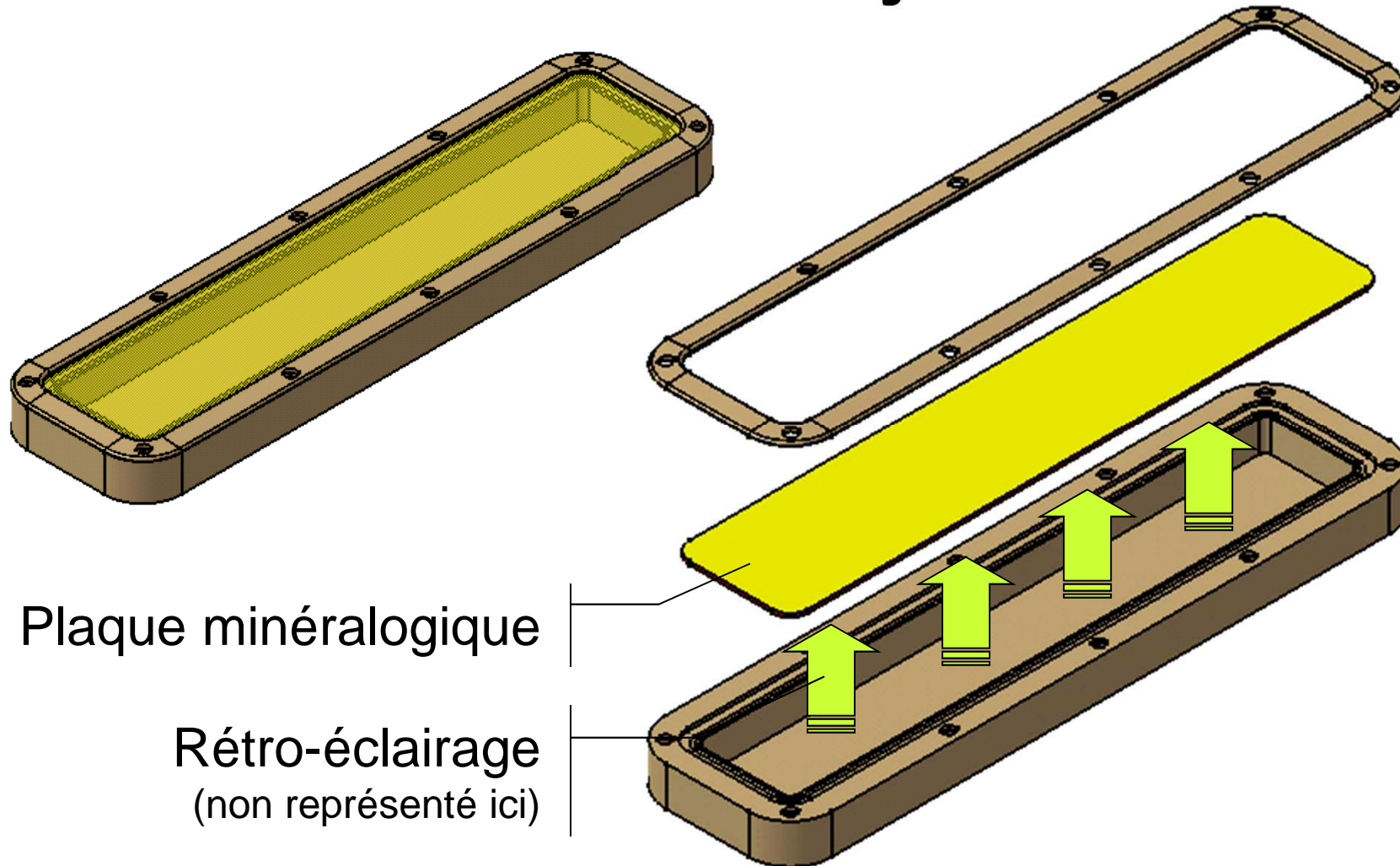


- Contrainte maxi $< R_e$
- Flèche maxi < 33 mm

- 1 Tailles et types d 'éléments
- 2 Analyse modale d 'une plaque (éléments 2D)
- 3 Analyse d 'un treillis (éléments 1D)
- 4 Boîte d 'adaptivité et raffinement du maillage
- 5 Analyse d 'un arbre épaulé
- 6 Utilisation des symétries
- 7 Analyse d 'une plaque trouée
- 8 Analyse d 'un tuyau coudé
- 9 Traverse de banc d 'essai
- 10 Aileron de fusée
- 11 Boitier de plaques minéralogiques**

11 - Support de plaque minéralogique

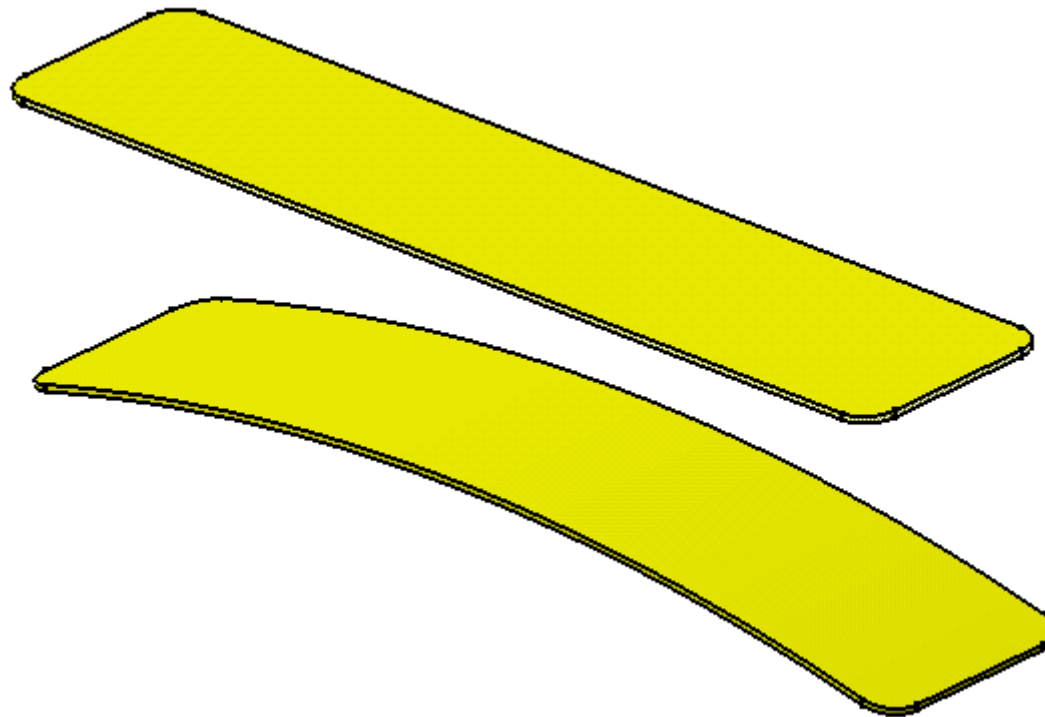
Présentation du système



11 - Support de plaque minéralogique

Problème posé

L'ensemble doit pouvoir s'adapter aux différentes courbures des voitures du marché : on doit pouvoir déformer manuellement l'ensemble

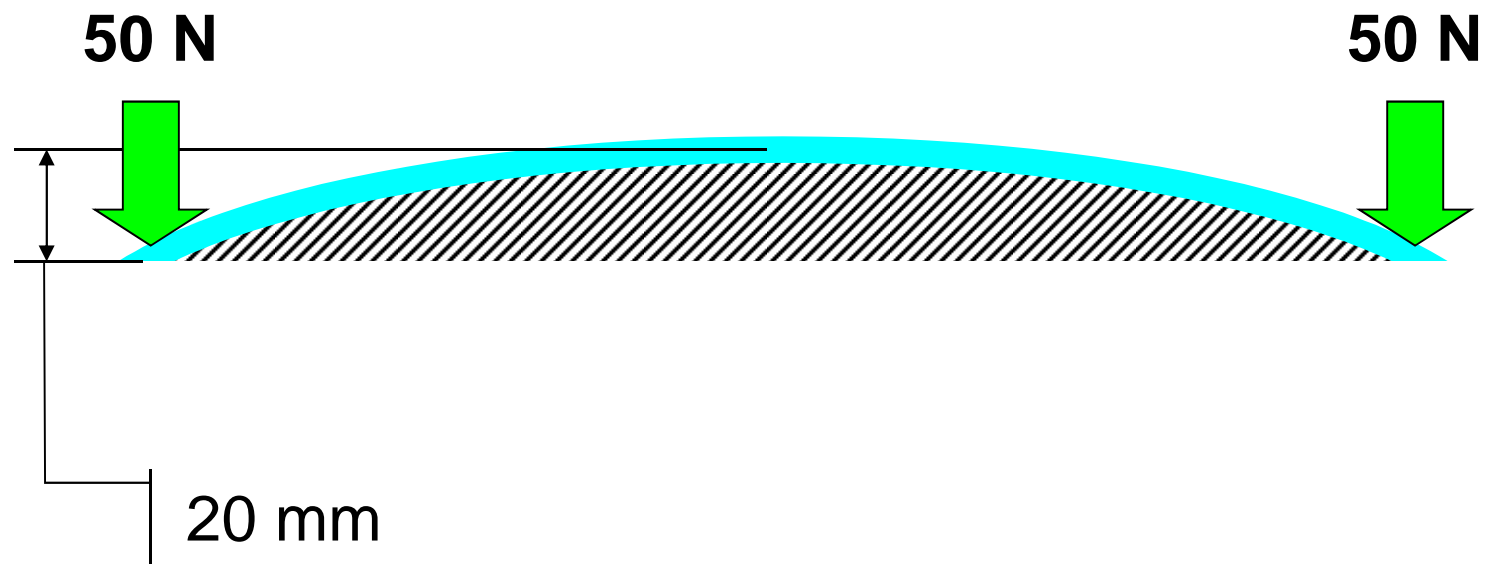


Hypothèses & Restrictions

- On peut étudier séparément les 3 pièces et agréger les résultats par la suite
- L'adaptation exacte du support à la courbure de la carrosserie ne sera pas étudiée.
- Après essais, on souhaite obtenir une flèche maximale de 15 mm de chaque côté du support par rapport au centre
- L'opérateur peut appliquer une force maximale de 50 N de chaque côté du support
- Matériau utilisé : (plastique) avec une limite élastique de (50 Mpa)

11 - Support de plaque minéralogique

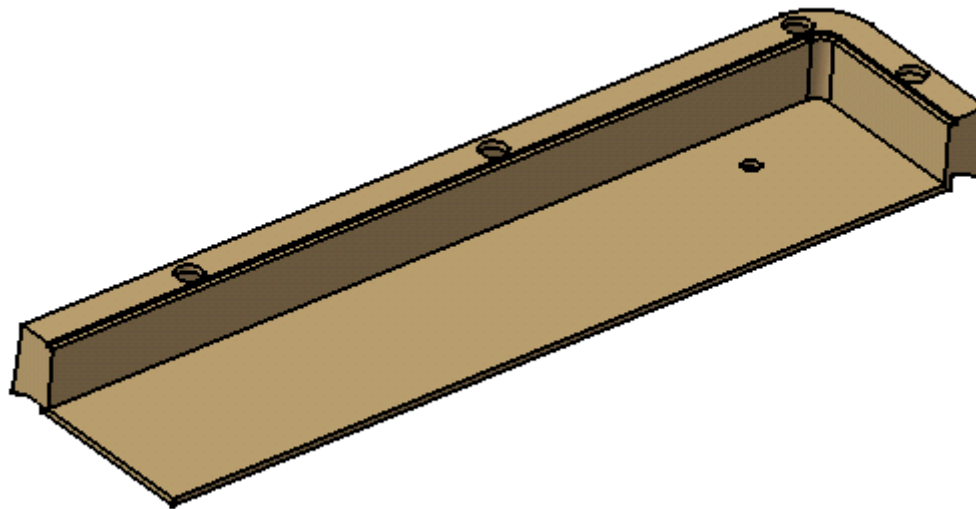
Hypothèses & Restrictions



11 - Support de plaque minéralogique

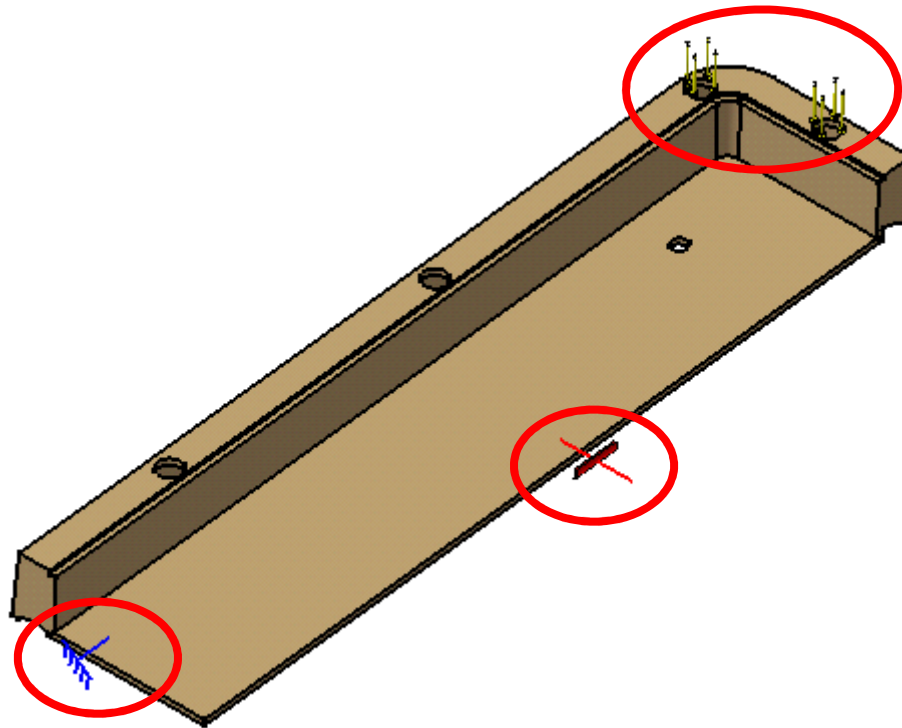
Préparation du modèle

Le modèle est considéré comme symétrique par rapport à deux plans principaux



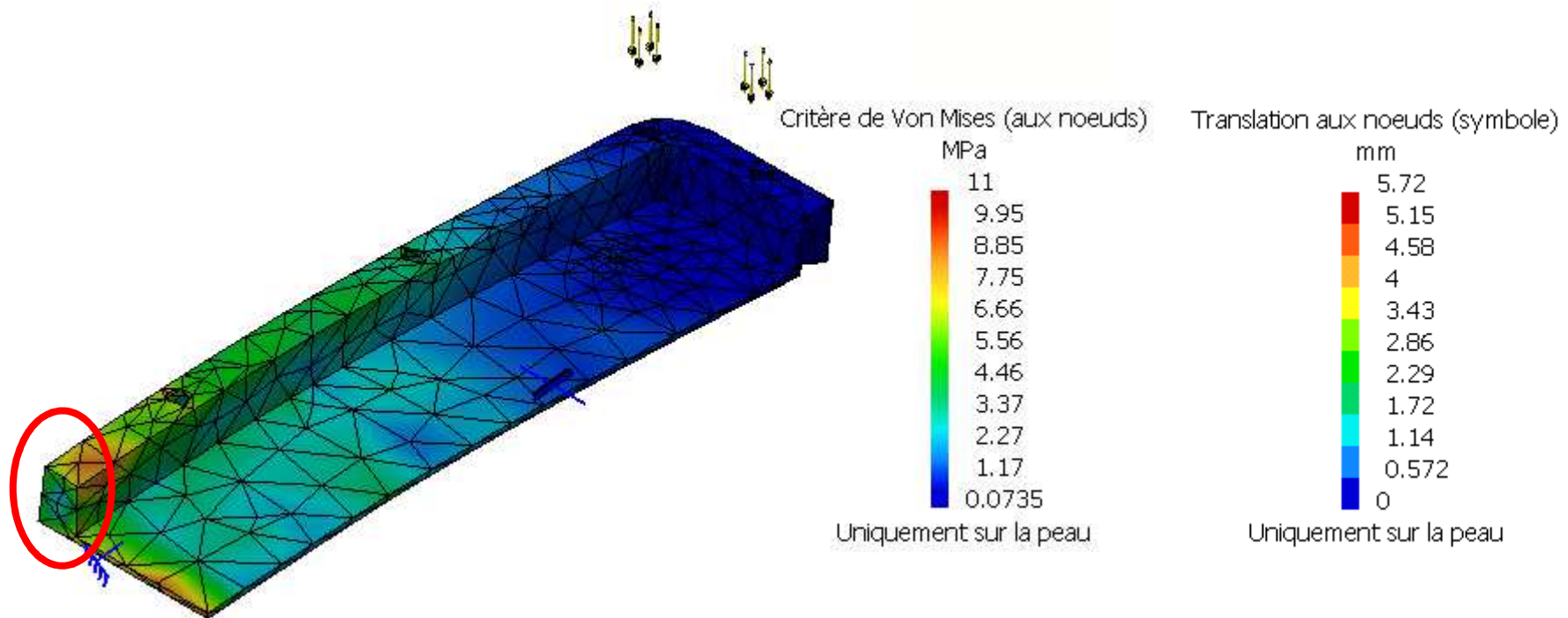
11 - Support de plaque minéralogique

Modèle d 'analyse



11 - Support de plaque minéralogique

Résultats d 'analyse #1



11 - Support de plaque minéralogique

Résultats d 'analyse #2

