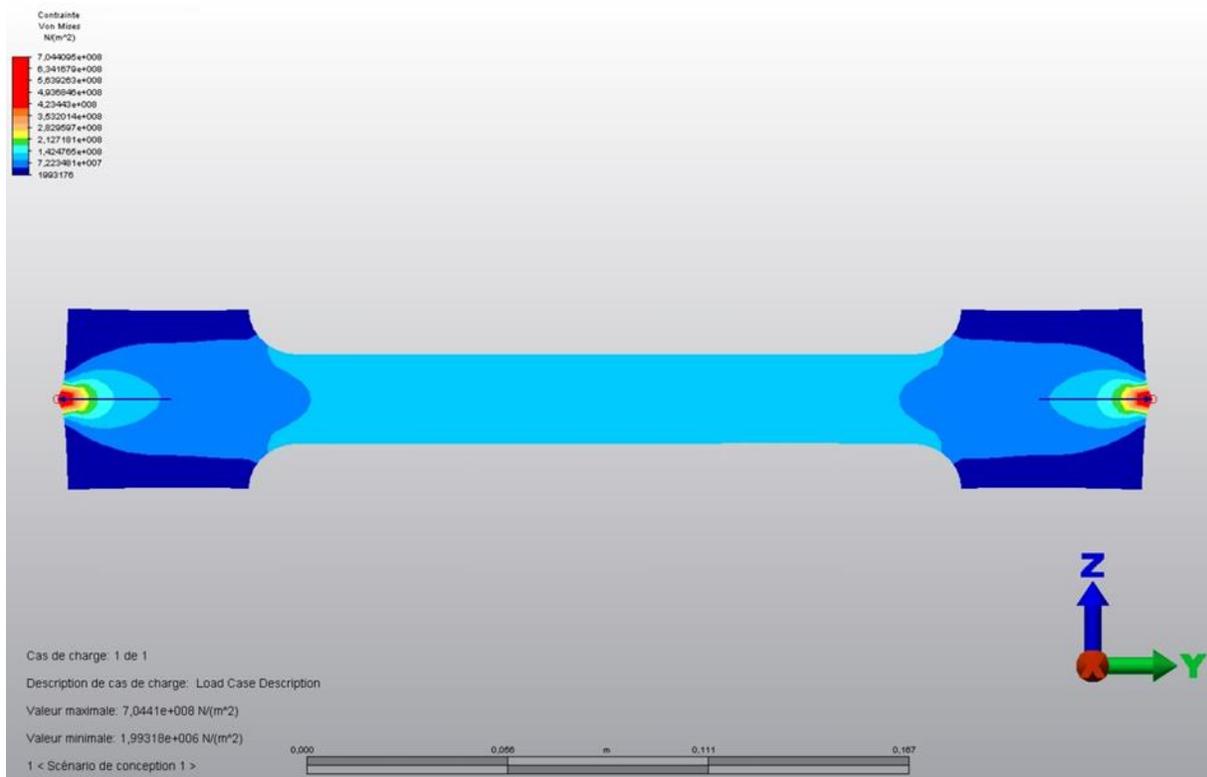


# TRAVAUX PRATIQUES DE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

*Utilisation du logiciel de calculs  
par éléments finis Autodesk Simulation Mechanical*

## TP n° 2 : Etude d'une éprouvette de traction



# Etude d'une éprouvette de traction de type haltère

On se propose de modéliser une éprouvette de traction de type haltère (figure 1), dont les dimensions sont conformes à la norme NF EN 10002-1 sur les essais de traction.

Soumise à une charge horizontale ponctuelle d'intensité  $F = 12500$  newtons appliquée en ses deux extrémités, l'éprouvette est en acier de module d'Young  $E = 210\,000$  N/mm<sup>2</sup> et de coefficient de Poisson  $\nu = 0.28$ .

L'objectif des deux premières parties est d'utiliser les symétries de l'éprouvette et de comparer la modélisation de l'éprouvette en entier avec la modélisation du quart de la pièce. La troisième partie est consacrée à la vérification du principe de Saint-Venant.

## 1<sup>er</sup> modèle : modélisation de l'éprouvette en entier

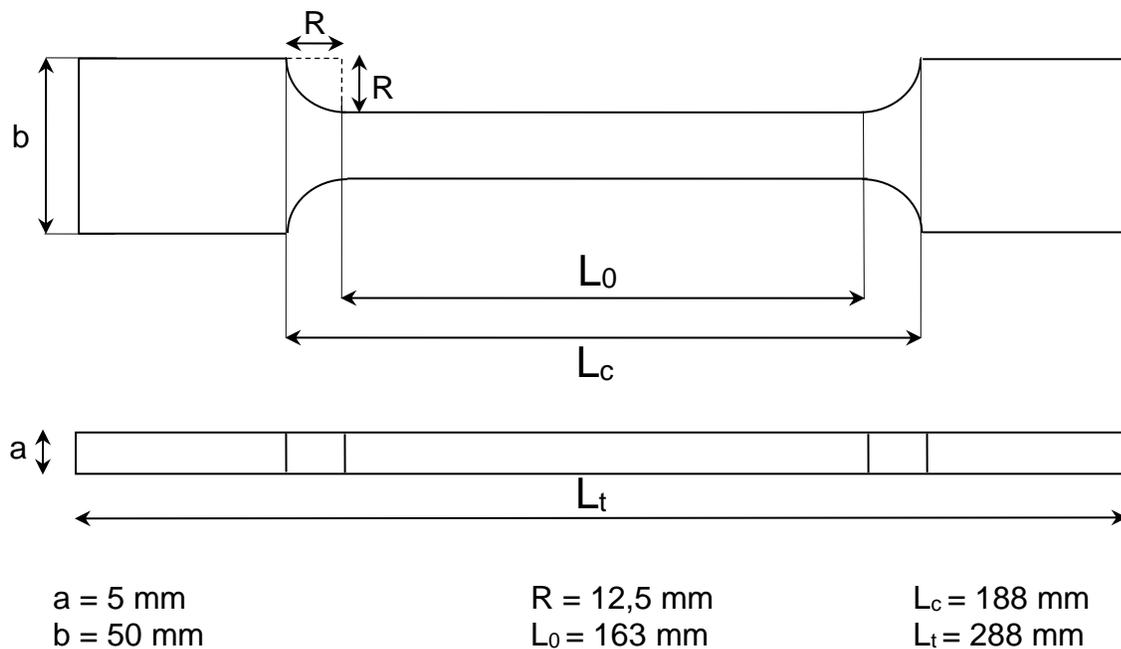


Figure 1 : dimensions de l'éprouvette

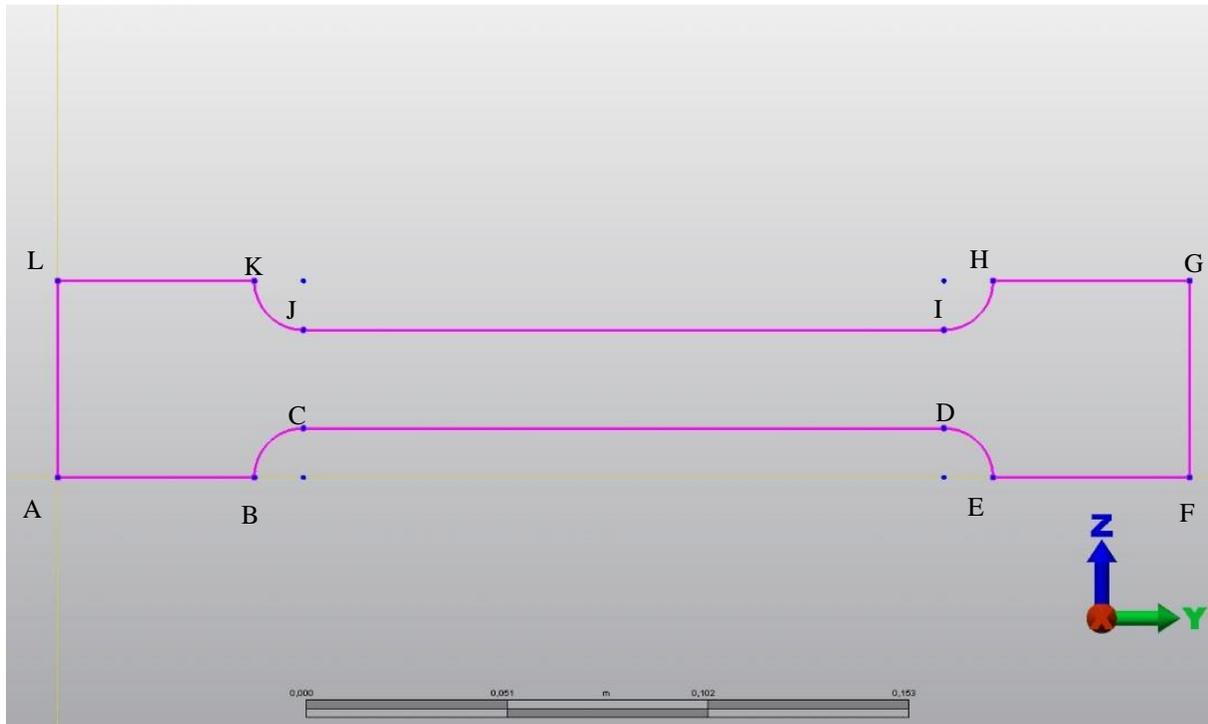
## I. Modélisation

---

### Construction de l'éprouvette en haltère

Créer un nouveau modèle enregistré sous **Tp21** défini dans le système d'unité métrique.

<b>"Plans"</b> <b>"Plane 2 &lt; YZ (+X) &gt;"</b> <b>"Esquisse"</b>	Dans la fenêtre « Arborescence » à la rubrique « Plans », faire un click droit sur « Plane 2 < YZ (+X) » et sélectionner « Esquisse ».
<b>"Dessiner"</b> <b>"Ligne"</b>  <b>"Utiliser en tant que construction" activé</b>	Dans le menu « Dessiner », sélectionner « Ligne ». Construire les lignes de construction AB, CD, EF, FG, GH, IJ, KL et AL en saisissant les coordonnées de chaque point (« Utiliser en tant que construction » activé).  A(0; 0; 0), B(0; 0,05; 0), C(0; 0,0625; 0,0125), D(0; 0,2255; 0,0125), E(0; 0,238; 0), F(0; 0,288; 0), G(0; 0,288; 0,05), H(0; 0,238; 0,05), I(0; 0,2255; 0,0375), J(0; 0,0625; 0,0375), K(0; 0,05; 0,05) et L(0; 0; 0,05).
<b>"Sélection / Objets de construction"</b> <b>Sélectionner les segments inutiles</b> <b>"les Supprimer" au clavier</b>	Dans le menu « Sélection », cliquer sur « Objets de construction ». Sélectionner les segments inutiles (éventuellement créés) BC, DE, HI, JK. Les supprimer au clavier (touche « Suppr »).
<b>"Dessiner / Arc puis Arc, centre et extrémités"</b>  <b>"Utiliser en tant que construction" activé</b>	Créer un arc de cercle de centre $O_1(0;0,0625 ;0)$ passant par les points B et C. Inverser le sens de l'arc, si besoin. $O_2(0;0,2255 ;0)$ ; $O_3(0;0,2255 ;0,05)$ ; $O_4(0;0,0625 ;0,05)$ Même chose pour l'arc $O_2DE$ , $O_3HI$ et $O_4JK$ .



**Figure 2 : géométrie de l'éprouvette**

## Maillage de l'éprouvette

<p>"1 &lt; YZ (+X) &gt;"          "Générer un maillage 2D"          "Type d'élément : triangulaire"          "Densité : 4000"          "Appliquer"          "OK"</p>	<p>Sélectionner « 1 &lt;YZ (+X) &gt; » dans « Composant 1 ». Par un click droit, sélectionner « Générer un maillage 2D ».</p> <p>Définir les caractéristiques du maillage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- type d'éléments : triangulaire</li> <li>- densité : 4000.</li> </ul>
--	---

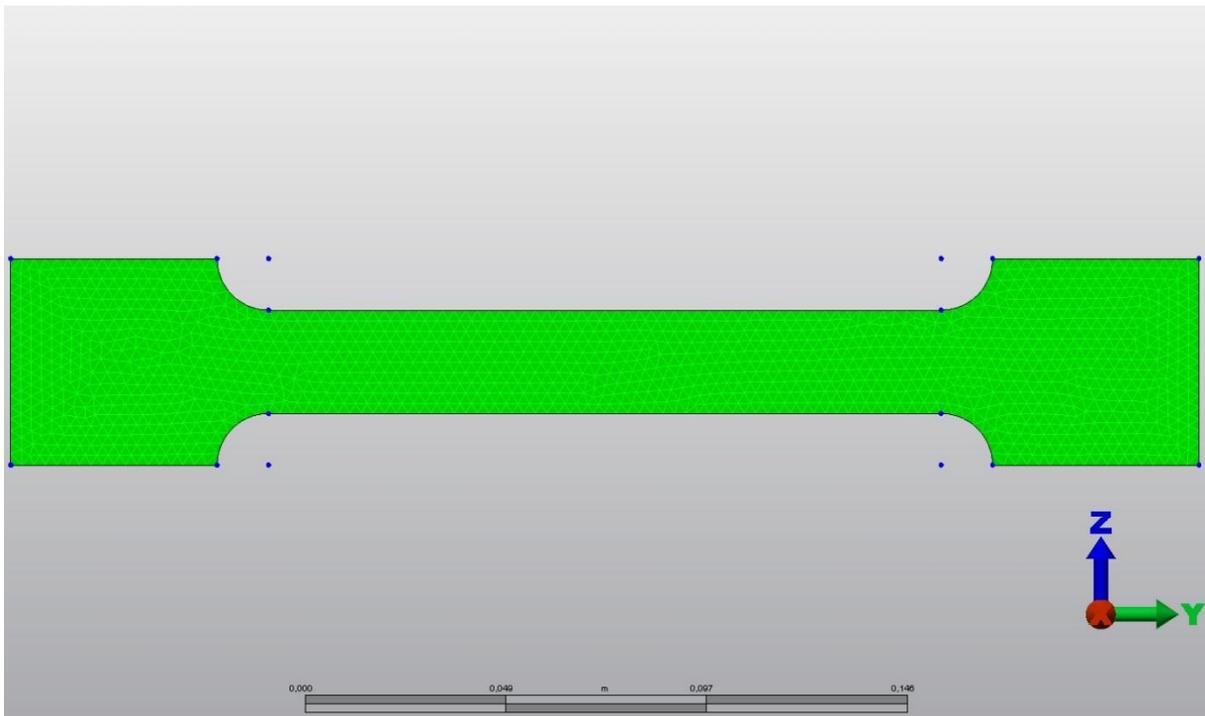


Figure 3 : maillage de l'éprouvette

## Paramètres des éléments du maillage

"Type d'élément : 2D"	Sélectionner le type d'élément 2D
"Définition de l'élément"	Dans "Définition de l'élément", définir l'épaisseur de la poutre de 5 mm soit « 5E-3 m »
"Matériau"	Dans « Matériau », définir le Module d'Young du matériau : $21 \cdot 10^{10}$ N/m <sup>2</sup> et le coefficient de Poisson : 0,28

## Définition du chargement

On peut masquer les lignes de constructions, en cliquant sur « Objets de construction » dans « Afficher ».

Sélectionner le nœud milieu de [AL]	Cliquer sur le point (0 ;0 ;0.025), milieu de [AL]
"Ajouter : Force Nodale" "Magnitude : - 12500" "Direction Y"	Par un click droit, sélectionner « Ajouter : Force Nodale ». Taper - <b>12500</b> dans « Magnitude » et Cliquer sur la direction Y.
"Ajouter/Contrainte générale" "Tz, Rx bloquées"	Au même nœud, sélectionner « Ajouter/Contrainte générale » puis bloquer la translation Tz et la rotation Rx.
Sélectionner le nœud milieu de [FG] "Ajouter : Force Nodale" "Ajouter/Contrainte générale"	Cliquer sur le point (0 ;0.288 ;0.025), milieu de [FG]. Ajouter la force (Magnitude de <b>12500</b> sur la direction Y) et bloquer la translation Tz et la rotation Rx.

## Enregistrement du fichier

	"Fichier:Enregistrer"	
--	-----------------------	--

## II. Calcul

---

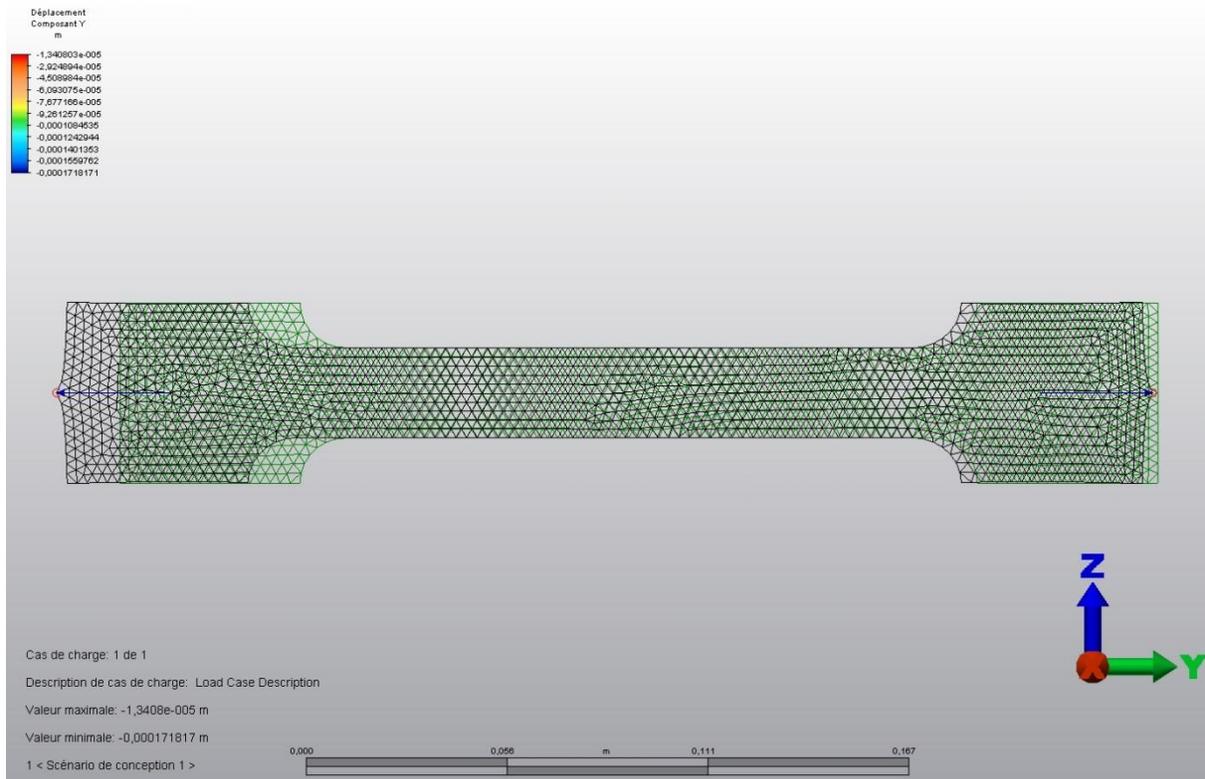
Lancer l'analyse.

## III. Résultats

---

### Visualisation de la déformée et des déplacements

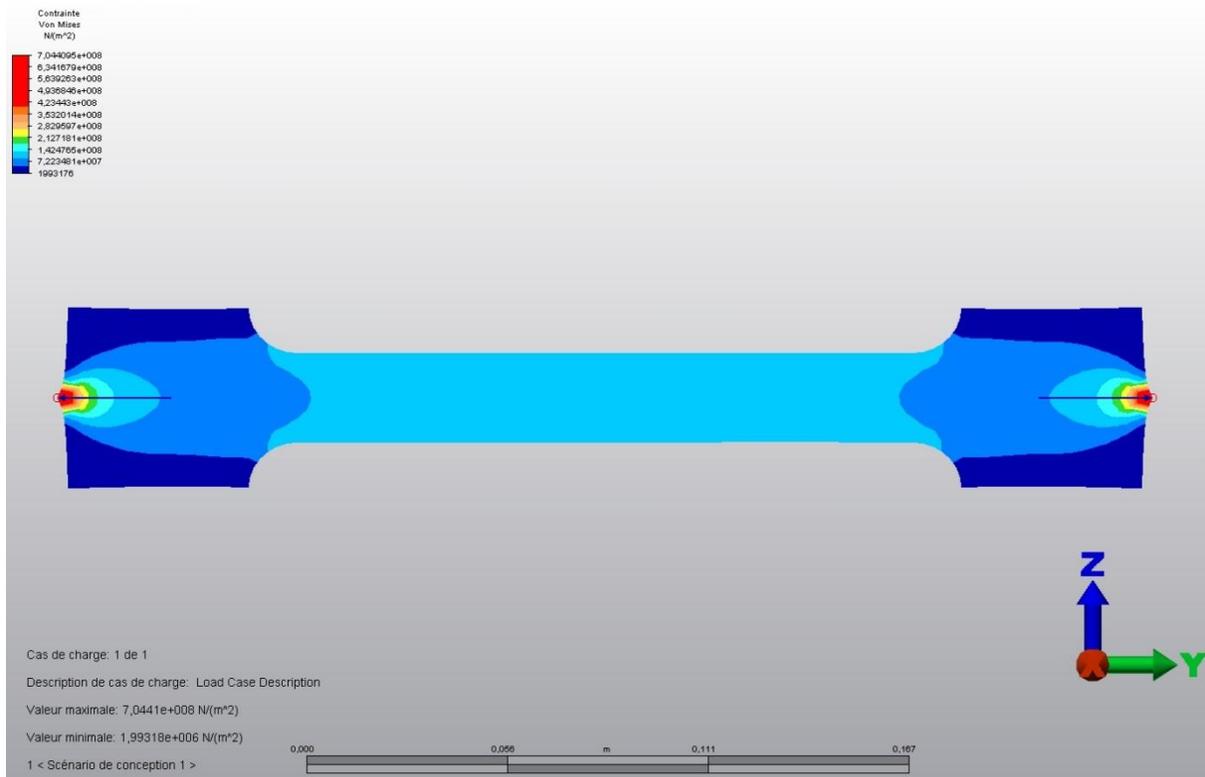
"Résultats/Contours des résultats"	Cliquer sur « Résultats » du menu principal, puis « Contours des résultats »
"Déplacements"	Visualiser les déplacements suivant x, y et z.
"Interroger les résultats" "Contrôles" "Captures"	A l'aide de la sonde et de la souris, vous pouvez visualiser les déplacements suivant x, y et z des différents nœuds de l'éprouvette.



**Figure 4 : déformée de l'éprouvette**

### Visualisation des contraintes

<b>"Résultats/Contours des résultats"</b>	Cliquer sur « Résultats » du menu principal, puis « Contours des résultats »
<b>"Contrainte" "Von Mises"</b>	Cliquer sur « Contrainte » puis sur « Von Mises ».
<b>"Contours des résultats" "Paramètres" "Prop. Légende" "10 couleurs de bleu à rouge" "Personnaliser/couleurs totales : 16"</b>	Cliquer sur « Contours des résultats » puis sur « Paramètres » et « Prop. Légende ». Sélectionner « 10 couleurs de bleu à rouge », puis cocher « Personnaliser » et fixer le total des couleurs à <b>16</b> .
<b>"Contrôle"</b>	Relever la contrainte de Von Mises au milieu de l'éprouvette au point (0 ;0,144 ;0,025)



**Figure 5 : contraintes de Von Mises de l'éprouvette**

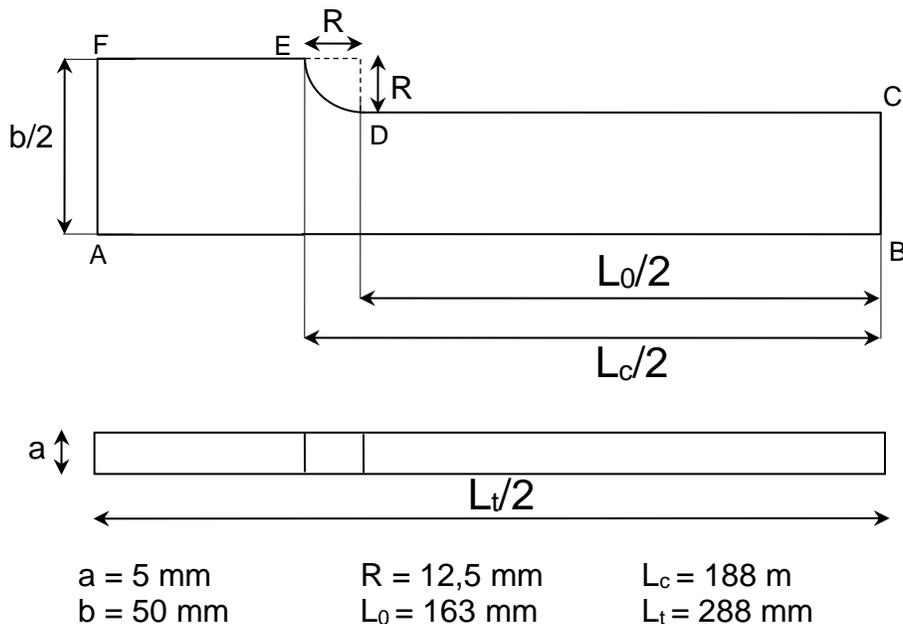
## Questions

- 1- Relever la contrainte de Von Mises au milieu de l'éprouvette, au point (0 ;0,144 ; 0,025).
- 2- Commenter la répartition des contraintes, au milieu de l'éprouvette, aux changements de section et aux points d'application des charges.

## 2<sup>ème</sup> modèle : modélisation du quart de l'éprouvette

Pour le 2<sup>ème</sup> modèle, nous allons utiliser les symétries verticale et horizontale de l'éprouvette en haltère. Du fait de ces deux symétries, il est possible de modéliser uniquement un quart de l'éprouvette de traction en haltère, comme le montre la figure ci-dessous.

Pour traduire la symétrie verticale par rapport au segment [BC], les déplacements horizontaux des nœuds de [BC] seront bloqués. En ce qui concerne la symétrie horizontale par rapport au segment [AB], les déplacements verticaux des nœuds de [AB] seront bloqués.



**Figure 6 : dimensions de l'éprouvette**

La procédure est identique à la précédente. Voici les étapes principales qui changent :

- Tracé du contour de l'éprouvette (**Détails page suivante**)
- Enregistrer le fichier sous « **Contour** » (utilisé dans la 3<sup>ème</sup> partie du tp) puis sous **Tp22**
- Caractéristiques du maillage de l'éprouvette (**type d'éléments : triangulaire, densité du maillage : 2000**)
- Conditions aux limites sur les segments [BC] et [AB] (**Détails page suivante**)
- Application du chargement à l'extrémité gauche de l'éprouvette au point A(0 ; 0 ; 0) (**En raison des symétries, la charge est divisée par 2, soit F = - 6250 N suivant y**)
- Propriétés de l'éprouvette (Elément 2D, même épaisseur de 5 mm, même matériau)
- Analyse et Résultats (**Choisir 12 couleurs pour les contraintes de Von-Mises**)

## Dessiner le contour de l'éprouvette

<b>"Plans"</b> <b>"Plane 2 &lt; YZ (+X) &gt;"</b> <b>"Esquisse"</b>	Dans la fenêtre « Arborescence » à la rubrique « Plans », faire un click droit sur « Plane 2 < YZ (+X) » et sélectionner « Esquisse ».
<b>"Dessiner"</b> <b>"Ligne"</b>  <b>"Utiliser en tant que construction" activé</b>	Dans le menu « Dessiner », sélectionner « Ligne ». Construire les lignes de construction AB, BC, CD, EF et FA. (« Use as construction » activé).  $A(0; 0; 0)$ , $B(0; 0,144; 0)$ , $C(0; 0,144; 0,0125)$ , $D(0; 0,0625; 0,0125)$ , $E(0; 0,05; 0,025)$ , $F(0; 0; 0,025)$
<b>"Sélection/Objets de construction"</b> <b>Sélectionner le segment inutile</b> <b>"le Supprimer" au clavier</b>	Dans le menu « Sélection », cliquer sur « Objets de construction ». Sélectionner le segment inutile (éventuellement créé) DE. Le supprimer au clavier (touche « Suppr »).
<b>"Dessiner/Arc puis Arc, centre et extrémités"</b>  <b>"Utiliser en tant que construction" activé</b>	Créer un arc de cercle de centre $O(0; 0,0625; 0,025)$ passant par les points D et E.

	<b>"Fichier: Enregistrer sous"</b>	Enregistrer sous « Contour ». Ce fichier « Tp23 » sera utilisé dans la 2 <sup>ème</sup> partie du TP
	<b>"Fichier: Enregistrer sous"</b>	Enregistrer sous « Tp22 »

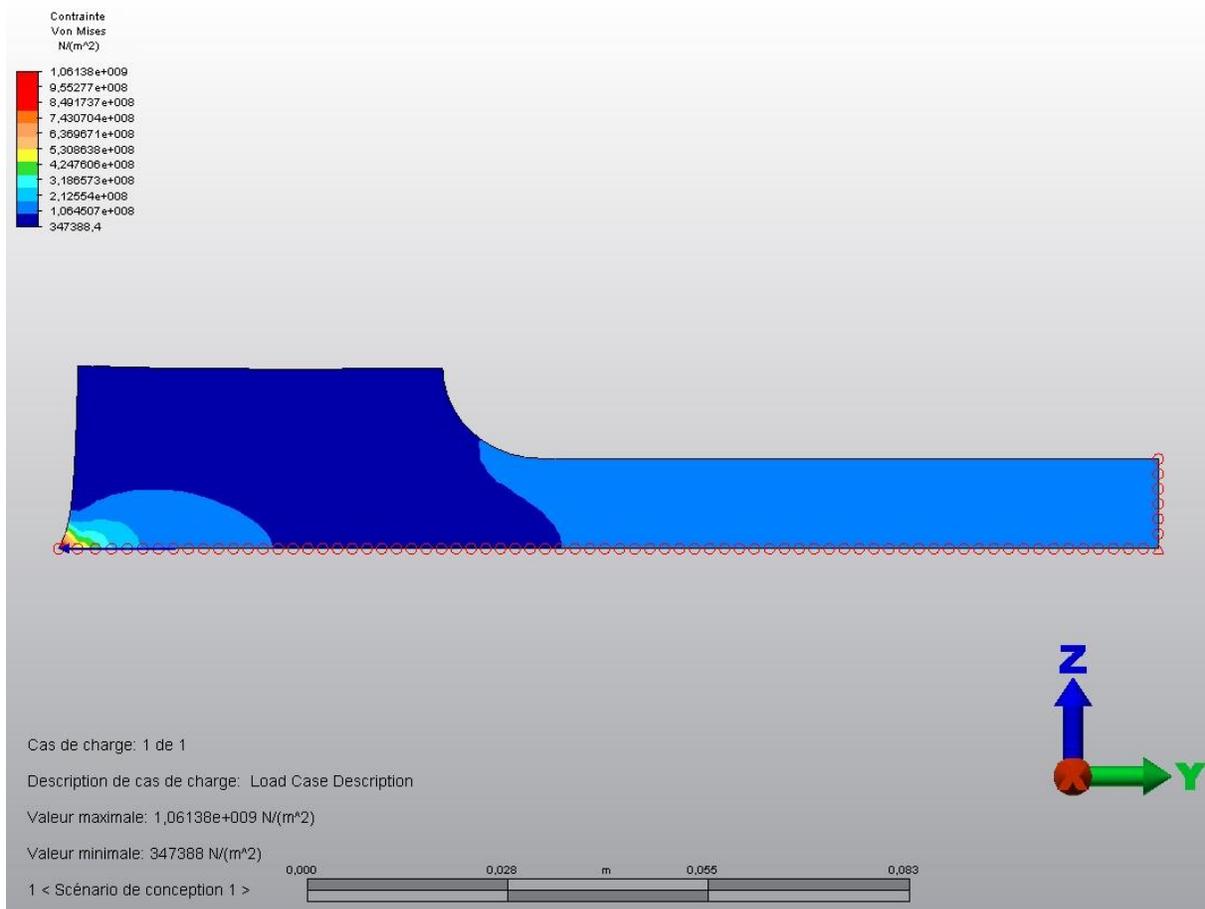
## Définition des conditions aux limites

La translation suivant y du segment [BC] est bloquée

<b>"Ajouter/Contrainte générale"</b> <b>"Ty bloquée"</b>	Sélectionner les nœuds du segment [BC] puis sélectionner « Ajouter/Contrainte générale » puis bloquer la translation Ty.
---	--

La translation suivant z du segment [AB] est bloquée

<b>"Ajouter/Contrainte générale"</b> <b>"Tz bloquée"</b>	Sélectionner les nœuds du segment [AB] puis sélectionner « Ajouter/Contrainte générale ». Bloquer la translation Tz.
---	--



**Figure 7 : Déformée et contraintes de l'éprouvette**

## Questions

- 1- Relever la contrainte de Von Mises au point B(0 ;0,144 ;0).
- 2- Commenter la répartition des contraintes, dans la zone de [BC], aux changements de section et au point d'application de la charge.
- 3- Comparer la répartition des contraintes avec la modélisation précédente (éprouvette entière) puis conclure.

### 3<sup>ème</sup> modèle : Vérification du principe de Saint-Venant

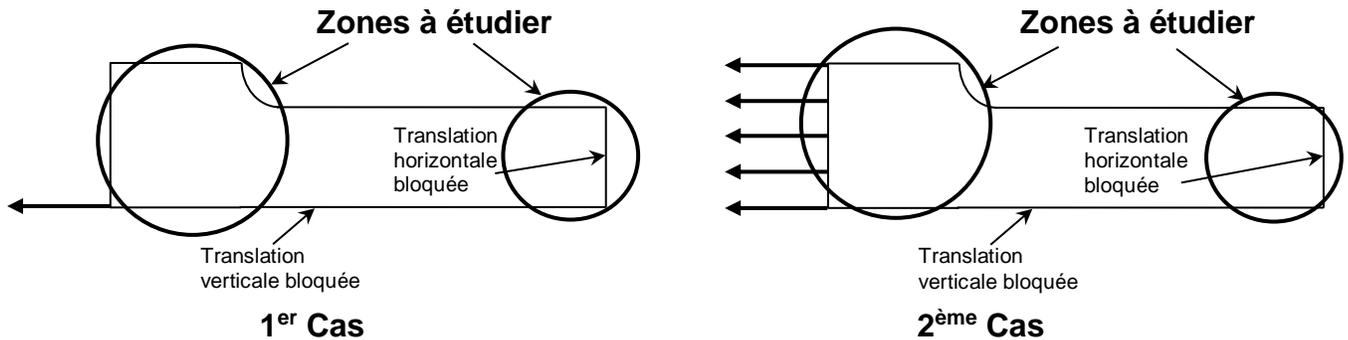
---

L'objectif de cette 3<sup>ème</sup> partie du TP de vérifier le principe de Saint-Venant.

La pièce utilisée pour cette vérification est l'éprouvette de traction en haltère, que nous venons d'étudier. Selon la conclusion précédente, la modélisation se fera uniquement sur le quart de l'éprouvette. Les dimensions et propriétés de l'éprouvette sont conservées.

Après avoir présenté le principe général de Saint-Venant, l'étude portera sur deux cas de chargement conduisant à un torseur équivalent :

- une charge ponctuelle d'amplitude 6250 N
- une charge répartie de densité de charge 250 N/mm sur une longueur de 25 mm.



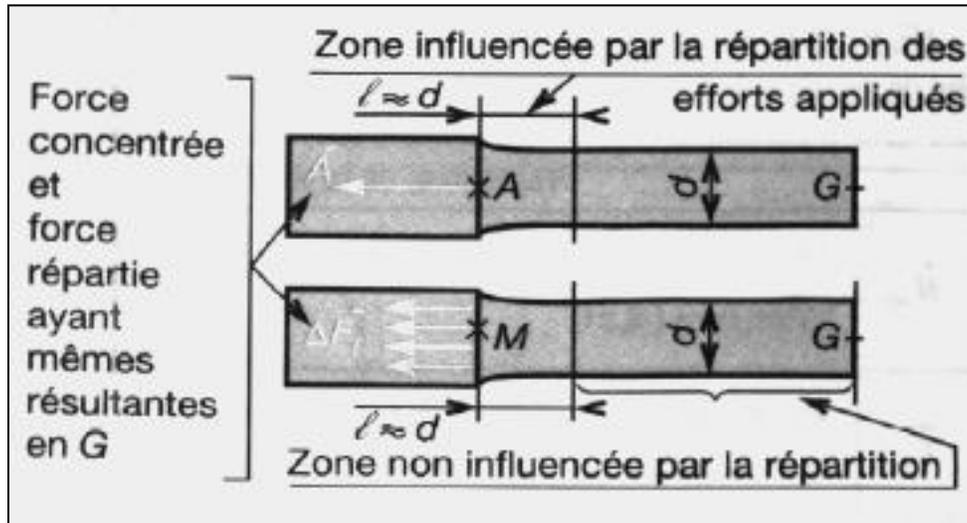
### Enoncé

---

**Loin des liaisons et des points d'application des efforts, la répartition des contraintes dans une section droite ne dépend que des éléments de réduction du torseur des efforts de cohésion.**

En effet, étant donné un solide déformable, si sur une partie  $\Sigma$  de sa frontière on remplace une distribution de forces appliquées par une autre distribution, constituant un torseur équivalent et agissant également sur  $\Sigma$ , les sollicitations restent inchangées dans toute région du solide suffisamment éloignée de  $\Sigma$ . La conséquence directe de ce principe est que les résultats obtenus par un calcul de RdM sur une poutre ne s'appliquent valablement qu'à une distance suffisamment éloignée de la région d'application des actions mécaniques extérieures concentrées et des liaisons.

En pratique on peut considérer que les résultats sont valables à partir d'une distance égale à 2 fois la plus grande dimension transversale.



## 1<sup>er</sup> cas : charge ponctuelle

La charge ponctuelle appliquée à l'extrémité gauche de l'éprouvette est horizontale et a pour amplitude 6250 N. Ce cas a déjà été étudié précédemment.

## 2<sup>ème</sup> cas : charge répartie

La charge répartie appliquée sur la partie gauche de l'éprouvette (segment [AF]) est horizontale et a pour valeur 250 N/mm.

La procédure est identique à la précédente. Voici les étapes principales :

- Ouvrir le fichier « Contour » (**Contour de l'éprouvette**) puis l'enregistrer sous « **Tp23** »
- Maillage de l'éprouvette (**Densité du maillage : 2000, triangulaire**)
- Application des conditions aux limites sur [BC] et [AB] (**Translations bloquées**)
- Application de la charge répartie sur la partie gauche (segment [AF]) de l'éprouvette (**Voir détails page suivante**).
- Propriétés de l'éprouvette (Elément 2D, même épaisseur de 5 mm, même matériau)

## Définition du cas de chargement

Pour appliquer une charge répartie avec le logiciel, il faut répartir la charge globale (ici 6250 N) sur les nœuds appartenant au segment [AF].

- Sélection/Sélectionner/Arêtes puis Sélectionner le segment [AF]
- Click droit et ajouter/ Force de l'arête (Magnitude : -6250 N suivant y)

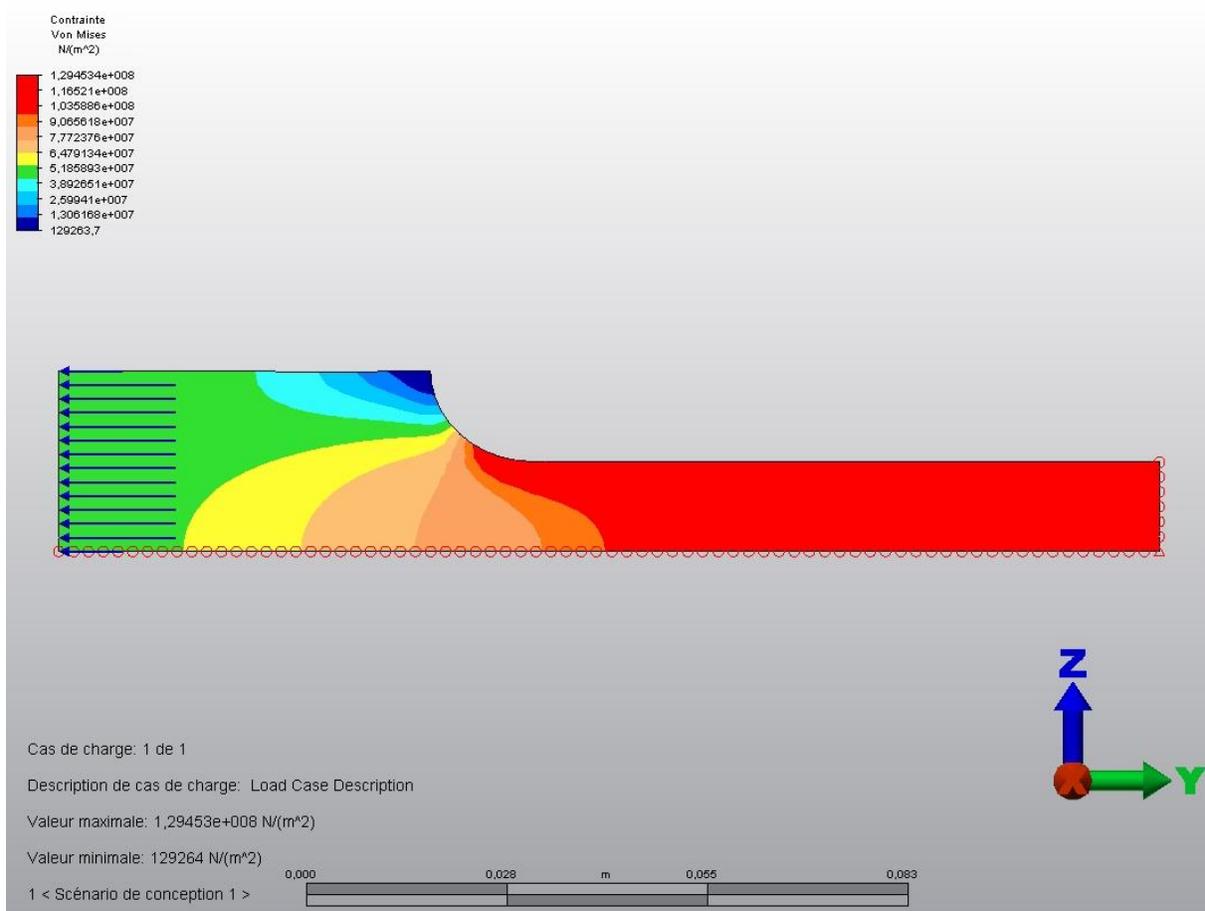


Figure 7 : Déformée et contraintes de l'éprouvette

## Questions

- 1- Comparer les 2 cas de chargement : Commenter la répartition des contraintes dans les 2 zones à étudier (au(x) point(s) d'application du chargement et à droite).
- 2- Expliquer pourquoi la contrainte est homogène et identique dans les 2 cas dans la zone à droite.