

SAE 2.05 Conception d'une pièce de sécurité

OUALI Enzo & SANCHEZ Enzo

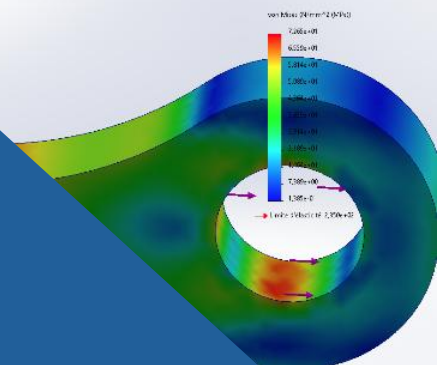
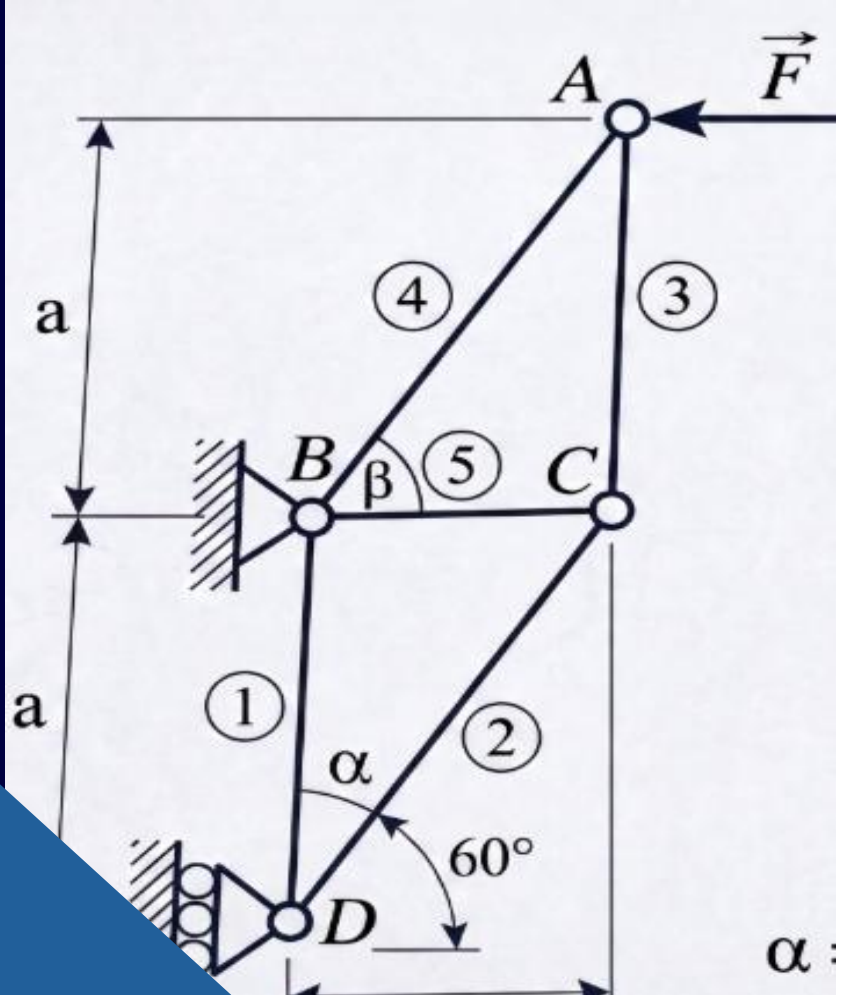


Table des matières

1	Introduction.....	2
1.1	Résolution de problèmes de statique et DDS.....	2
2	Données d'Entrée et Hypothèses	3
2.1	Paramètres géométriques	3
2.2	Chargements.....	3
2.3	Matériaux	3
3	Calculs de statique et de dimensionnement	4
3.1	PFS : on isole en B car il a le plus d’inconnu	4
3.2	Calculs des efforts de chaque barre	5
3.2.1	On isole le nœud A	5
3.2.2	On isole le nœud C	6
3.2.3	On isole le nœud D	7
3.3	Résultat étude statique	7
3.3.1	Comparaison avec le logiciel ossature.....	8
4	Calcul section minimum barre la plus chargé.....	9
5	Vérification matage.....	10
6	Verification du cisaillement	11
7	Calcul contrainte nominale.....	12
7.1	Données :.....	13
8	Résolution du problème de traction (σ_{max}).....	14
8.1	Donné de départ nous avons	14
9	Modélisation de nos pièces	19
10	Finalisation des dessins de définitions	20
11	Préparation des fichiers de découpe.....	21
12	Fiche de Contrôle.....	22
13	Essai de traction et interprétation.....	23
14	Simulation VS Calcul	24
15	Conclusion	27

1 Introduction

Pour amorcer cette SAÉ 2.05, le travail s'est concentré sur l'analyse technique d'une pièce de sécurité qui devait résister à un effort donné malgré la présence de deux alésages de liaison. Les premières séances de TP de quatre heures ont été cruciales pour poser les bases du projet et mener de front les calculs afin d'éviter tout retard par la suite. Durant cette phase, la démarche a d'abord consisté à déterminer le degré d'hyperstatisme du système et à résoudre le problème de statique en combinant expressions littérales et applications numériques. Ces résultats ont ensuite permis de calculer le torseur de cohésion et d'identifier la pièce la plus chargée en traction. Enfin, une étude de Dimensionnement des Structures a été menée pour valider la tenue de la pièce face aux critères de traction et de matage, avant de rendre l'ensemble des résultats au professeur pour clôturer cette étape clé de la conception.

1.1 Résolution de problèmes de statique et DDS

L'étude a débuté par la détermination du degré d'hyperstatisme et la résolution du problème de statique. Ce travail, combinant expressions littérales et applications numériques, a permis d'isoler le torseur de cohésion et d'identifier la pièce la plus sollicitée en traction, qui fera l'objet de la suite de la SAÉ. Enfin, une analyse de Dimensionnement des Structures (DDS) a été menée pour valider la géométrie de la pièce face aux critères de traction et de matage.

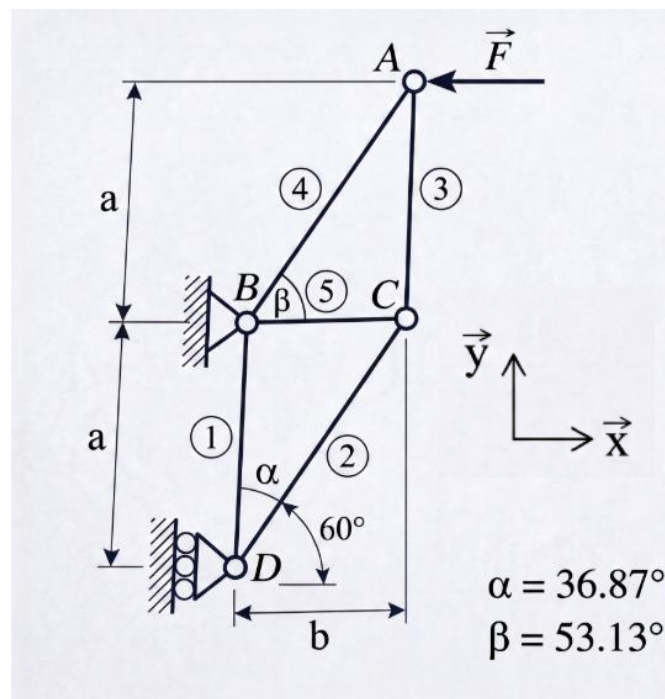


Figure 1-schéma portique vertical

2 Données d'Entrée et Hypothèses

2.1 Paramètres géométriques

Grandeur	Symbole	Valeur
Dimension horizontale	a	400 mm
Dimension verticale / longueur barres centrale	b	300 mm
Épaisseur constante des barres	e	4 mm
Angle barre 2 (barre diagonale DC)	β	53,13°
Angle barre 4 (barre diagonale AC)	α	36,87°

2.2 Chargements

Chargement	Point d'application	Direction	Valeur
Force extérieure F	Nœud A	Horizontale ($\rightarrow \bar{x}$)	750 N
Réaction en B	Nœud B	Horizontale ($\rightarrow \bar{x}$)	$x_B = 1500$ N
Réaction en D	Nœud D	Verticale ($\rightarrow \bar{y}$)	$y_D = 0$ (appui simple)

2.3 Matériaux

Composant	Matériau	Re (MPa)	E (MPa)	Padm (MPa)
Barres	Acier S235	285	200 000	530
Axes (pivots)	Acier 34CrNiMo6	780	200 000	530

3 Calculs de statique et de dimensionnement

On fait le BAME, on isole l'ensemble du treillis qui est soumis à 3 AME :

- AM Liaison ponctuelle en D en x_d 1 IS
- AM Liaison pivot en B en $x_b y_b$ 2 IS
- AM extérieur au treillis en A : $-\vec{F}\vec{x}$

$$\{T_B\} = \begin{Bmatrix} X_B \\ Y_B \\ - \end{Bmatrix}_B$$

Liaison Pivot

$$\{T_D\} = \begin{Bmatrix} X_D \\ - \\ - \end{Bmatrix}_D$$

Appuie simple

$$\{T_F\} = \begin{Bmatrix} -F \\ - \\ - \end{Bmatrix}_A$$

Force en A connue

On isole le treillis complet {1+2+3+4+5} et on applique le Principe Fondamental de la Statique (PFS) au nœud D (+ IS : isolement du solide).

3.1 PFS : on isole en B car il a le plus d'inconnu

$$\vec{X} : \vec{x}_B + \vec{X}_D - \vec{F} = 0$$

Le PFS admet 2 équations

$$\vec{Y} : 0 + Y_b + 0 = 0$$

$$\vec{X}_b + \vec{X}_d - \vec{F} = 0$$

$$\vec{X}_b + (-\vec{F}) - \vec{F} = 0$$

$$\vec{X}_b + (-2\vec{F}) = 0$$

On trouve un effort de 1500 N

$$\vec{X}_b = 2\vec{F}$$

$$\vec{X}_b = 1500 \text{ N}$$

Équation 1-Principe Fondamental de la Statique

3.2 Calculs des efforts de chaque barre

Par hypothèse de treillis (barres bi-articulées), chaque barre ne transmet qu'un effort axial N (traction si $N > 0$, compression si $N < 0$). On travaille nœud par nœud.

3.2.1 On isole le nœud A

$$\alpha = \arctan(b/a) = \arctan(300/400) = 36.87^\circ$$

Projection sur X et Y (N_2)

$$\vec{X} : N_4 * (\alpha)$$

$$\vec{Y} : -N_4 * \cos(\alpha)$$

3.2.1.1 On cherche N_4

$$\Sigma F_x = -F + N_4 * \sin(36.87) = 0$$

$$N_4 = \frac{-F}{\sin(\alpha)}$$

$$N_4 = \frac{-750}{\sin(36.87)}$$

$$N_4 = -1249.99 \text{ N}$$

Barres N_4 en Compression

Équation 2-Efforts dans les barres (N_4)

3.2.1.2 On chercher N_3

$$\Sigma F_y = -N_3 - N_4 * \cos(36.87) = 0$$

$$N_3 = -N_4 * \cos(36.87)$$

$$N_3 = 999.99 \text{ N}$$

Barres N_3 en Traction

Équation 3-Efforts dans les barres (N_3)

3.2.2 On isole le nœud C

$$\beta = \arctan(a / b) = \arctan(400 / 300) = 53,13^\circ$$

Projection sur X et Y (N_2)

$$\vec{X} : -N_2 * \cos(\beta)$$

$$\vec{Y} : -N_2 * \sin(\beta)$$

3.2.2.1 On cherche N_2

$$\Sigma F_y = N_3 + N_{2y} = 0$$

$$N_{2y} = -N_3$$

$$999.99 + N_{2y} = 0$$

$$N_{2y} = -999.99 \text{ N}$$

$$-N_2 * \sin(53.13) = 999.99$$

$$-N_2 = \frac{-999.99}{\sin(53.13)}$$

$$N_2 = +1249.98 \text{ N}$$

Barres N_2 en Traction

Équation 4-Efforts dans les barres (N_2)3.2.2.2 On cherche N_5

$$\Sigma F_x = -N_5 + (-N_2 * \cos(\beta)) = 0$$

$$-N_5 = N_2 * \cos(\beta)$$

$$N_5 = -N_2 * \cos(\beta)$$

$$N_5 = -1249.98 * \cos(53.13)$$

$$N_5 = -749.98 \text{ N}$$

Barres N_5 en Compression

Équation 5-Efforts dans les barres (N_5)

3.2.3 On isole le nœud D

$$\beta = \arctan(a / b) = \arctan(400 / 300) = 53,13^\circ$$

3.2.3.1 On cherche N_1

$$\Sigma F_y = -N_1 + [N_2 * \sin(\beta)] = 0$$

$$N_1 = [-N_2 * \sin(\beta)] = 0$$

$$-N_2 * \sin(\beta) = N_1$$

$$N_1 = -1249.98 * \sin(53.13)$$

$$N_1 = -999.99 \text{ N}$$

Équation 6-Efforts dans les barres (N_1)

Barres N_1 en Compression

3.3 Résultat étude statique

$$\vec{F}_{AC} = 999.99 \text{ N}$$

$$\overrightarrow{F_{BC}} = -749.98 \text{ N}$$

$$\overrightarrow{F_{BD}} = -999.99 \text{ N}$$

$$\overrightarrow{F_{BA}} = -1249.99 \text{ N}$$

$$\overrightarrow{F_{DC}} = 1249.98 \text{ N}$$

La barre 2 est la barre la plus chargée en traction : **$|N_2| = 1\,249,98 \text{ N}$** . C'est sur cette barre que portera le dimensionnement.

3.3.1 Comparaison avec le logiciel ossature

Pour vérifier nos résultats en parallèle des calculs de statique, nous avons réalisé l'étude sur RDM Le Mans. Nous avons donc configuré chaque point sur le logiciel pour recréer le système.

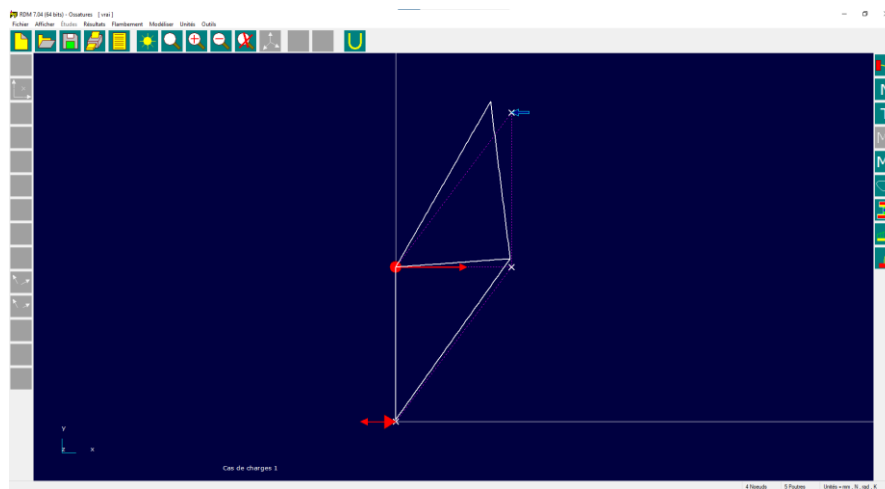


Figure 2-Screenshot d'ossature pendant la simulation

Nous avons bien configuré les efforts de 750N au point A et les liaisons entre les barres.

-----+
| RDM 7.04 (64 bits) - Ossatures |
-----+

Utilisateur : Institut Universitaire de Technologie de VILLE D'AVRAY (Hauts de Seine)

Nom du projet : vrai
Date : 17 avril 2026

-----+
| Résultats : Cas 1 |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+

-----+
| Efforts intérieurs [N N.mm] |
-----+

-----+
| Déplacements nodaux [mm, rad] |
-----+

-----+
| Action(s) de liaison [N N.mm] |
-----+<

Figure 3-Rapport généré par Ossature

Grâce à Ossature, on retrouve sur chaque barre leur effort associé et donc on valide que la barre la plus chargée est la deuxième, car chaque valeur est égale à nos calculs

4 Calcul section minimum barre la plus chargée

Le but est de trouver la section minimum sur la barre la plus chargée avec comme valeur sur notre système 750N.

D'abord, on calcule le Rpe

$$\text{On sait que } Rpe = \frac{Re}{S}$$

$$Rpe = 285/2$$

$$Rpe = 142.5 \text{ Mpa}$$

Équation 7-Résistance Pratique

Puis on calcule la contrainte

On sait que

$$\sigma_{nom} = \frac{N}{S} < Rpe$$

Équation 8-Contrainte nominale

$$N \leq Rpe * S$$

$$\frac{|N_2|}{Rpe} \leq S$$

$$\frac{1249.98}{142.5} \leq S$$

$$8.77 \text{ mm}^2 \leq S$$

Avec cette surface minimale on peut trouver Hc minimum de notre barre. Notre barre est rectangulaire donc on en extrait cette équation :

$$S = Hc * e$$

$$\text{avec } e = 4\text{mm}$$

$$\text{Donc } 8.77\text{mm}^2 \leq Hc \times 4$$

$$\frac{8.77}{4} \leq Hc$$

$$2.19\text{mm}^2 \leq Hc$$

le sujet nous indique que le Hc doit être un entier donc $Hc = 3\text{mm}$

Ce Hc correspond à la hauteur sur la partie centrale de notre treillis. Cette hauteur minimum assure qu'avec 750 N on respecte les valeurs de Rpe. Mais ce calcul des contraintes est valable uniquement sur les surfaces constantes, donc au niveau de l'extrémité de la barre où on a un changement de section, il faudra donc vérifier les concentrations de contrainte Kt (les calculs en détails dans la partie calcul Kt).

5 Vérification matage

On cherche le diamètre minimal de l'axe de liaison pivot en vérifiant la condition de non-matage. On utilise la formule de la longueur équivalente d'appui n_{eq} , qui tient compte du jeu entre l'axe et l'alésage.

Données :

$$F = 1249.98 \text{ N} \quad E_{eq} = \left[\frac{1}{2} * \left(\frac{1}{200\,000} + \frac{1}{200\,000} \right) \right]^{-1} = 200\,000 \text{ Mpa}$$

$$L = 4 \text{ mm (épaisseur de la barre)} \quad P_{adm} = 530 \text{ Mpa}$$

Étape 1 Calcul de la longueur équivalente n_{eq}

On isole la longueur équivalente n_{eq} à partir de la formule de dimensionnement au matage :

Formule littérale :

$$P = \sqrt{\frac{0.175 * F * E_{ea}}{L * r_{ea}}} \Rightarrow n_{eq} = \frac{0.175 * F * E_{ea}}{L * P_{adm}^2}$$

$$A.N.: n_{eq} = \frac{0.175 * 1249.98 * 200\,000}{4 * 530^2}$$

$$n_{eq} = 38,94 \text{ mm}$$

Équation 9-Longueur équivalente (Matage)

Étape 2 Calcul de la longueur d'appui minimale de l'axe (n_{axe_mini})

La relation entre les longueurs équivalentes tient compte du jeu entre l'axe et l'alésage

($n_{alésage_maxi} = \varnothing 6 + 0,1 \text{ IT} / 2 \approx 3,05 \text{ mm}$ par demi-alésage) :

$$\frac{1}{n_{eq}} = \frac{1}{n_{axe_mini}} - \frac{1}{n_{naxe_alésage}}$$

$$\frac{1}{n_{axe_mini}} = \frac{1}{n_{eq}} - \frac{1}{n_{naxe_alésage}} = \frac{1}{38.94} = \frac{1}{3.05}$$

$$n_{axe_mini} \approx 2.83 \text{ mm}$$

Étape 3 Détermination du diamètre minimal de l'axe

La longueur d'appui de l'axe correspond à son demi-diamètre (contact cylindrique) : $n_{axe_mini} = \varnothing_{mini} / 2$. On en déduit le diamètre minimal :

$$n_{axe_mini} = \frac{\varnothing_{mini}}{2} \Rightarrow \varnothing_{mini} = 2 * n_{axe_mini} = 2 * 2.83 = 5.66 \text{ mm}$$

$$n_{axe_mini} \approx 5,66 \text{ mm} \rightarrow \text{On retient } \varnothing = 6 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 6 \text{ mm} \geq \varnothing_{mini} = 5,66 \text{ mm} \text{ VALIDÉ donc Axe } \varnothing 6 \text{ mm retenu, pas de risque de matage}$$

6 Verification du cisaillement

Cisaillement sur les axes

→ on commence par calculer la résistance pratique au glissement :

$R_{pg} = \frac{R_e}{S} \Leftrightarrow R_{pg} = \frac{780}{3} \Leftrightarrow R_{pg} = 260 \text{ Mpa}$

on imagine un cisaillement simple → axe couper à l'endroit.

→ on sait que $\tau = \frac{T}{S}$ → effort constants → surface.

→ on s'intéresse toujours à la barre 2 donc l'effort $T = N_2 = 1249,58 \text{ N}$

→ calcul de S la surface.

→ on prendra le diamètre le plus petit.

$\phi_{axe} = 6 \text{ mm}$

→ $S_{axe} = \frac{\pi \times \phi^2}{4} \Leftrightarrow S_{axe} = \frac{\pi \times 6^2}{4} \Leftrightarrow S_{axe} = 28,27 \text{ mm}^2$

→ on calcule la contrainte τ (Mpa)

$\tau = \frac{1249,58}{28,27} \Leftrightarrow \tau = 22,10 \text{ Mpa}$

$\tau (22,10 \text{ Mpa}) < R_{pg} (260 \text{ Mpa})$

→ donc ok.

→ c'est validé l'axe de 6mm ne risque pas de casser.

→ mettre la partie du cours

Figure 4-Cisaillement sur l'axe

On trouve $22 \text{ Mpa} < 260 \text{ Mpa} (R_{pg})$

Donc grâce au calcul on a validé la taille de notre Axe 6mm

7 Calcul de l'allongement de la barre N2

→ on calcul l'allongement de la barre 2.

on sait qait que $\frac{\Delta L}{\square} = \frac{N \cdot L}{E \cdot S}$
 → calcul avec surface centrale.

essayer avec la S metre.

$$\Delta L_2 = \frac{N_2 \cdot L_2}{E_{\text{barre}} \cdot S_{\text{centrale}}}$$

↓

$N_2 = 1249,98 \text{ N}$
 $L_2 = b = 300 \text{ mm}$
 $E_{\text{barre}} = 200\,000 \text{ MPa}$
 $S_{\text{centrale}} = 12 \text{ mm}^2$

$$\Delta L_2 = \frac{1249,98 \times 300}{200\,000 \times 12}$$

$\Delta L_2 = 0,15 \text{ mm}$

Équation 10-calcul de l'allongement

L'allongement n'est pas assez grand pour que ce soit une variable à prendre en compte pour le reste de la Saé, mais cette partie est importante pour la DDS

8 Calcul contrainte nominale

Pour le calcul de la contrainte sur la section centrale, c'est assez simple, le plus dur vient des calculs des concentrations de contrainte.

8.1 Données :

$$Hc = 3mm$$

$$e = 4mm$$

$$F = 1250 N$$

Pour calculer la contrainte σ_{nom} on utilise la formule suivante :

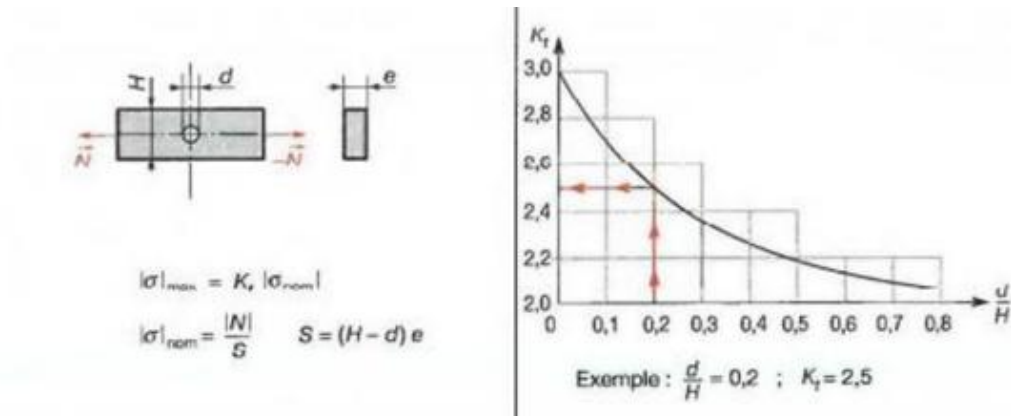
$$\sigma_{nom} = \frac{F}{S}$$

Pour la surface, on calcule $Hc * e$ donc $4 * 3 = 12mm^2$

$$A.N = \frac{1250}{12} = 104.17 Mpa (< 142.5 = Rpe)$$

9 Résolution du problème de traction (σ_{max})

Nous avons trouvé la contrainte nominale au sein de notre éprouvette mais cette contrainte ne correspond pas à la réalité car nous avons un perçage, donc les concentrations de contrainte entre en jeu c'est pour cela en s'aidant des abaques.



9.1 Donnée de départ nous avons

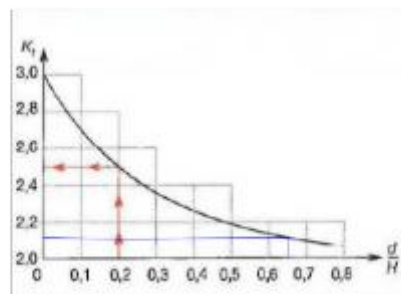
$$d = 6mm$$

$$e = 4mm$$

$$N = 1250$$

$$H_c = 3mm \text{ (H correspond donc a } d + H_c) \quad H = 9mm$$

Donc $\frac{d}{H} \approx 0.667$ on trace on obtient ≈ 2.1 pour K_t



On applique à la formule $\sigma_{nom} * K_t = \sigma_{max}$

Équation 11-Concentration de contraintes (K_t)

$$\approx 104 \text{ Mpa} * 2.1 \approx 208 \text{ Mpa} > R_{pe} (142.5 \text{ Mpa})$$

On a un problème notre contrainte max est supérieure au R_{pe} donc il nous reste à jouer sur le paramètre que l'on a le droit de modifier H_c on fait par itération donc on essaye avec :

$$H_c = 4mm$$

$$H = (6 + 4) = 10mm$$

Le kt va changer mais le changement le plus important est la surface de la section

$$(1250 \text{ N} / (4\text{mm} * 4\text{mm})) * 2.15 \approx 168 \text{ Mpa} > Rpe (142.5 \text{ Mpa})$$

Toujours pas bon avec $H_c = 4\text{mm}$ donc on essaye un peu plus soit $H_c = 5\text{mm}$

$$H_c = 5\text{mm} \text{ Ducoup } H = (6 + 5) = 11\text{mm}$$

Le kt va changer mais le changement le plus important est la surface de la section

$$(1250 \text{ N} / (4\text{mm} * 5\text{mm})) * 2.17 \approx 134 \text{ Mpa} < Rpe (142.5 \text{ Mpa})$$

Avec un H_c de 5 nous avons une valeur qui nous convient on ne pourra pas plus optimiser car on doit rester sur une valeur ronde

Ce qui nous a permis crée la mise en plan de l'éprouvette :

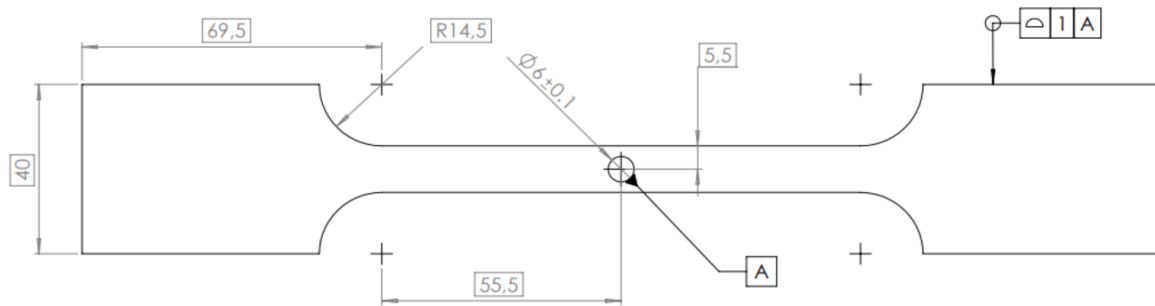


Figure 6-Mise en plan de l'éprouvette

D : Grande largeur	12	cm
d : Petite largeur	3	mm
r : Rayon de l'épaulement	15	mm

Calculer

Rapport d/D :	d/D =	0.025
Hauteur de l'épaulement t :	t =	58.5
Coefficient de concentration de contrainte :	K_t =	1.094

Figure 5-obtention du K_t grâce à Meca Tool

On doit vérifier si au niveau du changement de section on n'aura pas un k_t supérieur car le K_t change à chaque changement de section cette fois grâce à un site internet

On a un K_t de 1.317 ce qui est inférieur au k_t 2.17 que l'on a trouvé au niveau du perçage donc on assure que la casse sera bien au niveau de la zone étudié.

Maintenant intéressons nous à l'extrémité de notre treillis la forme n'est pas la même que notre éprouvette donc elle suit une autre règle un nouvel abaque :

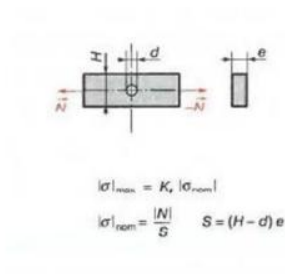


Figure 7-paramètre de départ

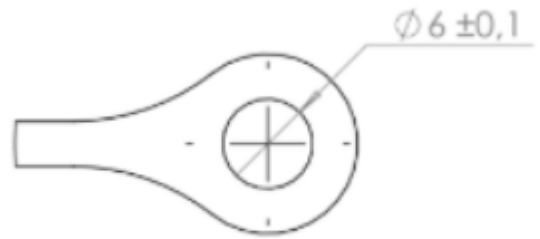
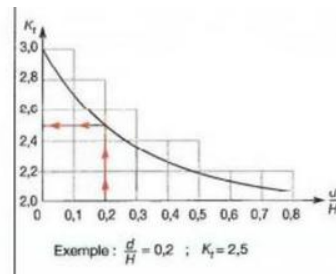


Figure 8-Extrémité treillis

$$H = 5.5 \text{ mm (11mm / 2)}$$

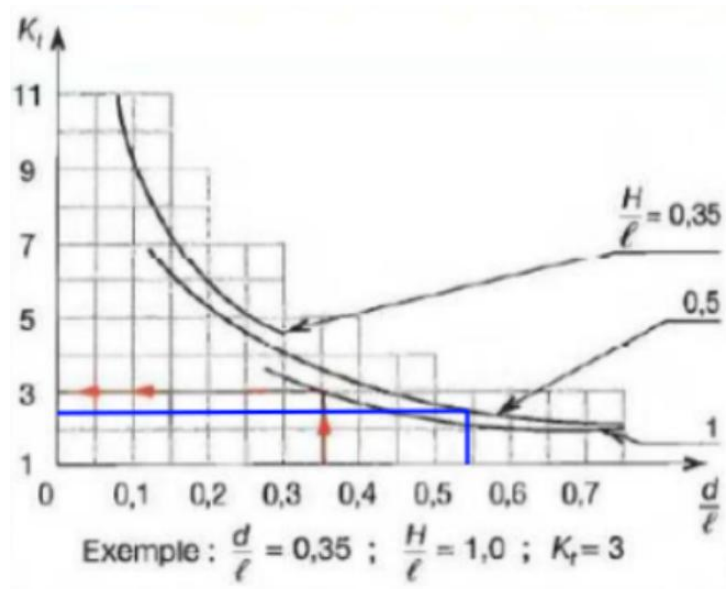
$$l = 11$$

$$d = 6$$

$$e = 4$$

$H/l = 5.5/11 = 0.5$ donc on suit la courbe du milieu

$d/l = 6/11 \approx 0.54$ ça nous permet de tracer :



On obtient un K_t de ≈ 2.4

On réalise le calcul pour contrainte max

$$(1250 \text{ N} / (4\text{mm} * 5\text{mm})) * 2.4 \approx 150 \text{ Mpa} > R_{pe} (142.5 \text{ Mpa})$$

Comme pour l'éprouvette on trouve une valeur non valable alors on teste en augmentant le paramètre modifiable $l = 12\text{mm}$

$$H = 6 \text{ mm}$$

$$L = 12\text{mm}$$

$$K_t = 2.7$$

$$(1250 \text{ N} / (4\text{mm} * 6\text{mm})) * 2.7 \approx 140.6 \text{ Mpa} < R_{pe} (142.5 \text{ Mpa})$$

Cette fois si c'est bon avec une largeur de 12 mm grâce au calcul on peut valider notre dimensionnement théorique et donc appliquer cette valeur à notre treillis (mise en plan)

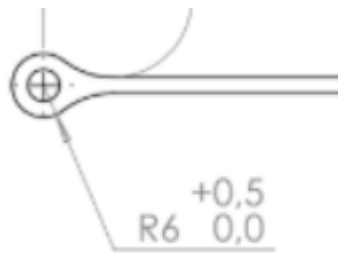


Figure 9-mise en plan treillis

10 Modélisation de nos pièces

Nous avons réalisé des croquis cotés papiers et numériques définissant la forme des deux pièces (réelle et essai de la pièce la plus sollicitée en traction donc). Ces croquis ont été faits à l'échelle et à la règle et sur SolidWorks, ce qui nous a permis de déterminer les formes et dimensions des pièces. Ensuite, nous avons utilisé des logiciels de CAO SolidWorks pour modéliser les deux versions des pièces (réelle et essai) et donc réaliser les dessins de définition en respectant les règles et méthodes de cotation.

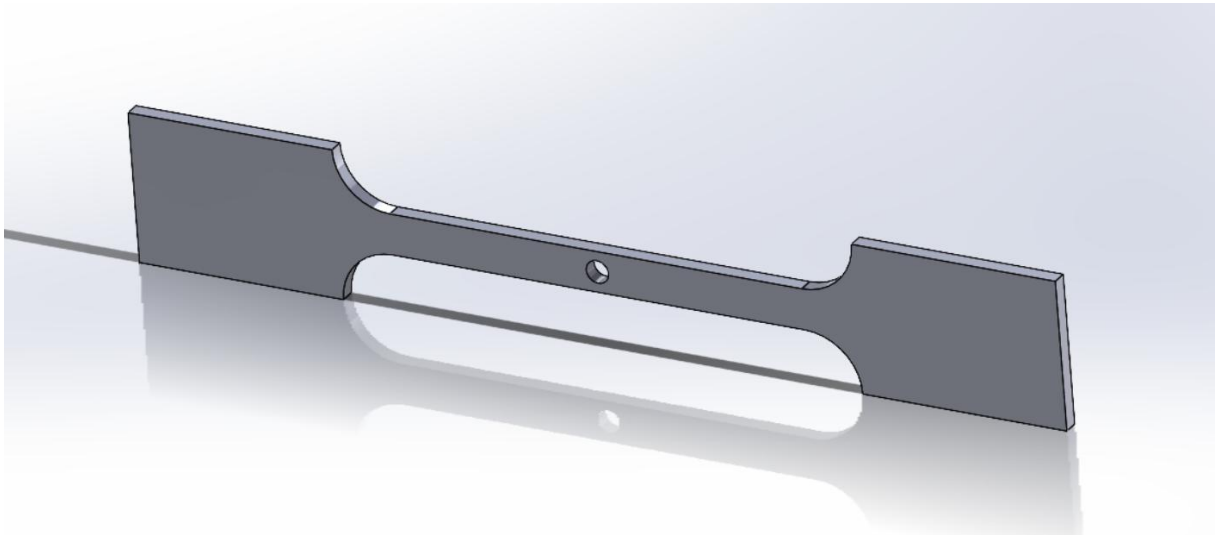


Figure 10-CAO de L'éprouvette

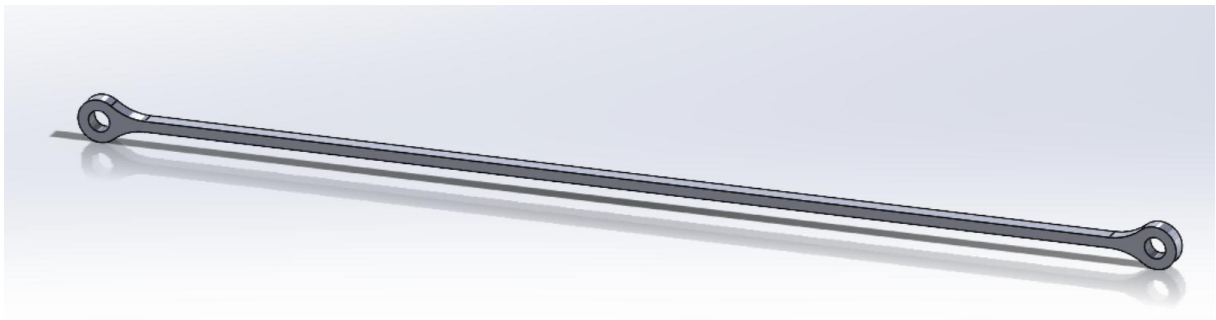


Figure 11-CAO du treillis

11 Finalisation des dessins de définitions

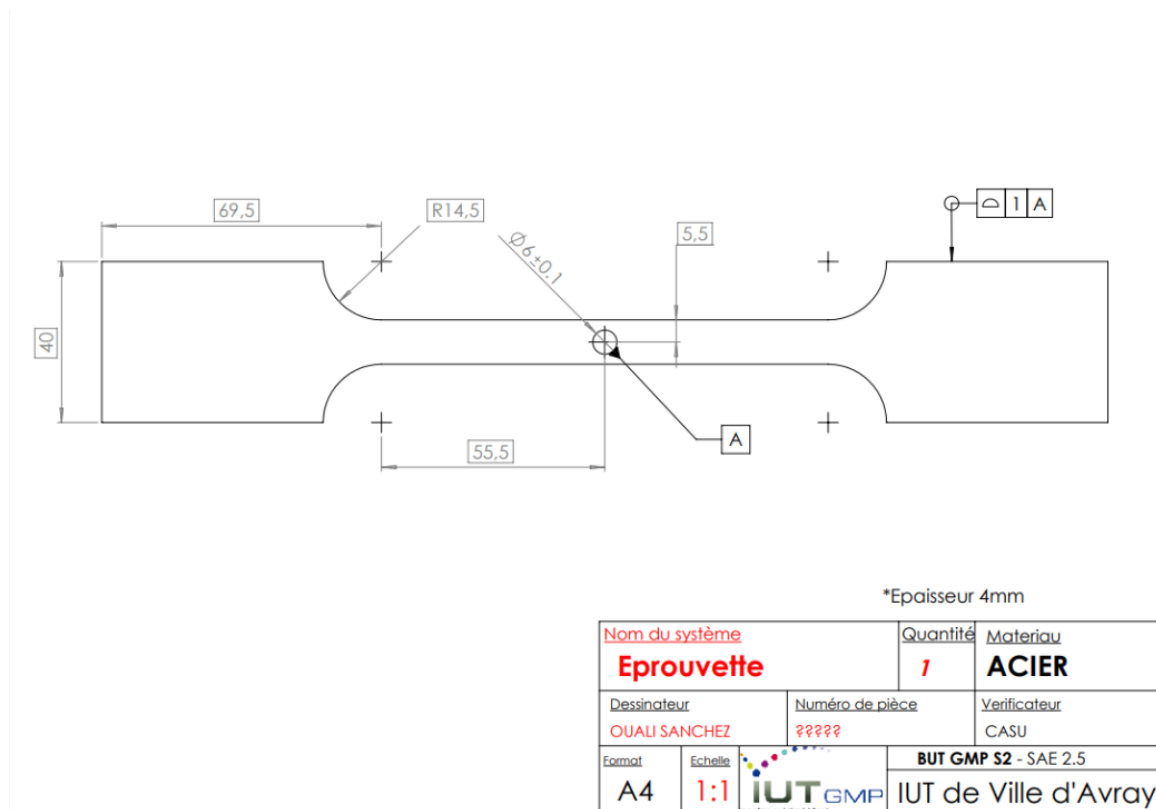


Figure 13-Dessin technique de l'éprouvette

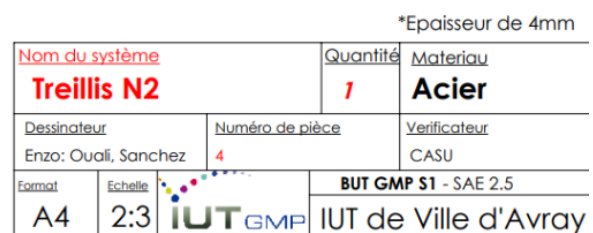
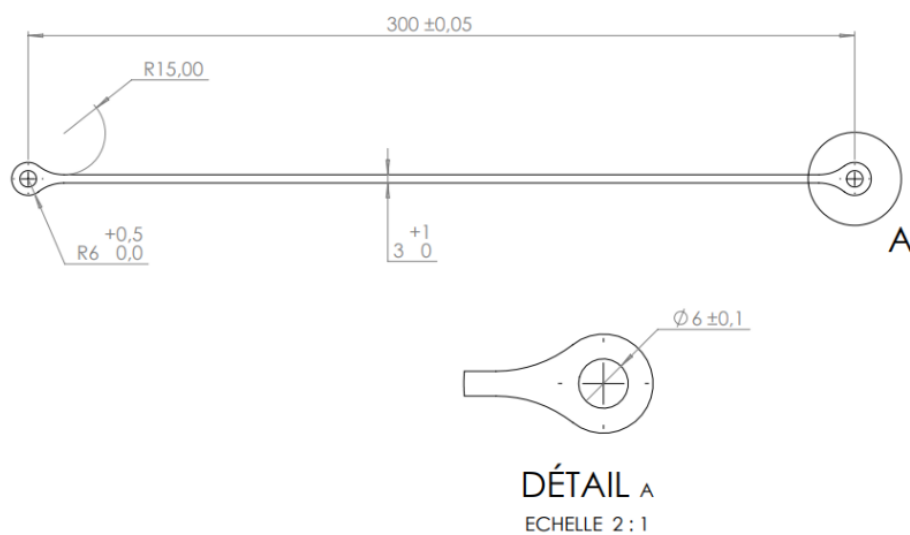


Figure 12 Dessin technique du treillis

12 Préparation des fichiers de découpe

Pour créer les éprouvettes, nous allons réaliser une découpe laser. Pour cela, nous avons réalisé plusieurs fichiers CypCut : celui de notre pièce seule pour bien paramétrer les entrées et les surépaisseurs, et par la suite un fichier panoplie incluant toutes les éprouvettes du TD sur une plaque. On a optimisé au maximum le CUM pour obtenir 49% d'utilisation et obligatoirement une deuxième plaque avec 5 pièces dessus. Cela est dû à la géométrie de l'éprouvette qui oblige à une perte de matière assez visible avec une image de notre panoplie.

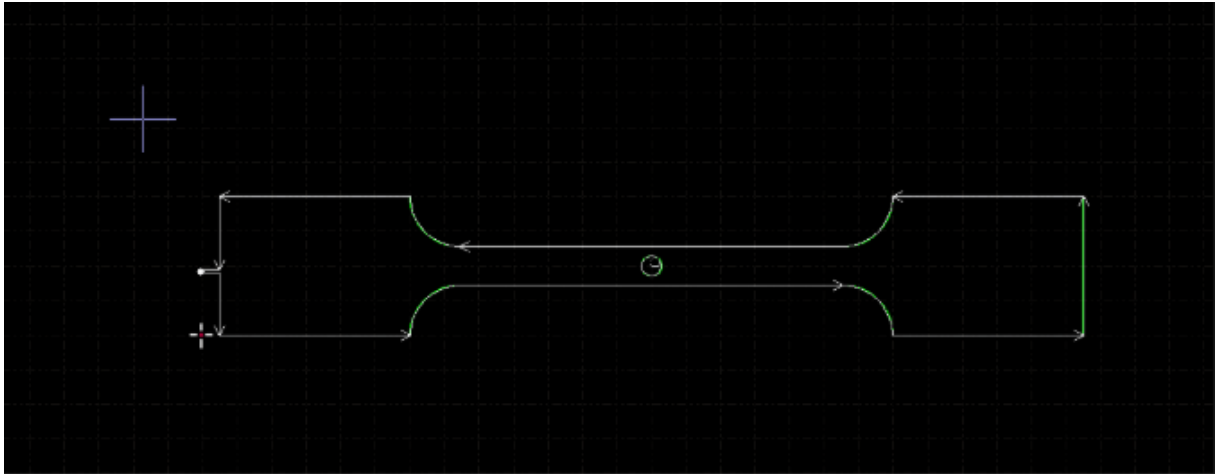


Figure 15-Eprouvette sur CypCut

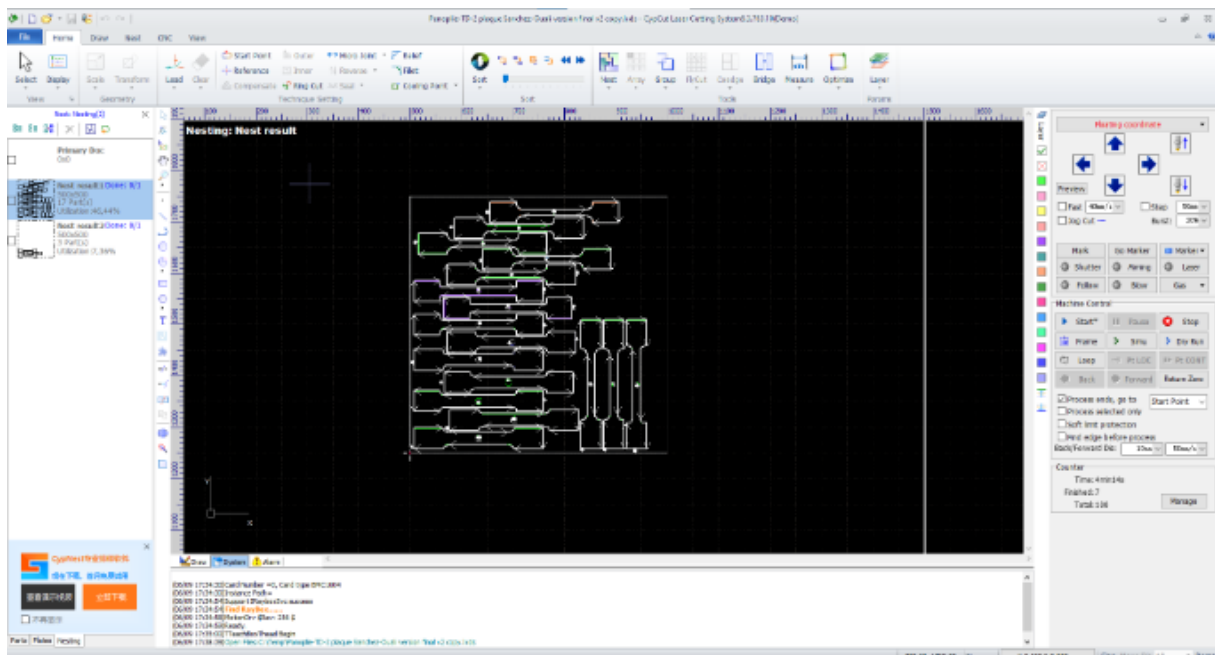


Figure 14-Screenshot de notre panoplie

PS : Notre panoplie a été sélectionnée pour la découpe des pièces

13 Fiche de Contrôle

Après la découpe, nous avons effectué le contrôle de la pièce à l'aide de la fiche de contrôle :

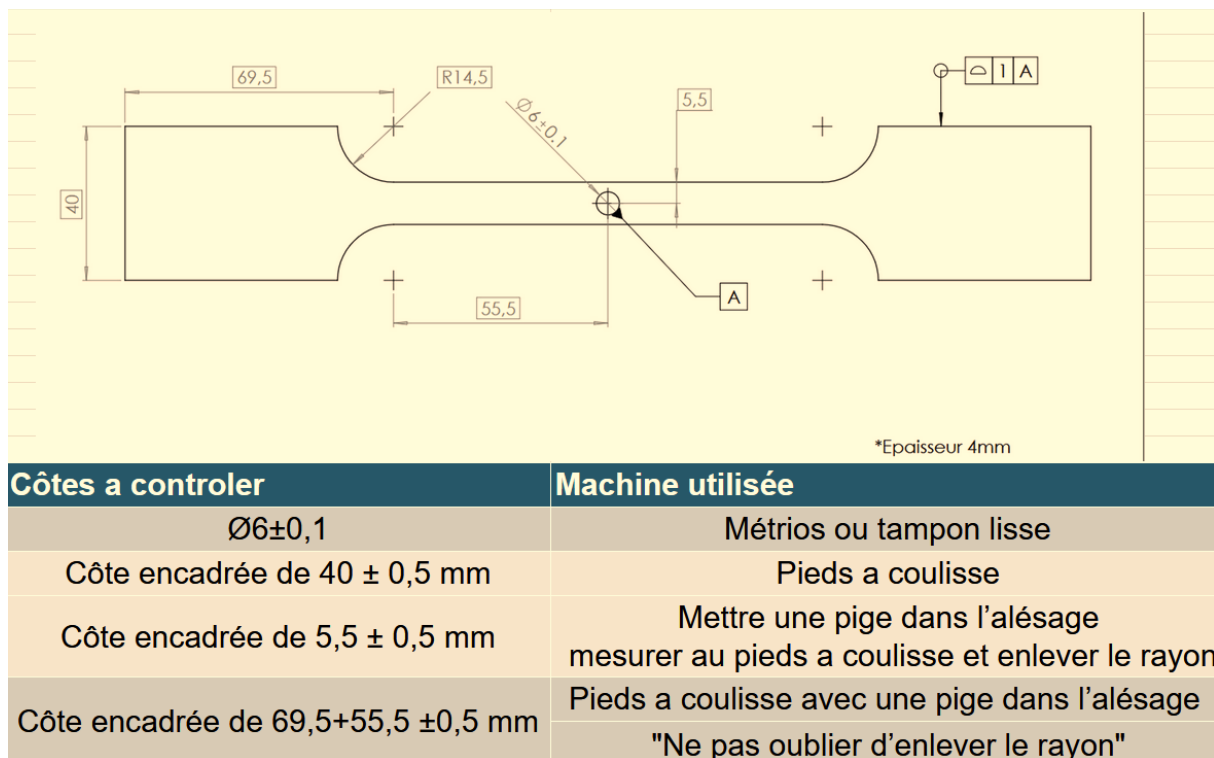


Figure 16- Fiche de contrôle

14 Essai de traction et interprétation

Nous avons réalisé un essai de traction et interprété les résultats pour les comparer avec nos attentes calculées en DDS.

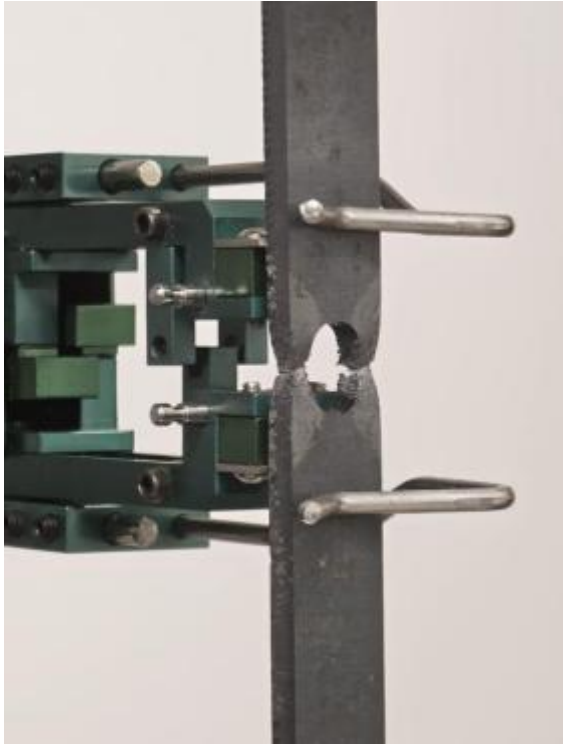


Figure 18-Pièce cassée sur banc d'essai



Figure 17-pièce cassée

Après avoir découpé notre pièce au laser, puis ébavuré nos éprouvettes, nous sommes allés en laboratoire de RDM pour réaliser un test de traction sur deux éprouvettes : une sans trou et la nôtre. Après l'analyse de nos données, nous avons créé un graphe pour comparer les éprouvettes pour avoir la déformation par rapport à la contrainte.

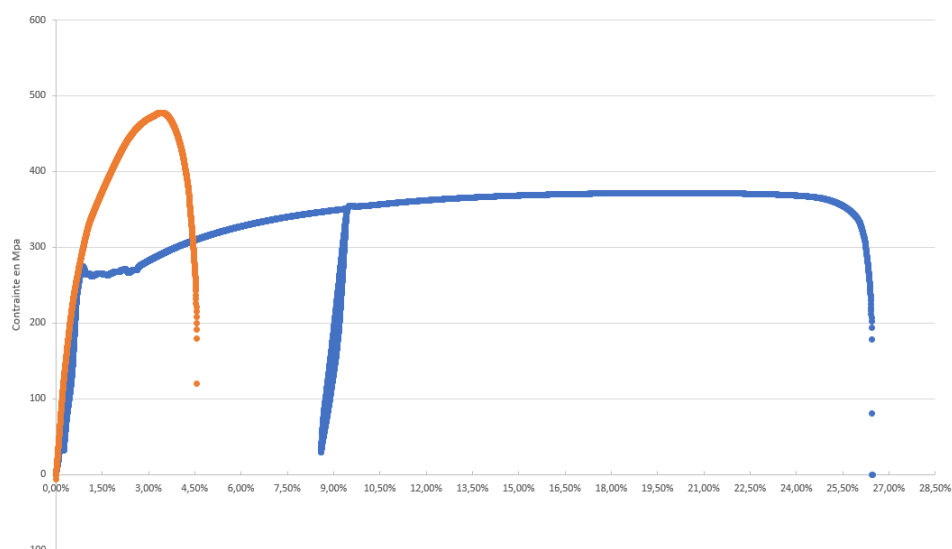


Figure 19-Graphique déformation par rapport à la contrainte

15 Simulation VS Calcul

Dans la dernière partie de la SAE, nous allons nous intéresser à la comparaison entre les calculs et la simulation. Donc, pour cela, on a créé un Excel qui réunit toutes nos valeurs et simplifie les calculs répétitifs, surtout pour faire des graphes de comparaison.

Eprouvette				Treillis trou			
N	contrainte max ca	Contrainte max simulé (Mpa)	Difference	N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)	Difference
5000	495,45		#DIV/0!	5000	552,08		#DIV/0!
2000	198,18		#DIV/0!	2000	220,83		#DIV/0!
1500	148,64		#DIV/0!	1500	165,63		#DIV/0!
1250	123,86		#DIV/0!	1250	138,02		#DIV/0!
1000	99,09		#DIV/0!	1000	110,42		#DIV/0!
750	74,32		#DIV/0!	750	82,81		#DIV/0!
500	49,55		#DIV/0!	500	55,21		#DIV/0!
250	24,77		#DIV/0!	250	27,60		#DIV/0!

treillis section central				Treillis rayon			
N	contrainte max ca	Contrainte max simulé (Mpa)	Difference	N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)	Difference
5000	416,67		#DIV/0!	5000	455,42		#DIV/0!
2000	166,67		#DIV/0!	2000	182,17		#DIV/0!
1500	125,00		#DIV/0!	1500	136,63		#DIV/0!
1250	104,17		#DIV/0!	1250	113,85		#DIV/0!
1000	83,33		#DIV/0!	1000	91,08		#DIV/0!
750	62,50		#DIV/0!	750	68,31		#DIV/0!
500	41,67		#DIV/0!	500	45,54		#DIV/0!
250	20,83		#DIV/0!	250	22,77		#DIV/0!

Figure 20-Tableau de comparaison sans les valeurs de simulation

Avec cette base, il nous reste à faire la simulation sur SolidWorks

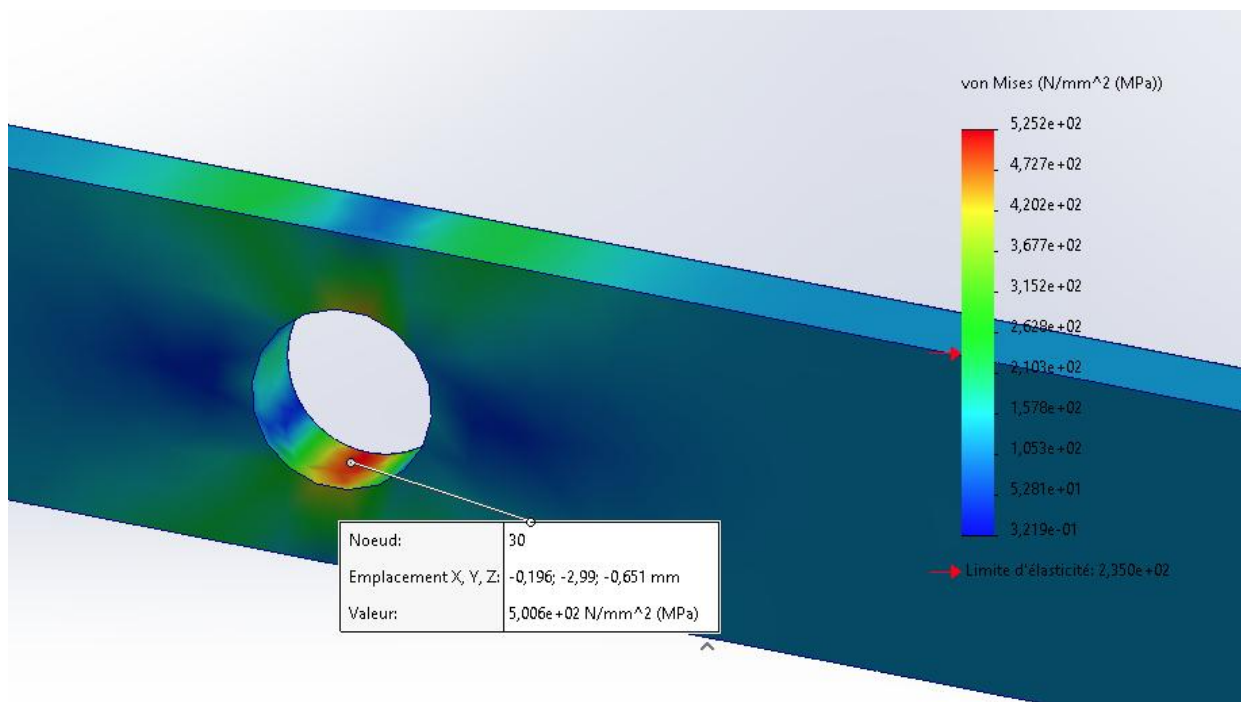


Figure 21-Illustration simulation trou de l'éprouvette

Là on peut voir une simulation qui nous donne la contrainte à un endroit précis (dans ce cas le perçage de l'éprouvette). La simulation a été réalisée avec 5000N et on sonde pour obtenir 500,6 MPa, et avec les calculs théoriques nous avons 495,45 MPa, donc une différence de $\approx 1\%$. Maintenant, on répète l'opération pour toutes nos forces et on obtient ce tableau :

SAÉ 2.5 – Conception d’une pièce de sécurité

N	Epreuve		Diference
	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)	
5000	495,45	500,6	1%
2000	198,18	200	1%
1500	148,64	150	1%
1250	123,86	125	1%
1000	99,09	99,52	0%
750	74,32	74,64	0%
500	49,55	50,06	1%
250	24,77	24,88	0%

Figure 22-Tableau remplie pour le trou de l'éprouvette

Maintenant nous devons faire la même chose pour chaque partie que l'on étudie :

- treillis trou
- treillis rayon
- treillis section centrale

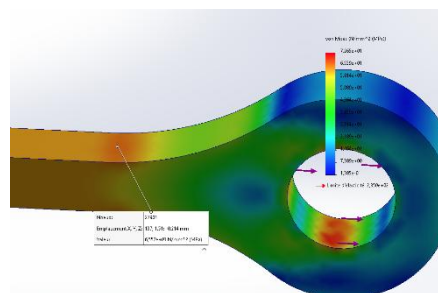


Figure 23-Illustration simulation extrémité treillis

Maintenant on possède toutes les valeurs de chaque partie de nos deux pièces, on obtient un tableau et la chose la plus marquante qui en ressort, c'est une assez forte ressemblance sauf pour une : le trou du treillis.

N	Epreuve		Diference			
	contrainte max ca	Contrainte max simulé (Mpa)		N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)
5000	495,45	500,6	1%	5000	552,08	473,90
2000	198,18	200	1%	2000	220,83	189,92
1500	148,64	150	1%	1500	165,63	142,44
1250	123,86	125	1%	1250	138,02	118,5
1000	99,09	99,52	0%	1000	110,42	94,95
750	74,32	74,64	0%	750	82,81	71,22
500	49,55	50,06	1%	500	55,21	47,48
250	24,77	24,88	0%	250	27,60	23,74

N	treillis section central		Diference			
	contrainte max ca	Contrainte max simulé (Mpa)		N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)
5000	416,67	417,08	0%	5000	455,42	432,65
2000	166,67	166,83	0%	2000	182,17	173,06
1500	125,00	125,13	0%	1500	136,63	129,79
1250	104,17	104,27	0%	1250	113,85	108,16
1000	83,33	83,42	0%	1000	91,08	87,02
750	62,50	62,56	0%	750	68,31	64,90
500	41,67	41,71	0%	500	45,54	43,26
250	20,83	20,85	0%	250	22,77	21,63

N	Treillis trou		Diference			
	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)		N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)
5000	552,08	473,90	-16%	5000	455,42	432,65
2000	220,83	189,92	-16%	2000	182,17	173,06
1500	165,63	142,44	-16%	1500	136,63	129,79
1250	138,02	118,5	-16%	1250	113,85	108,16
1000	110,42	94,95	-16%	1000	91,08	87,02
750	82,81	71,22	-16%	750	68,31	64,90
500	55,21	47,48	-16%	500	45,54	43,26
250	27,60	23,74	-16%	250	22,77	21,63

N	Treillis rayon		Diference			
	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)		N	contrainte max calculé (Mpa)	Contrainte max simulé (Mpa)
5000	455,42	432,65	-5%	5000	455,42	432,65
2000	182,17	173,06	-5%	2000	182,17	173,06
1500	136,63	129,79	-5%	1500	136,63	129,79
1250	113,85	108,16	-5%	1250	113,85	108,16
1000	91,08	87,02	-5%	1000	91,08	87,02
750	68,31	64,90	-5%	750	68,31	64,90
500	45,54	43,26	-5%	500	45,54	43,26
250	22,77	21,63	-5%	250	22,77	21,63

Figure 24-Tableau remplie avec les valeurs des calcul et simulation

Donnée		
Kt tôle	2,18	
Kt bord	2,65	
Kt rayon	1,093	
Surface (mm²) eprouvette		12
Surface (mm²) treilli		22
	24	24

Figure 25-Tableau donnée : constante

SAÉ 2.5 – Conception d'une pièce de sécurité

Avec ces valeurs sur Excel, nous pouvons réaliser des graphiques pour chaque partie analysée.

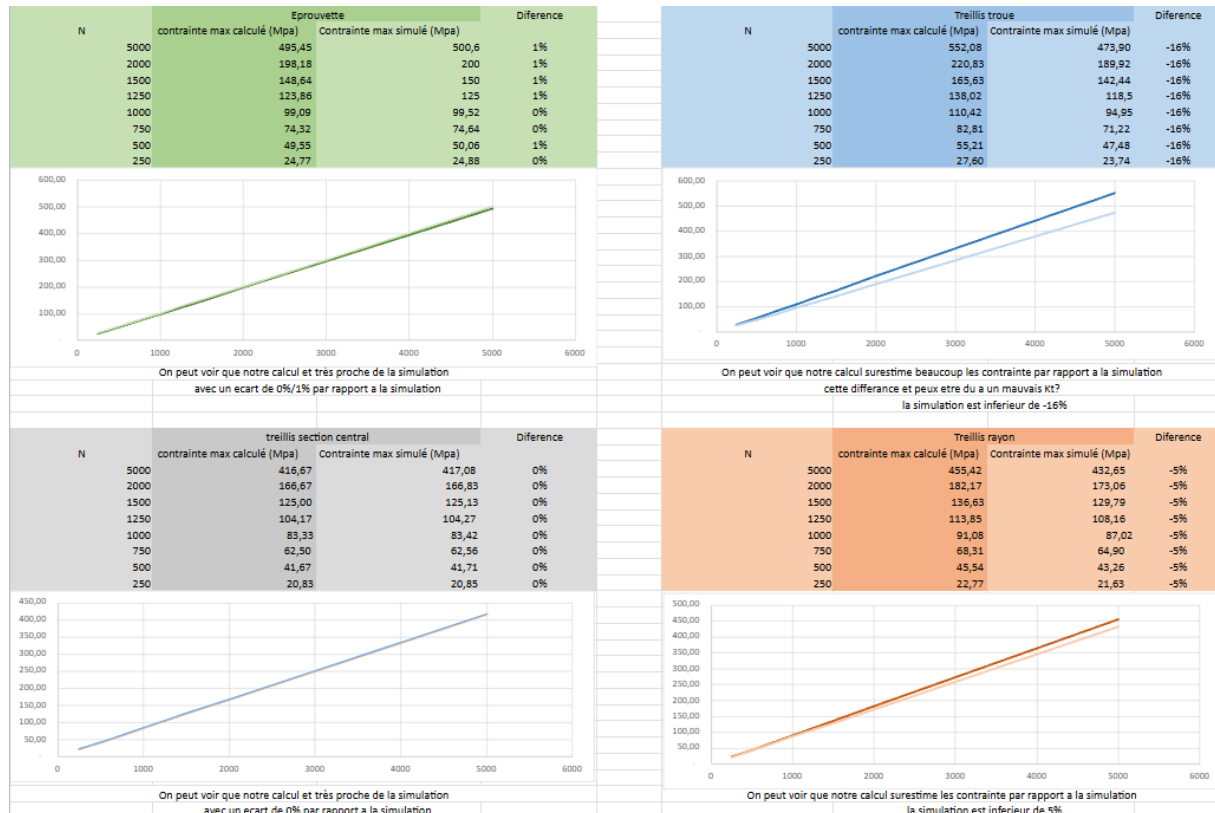


Figure 26-Tableau et graphique de la différence entre simulé et calculé

Donc dans deux cas nous avons un calcul et une simulation quasiment égaux pour l'éprouvette et la section centrale du treillis. Par contre, sur l'analyse de la différence de section entre la partie centrale, on a une différence de 5%. Par contre, l'endroit avec la plus grande différence est au niveau du perçage de l'extrémité du treillis avec 16% de différence.

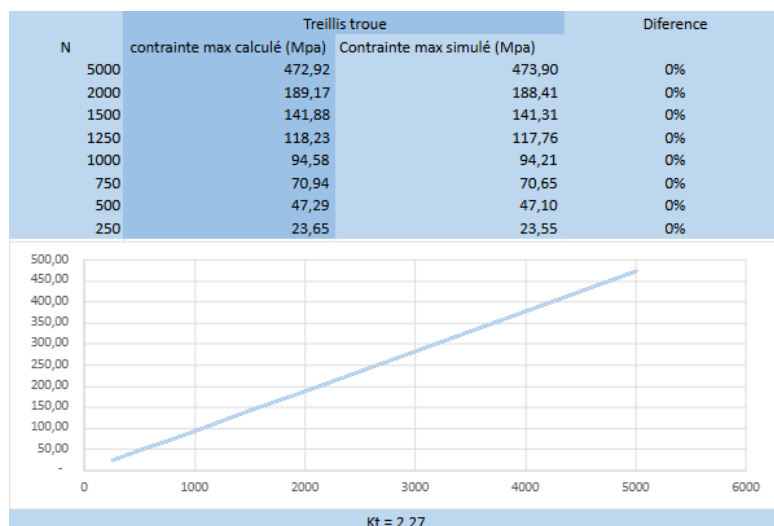


Figure 27-Tableau avec Kt modifier pour que ça corresponde

Pour essayer de corriger cette erreur, je me suis demandé si en modifiant la valeur du Kt on obtient un résultat cohérent. Donc peut-être qu'il y a un problème de Kt dans nos valeurs calculées.

Donc peut-être pour le calcul, la valeur de Kt qui correspond aux simulations SolidWorks serait de 2,27.

Conclusion : Les résultats que nous avons obtenus par rapport à la simulation sont assez semblables. Cela nous permet de réaliser que les calculs théoriques ont des caractéristiques similaires aux simulations, qui sont, par définition, plus précises. Peut-être que la différence qui se forme est due à la valeur de Kt qui n'est pas très précise en raison de la lecture des abaques.

16 Conclusion

Cette SAÉ a permis de mener une démarche complète d'ingénierie, allant de l'analyse théorique à la validation expérimentale d'une pièce de sécurité. La première phase de calculs analytiques (résolution statique, traction, matage et cisaillement) a défini un dimensionnement optimal tout en intégrant l'impact direct des concentrations de contraintes.

La concrétisation de l'éprouvette et du treillis, via la modélisation CAO, l'optimisation de la découpe laser et le contrôle métrologique, a confirmé la faisabilité technique du modèle. Enfin, la confrontation entre les essais mécaniques de traction sur banc expérimental, les calculs théoriques et les simulations numériques a démontré la fiabilité globale du dimensionnement. Si les contraintes obtenues sont globalement très semblables, l'écart maximal de 16 % relevé au niveau du perçage illustre parfaitement les limites de précision due à la lecture graphique des abaques pour le K_t . Ce projet valide non seulement la géométrie de la pièce étudiée, mais consolide également une méthodologie, de l'étude statique initiale jusqu'à la production d'une pièce réelle, consolidant des compétences essentielles pour la conception et l'optimisation en bureau d'études.

Note personnelle (Enzo Sanchez Sartori) : cette SAÉ m'a vraiment fait un déblocage sur la compréhension du dimensionnement des structures grâce aux contraintes appliquées sur la pièce, et m'a permis de comprendre la logique de la contrainte par rapport à la section, ainsi que les K_t .

Note personnelle (Enzo Ouali) : cette SAÉ m'a permis de me conforter dans mes connaissances sur le dimensionnement des structures (DDS). De plus, il y a eu une approche intéressante en RDM, en mettant l'accent sur la comparaison entre les calculs et la simulation.

17Tables

17.1Tables des Figures

Figure 1-schéma portique vertical.....	2
Figure 2-Screenshot d’ossature pendant la simulation.....	8
Figure 3-Rapport généré par Ossature.....	8
Figure 4-Cisaillement sur l'axe.....	11
Figure 5-obtention du Kt grâce à Meca Tool	16
Figure 6-Mise en plan de l'éprouvette	16
Figure 7-paramètre de départ.....	17
Figure 8-Extrémité treillis	17
Figure 9-mise en plan treillis	18
Figure 10-CAO de L'éprouvette	19
Figure 11-CAO du treillis.....	19
Figure 12Dessin technique du treillis	20
Figure 13-Dessin technique de l'éprouvette	20
Figure 15-Eprouvette sur CypCut.....	21
Figure 14-Screenshot de notre panoplie.....	21
Figure 16- Fiche de contrôle.....	22
Figure 17-pièce cassée	23
Figure 18-Pièce cassée sur banc d'essai	23
Figure 19-Graphique déformation par rapport à la contrainte	23
Figure 20-Tableau de comparaison sans les valeurs de simulation.....	24
Figure 21-Illustration simulation troue de l’éprouvette	24
Figure 22-Tableau remplie pour le trou de l’éprouvette	25
Figure 23-Illustration simulation extrémité treillis.....	25
Figure 24-Tableau remplie avec les valeurs des calcul et simulation	25
Figure 25-Tableau donnée : constante	25
Figure 26-Tableau et graphique de la différence entre simulé et calculé	26
Figure 27-Tableau avec Kt modifier pour que ça corresponde.....	26

17.2Tables des équations

Équation 1-Principe Fondamental de la Statique.....	4
Équation 2-Efforts dans les barres (N4).....	5
Équation 3-Efforts dans les barres (N3).....	5
Équation 4-Efforts dans les barres (N2).....	6
Équation 5-Efforts dans les barres (N5).....	6
Équation 6-Efforts dans les barres (N1).....	7
Équation 7-Résistance Pratique.....	9
Équation 8-Contrainte nominale	9
Équation 9-Longueur équivalente (Matage).....	10
Équation 10-calcul de l'allongement	12
Équation 11-Concentration de contraintes (Kt).....	14

