

Université de Liège - 15 mars 1996

Etude de faisabilité numérique de l'usinage

Modélisation du bridage

Groupe de travail :

Pierre Beckers
Jean-François Debongnie
Béatrice Deltour
Luc Masset

- Table des matières -

Palier J64	1
1. Description de la prise de pièce	1
2. Capteur de compression HBM	5
2.1. Raideur axiale	5
2.1.1. Déformation hertzienne de la partie bombée	5
2.1.2. Déformation de la partie cylindrique à section variable	6
2.1.3. Prise en compte des deux contributions	6
2.2. Raideur en flexion	7
3. Brides HALDER	8
3.1. Raideur normale (direction du serrage)	8
3.1.1. Maillage simple (1 ^{er} degré)	8
3.1.2. Maillage plus raffiné (2 ^{ème} degré)	8
3.1.3. Vérification analytique	10
3.2. Raideur transversale	10
4. Tige filetée (butée n° 6)	11

Palier J64

1. Description de la prise de pièce

Le principe de la prise de pièce est décrit sur le schéma de la figure 1 (page suivante). Le posage est hybride :

- 1) La pièce est posée sur un capteur de force HBM CBS 30 (figure 2) positionné à l'appui plan n° 1 de la figure 1; le capteur de forces est lui-même posé, dans un lamage de profondeur 2 mm, sur un cylindre d'acier de diamètre 40 mm et de hauteur 48 mm.
- 2) Les "oreilles" de la pièce (points n° 2 et 3) sont pincées dans des brides HALDER représentées sur la figure 3; cependant, c'est la partie supérieure de la bride qui réalise l'appui et la partie inférieure qui vient serrer la pièce.
- 3) Des butées, réalisées au moyen de tiges filetées, servent au positionnement de la pièce aux points n° 4 et 5 de la figure 1. En fait, vu le sens de rotation de la fraise, ces butées ne travaillent pas lors de l'usinage.
- 4) De plus, une tige filetée (de diamètre 12 mm et de longueur 16 mm) vient faire office de butée au niveau du n° 6 de la figure 1, afin d'éviter un balancement de la pièce sous les efforts de coupe.

En ce qui concerne la modélisation proprement dite des conditions aux limites,

-) les butées des points n° 4 et 5 de la figure 1 ne servant qu'au positionnement de la pièce, elles seront négligées dans la modélisation des conditions aux limites;
-) la butée du n° 6 de la figure 1 ne semble pas avoir une grande influence sur le défaut; elle pourra cependant être modélisée (raideur axiale uniquement, correspondant au diamètre moyen du filetage) et nous comparerons les résultats avec le cas où l'on néglige celle-ci;
-) les brides HADLER (serrant les points n° 2 et 3) seront modélisées au moyen de ressorts; dans la direction du serrage, on calculera la raideur de la partie supérieure de la bride (point de butée), en négligeant la raideur de la colonne; par contre, dans la direction transverse, on prendra la raideur du cylindre creux; nous étudierons finalement la sensibilité du résultat à la valeur imposée à la raideur;
-) le pion HBM soutenant la pièce au point n° 1 sera également modélisé au moyen d'une raideur axiale et d'une raideur transverse; la raideur axiale (en compression) du capteur a été estimée par HBM à $1.1 \cdot 10^9$ N/mm.

ISOSTATISME

Appui plan: 1,2,3
 Centrage court: 4,5
 Balancement de brut: 6

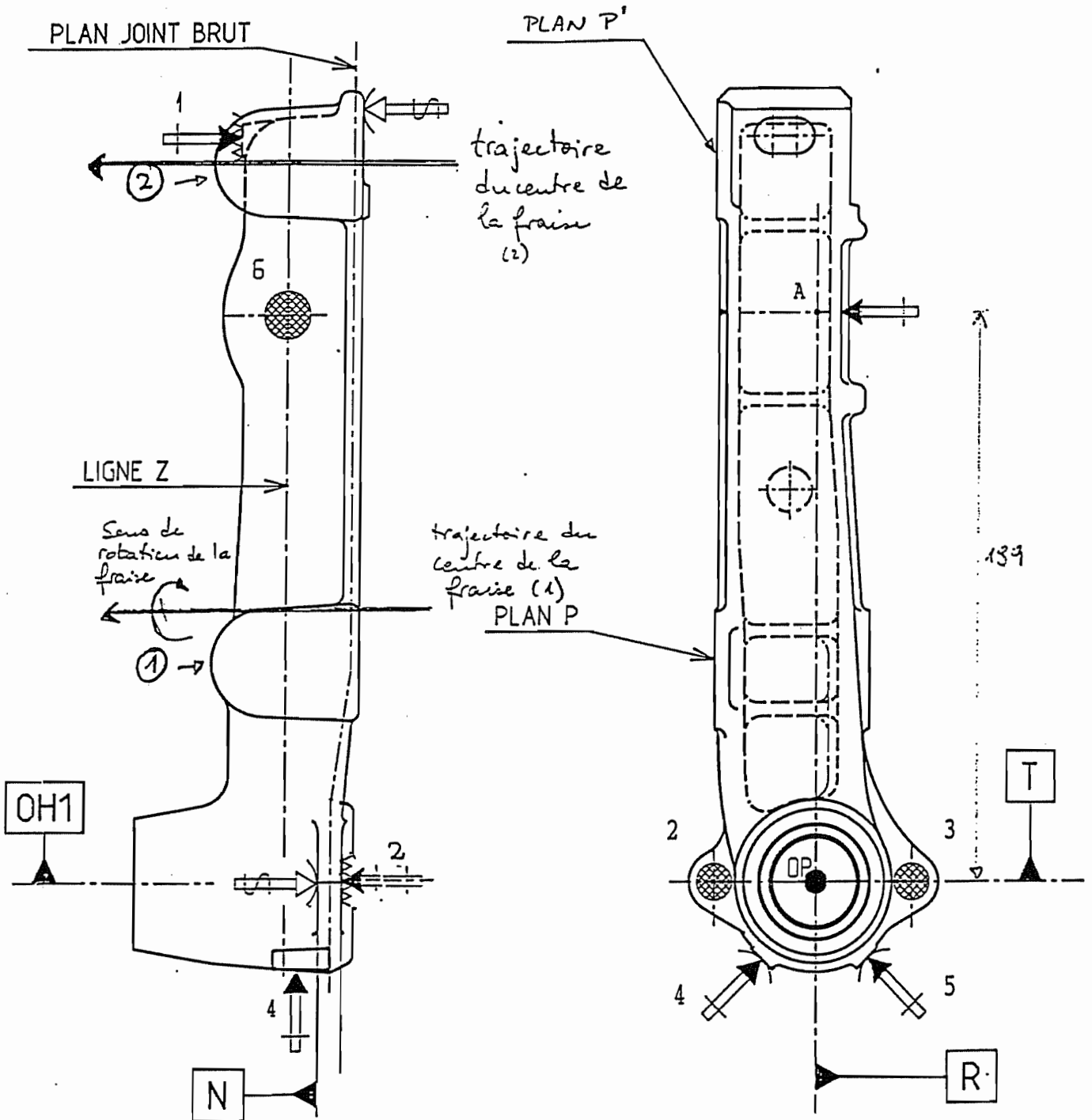


Figure 1 : Prise de pièce du palier J64

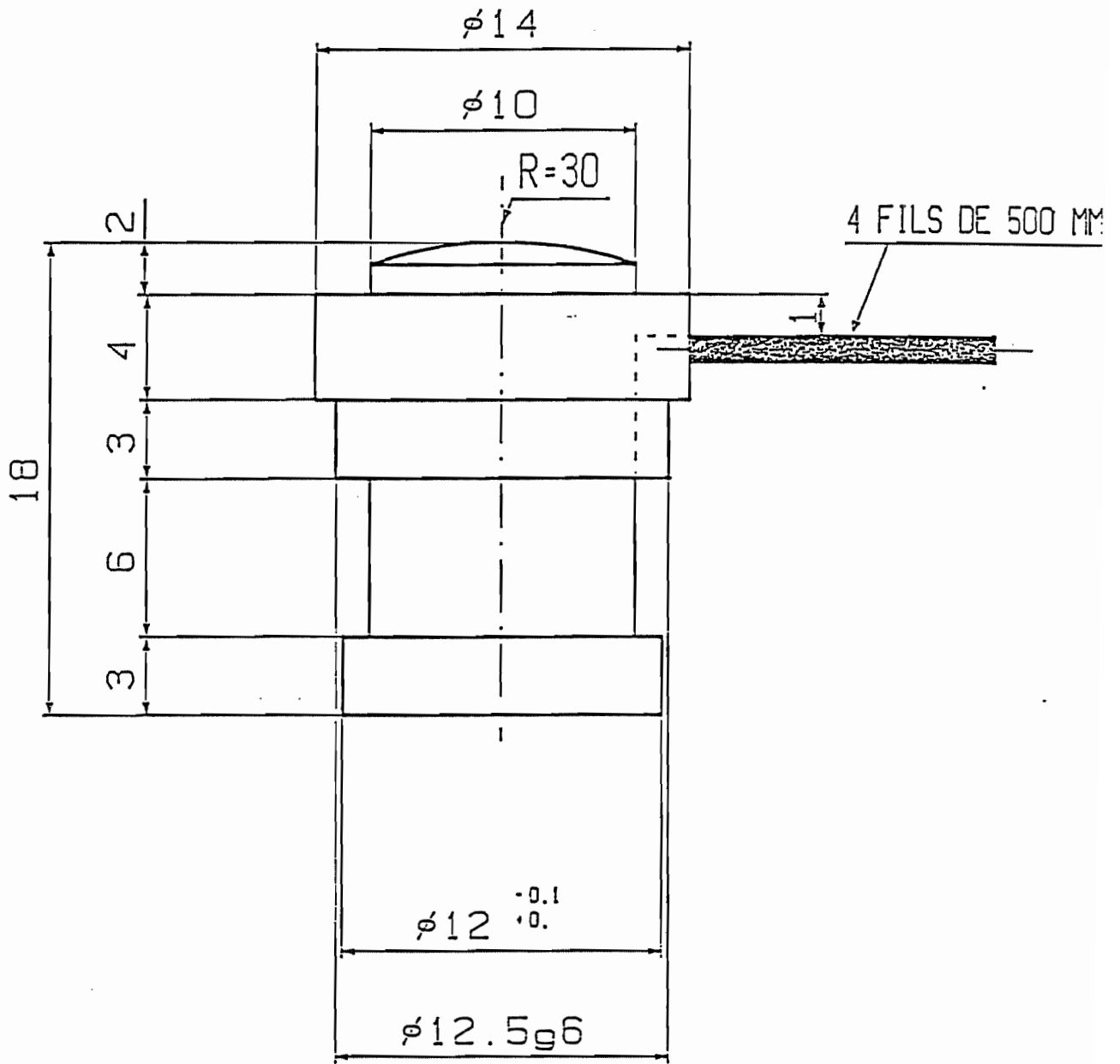


Figure 2 : Capteur de compression HBM

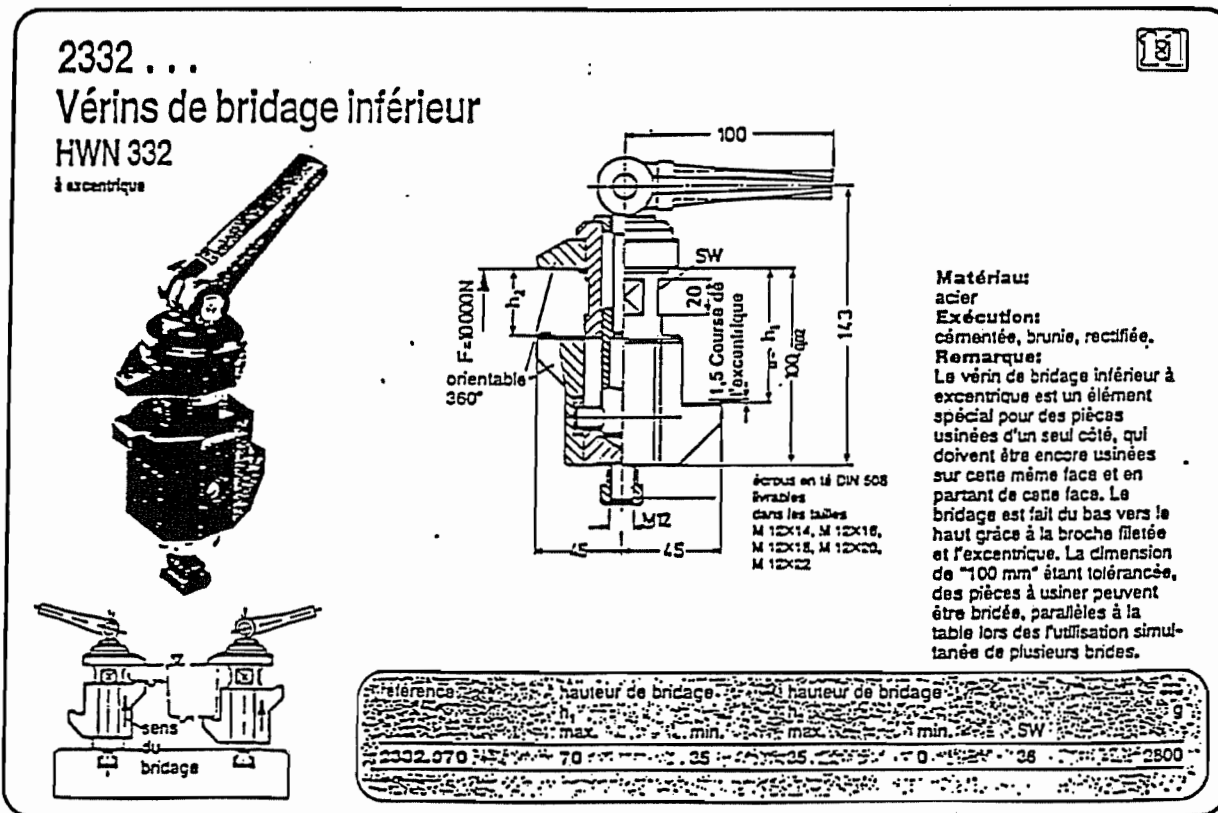


Figure 3 : Description des brides HALDER

2. Capteur de compression HBM

2.1. Raideur axiale

2.1.1. Déformation hertzienne de la partie bombée

$$\rho_{1I} = \frac{1}{30} \text{ mm}^{-1} \quad \rho_{2I} = \frac{1}{30} \text{ mm}^{-1}$$

$$\sum \rho = \frac{1}{30} + \frac{1}{30} = 66.67 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$$

Sur un corps parfaitement rigide,

$$\frac{2}{E_m} = \frac{0.91}{210000} \quad \Rightarrow \quad E_m = 461.5 \text{ MPa.}$$

$$h = 0.12 F^{2/3} E_m^{-2/3} (\sum \rho)^{1/3}$$

$$\Rightarrow h = 0.12 \cdot F^{2/3} \cdot (461.5 \cdot 10^3)^{-2/3} \cdot (66.67 \cdot 10^{-3})^{1/3}$$

$$= 8.148 \cdot 10^{-6} F^{2/3}$$

F (N)	h	k = F / h (N/mm)
1000	814.786 10 ⁻⁶	1.227 10 ⁶
2000	1293.39 10 ⁻⁶	1.546 10 ⁶
3000	1694.82 10 ⁻⁶	1.770 10 ⁶

Remarque : Ce calcul a été réalisé par Jean-François DEBONGNIE, qui est absent jusqu'au 15 avril... Nous ne savons pas où il a puisé ses formules.

2.1.2. Déformation de la partie cylindrique à section variable

Tronçon n°	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Section (mm ²)	L / Ω (mm ⁻¹)
1	3	12	113.1	26.53 10 ⁻³
2	6	10	78.54	76.39 10 ⁻³
3	3	12.5	122.7	24.45 10 ⁻³
4	4	14	153.9	25.98 10 ⁻³
5	2	10	78.54	25.46 10 ⁻³

$$\sum \frac{l}{\Omega} = (26.53 + 76.39 + 24.45 + 25.98 + 25.46) \cdot 10^{-3} = 178.8 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Or, } \frac{1}{k} = \sum \frac{L}{E \Omega} = \frac{178.8 \cdot 10^{-3}}{210000} = 851.5 \cdot 10^{-9} \text{ (N/mm)}^{-1}$$

$$\Rightarrow k = 1.174 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

2.1.3. Prise en compte des deux contributions

Etant donné la valeur obtenue pour la raideur, il nous paraît raisonnable d'adopter la valeur donnée par HBM :

$$\Rightarrow k = 1.1 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

2.2. Raideur en flexion

Tronçon	Longueur (mm)	Diamètre (mm)
1	3	12
2	6	10
3	3	12.5
4	4	14
5	2	10

Grâce à un programme mis au point par Jean-François DEBONGNIE, nous obtenons pour la raideur en flexion :

$$k = 75369 \text{ N/mm.}$$

3. Brides HALDER

3.1. Raideur normale (direction du serrage)

Dans la direction du serrage, nous prenons comme raideur la valeur de la raideur flexionnelle de la partie supérieure de la bride (figure 4). Pour calculer cette valeur, nous avons utilisé une méthode par éléments finis.

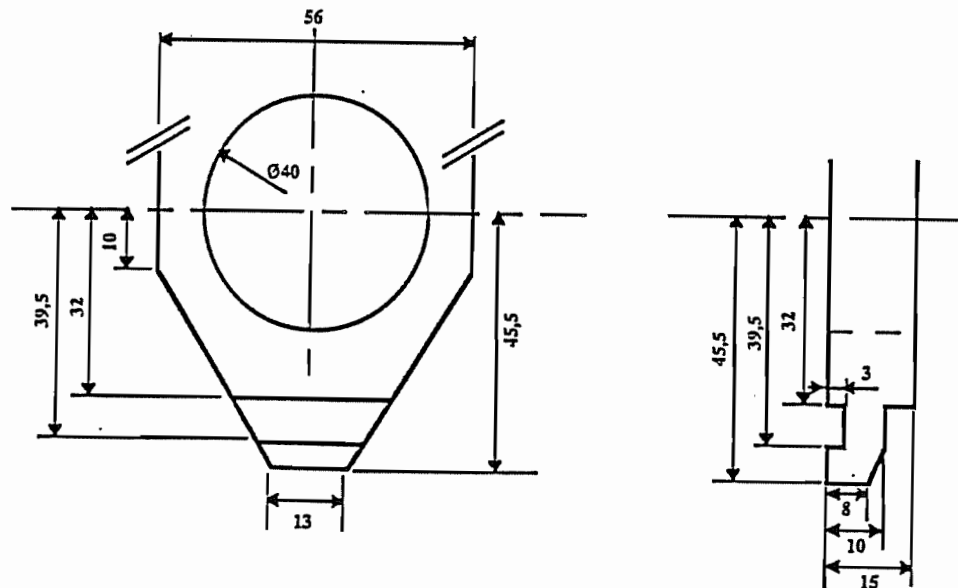


Figure 4 : Géométrie et dimensions de la partie supérieure de la bride HALDER

3.1.1. Maillage simple (1^{er} degré)

Nous avons d'abord choisi un maillage élémentaire de la plaque (figure 5). La résultante des charges normales appliquées sur la petite patte vaut 100 N. Nous obtenons dans ce cas un déplacement moyen de $1.796 \cdot 10^{-3}$ mm. Cela nous donne donc pour la raideur :

$$k = 55687 \text{ N/mm.}$$

3.1.2. Maillage plus raffiné (2^{ème} degré)

Afin de vérifier l'exactitude du résultat obtenu précédemment, nous avons ensuite élaboré un maillage plus raffiné (maillage automatique) de cette même plaque (figure 6). La résultante des charges normales appliquées sur la petite patte vaut cette fois 104 N. Nous obtenons alors un déplacement moyen de $1.753 \cdot 10^{-3}$ mm. Cela nous donne pour la raideur :

$$k = 59321 \text{ N/mm.}$$

Echelle géométrique

10.

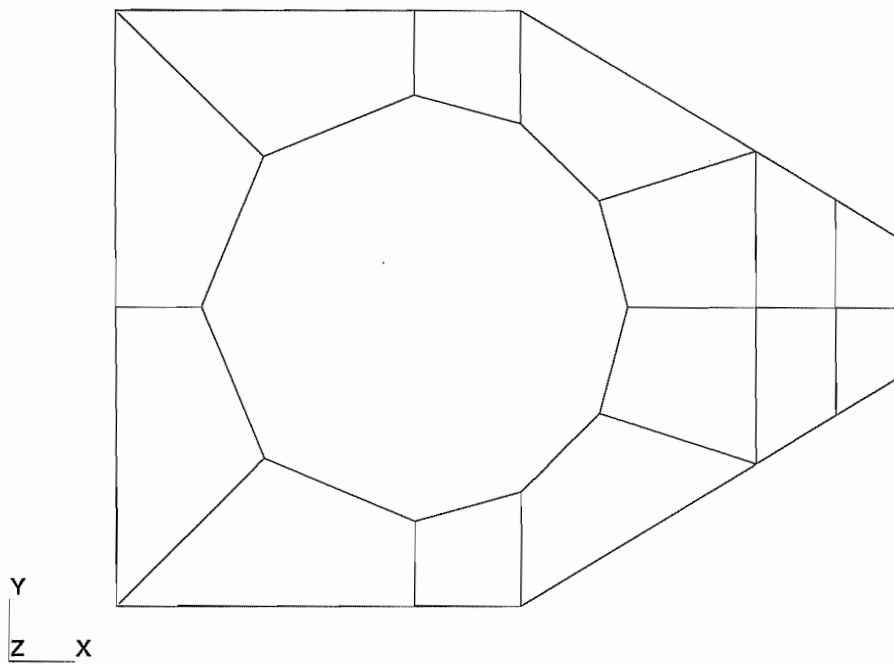


Figure 5 : Maillage élémentaire de la plaque supérieure de la bride Halder

Echelle géométrique

10.

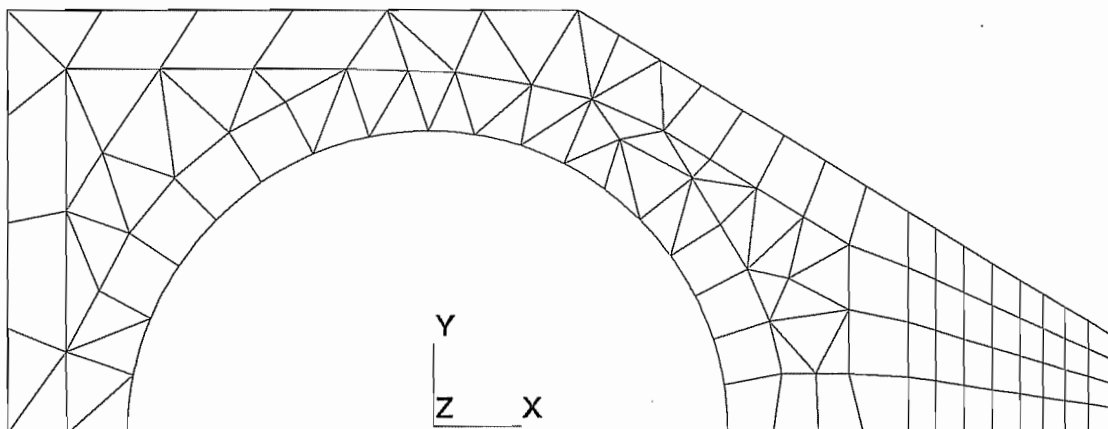


Figure 6 : Maillage raffiné de la moitié de la même plaque

3.1.3. Vérification analytique

Pour confirmer l'ordre de grandeur de la raideur obtenue, nous avons réalisé un calcul analytique en assimilant la plaque à une poutre encastree-libre de section rectangulaire. Nous avons adopté comme dimensions des valeurs moyennes :

largeur : $b = 28 \text{ mm}$
 épaisseur : $h = 10 \text{ mm}$
 longueur : $L = 29 \text{ mm}$
 module de Young : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
 charge appliquée : $P = 100 \text{ N}$

Cela nous donne :
$$I = \frac{b h^3}{12} = \frac{28 \cdot 10^3}{12} = 2333.33 \text{ mm}^4$$

La flèche est donnée par :
$$f = \frac{P L^3}{3 E I} = \frac{100 \cdot 29^3}{3 \cdot 210000 \cdot 2333.33} = 1.65911 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Cela nous donne pour la raideur : $\mathbf{k = P/f = 60273 \text{ N/mm.}}$

Il nous paraît donc raisonnable d'adopter pour la raideur normale une valeur de l'ordre de $\mathbf{k = 60000 \text{ N/mm.}}$

3.2. Raideur transversale

Dans la direction transversale, nous prenons comme raideur la valeur de la raideur flexionnelle du cylindre creux sur lequel est fixée la patte supérieure. Ce cylindre a comme dimensions :

diamètre extérieur : $D = 40 \text{ mm}$
 diamètre intérieur : $d = 20 \text{ mm}$
 longueur (hauteur) : $L = 100 \text{ mm}$
 module de Young : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
 charge appliquée : $P = 100 \text{ N}$

Cela nous donne :
$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (40^4 - 20^4) = 117809.72 \text{ mm}^4$$

La flèche est donnée par :
$$f = \frac{P L^3}{3 E I} = \frac{100 \cdot 100^3}{3 \cdot 210000 \cdot 117809.72} = 1.34734 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Cela nous donne pour la raideur : $\mathbf{k = P/f = 74220 \text{ N/mm.}}$

Il nous paraît donc raisonnable d'adopter pour la raideur normale une valeur de l'ordre de $\mathbf{k = 75000 \text{ N/mm.}}$

4. Tige filetée (butée n° 6)

Dans la direction axiale, nous prenons comme raideur la valeur de la raideur en traction (ou compression) d'un cylindre plein de diamètre égal au diamètre moyen du filetage. Ce cylindre a donc comme dimensions :

diamètre : $D = 12 \text{ mm}$

longueur : $L = 16 \text{ mm}$

module de Young : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Cela nous donne : $\Omega = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113.097 \text{ mm}^2$

$$\frac{1}{k} = \frac{L}{E \Omega} = \frac{16}{210000 \cdot 113.097} = 6.73672 \cdot 10^{-7}$$

Cela nous donne pour la raideur :

$$\mathbf{k = 1.484 \cdot 10^6 \text{ N/mm.}}$$