

TP OPI et projet semestre 2

Compte rendu



SOMMAIRE :

| | |
|---|----|
| 1) Introduction :..... | 3 |
| 2) Bilan technique :..... | 3 |
| a) Calculs des forces sur chacun des éléments : | 4 |
| b) Masse de chaque pièce : | 6 |
| c) Analyse de résistance à la rupture : | 6 |
| d) Les zones de contraintes critiques : | 7 |
| e) Imbrication des pièces sous Nesting-Inventor : | 7 |
| 3) Bilan organisationnel :..... | 8 |
| a) Le 29/03/2021 : (3 heures)..... | 8 |
| b) Le 03/04/2021 : (3 heures hors TP)..... | 8 |
| c) Le 29/04/2021 : (2 heures hors TP)..... | 9 |
| d) Le 10/05/2021 : (1 heure 30 minutes) | 9 |
| e) Le 19/05/2021 : (2 heures)..... | 11 |
| f) Le 21/05/2021 : (4 heures 30 minutes)..... | 12 |
| 4) Conclusion : | 14 |

1) Introduction :

Pour ce TP d'OPI, nous devons réaliser une pince capable de résister à la rupture sous une charge de 5 kg. Cette pince devra être la plus légère possible et devra être fabriquée en PMMA. Pour le projet, nous étions en groupe de deux.

Nous avons le cahier des charges suivants :

Diamètres à pincer : 45 mm

Masse à soulever : 5 kg

Matière des pinces : PMMA

Quantité de PMMA à disposition : 1 plaque de 150 mm × 200 mm, épaisseur 5 mm

Visserie : 4 boulons M5 × 20 sans rondelle

Possibilité d'avoir une pince pour faire des essais dans la limite de la surface de votre plaque.

Pour réaliser ce projet, nous aurons pour but de faire le lien entre plusieurs enseignements, les matières concernées sont les suivantes :

Organisation de projet

Mécanique générale

Dimensionnement de structures

Science des matériaux

Conception

Production

Pour réaliser toute la partie calcul et la partie conception nous avons effectué les heures suivantes :

| Date | Temps |
|---------------|-----------------|
| Le 29/03/2021 | 3 heures |
| Le 03/04/2021 | 3 heures |
| Le 29/04/2021 | 2 heures |
| Le 10/05/2021 | 1 heure 30 min |
| Le 19/05/2021 | 2 heures |
| Le 21/05/2021 | 4 heures 30 min |

Pour le tableau précédent, les cases surlignées en bleu sont les TP que nous avons eu en présentiel et les cases qui ne sont pas surlignées sont les séances que nous avons fait en autonomie.

2) Bilan technique :

Cette partie portera sur toutes les hypothèses, tous les calculs et rapidement la conception de la pièce. De plus, il y aura la manipulation et les tests effectués pendant la dernière séance.

a) Calculs des forces sur chacun des éléments :

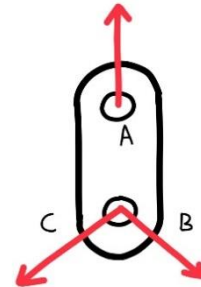
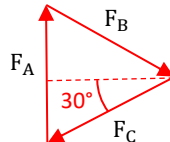
Pour les efforts de la pince nous avons effectués tout au long du TP les calculs suivants : (pour voir l'évolution de nos calculs, regarder le bilan organisationnel)

Anneau :

$$\text{Donc : } T_A \text{ anneau} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 50\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_B \text{ b/anneau} = \begin{pmatrix} f_{Bx} & 0 \\ f_{By} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_C \text{ c/anneau} = \begin{pmatrix} f_{Cx} & 0 \\ f_{Cy} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$



$$\text{Donc } F_{By} = F_{Cy} = 50/2 = 25\text{N}$$

$$F_B \cdot \cos \alpha = F_{Bx} \text{ mais on sait que } F_{By}/F_{Bx} = \tan \alpha \text{ donc } F_{Bx} = F_{By}/\tan \alpha$$

$$25/\tan 30^\circ = 43.3\text{N}$$

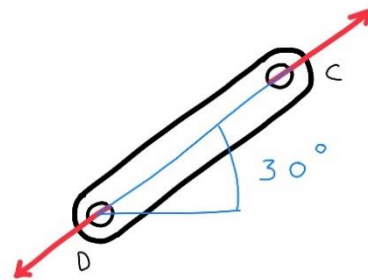
$$\text{Donc : } T_B \text{ b/anneau} = \begin{pmatrix} 43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_C \text{ c/anneau} = \begin{pmatrix} -43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Bielle :

$$\text{On a en } T_C \text{ a/b} = \begin{pmatrix} 43.3\text{N} & 0 \\ 25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

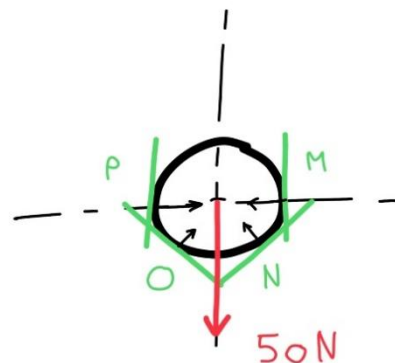
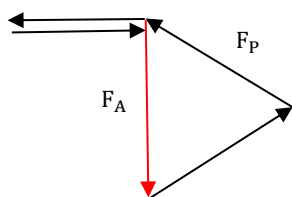
$$T_D \text{ a/b} = \begin{pmatrix} -43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Charge :

On peut déduire graphiquement que l'on a environ 35.25N

— contacts
→ efforts



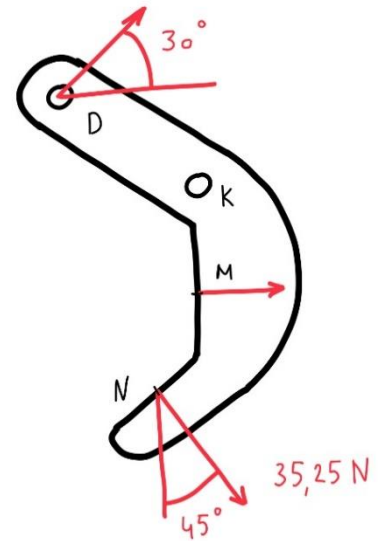
Pince :

$$\text{On a } T_D \text{ b/p} = \begin{cases} 43.3\text{N} & 0 \\ 25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{cases}$$

$$T_K \text{ b/p} = \begin{cases} f_{Kx} & 0 \\ f_{Ky} & 0 \\ 0 & 0 \end{cases}$$

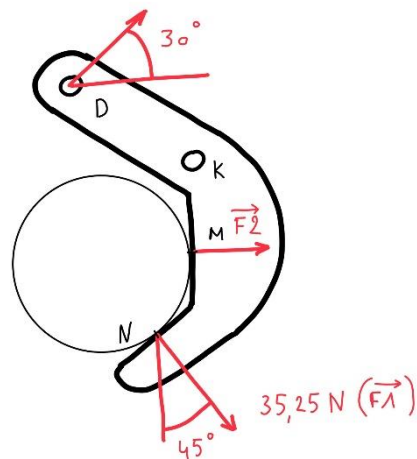
$$T_M \text{ charge/p} = \begin{cases} f_{Mx} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{cases}$$

$$T_N \text{ charge/p} = \begin{cases} 35.25\text{N} & 0 \\ -35.25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{cases}$$



Puis nous avons fait le PFS pour déterminer les efforts manquants :

Pour cela, notre PFS s'appuie sur le schéma suivant : (les efforts bis sont les efforts appliqués sur la deuxième pince)



On a :

$$\alpha = 30^\circ \text{ et } \beta = 45^\circ$$

$$\text{PFS : } \vec{P} + \vec{F1} + \vec{F2} + \vec{F1bis} + \vec{F2bis} = \vec{0}$$

$$\text{Donc } -P \cdot \vec{y} + F2bis \cdot \vec{x} + F1\sin\beta \vec{y} + F1\cos\beta \vec{x} - F1bis\cos\beta \vec{x} + F1bis\sin\beta \vec{y} = \vec{0}$$

$$\text{On a en } \vec{x} = F2 + F2bis + F1\cos\beta - F1bis\cos\beta = 0$$

$$\vec{y} = -P + F1\sin\beta + F1bis\sin\beta = 0$$

On veut en $\vec{F1}$ et $\vec{F2}$

$$\text{Donc : } y = -P + F1\sin\beta + F1bis\sin\beta = 0$$

A partir de cette formule on en déduit : $P = 2 F1\sin\beta$

$$F1 = \frac{P}{2 \sin\beta}$$

$$\text{Donc } F1 = \frac{m \times g}{2 \sin\beta}$$

Pour trouver F2 on isole la pièce :

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{Mk/0} + \overrightarrow{Md/k} + \overrightarrow{Mf2/k} + \overrightarrow{Mf1/k} &= \vec{0} \\
 = \vec{0} + \overrightarrow{KD} \wedge \vec{D} + \overrightarrow{KM} \wedge \vec{F2} + \overrightarrow{KN} \wedge \vec{F1} &= \vec{0} \\
 = \begin{pmatrix} -45 \\ 45 \cdot \tan \alpha \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} D \cos \alpha \\ D \sin \alpha \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 45/2 \\ -40 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} F2 x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{45}{2} \cos 45^\circ \\ -40 - \frac{45}{2} \sin 45^\circ \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} F1 \cos \beta \\ -F1 \sin \beta \\ 0 \end{pmatrix} \\
 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -45 \cdot D \sin \alpha - 45 \tan \alpha - D \cos \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 40 F2 x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -45 \cos 45^\circ - F1 - \sin \beta + (40 + \frac{45}{2} \sin 45^\circ) F1 \cos \beta \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Donc en $\vec{y} = -45 \cdot D \sin \alpha - 45 \tan \alpha - D \cos \alpha + 40 F2x - 45/2 \cos 45^\circ \cdot F1 \sin \beta + (40 + 45/2 \sin 45^\circ) \cdot F1 \cos \beta = 0$

$$= 40 F2x = D \cdot (45 \sin \alpha + 45 \tan \alpha \cdot \cos \alpha) + F1 (45/2 \cos 45^\circ - \sin \beta - \cos \beta \cdot (40 + 45/2 \sin 45^\circ))$$

Donc $F2 = 1/40 \cdot [D (45 \sin \alpha + 45 \tan \alpha \cdot \cos \alpha) + F1 (45\sqrt{2}/4 \cdot \sin \beta - \cos \beta (40 + 45\sqrt{2}/4))]$

Dans ce calcul : D = force travée précédemment et $F1 = \frac{m \times g}{2 \sin \beta}$

Donc : $F1 = \frac{5 \cdot 9.81}{2 \sin 45^\circ} = 34.7N$ et dans nos calculs précédents nous avons environ 35.25N donc cela convient

$F2 = 30.644N$ environ égal à 30.65N

Pour la force au point K, on a fait la résultante des forces car nous avons de chaque côté 50 N donc nous avons 100 N au point K.

b) Masse de chaque pièce :

| Projet 1 | | Projet 2 | | Projet 3 | | Projet 4 | |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Bielle | 0.6 g | Bielle | 0.8 g | Bielle | 0.6 g | Bielle | 0.5 g |
| Pince | 5.5 g | Pince | 6.4 g | Pince | 5 g | Pince | 4.6 g |

c) Analyse de résistance à la rupture :

Sur Inventor, lorsque nous faisons la simulation de notre projet avec nos efforts trouvés, nous avons entre 4 et 40 MPa max sur chaque pièce. Nous avons plusieurs points de ruptures au niveau des perçages au début puis au niveau des rainures, c'est pour cela que nous avons changé notre conception.

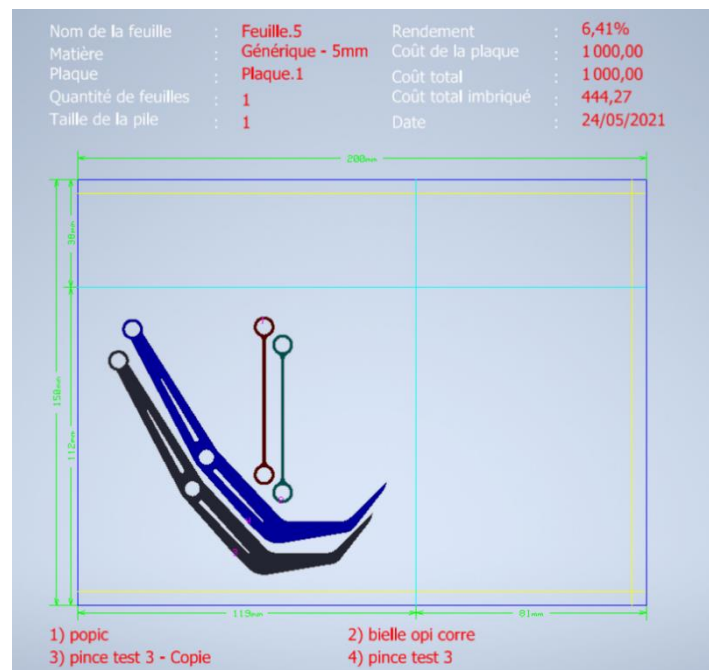
d) Les zones de contraintes critiques :

Pour les bielles, nous avons une épaisseur de 1.5 mm. Elles supporteront la charge parce que nous supposons qu'elles seront en traction tout le long de la manipulation. Il n'y a pas beaucoup de contraintes au niveau de la bielle parce qu'elle est en traction. Sur la pince, les zones de contraintes critiques se situent au niveau des perçages mais aussi au sur le côté de la pince. C'est dans cette partie qu'il y a le plus de contraintes. C'est pour cela que nous l'avons laissé pleine et que nous avons retirés nos rainures.

e) Imbrication des pièces sous Nesting-Inventor :

Ensuite, durant la dernière séance, nous avons manipulé et nous avons découpé nos pièces à la découpe laser. Pour cela, nous avons fait un Nesting-Inventor qui est utile lorsqu'il faut faire beaucoup de pièce en chaine mais dans notre cas, nous avons positionné les pièces manuellement sur l'ordinateur de la machine.

Mais nous obtenons le Nesting-Inventor suivant :



Comme vous pouvez le voir, le nesting n'optimise pas vraiment l'espace, c'est pour cela que nous l'avons fait manuellement.

3) Bilan organisationnel :

a) Le 29/03/2021 : (3 heures)

Cette séance est le début du projet, nous avons eu les consignes et nous avons commencé notre projet.

Dans cette séance :

- Ambroise s'occupe de réaliser la pince sur Inventor avec les côtes données dans le TP.
- Alexandre s'occupe de trouver la « contrainte rupture » du PMMA. Il s'occupe aussi des calculs de force exercés sur la pièce en fonction de la masse donnée dans l'énoncé.

Données :

Sur Internet nous avons trouvés ceci :

- Masse volumique du PMMA = 1.19 g/cm^3
- Module d'Young du PMMA = 3.3 GPa
- Limite élastique du PMMA = environ 80 MPa

Pour les efforts, on en déduit qu'il y a 25 N sur chaque bielle en \vec{x} . Pour le reste des forces, nous n'avons pas vraiment essayé de chercher durant cette séance car nous voulions nous concentrer sur le Inventor de la pince.

Nous avons regardé la déformation sur la pièce avec les 50 N de charge. Puis tout en essayant de garder un poids minimal et une assez bonne résistance nous avons essayés d'alléger la structure en rajoutant des congés, des poches...

A la fin de la séance, nous avons une pince avec un poids total de 23 grammes .

b) Le 03/04/2021 : (3 heures hors TP)

Dans cette séance :

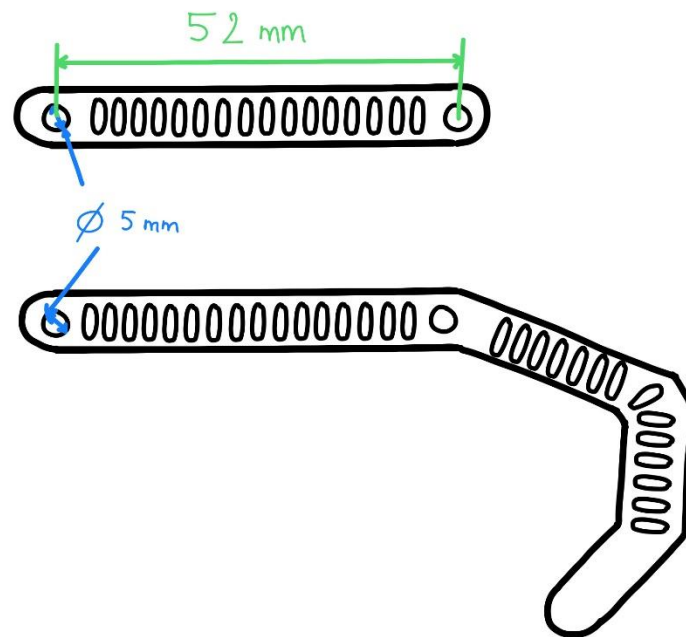
- Ambroise a rectifié rapidement les cotes sur Inventor
- Nous avons par la suite déterminé les zones de contraintes critiques avec nos essais sur Inventor.

Les contraintes critiques se situent au niveau des perçages et surtout au niveau de la pince.

Donc nous avons optimisé la pièce pour limiter ces contraintes.

Après avoir rectifié la conception de notre pince, nous avons atteint un poids minimal de 19 grammes sur l'ensemble.

Pour diminuer le poids, nous avons mis des rainures au niveau de la bielle et de la pince comme ceci :

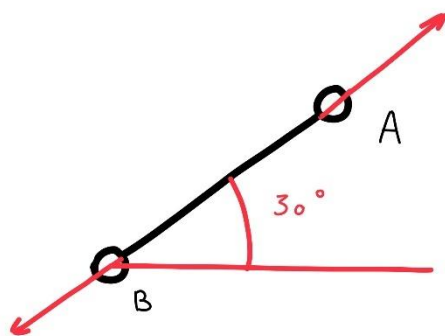


c) [Le 29/04/2021 : \(2 heures hors TP\)](#)

Dans cette séance :

- Nous avons noté au propre les calculs des efforts sur la pince.

Les calculs que nous avons obtenus pendant cette séance sont les suivants :



Au point A, on a :

$$-\frac{50}{2} = 25 \text{ N en } \vec{y}.$$

$$-\frac{25}{\tan 30^\circ} = 43.3 \text{ N en } \vec{x}.$$

Au point B, on a les mêmes résultats mais en négatif car la force se dirige vers le bas.

Pour la pince, nous avons supposé fait un schéma en taille réel et nous avons trouvé environ 30 N.

Nous avons réduit le nombre de rainure dans notre pour que la pince ne casse par car les rainures la fragilisé trop.

d) [Le 10/05/2021 : \(1 heure 30 minutes\)](#)

Dans cette séance :

- Nous avons recalculé les efforts pièce par pièce car il nous manque beaucoup d'efforts.

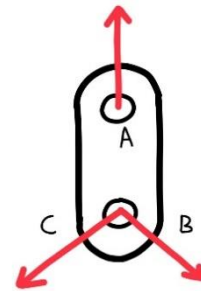
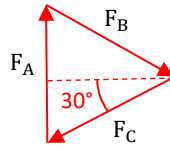
Nous obtenons les efforts suivants :

Anneau :

$$\text{Donc : } T_A \text{ anneau} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 50\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_B \text{ b/anneau} = \begin{pmatrix} f_{Bx} & 0 \\ f_{By} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_C \text{ c/anneau} = \begin{pmatrix} f_{Cx} & 0 \\ f_{Cy} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$



$$\text{Donc } F_{By} = F_{Cy} = 50/2 = 25\text{N}$$

$$F_B \cdot \cos \alpha = F_{Bx} \text{ mais on sait que } F_{By}/F_{Bx} = \tan \alpha \text{ donc } F_{Bx} = F_{By}/\tan \alpha$$

$$25/\tan 30^\circ = 43.3\text{N}$$

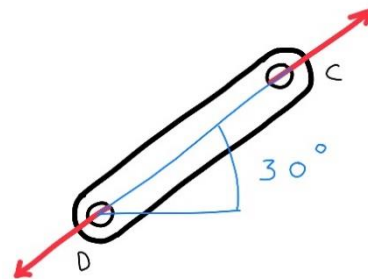
$$\text{Donc : } T_B \text{ b/anneau} = \begin{pmatrix} 43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_C \text{ c/anneau} = \begin{pmatrix} -43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Bielle :

$$\text{On a en } T_C \text{ a/b} = \begin{pmatrix} 43.3\text{N} & 0 \\ 25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

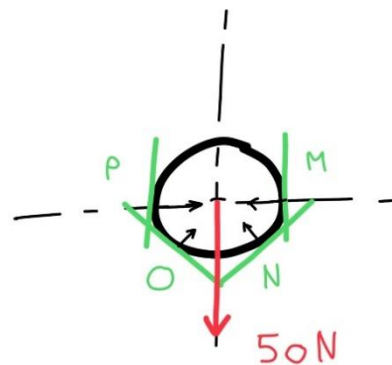
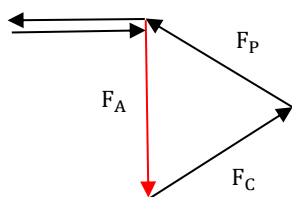
$$T_D \text{ a/b} = \begin{pmatrix} -43.3\text{N} & 0 \\ -25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Charge :

On peut déduire graphiquement que l'on a environ 35.25N

— contacts
→ efforts



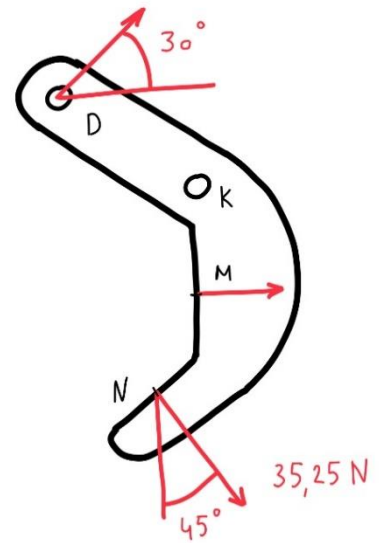
Pince :

$$\text{On a } T_D b/p = \begin{pmatrix} 43.3\text{N} & 0 \\ 25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_K b/p = \begin{pmatrix} fK_X & 0 \\ fK_Y & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_M \text{ charge}/p = \begin{pmatrix} fM_X & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$T_N \text{ charge}/p = \begin{pmatrix} 35.25\text{N} & 0 \\ -35.25\text{N} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$



e) [Le 19/05/2021 : \(2 heures\)](#)

Dans cette séance :

- Nous avons terminé nos calculs des efforts et nous avons revu la forme de notre pièce dans sa globalité car elle pouvait être plus légère tout en étant solide.

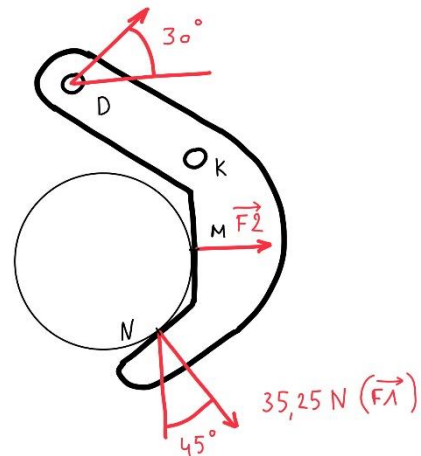
Nous avons donc fait un PFS pour déterminer les efforts manquants.

Le schéma suivant représentera les efforts calculés dans le PFS :

Les efforts bis dans le PFS sont les efforts appliqués sur la deuxième pince.

On a :

$$\alpha = 30^\circ \text{ et } \beta = 45^\circ$$



$$\text{PFS: } \vec{P} + \vec{F1} + \vec{F2} + \vec{F1bis} + \vec{F2bis} = \vec{0}$$

$$\text{Donc } -P \cdot \vec{y} + F2bis \cdot \vec{x} + F1sin\beta \vec{y} + F1 \cos\beta \vec{x} - F1bis \cos\beta \vec{x} + F1bis \sin\beta \vec{y} = \vec{0}$$

$$\text{On a en } \vec{x} = F2 + F2bis + F1 \cos\beta - F1bis \cos\beta = 0$$

$$\vec{y} = -P + F1sin\beta + F1bis \sin\beta = 0$$

On veut en $\vec{F1}$ et $\vec{F2}$

$$\text{Donc } y = -P + F1sin\beta + F1bis \sin\beta = 0$$

A partir de cette formule on en déduit : $P = 2 F1sin\beta$

$$F1 = \frac{P}{2 \sin \beta}$$

Donc $F1 = \frac{m \times g}{2 \sin \beta}$

Pour trouver F2 on isole la pièce :

$$\overrightarrow{Mk/0} + \overrightarrow{Md/k} + \overrightarrow{Mf2/k} + \overrightarrow{Mf1/k} = \vec{0}$$

$$= \vec{0} + \overrightarrow{KD} \wedge \vec{D} + \overrightarrow{KM} \wedge \vec{F2} + \overrightarrow{KN} \wedge \vec{F1} = \vec{0}$$

$$= \begin{pmatrix} -45 \\ 45 \cdot \tan \alpha \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} D \cos \alpha \\ D \sin \alpha \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 45/2 \\ -40 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} F2 \cdot x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{45}{2} \cos 45^\circ \\ -40 - \frac{45}{2} \sin 45^\circ \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} F1 \cos \beta \\ -F1 \sin \beta \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -45 \cdot D \sin \alpha - 45 \tan \alpha - D \cos \alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 40 F2 \cdot x \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -45 \cos 45^\circ - F1 - \sin \beta + (40 + \frac{45}{2} \sin 45^\circ) F1 \cos \beta \end{pmatrix}$$

Don en $\vec{y} = -45 \cdot D \sin \alpha - 45 \tan \alpha - D \cos \alpha + 40 F2 \cdot x - 45/2 \cos 45^\circ \cdot F1 \sin \beta + (40 + 45/2 \sin 45^\circ) \cdot F1 \cos \beta = 0$

$$= 40 F2 \cdot x = D \cdot (45 \sin \alpha + 45 \tan \alpha \cdot \cos \alpha) + F1 (45/2 \cos 45^\circ - \sin \beta - \cos \beta \cdot (40 + 45/2 \sin 45^\circ))$$

Donc $F2 = 1/40 \cdot [D (45 \sin \alpha + 45 \tan \alpha \cdot \cos \alpha) + F1 (45\sqrt{2}/4 \cdot \sin \beta - \cos \beta (40 + 45\sqrt{2}/4))]$

Dans ce calcul : D = force travée précédemment et $F1 = \frac{m \times g}{2 \sin \beta}$

Donc : $F1 = \frac{5.9.81}{2 \sin 45^\circ} = 34.7N$ et dans nos calculs précédents nous avons environ 35.25N donc cela convient

$F2 = 30.644N$ environ égal à 30.65N

Pour la force au point K, on a fait la résultante des forces car nous avons de chaque coté 50 N donc nous avons 100 N au point K.

f) [Le 21/05/2021 : \(4 heures 30 minutes\)](#)

Dans cette séance :

- Nous avons découpé les pièces à l'imprimante laser puis nous avons manipulé.
- Lorsque l'essai était bon, nous avons essayé d'améliorer la pièce pour avoir le poids le plus petit possible.

Nos essais :

| | |
|---------|------------------------|
| Essai 1 | BON |
| Essai 2 | MAUVAIS |
| Essai 3 | N'a pas pu être testée |
| Essai 4 | BON |

L'essai 1 s'est déroulé à merveille, nous avons été capable de soulever la charge attendue à savoir 5 kg sans casser notre pince. Durant ce test, la pince pesait 12.2 grammes.

C'est donc une réussite. Au même moment, nous avons testé une autre pince avec laquelle on avait un doute sur la résistance. Mais cet essai qui est l'essai 2 ne nous a pas été inutile car il nous a permis d'améliorer la pièce et donc d'obtenir l'essai 3.

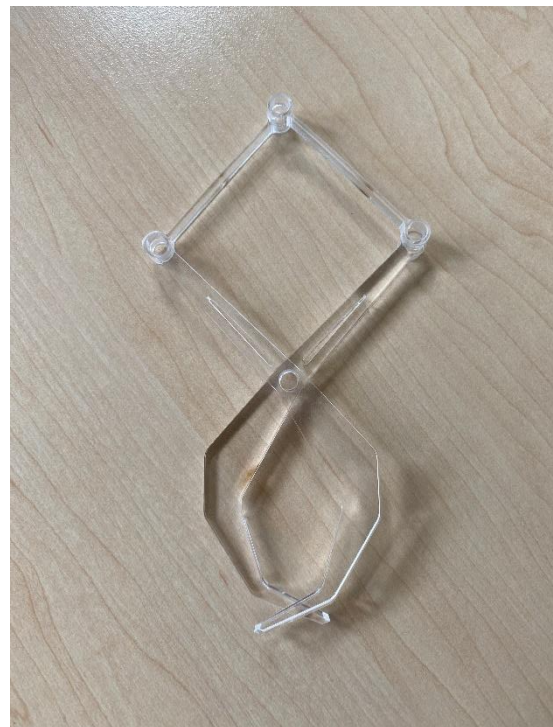
L'essai 3 n'a malheureusement pas pu être testé car l'origine de la machine avait été modifié. Cependant, avec un peu de réflexion nous avons pu remodifier notre pince en réduisant la largeur de notre pince. Nous ne savions pas si ça allait fonctionner mais nous avons déjà réussi le projet donc on était serein.

Pour notre dernier essai, nous avons été capable de soulever la charge de 5 kg sans casser notre pince mais cette fois ci avec un poids de 10.3 grammes.

Voici nos pinces capables de soulever la charge :



Pince du test 4



Pince du test 1

Tableau récapitulatif du poids pièce par pièce pour chaque pince :

| Projet 1 | | Projet 2 | | Projet 3 | | Projet 4 | |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| Bielle | 0.6 g | Bielle | 0.8 g | Bielle | 0.6 g | Bielle | 0.5 g |
| Pince | 5.5 g | Pince | 6.4 g | Pince | 5 g | Pince | 4.6 g |

4) Conclusion :

On peut dire que le TP s'est bien passé pour notre groupe, nous avons eu du mal sur la partie calcul au niveau de la pince mais sinon tout le reste c'est bien passé. Nous avons réussi à obtenir et manipuler avec une pince de 10.3 grammes et capable de soulever la charge demandée (50 N soit 5 kg). Dans l'ensemble, l'objectif du TP est réussi mais nous aurions pu obtenir une pince plus légère en diminuant la largeur de nos bielles à 1 mm puis en réduisant la largeur des pinces de quelques millimètres. Si on devait refaire ce projet, on changerait l'organisation. Il aurait fallu commencer par les calculs des efforts pour ne pas perdre de temps dans la conception de la pince. Mais maintenant après avoir fait l'erreur, on sera capable de faire le projet de deuxième année avec une meilleure organisation.

Nous espérons que les futurs GMP1 seront capable de battre notre record !!