



Rapport technique

Stage de technicien supérieur en conception mécanique

Institut P' CNRS UPR3346 – département GMSC – équipe ROBIOSS

du 12 avril 2021 au 18 juin 2021

Hao Yuan

Etudiant

Génie Mécanique et Productique

Institut Universitaire de Technologie de Poitiers

M Antoine Eon

Tuteur de stage

Maître de Conférence

M Arnaud Decatoire

Tuteur de stage

Ingénieur de Recherche

M Julian Le rouzic

Enseignant référent

Génie Mécanique et Productique

Institut Universitaire de Technologie de Poitiers



Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Sommaire | 2 |
| Introduction | 3 |
| Missions | 4 |
| Missions 1:l'analyse cinétique et dynamique et l'inertie d'utilisateur | 4 |
| l'analyse cinétique et dynamique | 4 |
| L'inertie d'utilisateur | 7 |
| Mission 3:Dimensionnement du plateau et la roue | 11 |
| 1.La roue | 11 |
| 2.Le plateau | 15 |
| Mission 3: conception sur Solidworks | 18 |
| Conclusion | 20 |

Introduction

Dans le cadre de mes études, j'ai réalisé un stage de dix semaines au sein du laboratoire l'institut pprime (cnrs). L'institut P' est un laboratoire de recherche des domaines des Sciences Physiques et des Sciences de l'Ingénierie. Pendant ce stage ,j'ai travaillé pour concevoir un dispositif qui permet d'illustrer la loi de conservation du moment cinétique.Ce dispositif est composé en deux parties , la première partie consiste en un plateau permettant une rotation libre autour de l'axe vertical,La deuxième partie correspond à une roue motorisée tenue par les élèves / utilisateurs. Le mouvement de rotation (vitesse angulaire) de cette roue doit pouvoir être pilotée par les élèves / utilisateurs.C'est pour ça que le mase de la roue ne doit pas etre tres lourd,on a pris deux kg comme son masse,et on joue principalement sur sa vitesse de rotation.quand l'angle du bras est nul , Qu'il change de vitesse ou de poids de roue, le plateau ne peut pas tourner.Donc pour le rendre bien fonctionner , l'angle du bras d'utilisateur (θ_2) ne doit pas être nul.

Dans ce rapport , je vais présenter principalement trois missions

La première mission concerne l'analyse cinétique et dynamique,c'est pour essayer de trouver l'équation de mouvement qui lie l'inertie de la roue et la vitesse de rotation du plateau, cette équation nous permet de dimensionner le plateau et la roue.Dans l'équation du mouvement, on a constaté qu'il concerne une constante (B_1 l'inertie du corps de l'utilisateur), pour obtenir la valeur B_1 , on a établir un tableau d'excel pour calculer les inerties d'utilisateur automatiquement .

La deuxième mission concerne le dimensionnement du plateau et de la roue ,tout d'abord,on a établi un tableau de simulation selon l'équation du mouvement, c'est pour trouver les valeurs le plus pertinent (l'inertie de la roue, sa masse.....) pour que la vitesse de rotation du plateau ne soit pas très élevée.Pour le dimensionnement du plateau ,principalement,on a travaillé pour choisir le bon roulement (le plus économique , la durée de vie.....), pour faire ca , on a proposé sept contraintes et établi un grand tableau (il y a 600 roulement dedans),finalement l'excel nous a proposé 12 roulements ,parmi ces 12 roulements ,on a choisi le roulement 7207 BE-2RZP, parce que ce roulement est déjà étanche,c'est très pratique.

Après avoir terminé ces deux missions précédentes , on a travaillé sur solidworks pour la modélisation de la conception , mais malheureusement , on a pas eu temps pour concevoir et modéliser la roue, pour le plateau ,on l'a bien modélisé.Et ça ,c'est la troisième mission

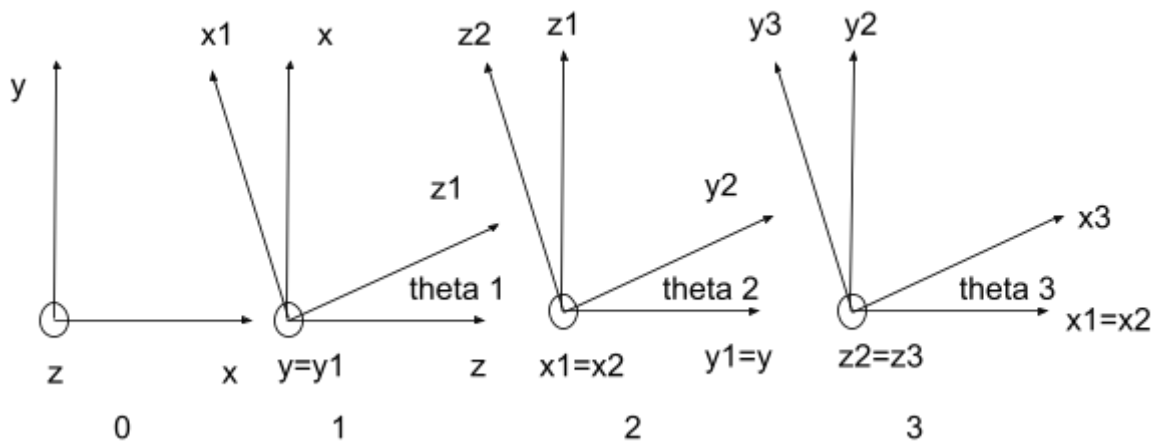


Illustration 2 les systèmes de coordonnées des solides

Les hypothèses qu'on a fait avant le calcul:

- O_0 la centre du pivot (0)
- G_1 la centre du corps principal (1)
- O_1 la centre du bras (2)
- O_2 la centre de la roue (3)
- $O_1 = O_2$ (c'est pour faciliter le calcul)
- $\overrightarrow{O_0 G_1} = d_1 \vec{y}$

$$- I(G_1, 1) = \begin{pmatrix} A_1 & -F_1 & -E_1 \\ -F_1 & B_1 & -D_1 \\ -E_1 & -D_1 & C_1 \end{pmatrix}_{(x_1, y_1, z_1)}$$

– masse négligeable

– $G_3 = O_2 = O_1$, masse m_3

$$- I(G_3, 3) = \begin{pmatrix} A_3 & 0 & 0 \\ 0 & A_3 & 0 \\ 0 & 0 & C_3 \end{pmatrix}_{(x_3, y_3, z_3)}$$

Bilan action mécanique

- pesanteur sur 1 et 3
- Couple moteur de 2 → 3 en O_2 / z_2
- Couple humain de 1 → 2 en O_2 / x_1

-Action de liaison en O0 O1 et O2

On isole 3,

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\sigma}_{G_3(3/0)} &= \begin{pmatrix} A_3 \dot{\theta}_2 \\ A_3 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2) \\ C_3(\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3 \sin(\theta_2)) \end{pmatrix}_{R_2} \\ \overrightarrow{\delta}_{G_3(3/0)} &= \begin{pmatrix} A_3 \ddot{\theta}_2 + A_3 \dot{\theta}_1^2 \cos(\theta_2) \sin(\theta_2) + C_3 \dot{\theta}_1 \cos(\theta_2) (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3 \sin(\theta_2)) \\ A_3 \ddot{\theta}_1 \cos(\theta_2) - 2A_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2) - C_3 \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3 \sin(\theta_2)) \\ C_3(\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3 \sin(\theta_2)) + C_3(\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \ddot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) \end{pmatrix}_{R_2}\end{aligned}$$

on isole 2,

$$\begin{aligned}\overrightarrow{\sigma}_{G_1(1/0)} &= \begin{pmatrix} A_1 & -F_1 & -E_1 \\ -F_1 & B_1 & -D_1 \\ -E_1 & -D_1 & C1 \end{pmatrix}_{R_1} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_1 \\ 0 \end{pmatrix}_{R_1} = -F_1 \dot{\theta}_1 \vec{x}_1 + B_1 \dot{\theta}_1 \vec{y}_1 - D_1 \dot{\theta}_1 \vec{z}_1 \\ \overrightarrow{\delta}_{G_1(1/0)} &= (-F_1 \ddot{\theta}_2 - D_1 \dot{\theta}_1^2) \vec{x}_1 + (B_1 \ddot{\theta}_1) \vec{y}_1 + (-D \ddot{\theta}_1 + F_1 \dot{\theta}_1^2) \vec{z}_1\end{aligned}$$

Pour les torseurs de liaison , je les mets dans l'annexe.

Après avoir obtenu les torseurs de dynamique des solides, et les torseurs de liaison ,

On a appliqué le PFD , enfin nous avons trouvé l'équation suivant:

$$\begin{aligned}B_1 \ddot{\theta}_1 + I^2 m_3 \ddot{\theta}_1 + A_3 \ddot{\theta}_1 (\cos(\theta_2))^2 - 2A_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \sin(\theta_2) \\ - C_3 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) - C_3' \cdot \sin(\theta_2) \cdot (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) \\ - C_3 \sin(\theta_2) \cdot (\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \ddot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) = 0\end{aligned}$$

Pour les détails du calcul je les mets dans l'annexe.

2. L'inertie d'utilisateur

Dans l'équation précédent , on constate qu'il a une constante d'inertie du corps(B1)

Donc on doit essayer de trouver la valeur de B1 pour qu'on puisse faire la simulation suivante.

En biomécanique, le corps humain peut être vu comme composé de nombreuses parties différentes. Si on veut calculer l'inertie d'un humain, il faut calculer l'inertie de chaque partie ,

Les inerties calculées ne sont pas appliquées en même point , on a utilisé **le théorème de HUYGENS**.

Le théorème de Huygens permet de relier les moments d'inertie d'un solide par rapport à un axe et du solide par rapport à l'axe parallèle à et passant par G : où a désigne la distance entre les deux axes de rotation.

Voici est la formule du théorème de Huygens

Déterminons $\vec{AG} \wedge (\vec{u} \wedge \vec{AG})$ avec $\vec{u} = (\alpha, \beta, \gamma)$ et $\vec{AG} = (a, b, c)$.

$$\vec{AG} \wedge (\vec{u} \wedge \vec{AG}) = \begin{pmatrix} b^2 + c^2 & -a \cdot b & -a \cdot c \\ -a \cdot b & a^2 + c^2 & -b \cdot c \\ -a \cdot c & -b \cdot c & a^2 + b^2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$$

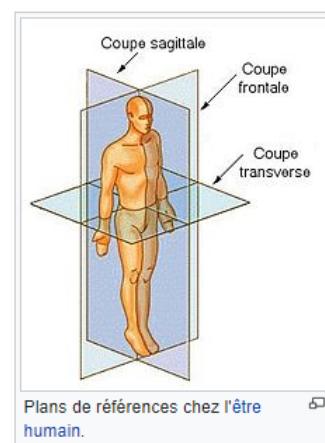
On pose pour les matrices d'inertie en G et A :

$$\overline{\overline{I_A(S)}} = \begin{pmatrix} A_A & -F_A & -E_A \\ -F_A & B_A & -D_A \\ -E_A & -D_A & C_A \end{pmatrix}_{\substack{A \\ (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}} \quad \text{et} \quad \overline{\overline{I_G(S)}} = \begin{pmatrix} A_G & -F_G & -E_G \\ -F_G & B_G & -D_G \\ -E_G & -D_G & C_G \end{pmatrix}_{\substack{G \\ (\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})}}$$

On déduit, dans la base $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, la relation entre ces matrices :

$$\begin{pmatrix} A_A & -F_A & -E_A \\ -F_A & B_A & -D_A \\ -E_A & -D_A & C_A \end{pmatrix}_A = \begin{pmatrix} A_G & -F_G & -E_G \\ -F_G & B_G & -D_G \\ -E_G & -D_G & C_G \end{pmatrix}_G + m \cdot \begin{pmatrix} b^2 + c^2 & -a \cdot b & -a \cdot c \\ -a \cdot b & a^2 + c^2 & -b \cdot c \\ -a \cdot c & -b \cdot c & a^2 + b^2 \end{pmatrix}$$

Il y a aussi autre chose qui doit être fait pendant ce calcul ,c'est d'appliquer le système de référence en anatomie pour chaque partie de corps, parce que l'inertie des différentes parties qu'on a obtenue finalement sont appliquées en leur propre système de coordonnées. Nous



devons tous les convertir dans le même système de coordonnées(sagittale, frontale, transversale)

ETAPE 1 calculer le coefficient de corrélation

La première chose que nous devons faire est de calculer le coefficient de proportionnalité entre la masse et la longueur de chaque partie du corps humain et la hauteur et la masse totale du corps humain sur la base d'un échantillon de table. Ce tableau est un exemple de tableau résumé par des chercheurs sur la base de données massives.

Voici le tableau :

Table 4. Adjusted parameters for females (F; body mass = 61.9 kg, stature = 173.5 m) and males (M; 73.0 kg, 1.741 m). Segment masses are relative to body mass; segment CM positions referenced either to proximal or cranial endpoints (origin). Both segment CM positions and radii of gyration (r) are relative to the respective segment lengths. A set of easy-to-use endpoints considered in the first part of the table; for some segments, alternative endpoints are considered in the second part (UPT, MPT, and LPT are the Upper, Middle, and Lower Parts of Trunk).

| Segment | Endpoints | | Longitudinal length (mm) | | Mass* (%) | | Longitudinal CM position (%) | | Sagittal r (%) | | Transverse r (%) | | Longitudinal r (%) | |
|------------------------------|-----------|-------|--------------------------|-------|-----------|-------|------------------------------|-------|------------------|------|--------------------|------|----------------------|------|
| | Origin | Other | F | M | F§ | M¶ | F | M | F | M | F | M | F | M |
| Head | VERT† | MIDG† | 200.2 | 203.3 | 6.68 | 6.94 | 58.94 | 59.76 | 33.0 | 36.2 | 35.9 | 37.6 | 31.8 | 31.2 |
| Trunk | SUPR† | MIDH† | 529.3 | 531.9 | 42.57 | 43.46 | 41.51 | 44.86 | 35.7 | 37.2 | 33.9 | 34.7 | 17.1 | 19.1 |
| UPT | SUPR† | XYPH† | 142.5 | 170.7 | 15.45 | 15.96 | 20.77 | 29.99 | 74.6 | 71.6 | 50.2 | 45.4 | 71.8 | 65.9 |
| MPT* | XYPH† | OMPH† | 205.3 | 215.5 | 14.65 | 16.33 | 45.12 | 45.02 | 43.3 | 48.2 | 35.4 | 38.3 | 41.5 | 46.8 |
| LPT | OMPH† | MIDH† | 181.5 | 145.7 | 12.47 | 11.17 | 49.20 | 61.15 | 43.3 | 61.5 | 40.2 | 55.1 | 44.4 | 58.7 |
| Upper arm | SJC† | EJC† | 275.1 | 281.7 | 2.55 | 2.71 | 57.54 | 57.72 | 27.8 | 28.5 | 26.0 | 26.9 | 14.8 | 15.8 |
| Forearm | EJC† | WJC† | 264.3 | 268.9 | 1.38 | 1.62 | 45.59 | 45.74 | 26.1 | 27.6 | 25.7 | 26.5 | 9.4 | 12.1 |
| Hand | WJC† | MET3† | 78.0 | 86.2 | 0.56 | 0.61 | 74.74 | 79.00 | 53.1 | 62.8 | 45.4 | 51.3 | 33.5 | 40.1 |
| Thigh | HJC† | KJC† | 368.5 | 422.2 | 14.78 | 14.16 | 36.12 | 40.95 | 36.9 | 32.9 | 36.4 | 32.9 | 16.2 | 14.9 |
| Shank | KJC† | LMAL† | 432.3 | 434.0 | 4.81 | 4.33 | 44.16 | 44.59 | 27.1 | 25.5 | 26.7 | 24.9 | 9.3 | 10.3 |
| Foot* | HEEL† | TTIP† | 228.3 | 258.1 | 1.29 | 1.37 | 40.14 | 44.15 | 29.9 | 25.7 | 27.9 | 24.5 | 13.9 | 12.4 |
| Using alternative endpoints: | | | | | | | | | | | | | | |
| Head* | VERT† | CERV† | 243.7 | 242.9 | 6.68 | 6.94 | 48.41 | 50.02 | 27.1 | 30.3 | 29.5 | 31.5 | 26.1 | 26.1 |
| Trunk | CERV† | MIDH† | 614.8 | 603.3 | 42.57 | 43.46 | 49.64 | 51.38 | 30.7 | 32.8 | 29.2 | 30.6 | 14.7 | 16.9 |
| Trunk | MIDS† | MIDH† | 497.9 | 515.5 | 42.57 | 43.46 | 37.82 | 43.10 | 37.9 | 38.4 | 36.1 | 35.8 | 18.2 | 19.7 |
| UPT* | CERV† | XYPH† | 228.0 | 242.1 | 15.45 | 15.96 | 50.50 | 50.66 | 46.6 | 50.5 | 31.4 | 32.0 | 44.9 | 46.5 |
| Forearm | EJC† | STYL† | 262.4 | 266.9 | 1.38 | 1.62 | 45.92 | 46.08 | 26.3 | 27.8 | 25.9 | 26.7 | 9.5 | 12.2 |
| Hand | WJC† | DAC3† | 170.1 | 187.9 | 0.56 | 0.61 | 34.77 | 36.74 | 24.4 | 28.8 | 20.8 | 23.5 | 15.4 | 18.4 |
| Hand* | STYL† | DAC3† | 172.0 | 189.9 | 0.56 | 0.61 | 35.02 | 36.91 | 24.1 | 28.5 | 20.6 | 23.3 | 15.2 | 18.2 |
| Hand | STYL† | MET3† | 79.9 | 88.2 | 0.56 | 0.61 | 75.34 | 79.48 | 51.9 | 61.4 | 44.3 | 50.2 | 32.7 | 39.2 |
| Shank | KJC† | AJC† | 438.6 | 440.3 | 4.81 | 4.33 | 43.52 | 43.95 | 26.7 | 25.1 | 26.3 | 24.6 | 9.2 | 10.2 |
| Shank | KJC† | SPHY† | 426.0 | 427.7 | 4.81 | 4.33 | 44.81 | 45.24 | 27.5 | 25.8 | 27.1 | 25.3 | 9.4 | 10.5 |

Illustration 3 tableau résumé

Je vais ajouter ce tableau dans l'annexe , ça sera plus clair pour vous.

Finalement , on a obtenu le tableau de coefficient ci dessous

| segment | Endpoints | | coef Longitudinal length | | coef mass en pourcentage | | Longitudinal CM position(pour | |
|-----------|-----------|-------|--------------------------|---------|--------------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | origine | other | F | M | F | M | F | M |
| Head | VERT | MIDG | 0,11539 | 0,11677 | 6,68 | 6,94 | 58,94 | 59,76 |
| Trunk | SUPR | MIDH | 0,30507 | 0,30551 | 42,57 | 43,46 | 41,51 | 44,86 |
| UPT | SUPR | XYPH | 0,08213 | 0,09805 | 15,45 | 15,96 | 20,77 | 29,99 |
| MPT | XYPH | OMPH | 0,11833 | 0,12378 | 14,65 | 16,33 | 45,12 | 45,02 |
| LPT | OMPH | MIDH | 0,10461 | 0,08369 | 12,47 | 11,17 | 49,20 | 61,15 |
| Upper arm | SJC | EJC | 0,15856 | 0,16180 | 2,55 | 2,71 | 57,54 | 57,72 |
| Forearm | EJC | WJC | 0,15233 | 0,15445 | 1,38 | 1,62 | 45,59 | 45,74 |
| Hand | WJC | MET | 0,04496 | 0,04951 | 0,56 | 0,61 | 74,74 | 79,00 |
| Thigh | HJC | KJC | 0,21239 | 0,24250 | 14,78 | 14,16 | 36,12 | 40,95 |
| Shank | KJC | LMAL | 0,24916 | 0,24928 | 4,81 | 4,33 | 44,16 | 44,59 |
| Foot | HEEL | TTIP | 0,13159 | 0,14825 | 1,29 | 1,37 | 40,14 | 44,15 |

Illustration 4 tableau du coefficient

Avec ce tableau, nous pouvons calculer la masse et la longueur de chaque partie de l'utilisateur en fonction de sa taille et de son poids. Nous pouvons aussi savoir la position de

la centre d'inertie avec ce tableau.Parce que ce tableau contient également les informations de la position de la centre de masse.

La figure suivante est plus claire, La position du point de masse est à 44,86 pourcent de la longueur totale du tronc.

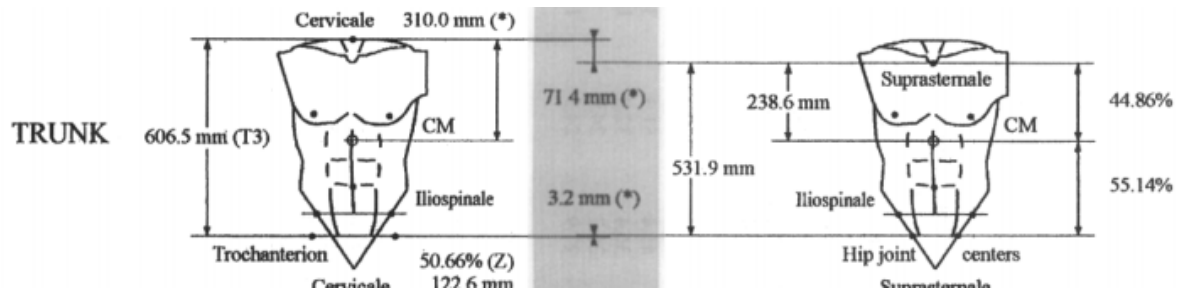


Illustration 5 position du point de masse

Etape 2 Application du théorème de HUYGENS

La formule du HUYGENS est pour changer le point appliqué d'inertie.il faut savoir le vecteur AG tout d'abord.

Le vecteur sert à calculer une matrice qui est une partie de cette formule

| | F | | | M | | | |
|----------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|------------|
| le vecteur AGi | s/a | t/b | l/c | s/a | t/b | l/c | Head |
| Head | 0,00000 | 0,22622 | 0,00000 | 0,00000 | 0,23926 | 0,00000 | Trunk |
| Trunk | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Upper arm1 |
| Upper arm1 | 0,11861 | 0,16463 | 0,16770 | 0,12141 | 0,17817 | 0,16770 | Upper arm2 |
| Upper arm2 | 0,11861 | 0,16463 | -0,16770 | 0,12141 | 0,17817 | -0,16770 | Forearm1 |
| Forearm1 | 0,29641 | 0,16463 | 0,16770 | 0,30218 | 0,17817 | 0,16770 | Forearm2 |
| Forearm2 | 0,29641 | 0,16463 | -0,16770 | 0,30218 | 0,17817 | -0,16770 | Hand1 |
| Hand1 | 0,49445 | 0,16463 | 0,16770 | 0,46198 | 0,17817 | 0,16770 | Hand2 |
| Hand2 | 0,49445 | 0,16463 | -0,16770 | 0,46198 | 0,17817 | -0,16770 | Thigh1 |
| Thigh1 | 0,09973 | -0,23197 | 0,12415 | 0,12910 | -0,21900 | 0,12415 | Thigh2 |
| Thigh2 | 0,09973 | -0,23197 | -0,12415 | 0,12910 | -0,21900 | -0,12415 | Shank1 |
| Shank1 | 0,27611 | -0,37501 | 0,12415 | 0,31526 | -0,36350 | 0,12415 | Shank2 |
| Shank2 | 0,27611 | -0,37501 | -0,12415 | 0,31526 | -0,36350 | -0,12415 | Foot1 |
| Foot1 | 0,34477 | -0,55588 | 0,12415 | 0,40034 | -0,54307 | 0,12415 | Foot2 |
| Foot2 | 0,34477 | -0,55588 | -0,12415 | 0,40034 | -0,54307 | -0,12415 | |

Illustration 6 matrice du vecteru AG

Selon ce tableau on sait les trois valeurs (a,b,c),et puis on fait le calcul comme le tableau ci dessous

| | F | | | | | M | | | | | | |
|------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| | b^2+c^2 | $-a \cdot b$ | $-a \cdot c$ | a^2+c^2 | $-b \cdot c$ | a^2+b^2 | b^2+c^2 | $-a \cdot b$ | $-a \cdot c$ | a^2+c^2 | $-b \cdot c$ | a^2+b^2 |
| Head | 0.05117 | 0 | 0 | 0.00000 | 0 | 0.05117 | 0.05724 | 0 | 0 | 0.00000 | 0 | 0.05724 |
| Trunk | 0.00000 | 0 | 0 | 0.00000 | 0 | 0.00000 | 0.00000 | 0 | 0 | 0.00000 | 0 | 0.00000 |
| Upper arm1 | 0.05523 | -0.0195255 | -0.0198901 | 0.04219 | -0.02760778 | 0.04117 | 0.05987 | -0.02163 | -0.02036 | 0.04286 | -0.02988 | 0.04649 |
| Upper arm2 | 0.05523 | -0.0195255 | 0.01989012 | 0.04219 | 0.027607785 | 0.04117 | 0.05987 | -0.02163 | 0.020361 | 0.04286 | 0.029879 | 0.04649 |
| Forearm1 | 0.05523 | -0.0487969 | -0.0497081 | 0.11598 | -0.02760778 | 0.11496 | 0.05987 | -0.05384 | -0.05068 | 0.11944 | -0.02988 | 0.12306 |
| Forearm2 | 0.05523 | -0.0487969 | 0.04970809 | 0.11598 | 0.027607785 | 0.11496 | 0.05987 | -0.05384 | 0.050676 | 0.11944 | 0.029879 | 0.12306 |
| Hand1 | 0.05523 | -0.0813986 | -0.0823185 | 0.27260 | -0.02760778 | 0.27158 | 0.05987 | -0.08231 | -0.07747 | 0.24155 | -0.02988 | 0.24517 |
| Hand2 | 0.05523 | -0.0813986 | 0.08231849 | 0.27260 | 0.027607785 | 0.27158 | 0.05987 | -0.08231 | 0.077474 | 0.24155 | 0.029879 | 0.24517 |
| Thigh1 | 0.06922 | 0.02313431 | -0.0123816 | 0.02536 | 0.028798781 | 0.06376 | 0.06337 | 0.028272 | -0.01603 | 0.03208 | 0.027189 | 0.06463 |
| Thigh2 | 0.06922 | 0.02313431 | 0.01238157 | 0.02536 | -0.02879878 | 0.06376 | 0.06337 | 0.028272 | 0.016027 | 0.03208 | -0.02719 | 0.06463 |
| Shank1 | 0.15604 | 0.10354323 | -0.034279 | 0.09165 | 0.046557225 | 0.21687 | 0.14755 | 0.114595 | -0.03914 | 0.11480 | 0.045129 | 0.23152 |
| Shank2 | 0.15604 | 0.10354323 | 0.034279 | 0.09165 | -0.04655722 | 0.21687 | 0.14755 | 0.114595 | 0.039139 | 0.11480 | -0.04513 | 0.23152 |
| Foot1 | 0.32442 | 0.19165293 | -0.0428036 | 0.13428 | 0.069012648 | 0.42787 | 0.31033 | 0.217412 | -0.0497 | 0.17569 | 0.067422 | 0.45519 |
| Foot2 | 0.32442 | 0.19165293 | 0.04280359 | 0.13428 | -0.06901265 | 0.42787 | 0.31033 | 0.217412 | 0.049703 | 0.17569 | -0.06742 | 0.45519 |

Illustration 7 matrice calculé

Nous ajoutons la valeur obtenue dans le tableau ci-dessus à sa propre inertie(l'inertie en sa centre de gravité),on obtient les l'inertie en la centre de gravité du corps global.

Et puis , on ajoute tous les résultats pour obtenir l'inertie totale du corps au centre du tronc,comme le tableau ci dessous

| A | -F | -E | -F | B | -D | -E | -D | C |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| F | | | | | | | | |
| 2,18145 | 0,64714 | 0,00000 | 0,64714 | 1,40628 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 2,37819 |

Illustration 8 l'inertie totale du corps au centre du tronc

Ces inerties qu'on a obtenu ne sont pas appliquées au centre du corps , il est au centre du tronc.Donc on doit le convertir au centre du corps en utilisant HUYGENS.

Avant le calcul, il nous faut savoir la position du centre du corps en utilisant le théorème BARYCENTRE.

Voici est le tableau l'inertie du corps au centre:

Illustration 9 l'inertie totale du corps au centre du corps

On doit connaître l'inertie du plateau aussi puisqu'on pense que le plateau et l'humain sont dans le même solide(1)

Avec solidworks , nous pouvons connaître l'inertie d'une solide facilement ,solidworks peut nous aider à calculer l'inertie d'un solide lui-même.

| | | |
|---|---------------------|--------------------|
| Propriétés de masse de Assemblage finale | | |
| Configuration: Défaut | | |
| Système de coordonnées: -- par défaut -- | | |
| Masse = 11090.05 grammes | | |
| Volume = 21447974.54 millimètres cubes | | |
| Superficie = 7426287.03 millimètres carrés | | |
| Centre de gravité: (millimètres) | | |
| X = -125.15 | | |
| Y = -37.68 | | |
| Z = 849.10 | | |
| Principaux axes et moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés) | | |
| Pris au centre de gravité. | | |
| Ix = (0.71, 0.00, 0.71) | | Px = 888280568.97 |
| Iy = (0.71, 0.00, -0.71) | | Py = 888280568.97 |
| Iz = (0.00, 1.00, 0.00) | | Pz = 1652225871.49 |
| Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés) | | |
| Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie. | | |
| Lxx = 888280751.57 | Lxy = -391.38 | Lxz = 0.03 |
| Lyx = -391.38 | Lyy = 1652225871.49 | Lyz = 6.54 |
| Lzx = 0.03 | Lzy = 6.54 | Lzz = 888280386.3 |
| Moments d'inertie: (grammes * millimètres carrés) | | |
| Pris au système de coordonnées de sortie. | | |
| lxx = 8899684530.53 | lxy = 52300381.89 | lxz = -1178485889 |
| lyx = 52300381.89 | lyy = 9821579734.21 | lyz = -354844282.3 |
| lzx = -1178485889.37 | lzy = -354844282.35 | lzz = 1077726189. |

Illustration 10 l'inertie du plateau donné par solidworks

Et enfin , on a ce tableau qui nous dit l'inertie du corps et plateau en la centre du corps en les ajoutant:

| | | |
|---------|---------|---------|
| 4,69291 | 0,64714 | 0,00000 |
| 0,64714 | 2,31908 | 0,00000 |
| 0,00000 | 0,00000 | 4,88965 |
| | | |
| 4,52561 | 0,69883 | 0,00000 |
| 0,69883 | 2,28345 | 0,00000 |
| 0,00000 | 0,00000 | 5,10641 |

Illustration 11 l'inertie du plateau et d'humain

II. Mission 3: Dimensionnement du plateau et la roue

1. La roue

La roue est composée en trois parties comme l'illustration, la vitesse de la rotation et l'inertie peuvent être contrôlées par l'ordinateur à distance.

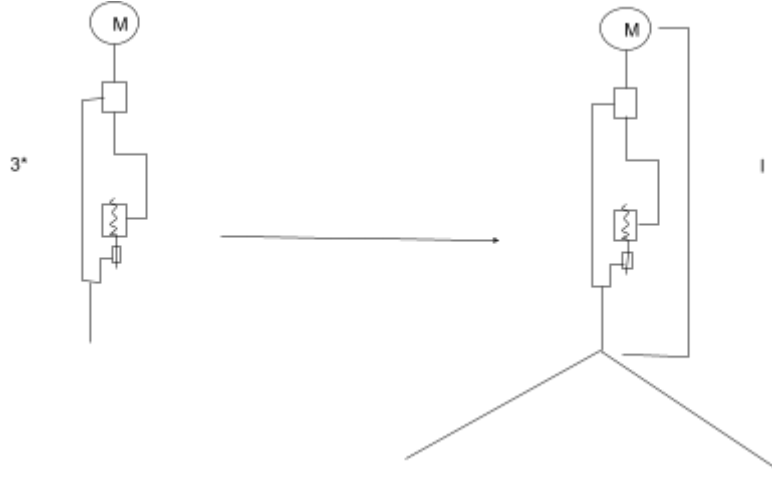


Illustration 12 la modèle de la roue

Dans la première mission, on a trouvé une équation qui lie l'inertie de la roue et la vitesse de rotation du plateau, et nous avons aussi établi un tableau d'excel pour calculer la matrice d'inertie du corps et plateau en le centre de gravité du corps. Cette simulation a l'objectif de trouver une valeur pertinente de l'inertie et des autres paramètres de la roue pour que la vitesse de rotation de la roue ne soit pas très rapide.

Nous avons proposé deux cas pour la simulation de la roue.

$$\text{CAS1} - \theta_2 = 90, C_3' = 0, \theta_2' = 0, \theta_3' \text{ variable} \rightarrow \theta_1 = C_3 \cdot \frac{\theta_3}{B_1 + l^2 \cdot m_3 + C_3}$$

$$\text{CAS2} - \theta_2 = 90, C_3' \text{ variable}, \theta_2' = 0, \theta_3' \text{ constante} \rightarrow$$

$$\theta_1' = C_3 \cdot \frac{\theta_3'}{B_1 + l^2 \cdot m_3 + C_3} - C_3 \cdot \frac{\theta_{3en0s}'}{B_1 + l^2 \cdot m_3 + C_3}$$

$$\theta_1'' = C_3' \cdot \theta_3' \cdot \frac{(B_1 + l^2 \cdot m_3)}{(B_1 + l^2 \cdot m_3 + C_3)^2}$$

Le premier cas : l'angle du bras est une constante ($\pi/2$), l'inertie de la roue est une constante, on joue sur la vitesse de rotation de la roue, si on veut laisser le plateau tourner, l'accélération de la roue ne doit pas être zéro. On a proposé un modèle comme ci-dessous:

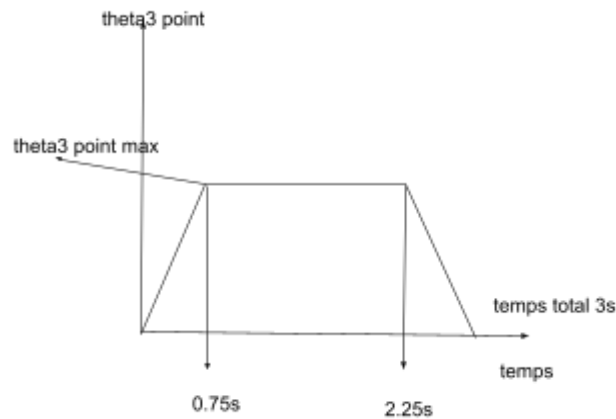


Illustration 13 theta 3 point en fonction du temps

Le deuxième cas: l'angle du bras est une constante($\pi/2$), la vitesse de rotation de la roue est une constante, l'inertie variable. Pareil, on a proposé un modèle pour C3 point:

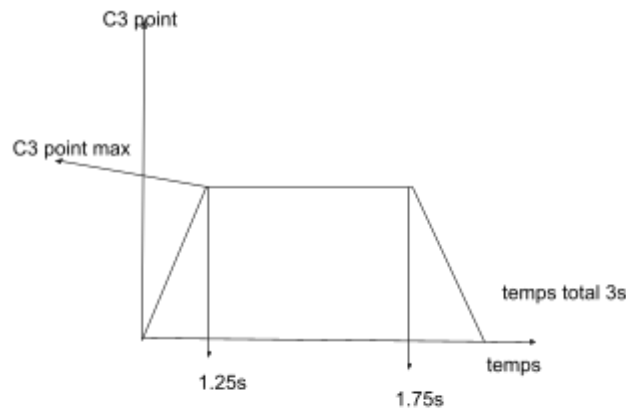


Illustration 14 C3 point en fonction du temps

Et puis on a établi un tableau de résultat de simulation selon les deux cas proposés et les équations:

| Matrice du moment d'inertie (plateau ; humain) | | | | | | | |
|---|-----------|---------------------|--------------|-----------------|-----------|--------------|-----------------|
| F | | masse(kg) | taille (m) | | M | masse(kg) | taille (m) |
| | | 35 | 1,3 | | | 35 | 1,3 |
| l'unité pour le moment d'inertie : $kg \cdot m^2$ | | | | | | | |
| | | | 4,69291 | 0,64714 | 0,00000 | | |
| matrice d'inertie F | | | 0,64714 | 2,31908 | 0,00000 | | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 4,88965 | | |
| | | | 4,52561 | 0,69883 | 0,00000 | | |
| matrice d'inertie M | | | 0,69883 | 2,28345 | 0,00000 | | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 5,10641 | | |
| première simulation | | | | | | | |
| MAX theta3 | 62,831853 | F MAX | | | M MAX | | |
| m3 | 2 | theta1 | theta1 point | eta1 deux point | theta1 | theta1 point | eta1 deux point |
| C3 MAX | 0,0584683 | 2,97471942 | 1,32209752 | 1,76279669 | 2,9853585 | 1,326826 | 1,763101331 |
| C3 Min | 0,0146171 | deuxième simulation | | | | | |
| C3 point MA | 0,0250579 | theta1 | theta1 point | eta1 deux point | theta1 | theta1 point | eta1 deux point |
| R MAX | 0,17098 | | 1,51855895 | 0,84874819 | | 1,49775958 | 0,859761122 |
| R MIN | 0,08549 | | | | | | |
| theta3 point | 94,2 | | | | | | |

Illustration 15 résultat de simulation

Cette table est construite sur la base d'une énorme table de simulation,

| U,05846832 | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|------------|---------|----|------------|------|-----------|--------------|
| F | | | | | | | | | |
| temps en s | eta3 deux po | theta3 point | theta3 | I | m3 | C3 | B1 | theta1 | theta1 point |
| 0 | 83,775804 | 0 | 0 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0 | 0 |
| 0,01 | 83,775804 | 0,83775804 | 0,00418879 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 8,814E-05 | 0,017628 |
| 0,02 | 83,775804 | 1,67551608 | 0,01675516 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0003526 | 0,0352559 |
| 0,03 | 83,775804 | 2,51327412 | 0,03769911 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0007933 | 0,0528839 |
| 0,04 | 83,775804 | 3,35103216 | 0,06702064 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0014102 | 0,0705119 |
| 0,05 | 83,775804 | 4,1887902 | 0,10471976 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0022035 | 0,0881398 |
| 0,06 | 83,775804 | 5,02654825 | 0,15079645 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,003173 | 0,1057678 |
| 0,07 | 83,775804 | 5,86430629 | 0,20525072 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0043189 | 0,1233958 |
| 0,08 | 83,775804 | 6,70206433 | 0,26808257 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0056409 | 0,1410237 |
| 0,09 | 83,775804 | 7,53982237 | 0,33929201 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0071393 | 0,1586517 |
| 0,1 | 83,775804 | 8,37758041 | 0,41887902 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,008814 | 0,1762797 |
| 0,11 | 83,775804 | 9,21533845 | 0,50684361 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0106649 | 0,1939076 |
| 0,12 | 83,775804 | 10,0530965 | 0,60318579 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0126921 | 0,2115356 |
| 0,13 | 83,775804 | 10,8908545 | 0,70790554 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0148956 | 0,2291636 |
| 0,14 | 83,775804 | 11,7286126 | 0,82100288 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0172754 | 0,2467915 |
| 0,15 | 83,775804 | 12,5663706 | 0,9424778 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0198315 | 0,2644195 |
| 0,16 | 83,775804 | 13,4041287 | 1,07233029 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0225638 | 0,2820475 |
| 0,17 | 83,775804 | 14,2418867 | 1,21056037 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0254724 | 0,2996754 |
| 0,18 | 83,775804 | 15,0796447 | 1,35716803 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0285573 | 0,3173034 |
| 0,19 | 83,775804 | 15,9174028 | 1,51215326 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0318185 | 0,3349314 |
| 0,2 | 83,775804 | 16,7551608 | 1,67551608 | 0,44784 | 2 | 0,05846832 | 2,32 | 0,0352559 | 0,3525559 |

Dans l'illustration 15 ,le tableau en haut est le tableau d'inertie d'humain et du plateau,le tableau en bas est le tableau de simulation ,les valeurs en rouge sont les paramètres qu'on peut modifier, quand on modifie les valeur en rouge ,les résultat de la simulation change aussi.Nous avons voulu trouver les meilleur paramètres pour que la vitesse de rotation du plateau ne soit pas très rapide.La roue doit etre tenu par les utilisateur , c'est pour ca que le mase de la roue ne doit pas etre tres lourd,on a pris deux kg comme son masse,et on joue principalement sur sa vitesse de rotation.quand l'angle du bras est nul , Qu'il change de vitesse ou de poids de roue, le plateau ne peut pas tourner.Donc pour le rendre bien fonctionner , l'angle du bras d'utilisateur (theta 2) ne doit pas être nul.

Enfin, après plusieurs simulations,nous avons proposé deux modes (mode enfant ,mode adulte):

| MODE ENFANT | | | | | | | |
|--|-----------|------------|--------------|-------------|-----------|--------------|------------|
| Matrice du moment d'inertie (plateau : humain) | | | | | | | |
| F | masse(kg) | taille (m) | | M | masse(kg) | taille (m) | |
| | 35 | 1,3 | | | 35 | 1,3 | |
| l'unité pour le moment d'inertie : kg/m ² | | | | | | | |
| | | 4,69291 | 0,64714 | 0,00000 | | | |
| matrice d'inertie F | | 0,64714 | 2,31908 | 0,00000 | | | |
| | | 0,00000 | 0,00000 | 4,88965 | | | |
| | | | | | | | |
| | | 4,52561 | 0,69883 | 0,00000 | | | |
| matrice d'inertie M | | 0,69883 | 2,28345 | 0,00000 | | | |
| | | 0,00000 | 0,00000 | 5,10641 | | | |
| | | | | | | | |
| première simulation | | | | | | | |
| MAX theta3 | 56,54867 | F MAX | | M MAX | | | |
| m3 | 2 | theta1 | theta1 point | ta1 deux po | theta1 | theta1 point | ta1 deux p |
| C3 MAX | 0,058468 | 2,677247 | 1,189888 | 1,58652 | 2,68682 | 1,194143 | 1,59219 |
| C3 Min | 0,014617 | | | | | | |
| deuxième simulation | | | | | | | |
| C3 point MA | 0,025058 | theta1 | theta1 point | ta1 deux po | theta1 | theta1 point | ta1 deux p |
| R MAX | 0,17098 | | 1,552305 | 0,65071 | | 1,519641 | 0,65915 |
| R MIN | 0,08549 | | | | | | |
| theta3^poin | 72,22 | | | | | | |

Illustration 16 mode enfant

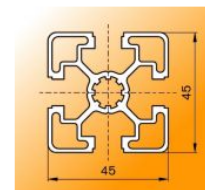
| MODE ADULT | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|--------------|---------------|----------|--------------|---------------|
| Matrice du moment d'inertie (plateau : humain) | | | | | | | |
| | | masse(kg) | taille (m) | | M | masse(kg) | taille (m) |
| | | 75 | 1,8 | | | 75 | 1,8 |
| l'unité pour le moment d'inertie : kg/m^2 | | | | | | | |
| | | | 13,68569 | 2,65858 | 0,00000 | | |
| matrice d'inertie F | | | 2,65858 | 6,69006 | 0,00000 | | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 14,49394 | | |
| | | | | | | | |
| | | | 13,18027 | 2,87095 | 0,00000 | | |
| matrice d'inertie M | | | 2,87095 | 6,54370 | 0,00000 | | |
| | | | 0,00000 | 0,00000 | 15,56629 | | |
| | | | | | | | |
| première simulation | | | | | | | |
| MAX theta3 | 141,37167 | F MAX | | | M MAX | | |
| m3 | 2 | theta1 | theta1 point | eta1 deux poi | theta1 | theta1 point | eta1 deux poi |
| C3 MAX | 0,0584683 | 2,4739389 | 1,0995284 | 1,466038 | 2,506294 | 1,113908 | 1,485211 |
| C3 Min | 0,0146171 | | | | | | |
| deuxième simulation | | | | | | | |
| C3 point MAX | 0,0250579 | theta1 | theta1 point | eta1 deux poi | theta1 | theta1 point | eta1 deux poi |
| R MAX | 0,17098 | | 1,4767804 | 0,627799 | | 1,465295 | 0,640261 |
| R MIN | 0,08549 | | | | | | |
| theta3 point | 188,4 | | | | | | |

Illustration 17 mode adulte

(Lors de la simulation, nous avons constaté que la masse de la roue a peu d'effet sur la vitesse du plateau , on prend en compte principalement C3 et theta 3)

2.Le plateau

Le plateau est composé en trois parties , la première partie est le disque en bois,Le diamètre de ce disque est d'un mètre et l'épaisseur est de deux centimètres.La deuxième partie est le bâti en métal (aluminium),on a choisi le motedis 45*45,



La troisième partie est le boîtier du roulement ,dans le dimensionnement du plateau , le choix du roulement est le plus important.

On a plusieurs type de roulement qui peuvent être choisi:

- un montage du roulement avec contact oblique(bille,rouleau)
- un roulement combiné
- un roulement rouleaux croisé

Pour le troisième roulement , mon équipe en a trouvé un pertinent , son prix est 240 euros,moi j'ai travaillé sur le choix du premier type roulement-un montage du roulement avec contact oblique(bille,rouleau).Enfin , on a comparé les prix des roulement ,Choisissant le roulement le plus économique.

Pour choisir le roulement , on a proposé cinq contraintes:

- >charge statique équivalente doit être inférieur à charge statique de la base du roulement ($P_0 < C_0$).
- >durée de vie du roulement doit être supérieur à 20000h.

->le contrainte(la traction et le cisaillement) doit être inférieur à la limite élasticité du matériaux avec "k=2".

->l'angle de déformation en les points du roulement doit être inférieur à deux minutes d'angle($\pi/5400$). il est donné par le constructeur

->la distance au dessus et au dessous des deux roulements doit être inférieur à l'épaisseur de ces deux roulement ($h > 2 \cdot B$).

--le travaille sur solidworks, effectuer la modélisation selon les dimensions qu'on a obtenues.

Ce roulement doit avoir une longue durée de vie et être capable de résister à la gravité de l'utilisateur. Dans le même temps, le diamètre intérieur du roulement détermine l'épaisseur de l'arbre et le diamètre de l'arbre doit pouvoir résister à une force suffisante.

La première chose que j'ai faite était d'établir un tableau avec tous les paramètres des roulements (d,D,B,C,C0,X,Y0,Y1,Y2,e), ces paramètres peuvent être trouvés sur le site SKF.

Et puis on doit calculer sa Charge dynamique équivalente et Charge statique équivalente

Dans le dossier du constructeur ,on y a trouvé le modèle du calcul pour ce type de roulement.

Le modèle du calcul du roulement :

Charge dynamique équivalente->

Roulements isolés et appariés en tandem :

$$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y_2 F_a.$$

Roulements montés par paire selon disposition en O ou en X

$$F_a/F_r \leq e \rightarrow P = F_r + Y_1 F_a$$

$$F_a/F_r > e \rightarrow P = X F_r + Y_2 F$$

Charge statique équivalente->

Roulements isolés et appariés en tandem :

$$P_0 = 0,5 F_r + Y_0 F_a$$

$$P_0 < F_r \rightarrow P_0 = F_r$$

Roulements montés par paire selon disposition en O ou en X :

$$P_0 = F_r + Y_0 F_a.$$

On a ajouté la méthode du calcul dans le tableau ,et puis , on a calculé la durée de vie des différentes des roulements.

Après avoir chercher des informations sur le site ,on a trouvé une caractéristique des roulements.Dans ce document , il est indiqué que le défaut d'alignement admissible est 2 minutes d'angle pour montage en O, et 4 minutes d'angle pour montage en X.

| | |
|---|------------------------------------|
| Défaut d'alignement admissible | En O : ≈ 2 minutes d'angle |
| | En X : ≈ 4 minutes d'angle |
| Un défaut d'alignement augmente le bruit de fonctionnement et réduit la durée de service du roulement. En cas de dépassement des valeurs indicatives, ces effets se font particulièrement sentir. | |

Donc on a calculé l'angle déformation pour chaque roulement.

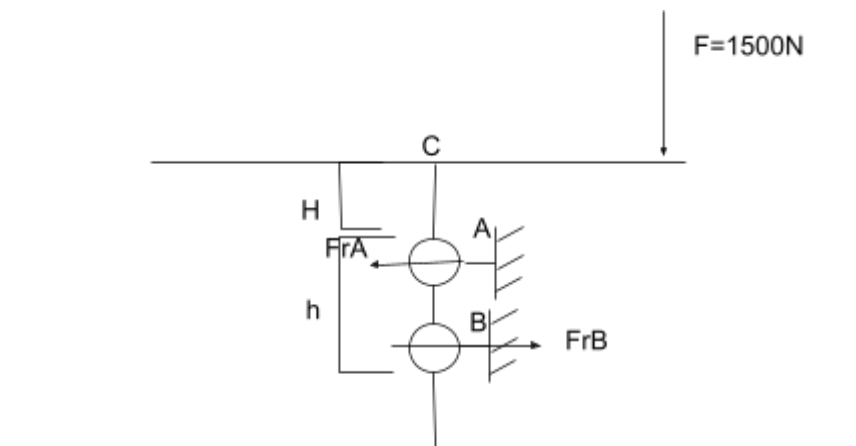


Illustration 18 modèle du plateau

Après calcul ,l'angle déformation en roulement A: $\dot{y} = \frac{-64rFh}{3\pi d^4}$

L'angle déformation en roulement B: $\dot{y} = \frac{32rFh}{3\pi d^4}$.

Et puis on a ajouté ces deux formules dans le tableau.

Dans le processus de calcul, nous avons également trouvé une formule : $Fr \cdot h = F/2 = 750$

Moment en point C:

$$0.5 \cdot F + FrA \cdot H - FrB \cdot (H + h) = 0$$

$$0.5F = FrAh = FrBh = 750$$

Après avoir terminé le formulaire, nous avons commencé notre simulation, On veut savoir quel roulement est le moins cher si la valeur h est la plus petite. Finalement, on a trouvé, la valeur la plus petite pour h est 35 mm, dans ce cas, on a 12 roulements au choix.

On a pris le roulement 7207 BE-2RZP, parce que ce roulement est étanche. Dans la partie de montage, on a pas besoin de monter une étanchéité.

Roulement à billes étanche, \varnothing int. 35mm, \varnothing ext. 72mm, larg. 17mm



Code commande RS: 207-5446 | Référence fabricant: 7207 BE-2RZP | Marque: SKF



6 En stock pour livraison sous 1 jour(s)

Prix pour la pièce

| | |
|----------------|----------------|
| 60,33 € | 72,40 € |
| HT | TTC |

| Unité | Prix par unité |
|-------|----------------|
| 1 + | 60,33 € |

-
1
+

Unité

Commander

[Vérifier le stock en temps réel](#)

Illustration 19 Le prix du roulement 7207 BE-2RZP sur 123roulement

Le prix pour ce roulement est 72.40 euros, il est inférieur à 240 euros, c'est plus économique de prendre ce roulement.

Mission 3: conception sur Solidworks

Après de dimensionnement, on a commencé conception sur solidworks, et voici est la modèle du plateau j'ai conçu:

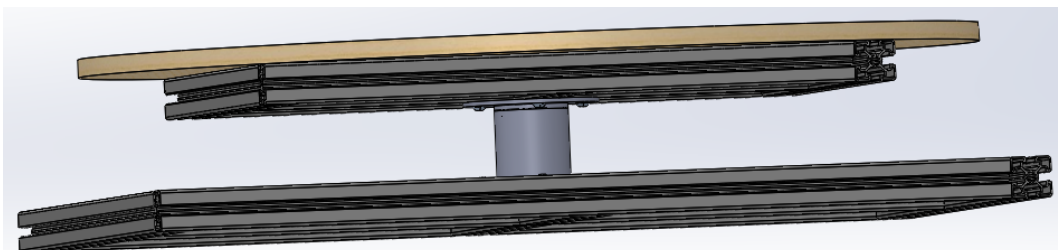


Illustration 20 modèle du plateau sur solidwork

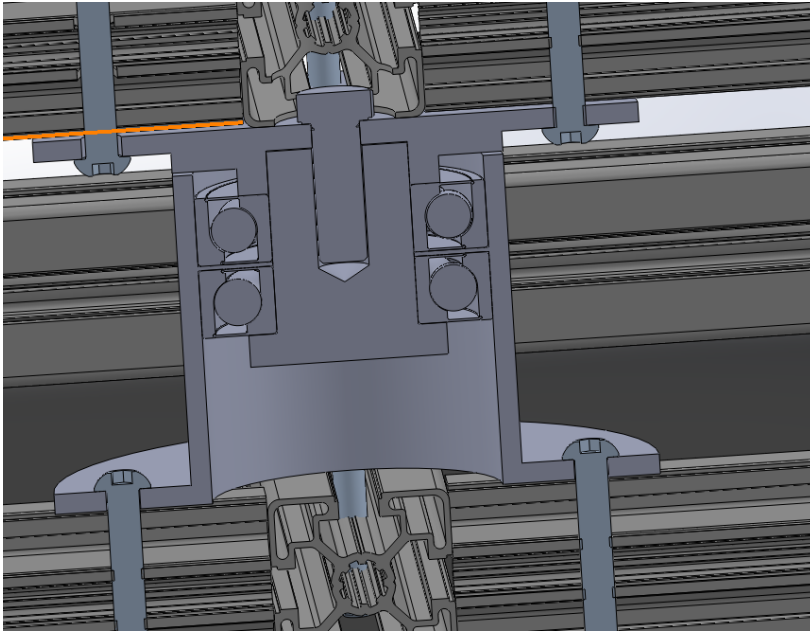


Illustration 21 vue de coupe

et voici est la vue de coupe du boîtier du roulement. il y a du jeu entre l'arbre et la plaque haute, c'est pour régler la précharge, quand on serre la vis de serrage, ce jeu diminue, et la précharge augmente.

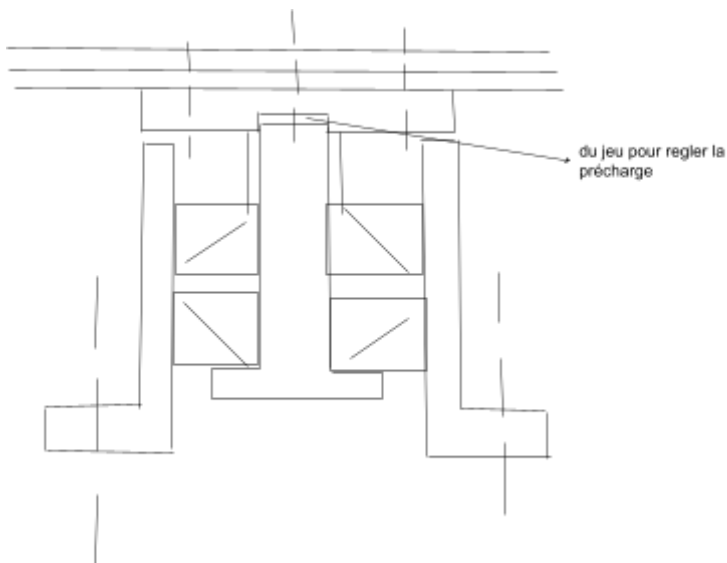


Illustration 22 le jeu pour régler la précharge

Pour le conception du plateau, j'ai pas eu le temps pour le finir. Mais l'idée est claire, les paramètres pour la roue sont bien trouvés. Nous devons juste trouver un moyen de transformer nos idées en réalité.

Conclusion

J'ai la chance d'avoir pu faire un stage de deux mois dans le laboratoire du CNRS, ce qui a grandement renforcé mes connaissances que j'ai apprises à l'IUT.

La tâche qui m'a été confiée est pratiquement terminée, il manque juste la conception de la roue, mais l'idée de base a été donnée dans le rapport.

Pour faire simple, j'ai réalisé trois points dans ce stage, tout d'abord, j'ai fait l'analyse cinétique et dynamique et l'inertie d'utilisateur, c'est pour trouver l'équation du mouvement qui peut être utilisée dans la simulation.

$$\begin{aligned} B_1 \ddot{\theta}_1 + l^2 m_3 \ddot{\theta}_1 + A_3 \ddot{\theta}_1 (\cos(\theta_2))^2 - 2A_3 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) \sin(\theta_2) \\ - C_3 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) - C_3' \sin(\theta_2) \cdot (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) \\ - C_3 \sin(\theta_2) \cdot (\ddot{\theta}_3 - \ddot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos(\theta_2) - \ddot{\theta}_1 \sin(\theta_2)) = 0 \end{aligned}$$

l'équation du mouvement

Et puis j'ai fait le dimensionnement du plateau et la roue, proposé des paramètres de fonctionnement. Pour le plateau, la chose la plus importante est le choix du roulement, après l'étude et la simulation, on a pris le roulement 7207 BE-2RZP, c'est un roulement étanche.

Et pour la roue, on a proposé deux modes de fonctionnement (enfant et adulte), sa masse totale est de 2 kg, le temps de fonctionnement de la roue doit être de 3s, et les autres paramètres de la roue sont bien indiqués dans le rapport.

Finalement, j'ai travaillé sur Solidworks, pour la modélisation du plateau.

Pour ces missions, aucune échéance particulière ne m'avait été indiquée. Aussi j'ai pu travailler à mon rythme tout en m'efforçant de fournir un résultat que j'espère suffisamment avancé pour qu'il puisse bénéficier à l'entreprise.

Je suis très reconnaissant au CNRS de m'avoir offert cette opportunité de stage, Si je dois me dire quel est mon plus gros gain durant ce stage, Je pense que c'est une attitude envers les choses, tant que les choses sont prises au sérieux, rien n'est impossible!