
PSI

SUPPORT : Équilibrage de corps en rotation.

DURÉE : 2h.

OBJECTIFS :

- Réaliser l'équilibrage statique et dynamique d'un rotor.
- Comparer les résultats théoriques et expérimentaux.

TP n°2

Équilibreuse

Équilibrage statique et dynamique d'un rotor

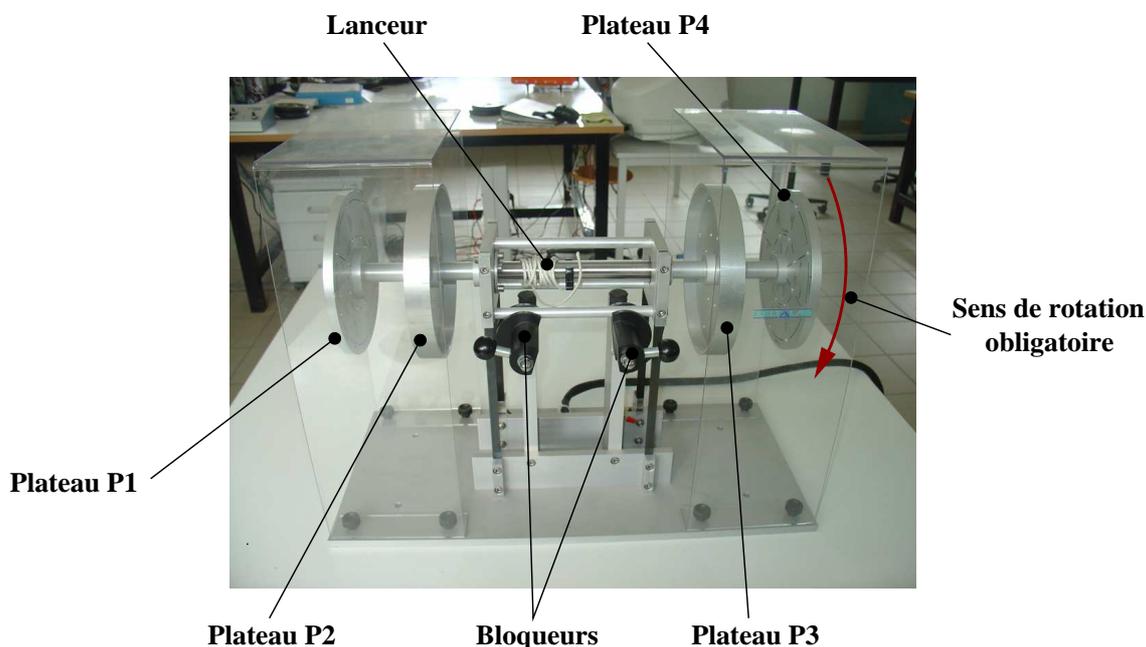


1 Introduction

La maquette DELTALAB permet de reproduire, de visualiser, d'analyser et de mesurer, dans sa version instrumentée, les phénomènes de vibrations liés aux balourds de roues tout en simulant le fonctionnement d'une machine à équilibrer.

Un ensemble rotor, constitué d'un arbre et de quatre plateaux, monté en liaison élastique avec le support est mis en rotation manuellement. Des masses ponctuelles peuvent se fixer sur ces plateaux de façon à déséquilibrer ou à rééquilibrer le système. D'autre part, différentes pièces non équilibrées peuvent se fixer sur le rotor à la place du premier plateau.

La mise en rotation du rotor se fait à l'aide de la cordelette du lanceur et **dans le sens indiqué par la flèche** (sens de rotation qui a servi à l'étalonnage des capteurs).



2 Caractéristiques et paramétrage du système

2.1 Paramétrage

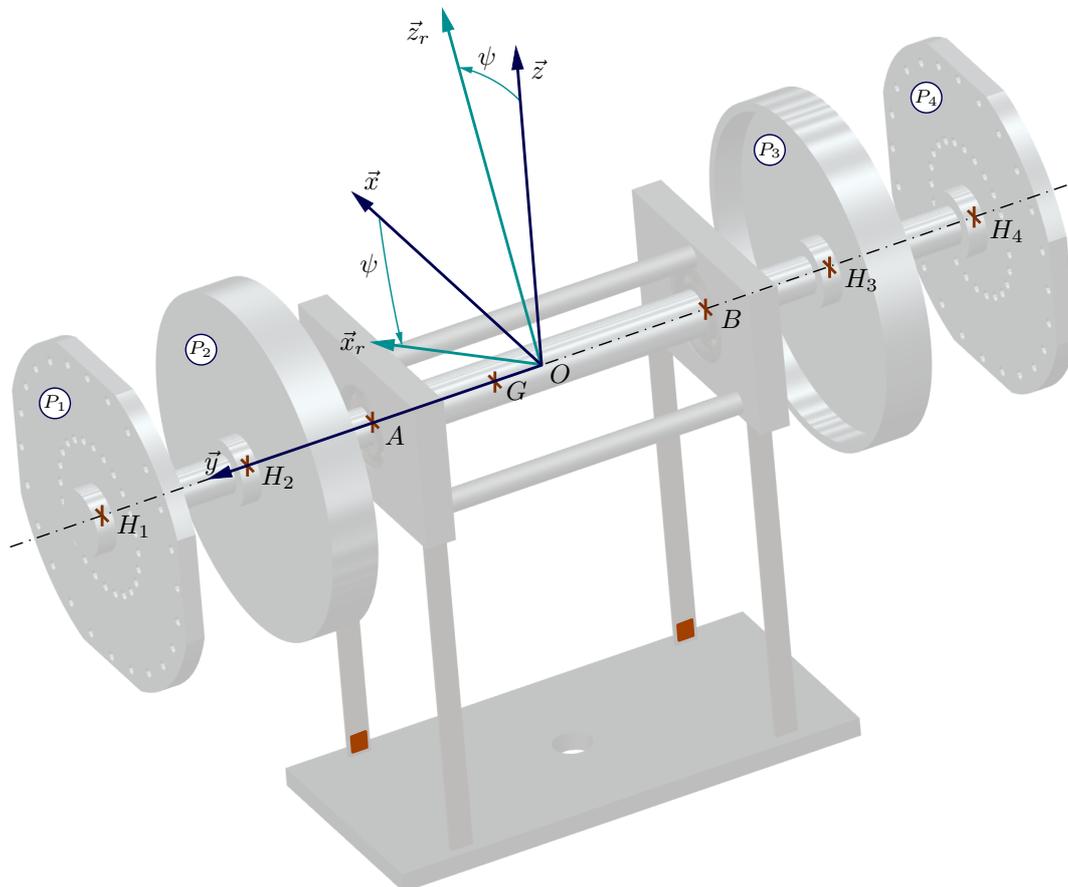
L'ensemble rotor est constitué du « rotor nu » (c.-à-d. de l'arbre et des 4 plateaux qui y sont encastrés) et des masses additionnelles. L'ensemble ainsi constitué est dénommé « rotor chargé ».

La liaison pivot entre le rotor et son support est réalisé à l'aide de deux paliers situés en A et B . Le « rotor nu » est de masse m et son centre d'inertie est G .

On définit le point O , situé sur l'axe de rotation du rotor à égale distance des paliers de centre A et B , $\mathcal{R} = (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, le repère supposé galiléen lié au bâti (base associée est $\mathcal{B} = (x, y, z)$) et $\mathcal{R}_r = (G, x_r, y, z_r)$, le repère lié au rotor (base associée $\mathcal{B}_r = (x_r, y, z_r)$).

La position relative de \mathcal{B}_r par rapport à \mathcal{B} est définie par l'angle orienté : $\psi = (\vec{x}, \vec{x}_r) = (\vec{z}, \vec{z}_r)$.

$\vec{BA} = L \vec{y}$. On note H_j le centre du plateau P_j tel que : $\vec{OH}_j = y_j \vec{y}$.



2.2 Caractéristiques des différents éléments

Arbre :

- longueur AB entre paliers : $L = 180 \text{ mm}$
- masse : 0.65 kg

Plateaux :

- diamètre : 180 mm
- épaisseur : 10 mm
- masse : 660 g pour $P1$ et $P4$, 780 g pour $P2$ et $P3$
- position des plateaux : $y_1 = -y_4 = 240 \text{ mm}$, $y_2 = -y_3 = 160 \text{ mm}$
- position des trous de fixation des masses : $r = 80 \text{ mm}$, $r' = 40 \text{ mm}$
- position de collage des masses sur $P2$ et $P3$: $R = 90 \text{ mm}$

Lames élastiques :

- longueur : $L = 180 \text{ mm}$
- largeur : $l = 10 \text{ mm}$
- épaisseur : $e = 2 \text{ mm}$

2.3 Capteurs

Deux jauges de déformation collées sur les lames élastiques permettent après traitement du signal, de donner en continu les valeurs des actions mécaniques du support sur l'arbre au niveau des paliers *A* et *B* (jauges **VISHAY**).

Un capteur fournit les valeurs des positions et vitesses angulaires de l'ensemble tournant à chaque instant (relais **CELDUC** + aimant **UGIMAG**) ; voir documentation des différents capteurs en annexe.

2.4 Carte d'acquisition

Carte d'acquisition PCI-DAS08 de **Measurement Computing**.

3 Équilibrage statique et dynamique du rotor

On souhaite réaliser l'équilibrage dynamique du rotor préalablement déséquilibré à l'aide de deux masselottes de 30 g :

- l'une placée sur le plateau *P1* sur le rayon de 80 mm et à 0° ;
- l'autre placée sur le plateau *P4* sur le rayon de 80 mm et à 90°.

3.1 Étude expérimentale

1. Placer les masselottes de déséquilibrage et constater les déséquilibrage statique et dynamique. Qu'observe-t-on lors du ralentissement du rotor ?
2. Réaliser une acquisition en suivant la procédure suivante :
 - vérifier que le pont d'extensométrie est sous tension ;



- **libérer** les paliers en manœuvrant les deux manettes de blocage ;

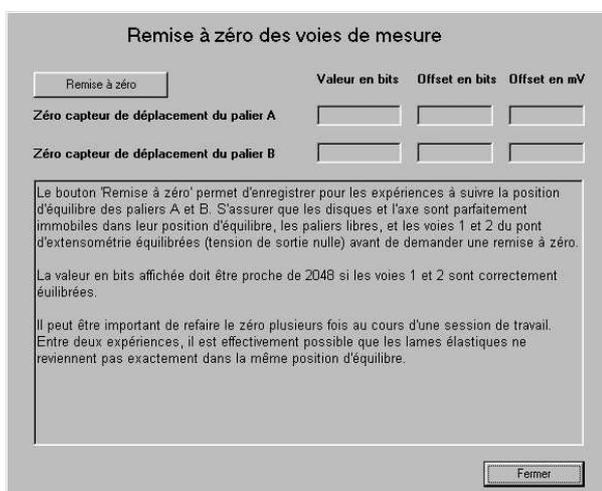


- après s'être assuré que le rotor est au repos, mettre à zéro les réponses sur les voies 1 et 2 ;

- lancer le logiciel **Vibraleg** et sélectionner : Remise à zéros des voies de mesure.



- effectuer la remise à zéro ;



verrouiller les paliers en manœuvrant les manettes de blocage ;

- mettre en place et fixer efficacement les masses sur les différents plateaux ou la pièce déséquilibrée en remplacement d'un des plateaux ;
- sélectionner **Equilibrage de masses ponctuelles** du logiciel **Vibraleg** et saisir les données de déséquilibrage ;
- passer au menu d'acquisition  ;
- initialiser la mesure par **RAZ acquisition** ;

- enrouler la cordelette sur l'arbre en agissant en rotation sur l'un des plateaux, maintenir le banc d'une main puis, de l'autre, tirer horizontalement et fermement (mais sans excès) sur la cordelette de façon à entraîner l'arbre en rotation dans le sens indiqué en introduction (la vitesse d'acquisition est 1050 tr min^{-1} par défaut) ;



- déverrouiller les paliers et appuyer simultanément et fermement sur la partie fixe des paliers A et B de façon à stabiliser le rotor et à éliminer les vibrations parasites dues à la mise en rotation. Cette opération **est fondamentale** si l'on veut obtenir des résultats expérimentaux corrects ;
- réaliser l'acquisition avec **Acquisition début** ;
- à la fin des prises de mesure, **éteindre le pont d'extensométrie**.

Imprimer le résultat et sauvegarder les données **dans votre répertoire de groupe** sous le nom `donnees.txt` en utilisant **Exportation Excel**.

Préciser les valeurs maximales de X_A et X_B mesurées.

3. Noter et tester la proposition de rééquilibrage proposée par le logiciel dans le menu suivant . Imprimer le résultat et commenter.

3.2 Étude théorique

On note :

$$X_A = \vec{\mathcal{F}}(\text{bâti} \xrightarrow{A} \text{rotor}) \cdot \vec{x} \quad X_B = \vec{\mathcal{F}}(\text{bâti} \xrightarrow{B} \text{rotor}) \cdot \vec{x}$$

Le rotor chargé est de masse m_c et de centre G_c tel que $\vec{OG}_c = x_c \vec{x}_r + y_c \vec{y} + z_c \vec{z}_r$ et :

$$\left[\mathcal{I}_A(\text{rotor chargé}) \right] = \begin{bmatrix} A_c & -F_c & -E_c \\ -F_c & B_c & -D_c \\ -E_c & -D_c & C_c \end{bmatrix}_A^{\mathcal{B}_r}$$

Deux masselottes M_i ($i \in \{1, 2\}$) de masse m_i , fixées sur le rotor, seront utilisées pour l'équilibrage. On définit les bases $\mathcal{B}_i = (\vec{x}_i, \vec{y}, \vec{z}_i)$ telles que :

$$\alpha_i = (\widehat{\vec{x}_r, \vec{x}_i}) = (\widehat{\vec{z}_r, \vec{z}_i}) \quad \vec{OM}_i = r_i \vec{x}_i + l_i \vec{y}$$

Hypothèses :

- les liaisons réalisées par les paliers en A et B sont respectivement une liaison rotule et une linéaire annulaire. La liaison pivot ainsi réalisée entre le rotor et le bâti est supposée parfaite ;
- **l'axe de rotation du rotor est supposé fixe par rapport au bâti** ;
- le rotor nu est parfaitement équilibré et son axe de révolution est fixe dans \mathcal{R} ;
- les masses additionnelles sont supposées ponctuelles ;
- la vitesse de rotation du rotor est constante et notée ω . Nous verrons par la suite que cette hypothèse ne peut être vérifiée en toute rigueur.
- l'accélération de pesanteur est telle que $\vec{g} = -g \vec{z}$.

4. Rappeler les conditions d'équilibrage statique et dynamique d'un rotor.

5. Déterminer les équations scalaires devant être satisfaites pour équilibrer dynamiquement l'ensemble :

$$\Sigma = \{\text{rotor chargé}, M_1, M_2\}$$

de centre d'inertie G_Σ et de masse m_Σ .

Remarquer qu'il est nécessaire de connaître les caractéristiques $m_c x_c$, $m_c z_c$, D_c et F_c du rotor chargé pour pouvoir déterminer les masselottes d'équilibrage.

6. Par application du principe fondamental de la dynamique, trouver deux relations scalaires liant X_A et X_B aux différents paramètres du système.
7. Utiliser le logiciel **Scilab** et les résultats de l'expérience réalisée à la question 2 afin de trouver les valeurs de $m_c x_c$, $m_c z_c$, D_c et F_c .

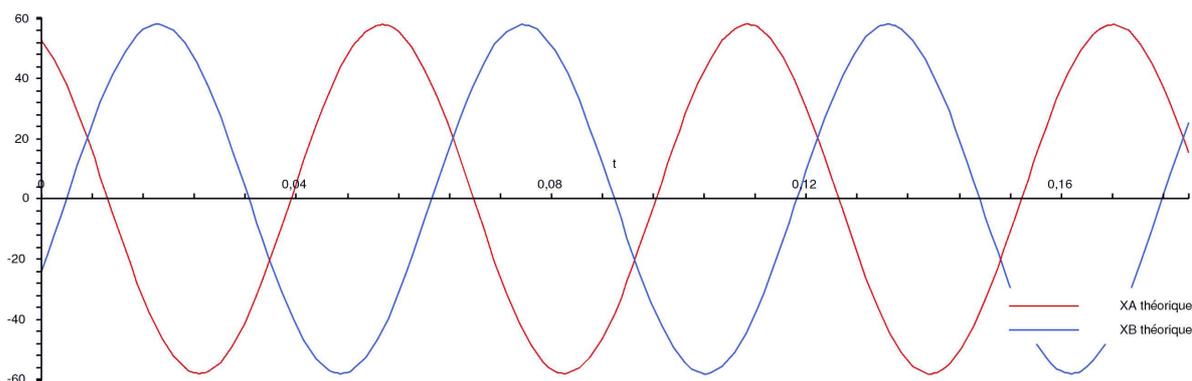
Pour cela lancer le logiciel **Scilab 5.4.0**. Par le menu **Fichier** → **Exec** exécuter le script :

```
X:\Tps\Ressources\equilibreuse_deltalab\analyse.sce
```

et charger votre fichier de données (extension `.txt`).

Le logiciel détermine les valeurs recherchées par approximation aux moindres carrés et visualise sur deux courbes l'écart avec les valeurs expérimentales de X_A et X_B . Sauvegarder les données (format **maple**) dans un fichier de votre répertoire personnel.

8. Utiliser le logiciel **maple**, et les relations trouvées à la question 5, pour déterminer la position et la masse des deux masselottes qui seront utilisées pour le rééquilibrage du rotor, sachant que l'une d'elle doit être placée sur le plateau P_2 , l'autre sur le plateau P_3 . La comparer à la solution déterminée par le logiciel (question 3).
9. Les courbes théoriques de X_A et X_B , c.-à-d. telles qu'elles auraient du être dans les hypothèses formulées initialement, sont données ci-dessous. Comparer ces courbes à celles approximée par le logiciel **Scilab**. Justifier les différences observées et proposer une modélisation plus réaliste de l'équilibreuse **DELTALAB**.



2 et 3) Expérience

Propositions d'équilibrage :

Commentaires :

4 à 6) Étude théorique

Conditions d'équilibrage statique et dynamique d'un rotor :

Équations scalaires d'équilibrage :

Méthode d'obtention et équations scalaires liant X_A et X_B aux paramètres du système :

8) Comparaison des solutions d'équilibrage9) Analyse

Justification des différences entre courbes obtenues et courbes théoriques :

Modèle « amélioré » de l'équilibreuse :