Travaux Pratiques – DYNAMIQUE DU SOLIDE
Capsuleuse de bocaux

Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à mesurer, identifier et vérifier les caractéristiques dynamiques de l'ensemble plateau étoile - croix de Malte afin de dimensionner correctement la motorisation du système.

1 – Mise en situation

Le système étudié est une capsuleuse de bocaux. Ce système s'insère dans une chaîne de conditionnement de produits alimentaires, entre l'unité de remplissage des bocaux et le poste d'étiquetage.

Sa fonction principale est de « *Fermer de manière étanche un bocal avec une capsule* ».

Décrire le fonctionnement normal de la capsuleuse en définissant les différentes étapes pour le capsulage d'un bocal. Parmi les deux étapes globales de transfert des bocaux ou de distribution/vissage des capsules, déterminer quelle est l'étape limitante vis-à-vis de l'Exigence 1.1 du système.

2 – Modélisation de l'ensemble plateau étoile – croix de Malte

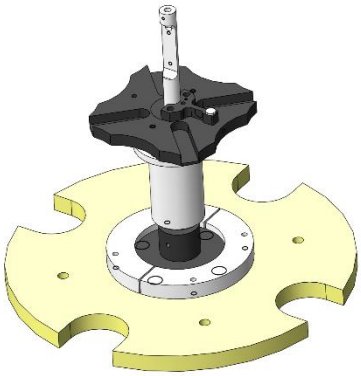
Afin de dimensionner (ou valider) la motorisation du système, il est nécessaire de connaître la répartition des masses en mouvement. On propose donc ici de déterminer les caractéristiques de l'opérateur d'inertie de l'ensemble plateau étoile - croix de Malte.

Ouvrir la maquette SolidWorks « *Plateau croix de malte* » dans le dossier « *CAPSULEUSE PLATEAU CROIX DE MALTE SEULS* » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « *Extraire le dossier* »).

Vérifier que les dimensions de l'esquisse sont conformes aux dimensions réelles du plateau et de la croix de Malte. Par un croquis du bras dessiné à main levée, indiquer les dimensions des principaux volumes ainsi que leur position relative.

On propose une modélisation de l'ensemble plateau étoile – croix de Malte selon une décomposition en solides élémentaires :

- 2 parallélépipèdes rectangles
- 3 cylindres



En utilisant la modélisation simplifiée précédente, calculer le moment d'inertie de l'ensemble plateau étoile – croix de Malte autour de l'axe de rotation.

Évaluer grossièrement l'inertie I_{zz} de l'ensemble par rapport à son axe (plateau en ABS de densité 1, arbre et croix de Malte de densité 8). Les dimensions utiles seront relevées sur le système réel ou dans le **DOSSIER TECHNIQUE.**

Relever la masse, la position du centre de gravité, ainsi que les coefficients de la matrice d'inertie de l'ensemble plateau étoile - croix de Malte, issus du calcul effectué par SolidWorks.

Démarche pour obtenir les propriétés de masse d'une pièce (ou d'un assemblage)

- Dans l'arbre de construction de SolidWorks, sélectionner la pièce (ou l'assemblage) à considérer
- En cliquant dans l'onglet « ***Evaluer*** » puis « ***Propriétés de masse*** »

les propriétés massiques sont affichées (masse, volume, centre de gravité, matrice d'inertie, etc…).

Remarque : Il est possible dans les *Options* de la fenêtre « **Propriétés de masse** » de modifier les unités de longueur et de masse ainsi que le nombre de décimales mais cela peut provoquer des gros arrondis pour les valeurs affichées. Il est donc conseillé de laisser les unités par défaut.

Une attention particulière sera apportée à la base dans laquelle est exprimée la matrice d'inertie.

Justifier rigoureusement la forme de la matrice d'inertie.

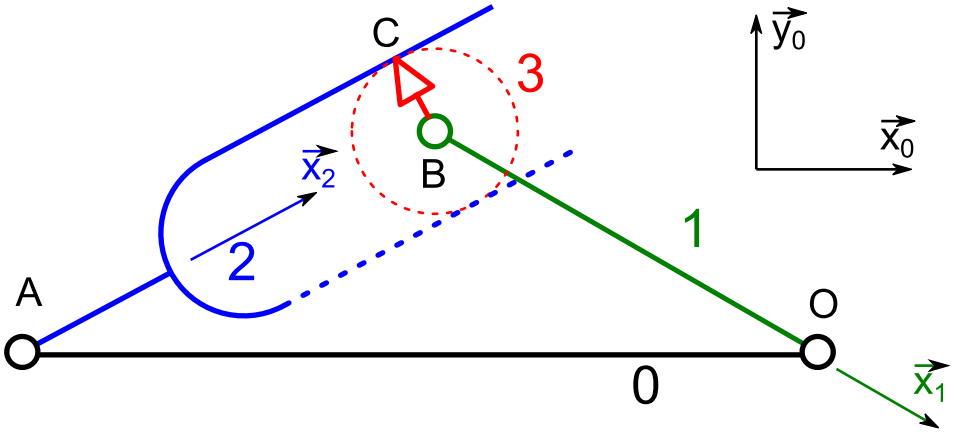
Quel(s) coefficient(s) de la matrice d'inertie interviendra(ont) pour dimensionner le moteur ?

Proposer et mettre en œuvre si possible une démarche permettant de déterminer expérimentalement le moment d'inertie du système plateau étoile - croix de Malte par rapport à son axe de rotation, ou proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de maximiser cette valeur en déterminant expérimentalement l'inertie du système rapportée à l'axe moteur.

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les inerties du système plateau étoile – croix de Malte, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.

3 – Détermination analytique de la loi de mouvement du système de transfert de bocaux et de la puissance du moteur

Le schéma fourni est associé à une modélisation mécanique en vue de déterminer l'équation du mouvement.



$\overrightarrow{AB} = X(t).\overrightarrow{x_2}$ $\theta = (\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{x_0})$ $\alpha = (\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{x_0})$ $\tan\alpha = \frac{\sin(\theta)}{\cos(\theta)-\sqrt{2}}$ $X(t) = R.\sqrt{3 - 2\sqrt{2}.\cos(\theta)}$

On donne l'équation de vitesse [vitesse de rotation du plateau par rapport au bâti (2/0)] notée $\dot{\alpha}$ sur [vitesse de rotation du maneton par rapport au bâti (1/0)] notée $\dot{\theta}$:

$$\frac{\dot{\alpha}}{\dot{\theta}} = \frac{\omega_{20}}{\omega_{10}} = \frac{0,71 - \cos(\theta)}{2,12 - 2.\cos(\theta)}$$

Déterminer l'équation du mouvement, en régime permanent, durant la phase d'entraînement. Faire les hypothèses requises sur la forme des matrices d'inerties et poser les grandeurs éventuellement manquantes.

Identifier la ou les grandeurs physiques dont dépend le couple moteur. Commenter.

Tracer la courbe sous Python du couple moteur en fonction de $\theta = \omega_{10}.t$ en phase d'entrainement.

Remarque : Choisir une vitesse de rotation ω_{10} constante compatible avec celles du poste d'essai afin de pouvoir comparer les résultats de l'étude analytique avec les essais expérimentaux.

Par une étude dynamique analytique, déterminer l'action de contact entre galet et la croix de malte.

On suppose le rendement du réducteur roue/vis voisin de 0,6.

Tracer sur Python la courbe de la puissance requise sur l'arbre moteur durant la phase d'entraînement.

4 – Détermination expérimentale des couples transmis

Réaliser un relevé des couples, à vide, pour 3 vitesses de rotation choisies dans la plage de réglage possible.

Commenter et analyser les résultats obtenus. Justifier les différentes zones des courbes.

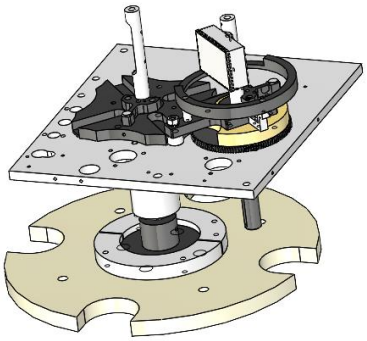
Reprendre les expériences précédentes en lestant le plateau (voir avec le professeur).

Justifier le fait qu'il y a, ou non, des différences avec les précédents essais.

5 – Détermination par simulation numérique des couples transmis

Les matériaux sont le plastique pour le plateau, l'acier pour l'arbre et la croix de malte.

Ouvrir la maquette SolidWorks « *CAPSULEUSE_DYNAMIQUE* » dans le dossier « *CAPSULEUSE CAO DYNAMIQUE* » (*penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).*



Remarque : La simulation sera effectuée pour ¼ de tour de la croix de malte uniquement.

Remarque : La simulation sera effectuée avec la même vitesse de rotation du maneton (1) que dans la partie expérimentale suivante.

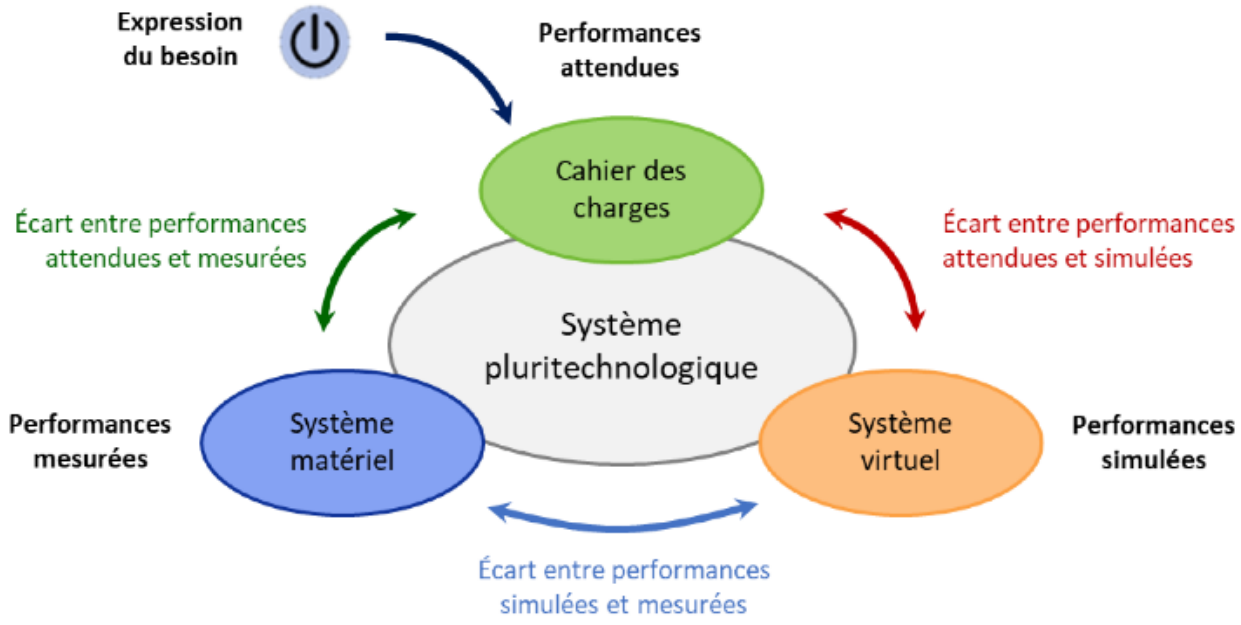
Déterminer les courbes de vitesse et d'accélération de la croix de malte par rapport au bâti. Analyser les courbes obtenues.

Déterminer l'évolution du couple moteur (sur le maneton) en fonction du temps puis en fonction de l'angle du moteur. Analyser les courbes obtenues.

Expliquer et justifier le montage réel du galet.

Déterminer l'effort au contact entre le galet et la croix de malte (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).

Déterminer le couple transitant dans l'arbre de la croix de malte ainsi que la puissance nécessaire à son mouvement.

6 –Validation

L'objectif pour le groupe est de comparer pour les couples transmis, les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs analytiques et par la simulation numérique. Calculer les écarts et estimer d'où ils peuvent provenir.