

## Travaux Pratiques – DYNAMIQUE DU SOLIDE

### Pompe Doshydro



#### Objectifs du TP

L'activité principale de ce TP consiste à mesurer, identifier et vérifier les caractéristiques dynamiques du système de mise en mouvement de la pompe afin de dimensionner correctement la motorisation du système.

## 1 – Présentation et problématique industrielle

Différents systèmes de pompage sont utilisés dans l'industrie :

- Les pompes de circulation, utilisées pour mettre en mouvement un fluide (vidange de cuve, transvasement, circulation du lubrifiant sur machines-outils ...).
- Les pompes doseuses qui ont pour objectif d'alimenter un processus de fabrication continu en maîtrisant la quantité de produit apportée. C'est ce type de pompe qui est étudié dans ce TP.

Les pompes doseuses sont munies d'un dispositif de transformation de mouvement permettant d'assurer un dosage précis du produit pompé. Ce dispositif permet à la fois de transformer la rotation du moteur en une translation alternative du piston et de régler la course du piston afin de régler le débit de la pompe. C'est ce mécanisme cinématique qui est étudié dans ce TP.



Expliquer le fonctionnement du système mécanique permettant le réglage du débit de la pompe.

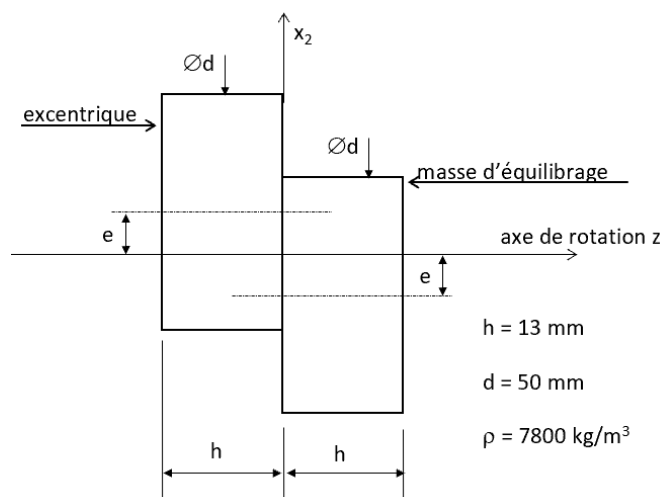
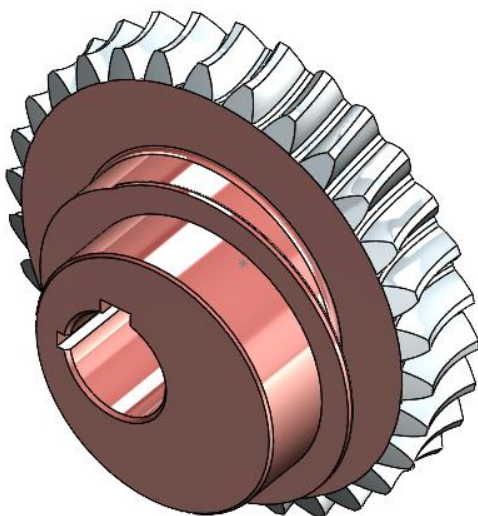
## 2 – Modélisation de la roue excentrique

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 la roue excentrique.



Ouvrir la maquette SolidWorks « Roue\_excentrique » dans le dossier « POMPE ROUE EXCENTRIQUE SEULE » (penser à dé-zipper le dossier CAO avant de l'utiliser : « clic droit » sur le dossier zippé puis « Extraire le dossier »).

Le dessin de définition de la pièce **052A** est donné ci-dessous. Elle est composée de l'excentrique proprement dit et d'une masse d'équilibrage cylindrique. On suppose pour simplifier que ces deux éléments sont identiques et situés de part et d'autre de l'axe de rotation à la distance  $e$ .





Vérifier que les dimensions de l'esquisse sont conformes aux dimensions réelles de la roue excentrique. 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 la roue excentrique selon une décomposition en solides élémentaires :

- 2 cylindres.



En utilisant la modélisation simplifiée précédente, calculer le moment de la roue excentrique autour de l'axe de rotation.






Évaluer grossièrement l'inertie  $I_{zz}$  de la roue excentrique par rapport à son axe. 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 la roue excentrique, 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 ?



Quels « efforts d'inertie » engendrent le produit d'inertie  $E$  au cours de la rotation ? Faire l'application numérique.



Quel serait « l'effort d'inertie » engendré par l'excentrique en rotation s'il n'y avait pas la masse d'équilibrage ? Faire l'application numérique pour  $N = 144 \text{ tr/min}$ . Conclure.



Proposer et mettre en œuvre si possible une démarche permettant de déterminer expérimentalement le moment d'inertie de la roue excentrique par rapport à son axe de rotation.



La roue excentrique est-elle équilibrée statiquement ? Expliquer à partir de la définition.



La roue excentrique est-elle équilibrée dynamiquement ? Expliquer à partir de la définition.



L'objectif pour le groupe est de comparer pour les inerties de la roue excentrique, 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 puissance du moteur et des pertes par frottement



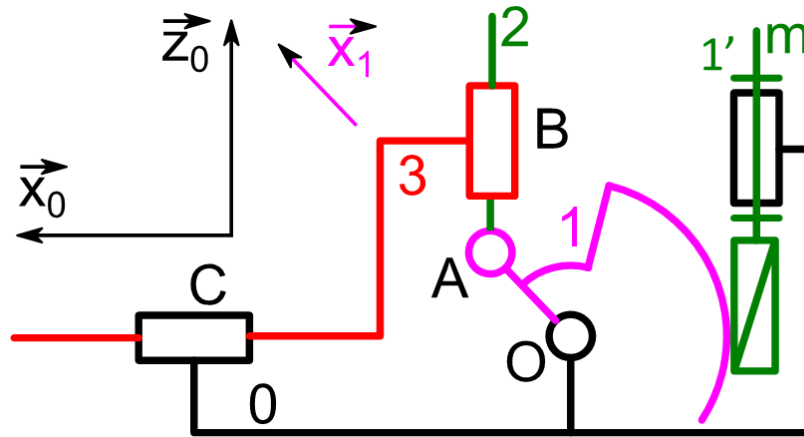
Examiner les courbes de pression de refoulement et de déplacement du piston pour différents débits et différents réglages de la soupape de retenue (jusqu'à 6 bars).



**Remettre la pression à 0 bars avant d'éteindre la pompe à la fin d'un essai.**



Comment varie la pression et le déplacement en fonction du réglage ? Pour une pression maxi de 6 bars et un débit de 100%, que remarque-t-on ?



On rappelle que  $V_{30} = -e \cdot \omega_{10} \cdot \sin(\theta_{10})$

Le rapport de réduction du réducteur roue vis est 1/10 (4 filets / 40 dents) et  $N_{1,0} = 1440 \text{ tr/min}$ .

L'excentricité vaut  $e = 7,5 \text{ mm}$ .

La masse de l'ensemble en translation 3 est estimée à 2 kg.

L'inertie  $[I(1)_{O,y_0}]$  de la roue excentrique autour de  $(O, \vec{y}_0)$  est évaluée à  $6 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$ , sa masse à 1 kg.

Le centre de gravité de 1 se situe entre O et A à moins de 2 mm de l'axe de rotation.

$$\vec{OA} = e \cdot \vec{x}_1 \quad \theta_{10} = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) \quad S_{eq} = 0,0033 \text{ m}^2$$

On considère que la phase du mouvement qui nous intéresse est  $\theta_{10} \in [-90^\circ, +90^\circ]$  (la came de réglage - non représentée ici - limite la course du piston à un peu moins (8 mm) d'une excentricité.

La modélisation du système est donnée sur la figure précédente (voir aussi le plan d'ensemble dans le **DOSSIER TECHNIQUE**): en phase refoulement, la crosse **012** entraînant le piston **010**, ces deux pièces sont symbolisées par le solide **3**.

On note  $p$  la pression de refoulement, pression effective sur la membrane du piston de surface  $S_{eq}$  et  $m_i$  la masse de chaque solide  $i$ .

On s'intéresse uniquement à la phase de refoulement.

Toutes les liaisons sont supposées parfaites, les torseurs statiques utiles seront exprimés dans la base  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ . Les actions de pesanteur ne sont pas à prendre en compte mais on ne néglige aucune masse.



Isoler 3 et écrire l'équation dynamique permettant d'exprimer la composante  $X_{23}$  du torseur d'inter-efforts de la liaison  $L_{23}$ .

Remarque : Pour le calcul de  $\vec{\Gamma}_{G_3 \in 3/0}$ , il faut d'abord calculer  $\vec{V}_{B \in 1/0}$  à partir de  $\vec{V}_{A \in 1/0}$  puis  $\vec{V}_{B \in 3/0}$  à partir de  $\vec{V}_{B \in 3/2}$  et de  $\vec{V}_{B \in 2/0}$ . On peut en déduire  $\vec{V}_{G_3 \in 3/0}$  (solide en translation).



Que devient  $X_{23}$  si la vitesse de rotation du moteur est constante ?

Dans la suite du problème, on suppose que **la vitesse de rotation du moteur est constante**.



Isoler 2 et déterminer les composantes  $X_{12}$  et  $Z_{12}$  du torseur d'inter-efforts de la liaison  $L_{12}$

Remarque : B est le centre d'inertie du solide 2.



Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble  $\{1, 1'\}$  et en déduire le couple moteur  $C_m$

Remarque : On rappelle que le rapport de réduction du système roue et vis sans fin est 1/10.



Vérifier l'expression de  $C_m$  en appliquant le théorème de l'énergie cinétique à  $E = \{1', 1, 2, 3\}$ .



Déterminer la puissance instantanée  $P_m$  du moteur en phase de refoulement en fonction de  $p$  et  $\theta$ .



Tracer avec Python la courbe de variation  $P_m$  en fonction de  $\theta$ .



En supposant  $p = cste$ , déduire de cette hypothèse la puissance approchée  $P_a$  et déterminer la puissance nominale du moteur (puissance moyenne) en prenant un rendement mécanique global de 0,8.



Évaluer les pertes par frottement dans la glissière 2/1 et dans le pivot 1/0 ( $f = 0.1$ ).



En supposant un rendement du réducteur roue vis voisin de 0.3, tracer sous Python la courbe de la puissance requise sur l'arbre moteur durant la phase d'entraînement ainsi que celle de la puissance perdue.

## 4 – Détermination expérimentale de la puissance du moteur et des pertes par frottement



A partir des essais réalisés précédemment, proposer un modèle pour la pression  $p(\theta_{10})$ . Préciser les valeurs extrêmes.



Déterminer les valeurs de l'effort sur le piston.



Déterminer et tracer avec Python la courbe de puissance à partir des grandeurs mesurées.

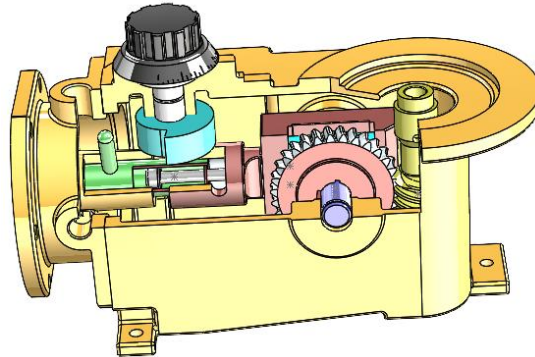


Relever la puissance électrique consommée. En déduire une valeur du rendement de l'ensemble de pompage (moteur et pompe).

## 5 – Détermination par simulation numérique du couple moteur et de la puissance mécanique globale



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



Faire une première simulation permettant de déterminer la vitesse de déplacement du piston pour une vitesse de rotation constante de la roue (144 tr/min) ou de la vis (1440 tr/min) selon la complexité du modèle présent.



Réaliser une courbe d'effort correspondant à celui relevé par l'équipe EXP et correspondant à une pression de 2 bars sur le piston. Utiliser cette courbe comme entrée au niveau du piston (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).



Calculer et afficher la courbe du couple moteur nécessaire sur la roue (ou la vis) lors du mouvement (voir « COMPLEMENTS SIMULATION SOLIDWORKS/MECA3D » à la fin du **DOSSIER RESSOURCES**).



Quelle différence-y a-t-il entre l'étude statique et l'étude dynamique ? Conclure.



A l'aide de la simulation numérique, déterminer la puissance globale moyenne lors du mouvement du système dans la configuration précédente.



## 6 – Validation

Cette pompe fonctionne dans une station d'épuration et sert à réaliser le dosage, dans l'eau à traiter, d'un produit coagulant. Les pompes travaillent sous 2 bars et ne débitent pas en permanence.



Compte tenu des conditions de fonctionnement, commenter les solutions techniques retenues par le constructeur : cinématique, doseur à membrane, liaisons et matériaux.



L'objectif pour le groupe est de comparer pour le couple moteur et la puissance mécanique globale, 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.

