

## Maxpid : évaluation du moment d'inertie rapporté à l'axe moteur

### Objectifs

Evaluer le moment d'inertie du bras de robot fermé Maxpid.

La difficulté de cette évaluation provient :

- de la non linéarité entrée-sortie mécanique du système
- de la diversité des pièces en mouvement
- de la diversité des axes de rotation ou de déplacement des pièces

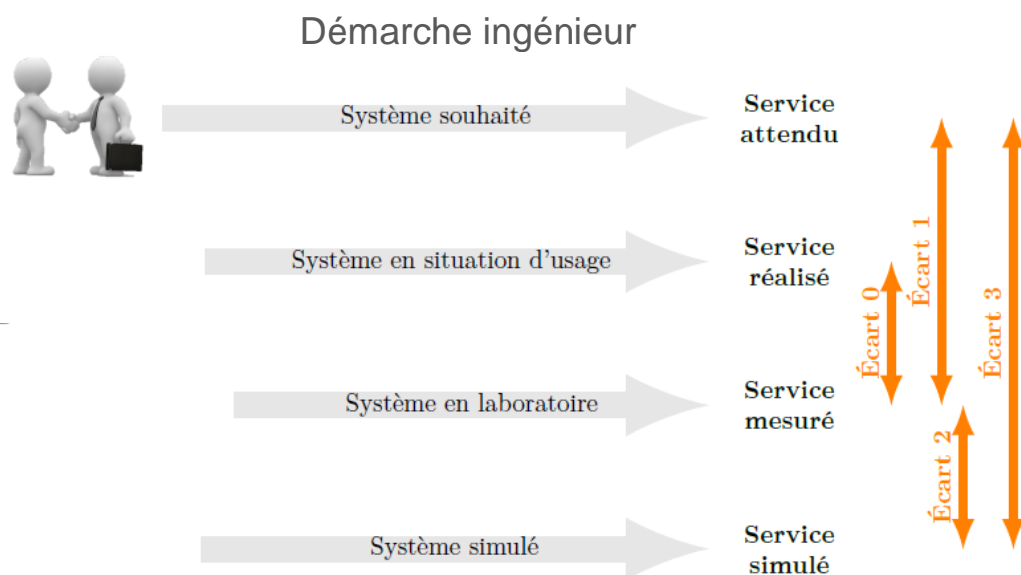


FIGURE 1 – Démarche de l'ingénieur centrée sur la mesure des écarts.

**Objectif : minimiser les écarts**

### AVERTISSEMENT

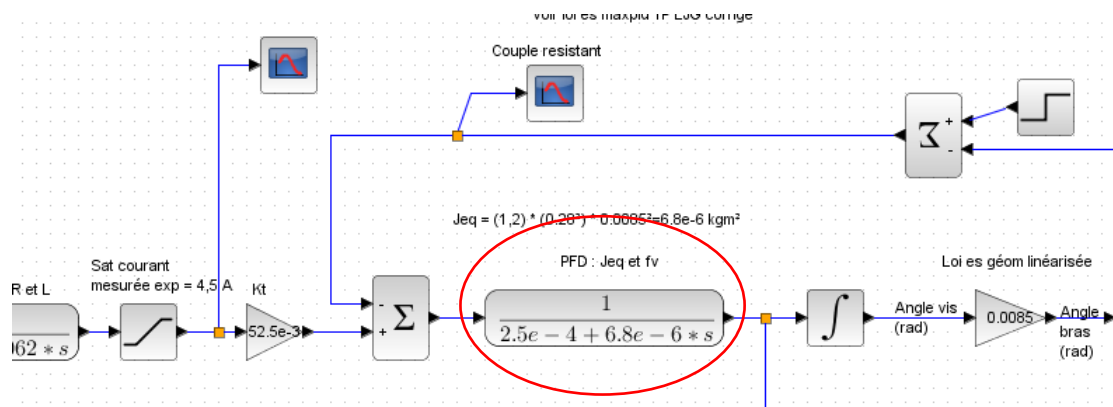
**VOUS DEVEZ DEPLACER TOUT DOCUMENT NUMERIQUE MODIFIABLE DANS UN DOSSIER PERSONNEL AVANT OUVERTURE ET MODIFICATION. IL SAGIT ICI DU TABLEAU DE CALCUL ET DE LA DAO 3D SOLIWORKS.**

## Introduction

Lors de l'étude des systèmes asservis vous avez utilisé le modèle numérique causal de Maxpid (ou d'un autre système) sous forme de schéma bloc dans le logiciel de simulation multi physique Scilab.

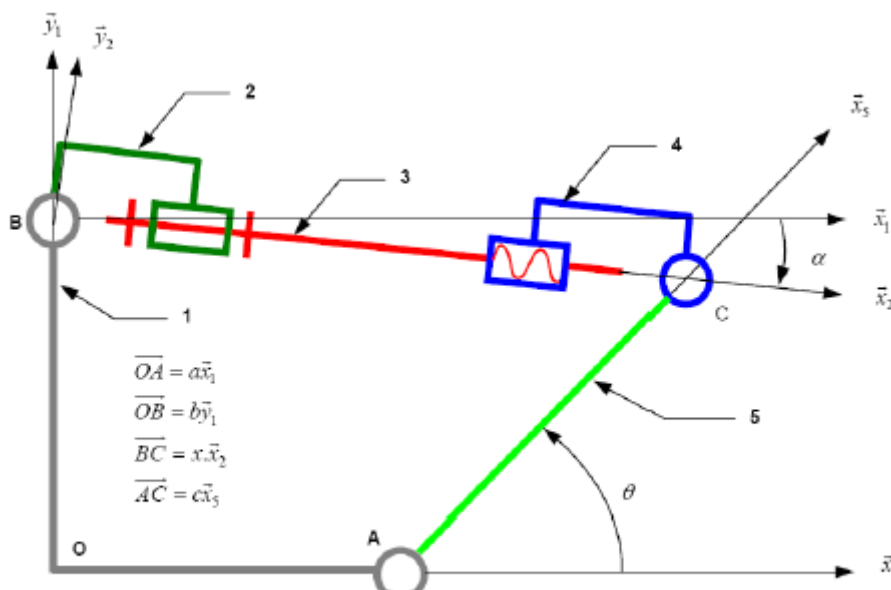
Une copie d'écran partielle est donnée ci-dessous : on attire votre attention sur le bloc entouré.

Il s'agit du bloc représentant la partie mécanique du modèle du moteur à courant continu :  $\frac{1}{J_{eq}p + f_v}$ .  $J_{eq}$  est le moment d'inertie de l'ensemble mobile rapporté au rotor moteur.



Nous nous proposons dans ce TP de déterminer l'inertie équivalente  $J_{eq}$  de différentes manières.

## Modèle cinématique de Maxpid



Caractéristiques géométriques des solides (en mm) :

$\overline{OA} = a\vec{x}_1$ ,  $a = 70$  ;  $\overline{OB} = b\vec{y}_1$ ,  $b = 80$  ;  $\overline{AC} = c\vec{x}_3$ ,  $c = 80$  ;  $p = 4$  .

### Question préliminaire : analyse qualitative du mécanisme (10 minutes)

Les pièces mobiles par rapport au bâti 0 sont :

- Le support moteur 2
- Le rotor/vis 3
- L'écrou 4
- Le bras 5

Il va falloir déterminer le moment d'inertie de chacune de ces pièces rapporté au rotor moteur 2. L'énergie cinétique d'un solide S dans le référentiel galiléen est le comoment du torseur cinétique et cinématique :  $E_c(S/R_g) = \{\mathcal{V}(S/R_g)\} \otimes \{\mathcal{C}(S/R_g)\}$ .

Il faut donc déterminer la relation mathématique entre les caractéristiques cinématiques de S et la vitesse de rotation du rotor 3 par rapport à 1 : vitesse d'un point et vitesse angulaire du solide.

**Q1.** Manipuler le bras de Maxpid, observer le mouvement de chaque pièce et remplir le tableau suivant en cochant une case par solide.

Solide	Rotation/bâti	Translation/bâti	Rot et trans /bâti
Support moteur 2			
Rotor 3			
Ecrou 4			
Bras 5			

**Q2.** Manipuler encore le bras de Maxpid, observer les vitesses de chaque pièce puis remplir le tableau suivant en cochant une case par solide.

Solide	Vitesse de rotation/bâti : plutôt faible ou élevée par rapport à la vitesse du rotor
Support moteur 2	
Bras 5	

## Moment d'inertie de chaque solide par simulation 3D (30 minutes)

Ouvrir solidworks, puis les pièces suivantes nommées :

- « Support de moteur équipé » (2),
- « Vis à billes équipée » (3),
- « Bras porte masse équipé » (5),
- « Écrou équipé » (4).

**Q3.** Grace à la fonction « Evaluer/propriétés de masse », déterminer le moment d'inertie de chaque solide\*. Vous pouvez vous répartir le travail au sein du groupe. Voir l'annexe en fin de sujet. Attention à l'unité.

\* selon quel axe ?.. à vous de voir !

Solide	Moment d'inertie	Selon l'axe (axes visibles sur schéma ciném précédent)
Support moteur 2		
Rotor 3		
Ecrou 4		
Bras 5		

Remarque : pour le support moteur, appliquer le théorème de Huygens sera peut-être nécessaire. La distance entre le centre d'inertie du support moteur et l'axe  $(B, \vec{z}_1)$  est 49mm.

**Q4.** Hypothèse simplificatrice : on négligera l'inertie équivalente de l'écrou 4 et du support moteur 2. Expliquer la pertinence de cette hypothèse.



40 minutes **maxi** ont dû s'écouler depuis le début de la séance. Si vous avez dépassé ce délai, vous êtes (très ?) en retard et avez besoin d'aide : appelez le professeur.



## Détermination de $J_{eq}$ de l'ensemble mobile (10 minutes)

**Q5.** Ecrire littéralement l'énergie cinétique  $E_c(E/1)$  de l'ensemble mobile (E), isolé en fonction du moment d'inertie du bras 5,  $J_5$ , de l'inertie de la vis,  $J_3$ , de la vitesse de rotation du bras  $\omega_5$  et de la vitesse de rotation du rotor  $\omega_3$ .

Il faut mettre  $E_c(E/1)$  sous la forme :  $E_c(E/1) = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot (\omega_3)^2$ .

Il faut donc exprimer la vitesse du bras par rapport au bâti  $\omega_5$  en fonction de  $\omega_3$ , vitesse du rotor par rapport au stator de la manière suivante :  $\omega_5 = K \cdot \omega_3$  avec  $K$  constant.

**Q6.** Vue la cinématique particulière du système Maxpid, quel problème pose l'affirmation précédente : «  $\omega_5 = K \cdot \omega_3$  avec  $K$  constant » ?

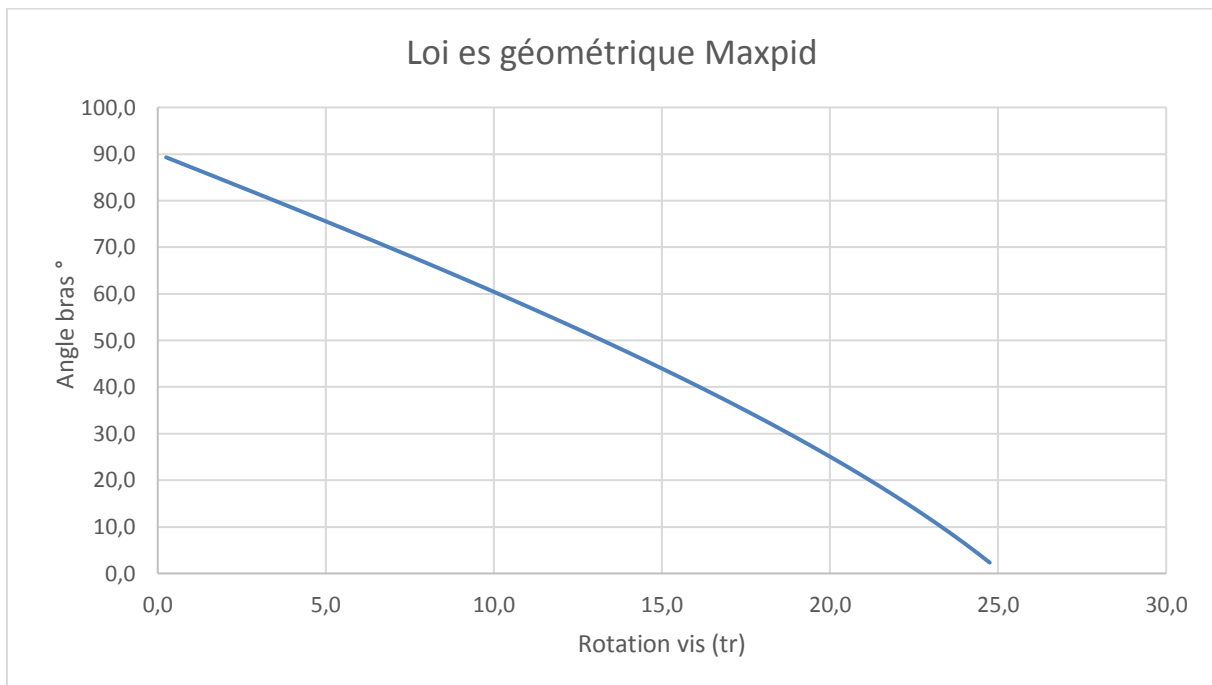
### Loi entrée sortie cinématique et finalisation de $J_{eq}$ (20 minutes)

Nous allons travailler dans la zone linéaire  $\theta \in [30^\circ, 90^\circ]$ . Nous désirons trouver la relation d'entrée-sortie linéarisée dans ce domaine.

On fournit ci-dessous la loi entrée-sortie géométrique de Maxpid.

**Q7.** En déduire la relation linéarisée reliant  $\omega_5$  à  $\omega_3$  sur cette plage de mouvement.

**Q8.** Déduire l'inertie équivalente  $J_{eq}$  de l'ensemble (E).



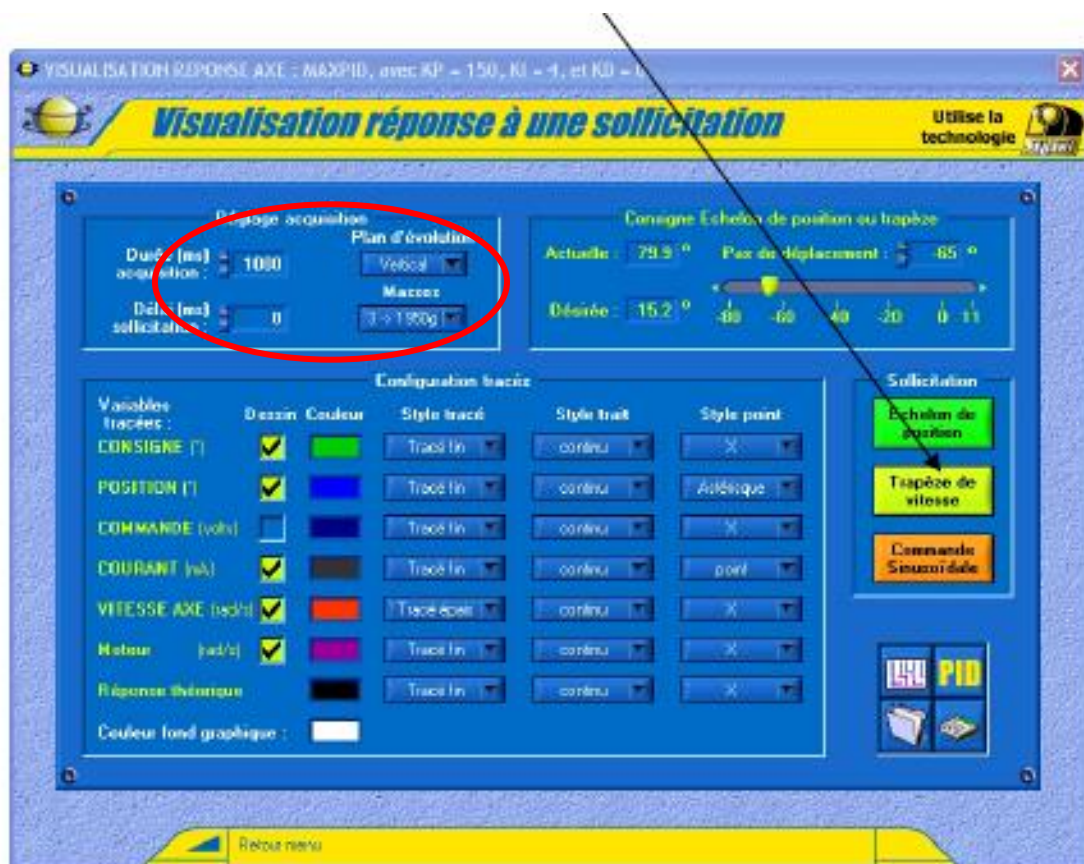
### Détermination expérimentale de $J_{eq}$ (30 minutes)

- Placez le système Maxpid en position horizontale sur la table.
- Envoyer une consigne en trapèze au bras Maxpid : on donne ci-après les étapes à suivre.

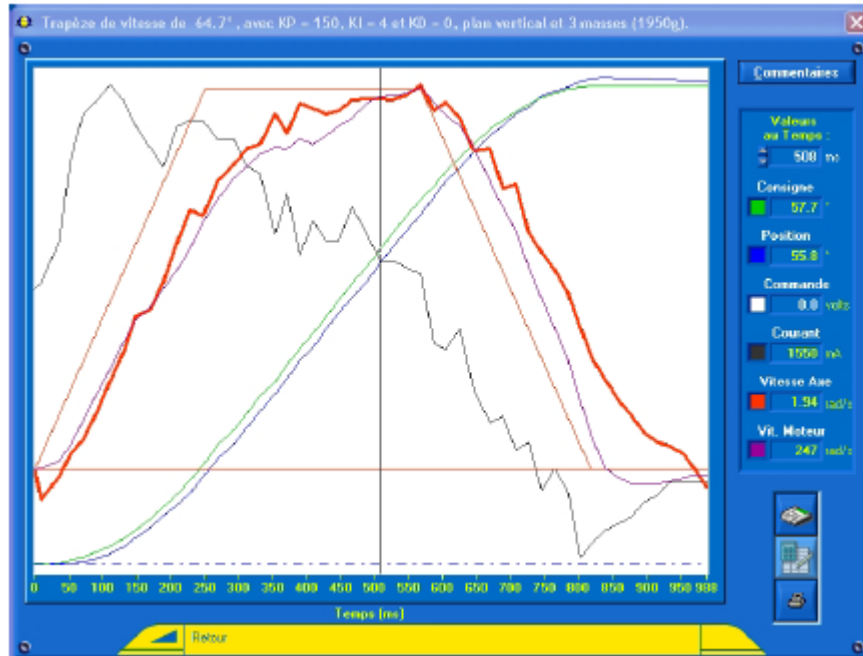
- Saisir les réglages d'asservissement suivants :



- Placer le bras à  $10^\circ$ 
  - Saisir une consigne de  $80^\circ$  (+  $75^\circ$ )
- Vérifier les paramètres de durée d'acquisition, masse...
  - Cliquer « trapèze de vitesse » : le bras pivote.



- Les courbes s'affichent (si vous avez coché les bonnes cases avant)



Vous remarquez la loi de vitesse en « trapèze » imposée au bras (« vitesse axe »). Sur la partie du mouvement où la vitesse du bras est variable, on peut évaluer l'accélération du bras. En connaissant l'intensité moteur on peut déduire le couple moteur.

**Q9.** D'où provient la loi de mouvement :  $J_{eqmot} \cdot \frac{d\omega_{mot}}{dt} + f_v \cdot \omega_{mot} + C_{req} = C_{mot}$  ?

Où :

- $J_{eqmot}$  est le moment d'inertie équivalent de l'ensemble mécanique rapporté au rotor moteur
- $f_v$  est le coefficient de frottement visqueux
- $C_{req}$  est le couple de frottement sec rapporté à l'arbre moteur
- $C_{mot}$  est le couple transmis du stator au rotor moteur

**Q10.** Etablir un protocole de calcul pour estimer l'inertie équivalente du bras de Maxpid en partant de l'expérience effectuée.

**Q11.** Evaluer l'inertie équivalente expérimentale du mécanisme Maxpid rapporté au rotor moteur  $J_{eqmot}$ .

**FIN DU SUJET**

### ANNEXE : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES INERTIELLES D'UN SOLIDE AVEC SOLIDWORKS

The screenshot shows the SolidWorks interface with the 'Propriétés de masse' (Mass Properties) tool selected. The 'Support de moteur équipé.SLDASM' part is analyzed. The software displays the following data:

- Masse = 442.23 grammes
- Volume = 158794.54 millimètres cubes
- Superficie = 43978.85 millimètres carrés
- Centre de gravité: ( millimètres )
  - X = -1.98
  - Y = 0.00
  - Z = 0.00
- Principaux axes et moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )
 

Pris au centre de gravité.		
Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 124176.16	
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 765038.22	
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 767005.54	
- Moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )
 

Pris au centre de gravité et aligné avec le système de coordonnées de sortie.		
Lxx = 124176.16	Lxy = 0.04	Lxz = 0.16
Lyx = 0.04	Lyx = 767005.54	Lyz = 0.10
Lzx = 0.16	Lzy = 0.10	Lzz = 765038.22
- Moments d'inertie: ( grammes \* millimètres carrés )
 

Pris au système de coordonnées de sortie.		
Ixx = 124176.16	Iyy = 0.04	Ixz = 0.15
Iyx = 0.04	Iyy = 768747.80	Iyz = 0.10
Izx = 0.15	Izy = 0.10	Izz = 766780.48

opérateur principal d'inertie, exprimé dans la base principale d'inertie,  $(\vec{I}_x, \vec{I}_y, \vec{I}_z)$ , du solide.

Centre et base du repère de construction  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  de la pièce ou de l'assemblage de pièces sous SW.

base principale d'inertie,  $(\vec{I}_x, \vec{I}_y, \vec{I}_z)$ , du solide.

Origine  $O$

Opérateur d'inertie au centre d'inertie G, dans la base de construction  $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  de la pièce sous SW.

Opérateur d'inertie exprimé en  $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ .