



# La cinématique des mécanismes



Référence S03 - TP02 - I01

Compétences Mod2-C10-1: Modèle de solide indéformable  
Mod2-C11: Modélisation géométrique et cinématique des mouvements entre solides indéformables  
Rés-C1: Loi entrée sortie géométrique et cinématique  
Rés-C6: Utilisation d'un solveur ou d'un logiciel multi physique  
Com1-C1: Différents descripteurs introduits dans le programme  
Com2-C4: Outils de communication

Description Lois E/S de fermeture géométrique et cinématique. Simulation du comportement de modèles. Proposer des lois de commande en fonction d'exigences. Présenter les modèles acausaux

Système Maxpid



### Objectif du TP:

**Modéliser la loi d'entrée/sortie cinématique d'un système**



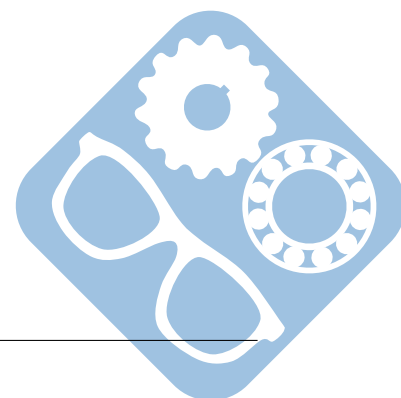
La démarche de l'ingénieur permet :

- De vérifier les performances attendues d'un système, par évaluation de l'écart entre un cahier des charges et les réponses expérimentales (écart 1),
- De proposer et de valider des modèles d'un système à partir d'essais, par évaluation de l'écart entre les performances mesurées et les performances simulées (écart 2),
- De prévoir le comportement à partir de modélisations, par l'évaluation de l'écart entre les performances simulées et les performances attendues du cahier des charges (écart 3).



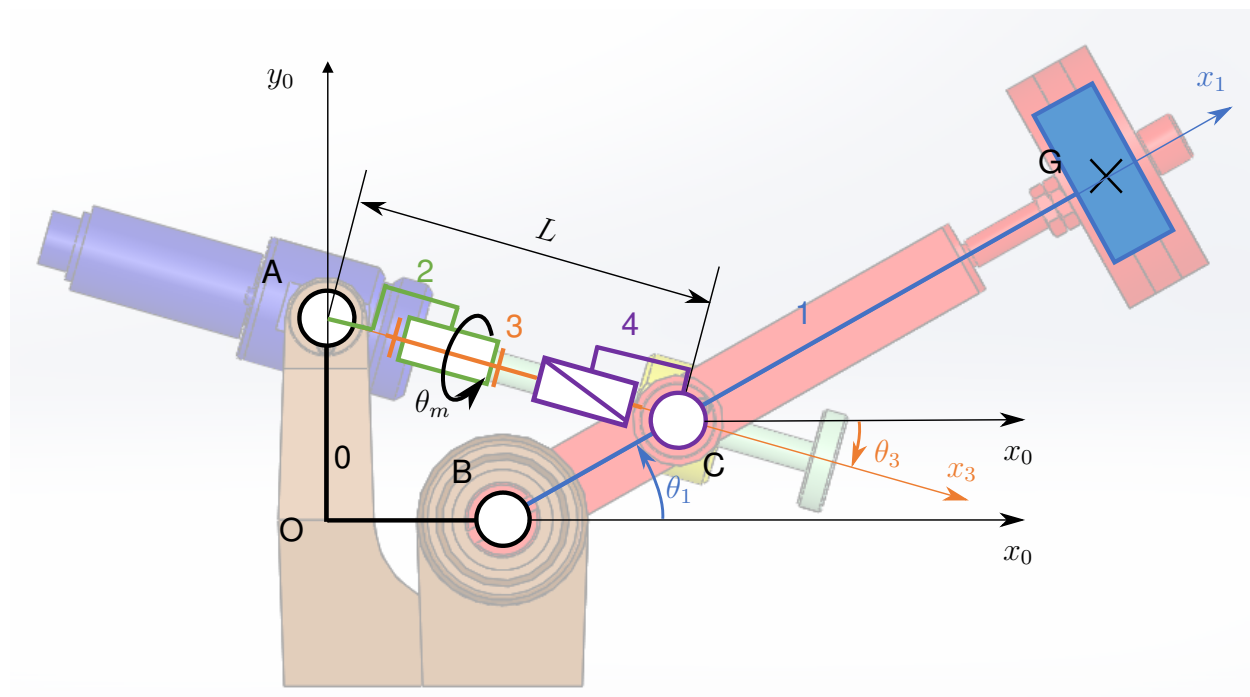
**Pour ce TP, vous aurez besoin :**

- de la **procédure d'utilisation de Simscape** disponible à la **page 6**,

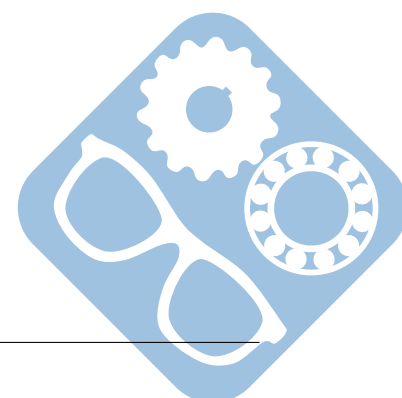


# 1 Détermination de la loi d'entrée/sortie géométrique

L'objectif de cette partie est de déterminer les équations liant les paramètres géométriques du système Maxpidet de les comparer avec celles obtenues par simulation Matlab/Simscape.



- Question 1**  
Modéliser  
Déterminer  $\theta_m$  et  $\theta_3$  en fonction de  $\theta_1$  et des dimensions géométriques du système en utilisant la loi de fermeture géométrique. Les dimensions seront mesurées sur le système.
- Question 2**  
Résoudre  
Compléter le modèle Simscape avec ces équations comme sur la procédure 6 et vérifier que les résultats correspondent.
- Question 3**  
Résoudre  
A l'aide d'un script python, faire varier  $\theta_1$  de 0 à  $\frac{\pi}{2}$ . Et tracer  $\theta_m$  et  $\theta_3$ .
- Question 4**  
Expérimenter  
Proposer un protocole permettant de mesurer les valeurs extrêmes (qui correspondent à la variation de  $\theta_1$  de 0 à  $\frac{\pi}{2}$ ) de  $\theta_m$  et  $\theta_3$ .
- Question 5**  
Analyser  
Vérifier que le résultat de la question 2 correspond à celui de la question 3.



## 2 Détermination de la loi d'entrée/sortie cinématique

L'objectif de cette partie est de déterminer les équations liant les paramètres cinématiques du système Maxpidet de les comparer avec celles obtenues par simulation Matlab/Simscape.

On aura ainsi :

- $\omega_1 = \dot{\theta}_1$ ,
- $\omega_m = \dot{\theta}_m$  et  $\omega_3 = \dot{\theta}_3$ .

**Question 6** Déterminer  $\omega_m$  et  $\omega_3$  en fonction de  $\omega_1$  et des paramètres géométriques du système, en utilisant la loi de fermeture cinématique. Les dimensions seront mesurées sur le système afin d'effectuer l'application numérique.

**Modéliser**

**Question 7** Compléter le modèle Simscape avec ces équations comme sur la procédure 6 et vérifier que les résultats correspondent.

**Résoudre**

L'objectif est d'obtenir le profil suivant pour la vitesse de rotation  $\omega_1$ .



Données :  $t_1 = 2s$ ,  $t_2 = 8s$ ,  $t_3 = 10s$ .

**Question 8** Déterminer  $\omega_{max}$  afin d'obtenir la variation de  $\theta_1$  de 0 à  $\frac{\pi}{2}$ .

**Modéliser**

**Question 9** A l'aide d'un script python, déterminer le profil de vitesse à imposer à  $\omega_m$ .

**Modéliser**



### 3 Vérification à l'aide de relevés expérimentaux

Le fichier contient des relevés expérimentaux issus du système réel.

- Question 10** Ouvrir l'ensemble des fichiers présents dans le dossier compressé et analyser leur contenu.  
**Expérimenter**
- Question 11** Expliquer en quelques lignes le protocole expérimental mis en œuvre.  
**Expérimenter**
- Question 12** Déterminer les écarts (et leurs origines) entre les résultats de la simulation (parties 1 et 2) et ceux issus de la partie expérimentale.  
**Expérimenter**

### 4 Préparation d'une présentation

- Question 13** Préparer une présentation à l'aide de quelques slides pour présenter votre travail.  
**Communiquer**



# Utilisation de Matlab Simscape


La procédure suivante explique comment utiliser Matlab afin de simuler un modèle Simscape.

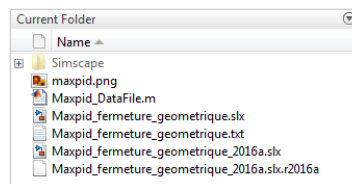
Ce modèle a été construit à partir des pièces, assemblages et contraintes d'un modèle Solidworks. Ce dernier n'est pourtant pas nécessaire pour le faire tourner.

Procédure :

— Dézipper l'archive à télécharger [Modèle Simscape](#),

— Lancer Matlab  MATLAB R2016b

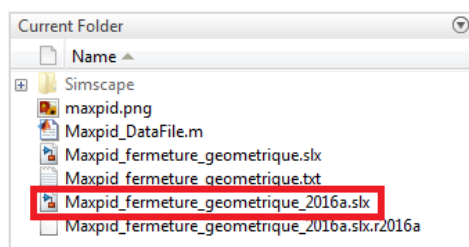
— Depuis Matlab, naviguer  dans le dossier dézippé jusqu'au dossier contenant les fichiers « .slx » et « Simscape »,



— Faire un clic-droit sur le dossier « Simscape » et cliquer sur « Add to Path »,



— Double-cliquer sur le fichier correspondant au TP et à la version de Matlab utilisée, il doit avoir une extension en « .slx ».

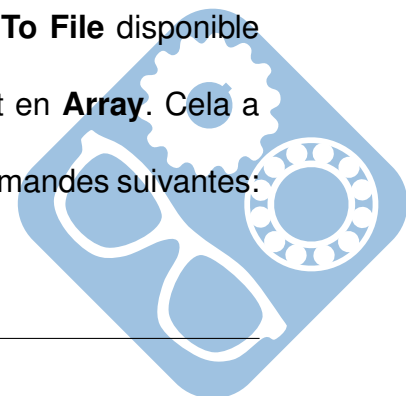


— Afin d'exporter des données, il est nécessaire d'insérer un bloc **To File** disponible dans la section Sinks et de le connecter à la donnée à extraire,

— Double-cliquer dessus afin de modifier le paramètre Save format en **Array**. Cela a pour effet de créer un fichier *fichier.mat*,

— Celui-ci peut être converti en fichier *fichier.csv* en utilisant les commandes suivantes:

```
FileData = load('fichier.mat');
csvwrite('fichier.csv', FileData.ans);
```



## 5 Correction

### 5.1 Fermeture géométrique

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CA} + \overrightarrow{AO} &= \vec{0} \\ \begin{cases} b + l_1 \cdot \cos \theta_1 - l(t) \cdot \cos \theta_3 = 0 \\ l_1 \cdot \sin \theta_1 - l(t) \cdot \sin \theta_3 - a = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

$$l(t) = l_0 + \frac{p \cdot \theta_m}{2 \cdot \pi}$$

$$\begin{cases} l(t) \cdot \cos \theta_3 = b + l_1 \cdot \cos \theta_1 \\ l(t) \cdot \sin \theta_3 = l_1 \cdot \sin \theta_1 - a \end{cases}$$

Donc,  $l(t) = \sqrt{(b + l_1 \cdot \cos \theta_1)^2 + (l_1 \cdot \sin \theta_1 - a)^2}$  et  $\theta_m = (l(t) - l_0) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{p}$ .

Et  $\theta_3 = \frac{b + l_1 \cdot \cos \theta_1}{l(t)}$

### 5.2 Fermeture cinématique

$$\{V_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \omega_b & 0 \end{Bmatrix}_B = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & l_1 \cdot \omega_b \\ \omega_b & 0 \end{Bmatrix}_{C,R_1} = \begin{Bmatrix} 0 & -\sin(\theta_1) \cdot l_1 \cdot \omega_b \\ 0 & \cos(\theta_1) \cdot l_1 \cdot \omega_b \\ \omega_b & 0 \end{Bmatrix}_{C,R_0}$$

$$\{V_{1/0}\} = \begin{Bmatrix} 0 & \frac{p \cdot \omega_m}{2 \cdot \pi} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{C,R_3} = \begin{Bmatrix} 0 & \cos(\theta_3) \cdot \frac{p \cdot \omega_m}{2 \cdot \pi} \\ 0 & \sin(\theta_3) \cdot \frac{p \cdot \omega_m}{2 \cdot \pi} \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{C,R_0}$$

Donc,  $\begin{cases} -\sin(\theta_1) \cdot l_1 \cdot \omega_b = \cos(\theta_3) \cdot \frac{p \cdot \omega_m}{2 \cdot \pi} \\ \cos(\theta_1) \cdot l_1 \cdot \omega_b = \sin(\theta_3) \cdot \frac{p \cdot \omega_m}{2 \cdot \pi} \end{cases}$

Donc,  $\omega_m = \frac{2 \cdot \pi}{p} \cdot \frac{-\sin(\theta_1) \cdot l_1}{\cos(\theta_3)} \cdot \omega_b$

