



# La cinématique des mécanismes



Référence S03 - TP02 - I03

Compétences B2-10: Déterminer les caractéristiques d'un solide ou d'un ensemble de solides indéformables.  
B2-11: Intégrer ou modifier une pièce dans un assemblage à l'aide d'un modèleur volumique 3D.  
B2-14: Modéliser la cinématique d'un ensemble de solides.  
C1-04: Proposer une démarche permettant d'obtenir une loi entrée-sortie géométrique.  
C2-05: Caractériser le mouvement d'un repère par rapport à un autre repère.  
C2-06: Déterminer les relations entre les grandeurs géométriques ou cinématiques.  
C3-01: Mener une simulation numérique.  
C3-02: Résoudre numériquement une équation ou un système d'équations.  
E1-05: Lire et décoder un document technique.  
E2-01: Choisir un outil de communication adapté à l'interlocuteur.

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 Capsuleuse



### 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).



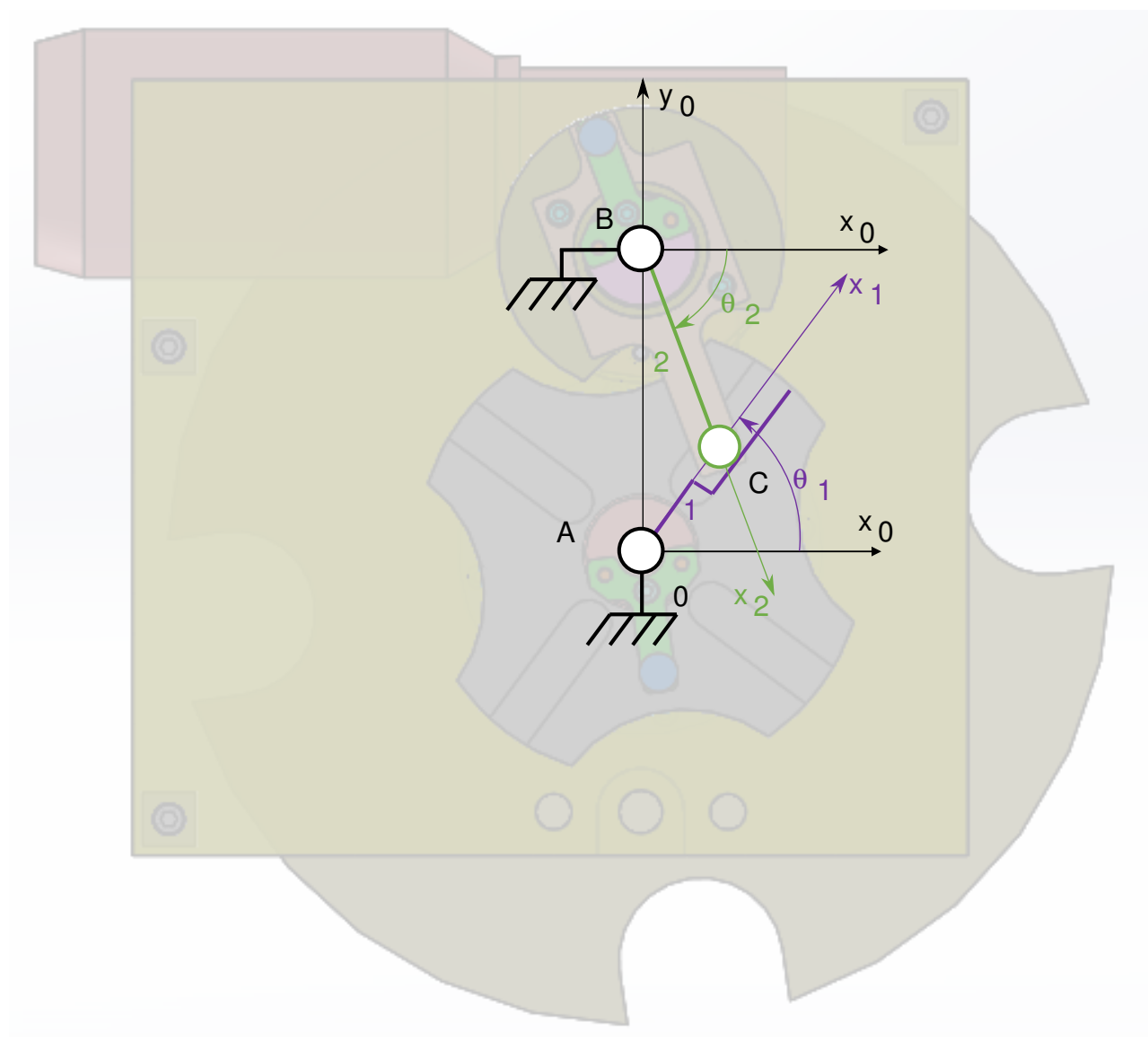
**Pour ce TP, vous aurez à votre disposition les documents suivants :**

- La Mise en oeuvre de la capsuleuse du système,
- de la procédure d'utilisation de Simscape disponible à la page 7,
- Les divers documents des système.

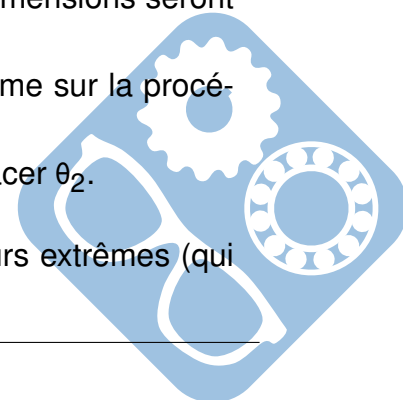


# 1 Détermination de la loi d'entrée/sortie géométrique

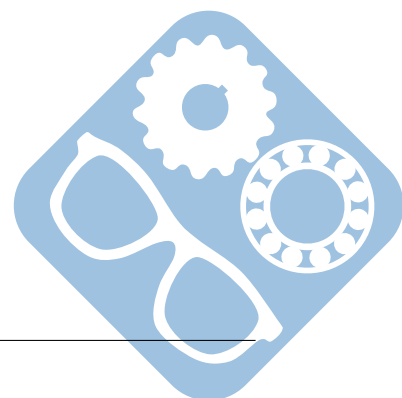
L'objectif de cette partie est de déterminer les équations liant les paramètres géométriques du système Capsuleuse et de les comparer avec celles obtenues par simulation Matlab/Simscape.



- Question 1**  
Modéliser Déterminer  $\theta_2$  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 7 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  $\theta_2$ .
- 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  $\theta_2$ .



**Question 5**      Vérifier que le résultat de la question 2 correspond à celui de la question  
Analyser          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 Capsuleuse et de les comparer avec celles obtenues par simulation Matlab/Simscape.

On aura ainsi :

- $\omega_1 = \dot{\theta}_1$ ,
- $\omega_2 = \dot{\theta}_2$ .

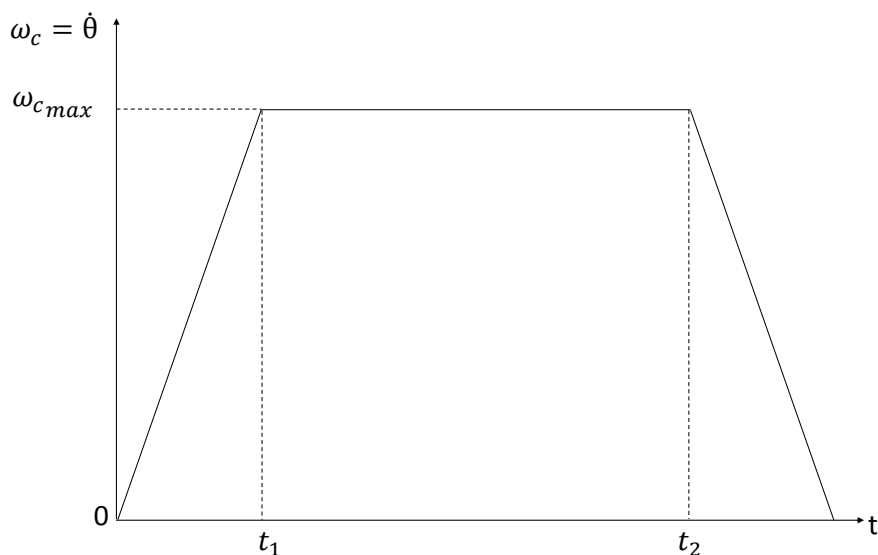
**Question 6** Déterminer  $\omega_2$  en fonction de  $\omega_1$  et des paramètres géométriques du système, en utilisant la loi de fermeture cinématique. Les dimensions seront mesurées sur le système afin d'effectuer l'application numérique.

**Modéliser**

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

**Résoudre**

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



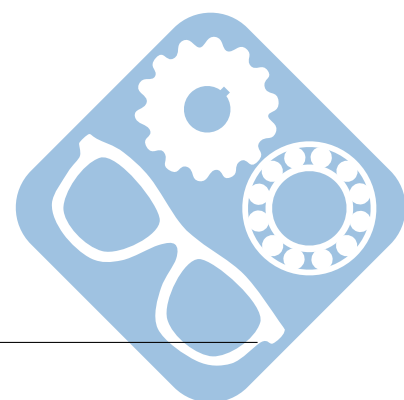
Données :  $t_1 = 2\text{s}$ ,  $t_2 = 8\text{s}$ ,  $t_3 = 10\text{s}$ .

**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**



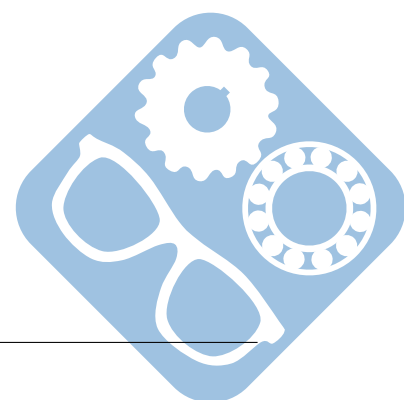
### 3 Vérification à l'aide de relevé expérimentaux

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 des 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.

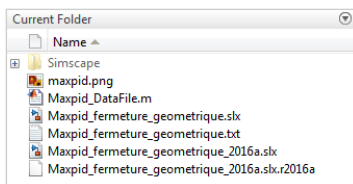
Ce modèle a été construit à partir des pièces, assemblages et contraintes d'un modèle Solidworks. Ce dernier n'est pourtant pas nécessaire pour le faire tourner.

Procédure :

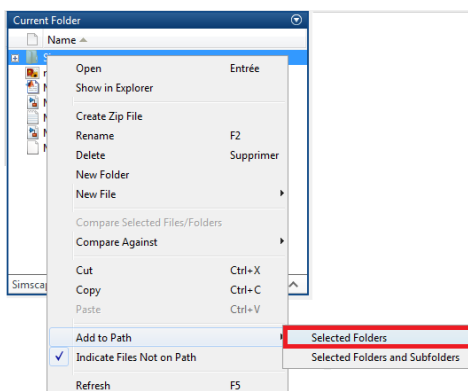
— Dézipper l'archive à télécharger [Modèle Simscape](#),

— Lancer Matlab  MATLAB R2016b

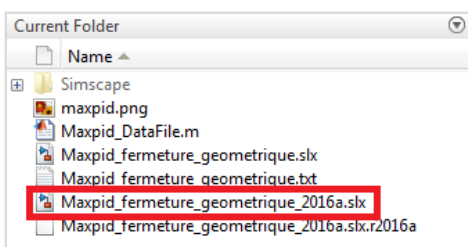
— Depuis Matlab, naviguer  dans le dossier dézippé jusqu'au dossier contenant les fichiers « .slx » et « Simscape »,



— 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 ».

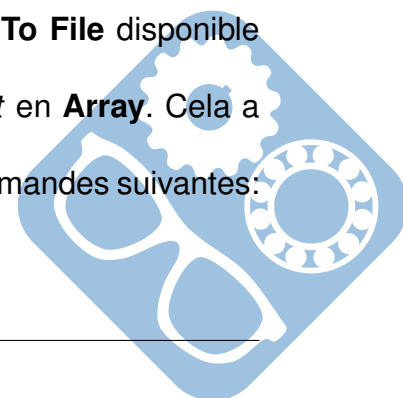


— Afin d'exporter des données, il est nécessaire d'insérer un bloc **To File** disponible dans la section *Sinks* et de le connecter à la donnée à extraire,

— 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

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

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

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

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

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

### 5.2 Fermeture cinématique

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

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

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

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

