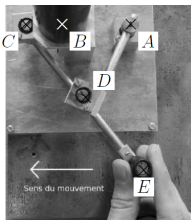


## TD 03



## Interface maître et esclave d'un robot \*\*

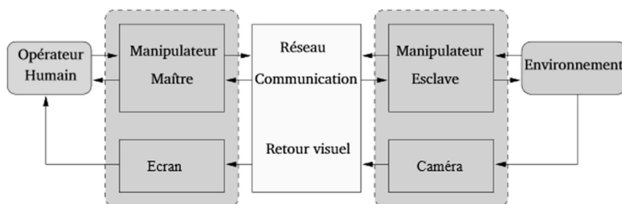
CCP PSI 2015

## Savoirs et compétences :

- Res2.C18 : principe fondamental de la statique ;
- Res2.C19 : équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides ;
- Res2.C20 : théorème des actions réciproques.

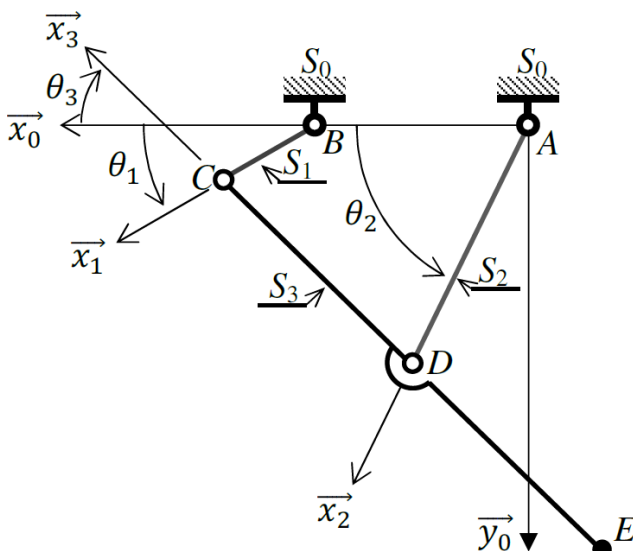
## Mise en situation

La téléopération consiste à mettre en relation deux manipulateurs appelés communément maître et esclave. Le manipulateur maître permet au chirurgien de donner sa consigne de déplacement à l'aide d'un levier de commande tandis que l'esclave l'exécute au contact de l'environnement (l'organe à opérer). Les deux sous-systèmes échangent des informations de déplacement et d'effort au travers d'un ou plusieurs canaux de communication. Un retour visuel est également mis en place en parallèle à ce dispositif.

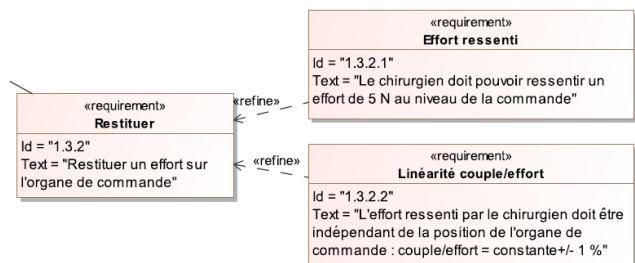


## Modélisation de l'interface maître

Ce mécanisme est constitué de 4 barres reliées par des liaisons pivots.



**Objectif** Vérifier que l'exigence « Linéarité couple/effort » (id 1.3.2.2) peut être satisfaite par le mécanisme de HOEKEN.



- Solide  $S_0$ , repère  $\mathcal{R}_0(A; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ ,  $\overrightarrow{AB} = L_0 \vec{x}_0$  avec  $L_0 = 50 \text{ mm}$ .
- Solide  $S_1$ , repère  $\mathcal{R}_1(B; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ ,  $\overrightarrow{BC} = L_1 \vec{x}_1$  avec  $L_1 = 25 \text{ mm}$ ,  $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ .
- Solide  $S_2$ , repère  $\mathcal{R}_2(A; \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$ ,  $\overrightarrow{AD} = L_2 \vec{x}_2$  avec  $L_2 = 62,5 \text{ mm}$ ,  $\theta_2 = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$ .
- Solide  $S_3$ , repère  $\mathcal{R}_3(C; \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ ,  $\overrightarrow{ED} = \overrightarrow{DC} = L_2 \vec{x}_3$  avec  $\theta_3 = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$ .
- On notera  $\{\mathcal{T}(S_i \rightarrow S_j)\} = \begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}_{P, \mathcal{R}_0}$  l'ex-

pression l'expression au point  $P$ , en projection dans la base  $\mathcal{B}_0$ , du torseur de l'action mécanique exercée par le solide  $S_i$  sur le solide  $S_j$  ; toutes les inconnues seront exprimées dans la base  $\mathcal{B}_0$ .

- L'action mécanique exercée par le moteur sur  $S_1$  sera modélisée par un couple  $C_m(t) \vec{z}_0$ .
- L'action mécanique exercée par l'opérateur sur  $S_3$  sera modélisée par une force  $F(t) \vec{x}_0$  appliquée au point  $E$ .
- L'accélération de la pesanteur sera représentée par le vecteur  $\vec{g} = -g \vec{z}_0$ .
- Les inerties des solides en mouvement et les frottements dans les guidages seront négligés.

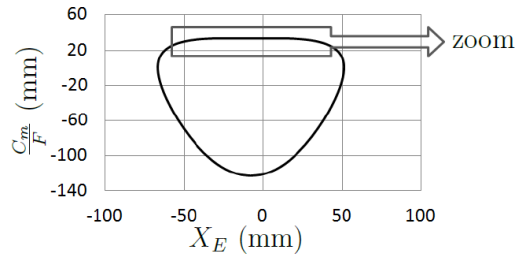
**Question 1** Réaliser le graphe d'analyse du mécanisme (liaisons et efforts).

**Question 2** #CCMP Proposer une démarche permettant d'exprimer le couple moteur en fonction de l'effort de l'opérateur et des paramètres géométriques.

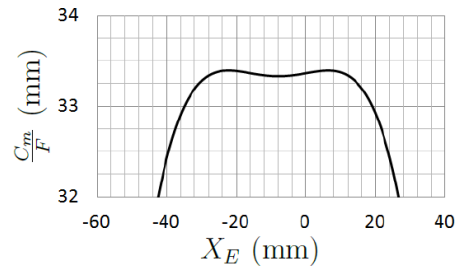
**Question 3** #CCMP Mettre en œuvre cette démarche et montrer que

$$C_m = \frac{L_1 F}{\sin(\theta_2 - \theta_3)} (\sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) - 2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3).$$

Cette relation n'étant pas linéaire, on propose d'analyser les résultats d'une simulation numérique en traçant le couple moteur/effort opérateur en fonction de l'abscisse du point E Q6.



(a) Rapport couple/effort

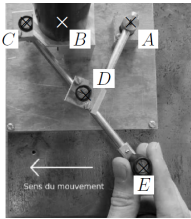


(b)  $X_E \in [-60 \text{ mm}, 40 \text{ mm}]$

**Question 4** Retrouver ces graphes en utilisant Python. J'ai pas essayé, mais si eux ont réussi, pourquoi pas vous ? Il faut peut-être utiliser le premier devoir de vacances.

**Question 5** Déterminer, à partir de la figure précédente, sur quel intervalle de l'abscisse  $X_E$  l'exigence « Linéarité couple/effort » (id 1.3.2.2) est satisfaite. Indiquer si cet intervalle est compatible avec les exigences précédemment vérifiées.

## TD 03



### Interface maître et esclave d'un robot ★

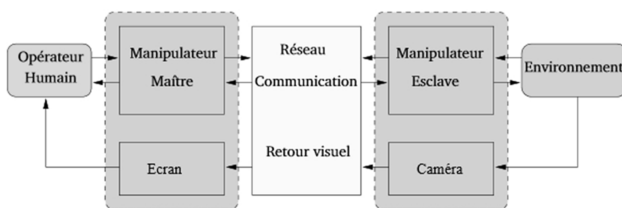
CCP PSI 2015

#### Savoirs et compétences :

- Res2.C18 : principe fondamental de la statique ;
- Res2.C19 : équilibre d'un solide, d'un ensemble de solides ;
- Res2.C20 : théorème des actions réciproques.

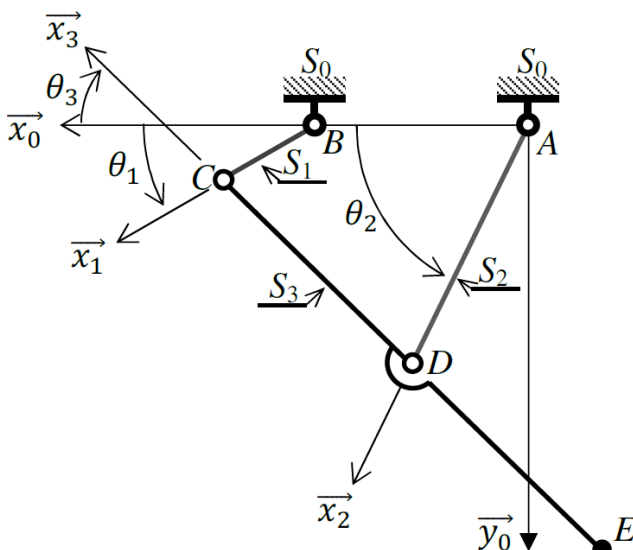
### Mise en situation

La téléopération consiste à mettre en relation deux manipulateurs appelés communément maître et esclave. Le manipulateur maître permet au chirurgien de donner sa consigne de déplacement à l'aide d'un levier de commande tandis que l'esclave l'exécute au contact de l'environnement (l'organe à opérer). Les deux sous-systèmes échangent des informations de déplacement et d'effort au travers d'un ou plusieurs canaux de communication. Un retour visuel est également mis en place en parallèle à ce dispositif.

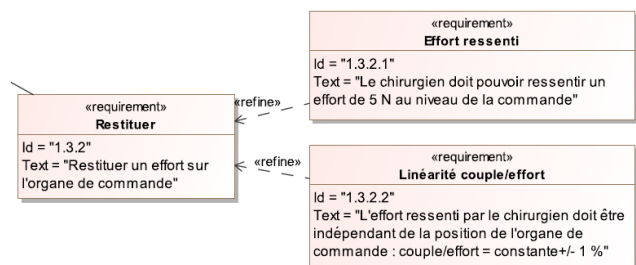


### Modélisation de l'interface maître

Ce mécanisme est constitué de 4 barres reliées par des liaisons pivots.



**Objectif** Vérifier que l'exigence « Linéarité couple/effort » (id 1.3.2.2) peut être satisfaite par le mécanisme de HOEKEN.



- Solide  $S_0$ , repère  $\mathcal{R}_0(A; \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ ,  $\vec{AB} = L_0 \vec{x}_0$  avec  $L_0 = 50 \text{ mm}$ .
- Solide  $S_1$ , repère  $\mathcal{R}_1(B; \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$ ,  $\vec{BC} = L_1 \vec{x}_1$  avec  $L_1 = 25 \text{ mm}$ ,  $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$ .
- Solide  $S_2$ , repère  $\mathcal{R}_2(C; \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$ ,  $\vec{CD} = L_2 \vec{x}_2$  avec  $L_2 = 62,5 \text{ mm}$ ,  $\theta_2 = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$ .
- Solide  $S_3$ , repère  $\mathcal{R}_3(D; \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_0)$ ,  $\vec{DE} = \vec{DC} = L_2 \vec{x}_3$  avec  $\theta_3 = (\vec{x}_0, \vec{x}_3) = (\vec{y}_0, \vec{y}_3)$ .
- On notera  $\{\mathcal{T}(S_i \rightarrow S_j)\} = \begin{Bmatrix} X_{ij} & L_{ij} \\ Y_{ij} & M_{ij} \\ Z_{ij} & N_{ij} \end{Bmatrix}_{P, \mathcal{R}_0}$  l'ex-

pression l'expression au point  $P$ , en projection dans la base  $\mathcal{B}_0$ , du torseur de l'action mécanique exercée par le solide  $S_i$  sur le solide  $S_j$ ; toutes les inconnues seront exprimées dans la base  $\mathcal{B}_0$ .

- L'action mécanique exercée par le moteur sur  $S_1$  sera modélisée par un couple  $C_m(t) \vec{z}_0$ .
- L'action mécanique exercée par l'opérateur sur  $S_3$  sera modélisée par une force  $F(t) \vec{x}_0$  appliquée au point  $E$ .
- L'accélération de la pesanteur sera représentée par le vecteur  $\vec{g} = -g \vec{z}_0$ .
- Les inerties des solides en mouvement et les frottements dans les guidages seront négligés.

**Question 1** Réaliser le graphe d'analyse du mécanisme (liaisons et efforts).

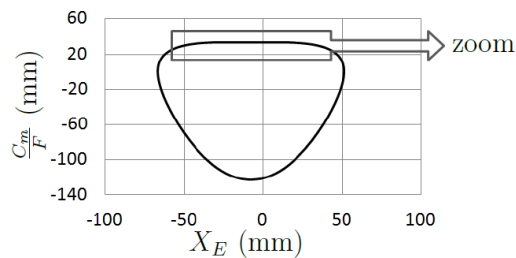
**Question 2** #CCINP Déterminer les équations algébriques issues du développement des 4 relations suivantes :

- *théorème du moment statique en B appliqué à l'équilibre de  $S_1$ , en projection sur  $\vec{z}_0$  ;*
- *théorème du moment statique en A appliqué à l'équilibre de  $S_2$ , en projection sur  $\vec{z}_0$  ;*
- *théorème du moment statique en D appliqué à l'équilibre de  $S_3$ , en projection sur  $\vec{z}_0$  ;*
- *théorème de la résultante statique appliqué à l'équilibre de  $S_3$ , en projection sur  $\vec{y}_2$ .*

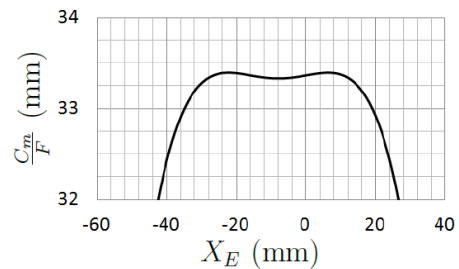
Montrer que

$$C_m = \frac{L_1 F}{\sin(\theta_2 - \theta_3)} (\sin \theta_1 \sin(\theta_2 + \theta_3) - 2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3).$$

Cette relation n'étant pas linéaire, on propose d'analyser les résultats d'une simulation numérique en traçant le couple moteur/effort opérateur en fonction de l'abscisse du point E Q6.



(a) Rapport couple/effort



(b)  $X_E \in [-60 \text{ mm}, 40 \text{ mm}]$

**Question 3** Retrouver ces graphes en utilisant Python. J'ai pas essayé, mais si eux ont réussi, pourquoi pas vous ? Il faut peut-être utiliser le premier devoir de vacances.

**Question 4** Déterminer, à partir de la figure précédente, sur quel intervalle de l'abscisse  $X_E$  l'exigence « Linéarité couple/effort » (id 1.3.2.2) est satisfaite. Indiquer si cet intervalle est compatible avec les exigences précédemment vérifiées.