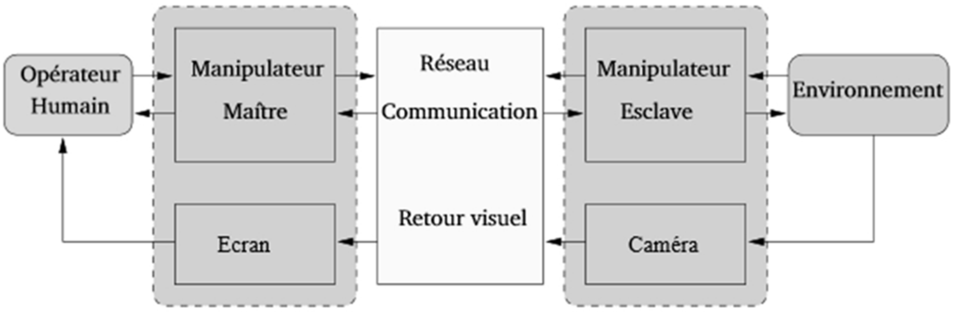
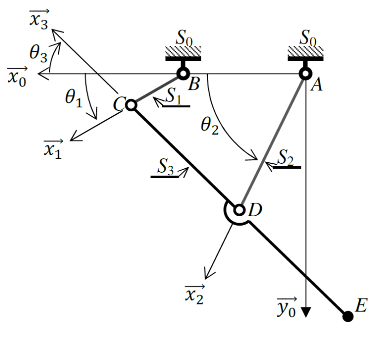
Colle 0
Interface maître et esclave d'un robot – Sujet

CCP PSI 2015.

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.



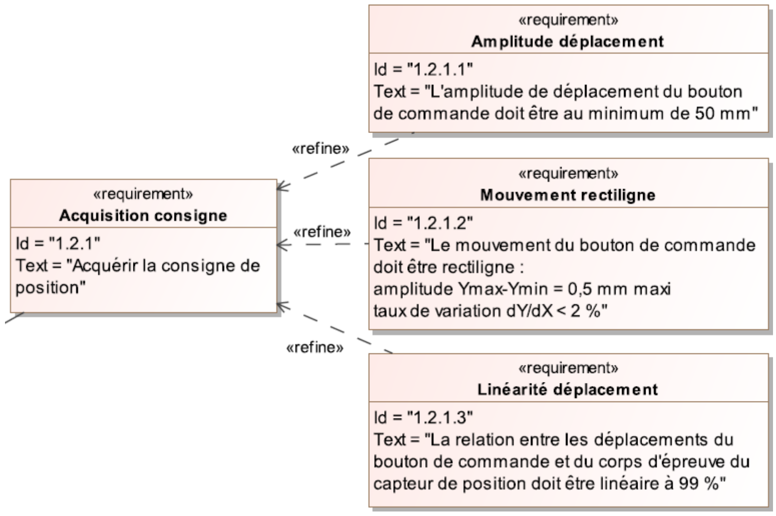


Modélisation de l'interface maître

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

Objectif

Vérifier que les exigences « Amplitude déplacement » (id 1.2.1.1), « Mouvement rectiligne » (id 1.2.1.2), « Linéarité déplacement » (id 1.2.1.3) peuvent être satisfaites par le mécanisme de HOEKEN.

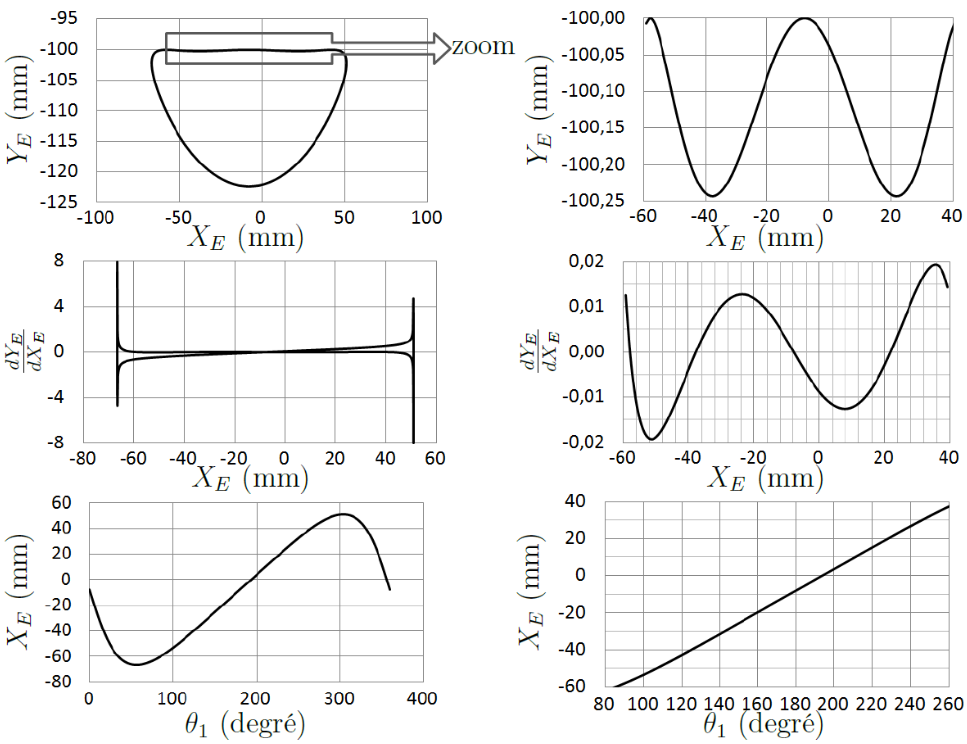


- Solide S_0, repère $\mathcal{R}_0\left(A;\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{z_0}\right)$, $\overrightarrow{AB} = L_0\overrightarrow{x_0}$ avec $L_0 = 50\,\text{mm}$.
- Solide S_1, repère $\mathcal{R}_1\left(B;\overrightarrow{x_1},\overrightarrow{y_1},\overrightarrow{z_0}\right)$, $\overrightarrow{BC} = L_1\overrightarrow{x_1}$ avec $L_1 = 25\,\text{mm}$, $\theta_1 = \left(\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_1}\right) = \left(\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_1}\right)$.
- Solide S_2, repère $\mathcal{R}_2\left(A;\overrightarrow{x_2},\overrightarrow{y_2},\overrightarrow{z_0}\right)$, $\overrightarrow{AD} = L_2\overrightarrow{x_2}$ avec $L_2 = 62{,}5\,\text{mm}$, $\theta_2 = \left(\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_2}\right) = \left(\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_2}\right)$.
- Solide S_3, repère $\mathcal{R}_3\left(C;\overrightarrow{x_3},\overrightarrow{y_3},\overrightarrow{z_0}\right)$, $\overrightarrow{ED} = \overrightarrow{DC} = L_2\overrightarrow{x_3}$ avec $\theta_3 = \left(\overrightarrow{x_0},\overrightarrow{x_3}\right) = \left(\overrightarrow{y_0},\overrightarrow{y_3}\right)$.

Question 1 Donner une relation algébrique reliant les paramètres L_0, L_1, L_2, θ_1 et θ_3.

Question 2 De même, exprimer le vecteur position du point E ($\overrightarrow{AE}$) dans la base du repère $\mathcal{R}_0$ en fonction de L_0, L_1, L_2, θ_1 et θ_3.

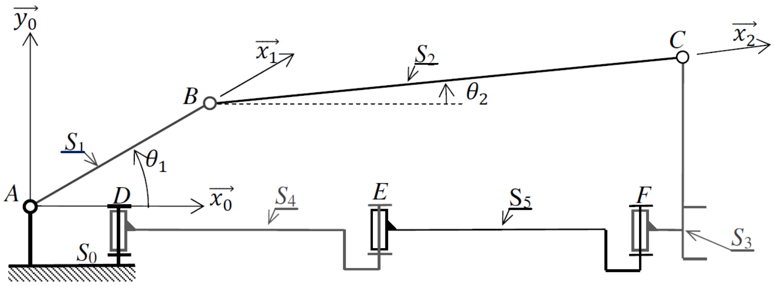
La résolution analytique du système d'équations permettant d'obtenir le déplacement du point E en fonction de l'angle de rotation θ_1 du moteur et des différentes longueurs du mécanisme n'étant pas triviale, seuls les résultats d'une simulation numérique seront analysés.



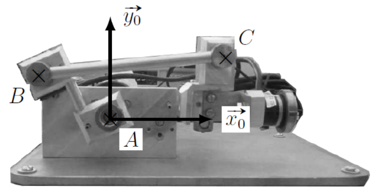
Question 3 Vérifier, à l'aide des figures précédentes, que le déplacement du point E est compatible avec les exigences « Amplitude déplacement » (id 1.2.1.1) et « Mouvement rectiligne » (id 1.2.1.2) sur l'intervalle $X_E \in [-60\,\text{mm}; 40\,\text{mm}]$.

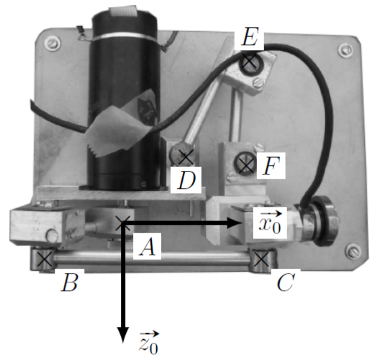
Question 4 Proposer, à partir de la dernière figure, une démarche permettant de vérifier l'exigence « Linéarité déplacement » (id 1.2.1.3) sur l'intervalle $X_E \in [-60\,\text{mm}; 40\,\text{mm}]$.

Modélisation de l'interface esclave



Solide	Repère associé	Paramètres géométriques	Paramètres dynamiques
S_0 (bâti)	$\mathcal{R}_0(A, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$		
S_1 (barre AB + rotor moteur)	$\mathcal{R}_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)$	$\overrightarrow{AB} = L_1\,\vec{x}_1$ avec $L_1 = 35\,\text{mm}$ $\theta_1 = (\vec{x}_0, \vec{x}_1) = (\vec{y}_0, \vec{y}_1)$	Inertie équivalente ramenée à l'axe $(A, \vec{z}_0)$: $I_1 = 5{,}7 \times 10^{-5}\,\text{kg}\cdot\text{m}^2$ Frottement fluide entre rotor et stator : $f_v = 1{,}6 \times 10^{-3}\,\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}$ Masse négligée
S_2 (barre BC)	$\mathcal{R}_2(B, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_0)$	$\overrightarrow{BC} = L_2\,\vec{x}_2$ avec $L_2 = 80\,\text{mm}$ $\theta_2 = (\vec{x}_0, \vec{x}_2) = (\vec{y}_0, \vec{y}_2)$	Masse et inertie négligées
S_3 (organe terminal)	$\mathcal{R}_3(C, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$	$\overrightarrow{AC} = L_3 \cdot \vec{y}_0 + x_s(t) \cdot \vec{x}_0$ avec $L_3 = 25\,\text{mm}$	Masse : $M_3 = 0{,}1\,\text{kg}$
S_4 (barre DE)			Masse et inertie négligées
S_5 (barre EF)			Masse et inertie négligées





Objectif

Modéliser le comportement dynamique de l'interface esclave de façon à évaluer son comportement au sein d'une boucle d'asservissement.

On note $\{\mathcal{T}(\text{mot} \rightarrow S_1)\} = \left\{ \begin{array}{c} \overrightarrow{0} \\ C_m \overrightarrow{z} \end{array} \right\}_{\forall P}$ l'expression, dans la base $\mathcal{B}_0$ du torseur de l'action mécanique exercée par le moteur sur le solide S_1 et l'accélération de la pesanteur sera représentée par le vecteur $\overrightarrow{g} = -g\overrightarrow{y_0}$.

Question 5 Tracer le graphe des liaisons du dispositif esclave. Précisier les actions mécaniques extéreiures Donner le degré d'hyperstatisme de la modélisation de ce mécanisme.

Question 6 Proposer une modification simple pour le rendre isostatique.

Question 7 Montrer que le mouvement de S_3/S_0 ne peut être qu'une translation de direction $\overrightarrow{x_0}$.

Question 8 En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, déterminer l'équation de mouvement liant les paramètres C_m, $\dot{\theta}_1$, $\ddot{\theta}_1$, $\dot{x}_s$, $\ddot{x}_s$, f_v, M_3 et I_1.

Question 9 La relation géométrique liant les paramètres x_s et θ_1 n'étant pas triviale, on propose de la linéariser autour du point de fonctionnement par l'expression $\theta_1(t) \simeq \alpha x_s(t)$ avec $\alpha = -30\,\text{m}^{-1}$. En déduire l'équation différentielle liant les paramètres C_m, $\dot{x}_s$, $\ddot{x}_s$, f_v, M_3, I_1 et α.

Question 10 Donner, dans les conditions d'Heaviside et sous forme canonique, la fonction de transfert modélisant le comportement dynamique du manipulateur esclave : $H(p) = \dfrac{X_s(p)}{C_m(p)}$ sachant que $X_s(p) = \mathscr{L}\left[x_s(t)\right]$ et $C_m(p) = \mathscr{L}\left[c_m(t)\right]$. Faire l'application numérique.