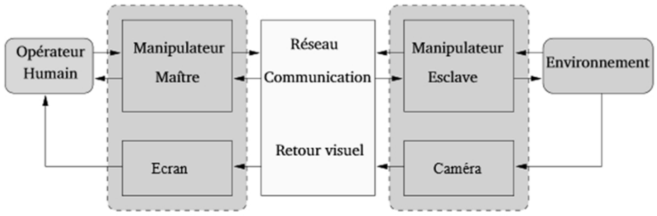
TD1 : Interface esclave

Mise en situation

La téléopération ou téléchirurgie 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).

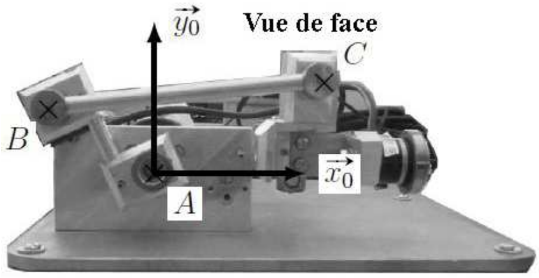


Les deux sous-systèmes échangent des informations de déplacement et d'effort au travers d'un ou plusieurs canaux de communication. Un retour visuel est également mis en place. Notre étude se limite à l'étude d'un prototype de l'interface esclave, mécanisme du manipulateur esclave.

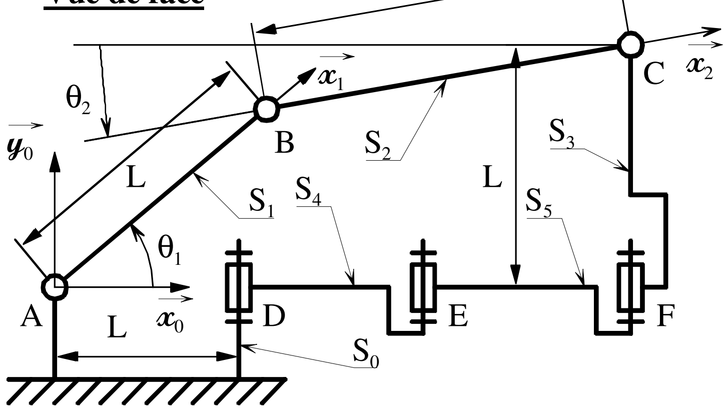
Modélisation du manipulateur esclave

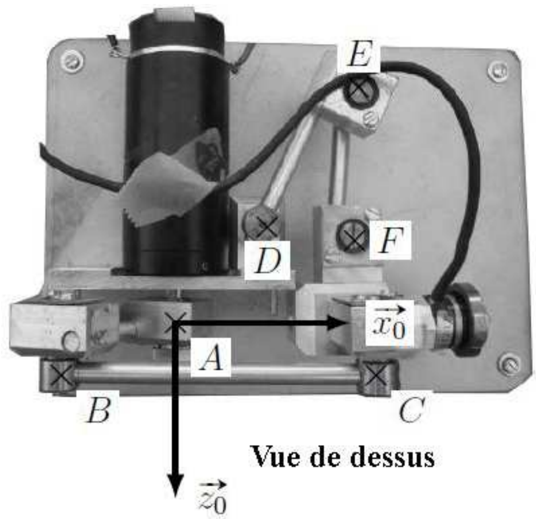
Ce mécanisme est constitué d'une manivelle (Solide S_1) qui est mue en rotation par rapport au bâti (Solide S_0) à l'aide d'un motoréducteur commandé par le manipulateur maître.

L'outil qui opère l'organe est lié au mandrin (Solide S_3). La liaison entre la manivelle S_1 et le mandrin S_3 se fait par trois barres : Solides S_2, S_4 et S_5. On donne ci-dessous deux vues photographique du mécanisme ainsi qu'un schéma cinématique suivant ces deux mêmes vues.

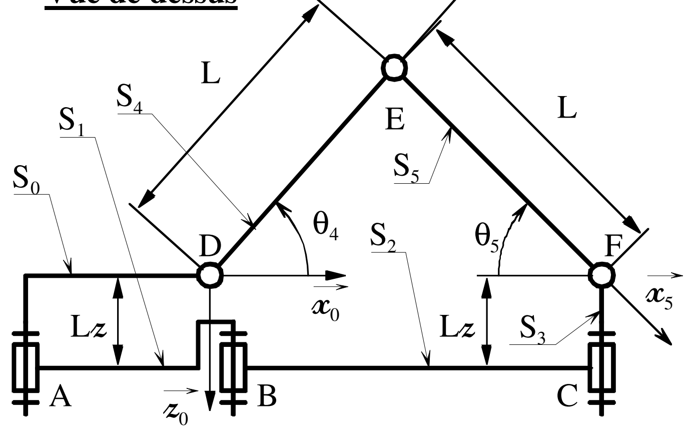


Vue de face





Vue de dessus



On note les bases $\mathcal{B}_i$ liés au différents solides S_i : $\mathcal{B}_i = (\overrightarrow{x_i}, \overrightarrow{y_i}, \overrightarrow{z_i})$

On donne également les différentes dimensions des solides S_i : Bâti S_0 : $\overrightarrow{AD} = L.\overrightarrow{x_0} - L_z.\overrightarrow{z_0}$

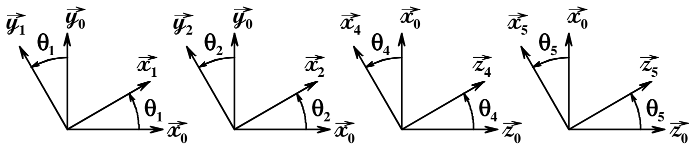
Manivelle S_1 : $\overrightarrow{AB} = L.\overrightarrow{x_1}$ Barre S_2 : $\overrightarrow{BC} = 2.L.\overrightarrow{x_2}$ Barre S_4 : $\overrightarrow{DE} = L.\overrightarrow{x_4}$

Barre S_5 : $\overrightarrow{EF} = L.\overrightarrow{x_2}$ Mandrin S_3 : $\overrightarrow{FC} = L.\overrightarrow{y_3} - L_z.\overrightarrow{z_3}$

Paramétrage du mécanisme

On pose les paramètres angulaires donnant la position des solides S_i par rapport au solide S_0 :

$$\theta_i = (\widehat{\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_i}}) = (\widehat{\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_i}})$$



L'arbre de sortie du moto réducteur sur lequel est fixé la barre 1 tourne à la vitesse ω : $\boldsymbol{\omega = \dot{\theta}_1}$.

Résultats d'études précédentes

Une étude géométrique et cinématique à permis d'établir :

☞ Que Le mouvement du mandrin S_3 par rapport au bâti S_0 est une translation ($\overrightarrow{\Omega_{3/0}} = \vec{0}$) rectiligne de direction $\overrightarrow{x_0}$; On pose alors le paramètre linéaire x de la position de ce mandrin :

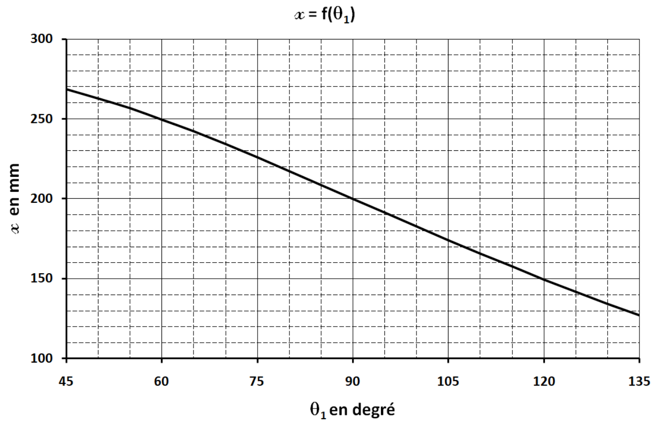
$$\overrightarrow{\mathbf{AF}} = x.\overrightarrow{x_0} \qquad \text{Soit :} \qquad \overrightarrow{\mathbf{V}_{F\in S_5/S_0}} = \overrightarrow{\mathbf{V}_{C\in S_2/S_0}} = \dot{x}.\overrightarrow{x_0}.$$

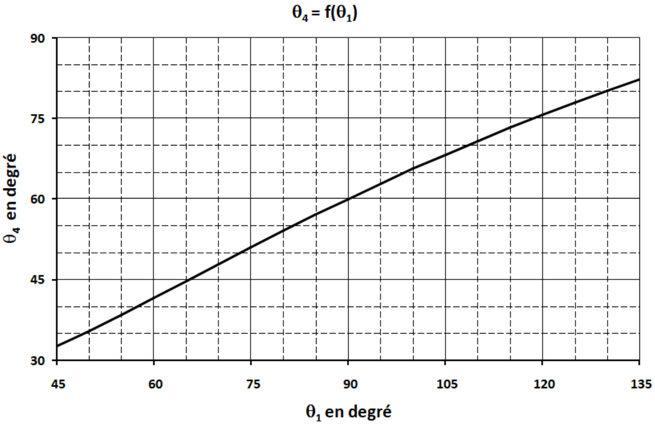
☞ Les expressions des paramètres x, θ_2, θ_4, θ_5 en fonction de θ_1 :

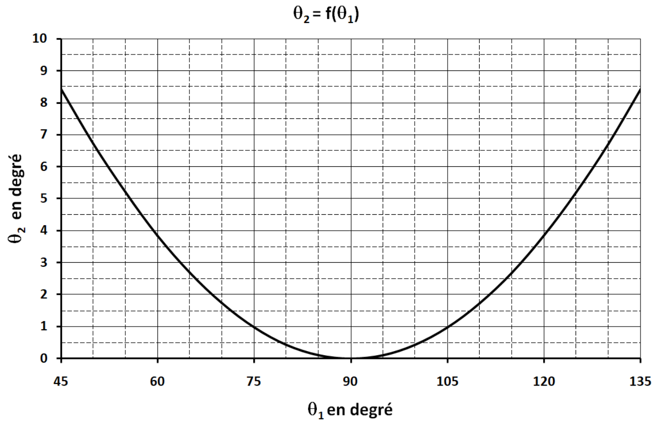
$$x = L.\left(\cos\theta_1 + \sqrt{4-(1-\sin\theta_1)^2}\right) \qquad \tan\theta_2 = \frac{1-\sin\theta_1}{\sqrt{4-(1-\sin\theta_1)^2}}$$

$$2.\cos\theta_4 = \cos\theta_1 + \sqrt{4-(1-\sin\theta_1)^2} - 1 \qquad \boldsymbol{\theta_5 = -\theta_4}$$

Cela permet d'obtenir le tracé (pour L = 100 mm) de : $x = f_x(\theta_1)$; $\theta_2 = f_x(\theta_1)$ et $\theta_4 = f_x(\theta_1)$:







Cela nous permet de linéariser les relations entre les paramètres x, θ_2, θ_4 et θ_1 (en m et rad)

$\boldsymbol{x = 0{,}27 - \lambda.\theta_1}$ avec : $\lambda \approx 0{,}089$

$\boldsymbol{\theta_4 = 0{,}13 + k_4.\theta_1}$ avec : $k_4 \approx 0{,}56$

$\boldsymbol{\theta_2 = k_2.\left|\frac{\pi}{2} - \theta_1\right|}$ avec : $k_2 \approx 0{,}13$

Géométrie des masses

☞ Le moment d'inertie du moto-réducteur ramené sur son arbre de sortie (A, $\overrightarrow{z_0}$) est : J_m

☞ La masse du mandrin S_3 est M

☞ La masse des barres de longueur L : S_1 ; S_4 et S_5 est : m

☞ La masse de la barre de longueur 2.L : S_2 est : 2.m

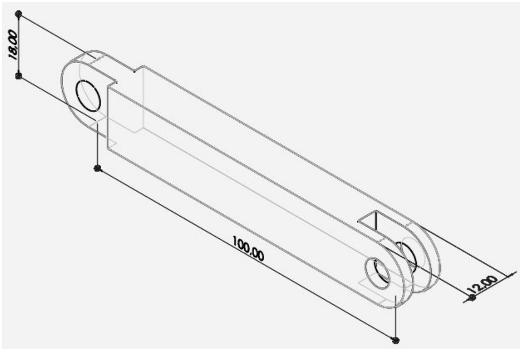
☞ Les quatre barres S_1 ; S_2 ; S_4 et S_5 sont assimilées à des parallélépipèdes rectangles de dimensions : L×d×e ou 2.L×d×e

Objectif

Il s'agit de déterminer l'expression de l'inertie équivalente à l'ensemble des pièces en mouvement ramenée sur l'arbre de sortie du moto-réducteur.

Question 1.

On donne ci-dessous la forme des barres S_1 ; S_2 ; S_4 et S_5. La dimension e = 12 mm est suivant l'axe des liaisons pivots ($\overrightarrow{z_0}$ pour S_1 et S_2 ; $\overrightarrow{y_0}$ pour S_4 et S_5) la dimension L est suivant $\overrightarrow{x_i}$.



Etant donné la géométrie des ces barres, en justifiant la réponse, donner les expressions en fonction de m, L, d et e des opérateurs d'inertie (Matrices d'inertie) des quatre barres S_1 ; S_2 ; S_4 et S_5. Donner également pour chacune d'elle la position de son centre d'inertie G_i en fonction de L : $\overrightarrow{AG_1}$ pour S_1 ; $\overrightarrow{BG_2}$ pour S_2 ; $\overrightarrow{DG_4}$ pour S_4 et $\overrightarrow{EG_5}$ pour S_5 .

Simplifier ces expressions sachant que : $e < d << L$.

Question 2.

Déterminer les expressions des énergies cinétiques des différentes pièces en mouvement :

☞ $E_C(Mot/S_0)$: du moto réducteur dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction de ω et J_m.

☞ $E_C(S_1/S_0)$: de la barre S_1 dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction ω, m et L.

☞ $E_C(S_2/S_0)$: de la barre S_2 dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction ω, m, k_2, λ, θ_1 et L.

☞ $E_C(S_3/S_0)$: du mandrin S_3 dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction ω, M, λ et L.

☞ $E_C(S_4/S_0)$: de la barre S_4 dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction ω, m, k_4 et L.

☞ $E_C(S_5/S_0)$: de la barre S_5 dans son mouvement par rapport à S_0 en fonction ω, m, k_4, λ, θ_4 et L.

Question 3.

L'ensemble des pièces en mouvement est le système : $\Sigma = \{$moto réducteur, $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$. Son énergie cinétique dans son mouvement par rapport à S_0 s'écrit : $E_C(\Sigma/S_0) = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \omega^2$. Afin d'avoir un moment d'inertie équivalent constant quelque soit la valeur de $\theta_1 \in [45°,135°]$ on fera l'hypothèse que : $\sin\left(k_2\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right)\right) << 1$ et $\theta_4 \approx 60°$.

Déterminer l'expression de J_{eq} l'inertie équivalente à l'ensemble des pièces en mouvement ramenée sur l'arbre de sortie du moto-réducteur.