

## A. Présentation générale

La barrière ERO, est utilisée aussi bien comme barrière de péage ou comme barrière d'accès à un parking.



Les barrières SYMPACT de la société ERO peuvent être équipées de différentes longueurs de lisse de 2,5 m à 4 m. Deux types de ressorts : pour une lisse (barrière) de 2,5 et 3 m pour l'un et pour une lisse de 3,5 et 4 m pour l'autre avec des tarages étudiés qui complètent l'adaptation.

### A.1. Principe de la transformation de mouvement

La barrière utilise un mécanisme de transformation de mouvement original (figure 0.1).

La partie opérative (tête de barrière) est constituée d'un mécanisme de transformation de mouvement de type bielle-manivelle mu par un moteur asynchrone triphasé piloté dans les deux sens de marche pour réaliser les mouvements de montée et de descente. Le système de transformation de mouvement est constitué d'une manivelle pivotant autour de l'axe du moteur sur une plage de 270°. L'extrémité de la manivelle est pourvue d'un galet qui vient rouler dans la rainure d'une bielle fixée à une extrémité d'un axe dont l'autre extrémité supporte la lisse. La limitation de la plage angulaire de rotation de la manivelle est assurée par une butée caoutchouc située dans la partie basse de la rainure de la bielle qui joue également un rôle d'amortisseur. Ce débattement limité permet d'avoir une symétrie parfaite des positions de la bielle pour les positions de lisse basse et haute car la butée mécanique sert pour les deux sens de rotation du moteur.

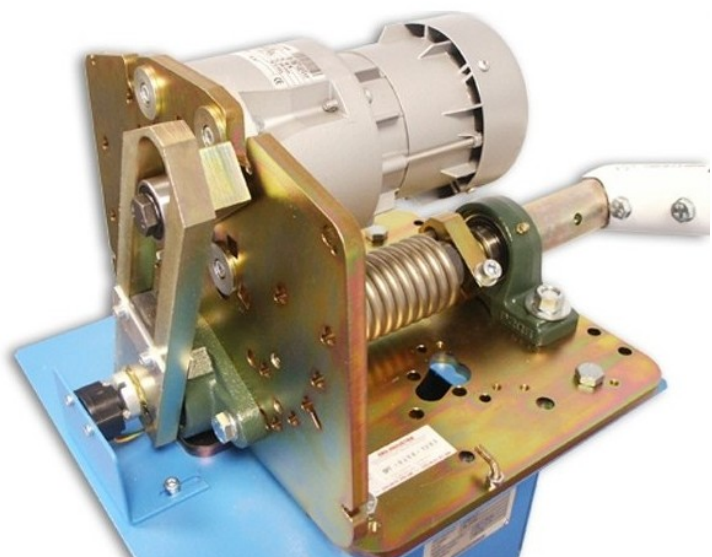


FIGURE 0.1 – Chaîne d'énergie de la barrière Ero

Le démarrage s'effectue à couple très faible car la position de démarrage de la manivelle se situe dans une plage angulaire proche de la perpendiculaire à la direction de l'effort. La caractéristique de cette transformation de mouvement est de donner une vitesse constante à la bielle et donc à la lisse

pour une vitesse de rotation constante de la manivelle dans la plage angulaire de  $90^\circ$  de rotation de bielle. Cette transformation de mouvement est donc une combinaison de 2 rotations d'amplitudes différentes :  $270^\circ$  pour la rotation de la manivelle et  $90^\circ$  pour la rotation de la bielle (donc de la lisse).

### A.2. Ressort de compensation

Rôle d'accumulateur d'énergie potentielle :

La compression (déformation) du ressort provoquée par le force de pesanteur de la lisse lors de la descente de celle-ci permet l'accumulation d'une énergie potentielle élastique qui est restituée lorsque la déformation de ce dernier disparaît lors de la montée de la lisse.

Rôle de sécurité :

Le ressort est taré de manière à provoquer la remontée de la lisse en position verticale sans l'aide d'une force extérieure. En cas de coupure d'énergie électrique, la remontée de la lisse permettra une évacuation rapide dans le cas d'un parc de stationnement sous-terrain par exemple.

## B. Étude cinématique

La chaîne d'énergie est constitué :

- d'une moteur asynchrone triphasé, on note  $\omega_m$  la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du moteur  $C_m$  le couple moteur,
- d'un réducteur de rapport  $\frac{\omega_r}{\omega_m} = \frac{1}{20}$  avec  $\omega_r$  la vitesse de rotation de l'arbre de sortie du réducteur,
- d'un mécanisme de transformation de mouvement comprenant :
  - une manivelle entraînée par l'arbre du réducteur,
  - d'un galet en pivot par rapport à la manivelle.
  - d'une bielle mise en mouvement par le galet qui roule dans une rainure de celle-ci.
- La lisse est fixée sur l'arbre de sortie solidaire de la bielle, on note  $\omega_l$  la vitesse de rotation de la lisse.

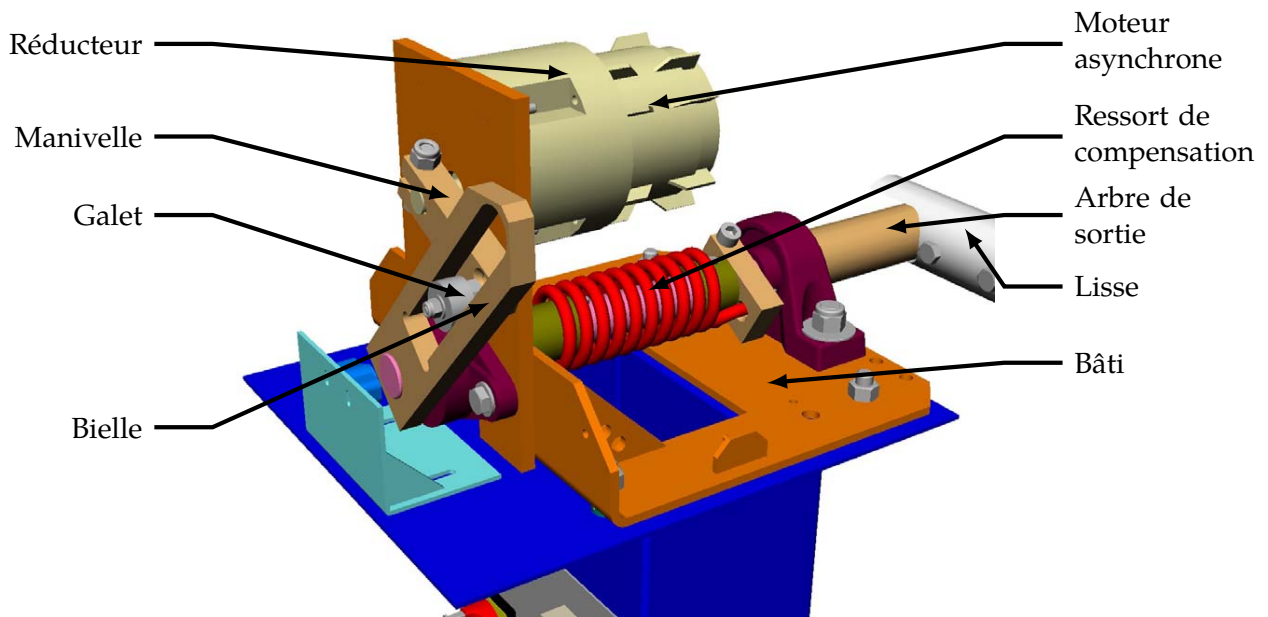


FIGURE 0.2 – Mécanisme de transformation de mouvement

La figure 0.3 précise la modélisation cinématique du mécanisme.

- La manivelle-2 est en liaison pivot d'axe  $(B, \vec{x}_1)$  par rapport au bâti-1 ;

- L'ensemble-3 constitué de la bielle, l'arbre et la lisse est lié au bâti-1 par deux liaisons sphérique en A et A<sub>1</sub> ;
- Le galet-4 est en liaison pivot d'axe (C,  $\vec{x}_1$ ) par rapport à la manivelle-2 ;
- La liaison entre le galet-4 et la bielle-3 est modélisée par une liaison ponctuelle en I de normale (I,  $\vec{z}_3$ ) avec I le point de contact entre le galet et un des cotés de la rainure de la bielle<sup>1</sup>. Le galet roule sans glisser sur la bielle.

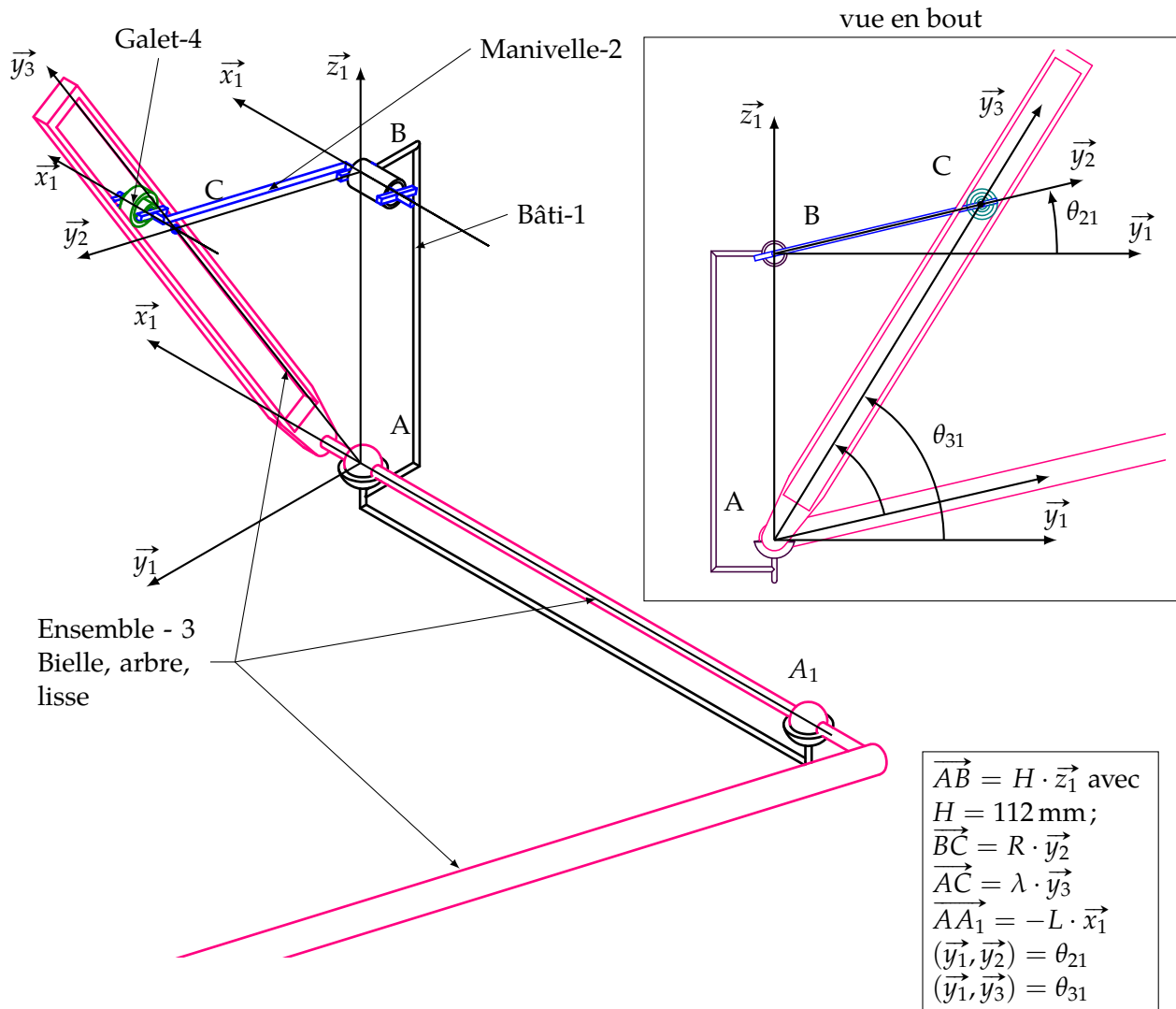


FIGURE 0.3 – Modélisation cinématique du mécanisme de transformation de mouvement

**Q1.** Tracer le graphe de structure du mécanisme. Préciser pour chaque liaison le nombre d'inconnues cinématiques  $n_c$  et d'inconnues de liaison  $n_s$ .

On s'intéresse dans un premier temps à la liaison entre l'ensemble-3 et le bâti-0.

**Q2.** Déterminer la liaison équivalente entre l'ensemble-3 et le bâti-0. Préciser si cette solution pour réaliser cette liaison est isostatique ou hyperstatique et de quel degré si c'est le cas.

Pour la suite, on remplace les deux liaisons par la liaison équivalente.

**Q3.** Évaluer sans trop de calcul le degré de mobilité de la boucle {1,2,4,3}.

1. on considère que le contact entre le galet et la bielle ne peut s'effectuer que d'un seul coté en fonction du sens de déplacement

**Q4.** Déterminer la liaison équivalente à la liaison entre la manivelle et la bielle pour la chaîne de solides {2,4,3} (figure 0.4). On prend  $\vec{IC} = r \cdot \vec{z}_3$ .

**B.1. Loi d'entrée / sortie**

**Q5.** Écrire la fermeture géométrique pour la boucle {1,2,4,3}.

**Q6.** Déterminer les relations donnant  $\lambda$  et  $\theta_{31}$  en fonction de  $\theta_{21}$ .

La loi d'entrée / sortie  $\theta_{31} = f(\theta_{21})$  est représentée sur la figure 0.9.

La relation entre  $\omega_{31} = \frac{d\theta_{31}}{dt}$  et  $\omega_r = \omega_{21} = \frac{d\theta_{21}}{dt}$  est modélisée par la caractéristique de la figure 0.5.

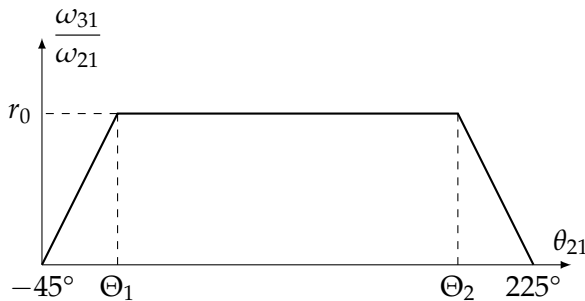


FIGURE 0.5 – Modélisation du rapport de réduction du mécanisme

**Q7.** Que pensez vous de ce modèle? Proposez des valeurs pour  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$  et pour le rapport de réduction  $r_0 = \frac{\omega_{31}}{\omega_{21}}$  et les rampes d'accélération de décélération.

**Q8.** Pour la phase à rapport  $r_0$  constant, donner le rapport de réduction global du mécanisme :  $r_g = \frac{\omega_{31}}{\omega_m}$ .

Pour la suite de l'étude on utilise le modèle de vitesse de la figure 0.5.

**C. Détermination du ressort de compensation**

Aussi bien pour des raisons de sécurité, la lisse doit se relever seule en cas de coupure d'énergie, que pour aider le moteur dans l'ouverture et la fermeture de la barrière, les concepteurs ont installé un ressort de compensation (figure 0.6).

Ainsi, quelle que soit la position angulaire de la barrière, la barrière doit se relever.

Le torseur de l'action de compensation du ressort s'écrit :

$$\{C_{0 \rightarrow 1}\} = \left\{ \begin{matrix} \vec{0} \\ C_p = -K_c \cdot \alpha_{31} + C_0 \end{matrix} \right\}_{VP}$$

avec  $\alpha_{31} = \theta_{31} - 45^\circ$  et  $C_0$  le couple de pré-réglage.

Données et hypothèses complémentaires :

- La lisse est un tube en aluminium de diamètre extérieur  $D_\ell = 60$  mm et d'épaisseur  $e_\ell = 2,5$  mm. La masse volumique de l'aluminium est  $\rho_a = 2700$  kg m<sup>-3</sup>.

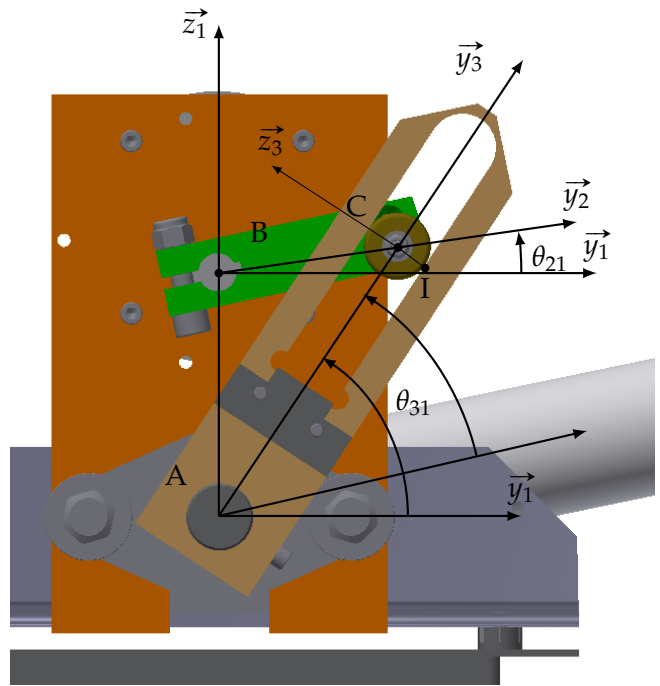


FIGURE 0.4 – Mécanisme de bielle manivelle

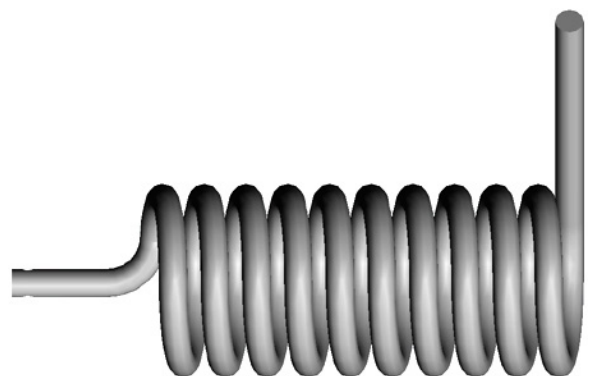


FIGURE 0.6 – Ressort de compensation

- Le fabricant propose 4 longueurs de lisse  $L_\ell$  pour les différentes utilisation 2,50 m, 3 m, 3,50 m et 4 m.
- Seule la masse de la lisse est prise en compte dans cette étude.
- Le couple moteur est nul  $C_m = 0$  et n'oppose aucune résistance à la rotation de la lisse.
- Le ressort utilisé pour les lisses de 2,50 m, 3 m, fourni un couple de 4,5 m daN pour une torsion de  $100^\circ$ .
- L'étude est réalisée en négligeant les effets dynamiques.
- Les liaisons sont parfaites.
- $\overrightarrow{AG_\ell} \cdot \overrightarrow{y_{2\ell}} = \frac{L_\ell}{2}$  avec  $G_\ell$  le centre d'inertie de la lisse et  $\overrightarrow{y_{3\ell}}$  le vecteur unitaire porté par l'axe de la lisse.
- $(\overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{y_{3\ell}}) = (\overrightarrow{z_1}, \overrightarrow{z_{3\ell}}) = \alpha_{31}$  et  $(\overrightarrow{y_3}, \overrightarrow{y_{3\ell}}) = \theta_0 = -45^\circ$ .

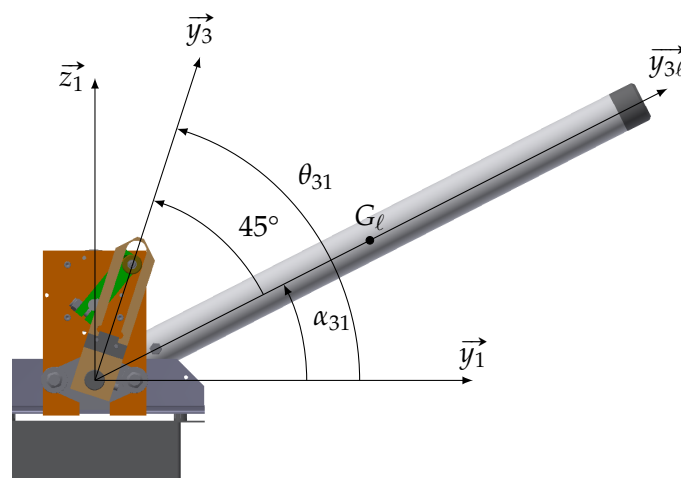


FIGURE 0.7 – Modèle d'étude du ressort

**Q9.** Préciser les torseurs d'action agissant sur l'ensemble -3 = {bielle, arbre, lisse} en A.

On note  $C_g = \overrightarrow{M_{A, P_\ell \rightarrow 3}} \cdot \overrightarrow{x_1}$  le moment du poids de la lisse en A en projection sur  $\overrightarrow{x_1}$ .

**Q10.** Donner  $C_g$ .

Sur la figure 0.10 sont tracés l'évolution de  $|C_g|$  pour deux longueurs de lisse  $L_\ell$  : 2,50 m et 3 m.

**Q11.** Écrire la condition que doit respecter le couple fourni par le ressort pour que la barrière se relève pour toutes les valeurs de  $\alpha_{31}$ .

Le fabricant a prévu deux possibilités de réglage de la tension initiale du ressort  $C_0$ . La première permet de compenser les lisses dont la longueur est de 2,50 m, les lisses de 3 m.

**Q12.** Déterminer la valeur minimale du couple de pré-réglage  $C_0$  pour la longueur de lisse  $L_\ell = 4$  m. Tracer la caractéristique du couple fourni par le ressort sur la figure 0.10.

On considère les différentes phases de fonctionnement de la barrière :

- maintien de la barrière fermée en position basse ;
- ouverture de la barrière ;
- maintien de la barrière ouverte ;
- descente de la barrière.

**Q13.** Le ressort étant correctement réglé et le moteur tournant à vitesse constante, préciser si le moteur doit fournir un couple, dans le sens du mouvement, en sens opposé, ou nul pour obtenir une loi de mouvement telle que celle décrite pour la montée sur la figure 0.9 pour les différentes phases.

### D. Cinétique

L'ensemble 3 est constitué de la lisse, de l'arbre de sortie et de la bielle est représenté sur la figure 0.8.

L'arbre et la bielle sont en acier, la lisse en aluminium.

La lisse est un tube creux de masse  $M_\ell$ , de longueur  $L_\ell = 4$  m, de diamètre  $D_\ell = 6$  cm et d'épaisseur  $e_\ell = 2$  mm.

On note  $D$  le point d'intersection entre l'axe de l'arbre ( $A, \vec{x}_1$ ) et l'axe de la lisse ( $D, \vec{y}_{3\ell}$ ). On considère que le point  $D$  est sur la base du cylindre.

On note  $G_\ell$  le centre d'inertie de la lisse.

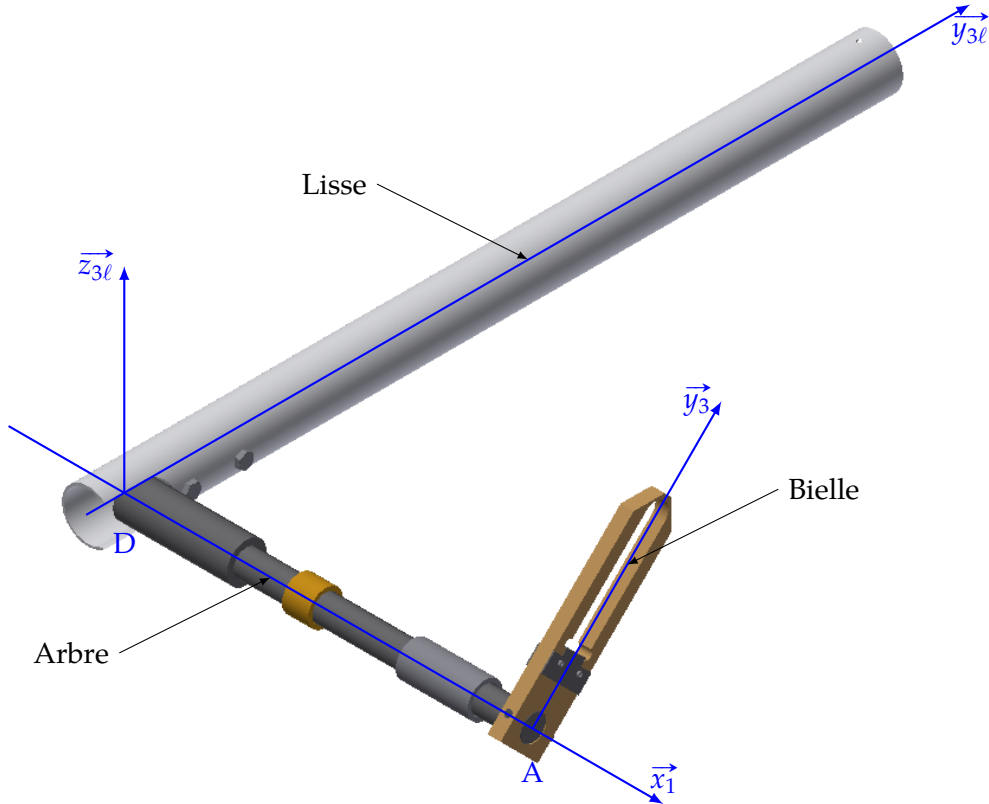


FIGURE 0.8 – Ensemble 3 {lisse, arbre de sortie, bielle}

On rappelle la matrice d'inertie d'un cylindre de masse  $M_{cyl}$ , de rayon  $R_{cyl}$  et de longueur  $L_{cyl}$  en son centre d'inertie  $G_{cyl}$  dans une base contenant l'axe de révolution ( $G_{cyl}, \vec{z}_c$ ) :

$$\overline{\overline{\mathcal{I}_{G_{cyl}}(Cyl)}} = \begin{pmatrix} A = M_{cyl} \cdot \left( \frac{R_{cyl}^2}{4} + \frac{L_{cyl}^2}{12} \right) & 0 & 0 \\ 0 & A & 0 \\ 0 & 0 & C = \frac{1}{2} \cdot M_{cyl} \cdot R_{cyl}^2 \end{pmatrix}_{\substack{A \\ (\vec{x}_c, \vec{y}_c, \vec{z}_c)}}$$

**Q14.** Déterminez la matrice d'inertie en  $D$  de la lisse dans la base de votre choix.

On modélise, pour simplifier, l'arbre de sortie, de masse  $M_a$ , par un cylindre de rayon  $R_a$  et de longueur  $L_a$  avec  $\overrightarrow{DA} = L_a \cdot \vec{x}_1$ .

**Q15.** Donner la matrice de l'ensemble {arbre, lisse} en  $D$ .

La matrice d'inertie de la bielle s'écrit  $\overline{\overline{\mathcal{I}_A(Bielle)}} = \begin{pmatrix} A_b & F_b & E_b \\ F_b & B_b & D_b \\ E_b & D_b & C_b \end{pmatrix}_A$ .

**Q16.** Dans quelle base est-il judicieux d'écrire cette matrice, quelle est alors sa forme ?

**Q17.** Déterminer  $J_3$  le moment d'inertie de l'ensemble 3 {bielle, arbre, lisse} autour de l'axe ( $A, \vec{x}_1$ ).

### E. Energétique

On note :

- $J_2$  le moment d'inertie de la manivelle autour de l'axe  $(B, \vec{x}_1)$ ;
- $J_r$  le moment d'inertie du réducteur ramené du côté moteur;
- $J_m$  le moment d'inertie de l'arbre moteur.

On note  $\Sigma$  l'ensemble des solides en mouvement du mécanisme.

**Q18.** Déterminer  $Ec_{\Sigma/R_g}$  l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble  $\Sigma$  dans son mouvement par rapport au référentiel galiléen en fonction de  $\omega_{31}$  et  $\omega_m$  et des différentes données dimensionnelles et cinétiques.

On se place entre les positions  $\Theta_1$  et  $\Theta_2$  définies par la figure 0.5, on a alors  $\frac{\omega_{31}}{\omega_{21}} = r_0$ .

**Q19.** Montrer que l'énergie cinétique peut s'écrire  $Ec_{\Sigma/R_g} = \frac{1}{2} \cdot J_{eq} \cdot \omega_m$ . Déterminer le moment d'inertie équivalent  $J_{eq}$ .

On se place maintenant entre la position  $\alpha_{31} = 0^\circ$  et  $\Theta_1$ .

**Q20.** Écrire l'énergie cinétique en fonction de  $\omega_m$ .

**Q21.** Déterminer la puissance des efforts extérieurs appliqués à l'ensemble  $\Sigma$ .

**Q22.** Déterminer l'équation différentielle donnant le couple moteur pour les phases de mouvement décrite ci-dessous :

- démarrage en montée de la lisse;
- déplacement à vitesse constante de la lisse en montée;
- arrivée en position haute;
- démarrage en descente de la lisse;
- déplacement à vitesse constante de la lisse en descente;
- arrivée en position basse.

F. Doc réponse

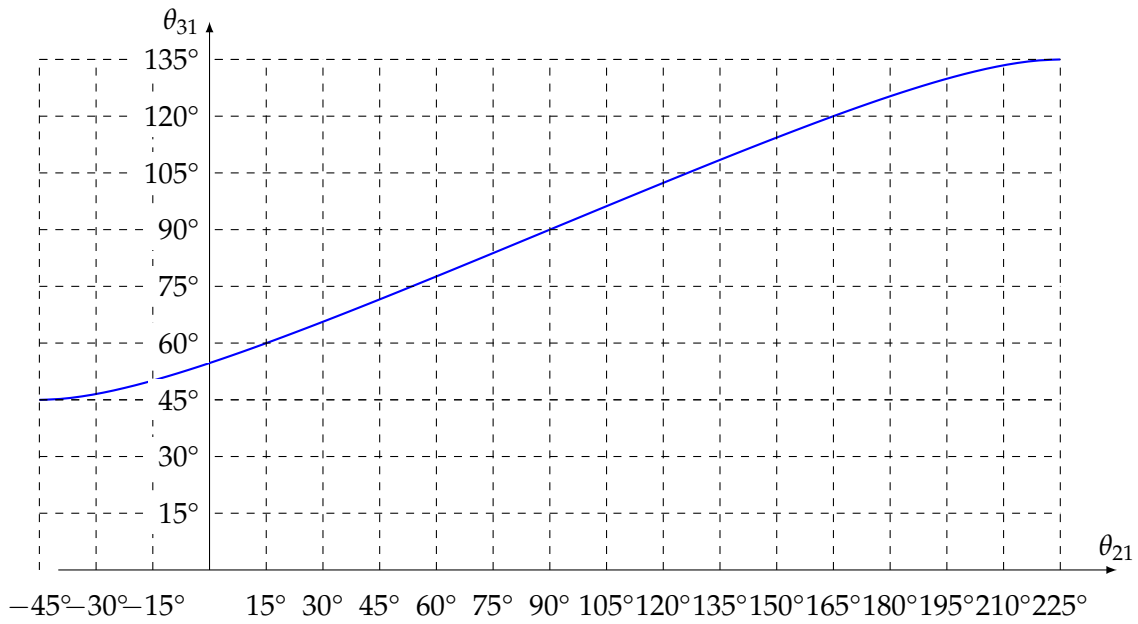


FIGURE 0.9 – Loi d'entrée / sortie

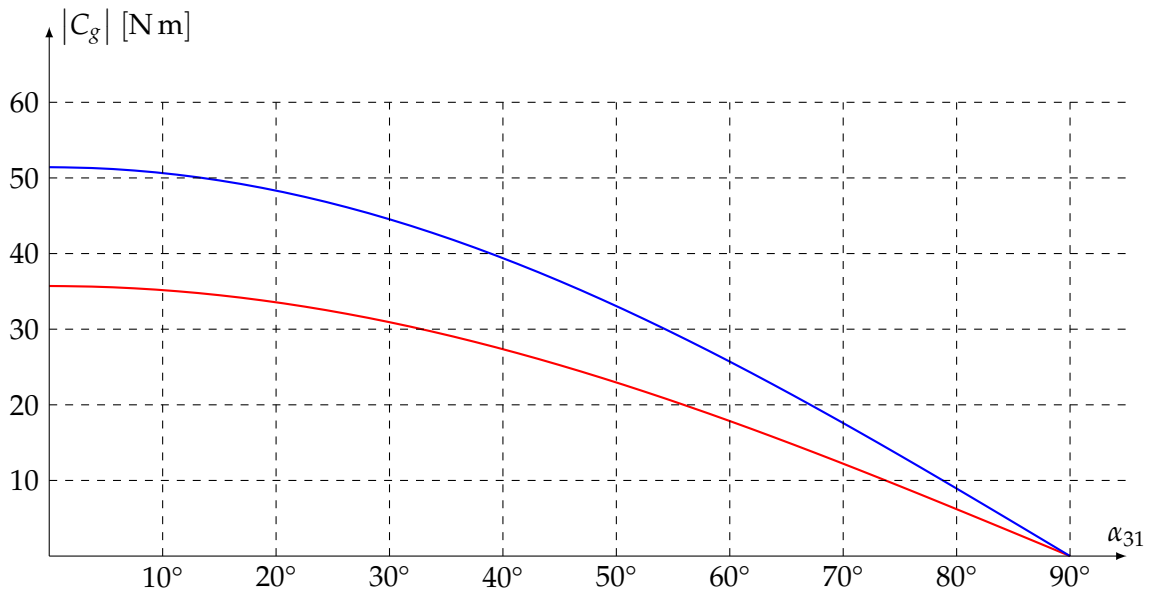


FIGURE 0.10 – Évolution de  $|C_g|$  pour les longueurs de lisses  $L_\ell$  de 2,5 m et 3 m



**A Faire n 1**