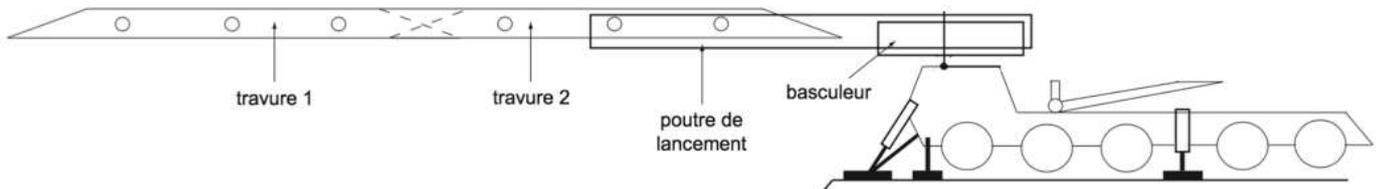


EXERCICE 1 : Mécanisme en chaîne ouverte : *Contrôle d'un châssis basculeur*

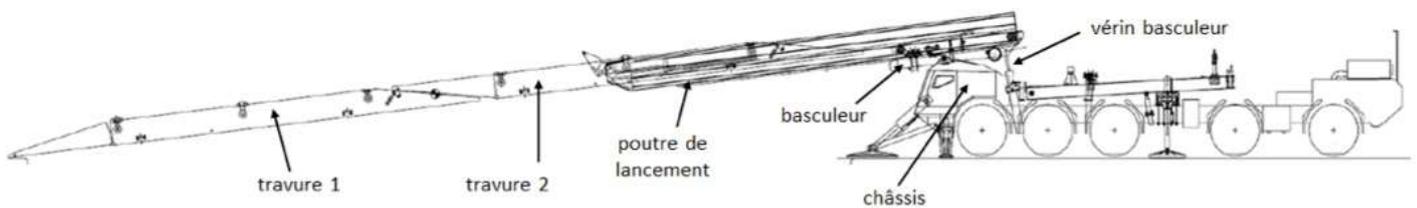


Le Système de Pose Rapide de Travures (SPRAT) est un improbable véhicule assurant la dépose rapide d'un pont permettant de franchir une brèche ou rivière de 25 m de large en moins de 10 min.

Avant dépose, 2 travures (constituant le pont) sont déployées et assemblées sur une poutre de lancement.

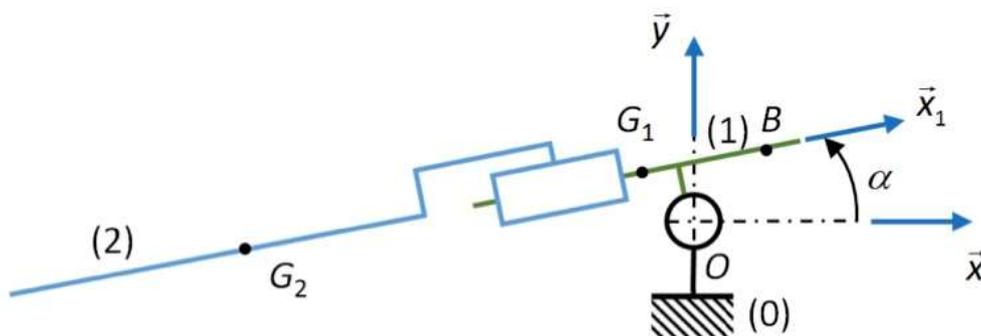


La dépose est réalisée par rotation du basculeur par rapport au châssis.



Le modèle est le suivant :

- **châssis (0)**, repère lié $(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, supposé Galiléen,
- **basculeur (1)** en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}) par rapport à (0), de masse $M_1=7,5$ tonnes, de centre de masse G_1 tel que $\overline{OG_1} = -a\vec{x}_1 + b\vec{y}_1$ avec $a=0,3$ m et $b=0,2$ m.
- **ensemble (2) : poutre de lancement + pont (travures)** en liaison glissière de direction \vec{x}_1 par rapport à (1), de masse $M_2=18,8$ tonnes, de centre de masse G_2 tel que $\overline{OG_2} = -x\vec{x}_1 + b\vec{y}_1$.



Pendant la phase de dépose ($0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$) :

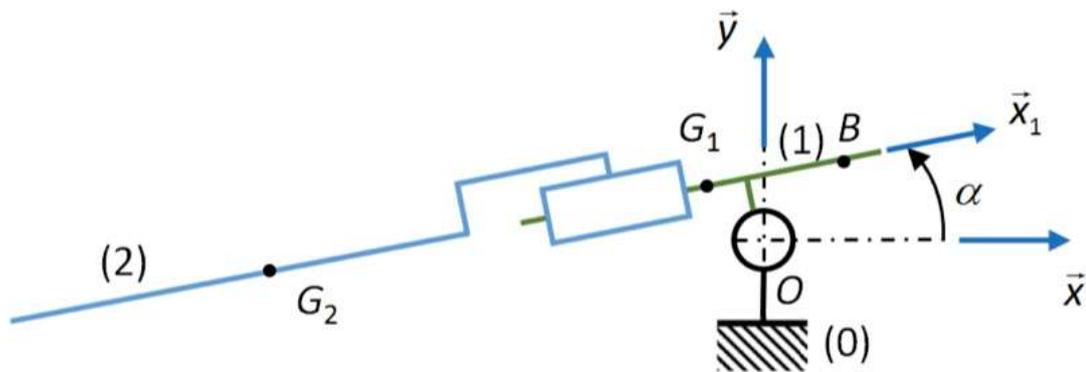
- le basculeur (1) s'incline à la vitesse de rotation $\dot{\alpha} = \text{cte}$ par rapport au châssis (0). Ce mouvement de rotation est contrôlé par le **vérin basculeur délivrant une force** $\vec{R}_{0 \rightarrow 1} = F_1 \vec{y}_1$ passant par B, avec $\vec{OB} \cdot \vec{x}_1 = c = 2 \text{ m}$.
- un **vérin lanceur** contrôlant quant à lui le mouvement relatif entre (2) et (1) doit maintenir l'équilibre entre (2) et (1). Pour ce faire, il délivre une force $\vec{R}_{1 \rightarrow 2} = F_2 \vec{x}_1$ passant par G_1 . x est alors constant et vaut 8 m.

Lors de cette phase de dépose, on suppose que les mouvements relatifs des solides les uns par rapport aux autres se font à vitesse constante et suffisamment lente pour négliger les effets dynamiques. Cela signifie, que pour la détermination de actions mécaniques, on peut supposer que les mouvements sont assimilables à une succession de position d'équilibre.

Question 1 : Réaliser le graphe d'analyse de ce système.

Question 2 : Choisir l'isolement qui permettra, par application du principe fondamental de la statique, de déterminer l'expression de F_2 permettant de maintenir l'ensemble (2) en équilibre statique par rapport au basculeur (1). Faire l'inventaire, sous forme de torseurs, des actions mécaniques extérieures à cet isolement

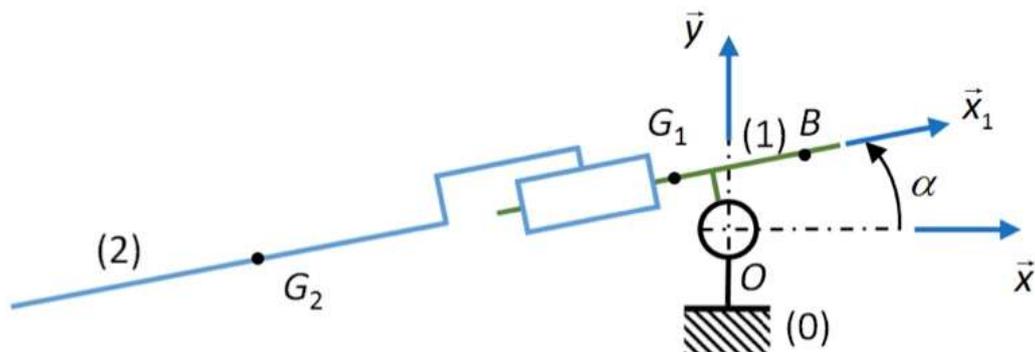
Question 3 : Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



Question 4 : Déterminer l'expression de F_2 permettant de maintenir l'ensemble (2) en équilibre statique par rapport au basculeur (1). En déduire les valeurs maximale et minimale de F_2 lors d'une phase de dépose.

Question 5 : Choisir l'isolement qui permettra, par application du principe fondamental de la statique, de déterminer l'expression de F_1 permettant d'assurer la phase de dépose. Faire l'inventaire, sous forme de torseurs, des actions mécaniques extérieures à cet isolement.

Question 6 : Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



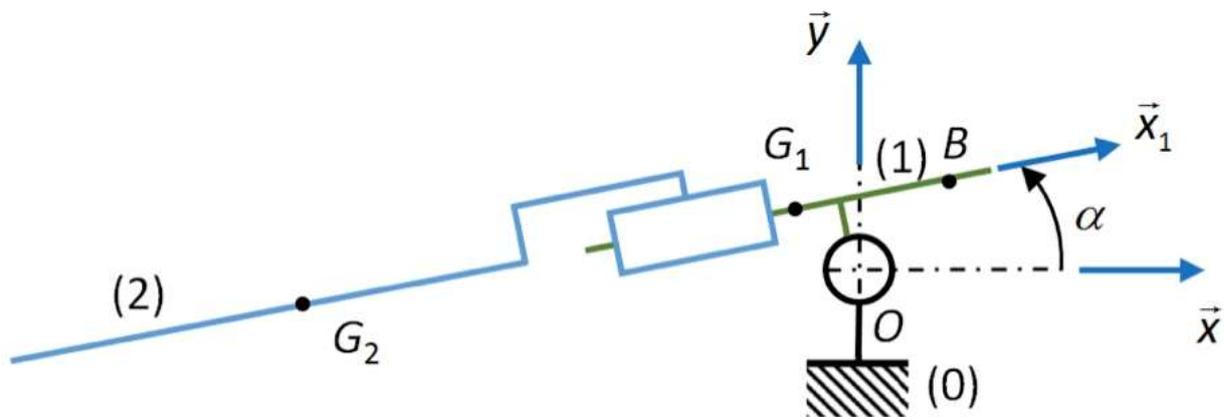
Question 7 : Déterminer l'expression de F_1 permettant d'assurer la phase de dépose. En déduire les valeurs maximale et minimale de F_1 lors de cette phase.

On remplace l'actionneur « vérin basculeur » par un **motoréducteur délivrant un couple $C_m \vec{z}$** de (0) sur (1).

Question 8 : Réaliser le nouveau graphe d'analyse de ce système.

Question 9 : Choisir l'isolement qui permettra, par application du principe fondamental de la statique, de déterminer l'expression de C_m permettant d'assurer la phase de dépose. Faire l'inventaire, sous forme de torseurs, des actions mécaniques extérieures à cet isolement.

Question 10 : Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.

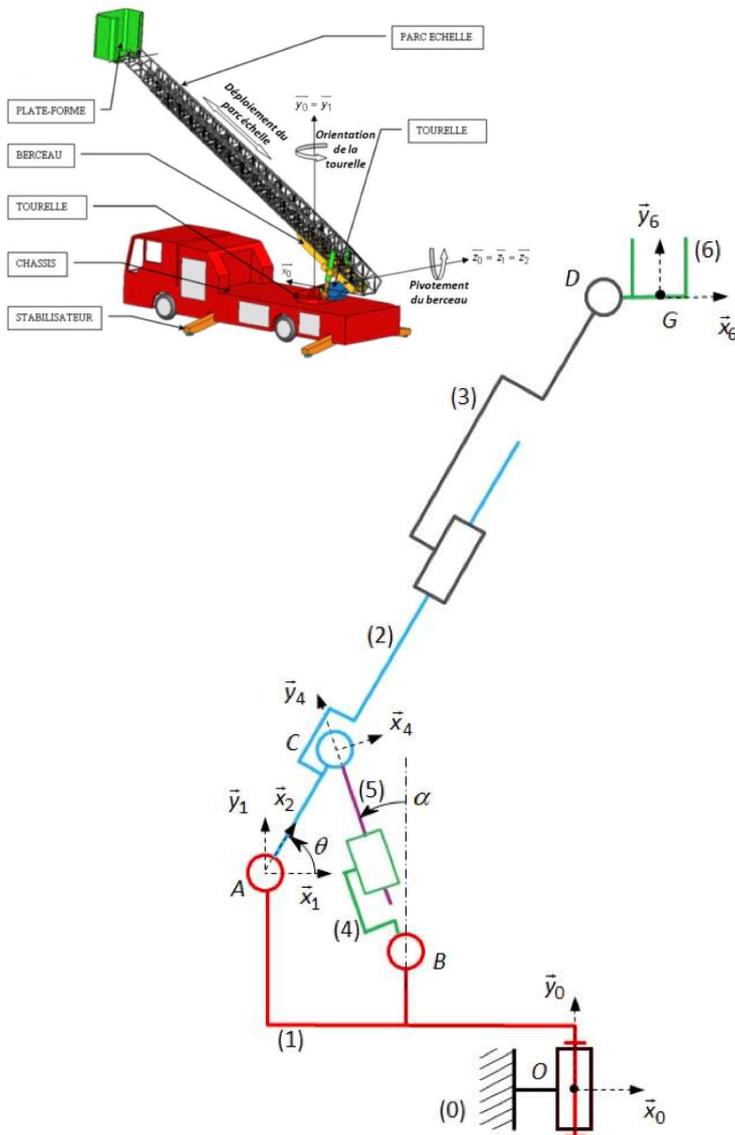


Question 11 : Déterminer l'expression de C_m permettant d'assurer la phase de dépose. En déduire les valeurs maximale et minimale de C_m lors de cette phase

EXERCICE 2 : Mécanisme en chaîne ouverte : Echelle EPAS



On s'intéresse à une Echelle Pivotante Automatique à commande Séquentielle (EPAS).
Ce système, conçu et commercialisé par la société CAMIVA, est monté sur le châssis d'un camion de pompiers et permet de déplacer une plate-forme pouvant recevoir deux personnes et un brancard (**charge maxi 270 kg**) le plus rapidement possible et en toute sécurité.



Le système est représenté sous forme de schéma cinématique ci-contre.

Ce système est constitué de six solides, listés ci-dessous avec leur repère lié :

- châssis (0), $R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$;
- tourelle (1), $R_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$;
- berceau (2), $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$;
- parc échelle (3), $R_3(A, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$;
- corps du vérin de dressage (4), $R_4(B, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$;
- tige du vérin de dressage (5), $R_5(B, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$;
- plate-forme (6), $R_6(G, \vec{x}_6, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$.

$$\overline{AC} = c \vec{x}_2 \text{ avec } c=2 \text{ m}$$

$$\overline{CD} = d \vec{x}_2$$

$$\overline{DG} = e \vec{x}_6 \text{ avec } e=1 \text{ m}$$

Quels que soient les mouvements, le système impose à la plate-forme (6) de rester horizontale.

Hypothèse : On néglige le poids des différents éléments autres que la plate-forme afin de n'étudier que le seul effet du poids de celle-ci sur les actions mécaniques mises en jeu.

Le système comprend 4 actionneurs :

- Un motoréducteur **M1** délivrant un couple $C_{01} \cdot \vec{y}_0$ de (0) sur (1),
- Un vérin de dressage **V** (4+5) délivrant une force $F_{12} \cdot \vec{y}_4$ passant par C de (1) sur (2),
- Un motoréducteur linéaire **M2** délivrant une force $F_{23} \cdot \vec{x}_2$ passant par D de (2) sur (3),
- Un motoréducteur **M3** délivrant un couple $C_{36} \cdot \vec{z}_1$ de (3) sur (6).

Question 1 : Représenter sur le schéma cinématique les actions mécaniques du vérin, des motoréducteurs et de la pesanteur.

Question 2 : Réaliser le graphe d'analyse de ce système.

Dans notre étude, on cherche à déterminer, entre autres, l'effort que doit fournir le vérin de dressage.

On le fera donc apparaître uniquement sous la forme d'une action mécanique et non pas comme un ensemble de solides (4+5).

On se place dans la position $\theta = \alpha = 45^\circ$ et le parc échelle est déployé au maximum : $d = 15$ m.

Question 3 : Déterminer le couple C_{36} que doit fournir le motoréducteur M3 afin de maintenir la plate-forme à l'équilibre par rapport au parc échelle.

Question 4 : Déterminer l'effort F_{23} que doit fournir le motoréducteur M2 afin de maintenir le parc échelle à l'équilibre par rapport au berceau.

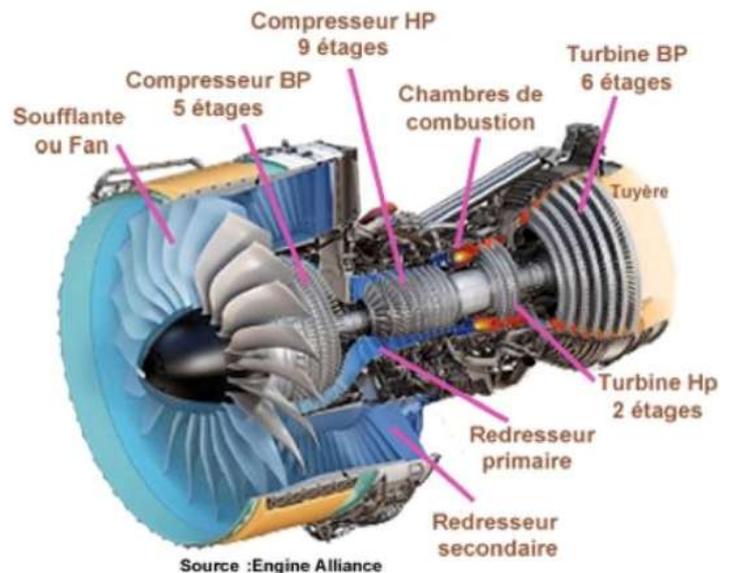
Question 5 : Déterminer l'effort F_{12} que doit fournir le vérin V afin de maintenir le berceau à l'équilibre par rapport à la tourelle.

EXERCICE 3 : Mécanisme en chaîne fermée : **Turboréacteur avec tuyère à ouverture variable**

Toutes les architectures de turboréacteurs reposent sur les 3 mêmes étapes, à savoir :

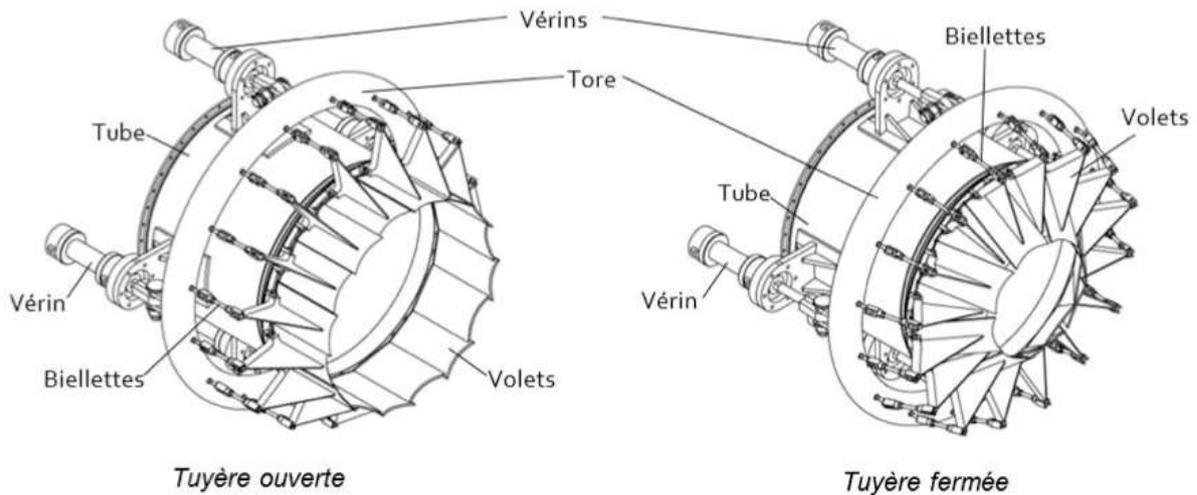
- 1/ **Compression** dans la soufflante + compresseurs basse pression + compresseurs haute pression)
- 2/ **Combustion** dans les chambres de combustion
- 3/ **Détente** dans les turbines + tuyère

(voir vidéos de fonctionnement des turboréacteurs sur le site internet).

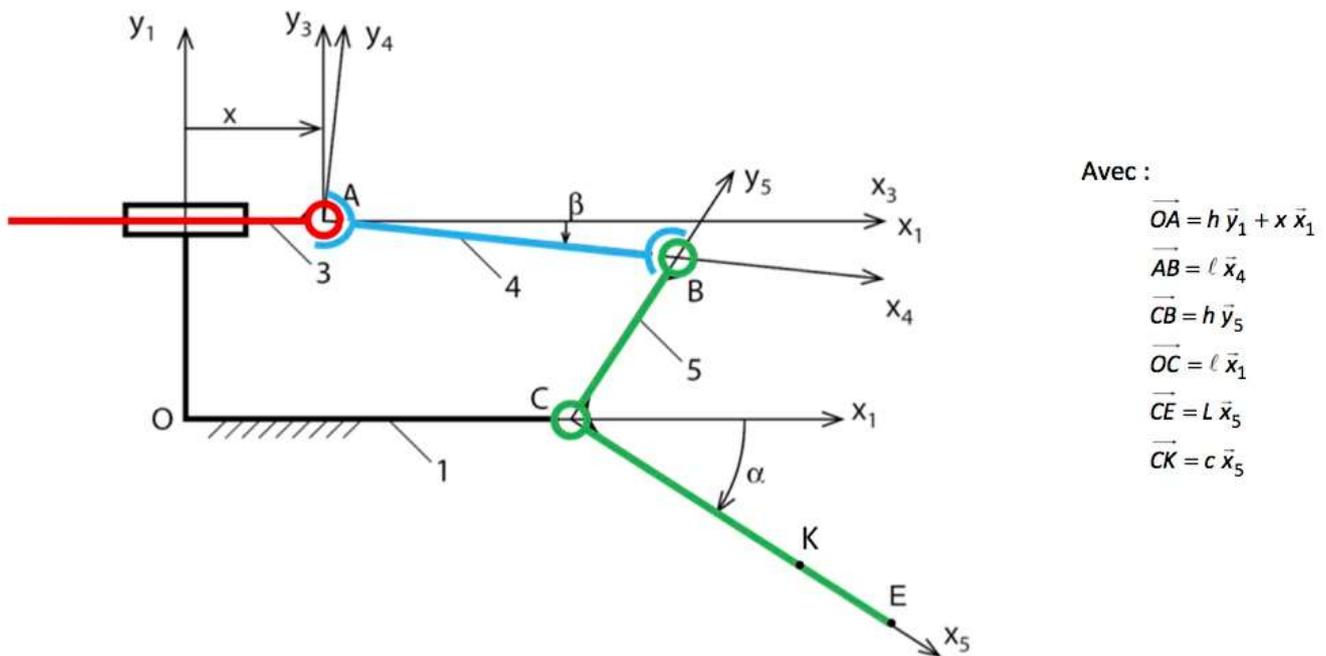


La tuyère à ouverture variable montée en sortie du turboréacteur, en aval de l'écoulement, a pour fonction de faire varier la section de la veine de fluide en sortie.

Cette tuyère à section variable est constituée de seize volets 5 articulés sur la périphérie du tube 1 qui permettent ainsi de réduire la section de passage du fluide. Ces volets 5 sont mis en mouvement par seize biellettes 4 toutes identiques reliées à un tore mis en translation à l'aide de quatre vérins hydrauliques répartis régulièrement autour du tube.



Le schéma cinématique ci-dessous modélise le transmetteur qui transforme le déplacement linéaire $x(t)$ de la tige 3 d'un vérin hydraulique en déplacement angulaire $\alpha(t)$ d'un volet 5 :



Avec :

$$\begin{aligned} \vec{OA} &= h \vec{y}_1 + x \vec{x}_1 \\ \vec{AB} &= l \vec{x}_4 \\ \vec{CB} &= h \vec{y}_5 \\ \vec{OC} &= l \vec{x}_1 \\ \vec{CE} &= L \vec{x}_5 \\ \vec{CK} &= c \vec{x}_5 \end{aligned}$$

Modèle cinématique limité à un vérin et un ensemble bielle-volet

On néglige l'action de pesanteur devant les autres actions mécaniques mises en jeu.

Les liaisons sont supposées parfaites.

L'action de l'air sur un volet 5 est modélisée par $\{T_{air \rightarrow 5}\} = \forall P \in (K, \vec{y}_5) \begin{Bmatrix} F_a \vec{y}_5 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$.

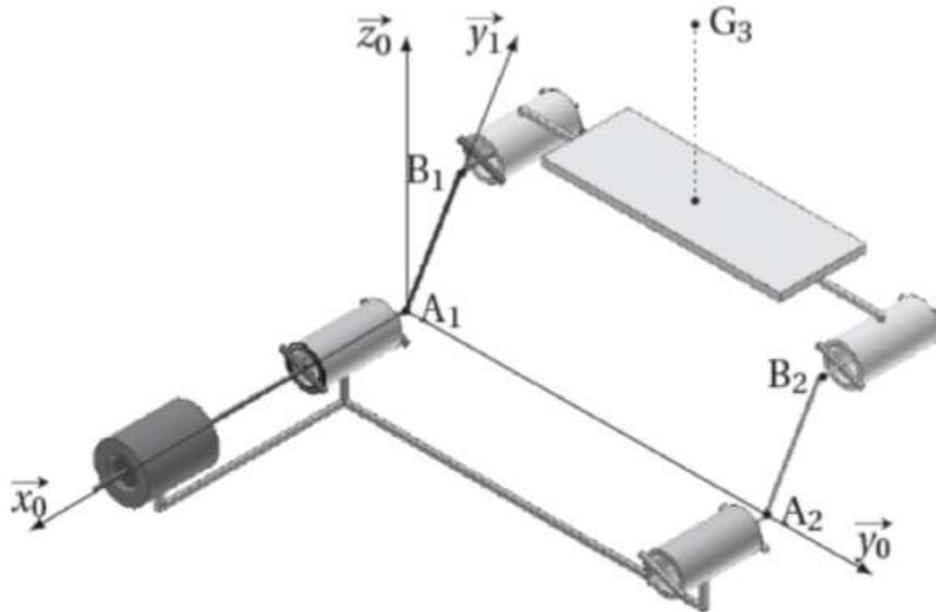
L'action de la pression d'huile sur la tige du vérin 3 est modélisée par $\{T_{1 \xrightarrow{fluide} 3}\} = \forall P \in (A, \vec{x}_3) \begin{Bmatrix} pS \vec{x}_3 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$.

p étant la pression du fluide et S la section de la tige du vérin.

Question 1 : Déterminer la pression p à imposer dans le vérin pour maintenir le système à l'équilibre.

EXERCICE 4 : Marche motorisée

On s'intéresse au mécanisme modélisé sur la figure ci-dessous. Ce dispositif motorisé est utilisé pour permettre à des personnes handicapées de franchir une marche.



Données et hypothèses :

- Les barres A_1B_1 et A_2B_2 sont de même longueur et de masse négligeable. La barre A_1B_1 est liée à l'arbre d'un moteur qui délivre un couple noté C_m .
- On note M_3 la masse totale de l'ensemble transporté 3 = plateau + utilisateur.
- On donne $\overline{A_1B_1} = \overline{A_2B_2} = a \cdot \overline{y_1}$, $\overline{A_1A_2} = \overline{B_1B_2} = l \cdot \overline{y_0}$ et $\overline{B_1G_3} = -d \cdot \overline{x_0} + \frac{1}{2} \cdot \overline{y_0} + h \cdot \overline{z_0}$.
- On note $\theta = (\overline{y_0}, \overline{y_1})$. Pendant la phase d'utilisation θ varie de 0° à 90° .
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites.
- Une modélisation plane peut être adoptée.

Q1. Quelle est la nature du mouvement 3/0 ?

Q2. Déterminer l'expression du couple C_m permettant de maintenir le solide 3 à l'équilibre.

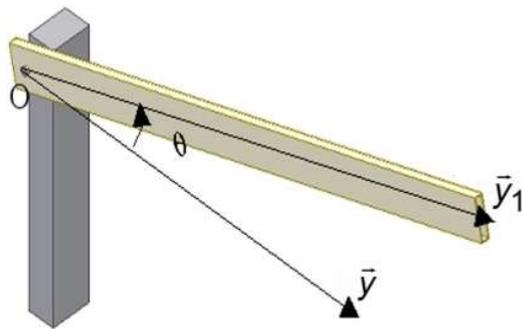
EXERCICE 5 : Système d'accès

On souhaite comparer les efforts que doivent fournir deux systèmes motorisés permettant de filtrer l'accès à un parking pour véhicules.

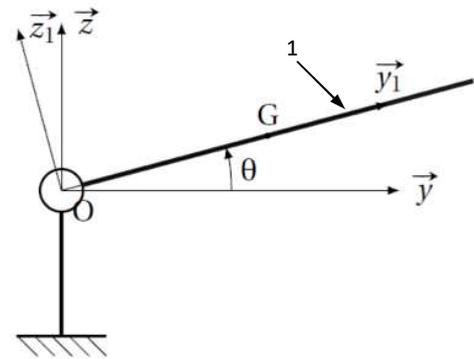
Dans un premier temps, on s'intéresse à une configuration telle que le système est équipé d'une barrière unique (type A) et dans un deuxième temps on s'intéresse à une configuration présentant deux « demi-barrières » (type B).

Configuration type A :

La figure ci-dessous en montre sa maquette numérique ainsi que le modèle cinématique retenu pour l'étude :



Maquette numérique



Modèle cinématique

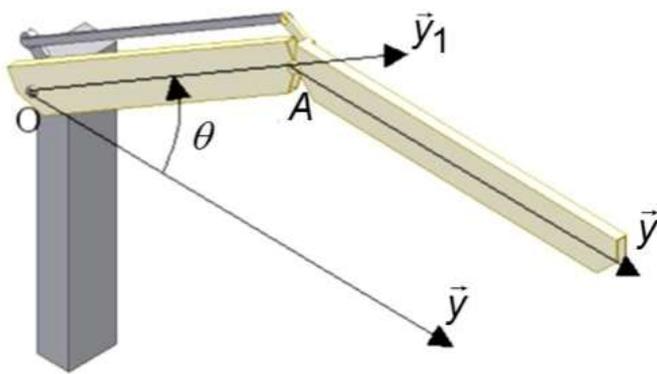
Cette barrière de type A est un profilé en aluminium de longueur $L_A = 2L$ et de masse $M_A = 2M$.

Son centre de gravité est à mi-longueur.

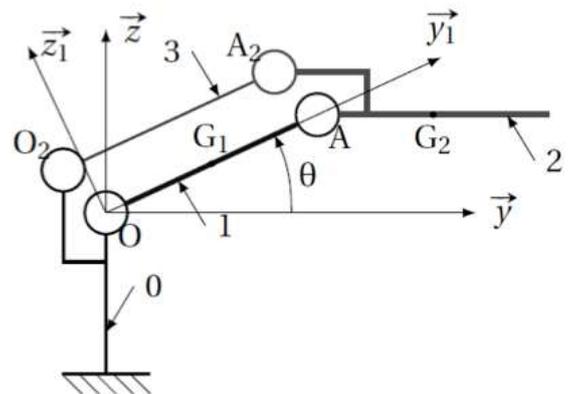
On note C_A le couple moteur agissant en O.

Configuration type B :

La figure ci-dessous en montre sa maquette numérique ainsi que le modèle cinématique retenu pour l'étude :



Maquette numérique



Modèle cinématique

Cette barrière de type B est composée de deux demi-barrières 1 et 2 de longueur $L_B = L$ et de masse $M_B = M$.

Le centre de gravité de chaque demi-barrière est à mi longueur.

La tige de rappel 3 est de masse négligeable.

La demi-barrière 2 est toujours parallèle au sol en raison de la structure en parallélogramme déformable du mécanisme. On note C_B le couple moteur agissant en O.

On note g l'accélération de la pesanteur telle que $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

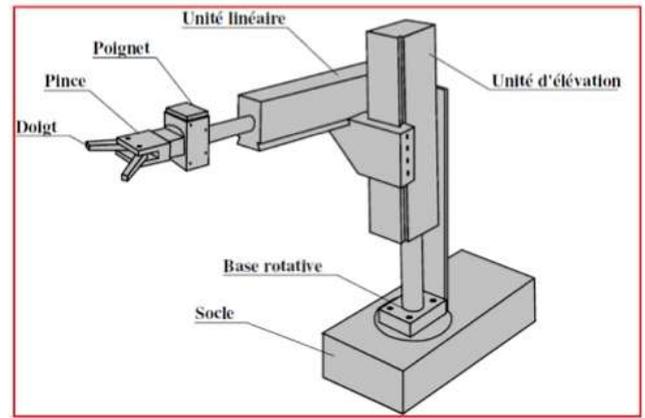
Comparer C_A et C_B garantissant l'équilibre du système dans les deux configurations en traçant leur évolution en fonction de θ . On prendra $L = 2\text{m}$ et $M = 5\text{kg}$ pour la représentation graphique.

EXERCICE 6 : Pince pneumatique

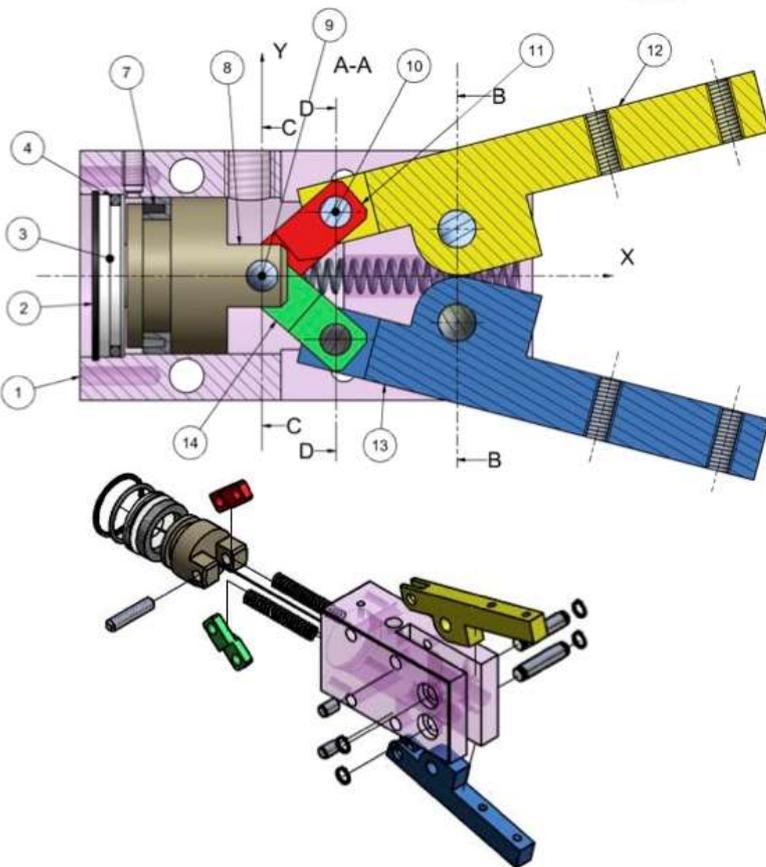
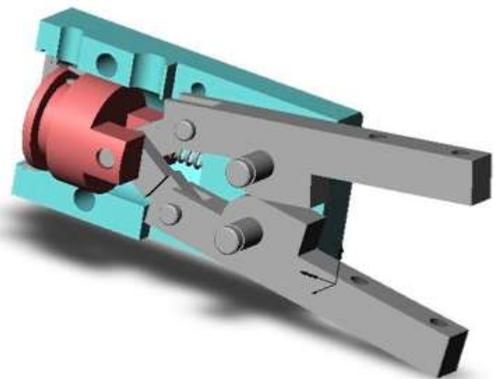
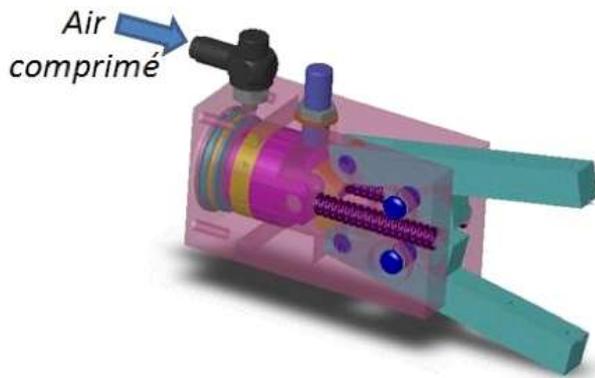
Située à l'extrémité d'un robot manipulateur 4 axes, la pince pneumatique étudiée permet la préhension d'objets.

Sous l'action de l'air comprimé en provenance du distributeur pneumatique (préactionneur), le piston 8 se déplace et fait pivoter les doigts 12 et 13 par l'intermédiaire des biellettes 11 et 14 afin de serrer une pièce.

La mise à l'échappement du volume d'air coincé entre le piston 8 et le corps 1 permet à la pince de s'ouvrir grâce aux deux ressorts 15, comprimés lors de la phase de serrage, installés en parallèle entre le corps 1 et le piston 8.

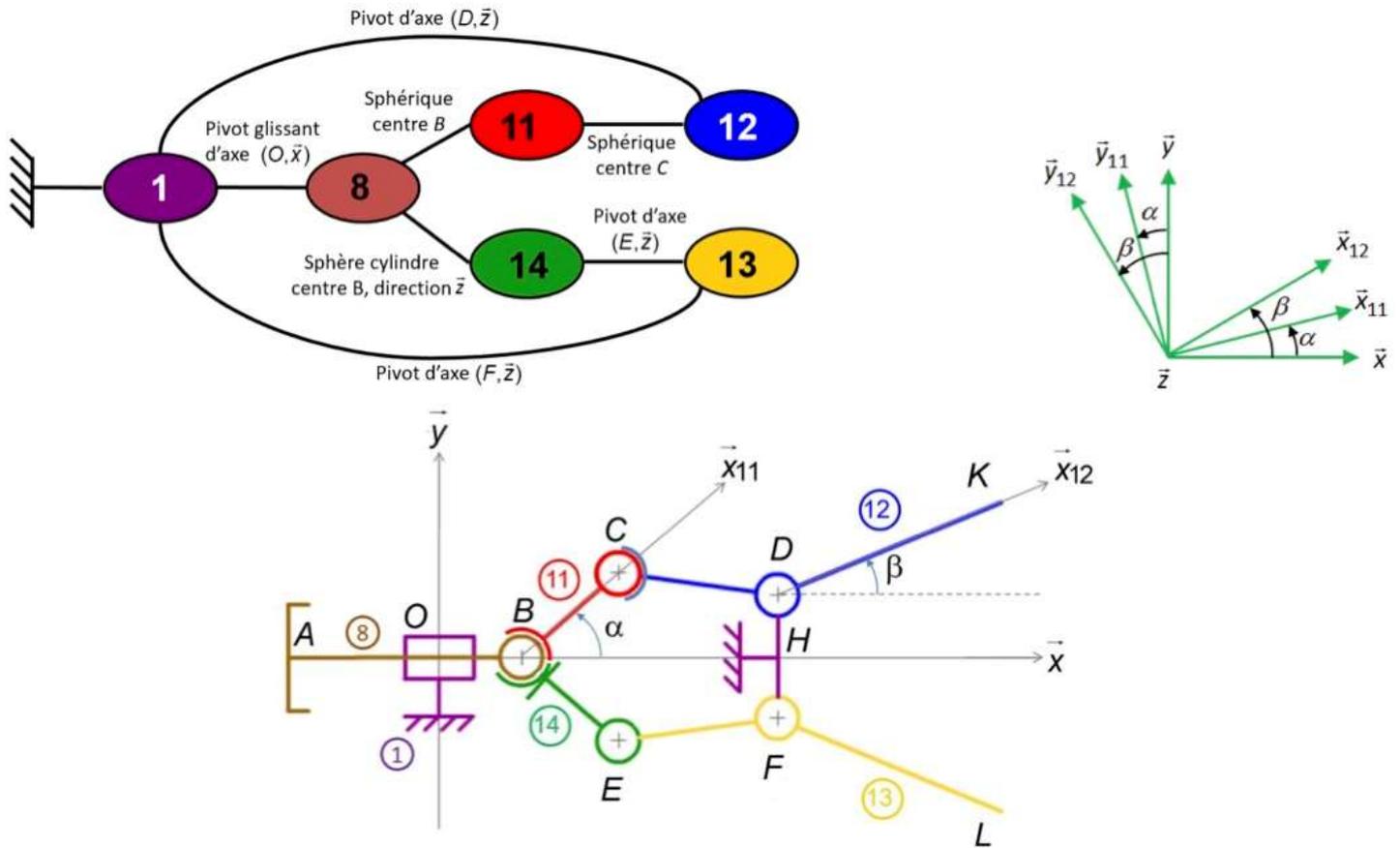


La représentation technique 2D de la pince est donnée ci-dessous :



15	2	ressort	
14	1	biellette inférieure	
13	1	doigt inférieur	
12	1	doigt supérieur	
11	1	biellette supérieure	
10	2	axe biellette	
9	1	axe piston	
8	1	piston	
7	1	joint piston	
6	2	axe doigt	
5	4	anneau élastique	
4	1	join torique	
3	1	bouchon	
2	1	anneau	
1	1	corps	
Rep	Nb	Désignation	Description
Nomenclature			

Le graphe des liaisons et le schéma cinématique de la pince sont donnés ci-dessous :



Constituants et paramétrage :

- corps 1, repère lié $R_1 = (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, considéré comme fixe ;
 - piston 8 (diamètre de la surface utile $\phi = 25\text{mm}$) tel que $\overline{BH} = \lambda \vec{x}$;
 - bielle supérieure 11, repère lié $R_{11} = (B, \vec{x}_{11}, \vec{y}_{11}, \vec{z})$ tel que $\alpha = (\vec{x}, \vec{x}_{11})$ et $\overline{BC} = a \vec{x}_{11}$ ($a = 16\text{mm}$) ;
 - doigt supérieur 12, repère lié $R_{12} = (D, \vec{x}_{12}, \vec{y}_{12}, \vec{z})$ tel que $\beta = (\vec{x}, \vec{x}_{12})$.
- On note $\overline{DC} = -b \vec{x}_{12} + c \vec{y}_{12}$ ($b = 25\text{mm}$ et $c = 10\text{mm}$) et $\overline{DK} = d \vec{x}_{12}$ (avec $d = 60\text{mm}$).

Hypothèses et données :

- la pression d'alimentation lors de la phase de serrage est $p = 6\text{bar}$;
- les deux ressorts 15 installés en parallèle peuvent être modélisés par un seul ressort de raideur équivalente $k = 10\text{N/mm}$ et de variation de longueur $\Delta L = \lambda - \ell_0$ avec $\ell_0 = 41\text{mm}$;
- l'action de serrage de l'objet est modélisée par : $\{T_{\text{objet} \rightarrow 12}\} = \forall P \in (K, \vec{y}) \begin{Bmatrix} F \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$ et $\{T_{\text{objet} \rightarrow 13}\} = \forall P \in (L, \vec{y}) \begin{Bmatrix} -F \vec{y} \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$
- l'action de la pesanteur sur les différentes pièces négligée devant les autres actions mécaniques mises en jeu ;
- le problème est considéré comme plan (O, \vec{x}, \vec{y}) ;
- les liaisons supposées comme parfaites.

Extrait du cahier des charges :

Exigence	Critère	Niveau	Flexibilité
La pince doit être capable de maintenir un objet sans l'écraser	Effort de serrage	70 N	$\pm 10\%$

Vérifier l'exigence du cahier des charges dans la position d'équilibre de la pince en train de serrer un objet ($\alpha = 48^\circ$, $\beta = 10^\circ$ et $\lambda = 35\text{mm}$). Compte tenu de la symétrie de la pince, on pourra faire l'étude pour la partie supérieure uniquement.

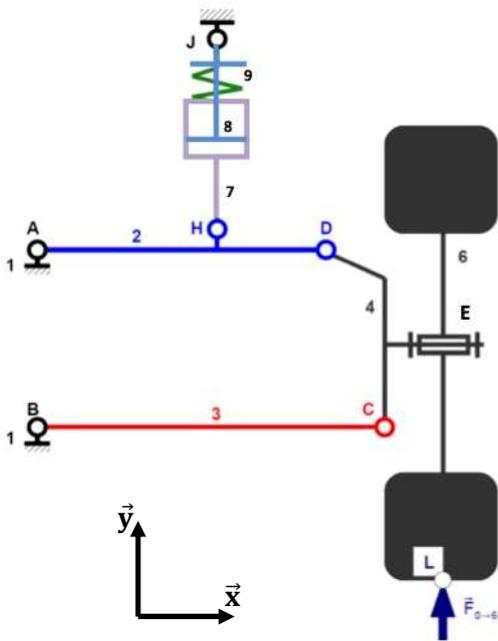
EXERCICE 7 : Suspension automobile

On s'intéresse à une suspension automobile dont on donne ci-contre un extrait du diagramme des exigences :

L'affaissement statique correspond à la variation de longueur des ressorts d'amortisseurs lors de leur écrasement sous le poids propre du (magnifique) véhicule.

La figure ci-dessous représente le schéma cinématique de la suspension du véhicule en vue de face lorsque celui-ci est en équilibre sans passager ni chargement :

- 1 est le châssis du véhicule,
- 9 est le ressort,
- 6 est la roue,
- 0 est le sol.



Paramétrage :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{BA} &= a\vec{y} \\ \overrightarrow{BC} &= b\vec{x} \\ \overrightarrow{AD} &= d\vec{x} \\ \overrightarrow{AH} &= L\vec{x} + h\vec{y} \\ \overrightarrow{DC} &= c\vec{x} - a\vec{y} \\ \overrightarrow{CL} &= e\vec{x} - \mu\vec{y} \end{aligned}$$

Hypothèses :

- Le problème est plan,
- L'action de la pesanteur est négligée sauf sur le châssis du véhicule,
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites.

Données :

- Le ressort 9 est comprimé et a pour raideur $k = 100\,000 \text{ N.m}^{-1}$ et variation de longueur Δl ,
- L'action du sol 0 sur la roue 6 est modélisée au point L par un glisseur dont la résultante est $\overrightarrow{F_{0 \rightarrow 6}} = F_{\text{sol}} \cdot \vec{y}$ avec F_{sol} égal au quart du poids du véhicule ($m = 2200 \text{ kg}$) qui est considéré comme également réparti sur les quatre roues,
- $a = 16 \text{ cm}$, $b = 33 \text{ cm}$, $c = 8 \text{ cm}$, $d = 25 \text{ cm}$, $h = 3 \text{ cm}$, $L = 15 \text{ cm}$, $e = 9 \text{ cm}$ et $\mu = 18 \text{ cm}$.

Vérifier le critère de l'exigence 1.4.

