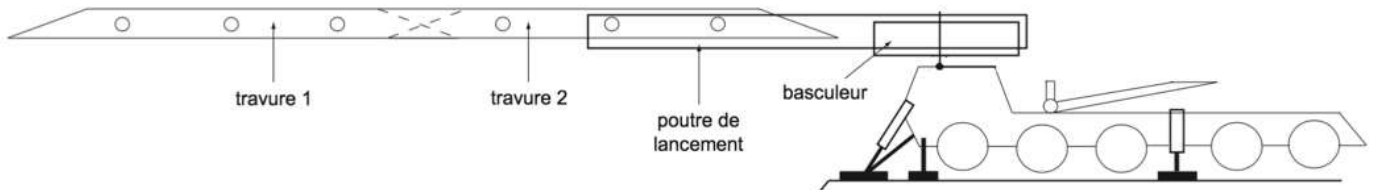


## EXERCICE 1 : Mécanisme en chaîne ouverte : *Contrôle d'un châssis basculeur*

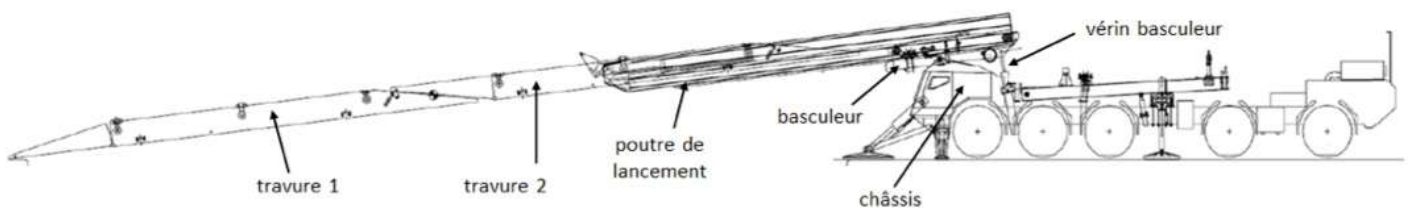


Le Système de Pose Rapide de Travures (SPRAT) est un improbable véhicule assurant la dépose rapide d'un pont permettant de franchir une brèche ou rivière de 25 m de large en moins de 10 min.

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

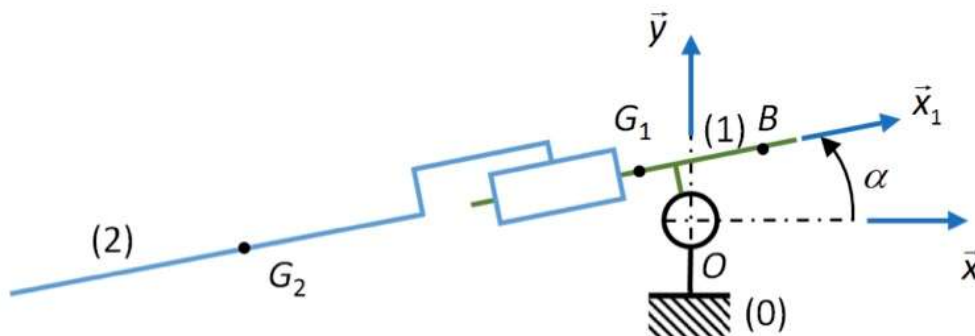


La dépose est réalisée par rotation du basculeur par rapport au châssis.



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 ( $0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ ) :**

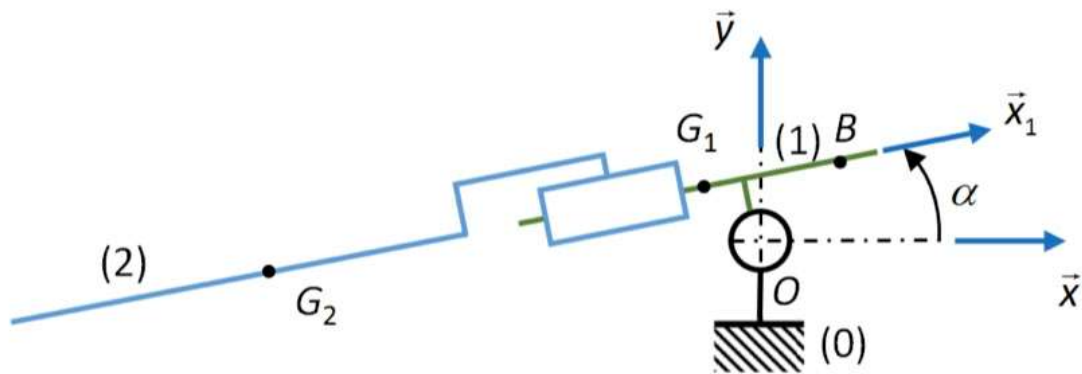
- le basculeur (1) s'incline à la vitesse de rotation  $\dot{\alpha} = \text{cte}$  par rapport au châssis (0). Ce mouvement de rotation est contrôlé par le **vérin basculeur délivrant une force**  $\vec{R}_{0 \rightarrow 1} = F_1 \vec{y}_1$  passant par B, avec  $\vec{OB} \cdot \vec{x}_1 = c = 2 \text{ m}$ .
- 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

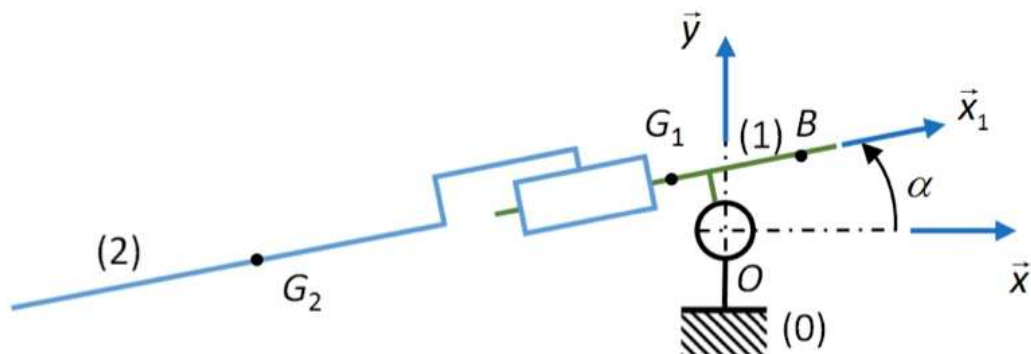
**Question 3 :** Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



**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.



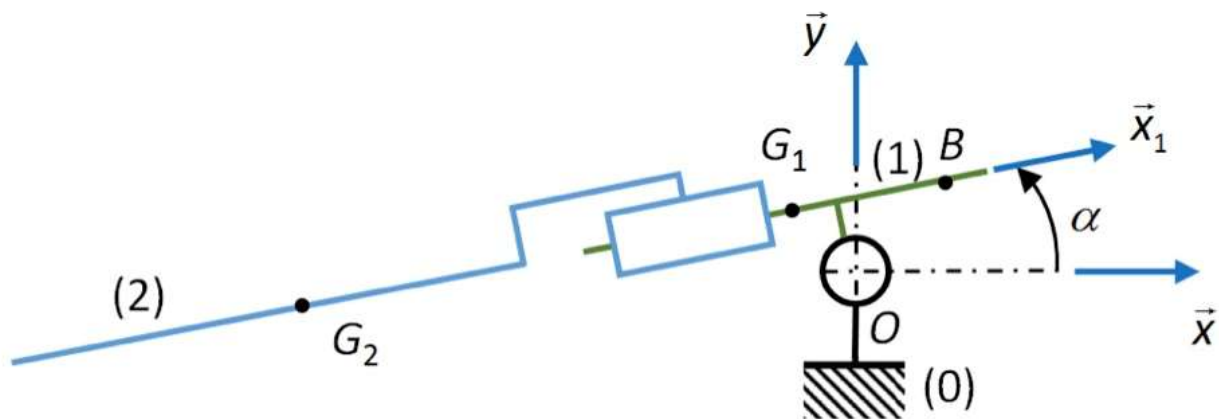
**Question 7 :** Déterminer l'expression de  $F_1$  permettant d'assurer la phase de dépose. En déduire les valeurs maximale et minimale de  $F_1$  lors de cette phase.

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.

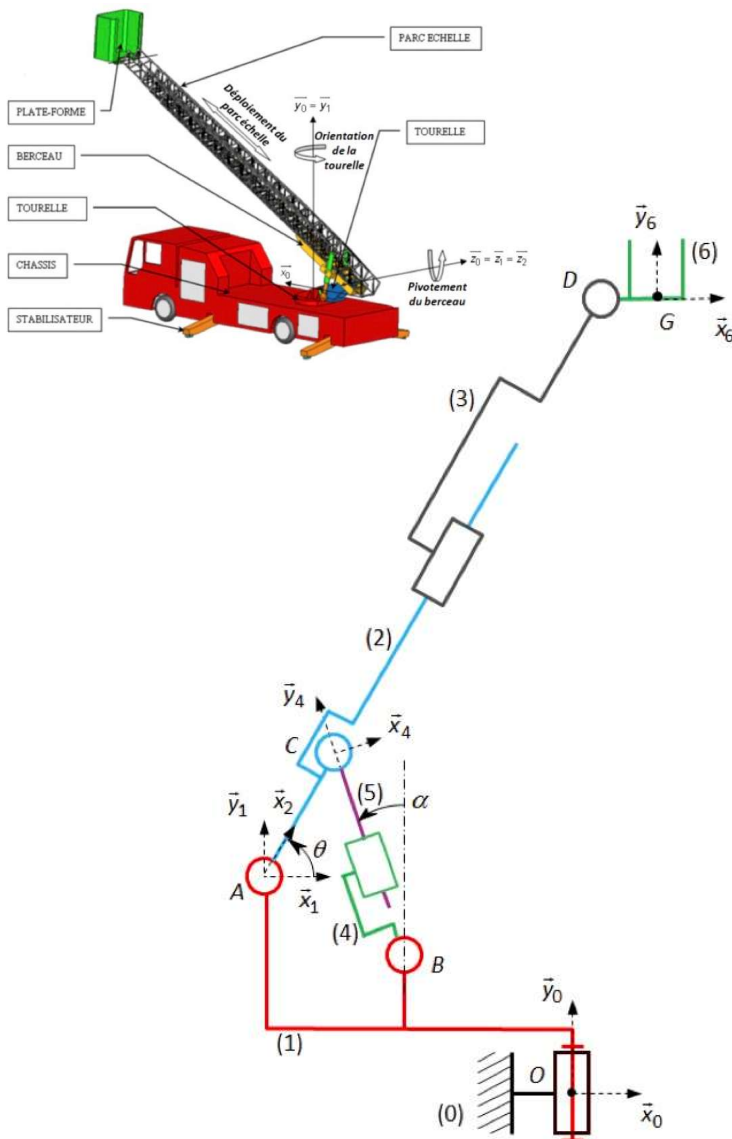
**Question 10 :** Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



**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 : 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.*

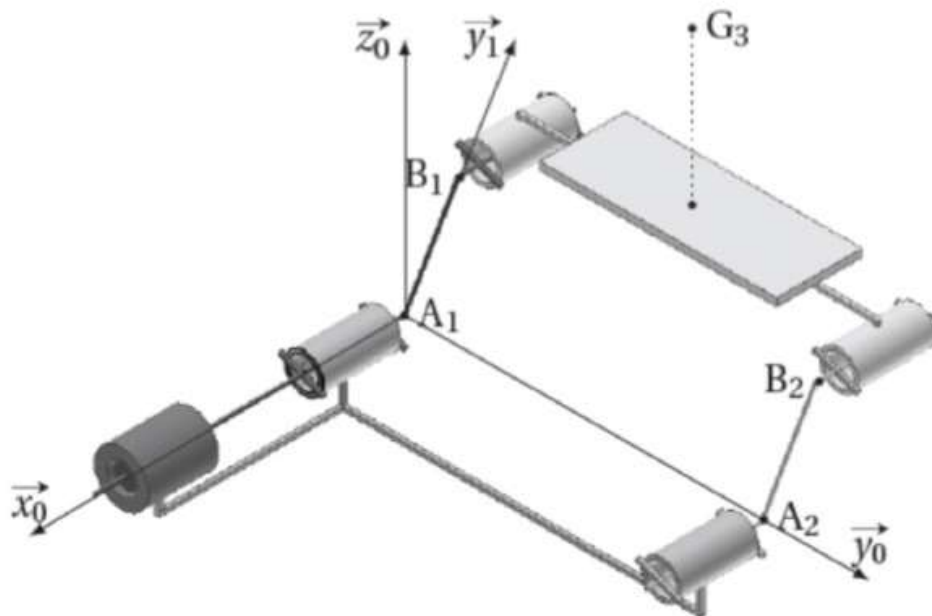
*On le fera donc apparaître uniquement sous la forme d'une action mécanique et non pas comme un ensemble de solides (4+5).*

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

**Question 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 : **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  $\theta$  varie de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ .
- 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.

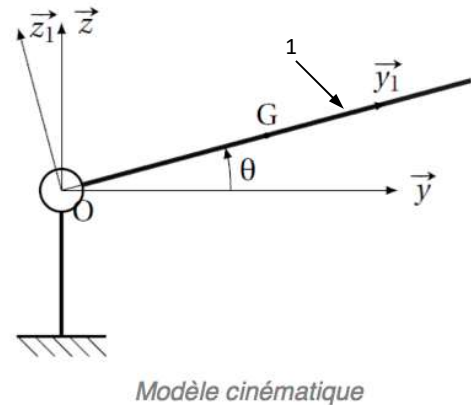
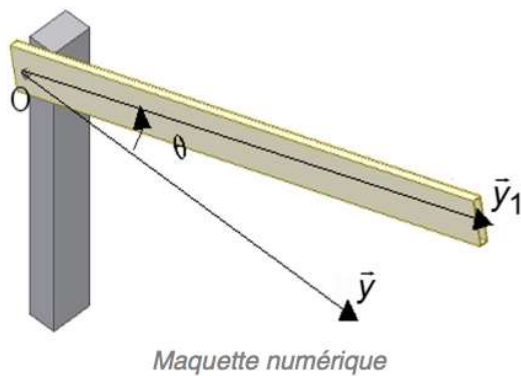
## EXERCICE 4 : Système d'accès

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 :



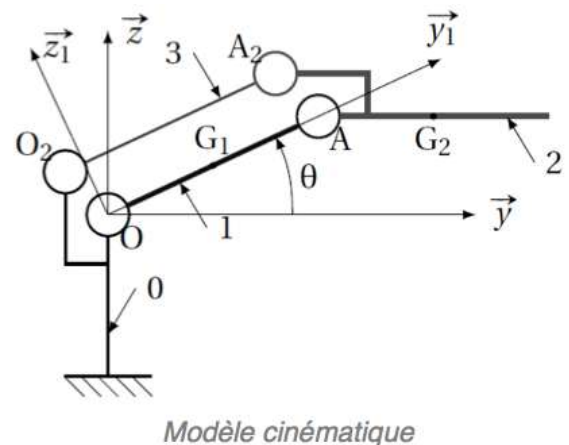
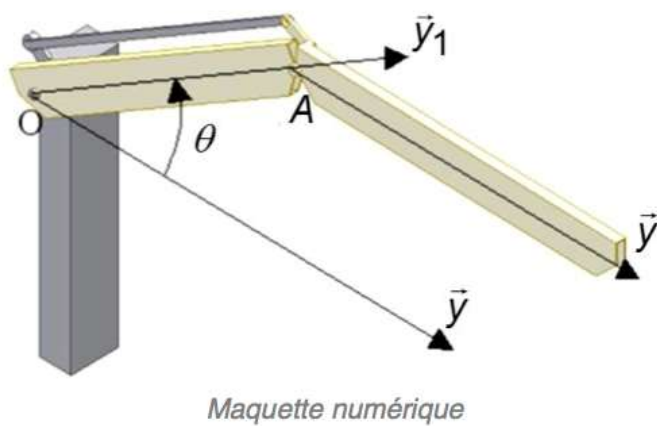
Cette barrière de type A est un profilé en aluminium de longueur  $L_A = 2L$  et de masse  $M_A = 2M$ .

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 :



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  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ .

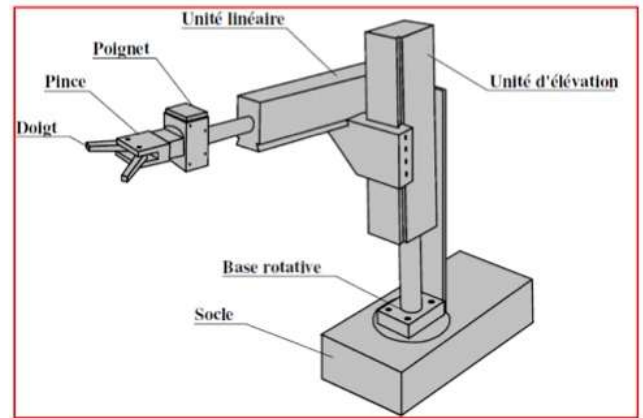
**Comparer  $C_A$  et  $C_B$  garantissant l'équilibre du système dans les deux configurations en traçant leur évolution en fonction de  $\theta$ . On prendra  $L = 2\text{m}$  et  $M = 5\text{kg}$  pour la représentation graphique.**

## EXERCICE 5 : Pince pneumatique

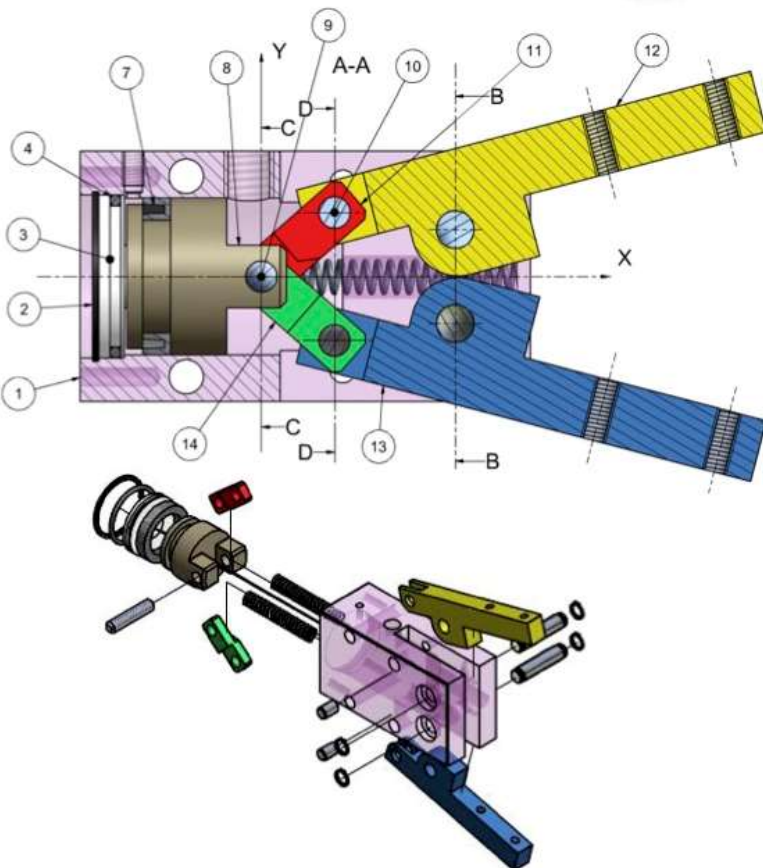
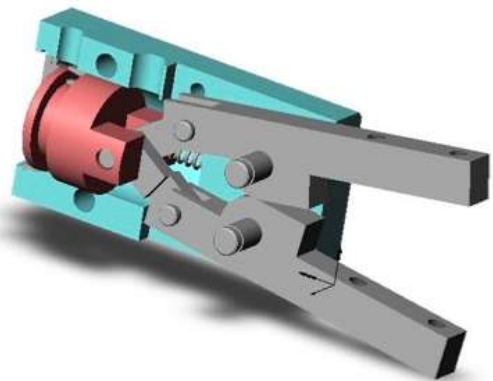
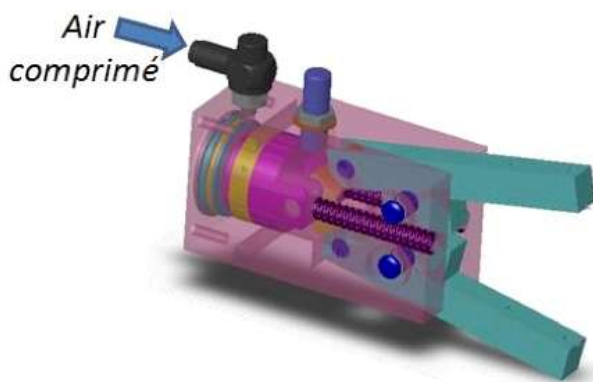
Située à l'extrémité d'un robot manipulateur 4 axes, la pince pneumatique étudiée permet la préhension d'objets.

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.

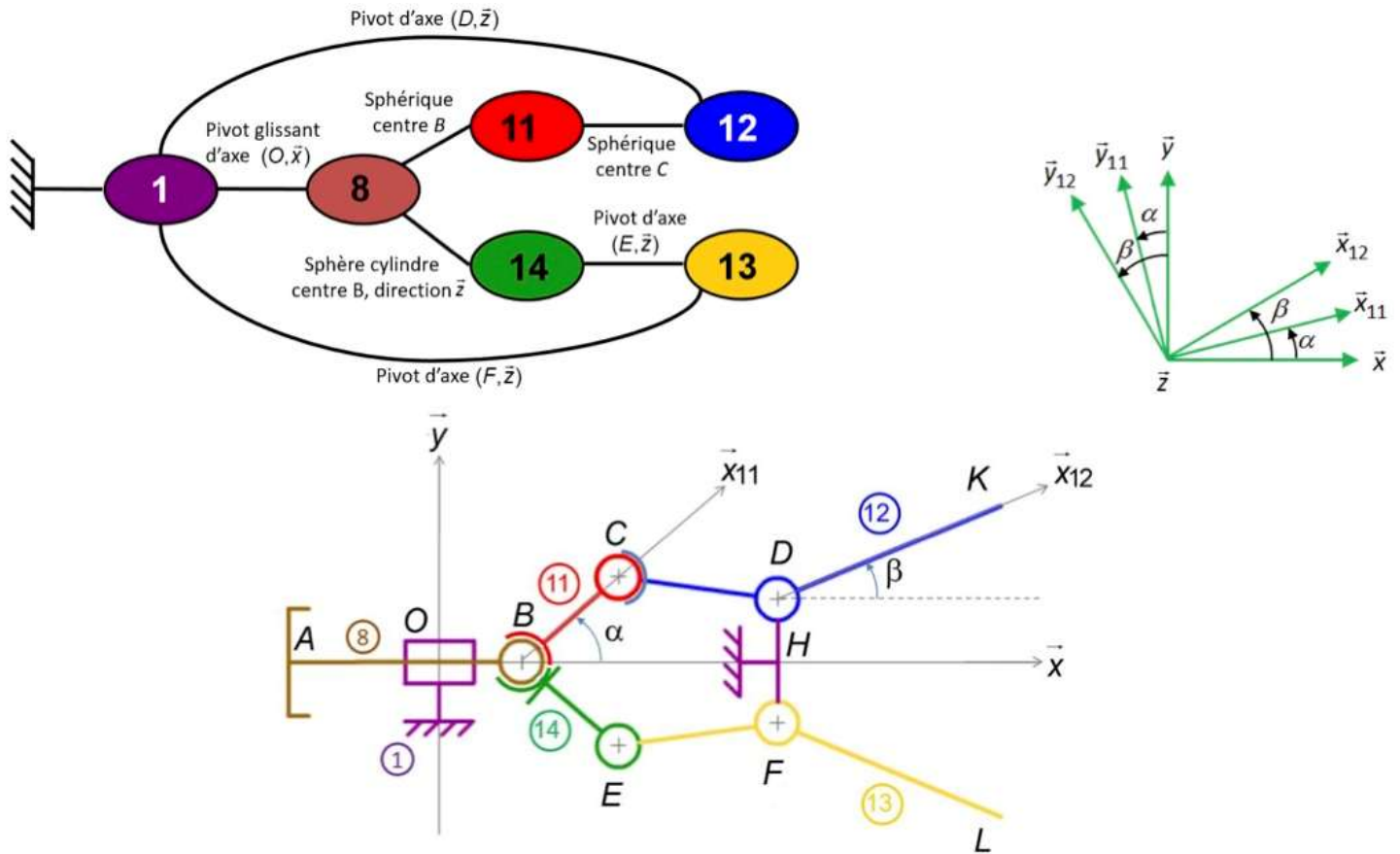


La représentation technique 2D de la pince est donnée ci-dessous :



15	2	ressort	
14	1	bielle inférieure	
13	1	doigt inférieur	
12	1	doigt supérieur	
11	1	bielle supérieure	
10	2	axe bielle	
9	1	axe piston	
8	1	piston	
7	1	joint piston	
6	2	axe doigt	
5	4	anneau élastique	
4	1	joint 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.

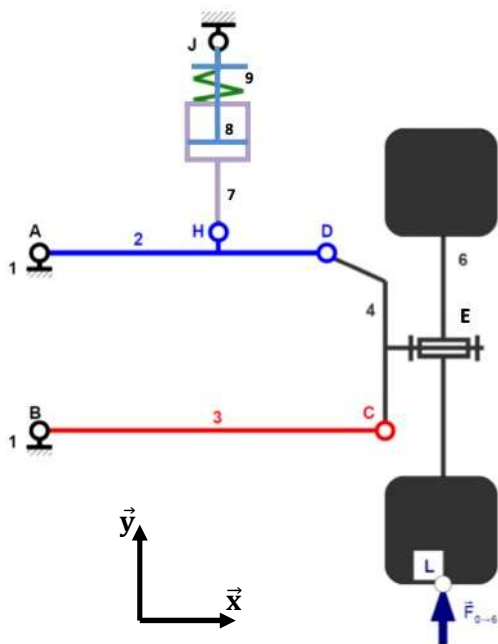
## EXERCICE 6 : Suspension automobile

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  $\Delta l$ ,
- 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  $F_{\text{sol}}$  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.

