

EXERCICE 1 : Lève-malade Maxi Move	page 1
EXERCICE 2 : Console portante de bateau	page 2
EXERCICE 3 : Trappe de désenfumage	page 3
Illustration d'un résultat du cours :	
Système en équilibre sous l'action de trois actions mécaniques modélisables par trois glisseurs	page 4
EXERCICE 4 : Mécanisme en chaîne ouverte : Contrôle d'un châssis basculeur	page 6
EXERCICE 5 : Mécanisme en chaîne ouverte : Echelle EPAS	page 9
EXERCICE 6 : Mécanisme en chaîne fermée : Turboréacteur avec tuyère à ouverture variable	page 10

## EXERCICE 1 : Lève-malade Maxi Move

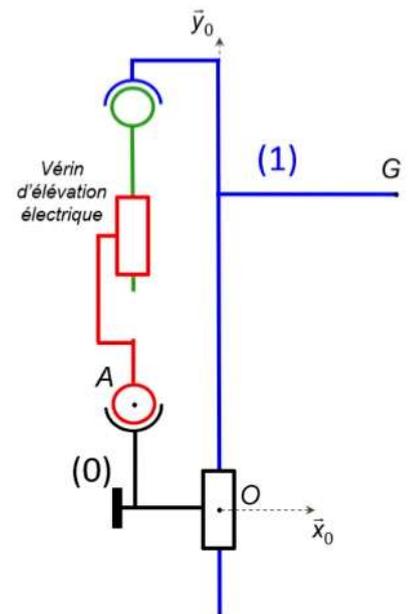


Un lève-malade, utilisé dans les maisons de retraites ou les hôpitaux, est une aide technique mécanisée qui sert à effectuer des transferts de personnes qui n'ont pas la capacité de se déplacer en autonomie.

Le transfert le plus courant est celui qui consiste à transporter le patient du lit vers le fauteuil et inversement (voir vidéo sur site internet).

Ce mécanisme, dont le modèle est représenté par son schéma cinématique ci-contre, est constitué :

- d'un support 0 de repère associé  $R_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  ;
- d'un ensemble 1 (bras + malade), de repère associé  $R_1 = (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ , de masse maximale  $m$  et de centre de gravité G tel que  $\vec{OG} = a \vec{x}_0 + y \vec{y}_0$  ;
- d'un vérin d'élévation électrique assurant le déplacement vertical de l'ensemble 1. On notera  $F_{01}$  la force exercée par ce vérin, et  $\vec{OA} = -b \vec{x}_0 + c \vec{y}_0$ .
- d'un ressort de compression placé entre 0 et 1, permettant de compenser une partie du poids du malade (il pousse vers  $+\vec{y}_0$  et soulage le vérin) tel que  $k$  est sa raideur,  $y_0$  sa longueur,  $y_0$  sa longueur à vide et  $(O, \vec{y}_0)$  sa droite d'action.



### Hypothèses

Les liaisons sont supposées parfaites.

Les poids du corps et de la tige de vérin sont négligés devant les autres actions mécaniques.

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

**Question 2 :** Réaliser le graphe d'analyse du mécanisme (on ne tiendra pas compte du corps et de la tige du vérin dont on néglige le poids).

**Question 3 :** Faire le Bilan des Actions Mécaniques Extérieures (BAME) auxquelles est soumis l'ensemble 1. On écrira les torseurs de ces différentes actions mécaniques en des points judicieusement choisis.

**Question 4 :** Déterminer l'effort  $F_{01}$  que doit fournir le vérin pour maintenir le mécanisme à l'équilibre.

**Question 5 :** Déterminer les efforts dans la liaison glissière entre 0 et 1.

## EXERCICE 2 : Console portante de bateau

On s'intéresse à une console portante de bateau destinée à mettre les bateaux à l'eau ou à les en retirer à partir d'un quai dans les ports de plaisance (voir vidéo sur site internet).

Ce mécanisme, dont le modèle est représenté par son schéma cinématique ci-dessous, est constitué :

- d'un support 0 de repère associé  $R_0 = (O, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$  ;
- d'un ensemble 1 (console + câbles + bateau), de repère associé  $R_1 = (O, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1)$ , de masse maximale  $m = 4000\text{kg}$  et de centre de gravité G tel que  $\overline{OG} = a\bar{x}_1 + b\bar{z}_1$  avec  $a = 6\text{m}$  et  $b = 4\text{m}$ .

La liaison pivot entre 0 et 1 est motorisée. On notera  $C_{01}$  le couple exercé par cette motorisation (moteur + réducteur).

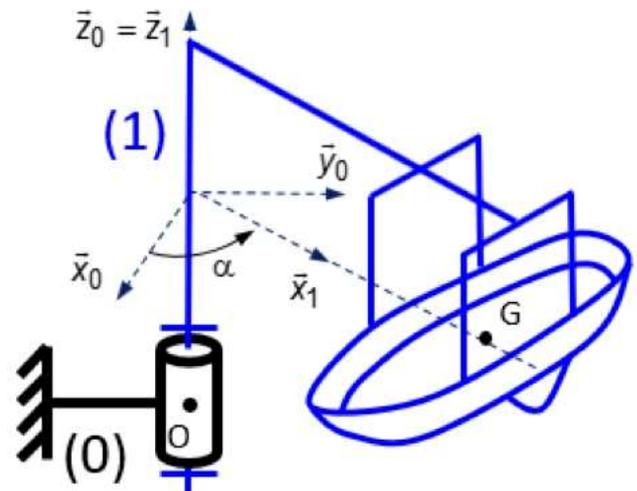


### Hypothèses

Les liaisons sont supposées parfaites.

Une étude de mécanique des fluides a permis de modéliser l'action du vent sur le bateau dans les conditions les plus défavorables :

$$\{T_{vent \rightarrow 1}\}_G = \begin{Bmatrix} -F_{vent} \bar{y}_1 \\ \bar{0} \end{Bmatrix} \text{ avec } F_{vent} = 1500\text{daN}.$$



**Objectif** : afin de dimensionner les constituants qui la réalisent, déterminer les actions transmises dans la liaison entre 1 et 0.

1. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs des actions mécaniques du vent et de la pesanteur, ainsi que le couple de l'action mécanique du motoréducteur.
2. Réaliser le graphe d'analyse et la figure de changement de base.
3. Isoler 1 et déterminer, lorsque le mécanisme est à l'équilibre, l'expression dans la base 1 du torseur des actions mécaniques effectivement transmises dans la liaison entre 1 et 0. Faire l'application numérique.
4. Préciser l'équation issue de l'application du PFS qui a permis de déterminer l'action à fournir par la motorisation pour maintenir le mécanisme à l'équilibre.

## EXERCICE 3 : Trappe de désenfumage

Les bâtiments ayant pour surface plus de 300 m<sup>2</sup> doivent obligatoirement intégrer des trappes de désenfumage, afin d'évacuer les fumées en cas d'incendie.

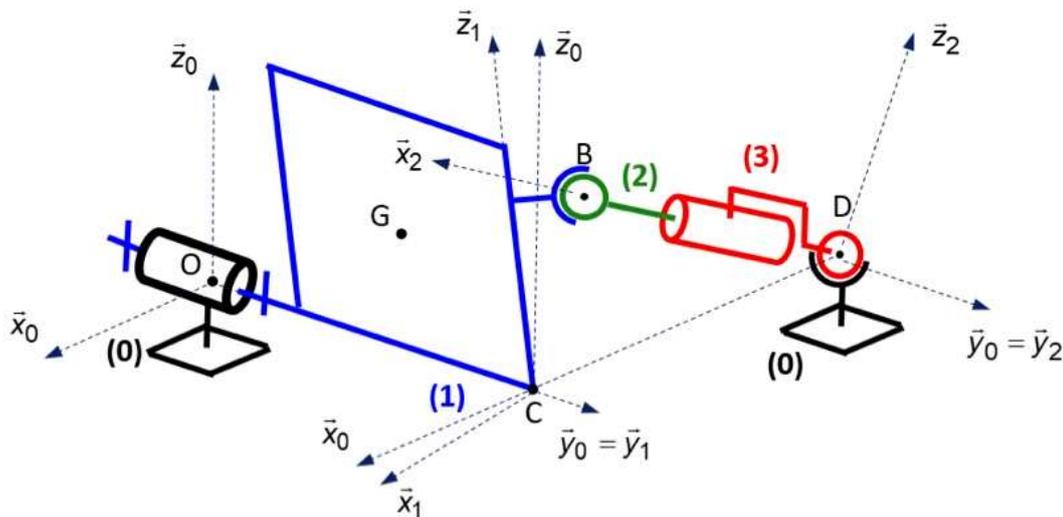
Suite à une alarme, ces trappes doivent s'ouvrir automatiquement.

Ces trappes peuvent être situées au plafond, ou faire office de fenêtre dans un mur.

Nous allons étudier une trappe/fenêtre.

Ce mécanisme, dont le modèle est représenté par son schéma cinématique ci-dessous, est constitué :

- d'un châssis 0 de repère associé  $R_0 = (O, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$  ;
- d'une trappe/fenêtre 1, de repère associé  $R_1 = (O, \bar{x}_1, \bar{y}_1, \bar{z}_1)$ , tel que  $\theta = (\bar{z}_0, \bar{z}_1)$ , de masse  $m$  et de centre de gravité  $G$  tel que  $\overline{OG} = a \bar{y}_1 + h \bar{z}_1$  ;
- d'un vérin 2-3 assurant la rotation de la trappe 1, de repère associé  $R_2 = (D, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2)$ , tel que  $\alpha = (\bar{x}_0, \bar{x}_2)$ . On notera  $F_{01}$  la force exercée par ce vérin, et  $\overline{OD} = 2a \bar{y}_0 - e \bar{x}_0$ .
- d'un ressort de torsion placé entre 0 et 1, permettant d'assurer la fermeture de la trappe lorsqu'aucune alarme n'est détectée (il plaque la fenêtre vers  $-\bar{y}_0$ ), tel que  $k$  est sa raideur,  $\theta$  son angle, et  $\theta_0$  son angle à vide ( $\theta_0 < 0$ ).



### Hypothèses

Les liaisons sont supposées parfaites.

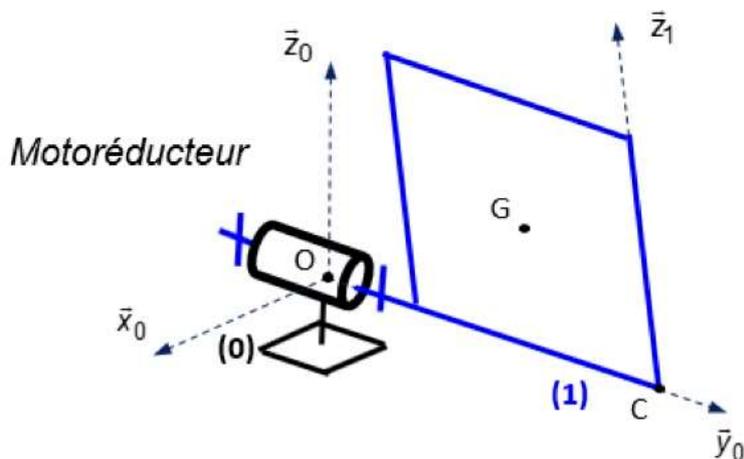
Les poids du corps et de la tige de vérin sont négligés devant les autres actions mécaniques.

**Objectif** : afin de dimensionner les constituants qui la réalisent, déterminer les actions transmises dans la liaison entre 1 et 0.

1. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs des actions mécaniques du vérin et de la pesanteur, ainsi que le moment de l'action mécanique du ressort de torsion.
2. Réaliser le graphe d'analyse et les figures de changement de base.
3. Isoler 1 et déterminer, lorsque le mécanisme est à l'équilibre, l'expression dans la base 0 du torseur des actions mécaniques effectivement transmises dans la liaison entre 1 et 0. En déduire son expression la plus simple.
4. Préciser l'équation issue de l'application du PFS qui a permis de déterminer l'action à fournir par le vérin pour maintenir le mécanisme à l'équilibre.

Le concepteur du système souhaite remplacer le vérin par un motoréducteur. On notera  $C_{01}$  le couple exercé par cette motorisation (moteur + réducteur).

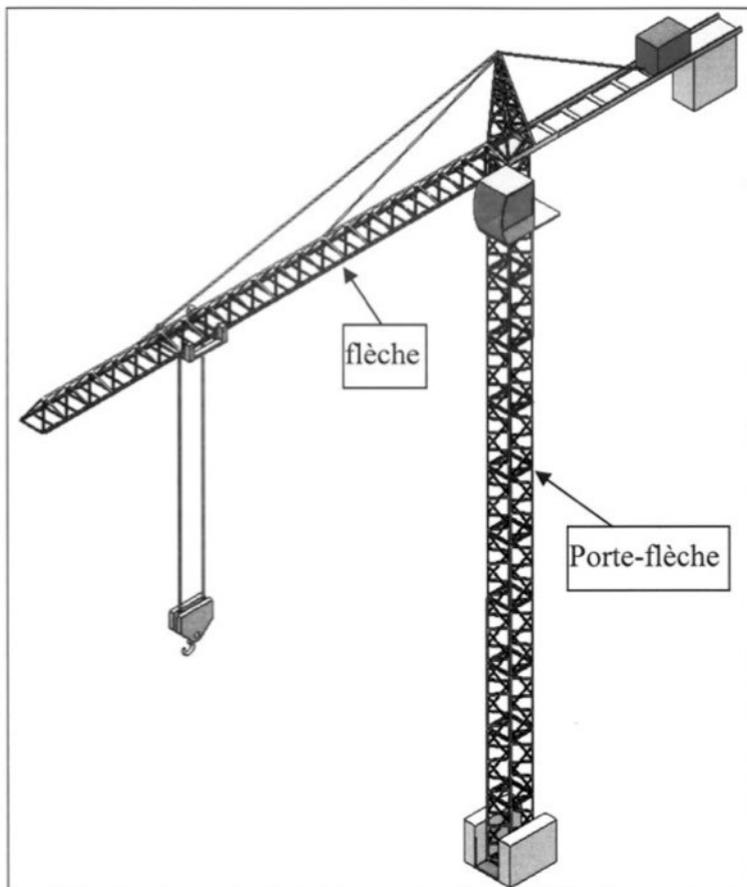
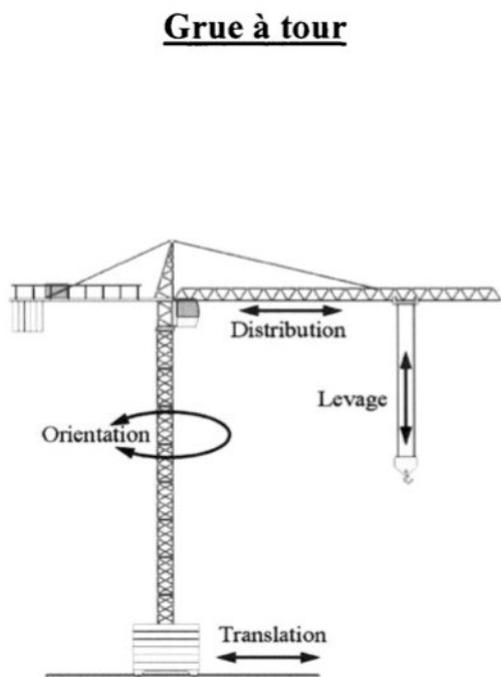
Le schéma cinématique du système est alors le suivant :



5. Positionner sur le schéma la résultante du glisseur de l'action mécanique de la pesanteur, ainsi que les couples des actions mécaniques du motoréducteur et du ressort de torsion.
6. Réaliser le graphe d'analyse.
7. Isoler 1 et déterminer, lorsque le mécanisme est à l'équilibre, l'expression dans la base 0 du torseur des actions mécaniques effectivement transmises dans la liaison entre 1 et 0.
8. Préciser l'équation issue de l'application du PFS qui a permis de déterminer l'action à fournir par le motoréducteur pour maintenir le mécanisme à l'équilibre.

Illustration d'un résultat du cours :

**Cas d'un système en équilibre sous l'action de trois actions mécaniques modélisables par trois glisseurs** D'après CCP 2008



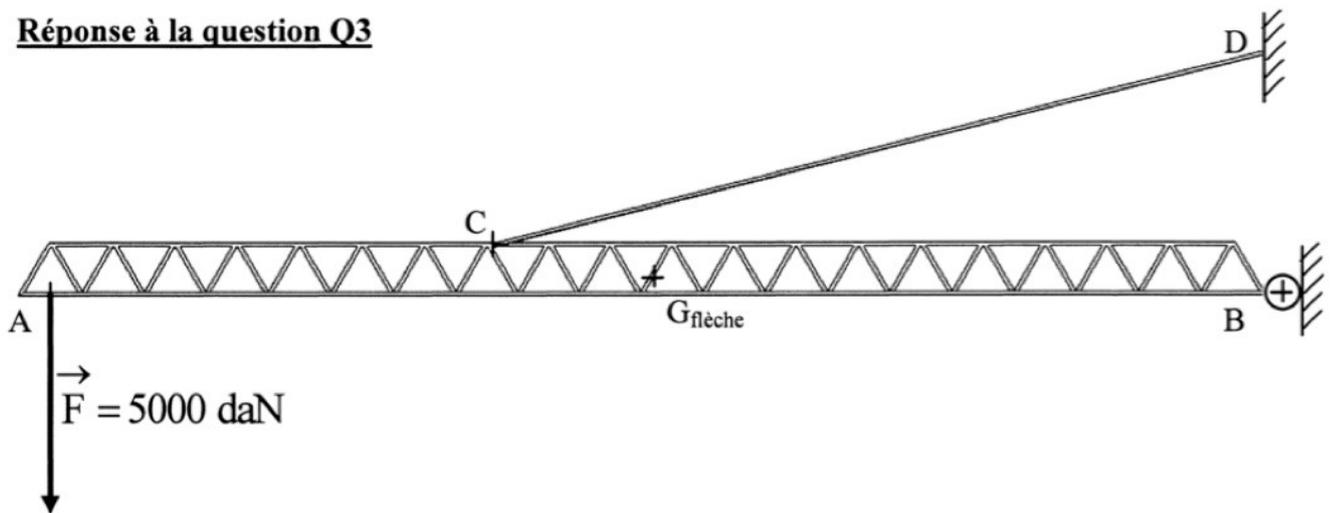
Pour les questions Q3 et Q4, on suppose qu'une charge  $\vec{F} = 5000 \text{ daN}$  est appliquée en A situé dans le plan de symétrie de la flèche (voir document réponse).

**Q3** : Question à traiter sur le document réponse.

La liaison en B entre la flèche et le porte-flèche est modélisée comme un pivot.

- En négligeant le poids propre de la flèche, déterminer graphiquement l'action du tirant CD et dans la liaison en B, lorsque qu'une charge de 5000 daN est soulevée en bout de flèche.
- Indiquer une façon de traiter la même question si le poids de la flèche de 2000 daN qui s'exerce en  $G_{\text{flèche}}$  n'est pas négligé.

### Réponse à la question Q3



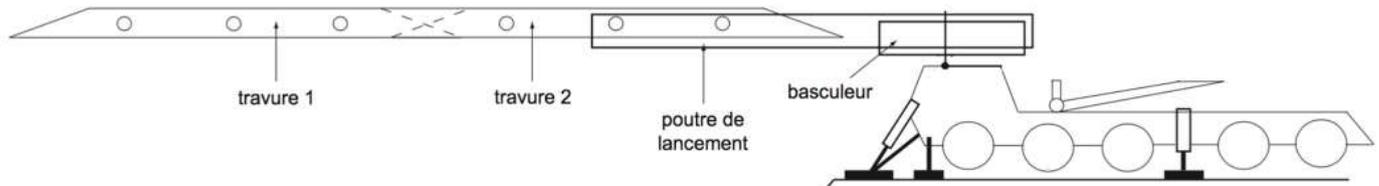
Expliquez ci-dessous votre construction :

## EXERCICE 4 : Mécanisme en chaîne ouverte : *Contrôle d'un châssis basculeur*

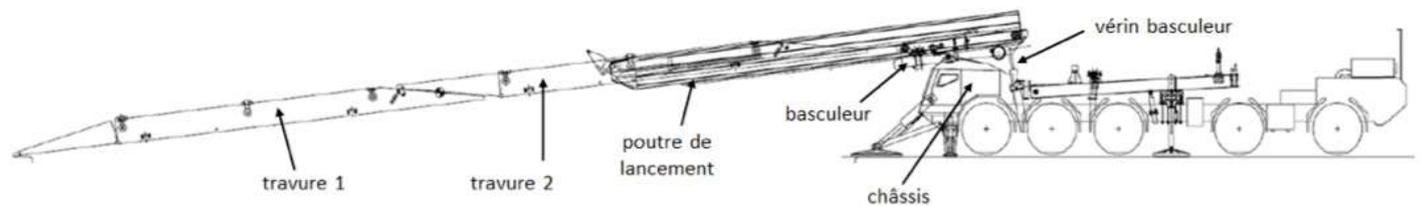


Le Système de Pose Rapide de Travures (SPRAT) est un improbable véhicule assurant la dépose rapide d'un pont permettant de franchir une brèche ou rivière de 25 m de large en moins de 10 min.

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

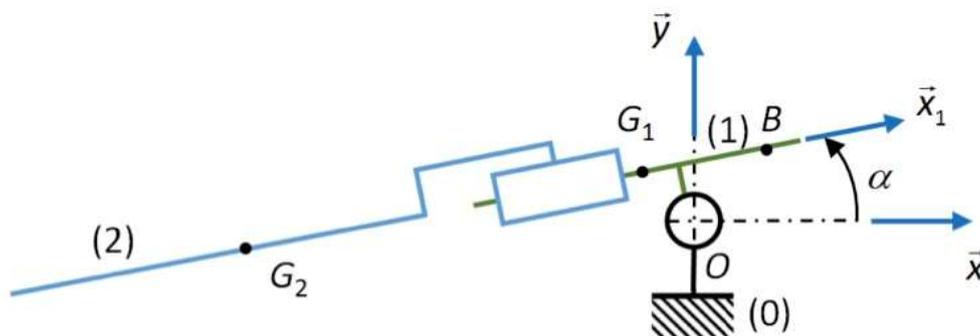


La dépose est réalisée par rotation du basculeur par rapport au châssis.



Le modèle est le suivant :

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



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

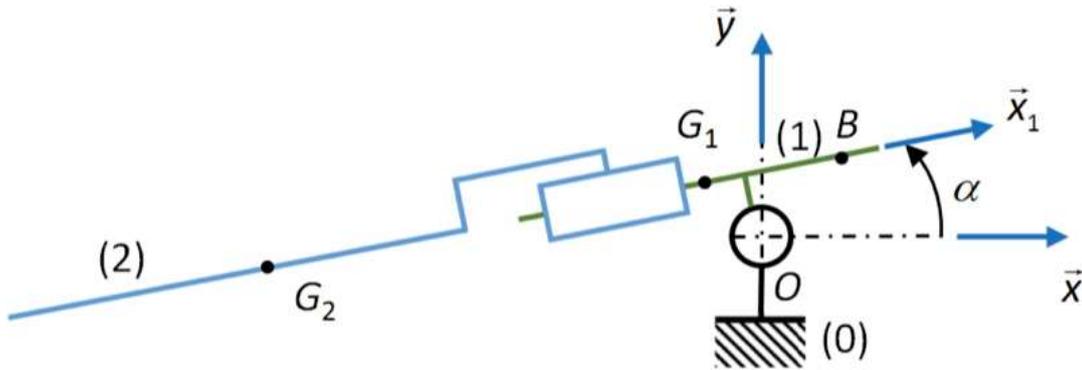
- le basculeur (1) s'incline à la vitesse de rotation  $\dot{\alpha} = \text{cte}$  par rapport au châssis (0). Ce mouvement de rotation est contrôlé par le **vérin basculeur délivrant une force**  $\vec{R}_{0 \rightarrow 1} = F_1 \bar{y}_1$  passant par B, avec  $\overline{OB} \cdot \bar{x}_1 = c = 2$  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  $\vec{R}_{1 \rightarrow 2} = F_2 \bar{x}_1$  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

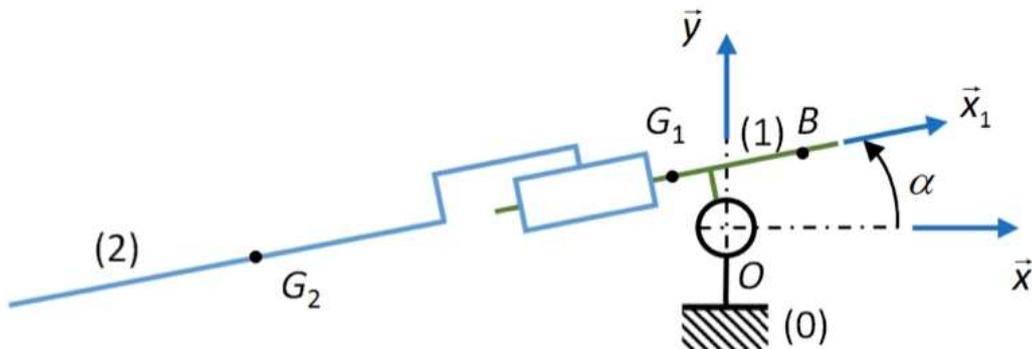
**Question 3 :** Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



**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.



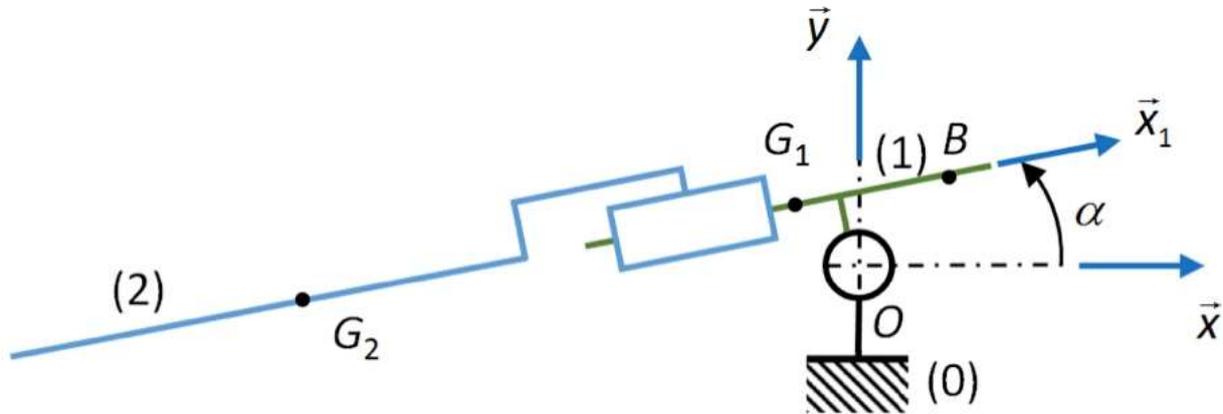
**Question 7 :** Déterminer l'expression de  $F_1$  permettant d'assurer la phase de dépose. En déduire les valeurs maximale et minimale de  $F_1$  lors de cette phase.

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.

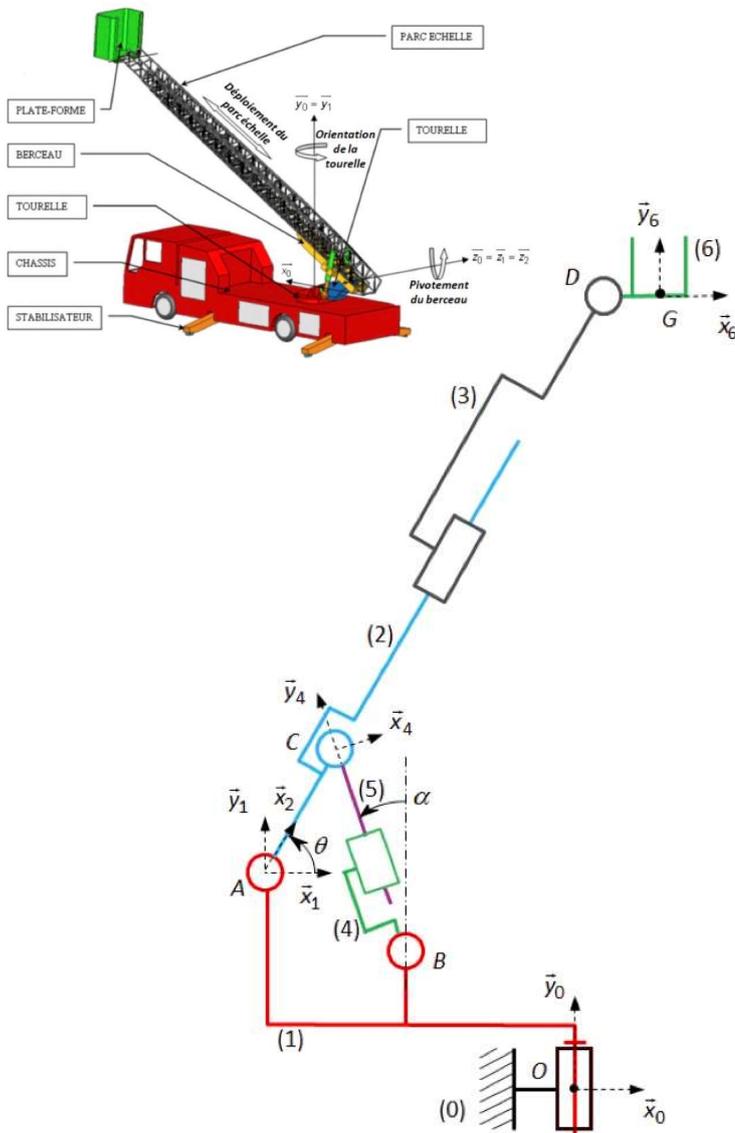
**Question 10 :** Après avoir choisi l'équation du principe fondamental de la statique qui sera utilisée, représenter sur le schéma ci-dessous (flèches pour les forces résultantes et arcs de cercle orientés pour les moments de force résultante) les actions mécaniques utilisées dans son application.



**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 5 : 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.

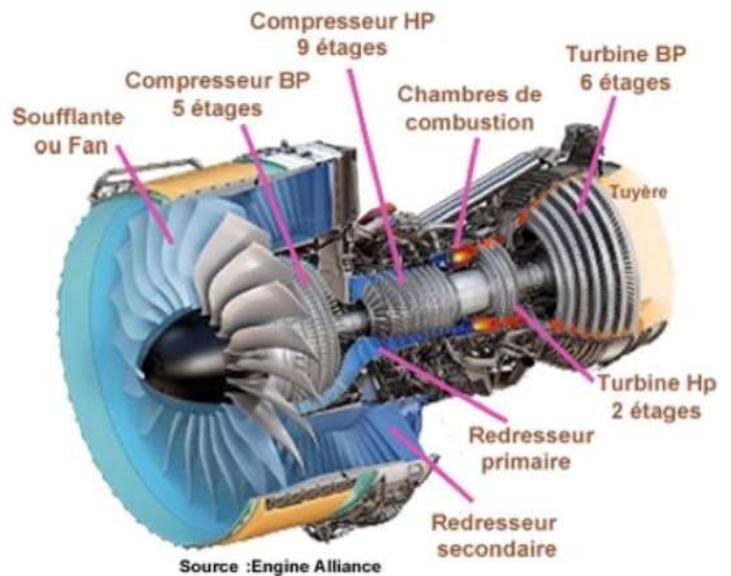
**Question 5 :** Déterminer l'effort  $F_{12}$  que doit fournir le vérin V afin de maintenir le berceau à l'équilibre par rapport à la tourelle.

## EXERCICE 6 : Mécanisme en chaîne fermée : **Turboréacteur avec tuyère à ouverture variable**

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

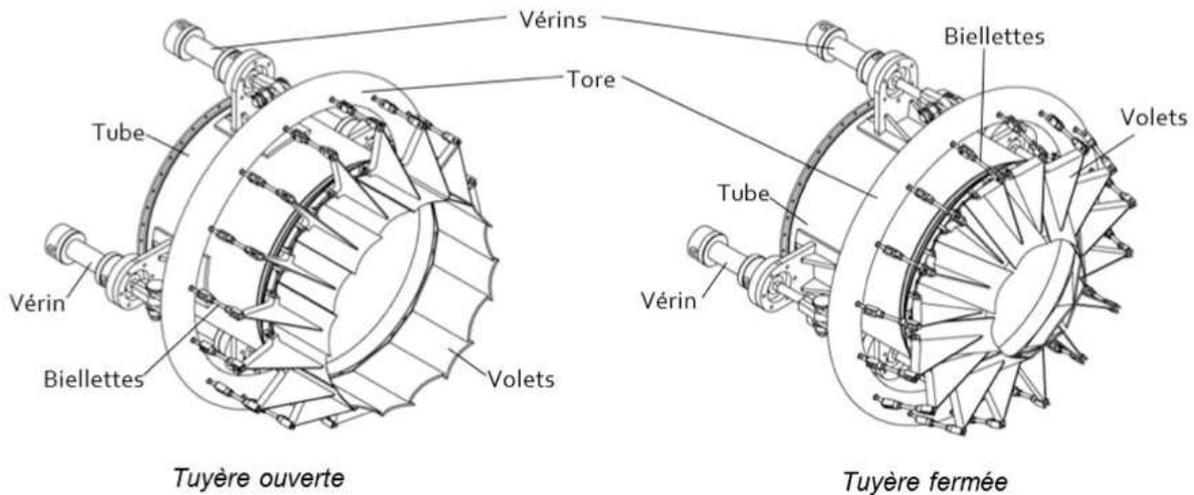
- 1/ **Compression** dans la soufflante + compresseurs basse pression + compresseurs haute pression)
- 2/ **Combustion** dans les chambres de combustion
- 3/ **Détente** dans les turbines + tuyère

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

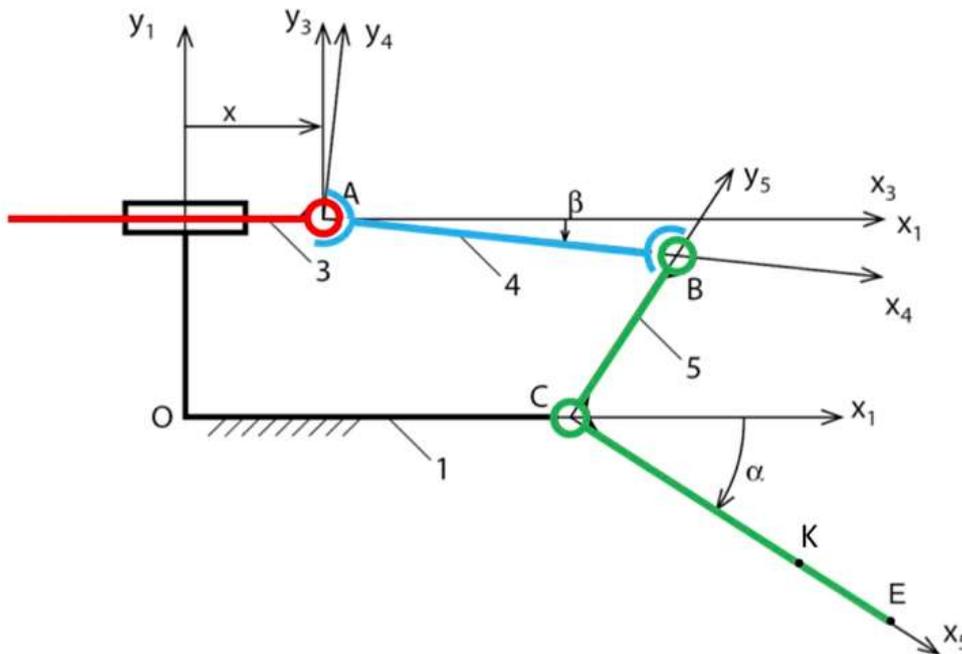


La tuyère à ouverture variable montée en sortie du turboréacteur, en aval de l'écoulement, a pour fonction de faire varier la section de la veine de fluide en sortie.

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 :

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

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  $\{T_{air \rightarrow 5}\} = \begin{Bmatrix} F_a \vec{y}_5 \\ \vec{0} \end{Bmatrix}$ .

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

$p$  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.