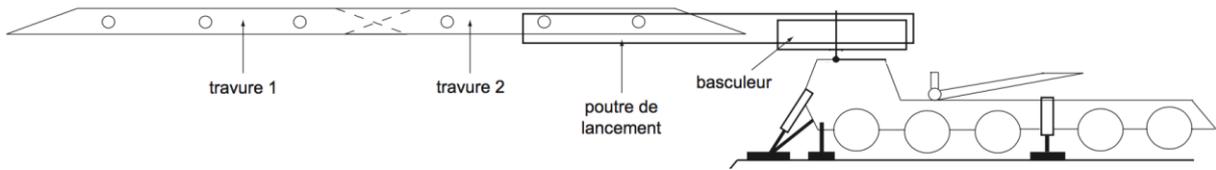


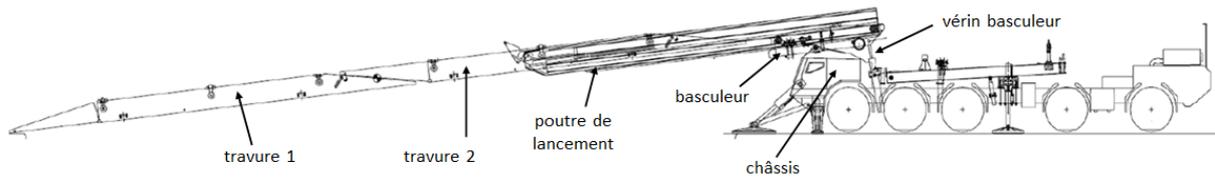
Exercice 1 : Système de pose rapide de travures (SPRAT)



Le Système de Pose Rapide de Travures (SPRAT) est un improbable véhicule assurant la dépose rapide d'un pont mobile 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.

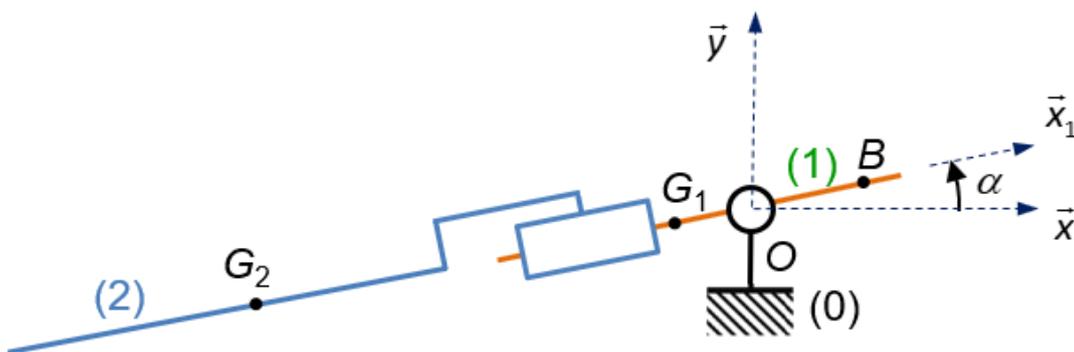


La dépose est réalisée par rotation du basculeur par rapport au châssis.



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

- d'un **châssis 0** de repère associé $R_0 = (O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$;
- d'un **basculeur 1**, de repère associé $R_1 = (O, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$, de masse $M_1=7,5$ tonnes, de centre de gravité G_1 tel que $\overrightarrow{OG_1} = -a \cdot \vec{x}_1$ avec $a=0,3$ m ;
- d'un **ensemble 2 : poutre de lancement+ pont (travures)**, de masse $M_2=18,8$ tonnes, de centre de gravité G_2 tel que $\overrightarrow{OG_2} = -x \cdot \vec{x}_1$.



Le mouvement de rotation du basculeur 1 par rapport au châssis 0 est contrôlé par un **vérin basculeur délivrant une force** $F_{01} \cdot \vec{y}_1$ de 0 sur 1 de droite d'action passant par B , tel que $\overrightarrow{OC} = c \cdot \vec{x}_1$ avec $c = 2$ m.

Le mouvement de translation de l'ensemble 2 par rapport au basculeur 1 est contrôlé par un **vérin lanceur délivrant une force** $F_{12} \cdot \vec{x}_1$ de 1 sur 2 de droite d'action passant par G_1 , tel que $1 \overrightarrow{OG}_1 = -a \cdot \vec{x}_1$ avec $a = 0,3$ m.

Ces 2 vérins ne sont pas représentés sur le schéma cinématique ci-dessus.

On se place pendant la phase de dépose, $0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ et $x=8$ m.

Question 1. Réaliser le graphe d'analyse de ce mécanisme.

Question 2. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs des actions mécaniques autres que celles transmissibles dans les liaisons.

Question 3. Déterminer l'expression de la force F_{12} permettant de maintenir l'ensemble 2 en équilibre statique par rapport au basculeur 1. En déduire les valeurs maximale et minimale de F_{12} .

Question 4. Déterminer l'expression de la force F_{01} permettant de maintenir le basculeur 1 en équilibre statique par rapport au châssis 0. En déduire les valeurs maximale et minimale de F_{01} .

On remplace l'actionneur « vérin basculeur » par un **motoréducteur délivrant un couple** $C_{01} \cdot \vec{z}$ de 0 sur 1.

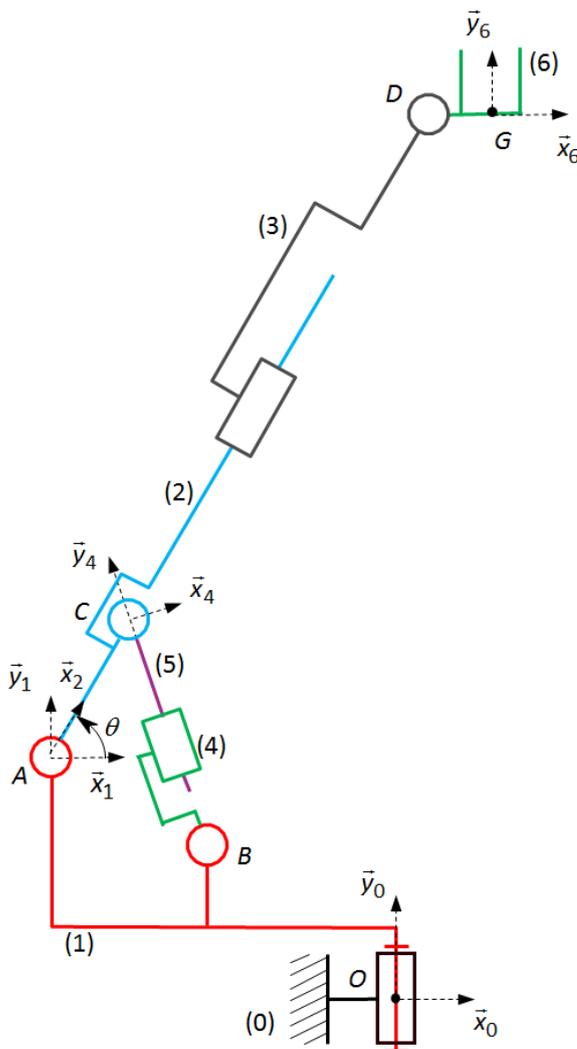
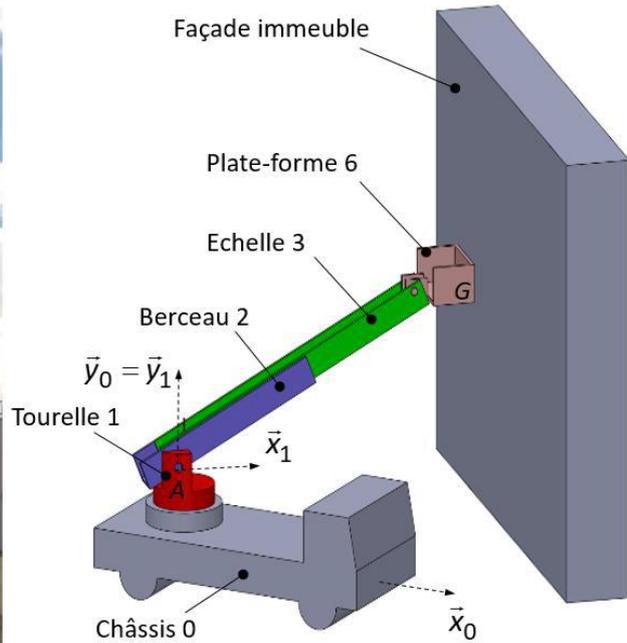
Question 5. Réaliser le nouveau graphe d'analyse de ce mécanisme.

Question 6. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs ainsi que les couples des actions mécaniques autres que celles transmissibles dans les liaisons.

Question 7. Déterminer l'expression du couple C_{01} permettant de maintenir le basculeur 1 en équilibre statique par rapport au châssis 0. En déduire les valeurs maximale et minimale de C_{01} .

Exercice 2 : Echelle EPAS

On s'intéresse à une Échelle pivotante automatique. 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. Les images ainsi que le schéma cinématique ci-dessous correspondent au système étudié.



Le système est constitué de sept solides :

- le châssis 0, de repère $R_0 = (O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$;
- la tourelle 1, de repère $R_1 = (A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$;
- le berceau 2, de repère $R_2 = (A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$;
- l'échelle 3, de repère $R_3 = (A, \vec{x}_3, \vec{y}_3, \vec{z}_3)$;
- le corps du vérin 4, de repère $R_4 = (B, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_4)$;
- la tige du vérin 5, de repère $R_5 = (B, \vec{x}_5, \vec{y}_5, \vec{z}_5)$;
- la plateforme 6, de repère $R_6 = (G, \vec{x}_6, \vec{y}_6, \vec{z}_6)$;

On donne les quatre paramètres de mouvement :

$$\alpha = (\vec{x}_0, \vec{x}_1), \quad \theta = (\vec{x}_1, \vec{x}_2), \quad \beta = (\vec{x}_2, \vec{x}_6),$$

$$\overline{CD} = \lambda \vec{x}_2 \text{ avec } \lambda_{min} = 6 \text{ m.}$$

Et les paramètres caractéristiques :

$$\overline{OA} = a \vec{x}_1 + b \vec{y}_1, \quad \overline{AC} = c \vec{x}_2 \text{ avec } c = 2 \text{ m,}$$

$$\overline{AB} = c \vec{x}_1 - f \vec{y}_1, \quad \overline{DG} = e \vec{x}_6 \text{ avec } e = 1 \text{ m}$$

Quels que soient les mouvements, le mécanisme impose à la **plate-forme 6 de rester horizontale** : $B_6 = B_1$.

Le mécanisme comprend 4 actionneurs :

- un motoréducteur délivrant un couple $C_{01} \cdot \vec{y}_0$ de 0 sur 1 ;
- un vérin 4+5 délivrant une force $F_{12} \cdot \vec{y}_4$ de 1 sur 2 de droite d'action passant par C ;
- un moteur + un dispositif vis-écrou à billes délivrant une force $F_{23} \cdot \vec{x}_2$ de 2 sur 3 de droite d'action passant par D ;
- un motoréducteur délivrant un couple $C_{36} \cdot \vec{z}_1$ de 3 sur 6.

Les données du constructeur sont les suivantes :

Échelle pivotante	L20	L27	L32	L32A-XS	L39	L40A-XS	L44	L56	L64
Hauteur de travail	21,0 m	27,4 m	33,2 m	32,0 m	40,0 m	40,0 m	43,6 m	56,2 m	64,0 m
Portée limite									
1 homme avec panier	16,0 m	22,2 m	23,8 m	22,4 m	21,1 m	19,4 m	17,0 m	22,0 m	20,0 m
Charge plateforme maximale	450 kg	500 kg	500 kg	500 kg	450 kg	450 kg	450 kg	450 kg	300 kg
Temps de mise en service	58 s	65 s	70 s	70 s	80 s	80 s	88 s	120 s	127 s
Largeur d'appui	2,50 m	4,50 m	4,85 m	4,85 m	4,85 m	4,85 m	4,85 m	5,70 m	5,70 m
Variante FA/P	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Élévateur	-	-	-	-	oui	-	oui	oui	oui
Modèle Compact -C	oui	oui	oui	oui	-	-	-	-	-

La portée donnée dans le tableau ci-dessus correspond à $\overline{AG} \cdot \vec{x}_1 = (c + \lambda) \cos \theta + e$. On néglige les poids des différents éléments afin de n'étudier que le seul effet du poids de la plateforme 6. On prendra l'échelle L64 de charge maximale $M=300$ kg en G.

Question 1. Réaliser le graphe d'analyse de ce mécanisme.

Question 2. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs ainsi que les couples des actions mécaniques autres que celles transmissibles dans les liaisons.

Pendant la phase de dressage, $0^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$ et $0^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$.

Question 3. Déterminer l'expression de C_{36} permettant de maintenir la plate-forme 6 en équilibre statique par rapport à l'échelle 3. En déduire les valeurs maximale et minimale de C_{36} .

Question 4. Déterminer l'expression de F_{23} permettant de maintenir l'échelle 3 en équilibre statique par rapport au berceau 2. En déduire les valeurs maximale et minimale de F_{23} .

Question 5. Déterminer l'expression de F_{12} permettant de maintenir le berceau 2 en équilibre statique par rapport à la tourelle 1. En déduire les valeurs maximale et minimale de F_{12} .

Question 6. Déterminer l'expression de C_{01} permettant de maintenir la tourelle 1 en équilibre statique par rapport au châssis 0. En déduire les valeurs maximale et minimale de C_{01} .

Ex3 : Maquette en soufflerie

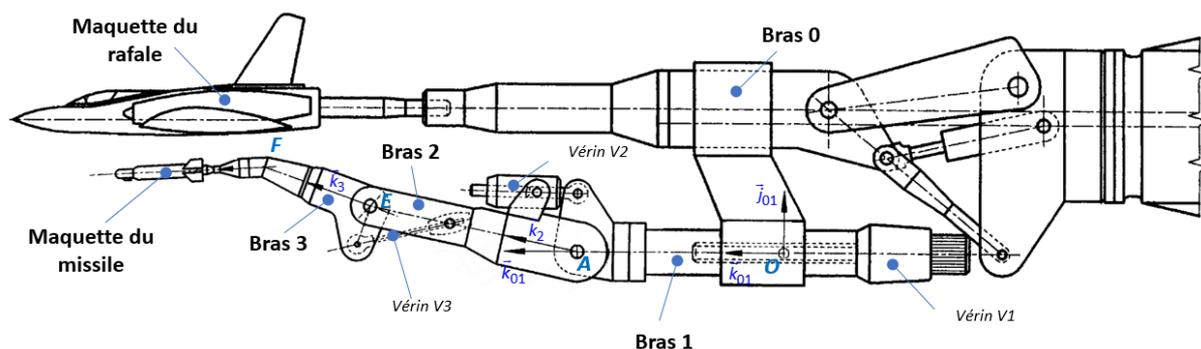
Lors du largage d'un missile par un avion, la trajectoire réelle de celui-ci s'écarte parfois considérablement de la trajectoire souhaitée. Il se peut que le missile largué soit pris dans les turbulences engendrées par l'avion et revienne percuter celui-ci. Pour étudier ces phénomènes, l'O.N.E.R.A. (Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales) a réalisé un **système de trajectographie captive**. Celui-ci consiste en une maquette d'avion à l'échelle 1/6, larguant une maquette du missile. L'ensemble est porté par un bras articulé, doté de nombreux degrés de liberté et pouvant reproduire tous les mouvements tridimensionnels des objets portés.



Photos 1 et 2 : Installation de trajectographie captive. Essai de largage d'un missile Exocet AM39 sous maquette de Rafale dans la grande soufflerie S2MA de l'ONERA à Modane.

Les efforts extérieurs que subissent l'avion et le missile, se réduisent au poids et aux efforts d'origine aérodynamique. C'est pourquoi, on place les maquettes en soufflerie. La partie centrale de la soufflerie a huit mètres de diamètre sur une longueur de quatorze mètres. La fonction du système de trajectographie est d'observer une trajectoire représentative de la trajectoire réelle du missile largué par rapport à l'avion en vol.

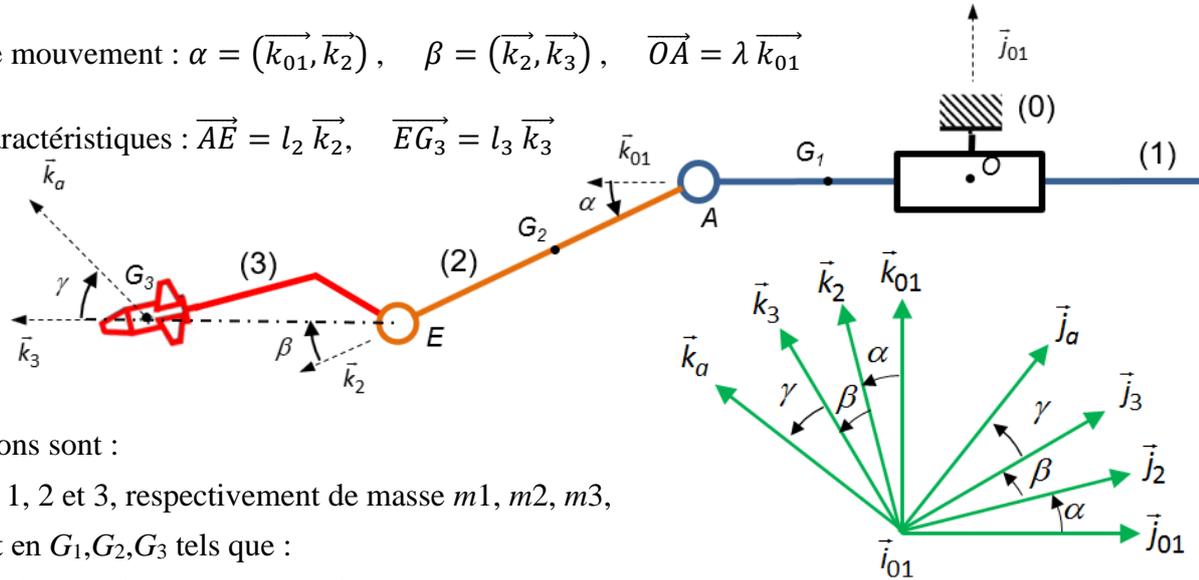
Le système sert de moyen de mesure, mais également de commande. L'avion et le missile sont placés par les bras à des positions initiales données. Les efforts aérodynamiques sur le missile sont mesurés et, par application des lois de Newton, le contrôleur détermine la position du missile après un incrément de temps. On commande alors le déplacement jusqu'à cette nouvelle position et on itère. À la fin de l'essai, la suite mémorisée des positions successives est analysée.



Dans l'étude suivante, on s'intéresse au **contrôle en effort des actionneurs**. Un schéma cinématique est donné ci-dessous. Les vérins électriques à vis V1, V2 et V3 qui entraînent les mouvements entre les différents bras ne sont pas modélisés. Les bases utilisent les vecteurs unitaires $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

Paramètres de mouvement : $\alpha = (\vec{k}_{01}, \vec{k}_2)$, $\beta = (\vec{k}_2, \vec{k}_3)$, $\overline{OA} = \lambda \vec{k}_{01}$

Paramètres caractéristiques : $\overline{AE} = l_2 \vec{k}_2$, $\overline{EG}_3 = l_3 \vec{k}_3$



Les sollicitations sont :

- les poids de 1, 2 et 3, respectivement de masse m_1, m_2, m_3 , qui s'exercent en G_1, G_2, G_3 tels que :

$$\overline{AG}_1 = -a_1 \vec{k}_{01}, \quad \overline{AG}_2 = a_2 \vec{k}_2, \quad \overline{EG}_3 = l_3 \vec{k}_3$$

- la force aérodynamique de l'air sur le missile, de résultante $\vec{F}_a = -F_a \vec{k}_a$ passant par G_3 avec $\gamma = (\vec{j}_3, \vec{j}_a) = (\vec{k}_3, \vec{k}_a)$ et $F_a > 0$.

Le mécanisme comprend 3 actionneurs :

- un vérin V1 délivrant une force $F_{01} \vec{k}_{01}$ passant par A de 0 sur 1 ;
- un vérin V2 délivrant un moment $M_{A12} \vec{i}_0$ en A de 1 sur 2 ;
- un vérin V3 délivrant un moment $M_{E23} \vec{i}_0$ en E de 2 sur 3.

Question 1. Réaliser le graphe d'analyse de ce mécanisme.

Question 2. Positionner sur le schéma les résultantes des glisseurs ainsi que les couples des actions mécaniques autres que celles transmissibles dans les liaisons.

Question 3. Déterminer le moment M_{E23} en E que doit fournir le vérin V3 afin de maintenir le mécanisme en équilibre.

Question 4. Déterminer le moment M_{A12} en A que doit fournir le vérin V2 afin de maintenir le mécanisme en équilibre.

Question 5. Déterminer la force F_{01} que doit fournir le vérin V1 afin de maintenir le mécanisme en équilibre.

Question 6. Vérifier vos résultats dans le cas où $\alpha = \beta = 0$, en déterminant rapidement les moments par la méthode du bras de levier.