



Samedi 6 avril 2024

OPTION : SCIENCES INDUSTRIELLES
MP - MPI - PC - PSI - PT - TSI

DURÉE : 2 HEURES

Conditions particulières :

Calculatrice et documents interdits

Indiquez votre code candidat SCEI sur la page 6
qu'il faudra insérer dans votre copie d'examen

Concours CPGE EPITA-IPSA-ESME 2024

Épreuve de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur

Lanceur réutilisable expérimental FROG, un projet collaboratif innovant

Notations

On notera :

- Le torseur cinématique du solide i par rapport au solide j : $V_{i/j} = \{\vec{\Omega}_{i/j} | \vec{V}_{P,i/j}\}_P$ où $\vec{\Omega}_{i/j}$ représente le vecteur taux de rotation du solide i par rapport au solide j et $\vec{V}_{P,i/j}$ le vecteur vitesse du point P dans le mouvement du solide i par rapport au solide j .
- Le torseur de l'action mécanique du solide i sur le solide j : $T_{i \rightarrow j} = \{\vec{R}_{i \rightarrow j} | \vec{M}_{P,i \rightarrow j}\}_P$ où $\vec{R}_{i \rightarrow j}$ représente la résultante de l'action mécanique du solide i sur le solide j et $\vec{M}_{P,i \rightarrow j}$ le moment en P de l'action mécanique du solide i sur le solide j .

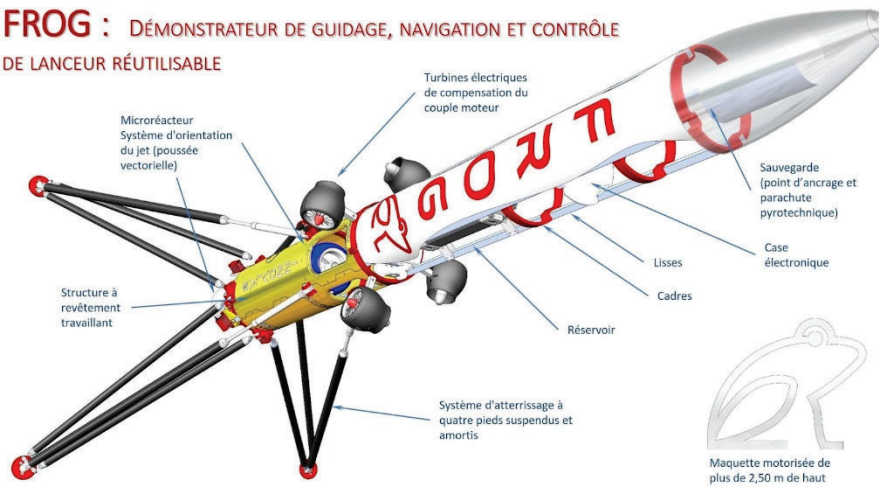
Présentation



Depuis le début de la conquête spatiale, les fusées utilisées pour la mise en orbite d'engins (satellite, ...) sont perdues après leur lancement. Dans un souci d'économie, les constructeurs de fusées ont commencé à réfléchir à la récupération du lanceur dans le cas de vols spatiaux. Le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) a lancé un projet de mini-lanceur réutilisable : FROG (Rocket For Guidance, Navigation and Control demonstration). C'est un mini lanceur à décollage et atterrissage vertical. Ce projet regroupe plusieurs partenaires industriels et universitaires. Il a pour but de tester des nouveaux algorithmes de guidage, navigation et contrôle du vol.

Ce lanceur est composé d'un fuselage, d'une tuyère orientable assurant la poussée et de 4 pieds qui amortissent le fuselage lors de l'atterrissage.

FROG : DÉMONSTRATEUR DE GUIDAGE, NAVIGATION ET CONTRÔLE DE LANCEUR RÉUTILISABLE



Partie 1 : dimensionnement des pieds et amortisseurs.

L'objectif de cette partie est de déterminer les efforts encaissés par les pieds et les amortisseurs lors de l'atterrissage.

Le fuselage du lanceur est noté 1 (voir Figure 1). Pour des raisons de simplification, on considérera que les 4 pieds sont identiques. Un seul pied est représenté sur la Figure 1. Les 4 pieds sont composés chacun d'une tige de renvoi 2 et d'un amortisseur. L'amortisseur est composé d'un corps 3 et d'une tige 4. La tige de renvoi 2 est liée à un patin 5, lui-même en contact avec le sol 0.

Les liaisons entre les solides sont les suivantes :

- Les solides 1 et 2 sont en liaison pivot d'axe (B, \vec{z}_0) .
- Les solides 2 et 3 sont en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) .
- Les solides 3 et 4 sont en liaison pivot glissant d'axe \overline{AC} . Un ressort non représenté assure le rappel de la pièce 3 par rapport à 4.
- Les solides 1 et 4 sont en liaison pivot d'axe (C, \vec{z}_0) .
- Les solides 2 et 5 sont en liaison pivot d'axe (A, \vec{z}_0) .
- Les solides 0 et 5 sont en liaison pivot appui plan de normale (A, \vec{y}_0) .

Les dimensions du mécanisme sont telles que $(\overline{AB}, \vec{x}_0) = 45^\circ$ et $(\overline{AC}, \vec{x}_0) = 60^\circ$.

La masse du fuselage 1 est noté $M = 30 \text{ kg}$. Les pieds solides (2, 3 et 4) ont une masse négligeable devant celle du solide 1. On considère que l'ensemble des solides 0, 1, 2, 3, 4 et 5 sont en équilibre par rapport à la Terre. Le référentiel terrestre est considéré galiléen. On notera $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur suivant $-\vec{y}_0$.

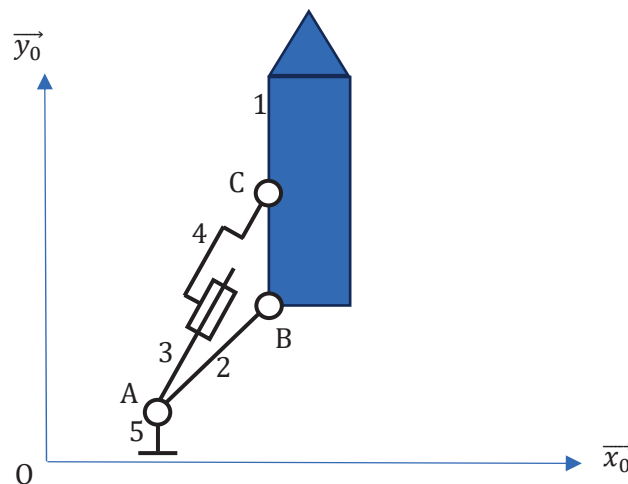


Figure 1 : Modélisation d'un pied

1. Tracer le graphe des liaisons du mécanisme constitué par les solides 0, 1, 2, 3, 4 et 5.
2. Déterminer le torseur de l'action mécanique du solide 0 sur le solide 5 en A.

On note le torseur de l'action mécanique de 1 sur 2 $T_{1 \rightarrow 2} = \begin{Bmatrix} X_{12} \\ Y_{12} \\ Z_{12} \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} L_{12} \\ M_{12} \\ N_{12} \end{vmatrix}_P$.

3. Déterminer la forme du torseur $T_{1 \rightarrow 2}$ en fonction de X_{12} .

On note le torseur de l'action mécanique de 1 sur 4 $T_{1 \rightarrow 4} = \begin{Bmatrix} X_{14} \\ Y_{14} \\ Z_{14} \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} L_{14} \\ M_{14} \\ N_{14} \end{vmatrix}_P$.

4. Déterminer la forme du torseur $T_{1 \rightarrow 4}$ en fonction de X_{14} .

5. Déterminer la norme F_{14} de la résultante du torseur $T_{1 \rightarrow 4}$ et la norme F_{12} de la résultante du torseur $T_{1 \rightarrow 2}$.

Partie 2 : Élaboration d'un modèle

L'objectif de cette partie est d'élaborer un modèle de la fusée en vol stationnaire (vol à altitude quasiment constante) et de l'orientation de la tuyère permettant sa stabilité.

On considère dans cette partie le lanceur en vol, il n'est plus en contact avec le sol. Le fuselage 1 est en liaison pivot d'axe (D, \vec{z}_0) avec la tuyère T du moteur assurant la poussée. On notera G le centre de gravité du fuselage 1, sa

masse M et sa matrice d'inertie en G est $I_{1,G} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_0)}$. La tuyère est considérée de masse et d'inertie

négligeables devant celles du fuselage 1. Les gaz éjectés par la combustion exercent une action mécanique sur la tuyère de torseur $T_{\text{gaz} \rightarrow \text{tuyère}} = \{F \cdot \vec{y}_T | \vec{0}\}_D$ avec $F > 0$. On note $\vec{DG} = h \cdot \vec{y}_1$ et $\vec{OG} = x \cdot \vec{x}_0 + y \cdot \vec{y}_0$.

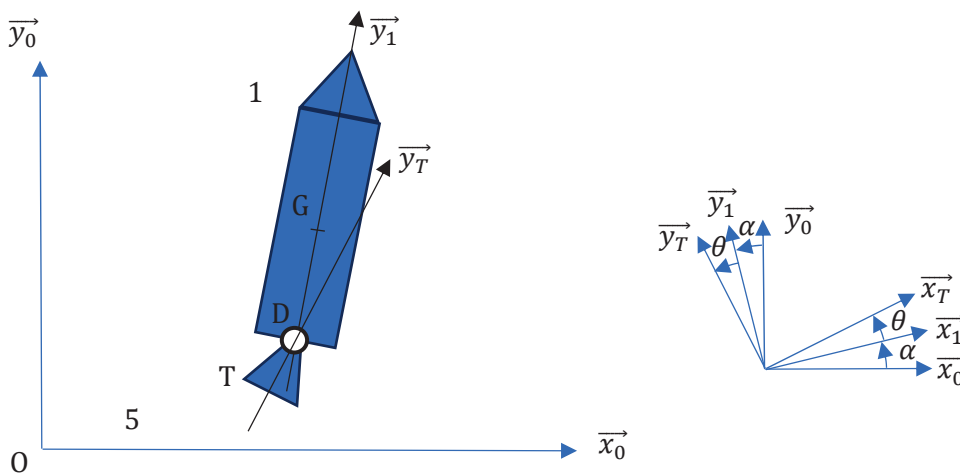


Figure 2 : Modélisation du lanceur en vol

On note $(\vec{y}_0, \vec{y}_1) = \alpha$ et $(\vec{y}_1, \vec{y}_T) = \theta$. L'angle θ est piloté par un actionneur asservi dans une étude ultérieure.

6. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble $\{1, T\}$ et déterminer 3 relations liant α , x , y et leurs dérivées à θ et aux constantes du problème.
7. En considérant les angles α et θ petits, linéariser les équations précédentes.