

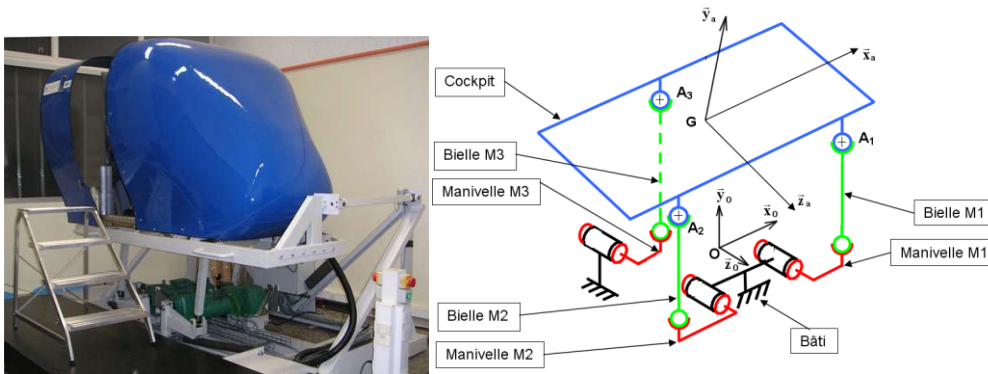
Simulateur de vol

La cinématique des simulateurs les plus complets est basée sur un hexapode (ou plate-forme de Stewart) doté de 6 axes. Ces simulateurs permettent de reproduire :

- les mouvements angulaires de roulis, tangage et lacet ;
- les déplacements longitudinaux, transversaux et verticaux.

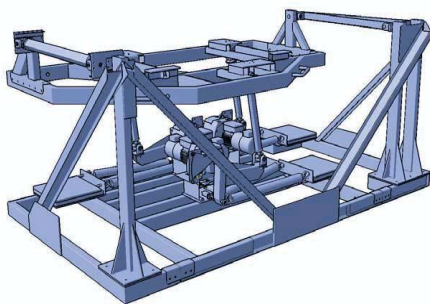
Une solution moins coûteuse consiste à n'installer que 3 axes, de façon à ne reproduire que les mouvements principaux de l'avion : roulis, tangage et déplacement vertical.

C'est le principe du simulateur FLY-HO de la société 6mouv



L'objectif de cette partie est de vérifier que le Cahier des Charges Fonctionnel permet au simulateur de reproduire correctement toutes les phases de vol de l'avion.

On se place dans le cas simplifié d'un seul mouvement de translation verticale de vitesse \dot{y} et d'accélération \ddot{y} . Dans l'hypothèse de problème plan, on souhaite d'abord établir la relation liant \dot{y} avec ω vitesse de rotation identique des 3 moteurs. En effet, on supposera dans cette partie les 3 mécanismes strictement identiques.



- 0 : Partie fixe
- 1 : Cockpit
- 2 : Bielle
- 3 : Manivelle

Le Cockpit (1) est supposé ici en liaison glissière avec le bâti tel que $\overrightarrow{OG} = y \cdot \overrightarrow{y_0}$

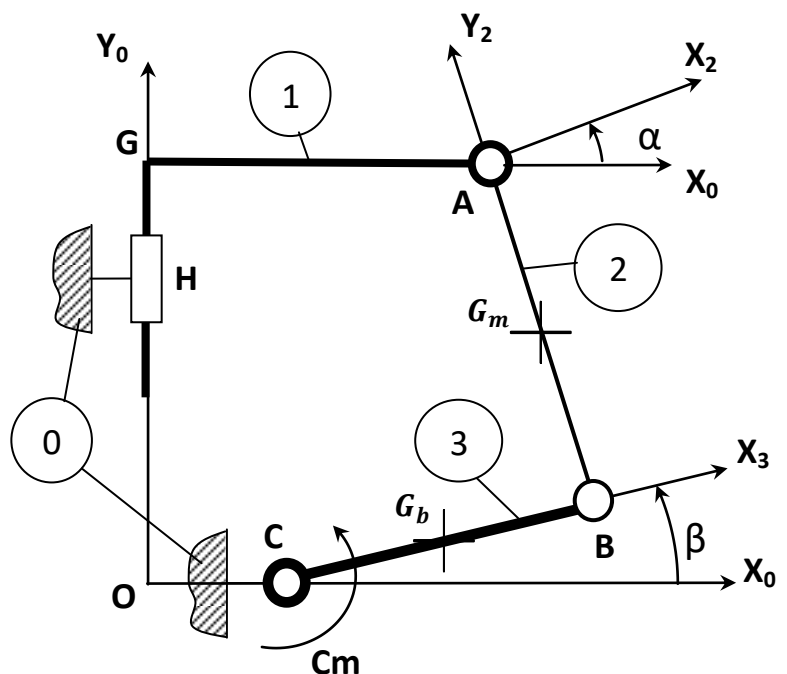
Le Moto-Réducteur (M) entraîne en rotation la manivelle (3) autour de l'axe (C, $\overrightarrow{z_0}$)

tel que $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_3}) = \beta$ et on note $\dot{\beta} = \frac{d\beta}{dt}$

La bielle (2) est liée au cockpit (1) et à la manivelle (3) par des liaisons pivot d'axe (B, $\overrightarrow{z_0}$) et (A, $\overrightarrow{z_0}$) avec $(\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{x_2}) = (\overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{y_2}) = \alpha$

Enfin on pose $\overrightarrow{CB} = d \cdot \overrightarrow{x_3}$ et $\overrightarrow{BA} = b \cdot \overrightarrow{y_2}$

Schéma plan du système simplifié



Caractéristiques cinétiques :

Masse du cockpit (1): M_c ; Masse de la manivelle (3) : M_m ; Masse de la bielle (2): M_b

Moment d'inertie de la manivelle autour de son axe (C, $\overrightarrow{z_0}$) : J_m

Moment d'inertie de la bielle autour de son axe (G_b , $\overrightarrow{z_0}$) : J_b

Les autres masses et inerties sont considérées comme négligeables.

Position des centres de gravité de la bielle : $\overrightarrow{AG_b} = -\frac{b}{2} \cdot \overrightarrow{y_2}$ et de la manivelle : $\overrightarrow{CG_m} = \frac{d}{2} \cdot \overrightarrow{x_3}$

Questions

- 1) Déterminer l'expression des vecteurs rotation $\overrightarrow{\Omega}_{1/0}, \overrightarrow{\Omega}_{2/0}, \overrightarrow{\Omega}_{3/0}, \overrightarrow{\Omega}_{2/1}, \overrightarrow{\Omega}_{3/2}$
- 2) Déterminer l'expression du vecteur vitesse du point A, $\overrightarrow{V}_{A \in 1/0}$
- 3) Déterminer l'expression des vecteurs vitesse du point B, $\overrightarrow{V}_{B \in 2/0}$ et $\overrightarrow{V}_{B \in 3/0}$
- 4) B étant le centre de la liaison 2/3, en déduire deux relations entre b, d, α , β et leurs dérivées
- 5) Linéariser ces relations en considérant que la manivelle (3) reste pratiquement horizontale au cours du mouvement de translation du cockpit et que la bielle (2) reste pratiquement perpendiculaire au plan du cockpit (α et β petits).
- 6) En déduire la relation liant \dot{y} et $\dot{\beta}$; montrer que la vitesse de rotation de la bielle $\dot{\alpha}$ est négligeable devant celle de la manivelle $\dot{\beta}$.
- 7) Déterminer l'expression du vecteur vitesse du point G_b $\overrightarrow{V}_{G_b \in 2/0}$
- 8) Déterminer l'expression du moment cinétique de la bielle (2) en G_b $\overrightarrow{\sigma}_{G_b 2/R_0}$
- 9) Déterminer l'expression du moment dynamique de la bielle (2) en G_b $\overrightarrow{\delta}_{G_b 2/R_0}$
- 10) Déterminer l'expression du moment cinétique de la manivelle (3) en C $\overrightarrow{\sigma}_{C m_2/R_0}$
- 11) Déterminer l'expression du moment dynamique de la manivelle (3) en C $\overrightarrow{\delta}_{C m_2/R_0}$

Pour la suite, en considérant que le système est plan, on posera :

$$\text{Torseur de liaison en A : } \{ \mathcal{J}_A \} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{A1 \rightarrow 2} \\ \overrightarrow{M}_{A1 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{A1 \rightarrow 2} = X_A \cdot \overrightarrow{x}_2 + Y_A \cdot \overrightarrow{y}_2 \\ \overrightarrow{M}_{A1 \rightarrow 2} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_{(X_2, Y_2, Z_2)}$$

$$\text{Torseur de liaison en B : } \{ \mathcal{J}_B \} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{B3 \rightarrow 2} \\ \overrightarrow{M}_{B3 \rightarrow 2} \end{array} \right\}_B = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{B3 \rightarrow 2} = X_B \cdot \overrightarrow{x}_2 + Y_B \cdot \overrightarrow{y}_2 \\ \overrightarrow{M}_{B3 \rightarrow 2} = \overrightarrow{0} \end{array} \right\}_{(X_2, Y_2, Z_2)}$$

- 12) Appliquer le principe fondamental de la dynamique au cockpit (1) et déterminer une équation faisant intervenir \ddot{y} , M_c , g , X_A , Y_A et α
- 13) Appliquer le principe fondamental de la dynamique à la bielle (2) en G_b (centre de gravité de la bielle) et déterminer trois équations faisant intervenir α , $\dot{\alpha}$, $\ddot{\alpha}$, β , $\dot{\beta}$, $\ddot{\beta}$, M_b , J_b , g , X_A , Y_A , X_B , Y_B et b
- 13) Appliquer le théorème du moment dynamique à la manivelle (3) en C (centre de rotation de la manivelle) et déterminer une équation faisant intervenir α , β , $\dot{\beta}$, M_m , J_m , g , X_B , Y_B et d
- 10) Déterminer l'expression de l'énergie cinétique de (2) dans R_0
- 11) Déterminer l'expression de l'énergie cinétique de (3) dans R_0
- 12) En considérant α , $\dot{\alpha}$, β petits, écrire l'expression de l'énergie cinétique de l'ensemble {1,2,3}
- 13) Déterminer l'expression de la puissance des efforts extérieurs puis de la puissance des efforts intérieurs
- 14) Par application du théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble {1,2,3}, déterminer l'expression de la puissance développée par le moteur qui agit sur la manivelle (3)

Rappels :

Le torseur $\{ \tau_{(2 \rightarrow 1)} \}$ associé à l'action mécanique exercée en A, par un solide 2 sur un solide 1 sera noté :

$$\{ \mathcal{J}_{(2 \rightarrow 1)} \} = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{2 \rightarrow 1} \\ \overrightarrow{M}_{A 2 \rightarrow 1} \end{array} \right\}_A = \left\{ \begin{array}{l} \overrightarrow{R}_{2 \rightarrow 1} = X_A \cdot \overrightarrow{x} + Y_A \cdot \overrightarrow{y} + Z_A \cdot \overrightarrow{z} \\ \overrightarrow{M}_{A 2 \rightarrow 1} = L_A \cdot \overrightarrow{x} + M_A \cdot \overrightarrow{y} + N_A \cdot \overrightarrow{z} \end{array} \right\}_{(x,y,z)} = \begin{array}{l} \begin{pmatrix} X_A & L_A \\ Y_A & M_A \\ Z_A & N_A \end{pmatrix} \\ \begin{matrix} \\ \\ \end{matrix} \end{array}_{(x,y,z)}$$

Le torseur cinématique $\{ v_{2/1} \}$ du mouvement d'un solide S par rapport à un repère R exprimé au point A sera noté :

$$\{v_{(S/R)}\} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{\Omega_{S/R}} \\ \overrightarrow{V_{AS/R}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{\Omega_{S/R}} = \omega_x \cdot \vec{x} + \omega_y \cdot \vec{y} + \omega_z \cdot \vec{z} \\ \overrightarrow{V_{AS/R}} = v_{Ax} \cdot \vec{x} + v_{Ay} \cdot \vec{y} + v_{Az} \cdot \vec{z} \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} = \begin{Bmatrix} \omega_x & v_{Ax} \\ \omega_y & v_{Ay} \\ \omega_z & v_{Az} \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

Le torseur cinétique $\{C_{S/R}\}$ du mouvement d'un solide S par rapport à un repère R galiléen exprimé au point A sera noté :

$$\{C_{(S/R)}\} = \begin{Bmatrix} m \overrightarrow{V_{GS/R}} \\ \overrightarrow{\sigma_{AS/R}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} m \overrightarrow{V_{GS/R}} \\ \overrightarrow{\sigma_{AS/R}} = m \overrightarrow{AG} \wedge \overrightarrow{V_{AS/R}} + \overrightarrow{J_A}(S, \overrightarrow{\Omega_{S/R}}) \end{Bmatrix}_{(x,y,z)} \quad \overrightarrow{J_A} = \text{opérateur d'inertie de } S \text{ en } A$$

Le torseur dynamique $\{D_{S/R}\}$ du mouvement d'un solide S par rapport à un repère R galiléen exprimé au point A sera noté :

$$\{D_{(S/R)}\} = \begin{Bmatrix} m \overrightarrow{\Gamma_{GS/R}} \\ \overrightarrow{\delta_{AS/R}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} m \overrightarrow{\Gamma_{GS/R}} \\ \overrightarrow{\delta_{AS/R}} = \left[\frac{d}{dt} \overrightarrow{\sigma_{A(S/R)}} \right]_R + m \cdot \overrightarrow{V_{AS/R}} \wedge \overrightarrow{V_{GS/R}} \end{Bmatrix}_{(x,y,z)}$$

L'énergie cinétique d'un solide S dans son mouvement par rapport à un repère R galiléen exprimé au point A sera noté :

$$T_{(S/R)} = \frac{1}{2} \{C_{(S/R)}\} \otimes \{v_{(S/R)}\} = m \overrightarrow{V_{GS/R}} \cdot \overrightarrow{V_{AS/R}} + \overrightarrow{\Omega_{S/R}} \cdot \overrightarrow{\sigma_{AS/R}}$$