

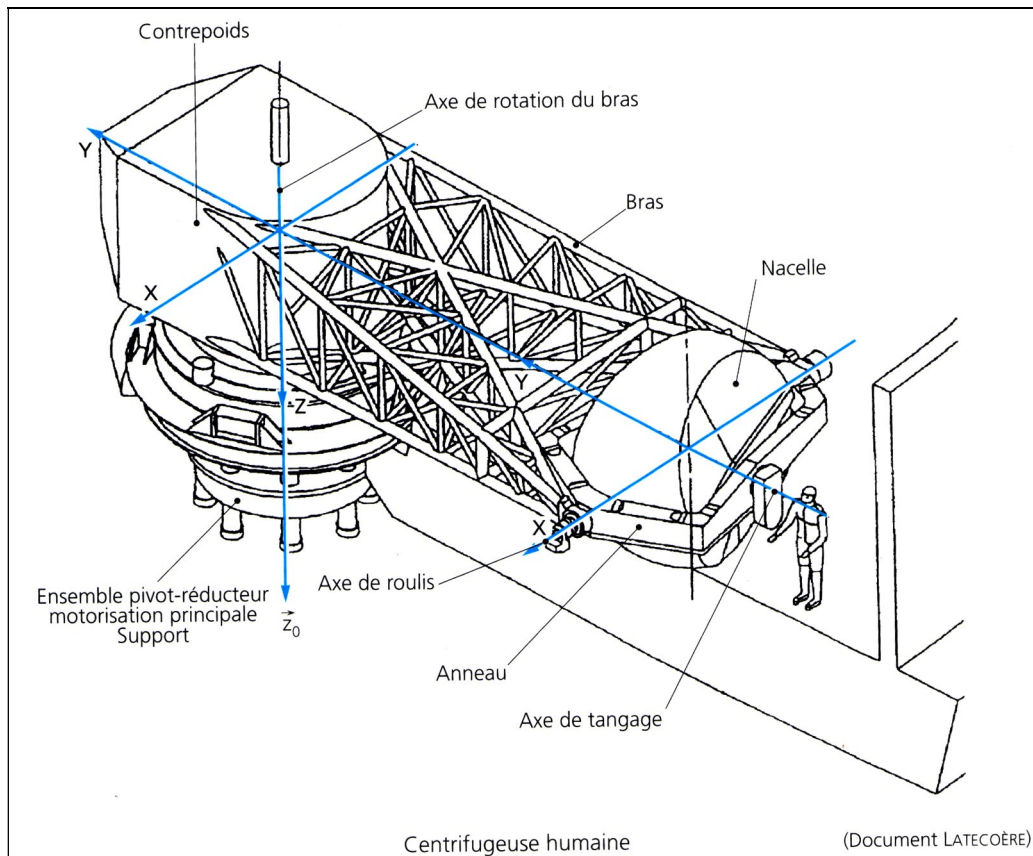
CENTRIFUGEUSE HUMAINE

(CCP 2003)

Présentation

L'élargissement du domaine de vol des avions de combat modernes soumet les pilotes de chasse à des niveaux d'accélération de plus en plus élevés. L'accélération ressentie par le pilote est généralement exprimée en « équivalent » pesanteur noté G ($1\text{ G} = 9,81\text{ m/s}^2$).

Dans le cadre de l'entraînement physiologique des pilotes, l'utilisation d'une centrifugeuse humaine est un moyen avantageux de recréer, au niveau du sol, l'accélération subie en opération. La **figure 1** présente une centrifugeuse humaine qui est service depuis 1997 au centre d'entraînement de Brétigny / Orge où l'on reconnaît une structure cinématique ouverte à quatre corps (support, bras, anneau, nacelle) assemblés par liaison pivot.

**Figure 1**

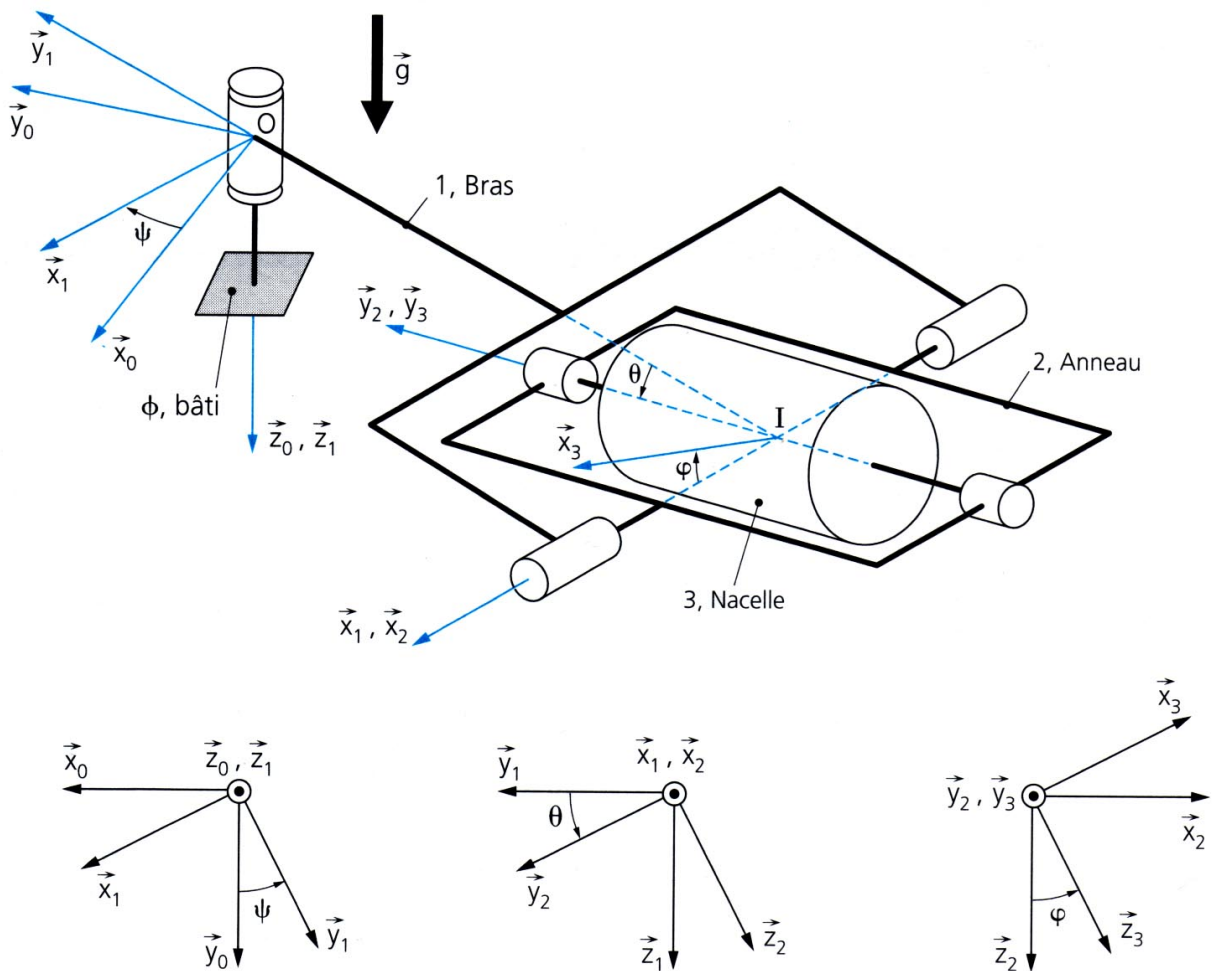
Cette conception permet de lier de façon univoque, les profils de position (ou de vitesse) relative engendrés au niveau de chaque liaison, à l'évolution temporelle des trois composantes d'accélération. Ainsi, les consignes de position ou de vitesse à appliquer aux liaisons sont directement déduites de l'accélération à reproduire. Chaque liaison est alors motorisée par un actionneur qui doit être asservi à la consigne correspondante et insensible aux perturbations (couple de pesanteur, couplages inertiels, frottements aux liaisons...). La vitesse de rotation du bras ($\omega = \dot{\psi}$) détermine

l'intensité de l'accélération imposée au pilote. L'orientation de la nacelle en roulis (θ) et tangage (φ) fixe la direction de l'accélération imposée au pilote.

La **figure 2** représente le modèle de la centrifugeuse à étudier. Elle est constituée :

- d'un bras **1** de longueur $OI = R$, en liaison pivot d'axe (O, \vec{z}_0) par rapport à un bâti Φ , sa position est paramétrée par l'angle ψ .
- d'un anneau **2** en liaison pivot d'axe (I, \vec{x}_1) et de paramètre θ par rapport à l'axe (O, \vec{y}_1) lié au bras **1**, θ est appelé l'angle de roulis.
- d'une nacelle **3** dans laquelle prend place le pilote, en liaison pivot d'axe (I, \vec{y}_2) et de paramètre φ par rapport à l'axe (I, \vec{x}_2) lié à l'anneau **2**, φ est appelé angle de tangage.

L'actionneur de tangage est essentiellement dimensionné par les couples qu'il doit fournir durant les phases d'accélération du bras. La vitesse du bras $\omega = \dot{\psi}$ sera considérée variable.



Nota : les angles sont représentés positifs et les différents repères sont orthonormés directs.

Figure 2

1. Cinématique

1. Ecrire les torseurs cinématiques de **1/0** en **O**, **2/1** en **I** et **3/2** en **I**.
2. En déduire le vecteur vitesse $\overrightarrow{V}(I,3/0)$ du point **I** dans le mouvement de **3** par rapport à **0**.
3. Calculer le vecteur accélération $\overrightarrow{\Gamma}(I,3/0)$ du point **I** dans le mouvement de **3** par rapport à **0**.

2. Détermination de l'actionneur de tangage

Soit $R_0 = (O, \overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$, le repère lié au bâti Φ . Ce repère sera considéré comme galiléen.

Soit $I(I,3) = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{B_2}$ la matrice d'inertie en **I** de la nacelle **3**, exprimée dans la base $B_2 = (\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})$.

La nacelle **3** de masse m a son centre d'inertie en **I**.

Soit C_{23} le couple suivant l'axe $(I, \overrightarrow{y_3})$ exercé sur la nacelle **3** par le moteur de tangage installé sur l'anneau **2**.

Performance à vérifier

Le moteur de lacet entraîne l'ensemble en rotation à la vitesse $\omega = \dot{\psi} \neq cte$. Les angles de roulis θ et de tangage φ **doivent rester constants**. Pendant la phase d'accélération ou de décélération, l'objectif est de déterminer le couple moteur de tangage C_{23} permettant de conserver ces orientations.

4. Justifier la forme de la matrice d'inertie $I(I,3)$: matrice d'inertie de solide 3 en **I**.
5. Donner les termes A , B et C de cette matrice d'inertie en fonction du rayon r , de la hauteur h et de la masse m de la nacelle.
6. Tracer le graphe de liaisons du mécanisme en indiquant les efforts entrants en jeu.
7. Déterminer la **démarche de résolution** pour déterminer le couple moteur C_{23} . Indiquer quel(s) solide(s) isoler, quel(s) théorème(s) utiliser et sur quelle base projeter. *Indice : il faut se débarrasser des inconnues dans les liaisons !*
8. Calculer le moment cinétique du solide **3** au point **I** dans son mouvement par rapport au repère galiléen R_0 .
Donner son expression en projection sur la base $B_2 = (\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})$.
9. Calculer le moment dynamique du solide **3** au point **I** dans son mouvement par rapport au repère galiléen R_0 .
Donner son expression en projection sur la base $B_2 = (\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})$.
10. En déduire l'expression du couple moteur C_{23} en fonction des données.