

## Dynamique du point : Centrifugeuse humaine LATECOERE



### Définition du besoin

Les avions modernes sont capables de fournir de fortes accélérations et des variations très brusques d'accélération qui provoquent la diminution de la pression sanguine dans le cerveau, ce qui peut entraîner des troubles de vision parfois accompagnés de perte de connaissance momentanée du pilote.

Pour prévenir ces pertes de connaissance, pour sauver à la fois l'avion et le pilote, il est nécessaire d'entraîner les pilotes de chasse dans des centrifugeuses modernes qui recréent artificiellement ces accélérations élevées avec des mouvements appropriés de rotation.

### Description des centrifugeuses Latécoère

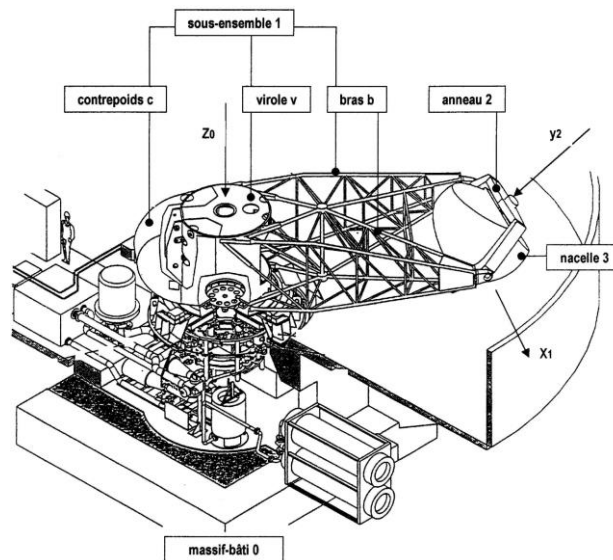
#### *Centrifugeuse des années 90 : LATECOERE 101.3*

Cette centrifugeuse a été installée en 1998 au Centre d'Essais en Vol de Bretigny-sur-Orge.

Elle comprend :

- Un bras en treillis (pour diminuer l'inertie) tournant autour d'un axe vertical et à l'extrémité duquel est montée une nacelle mobile suivant 2 axes de rotation perpendiculaires ; le mouvement de rotation de l'anneau par rapport au bras simulant le roulis de l'avion, et le mouvement de rotation de la nacelle par rapport à l'anneau simulant le tangage de l'avion.

- Un ensemble de motorisation.
- Une salle de contrôle attenante complètement isolée pour les rayonnements électromagnétiques afin de supprimer les parasites reçus ou émis, et comprenant les 4 calculateurs de mise en œuvre.
- Une série d'équipements, d'installations de tests et de surveillance du pilote semblables à ceux de la centrifugeuse 1001.



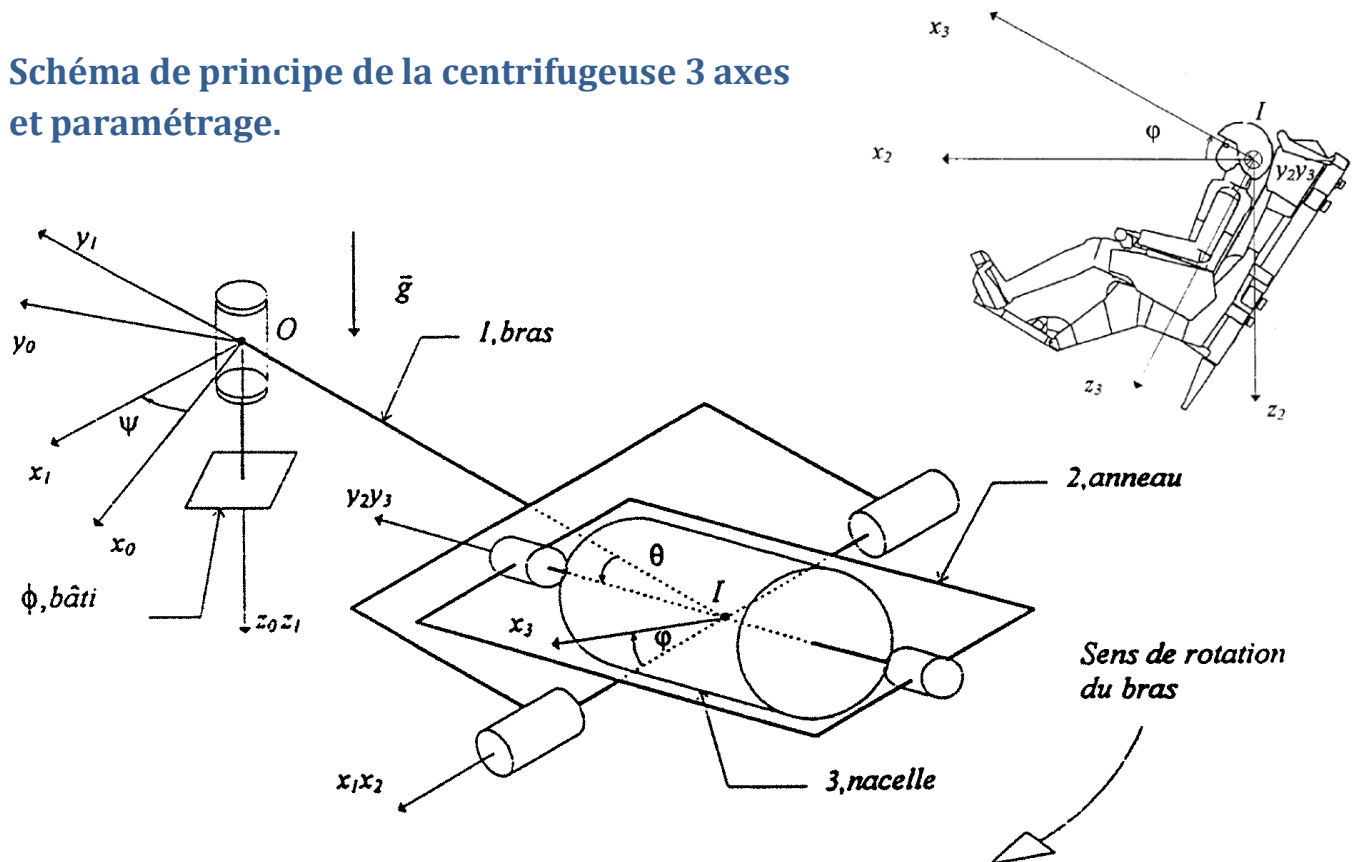
## Performances

| Caractéristiques         | CENTRIFUGEUSE<br>Latécoère 1001      | CENTRIFUGEUSE<br>Latécoère 101.3                  |
|--------------------------|--------------------------------------|---|
| Rayon du bras            | 6 m                                  | 8 m   |
| Axes commandés           | <b>2</b>                             | <b>3</b>  |
| Axe vertical             | Oui                                  | Oui   |
| Axe roulis               | Oui                                  | Oui   |
| Axe tangage              | <b>Non</b>                           | Oui   |
| Dimensions de la nacelle | 1,3 x 2 x 3,1 m (~8 m <sup>3</sup> ) | 2 x 2,6 x 3,2m (~10 m <sup>3</sup> )              |
| Accélération max.        | 10 g                                 | 15 g  |
| Vitesse de rotation max. | 0,7 tr / s                           | 0,7 tr / s  |
| Angle de roulis          | 0 – 90°                              | 0 – 90°   |
| Angle de tangage         |                                      | 0 – 360°  |
| Montée en accélération   | 6 g / s                              | 10 g / s  |
| Accélération angulaire   |                                      |   |
| Axe vertical             | 3 rad / s <sup>2</sup>               | 3,5 rad / s <sup>2</sup>                          |
| Axes roulis + tangage    |                                      | 10 rad / s <sup>2</sup><br>(Limite physiologique) |

**Objectif de l'étude :**

On s'intéresse ici aux lois de commande des motorisations pilotant les différents axes de la centrifugeuse. On cherche en particulier à retrouver analytiquement les lois de commande permettant de ne soumettre le pilote qu'à une accélération verticale selon un profil donné (profil « Suivi d'objectif »).

**Schéma de principe de la centrifugeuse 3 axes et paramétrage.**



Le bras 1 est animé d'un mouvement de rotation par rapport au bâti autour de l'axe  $(O, \vec{z}_0)$ . On note  $\psi = (\vec{x}_0, \vec{x}_1)$ .

L'anneau 2 est animé d'un mouvement de rotation par rapport au bras 1 autour de l'axe  $(I, \vec{x}_2)$ . On note  $\theta = (\vec{y}_1, \vec{y}_2)$

La nacelle 3 est animé d'un mouvement de rotation par rapport à l'anneau 2 autour de l'axe  $(I, \vec{y}_2)$ . On note  $\varphi = (\vec{x}_2, \vec{x}_3)$ .

**Q1 :** Tracer les bases planes associées aux angles d'Euler  $\psi, \theta$  et  $\varphi$ . En déduire les vecteurs rotation :  $\vec{\Omega}_{1/b\grave{a}t}$ ,  $\vec{\Omega}_{2/1}$  et  $\vec{\Omega}_{3/2}$ .

## Calcul de l'accélération « ressentie » par le pilote.

C'est l'accélération ressentie au niveau de la tête du pilote qui est le paramètre important pour l'étude des phénomènes physiologiques. Pour simplifier les lois de commande de la centrifugeuse, on installe donc le siège pilote dans la nacelle de telle façon que le point I, centre de la tête du pilote se trouve aligné sur les axes de rotation de l'anneau par rapport au bras et de la nacelle par rapport à l'anneau.

On pose  $\overrightarrow{IO} = R \cdot \overrightarrow{y_1}$

**Q2 :** Calculer le vecteur vitesse  $\overrightarrow{V}(I \in 3/0)$  du point I, centre de la tête du pilote par rapport au repère  $R_0$  lié au bâti.

**Q3 :** Calculer le vecteur accélération  $\overrightarrow{\Gamma}(I \in 3/0)$ .

Le théorème de la résultante dynamique appliqué au pilote donne, dans le repère Galiléen  $R_0$  :

$$m \cdot \overrightarrow{\Gamma}(I \in 3/0) = m \cdot \vec{g} + \overrightarrow{F}_{\text{siège} \rightarrow \text{pilote}}$$

Où  $\overrightarrow{F}_{\text{siège} \rightarrow \text{pilote}}$  est la force de réaction exercée par le siège sur le pilote.

La force « ressentie » par le pilote sur son siège s'écrit donc :

$$\overrightarrow{F}_{\text{pilote} \rightarrow \text{siège}} = -\overrightarrow{F}_{\text{siège} \rightarrow \text{pilote}} = m \cdot [\vec{g} - \overrightarrow{\Gamma}(I \in 3/0)] = m \cdot \vec{G}$$

Où  $\vec{G} = \vec{g} - \overrightarrow{\Gamma}(I \in 3/0)$  est l'accélération équivalente « ressentie » par le pilote.

**Q4 :** Projeter le vecteur  $\vec{G}$  dans le repère  $R_3$  lié à la nacelle.

Les 3 composantes obtenues représentent :

- l'accélération longitudinale  $G_x$ , ressentie par le pilote, dans les phases de freinage ou d'accélération de l'avion par exemple ;
- l'accélération latérale  $G_y$ , qui doit rester la plus faible possible car une accélération latérale de quelques g peut être mortelle ;
- l'accélération verticale  $G_z$ , pratiquement égale à l'accélération résultante. C'est à partir de cette composante, donnée dans les profils d'accélération d'entraînement des pilotes, que l'on commande la vitesse de rotation  $\dot{\psi}$  du bras.

## Recherche des Lois du Mouvement.

**Q5 :** Calculer l'inclinaison  $\theta$  de l'anneau pour que l'accélération latérale  $G_y$  « ressentie » par le pilote reste nulle.

Cette relation sera donc la loi de commande (ou consigne) de l'asservissement de position de l'anneau par rapport au bras.

**Q6 :** Montrer que dans les phases de mouvement uniforme du bras ( $\dot{\psi} = \text{constante}$ ), il n'est pas nécessaire d'incliner la nacelle par rapport à l'anneau pour conserver une accélération longitudinale  $G_x$  nulle.

**Q7 :** Justifier pourquoi l'industriel a introduit un troisième axe de rotation  $\varphi$  sur ses derniers modèles de centrifugeuse.

**Q8 :** Calculer l'inclinaison  $\varphi$  de la nacelle pour que l'accélération longitudinale  $G_x$  « ressentie » par le pilote reste nulle (calcul en fonction de  $\dot{\psi}$ ,  $\ddot{\psi}$  et  $\theta$ ). Quelle relation obtient-on lorsque le deuxième axe de rotation bras / anneau est asservi pour imposer  $G_y = 0$  ?

**Q9 :** Déterminer la loi de commande en vitesse du bras  $\dot{\psi}$  permettant de respecter un profil d'accélération  $G_z$  donné avec les hypothèses suivantes :

- le troisième axe de rotation anneau / nacelle est asservi en position initiale ( $\varphi = 0$ ).
- le deuxième axe de rotation bras / anneau est asservi pour imposer  $G_y = 0$ .

**Q10 :** Pour une vitesse de rotation constante ( $\dot{\psi} = \text{constante}$ ), déterminer la vitesse de rotation  $\dot{\psi}$  permettant de soumettre le pilote à une accélération de 9 g. La vitesse de rotation est-elle en accord avec les performances annoncées de la centrifugeuse ?