Étude d'un simulateur de vol

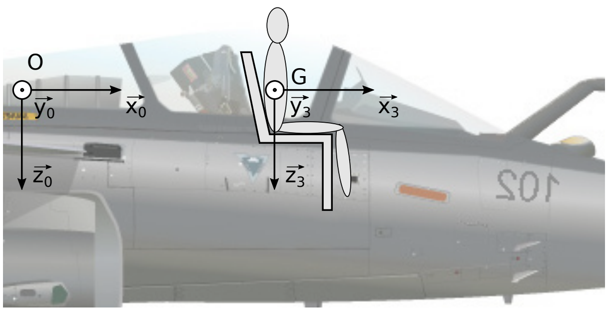
L'apprentissage du pilotage ou la qualification des pilotes sur un nouveau type d'appareil requiert de nombreuses heures de formation "en situation". A cet effet, le simulateur de vol se substitue avantageusement au vol réel, tant au niveau du coût de la formation que de l'étendue des situations qui peuvent être reproduites en toute sécurité. L'objectif de cette partie est de vérifier que le simulateur permet de reproduire correctement la phase de décollage de l'avion. Les performances de l'avion, ici un rafale en décollage sur un porte-avions, que l'on cherche à simuler sont données dans le tableau ci-dessous :

Distance pour le décollage	75 m
Vitesse de décollage	250 km/h
Vitesse de croisière	1715 km/h
Vitesse ascensionnelle	18 290 m/min

Pour l'étude dynamique proposée, on retiendra les notations et les hypothèses suivantes :

Notations :
t : variable temps
v(t) : vitesse de l'avion en fonction du temps
a : accélération de l'avion
x(t) : déplacement longitudinal de l'avion en fonction du temps

Hypothèses :
accélération constante durant la phase de décollage ;
vitesse nulle à l'origine de la phase de décollage ;
déplacement nul à l'origine de la phase de décollage.



Avion en phase de décollage sur un porte-avions

Question 1. A l'aide des données sur les performances de l'avion, calculer son accélération, notée a, pendant la phase de roulage avant le décollage et à exprimer en m/s^2 puis en nombre de g où g est l'accélération de pesanteur.

On étudie ici la simulation de cette **phase de décollage**.

Deux situations sont bien distinguées ici :

Situation 1 : Dans le véritable avion, le pilote assis sur son siège (noté 3 pour faire le lien avec les parties suivantes) ressent les effets de la pesanteur ainsi que de l'accélération de l'avion qui le plaque contre son siège. Dans cette situation, on propose le paramétrage suivant :

$$\overrightarrow{OG} = x(t)\overrightarrow{x_0} \text{ et } (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0}) = (\overrightarrow{x_3}, \overrightarrow{y_3}, \overrightarrow{z_3})$$

Situation 2 : Dans le simulateur, on met en mouvement différents éléments pour faire croire au pilote qu'il accélère. Pour accroitre le ressenti, des images sont présentées au pilote sur un écran.

Nous allons comparer ces deux situations afin de déterminer la condition à vérifier pour que la sensation d'accélération soit la plus réaliste possible.

–

On considère le pilote installé dans l'avion (***situation 1***). Le mouvement de l'avion par rapport au référentiel Galiléen $R_0 = (\overrightarrow{x_0}, \overrightarrow{y_0}, \overrightarrow{z_0})$ est une translation rectiligne d'accélération a constante. La masse du pilote est notée m et le moment d'inertie du pilote par rapport à l'axe $(G, \overrightarrow{y_3})$ est noté I_G.

Le vecteur $\overrightarrow{z_0}$ et ici la verticale **descendante**.

Le pilote est supposé se comporter comme un solide indéformable.

Question 2. Déterminer le torseur des actions de liaison entre le pilote et son siège (on considère le pilote encastré sur le siège).

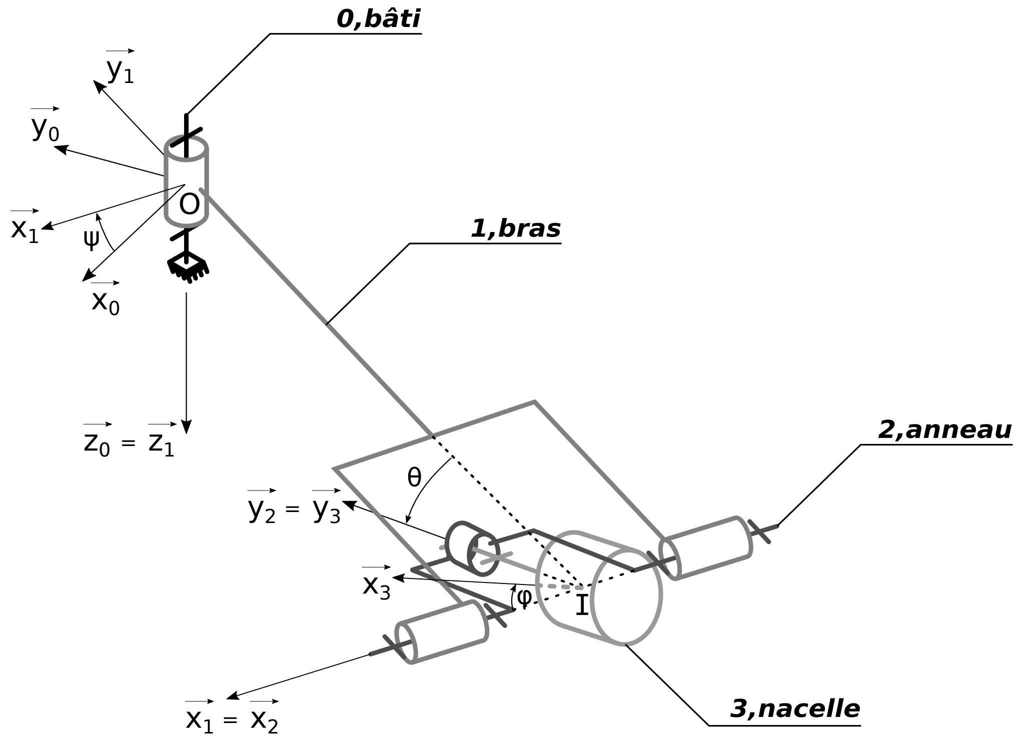
–

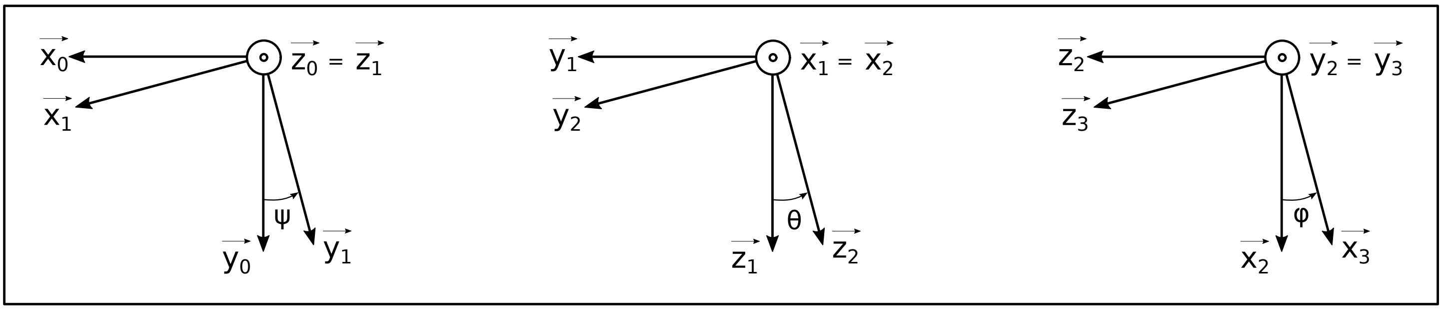
On se place maintenant dans la ***situation 2*** : le pilote est donc dans le simulateur.

Les figures ci-dessous présentent une centrifugeuse où l'on reconnaît une structure cinématique ouverte à quatre corps (support (0), bras (1), anneau (2) et nacelle (3)) assemblés par liaison pivot.

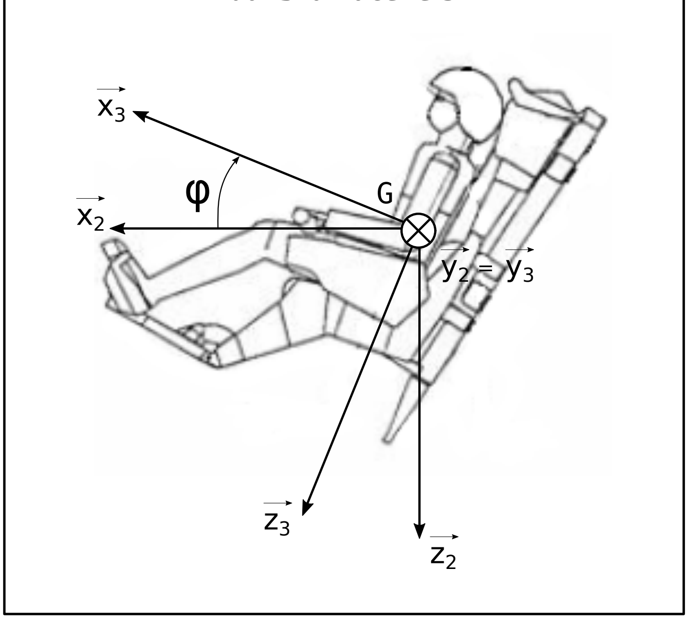
Ce simulateur est donc constitué :

- d'un bras 1 de longueur $OG = R$, en liaison pivot d'axe $(O, \overrightarrow{z_0})$ par rapport au bâti 0. Sa position est paramétrée par l'angle ψ.
- d'un anneau 2 en liaison pivot d'axe $(G, \overrightarrow{x_1})$ et de paramètre θ par rapport à l'axe $(O, \overrightarrow{y_1})$ lié au bras 1. θ est l'angle de roulis.
- d'une nacelle 3 dans laquelle prend place le pilote, en liaison pivot d'axe $(G, \overrightarrow{y_2})$ et de paramètre φ par rapport à l'axe $(G, \overrightarrow{x_2})$ lié à l'anneau 2. φ est l'angle de tangage.
- d'un pilote qui est supposé être encastré sur la nacelle 3.





Détail de la position du pilote dans la nacelle 3



Question 3. Calculer le vecteur $\overrightarrow{V}_{G\in \text{pilote}/0}$ qui est la vitesse du point G dans le mouvement du pilote par rapport à 0. Donner son expression en projection dans la base $(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$.

Question 4. Calculer le vecteur accélération $\overrightarrow{a}_{G\in \text{pilote}/0}$ en projection dans la base $(\overrightarrow{x_1}, \overrightarrow{y_1}, \overrightarrow{z_1})$.

On note $\overrightarrow{G} = \overrightarrow{a}_{G\in\text{pilote}/0} - \overrightarrow{g}$ le vecteur qui caractérise le nombre de « g » subi par le pilote au cours de l'exercice. L'accélération de la pesanteur $\overrightarrow{g}$ est telle que $\overrightarrow{g} = g\overrightarrow{z_0}$.

Question 5. Montrer que la résultante du siège sur le pilote $\overrightarrow{R}_{\text{siège}\rightarrow\text{pilote}} = \overrightarrow{R}_{3\rightarrow\text{pilote}}$ peut s'écrire $\overrightarrow{R}_{3\rightarrow\text{pilote}} = m.\overrightarrow{G}$.

Question 6. Projeter ce vecteur dans la base $(\overrightarrow{x_3}, \overrightarrow{y_3}, \overrightarrow{z_3})$ liée à la nacelle 3. On notera alors G_X, G_Y, et G_Z les composantes de ce vecteur.

On cherche tout d'abord à utiliser le simulateur en statique.

Question 7. Montrer que le choix $\theta = \psi = 0$ permet de retrouver la sensation d'un décollage (***situation 1***). Quelle sera l'accélération maximale que peut ressentir le pilote ? Conclure.

On choisit donc de mettre en rotation la centrifugeuse avec la condition $\dot{\psi} = \text{constante}$.

Question 8. En déduire la condition sur θ pour générer une composante G_Y nulle en fonction de R, g et ψ.

Question 9. Dans cette condition, calculer G_X et G_Z.

Question 10. En déduire φ et $\dot{\psi}$ pour retrouver la sensation de décollage de la ***situation 1***.

On cherche maintenant à déterminer le couple nécessaire pour mettre en mouvement la centrifugeuse. Cela correspond donc au couple C_{01} qui permet la mise en rotation de l'ensemble { 1, 2, {3,pilote} } .

On notera $I(G, \{3, \text{pilote}\}) = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & A \end{bmatrix}_{(\overrightarrow{x_2}, \overrightarrow{y_2}, \overrightarrow{z_2})}$: la matrice d'inertie de l'ensemble $\{3, \text{pilote}\}$. Cet ensemble est de masse m_{3p} et de centre d'inertie G. On négligera l'inertie de l'anneau (2). Le bras (1) possède un moment d'inertie J_1 autour de l'axe $(O, \overrightarrow{z_0})$.

Question 11. Déterminer l'équation de mouvement permettant de faire intervenir le couple moteur C_{01}. Se placer dans le cas où $\dot{\theta} = 0$ et $\dot{\varphi} = 0$.