

# Simulateur dynamique

## 1 Etude d'un simulateur trois axes

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.

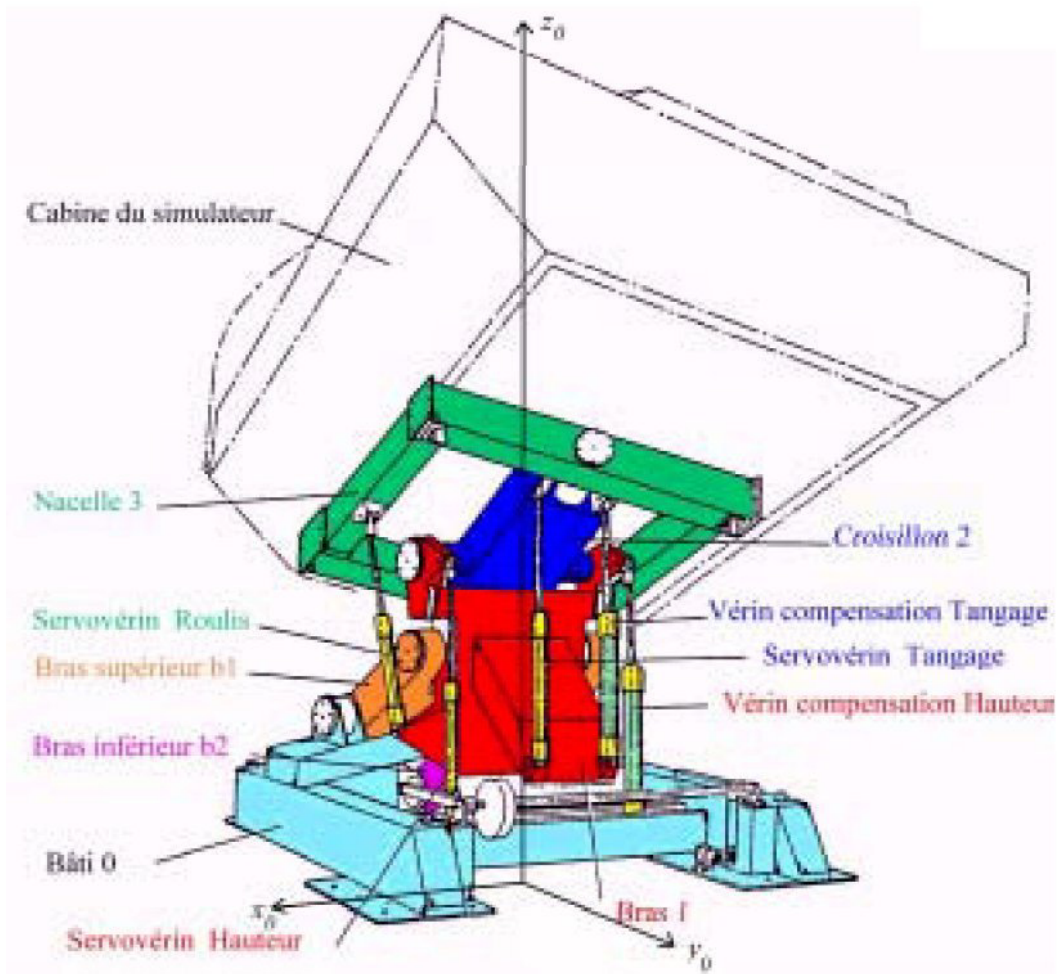


FIGURE 1 – Vue générale du simulateur.

Dans une première phase, la formation utilise des simulateurs "statiques", c'est-à-dire immobiles, qui intègrent seulement l'ensemble des interfaces homme-machine présents sur l'avion. Il est ensuite important de valider de façon plus réaliste les compétences acquises en provoquant sur le pilote les sensations d'accélération. C'est le rôle des simulateurs dynamiques.

La cinématique des simulateurs les plus complets est basée sur un hexapode (ou plateforme de Stewart) doté de 6 degrés de liberté. Une solution moins coûteuse consiste à ne retenir que les 3 degrés de liberté qui engendrent les sensations d'accélération dominantes. Ce type de simulateur constitue le support de cette épreuve.

L'architecture mécanique du simulateur est présentée sur la vue en perspective de la figure 1 du document annexe. On distingue :

- la cabine de simulateur, fixée sur la nacelle 3, qui est mobile en rotation par rapport au croisillon 2 selon l'axe dit de roulis. L'angle de roulis est fonctionnellement commandé par le servovérin de roulis.
- le croisillon 2, mobile en rotation par rapport au bras 1 selon l'axe dit de tangage. L'angle de tangage est fonctionnellement fixé par le servovérin de tangage. Un vérin de compensation de tangage produit la composante statique de l'effort nécessaire à la réalisation de l'angle de tangage désiré.
- l'ensemble le bras supérieur  $b_1$  — bras inférieur  $b_2$  — bras 1 qui réalisent avec le bâti  $\phi$  un parallélogramme déformable dans le plan vertical. Cette chaîne cinématique fermée permet d'assujettir le bras 1 à un mouvement de translation circulaire par rapport au bâti  $\phi$ . Par la configuration géométrique moyenne de ce parallélogramme, ce degré de liberté est fonctionnellement associé au positionnement en hauteur de la cabine qui est fixé par l'élongation du servovérin de hauteur. Comme pour le tangage, un vérin de compensation de hauteur permet de soulager le servovérin des efforts statiques à produire pour réaliser l'activation en hauteur du simulateur.

## 1 Étude du mouvement vertical

Le bras 1, pièce verticale destinée à assurer essentiellement la position en hauteur de la cabine est en liaison pivot en  $A_1$  avec le bras supérieur  $b_1$  d'axe  $(A_1, \vec{x}_0)$  et en liaison sphérique en  $A_2$  avec le bras inférieur  $b_2$ .

Le bras supérieur  $b_1$  est en liaison pivot d'axe  $(O_1, \vec{x}_0)$  avec le bâti  $\phi$ . On note  $\beta$  la position angulaire du bras  $b_1$  par rapport au bâti  $\phi$ .

Le bras inférieur  $b_2$  est en liaison sphérique avec le bâti  $\phi$ . Les deux bras ont même longueur  $l = O_1A_1 = O_2A_2 = 1.22 \text{ m}$ .

Le bras 1 est commandé par un vérin hydraulique, dont le corps  $C_V$  est en liaison pivot d'axe  $(O_V, \vec{x}_0)$  en  $O_V$  avec le bâti  $\phi$  et la tige  $t_V$  est en liaison sphérique en  $A$  avec le bras 1. On note  $\lambda$  la longueur du vérin  $O_VA$  et  $V = \dot{\lambda}$  la vitesse de sortie du vérin. On pose la base  $(\vec{x}_0, \vec{v}, \vec{w})$  telle que  $\vec{v}$  soit colinéaire au vérin, c'est à dire au vecteur  $\overrightarrow{O_VA}$  et l'angle  $\gamma = (\vec{y}_0, \vec{v})$ .

1. Dans quelle mesure le problème peut-il être considéré comme cinématiquement plan.
2. Déterminer les torseurs cinématiques des différentes liaisons dans le cadre d'une étude cinématique plane.
3. Montrer que le mouvement du bras 1 est un mouvement de translation circulaire. En déduire la forme du torseur cinématique de  $1/\phi$ . Quelle est la particularité du champ des vitesses ?
4. Déterminer la vitesse en  $A_1$  du bras  $b_1$  par rapport au bâti  $\phi$ . En déduire l'expression du torseur cinématique de  $1/\phi$ .
5. Écrire une relation de composition des vitesses liant les torseurs cinématiques de  $1/\phi$  et les torseurs de liaisons du vérin.
6. Réduire les torseurs en  $A$  et en déduire deux équations vectorielles.
7. Projeter cette équation sur la base qui vous semble la mieux choisie pour déterminer l'équation liant la vitesse angulaire  $\dot{\beta}$  à la vitesse de sortie du vérin  $V$  et aux paramètres géométriques.

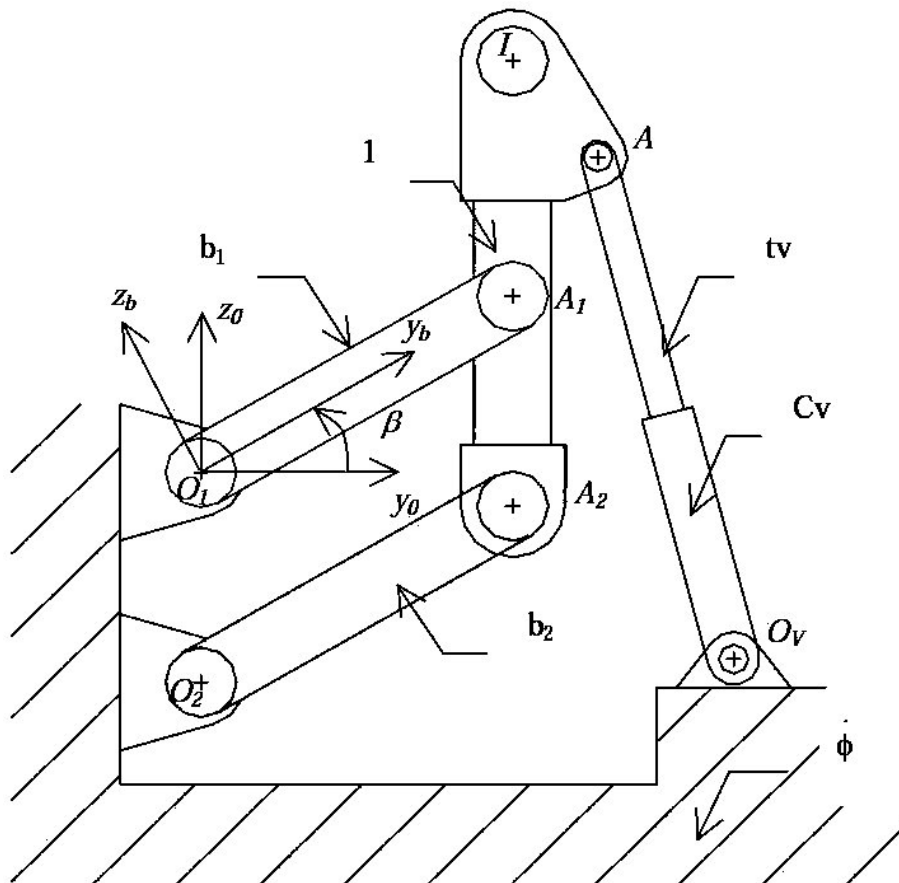


FIGURE 2 – Mécanisme de mouvement vertical.

## 2 Étude du mouvement d'ensemble de la cabine

Le mouvement du pilote est assuré par le mouvement du bras 1 (étudié dans la partie précédente), le mouvement du croisillon 2, en liaison pivot avec le bras 1 d'axe  $(I, \vec{x}_1)$  et de paramètre  $\theta$ , et le mouvement de la nacelle 3, en liaison pivot avec le croisillon 2 d'axe  $(I, \vec{y}_2)$  et de paramètre  $\psi$ .

Soit  $G$  le centre de masse du pilote installé dans la nacelle 3, tel que  $\vec{IG} = Y.\vec{y}_3 + Z.\vec{z}_3$ . On supposera que la liaison pilote-nacelle, suite aux actions du harnais de sécurité, est du type liaison encastrement.

1. Déterminer les torseurs de liaison de 2/1 et 3/2.
2. Déterminer la vitesse du point  $G$  dans le mouvement de la nacelle 3 par rapport au bâti  $\phi$ .
3. Déterminer l'accélération du point  $G$  dans le mouvement de la nacelle 3 par rapport au bâti  $\phi$ .

Ce résultat doit permettre de déterminer les consignes de mouvement des actionneurs en fonction des accélérations à appliquer au pilote, calculées par le simulateur.

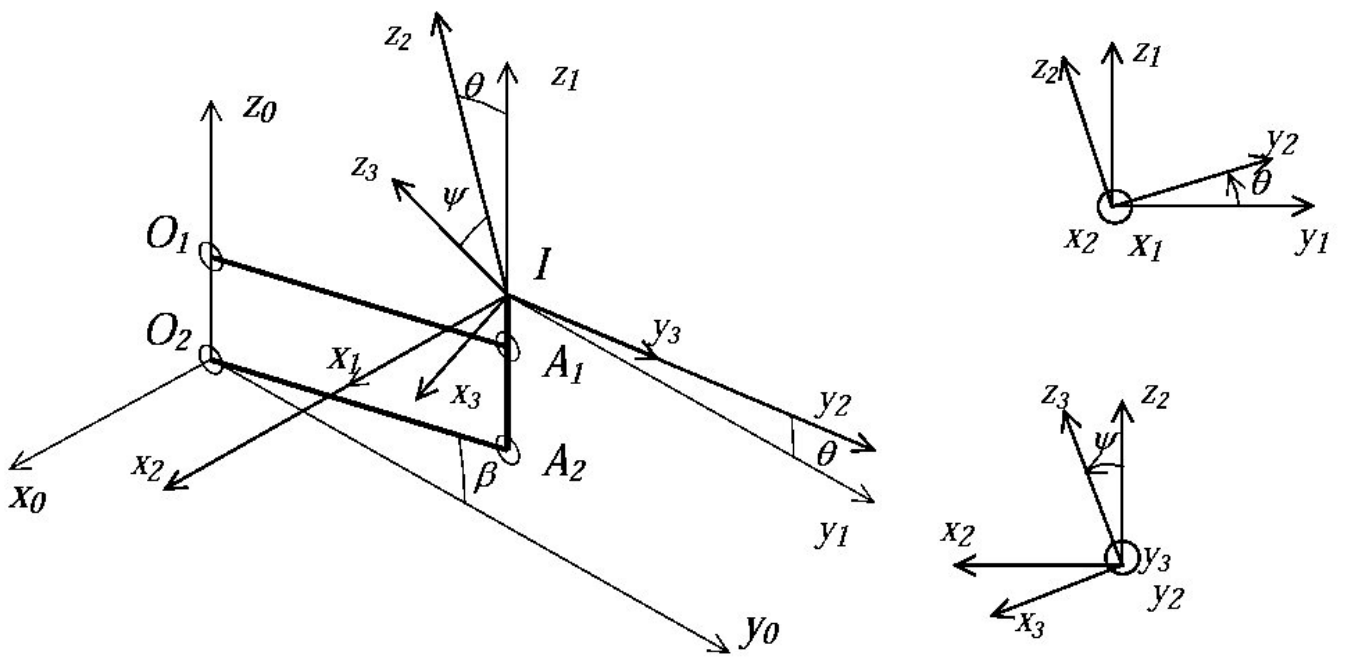


FIGURE 3 – Paramétrage du mouvement complet.