

## ETUDE DU PILOT TRAINER

### 1- Etude de l'influence de la position du centre de gravité G de l'ensemble {berceau+pilote} sur les efforts que devra fournir le pilote dans différentes phases de vol.

**Objectif :** Positionner le centre de gravité G de façon à rendre les efforts du pilote sur le manche compatibles avec les efforts en situation réelle lors de différentes phases de vol. Pour cela on étudie la fonction FT2.

#### Hypothèses de travail :

- On affecte le repère R1 au berceau et le repère R0 au châssis.
- Toutes les liaisons sont considérées comme parfaites et seuls les poids du berceau et du pilote sont pris en compte dans cette partie.
- Pour les questions 1 à 9, et pour une meilleure lisibilité, G a été volontairement placé à une très grande distance de O.
- L'étude est menée en considérant que l'utilisateur est de corpulence moyenne (masse 80 kg et 1,80 m environ).

#### 1.1 - Evolution du centre de gravité lors de manœuvres de roulis et de tangage.

Pour que l'assise du pilote soit horizontale dans des simulations de vol horizontal ou à l'arrêt, il faut que G se situe sur l'axe  $(O, \vec{z}_0)$ .

**Question 1 :** Sur le document réponse DR1, tracer (en trait continu) et identifier la trajectoire du centre de gravité G, au cours d'une manœuvre de tangage pur (sans roulis).  
DT4, DT5  
DR1

**Question 2 :** Sur le document réponse DR1, tracer (en trait interrompu) et identifier la trajectoire du centre de gravité G, au cours d'une manœuvre de roulis pur (sans tangage).  
DT4, DT5  
DR1

**Question 3 :** En situation réelle, les deux mouvements de roulis et de tangage sont combinés. Quelle est la surface sur laquelle se déplace le centre de gravité G ? Préciser ses caractéristiques géométriques.  
DT4, DT5  
Feuille de copie

**Question 4 :** Que se passerait-il si G se trouvait, en vol horizontal, sur l'axe  $(O, \vec{z}_0)$  mais au-dessus du point O ?  
DT4, DT5  
Feuille de copie

#### 1.2 - Détermination de l'effort du pilote sur le manche pour maintenir en position le berceau, à l'issue d'une manœuvre de tangage.

#### Hypothèses de travail :

1. Le plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{z}_0)$  est plan de symétrie pour la géométrie et aussi pour les actions mécaniques.
2. La direction de l'action mécanique du pilote sur le manche est supposée perpendiculaire au manche.
3. L'angle de roulis est nul et l'angle de tangage est de  $15^\circ$  en piqué.
4. Seuls les poids du berceau et du pilote sont pris en compte.

**Question 5 :** Isoler l'ensemble et faire les bilans des actions mécaniques extérieures appliquées à :

- DT4, DT9,                   • E1 : {Manche 1 + chape 5 + demi cardan droit 19}  
DT11, DT13               • E2 : {Biellette 18 + demi cardan gauche 20}  
DR2

**Question 6 :** Tracer et justifier, sur le document réponse DR2, la direction des résultantes des actions mécaniques  $\vec{C}_{21 \rightarrow E1}$ , de la noix 21 sur E1 en C, et  $\vec{A}_{4 \rightarrow E1}$ , du châssis 4 sur E1 en A.  
DT4, DT9  
DT11  
DR2

**Question 7 :** Dans une première approche, le centre de gravité de l'ensemble {berceau+pilote} a été placé à une distance de 100 mm du point O.  
DT4, DT9  
DT11  
DR2

Etudier l'équilibre de l'ensemble E3 dans la position du DR2 et déduire  $\vec{A}_{4 \rightarrow E3}$  (module, sens et direction).

**Question 8 :** Déduire de l'équilibre de E1, la valeur de l'effort que doit fournir le pilote.

DT4, DT9  
DT11  
DR2

**Question 9 :** Cette valeur vous semble-t-elle correcte au regard du Cahier des Charges Fonctionnel ?

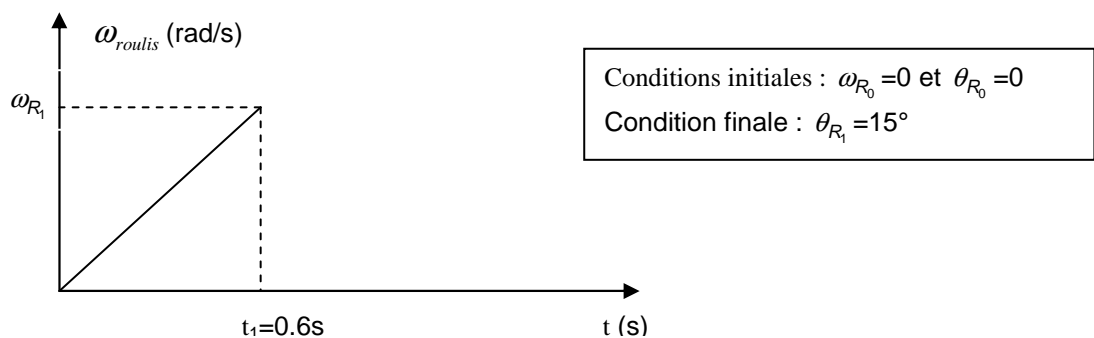
DT2  
Feuille de copie

**Question 10 :** Une simulation informatique a permis de déterminer, pour un maintien en tangage à  $15^\circ$  de l'ensemble E3, l'effort du pilote sur le manche en fonction de la position du centre de gravité G sur l'axe  $(O, \vec{z}_1)$ . Donner la valeur maximale de la cote de G sur  $\vec{z}_1$  pour que cet effort remplisse les conditions du Cahier des Charges Fonctionnel.  
DT8  
Feuille de copie

### 1.3 - Détermination de l'effort sur le manche lors d'une mise en mouvement du berceau, pendant une manœuvre de roulis.

#### Hypothèses de travail :

L'étude se fera lors d'une mise en mouvement de l'ensemble E4 : {E3+Fourche}, conférant au berceau une rotation en roulis de  $15^\circ$  et répondant au graphe des vitesses suivant :



Données :

- Les coordonnées du centre de gravité de l'ensemble E3 dans le repère R1 sont

$$\vec{OG}_{R1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -20 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad (\text{en mm}).$$

- Seuls les éléments d'inertie du berceau et du pilote seront pris en compte pour cette partie.
- Accélération de la pesanteur =  $9.81 \text{ m/s}^2$ .
- Masse de l'ensemble {pilote+berceaux} = 160 Kg.
- Toutes les liaisons sont parfaites.

- Question 11 :** Définir le mouvement de l'ensemble E4 par rapport au châssis dans la phase étudiée.  
DT5, DT10  
Feuille de copie
- Question 12 :** Ecrire les équations du mouvement de l'ensemble E4 par rapport au châssis pendant la phase de mise en mouvement. Déterminer la valeur de l'accélération angulaire et de la vitesse angulaire  $\omega_R$  atteinte en fin de phase.  
Feuille de copie
- Question 13 :** Calculer la variation d'énergie cinétique de l'ensemble E4 par rapport au bâti pendant cette phase.  
DT8  
Feuille de copie
- Question 14 :** Quelle est la seule action mécanique extérieure à E4 dont le travail est non nul ? Justifier. Représenter à l'aide d'une figure simple cette action mécanique en début et en fin de phase. Calculer alors son travail.  
DT5  
Feuille de copie
- Question 15 :** La seule action mécanique intérieure au système E4, dont le travail est non nul, est l'effort du pilote sur le manche  $\vec{M}_{Pilote \rightarrow Manche}$ . On considèrera, pour cette question, que la direction de cet effort reste colinéaire au déplacement de M que l'on assimilera à un segment de droite. Relever sur DT5 la valeur de ce déplacement et exprimer le travail de cet effort.  
DT5  
Feuille de copie
- Question 16 :** Appliquer le théorème de l'énergie cinétique et déduire la valeur de l'effort que doit fournir le pilote pendant cette phase.  
Feuille de copie
- Question 17 :** Cet effort vous semble-t-il conforme au Cahier des Charges Fonctionnel ? Sur quels paramètres peut-on agir pour diminuer encore cet effort ?  
Feuille de copie

## 2- Justifier la solution constructive de la fonction technique FT7 : Transmettre la position du berceau à l'unité centrale.

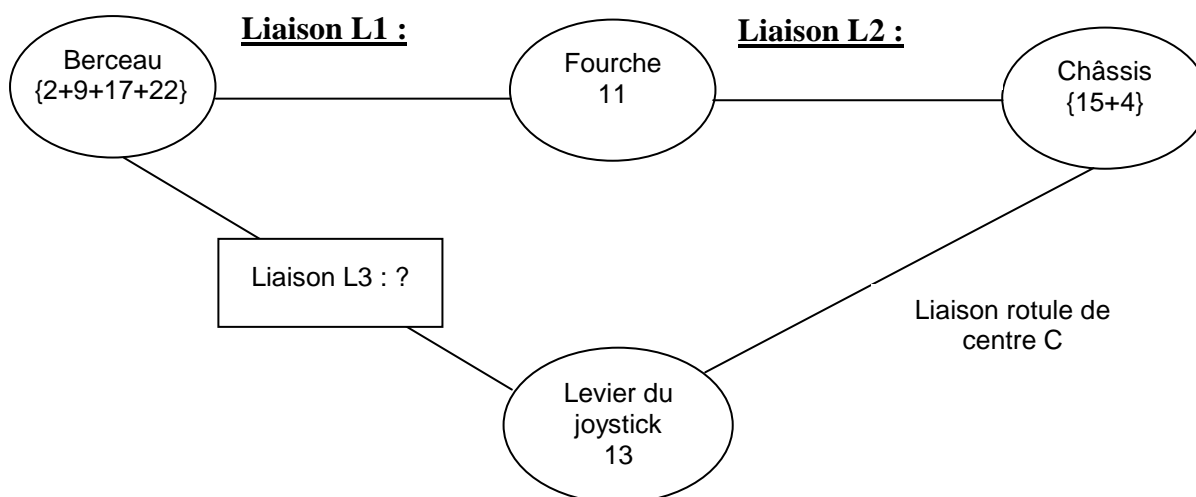
**Objectif :** Assurer la transmission de l'information de la position du berceau. Cette information passe par le joystick, fixé sur le châssis (voir DT9).

### 2.1 - Recherche des liaisons possibles entre le berceau et le levier du joystick.

**Question 18 :** A partir du dessin d'ensemble ci-dessous, indiquer la nature des liaisons L1 et L2, du graphe partiel de liaisons :

DT9

Feuille de copie



**Question 19 :** Par un calcul d'isostaticité des mécanismes et par l'approche de votre choix, calculer le nombre d'inconnues cinématiques  $I_{C3}$  de la liaison L3 entre le berceau {2+9+17+22} et le levier du joystick 13 qui rendrait le **montage isostatique**. On prendra pour cette question,  $m_u=2$  (roulis et tangage) et  $m_r=1$  (rotation propre du levier du joystick).

DT6

Feuille de copie

**Question 20 :** Indiquer deux liaisons possibles correspondant à ce nombre de degrés de liberté.

Feuille de copie

**Question 21 :** Le constructeur a choisi de réaliser cette liaison en intercalant un tube 12 entre le levier du joystick 13 et le berceau {2+9+17+22}. Après examen des surfaces de contact entre le tube 12 et la sphère 17, puis entre le tube 12 et le levier du joystick 13, établir le nouveau graphe de liaison.

Feuille de copie

**Question 22 :** En rajoutant le tube 12, on voit apparaître une nouvelle mobilité interne. Laquelle ? Vérifier que le montage est isostatique.

Feuille de copie

**2.2 - Vérification des conditions de fonctionnement de la solution constructive :**

Pour que la solution constructive choisie par le constructeur fonctionne, il faut vérifier deux critères (voir DR3):

1. Une condition de guidage Cg
2. Deux conditions de non collision :
  - Cf1 entre le tube 12 et le levier 13
  - Cf2 entre le levier 13 et la sphère 17

**Question 23 :** Faire apparaître sur le document réponse, les trois conditions fonctionnelles, pour les deux positions du point N : N1 et N2.

DR3

Feuille de copie

Préciser pour chacune des positions le risque encouru par le mécanisme.

**Question 24 :** Les conditions fonctionnelles Cf1 et Cf2 sont-elles vérifiées au regard du Cahier des Charges Fonctionnel ? Justifier.

Feuille de copie

**Question 25 :** La condition fonctionnelle Cg est-elle également vérifiée ?

Feuille de copie

DR3

Le tracé dans le plan  $(O, \vec{x}_0, \vec{z}_0)$  permet-il à lui seul de vérifier cette condition ? Justifier.

### 3- Vérification du comportement de la fourche : FT1.1.2.2. et FT1.2.2.2.

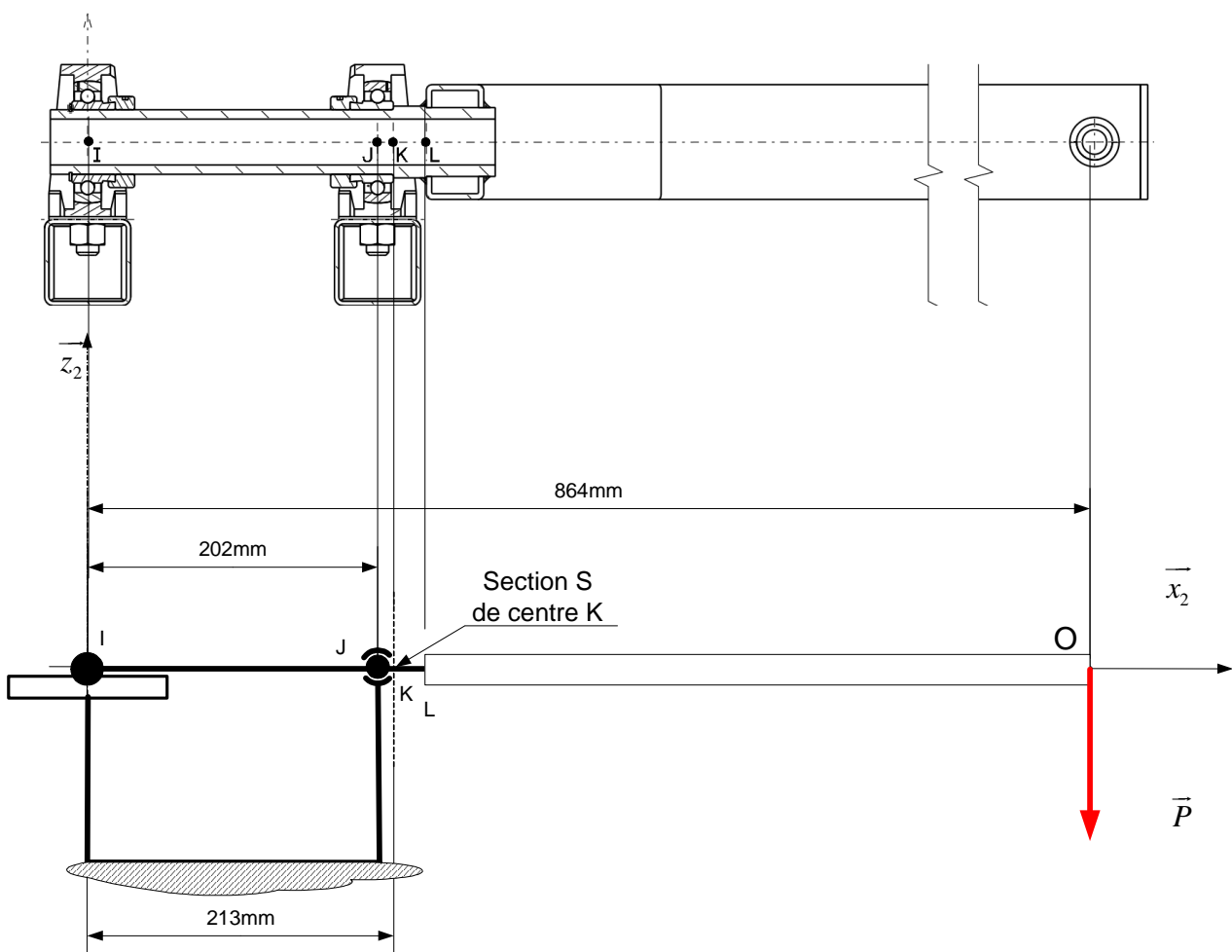
**Objectif :** Cette partie a pour objet de vérifier le comportement de la fourche compte tenu des efforts s'appliquant sur celle-ci.

**Données :**

- Le matériau de l'axe de la fourche est le 20MnV6 pour lequel  $E = 210000 \text{ MPa}$  et  $R_e = 650 \text{ MPa}$ .
- Les caractéristiques de la section **S** étudiée sont représentées sur le DT12.
- Le poids  $\vec{P}$  de l'ensemble {berceau+pilote} a pour intensité  $157 \text{ daN}$ .
- La contrainte tangentielle sera négligée dans toute l'étude.
- On utilisera, pour cette partie, un repère R2 lié à l'axe de la fourche.

#### 3.1 - Etude des contraintes dans une section particulière de la fourche.

On se propose d'utiliser le modèle simplifié suivant assimilant l'axe de pivot de fourche, entre I et L, à une poutre d'axe  $\vec{x}_2$ .



**Question 26 :** Pourquoi est-il prudent de vérifier la résistance de l'axe dans la section S ?

Feuille de copie  
DT12

**Question 27 :** Calculer les composantes du torseur de cohésion au centre K de la section S d'abscisse  $x = 213 \text{ mm}$ , dans le repère R2.

Feuille de copie  
DT12

**Question 28 :** Calculer le moment quadratique, par rapport à l'axe  $(K, \vec{y}_2)$ , de la section S (Coupe E-E).

Feuille de copie  
DT12

**Question 29 :** Calculer la contrainte normale maxi de flexion  $\sigma_{\text{maxi théorique}}$  dans la section S.

Feuille de copie

**Question 30 :** La variation de section au niveau de la section S provoque une concentration de contrainte.  
Feuille de copie DT12, DT7 Evaluer le coefficient de concentration de contrainte  $K_t$  et calculer la contrainte maximale réelle  $\sigma_{\text{maxi réelle}}$ .

**Question 31 :** Calculer le coefficient de sécurité dans cette section S.  
Feuille de copie Conclure au regard du Cahier des Charges Fonctionnel.

### 3.2 - Influence des déformations de la fourche sur le comportement du mécanisme.

On utilise un logiciel de calcul par éléments finis afin de vérifier la rigidité de l'ensemble de la fourche. En reprenant la modélisation des liaisons précédentes (rotule et linéaire annulaire), le logiciel de calcul par éléments finis ne parvient pas à effectuer son calcul car la rotation autour de l'axe de roulis ( $O, \vec{x}_2$ ), n'est pas bloquée.

Une liaison supplémentaire, n'existant pas en réalité, est donc nécessaire pour bloquer cette rotation sans fausser les résultats attendus. On admettra que seuls les déplacements verticaux seront autorisés par cette liaison virtuelle.

**Question 32 :** Sur le DR4, identifier l'élément géométrique de la fourche à lier (coloriage et/ou flèche), et  
DR4 indiquer **une** liaison possible qui permettra de lancer le calcul en cochant la (ou les) case(s) adéquate(s).

**Question 33 :** Sur le DR4, entourer la (ou les) zone(s) de déplacement maximum. Relever la valeur  $\text{Dép}_{\text{maxi}}$ .  
DR4

**Question 34 :** Ce déplacement a-t-il une influence sur la difficulté de respecter les niveaux de la fonction  
Feuille de copie FT2 du mécanisme ? Justifier.

**Question 35 :** Quelle(s) solution(s) peut-on envisager sur la fourche pour limiter cette influence ? Justifier.  
Feuille de copie