

**CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES**  
**Session 2015**

Durée 5 heures

# Corrigé

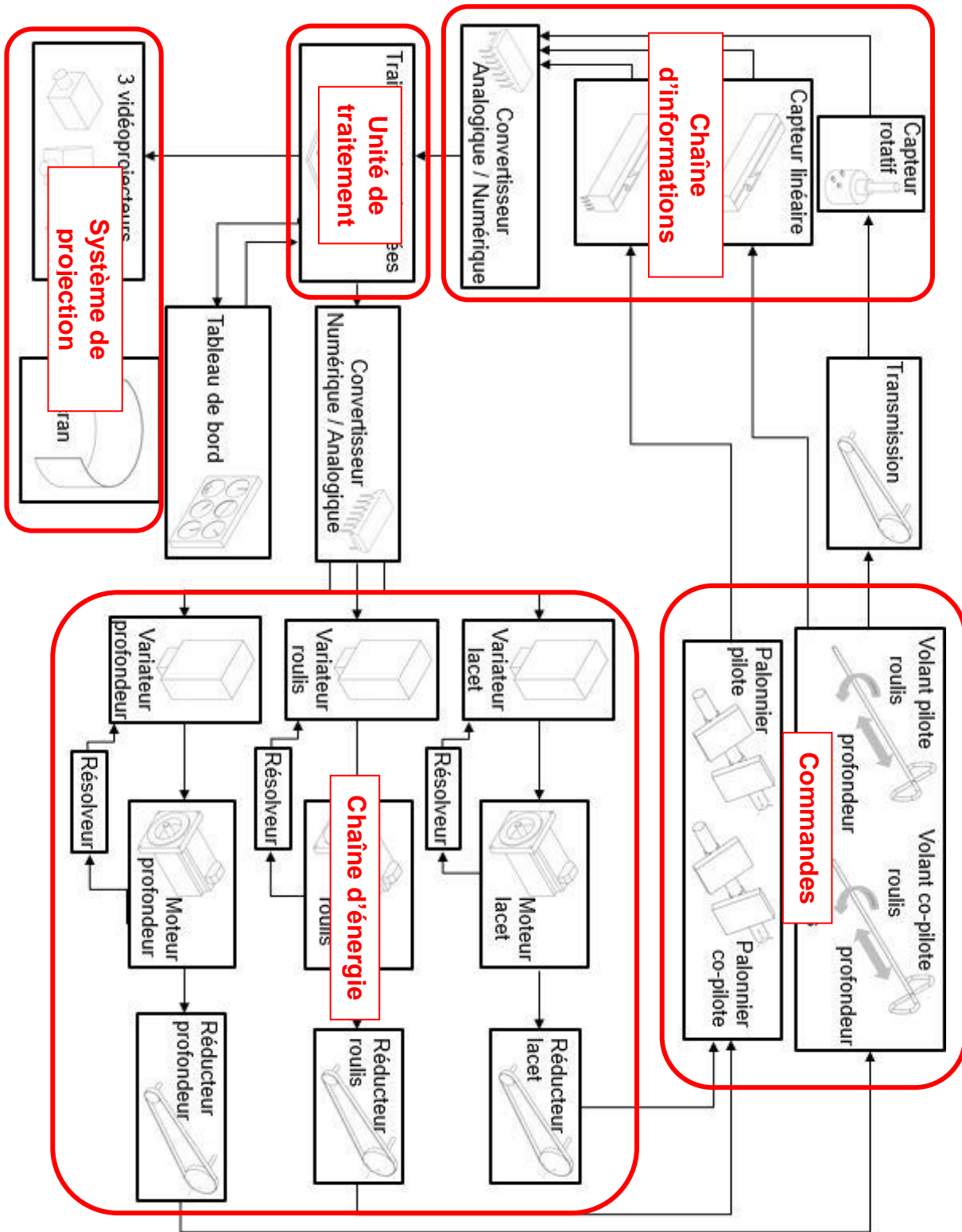


**ALX : les pieds sur terre, la tête dans les nuages**

# PARTIE 1 – ÉLÉMENTS DE CERTIFICATION D'UN SIMULATEUR DE VOL

**Question 1.** Sur le document réponse DR1 montrant la description partielle du simulateur, encadrer et indiquer les commandes, la chaîne d'informations, l'unité de traitement numérique, la chaîne d'énergie et le système de projection.

Sur document réponse DR1



**Question 2.** À partir du document technique DT1, préciser le type du simulateur ALX étudié (FNPT-I, FNPT-II ou FNPT-II MCC). Justifier votre réponse.

Il s'agit d'un simulateur de type FNPT-II MCC : présence de double commandes

**Question 3.** En considérant le schéma de principe partiel du simulateur ci-dessus, compléter le document réponse DR2 en indiquant pour chaque contrainte de la norme FNPT les sous-systèmes qui participent à la validation de la contrainte énoncée.

Sur document réponse DR2

Contraintes de la norme FNPT	Sous-systèmes contribuant à la validation de la contrainte
Les forces sur les commandes et le débattement des commandes doivent correspondre de la même manière et dans les mêmes conditions de vol à celles de l'avion ou classe d'avion simulé.	Chaîne d'énergie, unité de traitement numérique et commandes
Les effets de changements aérodynamiques pour différentes combinaisons de traînée et de traction normalement rencontrées en vol, y compris l'effet de changement d'altitude de l'avion, les dérapages... doivent être disponibles.	Unité de traitement numérique
Un système de visualisation (nuit/crépuscule ou jour) capable de fournir un champ visuel d'au moins 45 degrés sur le plan horizontal et de 30 degrés sur le plan vertical, sauf si restreint par le type d'avion, simultanément pour chaque pilote, devra être disponible.	Unité de traitement numérique et système de projection

## PARTIE 2 – RESTITUTION UNE IMAGE RÉALISTE

### Effet keystone

**Question 4.** À partir des dimensions du cône de projection et de la distance entre le projecteur central et l'écran, calculer les dimensions (hauteur et largeur) de l'image projetée sur l'écran plat. Quelle est alors la hauteur du point  $A_2$  ?

Deux méthodes possibles peuvent être envisagées : trigonométrie ou triangles semblables.

#### Trigonométrie

$$\text{Hauteur de l'image : } \tan 21,5^\circ = \frac{h/2}{3950} \Rightarrow h = 3112 \text{ mm}$$

$$\text{Largeur de l'image : } \tan 35^\circ = \frac{L/2}{3950} \Rightarrow L = 5532 \text{ mm}$$

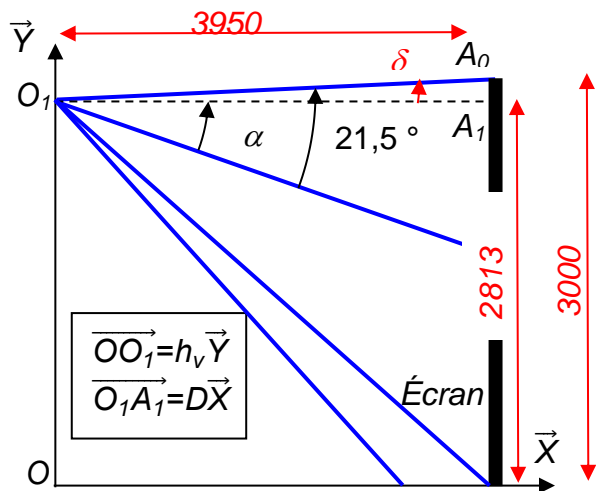
#### Par les triangles semblables

$$\text{Hauteur de l'image : } h = \frac{3950 \times 465}{590} = 3113 \text{ mm}$$

$$\text{Largeur de l'image : } L = \frac{3950 \times 826}{590} = 5530 \text{ mm}$$

$$\text{Hauteur du point } A_2 : \quad H_{A_2} = 2813 - \frac{h}{2} = 2813 - \frac{3112}{2} = 1257 \text{ mm}$$

**Question 5.** Donner l'expression littérale de l'angle  $\alpha$  dont le projecteur doit être incliné afin que cette contrainte soit respectée.



$$\tan \delta = \frac{3000 - 2813}{3950} \Rightarrow \delta = 2,7^\circ$$

$$\text{Et } \alpha = 21,5 - 2,7 = 18,8^\circ$$

**Question 6.** Calculer les distances  $O_1M_1$ ,  $O_1C_1'$  et  $O_1M_2$ .

$$\text{Distance } O_1M_1 : O_1M_1 = \frac{3950 \times \cos 21,5}{\cos 2,7} = 3679 \text{ mm}$$

$$\text{Distance } O_1C_1' : O_1C_1' = \frac{3950}{\cos 18,8} = 4172 \text{ mm}$$

$$\text{Distance } O_1M_2 : O_1M_2 = \frac{3950 \times \cos 21,5 \times \cos 16,7}{\cos 40,3} = 4615 \text{ mm}$$

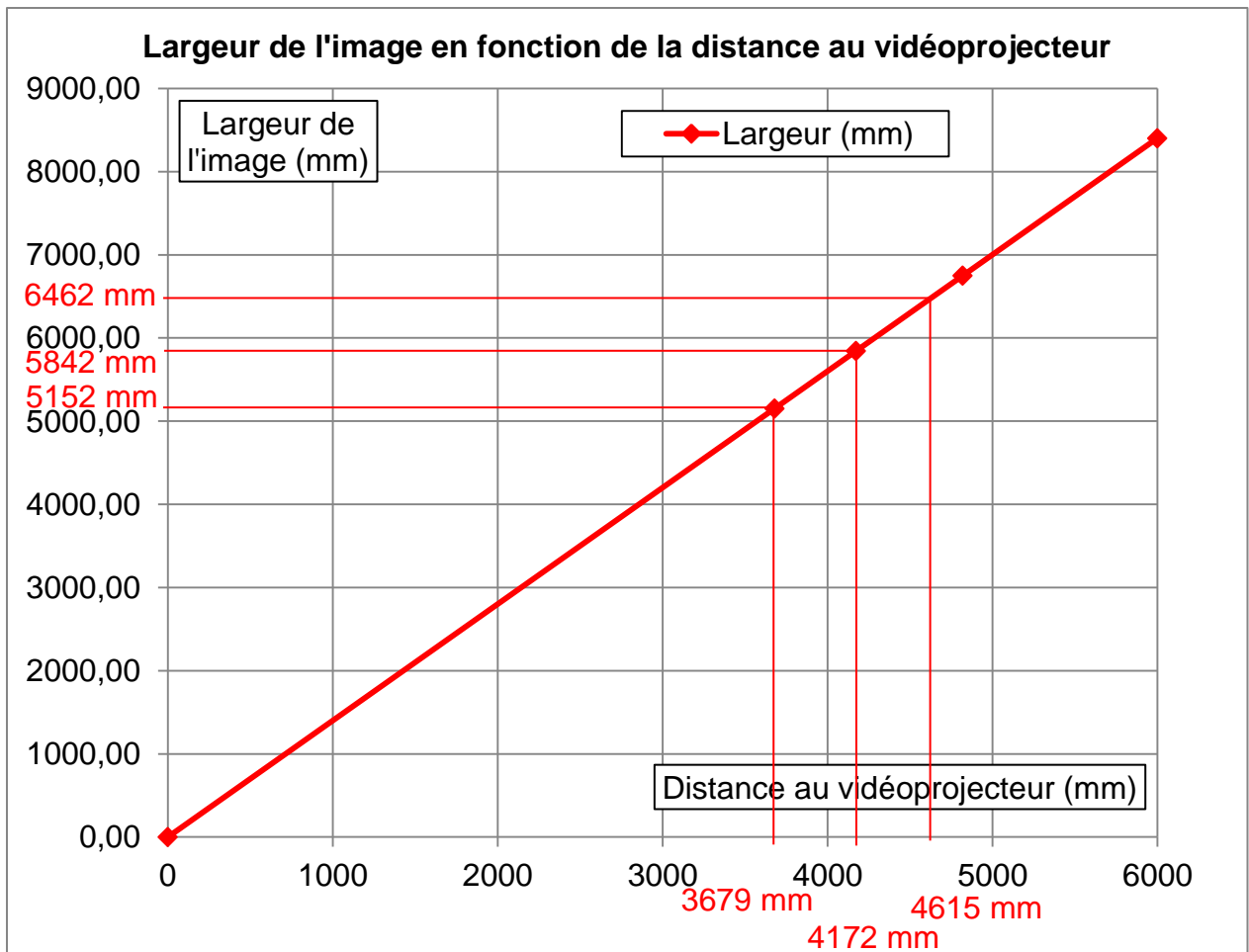
**Question 7.** Dédurre du graphique ci-dessous les largeurs d'image  $B_0'D_0'$ ,  $B_1'D_1'$  et  $B_2'D_2'$ .

**Sur le graphique**

$$\text{Largeur d'image } B_0'D_0' : B_0'D_0' = 5152 \text{ mm}$$

$$\text{Largeur d'image } B_1'D_1' : B_1'D_1' = 5842 \text{ mm}$$

$$\text{Largeur d'image } B_2'D_2' : B_2'D_2' = 6749 \text{ mm}$$



**Question 8.** Calculer la distance  $A_1C'_1$  et en déduire les hauteurs  $C_1'C_2'$  et  $C_0'C_1'$ .

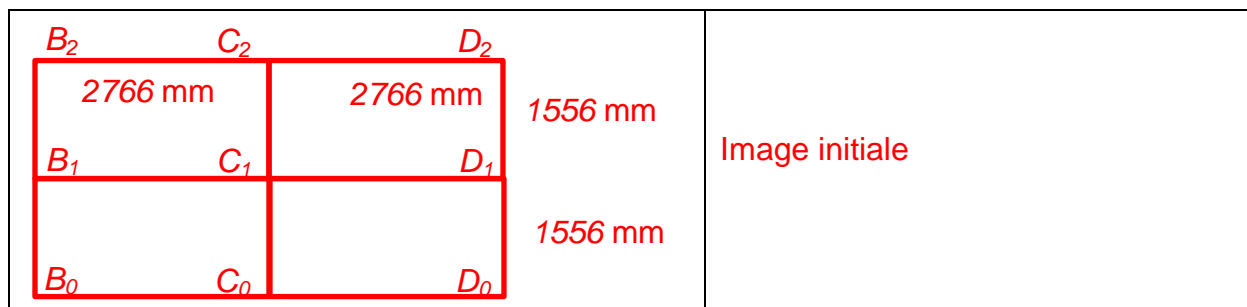
**Distance  $A_1C'_1$  :**  $A_1C'_1 = 3950 \times \tan 18,8 = 1345 \text{ mm}$

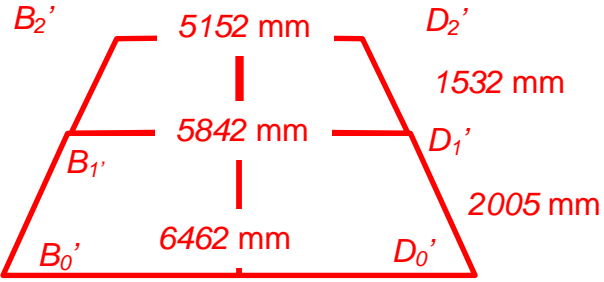
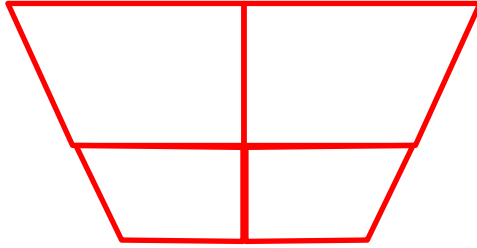
**Hauteurs d'images**

$C_1'C_2' = C_1'A_1 + A_1C'_2 = 1345 + 187 = 1532 \text{ mm}$

$C_0'C_1' = C_0'C_2' - C_1'C_2' = 3537 - 1532 = 2005 \text{ mm}$

**Question 9.** Indiquer sur un schéma la forme et les dimensions de la forme de l'image initiale et de l'image projetée. Proposer une déformation initiale de l'image afin de compenser l'effet keystone.



	Image déformée
	Proposition de déformation initiale

## Synthèse

**Question 10.** En vous aidant du document technique DT2, justifier les déformations initiales des images projetées.

L'effet keystone conduit à des images en forme de trapèze. Afin de compenser cette déformation, il convient d'adopter une déformation inversée par rapport au trapèze obtenu.

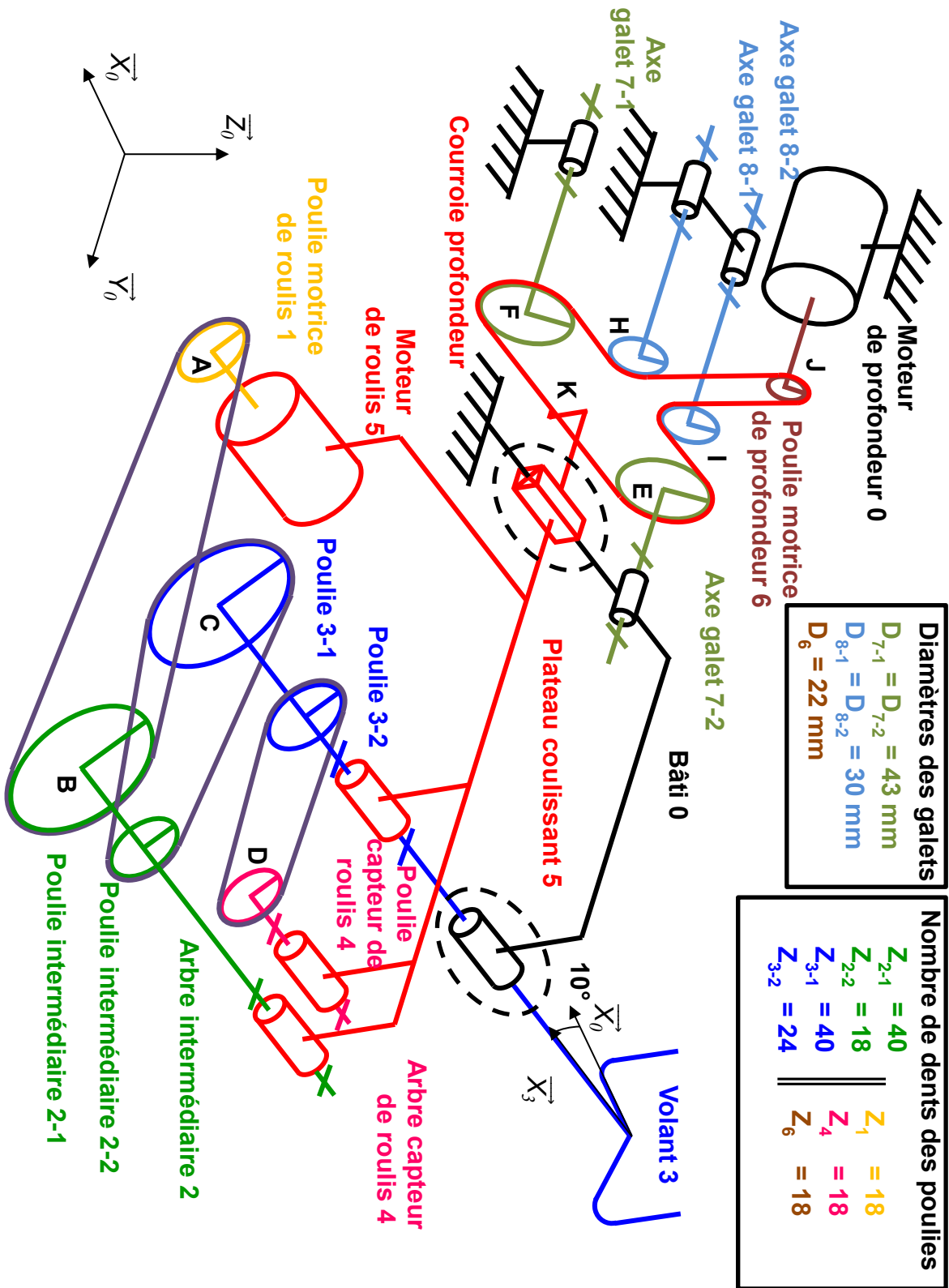
Par ailleurs, pour le vidéoprojecteur latéral, deux effets keystone vont se superposer, à cause de l'inclinaison du vidéoprojecteur autour d'un axe vertical par rapport à l'écran.

Enfin, la présence d'un écran cylindrique engendre des déformations non linéaires des images. Ces déformations restent symétriques pour le projecteur central mais deviennent asymétriques pour le projecteur latéral.

## PARTIE 3 – ACQUISITION ET CONVERSION DU MOUVEMENT EN ROULIS DU VOLANT

### Acquisition de la position du volant

**Question 11.** Sur le document réponse DR3, compléter le schéma cinématique partiel du simulateur de vol en indiquant la liaison entre le manche et le plateau coulissant et la liaison entre le plateau coulissant et le bâti.



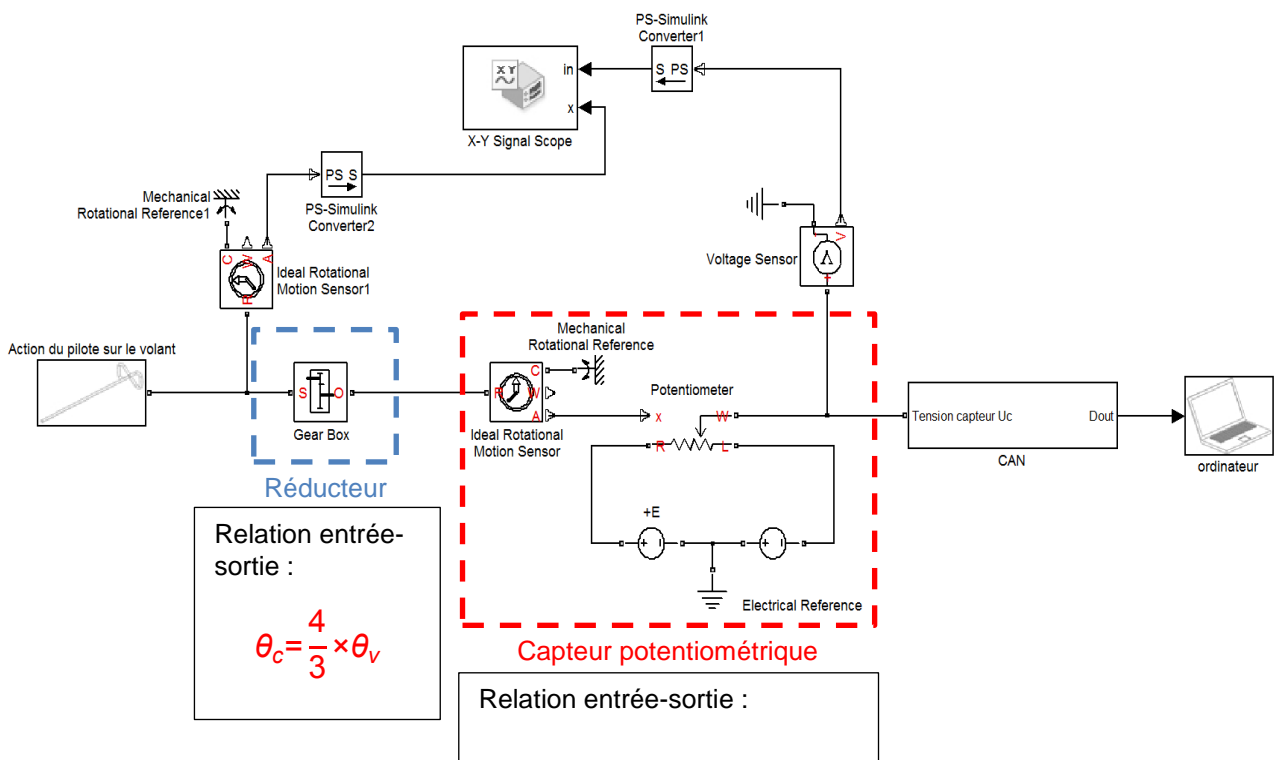
**Question 12.** À partir des caractéristiques de la transmission entre le volant (roulis) et le capteur de roulis disponible sur le document réponse DR3, déterminer la relation entre l'angle du volant  $\theta_V$  et celui du capteur  $\theta_c$ . En déduire la plage de variation angulaire au

niveau du capteur sachant que celle du volant est comprise entre  $-90^\circ < \theta_V < +90^\circ$  (volant droit correspond à  $\theta_V = 0^\circ$ ) et que la position du capteur  $\theta_c = 0^\circ$  correspond à  $\theta_V = 0^\circ$ . Indiquer la relation entrée-sortie obtenue dans le bloc correspondant du modèle multiphysique partiel du document réponse DR2.

D'après le document réponse DR3, la transmission entre le volant et le capteur de roulis est un système poulie courroie. Les poulies ont un nombre de dents de  $Z_{3-2} = 24$  et  $Z_4 = 18$ .

$$\theta_c = \frac{Z_{3-2}}{Z_4} \times \theta_V = \frac{4}{3} \times \theta_V$$

Pour une plage angulaire du volant comprise entre  $-90^\circ < \theta_V < +90^\circ$ , nous obtenons une plage de variation angulaire du capteur comprise entre  $-120^\circ < \theta_c < +120^\circ$ .



**Question 13.** À l'aide des informations du capteur de roulis sur le document technique DT4, déterminer la relation entre  $x$ , la position du curseur ( $0 \leq x \leq 1$ ), la tension  $E$  et la tension  $U_c$  en sortie du capteur.

$$U_c = \frac{R \times x}{R \times x + R \times (1-x)} \times E = x \times E$$

**Question 14.** À partir du document technique DT4, déterminer la relation entre la position du curseur  $x$  et la position angulaire en entrée du capteur  $\theta_c$  avec la position  $x = 0,5$  correspondant à  $\theta_c = 0^\circ$ . En déduire la relation entre  $\theta_c$  et  $U_c$  puis compléter la relation entrée-sortie obtenue dans le bloc correspondant du modèle multiphysique partiel du document réponse DR2.

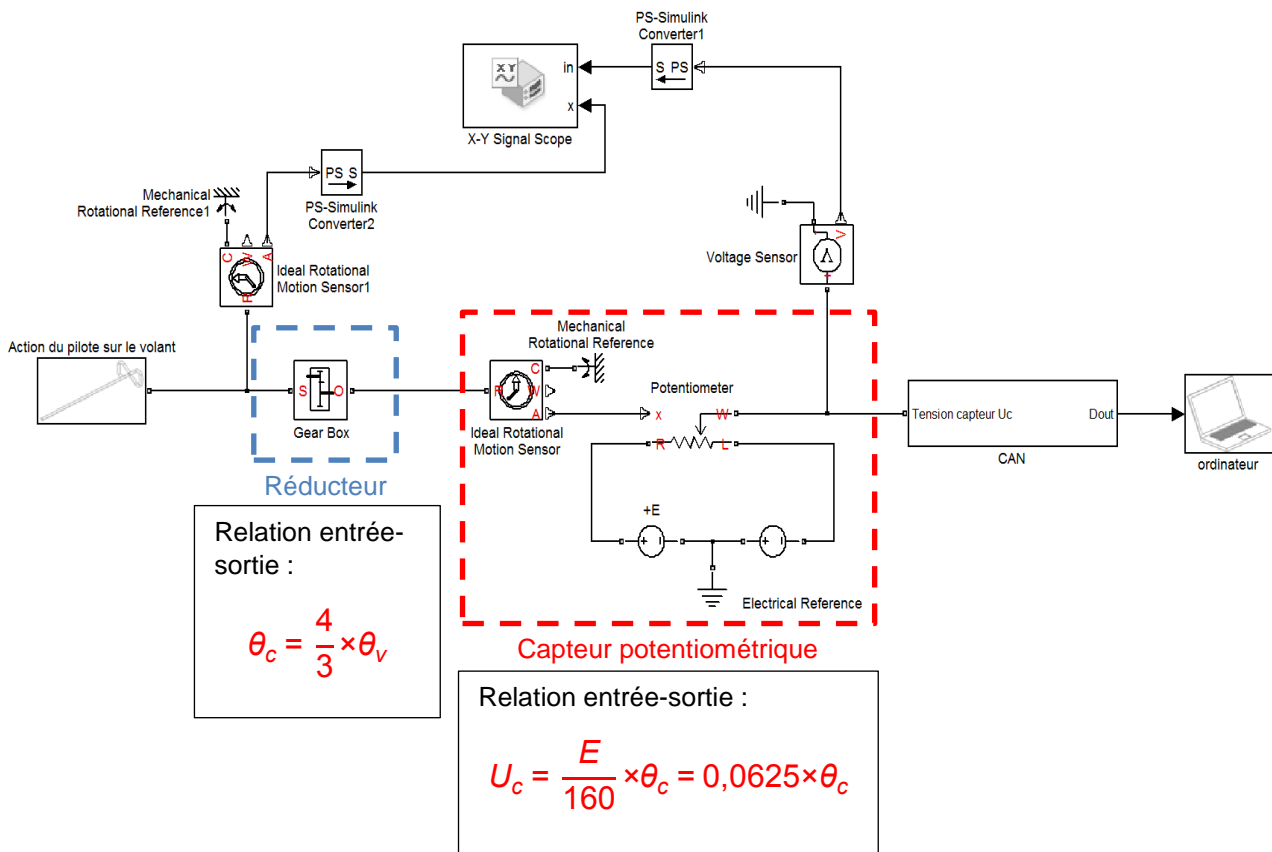


D'après de document technique DT4, la plage de variation angulaire du capteur est de 320 °. Avec la position  $x = 0,5$  correspondant à  $\theta_c = 0^\circ$ , nous obtenons :

$$\theta_c = -160 + 320 \times x \Rightarrow x = \frac{\theta_c + 160}{320}$$

donc

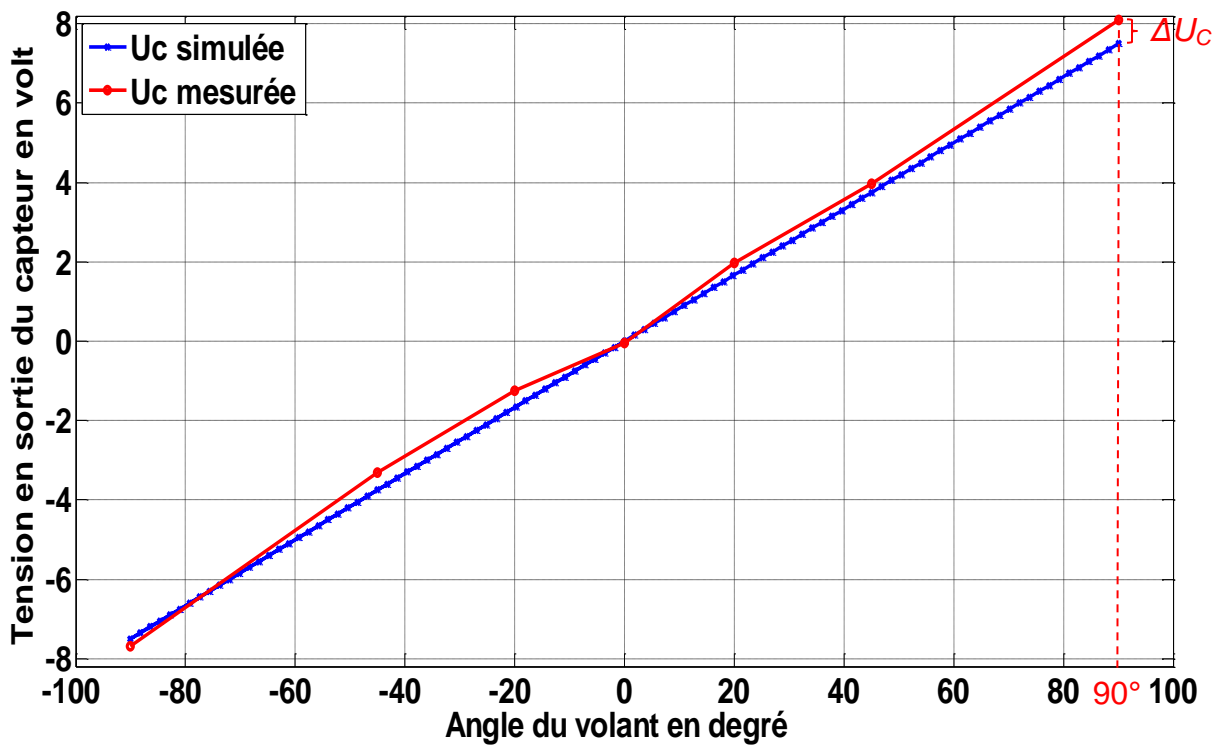
$$U_c = E \times (2 \times x - 1) = \frac{E}{160} \times \theta_c = 0,0625 \times \theta_c$$



**Question 15.** Sur le document réponse DR4 sont représentées les mesures de la tension en sortie du capteur de roulis en fonction de la position du volant, ainsi que la simulation provenant du modèle multiphysique partiel. Proposer une mise en équation globale de la chaîne d'informations avant la conversion en numérique. Comparer ensuite la mise en équation, la simulation et les mesures proposées (document réponse DR4).

$$U_c = \frac{E}{160} \times \theta_c = \frac{E}{160} \times \frac{4}{3} \times \theta_v = \frac{E}{120} \times \theta_v$$

### Mesure de la tension du capteur en fonction de la position du volant



L'écart le plus important relevé entre simulation et mesure est de  $\Delta U_C = 0,59 \text{ V}$  pour une position angulaire du volant de  $90^\circ$ . Cet écart provient de la tolérance de 15 % du capteur potentiométrique.

### Conversion en numérique de l'acquisition de la position du volant en roulis

**Question 16.** Compte-tenu de la structure fonctionnelle du système, préciser l'intérêt de traiter le problème dans le domaine numérique.

Le traitement des données est effectué dans le domaine numérique par un ordinateur contenant les modèles de vol de chaque appareil. Il est donc nécessaire de convertir les données analogiques issues des capteurs en numérique.

**Question 17.** En vous aidant du descriptif du principe de conversion ci-dessus, compléter l'algorithme du document réponse DR5.

valeur des paramètres de  $PE$ ,  $n$  et de la tension à convertir  $U$

$$U_{ref} = \frac{PE}{2}$$

pour  $i$  variant de 1 à  $n$

si  $U \geq U_{ref}$

$$b_{n-i} = 1$$

$$U_{ref} = U_{ref} + \frac{PE}{2^{i+1}}$$

sinon

$$b_{n-i} = 0$$

$$U_{ref} = U_{ref} - \frac{PE}{2^{i+1}}$$

finsi

finpour

**Question 18.** À partir du document technique DT5, déterminer la pleine échelle du convertisseur  $PE$  et son quantum  $q$ .

$$PE = FS = 10 \text{ V}$$

$$q = \frac{2 \times FS}{4096} = 4,88 \text{ mV}$$

**Question 19.** Déterminer la résolution de mesure au niveau de la tension en sortie du capteur puis au niveau de la position angulaire du manche.

$$\text{résolution}_{U_c} = q = 4.88 \text{ mV}$$

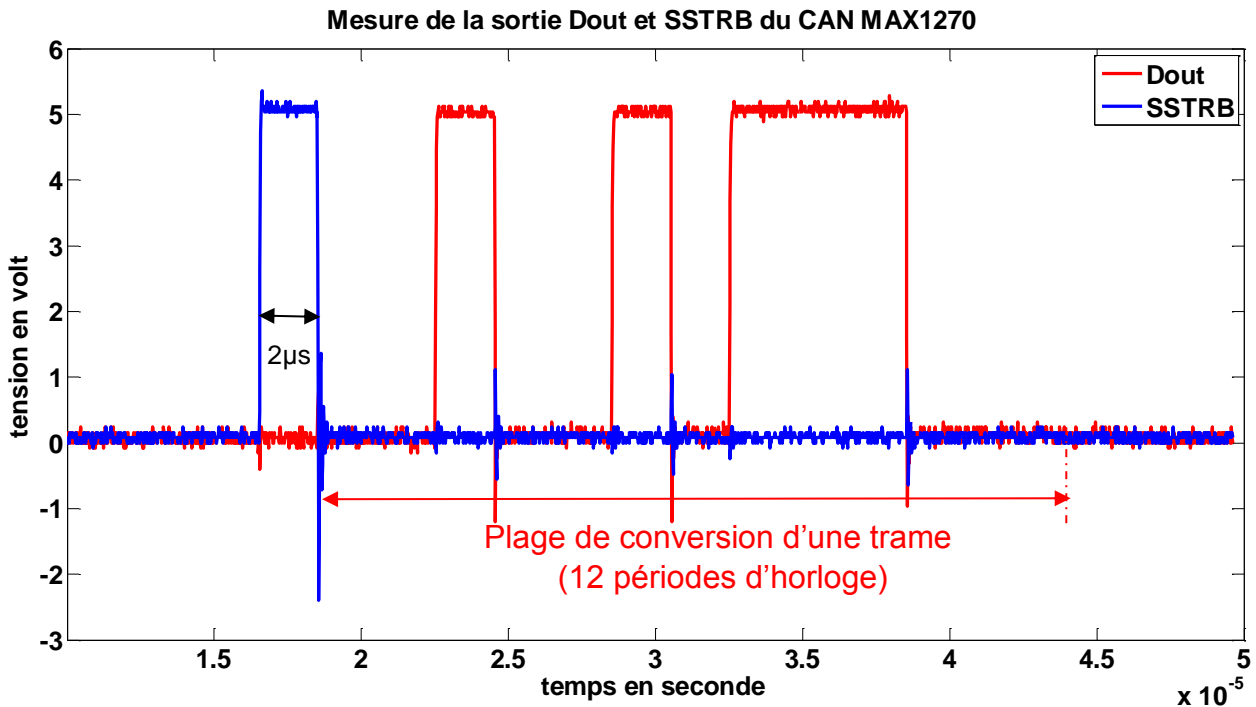
$$\text{résolution}_{\theta_v} = q \times \left(\frac{1}{12}\right)^{-1} = 0.059^\circ$$

### Calcul du temps de conversion des 8 informations

**Question 20.** À partir du document réponse DR5 et du document technique DT5, déterminer la fréquence de l'horloge externe du convertisseur  $f_{clk}$  et indiquer sur le document réponse DR5 la plage de conversion d'une trame en sortie de  $D_{out}$  correspondant à la conversion d'une information. À partir des résultats précédents et du document technique DT5, déterminer le nombre d'échantillons convertis en une seconde.

L'impulsion de SSTRB correspond à une période de l'horloge  $T_{clk} = 2 \mu\text{s}$ .

$$f_{clk} = \frac{1}{T_{clk}} = 500 \text{ kHz}$$



Pour un cycle d'acquisition et de conversion, 18 périodes d'horloge sont nécessaires, c'est à dire  $36 \mu\text{s}$ .

$$\text{Nombre d'échantillons par seconde} = \frac{1}{36 \times 10^{-6}} = 27778 \text{ échantillons} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Question 21.** À l'aide des résultats précédents et du document technique DT5, déterminer le temps d'acquisition et de conversion des 8 informations.

Pour les 8 informations provenant des différents capteurs et commandes, il faut un temps d'acquisition et de conversion de  $8 \times 36 \times 10^{-6} = 288 \mu\text{s}$ .

## Synthèse

**Question 22.** Au vu des résultats concernant l'acquisition de la position du volant, conclure quant à la résolution de l'acquisition du mouvement. Proposer une éventuelle amélioration qui permettrait d'augmenter la résolution de cette acquisition.

La résolution est suffisante ( $0,059^\circ$ ) par rapport à la sensibilité des mains humaines et afin de satisfaire la norme du simulateur.

Cette résolution peut être encore améliorée en modifiant le rapport de la transmission poulie-courroie afin de profiter de toute la plage angulaire du capteur potentiométrique ou en augmentant le nombre de bits du convertisseur analogique numérique.

**Question 23.** Compte tenu des contraintes de temps de réponse (voir document technique DT1) au niveau des images ou des retours d'efforts, indiquer si le choix de la conversion successive pose un problème de réactivité.

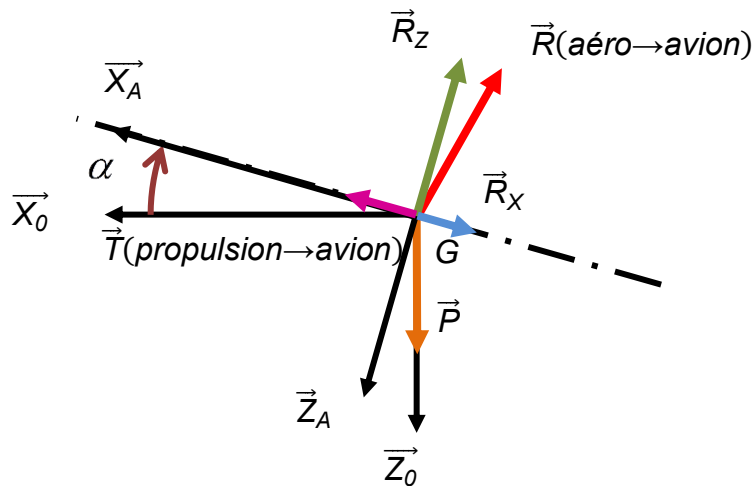
Le temps de réponse maximal entre la modification d'une commande et les effets sur le simulateur ne doit pas dépasser de 300 ms. Le temps de conversion et d'acquisition des 8 données est très inférieur à cette valeur (288  $\mu$ s), cette partie n'engendrera pas de problème de temps de réaction du simulateur.

## PARTIE 4 – PHÉNOMÈNES LIÉS À LA MISE EN VIRAGE D'UN AVION

### Vol en palier rectiligne uniforme

**Question 24.** L'avion effectue une phase de vol en palier rectiligne uniforme. Sa trajectoire est alors portée par  $(G, \vec{X}_0)$  et sa vitesse est constante. En écrivant le principe fondamental de la résultante dynamique appliqué à l'avion en projection sur  $(G, \vec{X}_0)$  et  $(G, \vec{Z}_0)$ , donner les deux équations liant  $T, R_x, R_z$  et  $\alpha$  d'une part et  $T, P, R_x, R_z$  et  $\alpha$  d'autre part.

$$\begin{cases} \text{Sur } \vec{X}_0 : T \times \cos \alpha - R_x \times \cos \alpha - R_z \times \sin \alpha = 0 \\ \text{Sur } \vec{Z}_0 : -T \times \sin \alpha - R_z \times \cos \alpha + R_x \times \sin \alpha + P = 0 \end{cases}$$



**Question 25.** Justifier que, pour une incidence  $\alpha$  faible, les équations précédentes deviennent :

$$\begin{cases} R_x = T \\ R_z = P \end{cases}$$

Pour un  $\alpha$  faible, les approximations suivantes peuvent être faites :  
 $\sin \alpha \approx 0$  et  $\cos \alpha \approx 1$

Donc

$$\begin{cases} \text{Sur } \vec{X}_0 : T - R_x = 0 \\ \text{Sur } \vec{Z}_0 : -R_z + P = 0 \end{cases} \text{ soit } \begin{cases} \text{Sur } \vec{X}_0 : T = R_x \\ \text{Sur } \vec{Z}_0 : R_z = P \end{cases}$$

## Étude simplifiée de phénomènes liés à la mise en virage de l'avion : facteur de charge

**Question 26.** Calculer la somme des moments engendrés par les deux portances au point G en projection sur  $\vec{X}_A$ . Conclure quant au mouvement de l'avion induit par ce moment.

$$\vec{M}(G, R_{Z\text{-gauche}}) \cdot \vec{X}_A = +50 \times 4,625 = 231,25 \text{ N.m}$$

$$\vec{M}(G, R_{Z\text{-droite}}) \cdot \vec{X}_A = -3880 \times 4,625 = -17945 \text{ N.m}$$

On a donc :

$$\vec{M}(G, R_{Z\text{-droite}}) \cdot \vec{X}_A + \vec{M}(G, R_{Z\text{-gauche}}) \cdot \vec{X}_A = -17713,75 \text{ N.m}$$

L'avion va s'incliner autour de l'axe de roulis dans le sens négatif.

**Question 27.** Donner l'expression du facteur de charge  $n = \frac{\|\vec{R}_Z\|}{\|\vec{P}\|}$  en fonction de l'inclinaison  $\Phi$  de l'avion autour de l'axe de roulis et indiquer les valeurs de  $n$  pour  $\Phi = 15^\circ$ ,  $\Phi = 30^\circ$  et  $\Phi = 45^\circ$ .

$$n = \frac{\|\vec{R}_Z\|}{\|\vec{P}\|} \text{ implique } n = \frac{\|\vec{R}_Z\|}{\|\vec{R}_Z\| \times \cos \Phi} = \frac{1}{\cos \Phi}$$

On obtient les valeurs suivantes :

$$\Phi = 15^\circ \Rightarrow n = 1,03$$

$$\Phi = 30^\circ \Rightarrow n = 1,15$$

$$\Phi = 45^\circ \Rightarrow n = 1,41$$

**Question 28.** En considérant que le facteur de charge a pour expression

$$n = \frac{\|\vec{R}_Z\|}{\|\vec{P}\|} = \frac{1}{\cos \Phi}, \text{ expliquer la raison pour laquelle le pilote automatique modifie la}$$

commande en profondeur (« tirer sur le volant » ) à chaque modification de la commande en roulis (rotation du volant) et le fait que l'amplitude du mouvement de la commande en profondeur doit être plus important pour un passage de  $30^\circ$  à  $45^\circ$  que pour un passage de  $15^\circ$  à  $30^\circ$ .

Pour maintenir l'altitude constante, il faut avoir  $\|\vec{R}_Z\| = \frac{\|\vec{P}\|}{\cos \Phi}$ . Si  $\Phi$  augmente, il faut que  $\|\vec{R}_Z\|$  augmente. Afin d'augmenter la portance, le pilote automatique actionne la gouverne de profondeur. La non linéarité de la progression de  $\|\vec{R}_Z\|$  est imposée par la non linéarité de la progression du facteur de charge.

## Étude simplifiée de phénomènes liés à la mise en virage de l'avion : dérapage

**Question 29.** Analyser l'évolution de la portance sur chacune des deux ailes  $R_{Z\text{-aile gauche}}$  et  $R_{Z\text{-aile droite}}$  dans le cas d'un virage en dérapage intérieur. Préciser l'évolution de l'inclinaison  $\Phi$  de l'avion qui résulte de cette modification de la

portance. Indiquer si un phénomène identique apparaît dans le cas d'un dérapage extérieur. Justifier la réponse.

**Dérapiage intérieur** : la vitesse de l'air par rapport à l'aile extérieure du virage est diminuée. La portance sur l'aile extérieure sera donc plus faible. L'angle  $\phi$  va donc augmenter (risque de mise en vrille).

**Dérapiage extérieur** : la vitesse de l'air par rapport à l'aile à l'intérieur du virage diminue. La portance sur cette aile diminue. Ce phénomène s'oppose à la mise en roulis de l'avion.

**Question 30.** En analysant les courbes du document technique DT7 issues de la simulation d'une mise en virage par le pilote automatique du simulateur, relever sur le graphe la commande actionnée par le pilote automatique permettant d'éviter le dérapage.

Le pilote automatique actionne en douceur le palonnier afin de conserver un écoulement d'air symétrique (axe longitudinal de l'avion tangent à la trajectoire).

### **Synthèse sur le comportement en vol**

**Question 31.** Préciser les commandes devant être actionnées lors d'une mise en virage à altitude constante ainsi que les raisons de leur mise en œuvre.

**Action de rotation du volant (inclinaison des ailerons)**: inclinaison de l'avion pour créer une force déviatrice afin de modifier la trajectoire de l'avion.

**Action de translation du volant (action sur la gouverne de profondeur)** : action permettant de maintenir l'altitude constante.

**Action du palonnier (action sur la gouverne de direction)** : action permettant d'éviter le dérapage de l'avion.

### **Éléments de certification du simulateur de vol : temps de réponse**

**Question 32.** Les courbes du document technique DT8 montrent la modification de la position du volant en profondeur ainsi que les efforts transmis par le moteur de profondeur sur le volant. Le délai maximum entre la modification de la position du volant et la transmission du retour d'efforts dans le volant est 300 ms. Relever sur le graphe le temps de réaction du simulateur. Conclure.

Délai de réaction sur la commande de profondeur : 28,8 ms < 300 ms.  
La norme est respectée.

**Question 33.** À l'aide du document technique DT9, indiquer le temps de réaction du simulateur ainsi que les conditions d'obtention des mesures. Conclure.

Temps de réaction commande-image pour un avion présentant une importante inertie : 220 ms < 300 ms.

Pour un avion présentant une faible inertie, le temps de réaction serait plus court. Cet aspect de la norme est donc validé pour la commande considérée. Des essais complémentaires doivent être envisagés pour les autres commandes.

## PARTIE 5 – RESTITUTION D'EFFORTS RÉALISTE DANS LE VOLANT

**Question 34.** Écrire l'équation liant le poids et l'effort de la courroie sur l'ensemble plateau en appliquant le théorème de la résultante du principe fondamental de la statique en projection sur  $\vec{X}_3$ .

Principe fondamental de la statique appliqué au plateau en projection sur  $\vec{X}_3$  :

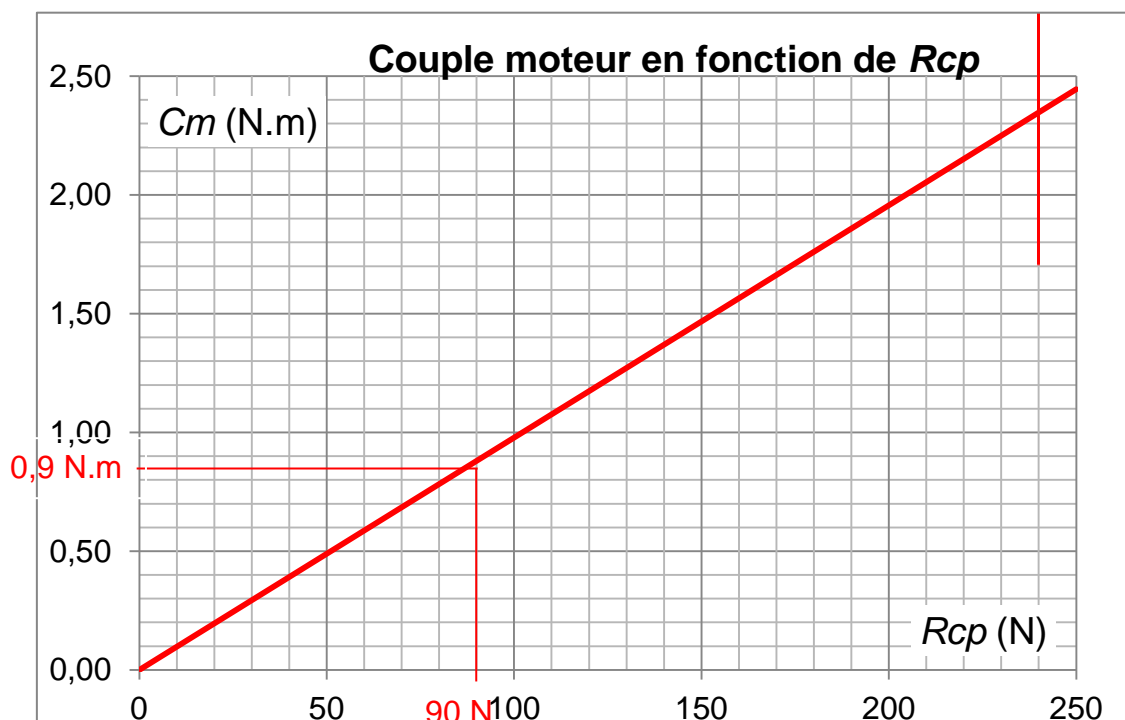
$$X_{cp} = -P \times \sin 10^\circ$$

**Question 35.** En déduire l'expression de l'effort du plateau sur la courroie :  $\vec{R}(\text{plateau} \rightarrow \text{courroie}) = R_{pc} \vec{X}_3$ . Effectuer l'application numérique donnant  $R_{pc}$ .

Principe des actions mutuelles :  $\vec{R}(\text{plateau} \rightarrow \text{courroie}) = -\vec{R}(\text{courroie} \rightarrow \text{plateau})$

$$\text{Donc } R_{pc} = +P \times \sin 10^\circ = 90,3 \text{ N}$$

**Question 36.** Relever sur le graphique ci-dessus le couple moteur nécessaire pour compenser le poids de l'ensemble plateau.



On relève  $C_m = 0,9 \text{ N.m}$

**Question 37.** Afin d'avoir un couple constant et une commande de couple simplifiée, les moteurs synchrones sont autopilotés de manière à obtenir un angle  $\psi$  constant.



Dans ce cas, vérifier la nouvelle expression du couple par rapport au courant et du comportement souhaité.

Si  $\psi = \text{constante} \Rightarrow \cos \psi = \text{constante}$

$$\Rightarrow C_m = K_c \times I_m \text{ avec } K_c = K \times \cos \psi = \text{constante}$$

L'expression du couple du moteur synchrone est dans ce cas identique à un comportement de moteur à courant continu.

## Synthèse

**Question 38.** Le couple moteur nécessaire à la compensation du poids est de 0,89 N·m. Dans l'hypothèse où le comportement du moteur synchrone autopiloté peut être modélisé par un moteur à courant continu dont la constante de couple est  $K_c = 0,96 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}$ , déterminer le courant moteur théorique nécessaire pour compenser le poids.

$$C_m = K_c \times I_m \Rightarrow I_m = \frac{C_m}{K_c} = \frac{0,89}{0,96} = 0,93 \text{ A}$$

**Question 39.** Lors de la mise sous tension du simulateur, une mesure de courant sur le système donne  $I_m = 0,95 \text{ A}$ . Justifier que cette intensité permet de vérifier le point de certification de la norme évoqué ci-dessus.

Le courant mesuré est suffisant pour compenser le poids du plateau. Cela permet d'éviter que le volant se retrouve en position la plus basse ou que le pilote ait à compenser manuellement cet effet de l'inclinaison. Ainsi, l'expérience de simulation est plus réaliste.

**Question 40.** La courbe du document technique DT8 montre l'évolution du retour d'efforts en profondeur lors d'une mise en virage de l'avion. Préciser en quoi l'utilisation d'un moteur synchrone autopiloté permet la simulation d'un retour d'efforts de profondeur réaliste au niveau du volant.

La courbe de l'effort transmis au volant en profondeur pour différentes positions du volant est bien sans ondulations de couple. L'utilisation du moteur asynchrone autopiloté permet donc de satisfaire la norme demandant un retour d'efforts au commande réaliste.

## PARTIE 6 – SYNTHÈSE

**Question 41.** Récapituler les différents points abordés dans l'étude qui contribuent à rendre réaliste l'expérience de pilotage en simulateur de vol. En considérant le document technique DT1, proposer d'autres critères qui participent à ce facteur.

L'expérience de pilotage est rendue réaliste notamment grâce à :

- la déformation initiale des images qui permet la projection d'images réalistes sur un écran cylindrique ;
- la mesure des positions des différentes commandes actionnées par le pilote en formation et la transmission de ces données pour être traitées par l'unité de traitement numérique ;
- le traitement des données acquises afin de reproduire le comportement d'un avion en vol que ce soit au niveau des images transmises ou au niveau des retours d'efforts ;
- l'acquisition et le traitement des données ainsi que la mise en place des effets produits en temps inférieur à 300 ms, délai imposé par la norme de certification ;
- la génération d'un retour d'efforts réaliste sur la commande de profondeur. Cet effort doit tenir compte des caractéristiques (géométrie et masse du plateau coulissant) du simulateur.

D'autres effets doivent être pris en compte, tels que les bruits présents dans le cockpit d'un avion, l'affichage sur le tableau de bord des mesures (altitude, bille, horizon artificiel, vitesse de l'avion, ...).