

TD 13.2 Modélisation des actions mécaniques (caractérisées, actionneurs, liaisons), Problème plan, Démarche du PFS

1. SIMULATEUR DE VOL (formation des pilotes d'aéroclub)

D'après le sujet du concours Centrale-Supélec PSI 2017

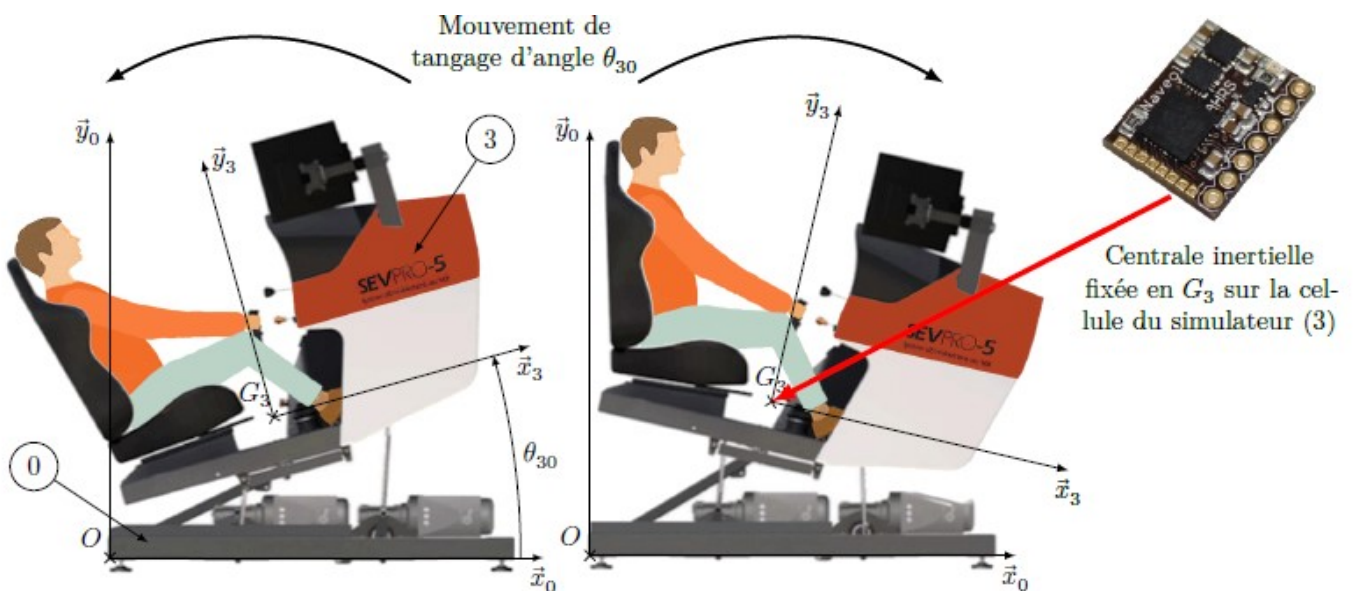


Figure 6 Mouvement de tangage de la cellule du simulateur (3) par rapport au châssis (0) de la plateforme dynamique et paramétrage associé

En se limitant à un mouvement de tangage du simulateur de vol, la commande associée peut se représenter sous la forme du schéma de la figure 9.

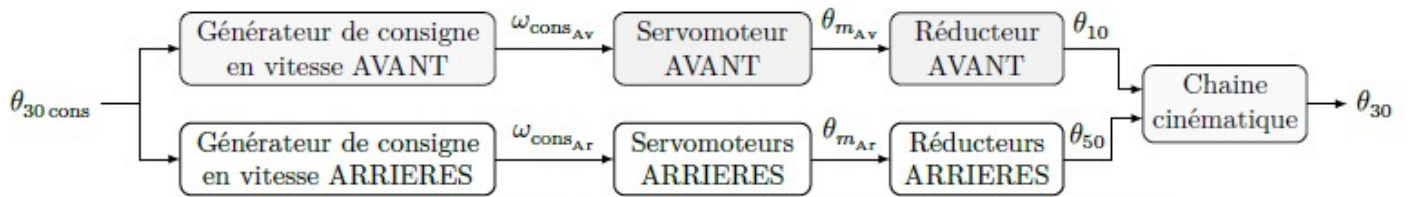


Figure 9 Schéma fonctionnel de la commande d'un mouvement de tangage

Trois dispositifs identiques permettent de déplacer dans l'espace le plan $(G_3, \vec{x}_3, \vec{z}_3)$ lié à la cellule du simulateur. En effet, les positions des 3 points **A**, **I** et **Ibis**, extrémités des bielles **2**, **4** et **4bis** sont définies par l'asservissement de 3 servomoteurs (1 à l'avant et 2 à l'arrière).

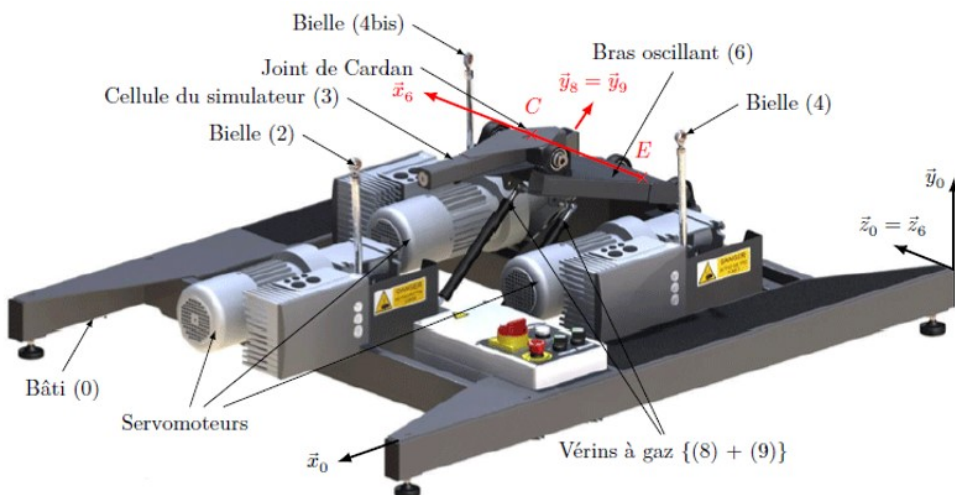
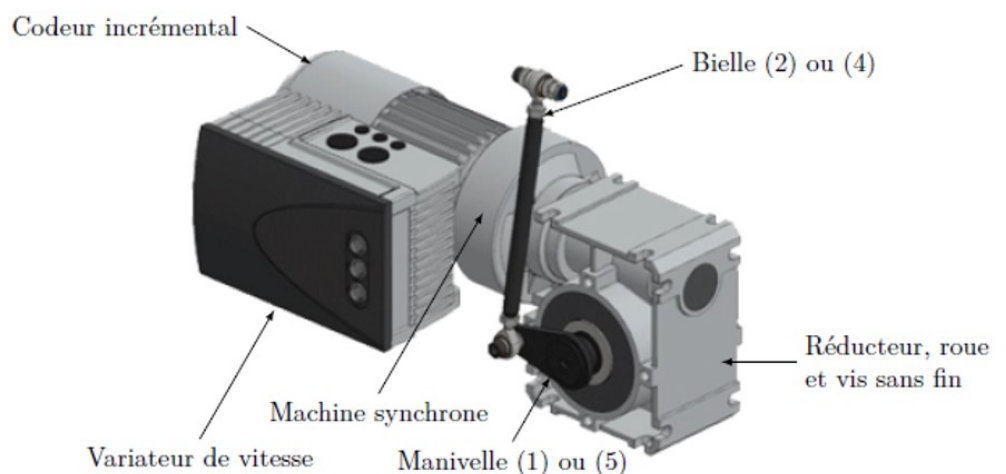


Figure A :
Plateforme dynamique équipée

Dans ce sujet, on a fait le choix de n'étudier que le tangage (figure 6), autrement dit, on a $\vec{z}_3 = \vec{z}_0$ et le système devient un problème plan selon $(G_3, \vec{x}_3, \vec{y}_3)$. On considère donc qu'il n'y a une bielle à l'avant (2) et une seule bielle à l'arrière (4).

Figure B : Servomoteur + réducteur + chaîne cinématique



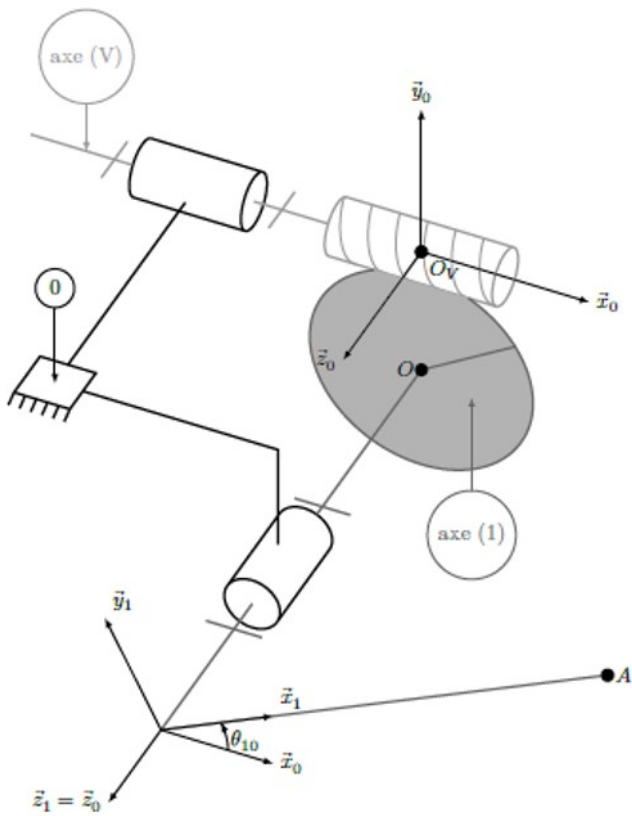


Figure C :
Modèle cinématique associé
à la figure B

(le point K, non représenté, est le contact entre la vis et la roue)

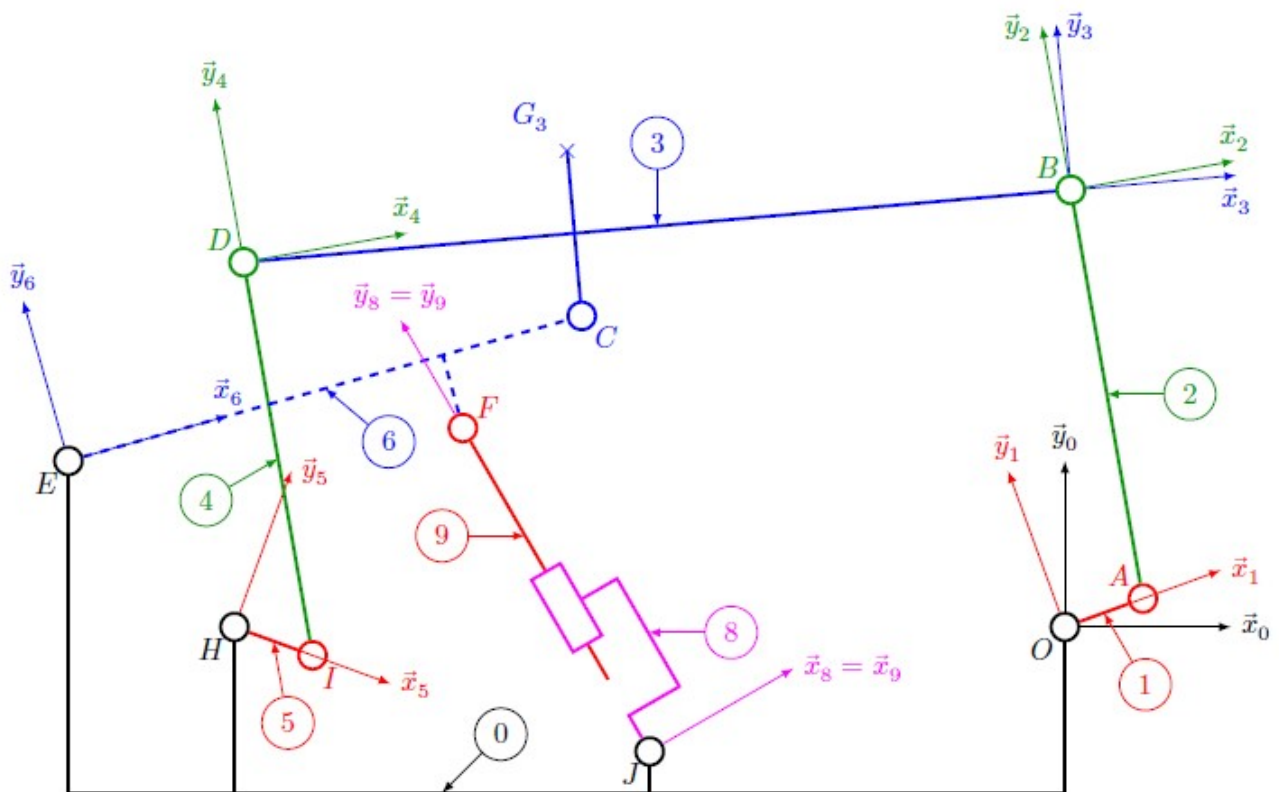


Figure D : Modèle cinématique du simulateur associé à l'hypothèse de problème plan

TD 13.2 Modélisation des actions mécaniques (caractérisées, actionneurs, liaisons), Problème plan, Démarche du PFS

Deux vérins à gaz, agissant comme des ressorts, prennent en charge une part substantielle du poids de (3). Ils sont modélisés par un unique vérin (8 + 9).

Ce choix, classique, permet de réduire les actions mécaniques à générer au niveau des actionneurs (moteur).

Définition des angles de rotation de j/i	Dimensions
	<ul style="list-style-type: none"> - $AB = ID = l$ - $\overline{EF} = d_{61}\vec{x}_6 - h_6\vec{y}_6$; $\overline{EC} = L\vec{x}_6$ - $HI = OA = r$ - $\overline{JF} = \lambda\vec{y}_{89}$ - $\overline{DC} = d_{31}\vec{x}_3 - h_3\vec{y}_3$; $\overline{CB} = d_{32}\vec{x}_3 + h_3\vec{y}_3$ - $\overline{EH} = d_{01}\vec{x}_0 - h_{01}\vec{y}_0$; $\overline{EO} = d_{02}\vec{x}_0 - h_{01}\vec{y}_0$ - $\overline{EJ} = d_{03}\vec{x}_0 - h_{02}\vec{y}_0$ - $DB = HO = d = d_{32} + d_{31} = d_{02} - d_{01}$

Etude statique de la chaîne de transmission AVANT (figure C)

Hypothèses de modélisation et notations

- Le comportement de la liaison pivot d'axe ($O, \vec{z}_0 = \vec{z}_1$) entre l'axe (1)={roue du réducteur + manivelle 1} et le bâti (0) est modélisé par les torseurs suivants :

$$\mathcal{T}_{0 \rightarrow 1} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{0 \rightarrow 1} \\ L_{01}\vec{x}_0 + M_{01}\vec{y}_0 - C_{01}\vec{z}_0 \end{array} \right\}_O \quad \text{et} \quad \mathcal{V}_{1/0} = \left\{ \begin{array}{c} \omega_{1/0}\vec{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_O$$

avec C_{01} couple positif et constant, modélisant les frottements secs au niveau du guidage entre l'axe (1) et le bâti (0) et des éléments assurant l'étanchéité, et $\omega_{1/0}$ vitesse de rotation positive.

- Le comportement de la liaison pivot d'axe (O_V, \vec{x}_0) entre l'axe (V)={rotor du moteur + vis du réducteur} et le bâti (0) est modélisé par les torseurs suivants :

$$\mathcal{T}_{0 \rightarrow V} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{R}_{0 \rightarrow V} \\ -C_{0V}\vec{x}_0 + M_{0V}\vec{y}_0 + N_{0V}\vec{z}_0 \end{array} \right\}_{O_V} \quad \text{et} \quad \mathcal{V}_{V/0} = \left\{ \begin{array}{c} \omega_{V/0}\vec{x}_0 = \omega_{m/0}\vec{x}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_{O_V}$$

avec C_{0V} couple positif et constant, modélisant les frottements secs au niveau du guidage entre l'axe (V) et le bâti (0) et des éléments assurant l'étanchéité, et $\omega_{V/0} = \omega_{m/0}$ vitesse de rotation positive.

- L'action mécanique exercée par le stator du moteur (noté mot) sur l'axe (V) est modélisée par

$$\mathcal{J}_{\text{mot} \rightarrow V} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ C_{\text{mot}} \vec{x}_0 \end{array} \right\}_{O_V}$$

avec C_{mot} couple positif.

- Compte tenu des dimensions du système ($r \ll l$), la bielle (2) reste pratiquement verticale au cours de la rotation de la manivelle de l'axe (1). L'action mécanique de la bielle (2) sur la manivelle de l'axe (1) est modélisée par

$$\mathcal{J}_{2 \rightarrow 1} = \left\{ \begin{array}{c} -F_{21} \vec{y}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_A$$

avec F_{21} force positive et constante au cours du temps.

Et $\vec{OA} = b \cdot \vec{z}_0 + r \cdot \vec{x}_1$

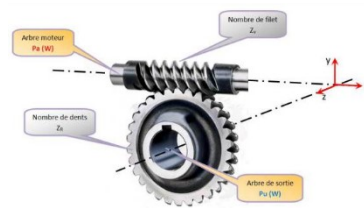
- L'action mécanique (engrènement) de la vis (V) sur la roue liée à l'arbre 1 est :

$$T_{V \rightarrow 1} : \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{V \rightarrow 1} = F_T \cdot \vec{x}_0 + F_R \cdot \vec{y}_0 + F_A \cdot \vec{z}_0 \\ \vec{M}_{V \rightarrow 1}(K) = \vec{0} \end{array} \right\}_K$$

F_T : (effort tangentiel) ;

$F_R = -F_T \cdot k_{\alpha\beta}$ (effort radial) et $F_A = F_T \cdot k_\alpha$ (effort axial)

$k_{\alpha\beta}$ et k_α : constantes connues ; r_v : rayon de la vis



K est le point de contact entre la vis et la roue. On donne $\vec{OK} = a \cdot \vec{y}_0$ et $\vec{KO}_V = r_v \cdot \vec{y}_0$

- Les actions mécaniques de pesanteur sur l'axe (V)={rotor + vis du réducteur} et sur l'axe (1) réducteur + manivelle 1} sont négligeables vis-à-vis des autres actions mécaniques.

Q1.1. Par quelle liaison normalisée pourrait-on désigner le contact entre la vis et la roue ?

Liaison ...

Q1.2. A partir des figures A, B et C, construire le graphe de structure de la chaîne de transmission AVANT.

Q1.3. Isoler 1 et déterminer toutes les inconnues d'actions mécaniques de l'extérieur sur 1 en fonction de F_{21} , du couple de frottement C_{01} et de paramètres géométriques.

Q1.4. Isoler la vis (V) et déterminer le couple moteur C_{mot} en fonction de F_{21} , des couples de frottements C_{01} et C_{0V} et de paramètres géométriques. Préciser le théorème et la projection utilisée.

Remarque : dans le sujet original, le graphe de structure est donné et les 2 isolements ne sont pas totalement demandés (trop long). Le graphe de structure est donné pour être utilisé, sans erreur du candidat, pour des questions de dynamique et d'énergétique.

Etude statique du simulateur (Figure D)

On rappelle que le problème est plan.

Q1.5. Donner le nombre d'inconnues I_S d'actions mécaniques du simulateur.

Q1.6. Donner le nombre d'équations E_S de la statique que l'on pourrait écrire.

Q1.7. Préciser le torseur d'actions mécaniques $\{T_{(3 \rightarrow 2)}\}$ dans une base bien choisie.

Q1.8. Préciser la forme minimale du torseur d'actions mécaniques $\{T_{(8 \rightarrow 9)}\}$ dans une base bien choisie. Préciser vos hypothèses.

Dimensionnement et justification de l'utilisation de vérins à gaz

Les deux vérins à gaz se comportent comme des ressorts de compression et ont pour fonction de positionner verticalement le point C de la cellule du simulateur (3) à une position d'équilibre moyenne définie par l'angle $\theta_{60\text{ moy}}$, lorsque les biellettes (2), (4) et (4bis) ne sont pas liées respectivement aux manivelles (1), (5) et (5bis). Dans cette situation et en utilisant le paramétrage de la figure C :

- $\theta_{30} = 0^\circ$ et $\overline{G_3C}$ est vertical ;
- l'action mécanique de (3) sur (6) est modélisée par un glisseur en C de résultante $-m_3 g \vec{y}_0$, avec m_3 la masse de l'ensemble {cellule du simulateur + pilote} et g l'accélération de la pesanteur ;
- l'action mécanique des deux tiges (9) sur (6) est modélisée par un seul glisseur en F de résultante $Y_{96} \vec{y}_9$;
- l'action mécanique de la pesanteur sur (6) est négligeable vis-à-vis des actions mécaniques précédentes.

Afin de dimensionner les vérins à gaz, il est nécessaire de déterminer en particulier l'effort qu'ils doivent fournir dans la position d'équilibre moyenne.

Q1.9.

Donner l'expression littérale de l'effort Y_{96} que doit fournir la paire de vérins à gaz en fonction de g , m_3 , $\theta_{60\text{ moy}}$, θ_{96} et des paramètres géométriques. Préciser le théorème et la projection utilisés.

(cette question est directement issue du sujet. C'est d'ailleurs ce type de question qui est posée)