

TD D'ENERGETIQUE : FAUTEUIL DYNAMIQUE (CENTRALE TSI 2015)

Objectifs :

✓ Vérifier les performances dynamiques d'un système

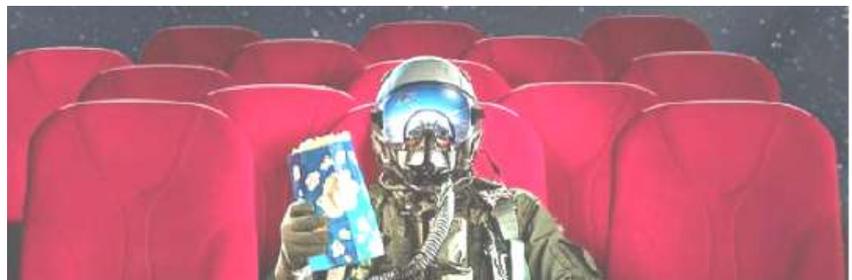
1. Présentation du système

1.1. Contexte

Ce concept a été inventé au Canada en 2008, et s'est étendu à toute l'Amérique du Nord avant de traverser l'Atlantique pour proposer un cinéma dynamique avec une quantité d'effets spéciaux et spatiaux. Le fauteuil dynamique de cinéma est principalement destiné à l'industrie du divertissement et de la simulation. Un train filant à vive allure, une poursuite à moto ou en avion de chasse dans un canyon, autant de scènes fréquentes dans le cinéma d'action du XX^{ième} siècle. Pour ressentir au mieux ces sensations, la technologie permet désormais de ressentir dans son fauteuil les différents mouvements, par de fortes vibrations et accélérations. Ce système repose sur la post-synchronisation des films. Comme pour un doublage ou un sous-titrage, les mouvements du film sont transmis au fauteuil. Le fauteuil dynamique permet de compléter la palette sensorielle offerte au spectateur afin d'accroître le réalisme de son environnement. Les mouvements qui en résultent sont parfaitement synchronisés avec le visuel à l'écran, créant ainsi une expérience immersive d'un grand réalisme. Si la plate-forme à six degrés de liberté s'est imposée dans le cas des simulateurs de vols, elle ne répond pas aux exigences plus étendues des fauteuils dynamiques. Des solutions spécifiques à un environnement de simulation aussi réaliste que possible nécessitent le recours à un système de restitution des mouvements. Le système étudié est une évolution en cours d'étude des fauteuils dynamiques actuellement commercialisés, qui s'inspire des sièges dynamiques utilisés pour l'entraînement des pilotes d'avion de chasse (voir [figure 1](#)).



Fauteuil dynamique de cinéma



Publicité annonçant l'évolution des fauteuils dynamiques



Sièges dynamiques de différents constructeurs mondiaux pour l'entraînement des pilotes d'avion de chasse

Figure 1

1.2. Mise en situation

Le siège dynamique est constitué :

- du dossieret (voir **figure 2**) qui permet d’agir directement sur la tête du spectateur afin d’amplifier la sensation d’accélération (via l’oreille interne). Le point de contact entre le dossieret et la tête du spectateur est matérialisé par le point *D*;
- de l’assise du siège (voir **figure 3**) qui permet d’obtenir un mouvement de tangage et un mouvement de roulis du spectateur.

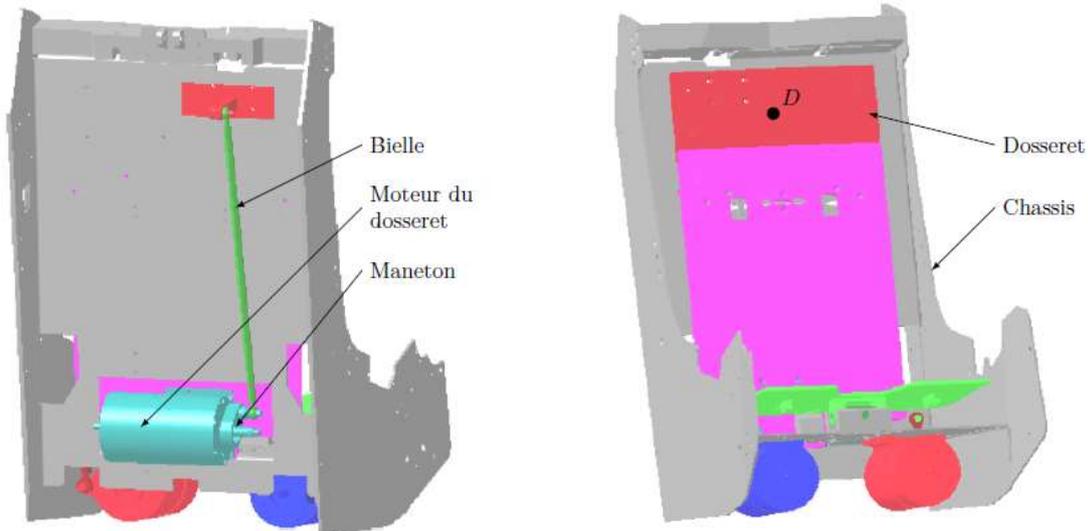


Figure 2 Dossieret

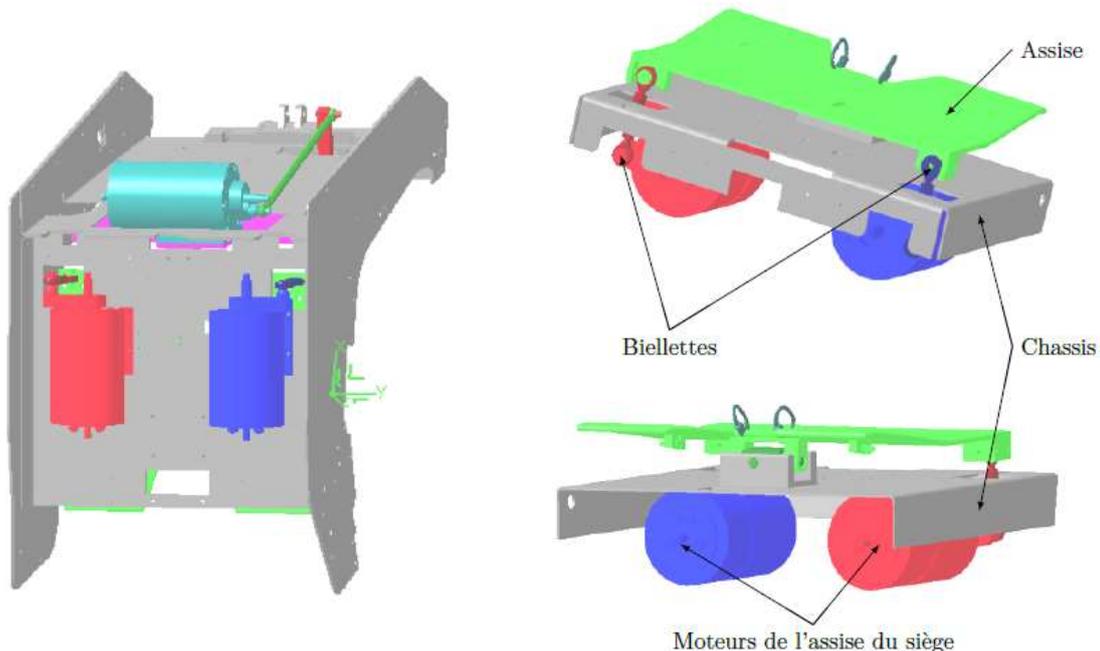
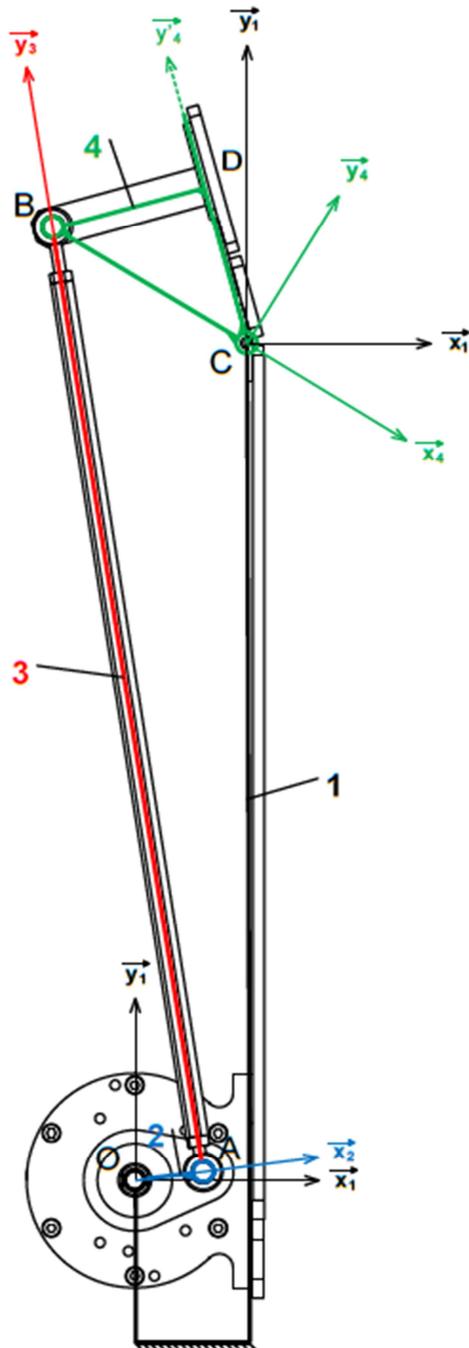


Figure 3 Assise du siège

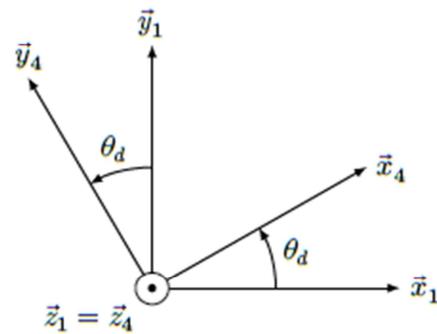
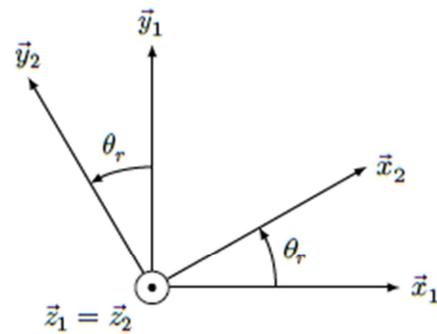
Les trois motorisations (une pour le dossieret et deux pour l’assise) sont composées chacune d’un moteur à courant continu à aimants permanents et d’un réducteur de vitesse. Chaque moteur est alimenté par un variateur de vitesse dont la structure de puissance est un hacheur. Un capteur de courant interne au variateur est utilisé par ce dernier pour réaliser un asservissement de vitesse. Un codeur incrémental accouplé aussi sur l’axe de chaque moteur est utilisé par une carte à base de microcontrôleur pour réaliser un asservissement de position, une sortie analogique de cette carte étant reliée à l’entrée de consigne du variateur de vitesse.

Objectif : Justifier le choix du moteur à courant continu et de son variateur associé utilisé pour entrainer le dossieret du siège dynamique.

Ces calculs visent à déterminer l'équation dynamique qui permet d'obtenir le couple moteur en fonction des caractéristiques géométriques, massiques et inertielles des pièces ainsi que des conditions d'utilisation. Le schéma cinématique et le paramétrage sont donnés :



$$\begin{aligned} \overline{OA} &= e\vec{x}_2 & e &= 35 \text{ mm} \\ \overline{AB} &= l\vec{y}_3 & l &= 490 \text{ mm} \\ \overline{BC} &= d\vec{x}_4 & d &= 115 \text{ mm} \\ \overline{OC} &= a\vec{x}_1 + b\vec{y}_1 & a &= 60 \text{ mm}, b = 430 \text{ mm} \\ \overline{CD} &= q\vec{y}_4' & q &= 85 \text{ mm} \\ \theta_r &= (\vec{x}_1, \vec{x}_2) \\ \theta_d &= (\vec{x}_1, \vec{x}_4) \end{aligned}$$



2. Détermination du couple à la sortie du réducteur C_{red}

Hypothèses :

- toutes les liaisons sont supposées parfaites ;
- la masse du maneton et de la bielle sont négligées ;
- la loi entrée-sortie est approximée par : $K_c = \frac{\dot{\theta}_d}{\dot{\theta}_r} = -\frac{2}{5}$;
- le dossier est assimilé à une plaque rectangulaire homogène d'épaisseur négligeable ;
- l'effort exercé au point D par la tête du spectateur sur le dossier, reste normal à la surface de contact
- l'accélération normale du dossier est négligeable devant l'accélération tangentielle de celui-ci.

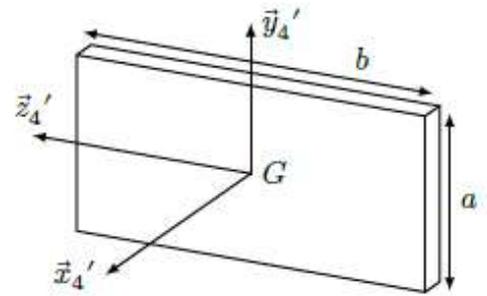
Données :

- accélération maximale de la tête au point D, $a_{max} = 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- effort (en newtons), $\vec{F}_{tête \rightarrow dossier} = -40 \cdot \vec{x}'_4$;
- distance de l'axe de rotation du dossier au centre d'inertie de la plaque, $CG = 62 \text{ mm}$;

- masse du dossieret, $M_d = 0,900 \text{ kg}$;
- la matrice d'inertie de la plaque rectangulaire en G, centre de la plaque, est donnée :

$$I(G, S) = \begin{pmatrix} \frac{1}{12}m(a^2 + b^2) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{12}mb^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{12}ma^2 \end{pmatrix}_{(\bar{x}_4', \bar{y}_4', \bar{z}_4')}$$

$$a = 124 \text{ mm}, b = 346 \text{ mm}$$



Plaque rectangulaire homogène

Afin de déterminer le couple moteur maximal C_M , on propose d'appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système isolé $E = \{\text{dossieret} + \text{bielle} + \text{maneton}\}$ en mouvement par rapport au châssis dont le repère associé est supposé galiléen.

Pour un déplacement du dossieret qui entraîne la tête du spectateur vers l'avant :

Question 1 – Déterminer l'expression littérale de l'énergie cinétique du système isolé E par rapport au repère lié au sol supposé Galiléen, en fonction des différents paramètres.

Question 2 – Appliquer le théorème de l'énergie cinétique au système isolé E pour déterminer l'expression littérale du couple C_{red} exercé par l'arbre de sortie du réducteur sur le dossieret. Calculer numériquement ce couple C_{red} .

3. Détermination du couple moteur

Hypothèses :

- le réducteur a un facteur de perte estimé à $\eta = 0,9$;
- le moment d'inertie des éléments mobiles du réducteur ramené à l'arbre du moteur est négligé ;
- les liaisons (autres que celles dans le réducteur) sont supposées parfaites.

Données :

rapport de transmission du réducteur, $r = 1/50$;

moment d'inertie du rotor du moteur, $J_M = 15 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$.

Question 3 – En appliquant le principe fondamental de la dynamique à l'arbre du moteur, calculer le couple moteur C_M pour cette phase d'accélération.

Le moteur à courant continu AXEM de référence F12M4, a une puissance utile nominale de 242 W pour une vitesse nominale de $3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$. Son courant nominal est de 7,7 A et son couple nominal est de 0,77 N·m. Le moteur peut délivrer un couple impulsionnel de 8,6 N·m pendant 50 ms.

Le variateur de vitesse de référence RTS 10-20-60 a un courant nominal de 10 A et peut délivrer un courant de 20 A pendant 2 s. Le fonctionnement est considéré intermittent périodique. La sollicitation avec le couple moteur calculé à la question précédente peut au maximum se répéter 5 fois par seconde. Considérer que lors de cette sollicitation, ce couple est constant durant 30 ms puis nul ensuite.

Question 4 – Calculer le couple thermique équivalent du moteur ainsi que le courant efficace délivré par le variateur. Conclure quant au choix du moteur à courant continu et de son variateur associé.