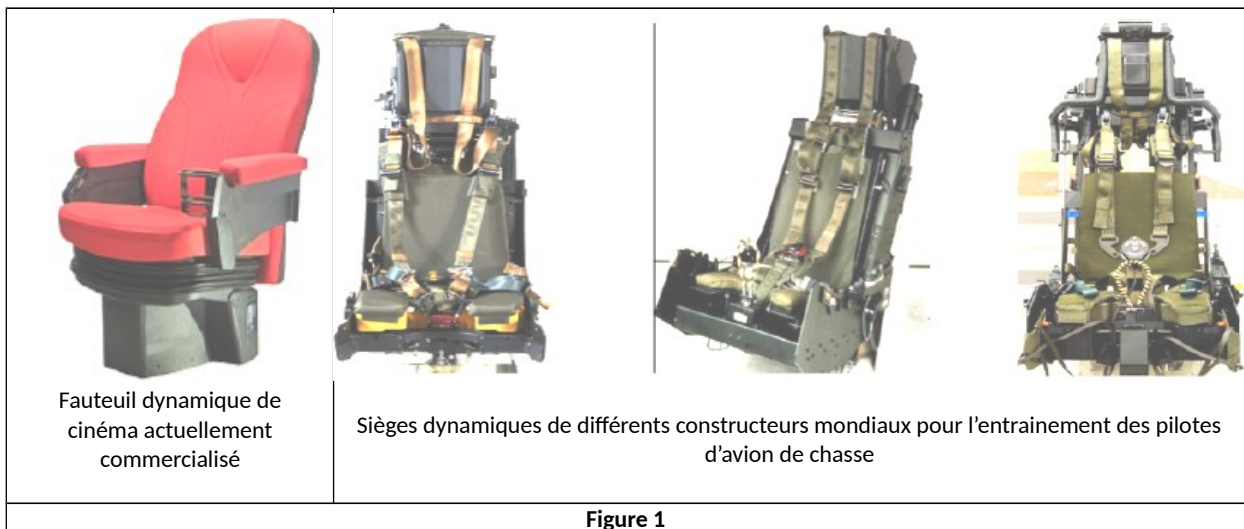


Fauteuil dynamique de cinéma

I Présentation du système

I.A - Contexte

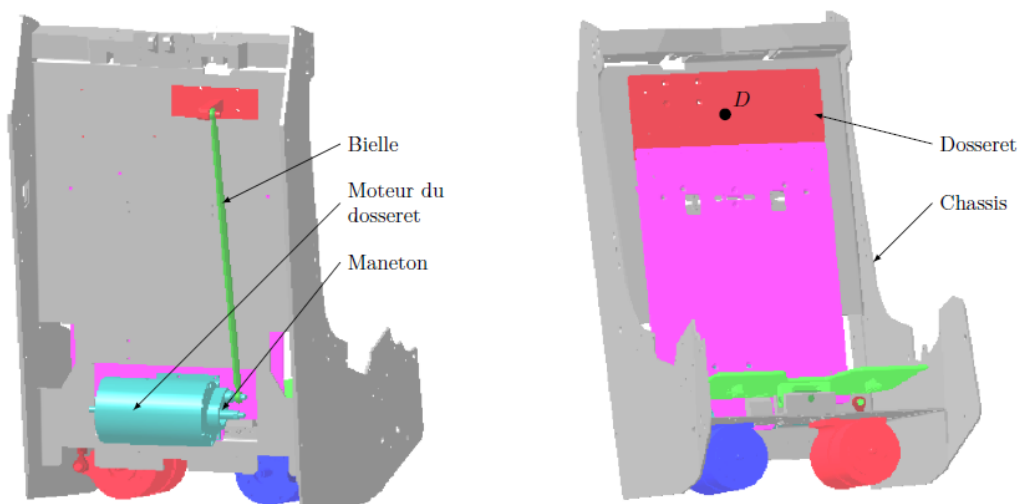
Ce concept a été inventé au Canada en 2008, et s'est étendu à toute l'Amérique du Nord avant de traverser l'Atlantique pour proposer un cinéma dynamique avec une quantité d'effets spéciaux et spatiaux. Le fauteuil dynamique de cinéma est principalement destiné à l'industrie du divertissement et de la simulation. Pour ressentir plus de sensations, la technologie permet désormais de ressentir dans son fauteuil les différents mouvements d'une scène d'action, 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](#)).



I.B - Mise en situation

Le siège dynamique est constitué :

- du dossier (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 dossier 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.



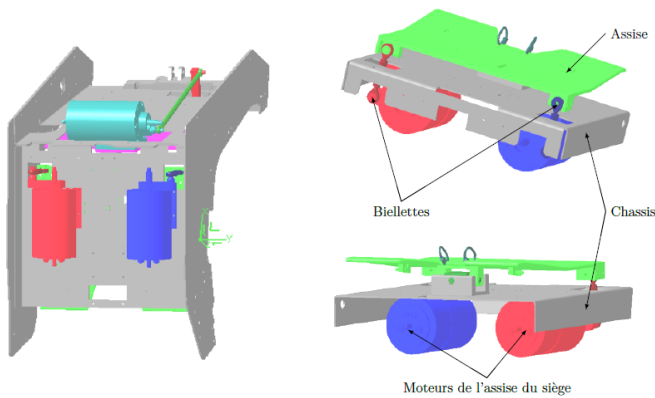


Figure 3 Assise du siège

Les trois motorisations (une pour le dossier 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 (un hacheur) qui lui délivre l'énergie nécessaire au mouvement souhaité et possède une génératrice tachymétrique et un codeur incrémental (qui mesurent respectivement la vitesse et la position angulaires de l'arbre de sortie). Une carte électronique à base de microcontrôleurs réalise un double asservissement (en vitesse et position) de chacun des 3 moteurs (donc mouvements).

I.C - Étude proposée

Les accélérations procurées aux spectateurs sont un élément fondamental qui conditionne la conception et la réalisation de ce fauteuil dynamique de cinéma. Les solutions technologiques retenues répondent à cet objectif. Elles ne sont pas toutes abordées dans ce sujet. Quelques-unes de celles retenues pour le fauteuil dynamique de cinéma sont étudiées pour valider les solutions choisies par les concepteurs vis-à-vis des performances attendues listées par le cahier des charges. Dans cette optique, il est proposé la modélisation, la validation et l'optimisation de certains constituants associés à l'exigence fonctionnelle « amplifier la sensation d'accélération » ainsi que l'étude de l'architecture des chaînes d'information et d'énergie du système.

II Étude fonctionnelle : chaînes d'énergies et d'informations

Objectif : Établir les chaînes d'informations et d'énergies du fauteuil dynamique de cinéma

Q 1: À l'aide de toutes les explications de fonctionnement et de la figure 2, compléter la chaîne structurelle proposée en figure 10 page 5 en explicitant les chaînes d'information et d'énergie et en les reliant entre elles.

III Exigence fonctionnelle « amplifier la sensation d'accélération »

Objectif : Proposer un modèle de comportement des éléments réalisant l'exigence fonctionnelle « amplifier la sensation d'accélération » puis valider les performances attendues listées par le cahier des charges (figure 4)

Exigence	Critères d'appréciation	Niveau
Amplifier la sensation d'accélération	Précision statique de l'asservissement de position : Erreur statique d'accélération	<1%
	Rapidité pour un échelon de consigne d'accélération: Temps de montée de 0 à 100% de la consigne Dépassement	<5ms <20%
	Accélération maximale du point D de la tête du spectateur situé à 85 mm au-dessus de l'axe de rotation du dossier	Comprise entre $6\text{m}\cdot\text{s}^{-2}(0,6g)$ et $7\text{m}\cdot\text{s}^{-2}(0,7g)$

Figure 4 Extrait du cahier des charges associé à l'exigence fonctionnelle « Amplifier la sensation d'accélération » réalisée par le dossier

III.A - Notations et hypothèses

III.A.2) Notations

	Description	Unité
$\theta_{Cd}(t)$	consigne de position du dossier	rad
$\theta_C(t)$	consigne de position de l'axe moteur	rad
$\theta(t)$	position de l'axe moteur	rad
$\theta_r(t)$	position de l'axe de sortie du réducteur	rad
$\theta_d(t)$	position du dossier	rad
c	gain du codeur incrémental	Point.rad ⁻¹
a	gain du correcteur de l'asservissement de position	V
h	gain du hacheur	
K_Ω	gain de la génératrice tachymétrique	Vsrad ⁻¹

III.A.1) Données

$$K = 0,115 \text{ N.m.A}^{-1}$$

$$R = 1 \Omega$$

$$h = 6$$

$$r = 1/50$$

$$f = 4.10^4 \text{ N.m.s.rad}^{-1}$$

$$K_{r1} = 0,5 \text{ V.A}^{-1}$$

$$L = 1,1 \text{ mH}$$

$$J = 0,16.10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

III.B - Comportement cinématique du mécanisme de transformation de mouvement du dossieret

Objectif : Valider la linéarité du comportement du mécanisme de transformation de mouvement du dossieret (figure 5) en établissant la loi de comportement cinématique.

Le modèle cinématique de la transformation de mouvement du dossieret est fourni figure 6.

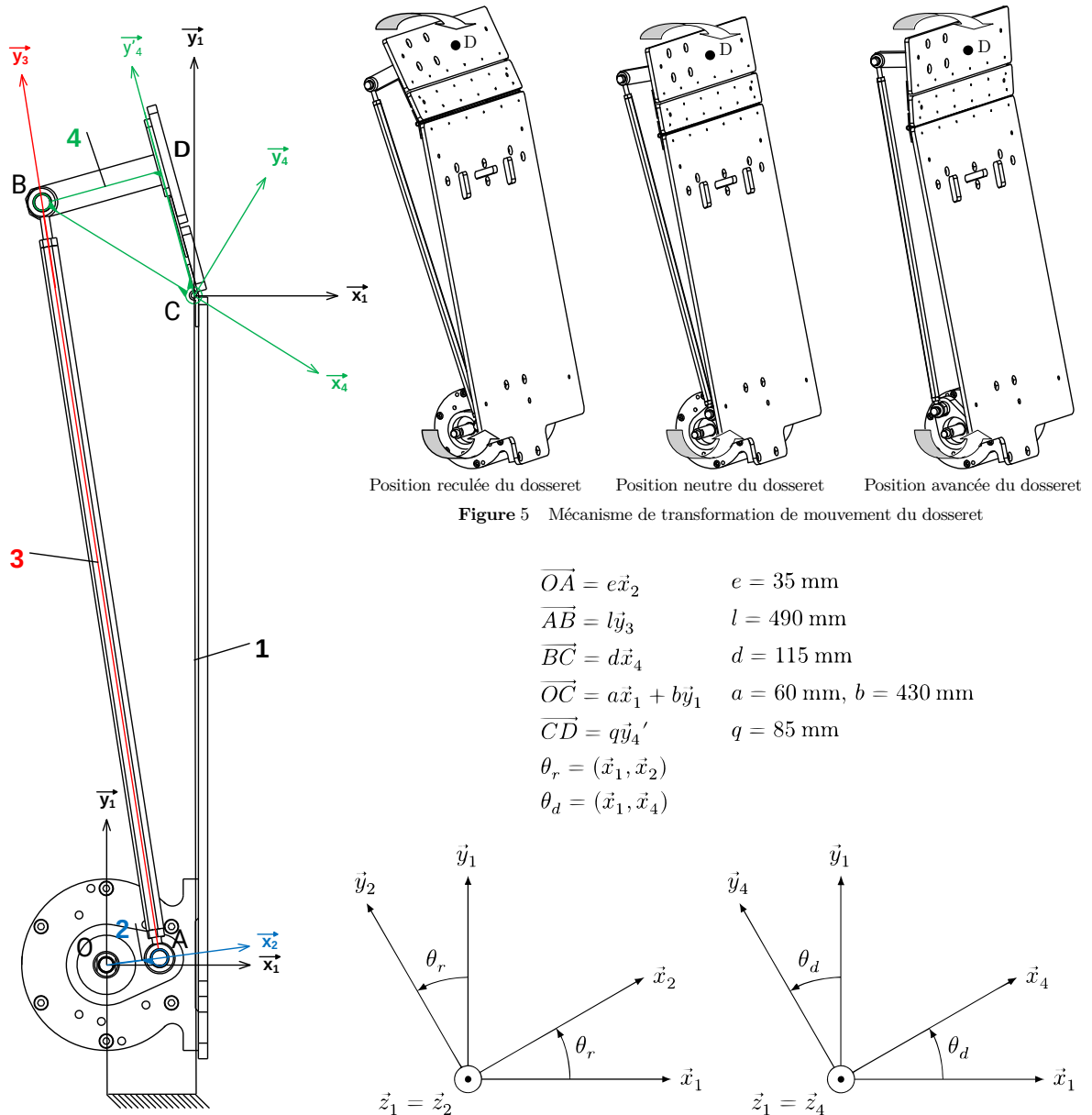


Figure 6 Modèle cinématique de la transformation de mouvement du dossieret

Q 2: Exprimer la fermeture géométrique $\overline{OA} + \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CO} = \vec{0}$ en fonction des données et paramètres, la projeter dans la base 1 en posant $\theta_3 = (\vec{y}_1, \vec{y}_3)$ puis exprimer littéralement l'angle θ_d en fonction de l'angle θ_r . en éliminant θ_3 et mettant l'expression sous la forme : $\cos \theta_d (E + F \cos \theta_r) + \sin \theta_d (G + F \sin \theta_r) = H + (I \cos \theta_r + J \sin \theta_r)$

Une simulation numérique a permis d'obtenir le tracé représenté sur la figure 7. Afin d'obtenir un modèle linéaire de la caractéristique $\theta_d = f(\theta_r)$, l'étude se fait autour de son point de fonctionnement statique pour de petites variations.

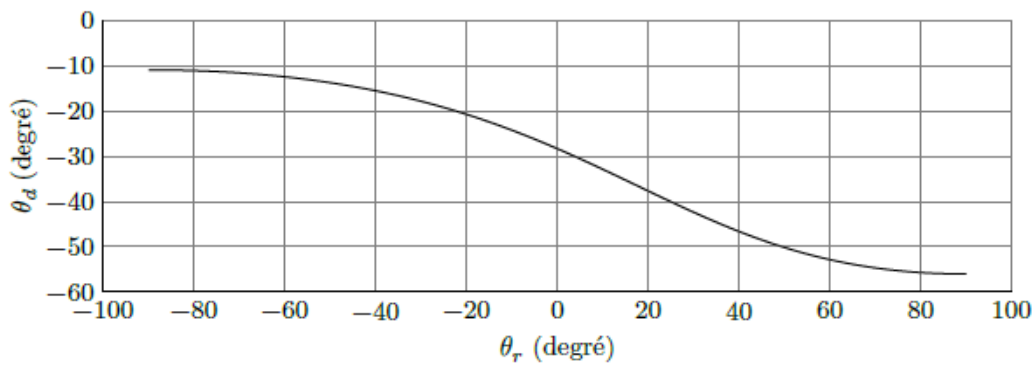


Figure 7 Représentation de l'équation de fermeture géométrique

- Q 3: Déterminer la valeur numérique du gain dynamique K_c de la transformation de mouvement du dossier correspondant à la pente de la tangente à la courbe au point de fonctionnement $\theta_r = 0^\circ$

III.C - Comportement du codeur incrémental et de la génératrice tachymétrique

Objectif

Établir un modèle de comportement du codeur incrémental et de la génératrice tachymétrique.

Le moteur AXEM a pour référence F12M4. Il est alimenté par un variateur de vitesse RTS 10-20-60 (PARVEX) alimentée sous 60 V DC et pouvant délivrer 20 A pendant 2 s, avec un courant nominal de 10 A. Un transformateur permet de raccorder le fauteuil dynamique au réseau électrique de la salle de cinéma.

Sur l'arbre moteur sont montés une génératrice tachymétrique (qui mesure la vitesse de rotation du moteur et qui est raccordée à l'entrée de retour vitesse du variateur) et un codeur incrémental 250 points·tour-1 (capteur de position capable de détecter 250 positions différentes sur un tour). Un réglage est effectué pour obtenir une tension de 5 V en sortie de génératrice lorsque la fréquence de rotation du moteur est égale à 3000 tr·min⁻¹.

- Q 4: En tenant compte des informations précédentes, calculer la valeur numérique de c et de K_Ω , gains respectifs du codeur et de la génératrice.

IV Exigence fonctionnelle « amplifier la sensation d'accélération »

Objectif : Proposer un modèle de comportement des éléments réalisant l'exigence fonctionnelle « amplifier la sensation d'accélération » puis valider les performances attendues listées par le cahier des charges (figure 4)

IV.A- Modélisation acausal du comportement du dossier

Un début de modélisation acausale du dossier est proposé figure 11.

- Q 5: Compléter le modèle acausal en précisant les liens entre les blocs et préciser les grandeurs physiques présentes sur les liens. Entourer sur le schéma la partie commande et la partie opérative.

IV.B- Validation de la performance simulée en accélération du dossier

Grâce à la modélisation de la chaîne fonctionnelle réalisée, un logiciel de simulation permet d'obtenir la courbe de la vitesse angulaire maximale $\dot{\theta}_d$ (figure 8 à gauche) ainsi que celle de l'accélération angulaire maximale $\ddot{\theta}_d$ (figure 8 à droite) du dossier. Ces deux courbes sont tracées sur une durée de 30 ms lors du démarrage du moteur (au-delà de ce temps le moteur atteint sa vitesse nominale).

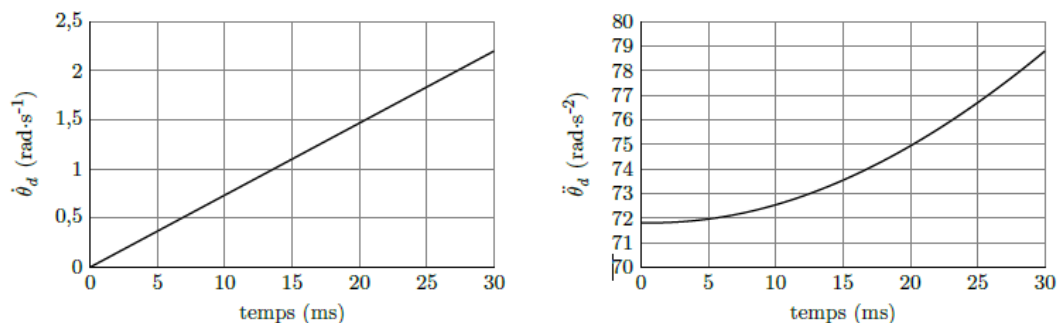


Figure 8 Vitesse et accélération angulaires en fonction du temps

Q 6: calculer la norme de l'accélération au niveau de la tête dans le cas le plus défavorable et conclure quant au respect du nombre de g du cahier des charges (figure 4) vis-à-vis des accélérations simulées produites par le dossierer du siège dynamique de cinéma.

IV.C - Optimisation des performances du dossierer

On se propose d'étudier une 2ème structure corrigée par anticipation qui permet d'améliorer les performances du système.

Un aspect important pour la simulation sensorielle du siège dynamique est la capacité du système à reproduire rapidement les consignes d'accélération. À l'aide d'une simulation, la variable accélération $\ddot{\theta}_d$ possède les deux comportements donnés figure 9 pour les 2 structures (avec et sans anticipation), et ce lorsque la consigne

vaut $\theta_{cd}(t) = \frac{t^2}{2} U(t)$

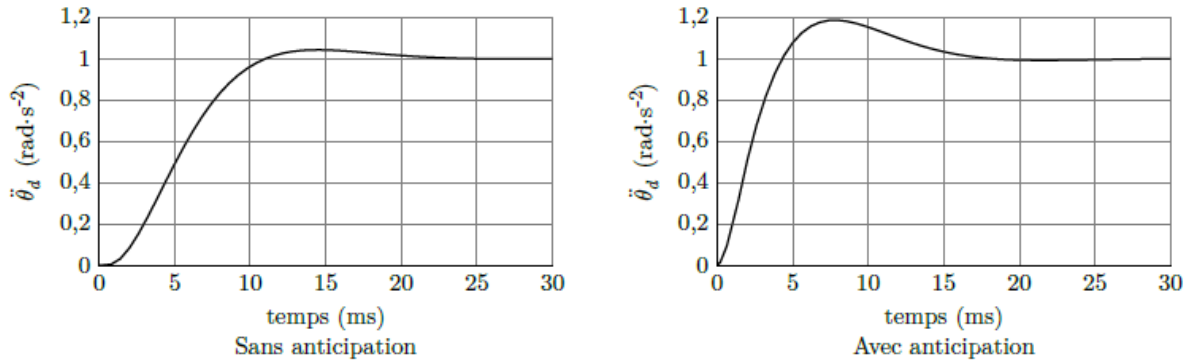


Figure 9 Accélération du dossierer avec et sans anticipation

Q 7: Conclure quant au respect du cahier des charges vis-à-vis des accélérations produites par le dossierer du siège dynamique de cinéma.

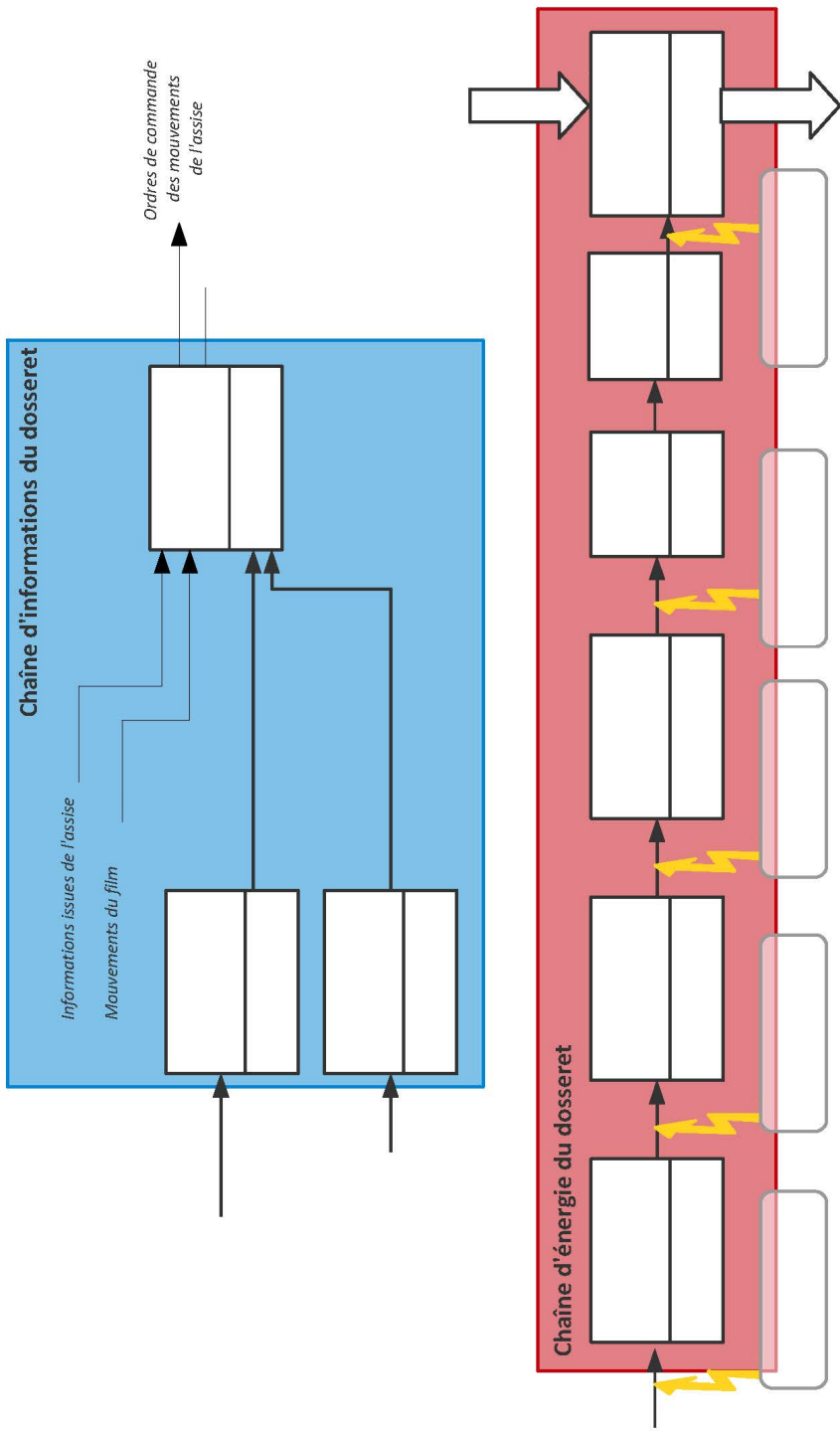


Figure 10 : chaîne structurelle

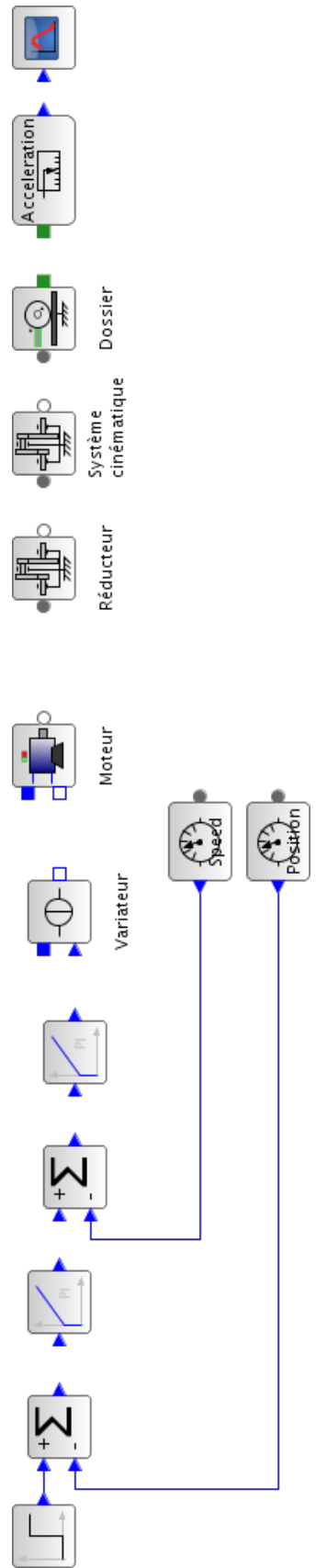


Figure 11 Modélisation acausale du dossierret