

## Etude de la motorisation d'un système de levage

L'objectif de ce TP est de justifier la nécessité d'un asservissement de position pour le système de levage :

- Modéliser la motorisation d'une colonne par un schéma-bloc
- Etudier l'influence du couple résistant sur le comportement de la colonne de levage
- Justifier la nécessité d'un asservissement de position



### 1. PRESENTATION GENERALE DU SYSTEME

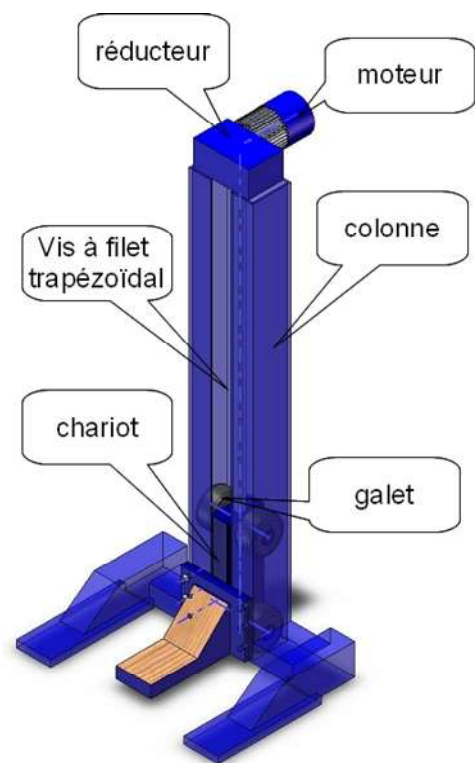
Les sociétés de transports des grandes agglomérations qui gèrent des réseaux comportant des bus, des métros et des tramways (comme TISSEO à Toulouse par exemple) doivent assurer la maintenance de leurs véhicules. On s'intéresse ici à un système de levage permettant de lever entièrement un métro ou un tramway afin de réaliser la maintenance des boggies et divers matériels se trouvant sous le véhicule. On donne par la suite la description structurelle de ce système de levage ainsi qu'un diagramme des exigences partiel.

Ce système de levage est composé d'unités mobiles à colonnes que l'on déplace manuellement et que l'on place en plusieurs points d'ancrage sur la rame à lever.

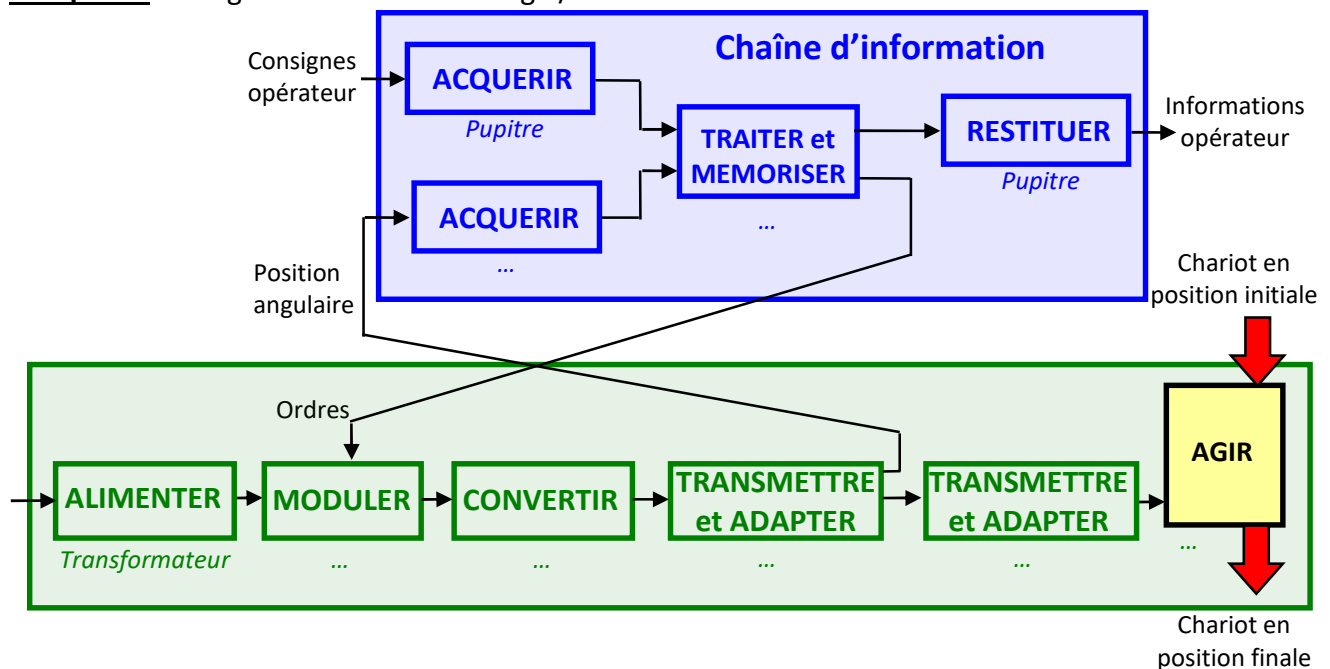
La chaîne d'énergie d'une colonne est principalement constituée d'un bâti et d'un chariot de levage. L'entraînement du chariot en translation verticale se fait par un système vis-écrou mis en rotation par un moteur électrique via un réducteur. Une carte de puissance distribue l'énergie électrique au moteur.

La chaîne d'information est constituée d'un pupitre de dialogue et d'une carte de commande. De plus chaque colonne est munie d'un codeur incrémental permettant de mesurer la position angulaire de la vis.

Pour soulever un métro de 45 tonnes et de 30 mètres de long, le service de maintenance utilise 8 colonnes de levage commandées simultanément. Lorsque les colonnes sont en place on indique la hauteur de levage cible sur le pupitre de commande et on démarre le cycle de levage. La chaîne d'information pilote alors chaque moteur des 8 colonnes jusqu'à ce que cette hauteur soit atteinte.

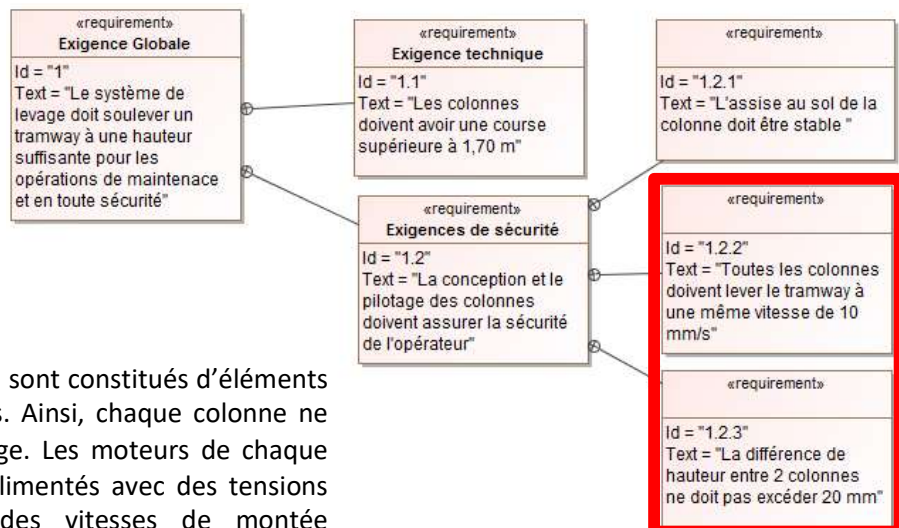


**Compléter** le diagramme chaîne d'énergie/chaîne d'information :



Pour un fonctionnement en toute sécurité, il faut assurer l'horizontalité du tramway soulevé : l'ensemble des points de levage doit être ainsi compris entre deux plans parallèles distants de 20 mm au maximum (coplanéité)

Cependant les véhicules levés sont constitués d'éléments ayant des masses différentes. Ainsi, chaque colonne ne soulèvera pas la même charge. Les moteurs de chaque colonne doivent donc être alimentés avec des tensions différentes pour garantir des vitesses de montée identiques et donc l'horizontalité du tramway.



## 2. Etude de la motorisation d'une colonne seule

On s'intéresse au pilotage en tension de la motorisation d'une des colonnes, on donne le modèle de cette motorisation qui est un moteur à courant continu.

$$u_a(t) = e(t) + R.i_m(t) \quad (1)$$

(Loi d'Ohm)

$$e(t) = K_e.\omega_m(t) \quad (2)$$

(Equation de l'électromagnétisme)

$$J.\frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_r(t) \quad (3)$$

(Equation de la dynamique de l'arbre moteur)

$$C_m(t) = K_t.i_m(t) \quad (4)$$

(Equation de l'électromagnétisme)

Avec :

$u_a(t)$  = Tension du moteur [V]

$e(t)$  = Force contre électromotrice du moteur [V]

$i_m(t)$  = Intensité dans le moteur [A]

$C_m(t)$  = Couple exercé par le moteur [N.m]

$C_r(t)$  = Couple résistant sur l'arbre moteur du à la charge à lever [N.m]

$\omega_m(t)$  = Vitesse angulaire du moteur [rad/s]

$R = 3 \Omega$  = Valeur de la résistance

$K_e = 1,4 \text{ V}/(\text{rad/s})$  : Constante électrique

$J = 0,02 \text{ kg.m}^2$  : Inertie équivalente ramenée sur l'arbre moteur

$K_t = 1,4 \text{ N.m/A}$  : Constante de couple

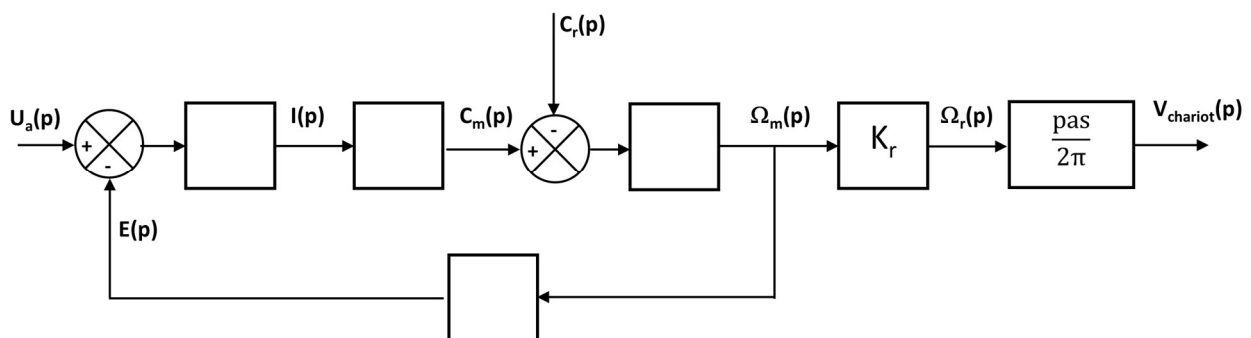
La tension aux bornes du moteur  $u_a(t)$  et le couple résistant  $C_r(t)$  sont modélisés par des échelons.

Le gain du réducteur est noté  $K_r$ .

Le gain du système vis/écrou vaut  $\frac{\text{pas}}{2\pi}$ .

### 2.1. Modélisation par schéma-bloc

**Compléter** le schéma-bloc du moteur à partir du modèle de connaissance ci-dessus (équations (1), (2), (3) et (4)).



**Ouvrir** le fichier « levage.zcos » sur le bureau qui correspond au schéma-bloc ci-dessus.

**Définir** les valeurs numériques de ses variables littérales dans le contexte de Xcos (clic droit dans la fenêtre Xcos, *modifier le contexte* et ajouter toutes les variables nécessaires au modèle avec leur valeur numérique) et relever les valeurs de **Kr** et du **pas** de la vis.

**Compléter** les fonctions de transfert manquantes en utilisant les variables littérales.

On considère dans un premier temps que le couple résistant  $C_r(t)$  qui s'exerce sur l'arbre moteur est nul :  **$C_r(t) = 0$**

**Exprimer** la fonction de transfert du moteur notée  $H_m(p)$ .

**En déduire** la fonction de transfert de l'ensemble moteur+réducteur+vis/écrou notée  $H_{mrv}(p)$ .

**Calculer** la valeur de la tension  $U_1$  telle que  $u_a(t) = U_1$  (échelon d'amplitude  $U_1$ ) avec laquelle alimenter le moteur pour respecter le critère sur la vitesse de montée en régime permanent du diagramme des exigences.

**Entrer** la valeur  $U_1$  déterminée question précédente dans le modèle Xcos puis lancer une simulation pour valider la valeur de  $U_1$  déterminée.

## 2.2. Prise en compte du couple résistant

**Ajouter** sur le modèle Xcos un couple résistant  $C_r(t) = 12$  (soit un échelon de 12 N.m) puis lancer une simulation. Quelle est la conséquence de l'existence de ce couple résistant sur la vitesse de translation du chariot en régime permanent ?

Le théorème de superposition permet d'écrire  $\Omega_m(p) = H_1(p) \cdot U_a(p) + H_2(p) \cdot C_r(p)$  avec :

$H_1(p) = \frac{\Omega_m(p)}{U_a(p)} = \frac{1/K_e}{1+\tau p}$  en considérant que l'entrée  $U_a(p)$  est non nulle mais que le couple résistant  $C_r(p)$  est nul, et

$H_2(p) = \frac{\Omega_m(p)}{C_r(p)} = -\frac{R/K_e K_t}{1+\tau p}$  en considérant que le couple résistant  $C_r(p)$  est non nul mais que l'entrée  $U_a(p)$  est nulle.

**Préciser** l'expression de  $\tau$ .

**Calculer** en utilisant le théorème de la valeur finale, la chute de vitesse  $\Delta V_{ch}$  induite par l'existence du couple résistant  $C_r$ .

**Déterminer** finalement l'amplitude de la tension d'alimentation  $U_2$  avec laquelle alimenter le moteur pour respecter la vitesse de montée de 10 mm/s en présence d'un couple résistant de 12 Nm.

**Entrer** la valeur  $U_2$  déterminée question précédente dans le modèle Xcos puis lancer une simulation pour valider la valeur de  $U_2$  déterminée.

## 3. Etude de la motorisation de 2 colonnes simultanément

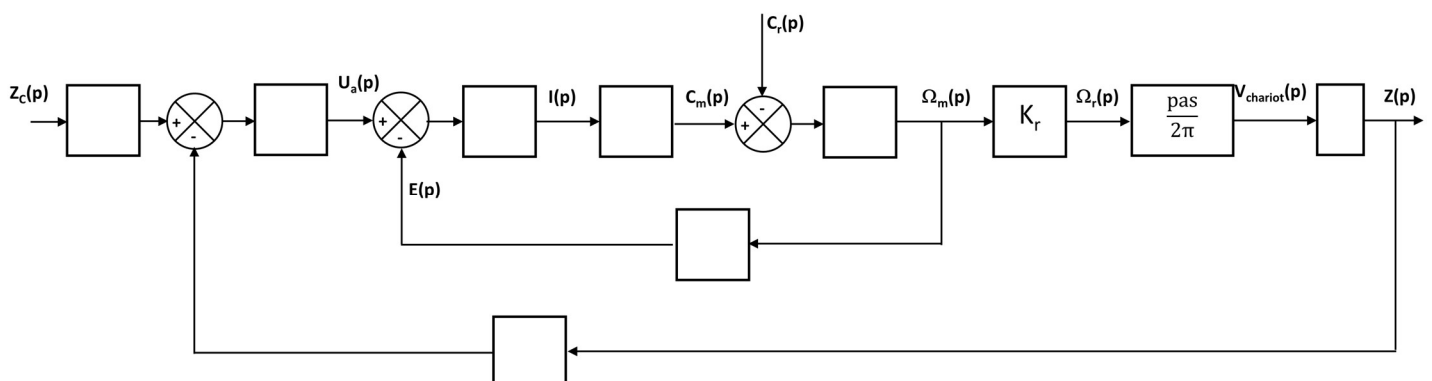
On analyse la différence de comportement de deux colonnes C1 et C2 placées à des endroits différents et ne soulevant donc pas la même charge. On considère que les motorisations des deux colonnes sont identiques et sont alimentés simultanément par la même tension de 220V, que la colonne C1 est soumise à un couple résistant de 12 N.m et que la colonne C2 est soumise à un couple résistant de 20 N.m. On considère encore à ce stade que le système n'est pas asservi.

**Ouvrir et compléter** le modèle « *levage 2 colonnes.zcos* »

**Déterminer** au bout de combien de temps y a-t-il un écart de position de 20 mm entre les deux chariot des deux colonnes. Quelle est alors la hauteur atteinte par le chariot de la colonne la plus rapide ?

**Justifier** qu'il est nécessaire d'introduire un asservissement en position de chaque colonne.

**Compléter** le schéma-bloc correspondant à la colonne motorisée asservie en position à l'aide d'un capteur mesurant la position  $Z(p)$  du chariot (sur le système réel, ce n'est pas la position du chariot qui est mesurée mais la position angulaire de la vis du système vis/écrou).



**Modifier** le modèle « levage 2 colonnes.zcos » pour prendre en compte cet asservissement de position, en intégrant :

- le comparateur et le correcteur de la boucle de position représenté par un gain pur (valeur initiale 1),
- le capteur de position de gain 5 V/m (valeur maxi 10V pour un déplacement de 2m),
- le gain de l'IHM (pupitre de dialogue) avec la valeur adéquate afin que le système soit correctement asservi,
- la commande de déplacement en position de type rampe de pente 10 mm/s,
- la durée de la simulation permettant d'atteindre le déplacement maximal de la colonne.
- 

Ne pas oublier de dupliquer les modifications pour l'asservissement de position de la seconde colonne.

**Valider** les modifications et déterminer le gain minimal du correcteur permettant d'atteindre l'objectif de précision du diagramme des exigences.