

Royaume du Maroc

Ministère de l'Education Nationale  
de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres  
et de la Recherche Scientifique

Présidence du Concours National Commun 2005  
Ecole Hassania des Travaux Publics  
EHTP

Concours National Commun d'Admission  
aux Grandes Ecoles d'Ingénieurs ou Assimilées  
Session 2005

**EPREUVE DE SCIENCES  
INDUSTRIELLES**

**FILIERE MP**

Durée de l'épreuve : 4 heures

**CONCOURS NATIONAL COMMUN**  
**D'ADMISSION AUX GRANDES ECOLES D'INGENIEURS MAROCAINES**

**Session : 2005**  
**Filière : MP**

**Epreuve de Sciences Industrielles**  
**Durée : 4 heures**

**Composition du sujet :**

**Le sujet comporte :**

- Enoncé du sujet : pages de 1 à 7
- Documents : Documents 1 - 2 - 3 - 4 - 5

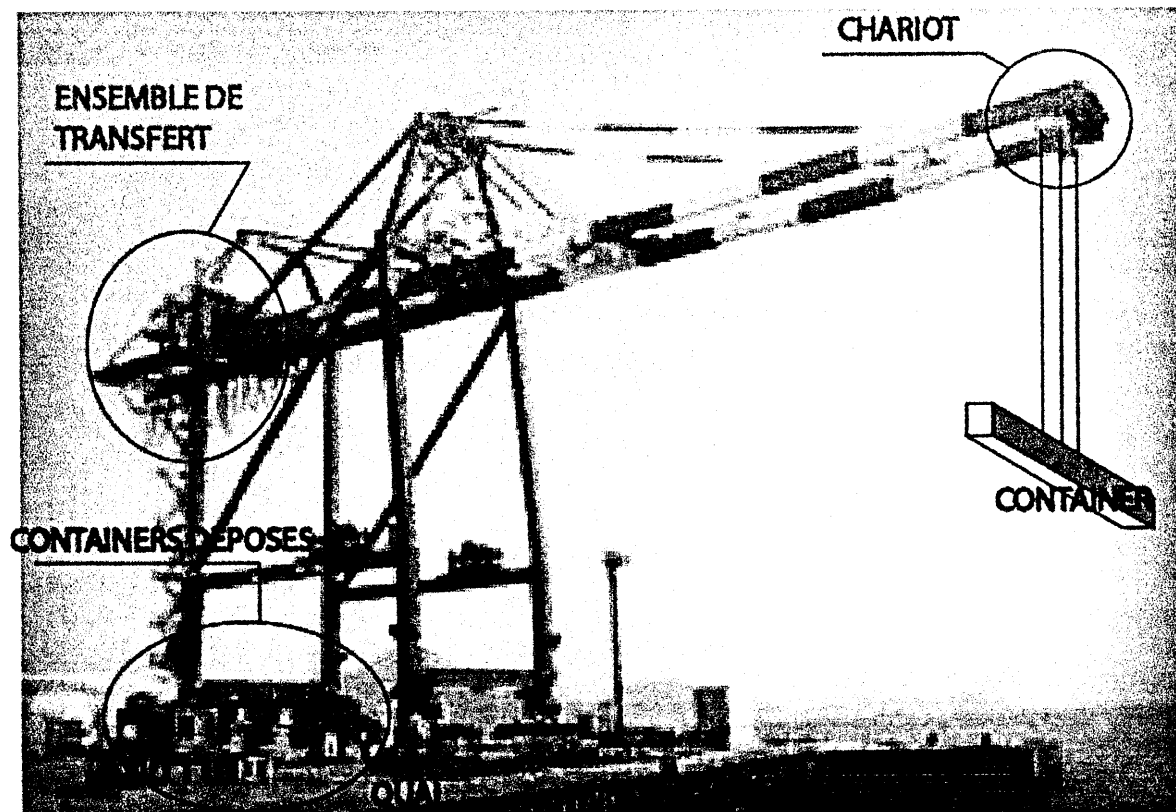
**Il est conseillé de :**

- Lire la totalité de l'énoncé avant de commencer l'épreuve. Si au cours de l'épreuve le candidat repère ce qui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
- Indiquer les numéros de chaque réponses.
- Encadrer les résultats finals.
- Faire attention à la présentation .

**Aucun document supplémentaire n'est autorisé.**  
Calculatrice autorisée.

## GRUE A CONTAINERS

Cette grue (voir photographie ci-dessous) est destinée à décharger les containers d'un navire sur le quai et inversement. Le modèle proposé pour l'étude est un modèle simplifié.



### I-ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURALE.

Un pignon moteur entraîne deux tambours de montée / descente du container par l'intermédiaire d'un train d'engrenages (figure 1 document 1). Chaque tambour de montée / descente (TMD) et (TMD') comporte un régulateur de vitesse de descente (figures 1 et 2, document 1).

Le transfert du container est réalisé par un ensemble (moto-réducteur, tambours de transfert, câbles...) (figures 1 et 3, document 1).

Le diagramme FAST partiel de la figure 1 document 2, décrit les fonctions principales et techniques qui seront étudiées au cours de ce sujet.

**Question 1 :** A partir du FAST du document-2- et des figures du document -1-, quels sont les moyens permettant de réaliser les fonctions techniques suivantes : FT123, FT22, FT231, FT232 et FT32 .

### II- ETUDE DE FT11 : SUPPORTER LE POIDS DU CONTAINER.

L'objet de l'étude est d'évaluer l'effort de tension maximal supporté par un câble. Ce qui permettra de déterminer, pour un matériau donné, le diamètre du câble.

	Fonction technique	critère	Niveau
FT11	Supporter le poids du container	Poids du container position du centre d'inertie	Masse: 20 tonnes centre d'inertie: voir doc-3-

**Hypothèses de l'étude :** figure-1- du document-3-

Le container, de masse maximale  $M = 20$  tonnes, est en équilibre statique dans la position indiquée par la figure-1- du document-3-. Les quatre câbles sont de masses négligeable, inextensibles et infiniment flexibles. Chacun des brins (i) ( $i=1,2,3,4$ ) est modélisé par un solide indéformable, en liaison rotule parfaite avec le chariot en  $A_i$  et en liaison rotule parfaite avec le container en  $B_i$ .

**Question 2 :** Justifier cette modélisation .

**Question 3 :** Montrer que la résultante des actions mécaniques exercées par un câble (i) sur le container (6) est telle que :  $\vec{R}(i \rightarrow 6) = -T_i \vec{x}$ ,  $T_i > 0$ , puis écrire les 3 équations issues du PFS (théorème de la résultante statique et celui du moment statique en C) appliqué au container (6). Quel est le degré d'hyperstatisme du système ?

Le poids du container étant très important, chaque brin (i) a subi un petit allongement élastique  $\Delta l_i$  tel

que :  $T_i = k \cdot \Delta l_i$  où  $\begin{cases} T_i : \text{tension dans le câble (i)} \\ k = 2000 \text{ N/mm} : \text{constante de raideur du câble} \end{cases}$

$$\sum_{i=1}^4 \Delta l_i - \frac{M \cdot g}{k} = 0 \quad (1)$$

**Question 4 :** Montrer que l'on obtient :

$$-\Delta l_1 - \Delta l_2 + \Delta l_3 + \Delta l_4 + \frac{2M \cdot g \cdot c}{k \cdot L} = 0 \quad (2)$$

$$-\Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 - \Delta l_4 - \frac{2M \cdot g \cdot b}{k \cdot l} = 0 \quad (3)$$

Des déplacements  $\Delta l_i$  des câbles résulte un petit déplacement du container qu'on peut décrire en un de ses points Q par le torseur des petits déplacements :

$$\{D(6)\}_Q = \begin{Bmatrix} \vec{\theta}(6) \\ \vec{u}(Q) \end{Bmatrix} \text{ où } \begin{cases} \vec{\theta}(6) \text{ est le vecteur rotation de } 6. \|\vec{\theta}(6)\| \text{ en radian} \\ \vec{u}(Q) \text{ est le vecteur déplacement du point } Q \text{ du solide } 6. \|\vec{u}(Q)\| \text{ en mètre} \end{cases}$$

**Question 5 :** Donner la relation vectorielle liant  $\vec{u}(B_i)$  à  $\vec{u}(C)$ .

On pose  $\vec{u}(C) = \delta \vec{x}$ ,  $\vec{\theta}(6) = \alpha \vec{x} + \beta \vec{y} + \gamma \vec{z}$ ,  $\overline{CB_i} = Y \vec{y} + Z \vec{z}$ ,  $\vec{u}(B_i) = \Delta l_i \vec{x}$ .

Exprimer  $\Delta l_i$  en fonction de  $\delta, \beta, \gamma, Y$  et  $Z$ . En déduire  $\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3$  et  $\Delta l_4$  en fonction de  $\beta, \gamma, \delta, l$  et  $L$ .

**Question 6 :** Après avoir déterminé, puis calculé  $\{D(6)\}_C = \begin{Bmatrix} \vec{\theta}(6) \\ \vec{u}(C) \end{Bmatrix}$ , déterminer puis calculer

$T_1, T_2, T_3$  et  $T_4$ .

### III- ETUDE DE FT2 : TRANSFERER LE CONTAINER

	Fonction technique	critères	Niveau
FT2	Transferer le container	Accélération du chariot Vitesse du chariot Position du chariot Oscillations du container	-Longueur de transfert 60m avec écart statique de position nul -rapidité -Angle d'oscillation $\ \theta\  \leq 5^\circ$

#### A- Commande en position du chariot.

La commande en position et en vitesse du chariot est réalisée selon le schéma fonctionnel (simplifié) de la figure -1- du document-4-

Pour obtenir la position souhaitée, on utilise une loi de commande en trapèze comme indiquée sur la fig-2- du document-4-. La vitesse maximale du chariot est obtenue pour une tension de commande  $U_{cMax}=500$ volts.

**Question 7:** Calculer pour cette loi **théorique** de commande en vitesse (sans tenir compte du comportement réel du chariot):

- l'accélération a.
- les dates T2 et T3.

**Question 8 :** En déduire le graphe de la tension de commande  $U_c(t)$  (identique à celui ci-dessus) , puis déterminer son équation temporel en fonction de : la pente ( $k_c$ ) des rampes , le temps , l'échelon unitaire  $u(t)$  et T1 , T2 et T3 .

Déterminer alors la transformée de Laplace  $U_c(p)$  de  $U_c(t)$ .

**Question 9 :** En utilisant la figure-1- du document -4- quel est l'écart statique de position :

$$\varepsilon_s = y(+\infty) - C \quad \text{où } C : \text{course } (C = 60m) .$$

#### B- Transfert du container

Pendant le transfert, le container est soumis à des oscillations au démarrage et à l'arrêt où le rangement devrait se faire sans chocs importants.

**Hypothèses et données :** figure-2- du document-3-

Le repère  $(O; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  lié au bâti (0) de la grue est un repère galiléen. L'axe  $(O; \vec{x})$  est verticale descendant.

Le repère  $(P; \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$  est lié au chariot (5), de masse m, tel que :  $\overline{OP} = y \vec{y}$ .

Le container (6) de masse M, suspendu par quatre câbles ,infiniment flexibles, de masse négligeable, de même longueur l et qui restent parallèles, oscille par rapport au chariot 5 dans le plan  $(O, \vec{x}, \vec{y})$  . On note  $\theta = (\vec{x}, \vec{x}_1) = (\vec{y}, \vec{y}_1)$  .

La liaison glissière entre (5) et (0) est parfaite. Le problème est supposé plan (le plan  $(O; \vec{x}, \vec{y})$ ).

**Question 10 :** Quelle est la nature du mouvement du container (6) par rapport au chariot (5).

En déduire le vecteur taux de rotation :  $\vec{\Omega}(6/0)$  .

**Question 11 :** Déterminer le vecteur vitesse puis le vecteur accélération du centre d'inertie G du container (6) dans son mouvement par rapport au bâti (0), en fonction des paramètres  $\theta$  et  $y$ .

**Question 12 :** Par application du théorème de la résultante dynamique appliqué à l'ensemble  $\Sigma = \{5 \cup 6 \cup \text{cables de suspension du container}\}$ , en projection selon  $\vec{y}$ , déterminer la première équation de mouvement ( La résultante des actions mécaniques des câbles de traction sera notée :  $\vec{R}(CT \rightarrow 5) \cdot \vec{y} = \Delta T$  ).

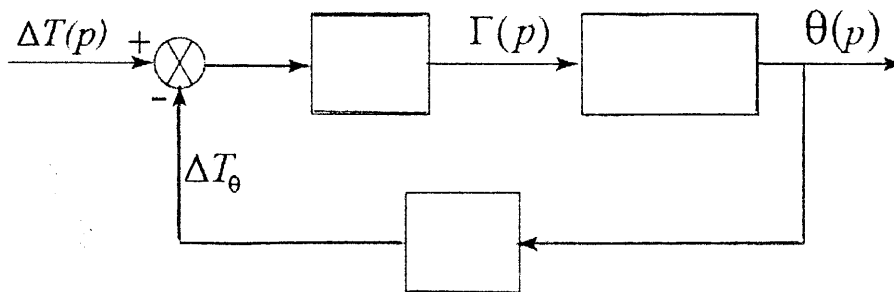
**Question 13 :** Par application du théorème de la résultante dynamique appliqué au container (6), en projection selon  $\vec{y}_1$ , déterminer la deuxième équation de mouvement.

**Question 14 :** Montrer, après linéarisation des équations au voisinage de  $\theta = 0$ , que l'on obtient les équations suivantes :

$$\begin{cases} (M + m)\ddot{y} + Ml\ddot{\theta} = \Delta T & (1) \\ \theta + \frac{\ddot{y}}{g} + \frac{l}{g} \ddot{\theta} = 0 & (2) \end{cases}$$

On note  $\theta(p)$ ,  $\Delta T(p)$  et  $\Gamma(p)$  les transformées de Laplace respectivement de  $\theta(t)$ ,  $\Delta T(t)$  et  $\ddot{y}(t)$ .

**Question 15 :** Donner les transformées de Laplace des deux équations. Reproduire puis compléter le schéma bloc suivant. (Conditions initiales nulles).



**Question 16 :** Déterminer la fonction de transfert  $\frac{\theta(p)}{\Delta T(p)}$ , l'écrire sous forme canonique, conclure sur l'amortissement des oscillations du container.

On choisit d'agir sur l'accélération pour amortir les oscillations. La grandeur  $\Delta T_\theta$  sera mesurée par un capteur, corrigé par un correcteur qui délivre une tension électrique qui s'ajoute à la tension de commande du moteur :  $U_c$ .

Pour la suite, on considère le transfert des containers de masses faibles (M).

**Question 17 :** On considère l'équation (2), quelle devrait être l'accélération  $\ddot{y}$  en fonction de  $\dot{\theta}$ ,  $g$ ,  $\omega_o$  et  $\xi$ ; ( $\xi$  : le coefficient d'amortissement réduit;  $\omega_o$  : pulsation propre du container non amortie) pour que le mouvement d'oscillation du container soit libre amorti.

On pose :  $\ddot{y}(t) = \Gamma_0 + \gamma(t)$  où  $\Gamma_0 = u(t) \text{ ms}^{-2}$  et  $\gamma(t) = \frac{2 \cdot \xi}{\omega_o} \cdot \dot{\theta} \cdot g$ .

**Phase d'accélération :**

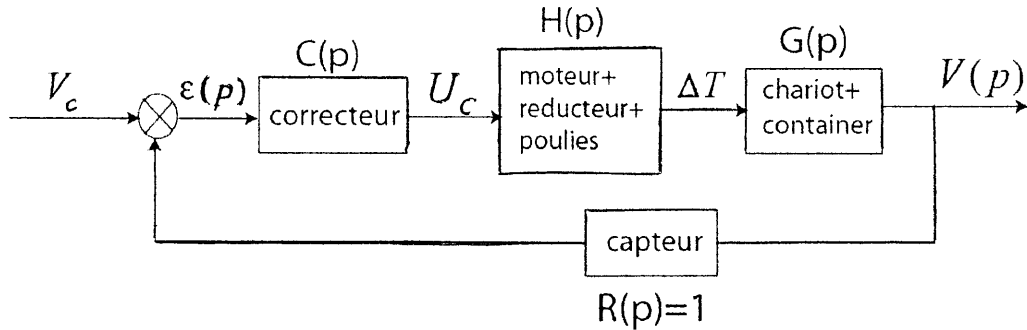
**Question 18 :** Réécrire l'équation (2). Pour  $\xi = 0, 2$ , tracer l'allure de  $\theta(t)$ . Calculer en degrés  $|\theta_{Max}|$ .

**Phase de transfert à vitesse constante :**

**Question 19 :** L'accélération  $\Gamma_0$  est nulle .Quelle est la valeur de  $\theta$  en régime permanent ?

**Asservissement de vitesse :**

L'asservissement de la vitesse du chariot est réalisé selon le schéma bloc suivant :



On pose  $\dot{y}(t) = V_0 + v(t)$  où  $V_0 = u(t)$  en  $ms^{-1}$  .

La figure -3- du document -4- représente la réponse  $\Delta T(t)$  à un échelon d'amplitude  $U_c(t) = 500\text{volts}$

**Question 20 :** identification de  $\frac{\Delta T(p)}{U_c(p)}$

- 20-a- Quel est l'ordre du système, justifier.
- 20-b- Quel est son gain statique K et quel est son temps de réponse à 5%.
- 20-c- On admet pour ce système un modèle de premier ordre.

Quelle est sa constante de temps  $\tau$  ? En déduire  $\frac{\Delta T(p)}{U_c(p)}$  sous forme canonique.

Dans le domaine fréquentiel, et pour des faibles fréquences, on admet que:

$$\frac{V(p)}{U_c(p)} = \frac{10^{-3}}{p.(1+0.5p)} .$$

**Question 21 :** Pour  $C(p)=1$ , Tracer ( sur votre copie ) les diagrammes asymptotiques et l'allure des courbes de Bode de la fonction de transfert en boucle ouverte  $H_{bo}(p)$  de l'asservissement. Placer sur les diagrammes la marge de phase . Quelle est sa valeur?

**Question 22 :** Pour  $C(p)=C=\text{constante}$  ,déterminer C pour que la réponse indicielle  $\dot{y}(t)$  soit la plus rapide possible.

**Question 23 :** L'étude du système non linéaire d'un transfert donne les courbes de variation de :  
( document-5-)

- la vitesse du chariot pour amortir les oscillations du container
- l'angle d'oscillation
- la position du chariot.

23-a- Identifier les trois courbes I, II et III,

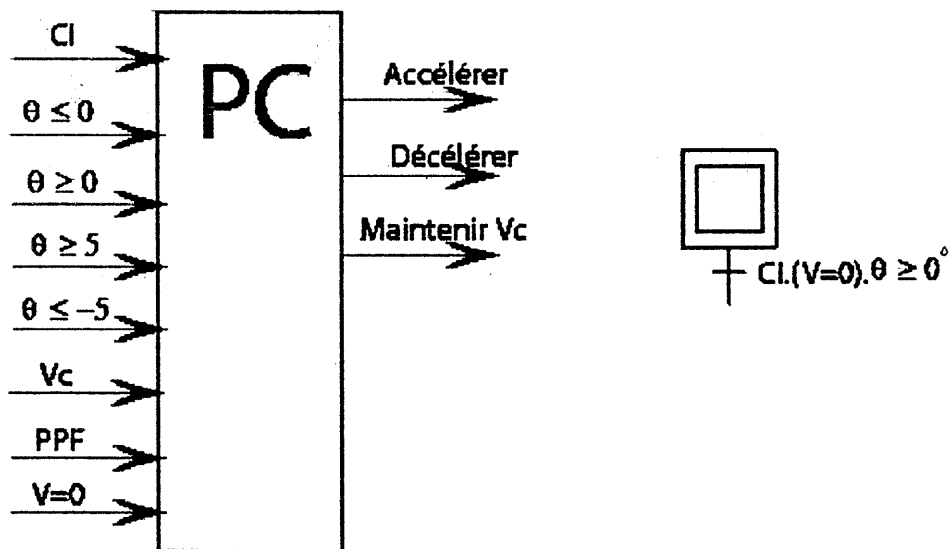
23-b- Quelle est la vitesse en régime permanent du chariot avant l'arrêt.

23-c- Quelle est l'amplitude maximale des oscillations du container autour de la position d'arrêt.

**COMMANDE LOGIQUE :** Cahier des charges fonctionnel.

Initialement le container soulevé, oscille, la vitesse du chariot  $V$  est nulle. Dès que  $\theta$  devient supérieur ou égale à  $0^\circ$ , le chariot accélère jusqu'à ce que  $\theta$  atteint  $(-5^\circ)$ . Il décélère alors jusqu'à ce que  $\theta$  devient supérieur ou égale à  $(0^\circ)$ . Puis accélère, et ainsi de suite jusqu'à ce que  $V$  soit égal à la vitesse de consigne  $V_c$ . Cette vitesse est maintenue tant que la position pré- final (PPF) du chariot n'est pas atteinte. Lorsque PPF devient vraie, le chariot décélère jusqu'à ce que  $\theta$  atteint  $(5^\circ)$ , puis accélère jusqu'à ce que  $\theta$  devient inférieur ou égal à  $0^\circ$  et ainsi de suite jusqu'à l'arrêt complet du chariot.

**Question 24 :** À partir de l'inventaire des Entrées/sorties ci-dessous ; décrire au moyen d'un Grafcet, le comportement de la partie commande du chariot.





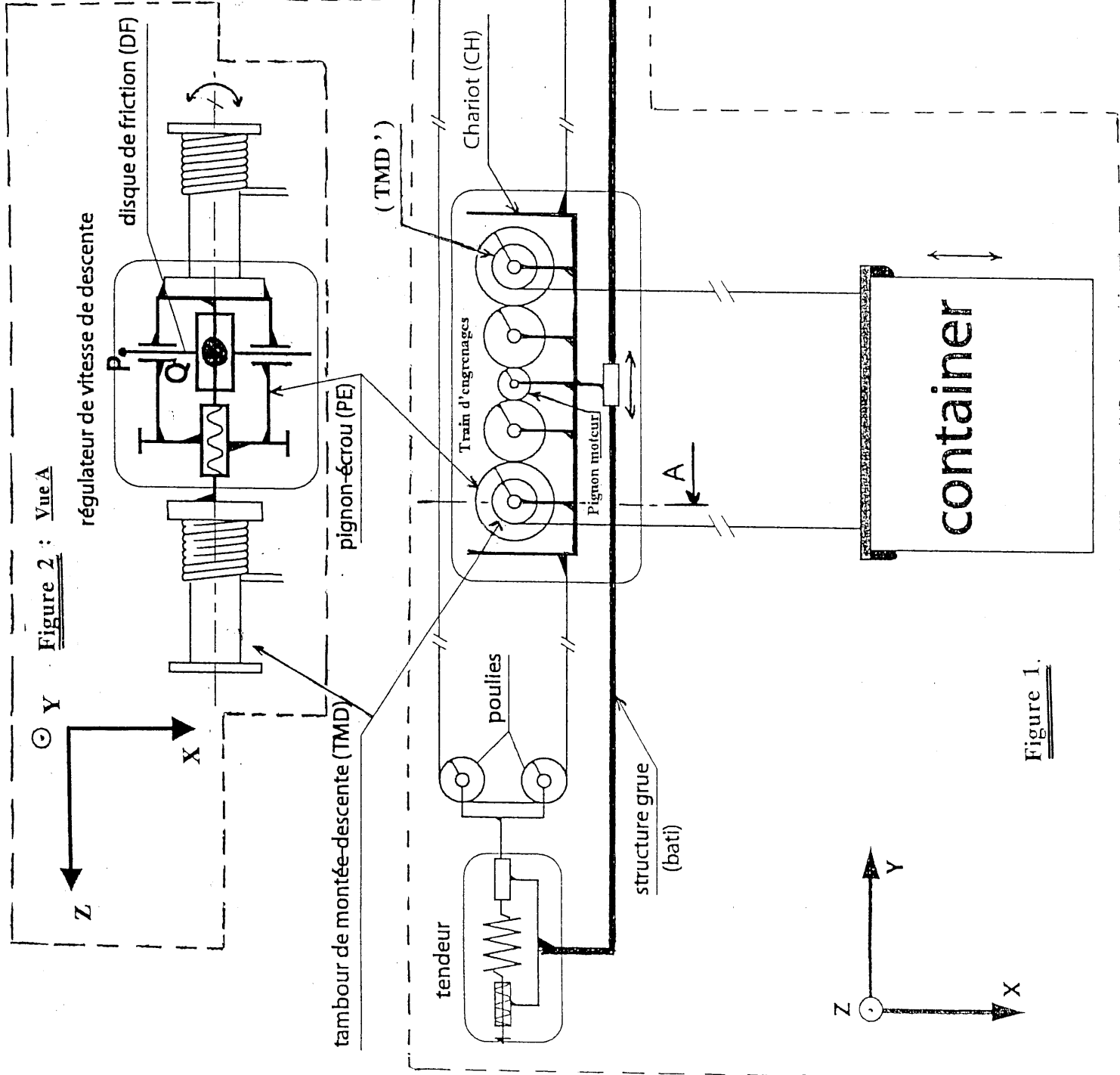


Figure 1.

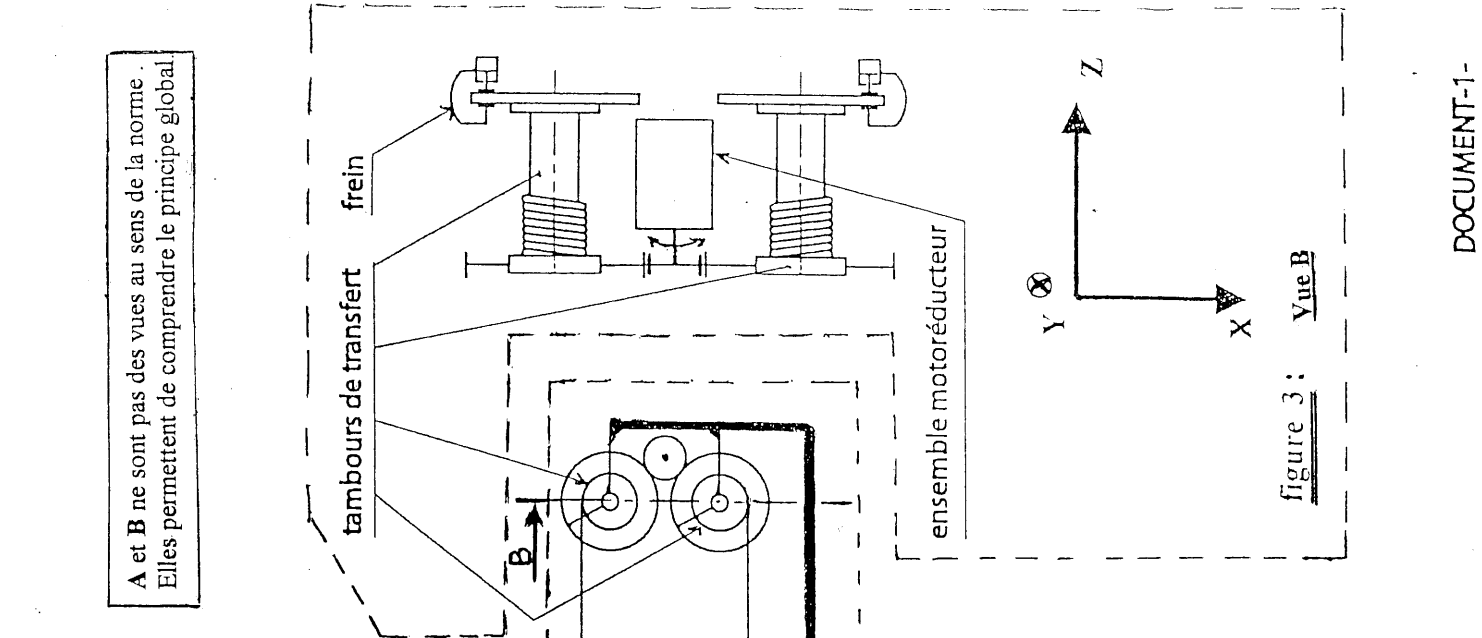
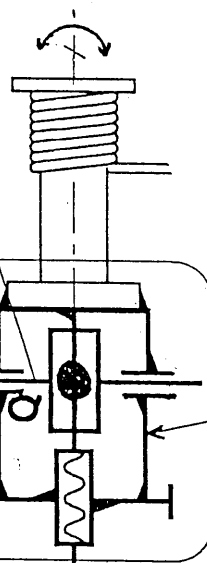


Figure 2 : Vue A

régulateur de vitesse de descente

disque de friction (DF)

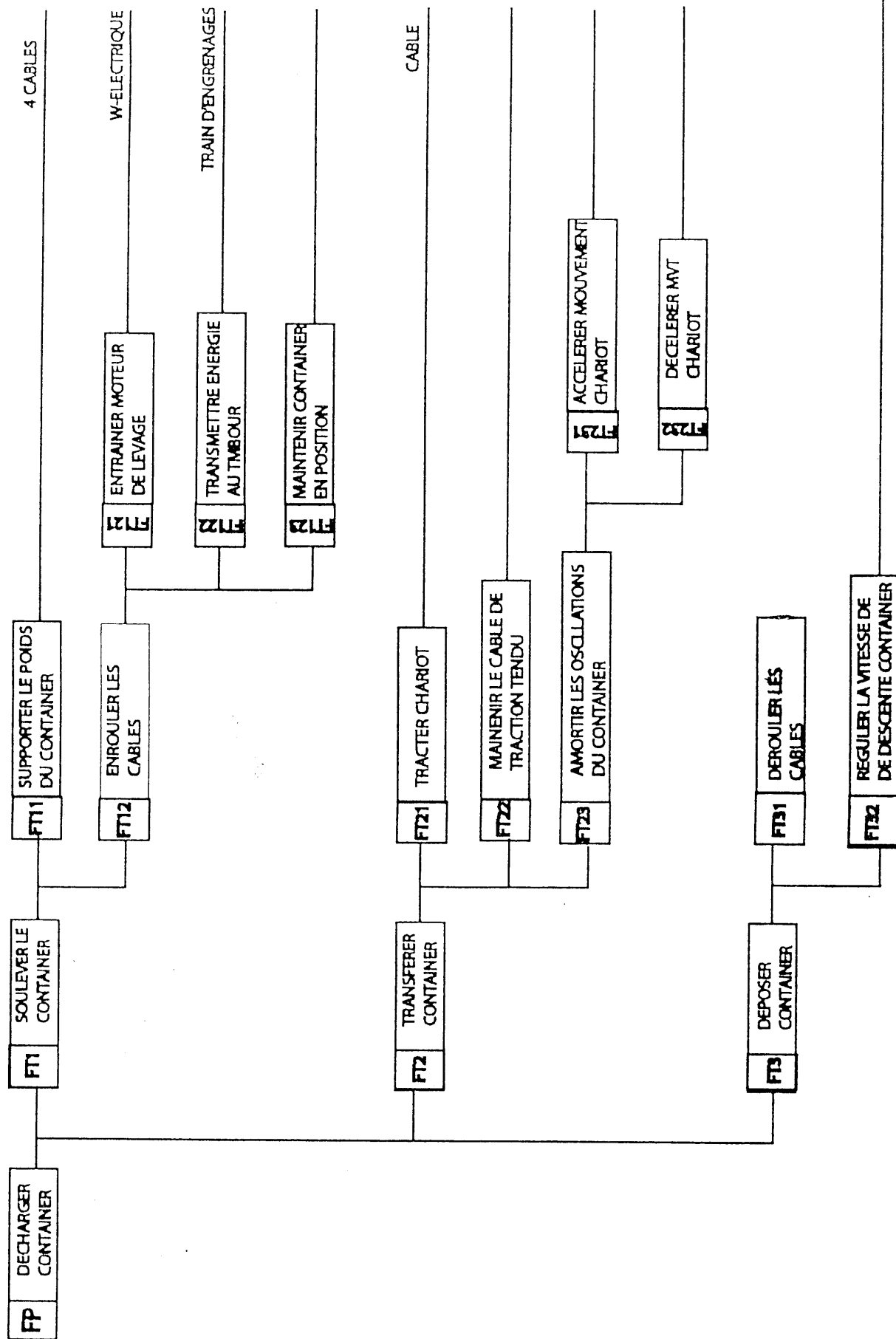


tambours de transfert

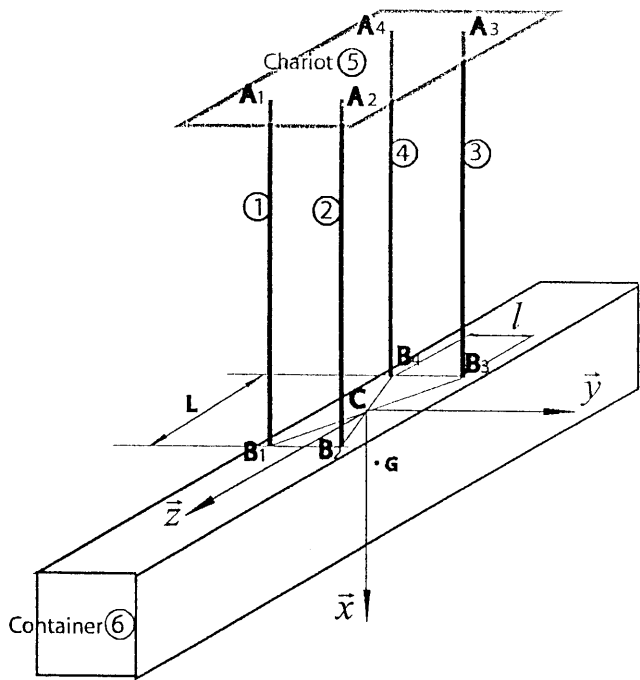
frein

ensemble motoréducteur

figure 3 : Vue B



Document -2- **Figure-1**:-FAST partielle de la fonction principale: Décharger container



$$\overline{B_4B_1} = \overline{B_3B_2} = L\vec{z} \quad ; \quad L = 3m.$$

$$\overline{B_1B_2} = \overline{B_4B_3} = l\vec{y} \quad ; \quad l = 1,75m$$

$$\overline{CG} = a\vec{x} + b\vec{y} + c\vec{z} \quad ; \quad b = 0,3m \quad ; \quad c = 0,8m$$

Accélération de la pesanteur:  $\vec{g} = g\vec{x} \quad ; \quad g = 10m.s^{-2}$ .

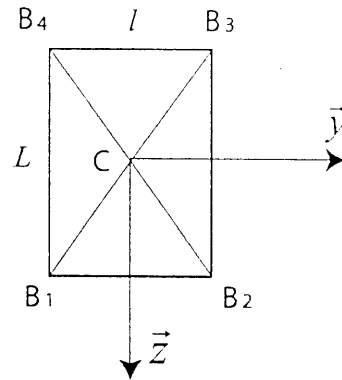


Figure-1:- Equilibre du container

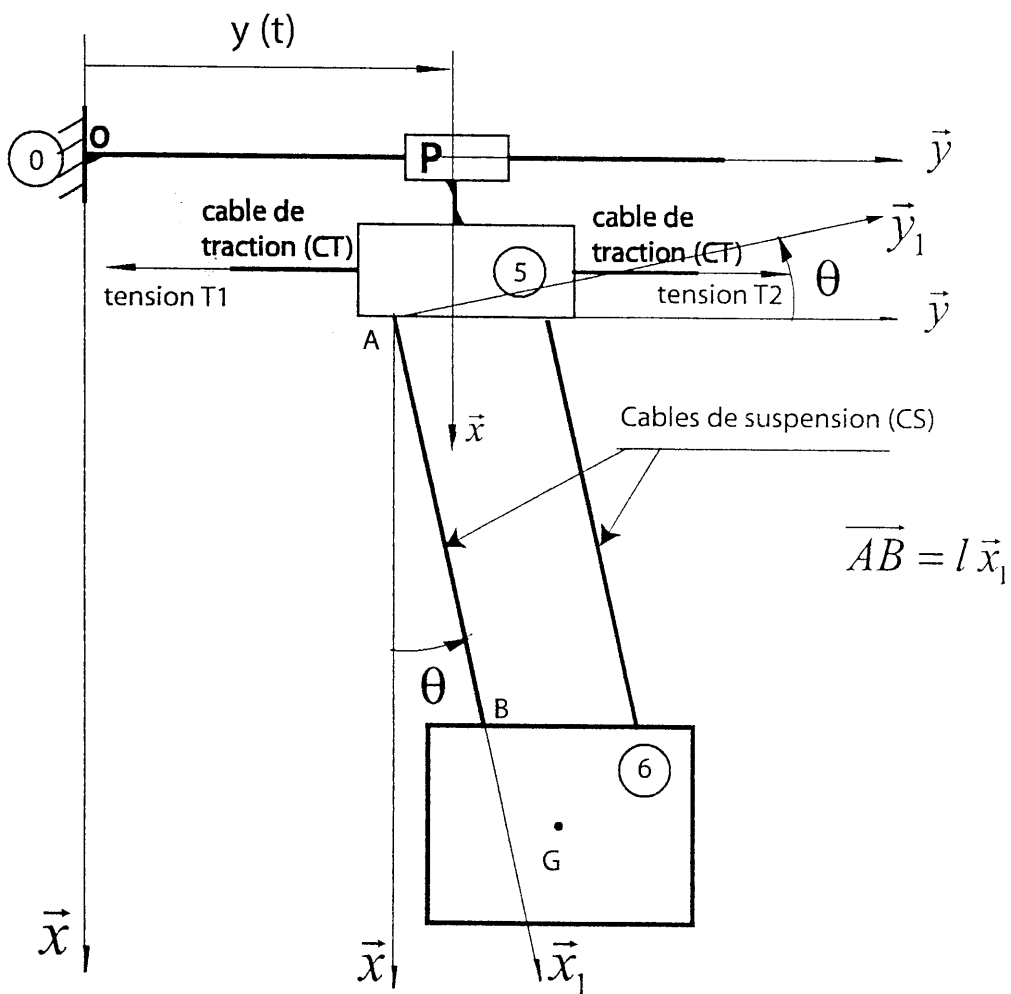


Figure-2-

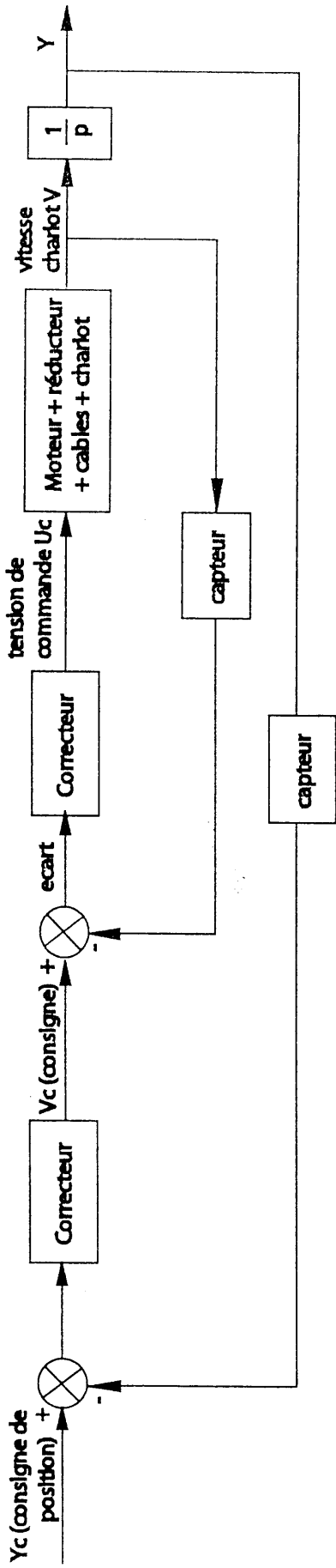
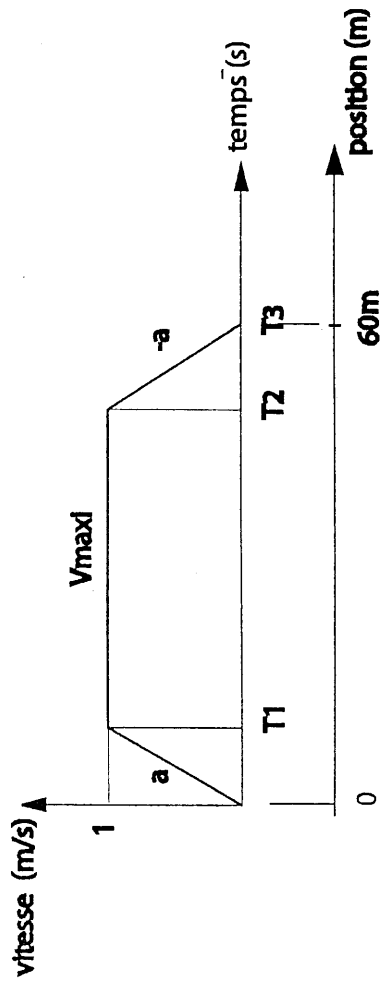


Figure-1-: Asservissement de la position et de la vitesse du charlot



$T1 = 1\text{ s}$       $T3 - T2 = 1\text{ s}$   
 Course : 60 mètres

Figure-2- loi théorique de commande en vitesse du charlot.

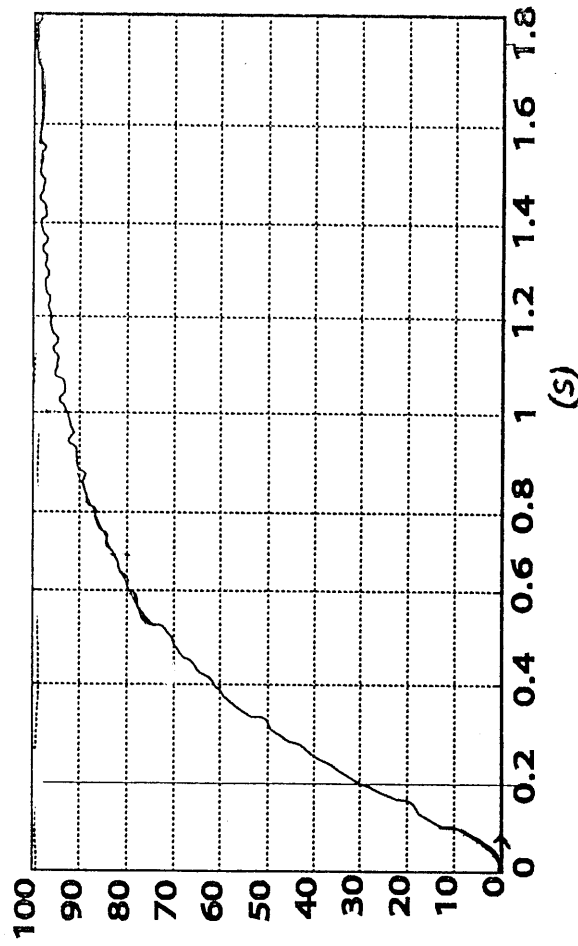


Figure-3- réponse  $\Delta T$  en Newtons à un échelon de tension de 500volts

