

# AGREGATION INTERNE DE GENIE ELECTRIQUE

## Option A

### ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Etude d'un problème d'automatisation (durée 6 heures)

### PORTIQUE A CONTENEURS CAILLARD C3

#### RECOMMANDATIONS AUX CANDIDATS

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur des feuilles séparées et clairement repérées. Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager où encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre, les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

#### ORGANISATION DU SUJET

SUJET : Parties 1 à 4 (16 pages).

DOCUMENTS ANNEXES : Annexes 1 à 7 (7 pages).

DOCUMENTS REPONSE : Documents réponse n°1 à n°4 (2 pages).

Note aux candidats:

Les parties 1, 2, 3 et 4 sont indépendantes.

#### Présentation des applications numériques

Lors du passage d'une forme littérale à son application numérique il est demandé aux candidats de procéder comme suit :

Après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

## PORTIQUE A CONTENEURS CAILLARD C3

### PRÉSENTATION

Le système étudié, implanté sur le port autonome de Marseille, est destiné au chargement et au déchargement de conteneurs. Il est constitué d'un bâti se déplaçant parallèlement au quai et d'une flèche sur laquelle se déplace un chariot de levage.



Le sujet proposé comporte 4 parties :

Partie 1 : Etude mécanique de la translation du chariot.

Partie 2 : Etude de l'asservissement du chariot.

Partie 3 : Analyse du dispositif de mesure de l'angle d'inclinaison du câble porteur.

Partie 4 : Travail pédagogique.

***Le sujet porte sur la translation du chariot (Direction).***

Les quatre parties sont indépendantes, cependant les **candidats ont intérêt à lire tout le sujet** et à essayer de traiter les différentes parties dans l'ordre proposé.

Les questions sont identifiées par une *police italique* et précédées d'un numéro.

**DONNÉES TECHNIQUES GÉNÉRALES :**

UTILISATION :	Chargement et déchargement de conteneurs ISO 20' et 40'.		
	Conteneur 20' : Longueur 6,1 m,	largeur 2,4 m,	hauteur 3,0 m.
	Conteneur 40' : Longueur 12,2 m,	largeur 2,4 m,	hauteur 3,0 m.
MASSES :	Totale : 844 T,	Avant bec : 74 T,	Chariot : 32 T,
	Structure : 738 T,	Dont lest béton 170 T et acier 12 T.	
	Masse utile du «Spreader» : 10 T,	Masse utile sous « spreader » :40 T.	
	Masse utile au crochet : 50 T.		
DIMENSIONS :	Ecartement des rails : 15 m,	Hauteur totale : 61,34 m.	
COURSES :	Au-dessus du quai : 30 m,	au-dessous du quai : 12 m.	
	Portée côté terre : 25 m,	Portée côté eau : 40 m.	
	Course horizontale totale : 80 m.		
DUREES :	Relevage de l'avant bec : 5 Min,		
	Accélération au Levage : 3 s.		
	Décélération au Levage : 3 s.		
	Accélération du chariot de direction : 4 s.		
	Décélération du chariot de direction : 4 s.		
VITESSES :	Levage à vide : 2 m/s,	Levage en charge : 1 m/s.	
	Direction ( $\perp$ au quai): 3 m/s	(à vide ou en charge).	
	Translation ( $\parallel$ au quai) : 0,75 m/s	(à vide ou en charge).	
PUISSANCES :	Levage : 1×480 kW,	Relevage : 1×74 kW.	
	Direction : 2×78 kW,	Translation : 8×30 kW.	

**DOCUMENTS :**

Vue d'ensemble du portique : .....	ANNEXE 1.
Vue avant bec relevé :.....	ANNEXE 2.
Chaîne cinématique Levage :.....	ANNEXE 3.
Chaîne cinématique Direction :.....	ANNEXE 4.
Abaque du temps de réponse réduit :.....	ANNEXE 5.
Schéma de principe du dispositif de mesure des mouvements du câble :.....	ANNEXE 6.
Extraits du référentiel du BTS Electronique :.....	ANNEXE 7.

# 1 ETUDE MÉCANIQUE DE LA TRANSLATION DU CHARIOT.

## 1.1 Justification du dimensionnement des moteurs du chariot.

On utilisera les données techniques générales et les annexes 3 et 4.

On considérera les hypothèses simplificatrices suivantes :

- les rendements sont unitaires,
- les accélérations et décélérations sont constantes,
- les moteurs peuvent développer temporairement 1.2 fois leur couple nominal.

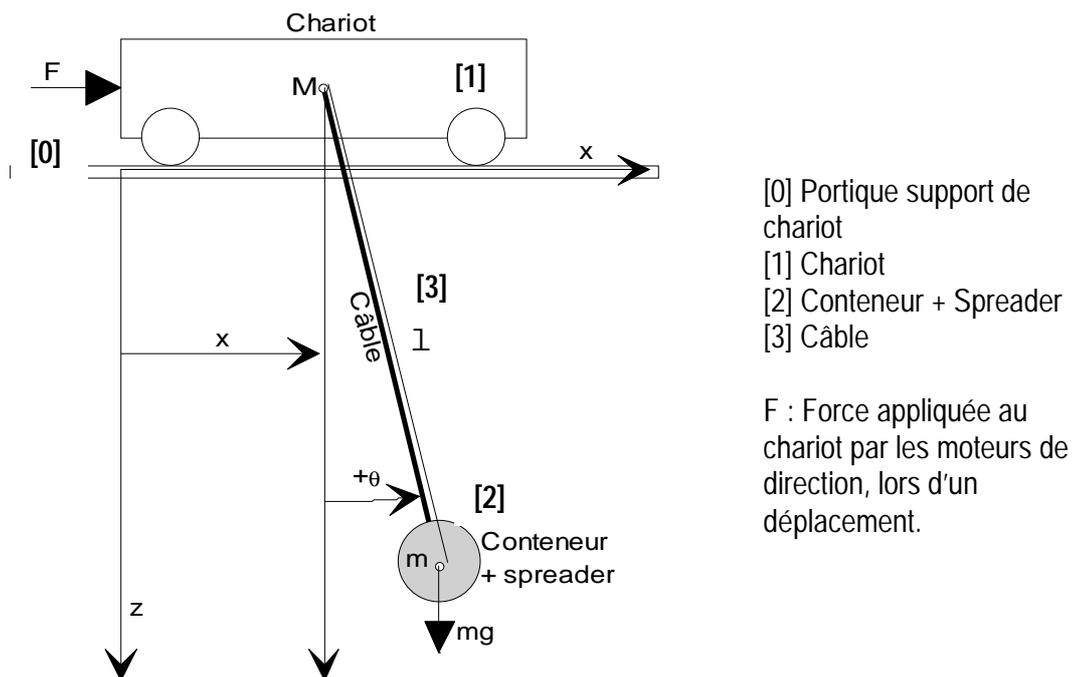
En admettant, pour la translation (direction), une faible longueur de câble permettant d'assimiler la liaison conteneur-chariot à une liaison rigide,

et en négligeant, pour cette question, les inerties des pièces en rotation (rotor ou induit du moteur, disques de freins, tambours, galets, réducteur....) :

1.1.1 Justifier la puissance et la vitesse nominale de rotation des moteurs de direction.

1.1.2 Représenter les évolutions temporelles (en précisant les valeurs numériques caractéristiques), de la vitesse, de la force totale appliquée au chariot et de la puissance fournie par les deux moteurs pour une translation de 24 m en avant, un temps de repos de 4 s puis une translation de 24 m en arrière . (Ce cycle étant réalisé à pleine charge.)

## 1.2 Balancement de la charge et influence du vent.



Pour toute cette partie, on supposera de petits angles pendulaires  $\theta$  exprimés en radians, ( $\cos\theta = 1$ ,  $\sin\theta = \theta$ ), une faible vitesse angulaire  $(\theta')^2 = 0$ , et une accélération du câble nulle. Le chariot et la charge sont assimilés à des masses ponctuelles, les huit câbles à un seul.

On suppose tout d'abord que le **chariot de masse  $M = 32 \text{ T}$  est fixe par rapport au portique**, les conditions sont inchangées (câble de longueur  $L = 40 \text{ m}$  et charge  $m = 50 \text{ T}$ ).

La force exercée par le vent a pour expression :

$$F_v = A \cdot C_d \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (V_v)^2$$

A : Surface du conteneur en m<sup>2</sup>.

C<sub>d</sub> : Coefficient d'aérodynamisme = 1,2.

ρ : Densité de l'air à 20 °C = 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

V<sub>v</sub> : Vitesse du vent en m/s.

F<sub>v</sub> : Force exercée par le vent en N.

1.2.1 *Calculer les valeurs numériques des angles et des déplacements de la charge pour des vitesses de vent de 20, 40 et 80 km/h de direction x normale à la plus grande surface d'un conteneur de 40'.*

Alors que l'inclinaison due au vent est de  $\theta_0$ , celui-ci cesse brusquement.

1.2.2 *Analyser qualitativement l'évolution de l'angle  $\theta$  dans le temps.*

**Le chariot est libre par rapport au portique**, la vitesse du vent est nulle. La distance de son centre de gravité par rapport à l'origine est x (voir schéma ci-dessus). Les hypothèses sur  $\theta$  sont maintenues, ( $\cos\theta = 1$ ,  $\sin\theta = \theta$ , une faible vitesse angulaire ( $\dot{\theta}$ )  $\approx 0$ ).

On désire mettre en évidence l'influence du balancement de la charge ( $\theta$  non nul), sur la commande de déplacement des moteurs du chariot (force F(t)).

1.2.3 *Appliquer le principe fondamental de la dynamique au chariot de masse M et établir la relation temporelle liant x,  $\theta$  et F.*

1.2.4 *Etablir les coordonnées du centre de gravité de l'ensemble « conteneur-spreader » de masse m. (Les hypothèses simplificatrices sur  $\theta$  étant appliquées.)*

1.2.5 *Appliquer le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble « conteneur-spreader » de masse m et établir la relation temporelle liant x à  $\theta$ .*

1.2.6 *Déduire des résultats précédents (1.2.3 et 1.2.5), l'équation différentielle liant l'angle d'inclinaison  $\theta(t)$  à la force  $F(t)$  exercée sur le chariot.*

1.2.7 *Etablir l'expression temporelle, littérale puis numérique, de  $\theta(t)$  ; pour une force  $F(t)$  nulle et une inclinaison initiale  $\theta_0$  de 1,4°.*

A l'instant t = 0, alors que la charge est à la verticale du chariot, les moteurs de direction appliquent à ce dernier un échelon de force F de 60000 N.

1.2.8 *Etablir l'expression temporelle, littérale puis numérique de  $\theta(t)$ .*

1.2.9 *Montrer que si l'échelon de force est annulé après un délai D (créneau de force de durée D) judicieusement choisi, il est possible de réduire et même d'annuler le balancement de la charge. Calculer la valeur numérique de D qui annule l'inclinaison finale.*

1.2.10 *En déduire une stratégie de commande pour le chariot, représenter  $F(t)$  et  $\theta(t)$  pour un trajet.*

## 2 ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT DU CHARIOT.

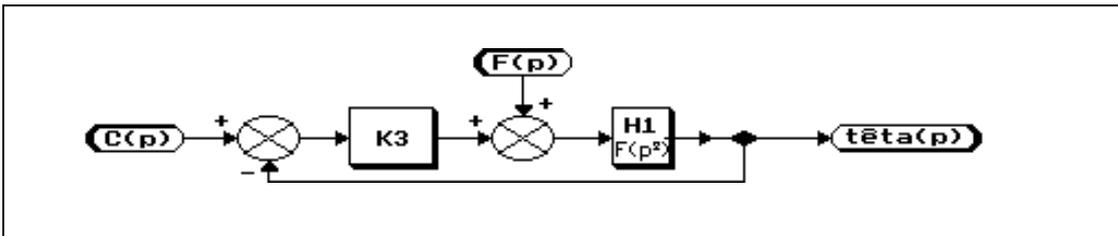
2.1 A partir de l'expression établie en 1.2.6., donner l'expression littérale et numérique (sous forme canonique faisant apparaître les constantes de temps) de :  $H(p) = \frac{\theta(p)}{F(p)}$

### 2.2 Commande de l'inclinaison du câble

Dans ce qui suit, on prendra  $H1(p) = \frac{\theta(p)}{F(p)} = \frac{-1,2 \cdot 10^{-6}}{1 + 1,6p^2}$  comme arrondi de  $H(p)$

On adoptera par la suite  $\theta(p) = \text{tête}(p)$ .

Pour maintenir une inclinaison nulle on adopte le schéma fonctionnel suivant :

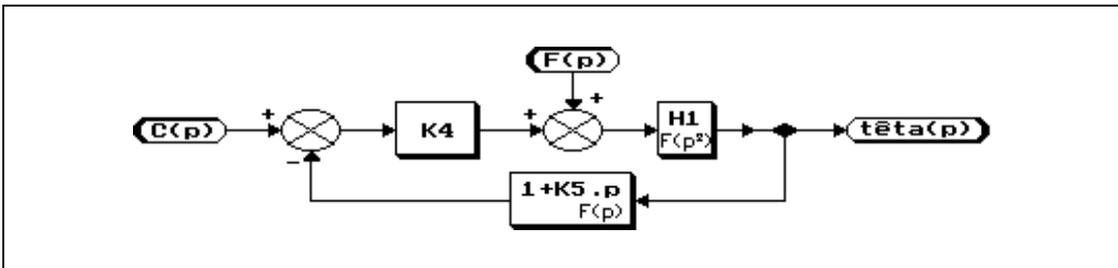


2.2.1. Quelle valeur faut-il donner à la consigne  $C(p)$  ?

2.2.2. Calculer la fonction de transfert  $H2(p) = \frac{\text{tête}(p)}{F(p)}$ .

2.2.3. Etudier la stabilité du système de fonction de transfert  $H2(p)$  en fonction de la valeur de  $K3$ .

On remplace le retour unitaire du schéma précédent par une correction de type  $(1+K5.p)$



2.2.4 Tracer les diagrammes de Bode du correcteur  $(1+K5.p)$ . Préciser le type de ce correcteur.

2.2.5 Calculer la nouvelle fonction de transfert  $H3(p) = \frac{\text{tête}(p)}{F(p)}$ .

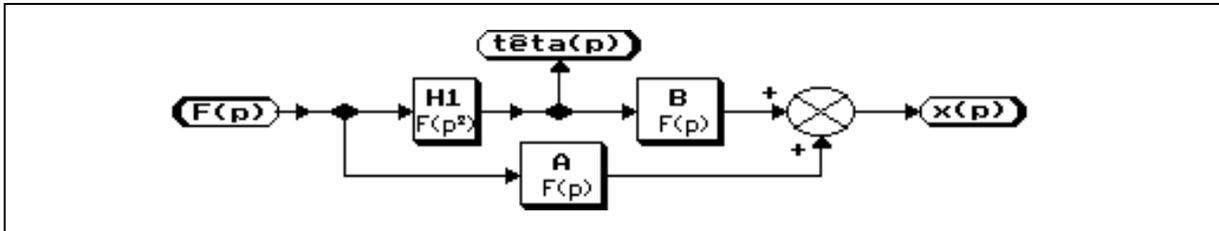
2.2.6 Calculer les gains  $K4$  et  $K5$  pour obtenir un pôle double  $p_1 = p_2 = -1,3 \text{ s}^{-1}$ .

2.2.7 Donner les solutions technologiques permettant de faire une mesure de l'angle d'inclinaison du câble avec la précision adéquate.

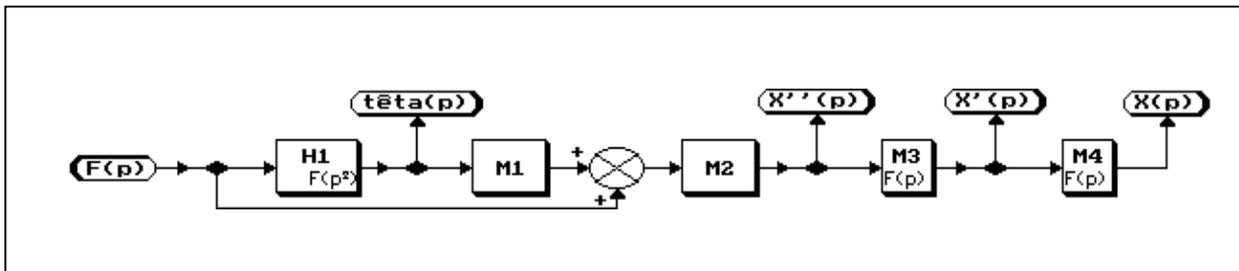
## 2.3 Asservissement de la vitesse du chariot

En partant de l'expression de  $\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{f(t)}{M} + \frac{mg\theta(t)}{M}$  :

2.3.1 Déterminer littéralement les blocs  $A(p)$  et  $B(p)$  du schéma suivant.



2.3.2 Montrer que ce schéma-bloc précédent (2.3.1) peut se mettre sous une forme faisant apparaître la vitesse et l'accélération du chariot en explicitant les blocs  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$  et  $M4$ .



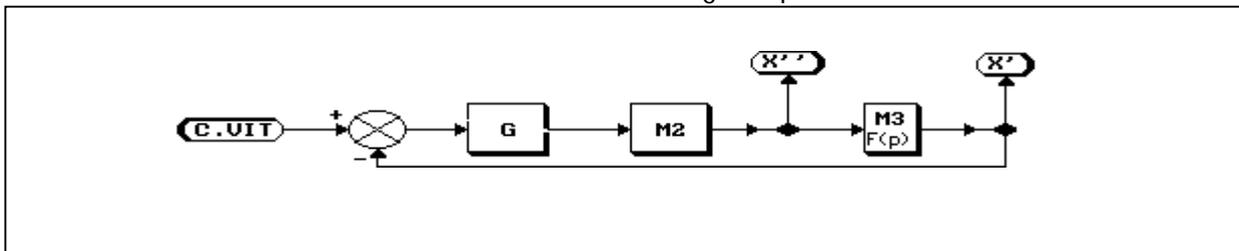
2.3.3 Tracer les diagrammes de Bode de  $H1(j\omega)$  :

$$H1(p) = \frac{-1,2 \cdot 10^6}{1 + 1,6p^2}$$

2.3.4 Tracer les diagrammes de Bode de  $H'(j\omega) = (M1 \cdot H1(j\omega) + 1)$ .

2.3.5 Pour quelles valeurs pratiques de la pulsation  $\omega$  peut-on considérer la fonction de transfert  $H'(j\omega)$  comme un gain pur ? Justifier.

Pour réaliser le contrôle de la vitesse on considère le montage simplifié suivant :



$C.VIT$  est la consigne vitesse,  $G$  le gain du correcteur proportionnel associé,  $M2$  et  $M3$  étant définis précédemment (question 2.3.2)

2.3.6 Calculer la valeur  $G1$  qu'il faut donner au gain  $G$  du correcteur pour que le montage ait un temps de réponse normalisé (à 95% de la valeur finale) égal à 10ms.

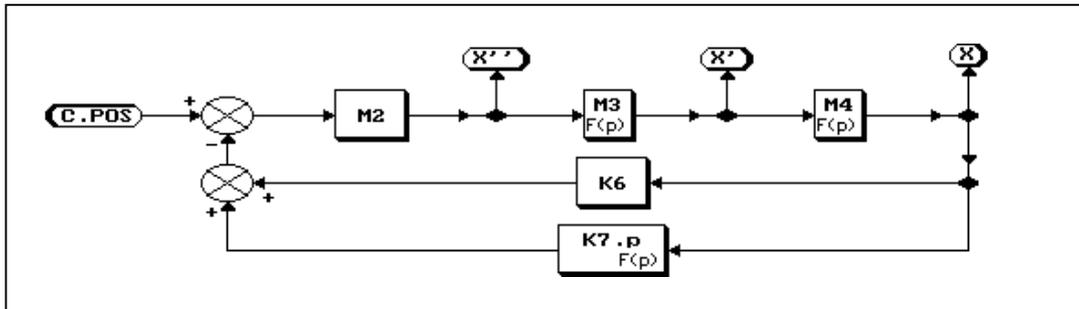
2.3.7 En réglant le gain  $G = G2 = 10^7$ , calculer l'erreur statique de position du montage pour une entrée échelon unitaire.

2.3.8 Avec le même gain  $G = G2$ , calculer l'erreur de traînage pour une entrée rampe valant  $1V.s^{-1}$ .

2.3.9 En déduire les allures temporelles de  $X'$  et de  $X''$  pour une consigne  $C.VIT$  de type rampe échantillonnée (pente  $0,75 V.s^{-1}$  échantillonnée à  $3V$ ).

## 2.4. Contrôle de la position du chariot.

En partant du schéma simplifié du 2.3.5 on réalise une boucle de position comme suit :

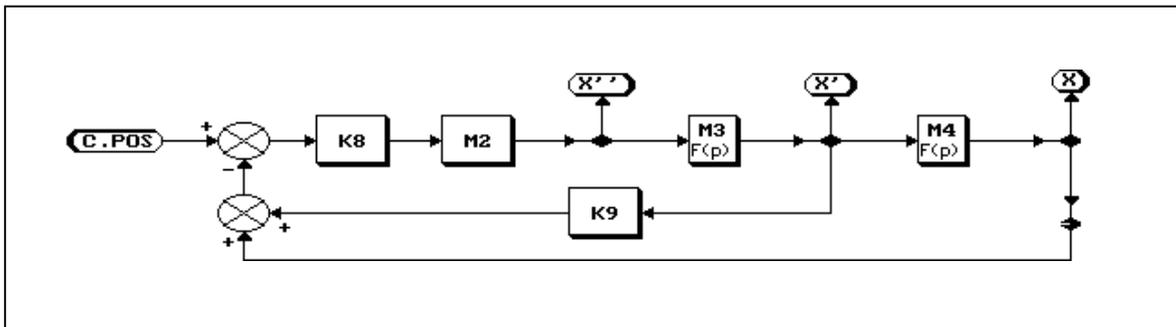


$C.POS$  est la consigne position,  $K6$  et  $K7.p$  forment le correcteur,  $M2$ ,  $M3$  et  $M4$  étant définis au 2.3.2.

2.4.1 Calculer numériquement les coefficients  $K6$  et  $K7$  pour que le système ne présente que 5% de dépassement sur la réponse indicielle et que son temps de réponse normalisé (à 95% de la valeur finale) soit égal à 0,3s. On utilisera l'abaque des temps de réponse réduit donné en annexe 5.

2.4.2 Dans ces conditions (2.4.1), quel échelon faut-il appliquer à  $C.POS$  pour obtenir un déplacement final de 10 m ? Commenter cette valeur.

On propose alors la structure suivante :



2.4.3 Calculer numériquement les coefficients  $K8$  et  $K9$  pour obtenir les mêmes performances que celles demandées en 2.4.1.

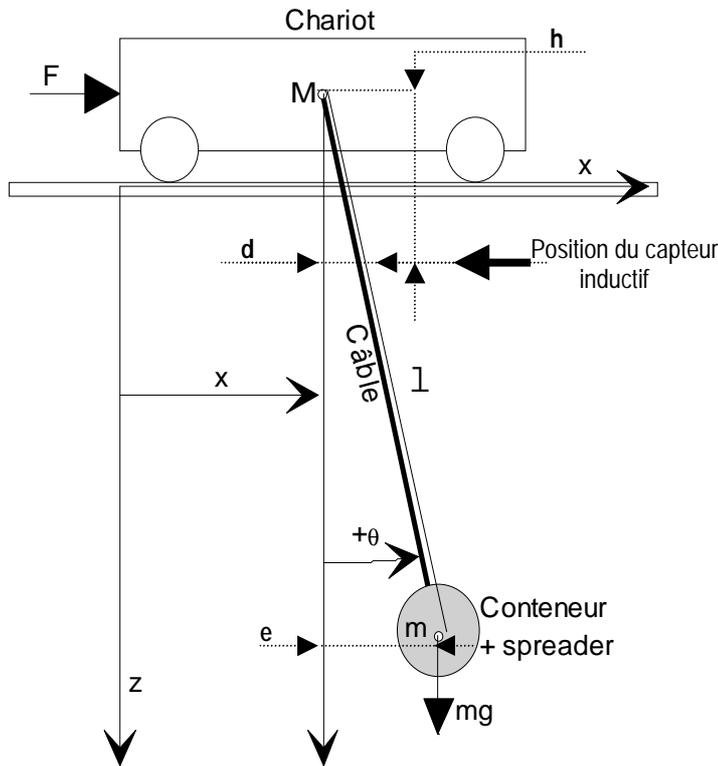
2.4.4 Calculer alors la valeur à appliquer à  $C.POS$  pour obtenir le déplacement final de 10 m. Discuter en comparant cette nouvelle valeur à celle obtenue en 2.4.2.

### 3 ANALYSE DU DISPOSITIF DE MESURE DE L'ANGLE D'INCLINAISON DU CÂBLE PORTEUR.

La mesure de l'angle d'inclinaison du câble porteur est réalisée à partir d'un capteur de déplacement inductif à courants de Foucault.

Le fonctionnement de ce type de capteur est basé sur l'amortissement plus ou moins important d'un oscillateur.

#### 3.1 Caractérisation des déplacements à mesurer par le capteur



$h = 0,5 \text{ m}$   
 $e_{\max} = 1 \text{ m}$   
 $d$  indication mesurée à partir du capteur inductif.

Le dispositif de mesure de l'angle d'inclinaison du câble se situe à une distance  $h = 0,5\text{m}$  de son axe de rotation.

3.1.1 Pour un angle d'inclinaison maximal  $\theta_0$ , établir la valeur maximale  $d_{\max}$  obtenue à partir du capteur inductif.

Le positionnement de l'ensemble conteneur/spreader doit être réalisé avec une erreur relative maximale de 10%.

3.1.2 Calculer la résolution minimale du dispositif de mesure.

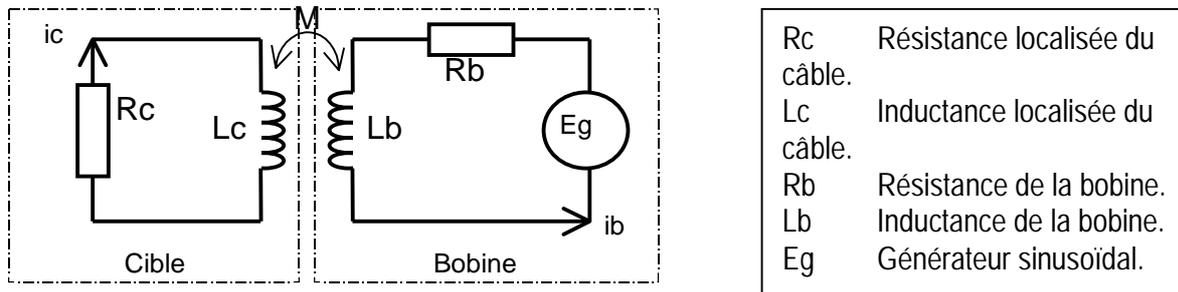
#### 3.2 Etude du principe physique exploité par le capteur

Lorsqu'un matériau conducteur est placé à proximité d'une bobine dans laquelle circule un courant alternatif sinusoïdal, il se crée au sein de ce matériau, une circulation de courants induits appelés courants de Foucault.

Le couplage entre la bobine et la spire en court-circuit que représente le câble porteur, provoque une variation de l'impédance de la bobine. Cette variation dépend de la distance séparant la cible (câble porteur) de la bobine.

## A Etude de l'ensemble Bobine - Cible

Modèle d'étude simplifié



Le câble (cible) est assimilé à un circuit électrique couplé par **mutuelle induction** à la bobine.

- 3.2.1 *A partir du modèle d'étude ci dessus, établir la relation liant le générateur  $E_g$  aux éléments du modèle.*
- 3.2.2 *Ecrire la relation obtenue sous la forme:  $E_g = (R + jL\omega).i_b$ , exprimer  $R$  et  $L$  en fonction des éléments du modèle d'étude.*

On considère la cible très conductrice (câble porteur en acier), ce qui conduit à considérer  $R_c \ll L_c\omega$ . On définit le coefficient  $k$  de couplage entre la bobine et la cible par le rapport suivant :

$$k = M / \sqrt{L_c L_b}$$

- 3.2.3 *Montrer que dans ces conditions, les éléments  $R$  et  $L$  du modèle d'étude peuvent se mettre sous la forme :*

$$R = R_b + k^2 \cdot R_c \cdot \frac{L_b}{L_c}$$

$$L = L_b (1 - k^2)$$

- 3.2.4 *Préciser les variations obtenues sur  $R$  et  $L$ , lorsque la cible se déplace au voisinage de la bobine.*

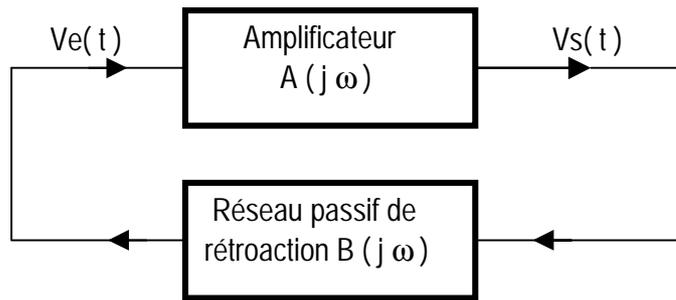
## B Etude de l'Oscillateur

Le conditionneur du capteur étudié est basé sur un **oscillateur** intégrant la bobine du modèle d'étude comme élément sensible.

L'emploi d'un oscillateur dans le conditionneur permet de transférer sur la fréquence des oscillations l'information liée à la valeur de l'impédance de la bobine. Le signal délivré par l'oscillateur est dit "modulé en fréquence", ce qui lui confère une bonne immunité aux parasites.

Le schéma "bloc" proposé ci-dessous, définit un oscillateur à boucle de réaction. On prélève en sortie de l'amplificateur une partie du signal pour le réinjecter en entrée afin d'entretenir les oscillations.

### Structure générale d'un oscillateur à réaction



L'amplificateur est une structure à base de transistor bipolaire.

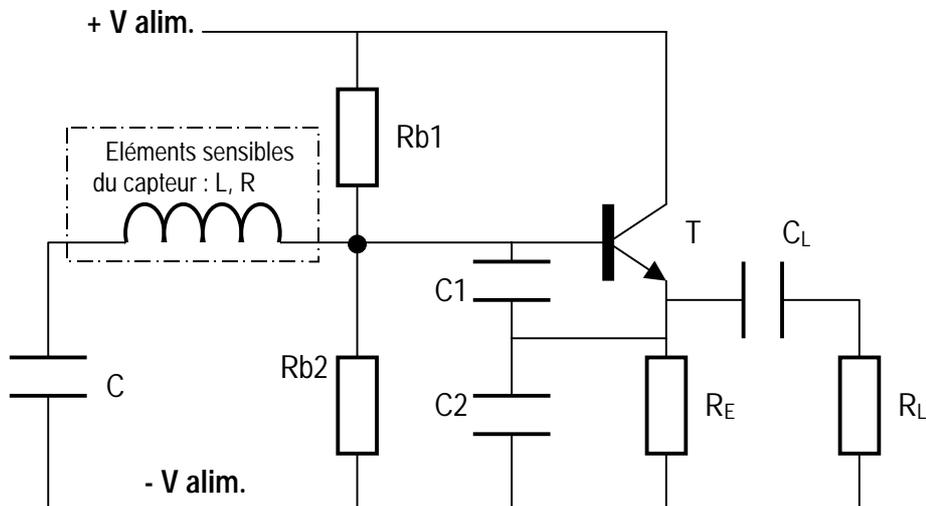
3.2.5 Préciser le rôle de chacun des blocs du schéma. Expliquer pourquoi le signal  $V_e(t)$  à l'entrée de l'oscillateur est sensiblement sinusoïdal, même si l'amplification sort quelque peu du régime linéaire.

3.2.6 Exprimer, à partir des éléments du schéma bloc, les conditions limites d'entretien des oscillations à partir de la mise sous tension de l'oscillateur.

L'oscillateur intégré dans le conditionneur est un oscillateur de type CLAPP monté en collecteur commun et polarisé en classe A. Le circuit de rétroaction est constitué par un **réseau sélectif**.

Le montage CLAPP est utilisé en raison de sa bonne stabilité de fréquence vis à vis des dérives éventuelles des paramètres de l'amplificateur.

### Oscillateur CLAPP intégré dans le conditionneur



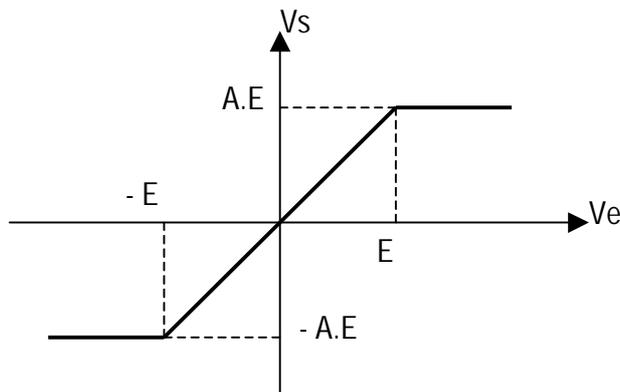
3.2.7 Mettre en évidence, par une représentation en petits signaux, le schéma de l'oscillateur sous une forme quadripolaire double ou l'un des quadripôles sera constitué par la partie amplificatrice, et l'autre par une réaction d'éléments passifs. On utilisera le schéma équivalent basse fréquence du transistor.

On se situe en régime établi, pour une valeur particulière des éléments constituant l'élément sensible du capteur.

Si les conditions de démarrage de l'oscillateur sont vérifiées, on peut considérer que l'on se trouve en présence d'un **système bouclé non linéaire**. Cependant grâce à la sélectivité du quadripôle de réaction, on pourra assimiler le signal en entrée de l'amplificateur à une sinusoïde.

On se propose de résoudre les conditions de fonctionnement de l'oscillateur à partir de **l'approximation du premier harmonique**.

#### Caractéristique de transfert modélisée de l'amplificateur



$$V_e(t) = E_m \sin \omega_0 t$$

- si  $|V_e| \leq E$ , alors  $V_s = A.V_e$
- si  $|V_e| > E$ , alors  $V_s = A.E$

3.2.8 Exprimer  $V_{S1}(t)$  fondamental de  $V_S(t)$ , pour une amplitude maximale  $E_m$  de  $V_e(t)$  supérieure à la valeur  $E$ .

#### $V_{S1}(t)$ fondamental de $V_S(t)$

On pourra définir un angle  $\alpha_0$  (angle de conduction) par:  $\sin \alpha_0 = \frac{E}{E_m}$

3.2.9 Soit  $N_1$  la valeur de l'amplification pour le fondamental de  $V_S(t)$ , exprimer  $N_1 = f(E_m)$ .

$$N_1 = f(E_m)$$

3.2.10 Sur le document réponse DR1, tracer l'évolution de  $N_1 = f(E_m)$  lorsque  $E_m$  varie de 0 Volt à + 10 Volts et que  $E = 3$  Volts.

On considère que le quadripôle de réaction présente à la résonance une atténuation de valeur  $B_0$ .

3.2.11 Déterminer à l'aide du graphe précédemment tracé, l'amplitude maximale correspondante  $E_{1m}$  du signal  $V_e(t)$  en entrée de l'amplificateur.

Si l'on considère que le condensateur  $C$  à une capacité négligeable devant celles de  $C_1$  ou  $C_2$ , La pulsation de résonance de l'oscillateur peut être définie en première approximation par l'expression:

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{Lb.C}$$

3.2.12 En considérant une variation  $\Delta L$  de la réactance de la bobine, on constate une variation correspondante  $\Delta f$  de la fréquence  $f_0$ .

Exprimer le rapport  $\frac{\Delta f}{f_0}$ , ainsi que la relation liant la fréquence de l'oscillateur à  $f_0$  et  $\Delta f$ .

$$f = F(f_0, \Delta f) \text{ et } \frac{\Delta f}{f_0}$$

3.2.13 En supposant un déplacement de la cible, représenter sur le document réponse DR2, l'allure de la caractéristique liant la fréquence  $f$  de l'oscillateur à la distance  $d$  séparant le câble porteur (cible) du capteur. (Vous commenterez cette caractéristique en considérant le coefficient de couple  $k$  du modèle d'étude.)

$$f = F(d)$$

On s'intéresse au choix de la fréquence  $f_0$  de l'oscillateur. On considère la variation  $\Delta k$  du coefficient de couplage  $k$ , soit donc  $k = (k_0 + \Delta k)$ , on adoptera  $k_0 = 0$ .

3.2.14 A partir de l'expression liant la fréquence à  $f_0$  et  $\Delta f$ , exprimer la relation liant  $\Delta k$  à  $f_0$  et  $\Delta f$ .

$$\Delta k = F(\Delta f, f_0)$$

Conclure sur le choix de la fréquence  $f_0$ . on illustrera la conclusion en considérant les deux cas suivants:

- cas N°1 :  $\Delta f = 100 \text{ kHz}$ , et  $f_0 = 1 \text{ MHz}$
- cas N°2 :  $\Delta f = 100 \text{ kHz}$ , et  $f_0 = 500 \text{ kHz}$

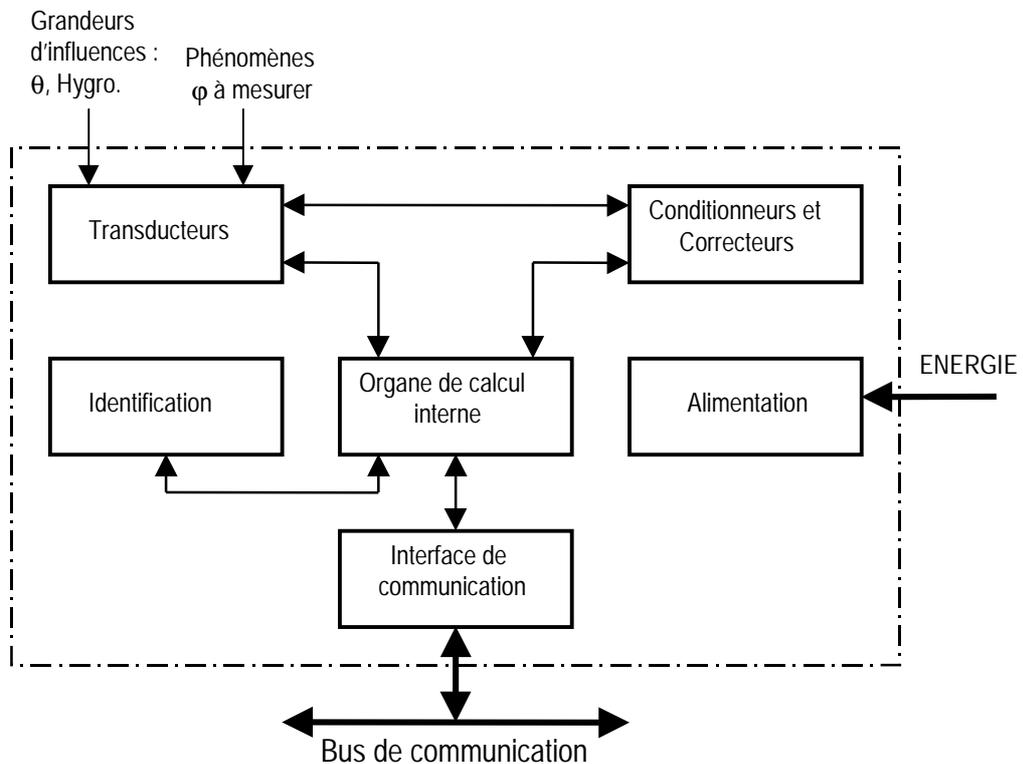
### 3.3 Etude du capteur de déplacement à courants de Foucault

Le capteur de déplacement utilisé dans le système, entre dans la catégorie des **capteurs** dits « **intelligents** ».

Ces capteurs sont issus de l'association du microprocesseur avec les capteurs et conditionneurs « classiques ».

L'existence de moyens de traitements numériques dans ce type de capteur, rend possible la correction automatique d'un capteur (prise en compte des grandeurs d'influence), elle facilite également la linéarisation, la déconvolution temporelle ou spatiale, l'intercorrélation...

#### Structure générale d'un capteur "intelligent"



La sensibilité du capteur utilisé nous conduit à une précision sur les valeurs des mesures pouvant atteindre quelques dizaines de microns, il y a donc nécessité de préserver cette mesure.

Les **grandeurs d'influences** (température et hygrométrie entres autres) agissent en particulier sur la fréquence de l'oscillateur (conditionneur), et donc sur la précision des mesures.

### A Prise en compte de la grandeur d'influence Température

Les grandeurs d'influences sont des grandeurs physiques autres que le mesurande, qui sont susceptibles d'affecter la sortie électrique ou numérique du capteur. L'action d'une grandeur d'influence se traduit généralement par un décalage du zéro, une dérive de la sensibilité.

Les grandeurs d'influences peuvent affecter aussi bien certains composants du conditionneur, que l'élément sensible du capteur.

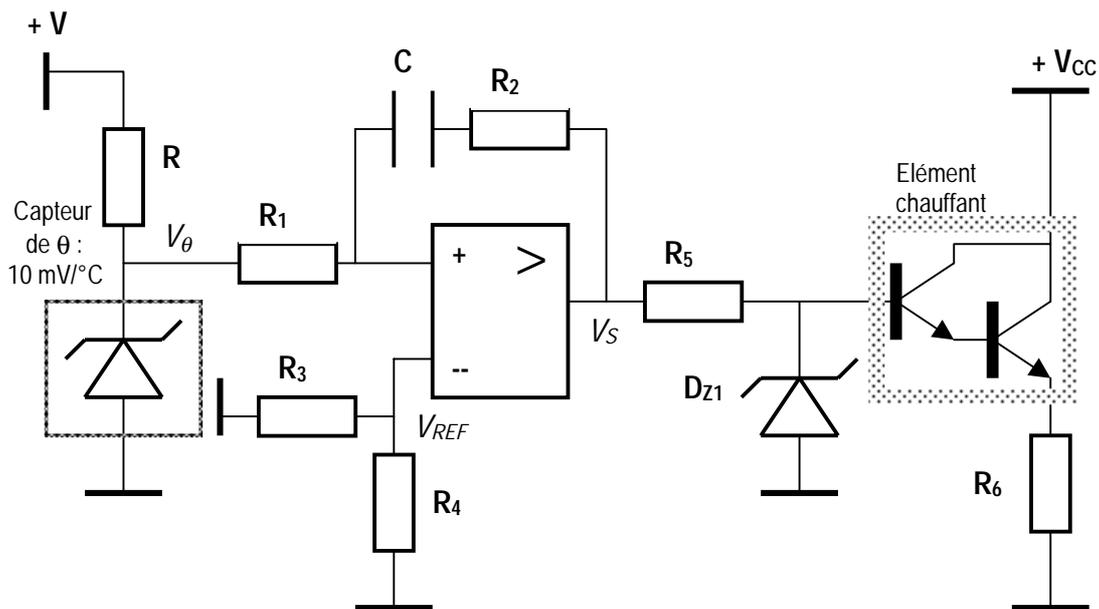
On s'intéresse particulièrement à la grandeur d'influence qu'est la température pour le capteur étudié. La température est régulée autour d'une valeur parfaitement connue, ce qui permet un étalonnage du capteur.

#### Principe utilisé pour la thermorégulation:

L'ensemble du conditionneur du capteur est placé sur un substrat que l'on "chauffe", et dont on régule la température.

La température est mesurée par un capteur et comparée à une valeur de référence, un écart même minime provoque le réchauffement du substrat.

Le schéma structurel suivant est une représentation simplifiée de la thermorégulation employée sur le capteur étudié.



3.3.1 Etablir l'expression littérale de  $V_S(t)$  en fonction de  $V_\theta(t)$ ,  $V_{REF}$  et des composants de la structure.

$$V_S = f(V_\theta, V_{REF})$$

Le régulateur étudié met en œuvre un correcteur à action proportionnelle intégrale (P.I).

3.3.2 De la relation précédemment établie [ $V_S = f(V_\theta, V_{REF})$ ], extraire les expressions correspondantes à l'action proportionnelle et intégrale, indiquer la valeur particulière de  $V_S(t)$  lorsque  $V_{REF} = V_\theta$ .

3.3.3 Décrire de manière générale les effets de l'action intégrale dans tout système asservi.

**B Mesure de la fréquence du signal porteuse de l'information « déplacement du câble »**

Le signal issu de l'oscillateur du conditionneur est appliqué à un dispositif de comptage après avoir subi une mise en forme. Le principe adopté est schématisé sur le document annexe 5.

On envisage deux méthodes de mesure de la fréquence du signal issu de l'oscillateur:

- le calcul de la fréquence à partir d'une **mesure de périodes**,
- la mesure **directe** de la fréquence.

Notation adoptée

F	fréquence du signal à mesurer,
T	période du signal dont on veut connaître la fréquence,
$\Delta T$	durée de la mesure,
$T_H, F_H$	période et fréquence de l'horloge du dispositif de mesure,
$N_T$	nombre de périodes de l'horloge,
N	nombre de périodes du signal à mesurer.

3.3.4 Mesure de la fréquence de l'oscillateur à partir d'une mesure de périodes:

On s'intéresse au temps  $\Delta T$  durant lequel va s'effectuer un nombre déterminé de transitions  $1 \rightarrow 0$  du signal d'entrée.

3.3.4.1 Compléter le schéma de mesure sur le document réponse DR3, sachant que:

- CTR1 fixe le nombre N de transitions  $1 \rightarrow 0$  du signal d'entrée,
- CTR2 mesure le temps de N transitions du signal d'entrée

3.3.4.2 Exprimer la relation liant F à N,  $N_T$  et  $T_H$ :  **$F = f(N, N_T, T_H)$** .

3.3.4.3 La valeur de  $N_T$  est connue à plus ou moins une période de  $T_H$ , évaluer dans ces conditions l'erreur introduite  $\Delta F$  sur le calcul de F. On exprimera  **$\Delta F$  en fonction de F,  $F_H$  et  $\Delta T$** .

3.3.5 Mesure directe de la fréquence de l'oscillateur:

On mesure le nombre de transitions  $1 \rightarrow 0$  du signal d'entrée durant un temps prédéterminé  $\Delta T$ .

3.3.5.1 Compléter le schéma de mesure sur le document réponse DR4, sachant que:

- CTR1 fixe la durée de la mesure ( $\Delta T$ ),
- CTR2 fixe le nombre N de transitions  $1 \rightarrow 0$  du signal à mesurer.

3.3.5.2 Exprimer la relation liant F à N et  $\Delta T$ :  **$F = f(N, \Delta T)$** .

3.3.5.3 La valeur de N est connue à plus ou moins une période de T, évaluer dans ces conditions l'erreur introduite  $\Delta F$  sur le calcul de F. On exprimera  **$\Delta F$  en fonction de  $\Delta T$** .

On fixe les valeurs suivantes:

- $F_H = 1 \text{ MHz}$ ,
- $F_{\text{MAX}} = 2 \text{ MHz}$ ,
- $\Delta T = 100 \text{ ms}$ .

3.3.6 Évaluer la précision de la mesure de la fréquence de l'oscillateur pour les deux méthodes préconisées, en déduire la méthode de mesure à employer.

### C Traitement de l'information « déplacement du câble »

La fréquence du signal porteur de l'information de déplacement du câble suit **une loi de variation non linéaire** compte tenu de la précision exigée sur les mesures à effectuer (voir études précédentes). Il existe un certain nombre de procédés dits de "linéarisations" qui permettent de corriger ces défauts. On s'intéressera par la suite aux procédés de **linéarisations numériques** du signal ( le capteur disposant d'un processeur et des ressources nécessaires).

Le calculateur interne qui a été programmé à cette fin établi la correspondance entre les expressions numériques de la fréquence **F** mesurée par le dispositif de comptage d'une part, et la valeur du déplacement dans un système d'unité défini, d'autre part.

Deux méthodes principales permettent d'établir cette correspondance:

- la méthode **analytique**,
- la méthode par **tabulation / interpolation**.

3.3.7 *Vous devez développer l'**algorithme** de traitement de l'information **F** afin d'en extraire la valeur du déplacement **d**. La méthode utilisée est laissée au choix du candidat.*

## 4 TRAVAIL PEDAGOGIQUE.

L'objectif de cette partie est de proposer une **stratégie pédagogique d'enseignement** en classe de **première année** de Technicien Supérieur en Electronique ( 9H en classe complète, 4H en Travaux Pratiques).

Cette stratégie développée à partir des champs technologiques du référentiel ( voir annexe) exploitera le système technique étudié.

On s'intéressera **précisément** aux fonctions, logiciels et structures associés aux capteurs mis en situation dans le système.

Il vous est notamment demandé :

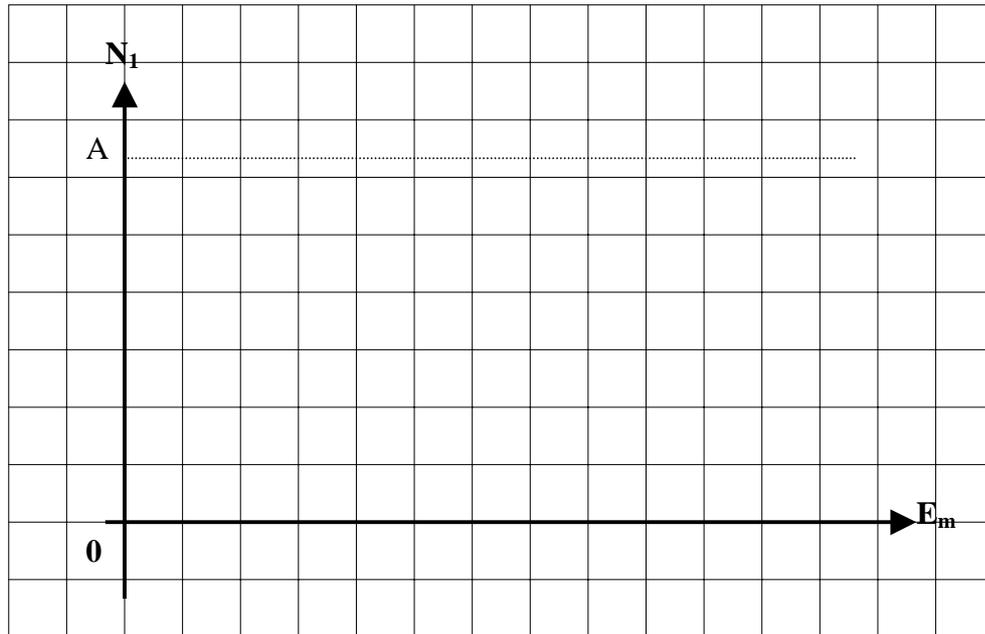
- De **proposer** un cycle de formation (ensemble de séquences d'enseignement) comprenant des séquences de TP et des cours de structuration de connaissances,
- De **présenter** ce cycle sous forme de tableau mettant en évidence, pour chaque séquence constituant le cycle, l'activité déployée, les éléments visés du référentiel, la durée, les conditions de réalisation.
- De **développer** une séquence de TP particulière, extraite du cycle présenté.

Pour la séquence de Travaux Pratiques développée, vous devez:

- Définir l'**objectif terminal** ciblé par la séquence,
- Définir les **prérequis** nécessaires,
- Choisir la **stratégie d'apprentissage** à déployer pour mettre en œuvre la séquence,
- Construire l'**itinéraire** de la séquence en fixant un **plan guide** permettant de préciser les étapes fondamentales (document professeur),
- Proposer l'**environnement didactique** de la séquence (Documents d'accompagnement, docs. Constructeurs...). Ces documents restent en possession de l'étudiant.

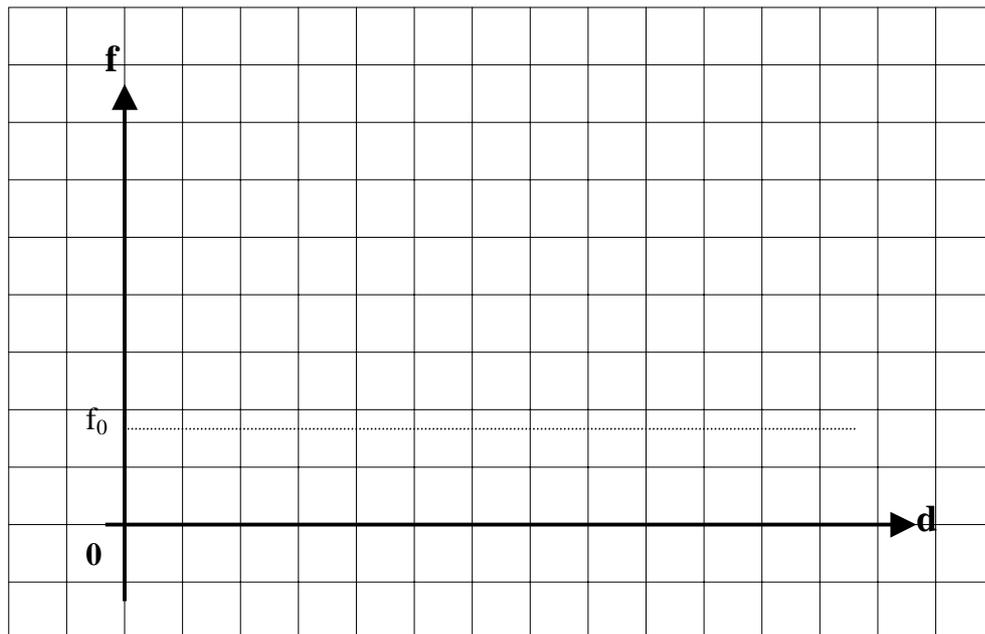
# DOCUMENT REPONSE DR1

Evolution de l'amplification  $N_1$  en fonction de  $E_m$ .  $N_1 = f(E_m)$



# DOCUMENT REPONSE DR2

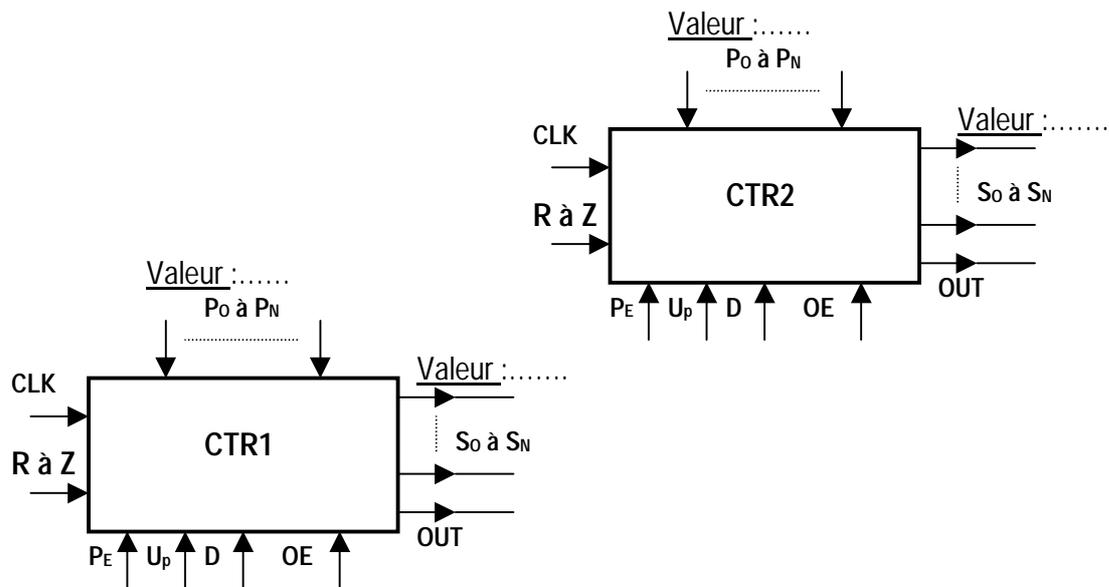
Evolution de la fréquence de l'oscillateur en fonction du déplacement  $f = F(d)$



## DOCUMENT REPONSE DR3

### Schéma de mesure de la fréquence à partir d'une mesure de périodes

F<sub>H</sub>  
F  
C<sub>M</sub>D



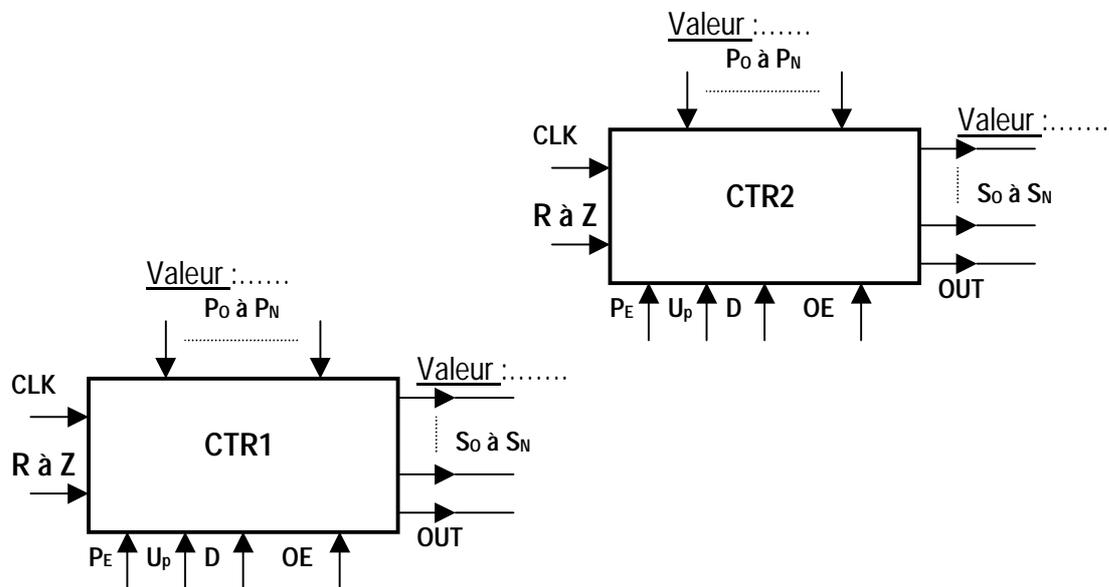
#### Conditions :

- OUT = « 0 » si les sorties correspondantes sont différentes de « 0 ».
- PE : entrée de validation du chargement parallèle.
- U<sub>P</sub> : comptage, D : décomptage.
- OE : validation des sorties S<sub>0</sub> à S<sub>N</sub>.
- C<sub>M</sub>D : impulsion de commande issue de l'unité de traitement.

## DOCUMENT REPONSE DR4

### Schéma de mesure de la fréquence par une méthode directe

F<sub>H</sub>  
F  
C<sub>M</sub>D



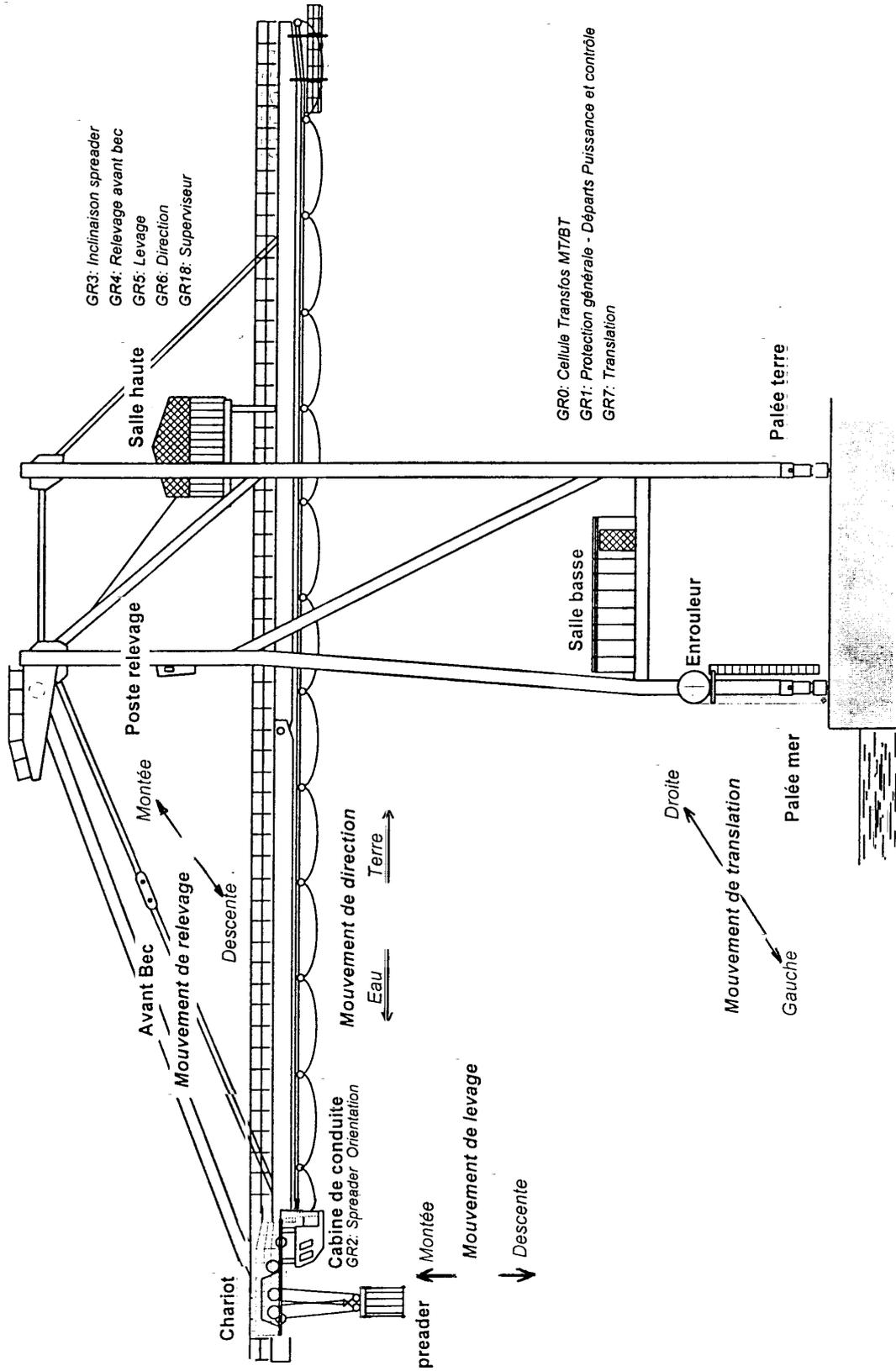
#### Conditions :

- OUT = « 0 » si les sorties correspondantes sont différentes de « 0 ».
- PE : entrée de validation du chargement parallèle.
- U<sub>P</sub> : comptage, D : décomptage.
- OE : validation des sorties S<sub>0</sub> à S<sub>N</sub>.
- C<sub>M</sub>D : impulsion de commande issue de l'unité de traitement.

# ANNEXE 1

## Portique à conteneurs Caillard C3

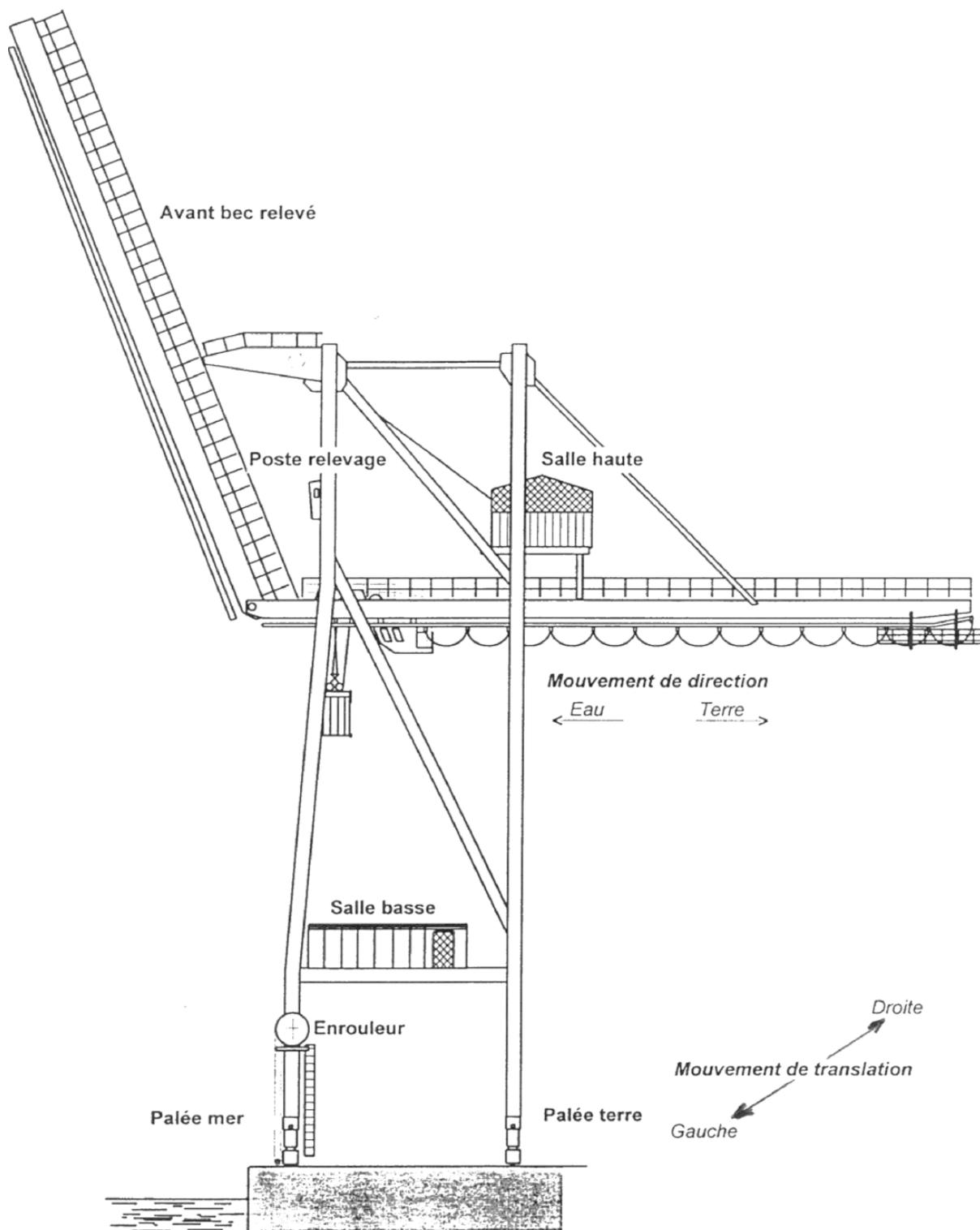
### Port Autonome de Marseille



## ANNEXE 2

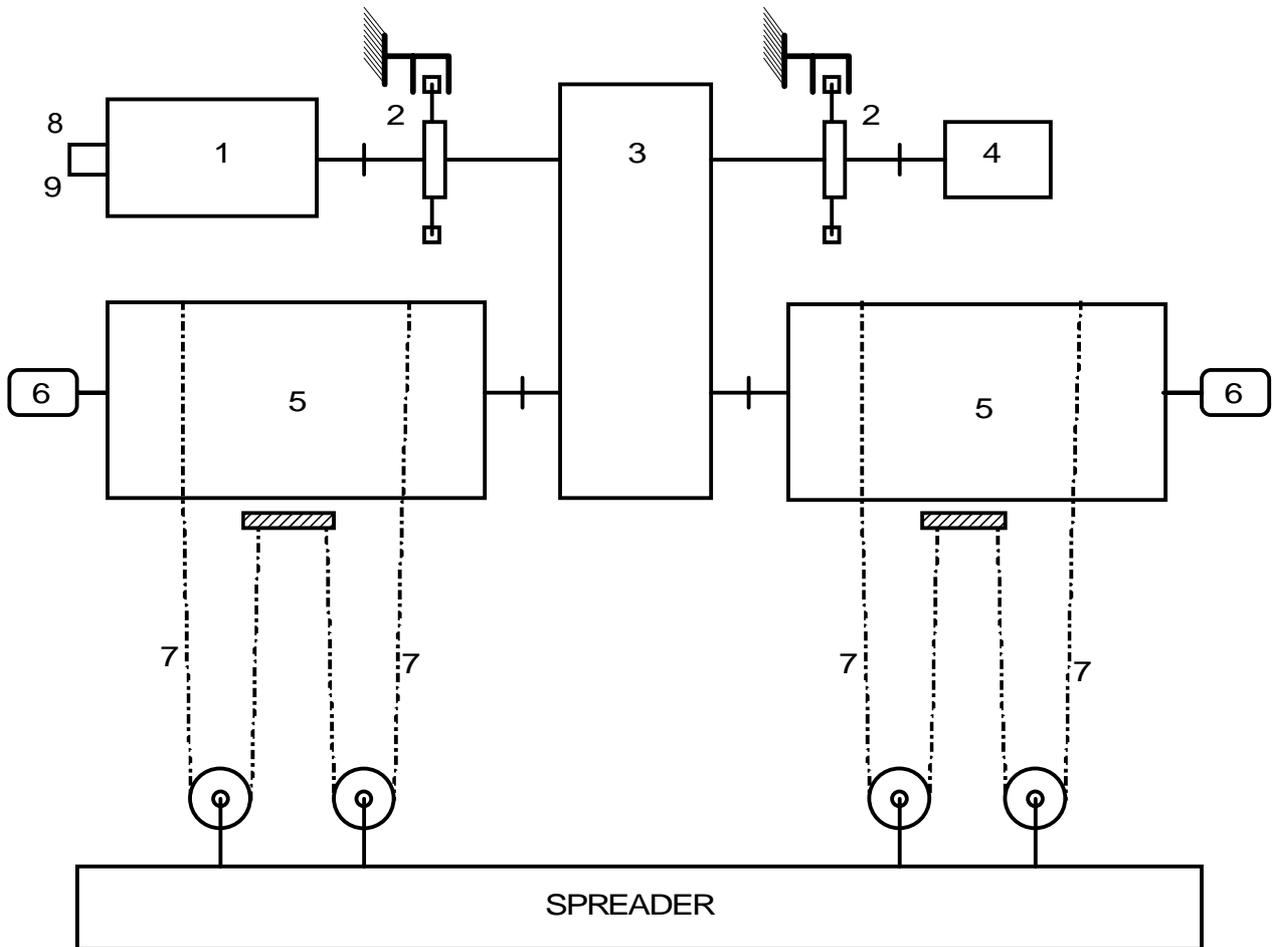
### Portique à conteneurs Caillard C3

~  
Avant bec relevé



## ANNEXE 3

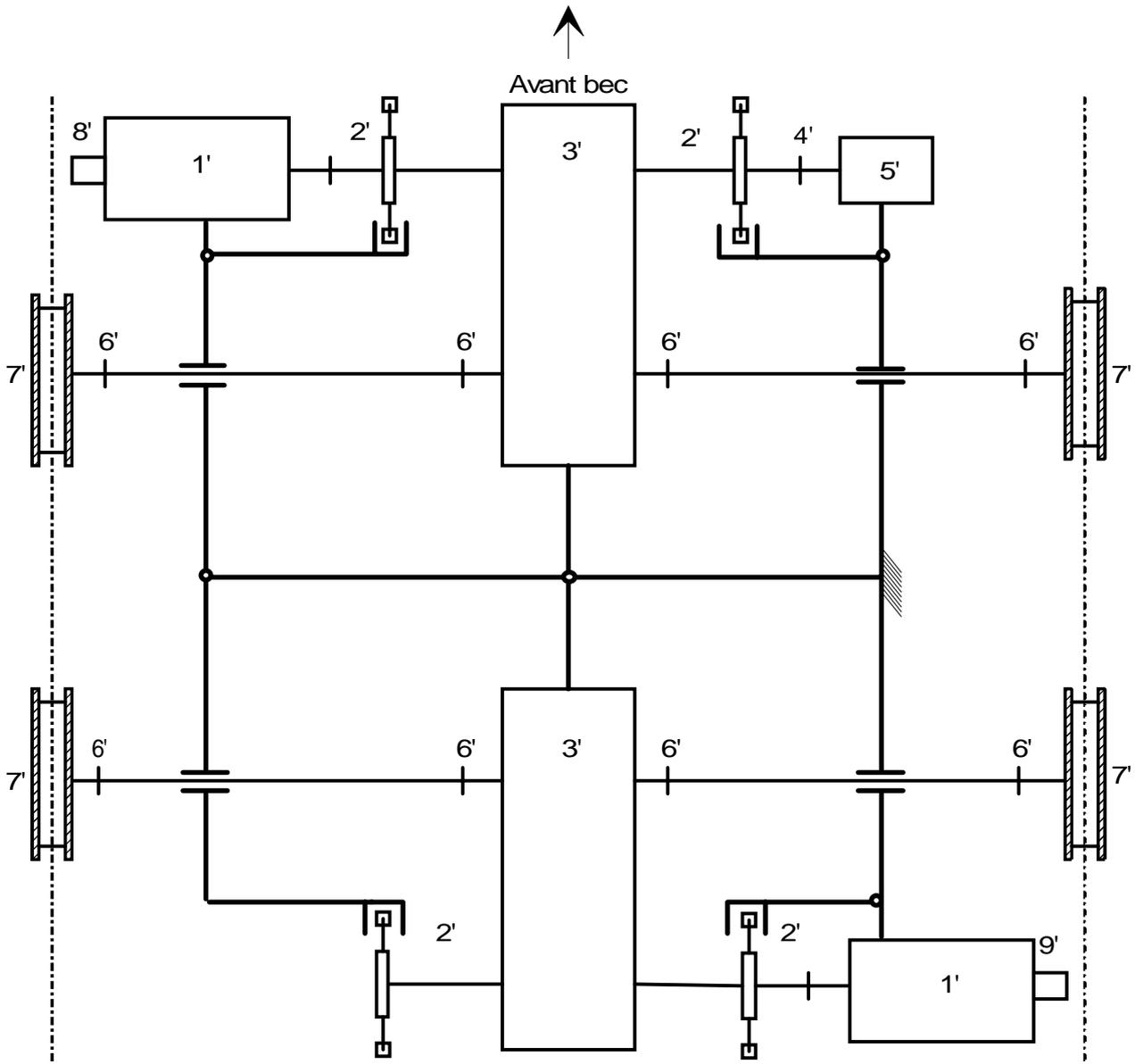
### Chaîne cinématique de levage



Rep.	Nb.	Désignation et caractéristiques
1	1	Moteur à courant continu 500 V 480 kW 1000 tr/min en charge, 2000 tr/min à vide ; régulation par variateur Rectivar.
2	2	Accouplement élastique et frein à disques ventilés.
3	1	Réducteur Flender $r = 1/18,182$
4	1	Moto-réducteur de secours 500 V 11 kW 1500 tr/min $r = 1/79,35$
5	2	Tambour, diamètre d'enroulement 695 mm, pas 32 mm, longueur 2944 mm.
6	2	Sélecteur de fin de course et de sur-course.
7	4	Câble 6 torons, 36 fils, diamètre 29 mm, longueur 231 m, 2 câbles à torsion à droite, 2 à torsion à gauche.
8	1	Dynamo tachymétrique 60 V à 1000 tr/min.
9	1	Détecteur de survitesse.

## ANNEXE 4

### Chaîne cinématique de direction

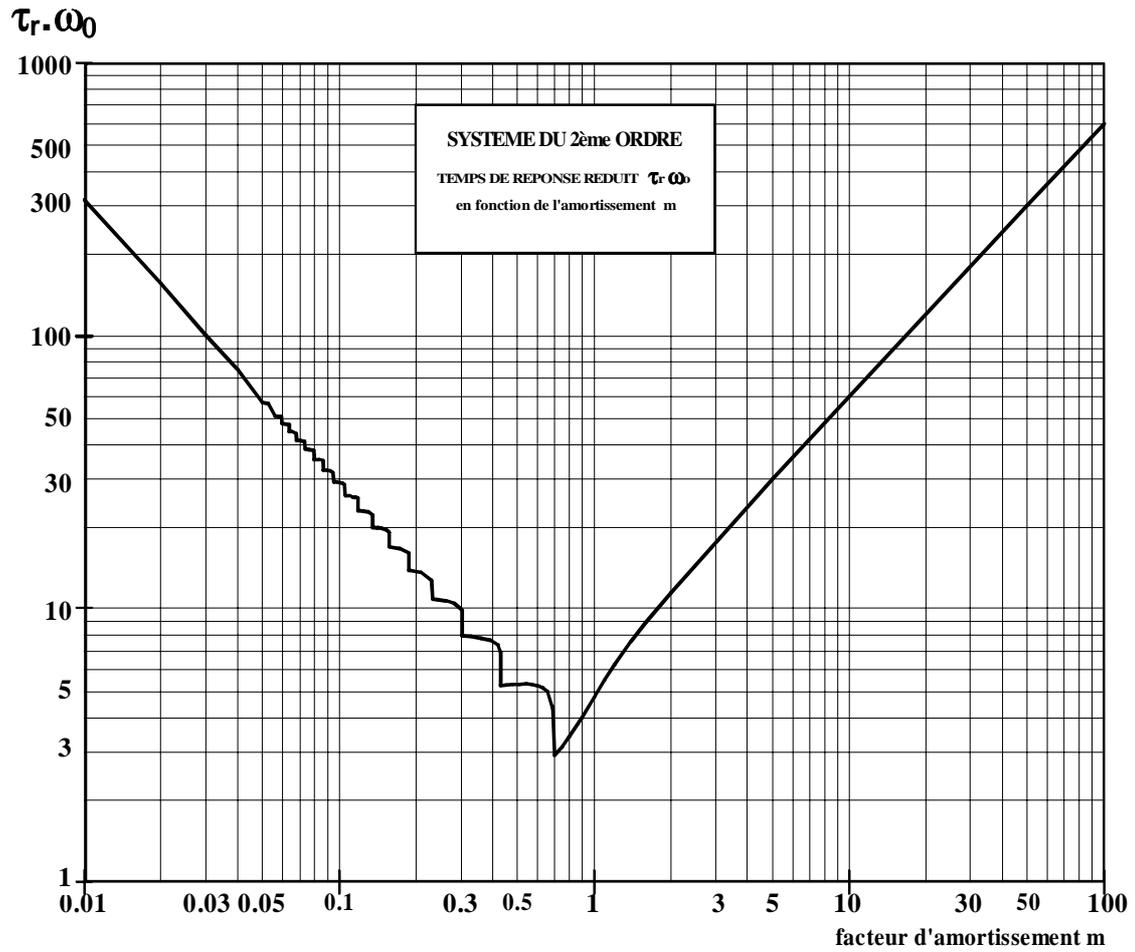


Rep.	Nb.	Désignation et caractéristiques
1'	2	Moteur asynchrone 500 V 78 kW 1480 tr/min en charge.
2'	4	Accouplement élastique et frein à disques ventilés.
3'	2	Réducteur Flender $r = 1/15,45$
4'	1	Accouplement débrayable.
5'	1	Moto-réducteur de secours 500 V 11 kW 1500 tr/min $r = 1/10,2$ .
6'	8	Accouplement à denture.
7'	4	Galet double boudin, diamètre externe 630 mm, diamètre de roulement 598 mm.
8'	1	Détecteur de survitesse.
9'	1	Dynamo tachymétrique 60 V à 1000 tr/min.

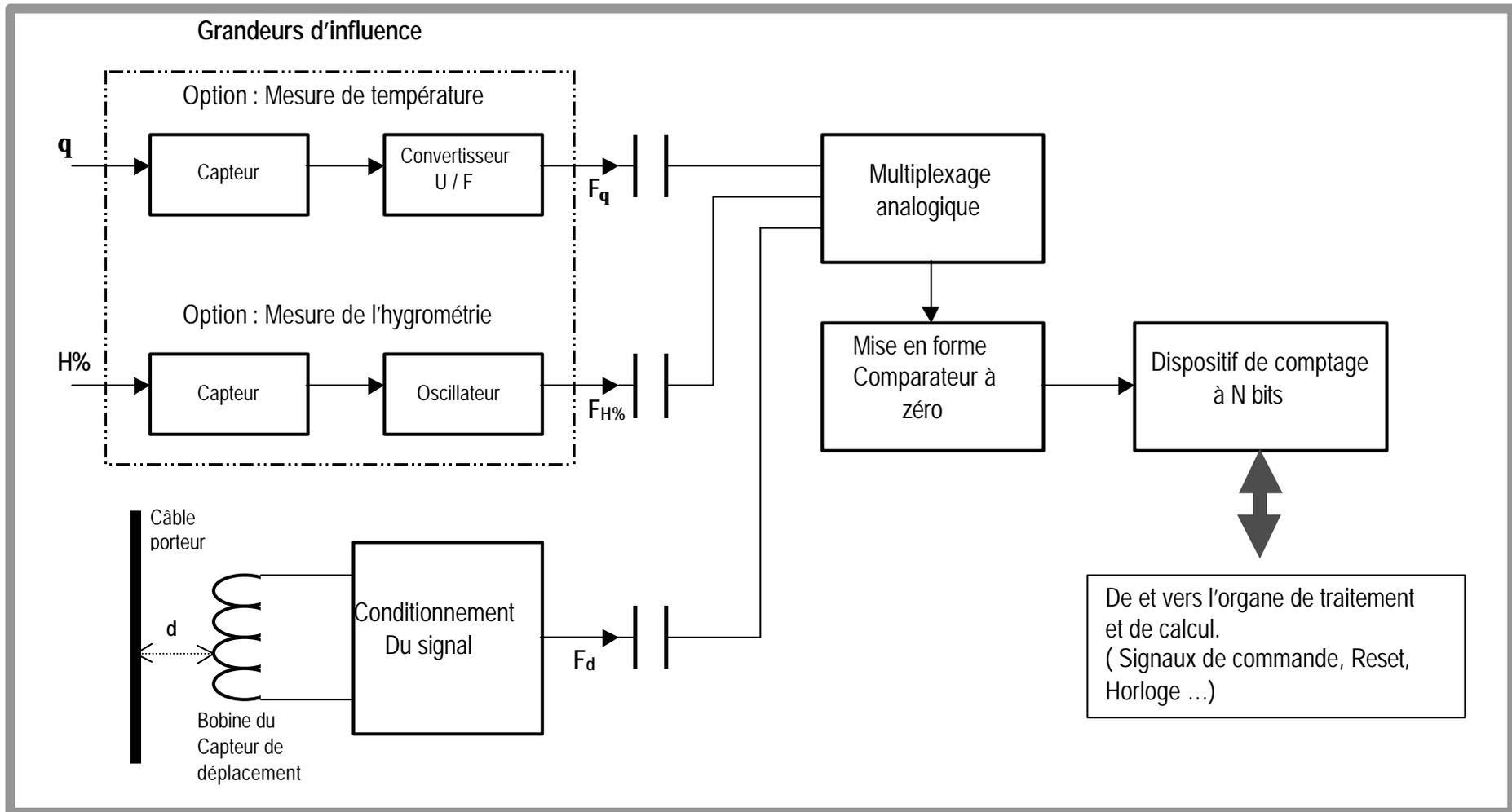
## ANNEXE 5

### SYSTEME du 2<sup>ème</sup> ORDRE

#### ABaque du TEMPS de RÉPONSE RÉDUIT $\tau_r \cdot \omega_0$



## Schéma de principe du dispositif de mesure de l'information de déplacement du câble.



### ANNEXE 6

## REFERENTIEL DU BTS ELECTRONIQUE

### Extrait des champs technologiques

(Les colonnes de droite et de gauche n'ont pas de correspondance ligne à ligne.)

<b>Dispositifs de transmission et de traitement des données</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Codage de l'information.</li><li>- Transmission synchrone, asynchrone.</li><li>- Modulation, démodulation de fréquence.</li><li>- Protection contre les erreurs de transmission.</li><li>- Production de signaux analogiques.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Programmes permettant de réaliser les fonctions ci-contre.</li><li>- Bobines transformateurs.</li><li>- Circuits intégrés (hybrides, spécifiques...).</li><li>- Normes et protocoles de transmission.</li><li>- Processeurs spécialisés.</li></ul>
<b>Dispositifs du domaine de l'information</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Codage et traitement des données.</li><li>- Gestion des échanges d'informations numériques (CAN, CNA, conversion série/ // et // / série, entrées / sorties, affichage, commutation).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Outils de développement des dispositifs microprogrammes.</li><li>- Algorithmes et organigrammes.</li><li>- Programmes de gestion ( E/S, ...).</li><li>- Langages ( évolués, d'assemblage, de description comportementale, ...).</li><li>- Bus de liaison informatique.</li></ul>
<b>Dispositifs d'acquisition automatique de données</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Acquisition de données.</li><li>- Multiplexage.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Programmes d'acquisition de données.</li><li>- Structures et protocoles des bus d'instrumentation et de liaison.</li></ul>
<b>Dispositifs de mesurage de grandeurs physiques</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Traduction d'une grandeur non électrique en une grandeur électrique.</li><li>- Adaptation de la grandeur électrique à l'électronique de commande.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Structures de transducteurs intégrés.</li><li>- Dispositifs de conditionnement de capteurs.</li></ul>

## ANNEXE 7