



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**session 2011**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR INFORMATIQUE ET RESEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES

## PHYSIQUE APPLIQUEE

SESSION 2011

---

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

---

Ce sujet comporte une présentation et cinq parties pouvant être traitées indépendamment les unes des autres.

Le sujet comporte :

- 2 annexes page 11,
- 2 documents-réponse page 12, **à rendre obligatoirement avec la copie**
- 1 formulaire, page 13.

**Matériel autorisé :**

L'usage de la calculatrice est autorisé (circulaire n°99 du 16-11-1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet se compose de 13 pages, numérotées de 1/13 à 13/13.

BTS INFORMATIQUE ET RESEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES	Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUEE	Code : IRSPA
	Page : 1/13

## ESSAI DE TRACTION

### Principe d'un essai de traction :

L'essai consiste à soumettre une **éprouvette** cylindrique ou parallélépipédique à un effort de traction et cela généralement jusqu'à rupture, en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques. Durant l'essai on mesure simultanément **l'effort  $F$**  et **l'allongement  $L$** .

### Description du système :

Une éprouvette est maintenue entre la partie fixe et la partie mobile (la traverse) de la machine d'essais de traction. Le système de traction, entraîné par un moteur à courant continu, étire l'éprouvette.

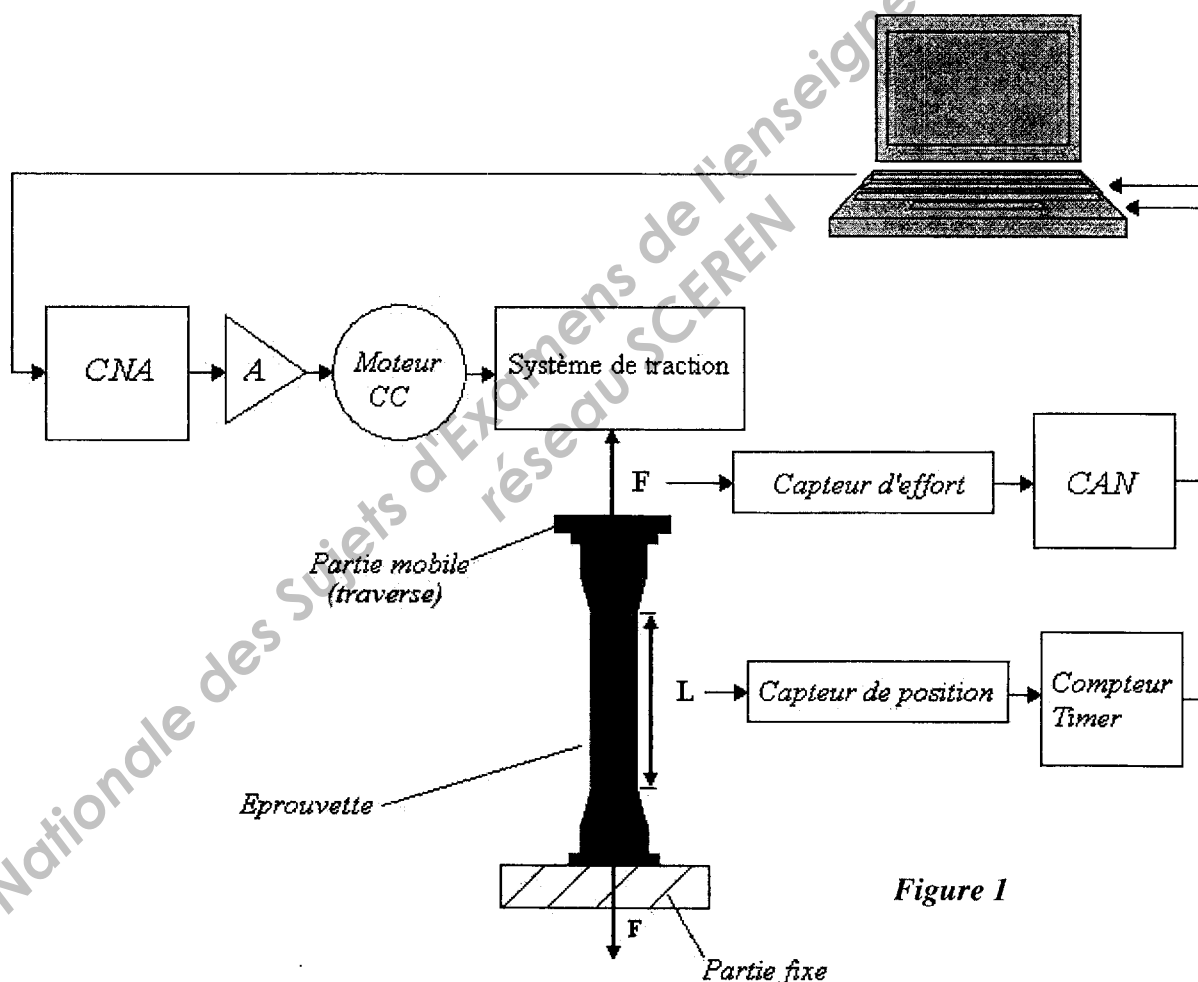
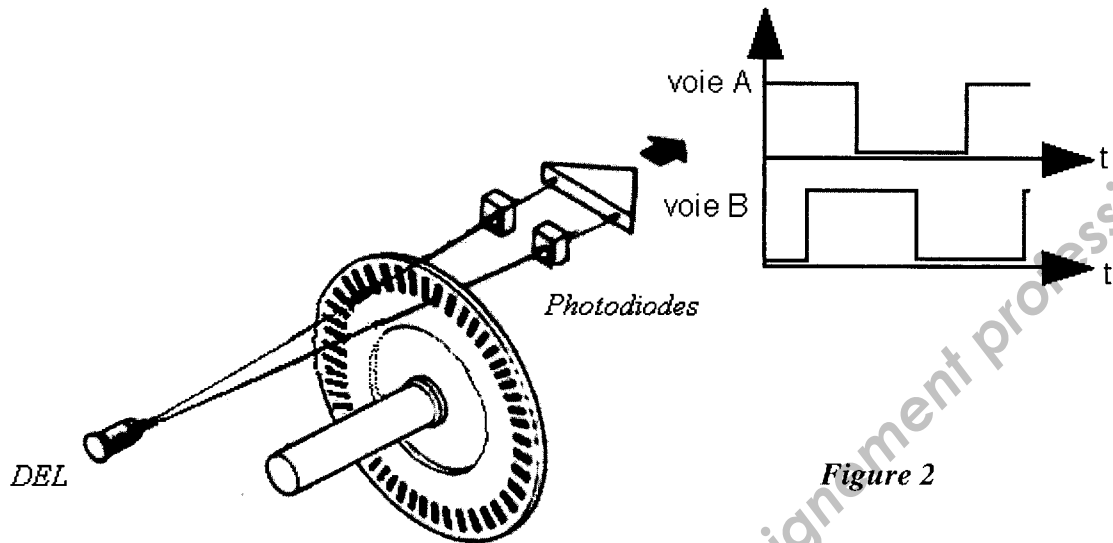


Figure 1

**PARTIE I (1,5 point)**  
**Etude de l'allongement**



Pour mesurer l'allongement, le système de traction est raccordé à un capteur de position de type codeur incrémental. Son axe, entraîné par le moteur, fait tourner un disque.

Ce disque comporte une succession de parties opaques et transparentes. La lumière émise par les diodes électroluminescentes (DEL) traverse les fentes de ce disque et éclaire deux photodiodes réceptrices.

Les photodiodes, du fait de leur position, délivrent deux tensions carrées A et B décalées d'un quart de période.

Chaque période générée par le codeur est égale à la durée pendant laquelle s'est produit un allongement de  $10^{-2}$  mm.

L'annexe 1 représente les signaux délivrés par le capteur. Le décalage des signaux des voies A et B permet de déterminer le sens de rotation du codeur. Pour un étirement de l'éprouvette le signal voie A est en avance d'un quart de période sur le signal voie B. Pour un relâchement, on inverse le sens de rotation et, dans ce cas, le signal voie B est en avance sur celui de la voie A.

I.1 Déterminer, d'après l'annexe 1, si l'éprouvette est dans un état d'étirement ou de relâchement.

I.2 Calculer la vitesse  $v$  en mm/s d'allongement de l'éprouvette.

À chaque front montant du signal de la voie A on enregistre la valeur de l'effort, c'est à dire qu'on prélève un échantillon de la valeur de l'effort :

I.3 Calculer alors la fréquence d'échantillonnage  $f_E$  de cette mesure de l'effort.

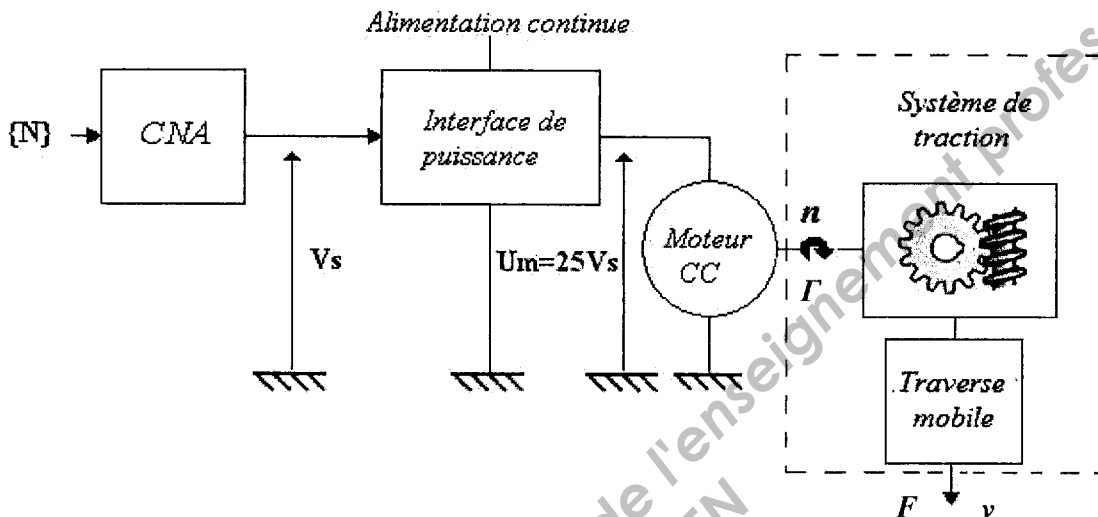
BTS INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES		Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : IRSPA	Page : 3/13

## PARTIE II (8 points)

### Etude de l'entraînement du système de traction

#### II.1 Etude du moteur à courant continu

Le système de traction est constitué d'engrenages et de vis de manière à transformer le mouvement de rotation en un mouvement de translation qui étire l'éprouvette à une vitesse de traction  $v$  avec un effort  $F$ .



Le système de traction est entraîné par un moteur à courant continu à aimants permanents qui a les caractéristiques nominales suivantes :

- $U_m = 250 \text{ V}$  : tension d'alimentation de l'induit
- $I = 20 \text{ A}$  : intensité du courant dans l'induit
- $R = 0,5 \Omega$  : résistance de l'induit
- $n = 1400 \text{ tr/min}$  : fréquence de rotation

II.1.1 D'après le modèle électrique équivalent de l'induit du moteur à courant continu rappelé ci-dessous, exprimer la relation entre  $U_m$ ,  $E$ ,  $R$  et  $I$ .

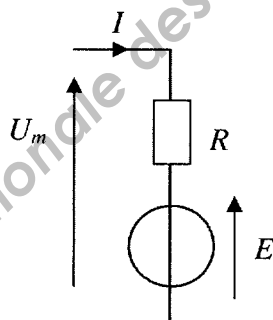


Schéma électrique  
équivalent de l'induit du  
moteur

II.1.2 Calculer la force électromotrice nominale  $E$ .

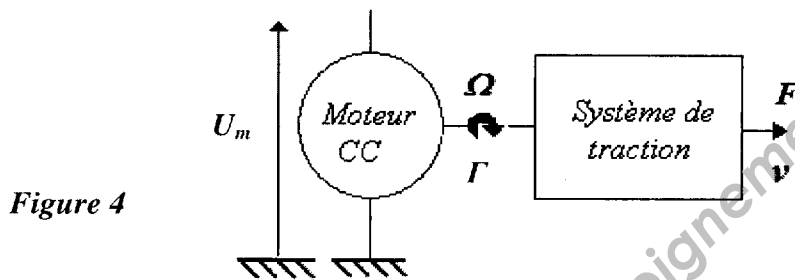
II.1.3 Sachant que  $E = k' n$  avec  $n$  en tr/min, calculer la constante  $k'$ .

BTS INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES		Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : IRSPA	Page : 4/13

II.1.4 Au cours d'un essai de traction, on mesure une force électromotrice  $E_l = 120 \text{ V}$ .  
Calculer la valeur de la fréquence de rotation  $n_l$  en tr/min du moteur.

II.1.5 La vitesse maximale de la traverse entraînant l'éprouvette est  $v_{MAX} = 10 \text{ mm/s}$  et l'effort maximal appliqué à l'éprouvette est  $F_{MAX} = 50 \text{ kN}$ . La puissance maximale développée par le système de traction est donné par la relation :  $P = F v$ , avec :

- $P$  : puissance(W)
- $F$  : effort (N)
- $v$  : vitesse (m/s)



Calculer la puissance maximale  $P_{MAX}$  développée par le système de traction.

II.1.6 Un nouvel essai de traction est réalisé. Pour l'éprouvette utilisée, le système de traction développe une puissance  $P = 0,4 \text{ kW}$ . Le moteur développe dans ce cas un couple de moment  $\Gamma = 5,1 \text{ Nm}$  à la fréquence de rotation de  $1000 \text{ tr/min}$ .

II.1.6.a Calculer la puissance utile  $P_u$  du moteur.

II.1.6.b Calculer le rendement du système de traction.

## II.2 Etude du convertisseur numérique analogique

Le moteur est commandé par un convertisseur numérique analogique (CNA) 12 bits fonctionnant sur une plage de tension  $-10\text{V} / +10\text{V}$ . L'interface de puissance commandée par le CNA délivre une tension continue proportionnelle à la tension  $V_S$  permettant au moteur de tourner dans les deux sens, de  $-1\ 400 \text{ tr/min}$  à  $+1\ 400 \text{ tr/min}$ .

(Dans cette partie, on admettra que la fréquence de rotation  $n$  est proportionnelle à la tension  $U_m$  aux bornes du moteur.)

II.2.1 Calculer la résolution analogique (quantum)  $q$  en mV.

II.2.2 Calculer la variation de fréquence de rotation  $\Delta n$  en tr/min correspondant à un quantum.

## II.3 Régime transitoire de la vitesse du moteur

BTS INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES		Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : IRSPA	Page : 5/13

On admet que l'équation différentielle reliant la tension  $u_m(t)$  à la fréquence de rotation  $n(t)$  du moteur (en tr/min) est la suivante :

$$\tau \frac{dn(t)}{dt} + n(t) = k u_m(t)$$

$\tau = 200$  ms est la constante de temps du moteur et  $k$  est une constante. Le moteur étant à l'arrêt à l'instant  $t = 0$ , on applique au moteur un échelon de tension  $u_m(t) = U$ .

II.3.1 Donner l'expression puis calculer la durée  $t_r$  nécessaire au moteur pour atteindre 95% de la vitesse finale.

II.3.2  $N(p)$  et  $U_m(p)$  sont les transformées de Laplace de la fréquence de rotation  $n(t)$  et de la tension  $u_m(t)$ .

Montrer que la transmittance isomorphe  $G(p) = \frac{N(p)}{U_m(p)}$  se met sous la forme :

$$G(p) = \frac{k}{1 + \tau p}$$

II.3.3 La tension  $u_m(t)$  qui alimente le moteur est un échelon de tension tel que :

$$\begin{cases} u_m(t) = 0 \text{ pour } t < 0 \\ u_m(t) = 250 \text{ V pour } t \geq 0 \end{cases}$$

II.3.3.a Donner l'expression de  $U_m(p)$ .

II.3.3.b Etablir l'expression littérale de  $N(p)$ .

II.3.3.c Exprimer la fréquence de rotation en régime permanent en utilisant le théorème de la valeur finale.

II.3.3.d Calculer cette fréquence de rotation pour  $k = 5,6 \text{ tr. min}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ .

II.3.4 Détermination de la bande passante du moteur

II.3.4.a À partir de la transmittance isomorphe  $G(p)$ , écrire la transmittance isochrone  $G(j\omega)$  correspondante

II.3.4.b Écrire l'expression du module  $G(\omega)$  de cette transmittance isochrone

II.3.4.c Calculer les valeurs de ce module pour  $\omega = 0$ ,  $\omega = 1/\tau$  et  $\omega \rightarrow +\infty$

II.3.4.d Donner en Hertz les fréquences limites de la bande passante à  $-3$  dB.

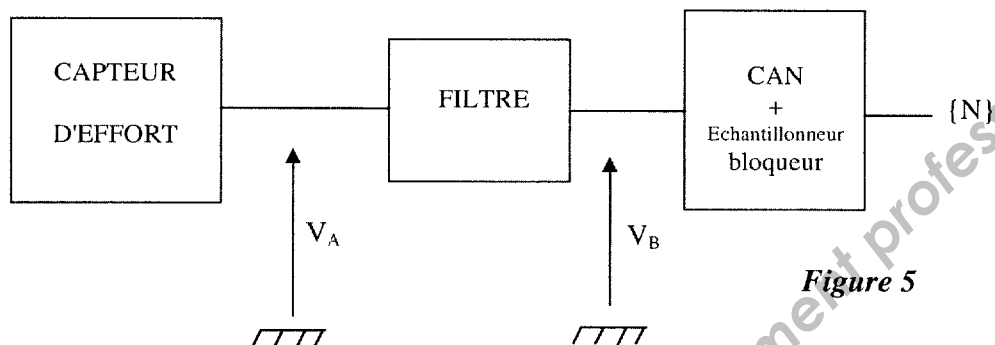
BTS INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES		Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Code : IRSPA	Page : 6/13

## PARTIE III (3 points)

### Acquisition de l'effort

#### III.1 Etude du capteur

La mesure de l'effort se fait à l'aide d'un capteur à base de jauges de contraintes montées en pont de Wheatstone.



Le capteur délivre une tension  $V_A$  proportionnelle à l'effort  $F$  ; pour  $F = 50 \text{ kN}$  on a  $V_A = 10 \text{ V}$ .

Calculer la sensibilité  $s$  du capteur en  $\text{V} \cdot \text{N}^{-1}$ .

#### III.2 Étude de la conversion analogique numérique

III.2.1 Avant d'être convertie, la tension image de l'effort est échantillonnée à une fréquence dépendant de la vitesse et dont la valeur maximale est  $f_E = 1 \text{ kHz}$ .

III.2.1.a Expliquer l'intérêt d'un filtre (*figure 5*) avant l'échantillonnage.

III.2.1.b Faut-il choisir un filtre passe-haut, passe-bas ou passe-bande?

III.2.1.c Parmi les trois fréquences de coupure suivantes, laquelle faut-il choisir :  
 $f_{c1} = 400 \text{ Hz}$  ;  $f_{c2} = 1 \text{ kHz}$  ;  $f_{c3} = 2 \text{ kHz}$  ?

III.2.2 La conversion se fait à l'aide d'un convertisseur analogique numérique 16 bits. La tension d'entrée varie de 0 à de 10 V pour un effort variant de 0 à  $5000 \text{ daN} = 50 \cdot 10^3 \text{ N}$ .

III.2.2.a Le quantum du convertisseur est égal à  $152,6 \mu\text{V}$ . Calculer la variation de l'effort  $\Delta F$  correspondante.

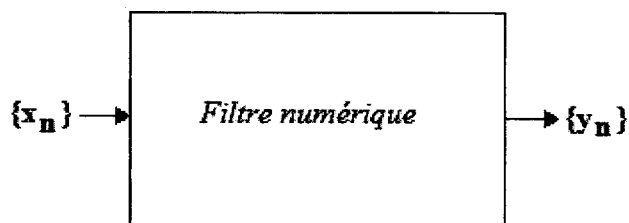
III.2.2.b Compléter le document réponse n°1 dans lequel  $N_D$  est la valeur décimale correspondant à la sortie du convertisseur



## PARTIE IV (3 points)

### Filtrage numérique de l'effort

Le convertisseur analogique numérique (CAN) fournit au système de traitement une séquence numérique image de l'effort. L'application informatique permet d'afficher à l'écran la courbe de l'effort en fonction de l'allongement. L'annexe 2 représente les caractéristiques avant et après filtrage.



*Figure 6*

La séquence  $\{x_n\}$ , image de l'effort est « parasitée », et nécessite un traitement numérique pour obtenir une nouvelle séquence  $\{y_n\}$  filtrée. L'algorithme utilise la loi suivante :

$$y_n = 0,5 y_{n-1} + 0,5 x_n$$

IV.1 Pourquoi ce filtre est-il récursif ?

IV.2 On applique à l'entrée du filtre une séquence impulsion  $\{x_n\} = \{\delta_n\}$  telle que :

$$\begin{cases} \{\delta_n\} = 1 \text{ pour } n = 0 \\ \{\delta_n\} = 0 \text{ pour } n \neq 0 \end{cases}$$

IV.2.a Compléter le document réponse n°2, en exprimant les valeurs des cinq premiers échantillons  $y_0, y_1, y_2, y_3$  et  $y_4$ .

IV.2.b Conclure sur la stabilité du filtre en justifiant votre réponse.

IV.3  $X(z)$  et  $Y(z)$  sont les transformées en  $z$  de  $\{x_n\}$  et  $\{y_n\}$ .

Montrer que  $H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$ , la transmittance en  $z$  du filtre peut se mettre sous la forme :

$$H(z) = 0,5 \frac{z}{(z - 0,5)}$$

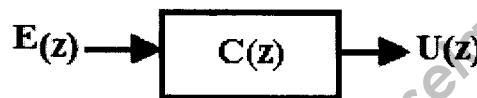
## PARTIE V (4,5 points) Régulation numérique

Pour une mesure optimisée, il est nécessaire d'effectuer un essai de traction à vitesse constante. Le contrôle de la vitesse de traction est réalisé à l'aide d'un asservissement numérique. On notera :

- $\{u_{cn}\}$  la séquence vitesse de consigne (vitesse d'étirement désirée par l'opérateur),
- $\{v_n\}$  la séquence vitesse d'étirement de l'éprouvette,
- $\{\varepsilon_n\}$  la séquence correspondant à l'erreur de vitesse,
- $\{u_n\}$  la séquence numérique de commande.

### V.1 Étude du correcteur numérique

$U(z)$  et  $E(z)$  sont les transformées en  $z$  des séquences  $\{u_n\}$  et  $\{\varepsilon_n\}$ .



Le correcteur utilisé est de type proportionnel intégral (PI). La loi de commande utilisée dans l'algorithme est la suivante :

$$u_n = u_{n-1} + 1,7 \varepsilon_n - 1,5 \varepsilon_{n-1}$$

V.1.1 Montrer que la transmittance en  $z$  du correcteur peut se mettre sous la forme :

$$C(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{c_1 z - c_0}{z - 1}$$

V.1.2 Donner les valeurs numériques de  $c_1$  et  $c_0$ .

### V.2 Etude de l'asservissement

L'asservissement étant linéaire, sa représentation sous forme de schéma bloc est la suivante :

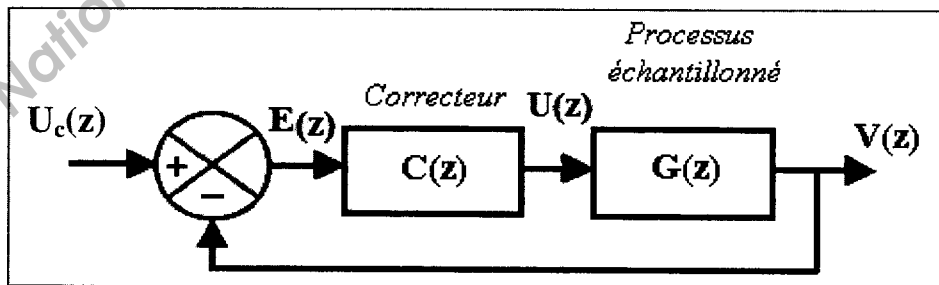


Figure 7

$U_c(z)$  et  $V(z)$  sont les transformées en  $z$  des séquences  $\{u_{cn}\}$  et  $\{v_n\}$

BTS INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE ET LES SERVICES TECHNIQUES	Session 2011
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Page : 9/13
Code : IRSPA	

V.2.1 Montrer que l'expression de la transformée en  $z$  de l'erreur  $E(z)$  est :

$$E(z) = \frac{Uc(z)}{1 + C(z)G(z)}$$

V.2.2 La transmittance en  $z$  du processus échantillonné est :

$$G(z) = \frac{1-a}{z-a}$$

Dans cette expression,  $a$  est une constante dépendant de la fréquence d'échantillonnage. Il s'agit d'un processus du premier ordre.

La séquence d'entrée  $\{u_{c_n}\}$  est un échelon d'amplitude  $U_{c0}$  :

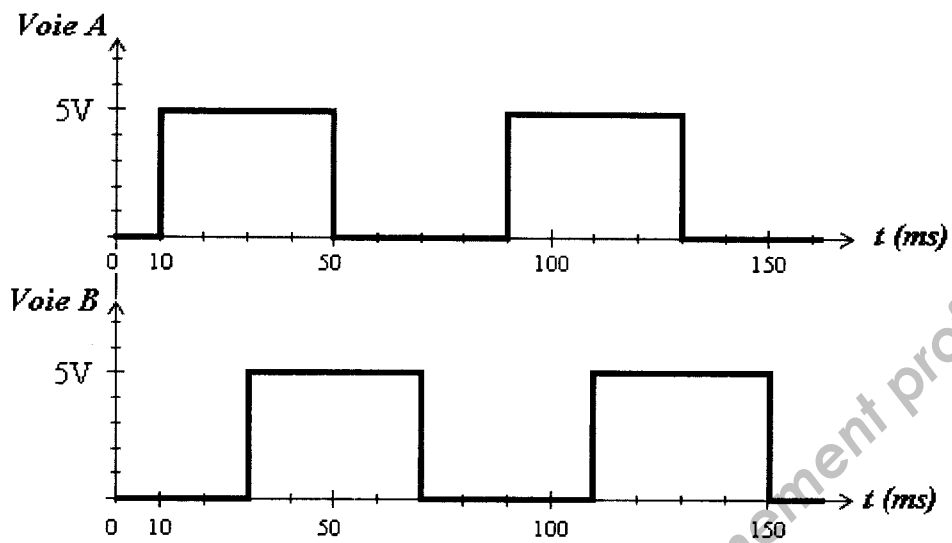
$$\begin{cases} \{u_{c_n}\} = 0 & \text{pour } n < 0 \\ \{u_{c_n}\} = U_{c0} & \text{pour } n \geq 0 \end{cases}$$

V.2.2.a Déterminer l'expression de  $U_C(z)$ .

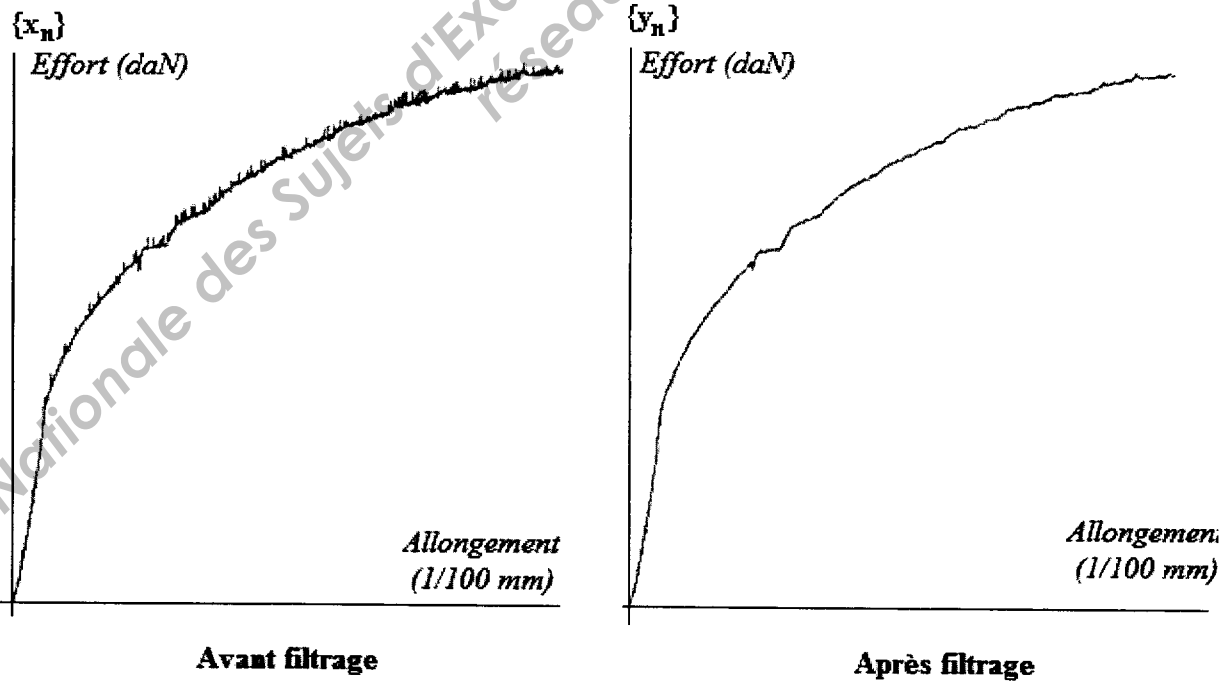
V.2.2.b Déterminer l'expression de  $E(z)$  en fonction de  $U_{c0}$ ,  $a$ ,  $c_0$ ,  $c_1$  et  $z$ .

V.2.2.c Calculer l'erreur statique  $\varepsilon_S$  du système en utilisant le théorème de la valeur finale et conclure sur la précision du système.

## ANNEXE 1



## ANNEXE 2



**DOCUMENT REPONSE N° 1 : A RENDRE AVEC LA COPIE**

Tension d'entrée du C.A.N. en volt	Effort correspondant en Newton	Valeur décimale de sortie $N_D$
0	0	
10	$50.10^3$	
3,137		

**DOCUMENT REPONSE N° 2 : A RENDRE AVEC LA COPIE**

$n$	-1	0	1	2	3	4
$\delta_n$	0	1	0	0	0	0
$y_n$	0					

# Formulaire

Propriétés de la transformée de Laplace	
Théorème de la valeur initiale	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} pF(p)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$
Table des transformées de Laplace	
f(t)	F(p)
Impulsion unité : $\delta(t)$	1
Echelon unité : $\Gamma(t)$	$\frac{1}{p}$
Rampe : at	$\frac{a}{p^2}$
$1 - e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{p(1 + \tau p)}$
Dérivée : $\frac{d(f(t))}{dt}$	$pF(p) - f(0^+)$
Propriétés de la transformée en Z	
Théorème de la valeur initiale	$x_0 = \lim_{z \rightarrow 1} X(z)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{n \rightarrow +\infty} x_n = \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)X(z)$
Table des transformées en Z	
$\{x_n\}$	X(z)
Séquence impulsion unité : $\{\delta_n\}$	1
Séquence échelon unité : $\{\Gamma_n\}$	$\frac{z}{z-1} = \frac{1}{1-z^{-1}}$
Séquence rampe $\{a.n.T_e\}$	$a.T_e \frac{z}{(z-1)^2} = a.T_e \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$