

B.T.S.
Informatique et Réseaux
pour l'Industrie et les Services Techniques

Epreuve de Physique appliquée

Durée : 3h

Coefficient : 3

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

**L'usage de la calculatrice est autorisé selon la réglementation en vigueur
(circulaire n° 99-186 du 16-11-1999)
Aucun autre document n'est autorisé**

Le sujet comporte un exercice et un problème divisé en trois parties A, B et C pouvant être traitées indépendamment les unes des autres (et à l'intérieur de chaque partie, plusieurs questions restent indépendantes).

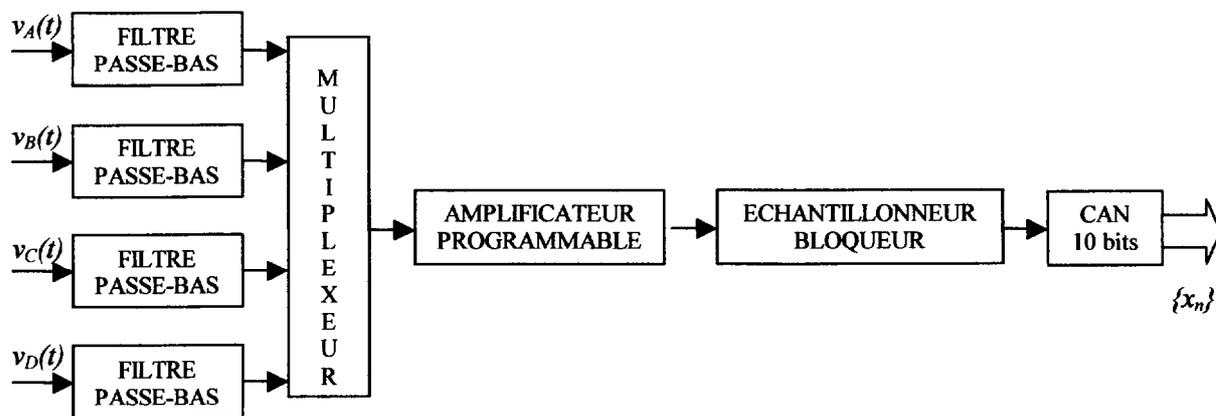
Le sujet comporte trois documents-réponses à rendre avec la copie .

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2004	1/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3		SUJET

EXERCICE (3 points)

CARTE D'ACQUISITION D'UN SIGNAL.

Un système informatique doit réaliser régulièrement une sauvegarde des données importantes pour le suivi d'un procédé de fabrication : celles-ci sont prélevées sur la chaîne de fabrication à l'aide de capteurs et de cartes d'acquisition. L'exercice porte sur l'étude d'une de ces cartes d'acquisition dont la structure est donnée ci-dessous.



Cette carte possède 4 entrées analogiques (A,B,C,D) multiplexées sur un Convertisseur Analogique Numérique (CAN). Chaque voie du multiplexeur comporte un filtre passe-bas anti-repliement de fréquence de coupure de 1 kHz.

Le CAN réalise une conversion unipolaire, avec, en entrée, une tension pouvant varier entre 0 et 10,24 V et en sortie un nombre binaire codé sur 10 bits. Le temps de conversion maximal est de 10 μ s.

Ce CAN est précédé d'un amplificateur programmable dont l'amplification, choisie de manière logicielle, peut être égale à 1, 2, 4 ou 8.

1- Caractéristiques de la carte.

- 1-1- Le convertisseur a un temps de conversion maximal de 10 μ s.
Déterminer la fréquence maximale f_H des conversions réalisables.
- 1-2- En déduire la fréquence maximale f_E d'échantillonnage de la carte.
- 1-3- En déduire la fréquence maximale théorique f_{MAX} des signaux analogiques sinusoïdaux que l'on peut traiter avec la carte. Justifier la réponse.
- 1-4- Quel est l'élément de la carte qui permet d'éliminer les composantes de haute fréquence comprises dans un signal analogique quelconque à traiter ?
- 1-5- Déterminer la résolution r (exprimée en mV) du convertisseur et reporter cette valeur sur la cinquième ligne du tableau du *document-réponse 1*.

2- On applique les tensions suivantes à l'entrée de la carte d'acquisition :

- voie A : tension $v_A(t)$ variant entre 0 et 9 V.
 - voie B : tension $v_B(t)$ variant entre 0 et 10 V.
 - voie C : tension $v_C(t)$ variant entre 0 et 2 V.
 - voie D : tension $v_D(t)$ variant entre 0 et 3 V.
- 2-1- Pour chacune des voies, déterminer la valeur du coefficient d'amplification (de l'amplificateur programmable) qui permet d'utiliser au mieux la pleine échelle du CAN de la carte. Reporter les valeurs trouvées sur la quatrième ligne du tableau du *document réponse 1*.

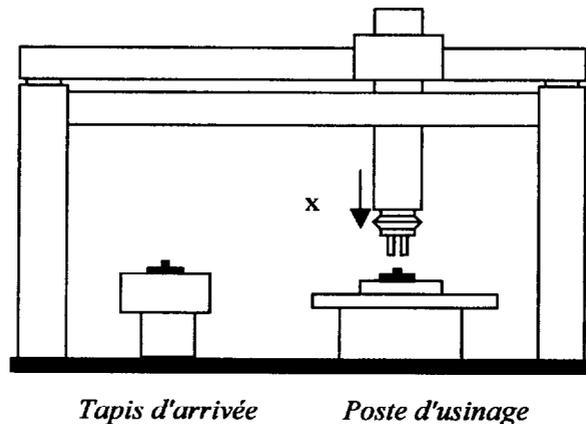
BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2004	2/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3		SUJET

- 2-2- En déduire la résolution équivalente à chacune des voies de la carte d'acquisition obtenue par l'utilisation de l'ensemble « amplificateur programmable et CAN ». Compléter alors la sixième ligne du tableau du *document-réponse 1*.

PROBLEME (17 points)

ROBOT DE MANUTENTION

Dans une usine de construction automobile, un robot portique assure le déplacement de pièces mécaniques. Il comporte une colonne dont l'extrémité inférieure est munie d'une griffe. Cette colonne se déplace entre le tapis d'arrivée des pièces et le poste d'usinage. Le mouvement de ces pièces peut s'effectuer dans trois directions (horizontales ou verticale). Le mouvement vertical de cette colonne permet de saisir, déposer ou maintenir les pièces mécaniques. Pour assurer une continuité de service, la salle de contrôle est équipée d'une alimentation de secours.



L'étude portera sur un moteur assurant le déplacement vertical de la colonne, sur l'asservissement de sa position et sur l'alimentation de secours de la salle de contrôle.

A - MOTEUR A COURANT CONTINU (2 points)

A -1 Moteur en régime permanent

Le moteur permettant le déplacement vertical de la colonne est un moteur à courant continu à aimants permanents, pour lequel un essai a permis de relever les mesures suivantes :

Fréquence de rotation	Puissance utile	Tension d'induit	Courant d'induit
$n = 1\,000 \text{ tr.min}^{-1}$	$P_U = 115 \text{ W}$	$U = 27,0 \text{ V}$	$I = 5,10 \text{ A}$

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2004	3/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET

Exploiter les résultats de ces mesures pour en déduire, dans ces conditions de fonctionnement :

A -1-1 le moment du couple utile C_U développé par le moteur.

A -1-2 la puissance électrique absorbée P_A

A -1-3 la valeur du rendement η du moteur.

A -2 Moteur en régime transitoire

La fréquence de rotation n du moteur à courant continu dépend à chaque instant t de la tension u appliquée à l'induit de ce moteur.

Dans ce qui suit, on exprime n en $tr.min^{-1}$, u en V et le temps t en s .

On note respectivement $N(p)$ et $U(p)$ les transformées de Laplace des grandeurs temporelles $n(t)$ et $u(t)$.

Le comportement dynamique du moteur est modélisé par la transmittance isomorphe $M(p)$ telle que :

$$M(p) = \frac{N(p)}{U(p)} = \frac{120}{\pi (1 + 0,05 p)}$$

A -2-1 Quel est l'ordre du système modélisé par cette transmittance $M(p)$? Citer les deux paramètres permettant de caractériser un système de cet ordre et donner leurs valeurs numériques pour le système donné.

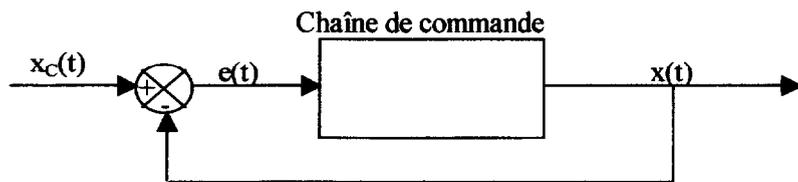
A -2-2 Déduire de la fonction $M(p)$ l'équation différentielle liant $n(t)$ et $u(t)$.

Préciser la valeur numérique de la constante de temps τ_m du moteur.

B - ASSERVISSEMENT DE POSITION (10 points)

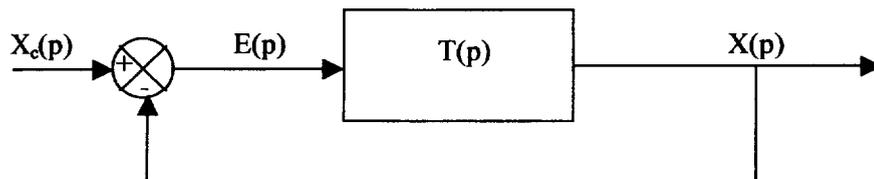
Le robot est destiné à positionner la pièce saisie malgré les perturbations. Pour cela, un asservissement permet de régler la position verticale réelle $x(t)$ de la colonne du robot en fonction de la position de consigne $x_c(t)$.

L'écart entre la position de consigne et la position réelle représente le signal d'erreur $e(t)$.



B -1 Transmittance en boucle fermée

La modélisation de l'asservissement conduit au schéma-bloc suivant :



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2004	4/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3		SUJET

On désigne par : $X_c(p)$, $E(p)$, $X(p)$ les transformées de Laplace respectives des grandeurs physiques $x_c(t)$, $e(t)$, $x(t)$ et par $T(p)$ la transmittance isomorphe en boucle ouverte.

Définir la transmittance isomorphe en boucle fermée $H_{BF}(p)$, puis établir l'expression de $H_{BF}(p)$ en fonction $T(p)$.

B -2 Etude en boucle ouverte

L'expression de la transmittance isomorphe du système en boucle ouverte est : $T(p) = \frac{5}{p(1+0,05 p)}$

B -2-1 En utilisant la correspondance $p \rightarrow j\omega$, donner l'expression de la transmittance complexe en boucle ouverte $\underline{T}(j\omega)$ correspondante.

B -2-2 La représentation de Bode relative à ce système en boucle ouverte est donné sur le *document-réponse 2* : $G(\omega) = 20 \log |\underline{T}(j\omega)|$ et $\varphi(\omega) = \text{Arg } \underline{T}(j\omega)$.

On rappelle que la marge de phase (exprimée en degrés) d'un système stable en boucle fermée est donnée par la relation : $M_\varphi = 180 + \varphi(\omega_N)$.

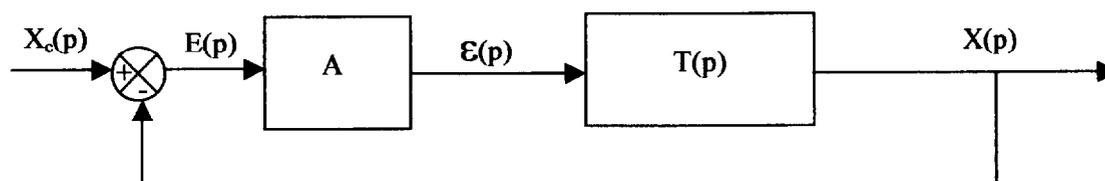
Dans cette formule ω_N désigne la pulsation pour laquelle le gain G en boucle ouverte est nul.

B-2-2.1. Déterminer graphiquement la valeur de cette marge de phase M_φ , en faisant apparaître sur le *document-réponse 2* la construction utilisée pour cette détermination. Indiquer la valeur numérique de ω_N .

B-2-2.2. Le système en boucle fermée sera-t-il suffisamment stable ? Pourquoi ?

B -2-3 On introduit un correcteur analogique constitué d'un bloc amplificateur A dans la chaîne d'action. On donne : $A = +4$. Les autres données restent inchangées.

Le schéma-bloc de l'asservissement devient :



On désigne par :

$T'(p)$ la nouvelle transmittance isomorphe en boucle ouverte

$\underline{T}'(j\omega)$ la transmittance complexe correspondante.

B-2-3.1. Exprimer $T'(p)$ en fonction de $T(p)$.

En déduire l'expression de $\underline{T}'(j\omega)$ en fonction de $\underline{T}(j\omega)$.

Exprimer le nouveau gain en boucle ouverte $G'(\omega)$ en fonction de $G(\omega)$.

B-2-3.2. On pose $\varphi'(\omega) = \text{Arg } \underline{T}'(j\omega)$. Comparer $\varphi'(\omega)$ et $\varphi(\omega)$.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR :		Session	5/12
Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		2004	
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET

B-2-3.3. Dessiner sur le même *document-réponse 2* le nouveau diagramme de Bode en amplitude $G'(\omega)$ du système en boucle ouverte.

Déterminer alors la nouvelle valeur de la marge de phase M_ϕ'

B-2-3.4. Quelle est l'influence du réglage de l'amplification en boucle ouverte sur le degré de stabilité du système en boucle fermée ?

B-2-3.5. Quelle est l'influence du réglage de l'amplification en boucle ouverte sur la rapidité du système en boucle fermée ? La justification n'est pas exigée.

B -3 Etude en boucle fermée

Pour évaluer les performances de l'asservissement on a relevé la réponse indicielle du système en boucle fermée (*figure 1 du document-réponse 3*).

Les questions suivantes reposent sur l'exploitation du relevé de la position verticale réelle $x(t)$ de la colonne du robot lorsque la consigne d'entrée $x_c(t)$ est un échelon unité.

B -3-1 Indiquer deux propriétés graphiques qui permettent d'affirmer que le système en boucle fermée n'est pas du premier ordre.

B -3-2 A partir du tracé de la réponse indicielle, le système en boucle fermée peut être identifié à un système typique du second ordre de transmittance :

$$H(p) = \frac{X(p)}{X_c(p)} = \frac{K}{1 + 2m \frac{p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

B-3-2.1. En exploitant le relevé, indiquer si l'asservissement est précis. Justifier la réponse.

B-3-2.2. Déterminer la valeur de la transmittance statique K . Justifier la réponse.

B-3-2.3. Mettre en évidence sur la *figure 1 du document-réponse 3* les constructions permettant de déterminer le temps t_r de réponse à 5% du système et le dépassement relatif D . Relever la valeur numérique de t_r .

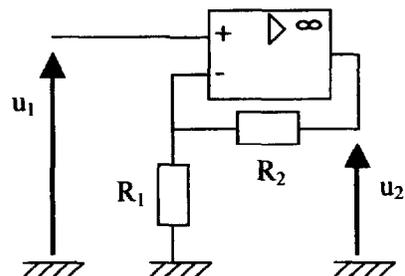
Exprimer la valeur de D en pourcentage de la valeur finale atteinte.

B-3-2.4. La courbe $D(m)$ dessinée à la *figure 2 du document-réponse 3* donne, pour un système du second ordre, le dépassement relatif en fonction du coefficient d'amortissement. Déterminer la valeur du coefficient d'amortissement m pour l'asservissement étudié.

B -4 Etude d'un correcteur analogique

Le correcteur utilisé est réalisé à l'aide d'un montage utilisant un amplificateur opérationnel alimenté sous +15 V /- 15 V. Par souci de simplification, cette alimentation n'est pas représentée sur le schéma.

L' amplificateur est supposé idéal.



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2004	6/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3		SUJET

B-4-1 Expliquer pourquoi, dans ce montage, l'amplificateur peut fonctionner en régime linéaire.

B-4-2 Dans le cas où l'amplificateur fonctionne en régime linéaire, établir l'expression de la tension u_2 en fonction de u_1 et des résistances R_1 et R_2 .

Quel est le type de correction réalisé par ce montage ? Quels effets peut-on attendre de son action sur le fonctionnement du système asservi ?

B-5 Étude d'un correcteur numérique

Dans un souci d'amélioration de son fonctionnement, l'asservissement de position est maintenant échantillonné. Cette transformation permet de placer un correcteur numérique dans la chaîne d'action.

On mesure la position verticale de la colonne du robot à intervalles de temps réguliers et multiples de la période d'échantillonnage T_E . On note x_n la valeur de la position du robot à l'instant nT_E :

$$x_n = x(nT_E).$$

La séquence $\{x_n\}$ représente la suite des mesures de la position réelle du robot.

La séquence $\{x_{Cn}\}$ représente la suite des valeurs de consigne de la position du robot.

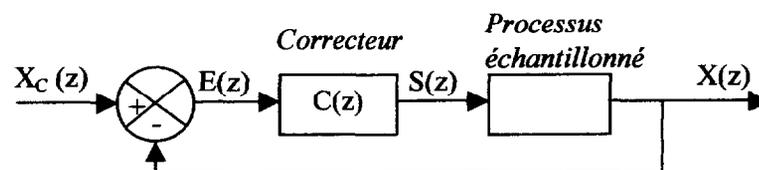
La commande de la boucle est réalisée à l'aide d'un calculateur qui élabore à chaque instant d'échantillonnage la valeur du signal d'erreur e_n , différence entre la consigne de position et la position réelle : $e_n = x_{Cn} - x_n$.

La séquence $\{e_n\}$ représente la suite des valeurs du signal d'erreur.

Le calculateur réalise la fonction correcteur en élaborant la séquence de nombres $\{s_n\}$ à partir de la séquence $\{e_n\}$.

Dans l'étude qui suit, la discrétisation des différentes grandeurs impose d'utiliser la transformée en z . On note respectivement $X_C(z)$, $E(z)$, $S(z)$, $X(z)$ les transformées en z des séquences $\{x_{Cn}\}$, $\{e_n\}$, $\{s_n\}$, $\{x_n\}$.

La modélisation de l'asservissement conduit au schéma-bloc suivant :



L'algorithme qui permet au calculateur de relier les séquences d'entrée et de sortie du correcteur s'écrit :

$$s_n = 0,8 s_{n-1} + 2 e_n - 1,8 e_{n-1}$$

B-5-1 On applique à l'entrée du correcteur une séquence échelon unité et on choisit $s_{-1} = 0$.

Déterminer les cinq premiers échantillons de la sortie s_n pour $n = 0, 1, 2, 3, 4$.

B-5-2 On rappelle que l'opération retard d'une période d'échantillonnage correspond à une multiplication par z^{-1} :

$$Z \{x_{n-1}\} = z^{-1} Z \{x_n\}$$

On désigne par $C(z) = \frac{S(z)}{E(z)}$ la transmittance en z du correcteur

Etablir l'expression de $C(z)$.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2004	7/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET

B-5-3 Ce correcteur est-il un système récursif ? Pourquoi ?

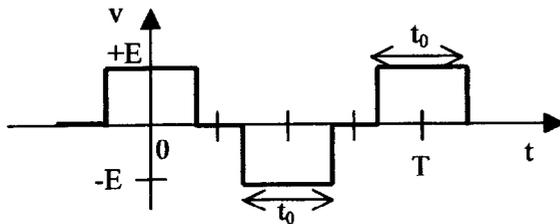
B-5-4 Ce correcteur est-il un système numérique stable ? Pourquoi ?

B-5-5 Citer un des avantages que présente un asservissement échantillonné par rapport à un asservissement analogique.

C - ALIMENTATION DE SECOURS (5 points)

En cas de coupure du réseau EDF, la continuité de l'alimentation électrique des équipements informatiques nécessite que la salle de contrôle-commande du processus soit dotée d'une alimentation de secours : la source d'énergie de secours est une batterie de 48 V qui alimente un onduleur monophasé.

La tension de sortie v de cet onduleur, périodique et de période T , varie au cours du temps t selon le graphe ci-dessous :



On donne :

$$E = 48 \text{ V}$$

$$T = 20 \text{ ms}$$

$$t_0 = \frac{T}{3}$$

En limitant sa décomposition en série de Fourier à ses premiers termes, cette tension $v(t)$ peut s'écrire :

$$v(t) = V_0 + \hat{V}_1 \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) + \hat{V}_5 \cos\left(\frac{10\pi}{T} t + \pi\right)$$

On donne : $\hat{V}_1 = 52,9 \text{ V}$ et $\hat{V}_5 = 10,6 \text{ V}$.

C-1 Tension de sortie de l'onduleur

C-1-1 Quel est le type de conversion réalisée par cet onduleur ?

C-1-2 Quelle est la valeur de la composante continue V_0 ? Justifier la réponse.

C-1-3 Dessiner le spectre en amplitude de cette tension $v(t)$, en précisant l'amplitude et la fréquence de chaque composante.

C-1-4 Calculer la valeur efficace $V_{1\text{eff}}$ du fondamental de $v(t)$.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2004	8/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3		SUJET

C-1-5 Etablir l'expression de la valeur efficace V_{eff} de la tension $v(t)$ en fonction de E , t_0 et T en utilisant une méthode graphique.

Faire l'application numérique pour $E = 48 \text{ V}$, $T = 20 \text{ ms}$, $t_0 = \frac{T}{3}$.

Comparer les valeurs numériques de $V_{1\text{eff}}$ et V_{eff} .

C-1-6 On branche en sortie de l'onduleur un voltmètre numérique muni d'un commutateur à trois positions notées respectivement : DC, AC, DC + AC.

Donner la formule de définition de la valeur efficace de la tension périodique $v(t)$.

Quelle est la valeur affichée par ce voltmètre lorsque la position sélectionnée sur le commutateur est :

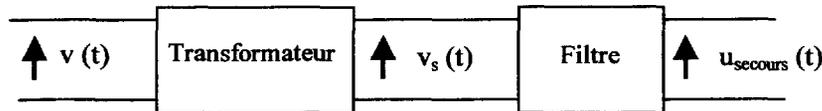
- DC ?
- AC ?
- DC + AC ?

C-2 Mise en forme de la tension de sortie de l'alimentation de secours

On garde les données précédentes : $E = 48 \text{ V}$, $T = 20 \text{ ms}$, $t_0 = \frac{T}{3}$.

La tension de sortie de l'onduleur $v(t)$ est appliquée au primaire d'un transformateur monophasé considéré comme idéal et de rapport de transformation : $m = 6,15$.

La tension $v_s(t)$ obtenue en sortie du transformateur est ensuite filtrée.



C-2-1 Quelle est l'expression de la tension de sortie $v_s(t)$ du transformateur ? Préciser la valeur efficace $V_{s1\text{eff}}$ de son fondamental.

C-2-2 Quel type de filtre faut-il choisir pour obtenir une tension de secours u_{secours} sinusoïdale de fréquence 50 Hz ?

Dessiner le gabarit de ce filtre en supposant que ce dernier est idéal. Préciser sur ce graphique la (ou les) fréquence(s) particulière(s) qui le caractérise(nt).

C-2-3 Dessiner le spectre en amplitude de la tension u_{secours} obtenue en sortie du filtre idéal précédent.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR :		Session	9/12
Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		2004	
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET

EXERCICE : CARTE D'ACQUISITION D'UN SIGNAL.

Entrée voie	A	B	C	D
Plage de tension en entrée	0-9 V	0-10 V	0-2 V	0-3 V
Pleine échelle du CAN : 0-10 V				
Amplification programmée				
Résolution du CAN seul : $r =$				
Résolution obtenue pour la voie de la carte d'acquisition (en mV)				

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2004	10/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET

PROBLEME : ROBOT DE MANUTENTION.

Figure 1

Réponse indicielle en boucle fermée

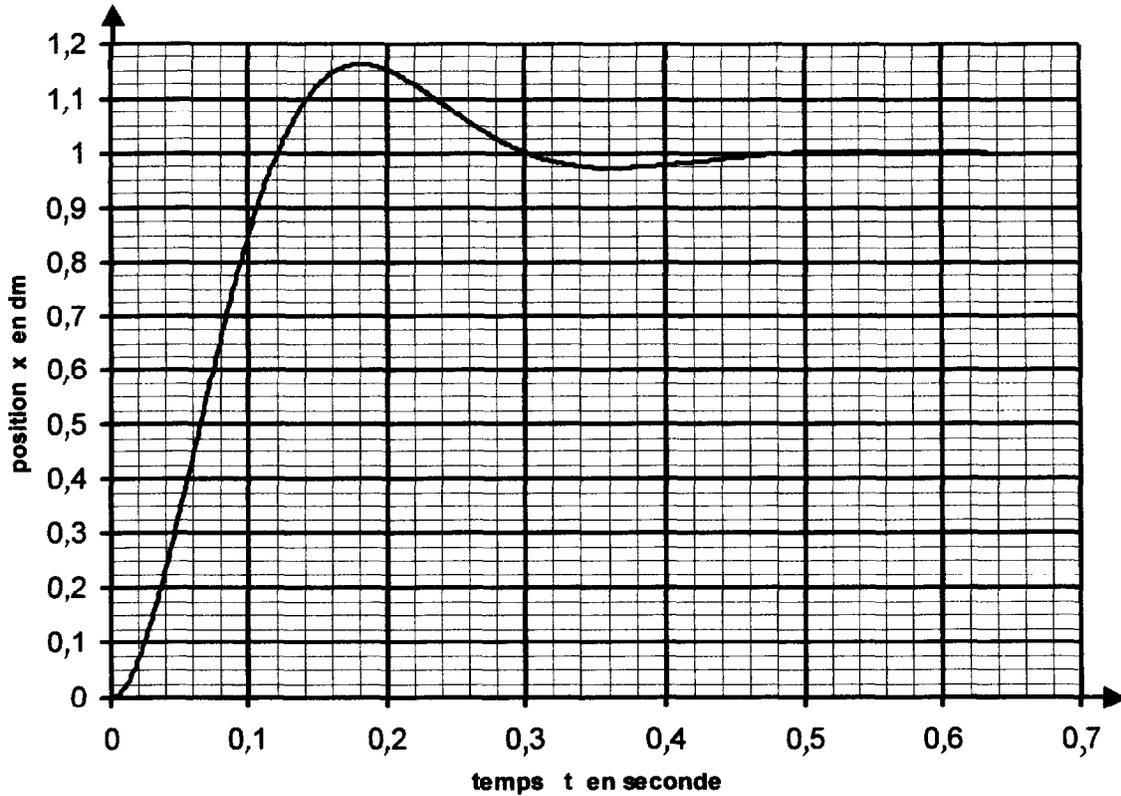
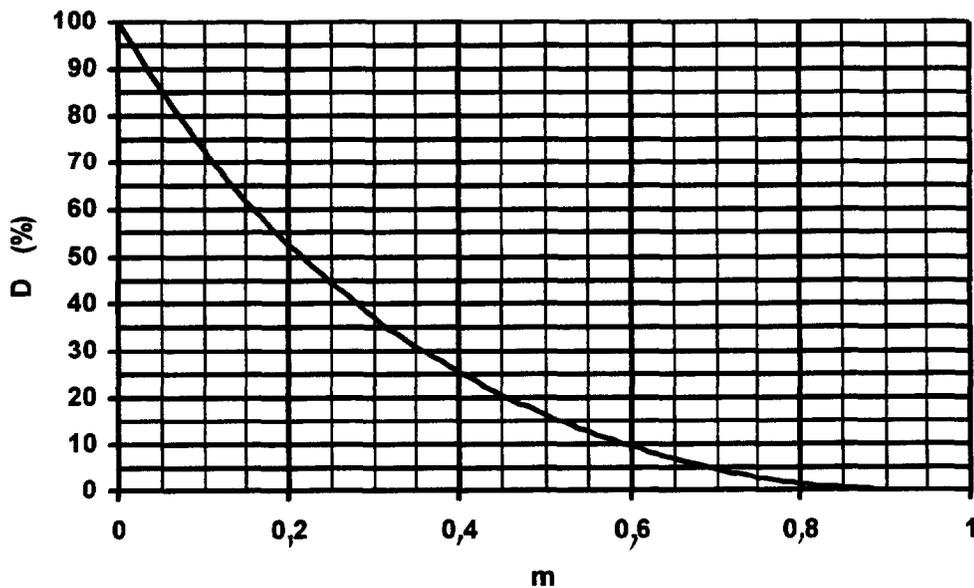


Figure 2

Dépassement D en fonction du coefficient d'amortissement m



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2004	12/12
EPREUVE : Physique appliquée		Durée : 3 h Coef. : 3	SUJET