

SESSION 2006

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

**Epreuve de Physique Appliquée**

**Durée : 3 H 00**

**Coefficient : 3**

**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.**

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

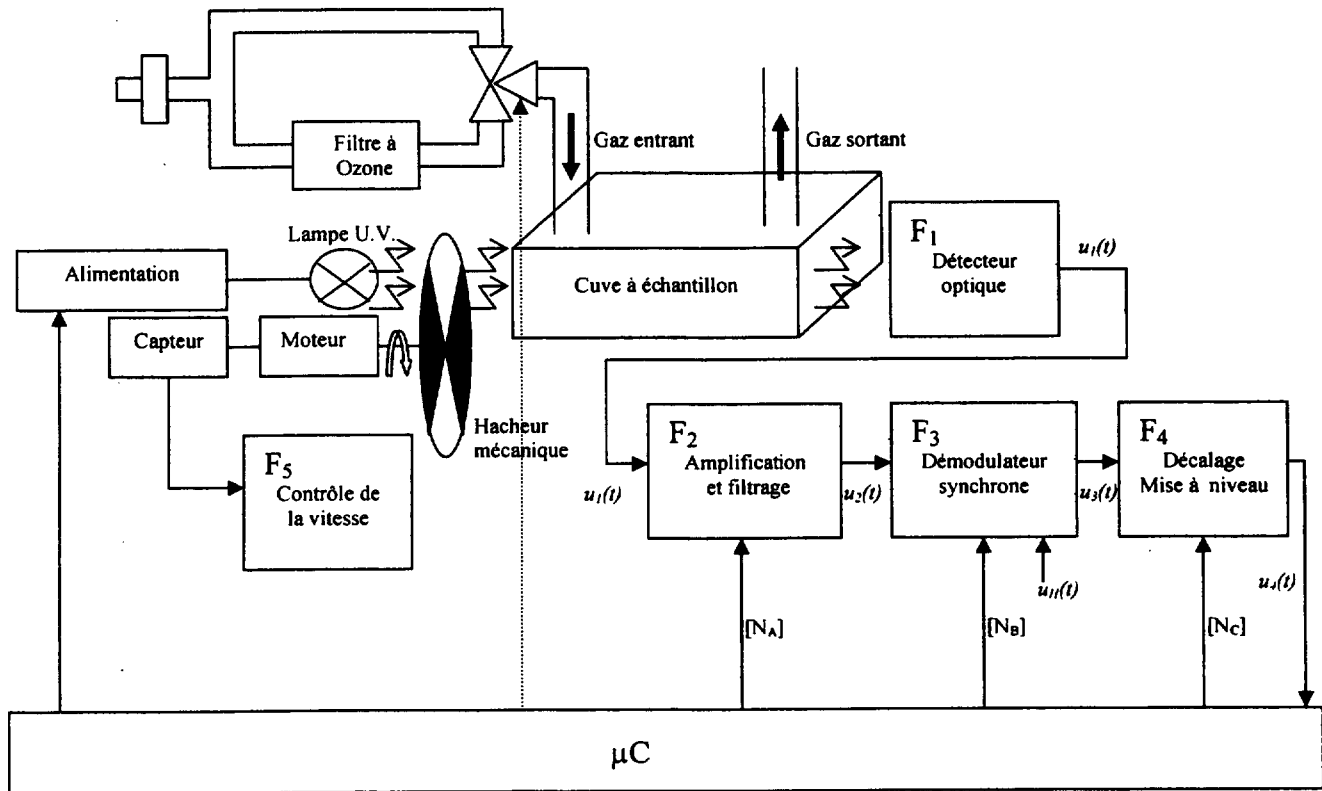
***Le sujet comporte 10 pages dont 2 annexes  
et 1 document réponse à rendre avec la copie.***

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 1/10	SUJET

# Etude d'un analyseur d'Ozone.

## Principe et réalisation de la mesure.

La mesure est gérée par un microcontrôleur (noté  $\mu C$ ) selon le schéma synoptique ci-dessous.



Un faisceau U.V. (ultra-violet) produit par une lampe à vapeur de mercure est haché mécaniquement par un disque en rotation.

Le faisceau traverse une cuve à échantillon avant d'atteindre une photodiode servant de détecteur.

La cuve à échantillon contient alternativement :

- de l'air chargé en ozone, la valeur du flux  $\Phi$  du faisceau U.V. détecté (exprimée en watt) est alors notée  $\Phi_{MES}$ ,
- de l'air dont l'ozone a été filtré, la valeur du flux  $\Phi$  du faisceau U.V. détecté est alors notée  $\Phi_{REF}$ .

Le rapport de ces 2 flux permet de déterminer la concentration en ozone de l'air analysé.

*Le sujet consiste à étudier les 5 fonctions (notées  $F_1$  à  $F_5$ ), l'algorithme de traitement numérique du microcontrôleur et le déroulement d'une mesure qui constituent 7 parties complètement indépendantes.*

*De plus dans une même partie, de nombreuses questions sont indépendantes.*

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 2/10	SUJET

**Partie 1 : Etude de la fonction F<sub>1</sub> : détecteur optique. (2 points)**

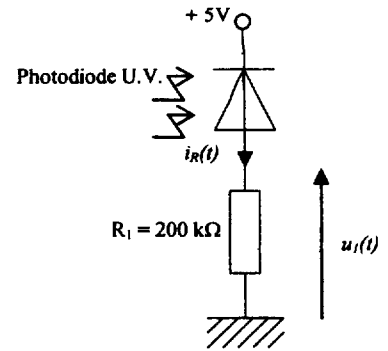
Le détecteur optique est réalisé à l'aide d'une photodiode U.V. associée à une résistance R<sub>1</sub> selon la figure ci-contre.

L'intensité du courant  $i_R(t)$  de la photodiode est proportionnelle à la valeur du flux  $\Phi(t)$  (exprimée en watt) du faisceau reçu par celle-ci :

$$i_R(t) = \gamma \cdot \Phi(t) \text{ avec } \gamma = 0,1 \text{ A/W.}$$

La valeur du flux  $\Phi(t)$  du rayonnement U.V. qui parvient à la photodiode est modulée par le hacheur optique et s'écrit :

$$\Phi(t) = \hat{\Phi} (1 + \sin(2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot t))$$



Sa représentation en fonction du temps se trouve sur la figure n°1 de l'annexe 1.

1.a) En déduire la valeur de la fréquence F<sub>0</sub>.

1.b) Montrer que l'expression de la tension  $u_I(t)$  peut se mettre sous la forme  $u_I(t) = \langle u_I \rangle + \hat{U}_I \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot t)$

Exprimer  $\langle u_I \rangle$  et  $\hat{U}_I$  en fonction de R<sub>1</sub>,  $\gamma$  et  $\hat{\Phi}$ .

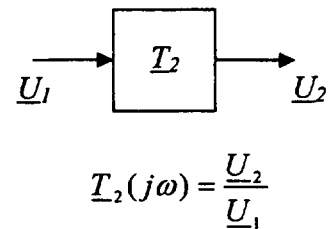
1.c) Calculer  $\langle u_I \rangle$  et  $\hat{U}_I$  pour les 2 valeurs extrêmes de  $\hat{\Phi}$  : 1,5  $\mu$ W et 5,0  $\mu$ W.

**Partie n°2 : Etude de la fonction F<sub>2</sub> : amplification et filtrage. (2 points)**

La fonction est assurée par un amplificateur sélectif de transmittance isochrone  $T_2(j\omega)$  modélisé ci-contre. L'amplification programmable par l'intermédiaire d'un paramètre R<sub>2</sub> contrôlé par le nombre binaire [N<sub>A</sub>] issu du microcontrôleur  $\mu$ C.

La valeur de R<sub>2</sub> peut varier de 0 à 10 k $\Omega$  par incrément de 100  $\Omega$ .

La figure n°2 de l'annexe 1 représente le diagramme de Bode du module  $T_2$  de la transmittance isochrone  $T_2(j\omega)$  du filtre pour différentes valeurs de R<sub>2</sub>.



La tension d'entrée  $u_I(t)$  s'écrit :  $u_I(t) = \langle u_I \rangle + \hat{U}_I \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t)$

On donne :  $\langle u_I \rangle = \hat{U}_I = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \hat{\Phi}$  ( $\langle u_I \rangle$  et  $\hat{U}_I$  étant exprimées en V et  $\hat{\Phi}$  en W).

En sortie du filtre, la tension  $u_2(t)$  s'écrit :  $u_2(t) = \hat{U}_2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t)$ .

2.a) Préciser le type de filtre réalisé par la fonction F<sub>2</sub>.

2.b) Montrer que  $\hat{U}_2 = \beta \cdot \hat{\Phi}$  et donner l'expression du coefficient  $\beta$ .

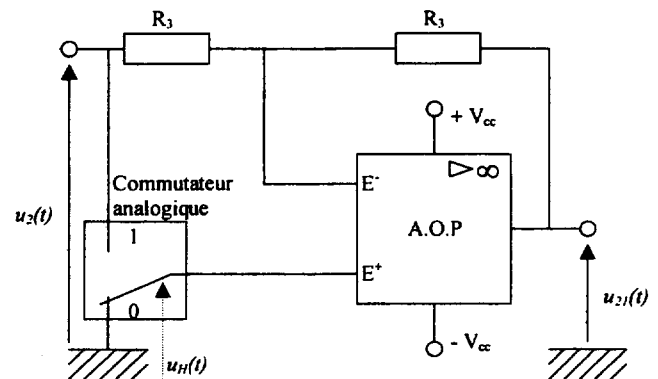
2.c) On donne : R<sub>2</sub> = 0  $\Omega$  et R<sub>2</sub> = 10 k $\Omega$ . Calculer les valeurs extrêmes prises par le coefficient  $\beta$  en indiquant l'unité correspondante.

**Partie n°3 : Etude de la fonction F<sub>3</sub> : démodulateur synchrone. (6 points)**

**3.1) Principe du démodulateur.**

L'étage d'entrée de la fonction F<sub>3</sub> est représenté ci-contre.

La tension  $u_H(t)$  est un signal logique de rapport cyclique  $\alpha = 1/2$  et de fréquence F<sub>0</sub> égale à la fréquence de la tension  $u_2(t)$ . Son retard  $t_D$  par rapport à  $u_2(t)$  est contrôlé par le microcontrôleur  $\mu$ C avec un pas de réglage égal à  $1/16$ ème de période.



BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 3/10	SUJET

Cette tension  $u_H(t)$  commande un commutateur analogique selon le principe suivant :

- si  $u_H(t) = 0 \text{ V}$  (niveau logique 0), le commutateur analogique relie l'entrée non inverseuse  $E^+$  de l'A.O.P à la masse.
- si  $u_H(t) = 5 \text{ V}$  (niveau logique 1), le commutateur analogique relie l'entrée non inverseuse  $E^+$  de l'A.O.P à la tension  $u_2(t)$ .

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait et il fonctionne en régime linéaire. On donne :

- Quand  $u_H(t) = 0 \text{ V}$  alors  $u_{21}(t) = -u_2(t)$
- Quand  $u_H(t) = 5 \text{ V}$  alors  $u_{21}(t) = u_2(t)$

3.1.a) Représenter sur le *document-réponse n°1* la tension  $u_{21}(t)$  en fonction du temps  $t$  pour les signaux  $u_2(t)$  et  $u_H(t)$  donnés.

3.1.b) En déduire l'expression de la fréquence  $f$  de la tension  $u_{21}(t)$  en fonction de  $F_0 = \frac{1}{T_0}$ .

3.1.c) En déduire l'expression de sa valeur moyenne  $\langle u_{21} \rangle$  en fonction de  $\hat{U}_2$ ,  $t_D$  et  $T_0$ .

### 3.2) Application du démodulateur.

En réalité la tension  $u_2(t)$  s'écrit : 
$$u_2(t) = \hat{U}_2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 200 \cdot t)$$

Le microcontrôleur règle l'amplification de la fonction  $F_2$  de telle sorte que  $\hat{U}_2 = 2,60 \text{ V}$ . La tension  $u_{21}(t)$  s'écrit alors pour  $t_D = 0$  :

$$u_{21}(t) = \frac{2 \cdot \hat{U}_2}{\pi} + \frac{4 \cdot \hat{U}_2}{3 \cdot \pi} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 400 t + \varphi_1) + \frac{4 \cdot \hat{U}_2}{15 \cdot \pi} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 800 t + \varphi_2)$$

3.2.a) Calculer sa valeur moyenne :  $\langle u_{21} \rangle$ , l'amplitude  $\hat{U}_{21f}$  de son fondamental et l'amplitude  $\hat{U}_{21h2}$  de son harmonique de rang 2.

3.2.b) Tracer le spectre d'amplitude de la tension  $u_{21}(t)$  sur le *document-réponse n°2*.

3.2.c) La tension  $u_{21}(t)$  est ensuite filtrée par un filtre passe bas dont le diagramme de Bode du gain est donné ci-contre.

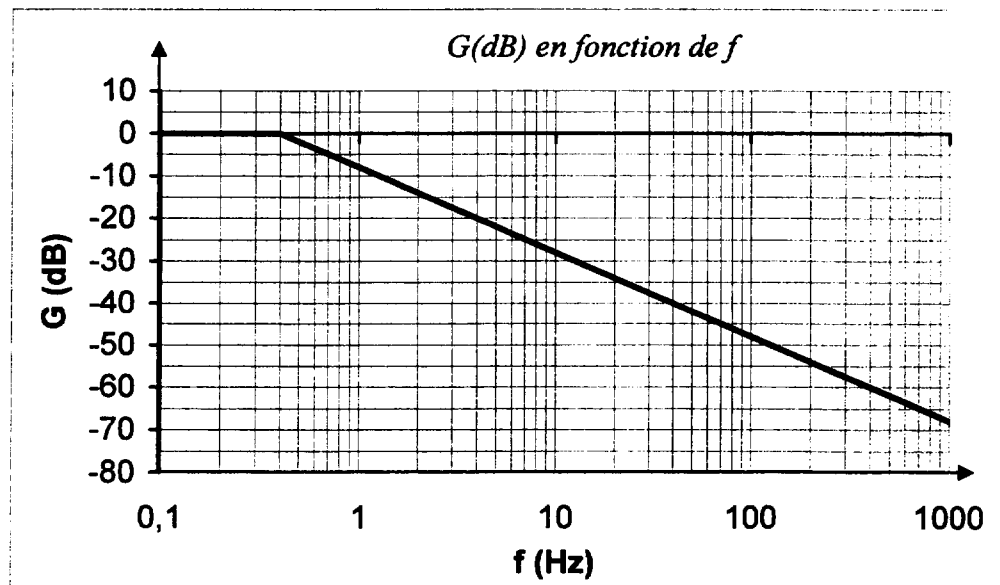
Indiquer l'ordre du filtre utilisé en justifiant la réponse.

3.2.d) Déterminer le gain (noté  $G_0$ ) du filtre pour une composante continue.

En déduire la valeur moyenne  $\langle u_3 \rangle$  de la tension  $u_3(t)$  de sortie du filtre.

3.2.e) Déterminer le gain (noté  $G_{400}$ ) du filtre pour une composante sinusoïdale de fréquence  $400 \text{ Hz}$ .

En déduire l'amplitude  $\hat{U}_{3f}$  du fondamental de la tension  $u_3(t)$  de sortie du filtre.



3.2.f) Calculer l'ondulation relative  $\delta = \frac{\hat{U}_{3f}}{\langle u_3 \rangle}$ .

Que peut-on en conclure concernant la forme de la tension  $u_3(t)$  ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 4/10	SUJET

**Partie n°4 : Etude de la fonction F<sub>4</sub> : décalage, mise à niveau. (2 points)**

La tension  $u_3(t)$  et une tension continue  $u_R(t)$  de décalage permet d'élaborer la tension de référence  $u_{ref}(t)$  du convertisseur numérique/analogique (CNA) suivant la relation : 
$$u_{ref}(t) = 18 \cdot \left( u_3(t) - \frac{u_R(t)}{2} \right)$$

Le CNA convertit le nombre binaire  $[N_C]$  codé sur 12 bits (nombre généré par le microcontrôleur  $\mu C$ ) en une donnée analogique  $u_4(t)$ . La tension de sortie du CNA s'exprime par :

$$u_4(t) = \frac{-2^{12}}{N_C} \times u_{ref}(t) ; N_C \text{ étant la valeur en décimal du nombre binaire } [N_C]$$

4.a) Exprimer la tension  $u_4(t)$  en fonction de  $u_R(t)$ ,  $u_3(t)$  et  $N_C$ .

4.b) Le microcontrôleur  $\mu C$  convertit la tension  $u_4(t)$  en un nombre binaire  $[N_D]$  grâce à son convertisseur analogique/numérique (CAN) 10 bits intégré.

Quelle est la valeur maximale (en décimal) que l'on peut coder sur le nombre binaire  $[N_D]$  ?

4.c) Ce nombre décimal  $N_D$  est défini par la relation :

$$N_D = \frac{u_4(t)}{u_R(t)} \cdot 2^{10}$$

Montrer que l'expression de  $N_D$  peut s'écrire : 
$$N_D = \frac{A}{N_C} \left( B - \frac{u_3(t)}{u_R(t)} \right)$$
 et donner les valeurs de  $A$  et  $B$ .

**Partie n°5 : Algorithme de traitement numérique. (1 point)**

Afin de limiter les fluctuations de la donnée numérique  $N_D$ , un algorithme de traitement a été programmé au niveau du microcontrôleur  $\mu C$  afin d'associer à une séquence d'entrée  $e_n$  une séquence de sortie  $s_n$  par l'équation de récurrence suivante :

$$s_n = 0,25 \cdot (e_n + e_{n-1} + e_{n-2} + e_{n-3})$$

5.a) Les valeurs d'une séquence d'entrée  $e_n$  sont données ci-dessous.

$n$	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e_n$	0	0	0	1000	1020	1000	980	1020	990	1000	990	980	1010	1000

Compléter le *document-réponse n°3* en inscrivant les valeurs de la séquence de sortie  $s_n$  correspondante.

5.b) On associe par la transformée en  $z$ , la séquence d'entrée  $e_n$  à la transformée  $E(z)$  et la séquence de sortie  $s_n$  à la transformée  $S(z)$ .

Etablir la fonction de transfert  $T(z) = \frac{S(z)}{E(z)}$  du traitement numérique à partir de son équation de récurrence.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 5/10	SUJET

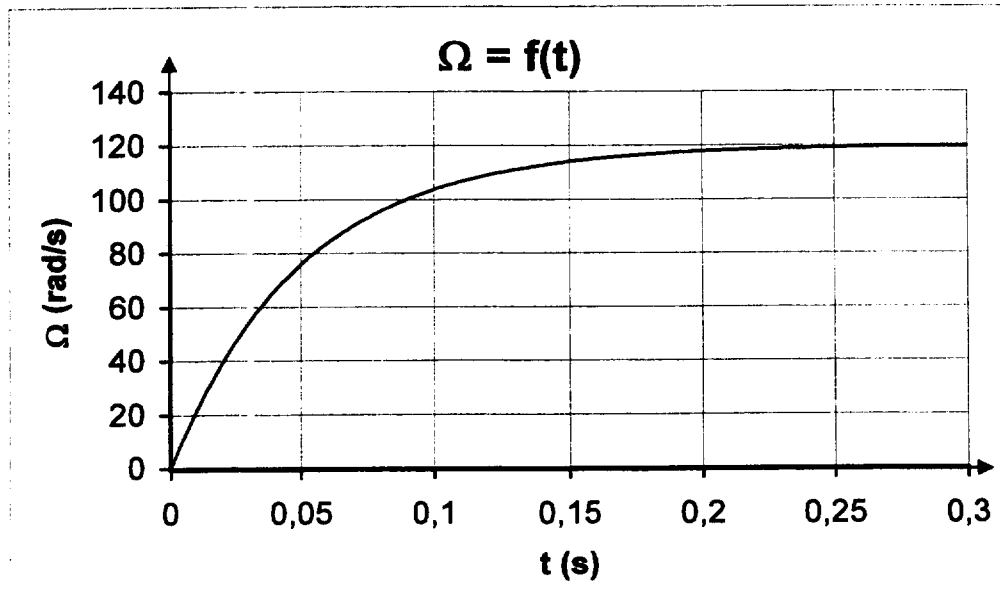
**Partie n°6 : Etude de la fonction F<sub>s</sub> : contrôle de la vitesse de rotation. (6 points)**

La rotation du disque du hacheur mécanique est assurée par un moteur à courant continu dont l'équation différentielle liant sa tension d'induit  $u(t)$  (en V) et sa vitesse angulaire de rotation  $\Omega(t)$  (en rad/s) est la suivante :

$$K_o u(t) = \tau \frac{d\Omega(t)}{dt} + \Omega(t)$$

ou  $K_o$  représente la transmittance statique et  $\tau$  la constante de temps du moteur.

La réponse indicielle du moteur à un échelon de tension d'induit de 12 V est représentée ci-dessous.



6.a) Déterminer graphiquement le temps de réponse à 5% (noté  $tr_{5\%}$ ) du moteur et sa vitesse angulaire de rotation  $\Omega_\infty$  en régime permanent.

6.b) En déduire les valeurs de la transmittance statique  $K_o$  et de la constante de temps  $\tau$ . Préciser leurs unités.

6.c) On note respectivement  $U(p)$  et  $\Omega(p)$  les transformées de Laplace de la tension  $u(t)$  et de la vitesse angulaire de rotation  $\Omega(t)$ .

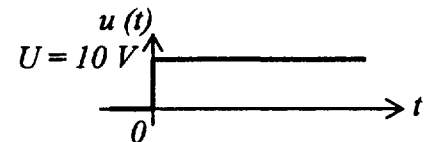
A l'instant  $t = 0$ , le moteur est au repos : sa vitesse angulaire est nulle.

A partir de l'équation différentielle vérifiée par le moteur, déduire la transmittance isomorphe  $T_M(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$

correspondante.

6.d) A l'instant  $t = 0$ , le moteur est au repos : sa vitesse angulaire est nulle. On applique un échelon de tension de hauteur  $U = 10 V$ .

Etablir l'expression de la transformée de Laplace  $\Omega(p)$  correspondant à la vitesse angulaire de rotation  $\Omega(t)$  dans ce cas.

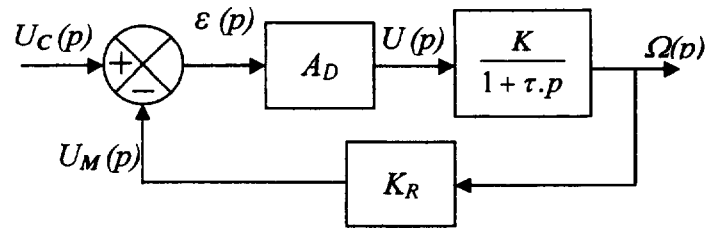


6.e) A l'aide de la table de transformées de Laplace fournie en *annexe 2*, établir l'expression de la vitesse angulaire de rotation  $\Omega(t)$  dans ce cas.

6.f) A l'aide de la table de transformées de Laplace fournie en *annexe 2*, déterminer la nouvelle valeur finale  $\Omega_\infty$  de la vitesse angulaire de rotation dans ce cas.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 6/10	SUJET

6.g) En réalité, le moteur est intégré dans un asservissement qui peut être modélisé par le schéma-bloc ci-dessous.



Etablir l'expression de la transmittance en boucle fermée  $T_{BF}(p) = \frac{\Omega(p)}{U_C(p)}$  de cet asservissement.

6.h) Quel est l'intérêt d'avoir intégré le moteur dans un asservissement ?

### Partie 7 : Etude d'une mesure. (1 point)

Le microcontrôleur  $\mu C$  fait circuler, dans la cuve à échantillon, de l'air exempt d'ozone ; la valeur du flux  $\Phi_{REF}$  du faisceau U.V. reçu par le détecteur optique est convertie à l'aide des fonctions  $F_1$  à  $F_4$  en un nombre binaire  $[N_{D0}]$  codé sur 10 bits noté en décimal  $N_{D0}$ .

Le microcontrôleur  $\mu C$  fait ensuite circuler dans la cuve à échantillon de l'air chargé d'ozone ; la valeur du flux  $\Phi_{MES}$  du faisceau U.V. reçu par le détecteur optique est convertie en un nombre binaire  $[N_{DM}]$  dont l'équivalent décimal est noté  $N_{DM}$ .

La concentration  $C$  en ozone se calcule alors à l'aide des relations suivantes :

$$\log\left(\frac{\Phi_{REF}}{\Phi_{MES}}\right) = K.D.C \quad \text{et} \quad K.D.C = 1,22 \cdot 10^{-8} \cdot N_C \cdot (N_{DM} - N_{D0})$$

Dans cette équation :

- $\log$  est la fonction logarithme décimal.
- $C$  est la concentration en ozone en  $g/L$ .
- $D$  est la distance parcourue par le faisceau U.V. à travers la cuve en  $cm$ .
- $K$  est le coefficient spécifique d'absorbance massique en  $g^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot L$
- $N_C$  est le nombre décimal codé en binaire  $[N_C]$  sur 12 bits et généré par le microcontrôleur  $\mu C$  pour le réglage automatique de la gamme de mesure.

7.a) Dans ce cas étudié, on donne les valeurs suivantes :

- $D = 25 \text{ cm}$
- $K = 60 \text{ g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot L$
- $N_C = 33$

On mesure  $N_{D0} = 100$  et  $N_{DM} = 500$ .

En déduire la concentration en ozone  $C$  en  $g/L$ .

Est-ce acceptable pour une agglomération sachant que la concentration  $C_{MAX} = 0,18 \mu g/L$  est considérée comme le seuil de pollution urbaine ?

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 7/10	SUJET

## ANNEXE 1.

Figure n°1.

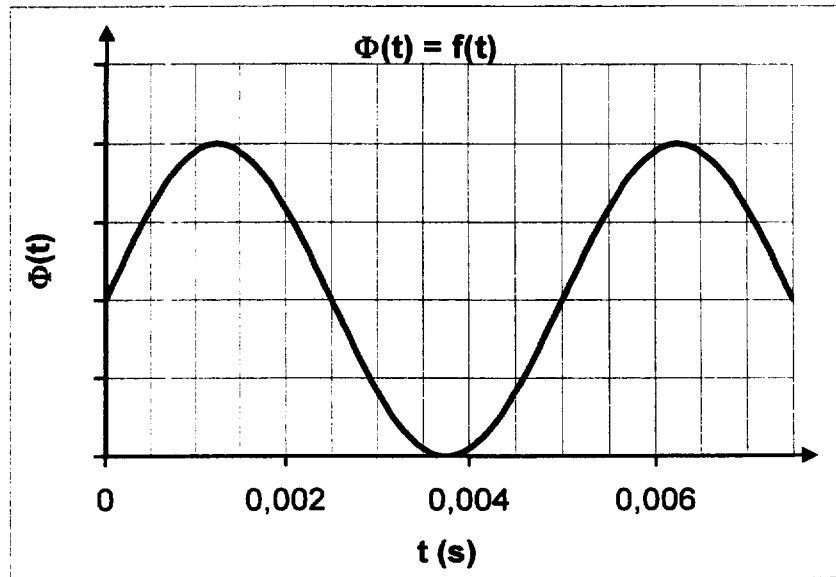
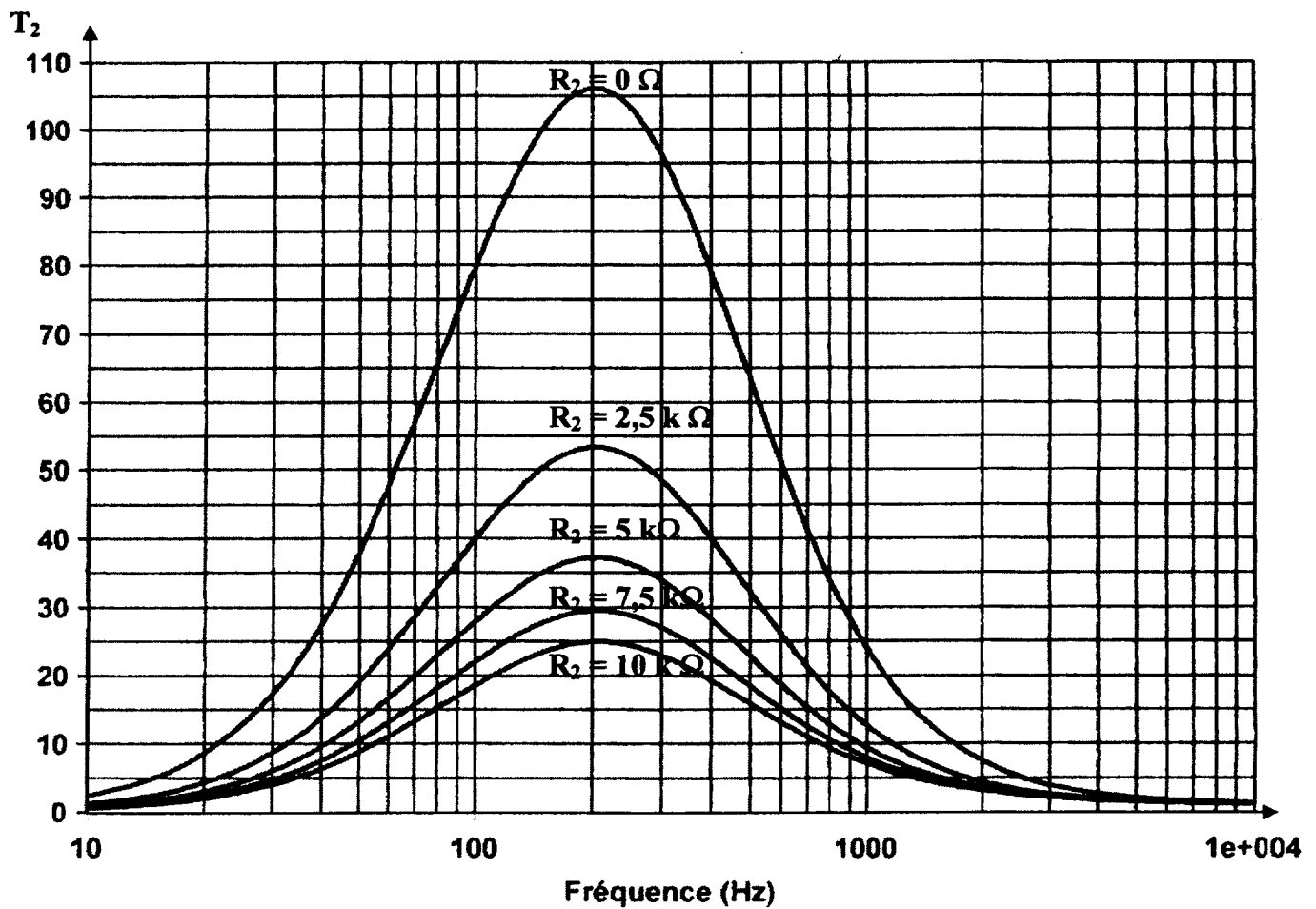


Figure n°2.





## ANNEXE 2.

### TABLE DE TRANSFORMEES DE LAPLACE.

A toute fonction réelle  $f(t)$  causale (nulle pour  $t < 0$ ), est associée une transformée de Laplace  $F(p)$  de variable complexe  $p$ .

La transformée de Laplace présente les propriétés suivantes :

**Linéarité**  $\alpha f_1(t) + \beta f_2(t) \Leftrightarrow \alpha F_1(p) + \beta F_2(p)$

**Dérivation**  $f'(t) \Leftrightarrow pF(p) - f(0^-)$

**Théorème de la valeur finale**  $\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$

#### Table de quelques transformées de Laplace :

*Impulsion de Dirac unité :* Si  $f(t) = \delta(t)$  alors  $F(p) = 1$

*Échelon unité :* Si  $f(t) = \Gamma(t)$  alors  $F(p) = \frac{1}{p}$

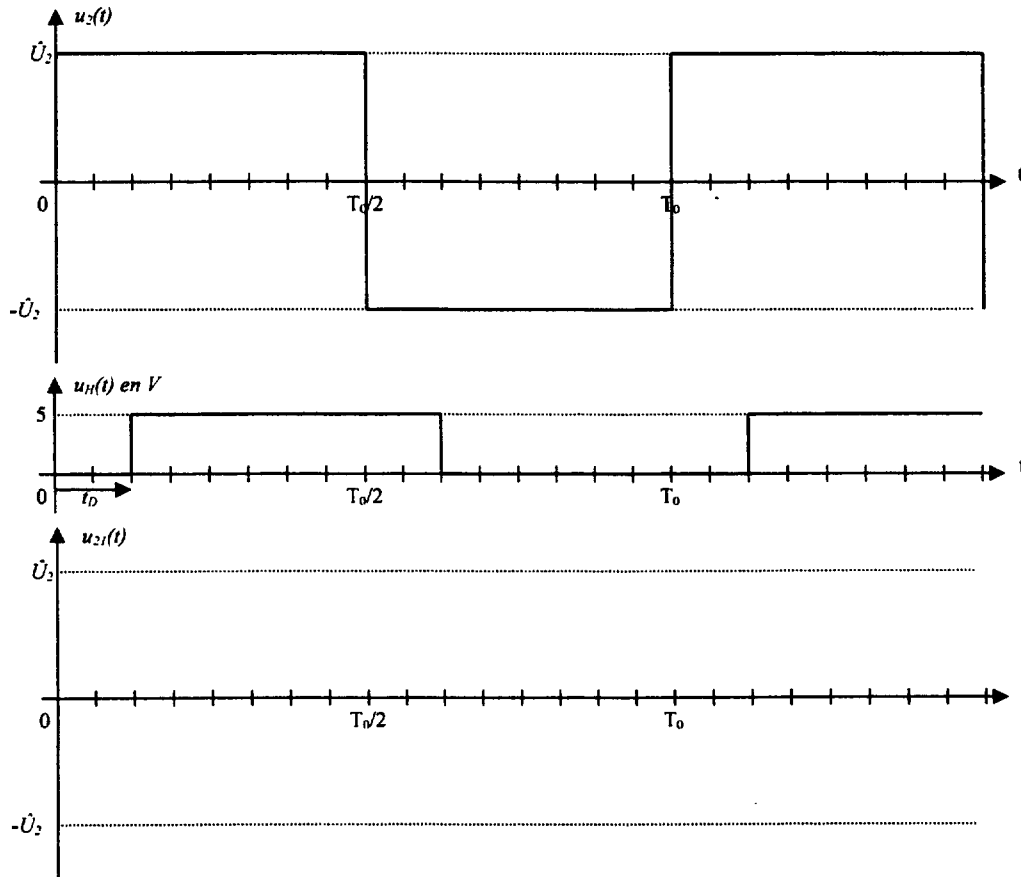
*Fonctions exponentielles* Si  $f(t) = 1 - e^{-t/\tau}$  alors  $F(p) = \frac{1}{p(1 + \tau.p)}$

Si  $f(t) = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$  alors  $F(p) = \frac{1}{1 + \tau.p}$

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques		Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 9/10 SUJET

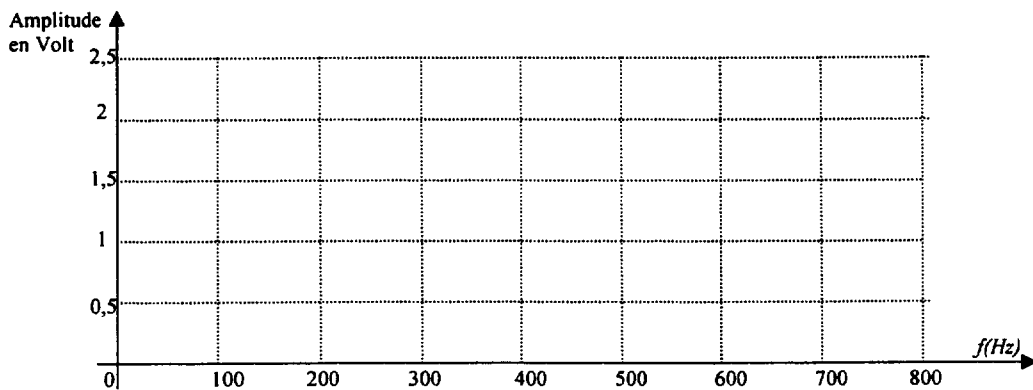
# DOCUMENTS-REponses (A RENDRE AVEC LA COPIE)

## Document-réponse n°1.



## Document-réponse n°2.

Spectre de la tension de  $u_{21}(t)$



## Document-réponse n°3.

$n$	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$s_n$														

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR : Informatique et Réseaux pour l'Industrie et les Services Techniques			Session 2006	
EPREUVE : Physique Appliquée	IRSPA	Durée : 3h Coef. : 3	Page : 10/10	SUJET