

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.***

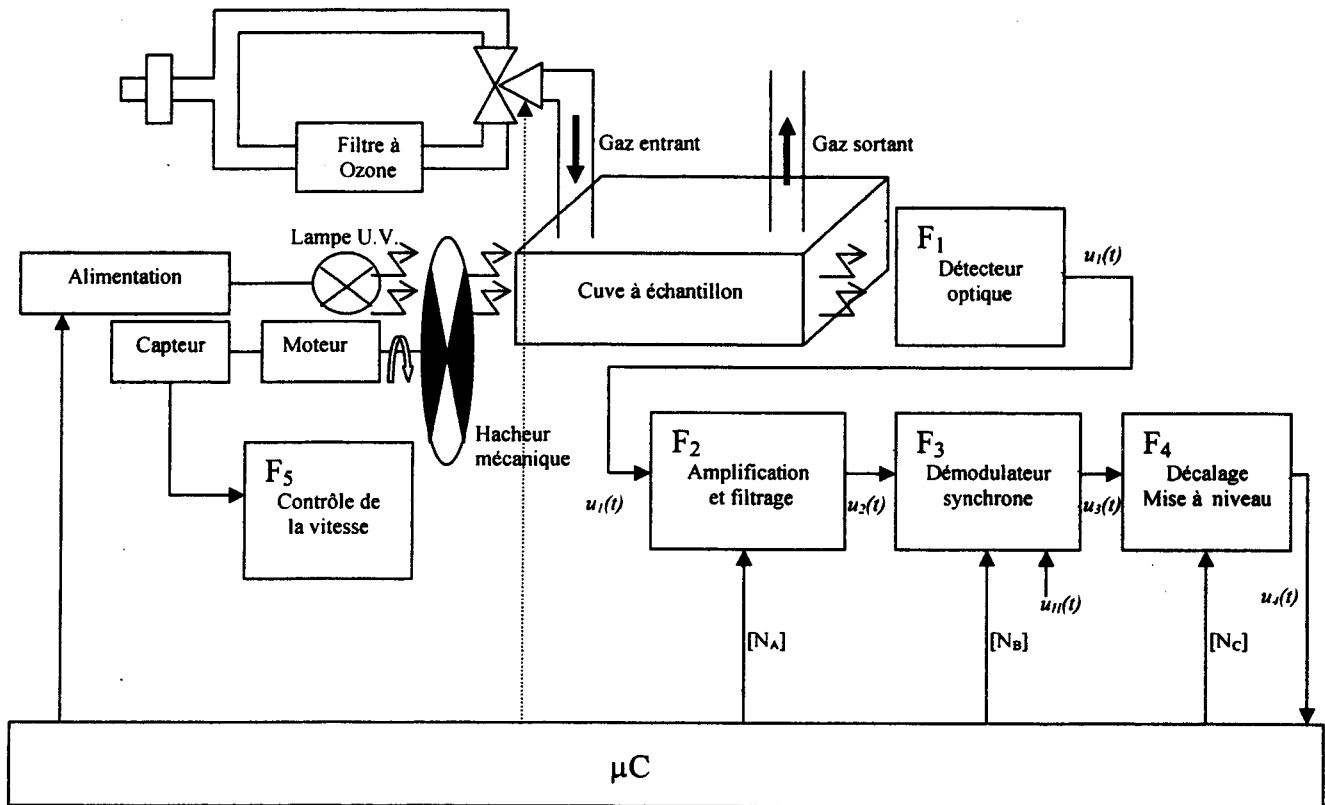
***Le sujet comporte 10 pages dont 2 annexes
et 1 document réponse à rendre avec la copie.***

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 μC) 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 Φ du faisceau U.V. détecté (exprimée en watt) est alors notée Φ_{MES} ,
- de l'air dont l'ozone a été filtré, la valeur du flux Φ du faisceau U.V. détecté est alors notée Φ_{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_1 : détecteur optique. (2 points)

Le détecteur optique est réalisé à l'aide d'une photodiode U.V. associée à une résistance R_1 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 :

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

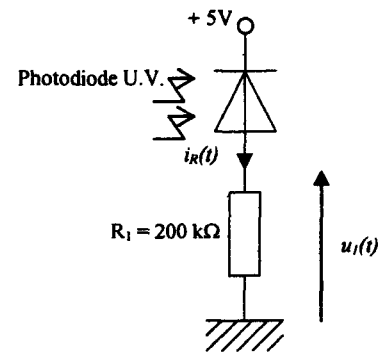
Sa représentation en fonction du temps se trouve sur la figure n°1 de l'annexe 1.

1.a) En déduire la valeur de la fréquence F_0 .

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

Exprimer $\langle u_I \rangle$ et $\hat{U}_I$ en fonction de R_1 , γ et $\hat{\Phi}$.

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

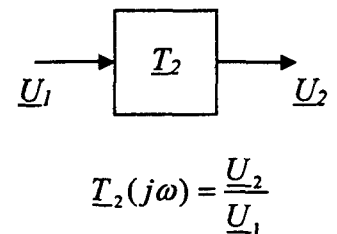


Partie n°2 : Etude de la fonction F_2 : amplification et filtrage. (2 points)

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_2 contrôlé par le nombre binaire $[N_A]$ issu du microcontrôleur μC .

La valeur de R_2 peut varier de 0 à $10 \text{ k}\Omega$ par incrément de 100Ω .

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_2 .



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

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

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

2.a) Préciser le type de filtre réalisé par la fonction F_2 .

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

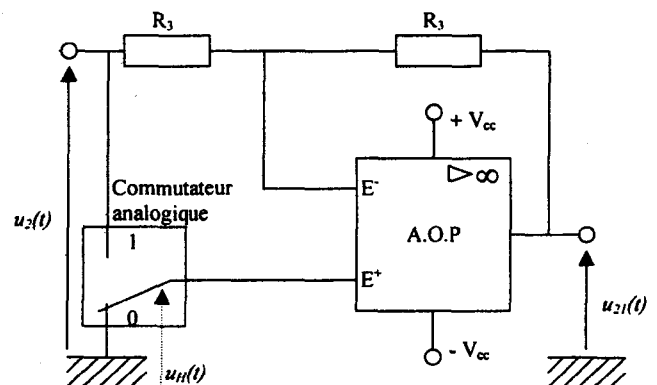
2.c) On donne : $R_2 = 0 \Omega$ et $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$. Calculer les valeurs extrêmes prises par le coefficient β en indiquant l'unité correspondante.

Partie n°3 : Etude de la fonction F_3 : démodulateur synchrone. (6 points)

3.1) Principe du démodulateur.

L'étage d'entrée de la fonction F_3 est représenté ci-contre.

La tension $u_H(t)$ est un signal logique de rapport cyclique $\alpha = \frac{1}{2}$ et de fréquence F_0 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 μC avec un pas de réglage égal à $\frac{1}{16}$ ème de période.



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 :

$$u_2(t) = \hat{U}_2 \cdot \sin(2\pi \cdot 200 \cdot t)$$

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 $t_D = 0$:

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

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.

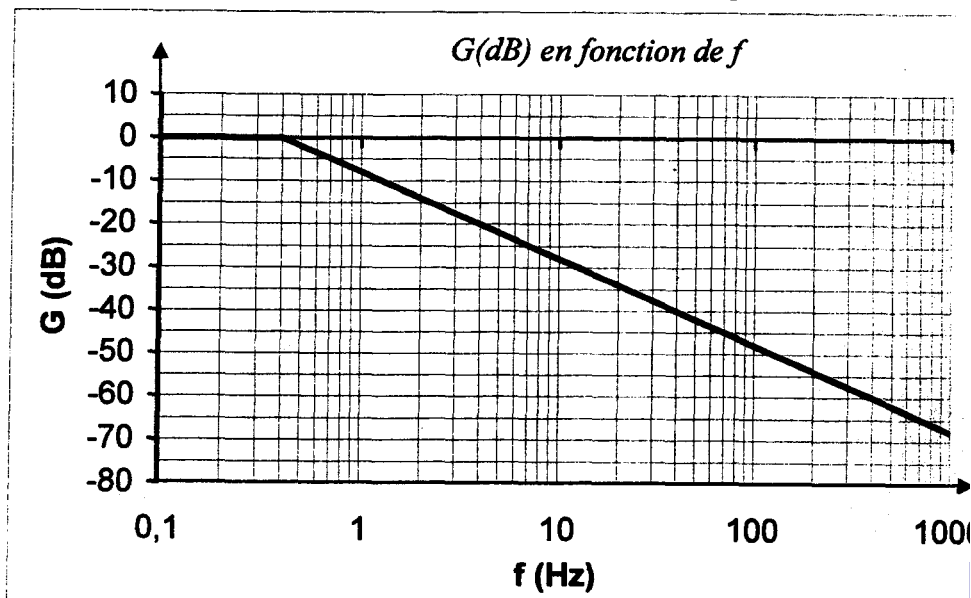
Indiquer l'ordre du filtre utilisé en justifiant la réponse.

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 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 F₄ : 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 :

$$u_{ref}(t) = 18 \left(u_3(t) - \frac{u_R(t)}{2} \right)$$

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

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

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

4.b) Le microcontrôleur μC convertit la tension $u_A(t)$ 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 :

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

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 μC afin d'associer à une séquence d'entrée e_n une séquence de sortie s_n par l'équation de récurrence suivante :

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

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.

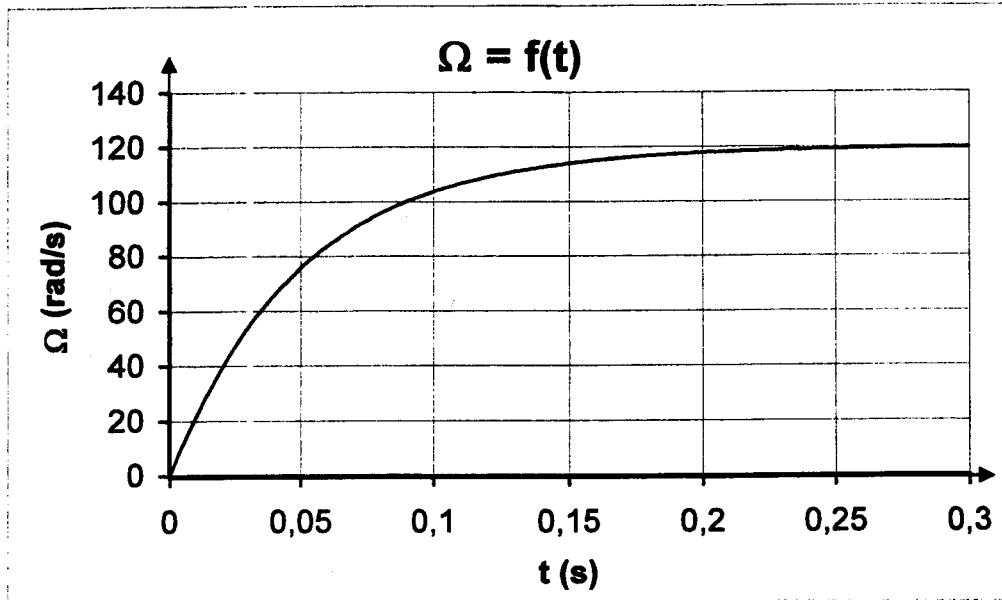
Partie n°6 : Etude de la fonction F₅ : contrôle de la vitesse de rotation. (6 points)

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 :

$$K_0.u(t) = \tau \frac{d\Omega(t)}{dt} + \Omega(t)$$

ou K_0 représente la transmittance statique et τ 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 Ω_∞ en régime permanent.

6.b) En déduire les valeurs de la transmittance statique K_0 et de la constante de temps τ . 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 $\Omega(t)$.

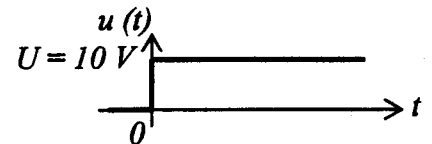
A l'instant $t = 0$, le moteur est au repos : sa vitesse angulaire est nulle.

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.

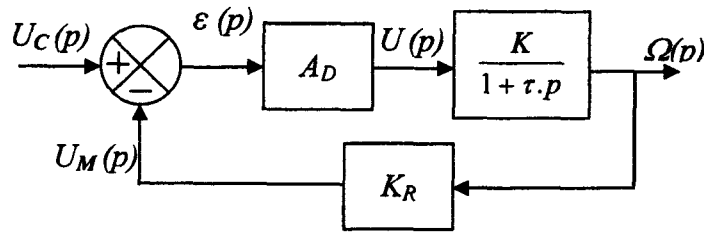


6.e) A l'aide de la table de transformées de Laplace fournie en annexe 2, établir l'expression de la vitesse angulaire de rotation $\Omega(t)$ dans ce cas.

6.f) A l'aide de la table de transformées de Laplace fournie en annexe 2, déterminer la nouvelle valeur finale Ω_∞ 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 μC fait circuler, dans la cuve à échantillon, de l'air exempt d'ozone ; la valeur du flux Φ_{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 μC fait ensuite circuler dans la cuve à échantillon de l'air chargé d'ozone ; la valeur du flux Φ_{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 :

$$\log\left(\frac{\Phi_{REF}}{\Phi_{MES}}\right) = K.D.C \quad \text{et} \quad K.D.C = 1,22.10^{-8}.N_C.(N_{DM} - N_{D0})$$

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 $g^{-1}.cm^{-1}.L$.
- N_C est le nombre décimal codé en binaire $[N_C]$ sur 12 bits et généré par le microcontrôleur μC pour le réglage automatique de la gamme de mesure.

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

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

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 $C_{MAX} = 0,18 \text{ } \mu g/L$ 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.

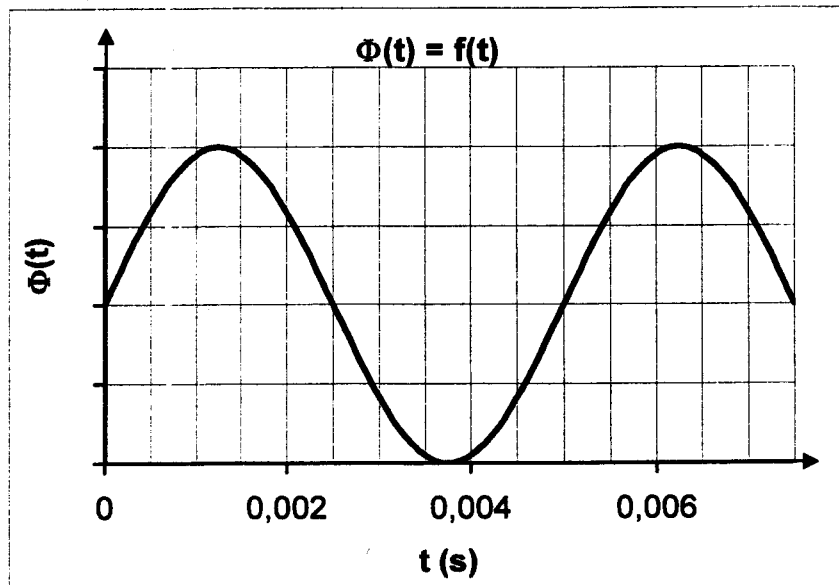
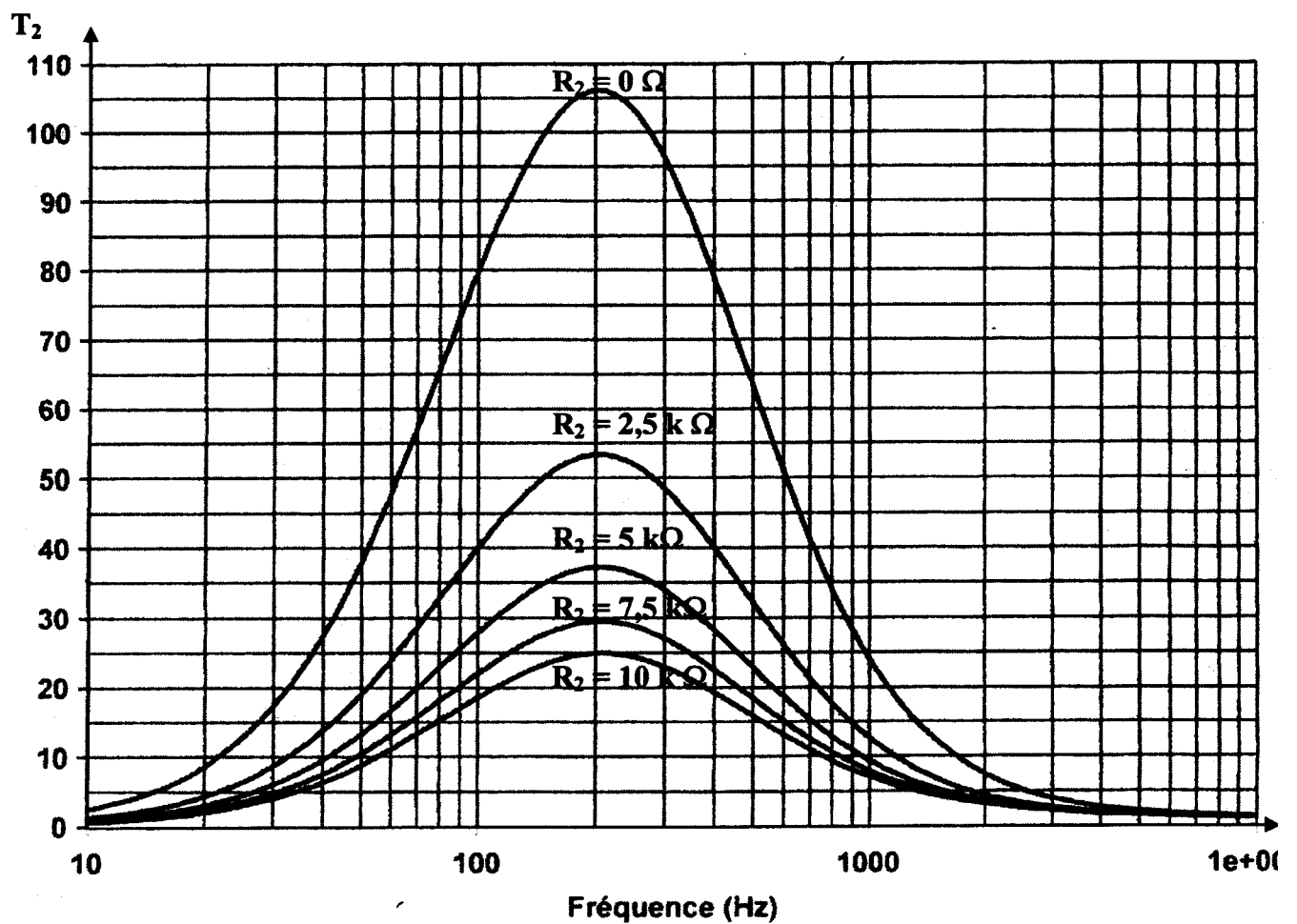


Figure n°2.



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 $F(p) = 1$

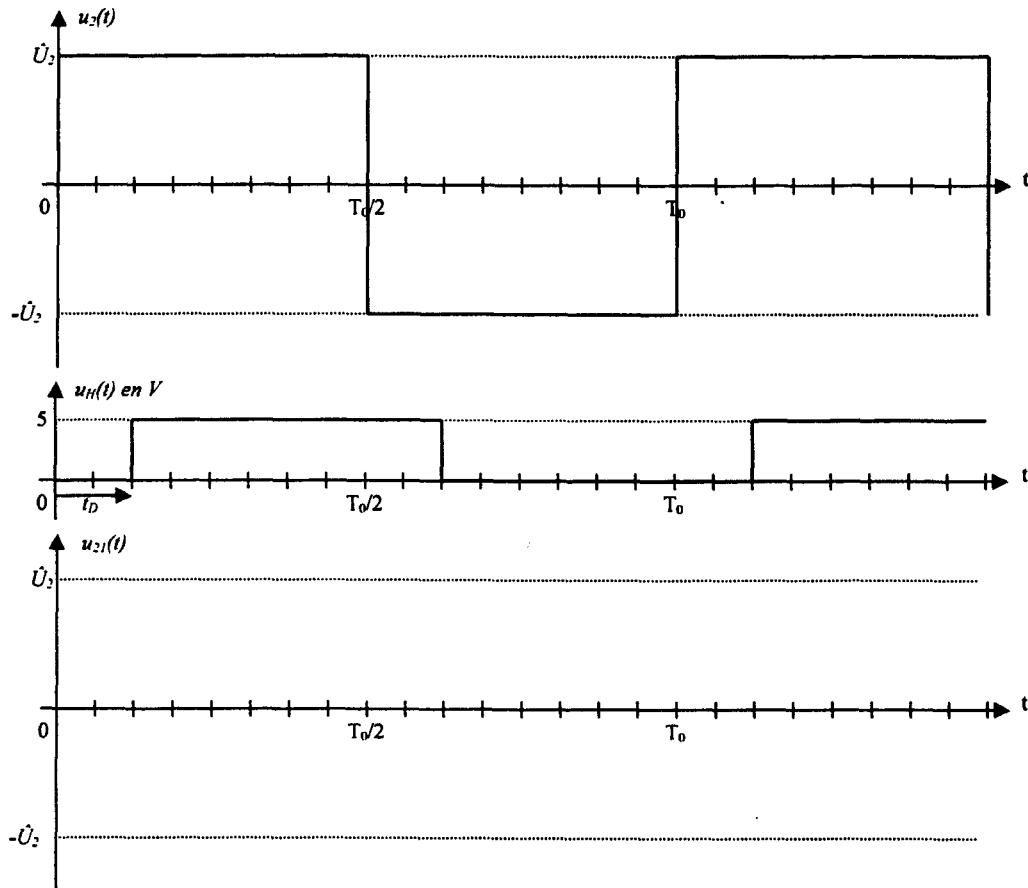
Échelon unité : Si $f(t) = \Gamma(t)$ alors $F(p) = \frac{1}{p}$

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 $F(p) = \frac{1}{1 + \tau.p}$

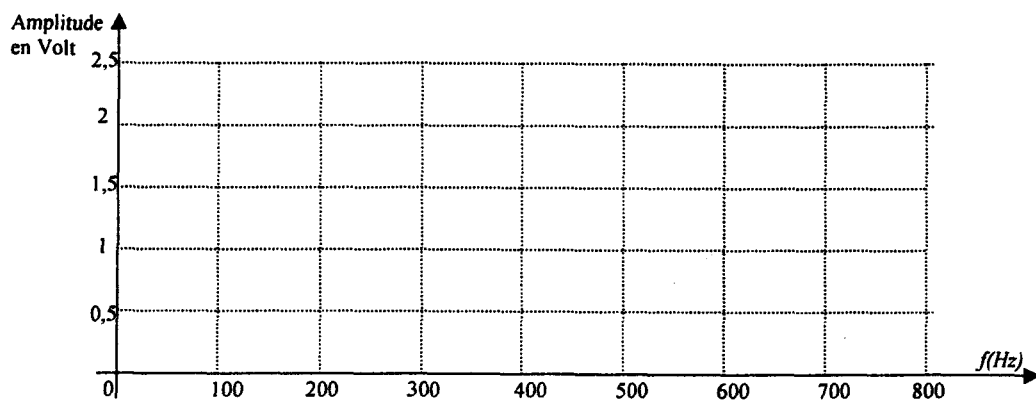
DOCUMENTS-REponses (A RENDRE AVEC LA COPIE)

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														