

<p style="text-align: center;"><b>BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR</b> <b>INFORMATIQUE ET RÉSEAUX POUR L'INDUSTRIE</b> <b>ET LES SERVICES TECHNIQUES</b></p>
--

**PHYSIQUE APPLIQUÉE**

**SESSION 2013**

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Ce sujet comporte une présentation et quatre parties pouvant être traitées indépendamment les unes des autres, dont :

- 4 documents-réponses pages 13 et 14 **à rendre obligatoirement, agrafés à la copie.**
- 1 formulaire page 15.

**Matériel autorisé :**

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

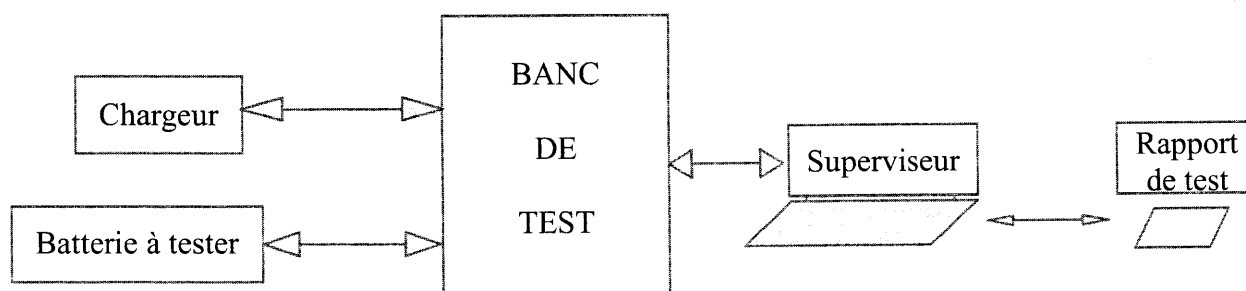
**Tout autre document ou matériel est interdit.**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce document comporte 15 pages, numérotées de 1/15 à 15/15.

## Banc de test pour batteries lithium-ion

Le banc de test permet d'éprouver et de connaître la capacité, la courbe de vieillissement, la fiabilité et le comportement, sous divers types de charge et de décharge de batteries lithium-ion. Elles sont destinées à l'alimentation d'appareils électroportatifs (sécateur, tronçonneuse...)

### Schématique du banc de test:



Un cycle de test complet dure plusieurs semaines. Il est constitué d'une succession de décharges et de charges de la batterie. Le chargeur fournit l'énergie à la batterie, sur commande du banc de test.

Le banc soumet la batterie testée à plusieurs cycles de charge et de décharge, selon le profil sélectionné, tout en effectuant des mesures (tension et intensité du courant électrique) durant ces cycles.

Les mesures effectuées par le banc sont transmises au superviseur par une liaison série, pour y être exploitées.

Le sujet (80 points) comporte quatre parties indépendantes.

#### **PARTIE A: ÉTUDE DE LA BATTERIE (16,5 points)**

#### **PARTIE B: MESURES DE LA TENSION ET DE L'INTENSITÉ DU COURANT BATTERIE (19,5 points)**

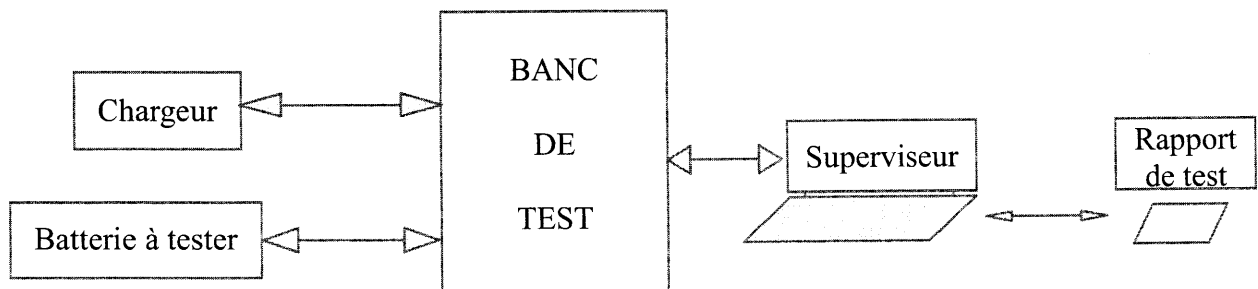
#### **PARTIE C: ÉTUDE DES ÉLÉMENTS DISSIPATEURS (18 points)**

#### **PARTIE D: ACQUISITION ET TRAITEMENT DES MESURES (26 points)**

## Banc de test pour batteries lithium-ion

Le banc de test permet d'éprouver et de connaître la capacité, la courbe de vieillissement, la fiabilité et le comportement, sous divers types de charge et de décharge de batteries lithium-ion. Elles sont destinées à l'alimentation d'appareils électroportatifs (sécateur, tronçonneuse...)

### Schématique du banc de test:



Un cycle de test complet dure plusieurs semaines. Il est constitué d'une succession de décharges et de charges de la batterie. Le chargeur fournit l'énergie à la batterie, sur commande du banc de test.

Le banc soumet la batterie testée à plusieurs cycles de charge et de décharge, selon le profil sélectionné, tout en effectuant des mesures (tension et intensité du courant électrique) durant ces cycles.

Les mesures effectuées par le banc sont transmises au superviseur par une liaison série, pour y être exploitées.

Le sujet (80 points) comporte quatre parties indépendantes.

### **PARTIE A: ÉTUDE DE LA BATTERIE (16,5 points)**

### **PARTIE B: MESURES DE LA TENSION ET DE L'INTENSITÉ DU COURANT BATTERIE (19,5 points)**

### **PARTIE C: ÉTUDE DES ÉLÉMENTS DISSIPATEURS (18 points)**

### **PARTIE D: ACQUISITION ET TRAITEMENT DES MESURES (26 points)**

## PARTIE A : ÉTUDE DE LA BATTERIE

Une batterie recevant une puissance  $P$  constante pendant un temps  $t$  reçoit une énergie  $E = P.t$

$E$  s'exprime en Watt-heures (W.h) lorsque  $P$  s'exprime en Watts (W) et lorsque  $t$  s'exprime en heures (h).

### A.I Charge et décharge de la batterie.

Caractéristiques des différentes batteries en régime permanent continu :

Numéro de la batterie	1	2	3	4	5	6
Énergie (W.h)	125	200	400	700	800	1000
Tension nominale (V)	44	44	44	44	44	44
Intensité maximale du courant continu de charge (A)	1,2	2,2	2,9	7,6	7,6	7,6
Intensité maximale du courant continu de décharge (A)	15	26	35	60	60	60

#### A.I.1 Charge de la batterie.

Le chargeur de batterie propose trois puissances de charge :

$$P_1 = 60 \text{ W}$$

$$P_2 = 120 \text{ W}$$

$$P_3 = 350 \text{ W.}$$

La charge de la batterie se fait sous tension nominale et sous courant continu.

A.I.1.1 Remplir le document réponse 1 (page 13) avec les résultats du calcul des intensités des courants de charge, notées  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ , en fonction des puissances respectives  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$  proposées par le chargeur en régime permanent continu sous une tension nominale de 44 V.

A.I.1.2 Quelle puissance du chargeur ( $P_1$ ,  $P_2$  ou  $P_3$ ) faut-il utiliser pour ne pas dépasser l'intensité maximale du courant continu de charge de la batterie n°3 et obtenir une charge la plus rapide possible ?

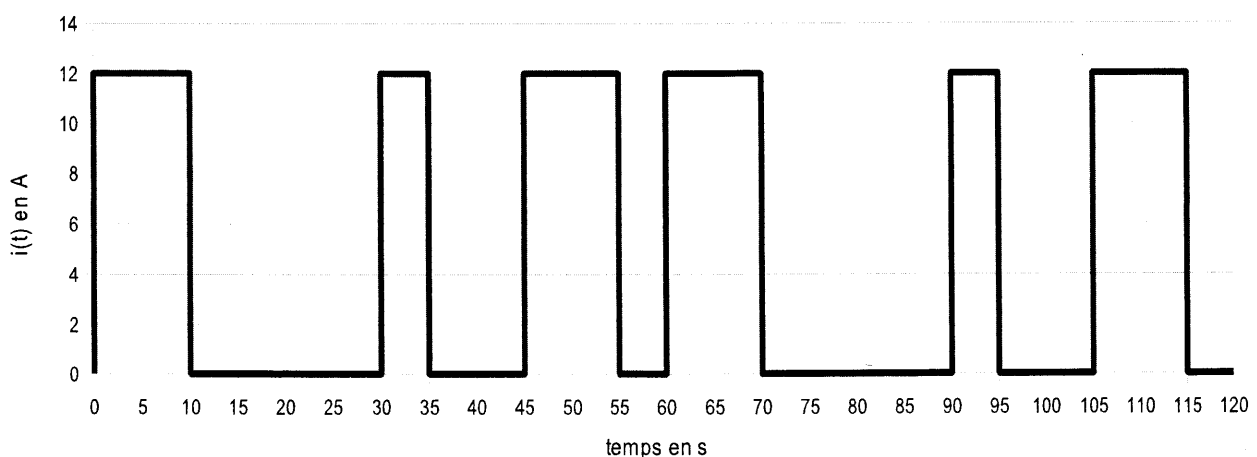
A.1.1.3 En prenant  $P_2 = 120 \text{ W}$  comme puissance de charge, calculer le temps  $t_{\text{charge}}$  nécessaire pour fournir à la batterie une énergie de  $400 \text{ W.h}$ , en considérant qu'elle est initialement déchargée.  
Exprimer ce temps en minutes.

### A.1.2 Décharge de la batterie.

A.1.2.1 Calculer le temps  $t_{\text{décharge}}$  nécessaire pour décharger la batterie n°3, si elle débite un courant continu d'intensité maximale sous une tension nominale. Exprimer ce temps en minutes et secondes.

Le banc de test impose en réalité à la batterie une intensité variable du courant débité. Le profil de décharge utilisé est représentatif du fonctionnement des appareils électroportatifs. Ce profil se reproduit périodiquement comme l'indique la figure 1.

figure 1



A.1.2.2 Déterminer la période  $T$  de l'intensité du courant débité pendant le profil de décharge utilisé lors du test.

A.1.2.3 En déduire sa fréquence  $f$ .

A.1.2.4 Déterminer la valeur moyenne  $\langle i \rangle$  de cette intensité du courant de décharge.

Dans la suite du problème, on admet que l'expression de l'intensité du courant de décharge est :

$$i(t) = 5 + 3,8 \cos(2.\pi.0,017.t - 0,52) + 1,9 \cos(2.\pi.0,034.t + 0,52) + 4 \cos(2.\pi.0,051.t + 2,8) + 4,4 \cos(2.\pi.0,068.t + 1,8) + 0,76 \cos(2.\pi.0,085.t + 0,52)$$

dans laquelle l'intensité  $i(t)$  s'exprime en ampères.

A.1.2.5 Tracer le spectre d'amplitude de l'intensité  $i(t)$  sur le document réponse 2 (page 13).

A.1.2.6 Quel est le rang de la composante harmonique de fréquence la plus élevée présente dans l'intensité  $i(t)$  ?

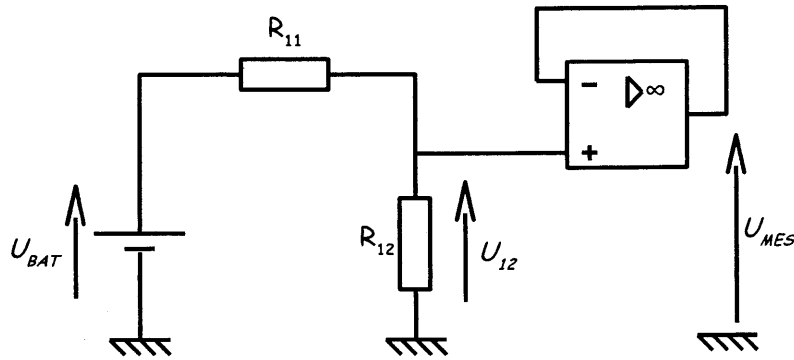
A.1.2.7 Calculer la valeur efficace  $I$  de l'intensité  $i(t)$  du courant. On rappelle que

$$I = \sqrt{\langle i \rangle^2 + \frac{I_{1max}^2 + I_{2max}^2 + \dots + I_{Nmax}^2}{2}}$$

avec  $\langle i \rangle$  la valeur moyenne de l'intensité  $i(t)$ , et  $I_{Nmax}$  l'amplitude de la composante harmonique de rang  $N$ .

A.1.2.8 L'intensité maximale du profil du courant  $i(t)$  de décharge de la batterie n°3 (donnée à la figure 1) est-elle cohérente avec la valeur efficace  $I$  précédemment calculée ?

## PARTIE B: MESURES DE LA TENSION ET DE L'INTENSITÉ DU COURANT BATTERIE



### B.I Mesure de la tension batterie.

La tension maximale des batteries testées peut atteindre  $U_{BATMAX} = 54 \text{ V}$ .

Le microcontrôleur mesurant la tension batterie ne peut pas recevoir de tension supérieure à +5V.

La structure ci-dessus permet d'adapter la tension batterie  $U_{BAT}$

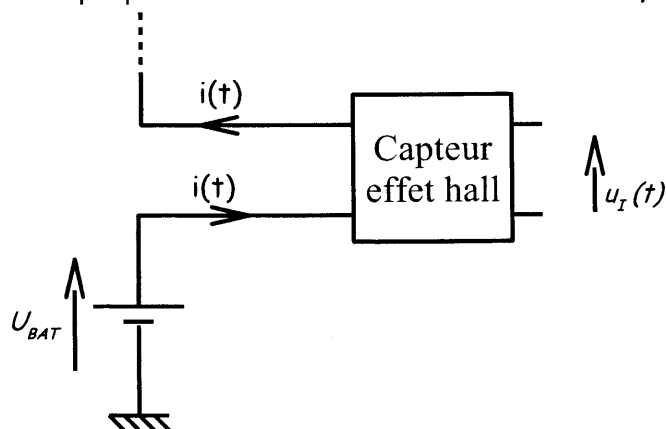
B.I.1 Donner l'expression de la tension  $U_{12}$  en fonction de  $U_{BAT}$ ,  $R_{11}$  et  $R_{12}$ .

B.I.2 Donner la relation liant les tensions  $U_{12}$  à  $U_{MES}$ .

B.I.3 On donne  $R_{12} = 82 \text{ k}\Omega$ . Calculer la valeur de la résistance  $R_{11}$  permettant d'obtenir une tension  $U_{MES} = 4,09 \text{ V}$  pour une tension batterie  $U_{BATMAX} = 54 \text{ V}$ .

### B.II Mesure de l'intensité du courant.

L'intensité du courant débité par la batterie est mesurée par une sonde à effet Hall. Cette sonde délivre une tension proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse.

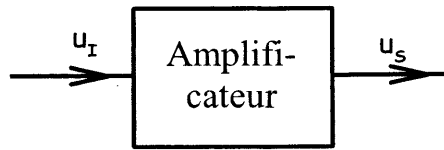


$$u_I(t) = \beta \cdot i(t) \quad \text{avec } \beta = 0,001 \text{ V/A}$$

L'intensité du courant maximum que peut débiter une batterie est  $i_{MAX} = 50 \text{ A}$ .

B.II.1 Calculer la valeur de  $u_i$  que l'on notera  $u_{i,MAX}$  si l'intensité du courant débité par la batterie est  $i_{MAX} = 50A$ .

B.II.2 Cette tension  $u_i$  doit être amplifiée avant d'être envoyée vers le microcontrôleur. L'amplificateur fournit une tension  $u_s = A \cdot u_i$

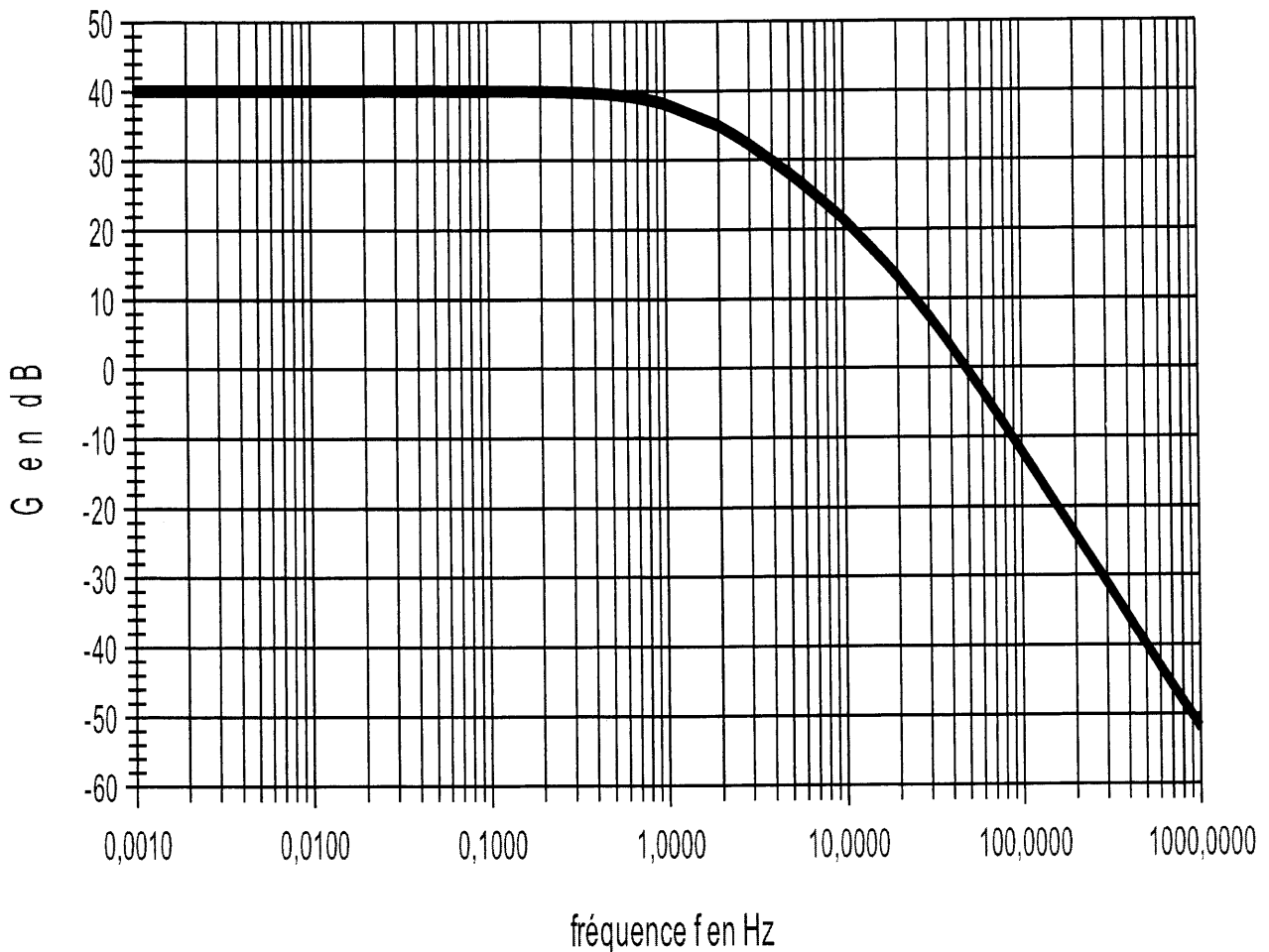


Calculer la valeur de l'amplification  $A$  pour obtenir  $u_s = 5 V$  quand  $i_{MAX} = 50 A$ .

### **B.III Caractéristiques de l'amplificateur.**

On donne ci-dessous la réponse fréquentielle (courbe de gain) de cet amplificateur.

courbe de gain de l'amplificateur





B.III.1 Donner la valeur maximale du gain noté  $G_{MAX}$ , en déduire la valeur de l'amplification correspondante notée  $A_{MAX}$ .

B.III.2 Rappeler la définition de la bande passante à -3 dB.

Donner la fréquence de coupure  $f_c$  et en déduire la bande passante à -3 dB de cet amplificateur.

B.III.3 De quel type de filtre cet amplificateur a-t-il le comportement (passe-bas, passe-haut, passe-bande, réjecteur de bande...) ? Donner une justification.

B.III.4 Déterminer graphiquement l'atténuation en dB par décade pour une fréquence  $f \gg f_c$ .

B.III.5 En déduire l'ordre de ce filtre.

B.III.6 Ce filtre laisse-t-il passer la composante continue de la tension  $u_i(t)$  (image de la valeur moyenne  $\langle i \rangle$  de l'intensité  $i(t)$ ) ? Justifiez votre réponse.

B.III.7 Quelle est l'amplification réalisée à la fréquence de l'harmonique de rang le plus élevé de l'intensité  $i(t)$  ? Les différentes composantes harmoniques de la tension image de l'intensité  $i(t)$  sont-elles transmises ?

On rappelle que :

$$i(t) = 5 + 3,8 \cos(2.\pi.0,017.t - 0,52) + 1,9 \cos(2.\pi.0,034.t + 0,52) + 4 \cos(2.\pi.0,051.t + 2,8) + 4,4 \cos(2.\pi.0,068.t + 1,8) + 0,76 \cos(2.\pi.0,085.t + 0,52)$$

B.III.8 Que vaut la tension  $u_s$  lorsque l'intensité  $i$  du courant continu vaut 12 A (avec une amplification  $A = 100$  réalisée par l'amplificateur) ?

B.III.9 Tracer le signal  $u_s$  sur le document réponse 3 (page 14) pour le profil indiqué.

## PARTIE C : ÉTUDE DES ÉLÉMENTS DISSIPATEURS

Dans le banc de test, des charges résistives permettent à la batterie de se décharger. On s'intéresse dans cette partie à la montée en température d'une de ces charges résistives.

$R_{TH}$  : résistance thermique de la charge.  $R_{TH} = 0,113 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{W}^{-1}$ .

$k$  : constante qui dépend de la nature du matériau conducteur,  $k = 35,4 \text{ J}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$

$g(t)$  : puissance reçue par le dissipateur en Watts.

$\theta_A$  : température de l'air ambiant.  $\theta_A = 20^\circ\text{C}$ .

$\theta_R$  : température de la résistance de charge.

$\theta_R, \theta, \theta_A$  exprimées en degré Celsius  $^\circ\text{C}$ .

$\theta$  : écart entre la température de la résistance de charge et celle de l'air ambiant.

$$\theta = \theta_R - \theta_A$$

Cet écart de température  $\theta$  est régi par l'équation différentielle suivante :

$$\theta(t) + k.R_{TH}\frac{d\theta}{dt} = R_{TH}\cdot g(t)$$

$\theta(p)$  est la transformée de Laplace de  $\theta(t)$ .

$G(p)$  est la transformée de Laplace de  $g(t)$ .

C.I.1 Montrer que l'on peut écrire :  $\theta(p) = \frac{T_0}{1 + \tau p} G(p)$  en considérant qu'à l'instant initial  $\theta(0) = 0^\circ\text{C}$ .

C.I.2 Donner l'expression de  $T_0$  et  $\tau$  en fonction de  $k$  et  $R_{TH}$ .

C.I.3 Montrer que l'on peut écrire :  $\theta(p) = \frac{0,113}{1 + 4p} G(p)$

C.II Réponse indicielle :

On applique un échelon  $g(t)$  de puissance de valeur 531 W.

C.II.1 A l'aide de la table des transformées, donner l'expression de  $G(p)$ .

C.II.2 Montrer alors que :  $\theta(p) = \frac{60}{p(1 + 4p)}$

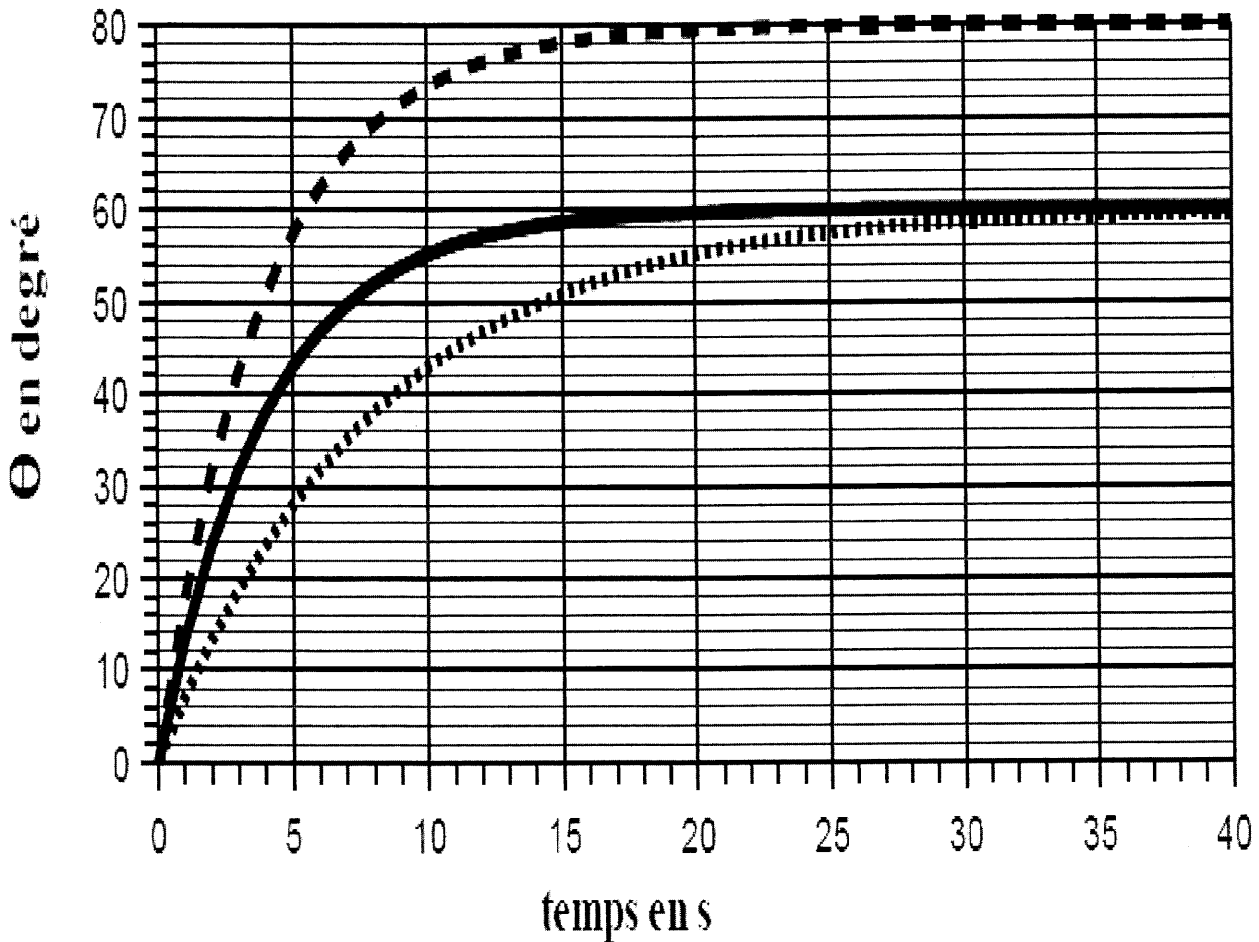
C.II.3 En déduire, avec la table des transformées, l'expression temporelle de  $\theta(t)$ .

C.II.4 En utilisant le théorème de la valeur finale, déterminer la valeur de  $\theta(t)$  en régime permanent.

C.III On donne l'évolution de l'écart de température  $\theta(t)$  en fonction du temps pour différents tests :

### Courbes $\theta$ en fonction du temps

— $\theta_1$  ... $\theta_2$  - - $\theta_3$



C.III.1 Quel est l'ordre du système dont la montée en température du dissipateur est comparable à cette réponse indicielle (on donnera au moins une justification) ?

C.III.2 Déterminer graphiquement la valeur de  $\theta_3$  en régime permanent pour la courbe 3. Justifiez que cette courbe ne correspond pas à l'essai décrit dans la question C.II.

C.III.3 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps  $\tau_2$  de la réponse correspondant à la courbe 2.

C.III.4 Quelle est la courbe qui correspond à l'essai décrit à la question C.II. ? Justifier.

C.III.5 Déterminer la valeur  $\theta(\infty)$  pour la courbe 1. En déduire la température  $\theta_R(\infty)$  du dissipateur en régime permanent.

C.III.6 Déterminer le temps de réponse à 5%, noté  $t_{R5\%}$ , nécessaire au dissipateur pour que son élévation de température  $\theta(t)$  atteigne 95 % de l'élévation finale de température  $\theta(\infty)$ .

## PARTIE D : ACQUISITION ET TRAITEMENT DES MESURES

### D.I Conditions d'acquisition.

Le microcontrôleur chargé de l'acquisition des mesures doit disposer d'un signal numérique image du signal analogique  $u_S$  délivré par l'amplificateur.

Le signal  $u_S$  a une période  $T = 60 \text{ s}$ .

On souhaite prélever 30 échantillons par période.

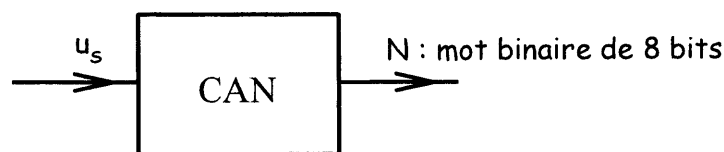
D.I.1 Calculer la fréquence d'échantillonnage notée  $f_E$  à utiliser.

D.I.2 Rappeler la condition de Shannon. Calculez la fréquence maximale  $f_{MAX}$  que le système peut traiter.

D.I.3 La fréquence  $f_E$  remplit-elle la condition de Shannon pour le signal  $u_S$  qui présente une composante harmonique de fréquence maximale est 0,085 Hz ?

### D.II Conversion Analogique Numérique.

Le microcontrôleur dispose d'un convertisseur analogique numérique (noté CAN) 8 bits.



La tension pleine échelle de ce convertisseur est  $U_{PE} = 4,0 \text{ V}$ .

D.II.1 Quel est le nombre maximal noté  $n_{MAX}$  que ce convertisseur 8 bits permet d'obtenir ?

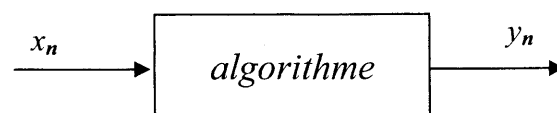
D.II.2 Déterminer le quantum  $q$  de ce convertisseur 8 bits.

D.II.3 Le CAN a besoin d'un temps de conversion  $t_c$  entre deux prises d'échantillons. Donner une relation entre  $t_c$  et la période d'échantillonnage  $T_E$  afin que la conversion soit correcte.

D.II.4 Déterminer le mot  $N_2$  binaire de 8 bits présent en sortie du convertisseur si la tension  $u_S$  présente en entrée vaut 1,0 V en admettant que  $N_{10} = u_S/q$ , avec  $N_{10}$  la valeur du nombre en décimal, arrondie par défaut.

### D.III Traitement numérique.

Les échantillons de la tension  $u_S$  étant numérisés, on réalise un Joulemètre numérique en utilisant l'algorithme suivant :

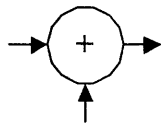


$$y_n = 88 x_{n-1} + y_{n-1}$$

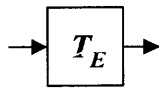
D.III.1 Cet algorithme est-il récursif ? Justifier la réponse.

D.III.2 Donner une représentation structurale de cet algorithme.

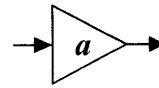
On rappelle les symboles suivants



Sommateur



Retard d'une  
période  
d'échantillonnage



Multiplication par le  
coefficient  $a$

D.III.3 Étude de la séquence réponse  $\{y_n\}$  à une séquence d'entrée impulsion unitaire  $\{x_n\}$  :

Calculer les valeurs des échantillons  $y_n$  correspondant et remplir le tableau du document réponse 4 (page 14).

D.III.4 Tracer, sur votre copie, l'allure de la séquence réponse  $\{y_n\}$  en fonction du rang  $n$  de l'échantillon.

D.III.5 Conclure sur la stabilité de l'algorithme.

$X(z)$  est la transformée en  $z$  de la séquence  $\{x_n\}$

$Y(z)$  est la transformée en  $z$  de la séquence  $\{y_n\}$

D.III.6 Donner l'expression de la transmittance  $T(z) = \frac{Y(z)}{X(z)}$

et montrer que  $T(z) = \frac{88}{(z-1)}$

On applique maintenant une séquence d'entrée échelon  $\{x_n\}$  de hauteur 64 :

D.III.7 Grâce à la table des transformées en  $z$ , donner l'expression de  $X(z)$ .

D.III.8 Montrer alors que  $Y(z)$  peut s'écrire :  $Y(z) = 5632 \frac{z}{(z-1)^2}$

D.III.9 À partir de la table des transformées en  $z$ , identifier la séquence correspondante à  $Y(z)$  et en déduire l'allure de la courbe correspondant à la séquence réponse  $\{y_n\}$  en fonction du rang  $n$  de l'échantillon.

D.III.10 Sachant que la séquence  $\{x_n\}$  représente l'évolution de la puissance de la batterie et que la séquence  $\{y_n\}$  représente l'évolution de l'énergie mise en jeu par la batterie, justifier l'évolution de l'énergie lorsque la puissance est constante.

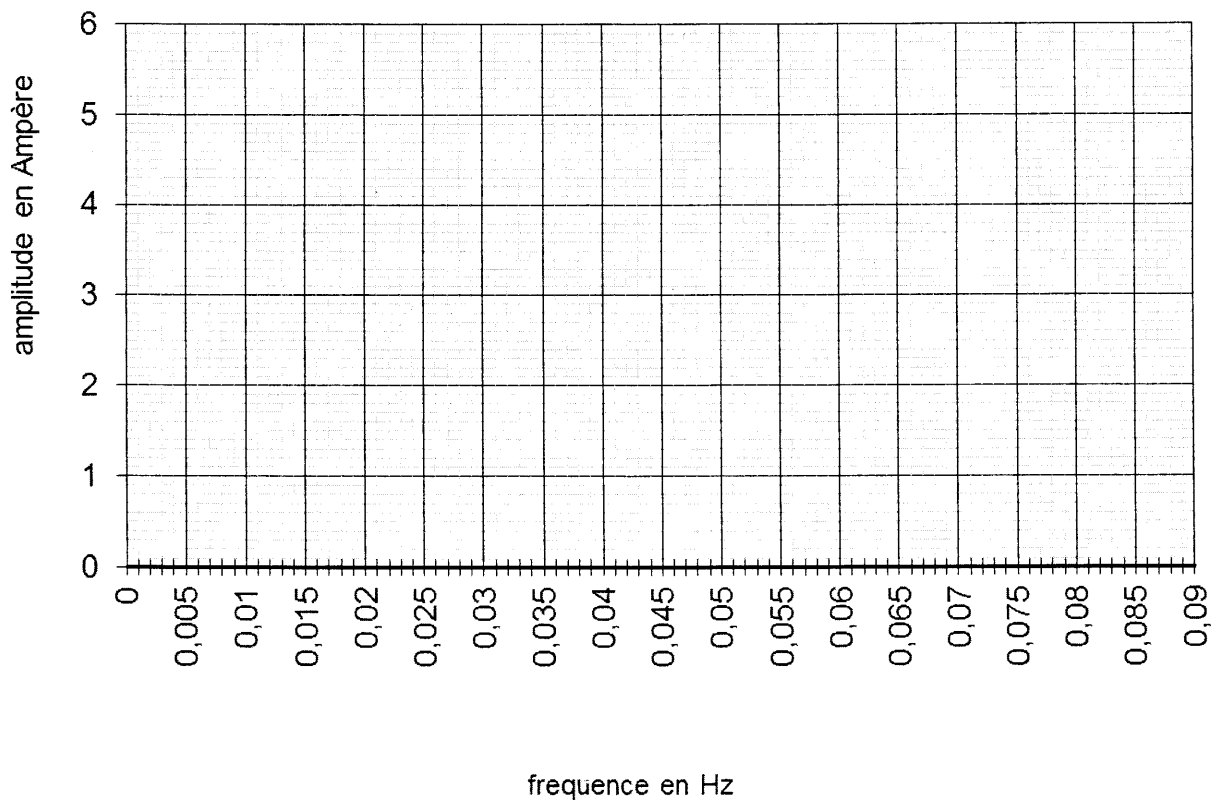
**DOCUMENTS RÉPONSES**  
à rendre obligatoirement, agrafés à la copie

**Document réponse 1**

$P_1 = 60 \text{ W}$	$P_2 = 120 \text{ W}$	$P_3 = 350 \text{ W}$
$U_1 = 44 \text{ V}$	$U_2 = 44 \text{ V}$	$U_3 = 44 \text{ V}$
$I_1 =$	$I_2 =$	$I_3 =$

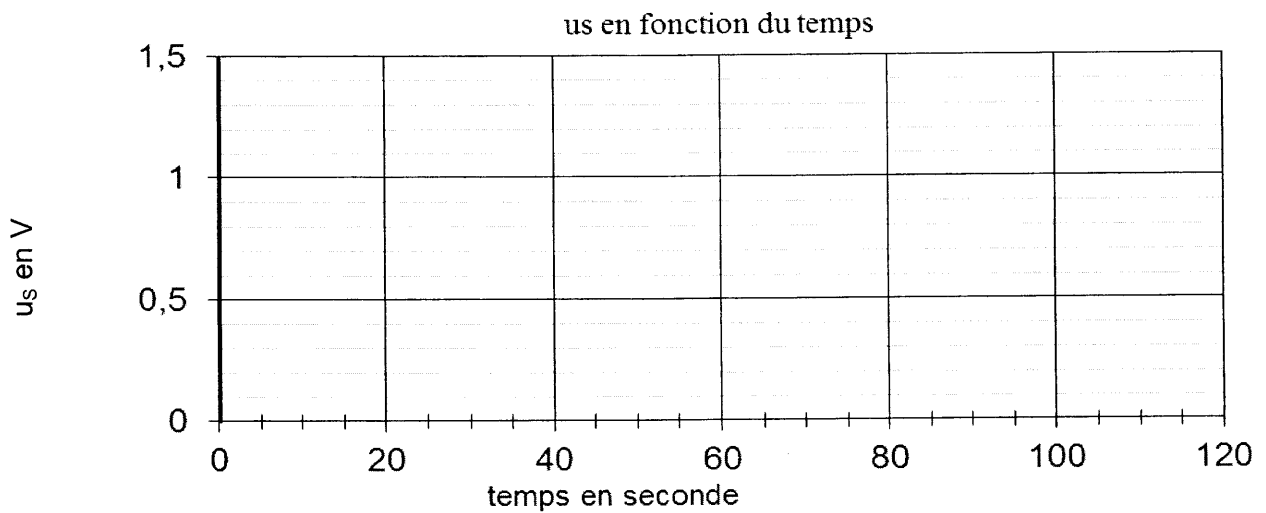
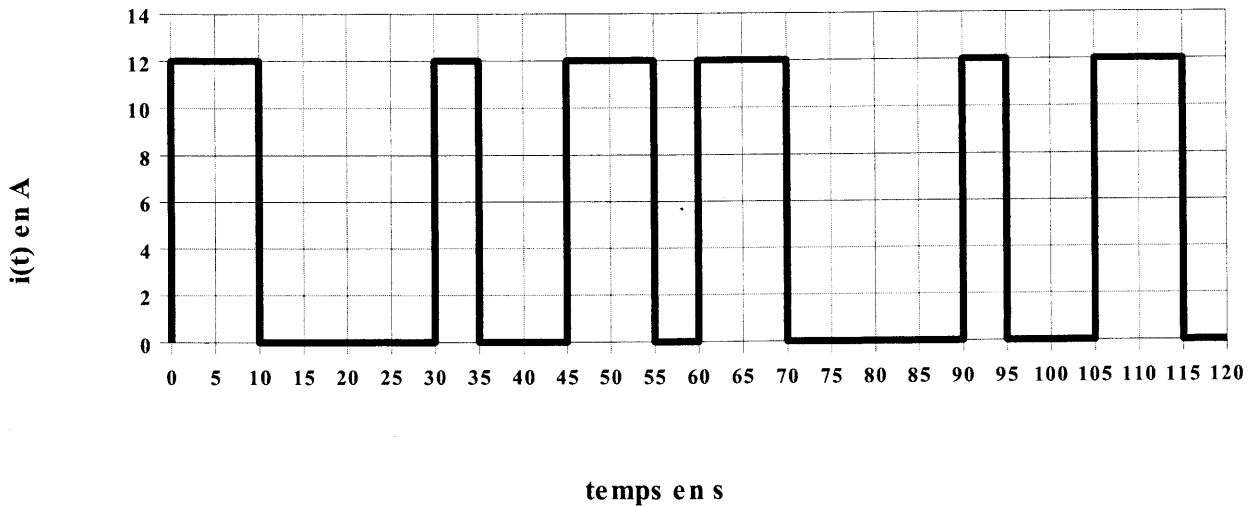
**Document réponse 2**

Spectre d'amplitude de  $i(t)$



**DOCUMENTS RÉPONSES (SUITE)**  
à rendre obligatoirement, agrafés à la copie

**Document réponse 3**



**Document réponse 4**

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_n$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$x_{n-1}$	0									
$y_{n-1}$	0									
$y_n$	0									

## Formulaire

<b>Propriétés de la transformée de Laplace</b>	
Théorème de la valeur initiale	$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} pF(p)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{t \rightarrow +\infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p)$
<b>Table des transformées de Laplace</b>	
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 : $\frac{d(f(t))}{dt}$	$pF(p) - f(0)$
<b>Propriétés de la transformée en Z</b>	
Théorème de la valeur initiale	$x_0 = \lim_{z \rightarrow \infty} X(z)$
Théorème de la valeur finale	$\lim_{n \rightarrow +\infty} x_n = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)X(z)$
<b>Table des transformées en Z</b>	
$\{x_n\}$	$X(z)$
Séquence impulsion unité : $\{\delta_n\}$	1
Séquence échelon unité : $\{\Gamma_n\}$	$\frac{z}{z-1} = \frac{1}{1-z^{-1}}$
Séquence rampe $\{a.n.T_e\}$	$aT_e \frac{z}{(z-1)^2} = aT_e \frac{z^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$