

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

« Génie Électronique »

Session 2009

Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 5

L'usage d'une calculatrice est autorisé.

Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.

Mesure du rythme cardiaque

En médecine, le rythme cardiaque fournit une indication de l'activité du cœur. Aisément accessible, il existe différentes techniques en permettant une mesure rapide et fiable.

L'une d'entre elles consiste à détecter les variations de la circulation du sang à l'extrémité d'un doigt. L'activité du cœur provoque la circulation du sang à travers l'organisme se traduisant par une variation du volume sanguin à l'extrémité d'un doigt. On exploite le fait que cette variation engendre une variation de la transparence du doigt à la lumière visible (voir le schéma de principe, figure 1).

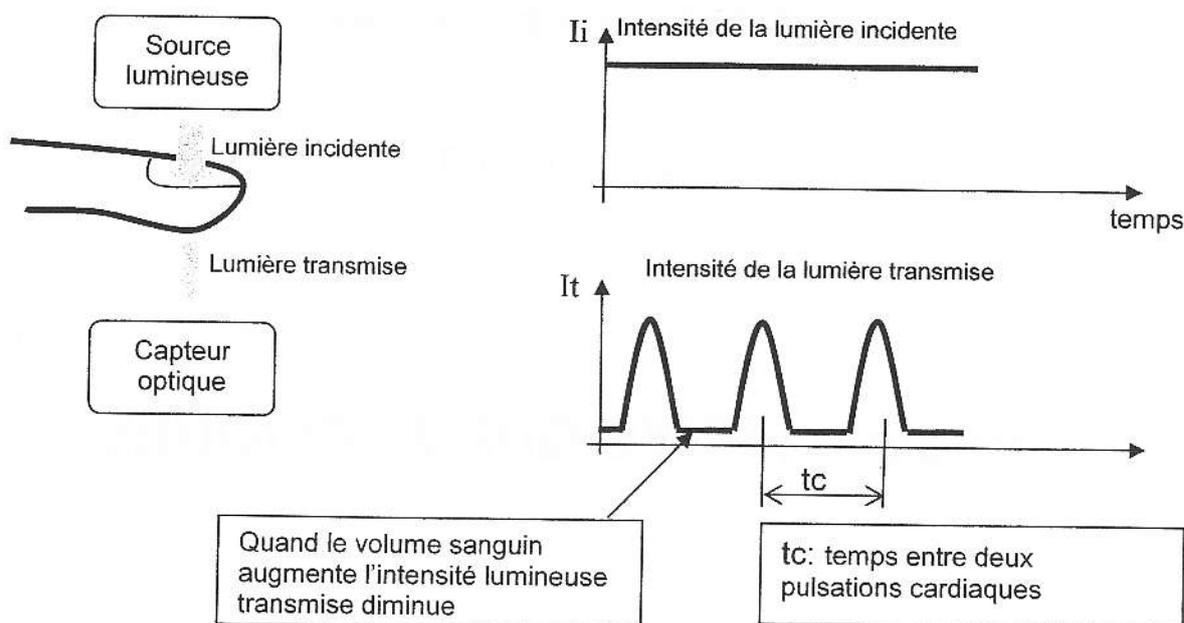


Figure 1

Toutes les parties sont indépendantes à l'exception de la synthèse.

Les documents réponses 1 à 6 sont à rendre avec la copie

L'annexe est située en fin d'énoncé.

Principe de la mesure

On se reportera au schéma fonctionnel de la figure 2.

Une source lumineuse constituée d'une diode électroluminescente (D.E.L. blanche) est disposée au dessus d'un doigt.

Un capteur (photorésistance) détecte les variations de l'intensité lumineuse.
Un système électronique permet l'affichage du nombre d'impulsions par minute.

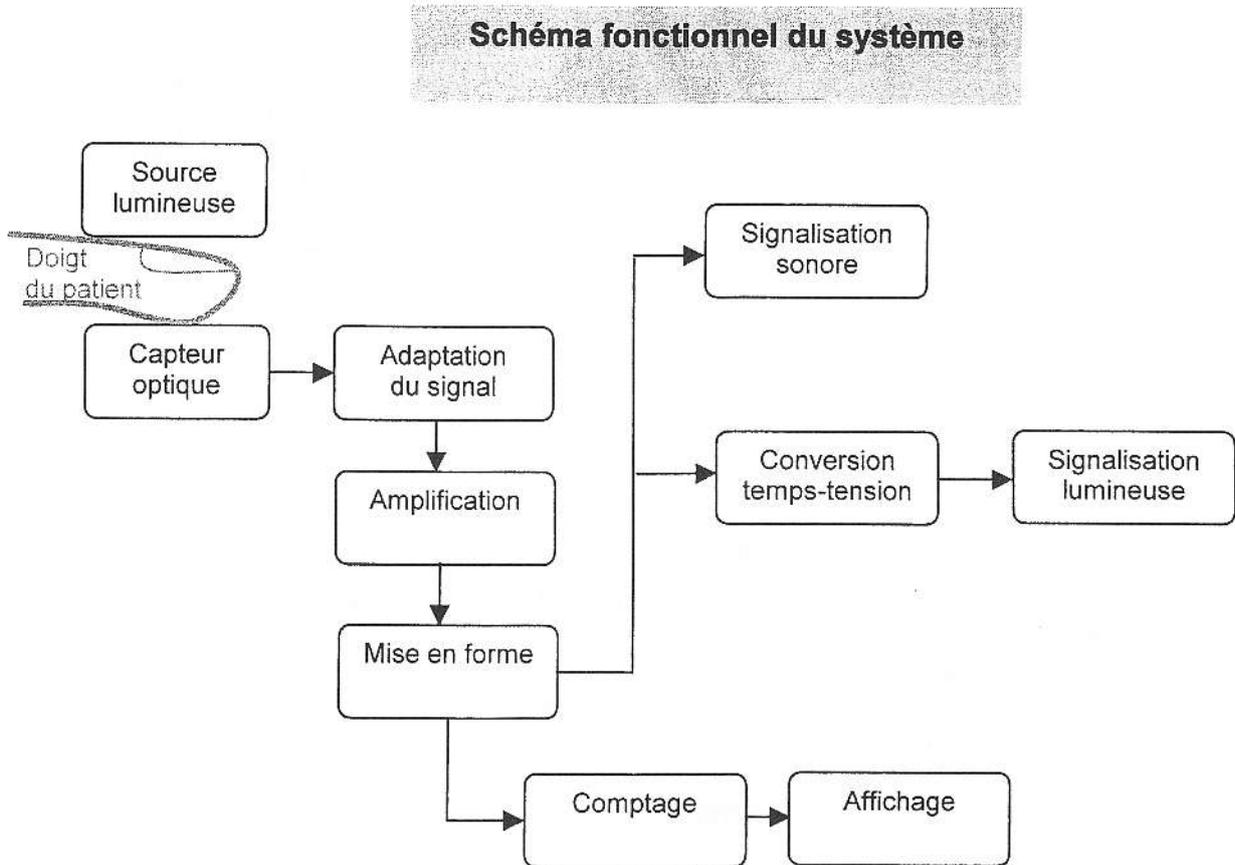


Figure 2

Indications générales :

- tous les composants électroniques seront considérés parfaits ;
- sauf indications contraires, les amplificateurs opérationnels sont alimentés sous les tensions $U_0 = 0 \text{ V}$ et $U_{CC} = +5 \text{ V}$;
- les circuits logiques sont alimentés entre 0 V et $U_{CC} = +5 \text{ V}$;
- les grandeurs instantanées $u(t)$ et $i(t)$ seront notées u et i .

I. Etude du détecteur de flux sanguin

Le schéma structurel du détecteur est présenté figure 3.

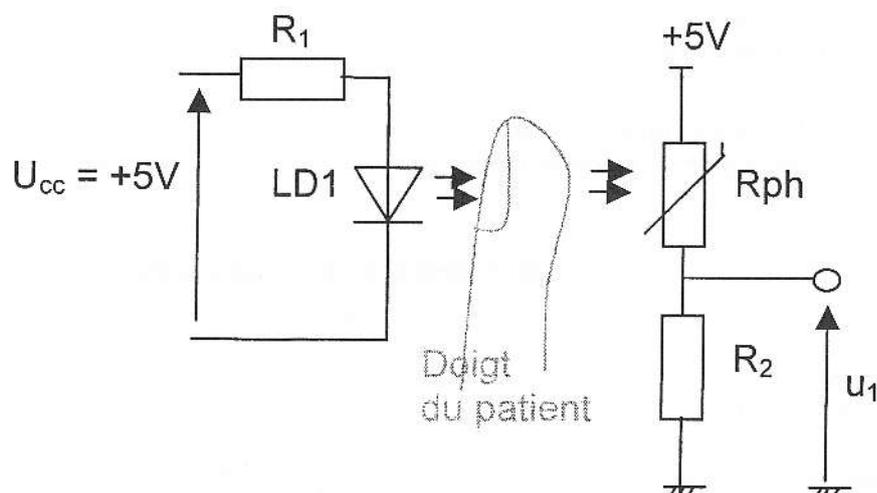


Figure 3

Données : $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.

1. Etude de la source lumineuse .

La source lumineuse est constituée d'une D.E.L. LD1 de couleur blanche dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Tension de seuil $U_f = 3,6 \text{ V}$
- Intensité maximum du courant $I_d = 20 \text{ mA}$

Calculer la valeur de la résistance R_1 qui permet à la D.E.L. de fournir sa puissance maximum.

2. Etude du récepteur photosensible.

Le capteur est constitué d'une photorésistance R_{ph} dont les valeurs de la résistance en fonction de l'éclairement sont données dans le document annexe 1. L'éclairement peut varier en fonction du volume sanguin de la valeur $E_{MIN} = 1 \text{ W/m}^2$ (volume sanguin maximum) à la valeur $E_{MAX} = 10 \text{ W/m}^2$ (volume sanguin minimum).

- 2.1 Relever, sur la courbe de l'annexe 1, les valeurs extrêmes de la résistance de la photorésistance correspondant à E_{MAX} et E_{MIN} . On les notera R_{MIN} (valeur minimale) et R_{MAX} (valeur maximale).
- 2.2 En déduire les valeurs maximale U_{1MAX} et minimale U_{1MIN} entre lesquelles peut évoluer la tension u_1 .

II. Etude du filtre

Le schéma structurel du filtre est présenté figure 4.

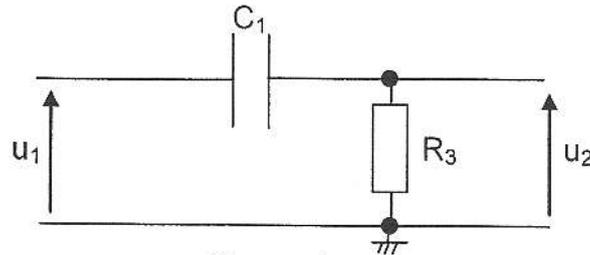


Figure 4

Données: $R_3 = 470 \text{ k}\Omega$ $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$

1. Etude qualitative.
 - 1.1 Rappeler les comportements électriques équivalents du condensateur en basse et haute fréquence.
 - 1.2 En déduire les relations exprimant la tension de sortie u_2 en basse et haute fréquence et la nature de filtre réalisé.
2. Etude en régime sinusoïdal.

Aux tensions d'entrée u_1 et de sortie u_2 , on associe les grandeurs complexes \underline{U}_1 et \underline{U}_2 .

ω désigne la pulsation de la tension d'entrée u_2 .

2.1 Exprimer la fonction de transfert $\underline{T} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ en fonction de R_3 , C_1 et ω .

2.2 En déduire l'expression de T , le module de \underline{T} .

2.3 L'expression de T est-elle cohérente avec la réponse à la question 1.2 ? Justifier la réponse.

2.4 Exprimer la fréquence de coupure f_c du filtre en fonction de R_3 et C_1 .

2.5 Calculer la valeur de f_c .

Le rythme cardiaque moyen d'un sujet au repos est de 70 battements par minute (bpm). La fréquence de la tension u_1 correspond à la fréquence de la pulsation cardiaque.

2.6 Calculer la fréquence f_r de la tension u_1 correspondant au rythme cardiaque moyen. Quel est l'action du filtre sur ce signal ?

III. Etude de l'amplificateur

Le schéma structurel de l'amplificateur est présenté figure 5.

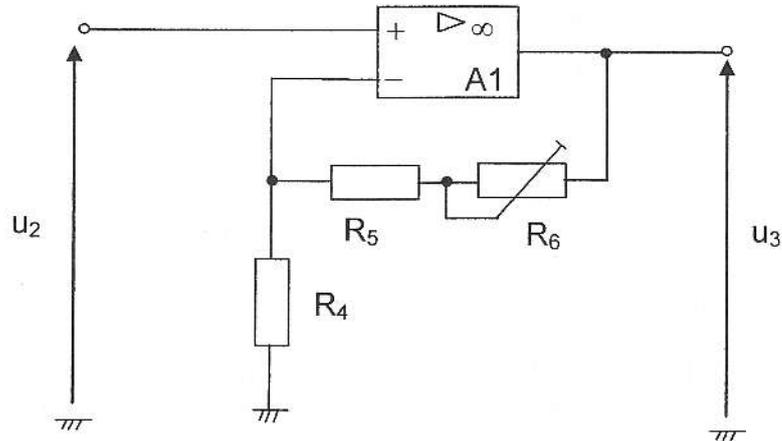


Figure 5

Données : R_6 est une résistance ajustable de 0 à 470 k Ω .

$R_5 = 33 \text{ k}\Omega$ $R_4 = 4,7 \text{ k}\Omega$

1. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A1 ? Justifier la réponse.
2. Exprimer la tension de sortie u_3 en fonction de la tension d'entrée u_2 telle que $u_3 = A_V \cdot u_2$.
3. Donner l'expression de A_V en fonction de R_4 , R_5 et R_6 .
4. Calculer les valeurs extrêmes de A_V notées $A_{V\text{MIN}}$ et $A_{V\text{MAX}}$.
5. Calculer la valeur de R_6 qui permet d'avoir la valeur de $A_V = 10$.

IV. Etude de la mise en forme du signal

Le schéma structurel du circuit de mise en forme est présenté figure 6.

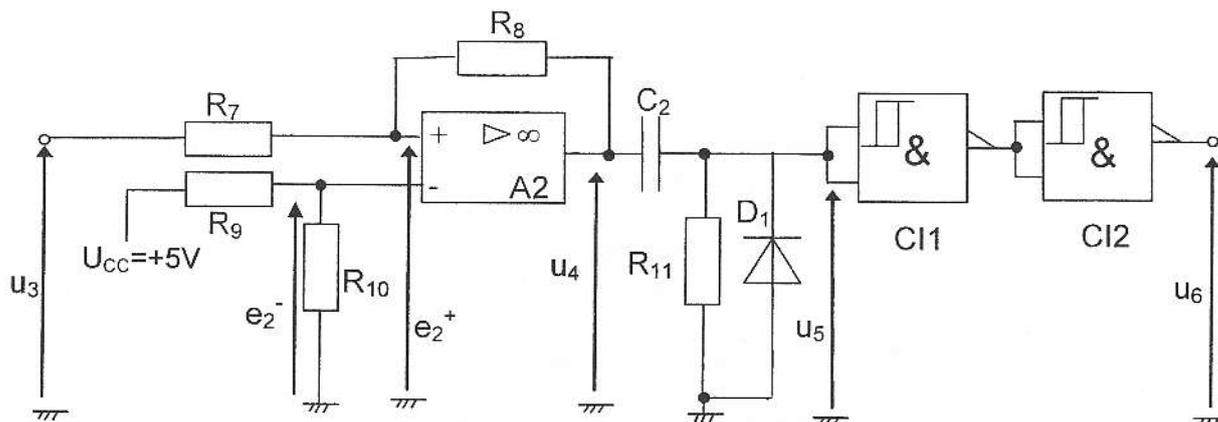


Figure 6

$$R_9 = R_7 = R_{10} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_8 = 247 \text{ k}\Omega$$

$$R_{11} = 330 \text{ k}\Omega$$

$$C_2 = 220 \text{ nF}$$

D₁ diode parfaite (tension de seuil nulle).

Les circuits logiques CI1 et CI2 sont réalisés à base de portes "NON-ET" dont certaines caractéristiques fournies par le constructeur sont reproduites ci-dessous (figure 6 bis).

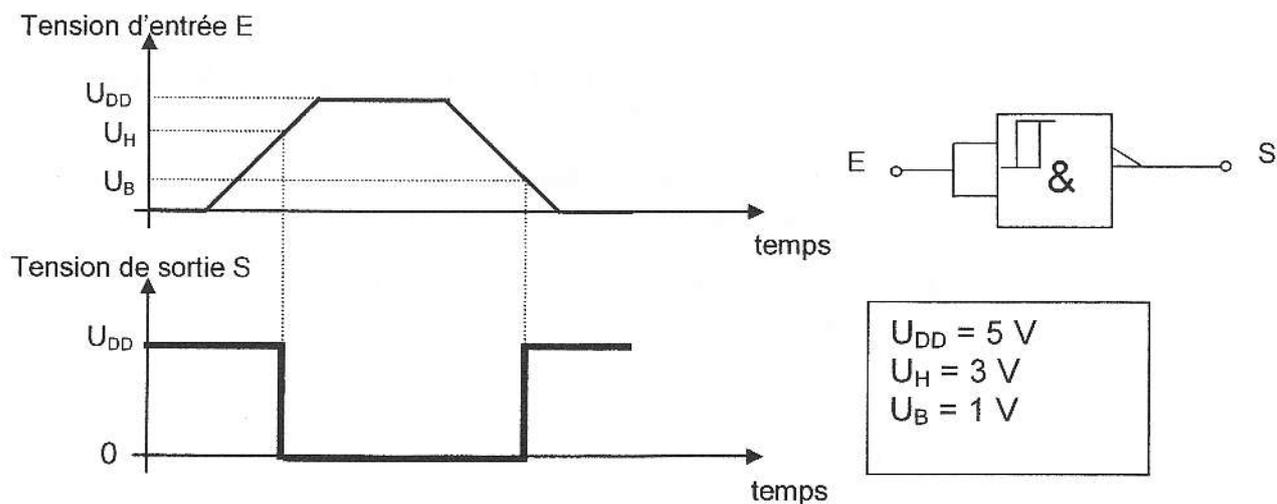


Figure 6 bis

1. Détection de seuils.
 - 1.1 Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A2 ? Justifier la réponse.
 - 1.2 En déduire les valeurs possibles de la tension de sortie u_4 .
 - 1.3 Déterminer l'expression de la tension e_2^- en fonction de R_9 , R_{10} et U_{cc} . En déduire sa valeur.
 - 1.4 Déterminer l'expression du potentiel de l'entrée non inverseuse e_2^+ en fonction de R_7 , R_8 , u_3 et u_4 .
 - 1.5 Calculer les deux valeurs de la tension d'entrée u_3 qui provoquent les basculements de la tension de sortie u_4 .
 - 1.6 Tracer sur votre copie la caractéristique de transfert $u_4 = f(u_3)$.
 - 1.7 Compléter le chronogramme de la tension u_4 sur le **document réponse 1**.

2. Détection de fronts.
 - 2.1 Calculer la constante de temps τ_1 du circuit formé par R_{11} et C_2 .
 - 2.2 Donner le rôle de la diode D1.

On a représenté sur le **document réponse 1** le chronogramme de u_5 entre $t = t_0 = 0$ s et $t = t_1 = 500$ ms.
 - 2.3 Compléter le chronogramme de la tension u_5 sur le **document réponse 1** entre $t = t_1 = 500$ ms et $t = 2500$ ms.

3. Calibration d'impulsion.
 - 3.1 En fonction des données de la **figure 6 bis**, tracer sur votre copie la caractéristique de transfert $u_6 = f(u_5)$.
 - 3.2 En déduire sur le **document réponse 1**, le chronogramme de la tension u_6 en concordance avec la tension u_5 .
 - 3.3 Déterminer graphiquement la valeur de la durée t_d de l'impulsion de la tension u_6 .

V. Etude de la conversion durée-tension

Le schéma structurel du circuit "convertisseur durée-tension" est représenté figure 7 ci-dessous. L'amplificateur opérationnel A3 est alimenté entre les tensions $+V_{CC}$ et $-V_{CC}$ avec $V_{CC} = 10\text{ V}$.

Le transistor T_1 est considéré comme parfait et son fonctionnement peut être assimilé à un interrupteur.

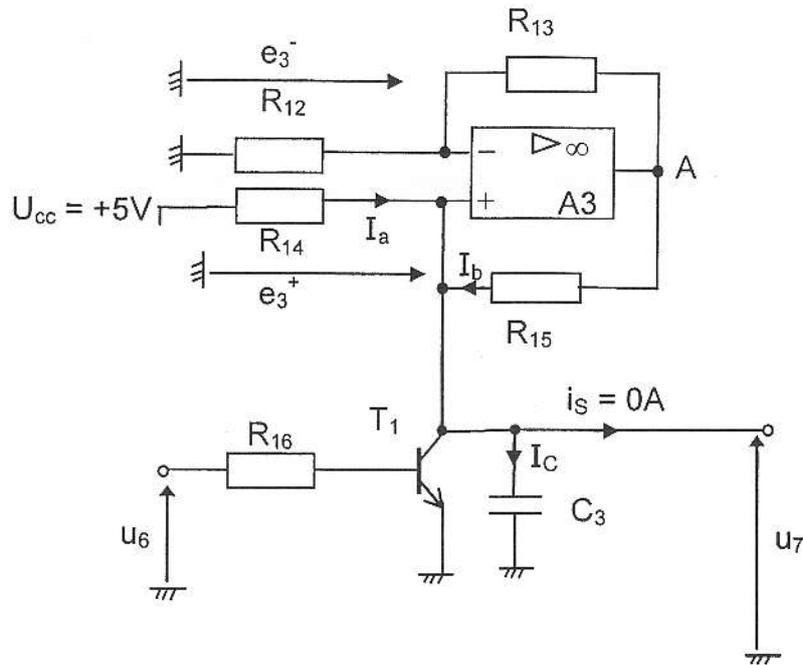


Figure 7

Données : $R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_{15} = R = 12,5\text{ k}\Omega$
 $R_{16} = 4,7\text{ k}\Omega$
 $C_3 = 100\text{ }\mu\text{F}$

Le régime de fonctionnement du circuit A3 est linéaire.

Le transistor T_1 est bloqué.

1. Donner la relation qui lie les tensions e_3^- et e_3^+ .
2. Donner la relation qui lie la tension e_3^- et le potentiel au point A que l'on notera u_A .
3. Exprimer le courant I_a en fonction des tensions e_3^+ , U_{CC} et de la résistance R_{14} .
4. Exprimer le courant I_b en fonction des tensions e_3^+ , u_A et de la résistance R_{15} .
5. Justifier la relation $I_C = I_a + I_b$.
6. En déduire une expression du courant I_C en fonction de U_{CC} et R .

7. Calculer la valeur numérique de I_C .
8. Exprimer la relation qui lie u_7 à C_3 , I_C et le temps t . Justifier la réponse.
9. Pour $I_C = 400 \mu\text{A}$, donner la valeur de la vitesse de variation (en V/s) de u_7 .
10. Le transistor T_1 est saturé. Donner la valeur de la tension u_7 .
11. Tracer le chronogramme de la tension u_7 sur le **document réponse 2**.
12. Préciser le rôle du transistor T_1 .

VI. Etude de la détection de présence d'impulsion

Le schéma structurel du circuit de détection de seuil est présenté figure 8.

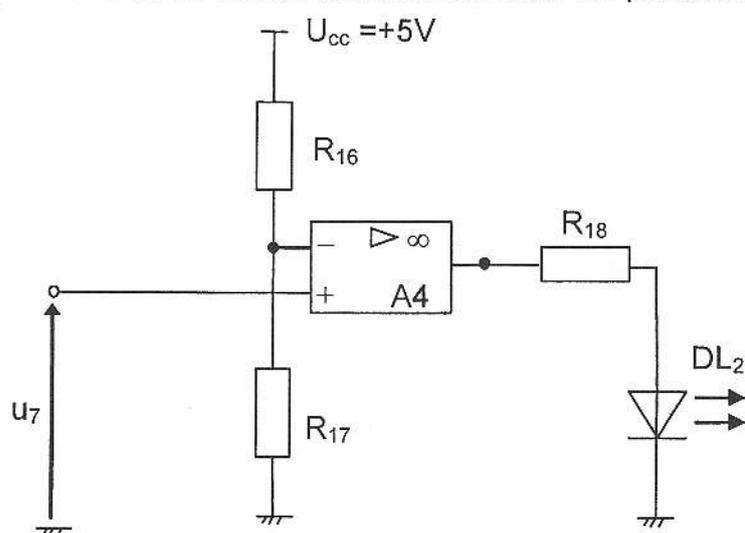


Figure 8

Données: $R_{16} = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_{17} = 240 \text{ k}\Omega$
 $R_{18} = 220 \Omega$

1. Déterminer l'expression du potentiel de l'entrée inverseuse e_4^- en fonction de R_{16} , R_{17} et U_{cc} .
2. Calculer la valeur de e_4^- .
3. Quelle est la condition sur u_7 pour que la D.E.L. DL_2 s'allume ?
4. Montrer que la D.E.L. DL_2 s'allume pour une valeur de pouls inférieure à 47 bpm.

VII. Etude de la signalisation sonore

Le schéma structurel du circuit de la signalisation sonore est présenté figure 9.

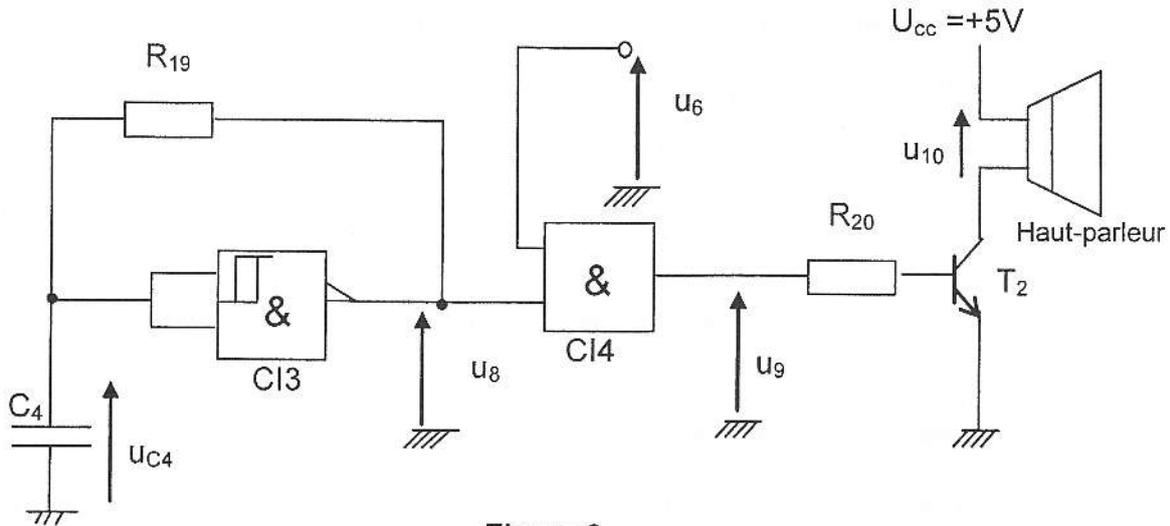


Figure 9

Données: $R_{19} = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_{20} = 4,7 \text{ k}\Omega$
 $C_4 = 100 \text{ nF}$

N.B. : Pour la caractéristique du circuit logique CI3, identique à CI1 et CI2, on se reportera à la figure 6bis.

CI4 est une porte logique "ET"; la tension de seuil de basculement des entrées est considérée égale à +2,5 V.

On considère les conditions initiales suivantes: à $t = t_0$, $u_{C4} = U_B = 1 \text{ V}$ et $u_8 = U_{CC} = +5\text{V}$.

1. Calculer la valeur de la constante de temps τ du circuit R_{19} et C_4 .
2. Après l'instant $t = t_0$, vers quelle valeur finale tend la tension u_{C4} et de quelle manière ?
3. Cette valeur sera-t-elle atteinte ? Justifier la réponse.

On rappelle que la durée Δt mise par la tension u_C aux bornes d'un condensateur pour passer d'une valeur initiale U_1 à une valeur U_2 est

$$\text{donnée par la relation : } \Delta t = \tau \ln \frac{(U_{\infty} - U_1)}{(U_{\infty} - U_2)} .$$

U_{∞} est la valeur asymptotique vers laquelle tend la tension u_C .

4. A l'instant $t = t_1$ la tension u_{C4} atteint la valeur $U_H = 3\text{V}$.
Calculer la durée $\Delta t = t_1 - t_0$.

On considère les conditions initiales suivantes : à $t = t_0$, $u_{C4} = U_H = 3V$ et $u_8 = 0V$.

5. Après l'instant $t = t_0$, vers quelle valeur finale tend la tension u_{C4} et de quelle manière ?
6. Cette valeur sera-t-elle atteinte ? Justifier la réponse.
7. A l'instant $t = t_1$ la tension u_{C4} atteint la valeur $U_B = 1V$.
Calculer la durée $\Delta t = t_1 - t_0$.
8. Tracer, sur les chronogrammes du **document réponse 3**, l'évolution des tensions u_{C4} et u_8 en concordance de temps.
9. Calculer la valeur de la fréquence du signal u_8 .

Le transistor T_2 est considéré comme parfait et son fonctionnement peut être assimilé à un interrupteur.

10. Donner l'état du transistor T_2 (bloqué ou saturé) pour $u_9 = 0V$ et $u_9 = +5V$.
11. Donner la valeur de la tension u_{10} aux bornes du haut-parleur pour $u_9 = 0V$ et $u_9 = +5V$.
12. Tracer, sur le **document réponse 4**, le chronogramme de la tension u_{10} .

VIII. Synthèse

Le rythme moyen d'un sujet au repos est de 70 battements par minute (bpm).

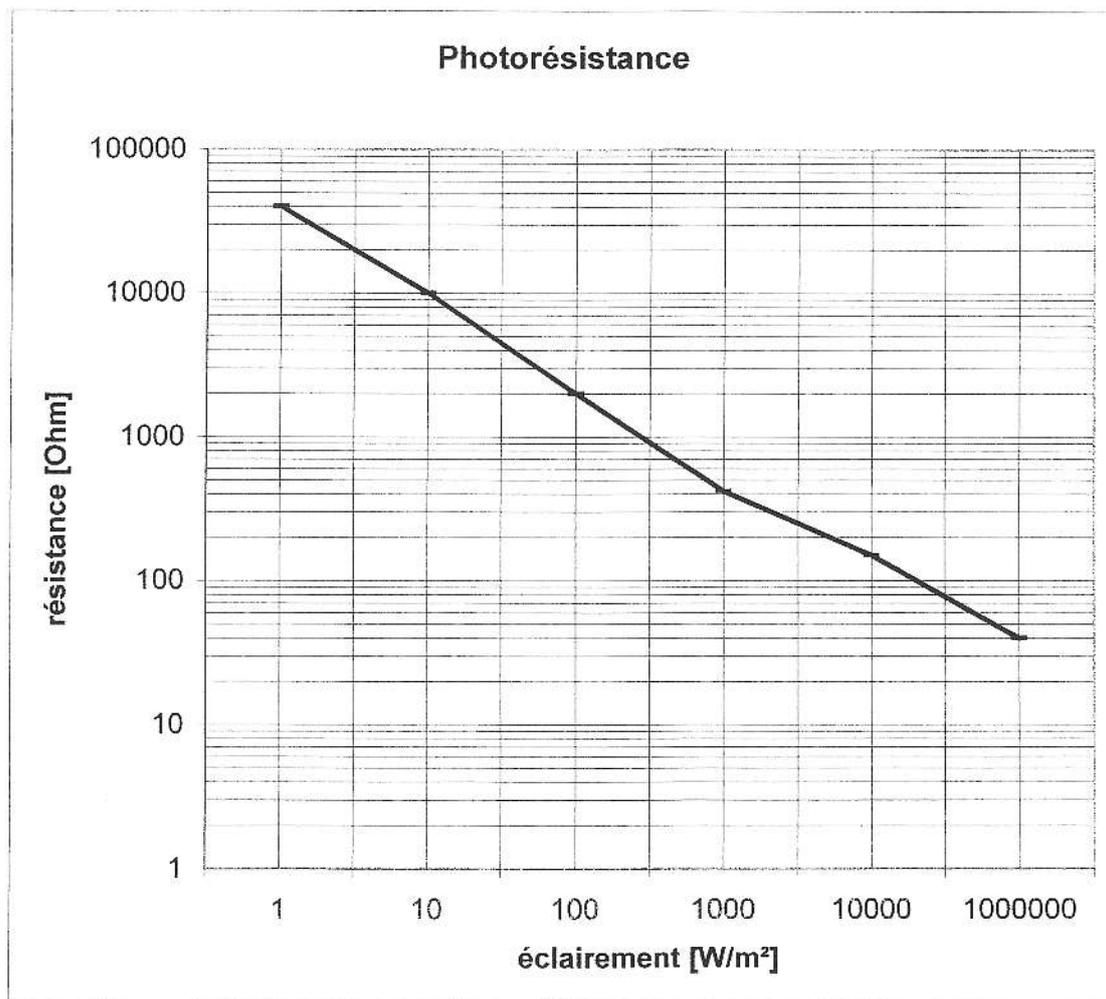
On considère que le rythme cardiaque devient anormal au delà d'une fréquence maximum fixée à 220 bpm. Quand cette fréquence maximum est dépassée, le haut-parleur émet un signal sonore continu.

Les chronogrammes de la tension u_6 des documents réponses 5 et 6 représentent deux situations différentes pour le rythme cardiaque.

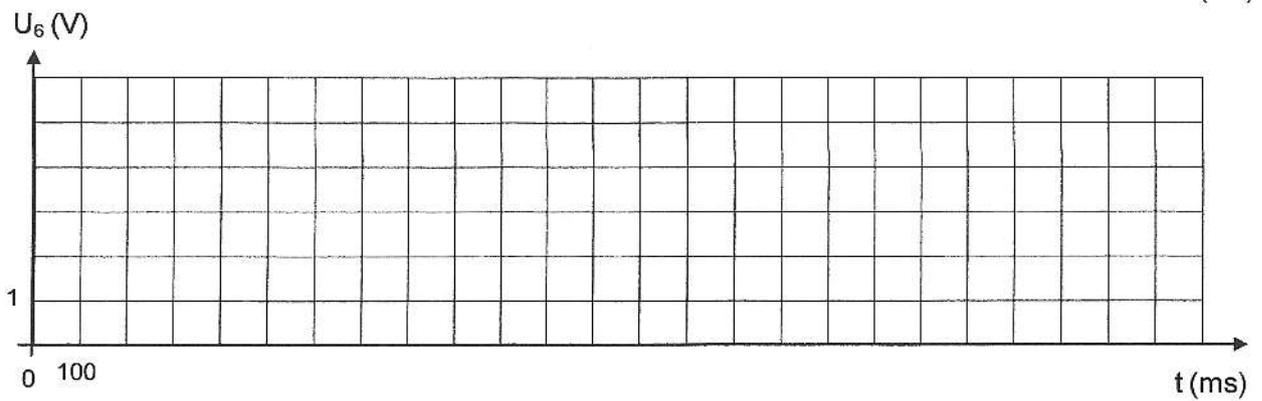
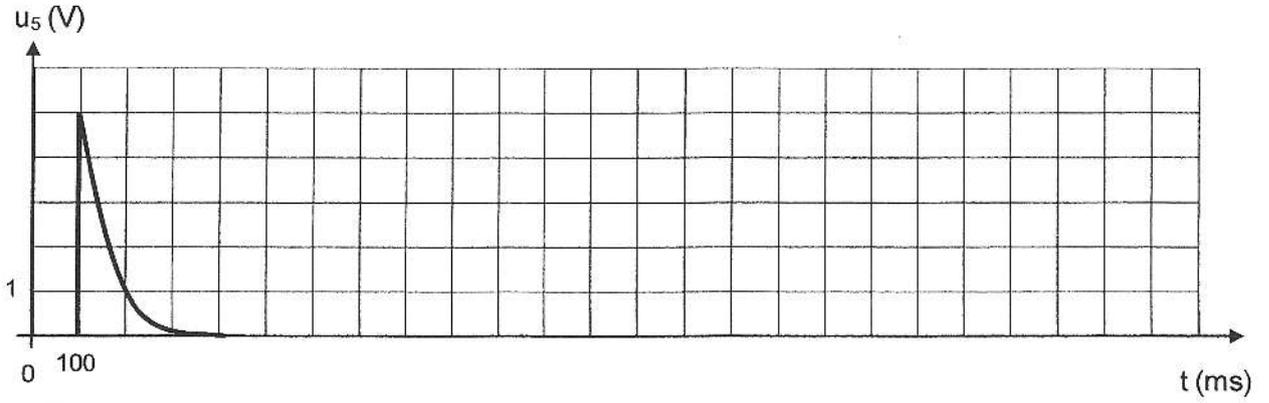
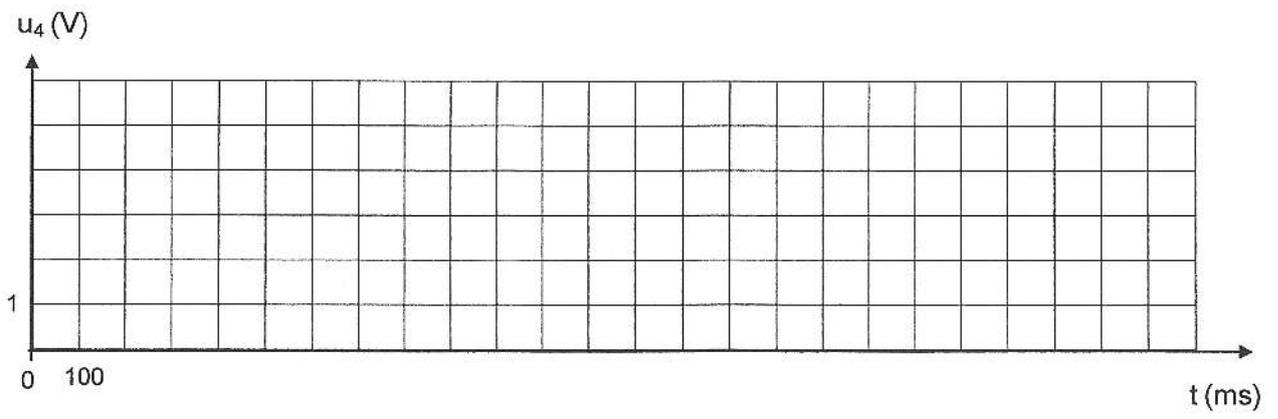
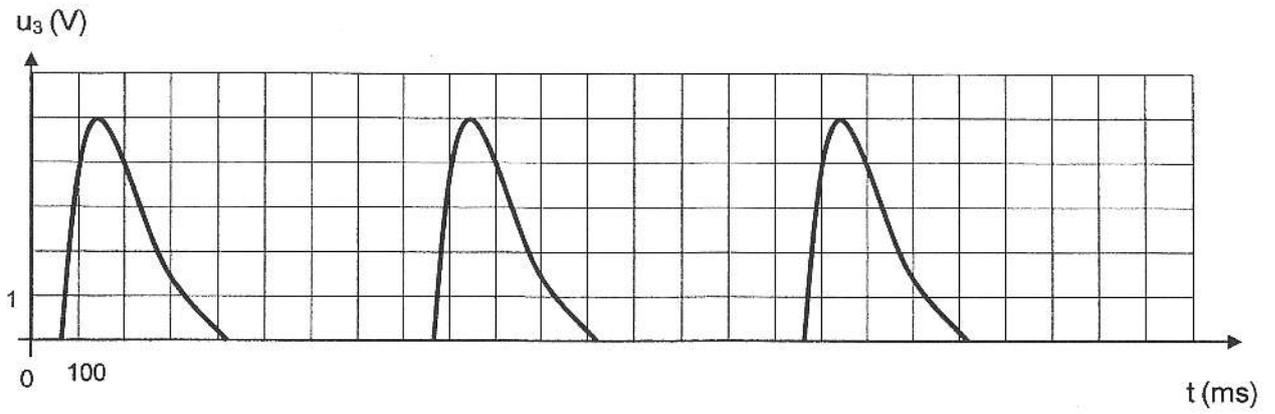
1. Donner les valeurs des fréquences cardiaques en bpm correspondant au signal u_6 représenté sur les **documents réponses 5 et 6**.
2. Compléter les chronogrammes des **documents réponses 5 et 6** en précisant les états de la D.E.L. DL_2 et du haut-parleur.

Annexe 1

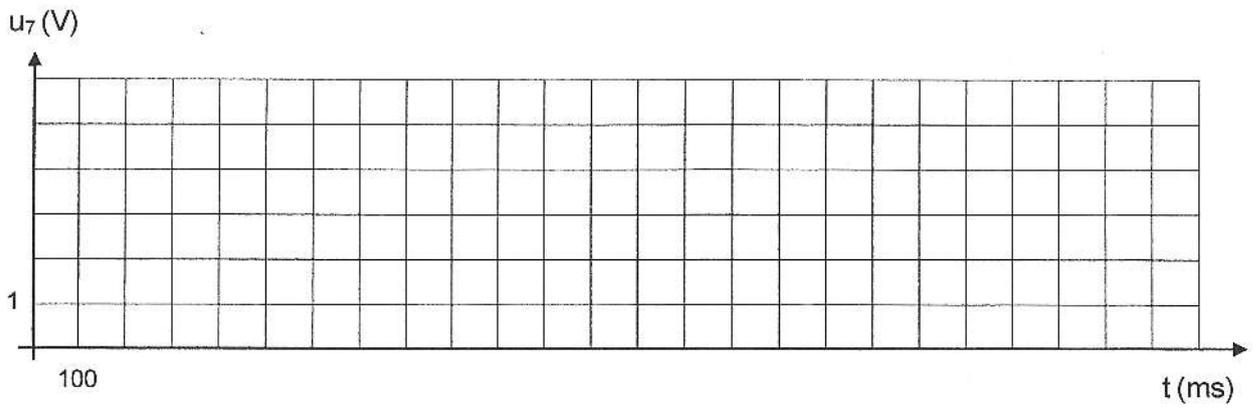
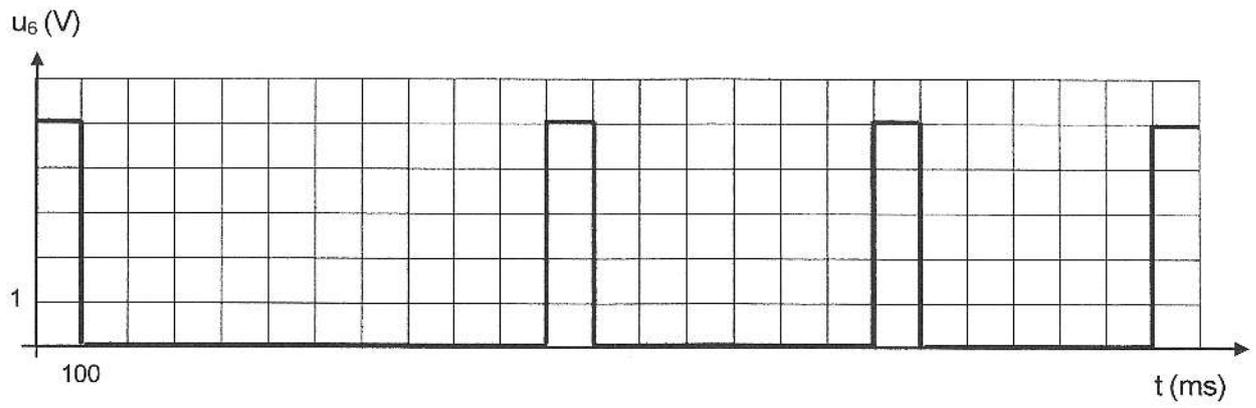
Caractéristique de la photorésistance



Document réponse 1

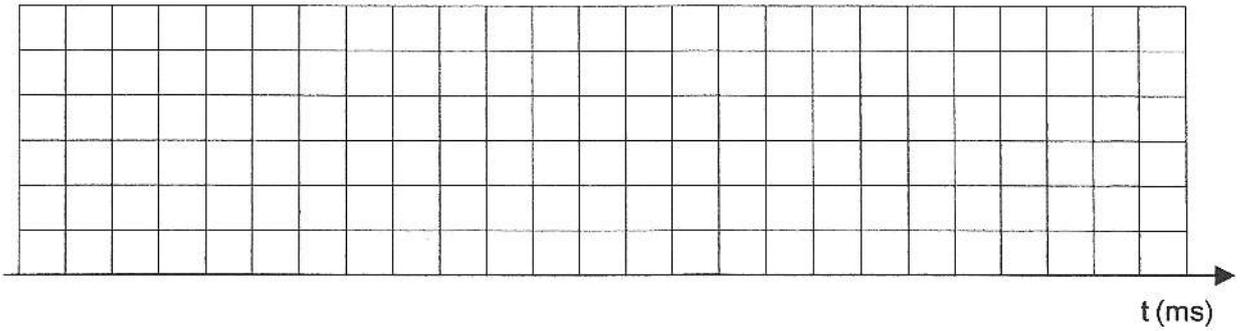


Document réponse 2

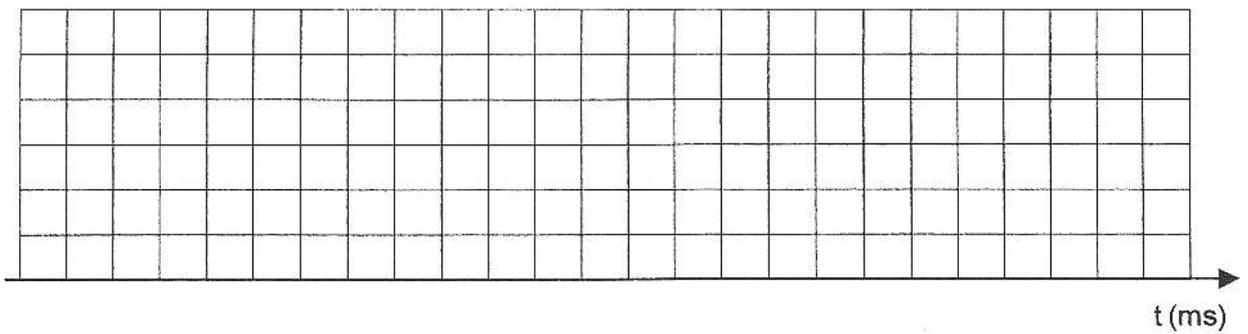


Document réponse 3

u_{C4} (V)



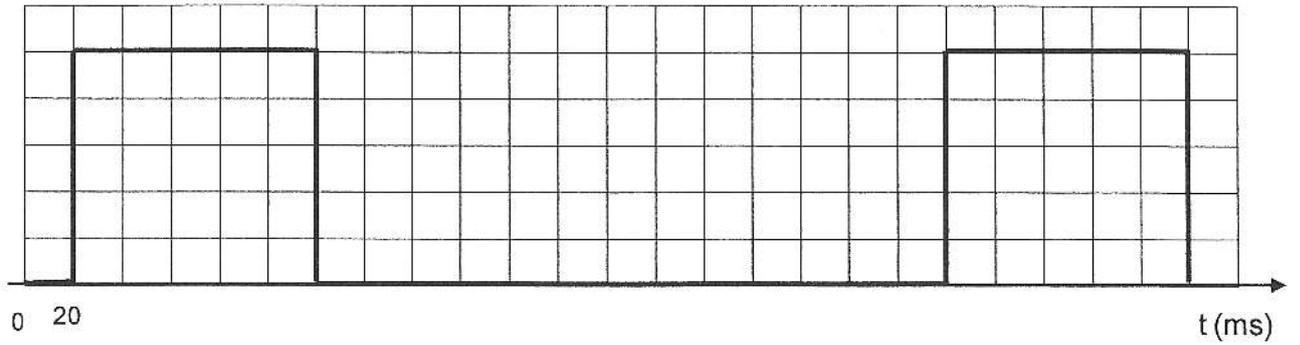
u_8 (V)



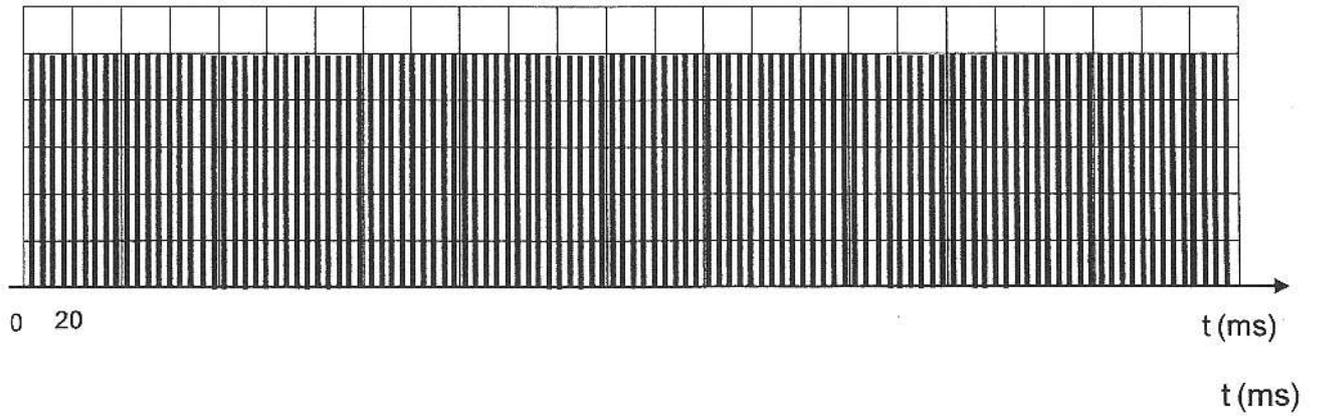
N.B. Les échelles de temps et de tension sont à préciser par le candidat.

Document réponse 4

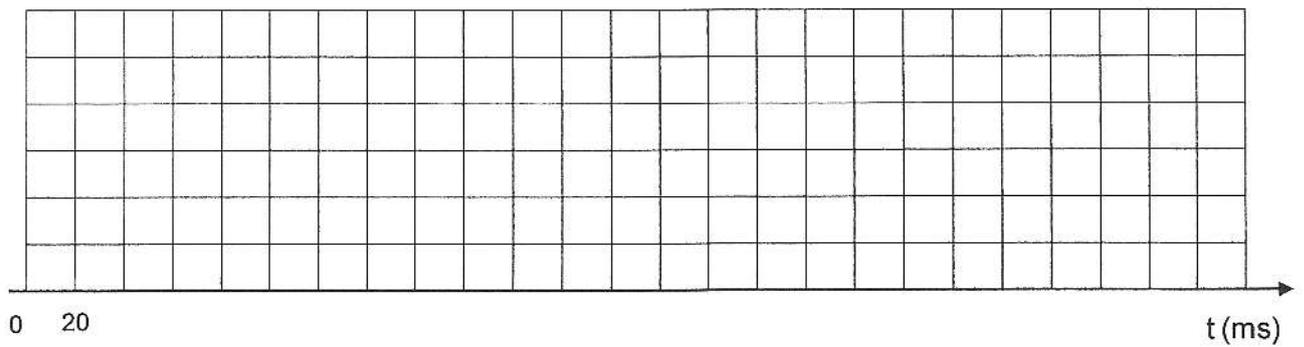
u_6 (V)



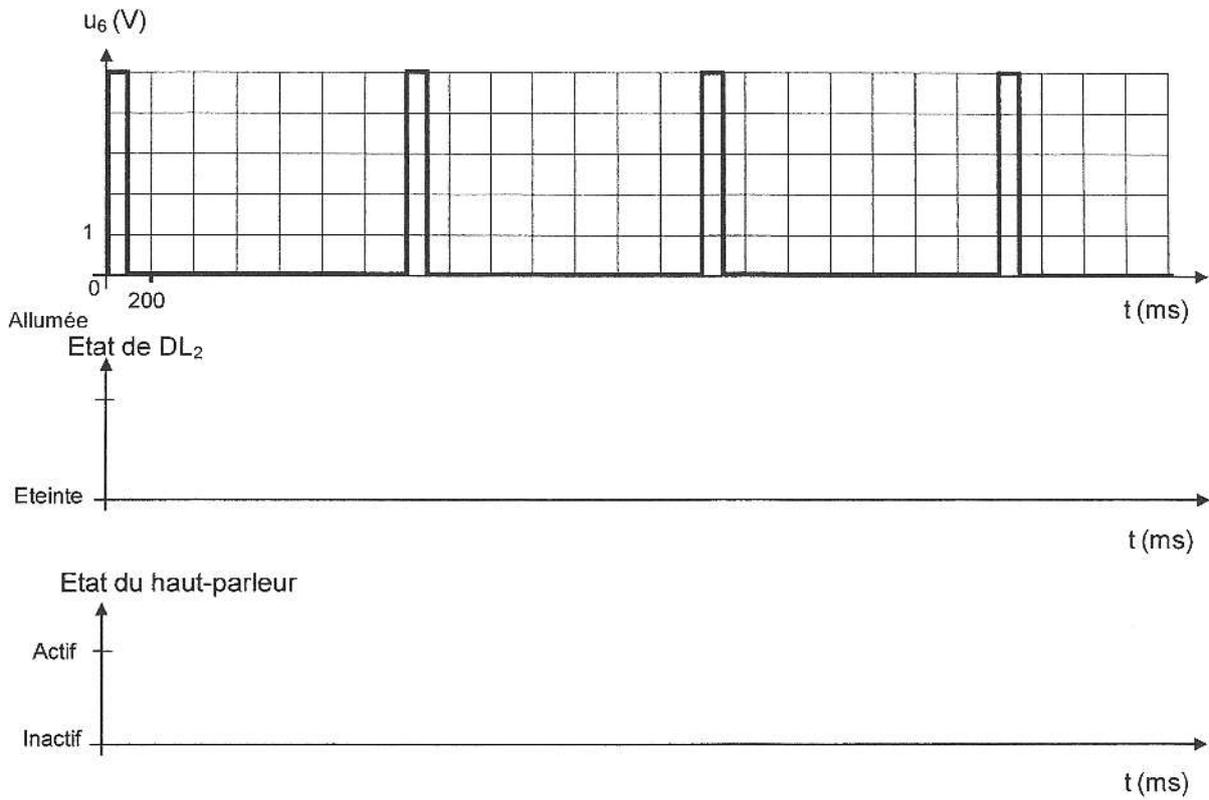
u_8 (V)



u_{10} (V)



Document réponse 5



Document réponse 6

