

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

## SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES

### « Génie Électronique »

Session 2012

## Épreuve : PHYSIQUE APPLIQUÉE

Durée de l'épreuve : 4 heures

Coefficient : 5

*L'usage de la 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.*

## Détecteur de fumée optique

Le 13 octobre 2005, l'Assemblée Nationale a adopté la proposition de Loi de Mrs Morange et Meslot donnant obligation à chaque propriétaire ou occupant d'une habitation d'installer et d'entretenir au moins un Détecteur Avertisseur Autonome de Fumée.

Le 8 mars 2015 au plus tard, tous les logements devront être équipés d'au moins un détecteur de fumée.



La détection de fumée permet d'avertir d'un début d'incendie et ainsi d'en minimiser les conséquences.

Ce sujet propose d'étudier un détecteur de fumée qui équipe de plus en plus souvent nos habitations.

Désormais, seul le **détecteur de fumée optique** est **autorisé en France**.

Ce sujet propose d'étudier le principe d'un de ces détecteurs optiques :

- Un émetteur (diode électroluminescente infrarouge, DEL-IR) et un récepteur infrarouge (photodiode) sont placés face à face, l'ensemble pouvant se trouver à l'intérieur d'un même conduit (voir **figure 1**).

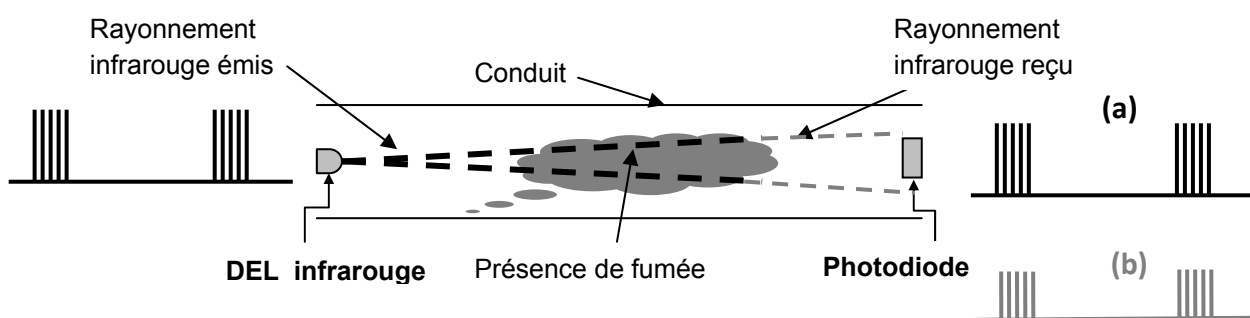
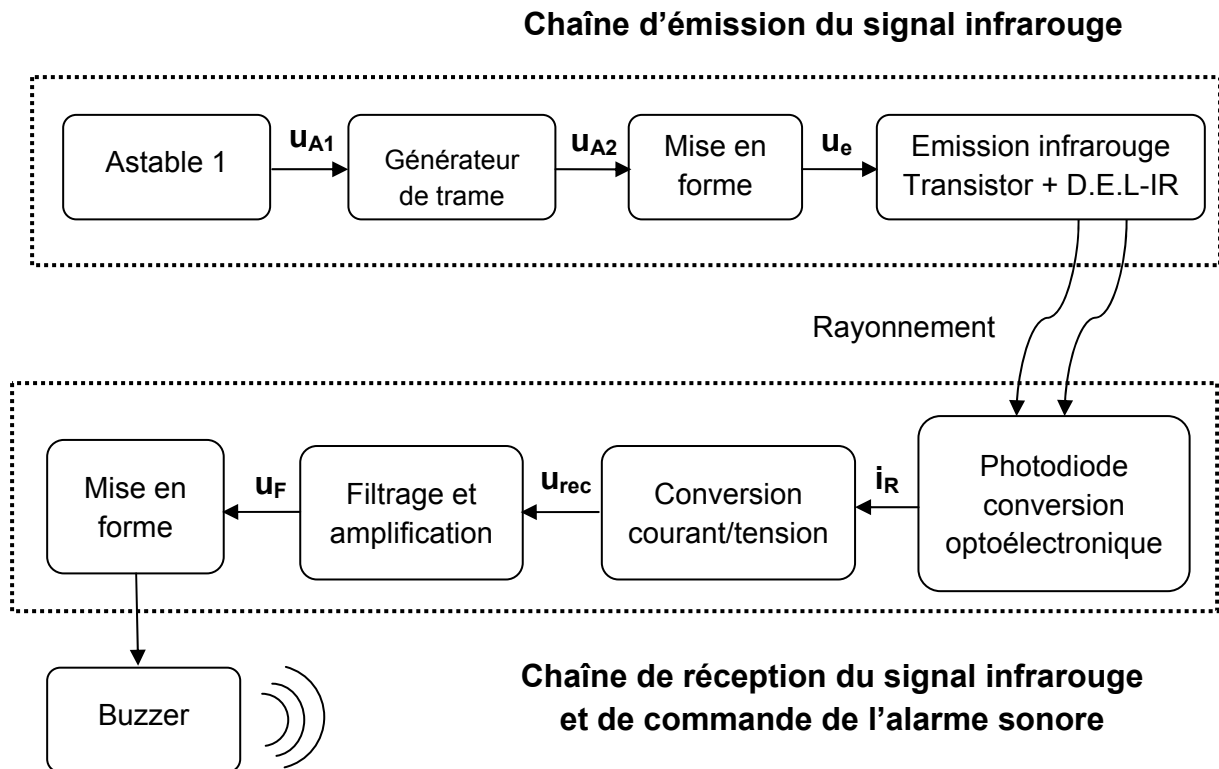


Figure 1

- La DEL-IR émet en permanence un train d'impulsions en direction de la photodiode. **Sans fumée**, le **niveau de réception** est alors **maximal (cas a)**.
- **En présence de fumée**, l'**intensité du rayonnement** infrarouge reçu par la photodiode **diminue**. Le **niveau de réception** est alors **affaibli (cas b)**.
- La **détection de cette diminution** doit permettre d'**activer une alarme sonore** suffisamment bruyante pour réveiller une personne endormie.

## Principe d'un détecteur de fumée optique :

Le schéma de la **figure 2** représente le synoptique simplifié du détecteur de fumée.



**Figure 2**

**Trois parties sont étudiées dans ce sujet :**

- A- Etude de la chaîne d'émission du signal infrarouge,
- B- Etude de la chaîne de réception du signal infrarouge et de commande de l'alarme sonore (buzzer),
- C- Synthèse.

**Toutes les parties sont indépendantes.**

**Les grandeurs notées en minuscules correspondent aux grandeurs instantanées. Exemple :  $u_{A1}$  signifie  $u_{A1}(t)$ .**

**Les documents réponses placés en fin de sujet (pages 12 à 16) sont à rendre avec la copie.**

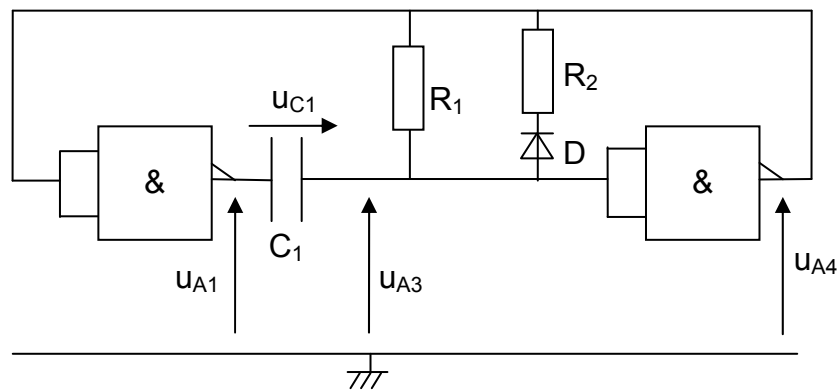
## A- ETUDE DE LA CHAÎNE D'ÉMISSION :

Les composants (portes logiques et diode D) sont considérés comme parfaits.  
Les portes logiques sont alimentées entre  $U_0 = 0 \text{ V}$  et  $U_{CC} = +9 \text{ V}$ .

### A.1 Étude de l'astable 1 :

Ce premier montage astable génère une tension  $u_{A1}$ .

Le schéma de l'astable 1 est représenté sur la **figure 3** suivante.



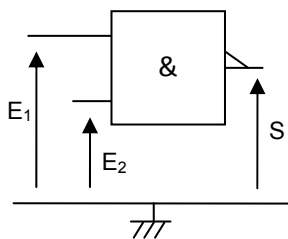
**Figure 3**

On donne :  $R_1 = 82 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$

$C_1 = 10 \text{ nF}$

On rappelle ci-dessous la table de vérité d'une porte NAND :



$E_1$	$E_2$	$S$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Le niveau logique bas est associé au niveau de tension  $U_0 = 0 \text{ V}$ .

Le niveau logique haut est associé au niveau de tension  $U_{CC} = +9 \text{ V}$ .

La tension de seuil de basculement des portes est égale à  $U_{CC}/2 = 4,5 \text{ V}$ .

Les chronogrammes de  $u_{A3}$  et de  $u_{A4}$  sont donnés sur le **document réponse 1** page 12.

**Pour  $0 \leq t < t_1$  :**

1. Donner la valeur de  $u_{A4}$ .
2. A partir de  $u_{A3}$ , justifier la valeur de  $u_{A4}$ .
3. En déduire la valeur de  $u_{A1}$ . Justifier.
4. Quel est alors l'état de la diode D ? Justifier.
5. Représenter le circuit de charge du condensateur  $C_1$  et indiquer la valeur des tensions  $u_{A4}$  et  $u_{A1}$ .
6. Calculer la constante de temps  $\tau_1$  de ce circuit.

**Pour  $t_1 \leq t < t_2$  :**

7. Donner la valeur de  $u_{A4}$ .
8. A partir de  $u_{A3}$ , justifier cette valeur.
9. En déduire la valeur de  $u_{A1}$ .
10. Quel est alors l'état de la diode D ? Justifier.
11. Représenter le circuit de charge du condensateur  $C_1$  et indiquer la valeur des tensions  $u_{A4}$  et  $u_{A1}$ .
12. Calculer la constante de temps  $\tau_2$  de ce circuit.
13. A partir de l'étude précédente, tracer le chronogramme de  $u_{A1}$  sur **le document réponse 1 page 12 (à rendre avec votre copie)**.
14. En déduire la période T, la fréquence f et le rapport cyclique  $\alpha_{A1}$  de  $u_{A1}$ .

**A.2 Étude de l'association Astable1 – Générateur de trame :**

La tension  $u_{A1}$  permet de piloter un deuxième montage dont la tension de sortie est  $u_{A2}$ .

Les caractéristiques de la tension  $u_{A2}$  sont les suivantes :

- Pour  $u_{A1} = 0V$ ,  $u_{A2} = 0V$
- Pour  $u_{A1} = U_{CC} = 9V$ ,  $u_{A2}$  est un signal rectangulaire (voir document réponse 2 page 12). Ses caractéristiques sont les suivantes :

$$U_{A2\max} = U_{CC} = 9V, U_{A2\min} = 0V$$

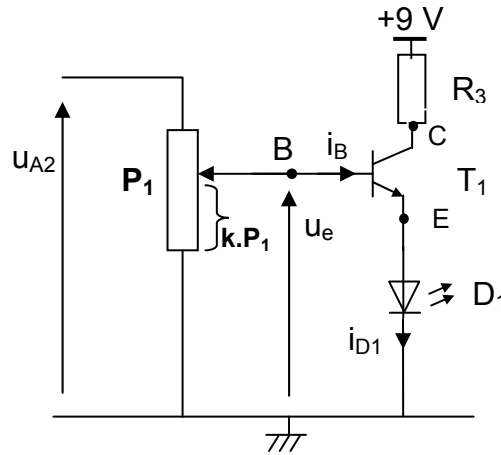
$$f = 50 \text{ kHz}$$

$$\text{rapport cyclique } \alpha_{A2} = 50 \%$$

15. Sur le **document réponse 2 page 13 (à rendre avec votre copie)**, tracer la tension  $u_{A2}$  en concordance de temps avec  $u_{A1}$ .

### A. 3 Étude de l'émission infrarouge :

Le schéma structurel est représenté sur la **figure 4** ci-dessous.



**Figure 4**

#### Données :

$D_1$  est une diode électroluminescente (DEL) infrarouge :  
sa tension de seuil  $V_S = 1,3 \text{ V}$ .

Le transistor  $T_1$  fonctionne en commutation :

**Lorsqu'il est saturé,  $V_{CE} = V_{CESAT} = 0,2 \text{ V}$ .**

**Le courant  $i_B$  est négligeable devant les autres courants du circuit.**

**$P_1 = 10 \text{ k}\Omega$ .**

On note  $k.P_1$ , la partie du potentiomètre comprise entre le point B et la masse, on a donc :  $0 \leq k \leq 1$ .

On a représenté sur le **document réponse 3 page 14**, le chronogramme des tensions  $u_{A2}$  et  $u_e$ .

**$u_{A2}$  est une tension en créneau (0-9V),  $u_e$  est une tension en créneau (0-5V).**

16. Exprimer  $u_e$  en fonction de  $u_{A2}$  et de  $k$ .

17. Calculer la valeur de  $k$  qui permet d'obtenir les chronogrammes du **document réponse 3 page 14**.

18. En déduire la valeur de  $k.P_1$ .

19. Compléter le **document réponse 3 page 14 (à rendre avec votre copie)** en indiquant l'état du transistor  $T_1$  (bloqué ou saturé) et celui de la DEL infrarouge (allumée ou éteinte).

20. Déterminer l'expression de  $R_3$  en fonction de  $U_{CC}$ ,  $V_{CESAT}$ ,  $V_S$  et  $i_{D1}$ .

21. Montrer que la valeur de  $R_3$  qui permet de limiter l'intensité du courant dans la diode à  $50 \text{ mA}$  est de  $1,5.10^2 \Omega$ .

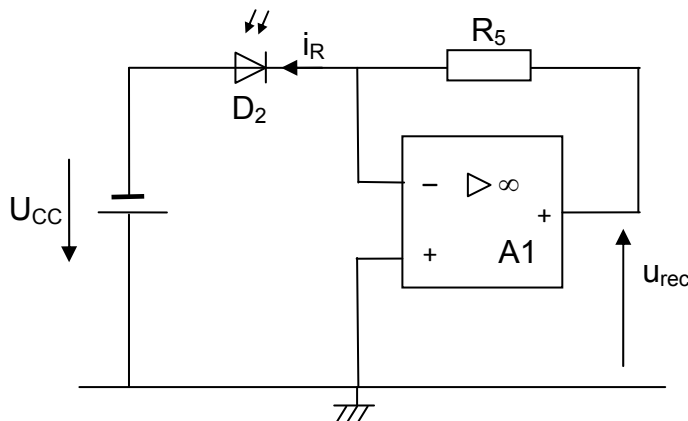
## **B- ETUDE DE LA CHAÎNE DE RÉCEPTION :**

### **B-1 Étude de la conversion optoélectronique et de la conversion I/U :**

Le circuit de réception du rayonnement émis est constitué d'une photodiode  $D_2$  associée à un convertisseur courant/tension (voir ci-dessous, **figure 5**).

La photodiode  $D_2$ , polarisée en inverse, permet de réaliser la conversion opto-électronique :

- **En absence de rayonnement infrarouge,  $i_R = 0 \mu A$ .**
- **Lorsque la photodiode reçoit la totalité du rayonnement infrarouge,  $i_R = 100 \mu A$ .**



**Figure 5**

L'amplificateur opérationnel **A1**, considéré comme **parfait**, est **alimenté sous les tensions  $U_0 = 0 V$  et  $U_{CC} = + 9 V$** .

Les tensions de saturation sont égales aux tensions d'alimentation :

$V_{SAT+} = U_{CC} = + 9 V$  et  $V_{SAT-} = U_0 = 0 V$

On notera  $u_{d1} = v^+ - v^-$  la tension d'entrée différentielle de A1.

On donne :  **$R_5 = 90 k\Omega$** .

22. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A1 ? Justifier la réponse.
23. En déduire la valeur de  $u_{d1}$ .
24. Montrer que  $u_{rec} = R_5 \cdot i_R$ . Justifier la réponse.
25. Calculer les deux valeurs extrêmes de  $u_{rec}$  :
  - en absence de rayonnement,
  - puis pour une réception totale du rayonnement infrarouge.

26. Lors de l'apparition de fumée, le courant  $i_R$  devient égal à  $90\mu A$ .  
Calculer la valeur de  $u_{rec}$  correspondante.

### B-2 Filtrage et amplification :

Lorsque le rayonnement émis par la DEL infrarouge est reçu correctement par la photodiode, la tension  $u_{rec}$  est représentée ci-dessous sur **la figure 6**.

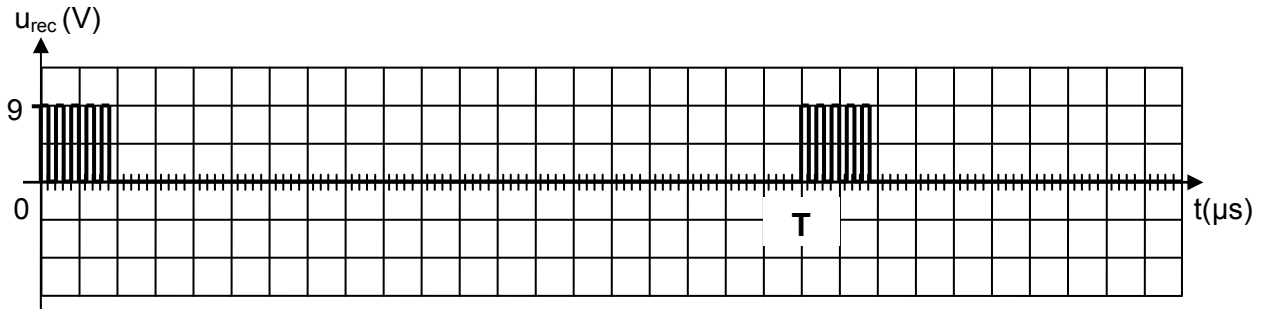


Figure 6

La période  $T = 1 \text{ ms}$ .

L'état haut de chaque impulsion noté  $U_{recmax}$  a une durée égale à  $10 \mu s$ .

Le spectre d'amplitude de la tension  $u_{rec}$  est donné sur **la figure 7** ci-dessous.

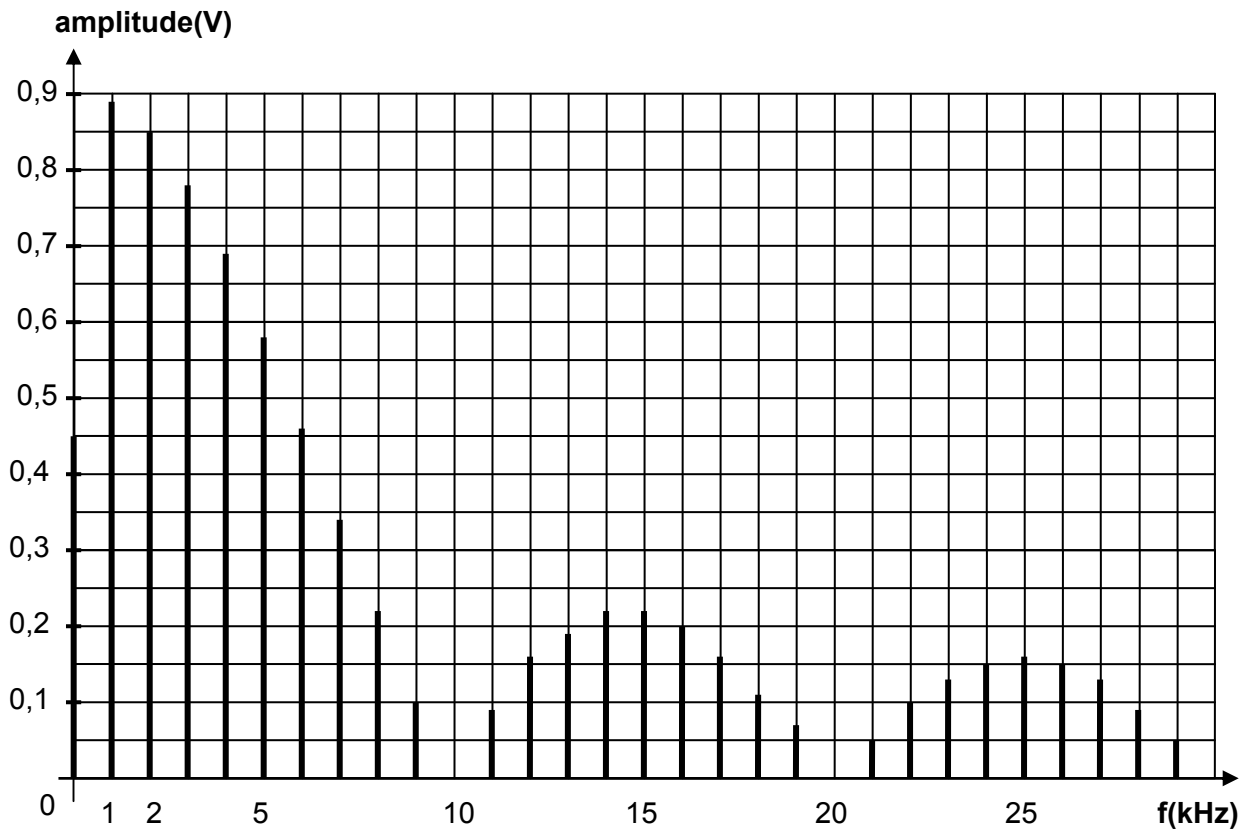


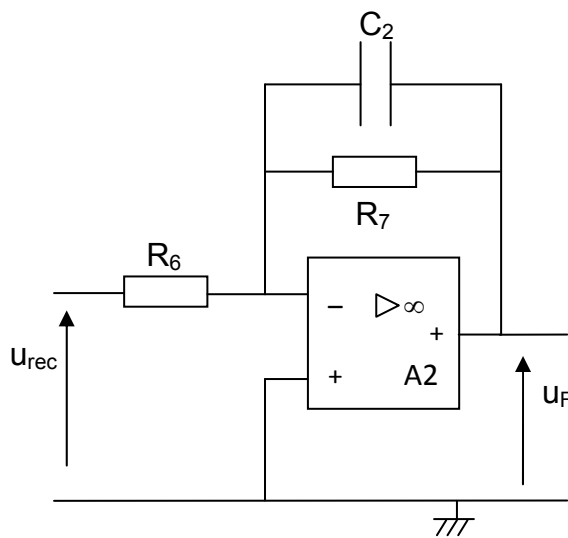
Figure 7



### Analyse du spectre du signal $u_{rec}$

27. A partir de la figure 7, déterminer la valeur moyenne  $\langle u_{rec} \rangle$  de la tension  $u_{rec}$ .
28. Vérifier que la valeur précédente de  $\langle u_{rec} \rangle$  confirme l'expression littérale de la valeur moyenne :  $\langle u_{rec} \rangle = U_{recmax} / 20$ .
29. Donner la valeur de la fréquence  $f = f_1$  du fondamental.

La tension  $u_{rec}$  est appliquée à l'entrée d'un filtre dont le schéma est représenté ci-dessous **figure 8**.



**Figure 8**

On donne :  $R_6 = 33 \text{ k}\Omega$        $R_7 = 330 \text{ k}\Omega$        $C_2 = 1 \text{ }\mu\text{F}$

L'amplificateur opérationnel **A2**, considéré comme **parfait**, est **alimenté sous les tensions  $+U_{CC} = +9 \text{ V}$  et  $-U_{CC} = -9 \text{ V}$** .

Les tensions de saturation de l'amplificateur opérationnel sont égales aux tensions d'alimentation :  $V_{SAT+} = U_{CC} = +9 \text{ V}$  et  $V_{SAT-} = -U_{CC} = -9 \text{ V}$ .

La fonction de transfert complexe de ce filtre est notée :  $\underline{T} = \frac{u_F}{u_{rec}}$

L'étude pratique de ce filtre, réalisée en régime sinusoïdal, a permis de relever la **courbe de gain  $G = 20\log T$**  en fonction de la fréquence  $f$  où **T** représente le **module de  $\underline{T}$**  (voir document réponse 4 page 15).

### Détermination de la nature et de la bande passante du filtre

30. Déterminer la valeur  $G_0$  de  $G$  pour  $f = 0\text{Hz}$ . En déduire la valeur  $T_0$  de  $T$ .
31. Déterminer la valeur  $G_{1k}$  de  $G$  pour  $f = 1\text{kHz}$ . En déduire la valeur  $T_{1k}$  de  $T$ .
32. Comparer  $T_{1k}$  à  $T_0$ .
33. Vers quelle limite notée  $G_\infty$  tend  $G$  pour  $f$  tendant vers  $+\infty$ . En déduire  $T_\infty$ .
34. Quelle est la nature du filtre ?
35. Déterminer la fréquence de coupure à -3dB du filtre notée  $f_{C-3dB}$  en faisant apparaître la construction graphique **sur le document réponse 4 page 15 (à rendre avec votre copie)**.
36. En déduire, sous forme d'intervalle, la bande passante à -3dB notée  $BP_{-3dB}$ .
37. Comparer  $f_{C-3dB}$  à  $f_1$  fréquence du fondamental de  $u_{rec}$ .

### Tracé du signal en sortie du filtre $u_F$ et de son spectre

On montre que la fonction de transfert complexe du filtre est :

$$\underline{T} = \frac{\underline{U}_F}{\underline{U}_{rec}} = \frac{-R_7/R_6}{1 + jR_7C_2\omega} = \frac{\underline{T}_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

38. Pour  $f = 0\text{Hz}$ , donner l'expression de  $\underline{T}$  en fonction de  $R_6$  et  $R_7$ .  
En déduire la valeur numérique de  $\underline{T}_0$ .
39. Pourquoi peut-on considérer que seule  $\langle u_{rec} \rangle$  la valeur moyenne de  $u_{rec}$  est transmise en sortie du filtre ?
40. Montrer que  $u_F = -10 \cdot \langle u_{rec} \rangle$ .
41. Tracer sur **le document réponse 4 page 15 (à rendre avec votre copie)** le spectre d'amplitude de la tension  $u_F$  ainsi que l'évolution de  $u_F$  au cours du temps.

### B-3 Étude de l'alarme :

Le schéma structurel du circuit d'alarme constitué d'un buzzer est représenté figure 9.

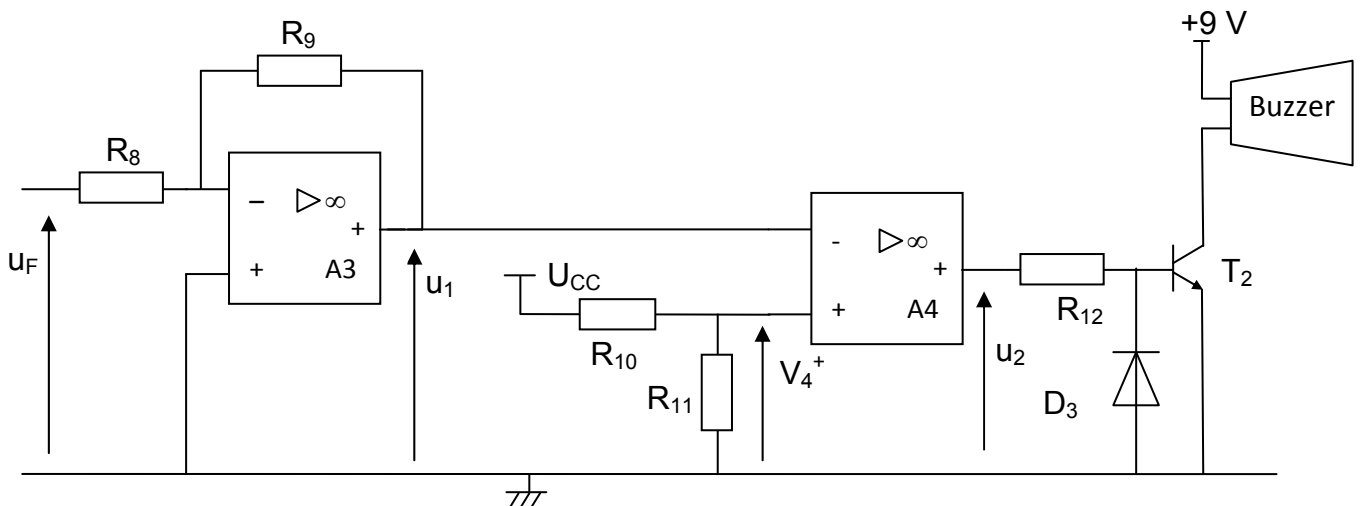


Figure 9

Les amplificateurs opérationnels **A3 et A4**, considérés comme **parfaits**, sont alimentés sous les tensions  $U_{CC} = +9\text{ V}$  et  $-U_{CC} = -9\text{ V}$   
 Les tensions de saturation des amplificateurs opérationnels sont égales aux tensions d'alimentation :  $V_{SAT+} = U_{CC} = +9\text{ V}$  et  $V_{SAT-} = -U_{CC} = -9\text{ V}$ .

Les résistances  $R_{10}$  et  $R_{11}$  sont des résistances de précision (série E96).

On donne :  $R_8 = 10\text{ k}\Omega$                        $R_9 = 10\text{ k}\Omega$   
                   $R_{10} = 523\text{ }\Omega$                        $R_{11} = 511\text{ }\Omega$                        $R_{12} = 10\text{ k}\Omega$

**Le transistor  $T_2$  est considéré parfait et son fonctionnement est assimilé à celui d'un interrupteur entre collecteur et émetteur.**

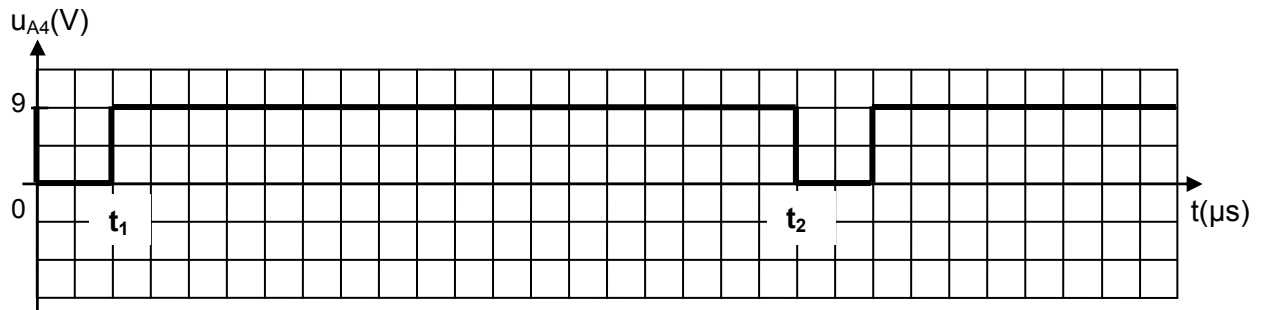
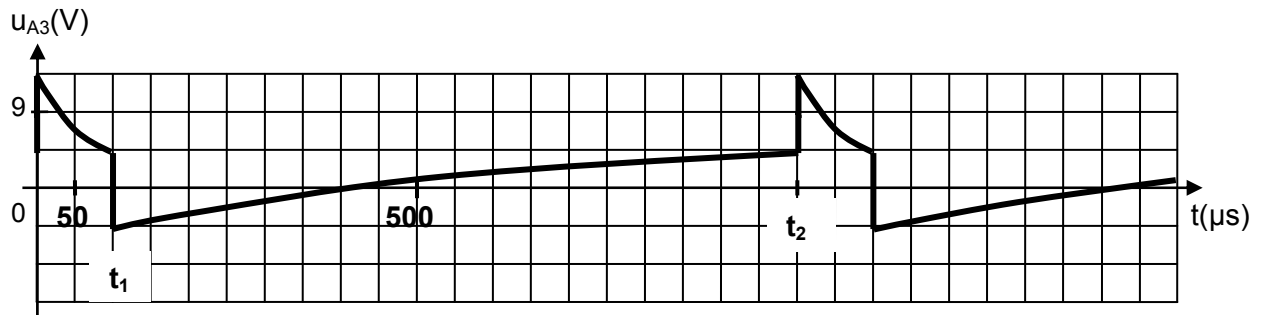
42. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A3 ? Justifier la réponse.
43. Déterminer l'expression de  $u_1$  en fonction de  $u_F$ ,  $R_8$  et  $R_9$ .
44. Calculer  $u_1$  lorsque  $u_F = -4,5\text{ V}$ .
45. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A4 ? Justifier la réponse.
46. Parmi les trois propositions suivantes, donner le nom du montage réalisé par A4 (associé à  $R_{10}$  et  $R_{11}$ ) :  
     a) comparateur à 2 seuils non inverseur  
     b) comparateur à 1 seuil inverseur  
     c) amplificateur inverseur
47. Exprimer  $V_4^+$  en fonction de  $U_{CC}$ ,  $R_{10}$  et  $R_{11}$ .
48. Calculer  $V_4^+$ .
49. Déterminer la valeur de  $u_2$  si  $u_1 > V_4^+$ . En déduire l'état de l'interrupteur (ouvert ou fermé) ainsi que celui du buzzer (actif ou inactif)
50. Déterminer la valeur de  $u_2$  si  $u_1 < V_4^+$ . En déduire l'état de l'interrupteur (ouvert ou fermé) ainsi que celui du buzzer (actif ou inactif)
51. Tracer, sur le **document réponse 5 page 16 (à rendre avec la copie)**, la caractéristique de transfert  $u_2$  en fonction de  $u_1$ , pour  $u_1$  compris entre 0 et 9 V.

### **C-Synthèse**

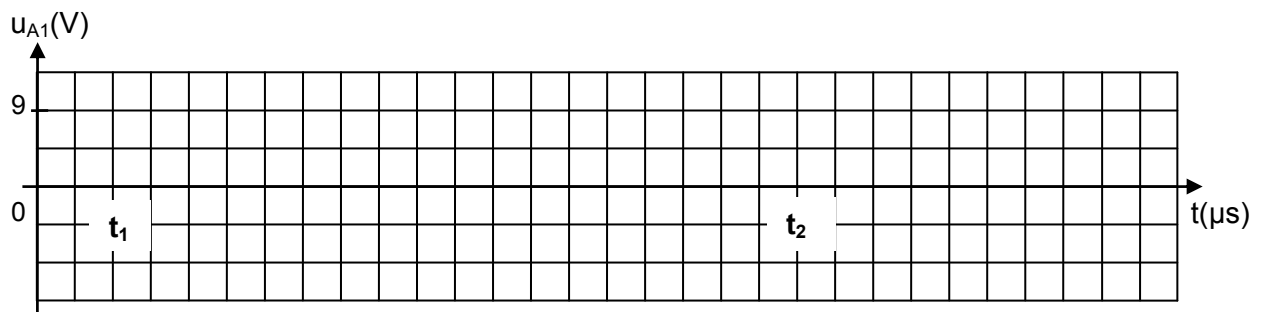
52. A partir des études précédentes (parties B1, B2 et B3), compléter le tableau de synthèse **du document réponse 5 page 16 (à rendre avec la copie)** pour les trois cas suivants :
  - absence de fumée, niveau de réception maximal,
  - présence de fumée, niveau de réception affaibli,
  - aucun rayonnement reçu.

Pour cela, calculer les grandeurs correspondantes pour enfin déterminer l'état de  $T_2$  et du buzzer.

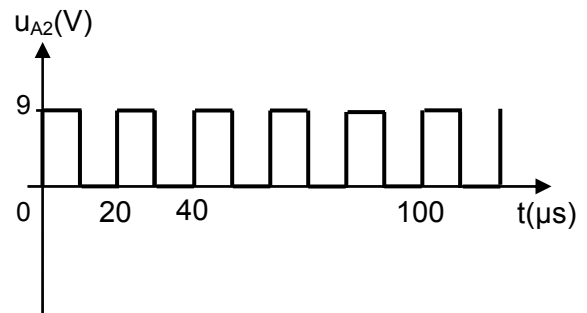
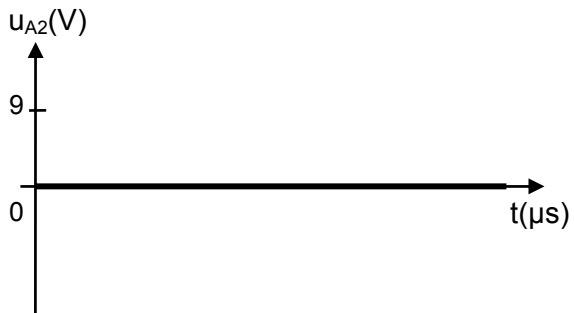
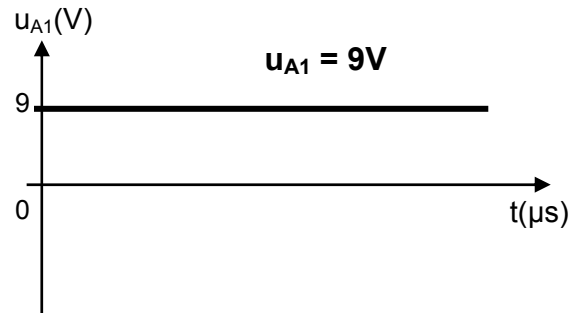
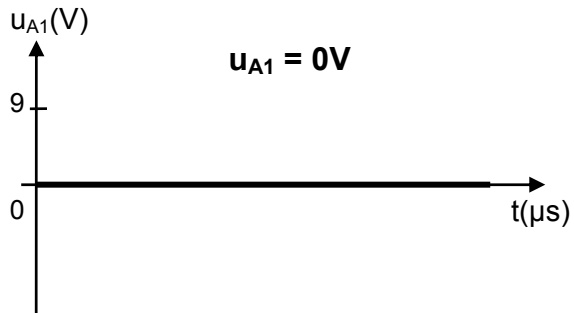
## DOCUMENT REPONSE 1



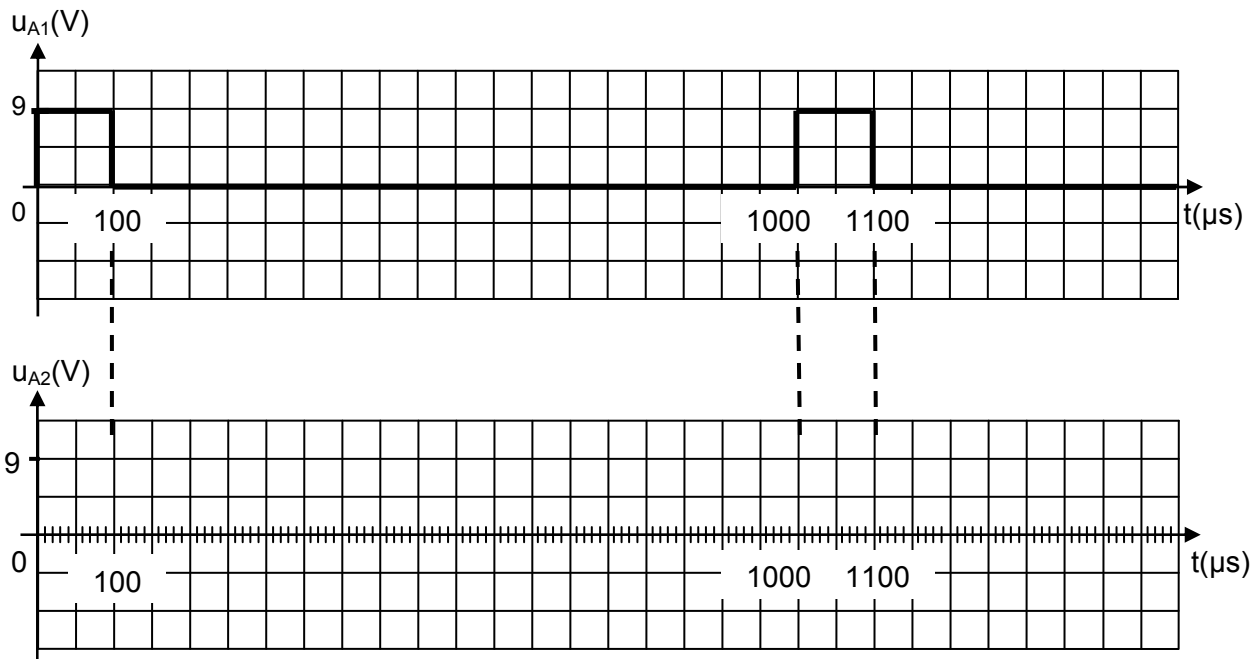
**Question 13 :**



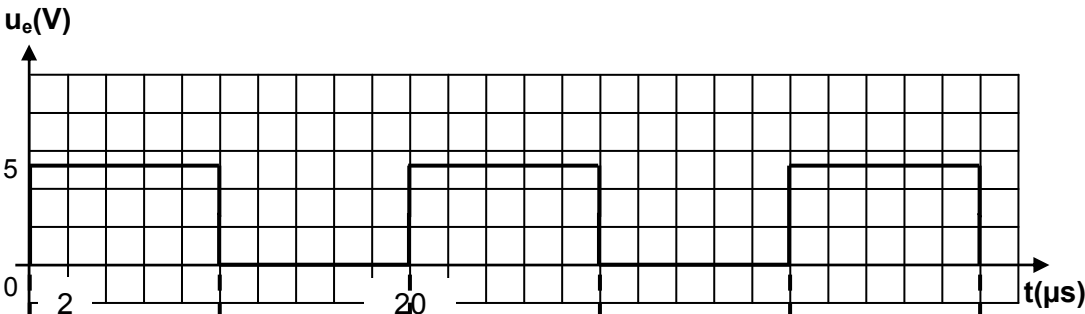
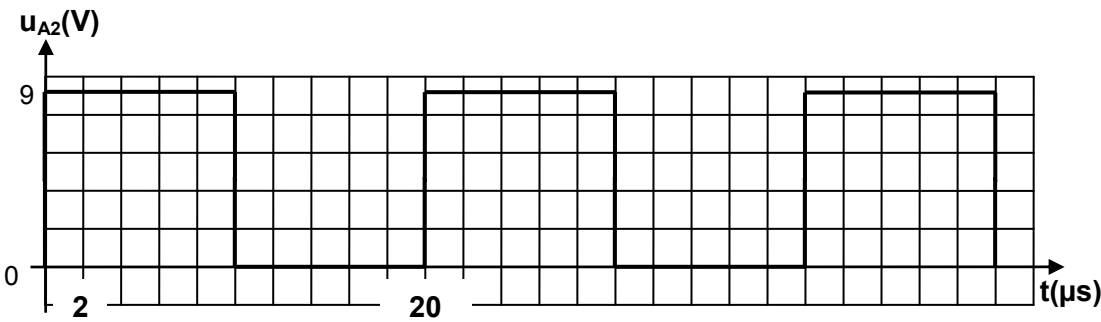
## DOCUMENT REPONSE 2



### Question 15 :



DOCUMENT REPONSE 3

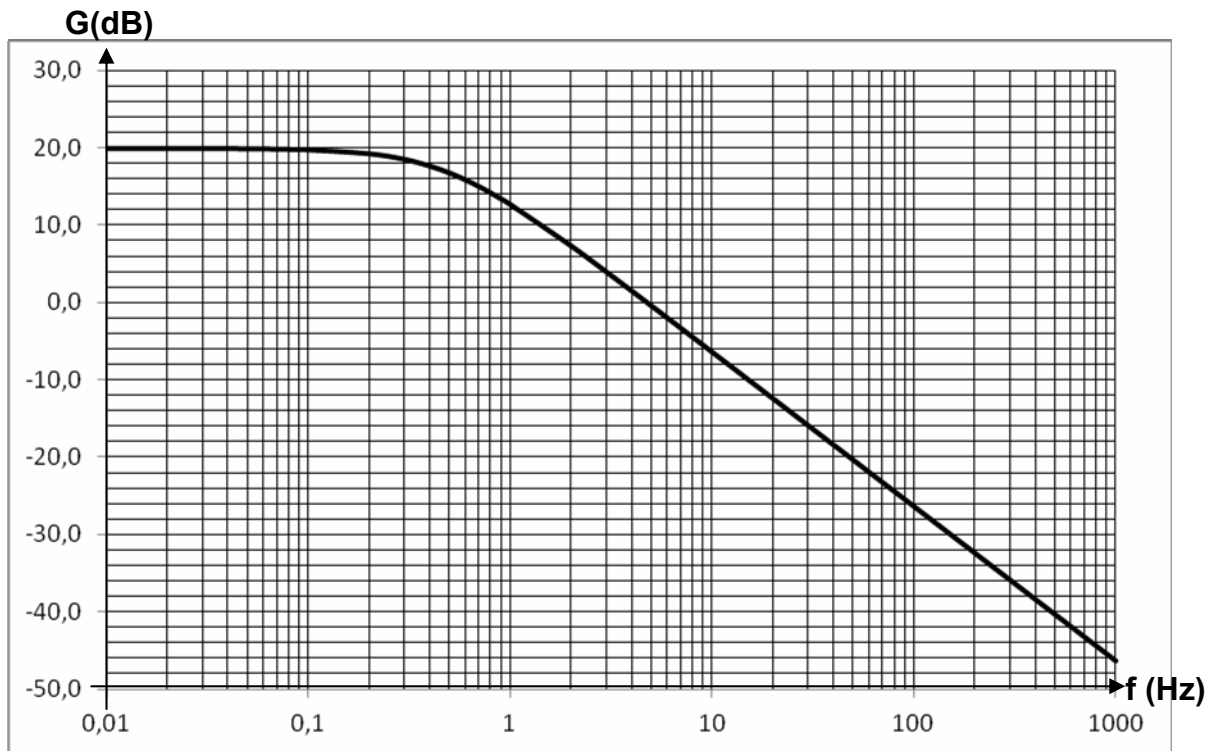


**Question 19**

<b>Etat de T<sub>1</sub></b> bloqué ou saturé					
<b>Etat de D<sub>1</sub></b> éteinte ou allumée					

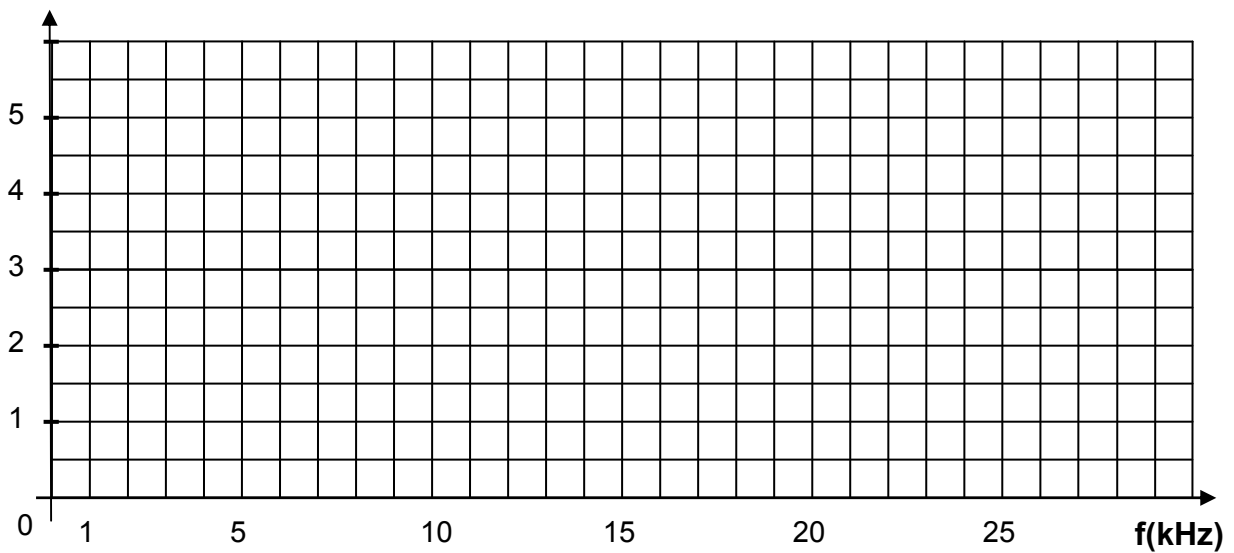
## DOCUMENT REPONSE 4

### Question 35 :

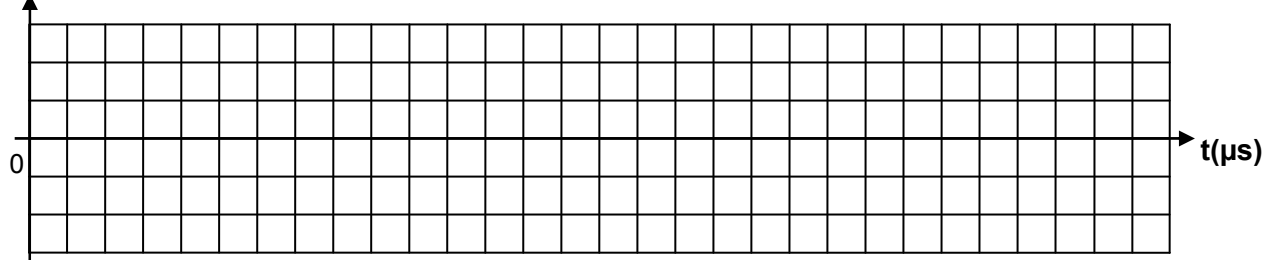


### Question 41 :

amplitude(V)

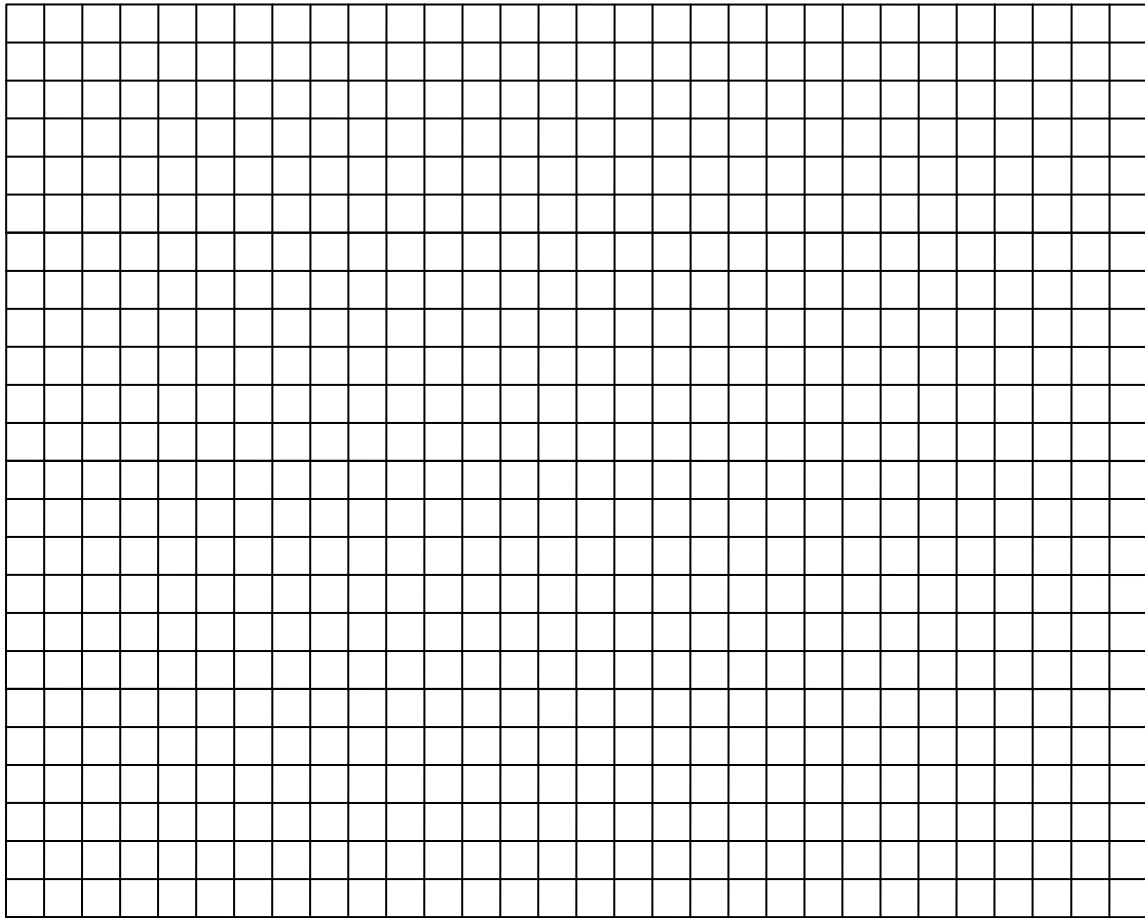


$u_F(V)$

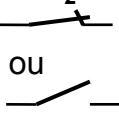


## DOCUMENT REPONSE 5

### Question 51 :



### Question 52 :

Rayon- nement	$i_R$ ( $\mu A$ )	$U_{recmax} =$ $R_5 \cdot i_R$ (V)	$\langle u_{rec} \rangle =$ $U_{recmax}/20$ (V)	$u_F =$ $-10 \langle u_{rec} \rangle$ (V)	$u_1 =$ $-u_F$ (V)	$u_2 =$ $-9V$ ou $9V$	$T_2$ ou 	Buzzer actif ou inactif
Réception maximale	100							
Réception affaiblie	90							
Absence	0							