

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**).

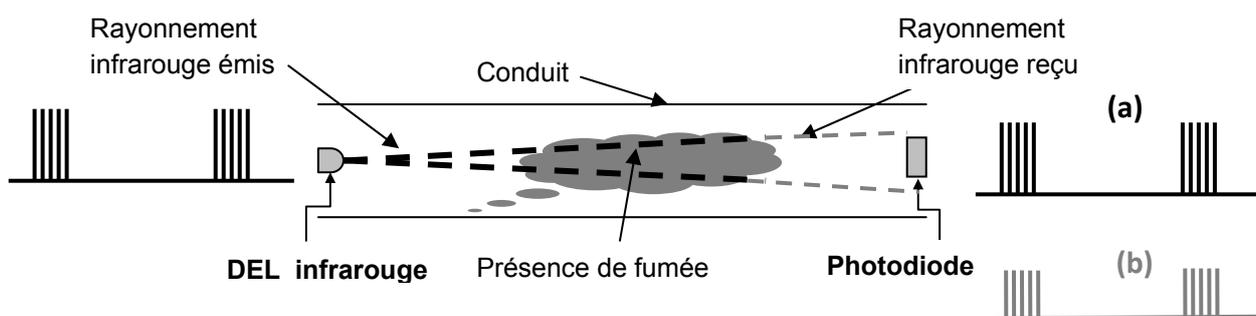


Figure 1

- 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.

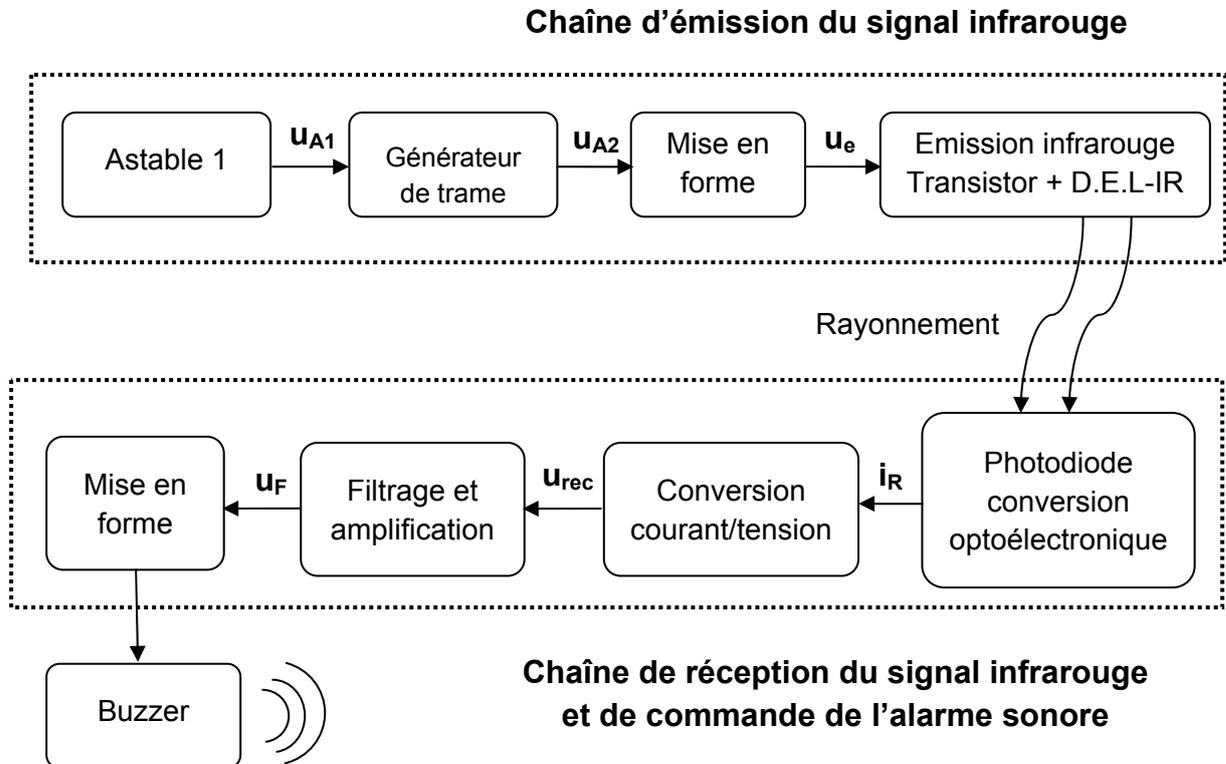


Figure 2

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.

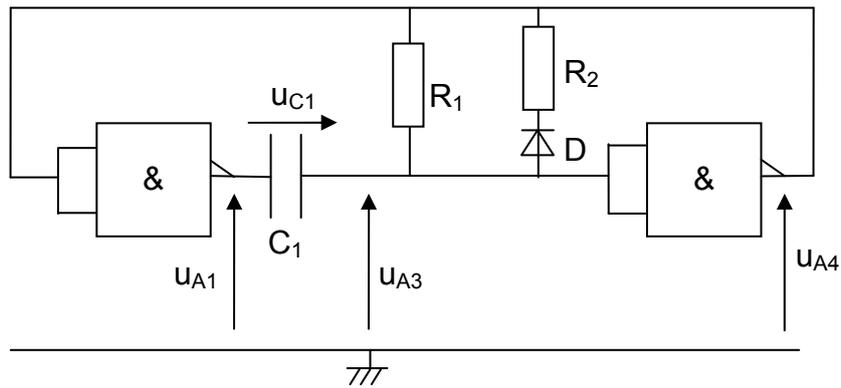
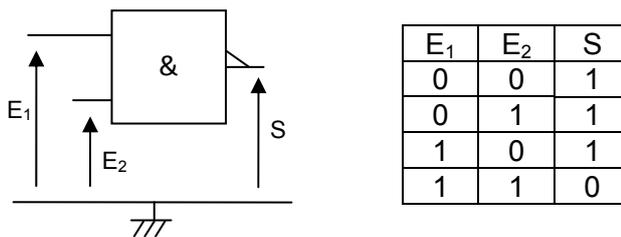


Figure 3

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 :



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 τ_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 τ_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 α_{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 :

$$U_{A2max} = U_{CC} = 9V, U_{A2min} = 0V$$

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

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

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.

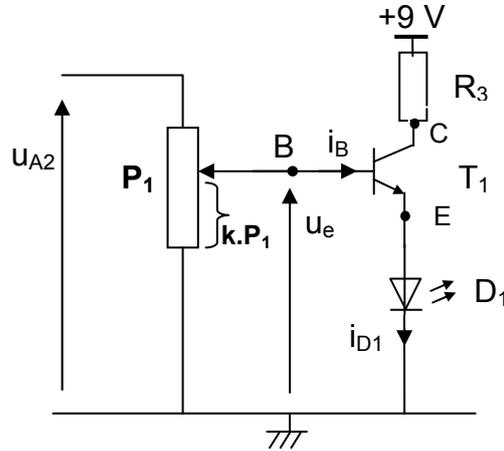


Figure 4

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 mA est de $1,5 \cdot 10^2 \Omega$.

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, $i_R = 0 \mu\text{A}$.**
- **Lorsque la photodiode reçoit la totalité du rayonnement infrarouge, $i_R = 100 \mu\text{A}$.**

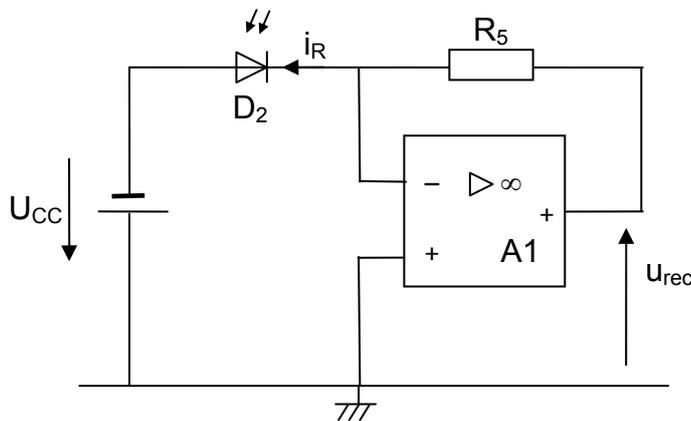


Figure 5

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

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

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

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

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

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 $u_{\text{rec}} = R_5 \cdot i_R$. 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 $90\mu\text{A}$.
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**.

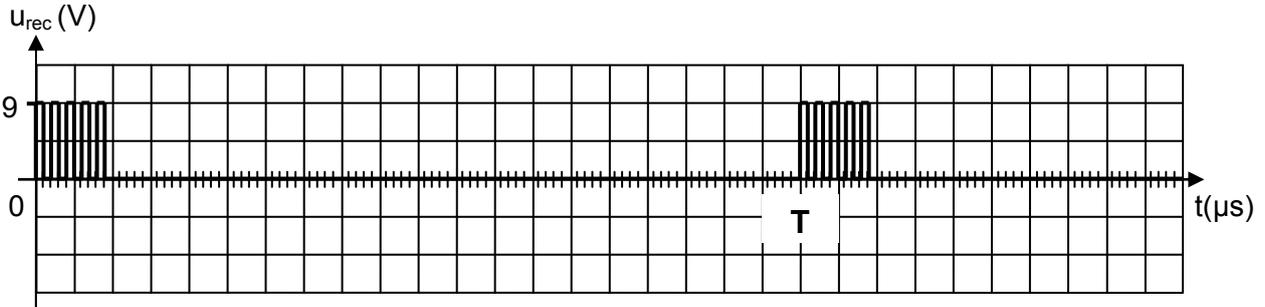


Figure 6

La période $T = 1 \text{ ms}$.

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

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

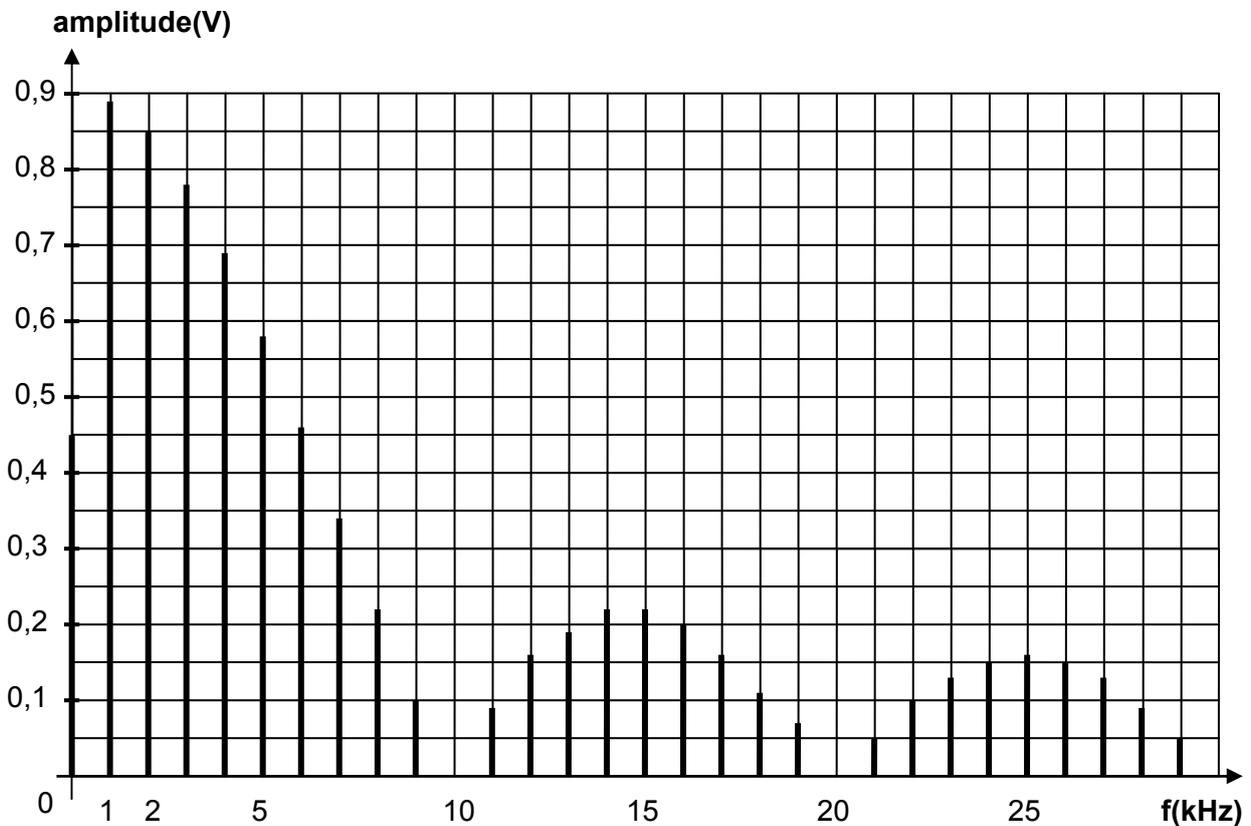


Figure 7

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**.

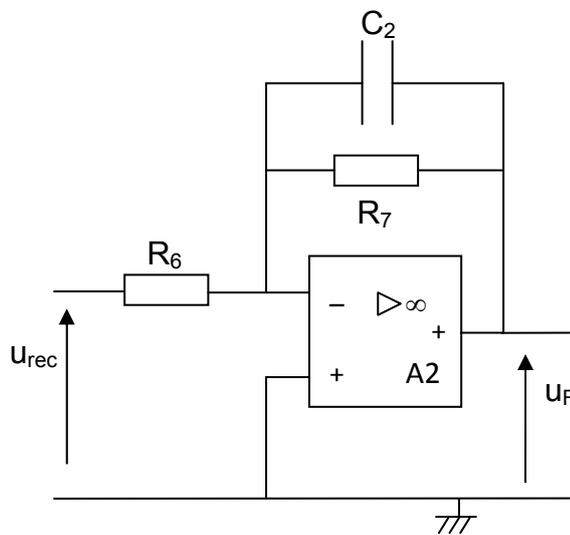


Figure 8

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_∞ tend G pour f tendant vers $+\infty$. En déduire T_∞ .
34. Quelle est la nature du filtre ?
35. Déterminer la fréquence de coupure à -3dB du filtre notée $f_{C-3\text{dB}}$ 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 $BP_{-3\text{dB}}$.
37. Comparer $f_{C-3\text{dB}}$ 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 :

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

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 $\langle u_{\text{rec}} \rangle$ la valeur moyenne de u_{rec} est transmise en sortie du filtre ?
40. Montrer que $u_F = -10 \cdot \langle u_{\text{rec}} \rangle$.
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.

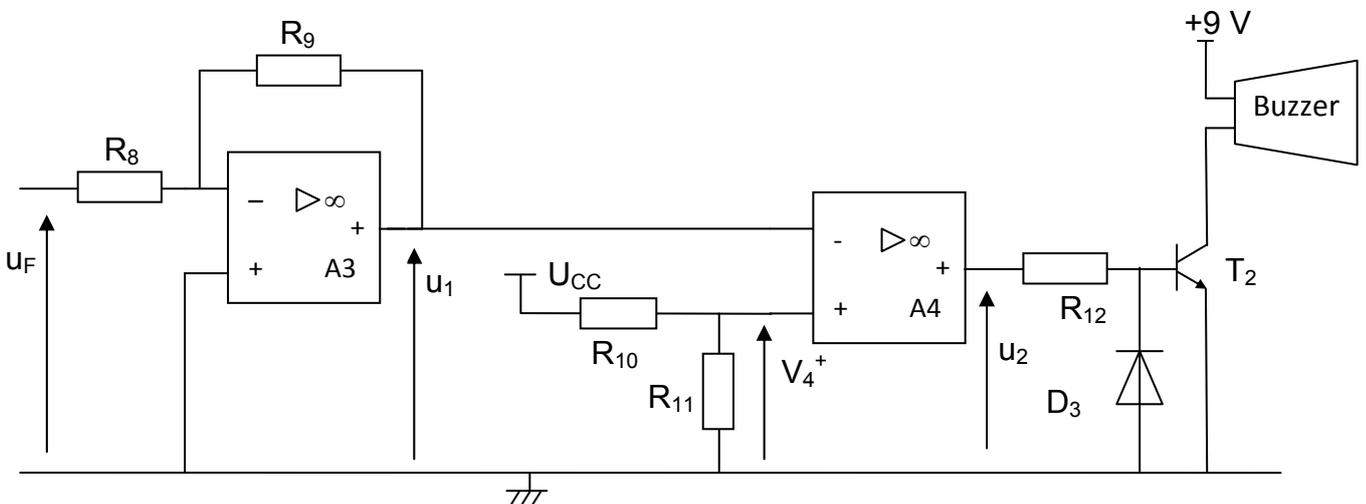


Figure 9

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

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

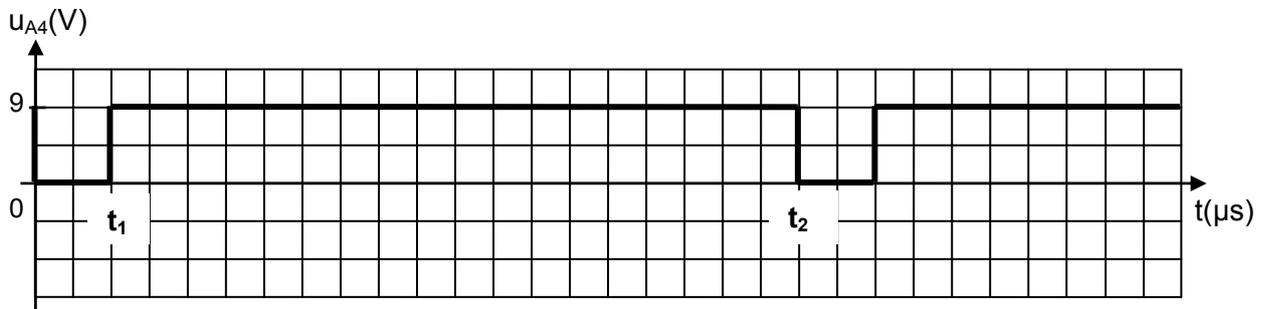
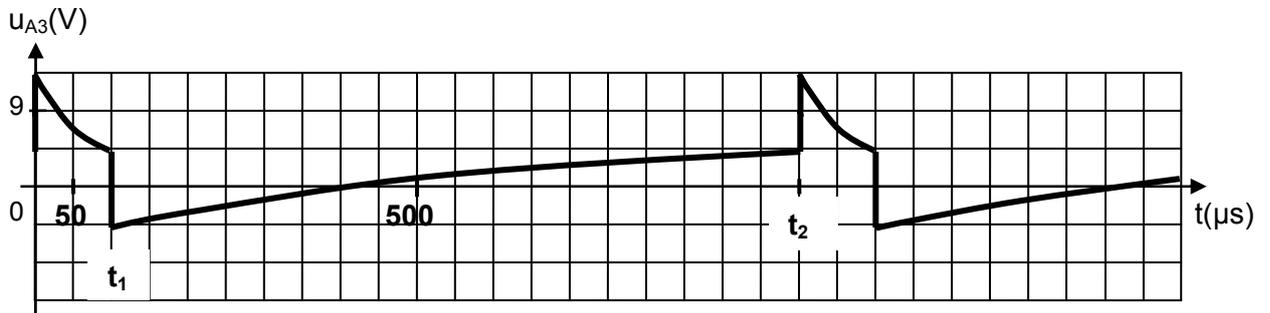
42. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A3 ? Justifier la réponse.
43. Déterminer l'expression de u_1 en fonction de u_F , R_8 et R_9 .
44. Calculer u_1 lorsque $u_F = -4,5\text{ V}$.
45. Quel est le régime de fonctionnement de l'amplificateur opérationnel A4 ? Justifier 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

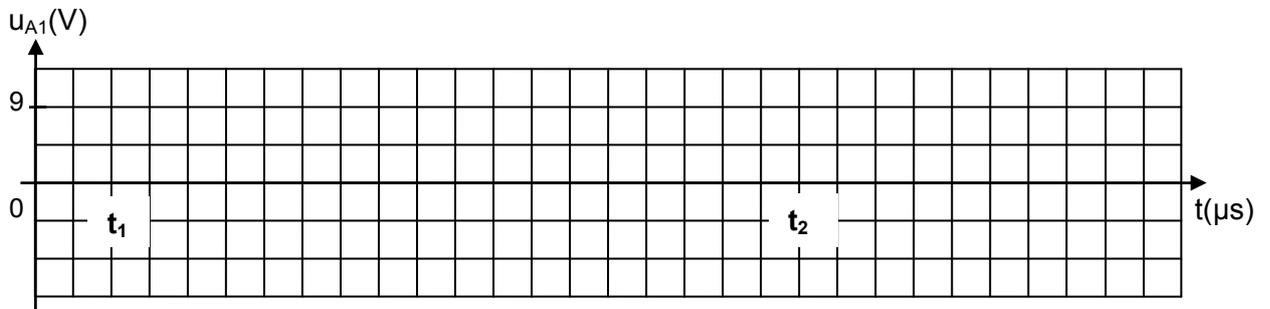
52. A partir des études précédentes (parties B1, B2 et B3), compléter le tableau de synthèse **du document réponse 5 page 16 (à rendre avec la copie)** pour les trois cas suivants :
 - absence de fumée, niveau de réception maximal,
 - présence de fumée, niveau de réception affaibli,
 - aucun rayonnement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

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

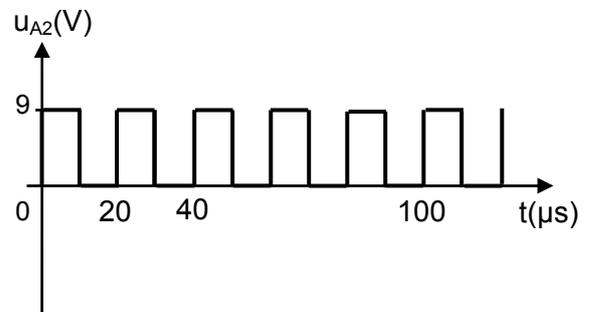
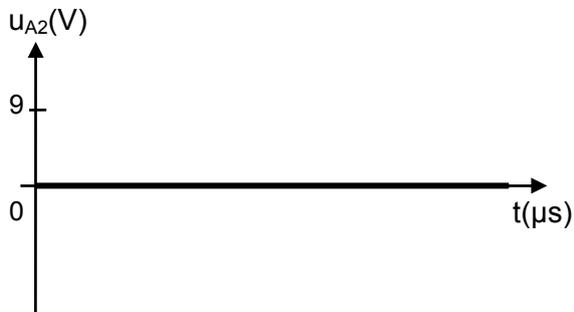
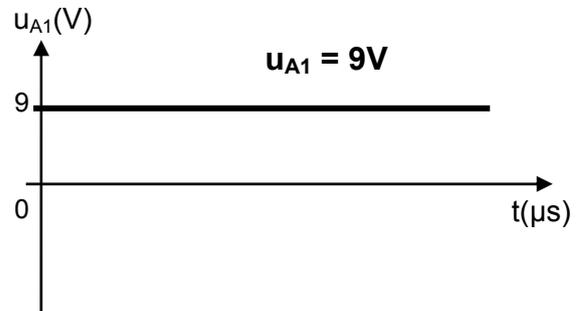
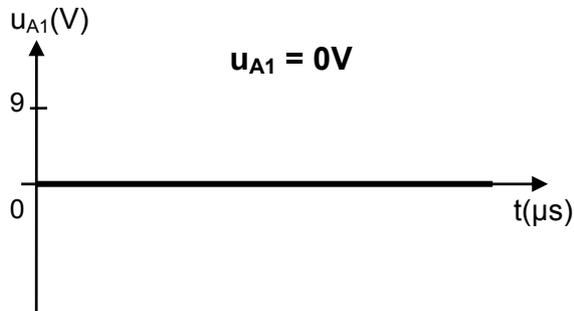
DOCUMENT REPONSE 1



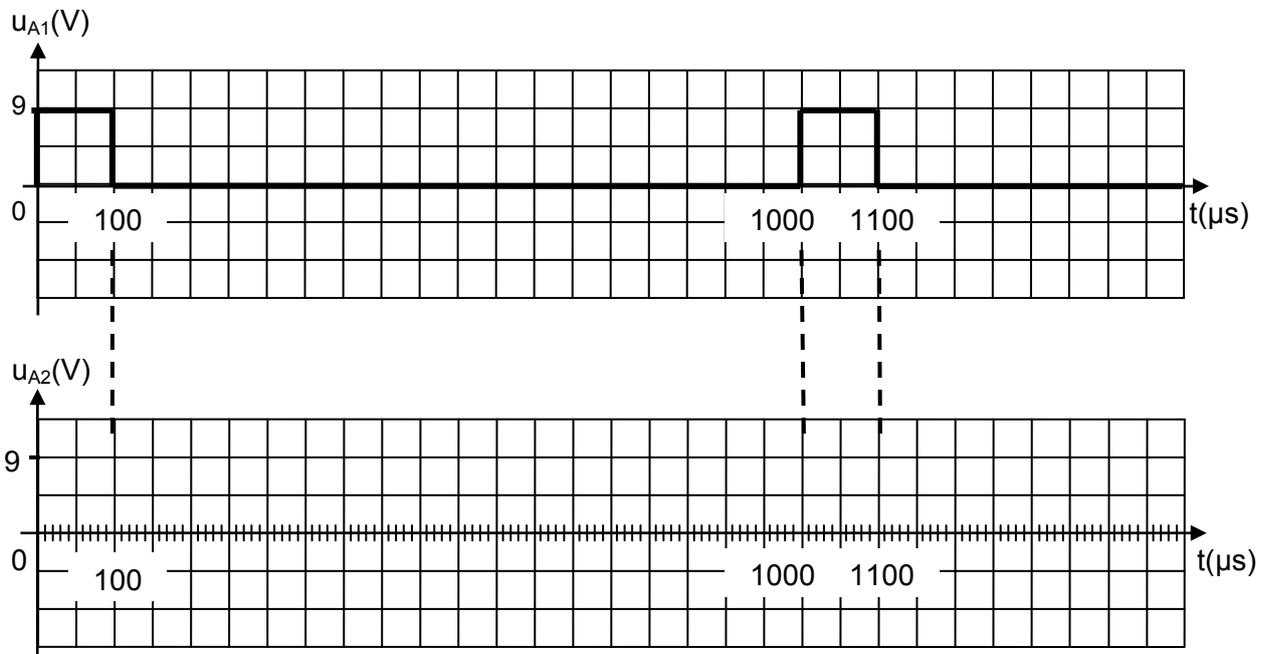
Question 13 :



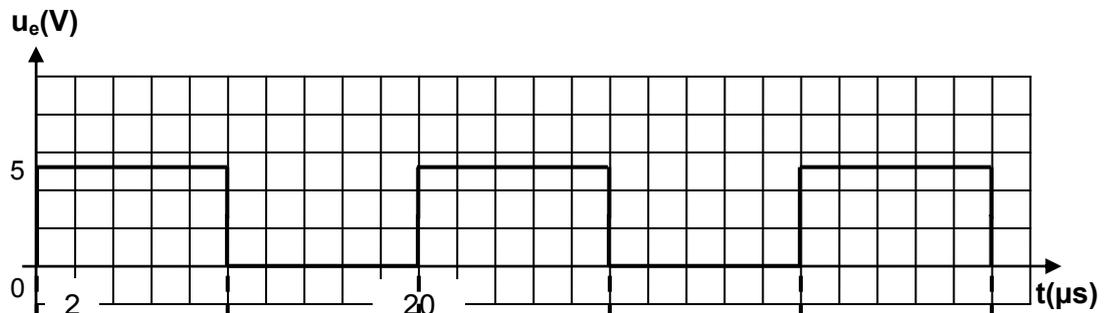
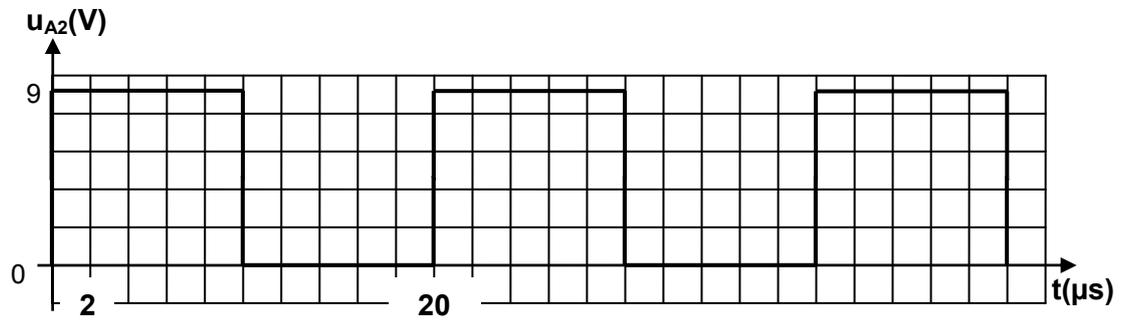
DOCUMENT REPONSE 2



Question 15 :



DOCUMENT REPONSE 3

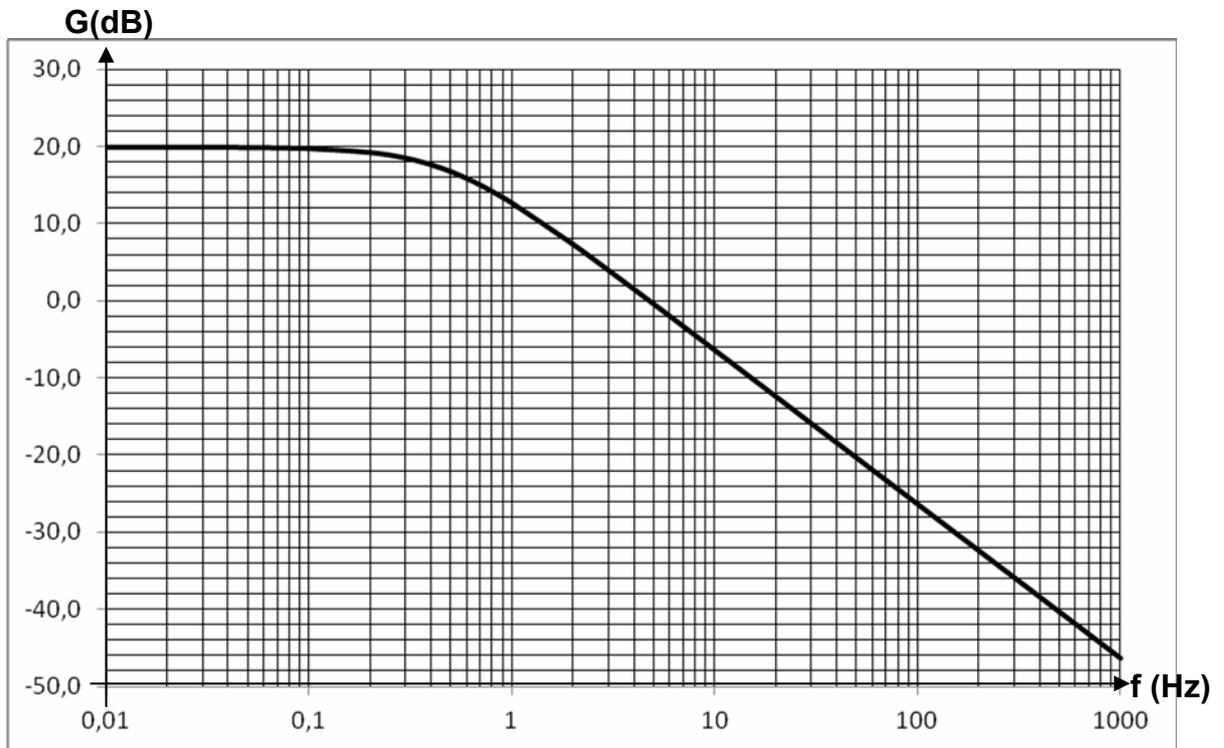


Question 19

Etat de T_1 bloqué ou saturé					
Etat de D_1 éteinte ou allumée					

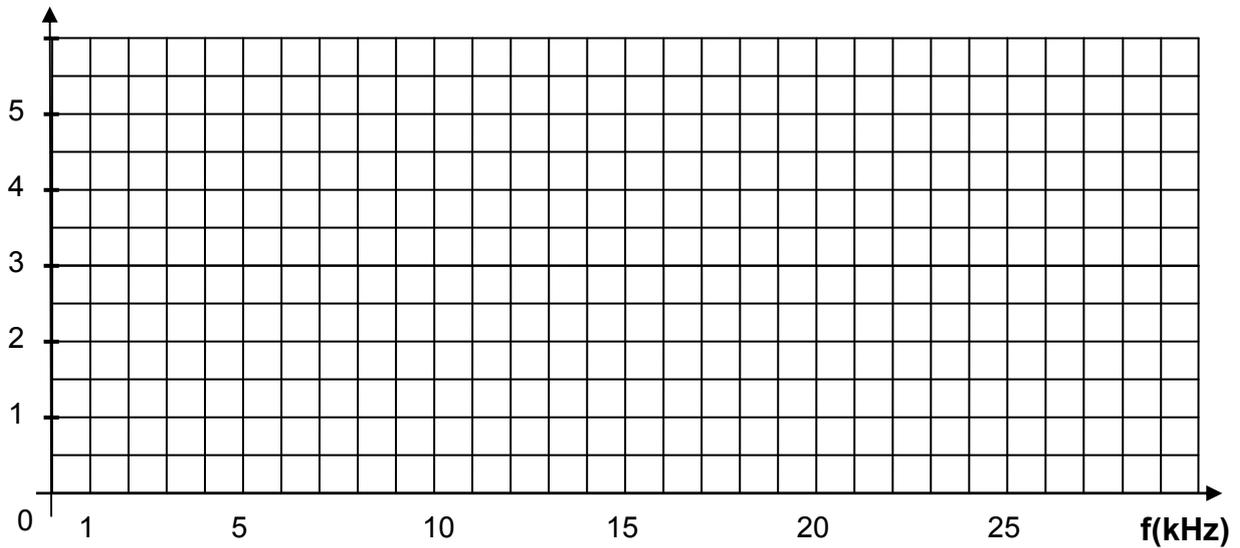
DOCUMENT REPONSE 4

Question 35 :

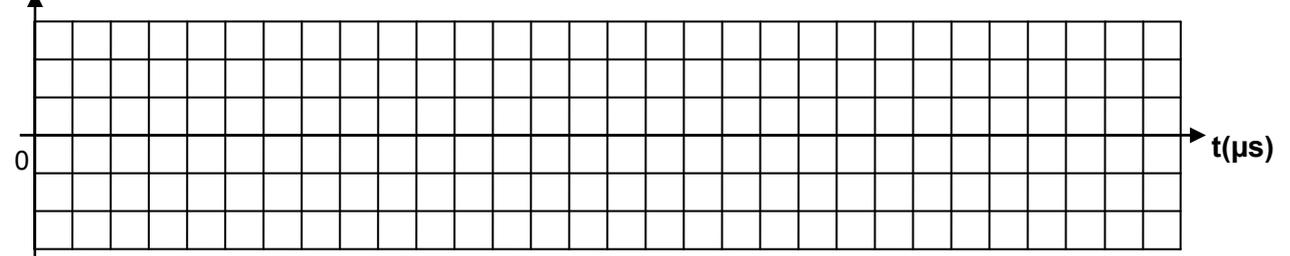


Question 41 :

amplitude(V)

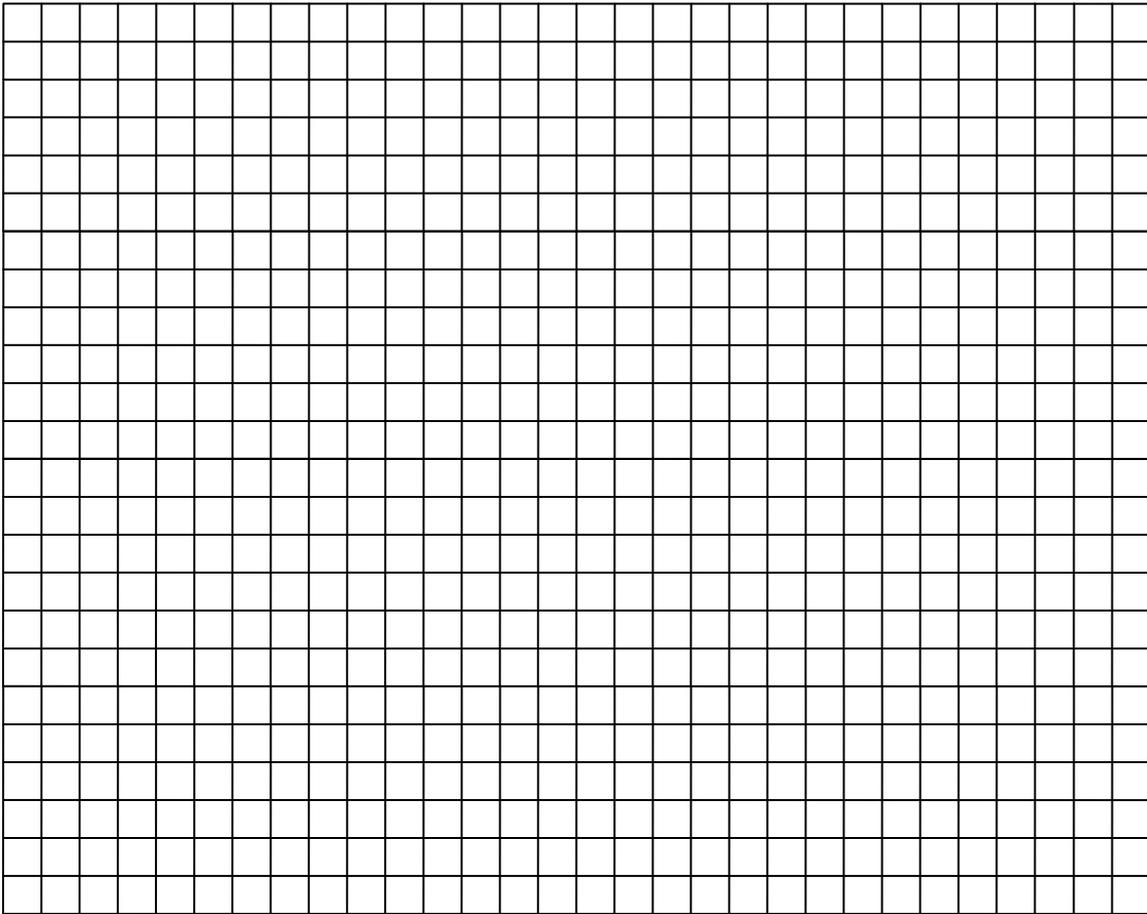


u_F (V)

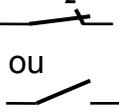


DOCUMENT REPONSE 5

Question 51 :



Question 52 :

Rayonnement	i_R (μA)	$U_{recmax} = R_5 \cdot i_R$ (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							