EXERCICE II – DÉTECTEUR DE FUMÉES (11 points)

Afin de prévenir des risques d'incendies, l'installation de détecteurs de fumées est obligatoire dans tous les logements depuis janvier 2016. Il existe différents types de détecteurs comme les détecteurs optiques ou les détecteurs ioniques.

Dans cet exercice, on étudiera ces deux types de détecteurs de fumées, puis on s'intéressera au choix de l'emplacement du détecteur dans le cadre de la protection des personnes.

1. Détecteur optique de fumées

Le principe de fonctionnement de ce détecteur de fumées (figure 1) repose sur le fait qu'une diode électroluminescente (ou DEL) produit en continu un rayonnement. Lorsqu'il rencontre des particules de fumées, le rayonnement est dévié dans toutes les directions. Un récepteur photosensible détecte alors le rayonnement et génère un courant électrique qui déclenche une alarme sonore avertissant les usagers de la présence de fumées.
La longueur d'onde du rayonnement émis par la DEL dépend du matériau utilisé pour sa fabrication. Pour produire un rayonnement infrarouge, on peut utiliser de l'arséniure de gallium (GaAs). Dans ce cas, l'énergie des photons émis est de l'ordre de 1,4 eV.

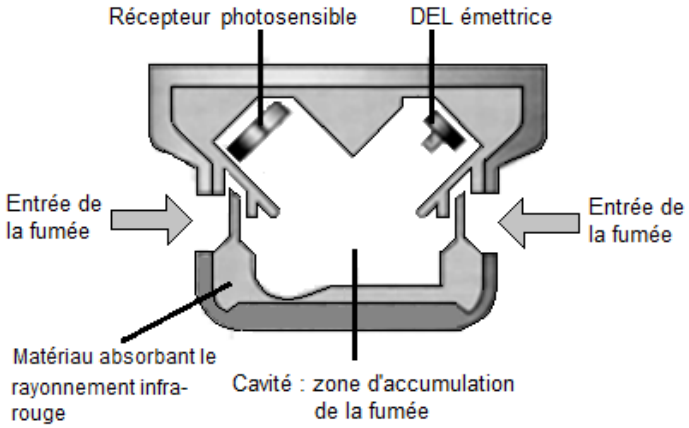


Figure 1. Schéma de principe d'un détecteur optique de fumées

D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat éditions Belin

Données :

- 1 électronvolt (eV) = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J ;
- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide est supposée connue du candidat.

1.1. Le récepteur photosensible ne détecte que les rayonnements appartenant au domaine de l'infrarouge. Vérifier que le rayonnement lumineux émis par la DEL utilisée dans le détecteur optique de fumées appartient bien à ce domaine.
1.2. On admet que les particules solides présentes dans la fumée ont une taille comprise 0,1 µm et 100 µm. Quel phénomène physique peut contribuer à la déviation du faisceau lumineux si des fumées sont présentes ? Justifier.
1.3. En présence de fumées, le rayonnement émis par la DEL est dévié dans toutes les directions. Expliquer brièvement pourquoi l'alarme ne se déclenche qu'en présence de fumées.

2. Détecteur ionique de fumées

Le principe de ce détecteur de fumées repose sur l'ionisation de l'air par des particules α. En l'absence de fumées, ces particules arrachent des électrons aux molécules de dioxygène et de diazote présentes dans la chambre à ionisation. Pour le dioxygène, l'ionisation nécessite un apport d'énergie de 12 eV par molécule.
Les ions et les électrons formés par l'ionisation de l'air sont soumis à un champ électrique uniforme entre deux plaques. Un courant électrique de faible intensité apparaît alors dans le circuit électrique (figure 2).

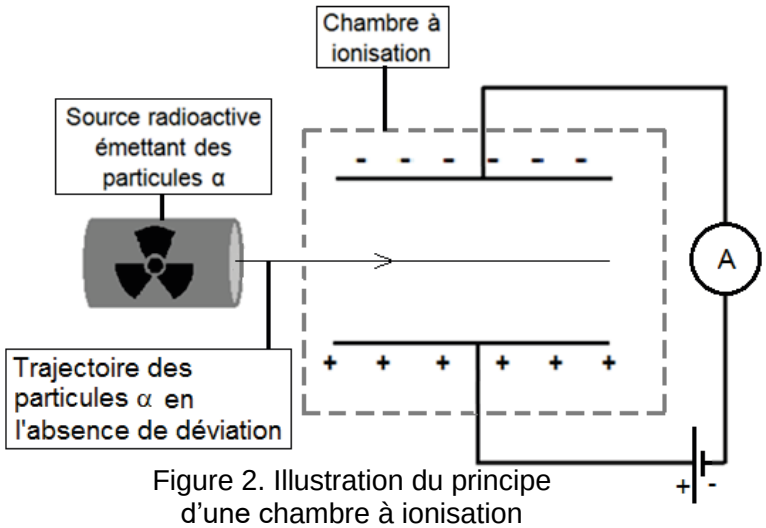


Figure 2. Illustration du principe d'une chambre à ionisation

Lorsque la fumée pénètre dans la chambre à ionisation, une partie des électrons et des ions issus de l'ionisation se fixe aux poussières de fumées. La baisse de l'intensité du courant électrique qui en résulte déclenche un avertisseur sonore.

D'après « La physique par les objets quotidiens », C. Ray et J-C Poizat, éditions Belin

Données :

- 1 électronvolt (eV) = $1{,}6 \times 10^{-19}$ J ;
- charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ;
- pour un condensateur plan, le champ électrostatique E est reliée à la tension U et à la distance d qui sépare les plaques par la relation : $E = \frac{U}{d}$;
- charge de la particule α : $q_\alpha = +2\,e$;
- masse d'une particule α : $m_\alpha = 6{,}64 \times 10^{-27}$ kg ;
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81$ m.s^{-2}.

On s'intéresse au mouvement d'une particule α arrivant dans la chambre à ionisation en l'absence de fumée. Cette particule arrive en un point O avec un vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ parallèle aux plaques C et D du condensateur plan (voir figure 3).

Une tension constante $U = 9{,}0$ V est appliquée entre les deux plaques C et D. La valeur de la vitesse initiale v_0 est égale à $1{,}6 \times 10^7$ m.s^{-1}.

On étudie le mouvement de la particule α dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
À l'instant $t = 0$, la particule α est au point O.

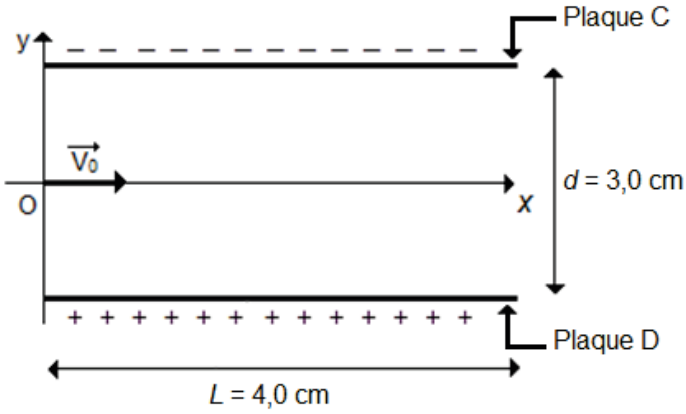


Figure 3. Schéma du condensateur plan de la chambre à ionisation

Lors de cette étude, on négligera les éventuelles collisions avec les molécules de l'air ainsi que la valeur du poids de la particule α devant la valeur de la force électrostatique $\overrightarrow{F_e}$ subie par cette particule.

2.1. Vérifier quantitativement que l'hypothèse concernant le poids de la particule α est justifiée.

2.2. Reproduire sur la copie le schéma de la figure 3 puis y représenter le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\overrightarrow{F_e}$ que subit la particule α au point O. Justifier.

2.3. Établir que les équations horaires du mouvement de la particule α sont : $\begin{cases} x(t) = v_0.t \\ y(t) = \left(\frac{e.U}{m_\alpha.d}\right).t^2 \end{cases}$.

2.4. Déterminer la valeur de la coordonnée y_L de la particule lorsqu'elle a parcouru une distance suivant l'axe O*x* égale à L = 4,0 cm. Expliquer pourquoi le mouvement de cette particule peut être considéré comme rectiligne dans la chambre d'ionisation.
2.5. Montrer que l'énergie cinétique initiale des particules α est suffisante pour ioniser des molécules de dioxygène.

3. Niveau d'intensité sonore du détecteur de fumées

Une personne endormie est réveillée par un bruit dont le niveau d'intensité sonore est supérieur à 75 dB.
Un particulier souhaite installer un détecteur de fumées au plafond de son appartement. Le niveau d'intensité sonore du détecteur est de 85 dB à 3 m. Le particulier se demande si l'emplacement prévu est judicieusement choisi.

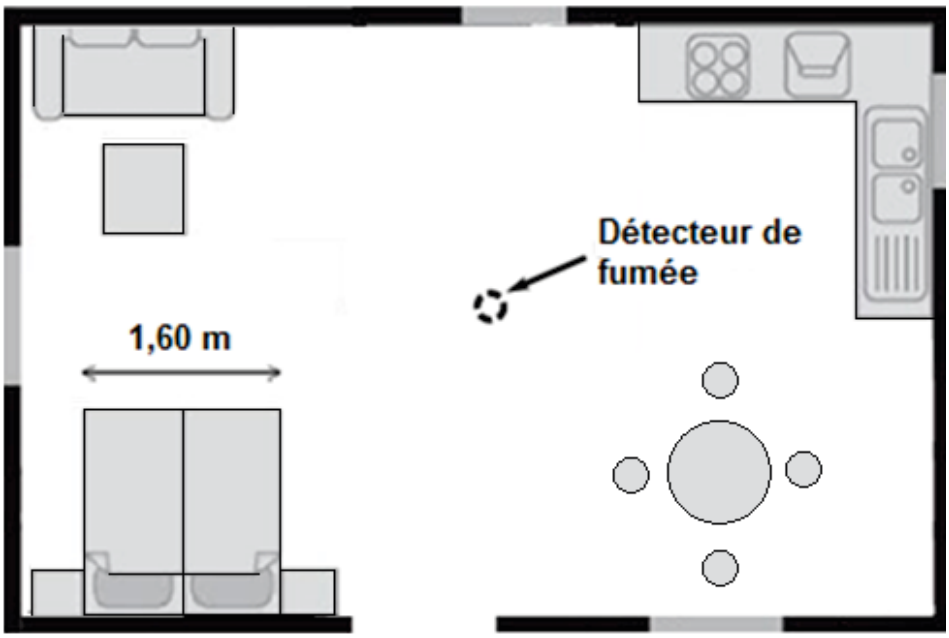
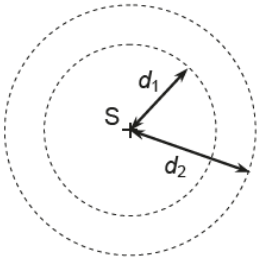


Figure 4. Plan de l'appartement à l'échelle

Donnée :

- au cours de la propagation d'une onde sonore et en l'absence d'atténuation, le niveau d'intensité sonore L diminue avec la distance d à la source S suivant la formule :

$$L_2 = L_1 + 20 \log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$$



où L_2 est le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_2 de la source et L_1 le niveau d'intensité sonore mesuré à la distance d_1 de la source (voir schéma ci-contre).

À l'aide du plan ci-dessus, schématisant la pièce, déterminer si l'emplacement du détecteur est satisfaisant pour réveiller une personne.
On précise que la hauteur sous plafond est de 2,5 m dans l'appartement du particulier.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Remarque : pour cette étude, on négligera les phénomènes de réflexion du son sur les parois de la pièce.