Bac 2026 Antilles Guyane Jour 2

Exercice 1 - Sécurité incendie (11 points)

Dans les établissements recevant du public, comme les supermarchés, les entrepôts ou encore les parkings souterrains, la sécurité incendie est une priorité. Il est donc essentiel de mettre en place des dispositifs de prévention et de protection des occupants et des biens.

Le but de cet exercice est d'étudier :
- une sirène d'alarme incendie, qui assure une alerte rapide des occupants ;
- un sprinkler, qui est un dispositif d'extinction automatique d'un incendie ;
- une lance à incendie, qui permet de maîtriser totalement le sinistre.

1. La sirène d'alarme incendie

L'installation de sirènes d'alarme incendie est obligatoire dans les établissements recevant du public.
En accord avec la norme NFS32-001, le signal sonore émis par une sirène est constitué :
- d'un son n° 1 de fréquence $f_1 = 544$ Hz, pendant 100 ms ;
- d'un son n° 2 de fréquence f_2, pendant 400 ms.

L'analyse du son n° 2 permet d'obtenir une représentation de l'évolution de son amplitude en fonction du temps, donnée sur la figure 1. On considère que ce signal est périodique.

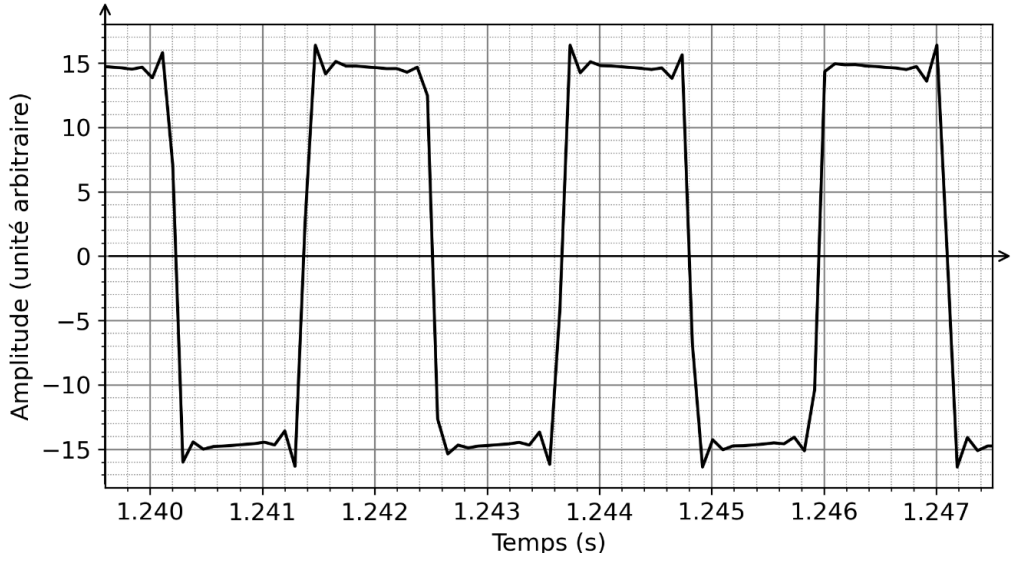


Figure 1. Évolution de l'amplitude du son n° 2 en fonction du temps

Q1. Déterminer la fréquence f_2 du son n° 2 et préciser si cette fréquence est associée à un son plus grave ou plus aigu que le son n° 1.

La figure 2 montre une partie du bâtiment étudié. Une sirène est fixée sur un mur et on mesure le niveau d'intensité sonore en deux points M et N, situés à une même distance $d = 5{,}0\ \mathrm{m}$ de la sirène, de part et d'autre d'une cloison non isolée.

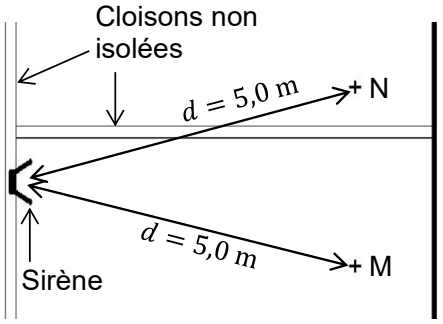


Figure 2. Schéma de la partie du bâtiment étudié

Les niveaux d'intensité sonore mesurés aux points M et N ont pour valeurs respectives $L_{\mathrm{M}} = 92\ \mathrm{dB}$ et $L_{\mathrm{N}} = 67\ \mathrm{dB}$.

Q2. Déterminer la valeur de l'atténuation par absorption du niveau d'intensité sonore entre les points M et N, notée A, en décibels.

Cette partie du bâtiment va bénéficier de travaux d'isolation phonique, comme indiqué sur la figure 3. Le son de la sirène se trouvera donc davantage atténué dans certaines salles. Il sera alors nécessaire de remplacer la sirène par une autre plus puissante afin que la valeur du niveau d'intensité sonore au point N, notée L'_{N}, soit la même qu'avant les travaux : $L'_{\mathrm{N}} = L_{\mathrm{N}} = 67\ \mathrm{dB}$. Le son émis par la nouvelle sirène devra alors avoir un niveau d'intensité sonore $L'_{\mathrm{M}} = 104\ \mathrm{dB}$ au point M.

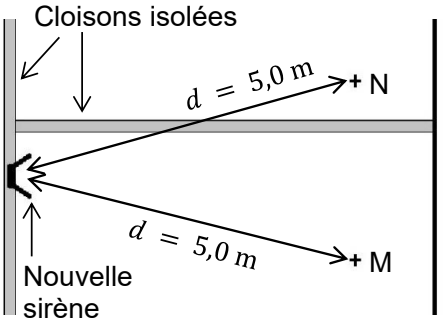


Figure 3. Schéma de la partie du bâtiment étudié
avec l'isolation phonique et la nouvelle sirène

D'après la norme NFS32-001, les sirènes sont réparties par classe, selon leur niveau d'intensité sonore mesuré à $2{,}0$ mètres, comme indiqué sur le tableau de la figure 4.

Classe de la sirène	A	B	C	D
Niveau d'intensité sonore mesuré à $2{,}0\ \mathrm{m}$	$< 90\ \mathrm{dB}$	de $90\ \mathrm{dB}$ à $105\ \mathrm{dB}$	de $105\ \mathrm{dB}$ à $115\ \mathrm{dB}$	$> 115\ \mathrm{dB}$

Figure 4. Niveau d'intensité sonore du son émis par une sirène selon sa classe

Donnée

Niveaux d'intensité sonore : $L_2 = L_1 - 20 \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$.

- L_1 : niveau d'intensité sonore, en dB, à la distance d_1, en m, de la source ;
- L_2 : niveau d'intensité sonore, en dB, à la distance d_2, en m, de la source.

Q3. Calculer la valeur du niveau d'intensité sonore, noté L, mesuré à $2{,}0\ \mathrm{m}$, du son émis par la sirène à installer, puis déterminer sa classe.

2. Le sprinkler, un dispositif d'extinction automatique

Un sprinkler est un système fixe d'extinction automatique à eau. Il est constitué d'une ampoule qui obstrue la sortie d'eau d'une canalisation, comme l'indique la photographie de la figure 5.

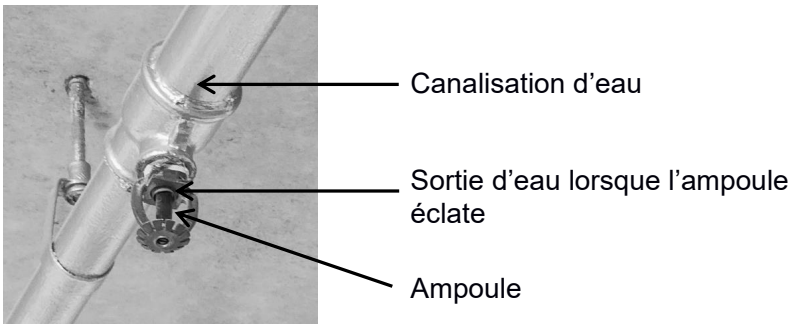


Figure 5. Photographie d'un sprinkler

Lors d'un incendie, l'augmentation de la température provoque la dilatation de l'ampoule puis sa rupture, déclenchant ainsi la projection de l'eau sur la zone à protéger.

Le but de cette partie est de déterminer la durée nécessaire pour qu'un sprinkler se déclenche après que l'incendie s'est déclaré. Cette durée est liée aux conditions ambiantes présentes lors de l'incendie et aux caractéristiques propres du sprinkler. Parmi ces dernières, deux sont essentielles :

- la température de rupture de l'ampoule ;
- l'indice de temps de réponse, noté R_{TI} (Response Time Index) : plus il est faible, plus l'ampoule du sprinkler se rompt rapidement lors d'un départ de feu.

Afin de déterminer l'indice de temps de réponse R_{TI} du sprinkler étudié, on réalise au laboratoire l'expérience suivante :

- on mesure la valeur de la température initiale θ_0 du sprinkler, à l'aide d'un thermomètre infrarouge : $\theta_0 = 22°\ \mathrm{C}$;
- on place le sprinkler dans un courant d'air chaud de température $\theta_{\mathrm{ext}} = 54°\ \mathrm{C}$ et de vitesse $v = 5{,}0\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$ et on déclenche simultanément un chronomètre ;
- on relève la température θ de l'ampoule du sprinkler toutes les 5 secondes, à l'aide d'un thermomètre infrarouge pour tracer la courbe de la figure 6.

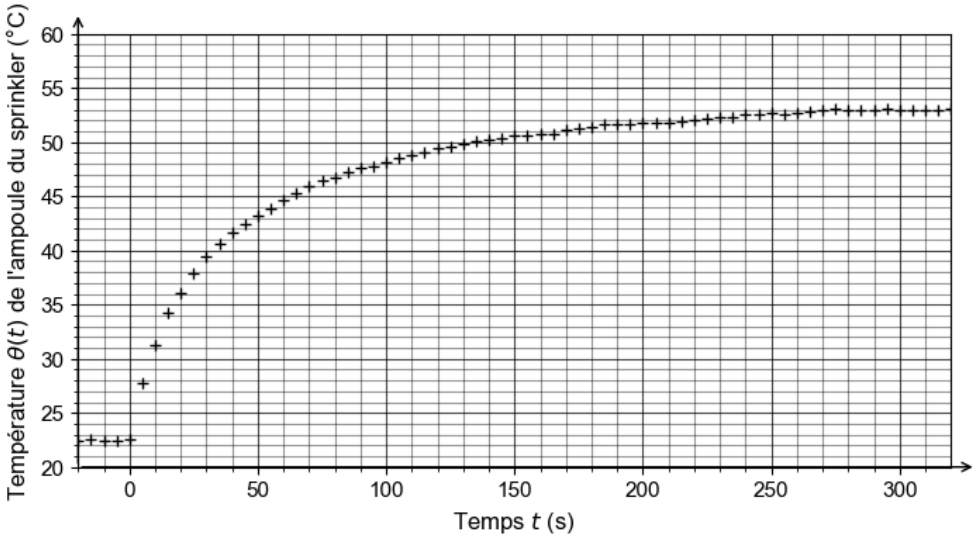


Figure 6. Évolution de la température θ de l'ampoule du sprinkler au cours du temps (Mesures réalisées au laboratoire)

Q4. Indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique entre l'ampoule du sprinkler et l'air extérieur dans l'expérience réalisée au laboratoire. Justifier.

L'ampoule du sprinkler à la température $\theta(t)$ (en °C) échange de l'énergie par transfert thermique avec l'air extérieur à la température θ_{ext} (en °C). Ce transfert thermique est modélisé par la loi phénoménologique de Newton :

$$\phi = \epsilon \cdot S \cdot \sqrt{v} \cdot (\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$$

- ϕ est le flux thermique entre l'air extérieur et l'ampoule en watt (W) ;
- ϵ est une constante en $\text{W}\cdot\text{m}^{-5/2}\cdot\text{s}^{1/2}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- v est la vitesse de l'air en mètre par seconde $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$;
- S la surface extérieure de l'ampoule en mètre carré (m^2).

La variation d'énergie interne ΔU (en J) de l'ampoule de capacité thermique C (en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$) qui subit une variation de température $\Delta\theta$ (en °C) est donnée par la relation : $\Delta U = C \cdot \Delta\theta$.

On négligera les autres transferts d'énergie entre l'ampoule et l'extérieur.

Q5. En appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'ampoule pendant une durée Δt, montrer que :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\epsilon \cdot S \cdot \sqrt{v}}{C} \cdot (\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$$

La relation précédente conduit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{\text{d}\theta(t)}{\text{d}t} = -\frac{1}{\tau}\theta(t) + \frac{\theta_{\text{ext}}}{\tau} \text{ , avec } \tau = \frac{C}{\epsilon \cdot S \cdot \sqrt{v}} .$$

Q6. Résoudre l'équation différentielle pour établir que l'expression de la température $\theta(t)$ de l'ampoule en fonction du temps est :

$$\theta(t) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})\ \text{e}^{-\frac{\text{t}}{\tau}}$$

On suppose que la température initiale de l'ampoule est $\theta_0 = 22°\,\mathrm{C}$ et qu'elle est placée dans un courant d'air chaud de température $\theta_{\mathrm{ext}} = 54°\,\mathrm{C}$.

Q7. À la date $t = \tau$, calculer la valeur $\theta(\tau)$ de la température de l'ampoule.

Q8. En déduire, à partir d'une lecture graphique sur la courbe de la figure 6, la valeur du temps caractéristique τ.

Le temps caractéristique τ (en s) est propre à l'expérience réalisée au laboratoire. Il permet de déterminer l'indice de temps de réponse du sprinkler, noté R_{TI} (en $\mathrm{m^{1/2}{\cdot}s^{1/2}}$). Ces deux grandeurs sont liées entre elles par la relation :

$$\tau = \frac{R_{\mathrm{TI}}}{\sqrt{v}}$$

où v est la vitesse du courant d'air chaud, exprimée en $\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$. Dans l'expérience réalisée au laboratoire, on rappelle que $v = 5{,}0\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$.

Q9. Calculer la valeur de l'indice de temps de réponse R_{TI} du sprinkler étudié.

Le sprinkler étudié est installé dans un entrepôt à la température de $15°\,\mathrm{C}$. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- température de rupture : $\theta_{\mathrm{rupt}} = 68°\,\mathrm{C}$;
- indice de temps de réponse : $R_{\mathrm{TI}} = 90\ \mathrm{m^{1/2}{\cdot}s^{1/2}}$.

Quelques dizaines de secondes après le début d'un violent incendie, des fumées à la température de $200\ °\mathrm{C}$ s'écoulent autour du sprinkler à la vitesse $v_{\mathrm{fumée}} = 3{,}0\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$.

Q10. En utilisant la solution $\theta(t) = \theta_{\mathrm{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\mathrm{ext}}){\cdot}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$ de l'équation différentielle, déterminer l'expression de la durée nécessaire, notée t_{rupt}, pour que le sprinkler se déclenche à partir du moment où les fumées arrivent à son contact. On exprimera t_{rupt} en fonction de θ_{rupt}, θ_0, θ_{ext} et τ. Calculer la valeur de t_{rupt}.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter correctement sa démarche, même non aboutie, car elle sera évaluée.

3. La lance à incendie

Le but de cette partie est d'étudier la portée d'une lance à incendie dont les caractéristiques principales sont données dans la documentation présentée figure 7.

Débit volumique maximal	$500\ \mathrm{L{\cdot}min^{-1}}$ (réglable par bague tournante)
Portée maximale	$40\ \mathrm{m}$ pour une pression d'entrée de $8\ \mathrm{bar}$
Masse	$1{,}9\ \mathrm{kg}$
Matériaux	aluminium anodisé, nylon, caoutchouc

Figure 7. Caractéristiques de la lance à mains EFE-EUROJET-500 (d'après *https://www.motopompe-incendie.com)*

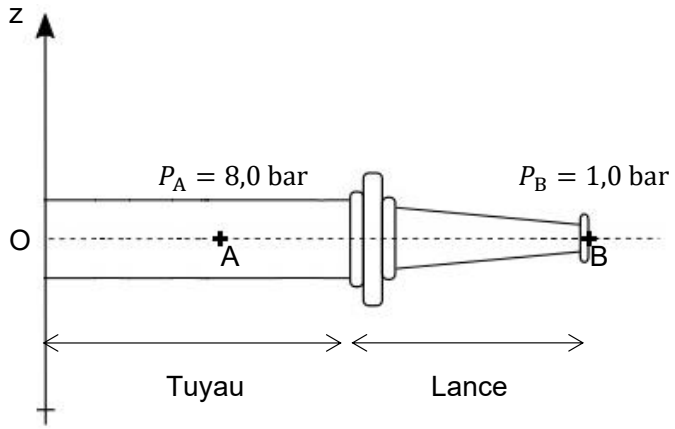


Figure 8. Schéma de la lance à incendie montée à l'extrémité du tuyau

Données

- le débit volumique d'écoulement d'un fluide dans un tube, noté D_V, exprimé en $m^3 \cdot s^{-1}$, est lié à la vitesse du fluide, notée v, exprimée en $m \cdot s^{-1}$, et à la section, notée S, exprimée en m^2, du tube d'écoulement par la relation $D_V = S \cdot v$;
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$;
- la lance à incendie est fixée à l'extrémité d'un tuyau cylindrique de 45 mm de diamètre et dont la section au point A (figure 8) vaut : $S_A = 1{,}6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$;
- lors de l'écoulement permanent et incompressible d'un fluide, la relation de Bernoulli sur une ligne de courant entre deux points A et B s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho \cdot v_B^2 + \rho \cdot g \cdot z_B + P_B.$$

  z_A et z_B sont les altitudes (en m) respectivement aux points A et B,
  v_A et v_B sont les vitesses (en $m \cdot s^{-1}$) respectivement aux points A et B,
  P_A et P_B sont les pressions (en Pa) respectivement aux points A et B,
  ρ est la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$,
  g est l'intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Q11. En utilisant l'expression du débit volumique, montrer que la valeur de la vitesse de l'eau dans le tuyau au point A est $v_A = 5{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, lorsque le débit volumique de la lance est maximal.

Q12. En utilisant la relation de Bernoulli et les valeurs des pressions données figure 8, montrer que la valeur de la vitesse de l'eau à la sortie de la lance au point B est $v_B = 38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

On étudie le mouvement du centre de masse M d'une goutte d'eau de masse m dans le référentiel terrestre supposé galiléen, muni d'un repère (O, $\vec{\imath}$, $\vec{k}$) où $\vec{\imath}$ est un vecteur unitaire horizontal orienté vers la droite et $\vec{k}$ un vecteur unitaire vertical orienté vers le haut, comme l'indique le schéma de la figure 9. On suppose que la trajectoire de cette goutte est la même que celle du jet d'eau.

Le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_{\mathrm{B}}$ de la goutte d'eau forme un angle α avec l'horizontale.

Lorsque la lance est inclinée, les points A et B ne sont plus à la même altitude : on ne tient pas compte de cet effet et on considère que la vitesse de l'eau au point B vaut $v_{\mathrm{B}} = 38\ \mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$ quelle que soit l'inclinaison de la lance.
L'extrémité B de la lance est maintenue à une hauteur $z_{\mathrm{B}} = 1{,}30\ \mathrm{m}$ au-dessus du sol.

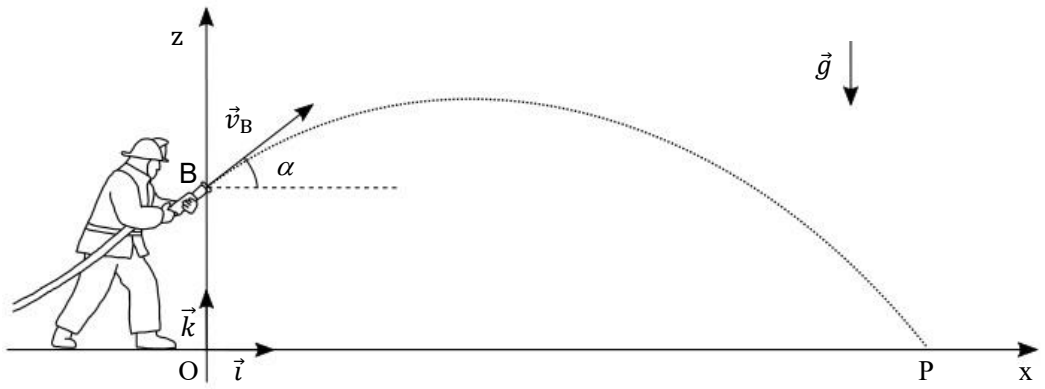


Figure 9. Schéma de la situation

Données
- à la date $t = 0\ \mathrm{s}$, le centre de masse M de la goutte d'eau est situé au point B ;
- on néglige les frottements de l'air sur la goutte d'eau.

Q13. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_z(t)$ du vecteur accélération $\vec{a}$ du point M.

Q14. Montrer que les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du centre de masse M au cours de son mouvement sont :

$$x(t) = v_{\mathrm{B}}{\cdot}\cos(\alpha){\cdot}t$$
$$z(t) = -\frac{1}{2}g{\cdot}t^2 + v_{\mathrm{B}}{\cdot}\sin(\alpha){\cdot}t + z_{\mathrm{B}}$$

On en déduit l'équation de la trajectoire du point M :

$$z(x) = -\frac{g}{2\,v_{\mathrm{B}}^2{\cdot}\cos^2(\alpha)}x^2 + \tan(\alpha)\cdot x + z_{\mathrm{B}}$$

La portée correspond à la distance OP sur le schéma de la figure 9. Elle dépend de la valeur de l'angle α. On admettra que, dans la situation étudiée, la portée est maximale pour un angle $\alpha = 44{,}7°$.

L'équation de la trajectoire s'écrit alors $z(x) = -6{,}72 \times 10^{-3}x^2 + 0{,}990x + 1{,}30$.

Q15. Déterminer la valeur de la portée maximale, notée x_{max}. Interpréter l'écart observé avec la valeur fournie dans la documentation donnée dans la figure 7.