Bac Général Physique-Chimie + SVT (Physique-chimie et Sciences de la vie et de la Terre)

SUJET D'EXAMEN (SESSION OFFICIELLE)

Physique-chimie - Session 2026

Sujet de l'examen national tel que publié pour la session indiquée. Source : sujets nationaux publiés par le ministère chargé de l'examen et les services académiques. Document mis à disposition par FormaV pour la révision.

Toutes les annales et leurs corrigés : https://bac-physique-svt.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

2026

PHYSIQUE-CHIMIE

SUJET

Mercredi 17 juin 2026

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1/15 à 15/15.

Les annexes page 15 sont à rendre avec la copie.

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 $f_1 = 544\ \text{Hz}$, pendant $100\ \text{ms}$;
- d'un son n° 2 de fréquence f_2, pendant $400\ \text{ms}$.

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.

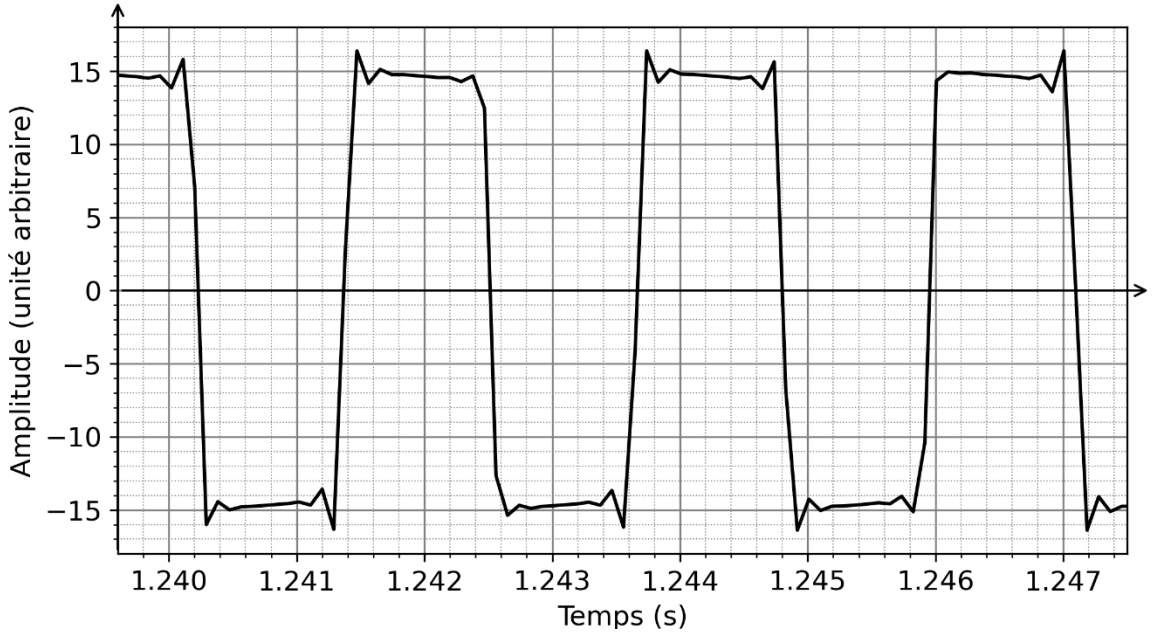


Figure 1. Évolution de l'amplitude du son n° 2 en fonction du temps

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.

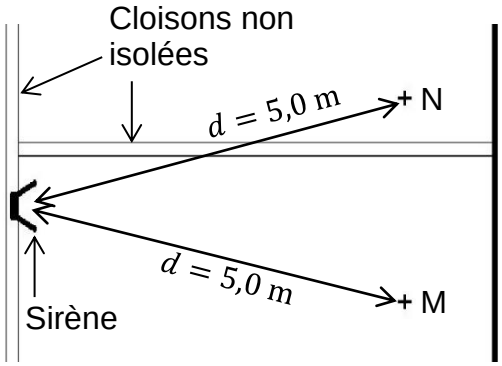


Figure 2. Schéma de la partie du bâtiment étudié

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.

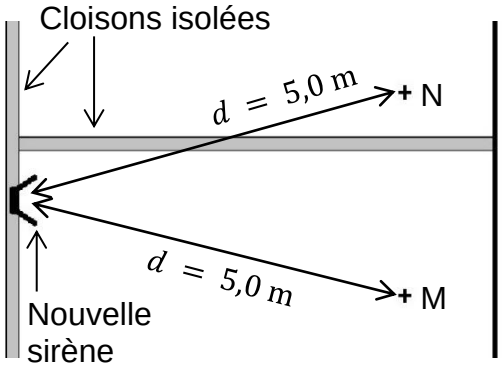


Figure 3. Schéma de la partie du bâtiment étudié
avec l'isolation phonique et la nouvelle sirène

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.

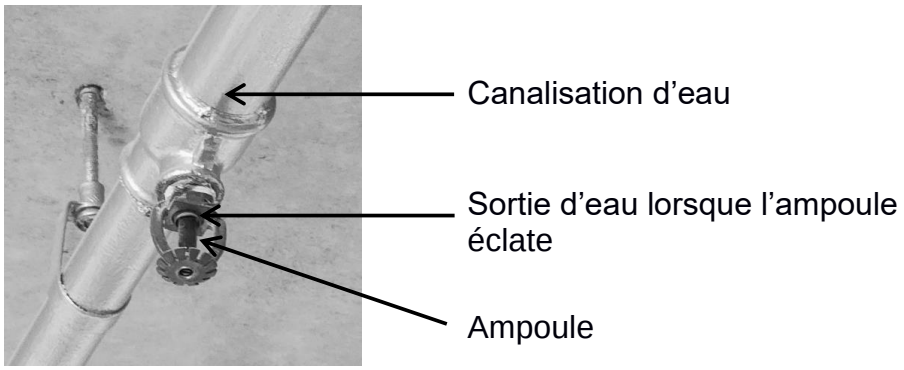


Figure 5. Photographie d'un sprinkler

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.

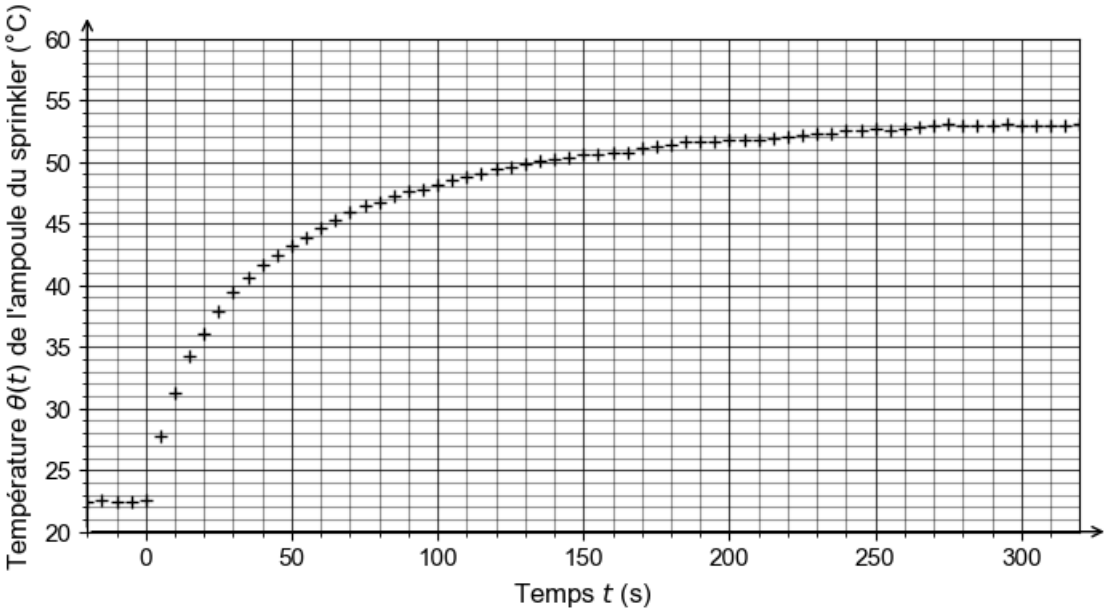


Figure 6. Évolution de la température θ de l'ampoule du sprinkler au cours du temps (Mesures réalisées au laboratoire)

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)*

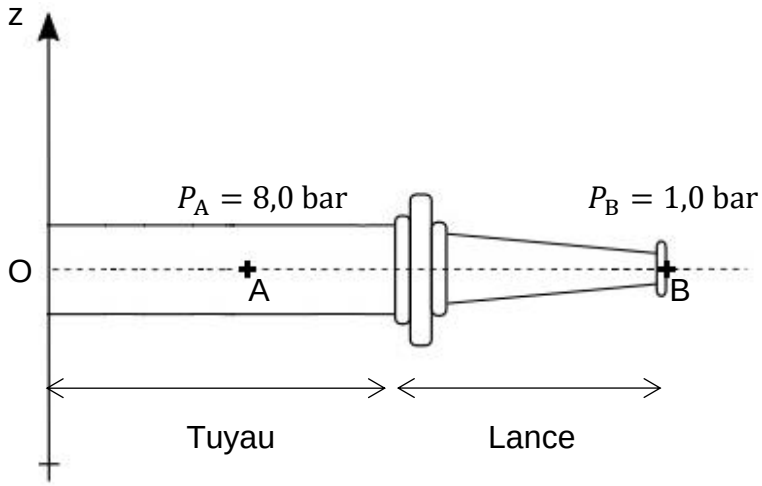


Figure 8. Schéma de la lance à incendie montée à l'extrémité du tuyau

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.

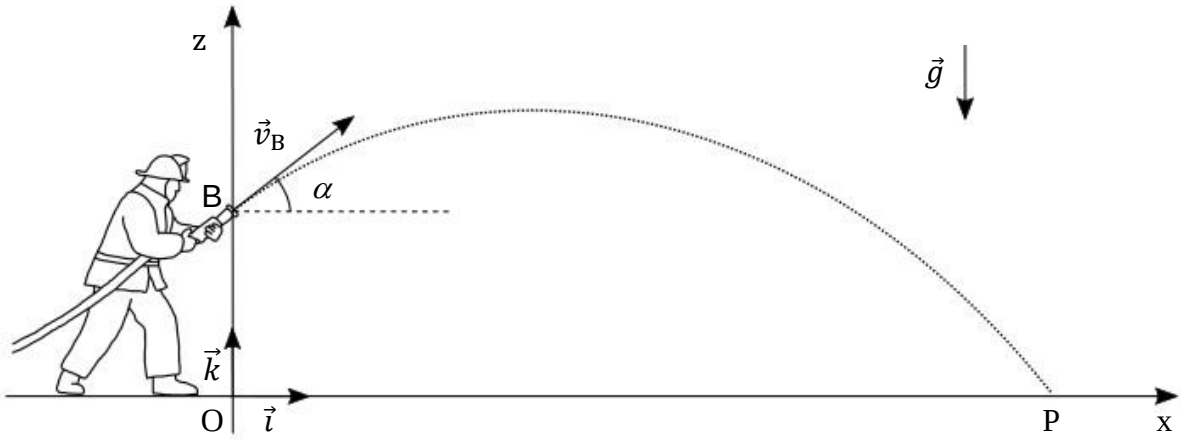


Figure 9. Schéma de la situation

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.

Exercice 2 - Le paracétamol (5 points)



Le paracétamol a été synthétisé pour la première fois par Harmon Northrop Morse en 1878.
D'après une étude de l'Assurance Maladie, entre juin 2023 et juin 2024, les deux médicaments les plus consommés en France ont pour principe actif le paracétamol. Utilisé pour diminuer les douleurs d'intensité légère à modérée (antalgique) ou faire chuter la fièvre (antipyrétique), le paracétamol peut être conditionné sous diverses formes : comprimés, poudre en sachets, etc.

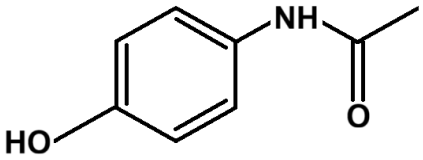
Le but de cet exercice est de contrôler la teneur de ce principe actif dans un sachet, puis d'étudier la cinétique de sa disparition dans l'organisme.

Données

- masse molaire du paracétamol : $M(\mathrm{C_8H_9NO_2}) = 151\ \mathrm{g{\cdot}mol^{-1}}$;
- conductivités ioniques molaires λ de quelques ions à 25° C :

Ion	$\mathrm{Na^+}$	$\mathrm{OH^-}$	$\mathrm{C_8H_8NO_2}^-$
λ ($\mathrm{S{\cdot}m^2{\cdot}mol^{-1}}$)	$5{,}01\times10^{-3}$	$19{,}8\times10^{-3}$	$1{,}7\times10^{-3}$

- formule topologique du paracétamol :



1. Contrôle de la teneur en principe actif

Q1. Écrire la formule semi-développée du paracétamol, puis entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

On souhaite contrôler la teneur en paracétamol dans un sachet dont la notice indique qu'il contient $500\ \mathrm{mg}$ de paracétamol. On réalise pour cela un titrage avec suivi conductimétrique :

- on dissout le contenu d'un sachet de paracétamol, de formule chimique brute $\mathrm{C_8H_9NO_2}$, dans un grand volume d'eau distillée ;
- on titre la solution obtenue par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ($\mathrm{Na^+(aq)+OH^-(aq)}$) dont la concentration en quantité de matière apportée, notée C, a pour valeur $C = 0{,}250\ \mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

La transformation chimique mise en jeu lors du titrage peut être modélisée par la réaction d'équation :

$$\mathrm{C_8H_9NO_2(aq) + OH^-(aq) \rightarrow C_8H_8NO_2{}^-(aq) + H_2O(\ell)}$$

L'évolution de la conductivité σ de la solution en fonction du volume V de solution d'hydroxyde de sodium versé est donnée dans l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q2. À l'aide des données sur les conductivités ioniques molaires et en négligeant l'effet de la dilution lors de l'ajout de la solution titrante, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe au cours du titrage, avant et après l'équivalence.

Q3. En faisant figurer la construction graphique sur la courbe de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, vérifier que la quantité de matière n_{p} de paracétamol contenu dans le sachet vaut $n_{\mathrm{p}} = 3{,}43\times10^{-3}\ \mathrm{mol}$.

L'incertitude-type $u(m)$ associée à la valeur de la masse m de paracétamol est donnée par la relation :

$$u(m) = m\cdot\sqrt{\left(\frac{u(C)}{C}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\mathrm{E}})}{V_{\mathrm{E}}}\right)^2}$$

- $u(C)$ est l'incertitude-type de la concentration C en quantité de matière d'hydroxyde de sodium apportée ; $u(C) = 0{,}010\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$;
- $u(V_{\mathrm{E}})$ est l'incertitude-type du volume de solution titrante versée pour atteindre l'équivalence ; $u(V_{\mathrm{E}}) = 0{,}29\ \mathrm{mL}$.

Q4. Déterminer la valeur de la masse de paracétamol, notée m_{mes}, contenue dans le sachet et son incertitude-type associée, notée $u(m_{\mathrm{mes}})$. Écrire le résultat de la mesure avec un nombre adapté de chiffres significatifs. On exprimera le résultat en milligramme.

Le quotient $z = \frac{|m_{\mathrm{mes}} - m_{\mathrm{ref}}|}{u(m_{\mathrm{mes}})}$ permet de comparer la valeur mesurée expérimentalement, notée m_{mes}, à la valeur de référence, notée m_{ref}. Si le quotient z est supérieur à 2, on considère que la valeur mesurée n'est pas compatible avec la valeur de référence.

Q5. Discuter de la compatibilité entre la valeur de la masse de paracétamol mesurée, notée m_{mes}, et la valeur de référence, notée m_{ref}, indiquée sur la notice du médicament.

2. Étude cinétique

L'efficacité du paracétamol dépend de sa concentration dans le sang qui diminue progressivement au cours du temps car le paracétamol est transformé en différents produits. L'un d'eux est toxique et ne doit pas être présent de façon excessive dans l'organisme. Il est donc recommandé de ne pas dépasser un gramme de paracétamol par prise, en respectant un intervalle d'au moins six heures entre deux prises.

On se propose de vérifier si l'on peut expliquer ces recommandations à partir de l'évolution de la concentration de paracétamol dans le sang à la suite de la prise d'un comprimé en contenant $1\ \mathrm{g}$. On considère que :

- la valeur maximale de la concentration du paracétamol dans le sang est égale à $132\ \mathrm{\mu mol\cdot L^{-1}}$;
- l'évolution de la concentration en paracétamol dans le sang suit ensuite une loi de vitesse d'ordre 1.

Q6. Écrire l'expression de la vitesse volumique de disparition v_{P} du paracétamol en fonction de sa concentration $[\mathrm{C_8H_9NO_2}]$.

Q7. En utilisant la réponse précédente et sachant que l'évolution de la concentration en paracétamol dans le sang suit une loi de vitesse d'ordre 1, montrer que :

$$\frac{\mathrm{d}[\mathrm{C_8H_9NO_2}]}{\mathrm{d}t} = -k\cdot[\mathrm{C_8H_9NO_2}]$$

k représente la constante de vitesse.

La solution de l'équation différentielle précédente est de la forme :

$$[\mathrm{C_8H_9NO_2}]\,(t) = [\mathrm{C_8H_9NO_2}]_0 \cdot \mathrm{e}^{-k\cdot t}$$

avec $[\mathrm{C_8H_9NO_2}]_0$ la concentration de paracétamol à $t = 0\ s$ et $k = 0{,}28\ \mathrm{h^{-1}}$.

L'évolution temporelle de la concentration en quantité de matière de paracétamol $[\mathrm{C_8H_9NO_2}]\,(t)$ dans le sang, en $\mu\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$, est représentée par la courbe de la figure 1.

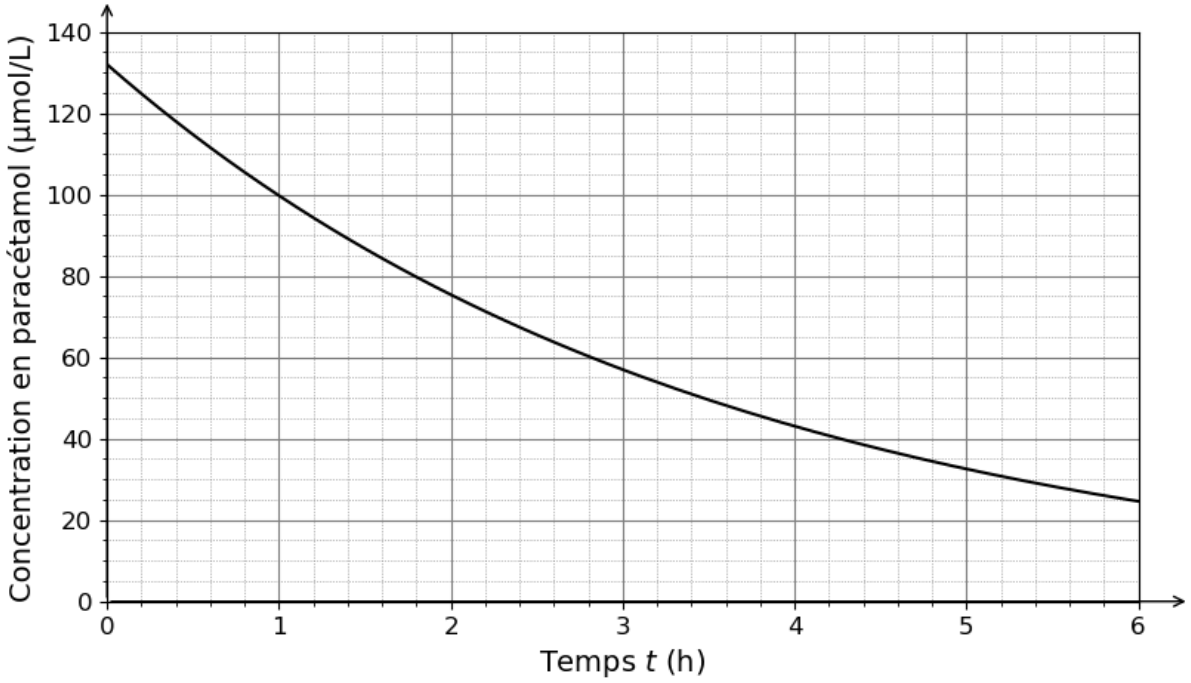


Figure 1. Évolution de la concentration en quantité de matière de paracétamol en fonction du temps

Q8. En utilisant la courbe de la figure 1, montrer sans calcul que la vitesse de disparition du paracétamol diminue au cours du temps.

La date $t = 0\ \mathrm{h}$ correspond au pic de concentration en quantité de matière de paracétamol dans le sang. On considère que ce pic est atteint 30 minutes après la prise unique de $1\ \mathrm{g}$ de paracétamol et que l'effet antalgique du paracétamol sur un individu s'atténue fortement lorsque sa concentration en masse dans le sang devient inférieure à $c_{\mathrm{lim}} = 8\ \mathrm{mg\cdot L^{-1}}$.

Q9. Déterminer la valeur de la durée nécessaire pour que la valeur limite c_{lim} soit atteinte depuis la prise du médicament. Expliquer l'écart avec les recommandations indiquées sur la notice.

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

Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine (4 points)

Une piscine nécessite une désinfection continue pour empêcher la croissance des algues et éliminer les bactéries pathogènes. La méthode de désinfection la plus couramment utilisée consiste à introduire dans l'eau de la piscine des ions hypochlorite $\mathrm{C\ell O^-(aq)}$ formés par électrolyse. Ces ions coexistent alors avec l'acide hypochloreux $\mathrm{HC\ell O(aq)}$.

Dans cet exercice, on souhaite déterminer la durée nécessaire de l'électrolyse pour produire la quantité optimale d'ions hypochlorite.

1. Formation des chloramines

Les matières biologiques d'origine humaine conduisent à la formation d'ammoniaque $\mathrm{NH_3(aq)}$ qui réagit avec l'acide hypochloreux $\mathrm{HC\ell O(aq)}$ pour former des chloramines à l'origine de l'odeur « de chlore » et des irritations des yeux. Le mécanisme réactionnel de cette transformation se décompose en plusieurs actes élémentaires figurant dans l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q1. Sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter les flèches courbes pour l'acte élémentaire n° 1. Indiquer, en justifiant, s'il s'agit d'une substitution, d'une addition ou d'une élimination.

Q2. Établir l'équation de la réaction modélisée par le mécanisme réactionnel fourni.

2. L'ion hypochlorite au service de la désinfection

L'AFSSET (agence française de sécurité sanitaire environnementale et du travail) est chargée d'assurer la sécurité sanitaire des usagers des piscines. Elle recommande une concentration en masse en « chlore libre » comprise entre 2 et $4\ \mathrm{mg\cdot L^{-1}}$.

Données

- masses molaires : $M(\mathrm{HC\ell O}) = 52{,}5\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{C\ell O^-}) = 51{,}5\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$;
- couple acide-base associé à l'ion hypochlorite : $\mathrm{HC\ell O(aq)}$ / $\mathrm{C\ell O^-(aq)}$;
- $\mathrm{p}K_\mathrm{A}$ du couple $\mathrm{HC\ell O(aq)}$ / $\mathrm{C\ell O^-(aq)}$: $\mathrm{p}K_\mathrm{A} = 7{,}5$ à $25°\ \mathrm{C}$;
- concentration standard : $c° = 1\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$.

L'acide hypochloreux est un acide au sens de Brönsted.

Q3. Donner la définition d'un acide au sens de Brönsted.

Q4. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide hypochloreux / ion hypochlorite en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre $[\mathrm{HC\ell O}]_{\text{éq}}$, $[\mathrm{C\ell O^-}]_{\text{éq}}$, $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ et de la concentration standard $c°$.

Q5. Calculer le rapport des concentrations en quantité de matière $\frac{[\mathrm{C\ell O^-}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HC\ell O}]_{\text{éq}}}$ lorsque la valeur du pH de l'eau de piscine est égale à $7{,}4$.

La concentration en masse c_{m} (en $\mathrm{g{\cdot}L^{-1}}$) de « chlore libre » recommandée par l'AFSSET est liée aux concentrations en quantité de matière $[\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}}$ (en $\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$) d'acide hypochloreux et $[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}$ (en $\mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$) d'ions hypochlorite par la relation suivante :

$$c_{\mathrm{m}} = [\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}} \cdot M(\mathrm{HC\ell O}) + [\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}} \cdot M(\mathrm{C\ell O^-})$$

Dans l'eau de la piscine, à la température de $25\ °\mathrm{C}$, le rapport des concentrations en quantité de matière d'ions hypochlorite et d'acide hypochloreux est $\frac{[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}}{[\mathrm{HC\ell O}]_{\mathrm{éq}}} = 0{,}79$.

Q6. Montrer que pour atteindre le seuil $c_{\mathrm{m\,seuil}} = 2\ \mathrm{mg{\cdot}L^{-1}}$ de « chlore libre », il est nécessaire que la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite $[\mathrm{C\ell O^-}]_{\mathrm{éq}}$ dans l'eau de piscine étudiée soit égale à $1{,}7{\times}10^{-5}\ \mathrm{mol{\cdot}L^{-1}}$.

3. Obtention des ions hypochlorite par électrolyse

Pour éliminer les bactéries et maintenir un état sanitaire optimal de l'eau de la piscine, les ions hypochlorite doivent être générés de façon continue. L'une des solutions consiste à dissoudre dans l'eau de la piscine du chlorure de sodium solide, de formule chimique $\mathrm{NaC\ell(s)}$, puis d'électrolyser la solution obtenue.

Afin d'étudier au laboratoire le principe de l'électrolyse de l'eau d'une piscine, on met en place le dispositif schématisé dans l'**ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE**.
Le tube en U est rempli avec une solution aqueuse de chlorure de sodium $(\mathrm{Na^+(aq)}+\mathrm{C\ell^-(aq)})$ dans laquelle on plonge deux électrodes en graphite reliées à un générateur de tension continue.

Les transformations chimiques qui se déroulent aux électrodes sont forcées et peuvent être modélisées par des réactions électrochimiques dont les équations s'écrivent :

- à l'électrode n° 1 : $2\ \mathrm{H_2O(\ell)} + 2\ \mathrm{e^-} \rightarrow \mathrm{H_2(g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)}$;
- à l'électrode n° 2 : $2\ \mathrm{C\ell^-(aq)} \rightarrow \mathrm{C\ell_2(g)} + 2\ \mathrm{e^-}$.

Q7. En s'appuyant sur ces équations, indiquer sur le schéma de l'**ANNEXE 3 À RENDRE AVEC LA COPIE** :

- le sens de circulation des électrons dans les fils conducteurs ;
- le sens du courant d'intensité I ;
- la polarité du générateur.

L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui se produit lors de l'électrolyse s'écrit :

$$2\ \mathrm{C\ell^-(aq)} + 2\ \mathrm{H_2O(\ell)} \rightarrow \mathrm{C\ell_2(g)} + \mathrm{H_2(g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)}$$

Les ions hydroxyde $\mathrm{OH^-(aq)}$ et le dichlore $\mathrm{C\ell_2(g)}$ formés réagissent entre eux pour produire des ions hypochlorite $\mathrm{C\ell O^-(aq)}$ qui participent à la désinfection de l'eau de la piscine. Cette transformation chimique est modélisée par la réaction d'équation :

$$\mathrm{C\ell_2\ (g)} + 2\ \mathrm{OH^-(aq)} \rightarrow \mathrm{C\ell O^-(aq)} + \mathrm{C\ell^-(aq)} + \mathrm{H_2O\ (\ell)}$$

Une piscine neuve est équipée d'un électrolyseur fonctionnant sur le même principe que dans le dispositif réalisé au laboratoire. Après le remplissage de la piscine et la dissolution de la quantité adéquate de chlorure de sodium, l'installateur met en fonctionnement l'électrolyseur.

Données

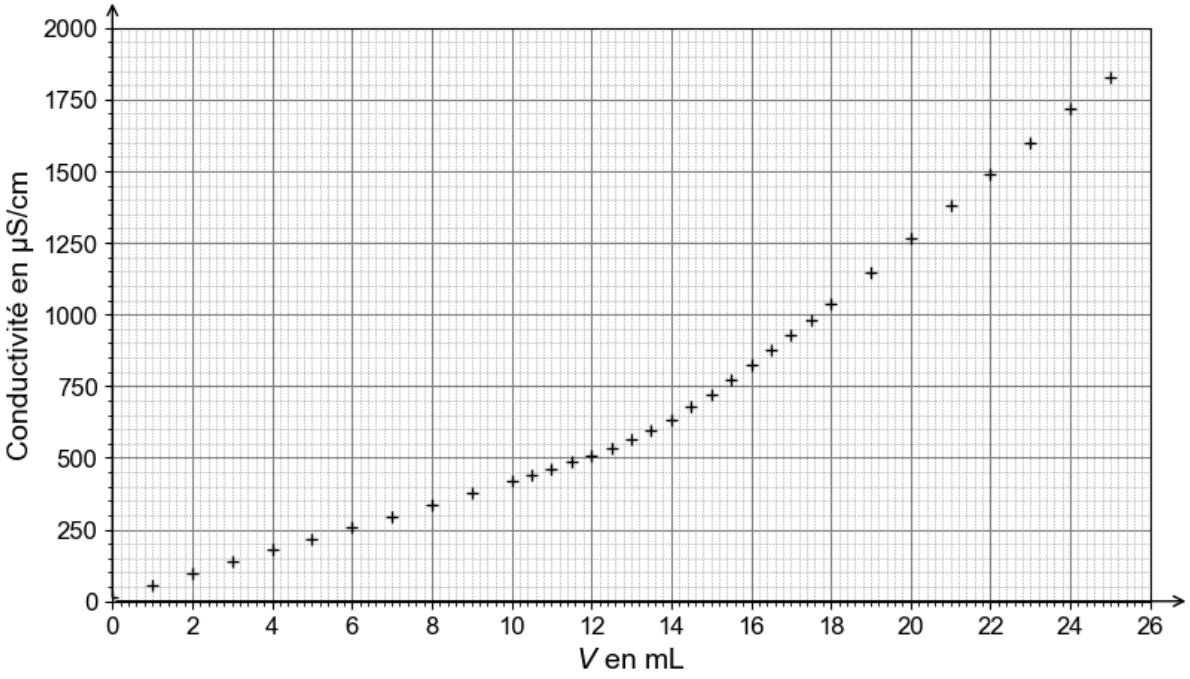
- la quantité d'électricité Q (en C) traversant une portion de circuit parcourue par un courant d'intensité constante I (en A) pendant une durée de fonctionnement Δt (en s) est donnée par la relation : $Q = I \cdot \Delta t$;
- la quantité d'électricité Q (en C) est proportionnelle à la quantité de matière d'électrons échangés $n(\mathrm{e}^-)$ (en mol), à la constante d'Avogadro N_A et à la charge électrique élémentaire e (en C) : $Q = n(\mathrm{e}^-) \cdot N_A \cdot e$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$;
- charge électrique élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$;
- intensité du courant fourni par l'électrolyseur : $I = 5{,}0\ \mathrm{A}$;
- masses molaires : $M(\mathrm{HC}\ell\mathrm{O}) = 52{,}5\ \mathrm{g \cdot mol}^{-1}$; $M(\mathrm{C}\ell\mathrm{O}^-) = 51{,}5\ \mathrm{g \cdot mol}^{-1}$;
- volume de la piscine : $V = 50\ \mathrm{m}^3$.

Q8. Sachant que la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite dans l'eau de piscine étudiée doit être égale à $1{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L}^{-1}$ pour atteindre le seuil de la norme définie par l'AFSSET en chlore libre, calculer la durée Δt nécessaire de l'électrolyse pour atteindre ce seuil.

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

ANNEXES À RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe 1 (Exercice 2 - Le paracétamol – Question Q3)



Annexe 2 (Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine – Question Q1)

Acte élémentaire n° 1 : $\overline{N}H_3 + H\overline{O}-\overline{Cl} \rightarrow |\overline{Cl}-\overset{\oplus}{N}H_3 + H\overline{O}|^{\ominus}$

Acte élémentaire n° 2 : $|\overline{Cl}-\overset{\oplus}{N}H_3 + H\overline{O}|^{\ominus} \rightarrow |\overline{Cl}-\overline{N}H_2 + H\overline{O}-H$

Annexe 3 (Exercice 3 - Traitement de l'eau d'une piscine – Question Q7)

