BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**
Coefficient : **16**

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.

EXERCICE 1. Lancer d'un javelot vortex (11 points)

Le javelot vortex est conçu pour s'initier au lancer de javelot. Il émet un effet sonore au lancer grâce à des sifflets intégrés et des ailettes stabilisent son vol (figure 1).



Figure 1. Javelot vortex

Données :

- masse du javelot vortex : $m = 125$ g ;
- volume du javelot vortex : $V = 680\ \text{cm}^3$;
- masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1{,}3 \times 10^{-3}\ \text{g·cm}^{-3}$;
- intensité de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ \text{m·s}^{-2}$;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{\Pi_A}$ est une force, verticale et dirigée vers le haut, que subit tout objet plongé dans un fluide. Pour un objet de volume V totalement immergé dans un fluide de masse volumique ρ, son expression vectorielle est : $\overrightarrow{\Pi_A} = -\rho \cdot V \cdot \vec{g}$;
- célérité du son dans l'air à 15 °C : $c = 340\ \text{m·s}^{-1}$;
- pour discuter de l'accord du résultat d'une mesure avec une valeur de référence, on peut utiliser le quotient $z = \frac{|x - x_{\text{ref}}|}{u(x)}$ avec x la valeur mesurée, x_{ref} la valeur de référence et $u(x)$ l'incertitude-type associée à la valeur mesurée x. Le résultat d'une mesure est considéré en accord avec une valeur de référence si $z \leq 2$.

Dans une première partie, on étudie le mouvement du centre de masse G du javelot vortex dans le référentiel terrestre supposé galiléen. En deuxième partie, on s'intéresse à l'émission sonore du javelot vortex.

Partie 1 : étude du mouvement du javelot vortex

On souhaite étudier le lancer du javelot vortex au cours du temps. La situation est représentée sur la figure 2. Les frottements ne sont pas pris en compte dans cette partie.

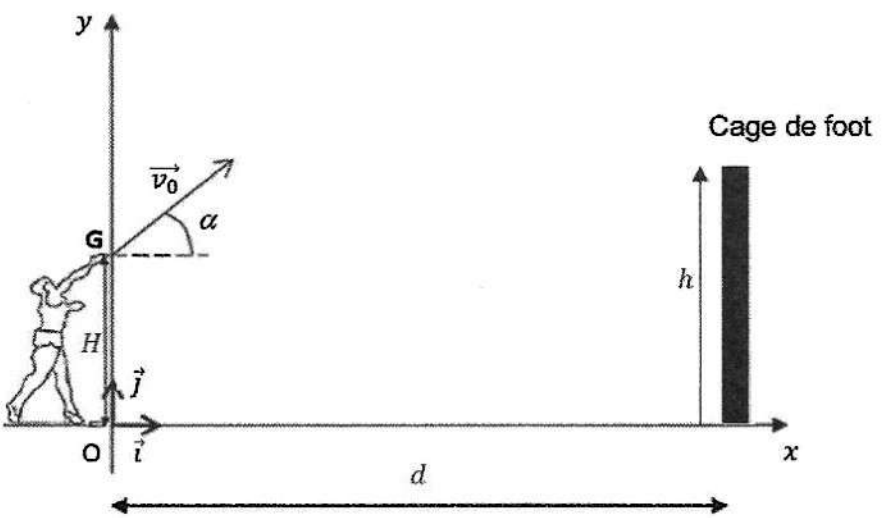


Figure 2. Schéma sans échelle

L'objectif d'une épreuve en cours d'EPS est de faire passer son javelot vortex au-dessus d'une cage de foot d'une hauteur $h = 2{,}44$ m située à une distance $d = 18{,}0$ m. L'élève doit trouver l'angle

d'envol α permettant de lancer son javelot vortex le plus loin possible en partant d'une hauteur H (figure 2).

Un élève effectue deux lancers. Chaque lancer rapporte des points en fonction de la réussite du tir et de sa portée. Le barème de l'épreuve est donné dans le tableau figure 3.

a) Première composante du barème :

Le tir passe au-dessus de la cage de foot	Non **Tir non réussi**	Oui **Tir réussi**
Barème	0 point	2 points

b) Deuxième composante du barème :

Portée du tir	Entre 16 et 18 m	Entre 18 et 20 m	Entre 20 et 22 m	Entre 22 et 24 m	Entre 24 et 26 m	Au-delà de 26 m
Barème	1 point	2 points	3 points	4 points	5 points	6 points

Figure 3. Barème du lancer de javelot vortex

On souhaite établir les expressions littérales des grandeurs accélération, vitesse et position du centre de masse du javelot vortex lors de son mouvement.

Q1. Calculer la valeur du poids P du javelot vortex.

Q2. Montrer que l'on peut négliger la poussée d'Archimède devant le poids du javelot vortex.

Q3. À partir de la deuxième loi de Newton, déterminer les expressions littérales des coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre de masse du javelot vortex suivant les axes Ox et Oy.

Q4. Montrer que les expressions littérales des équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ de la position du centre de masse du javelot vortex au cours du mouvement sont :

$$x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t$$

$$y(t) = -\frac{1}{2} g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t + H$$

Q5. En déduire que l'équation de la trajectoire du centre de masse du javelot vortex dans le repère d'espace (Ox, Oy) est :

$$y(x) = -\frac{g}{2v_0^2} \cdot \frac{x^2}{\cos^2(\alpha)} + x \cdot \tan(\alpha) + H$$

Qualifier cette trajectoire.

On suppose dans la suite de l'exercice que $H = 1{,}50$ m.

Q6. Indiquer les paramètres initiaux de lancement sur lesquels un élève peut avoir une influence et qui permettent d'augmenter la portée du tir.

Q7. Déterminer si le tir est réussi lorsque la vitesse a pour valeur $v_0 = 13{,}4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et l'angle d'envol a pour valeur $\alpha = 40{,}0°$.

Q8. Le professeur conseille à l'élève de lancer avec un angle d'envol de 45°. Déterminer la valeur minimale $v_{0\text{lim}}$ à laquelle l'élève devra lancer son javelot vortex pour que le tir soit réussi.

Pour déterminer la distance à laquelle tombe le javelot vortex par rapport au point O, le professeur crée un programme en langage Python dont le script est présenté figure 4.

```
1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # Constantes
5  g = 9.81   # Intensité de pesanteur (m/s^2)
6
7  # Conditions initiales
8  v0 = 13.4      # Vitesse initiale (m/s)
9  angle = 40.0   # Angle d'envol (degrés)
10 H = 1.50       # Hauteur initiale (m)
11
12 # Conversion de l'angle d'envol en radians
13 alpha = np.radians(angle)
14
15 # Calcul des composantes de la vitesse initiale
16 v0x = v0 * np.cos(alpha)   # Vitesse initiale en x
17 v0y = v0 * np.sin(alpha)   # Vitesse initiale en y
18
19 # Temps de vol total
20 t_vol = v0y / g + np.sqrt((v0y / g)**2 + 2 * H)
21
22 # Points de temps pour la simulation
23 t = np.linspace(0, t_vol, num=500)
24
25 # Trajectoire du javelot vortex
26 x = v0x * t
27 y =
28
29 # Tracer la trajectoire
30 plt.figure(figsize=(12, 6))
31 plt.plot(x,y)
32 plt.title('Trajectoire du lancer de javelot vortex')
33 plt.xlabel('$x$ (m)')
34 plt.ylabel('$y$ (m)')
35 plt.grid(True)
36 plt.ylim(bottom=0)  # Limite inférieure de y à 0
37 plt.show()
```

Figure 4. Programme Python modélisant l'évolution des coordonnées (x, y) du point G

Ce programme utilise les équations horaires modélisant le déplacement du centre de masse du javelot vortex. L'exécution de ce programme permet d'obtenir le graphique de la figure 5 qui modélise l'évolution des coordonnées (x, y), exprimées en mètre, du point G au cours du temps.

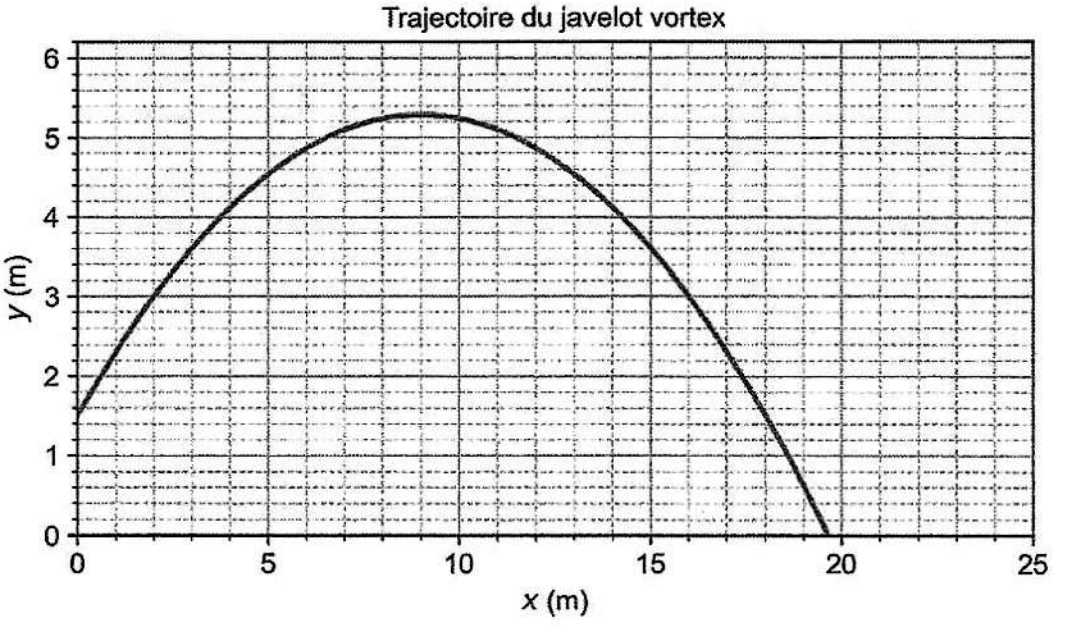


Figure 5. Modélisation de la trajectoire du javelot vortex
avec une vitesse de lancer $v_0 = 13{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et un angle d'envol $\alpha = 40{,}0\ °$.

Q9. Recopier et compléter, sur la copie, la ligne 27 du programme figure 4.

Q10. À partir de la figure 5, déterminer si le tir est réussi.

Q11. À partir de la figure 5, déterminer la valeur de la portée x_{max} du tir.

Q12. Indiquer comment modifier le programme pour obtenir la trajectoire avec un angle d'envol de valeur $\alpha = 45\ °$.

Après modification du programme, on visualise les modélisations de l'évolution des coordonnées du centre de masse du javelot vortex pour différentes valeurs de vitesse de lancer sous un angle d'envol $\alpha = 45\ °$ (figure 6).

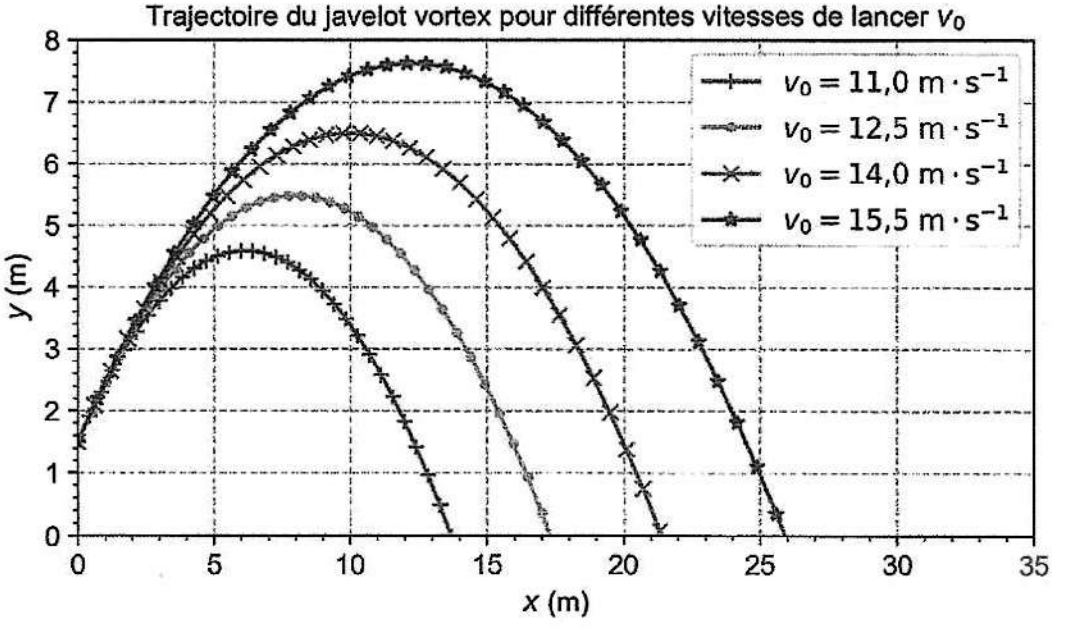


Figure 6. Modélisation de la trajectoire du javelot vortex avec un angle d'envol $\alpha = 45°$.

Suivant les conseils de son professeur, l'élève effectue deux autres lancers sous un angle d'envol $\alpha = 45°$ et avec des valeurs de vitesse de lancer de 12,5 m·s^{-1} et 14,0 m·s^{-1}.

Q13. Exploiter les résultats du programme, représentés figure 6, pour calculer le score obtenu par l'élève à chaque lancer.

Partie 2 : effets sonores du javelot vortex

D'après les données fournies par le constructeur, au moment du lancer, le javelot vortex émet un signal sonore d'intensité sonore $I_1 = 2{,}5 \times 10^{-5}$ W·m^{-2} à une distance de 1 m.

La relation entre le niveau d'intensité sonore L (en dB) et l'intensité sonore I (en W·m^{-2}) est :

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

L'intensité sonore de référence I_0 est égale à $1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Q14. Calculer la valeur du niveau d'intensité sonore L_1 à une distance de 1 m du javelot vortex.

Les élèves souhaitent vérifier cette donnée en mesurant le niveau d'intensité sonore à une distance de 1 m avec l'application sonomètre de leur smartphone. La mesure est répétée sur 10 lancers considérés comme identiques. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau de la figure 7.

Numéro du lancer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Niveau d'intensité sonore L (en dB)	75	72	74	68	72	75	71	76	73	69

Figure 7. Résultats des mesures du niveau d'intensité sonore

L'incertitude-type $u(X)$ d'une grandeur X associée à la moyenne de N mesures est donnée par :

$u(X) = \frac{s_{\text{exp}}}{\sqrt{N}}$ avec s_{exp} l'écart type expérimental de la série des N mesures.

Q15. Calculer la valeur moyenne L_{moy} et l'incertitude-type $u(L)$ liées à cette série de mesures. Écrire le résultat de cette mesure avec son incertitude-type.

Q16. Conclure quant à la validité de la donnée fournie par le constructeur.

On note f_{E} la fréquence de l'onde sonore émise par les sifflets du javelot vortex dans son référentiel, f_{R} la fréquence perçue par le lanceur. Au début du lancer du javelot vortex, le signal sonore est enregistré par un sonomètre placé au voisinage du lanceur. Le signal sonore enregistré est représenté figure 8. On considère que lors de l'enregistrement, le mouvement du javelot vortex est rectiligne uniforme avec une vitesse $v = 15{,}8$ m·s^{-1}.

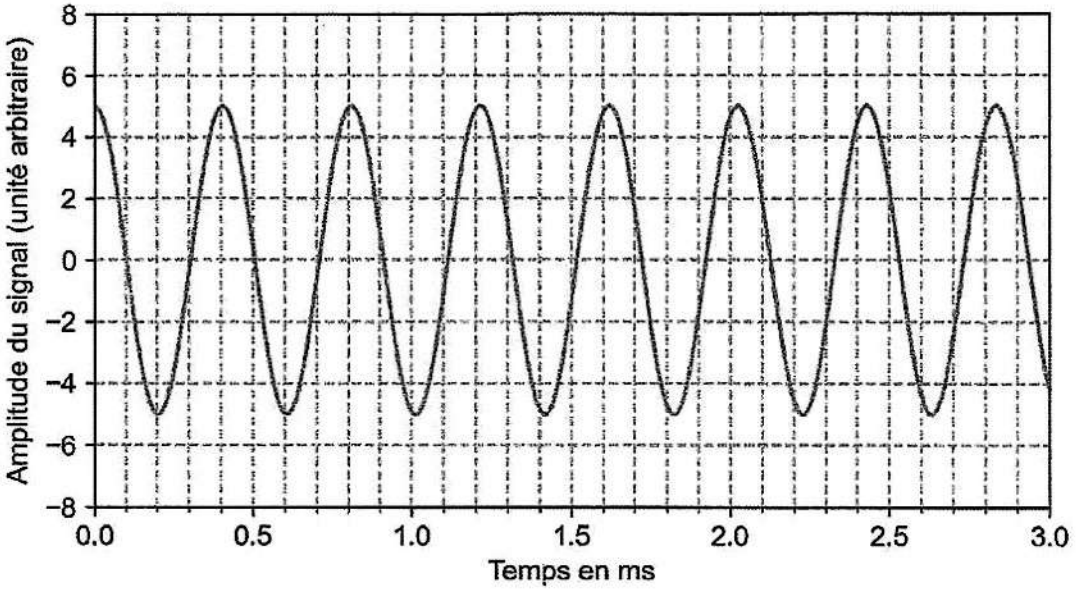


Figure 8. Signal sonore enregistré

Q17. Expliquer pourquoi l'effet Doppler se manifeste dans cette situation.

On propose les relations notées (1), (2) ou (3) pour relier la fréquence f_R perçue par le lanceur à la fréquence f_E émise par les sifflets du javelot vortex. On note c la célérité de l'onde sonore dans l'air.

$$\frac{f_R}{f_E} = \frac{c}{c+v} \quad (1) \qquad \frac{f_R}{f_E} = \frac{c}{c-v} \quad (2) \qquad \frac{f_R}{f_E} = \frac{c}{c \cdot v} \quad (3)$$

Q18. Choisir en justifiant la relation correcte dans les conditions de l'expérience.

Q19. À partir de la figure 8 et de la relation choisie à la question précédente, déterminer la valeur de la fréquence f_E émise par les sifflets du javelot vortex.

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 doit être correctement présentée.

EXERCICE 2. Un répulsif anti-moustique (5 points)

Les moustiques sont de retour dès les beaux jours. L'un d'eux inquiète particulièrement : *Aedes albopictus*, plus connu sous le nom de moustique tigre. Cet insecte peut transmettre des maladies graves comme la dengue ou le chikungunya.

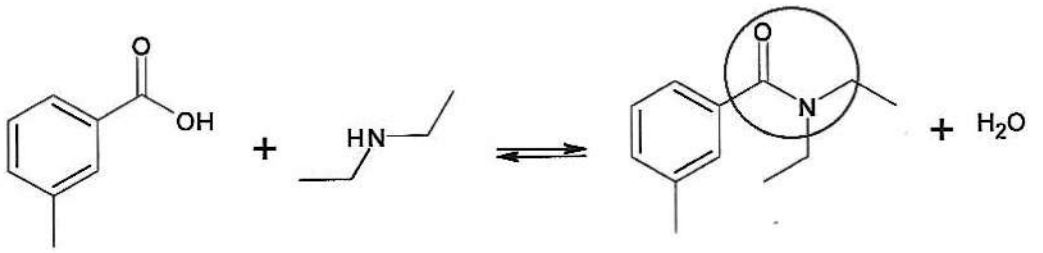
Les scientifiques ont ainsi élaboré le N,N-diéthyl-m-toluamide ou DEET, principe actif des répulsifs anti-moustiques les plus utilisés dans le monde. Son efficacité n'est plus à démontrer : une solution de 20 % de DEET appliquée sur la peau procure une protection d'environ huit heures contre le moustique tigre.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la stratégie de synthèse du DEET à partir de la N,N-diéthylamine.

Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.

Partie 1. Étude de la réaction entre l'acide m-toluique et la N,N-diéthylamine

Le DEET peut être synthétisé à partir d'acide m-toluique et de N,N-diéthylamine. L'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique est donnée figure 1.



Acide m-toluique N,N-diéthylamine DEET

Figure 1. Équation de la réaction modélisant la transformation chimique

Données :

- couple acide-base ion N,N-diéthylammonium $C_4H_{12}N^+(aq)$ / N,N-diéthylamine $C_4H_{11}N(aq)$: la valeur du pK_A à 25 °C du couple $C_4H_{12}N^+(aq)$ / $C_4H_{11}N(aq)$ est égale à 11,0 ;
- couple acide-base acide m-toluique / ion m-toluate : $C_7H_7COOH(aq)$ / $C_7H_7COO^-(aq)$.

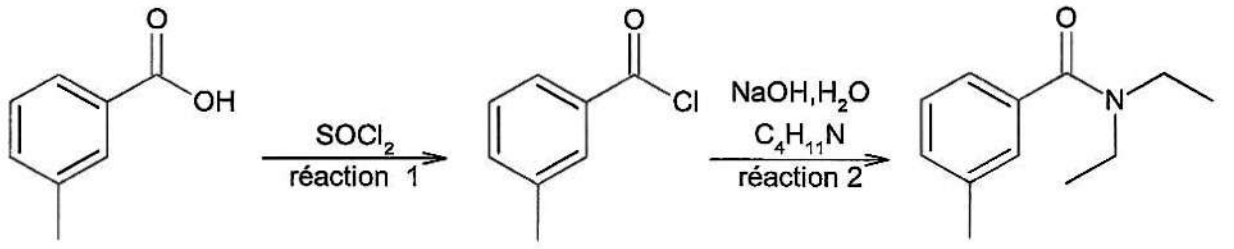
Q1. Donner le nom du groupe caractéristique entouré sur la formule topologique de la molécule de DEET.

Q2. Écrire la formule semi-développée de l'ion N,N-diéthylammonium.

Q3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation acide-base susceptible de se produire entre l'acide m-toluique et la N,N-diéthylamine.

Partie 2. Étude de la réaction de Schotten-Baumann.

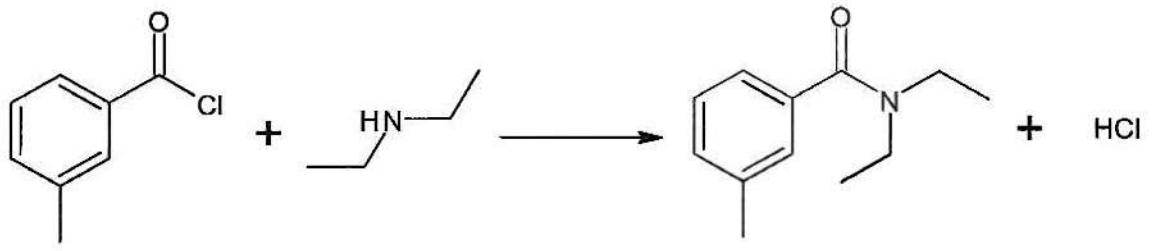
Afin de contourner cette réaction acide-base, une autre voie de synthèse consiste à transformer l'acide m-toluique en chlorure de toluoyle (réaction 1), puis à faire réagir le chlorure de toluoyle obtenu avec la N,N-diéthylamine (réaction 2). Le processus de cette synthèse est schématisé figure 2.



Acide m-toluique chlorure de toluoyle DEET

Figure 2. Étapes d'obtention du DEET

On s'intéressera uniquement à l'étape 2 de cette synthèse (réaction de Schotten-Baumann). Cette étape est une transformation chimique totale dont l'équation est la suivante :



chlorure de toluoyle N,N-diéthylamine DEET

A B

Étude du mode opératoire

Le protocole de l'étape 2 de la synthèse du DEET est le suivant :

Synthèse

Dans un erlenmeyer placé dans un bain de glace, introduire 12,0 mL de N,N-diéthylamine (B) et 30 mL de dichlorométhane, ce dernier jouant le rôle de solvant. Placer sur agitateur magnétique et agiter.

Ajouter lentement, sous agitation, goutte à goutte, 12,0 mL de chlorure de toluoyle (A) en maintenant la température entre 0 et 5 °C.

Simultanément, ajouter goutte à goutte une solution S d'hydroxyde de sodium de concentration 2,5 $mol \cdot L^{-1}$ dans l'erlenmeyer afin de maintenir un pH voisin de 12.
Laisser la réaction se poursuivre sous agitation pendant 30 minutes à une température inférieure à 5 °C.

Traitement du milieu réactionnel

a- Verser le contenu de l'erlenmeyer dans une ampoule à décanter et extraire la phase organique. La recueillir dans un erlenmeyer propre.

b- Après séchage et filtration de la phase organique, le solvant est évaporé. On recueille dans un erlenmeyer propre et sec, un volume de 14,2 mL de liquide noté P, dont on mesure la masse m_P. On obtient une valeur de 14,1 g.

Données

- Électronégativités χ comparées : $\chi(H) \approx \chi(C) < \chi(Cl) < \chi(O)$.

- Tableau de données de spectroscopie infrarouge (IR) :

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
C–H	2 800 – 3 000	fine (bandes multiples)	faible
C=O amide	1 630 – 1 670	fine	forte
C=O dans 	1 770 – 1 820	fine	forte
N-H amine	3 300 – 3 500 1 560 – 1 640	large	moyenne

- Caractéristiques physico-chimiques des espèces chimiques mises en jeu :

Espèce chimique	Chlorure de m-toluoyle A	N,N-diéthylamine B	DEET	Dichlorométhane	Hydroxyde de sodium
Formule brute	C_8H_7ClO	$C_4H_{11}N$	$C_{12}H_{17}NO$		NaOH
Masse volumique ($g \cdot mL^{-1}$)	1,17	0,71	1,00	1,33	
Masse molaire ($g \cdot moL^{-1}$)	154,6	73,2	191,3		40,0
Solubilité dans l'eau	très faible	très grande	très faible	très faible	très grande
Solubilité dans le dichlorométhane	très grande	grande	très grande		insoluble
Pictogrammes de sécurité	Corrosif : 	Inflammable : 	Nocif : 	CMR* : 	
		Nocif : 		Nocif : 	
		Corrosif : 			

CMR * : cancérogène, mutagène et neurotoxique

La solution S est préparée par dissolution d'hydroxyde de sodium $NaOH(s)$ disponible sous forme de pastilles.

Q4. Déterminer la masse de soluté $m(NaOH)$ nécessaire à l'obtention de $100{,}0\ mL$ de solution S d'hydroxyde de sodium de concentration $2{,}5\ mol{\cdot}L^{-1}$.

Q5. Déterminer, en justifiant, à l'aide d'un diagramme de prédominance, la forme acide-base associée à la N,N-diéthylamine qui est présente en plus grande quantité dans le mélange réactionnel.

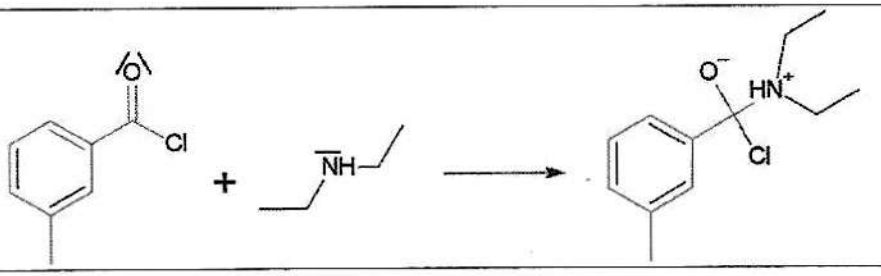
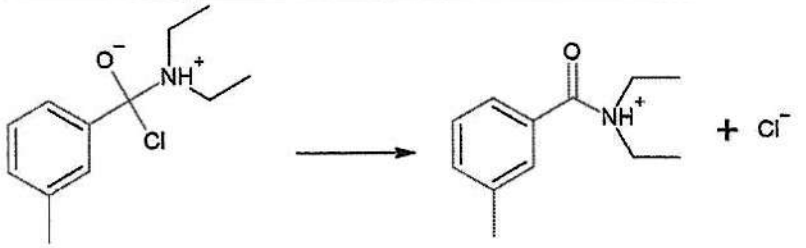
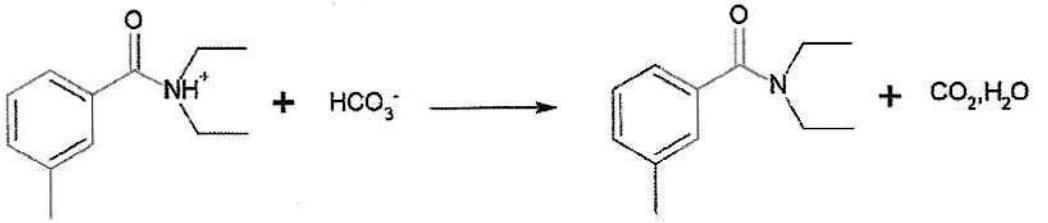
Q6. Montrer, à l'aide des données présentes dans le protocole de synthèse et des caractéristiques physico-chimiques des espèces chimiques mises en jeu, que le chlorure de m-toluoyle (réactif A) est le réactif limitant.

Q7. Schématiser l'ampoule à décanter après décantation lors de la phase **a** du traitement et indiquer, en justifiant, la position de la phase organique contenant le DEET.

Q8. Déterminer la valeur du rendement η de l'étape 2 de la synthèse du DEET. Commenter.

Étude du mécanisme réactionnel

La réaction de l'étape 2 de la synthèse peut être décomposée en plusieurs étapes élémentaires selon le mécanisme réactionnel suivant :

Étape a	
Étape b	
Étape c	

Q9. Écrire sur votre copie l'**étape a** du mécanisme réactionnel et utiliser le formalisme de la flèche courbe entre réactifs afin d'expliquer la formation de la nouvelle liaison.

Q10. Indiquer la catégorie des réactions des **étapes b** et **c** parmi les suivantes : acido-basique, oxydo-réduction, élimination, addition, substitution.

Identification du produit obtenu

On souhaite s'assurer que le produit synthétisé selon le protocole présenté partie 2 est le DEET.

Q11. Déterminer la valeur de la masse volumique ρ_P du liquide P obtenu et émettre une hypothèse sur sa pureté.

Le spectre d'absorption IR de l'échantillon obtenu est représenté figure 3.

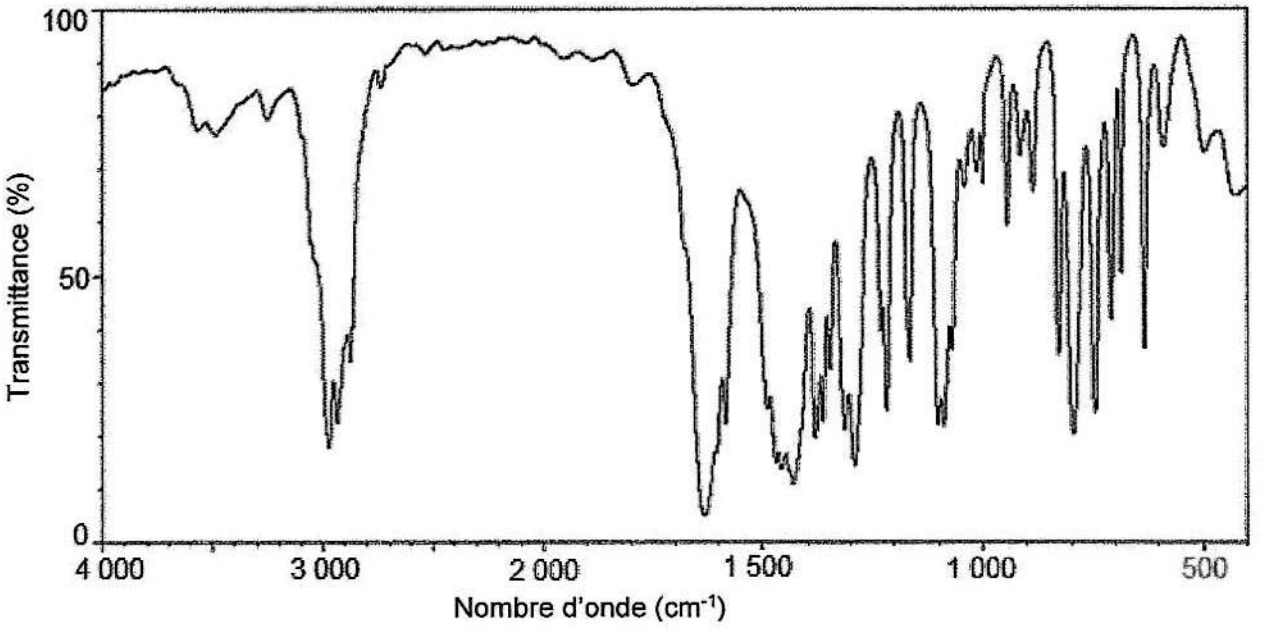


Figure 3. Spectre IR du produit synthétisé

Source: d'après Spectral Database for Organic Compounds SDB

Q12. À partir de l'analyse du spectre, indiquer si l'hypothèse émise à la question **Q11** est confirmée ou infirmée.

EXERCICE 3. Poignées de porte antibactériennes (4 points)

Les expériences menées en milieu hospitalier dans des services particulièrement sensibles comme la réanimation, la néonatalité ou les soins intensifs, ont prouvé que l'utilisation de cuivre sur les surfaces ou les objets les plus touchés par le personnel et les patients permettait de mieux protéger ces derniers contre les infections nosocomiales, et plus largement de limiter la transmission de bactéries résistantes aux antibiotiques.

D'après un article www.lesechos.fr

Ce sujet s'intéresse à un procédé électrochimique dit « à anode inerte » permettant de recouvrir une poignée de porte d'une fine couche de cuivre (cuivrage).

Partie 1 : cuivrage électrolytique

La poignée à cuivrer est placée dans un bain électrolytique. Ce bain est composé d'une solution aqueuse acidifiée de sulfate de cuivre ($Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$) préparée par dissolution de $130\ g$ de sulfate de cuivre pentahydraté dans $1\ L$ d'eau distillée.

La figure 1 décrit le dispositif : un générateur de tension continue, noté G, est relié à une électrode en graphite et à la poignée ; un ampèremètre, noté A, permet de mesurer l'intensité du courant.

Lors de l'électrolyse, on observe un dégagement gazeux de dioxygène au niveau de l'électrode de graphite.

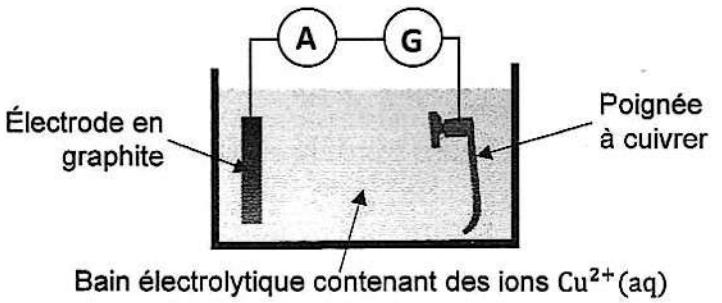


Figure 1. Schéma de l'électrolyseur utilisé

Données :

- couples d'oxydo-réduction mis en jeu lors de la transformation : $Cu^{2+}(aq)$ / $Cu(s)$ et $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$;
- masse molaire du cuivre : $M_{Cu} = 63{,}5\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- intensité parcourant le circuit : $I = 750\ mA$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$;
- charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ C$;
- charge électrique totale (en C) parcourant le circuit pendant la durée Δt (en s) : $Q = I \cdot \Delta t$ avec un courant I (en A) supposé constant.

Q1. Établir les équations modélisant les réactions aux électrodes qui ont lieu lors de l'électrolyse.

Q2. Indiquer, en justifiant, si la poignée est reliée à la borne positive ou négative du générateur.

Q3. Montrer que la réaction d'oxydo-réduction modélisant la transformation chimique s'effectuant au sein de l'électrolyseur est :

$$2\ Cu^{2+}(aq) + 2\ H_2O(\ell) \rightleftarrows 2\ Cu(s) + O_2(g) + 4\ H^+(aq)$$

Le dépôt d'une épaisseur de 15 micromètres sur cette poignée correspond à une masse de 400 mg de cuivre.

Q4. Calculer la valeur de la quantité de cuivre n_{Cu} déposé sur la poignée.

Q5. Calculer la valeur de la charge électrique totale Q qui permet d'effectuer ce dépôt.

Q6. Calculer la valeur du temps Δt nécessaire pour effectuer le cuivrage de la poignée.

Partie 2 : analyse du bain après électrolyse

Lors de l'électrolyse, les ions Cu^{2+} sont consommés pour réaliser le dépôt métallique et peuvent également former des oxydes de cuivre qui se déposent au fond du bain.

Or, pour une électrolyse efficace, la concentration en masse de sulfate de cuivre pentahydraté apporté dans le bain électrolytique doit être au minimum de 100 $g \cdot L^{-1}$ tout au long du processus.

Pour vérifier si le bain peut être réutilisé pour recouvrir d'autres pièces identiques, on met en œuvre un dosage spectrométrique par étalonnage des ions cuivre contenus dans l'électrolyseur. Le protocole expérimental est le suivant :

Étape 1 : Après l'électrolyse de la première poignée, on prélève un volume V de la solution S contenue dans l'électrolyseur. Ce prélèvement est ensuite dilué d'un facteur 10 pour créer la solution S'.

Étape 2 : On mesure l'absorbance A de différentes solutions étalons de concentration en ions cuivre connue. On trace l'évolution de l'absorbance des solutions en fonction de leur concentration C et on modélise une partie de la courbe obtenue (figure 2).

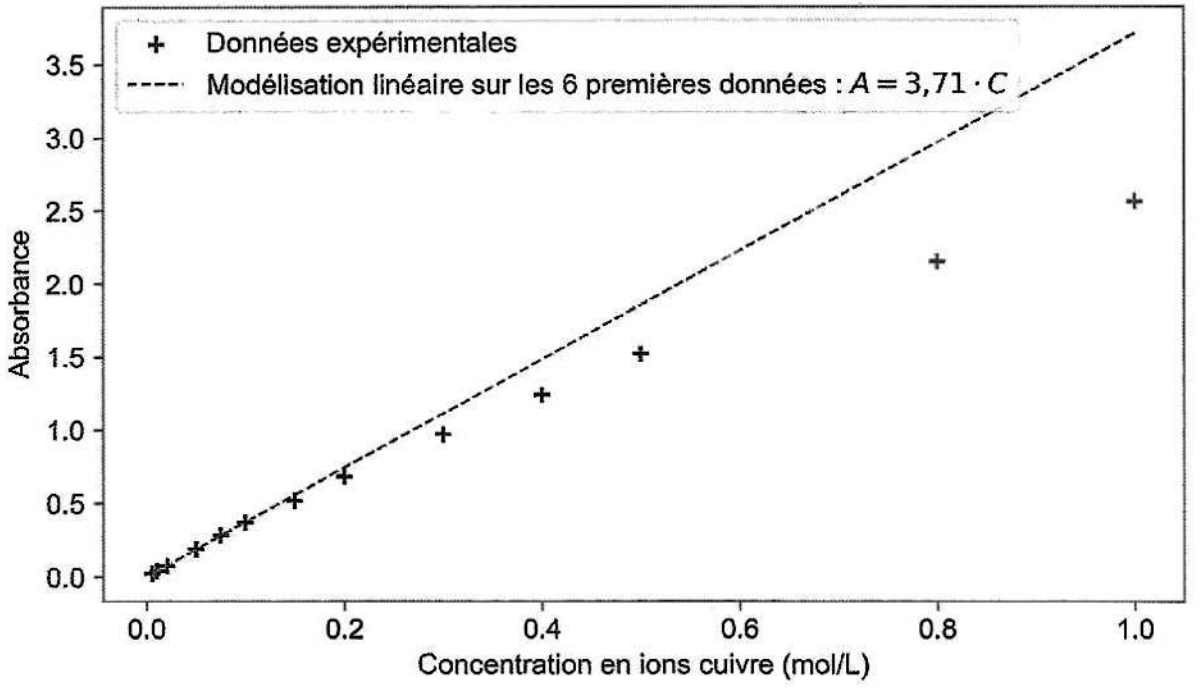


Figure 2. Courbe d'étalonnage et modélisation linéaire pour les solutions de concentration en ions cuivre inférieure ou égale à 0,10 $mol \cdot L^{-1}$

Étape 3 : On mesure l'absorbance A de la solution S'. La valeur obtenue est 0,180.

Donnée : masse molaire du sulfate de cuivre pentahydraté : $M_{CuSO_4,5H_2O} = 249{,}6\ g{\cdot}mol^{-1}$.

Q7. Décrire le protocole de dilution de l'étape 1 permettant d'obtenir $50\ mL$ de solution S'.

Q8. Justifier l'intérêt de diluer le prélèvement d'un facteur 10 avant d'effectuer le dosage.

Q9. Déterminer la concentration en quantité de matière d'ions cuivre $C(Cu^{2+})$ dans la solution S'.

Q10. Indiquer si le bain électrolytique peut être réutilisé pour cuivrer une deuxième poignée.

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.