

**ENTRAÎNEMENT AU BACCALAURÉAT**  
**ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ**  
*Lycée International des Pontonniers - Strasbourg*

**SESSION 2024**

**PHYSIQUE-CHIMIE**

**Mardi 13 février 2024**

**Durée de l'épreuve : 3h30**

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

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8.

## EXERCICE I : L'IBUPROFÈNE (10 points)

L'ibuprofène est la substance active de nombreux médicaments de la classe des anti-inflammatoires non stéroïdiens. Cet anti-inflammatoire est aussi un analgésique (antidouleur) et antipyrétique (lutte contre la fièvre). On l'utilise par exemple pour soulager l'arthrite, les maux de tête ou encore les courbatures. Dans les années 1960, les laboratoires Boots développent l'ibuprofène de formule brute  $C_{13}H_{18}O_2$ .

D'après <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ibuprofene>

### Données :

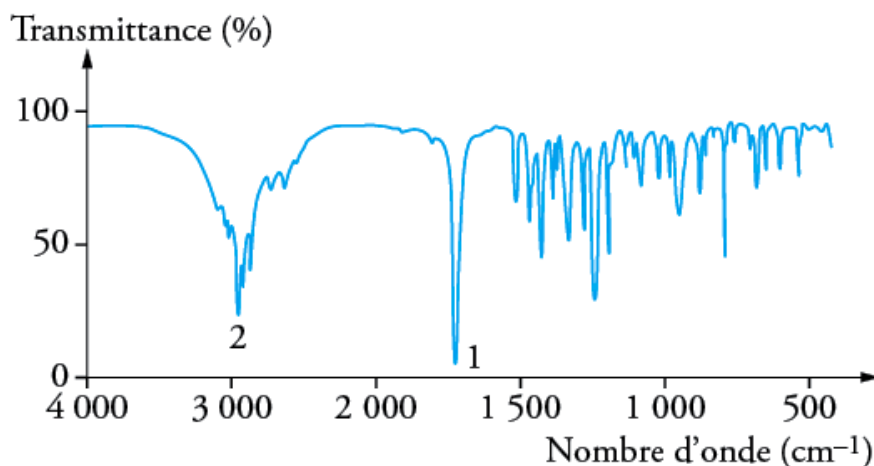
- Masse molaire de l'ibuprofène :  $M(C_{13}H_{18}O_2) = 206 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Produit ionique de l'eau à 25°C :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$

### 1. Première partie : la molécule d'ibuprofène

L'ibuprofène est une molécule dont la formule brute est  $C_{13}H_{18}O_2$ . Son nom en nomenclature officielle est acide 2-(4-isobutylphényl)propanoïque.

- 1.1. Quel est le nom du groupe caractéristique responsable de l'acidité de la molécule d'ibuprofène ?
- 1.2. Donner la formule de Lewis de ce groupe caractéristique ainsi que le nom et la formule de Lewis de la forme basique associée.

On donne ci-dessous le spectre infrarouge de la molécule d'ibuprofène et un tableau de quelques bandes d'absorption en infrarouge.



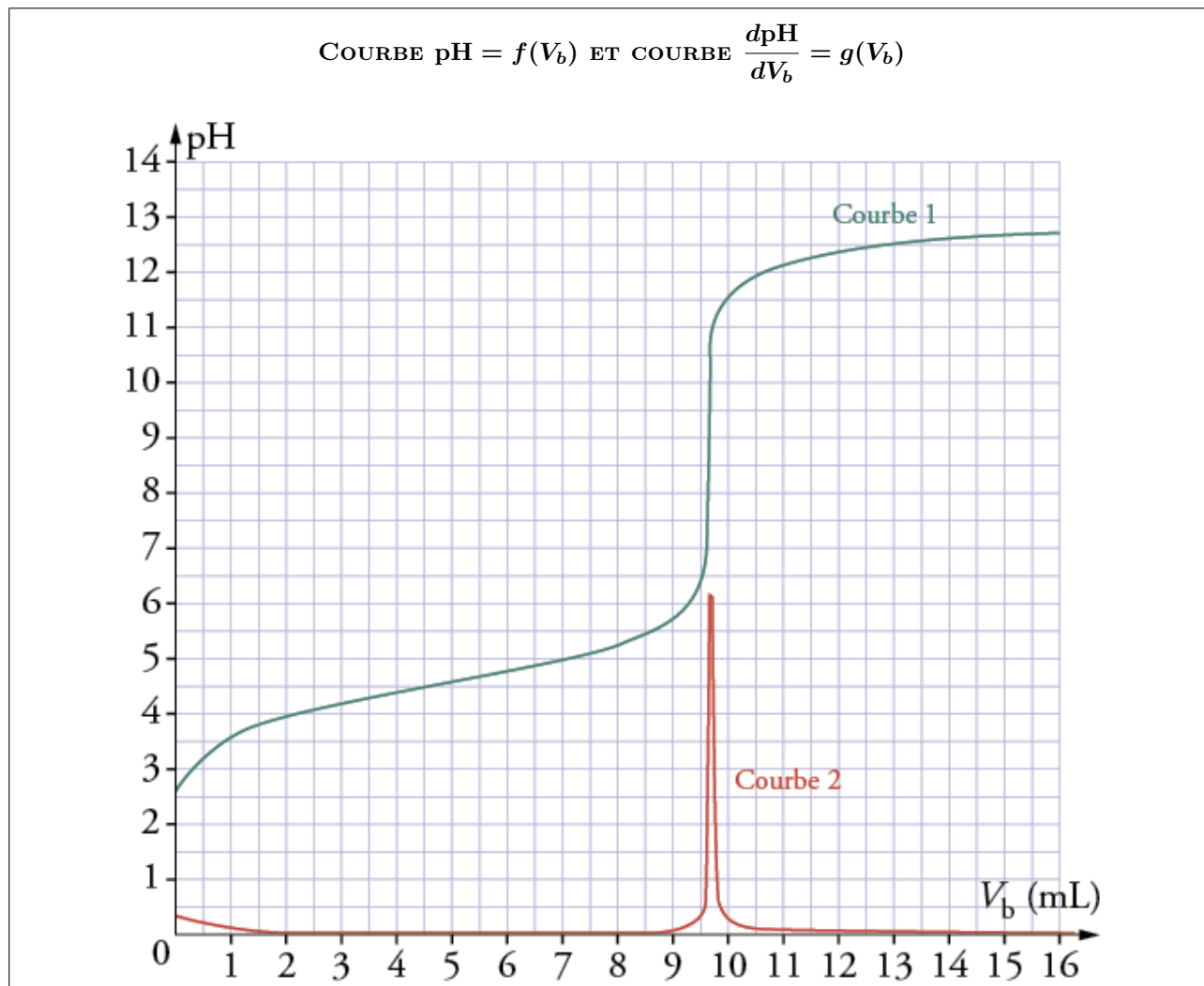
Type de liaison	Nombre d'onde en $\text{cm}^{-1}$	Largeur de la bande	Intensité d'absorption
O-H sans liaison hydrogène	3580-3650	Fine	Forte
O-H avec liaison hydrogène	3200-3300	Large	Forte
O-H d'acide carboxylique	2500-3200	Large	Variable
C-H	2900-3100	Variable (bandes multiples)	Variable
C=C (cycle aromatique)	1500-1600	Fine	Moyenne
C=O d'acide carboxylique	1700-1725	Fine	Forte

- 1.3. Expliquer l'origine des bandes d'absorption numérotées 1 et 2 sur le spectre infrarouge en exploitant les données du tableau.

## 2. Deuxième partie : titrage d'un comprimé d'ibuprofène

Afin de réaliser le titrage de l'ibuprofène contenu dans un comprimé d'« ibuprofène 400 mg », on met en œuvre le protocole suivant :

- on réduit en poudre le comprimé dans un mortier à l'aide d'un pilon ;
- on sépare la molécule active des excipients par dissolution dans l'éthanol que l'on évapore ensuite (les excipients sont insolubles dans l'éthanol) ;
- on introduit la poudre obtenue dans un becher et on ajoute environ 40 mL d'eau distillée ;
- le titrage est effectué à l'aide d'une burette graduée contenant une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) de concentration molaire apportée  $c_b = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Le titrage est suivi par pH-métrie. Les courbes obtenues sont tracées dans le graphique ci-après.



- 2.1.** Réaliser un schéma légendé du montage permettant d'effectuer le dosage par titrage pH-métrique.
- 2.2.** Définir l'équivalence d'un dosage par titrage.
- 2.3.** On rentre dans un tableur-grapheur les différentes valeurs du pH mesurées en fonction du volume  $V_b$  de solution d'hydroxyde de sodium ajoutée. On utilise les fonctionnalités du tableur-grapheur pour dériver le pH par rapport à  $V_b$  et on obtient la grandeur notée  $\frac{d\text{pH}}{dV_b} = g(V_b)$ . Les courbes tracées suite au titrage pH-métrique sont  $\text{pH} = f(V_b)$  et  $\frac{d\text{pH}}{dV_b} = g(V_b)$  et sont représentées sur le graphique précédent.
- 2.3.1.** Parmi les courbes 1 et 2, quelle est celle qui représente  $\text{pH} = f(V_b)$  et celle qui représente  $\frac{d\text{pH}}{dV_b} = g(V_b)$ ? Justifier.
- 2.3.2.** Déterminer la valeur du volume équivalent  $V_E$ .

On note à présent l'ibuprofène  $\text{R} - \text{COOH}$ .

- 2.4.** À quel couple acide/base appartient l'ion hydroxyde  $\text{HO}^-$  ?
- 2.5.** Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- 2.6.** Quelles caractéristiques doit posséder une réaction chimique pour être utilisée lors d'un titrage ?
- 2.7.** Le  $\text{pK}_A$  du couple auquel appartient l'ibuprofène est, à  $25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pK}_A = 4,5$ .  
Placer sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple  $\text{R} - \text{COOH}/\text{R} - \text{COO}^-$ .  
En utilisant le graphique et en précisant la démarche, déterminer quelle espèce prédomine en début de titrage.
- 2.8.** La solution d'hydroxyde de sodium (de concentration  $c_b$ ) est initialement placée dans la burette graduée.  
Calculer le pH de cette solution d'hydroxyde de sodium.
- 2.9.** Quelles précautions d'utilisation convient-il de prendre ? Justifier.
- 2.10.** À l'aide des questions **2.3.2** et **2.5**, déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde  $n_E(\text{HO}^-)$  versée à l'équivalence et en déduire la quantité de matière  $n_i(\text{ibu})$  d'ibuprofène titré.
- 2.11.** Déduire des résultats précédents la masse  $m$  d'ibuprofène titré et comparer cette dernière à la valeur attendue.
- 2.12.** On souhaite évaluer l'incertitude  $U(m)$  sur la masse  $m$  liée aux différentes sources d'erreurs avec un niveau de confiance de 95%. Dans ces conditions :
- l'incertitude sur la mesure du volume versé par cette burette graduée est  $U_{\text{vol}} = 0,16 \text{ mL}$  ;
  - l'incertitude sur la concentration en hydroxyde de sodium est  $U_{c_b} = 0,010 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

L'incertitude  $U(m)$  sur la masse est alors telle que : 
$$\frac{U(m)}{m} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{vol}}}{V_{bE}}\right)^2 + \left(\frac{U_{c_b}}{c_b}\right)^2}$$

Présenter le résultat de la valeur de la masse  $m$  sous la forme  $m = m \pm U(m)$ .

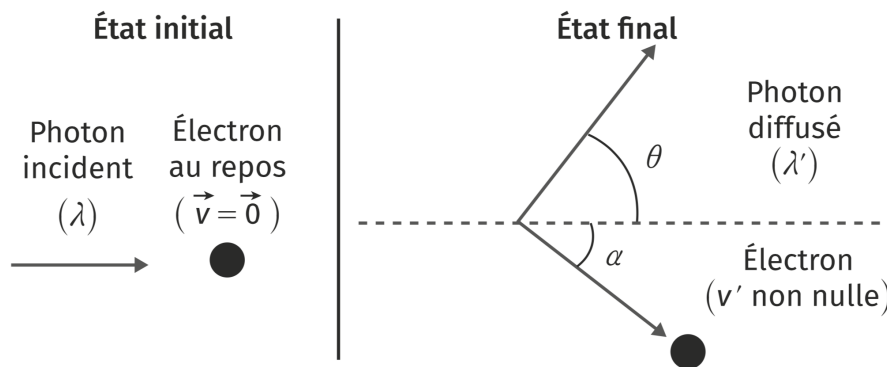
- 2.13.** Parmi les indicateurs colorés acido-basiques proposés dans le tableau ci-après, quel est celui qui est le mieux adapté au titrage précédent ? Justifier.

Indicateur coloré	Teinte de la forme acide	Zone de virage	Teinte de la forme basique
Vert de bromocrésol	jaune	3,8 – 5,4	bleu
Phénolphthaléine	incolore	8,2 – 10,0	rose
Jaune d'alizarine	jaune	10,1 – 12,0	rouge-orangé

## EXERCICE II : EFFET COMPTON (5 points)

L'effet Compton est un phénomène découvert par Arthur Compton en 1923. Cet effet est observé lorsqu'un photon énergétique (rayons X par exemple) de longueur d'onde  $\lambda$  entre en collision avec un électron faiblement lié à son atome. L'électron est alors éjecté de l'atome qui devient ionisé et un photon, de longueur d'onde  $\lambda'$  supérieure à celle du photon incident, est diffusé.

L'effet Compton est la preuve ultime qui achève de convaincre la communauté scientifique que la lumière est bien faite de corpuscules. Compton est récompensé par le prix Nobel de physique en 1927.



La relation de Compton est la suivante :  $\lambda' - \lambda = \lambda_C \times (1 - \cos \theta)$  avec  $\lambda_C$  la longueur d'onde de Compton telle que  $\lambda_C = \frac{h}{m_e \times c}$  et  $\theta$  l'angle de diffusion représenté sur le schéma ci-dessus.

### Données :

- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Masse d'un électron :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Valeur d'un électronvolt :  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$
- L'angle de diffusion  $\theta$  est compris entre  $0^\circ$  et  $90^\circ$

1. Expliquer en quoi l'interprétation de Compton a été de nature à convaincre la communauté scientifique de l'insuffisance du modèle ondulatoire de la lumière.
2. À partir de considérations énergétiques, expliquer pourquoi la longueur d'onde du photon diffusé est plus grande que celle du photon incident.
3. Calculer la valeur de la longueur d'onde de Compton.
4. En déduire un encadrement pour  $\lambda' - \lambda$  et justifier le choix des rayons X pour observer l'effet Compton.
5. On bombarde un cristal de calcite avec des photons X d'énergie  $E = 17,5 \text{ keV}$ .  
Calculer la longueur d'onde des rayons X utilisés.
6. Déterminer la longueur d'onde puis l'énergie des photons diffusés selon un angle  $\theta = 45,0^\circ$ .
7. En appliquant le principe de conservation de l'énergie, déterminer, pour cet angle, l'énergie de l'électron arraché au cristal.

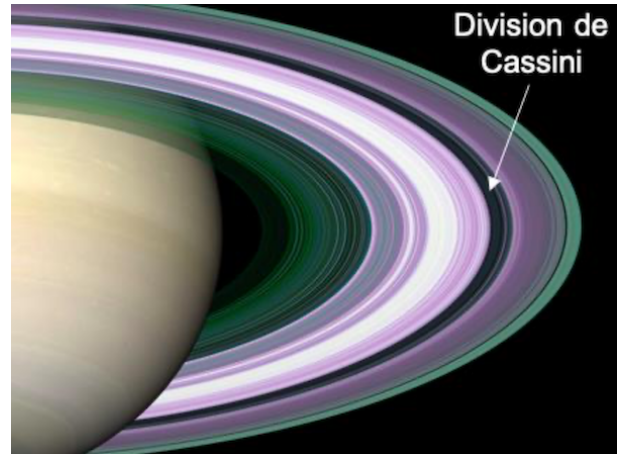
### EXERCICE III : OBSERVATION DE LA DIVISION DE CASSINI (5 points)

Pour un astronome amateur, l'observation de Saturne et de ses anneaux est un émerveillement. Ceux-ci sont observables avec une lunette astronomique.

La division de Cassini est une ligne sombre qui sépare deux anneaux concentriques. On l'observe à l'aide d'une lunette commerciale dont les caractéristiques sont :

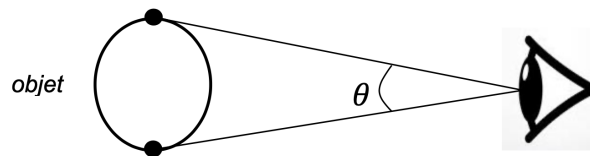
- Focale de l'objectif : 650 mm
- Focales des trois oculaires interchangeables : 6 mm, 12,5 mm et 20 mm.

Cet exercice porte sur le choix de l'oculaire pour pouvoir distinguer la division de Cassini.



#### Diamètre apparent et pouvoir de résolution

- Le diamètre apparent d'un objet est l'angle  $\theta$  entre les rayons lumineux issus des points extrémaux de cet objet lorsqu'ils atteignent l'œil nu d'un observateur.



- Le pouvoir de résolution  $\theta_S$  de l'œil est l'angle limite en-deçà duquel l'œil ne peut distinguer séparément les deux points extrémaux.

#### Données :

- Pouvoir de résolution d'un œil humain :  $\theta_S = 3,0 \times 10^{-4}$  rad
- Diamètre apparent de Saturne, anneaux inclus :  $\theta_{\text{sat}} = 2,08 \times 10^{-4}$  rad
- Diamètre apparent de la division de Cassini :  $\theta_{\text{cas}} = 3,39 \times 10^{-6}$  rad
- Pour de petits angles :  $\tan \alpha \simeq \alpha$
- Une lunette est dite afocale si elle donne une image à l'infini d'un objet situé à l'infini.
- On rappelle que le grossissement  $G$  de la lunette est défini comme le rapport du diamètre apparent  $\theta'$  de l'image observée à travers la lunette au diamètre apparent  $\theta$  de l'objet observé à l'œil nu, soit

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

1. Expliquer pourquoi la division de Cassini ne peut pas être observée à l'œil nu.
2. Montrer que le grossissement minimal nécessaire pour observer la division de Cassini est d'environ 89.

Pour atteindre le grossissement nécessaire, on a le choix entre plusieurs oculaires repérés par leur distance focale. Afin d'identifier le plus adapté, on cherche une relation entre le grossissement et les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

Pour cela, on modélise la lunette commerciale sur un banc optique par deux lentilles convergentes  $L_1$  et  $L_2$  de distances focales respectives  $f'_1$  et  $f'_2$ . On place la lentille  $L_1$  suivie de la lentille  $L_2$ . L'objet lumineux se trouve avant  $L_1$  sur le banc ; l'observateur place son œil après  $L_2$ .

On ajuste ensuite la position des deux lentilles de telle sorte que le foyer image  $F'_1$  de la première lentille coïncide avec le foyer objet  $F_2$  de la seconde lentille.

On observe un objet  $AB$  situé à l'infini :

- Le point  $A$  est sur l'axe optique. Les rayons issus de  $A$  parviennent à la lentille  $L_1$  parallèlement à l'axe optique.
- Le point  $B$  est situé hors axe optique. Les rayons issus de  $B$  parviennent à la lentille  $L_1$  parallèlement entre eux en faisant un angle  $\theta$  avec l'axe optique.

Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, deux rayons issus de  $B$  sont tracés. Ce schéma n'est pas à l'échelle.

3. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, identifier l'objectif et l'oculaire de cette lunette en écrivant ces termes au-dessus des lentilles concernées.
4. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, construire l'image  $A_1B_1$  de  $AB$  donnée par la lentille  $L_1$ .
5. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, représenter le faisceau émergent délimité par les deux rayons issus de  $B$  et traversant la lunette.
6. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, indiquer la position de l'image définitive  $B'$  du point  $B$  à travers la lunette et justifier que cette lunette est bien afocale.
7. Sur le schéma en **ANNEXE PAGE 8/8 À RENDRE AVEC LA COPIE**, indiquer le diamètre apparent  $\theta'$  de l'image à travers la lunette.
8. En précisant les étapes, établir la relation liant le grossissement  $G$  aux distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$ .
9. Sur la base des résultats précédents, déterminer l'oculaire que doit choisir l'utilisateur parmi les trois oculaires proposés en introduction pour pouvoir observer la division de Cassini. Justifier la réponse.

# ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

## Exercice III

