

CLASSES DE T°SVT1, SVT2, SVSI et SI

BAC BLANC 2020 – SÉRIE S

spécifique
ÉPREUVE DE PHYSIQUE – CHIMIE

MERCREDI 11 MARS DE 8 H 00 À 11 H 30

L'épreuve a été conçue pour être traitée AVEC calculatrice

L'usage des calculatrices en mode examen EST autorisé

Ce sujet comporte 3 exercices. **L'ANNEXE (PAGE 13 / 13) EST À RENDRE AVEC LA COPIE.** Le candidat veillera à bien reporter sur sa copie les numéros des questions. Le candidat doit traiter les 3 exercices suivants qui sont indépendants les uns des autres :

EXERCICE I : AUTOUR DU PAPILLON (5,0 POINTS)

EXERCICE II : ETUDE DU VOL D'UNE BALLE DE GOLF (6,0 POINTS)

EXERCICE III : ACIDE CITRIQUE AU QUOTIDIEN (9,0 POINTS)

EXERCICE I : AUTOUR DU PAPILLON (9,0 POINTS)

Pour se diriger dans l'obscurité ou chasser des insectes, certaines chauves-souris ont développé un système de sonar fondé sur la production et la réception d'ultrasons : l'écholocation.

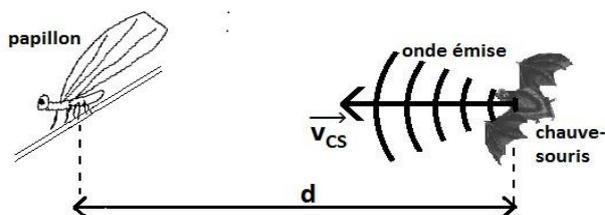


Figure 1. Schéma représentant une situation de chasse par une chauve-souris

Certains papillons « de nuit » sont en mesure d'entendre les émissions sonores des chauves-souris qui cherchent à les repérer. Pour les éviter, ils se laissent alors tomber de la branche sur laquelle ils se trouvent.

Cette tactique semble efficace, car seulement 7% des papillons qui l'utilisent sont capturés contre 50% de ceux qui ne l'utilisent pas (Pro Natura 1999)

D'après un site internet (<http://www.futura-sciences.com>)

L'objectif de cet exercice est d'étudier le principe de l'écholocation et la tactique de défense des papillons de nuit.

Données :

- la fréquence sonore supposée émise par la chauve-souris est : $f_e = 50,0 \text{ kHz}$;
- vecteur vitesse de la chauve-souris : \vec{v}_{CS} ;
- vitesse de l'onde émise par la chauve-souris : $v_{\text{onde}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$;
- intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$;
- masse du papillon : $m = 0,50 \text{ g}$;
- altitude du papillon avant la chute : $h = 1,2 \text{ m}$.

1. Étude du sonar de la chauve-souris

1.1. Onde émise par la chauve-souris

1.1.1. À quel domaine de fréquence appartient l'onde émise par la chauve-souris ?

1.1.2. Est-ce une onde mécanique ou électromagnétique ? Justifier.

1.1.3. Cette onde est-elle transversale ou longitudinale ? Justifier.

1.2. Vitesse de la chauve-souris

En utilisant l'effet Doppler, il est possible d'évaluer la vitesse v_{CS} d'une chauve-souris. Pour une chauve-souris se rapprochant d'un récepteur ultrasons, le dispositif mesure une fréquence f_r différente de la fréquence émise par la chauve-souris.

Données :

- fréquence mesurée par le récepteur $f_r = 50,8$ kHz ;
- pour un émetteur en mouvement se rapprochant d'un récepteur fixe, la relation due à l'effet Doppler entre f_e , fréquence émise par la source, et f_r , fréquence reçue par le récepteur, est donnée par :

$$f_r = f_e \times \frac{V_{\text{onde}}}{V_{\text{onde}} - V_{\text{émetteur}}}$$

- 1.2.1. Montrer que la valeur de la vitesse de la chauve-souris v_{CS} est proche de 19 km.h^{-1} .
- 1.2.2. Comparer V_{onde} et v_{CS} . Expliquer en quoi ce résultat est important pour le déplacement ou la chasse de la chauve-souris.

1.3. Écholocation

La durée mise par les ondes pour revenir à la chauve-souris permet à cette dernière, après réflexion de l'onde sur une proie, d'apprécier la distance la séparant de cette proie, un papillon par exemple.

Le signal émis par la chauve-souris lui revient après une durée $\tau = 16,7$ ms. Estimer la distance qui sépare la chauve-souris du papillon.

2. Le camouflage optique du papillon

L'iridescence est la propriété de certaines surfaces qui semblent changer de couleur selon l'angle de vue et d'éclairage. Elle est bien visible sur les ailes de mouches, de libellules et certains papillons. Ce phénomène provient d'une couche mince recouvrant ces ailes et produisant des couleurs interférentielles. Dans le cas des papillons, les ailes contiennent des écailles de fond et des écailles de recouvrement, disposées à la manière des tuiles d'un toit. La structure de ces écailles et les pigments qu'elles contiennent jouent un rôle dans la couleur observée. (...)

D'après un site internet (cnrs.fr)

Dans cette partie, le phénomène qui permet à ces papillons de se protéger des prédateurs est modélisé de façon simplifiée. Dans ce modèle élémentaire, schématisé sur la figure 2, on considère que :

- les écailles de l'aile de papillon sont assimilables à des couches minces à face parallèles d'épaisseur constante e ;
- les ondes issues des chemins ① et ② interfèrent au niveau de la rétine de l'observateur ;
- l'aile du papillon est éclairée par de la lumière.

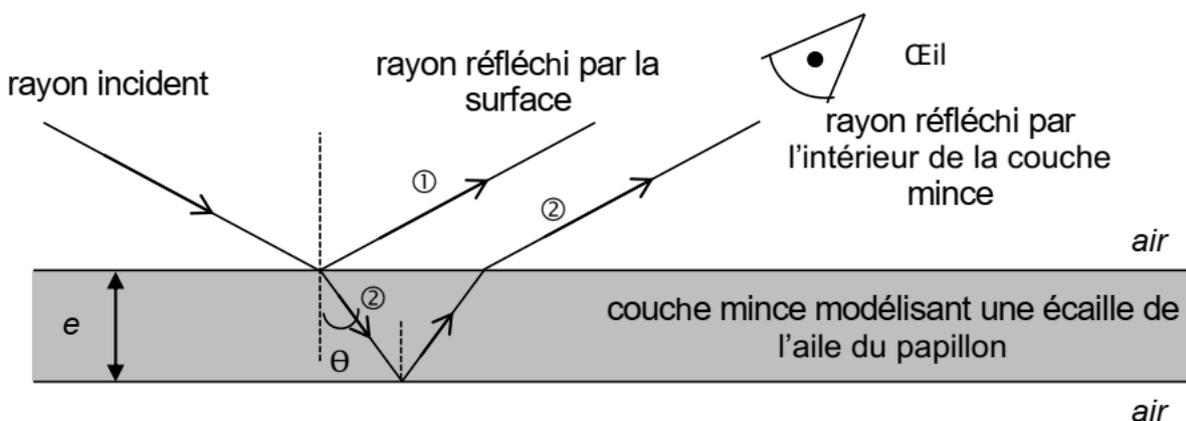


Figure 2. Schéma du trajet d'un rayon lumineux arrivant sur une écaille de l'aile de papillon.

Données :

- la vitesse de la lumière dans l'air est notée c et sa valeur est supposée connue.
- épaisseur des couches minces modélisant les écailles de l'aile du papillon : $e = 100 \text{ nm}$;
- indice optique des couches minces principalement composée de chitine : $n = 1,5$; on admet que cet indice ne dépend pas de la longueur d'onde.
- une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par une période temporelle T et une longueur d'onde λ ;
- domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible :

Couleur	Violet	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Domaine de longueurs d'ondes (nm)	380-446	446-520	520-565	565-590	590-625	625-780

On note δ la différence de marche entre l'onde lumineuse qui a suivi le trajet ② par rapport à l'onde qui a suivi le trajet ①.

2.1. Recopier la phrase ci-dessous en associant dans chaque cas **l'état vibratoire** des 2 ondes à la **différence de marche** correspondante.

« Il y a interférences ***constructives*** / ***destructives*** lorsque $\delta = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ / $\delta = k \times \lambda$ où k est un nombre entier ».

2.2. Lorsque la lumière blanche arrive perpendiculairement à la surface de l'aile, la différence de marche δ peut s'écrire :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e + \frac{\lambda}{2}$$

2.2.1. Pour les cas où $k = 1$: Pour quelle longueur d'onde peut-on obtenir des interférences constructives ? A quelle couleur cela correspond-t-il ?

2.2.2. Pour les cas où $k = 2$: Pour quelle longueur d'onde peut-on obtenir des interférences constructives ? A quel domaine cela correspond-t-il ?

2.2.3. En déduire la couleur qui sera principalement perçue par l'observateur.

3.3. Lorsque la lumière blanche n'arrive pas perpendiculairement à la surface de l'aile, la différence de marche δ a pour expression :

$$\delta = 2 \cdot n \cdot e \cdot \cos \theta + \frac{\lambda}{2}$$

Expliquer pourquoi la couleur de l'aile du papillon perçue par l'observateur sera différente s'il la regarde sous un autre angle.

EXERCICE II : ETUDE DU VOL D'UNE BALLE DE GOLF (6,0 POINTS)

Le swing d'un joueur de golf professionnel permet d'envoyer la balle à une distance (appelée « portée ») d'environ 250 mètres, distance mesurée horizontalement par rapport à l'impact initial entre le club et la balle de golf. Le but de cet exercice est de confronter cette valeur de 250 mètres avec l'hypothèse d'un mouvement parabolique et de comprendre le décalage observé en considérant les conditions réelles du mouvement de la balle.

Dans les parties 2 et 3, on cherche à retrouver la valeur de cette portée à partir de deux modèles différents.

1. Vitesse initiale de la balle

Le schéma qui suit propose la reconstruction d'une chronophotographie du mouvement d'une balle de golf après sa propulsion par le club. Le film a été réalisé par une caméra ultra-rapide permettant d'enregistrer 1 000 images par seconde. La représentation ci-dessous (figure 1) montre les 9 premières images de l'enregistrement de la balle, la première image de la balle correspondant à sa position initiale.

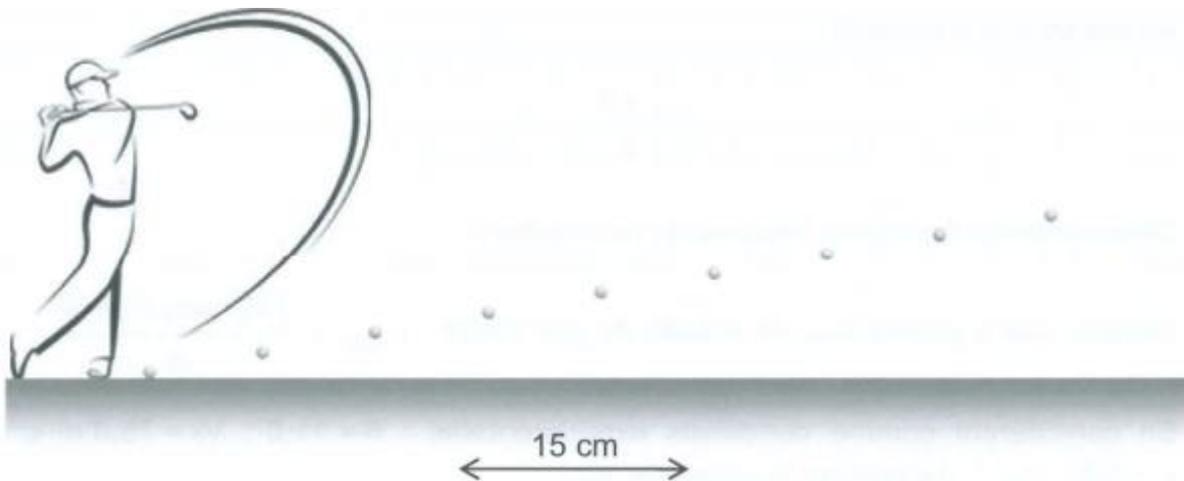


Figure 1

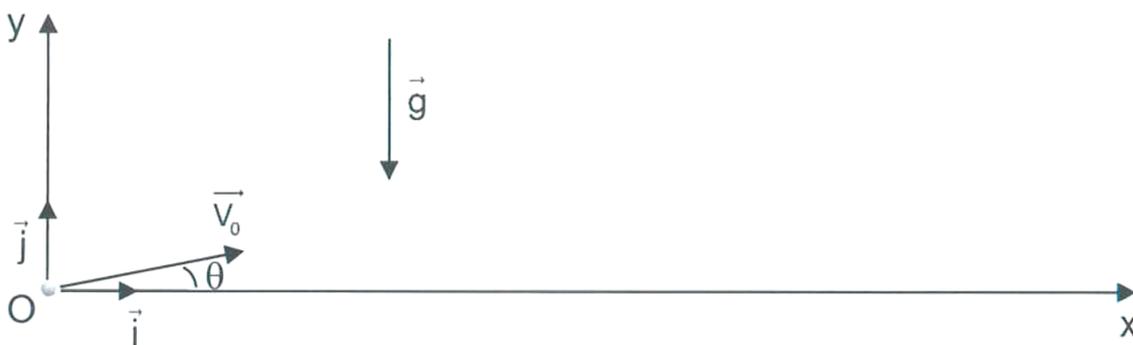
Remarque : le golfeur représenté n'est pas à l'échelle de la chronophotographie et n'est ici qu'à titre purement illustratif.

- 1.1. À partir des données, déterminer l'intervalle de temps Δt qui sépare deux images de la chronophotographie.
- 1.2. À quel type de mouvement simple peut être assimilé le mouvement de la balle au début du vol représenté sur la figure 1 ?
- 1.3. En prenant en considération l'échelle proposée, déterminer le plus précisément possible la vitesse initiale V_0 avec laquelle la balle de golf est propulsée.

2. Mouvement de la balle modélisée par un point matériel

La balle de golf est modélisée par un point matériel de masse $m = 46 \text{ g}$ évoluant dans un champ de pesanteur terrestre \vec{g} . Dans ce modèle, la résistance de l'air n'est pas à prendre en compte.

Le mouvement de la balle est étudié dans le système d'axes (Oxy). À la date $t = 0 \text{ s}$, elle est placée à l'origine du repère O.



2.1. À partir d'une loi dont on donnera le nom, montrer que les composantes du vecteur accélération \vec{a} s'écrivent :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$

2.2. Déterminer les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement.

2.3. Montrer que la portée x_{\max} de la balle de golf s'écrit : $x_{\max} = 2 \cdot \frac{V_0^2 \cdot \cos(\theta) \sin(\theta)}{g}$.

2.4. En considérant comme conditions expérimentales : $\theta = 11,0^\circ$, $V_0 = 75,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, déterminer la valeur de x_{\max} .

2.5. Comparer cette valeur calculée de la portée avec celle annoncée en introduction (les conditions initiales du mouvement restant identiques), et indiquer en quoi la valeur réelle de la portée dans l'air peut sembler surprenante.

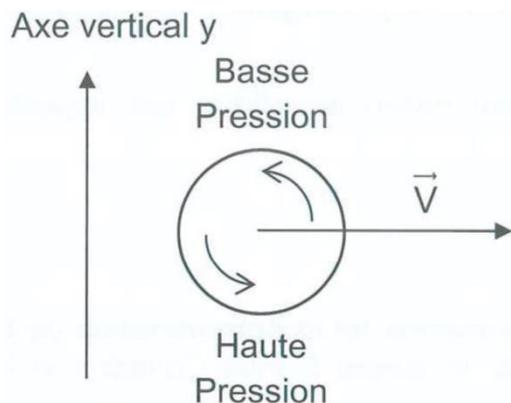
3. De l'importance de l'air dans le vol d'une balle de golf

Dans cette partie, la balle n'est plus modélisée par un point matériel.

Lorsque le golfeur frappe la balle à l'instant $t = 0$, il utilise un club qui la propulse avec un angle d'une dizaine de degrés par rapport au sol. L'impact du club avec la balle a également pour conséquence de mettre celle-ci en rotation sur elle-même (phénomène de « backspin »). Ces rotations peuvent atteindre la fréquence de 2700 tours par minute.

Document : l'effet Magnus

L'effet Magnus est un phénomène qui se manifeste lorsque la balle possède un mouvement de rotation dans l'air.



Lorsque le golfeur imprime à la balle un mouvement de rotation arrière, appelé « backspin », la balle tourne dans le sens indiqué sur le schéma ci-contre.

L'air qui passe au-dessus de la balle est alors entraîné par la rotation de celle-ci, sa vitesse augmente et sa pression diminue.

Inversement, l'air qui passe au-dessous de la balle verra sa vitesse diminuer et sa pression augmenter.

Cette différence de pression est à l'origine d'une force supplémentaire \vec{F} verticale, dirigée vers le haut, supposée appliquée au centre de la balle et constante tout au long du mouvement.

On néglige, dans ce modèle, les autres effets dus à l'air.

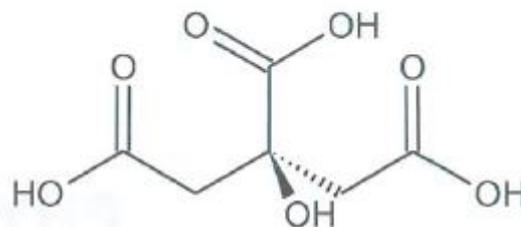
- 3.1. Représenter sur le **document réponse à rendre avec la copie** les forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur la balle.
- 3.2. En déduire l'expression de la nouvelle composante a_y de l'accélération verticale en fonction de m , g et F .
- 3.3. Estimer la valeur de l'intensité de la force \vec{F} pour retrouver la portée effectivement observée.

EXERCICE III : L'ACIDE CITRIQUE AU QUOTIDIEN (9,0 POINTS)

Les différentes parties sont indépendantes.

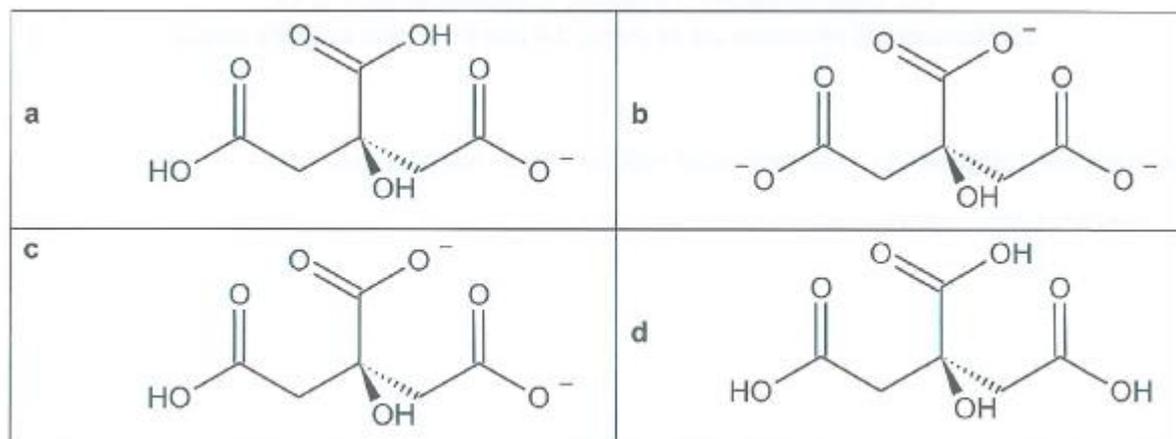
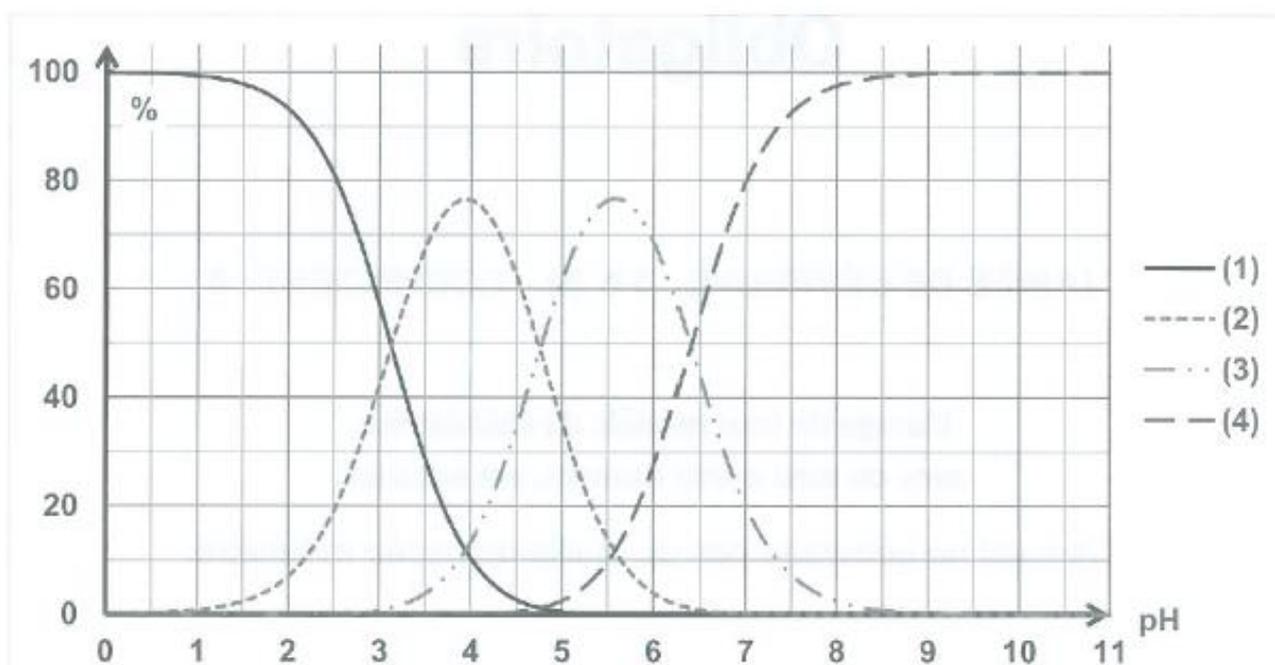
L'acide citrique est un triacide présent en abondance dans le citron. La synthèse mondiale approche deux millions de tonnes par an. Il est utilisé dans les boissons, les cosmétiques, en pharmacie, etc.

Dans le commerce, on peut le trouver sous forme de poudre blanche anhydre ou monohydratée. Le but de cet exercice est d'étudier les propriétés acido-basiques de l'acide citrique, de trouver la forme présente dans un détartrant et de déterminer la pureté d'un produit commercial.



Représentation de la molécule d'acide citrique

Document 1 : diagramme de distribution (pourcentage des espèces présentes) en fonction du pH et représentations des différentes espèces acido-basiques des couples de l'acide citrique.



1. Étude des propriétés acido-basiques de l'acide citrique

1.1. Rappeler ce qu'est un acide selon Brønsted, puis expliquer pourquoi l'acide citrique est qualifié de « triacide ».

1.2. Parmi les quatre espèces acido-basiques (a, b, c, d), indiquer celle qui prédomine en milieu très acide et celle qui prédomine en milieu très basique. Justifier.

1.3. Associer chaque espèce acido-basique a, b, c et d à une courbe 1, 2, 3 ou 4 du diagramme de distribution.

1.4. Le pH d'une solution aqueuse d'acide citrique de concentration 15 mmol.L^{-1} est d'environ 2,5. Quelle(s) est (sont) la (les) forme(s) (a, b, c et d) prédominante(s) de l'acide citrique dans cette solution ? Estimer leurs proportions relatives.

1.5. Indiquer à quelle grandeur acido-basique particulière correspond la valeur de pH égale à 3,2. Justifier.

1.6. L'acide citrique présente-t-il un atome de carbone asymétrique ? Justifier la réponse.

2. Extraction de l'acide citrique d'un citron

L'acide citrique a été isolé en 1784 par Carl Wilhelm Scheele à partir de jus de citron.

L'extraction se déroule en différentes étapes décrites ci-dessous.

- 1) *Extraire le jus d'un citron, puis le filtrer pour enlever la pulpe.*
- 2) *Ajuster le pH à environ 9 en ajoutant une solution aqueuse d'ammoniac concentrée.*
- 3) *Ajouter une solution aqueuse de chlorure de calcium, on observe alors la formation d'un précipité de citrate de calcium.*
- 4) *Filtrer sous vide pour récupérer le solide formé.*
- 5) *Amener le pH à une valeur inférieure à 1 en ajoutant une solution aqueuse d'acide sulfurique. Après agitation lente, on obtient une solution laiteuse.*
- 6) *Filtrer à nouveau cette solution, puis placer le filtrat dans un ampoule à décanter. Ajouter un peu d'éthanoate d'éthyle dans l'ampoule, puis, après agitation et décantation, jeter la phase aqueuse et récupérer la phase organique.*
- 7) *L'acide citrique est ensuite isolé à l'aide d'un évaporateur rotatif qui va évaporer le solvant organique. Le spectre infra-rouge du produit extrait est réalisé.*

Données :

	Eau	Éthanoate d'éthyle
Densité	1,0	0,92

Équation de dissolution du chlorure de calcium dans l'eau : $\text{CaCl}_{2(s)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{Cl}^{-}_{(aq)}$

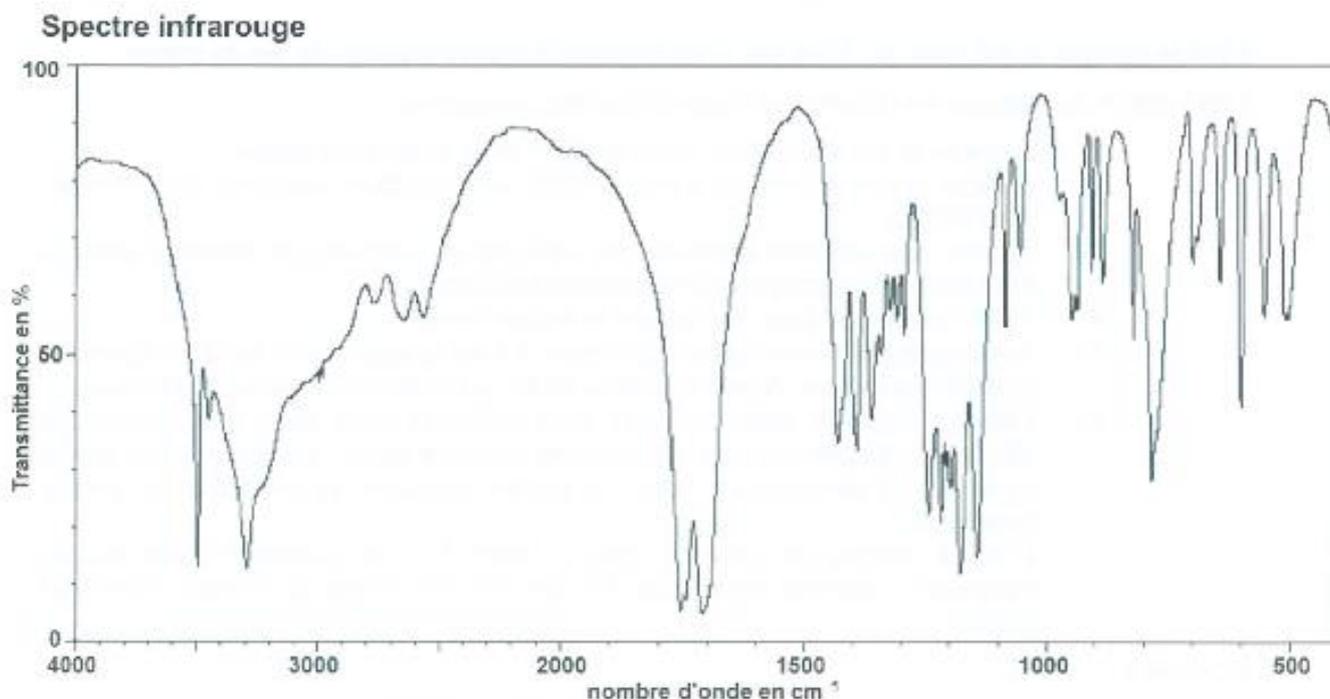
Table simplifiée de données pour la spectroscopie IR

Liaison	Nombre d'onde (cm^{-1})
O – H alcool	3200 – 3400
C – H	2800 – 3000
O – H acide carboxylique	2500 – 3200 bande large
C = O acide carboxylique	1700 – 1725
C = O aldéhyde	1720– 1740
	1721

2.1. L'acide citrique se trouve sous la forme b (appelée ion citrate) à la fin de l'étape 2 du protocole. Écrire la formule brute de cet ion. En déduire la formule brute du précipité de citrate de calcium formé à l'étape 3.

2.2. Expliquer pourquoi le précipité de citrate de calcium disparaît au cours de l'étape 5.

2.3. Le spectre isolé après évaporation du solvant organique est représenté ci-dessous. Ce spectre confirme-t-il que le produit du citron extrait par ce protocole est de l'acide citrique ?



3. Analyse d'un détartrant à l'acide citrique

Un laboratoire d'analyse met en place un protocole afin de déterminer :

- la forme, anhydre ou monohydratée, de l'acide citrique présente dans un détartrant commercial en poudre ;
- la pureté de l'acide citrique dans le détartrant commercial en poudre.

Données :

Indicateur	Couleur		Domaine de virage
	Forme acide	Forme basique	
Jaune d'alizarine	Jaune	Violet	10,1 à 12,1
Thymolphtaléine	Incolore	Bleue	9,3 à 10,5
Rouge de crésol	Jaune	Rouge	7,2 à 8,8
Bleu de bromothymol	Jaune	Bleue	6,0 à 7,6
Rouge de méthyle	Rouge	Jaune	4,2 à 6,2
Vert de bromocrésol	Jaune	Bleue	3,8 à 5,4
Hélianthine	Rouge	Jaune	3,1 à 4,4

	Formule brute	Masse molaire	Pictogramme
Acide citrique anhydre	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	192 g.mol^{-1}	
Acide citrique monohydraté	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7, \text{H}_2\text{O}$	210 g.mol^{-1}	

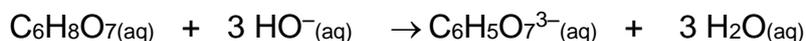
Protocole utilisé au laboratoire :

- poser une coupelle sur le plateau d'une balance et appuyer sur « TARE » ;
- mettre un peu de détartrant dans la coupelle, la balance indique alors ;

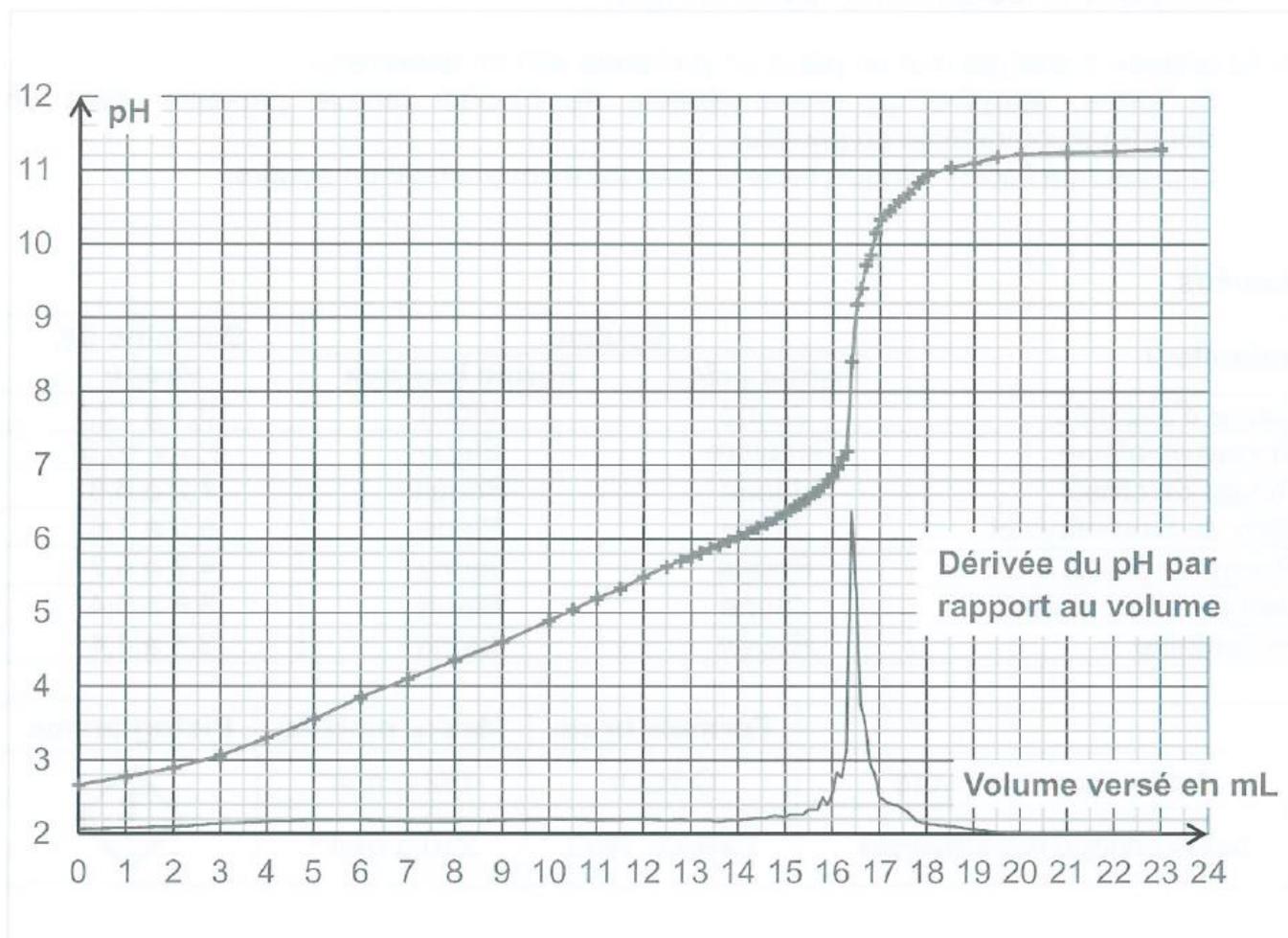


- introduire le contenu de la coupelle dans un bécher, ajouter un peu d'eau distillée puis agiter pour dissoudre complètement le détartrant ;
- mettre le bécher sous une burette graduée remplie avec une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$;
- placer une électrode de pH-métrie dans le bécher et la relier au pH-mètre ;
- sous agitation magnétique, ajouter progressivement de la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium en relevant régulièrement la valeur du pH de la solution.

Équation de la réaction support de titrage :



Courbe obtenue en réalisant le protocole :



- 3.1.** Expliquer pourquoi le coefficient stœchiométrique dans l'équation support de titrage vaut 3 pour les ions hydroxyde.
- 3.2.** En expliquant votre démarche, déterminer la valeur V_E du volume de solution d'hydroxyde de sodium versée à l'équivalence.
- 3.3.** Quel indicateur coloré pourrait-on utiliser pour réaliser ce titrage pH-métrique ? Préciser comment serait repéré le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.
- 3.4.** En exploitant les résultats expérimentaux de l'analyse :
- montrer que le détartrant ne peut pas être de l'acide citrique monohydraté ;
 - déterminer le pourcentage massique d'acide citrique anhydre du détartrant ;
 - conclure sur la pureté du détartrant.

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.

******* FIN DU SUJET *******

NOM – PRÉNOM – CLASSE :

Exercice II

