Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

PHYSIQUE-CHIMIE

Jour 2

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Matériel autorisé

L'usage de la calculatrice **avec le mode examen activé** est autorisé.

L'usage de la calculatrice **sans mémoire**, « type collège », est autorisé.

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

Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

Le candidat traite l'intégralité du sujet, qui se compose de 3 exercices.

ATTENTION : l'annexe (page 14/14) est à rendre avec la copie.

EXERCICE 1 : points de règlement au tennis de table (11 points)

Le tennis de table est un sport de raquette opposant deux ou quatre joueurs autour d'une table. C'est un sport olympique depuis 1988.

La balle utilisée est une sphère en celluloïd ou en matière plastique (exemple : polypropylène), aux propriétés voisines, de couleur orange ou blanche. En compétition, elle pèse 2,7 g et a un diamètre de 40 mm. Lors des compétitions officielles, les joueurs jouent avec des balles de catégorie « trois étoiles ». Ces balles sont de meilleure qualité, c'est-à-dire plus rondes et plus dures.



Balle 3 étoiles utilisée en compétition

D'après fr.wikipedia.org/wiki/Tennis_de_table

Dans cet exercice, on s'intéressera à l'application de deux articles du règlement de la Fédération Française de Tennis de Table (F.F.T.T.) puis à la détermination de la vitesse de la balle lors d'un coup droit smashé.

Données :

- g = 9,81 N·kg^{-1} : valeur de référence de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local ;
- article 2.6.2 du règlement sportif de la F.F.T.T : Le serveur lance alors la balle verticalement vers le haut, seulement avec la main, et sans lui communiquer d'effet, de telle manière qu'elle s'élève d'au moins 16 cm après avoir quitté la paume de la main libre et retombe ensuite sans toucher quoi que ce soit avant d'être frappée ;
- article 2.1.3 du règlement sportif de la F.F.T.T : La surface de jeu peut être faite de n'importe quelle matière et doit permettre un rebond uniforme d'environ 23 cm lorsqu'on laisse tomber une balle réglementaire sur cette surface d'une hauteur de 30 cm au-dessus d'elle.

Dans tout l'exercice la balle est modélisée par un objet ponctuel dont on étudie le mouvement assimilé à celui de son centre de masse, noté M. Dans les conditions de l'expérience, le champ de pesanteur terrestre local $\vec{g}$ est supposé uniforme et les frottements liés à l'action de l'air sont négligés.

Le mouvement du point M est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni d'un repère d'axes (Ox, Oy), respectivement horizontal muni du vecteur unitaire $\vec{i}$ et vertical muni du vecteur unitaire $\vec{j}$ (**Figure 1**).

Exercice 1

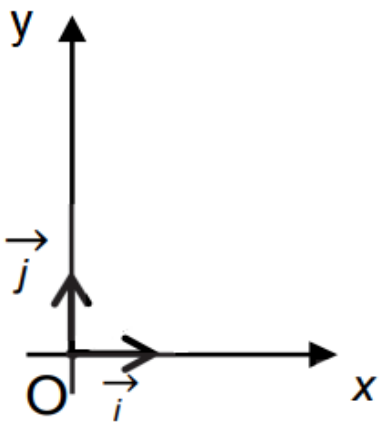


Figure 1 : repère d'étude du mouvement de la balle

1. Trajectoire d'une balle lors du lancer

La vidéo d'un joueur au service en compétition permet d'obtenir la chronophotographie suivante **(Figure 2).** On peut alors, à l'aide d'un logiciel d'analyse, tracer l'évolution de la valeur de la vitesse de la balle en fonction du temps **(Figure 3)**.



Figure 2 : chronophotographie du mouvement de la balle

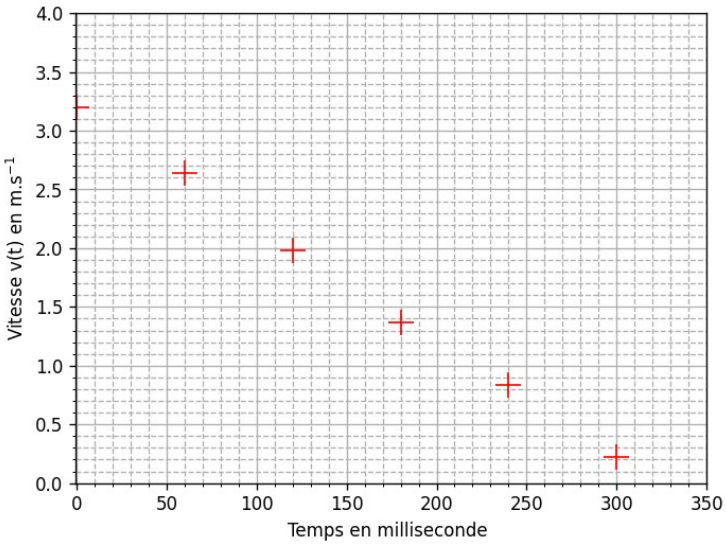
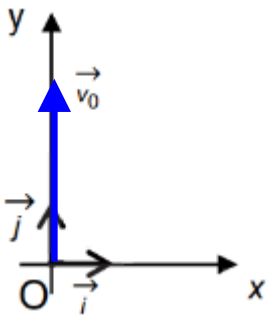


Figure 3 : évolution de la valeur de la vitesse de la balle en fonction du temps

À la date t = 0 ms, la balle quitte la main du joueur : son centre de masse noté M se trouve alors à l'origine du repère O et son vecteur vitesse initiale est noté $\overrightarrow{v_0}$.



Exercice 1

Q.1. Exprimer les composantes a_x et a_y du vecteur accélération $\vec{a}$ du point M, à un instant quelconque du mouvement.

Q.2. Justifier à l'aide de la **figure 2** que la norme du vecteur vitesse de la balle $v(t)$ est assimilable à la valeur de sa composante verticale v_y.

On notera pour la suite de l'exercice $v_y(t) = v(t)$.

Q.3. En déduire qu'à un instant quelconque du mouvement l'expression littérale de la vitesse $v(t)$ du point M peut être modélisée sous la forme :

$$v(t) = -g \times t + v_0$$

Q.4. Justifier sans calcul que ce modèle de la vitesse $v(t)$ est en accord avec les points expérimentaux obtenus sur la **figure 3**.

Q.5. En déduire une valeur de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local, g.

Q.6. Proposer une origine à l'écart observé avec la valeur de référence de l'intensité du champ de pesanteur terrestre local, $g = 9{,}81\ \text{N·kg}^{-1}$.

Q.7. Montrer que l'expression littérale de l'équation horaire de la position du point M au cours de son mouvement s'écrit :

$$y(t) = -\frac{1}{2} \times g \times t^2 + v_0 \times t$$

On note h_{MAX} la hauteur maximale atteinte par le centre de masse M de la balle lors du lancer.

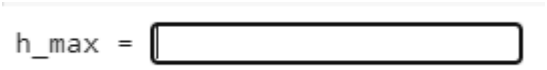
On dispose en **figure 4** d'un programme écrit en langage python, python 1 qui, après saisie de h_{MAX}, donne accès à la valeur de v_0.

```
1 import numpy as np
2
3 h_max=float(input('h_max = '))
4 g = 9.81
5
6 v_0 = np.sqrt(2*g*h_max) #np.sqrt applique la fonction racine carrée
7
8 print('La vitesse de lancer de la balle pour atteindre h_max est',v_0,'m/s')
```

Figure 4 : python 1

Q.8. Exploiter les expressions de $y(t)$ et $v(t)$, pour justifier la formule v_0 = np.sqrt(2*g*h_max) présente à la ligne 6 de la figure 4.

Lors de l'exécution du programme, la fenêtre suivante s'ouvre :



Q.9. Recopier et compléter cette fenêtre d'exécution en déterminant la valeur de h_max lorsqu'on se place dans la condition décrite à l'article 2.6.2 du règlement de la F.F.T.T.

Q.10. Calculer alors la valeur minimale de v_0 que le programme va afficher.

On souhaite faire évoluer le programme précédent pour afficher la vitesse de lancer en km·h^{-1}. On écrit le programme python 2 de la **figure 5**.

```
1 import numpy as np
2
3 h_max=float(input('h_max = '))
4 g = 9.81
5
6 v_0 = np.sqrt(2*g*h_max) #np.sqrt applique la fonction racine carrée
7
8 ...
9
10 print('La vitesse de lancer de la balle pour atteindre h_max est',v_ini,'km/h')
```

Figure 5 : python 2

Q.11. Compléter sur votre copie la ligne 8 du programme de la **figure 5** afin de calculer la vitesse de lancer en km·h^{-1}.

2. Qualité d'une balle de tennis de table

Pour vérifier la qualité d'une balle de tennis de table (article 2.1.3), un élève réalise une vidéo de la chute et du rebond d'une balle lâchée sans vitesse initiale depuis une hauteur h = 30 cm. Le pointage des positions de l'objet lors des différentes phases de son mouvement lui permet d'effectuer son étude énergétique **(Figure 6)**.

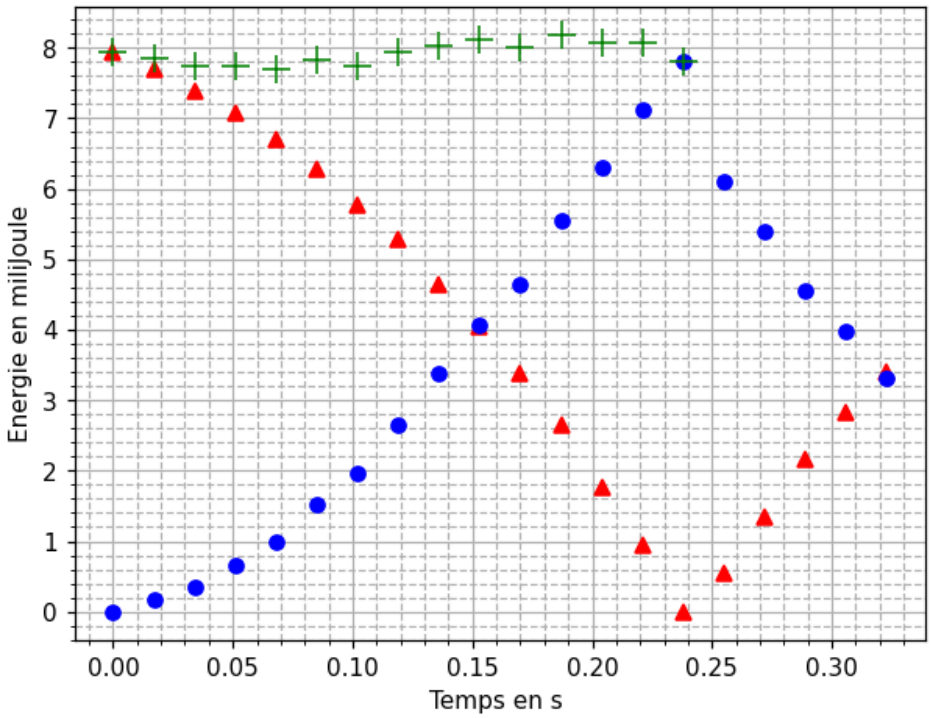


Figure 6 : évolutions des énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur de la balle lâchée depuis h = 30 cm

Q.12. Associer, pour la première phase du mouvement (temps compris entre 0,00 et 0,24 s), les symboles ●, ▲ et + aux énergies mécanique, cinétique et potentielle de pesanteur en justifiant les choix.

On réalise une étude énergétique dans la phase après le rebond (à partir de t > 0,24 s).

Q.13. Vérifier par le calcul, à l'aide de quelques données expérimentales prises sur la **Figure 6**, que l'énergie mécanique se conserve dans cette phase et a une valeur proche de 6,7 mJ.

Q.14. Déterminer la hauteur du rebond de la balle. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche, même non aboutie, sera valorisée.

3. Vitesse d'un coup droit smashé au tennis de table

Pour améliorer la rapidité de son coup droit, un joueur se munit à l'entraînement d'un cinémomètre, appareil qui mesure la vitesse d'un objet, par effet Doppler **(Figure 7)**.



Figure 7 : cinémomètre Doppler

Exercice 1

Pour que la mesure de la vitesse soit la meilleure possible, il est nécessaire de placer l'appareil de mesure sur la partie opposée de la table face au joueur **(Figure 8)**.



Figure 8 : mise en pratique du cinémomètre Doppler

Le cinémomètre utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il est constitué :

- d'un émetteur qui génère une onde de fréquence f_0 = 24,125 GHz en direction de la balle (1 GHz = 10^9 Hz) ;
- d'un récepteur qui reçoit l'onde après réflexion sur la balle à la fréquence f_R ;
- d'une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.

On note Δf le décalage Doppler mesuré par l'appareil lors de son utilisation.

Données :

- l'expression de la valeur absolue du décalage Doppler en fonction de la vitesse v de la balle, la célérité c_{onde} de l'onde électromagnétique et la fréquence f_0 générée par l'émetteur :

$$|\Delta f| = 2 \times f_0 \times \frac{v}{c_{onde}}$$

- la célérité de l'onde électromagnétique dans le vide est supposée connue.

Q.15. Expliquer pourquoi la situation illustre l'effet Doppler.

Q.16. Déterminer le signe du décalage Doppler dans la situation où la balle smashée s'approche du cinémomètre.

Suite au smash réalisé par un joueur amateur, l'appareil mesure un décalage Doppler dont la valeur absolue est $|\Delta f|$ = 4470 Hz.

Q.17. Calculer la vitesse de ce smash.

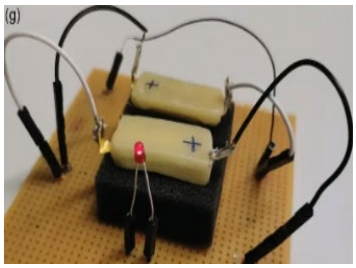
Le record du monde du smash le plus rapide a été établi en 2003 par Mark Brandt avec une vitesse atteinte de 112,5 $km \cdot h^{-1}$.

Q.18. Indiquer, en justifiant, si la vitesse du smash du joueur amateur est du même ordre de grandeur que le record du monde.

EXERCICE 2 : une batterie comestible (5 points)

L'électronique comestible est au cœur de l'attention des scientifiques qui cherchent à améliorer la réalisation de certains diagnostics de santé, et le déploiement d'équipements médicaux facilement ingérables et sans danger.

Un nouveau pas vient d'être franchi avec la création d'une batterie rechargeable entièrement comestible, pouvant se dissoudre dans le corps humain en toute sécurité.



Prototype de batterie comestible développée par les chercheurs de l'Institut Italien de Technologie

D'après https://www.futura-sciences.com/

Dans cet exercice, on s'intéresse à deux utilisations possibles de ce prototype :

- alimenter de petits équipements électroniques permettant de surveiller la santé d'un patient ;
- remplacer les piles rechargeables présentes dans les jouets, dispositifs sources d'intoxication après ingestion par les jeunes enfants.

1. Composition et fonctionnement de la pile

Le prototype réalisé par des chercheurs italiens est constitué de deux électrodes :

- la première notée CA / R est en or, recouverte de charbon actif et de 0,75 mg de riboflavine ou vitamine B2;
- la seconde notée CA / Q est en or, recouverte de charbon actif et de 0,60 mg de quercétine (pigment végétal présent dans les câpres ou l'oignon rouge).

L'ensemble est séparé par un film d'algue Nori immergé dans une solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium ($Na^+(aq)$; $HSO_4^-(aq)$) puis encapsulé dans de la cire d'abeille (**Figure 1**).

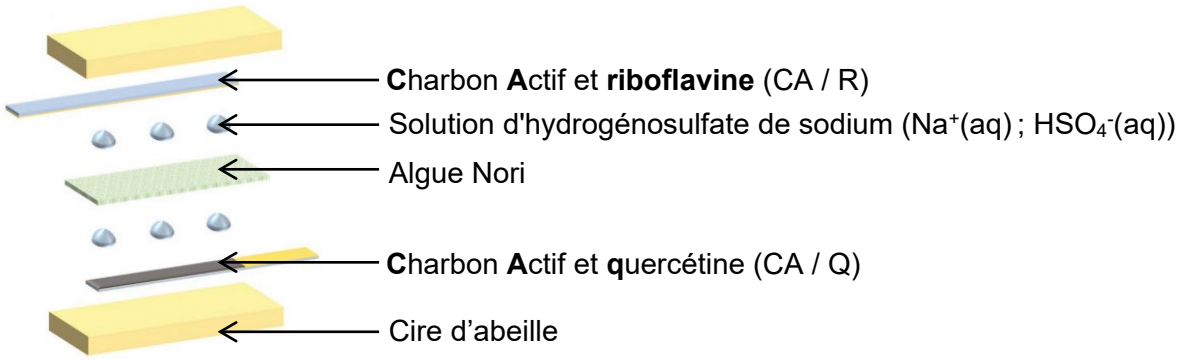


Figure 1 : composition de la pile – D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400

Lors de son fonctionnement, la pile permet d'obtenir une tension de 0,65 V et de délivrer un courant d'intensité constante de 48 µA pendant une durée Δt = 12 minutes. Ce courant permet selon les scientifiques italiens d'alimenter de petits dispositifs médicaux.

Données :

- informations relatives à la riboflavine et la quercétine :

	Formule Brute	**Masse molaire moléculaire ($g \cdot mol^{-1}$)**	**Couple oxydant / réducteur**
riboflavine (R)	$C_{17}H_{20}N_4O_6$	376,36	$C_{17}H_{18}N_4O_6(s)$ / $C_{17}H_{20}N_4O_6(s)$
quercétine (Q)	$C_{15}H_{10}O_7$	302,24	$C_{15}H_{10}O_7(s)$ / $C_{15}H_{12}O_7(s)$

- nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ;
- charge élémentaire $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ;
- constante de Faraday : $F = 96\,500$ $C \cdot mol^{-1}$.
  Le Faraday est la valeur absolue de la charge électrique d'1 mol d'électrons.

Q.1. Écrire l'équation de la réaction électrochimique modélisant la transformation de la riboflavine lors du fonctionnement de la pile.

Q.2. En déduire si la riboflavine subit une oxydation ou une réduction. Justifier.

La pile comestible est utilisée pour alimenter une résistance.

Q.3. Compléter le schéma de fonctionnement de la pile situé en **ANNEXE à rendre avec la copie** en mentionnant :
- la borne positive
- la borne négative
- le sens du courant dans le circuit
- le sens des électrons dans le circuit

Q.4. Indiquer le rôle joué par le film d'algue Nori immergé dans la solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium ($Na^+(aq)$; $HSO_4^-(aq)$).

La réaction électrochimique modélisant la transformation mise en jeu sur l'électrode recouverte de quercétine est :

$$C_{15}H_{10}O_7(s) + 2\ H^+(aq) + 2\ e^- = C_{15}H_{12}O_7(s)$$

Q.5. Déterminer la charge électrique Q délivrée par la pile pendant les 12 min de fonctionnement.

Q.6. En déduire que la quantité de matière d'électrons n_e consommée par l'électrode recouverte de quercétine pendant la durée Δt vaut $n_e = 3{,}6 \times 10^{-7}$ mol.

Q.7. Indiquer si, au bout de 12 min, la demi–pile est déchargée en calculant le pourcentage de quercétine qui a été consommée pendant cette durée.

2. Recharge de la pile

Une deuxième possibilité d'application de cette batterie comestible est son utilisation pour remplacer les piles Lithium-Ion ou Nickel Métal Hybride utilisées dans les jouets. En effet, ces dernières présentent un danger d'intoxication en cas d'ingestion par un jeune enfant.

Les scientifiques italiens ont étudié le comportement de leur prototype après plusieurs charges sous une tension comprise entre 0,60 et 0,80 V pour un courant de 48 µA (**Figure 2**).

Q.8. Indiquer la courbe qui représente la charge de la batterie comestible en analysant le graphe de la **figure 2** Expliquer.

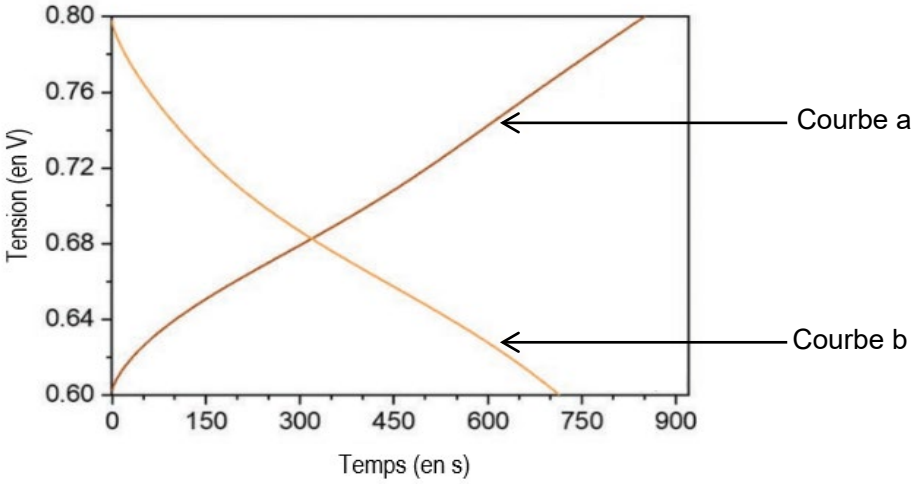


Figure 2 : charge et décharge de la batterie – D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400

On cherche à comparer la capacité d'une pile comestible à celle d'une pile classique Nickel Métal Hybride.

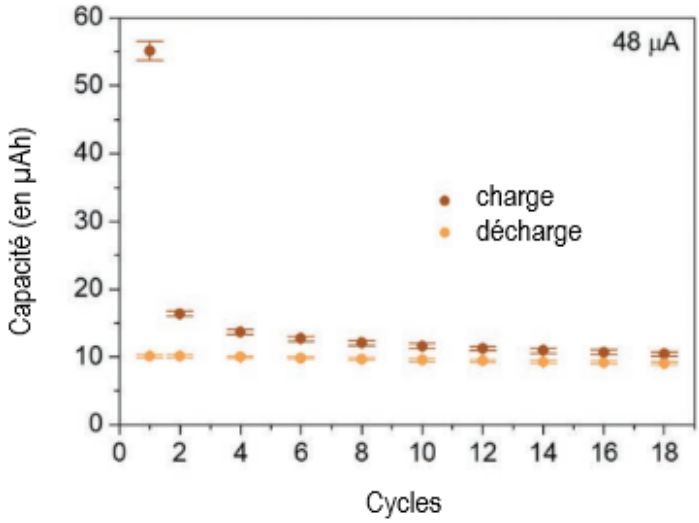


Figure 3 : capacité électrique de la batterie comestible après plusieurs cycles charge / décharge – D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400



Figure 4 : pile Nickel Métal Hybride (NMH)– D'après Adv. Mater. 2023, 35, 2211400

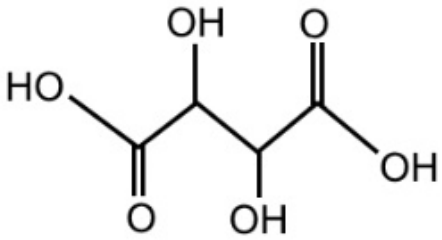
Q.9. Calculer, avec les données fournies par la **figure 4**, la capacité en Ampèreheure (notée A·h) de la pile Nickel Métal Hybride. Discuter de la possibilité d'une réelle application de la batterie comestible dans la vie courante.

EXERCICE 3 : acidité totale du vin (4 points)

Dans cet exercice, on s'intéresse à l'étude d'un acide faible présent dans le vin puis à la détermination d'une grandeur imposée par la réglementation viticole : l'acidité totale.

1. Étude de l'acide tartrique

On donne la formule de l'acide tartrique, l'un des acides faibles présents dans le vin :



Q.1. Reproduire sur votre copie la formule topologique de l'acide tartrique et entourer les groupes caractéristiques.

Q.2. Nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

2. Acidité totale du vin

Données :

- pK_A ($H_2CO_3(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$) = 6,4
- pK_A ($HCO_3^-(aq)$ / $CO_3^{2-}(aq)$) = 10,3
- masse molaire de l'acide sulfurique H_2SO_4 : $M(H_2SO_4)$ = 98,1 g·mol^{-1}
- masse molaire de l'acide tartrique : M = 150,0 g·mol^{-1}
- zones de virage de plusieurs indicateurs colorés :

Nom de l'indicateur	Zone de virage	Changement de couleur
Jaune d'alizarine R	1,9 – 3,3	Rouge -Jaune
Bleu de bromothymol	6,0 – 7,6	Jaune - bleu
Phénolphtaléine	8,2 – 10,0	Incolore - rose

- incertitude-type $u(\overline{X})$ sur la valeur moyenne $\overline{X}$ d'une série de mesure :

$$u(\overline{X}) = \frac{s(X)}{\sqrt{n}}$$

où $u(\overline{X})$ est l'incertitude-type de la moyenne
$s(X)$ est l'écart-type expérimental
n le nombre de mesures réalisées

- pour comparer le résultat d'une mesure X_{mes} à une valeur de référence X_{ref}, on utilise le quotient $\frac{|X_{mes} - X_{ref}|}{u(X)}$ où $u(X)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Le dioxyde de carbone se dissout dans l'eau du vin. Cette dissolution aboutit à la formation d'acide carbonique $H_2CO_3(aq)$. L'acide carbonique est un diacide faible dont les bases associées sont les ions hydrogénocarbonate $HCO_3^-(aq)$ et les ions carbonate $CO_3^{2-}(aq)$.

Cet acide n'entrant pas en compte dans la définition de l'acidité du vin ; il est nécessaire de l'éliminer avant le titrage de l'acidité totale du vin. Le protocole expérimental de détermination de l'acidité totale est donné ci-dessous :

- 1ère étape : protocole d'élimination de l'acide carbonique

On place un volume de 50 mL de vin dans un erlenmeyer relié à une trompe à vide. On agite sous vide pendant deux ou trois minutes pour éliminer l'acide carbonique du vin.

- 2ème étape : protocole de titrage

Dans un erlenmeyer, on place :

- un volume V_A de vin dont on a éliminé l'acide carbonique ;
- 10 mL d'eau distillée ;
- 4 à 5 gouttes d'indicateur coloré.

On ajoute une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$, $HO^-(aq)$) de concentration connue. L'équivalence est supposée atteinte lorsque le pH vaut 7,0.

Le pH d'un vin doit être compris entre 2,70 et 3,70.

Q.3. Représenter le diagramme de prédominance faisant intervenir les couples $H_2CO_3(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$ et $HCO_3^-(aq)$ / $CO_3^{2-}(aq)$.

Q.4. En déduire pourquoi il est nécessaire lors d'une première étape d'éliminer l'acide carbonique du vin.

Q.5. Indiquer en justifiant le nom de l'indicateur coloré à utiliser dans l'étape 2 du protocole.

En France, l'acidité totale AT d'un vin est définie comme équivalente à la concentration en masse d'acide sulfurique $H_2SO_4(aq)$. La réglementation impose une teneur comprise entre 3,0 et 6,0 $g.L^{-1}$.

La détermination de l'acidité totale s'effectue par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$, $HO^-(aq)$) de concentration C_B = 0,100 $mol \cdot L^{-1}$, selon l'équation de la réaction support du titrage :

$$H_2SO_4(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow SO_4^{2-}(aq) + 2\ H_2O(\ell)$$

Pour pérenniser la qualité de son produit, un viticulteur teste chaque année son vin et souhaite une production dont l'acidité totale reste stable à 3,45 $g \cdot L^{-1}$.

Le protocole de titrage est réalisé avec V_A = 5,0 mL de vin.

Le changement de couleur est observé pour un volume ajouté d'hydroxyde de sodium : V_B = 3,5 mL.

Q.6. Déterminer la valeur de l'acidité totale AT du vin analysé.

Le titrage est ensuite reproduit 10 fois et les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Expérience	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Acidité totale calculée (en $g.L^{-1}$)	3,41	3,38	3,52	3,45	3,43	3,45	3,44	3,41	3,42	3,40

Q.7. Calculer la valeur moyenne de l'acidité totale $\overline{AT}$ et l'incertitude-type $u(\overline{AT})$ sur l'acidité totale à partir des résultats précédents.
Écrire le résultat de la mesure de l'acidité totale moyenne avec un nombre adapté de chiffres significatifs, $u(\overline{AT})$ étant écrit avec un seul chiffre significatif.

Q.8. Comparer le résultat de cette acidité totale moyenne à la valeur souhaitée par le viticulteur. Conclure.

En Alsace, l'acidité totale est donnée en équivalent d'acide tartrique, et non en équivalent d'acide sulfurique. L'acide tartrique H_2A est aussi un diacide ; l'équation de la réaction support du titrage est alors :

$$H_2A(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\ H_2O(\ell)$$

Q.9. Choisir la proposition exacte ci-dessous et justifier votre choix.

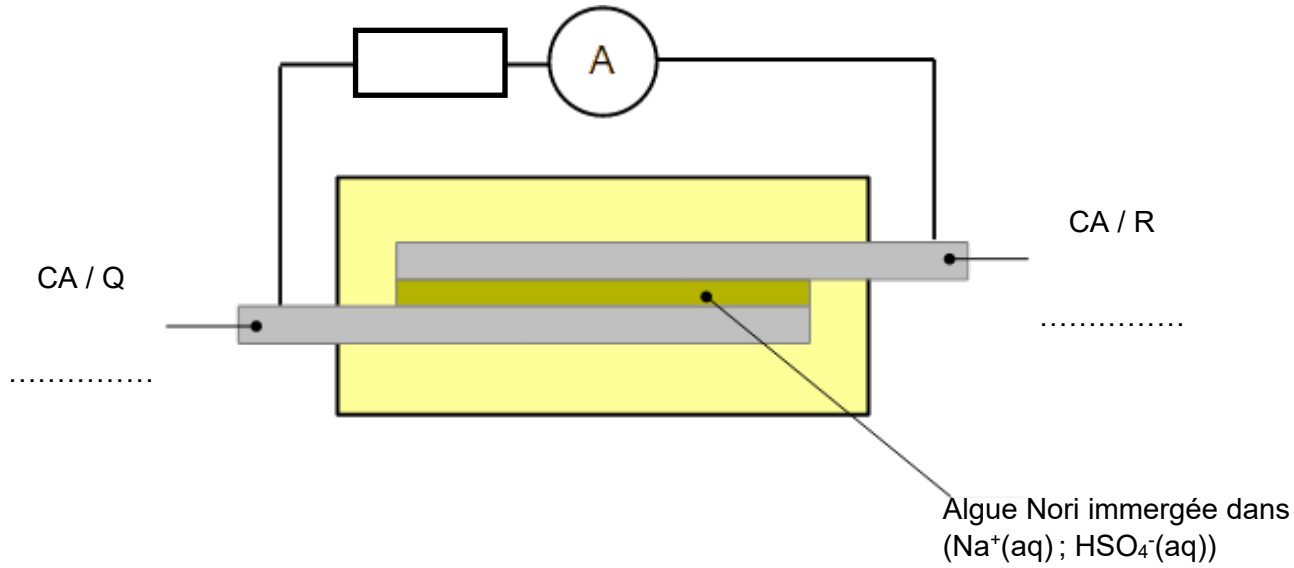
a. En Alsace, l'acidité totale d'un vin doit être comprise entre 3,0 et 6,0 $g \cdot L^{-1}$.

b. En Alsace, l'acidité totale d'un vin doit être comprise entre 4,6 $g \cdot L^{-1}$et 9,2 $g \cdot L^{-1}$.

c. En Alsace, l'acidité totale d'un vin doit être comprise entre 1,8 $g \cdot L^{-1}$et 3,2 $g \cdot L^{-1}$.

Annexe à rendre avec la copie

EXERCICE 2 : Une batterie comestible



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.