



Étude du mouvement d'une voiture miniature

exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 1 du sujet de Métropole

■ Physique-Chimie :

Mouvements et interactions (programme de terminale) :

- Citer et exploiter la relation entre les coordonnées du vecteur-vitesse et celles du vecteur accélération.
- Effectuer un bilan des forces sur des objets en mouvement plan.
- Citer et exploiter les lois de Newton.
- Identifier les forces dont le travail est nul.
- Exprimer le travail d'une force constante.

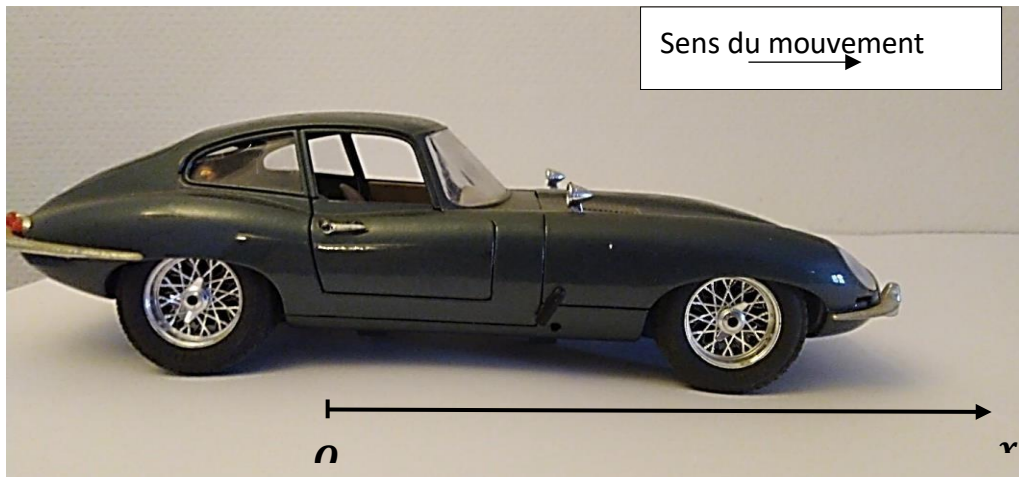
Mouvements et interactions (programme de 1^{ère}) :

- Citer et exploiter les relations définissant l'énergie cinétique et le travail d'une force constante lors d'un mouvement rectiligne.
- Associer une variation d'énergie cinétique au travail des forces.

■ Mathématiques (programme de 1^{ère}) :

- Calculer la projection d'un vecteur sur un axe.
- Utiliser les différentes notations du taux de variation et du nombre dérivé en un point.
- Calculer une fonction dérivée.

Lors d'une séance expérimentale, un binôme d'élèves réalise la vidéo du mouvement d'une voiture miniature de masse $m = 0,040$ kg, en roue libre. L'objectif de l'expérience est de déterminer l'intensité F de l'ensemble des forces de frottement qui s'exercent sur la voiture et la distance d parcourue avant l'arrêt. Les forces de frottement sont supposées constantes. L'étude est menée dans le référentiel du sol supposé galiléen. Le mouvement de la voiture est rectiligne et s'effectue selon un axe horizontal (Ox) fixe.



L'analyse de la vidéo obtenue par le binôme d'élèves, au moyen d'un logiciel de pointage, permet d'obtenir le graphe de l'évolution de la position x du centre de masse G de la voiture au cours du temps.

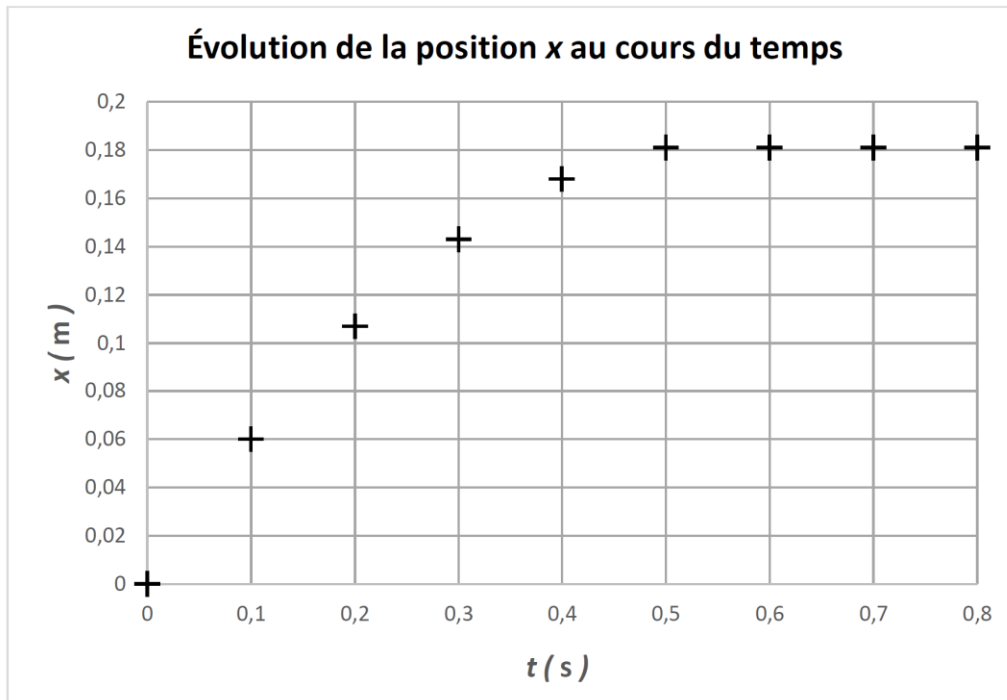


Figure 1

1. En prenant appui sur la **figure 1** et en justifiant, décrire l'évolution (croissante, décroissante...) de la vitesse de la voiture au cours du temps.

À la date t , la vitesse de la voiture est égale au coefficient directeur de la tangente à la courbe représentant la fonction $x(t)$. De 0 à 0,5 s, les tangentes à la courbe sont de moins en moins pentues, les coefficients directeur des tangentes à la courbe diminuent la vitesse est donc décroissante. Entre 0,5s et 0,8 s, la tangente à la courbe est horizontale, la vitesse est donc constante.

2. En utilisant la **figure 1**, calculer la vitesse moyenne de la voiture entre les instants $t_0 = 0$ et $t = 0,1$ s.
Par définition, la vitesse moyenne vaut :

$$v_{\text{moy}} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t}$$

La vitesse moyenne entre $t_0 = 0$ s et $t = 0,1$ s vaut :

$$v_{\text{moy}} = \frac{0,06 - 0}{0,1 - 0} = 0,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le nuage expérimental de points peut être modélisé par une fonction polynomiale sur l'intervalle de temps $[0 ; 0,50]$, le temps étant exprimé en secondes. On rappelle que la position x est exprimée en mètres.

Cette fonction, notée x , a pour expression :

$$x(t) = -0,58 \times t^2 + 0,65 \times t$$

La fonction x est dérivable sur l'ensemble des réels. On note x' sa dérivée.

3. Déterminer $x'(t)$ pour tout réel t .

$$x'(t) = -0,58 \times 2t + 0,65$$

$$x'(t) = -1,06t + 0,65$$

4. Calculer $x'(0)$.

$$x'(0) = -1,06 \times 0 + 0,65$$

$$x'(0) = 0,65$$



5. Nommer la grandeur physique à laquelle fait référence $x'(0)$.

Il s'agit d'une **vitesse**.

A l'instant $t = 0$, la vitesse de la voiture est égale à $0,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

6. Dédurre de la question 3 la valeur de l'accélération définie sur l'intervalle de temps $[0 ; 0,50]$, le temps étant exprimé en secondes. Interpréter le signe dans la situation étudiée.

L'accélération étant définie comme la dérivée de la vitesse par rapport du temps, on a :

$$x''(t) = -1,06 + 0,65$$

$$x''(t) = -0,41$$

Donc $a_x(t) = -0,41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ sur l'intervalle de temps $[0 ; 0,50]$.

La coordonnée horizontale de l'accélération étant négative, la voiture ralentit.

7. Réaliser le bilan des forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur la voiture au cours de son mouvement. Les représenter sans souci d'échelle sur un schéma où la voiture est réduite à son centre de masse G .

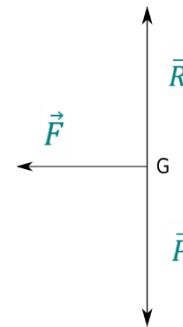
On étudie le mouvement de la voiture dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Les forces appliquées à la voiture sont :

\vec{P} : le poids

\vec{R} : la réaction du sol

\vec{F} : les forces de frottements



8. En utilisant la seconde loi de Newton, montrer que l'intensité F de l'ensemble des forces de frottement s'exerçant sur le système voiture s'écrit :

$$F = -m \times a_x$$

La deuxième loi de Newton énonce que dans un référentiel galiléen, la résultante des forces exercées sur le système est égale au produit de sa masse m et du vecteur-accelération \vec{a} de son centre d'inertie.

La seconde loi de Newton appliquée au système « voiture » permet d'écrire l'expression vectorielle :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\vec{a}$$

Le mouvement a lieu seulement sur l'axe (Ox) , on peut projeter cette relation sur l'axe vertical Ox :

$$\underbrace{P_x}_0 + \underbrace{R_x}_0 + \underbrace{F_x}_{-F} = ma_x$$

Soit :

$$F = -m \times a_x$$

9. Montrer que la valeur numérique de l'intensité F de l'ensemble des forces de frottements est égale à $4,6 \times 10^{-2} \text{ N}$.

$$F = -0,040 \times (-1,16) = 4,6 \times 10^{-2} \text{ N}$$



On rappelle que la voiture parcourt une distance d avant de s'arrêter et que le travail de la force constante \vec{F} entre le point de départ O et le point d'arrêt A s'écrit $W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{OA}$.

10. Montrer que $W(\vec{F}) = -F \times d$.

$$W(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{OA}$$

Les forces de frottement sont opposées au déplacement donc :

$$W(\vec{F}) = F \times d \times \underbrace{\cos(180)}_{-1}$$

$$W(\vec{F}) = -F \times d$$

La variation de l'énergie cinétique du système voiture entre les instants $t_0 = 0$ et $t_f = 0,5$ s (instant à partir duquel on considère la vitesse nulle) est égale au travail de l'ensemble des forces de frottements.

11. En déduire la valeur de la distance d parcourue par la voiture entre les instants t_0 et t_f . Confronter le résultat obtenu à celui que l'on peut déterminer sur la figure 1.

$$\Delta Ec = Ec(t_f) - Ec(t_0) = -F \times d$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -F \times d$$

Avec :

$$v_0 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \text{ et } v_f = 0,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$d = \frac{mv_f^2}{2F} = \frac{0,040 \times 0,65^2}{2 \times 4,6 \times 10^{-2}} = 0,18 \text{ m}$$

Cette distance correspond bien à la valeur $x(0,5) = 0,18$ m.



La mobilité décarbonée

exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 2 du sujet de Métropole

■ Physique-Chimie :

Energie et transferts :

- Schématiser une chaîne énergétique en identifiant les formes, les réservoirs et les convertisseurs d'énergie.
- Exploiter le principe de conservation de l'énergie pour réaliser un bilan énergétique, estimer l'énergie dissipée et calculer un rendement.
- Associer une dissipation d'énergie à un transfert thermique.

Energie électrique :

- Citer et exploiter l'expression de la puissance électrique fournie par un générateur et reçue par un récepteur
- Citer et exploiter la relation entre puissance et énergie
- Effectuer un bilan des forces sur des objets en mouvement plan.

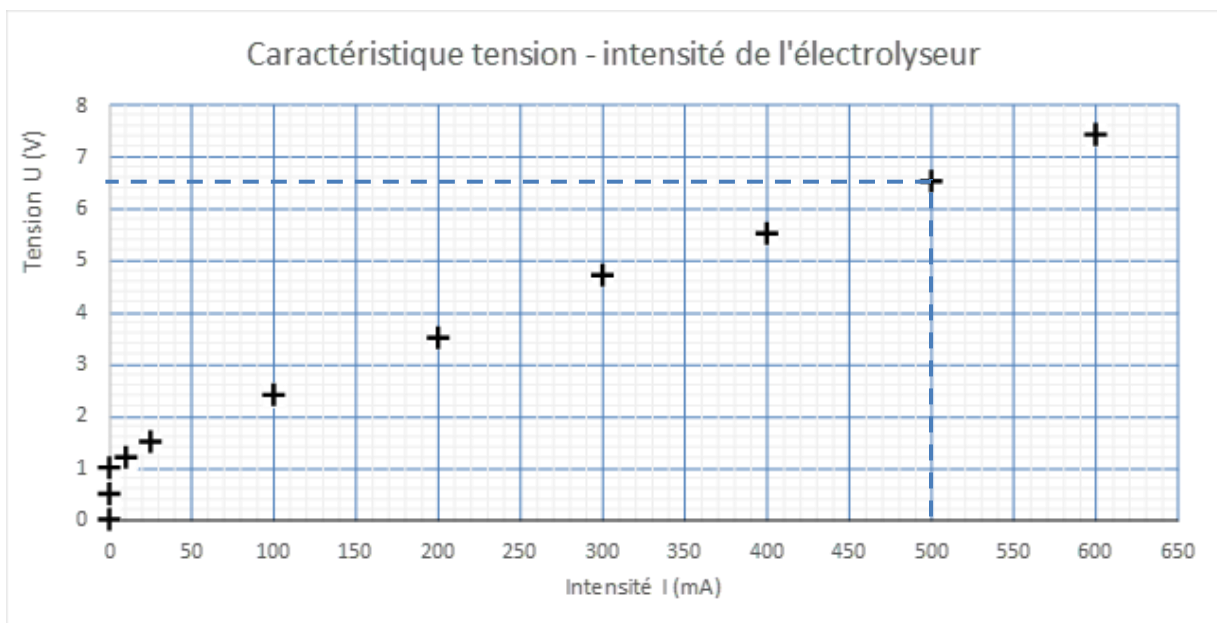
Réactions d'oxydo-réduction

- Ecrire une équation de demi-réaction.
- Préciser le nom de chaque électrode

La mobilité décarbonée est un défi à relever afin de limiter la pollution engendrée par les modes de transport classiques. Une solution proposée est celle de véhicules électriques utilisant une pile à hydrogène qui nécessite du dihydrogène pour fonctionner.

On s'intéresse à la production du dihydrogène par l'électrolyse de l'eau acidifiée par la présence d'acide sulfurique (2H^+ , SO_4^{2-}) dans un électrolyseur de laboratoire de lycée. Lors de cette transformation chimique, l'eau se décompose et il se forme du dihydrogène et du dioxygène. Dans la littérature, les rendements indiqués dans le cas de l'électrolyse industrielle de l'eau sont compris entre 75 et 90 %.

Un électrolyseur est un dipôle qui convertit une partie de l'énergie électrique reçue en énergie chimique. Au laboratoire, on dispose de l'électrolyseur schématisé sur le document réponse et dont la caractéristique tension-intensité est donnée ci-dessous.





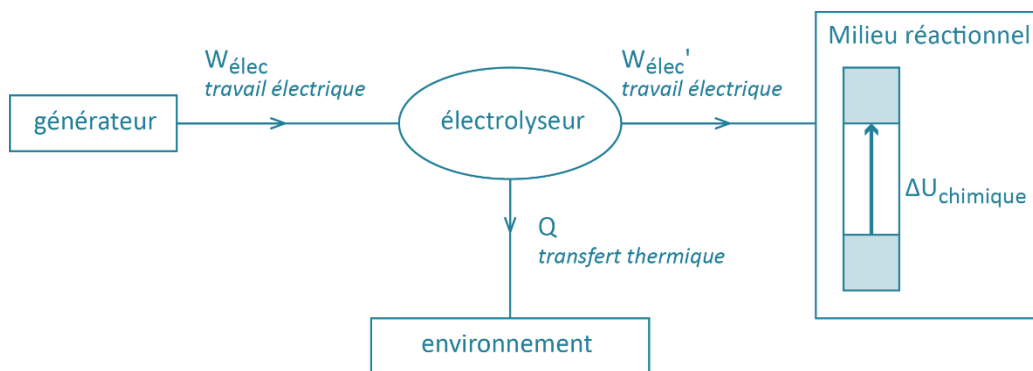
Données :

- Énergie chimique nécessaire à la formation d'un volume égal à 1,0 mL de dihydrogène, à la pression atmosphérique, lors de l'électrolyse de l'eau réalisée au laboratoire : 11 J.
- Couples oxydant/réducteur mis en jeu lors de l'électrolyse : $H^+(aq)/H_2(g)$ et $O_2(g)/H_2O(l)$.

1. Indiquer, en expliquant la réponse, si l'électrolyseur est un générateur ou un récepteur électrique. Schématiser la conversion énergétique qui a lieu dans l'électrolyseur en faisant apparaître les différentes formes d'énergie mises en jeu.

L'électrolyseur est un récepteur électrique : il reçoit de l'énergie par travail électrique de la part du générateur et cède cette énergie :

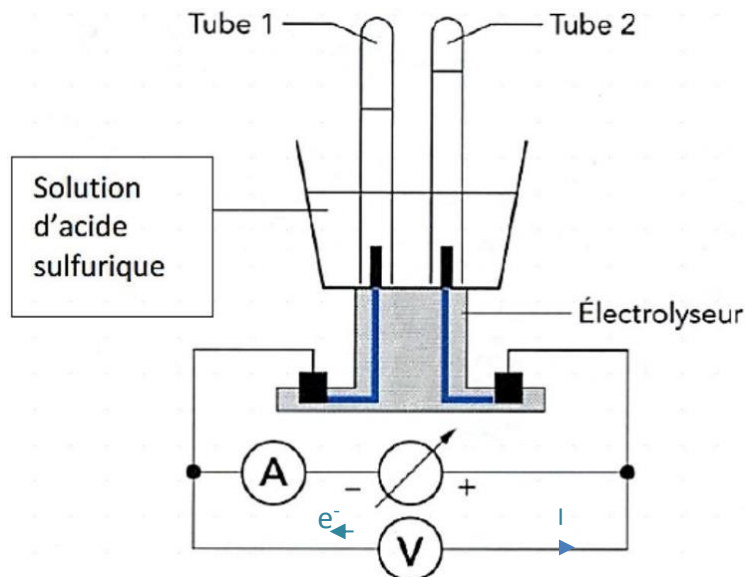
- au milieu réactionnel par travail électrique, ce qui conduit à l'augmentation de son énergie interne chimique ;
- à l'environnement par transfert thermique (ce qui est une dissipation).



NB : ce schéma respecte les choix adoptés dans les collections numériques mais d'autres représentations sont possibles.

2. Compléter le schéma du montage d'électrolyse présenté dans le document réponse, à rendre avec la copie, en indiquant le sens de circulation du courant et celui des électrons dans le circuit.

Document réponse : Schéma du montage de l'électrolyseur



Dans cette expérience, le gaz produit à chaque électrode est récupéré dans un tube à essais.

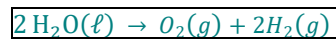
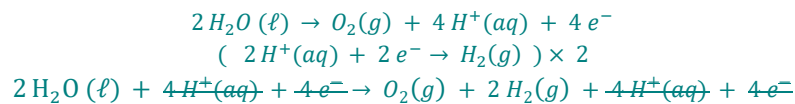
Le courant circule du pôle + au pôle - du générateur, et les électrons en sens inverse.



3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation se produisant au niveau de l'électrode reliée à la borne négative du générateur (à cette électrode, le dégagement gazeux se produit dans le tube 1).
A l'électrode reliée à la borne – du générateur arrivent des électrons. Il s'y produit donc une réaction de réduction.



4. Préciser, en expliquant la réponse, si cette électrode constitue l'anode ou la cathode du dispositif.
A cette électrode se produit une réaction de réduction, il s'agit donc de la cathode du dispositif.
5. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation se déroulant lors de l'électrolyse de l'eau.
A l'électrode reliée à la borne + du générateur partent des électrons. Il s'y produit donc une réaction d'oxydation.



6. Déterminer la valeur de la tension mesurée aux bornes de l'électrolyseur du laboratoire lorsqu'il est traversé par un courant électrique d'intensité égale à 500 mA.
On lit la valeur sur la caractéristique de l'électrolyseur. $U = 6,5 \text{ V}$
7. En déduire la valeur de la puissance électrique reçue par l'électrolyseur en fonctionnement dans ces conditions.

$$P = U \times I$$

$$P = 6,5 \times 500 \times 10^{-3}$$

$$\boxed{P = 3,3 \text{ W}}$$

On réalise au laboratoire l'électrolyse de l'eau pendant une durée de deux minutes avec une intensité du courant maintenue égale à 500 mA. Il se forme alors un volume de dihydrogène égal à 20 mL.

8. Montrer que la valeur de l'énergie électrique reçue par l'électrolyseur pendant les deux minutes de fonctionnement est environ égale à 400 J.

$$E = P \times \Delta t$$

$$E = 3,3 \times 2 \times 60$$

$$\boxed{E = 4,0 \times 10^2 \text{ J} \approx 400 \text{ J}}$$

9. Déterminer le rendement de l'électrolyseur en fonctionnement. Commenter ce résultat par rapport à une électrolyse industrielle.

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{absorbée}}} \times 100 = \frac{E_{\text{chimique}}}{E_{\text{électrique}}} \times 100$$

$$E_{\text{chimique}} = V(H_2) \times E_{\text{formation } 1\text{mL } H_2}$$

$$E_{\text{chimique}} = 20 \times 11 = 2,2 \times 10^2 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{2,2 \times 10^2}{4,0 \times 10^2} \times 100$$

$$\boxed{\eta = 55 \%}$$

Ce rendement est plus faible que les rendements industriels. On peut supposer que dans notre matériel de laboratoire, non industriel, les pertes thermiques, par effet Joule notamment, sont plus importantes.



L'acide benzoïque

exercice corrigé

Baccalauréat de mars 2023 – exercice 4 du sujet de Métropole

■ Physique-Chimie :

Structure spatiale des espèces chimiques :

- Repérer les groupes caractéristiques dans une formule chimique donnée (1^{ère})

Réactions acido-basiques en solution aqueuse :

- Identifier l'acide et la base dans un couple donné (1^{ère})
- Ecrire l'équation de la réaction non totale d'un acide faible avec l'eau (1^{ère})
- Définir le pKa d'un couple acide/base comme étant le pH d'une solution équimolaire d'acide faible et de base faible conjugués. (1^{ère})
- Identifier l'espèce prédominante d'un couple acide / base en fonction du pH du milieu et du pKa du couple. (1^{ère})
- Réaliser une extraction ou une séparation faisant intervenir une espèce acide ou basique.

Corps purs et mélanges au quotidien (2^{nde}) :

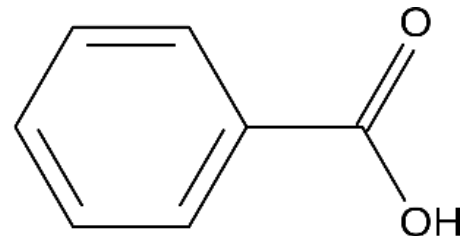
- Mesurer une température de changement d'état
- Réaliser une chromatographie sur couche mince

L'acide benzoïque, de formule C_6H_5COOH , et le benzoate de sodium sont des conservateurs antimicrobiens respectivement identifiés par les codes E210 et E211. Ils sont présents dans de nombreux produits alimentaires et notamment dans certaines boissons gazeuses sucrées.

À température ambiante, l'acide benzoïque est un solide blanc.

Données :

- Masse molaire de l'acide benzoïque : $M = 122 \text{ g mol}^{-1}$.
- Température de fusion de l'acide benzoïque : $\theta_f = 122,4 \text{ }^\circ\text{C}$.
- pK_a du couple acide benzoïque/ion benzoate : $pK_a = 4,2$.
- Le benzoate de sodium est soluble dans l'eau.



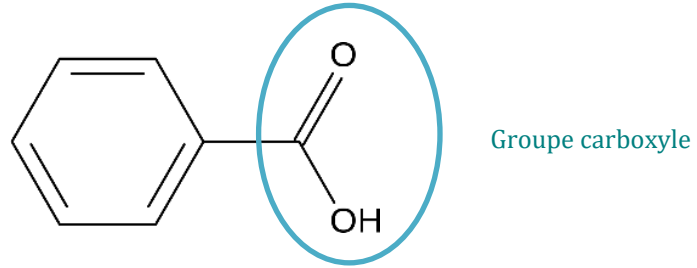
Formule topologique de l'acide benzoïque

	Densité	Eau	Éthanol	Éther éthylique
Acide benzoïque	-	Peu soluble	Très soluble	Très soluble
Eau	1,0		Miscible	Non miscible
Éthanol	0,76	Miscible		
Éther éthylique	0,71	Non miscible		

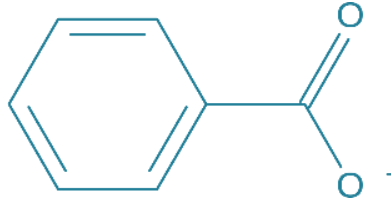
L'objectif de cet exercice est de vérifier l'indication d'une étiquette de boisson gazeuse concernant la présence d'un conservateur.



1. Sur la formule topologique représentée dans le **document réponse**, à rendre avec la copie, entourer et nommer le groupe caractéristique présent.



2. Écrire la formule topologique de l'ion benzoate, base conjuguée de l'acide benzoïque.



3. Représenter le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque/ion benzoate.

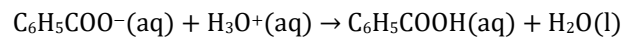


Dans un premier temps, on réalise deux expériences permettant de mettre en évidence les propriétés de l'acide benzoïque et de l'ion benzoate :

Expérience (1) : Dans un tube à essais contenant une solution de benzoate de sodium, on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré. On observe qu'un solide blanc apparaît.

Expérience (2) : Dans un tube à essais contenant une solution de soude concentrée, on ajoute de l'acide benzoïque solide. On observe que le solide introduit disparaît.

4. On donne l'équation chimique suivante :



La réaction qui correspond à l'équation ci-dessus modélise une transformation chimique ayant lieu lors de l'une des expériences précédentes. Indiquer, en justifiant la réponse, s'il s'agit de l'expérience (1) ou de l'expérience (2).

Dans cette équation, les réactifs sont l'ion benzoate et l'ion oxonium. Ils correspondent aux réactifs de l'expérience 1, les ions oxonium étant apportés par la solution d'acide chlorhydrique. Il s'agit donc de l'équation modélisant la transformation chimique se produisant dans l'expérience 1.

L'étiquette d'une boisson gazeuse indique qu'elle contient du benzoate de sodium comme conservateur alimentaire, entre autres, et on souhaite vérifier cette indication. On réalise pour cela une extraction liquide-liquide. On suit le protocole expérimental suivant :

1. Verser 500 mL de boisson dans un grand bécher.
2. Ajouter de l'acide chlorhydrique jusqu'à amener le *pH* à environ 2.
3. Ajouter alors 40 mL d'éther éthylique, agiter et laisser reposer.
4. Transvaser l'ensemble dans une ampoule à décanter.
5. Agiter vigoureusement pendant deux minutes en prenant soin de dégazer régulièrement pour éviter toute surpression.
6. Laisser décanter.
7. Récupérer la phase aqueuse S dans un bécher et la phase organique dans un erlenmeyer.



5. Préciser ce qu'il se passe lors de l'étape 2 du protocole.

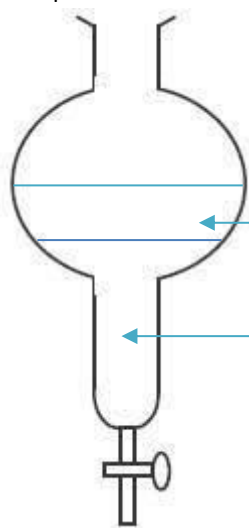
Lors de l'étape 2 du protocole, l'ion benzoate se transforme en acide benzoïque suite à l'ajout d'acide chlorhydrique. En effet, on ajoute l'acide chlorhydrique jusqu'à $\text{pH} = 2$, c'est-à-dire un pH inférieur au pKa du couple. Il s'agit donc de la zone de prédominance de l'acide benzoïque. On peut noter qu'on retrouve la réaction ayant lieu lors de l'expérience 1.

6. À l'aide des données, expliquer pourquoi l'éther éthylique constitue un solvant extracteur plus adapté que l'éthanol lors de la réalisation de l'étape 3 du protocole.

Le solvant extracteur doit être non miscible à l'eau et l'acide benzoïque doit être plus soluble dans celui-ci que dans l'eau.

L'éther diéthylique réunit ces deux conditions alors que l'éthanol est miscible avec l'eau.

7. Compléter le schéma du document réponse, à rendre avec la copie, en justifiant, à l'aide des données, la nature et la position des différentes phases dans l'ampoule à décanter à l'issue de l'étape 6 du protocole.



Phase organique :
éther diéthylique +
acide benzoïque

Phase aqueuse

L'éther diéthylique est moins dense que l'eau ($d_{\text{éther}} = 0,71 < d_{\text{eau}} = 1,0$)
La phase organique constitue donc la phase supérieure et la phase aqueuse, la phase inférieure.

8. Après évaporation du solvant extracteur, il reste une masse $m = 10,0$ mg de solide blanc. Proposer une méthode expérimentale permettant de vérifier que ce solide blanc est bien de l'acide benzoïque.

Pour vérifier que le solide blanc est bien de l'acide benzoïque, on peut mesurer son point de fusion au banc Kofler et vérifier qu'il est bien de $122,4^\circ\text{C}$.

On peut également réaliser une chromatographie sur couche mince en déposant le solide blanc, dissout dans un solvant adapté et de l'acide benzoïque de référence dissout dans le même solvant et vérifier qu'on obtient bien pour le solide blanc, une tache à la même hauteur que celle obtenue pour l'acide benzoïque de référence. On pourra révéler la chromatographie sous lampe UV.

On peut enfin proposer de réaliser un spectre infra-rouge ou RMN du solide blanc obtenu. (Cette dernière réponse peut être uniquement proposée par des élèves de SPCL)

9. Sachant que la concentration C en quantité de matière totale théorique d'ions benzoate dans cette boisson est égale à $4,0 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, montrer que la masse théorique d'acide benzoïque que l'on devrait obtenir à l'issue de l'extraction est égale à 24 mg.

La réaction entre l'ion benzoate et l'acide chlorhydrique étant totale, la quantité théorique d'acide benzoïque que l'on devrait obtenir à l'issue de l'extraction est égale à la quantité de matière totale théorique dans cette boisson soit :

$$\begin{aligned}n(\text{acide benzoïque théorique}) &= n(\text{ion benzoate théorique}) = C \times V_{\text{boisson}} \\m(\text{acide benzoïque théorique}) &= n(\text{acide benzoïque théorique}) \times M(\text{acide benzoïque}) \\m(\text{acide benzoïque théorique}) &= C \times V_{\text{boisson}} \times M(\text{acide benzoïque}) \\m(\text{acide benzoïque théorique}) &= 4,0 \times 10^{-4} \times 500 \times 10^{-3} \times 122 \\m(\text{acide benzoïque théorique}) &= 2,4 \times 10^{-2} \text{ g} = 24 \text{ mg}\end{aligned}$$



10. Le rendement d'une extraction étant défini comme le rapport de la masse de substance réellement extraite sur la masse théorique de substance que l'on aurait pu extraire, calculer le rendement de cette extraction et l'exprimer en pourcentage. Commenter ce résultat.

$$\eta = \frac{m(\text{acide benzoïque extrait})}{m(\text{acide benzoïque théorique})} \times 100$$

$$\eta = \frac{10,0}{24} \times 100$$

$$\eta = 42 \%$$

Ce rendement est relativement faible. Pour l'améliorer, il faudrait extraire une deuxième fois la phase aqueuse avec 40 mL d'éther diéthylique puis rassembler les phases organiques.