BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

JOUR 2

Durée de l'épreuve : 3 heures 30

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.

Le candidat traite 3 exercices : l'exercice 1 puis il choisit 2 exercices parmi les 3 proposés.

Les annexes 1 et 2 en page 15 sont à rendre avec la copie.

Exercice commun à tous les candidats (10 points)

LA PHYSIQUE DE LA PLONGÉE

La plongée est une activité sportive qui nécessite de prendre des précautions importantes pour prévenir de nombreux risques (noyade, hypothermie…). Elle se pratique à l'aide de bouteilles d'air comprimé que le plongeur porte sur son dos tout au long de sa plongée.

L'objectif de cet exercice est d'étudier les conditions pour effectuer une plongée à une profondeur de 35 m.

1. Équilibre dynamique du plongeur

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, on considère le système {plongeur + équipement} de centre de masse G ; il est en équilibre à une profondeur de 35 m.

Donnée :

- la poussée d'Archimède est la force exercée par un fluide sur un système immergé dans ce fluide. Pour un système immergé entièrement, ses caractéristiques sont :
  - direction : verticale ;
  - sens : vers le haut ;
  - norme : $P_A = \rho \cdot V \cdot g$ où ρ est la masse volumique du fluide, V est le volume du système immergé et g est l'intensité de pesanteur.

Q1. Identifier les deux forces modélisant les actions mécaniques exercées sur le système {plongeur + équipement} en équilibre.

Q2. À l'aide de la deuxième loi de Newton, représenter, sans souci d'échelle, les forces exercées sur le système sachant qu'il est en équilibre.

Lorsque le plongeur inspire, le volume de ses poumons augmente.

Q3. Expliquer les conséquences de cette inspiration sur le mouvement du plongeur initialement immobile en justifiant, notamment, la direction et le sens du vecteur accélération.

2. Durée de la plongée

Données :

- une pression de 1 bar est égale à 1×10^5 Pa ;
- conversion d'une température θ exprimée en degré Celsius en une température T exprimée en kelvin : $T(\text{K}) = \theta(°\text{C}) + 273$;
- température de l'eau de mer supposée constante : $T_{eau} = 283$ K ;
- pression initiale de l'air comprimé, modélisé par un gaz parfait, dans une bouteille de plongée : $P_b = 230$ bar ;
- constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31$ J·mol^{-1}·K^{-1} ;
- volume d'air total contenu dans les bouteilles de plongée : $V_b = 30$ L.

Une simulation de l'évolution de la pression dans l'eau de mer en fonction de la profondeur est représentée sur la figure 1.

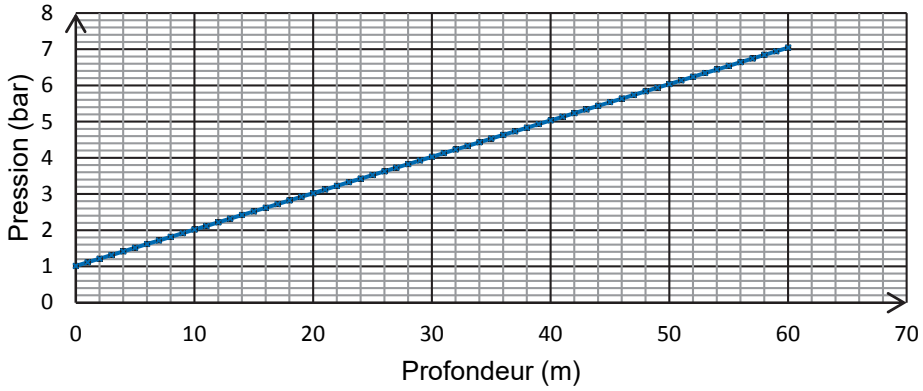


Figure 1. Simulation de l'évolution de la pression de l'eau en bar en fonction de la profondeur en mètre

Q4. Montrer que la quantité de matière initiale d'air comprimé contenue dans les bouteilles de plongée à la pression de 230 bar et à la température de 283 K vaut n = 293 mol.

Q5. Déterminer graphiquement la valeur de la pression de l'eau à une profondeur de 35 m.

Un détendeur permet de diminuer la pression de l'air en sortie des bouteilles. Ainsi, la pression de l'air respiré par le plongeur est égale à la pression de l'eau à la profondeur à laquelle il évolue. Dans ces conditions le plongeur consomme pour sa respiration 20,0 L d'air par minute.

Le plongeur prévoit d'utiliser la moitié de l'air à sa disposition pour son exploration à 35 m et l'autre moitié pour la descente et la remontée.

Q6. Estimer la valeur de la durée pendant laquelle le plongeur pourra effectuer son exploration à une profondeur de 35 m.

3. Intérêt de la combinaison

Dans cette partie on étudie l'évolution au cours du temps de la température $T(t)$ du plongeur. La température du système {plongeur} est supposée homogène.

Données :

- masse du plongeur m_p = 80 kg ;
- la température du plongeur avant la plongée est de 37 °C ;
- capacité thermique massique moyenne du corps humain : $c_h = 3{,}5\times10^{3}$ J·kg^{-1}·K^{-1} ;
- puissance fournie au plongeur par son métabolisme pour maintenir sa température au cours de la plongée : P_m = 200 W ;
- résistance thermique totale modélisant le transfert thermique entre l'intérieur du corps humain et l'eau en prenant en compte le transfert thermique à travers les couches extérieures de la peau et la combinaison et le transfert entre la combinaison et l'eau : $R_{eq} = 5{,}0\times10^{-2}$ K· W^{-1} ;
- température de l'eau de mer supposée constante : T_{eau} = 283 K ;
- on considère qu'un homme est en hypothermie légère lorsque la valeur de la température intérieure de son corps est inférieure à 35 °C.

On montre que l'expression du transfert thermique Q reçu par le plongeur entre les instants t et $t + \Delta t$ s'écrit à l'aide de deux termes ① et ② :

$$Q = \underbrace{P_m \times \Delta t}_{①} + \underbrace{\frac{T_{eau}-T(t)}{R_{eq}} \times \Delta t}_{②}$$

On suppose que Δt est faible devant la durée caractéristique d'évolution de la température $T(t)$.

Q7. Indiquer quels phénomènes correspondent aux transferts thermiques associés respectivement aux termes ① et ②.

Q8. Pendant cette durée Δt, la température du plongeur varie de ΔT. Exprimer la variation d'énergie interne ΔU du plongeur en fonction de m_p, c_h et ΔT.

Q9. À l'aide du premier principe de la thermodynamique, déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température $T(t)$ du plongeur peut s'écrire sous la forme :

$$\tau \cdot \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = T_f$$

avec $\tau = m_p \cdot c_h \cdot R_{eq}$ et $T_f = P_m \cdot R_{eq} + T_{eau}$

Q10. Préciser la signification physique du terme T_f.

La résolution de cette équation différentielle a permis d'obtenir, dans le cadre de ce modèle, la représentation temporelle de la température T en fonction du temps pour un plongeur avec combinaison en néoprène puis pour un plongeur sans combinaison (cf. figure 2).

Q11. Parmi les deux représentations de la figure 2, choisir, en justifiant la réponse, celle qui correspond à l'évolution de la température du plongeur avec sa combinaison et sans sa combinaison. Vérifier la cohérence de votre choix avec les expressions des grandeurs T_f et τ données dans la question 9.

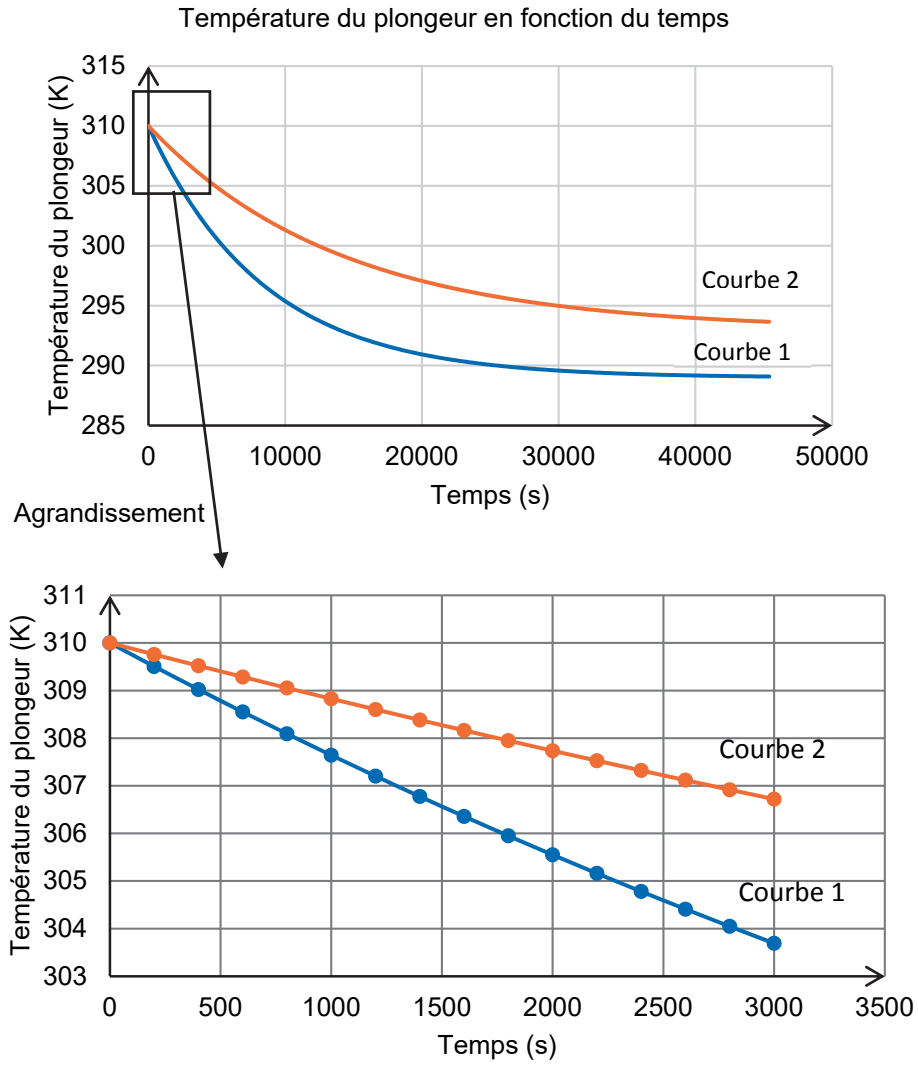


Figure 2. Modélisation de l'évolution de la température du plongeur avec et sans combinaison

Le plongeur prévoit une sortie d'une durée totale de 60 minutes.

Q12. Déterminer la durée au bout de laquelle le plongeur muni de sa combinaison risquerait, dans le cadre de ce modèle, l'hypothermie. Commenter le résultat.

EXERCICES au choix du candidat (5 points)
Vous indiquerez sur votre copie **les deux exercices choisis** :
exercice **A** ou exercice **B** ou exercice **C**

EXERCICE A - SYNTHÈSE D'UN CONSERVATEUR (5 points)

Mots-clés : synthèse organique

L'acide benzoïque, connu dans l'alimentation sous la dénomination E210, est aussi utilisé en tant que conservateur dans les cosmétiques. Cette molécule qui empêche le développement de bactéries est également autorisée dans les cosmétiques bio.

L'objectif de l'exercice est d'étudier les étapes de la synthèse de l'acide benzoïque en utilisant la réaction de Cannizzaro.

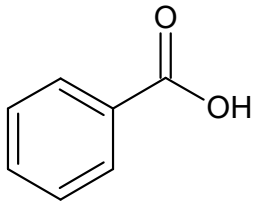


Figure 1. Formule topologique de l'acide benzoïque

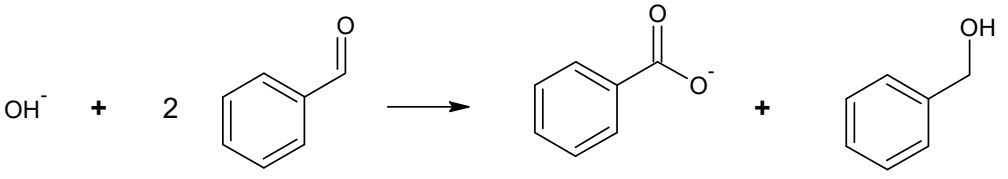
Données :

Espèce chimique	Masse molaire en g·mol^{-1}	Densité	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'éther diéthylique	Température de fusion en °C
Benzaldéhyde C_7H_6O	106	1,05	Très faible	Très grande	– 26
Acide benzoïque $C_7H_6O_2$	122		Très faible	Faible	122,3
Ion benzoate $C_7H_5O_2^-$	121		Très élevée	Très faible	
Alcool benzylique C_7H_8O	108	1,04	Faible	Très grande	– 15
Hydroxyde de potassium KOH	56		Très grande	Très faible	360
Eau H_2O	18	1,0		Insoluble	0
Ether diéthylique $C_4H_{10}O$	74	0,71	Insoluble		– 116,3

- pK_A à 25°C du couple acide benzoïque $C_7H_6O_2$(aq) / ion benzoate $C_7H_5O_2^-$ (aq) : 4,2.

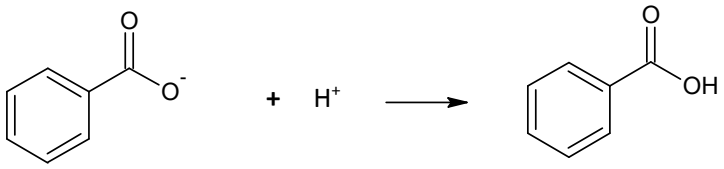
La synthèse de l'acide benzoïque à partir du benzaldéhyde met en jeu successivement deux transformations chimiques modélisées par les réactions d'équations indiquées ci-dessous.
La réaction n°1, nommée réaction de Cannizzaro, a lieu en milieu très basique. Elle fait intervenir deux molécules de benzaldéhyde, l'une jouant le rôle d'oxydant et l'autre de réducteur.

- Réaction n°1 (réaction de Cannizzaro) :



benzaldéhyde — ion benzoate — alcool benzylique

- Réaction n°2 :



ion benzoate — acide benzoïque

1. Étude de la réaction n°1 (réaction de Cannizzaro)

Q1. Représenter la formule semi-développée de l'acide benzoïque, entourer le groupe caractéristique et identifier la famille fonctionnelle correspondante.

Q2. Justifier, à l'aide d'un diagramme de prédominance, l'obtention de l'ion benzoate lors de transformation chimique modélisée par la réaction n°1.

Q3. Écrire la demi-équation électronique modélisant le transfert d'électrons entre le benzaldéhyde $C_7H_6O(aq)$ et l'alcool benzylique $C_7H_8O(aq)$, et identifier l'espèce oxydante et l'espèce réductrice du couple associé.

2. Étude du protocole expérimental

On donne ci-dessous un protocole expérimental permettant d'obtenir l'acide benzoïque par la réaction de Cannizzaro.

① **a)** Dans un erlenmeyer, dissoudre une masse de 10 g d'hydroxyde de potassium dans 40 mL d'eau distillée.
b) Ajouter 5,0 mL de benzaldéhyde. Agiter vigoureusement, puis laisser sous agitation à température ambiante pendant 48 h.

② **c)** Ajouter 20 mL d'éther diéthylique dans le milieu réactionnel, agiter, puis transvaser dans une ampoule à décanter.
d) Séparer la phase aqueuse de la phase organique.
e) Récupérer la phase aqueuse dans un erlenmeyer et la placer dans un bain d'eau glacée.

③ **f)** Sous la hotte, ajouter lentement dans la phase aqueuse, en agitant, une solution d'acide chlorhydrique jusqu'à pH = 2 : un solide blanc précipite.

④ **g)** Filtrer sur Büchner.

⑤ **h)** Introduire le produit obtenu dans un bécher avec 10 mL d'eau. Chauffer et ajouter la quantité d'eau juste nécessaire pour dissoudre le produit.
i) Laisser refroidir lentement puis filtrer sur un entonnoir Büchner pour récupérer le produit recristallisé.
j) Placer le produit à l'étuve puis peser le produit sec.

⑥ **k)** Réaliser la chromatographie sur couche mince du produit obtenu.

On obtient une masse m = 1,1 g de produit synthétisé.

On donne sur la figure 2 le résultat de la chromatographie sur couche mince (CCM) obtenue.

Les produits déposés sont en solution dans de l'éther diéthylique.

Dépôt A : benzaldéhyde commercial
Dépôt B : acide benzoïque commercial
Dépôt C : produit synthétisé.

La révélation se fait sous lampe UV.



Figure 2. Résultat de l'analyse par CCM

Q4. Pour chaque étape du protocole numérotée de ① à ⑥ indiquer, sans justifier, si cette étape correspond à une transformation chimique de réactifs, à une analyse du produit synthétisé, à une purification ou à une séparation.

Q5. Proposer, en justifiant, un dispositif expérimental permettant d'optimiser la vitesse de formation du produit de synthèse.

Q6. Schématiser l'ampoule à décanter et son contenu en justifiant la position relative des deux phases. Indiquer, en justifiant, les phases dans lesquelles se situent l'ion benzoate et l'alcool benzylique produits lors de l'étape 1.

Q7. À l'étape **f** du protocole expérimental, justifier à l'aide des données l'apparition d'un solide.

Q8. Interpréter le résultat de la chromatographie sur couche mince obtenu.

Q9. Déterminer la valeur du rendement de la synthèse de l'acide benzoïque. Commenter.

EXERCICE B. NETTOYAGE DES PLAQUES DE CUISSON (5 points)

Mots-clés : réaction acide-base, titrage, cinétique chimique

Pour nettoyer une plaque de cuisson électrique encrassée, une méthode consiste à déposer, avant de frotter, de l'hydrogénocarbonate de sodium solide (vendu sous le nom de bicarbonate de soude) tout autour des plaques électriques puis à verser du vinaigre ménager.



D'après www.delcourt.fr

Dans cet exercice, on étudie la composition d'un vinaigre ménager, puis la cinétique de sa transformation chimique avec de l'hydrogénocarbonate de sodium.

Nom du produit	Vinaigre ménager 14°
Masse volumique ρ	1,0 g·mL^{-1}
pH	2,2

D'après http://langle.fr/fiches-securites/6427-test

Figure 1. Fiche sécurité du vinaigre ménager 14°

Données :

- numéros atomiques : $Z(H) = 1$; $Z(C) = 6$; $Z(O) = 8$;
- masses molaires atomiques en g·mol^{-1} : $M(H) = 1{,}00$; $M(C) = 12{,}0$; $M(O) = 16{,}0$;
- pK_A du couple acide éthanoïque / ion éthanoate : p$K_A = 4{,}76$.

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

Le vinaigre ménager est une solution aqueuse d'acide éthanoïque de formule CH_3COOH. Dans cette partie on souhaite vérifier que l'acide éthanoïque est bien un acide faible dans l'eau.

Q1. Représenter le schéma de Lewis de la base conjuguée de l'acide éthanoïque.

Q2. Indiquer l'espèce majoritaire du couple de l'acide éthanoïque présente dans un vinaigre ménager 14°. Justifier.

Le pH d'une solution aqueuse d'acide éthanoïque de concentration $5{,}0\times10^{-3}$ mol·L^{-1} est de 3,5.

Q3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide éthanoïque et l'eau.

Q4. En utilisant la valeur du pH de la solution, montrer que le taux d'avancement final τ de cette réaction est de l'ordre de 6 %. Commenter ce résultat quant à la force de l'acide éthanoïque dans l'eau.

2. Dosage par titrage du vinaigre ménager 14°

Le degré d'acidité d'un vinaigre ménager est égal au titre massique, exprimé en pourcentage, en acide éthanoïque de ce vinaigre.

On réalise le titrage d'un volume de 10,0 mL d'une solution de vinaigre ménager 14° dilué 100 fois par une solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $2{,}00\times10^{-2}$ mol·L^{-1}. Le suivi est effectué à l'aide d'un pH-mètre et permet de tracer la courbe représentant le pH en fonction du volume V de solution titrante versée. Cette courbe figure sur l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Indicateur coloré	Teinte de la forme acide	Zone de virage	Teinte de la forme basique
Hélianthine	Rouge	3,1 – 4,4	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	3,8 – 5,4	Bleu
Rouge de crésol	Jaune	7,8 – 8,8	Rouge
Rouge d'alizarine	Violet	10,0 – 12,0	Jaune
Carmin d'indigo	Bleu	11,6 – 14,0	Jaune

Figure 2. Indicateurs colorés acido-basiques

Q5. Écrire l'équation de réaction support du titrage de l'acide éthanoïque par l'hydroxyde de sodium.

Q6. Déterminer, en réalisant une construction sur l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, le volume V_E de solution aqueuse titrante d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence du titrage.

Q7. Expliquer quel aurait été l'indicateur coloré le plus adapté, parmi ceux fournis sur la figure 2, pour réaliser ce titrage par colorimétrie.

Q8. Après avoir exploité le titrage pour déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière de la solution diluée 100 fois, calculer le titre massique du vinaigre ménager étudié. Commenter le résultat.

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.

3. Étude cinétique de la transformation chimique entre le vinaigre et l'hydrogénocarbonate de sodium

Lorsque le vinaigre ménager entre en contact avec l'hydrogénocarbonate de sodium solide $NaHCO_3(s)$, une transformation chimique totale et lente a lieu. Elle entraîne la formation de dioxyde de carbone gazeux $CO_2(g)$ détectable par l'apparition de bulles, qui contribuent à l'action mécanique nettoyante des plaques de cuisson, action d'autant plus efficace que la formation des bulles a lieu dans un temps assez court de l'ordre de quelques minutes. L'équation de la réaction modélisant la transformation chimique entre l'acide éthanoïque et l'hydrogénocarbonate de sodium est :

$$CH_3COOH(aq) + NaHCO_3(s) \rightarrow Na^+(aq) + CH_3COO^-(aq) + CO_2(g) + H_2O(\ell)$$

En laboratoire il est possible de suivre cette transformation chimique au cours du temps en recueillant le gaz formé dans une éprouvette graduée retournée initialement remplie d'eau. Pour cela, on réalise l'expérience schématisée ci-dessous à partir d'une masse d'environ 1 g d'hydrogénocarbonate de sodium solide $NaHCO_3(s)$, ce dernier est versé à la date $t = 0$ s dans une centaine de millilitres de vinaigre ménager 14° en excès devant l'hydrogénocarbonate de sodium.

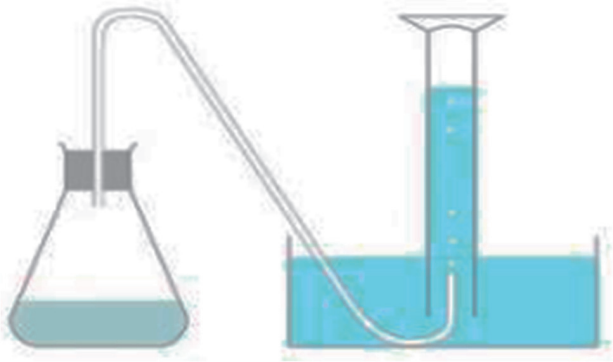


Figure 3. Montage permettant de mesurer le volume de dioxyde de carbone recueilli lors de la réaction entre l'acide éthanoïque et l'hydrogénocarbonate de sodium

Les résultats obtenus sont consignés sur le tableau ci-dessous.

Temps t (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$V(CO_2)$ (mL)	0	30	60	84	108	124	138	148	152	156	158	160	160	160	160	160

Figure 4. Tableau de mesures du volume de dioxyde de carbone recueilli au cours du temps

Donnée :

- volume molaire d'un gaz, dans les conditions de l'expérience : $V_m = 24{,}2\ \text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q9. Calculer la valeur de la quantité de matière de dioxyde de carbone formé à 30 s puis placer le point correspondant sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q10. Déterminer, en réalisant une construction sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**, le temps de demi-réaction. Commenter ce résultat au regard de l'utilisation qui est faite ici de cette transformation chimique.

EXERCICE C – ÉTUDE DE COLORANTS DANS UNE BOISSON (5 points)

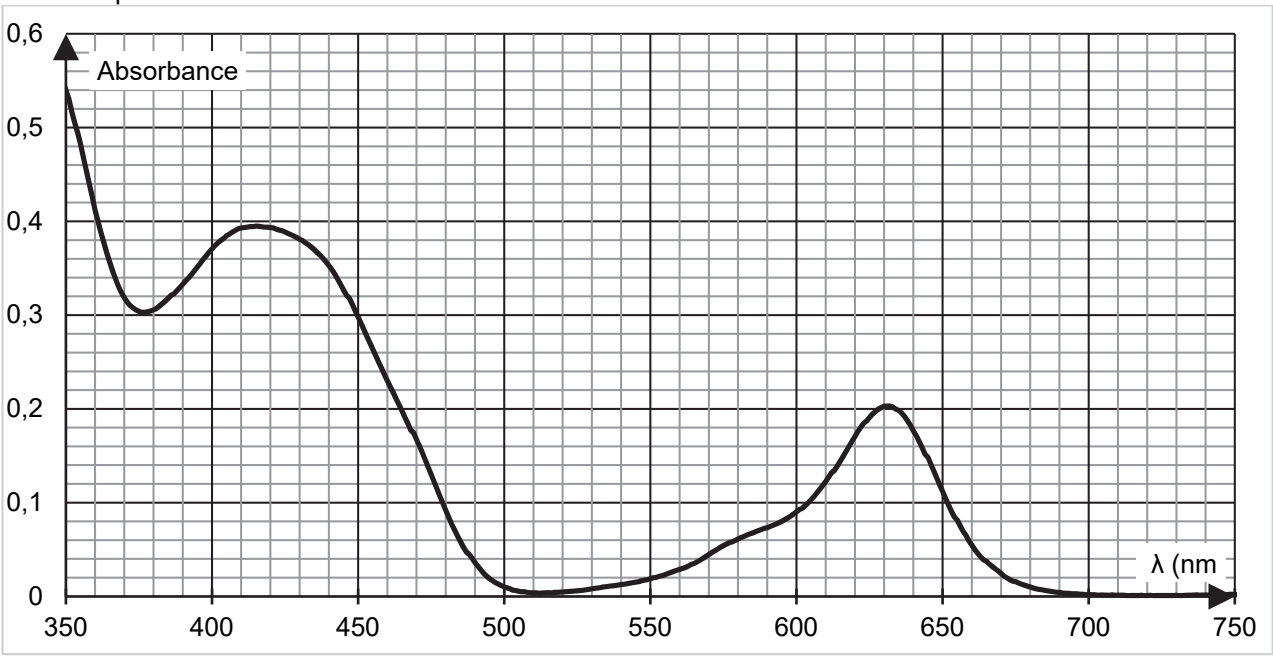
Mots-clés : spectrophotométrie, dosage par étalonnage

On étudie une boisson verte à base de banane et de fruits tropicaux dont la recette est d'inspiration indonésienne. Elle est composée d'extraits de fruits, d'eau, d'éthanol, de sucre et de colorants alimentaires responsables de sa couleur vert vif.

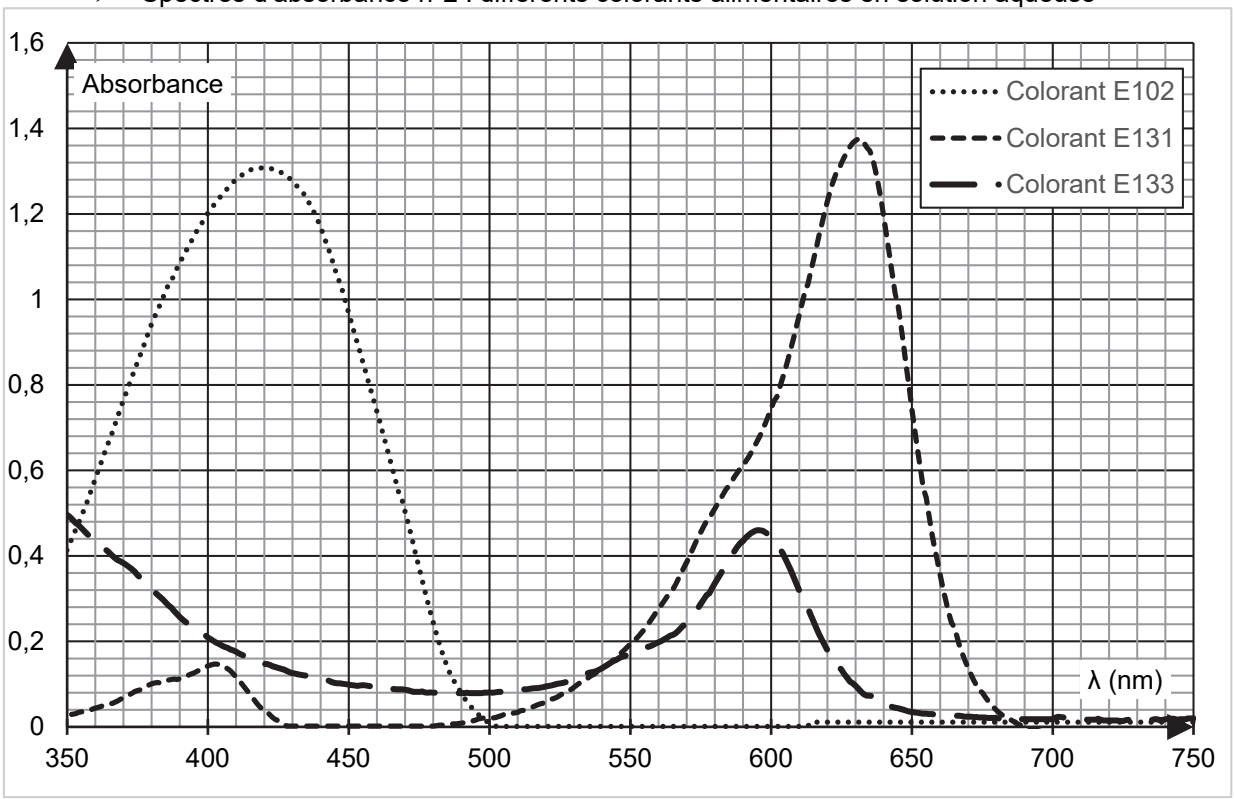
L'objectif de cet exercice est d'identifier la nature des colorants présents dans cette boisson et de s'interroger sur les risques éventuels pour la santé de l'un d'entre eux.

Données :

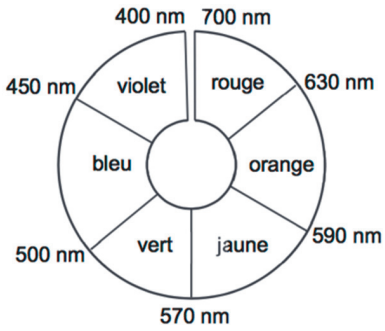
- Spectre d'absorbance n°1 : solution S de la boisson étudiée diluée d'un facteur 4



- Spectres d'absorbance n°2 : différents colorants alimentaires en solution aqueuse



- Cercle chromatique :



- masse molaire du colorant E102 : $M = 534\ \text{g·mol}^{-1}$;
- volume de la boisson étudiée contenu dans un verre de cocktail : $V = 3{,}0\ \text{cL}$;
- concentration en masse de sucre dans la boisson étudiée : $367\ \text{g·L}^{-1}$;
- masse d'un morceau de sucre : 5,0 g.

Q1. Déterminer le nombre de morceaux de sucre équivalent à la quantité de sucre apportée par la boisson étudiée lorsqu'on boit un verre de cocktail. Commenter.

La couleur verte de la boisson étudiée est obtenue par le mélange de deux colorants alimentaires. On cherche à les identifier parmi les trois colorants analysés dans le spectre d'absorbance n°2.

Q2. Donner, en justifiant, la couleur en solution aqueuse de chacun des colorants alimentaires E102, E131, et E133.

Q3. Déterminer, en justifiant, les deux colorants majoritairement présents dans la boisson étudiée.

La dose journalière admissible (DJA) d'un colorant est la masse maximale de colorant qu'une personne peut consommer par jour sans risque pour sa santé. Elle est habituellement exprimée en mg de substance par kg de poids corporel et par jour. Pour le colorant E102, elle est de 7,5 mg par kilogramme de masse corporelle et par jour.

Pour déterminer la concentration de ce colorant dans la boisson étudiée, on réalise une gamme de solutions étalons de concentrations différentes à partir d'une solution-mère S_0 de colorant E102. On enregistre ensuite les spectres d'absorbance correspondants (figure 1).
Enfin, pour doser le colorant E102 dans la boisson étudiée, les spectres obtenus sont exploités à la longueur d'onde $\lambda = 450$ nm. On note Ci, avec i allant de 1 à 5, la concentration en colorant E102 de la solution Si.

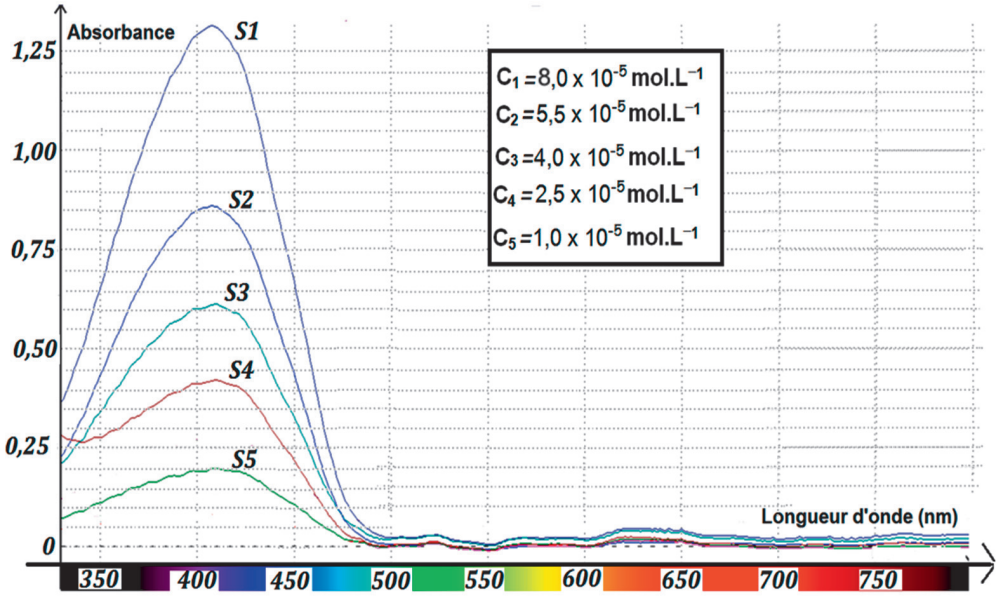


Figure 1. Spectres d'absorbance de 5 solutions de concentrations différentes en colorant E102.

Q4. À l'aide des spectres d'absorbance n^{os} 1 et 2 fournis dans les données, expliquer le choix de la longueur d'onde λ = 450 nm plutôt que λ' = 420 nm pour réaliser le dosage du colorant E102 dans la boisson étudiée.

On rappelle que le spectre d'absorbance n°1 est celui de la solution S de la boisson étudiée obtenue après dilution d'un facteur 4 de la solution commerciale.

Q5. Proposer un ensemble de verrerie permettant de préparer la solution S de la boisson étudiée diluée à partir de la solution commerciale.

Q6. En explicitant la démarche suivie, montrer que, pour la longueur d'onde choisie de 450 nm, la loi de Beer-Lambert est vérifiée pour le colorant E102.

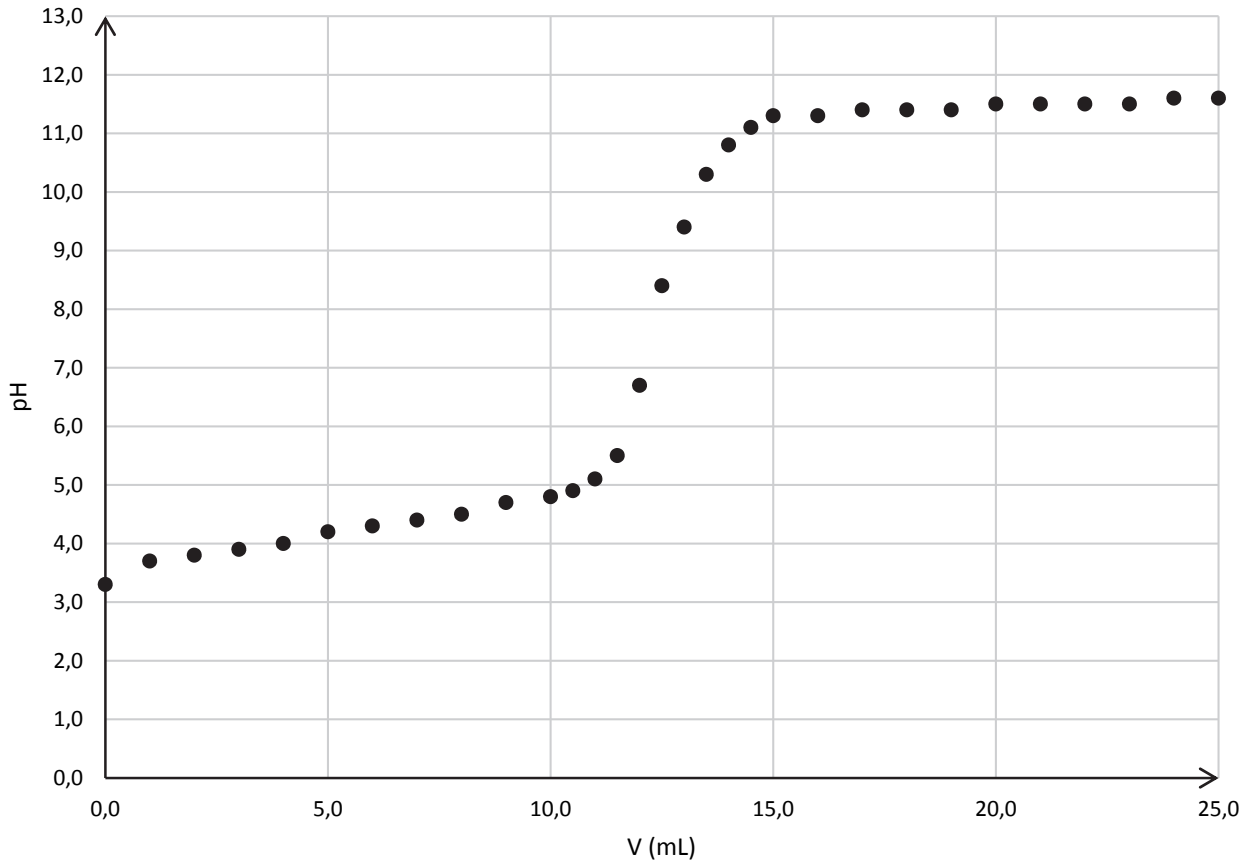
Q7. Déterminer la masse de colorant E102 contenue dans un verre de cocktail. Commenter eu égard à la valeur de la DJA.

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.

Page blanche laissée intentionnellement.

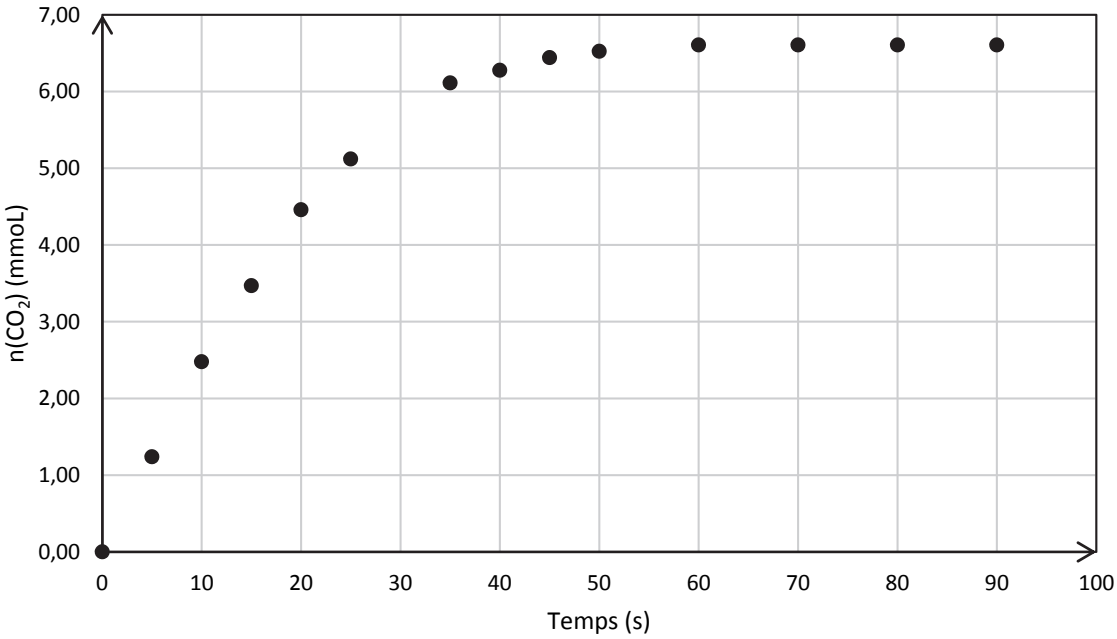
Ne rien inscrire dessus.

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE



Annexe 1. Évolution du pH de la solution titrée en fonction du volume d'hydroxyde de sodium versé

ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE



Annexe 2. Évolution de la quantité de matière de dioxyde de carbone recueilli au cours du temps

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