BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

PHYSIQUE-CHIMIE

Mercredi 11 mai 2022

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 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

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

L'annexe page 12 est à rendre avec la copie.

EXERCICE I commun à tous les candidats (10 points)

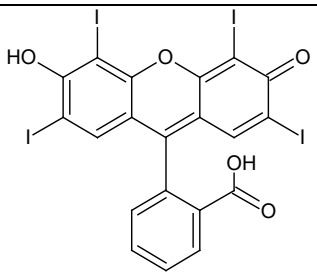
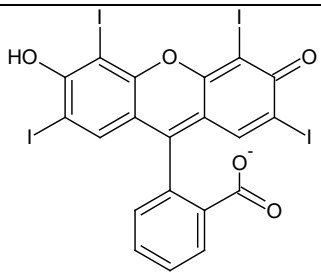
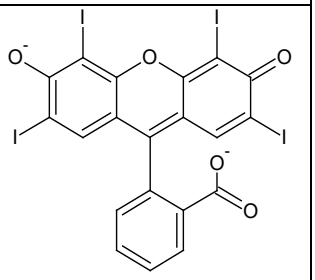
LE COLORANT E127

Le colorant E127, de couleur rouge, est utilisé pour teinter certains aliments comme les cerises confites. Il est également présent dans des médicaments comme les révélateurs de plaque dentaire. C'est un composé ionique, de formule brute $Na_2C_{20}H_6I_4O_5$ noté plus simplement Na_2Ery, présent en solution sous la forme d'ions Na^+ et Ery^{2-}. Les ions Ery^{2-} constituent l'une des trois formes acide-base de l'érythrosine.

Les objectifs de l'exercice sont d'étudier le dosage de ce colorant dans un révélateur de plaque dentaire, la synthèse de la forme la plus acide, notée H_2Ery, de l'érythrosine et la cinétique de la décoloration de celle-ci par l'eau de Javel.

Données :

- écriture simplifiée et formule topologique des différentes formes acide-base associées à l'érythrosine :

Écriture simplifiée	H_2Ery	$HEry^-$	Ery^{2-}
Formule topologique			

- valeurs de pK_A à 25 °C des couples acide-base associés à l'érythrosine :
  - H_2Ery / $HEry^-$: $pK_{A1} = 2,4$;
  - $HEry^-$ / Ery^{2-} : $pK_{A2} = 3,8$.

- valeurs de masses molaires de quelques espèces :

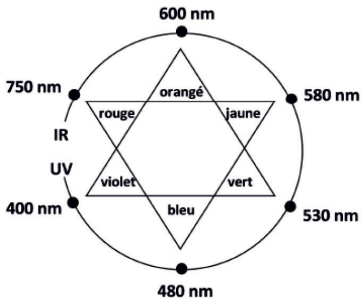
Nom	Colorant E127	Forme la plus acide de l'érythrosine	Forme la plus acide de la fluorescéine	Diiode
Écriture simplifiée ou formule brute	Na_2Ery	H_2Ery	H_2Flu	I_2
Masse molaire ($g \cdot mol^{-1}$)	880	836	332	254

1. Dosage du colorant E127 dans un révélateur de plaque dentaire

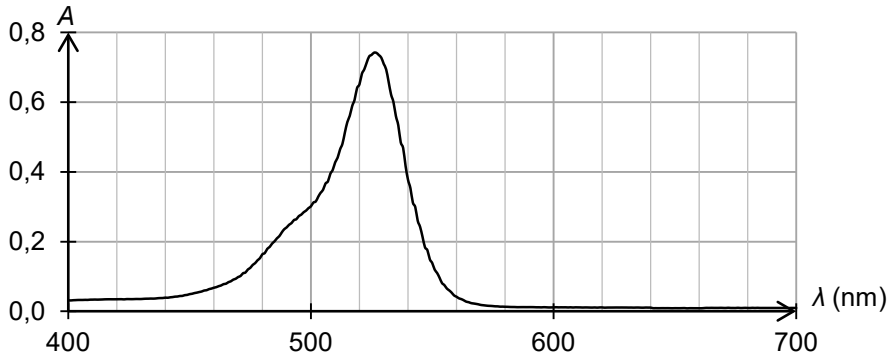
Un révélateur de plaque dentaire est une solution vendue en pharmacie permettant d'améliorer le brossage des dents. Elle est préparée à partir du colorant E127.

Données :

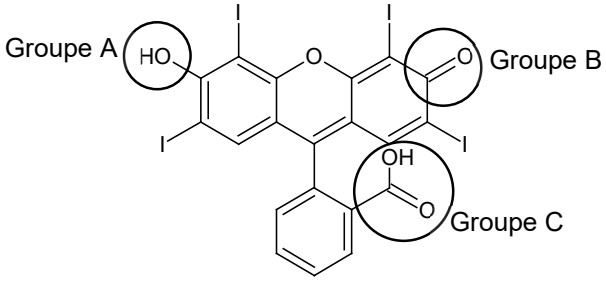
- masse volumique du révélateur de plaque dentaire étudié : $\rho = 1,0\ g \cdot mL^{-1}$;
- pH du révélateur de plaque dentaire étudié : pH = 7,0 ;
- cercle chromatique :



- spectre d'absorption d'une solution aqueuse du colorant E127 de concentration en soluté apporté égale à $1{,}7\times10^{-5}$ mol·L^{-1} et de pH égal à 7,0 :



Q1. À l'aide de la formule topologique de la forme H_2Ery de l'érythrosine ci-dessous, nommer les familles fonctionnelles associées aux groupes caractéristiques A, B et C.



Q2. Identifier, en justifiant, la forme de l'érythrosine qui prédomine dans le révélateur de plaque dentaire étudié.

Sur le site du fabriquant, il est indiqué que le révélateur de plaque dentaire, de couleur rouge, est une solution hydroalcoolique contenant le colorant E127 à 2 % en masse.

Afin de vérifier l'indication précédente sur le titre massique, on réalise les expériences décrites ci-dessous.
Préparation de la solution à doser :

- on introduit 0,5 mL de révélateur de plaque dentaire dans une fiole jaugée de 2,0 L que l'on complète avec de l'eau distillée : on obtient la solution S.

Dosage spectrophotométrique par étalonnage :

- à partir d'une solution aqueuse de colorant E127 de concentration en soluté apporté égale à $1{,}7\times10^{-5}$ mol·L^{-1}, on prépare par dilution six solutions filles ;
- on mesure l'absorbance de chacune de ces solutions à une longueur d'onde appropriée ; les mesures sont reportées sur le graphe de la figure 1 ;
- on mesure l'absorbance de la solution S à la même longueur d'onde ; on obtient A = 0,484.

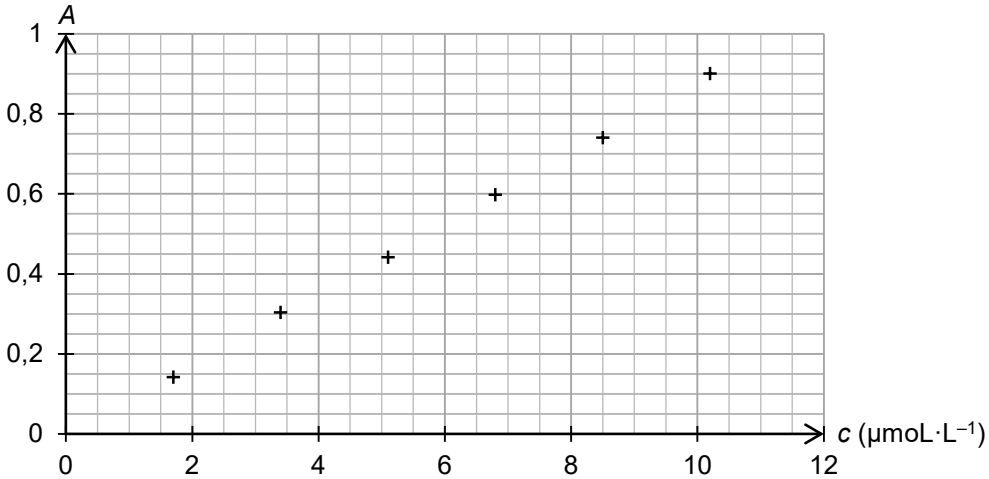


Figure 1. Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration en quantité de matière de colorant E127 apporté

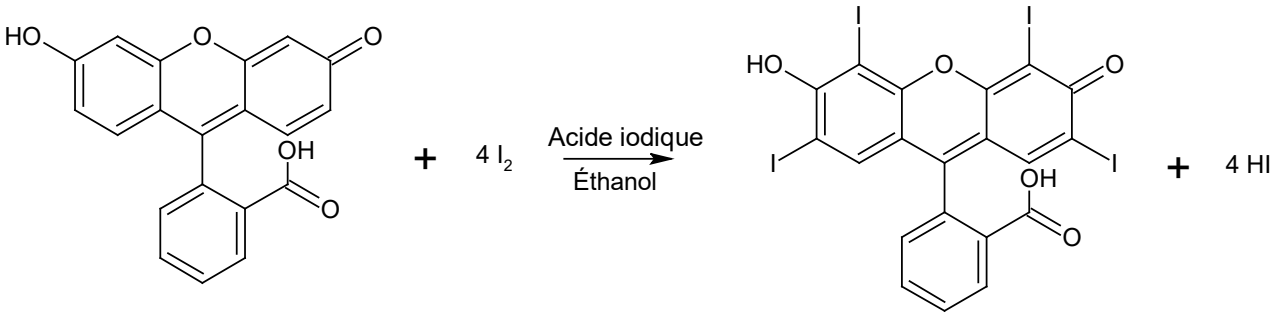
Q3. Justifier la couleur rouge du révélateur de plaque dentaire étudié.

Q4. Après avoir montré que la concentration du colorant E127 apporté dans le révélateur de plaque dentaire est égale à $2{,}2\times10^{-2}$ mol·L^{-1}, déterminer la valeur du titre massique en colorant E127 du révélateur de plaque dentaire analysé. Commenter.

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.

2. Synthèse de l'érythrosine à partir de la fluorescéine

L'érythrosine peut être synthétisée à partir d'un autre colorant, la fluorescéine, en présence d'acide iodique et d'éthanol ; l'équation de la réaction modélisant cette synthèse est donnée ci-dessous :



Forme H_2Flu de la fluorescéine — Forme H_2Ery de l'érythrosine

Dans une publication scientifique, on trouve les informations suivantes :

- les différentes étapes d'un protocole de synthèse de l'érythrosine :
  - étape n°1 :
    réaliser la synthèse de la forme H_2Ery de l'érythrosine à partir de 5,0 g de fluorescéine H_2Flu et de 9,5 g de diiode I_2, en présence d'éthanol et d'acide iodique ;
    chauffer et agiter le mélange pendant deux heures à une température de 60 °C ;
  - étape n°2 :
    après refroidissement, filtrer le mélange à l'aide d'un filtre Büchner puis laver le solide rouge obtenu avec de l'eau et de l'éthanol ;
  - étape n°3 :
    mesurer la température de fusion du solide rouge obtenu.
- la valeur du rendement r de la synthèse : r = 59 %.

D'après N. Pietrancosta et al. / Bioorganic & Medicinal Chemistry 18 (2010) 6922–6933

Q5. Identifier le rôle des étapes n°1, n°2 et n°3 du protocole expérimental de synthèse de l'érythrosine.

Q6. Identifier l'opération du protocole expérimental réalisée pour optimiser la vitesse de formation de l'érythrosine.

Q7. Déterminer le réactif limitant de la synthèse de l'érythrosine.

Q8. Montrer que la masse d'érythrosine de forme H_2Ery obtenue expérimentalement est d'environ 4,6 g.

Q9. Déterminer le nombre de flacons de 10 mL de révélateur de plaque dentaire, de pH égal à 7 et de concentration égale à $2{,}2\times10^{-2}$ mol·L^{-1} en colorant E127, qu'il est possible de fabriquer grâce à cette synthèse.

3. Suivi cinétique de la décoloration d'une solution de colorant E127 par l'eau de Javel



Le filtre Büchner utilisé lors de la synthèse précédente est coloré par les résidus de colorant E127 rouge. Pour le décolorer, on peut utiliser de l'eau de Javel.

En effet, la forme Ery^{2-} de l'érythrosine réagit avec les ions hypochlorite $C\ell O^-$ contenus dans l'eau de Javel pour former un produit incolore. Cette réaction est supposée totale.

On réalise, à 25 °C, les deux expériences A et B décrites ci-après :

- dans des béchers de 50 mL, deux solutions sont préparées à partir d'une solution commerciale d'eau de Javel de concentration en ions hypochlorite égale à 0,73 $mol \cdot L^{-1}$:

Solution	S_A	S_B
Volume d'eau de Javel (mL)	5	10
Volume d'eau distillée (mL)	5	0

- pour l'expérience A :
  - à la date $t = 0$ s, on verse dans le bécher contenant la solution S_A un volume de 10,0 mL d'une solution aqueuse de colorant E127 de concentration en soluté apporté égale à $1{,}7 \times 10^{-5}$ $mol \cdot L^{-1}$;
  - on remplit rapidement une cuve spectrophotométrique avec le mélange réactionnel, on l'introduit dans un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde appropriée et on relève les valeurs d'absorbance en fonction du temps ;
- pour l'expérience B, on recommence les mêmes opérations avec la solution S_B.

Dans chacun des mélanges réactionnels préparés, l'érythrosine est présente sous la seule forme Ery^{2-} et cette forme est la seule espèce qui absorbe à la longueur d'onde choisie.

Les résultats obtenus permettent de tracer la courbe d'évolution de la concentration en quantité de matière de la forme Ery^{2-} de l'érythrosine pour l'expérience A et B (figure 2).

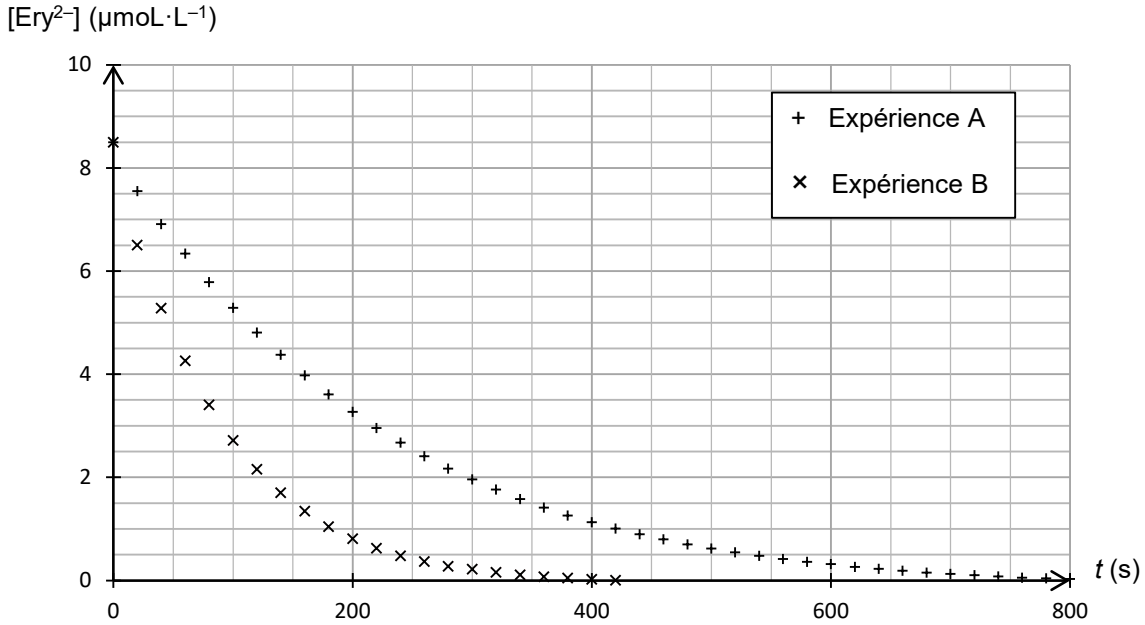


Figure 2. Évolution de la concentration en quantité de matière de la forme Ery^{2-} de l'érythrosine pour l'expérience A et B

Q10. Décrire qualitativement, en exploitant la figure 2, l'évolution de la vitesse volumique de disparition de la forme Ery^{2-} de l'érythrosine au cours du temps pour l'expérience A. Proposer un facteur cinétique à l'origine de cette évolution.

Q11. Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction pour l'expérience A. Commenter.

Q12. Expliquer comment il est possible d'optimiser la décoloration du filtre Büchner.

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 - LA PHYSIQUE DU JONGLAGE (5 points)

MOTS-CLÉS : mouvement dans un champ de pesanteur uniforme, énergie mécanique

L'art du jonglage est la plus ancienne des disciplines de cirque connue ; son origine remonte à l'Égypte ancienne. Le but de cet exercice est d'étudier le mouvement d'une balle lors d'une démonstration filmée.
On étudie, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le mouvement d'une balle de jonglage de masse m et de centre de masse C.

Donnée :

- intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

La figure 1 est extraite d'une vidéo au cours de laquelle une personne jongle avec plusieurs balles. On suit le mouvement d'une balle.

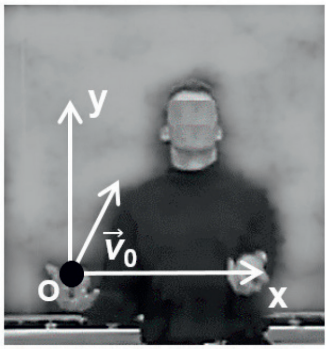


Figure 1. Photographie

Dans cette étude :

- on note (x ; y) les coordonnées de la position de C dans le repère (O ; x ; y) et (v_x ; v_y) celles de sa vitesse ;
- les évolutions temporelles $y(t)$ et $v_y(t)$ sont respectivement représentées sur les figures 2a et 2b qui font apparaître alternativement des phases notées ① et ② ;
- à la date $t = 0$ s la balle, située à l'origine du repère, quitte pour la première fois la main du jongleur avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$;
- lorsque la balle n'est pas en contact avec la main du jongleur, elle est en chute libre. Elle effectue alors un mouvement parabolique en passant d'une main à l'autre, la réception et le lancer se faisant toujours en $y = 0$ m ;
- la référence de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie à l'ordonnée $y = 0$ m.

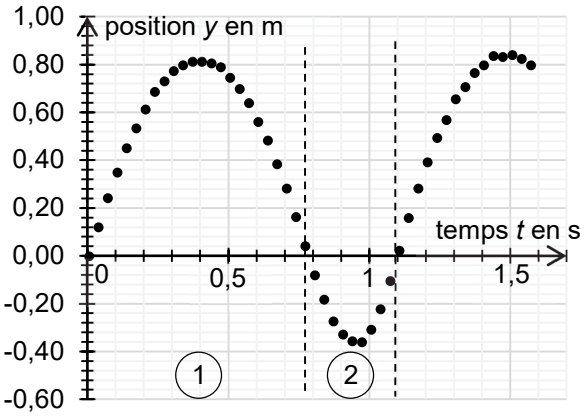


Figure 2a. Courbe représentant $y(t)$

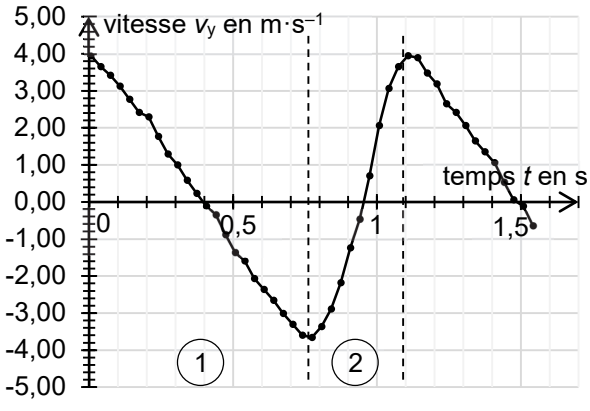


Figure 2b. Courbe représentant $v_y(t)$

Q1. Décrire qualitativement, selon l'axe Oy, le mouvement de la balle lors de la phase ① à l'aide des figures 2a et 2b.

Q2. Interpréter la figure 2a pour décrire le rôle de la main sur le mouvement de la balle lors de la phase ②.

Q3. Justifier à l'aide de la deuxième loi de Newton, dans le cadre du modèle de la chute libre, que la valeur de la composante v_x de la vitesse est constante et égale à la vitesse initiale v_{0x} lorsque la balle n'est plus en contact avec la main du jongleur.

Q4. Exprimer l'énergie mécanique initiale E_{m0} de la balle en fonction de sa masse m et des composantes v_{0x} et v_{0y} de la vitesse initiale dans le référentiel terrestre.

Dans toute la suite de l'exercice, on ne s'intéresse qu'à la phase ①.

Q5. À l'aide d'un raisonnement énergétique appliqué lors de la phase ①, établir que l'expression de l'altitude maximale H atteinte par la balle s'écrit :

$$H = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

Q6. Déterminer la valeur de H à partir de la relation précédente et d'une lecture graphique de v_{0y} sur la figure 2b. Comparer le résultat à celui obtenu par lecture graphique de la figure 2a.

Q7. Établir l'expression littérale de la coordonnée $v_y(t)$ du vecteur vitesse de la balle lors de la phase ①.

Q8. Évaluer l'intensité de la pesanteur g à l'aide de la figure 2b lors de la phase ①. Commenter.

Q9. Déterminer l'équation horaire $y(t)$ du mouvement du centre de la balle lors de la phase ①.

Q10. On note t_{air} la durée pendant laquelle la balle est en l'air lors de la phase ①. Établir l'expression de t_{air} en fonction de v_{0y} et de g. En déduire que l'expression du temps de vol dans l'air d'une balle s'écrit :

$$t_{air} = \sqrt{\frac{8H}{g}}$$

Q11. Calculer la valeur de t_{air} en utilisant la valeur de H obtenue par lecture graphique de la figure 2a. Commenter.

Exercice B - REFROIDISSEMENT D'UN FER À CHEVAL (5 points)

MOTS-CLÉS : premier principe de la thermodynamique, loi de Newton de la thermique



Le maréchal-ferrant est un artisan spécialisé dans le ferrage des chevaux ; il pose un fer sous chaque sabot du cheval afin de les protéger.

Un fer à cheval doit être parfaitement adapté à la morphologie du sabot du cheval pour que celui-ci ne se blesse pas. Cela nécessite un ensemble d'opérations réalisées lors de la pose du fer par le maréchal-ferrant : le fer est chauffé à une température d'environ 900 °C dans une forge pour être malléable. À l'aide d'un marteau, il est ensuite déformé pour s'ajuster à la forme du sabot.

Données :

- température du fer à la sortie de la forge : θ_0 = 900 °C ;
- volume du fer à cheval : V_{Fer} = 104 cm^3 ;
- masse volumique du fer, supposée indépendante de la température : ρ_{Fer} = 7,87 g·cm^{-3} ;
- surface extérieure du fer à cheval : S = 293 cm^2 ;
- température ambiante extérieure : θ_{Ext} = 15 °C ;
- capacité thermique massique du fer supposée indépendante de la température :
$$c_{Fer} = 440 \text{ J·kg}^{-1}\text{·K}^{-1} ;$$
- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique reçu par le système {fer à cheval}, de température θ en provenance de l'air extérieur, de température θ_{Ext} :
$$\Phi = h \cdot S \cdot (\theta_{Ext} - \theta)$$
avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S la surface d'échange :
  - dans l'air : h_{air} = 14 W·m^{-2}·K^{-1} ;
  - dans l'eau froide : h_{eau} = 360 W·m^{-2}·K^{-1}.

1. Chauffage du fer

Lors du chauffage du fer à cheval pour le rendre plus malléable, sa température passe de la température ambiante θ_{Ext} = 15 °C à θ_0 = 900 °C.

Q1. Déterminer la valeur de la masse m_{Fer} du fer à cheval.

Q2. Calculer la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval lors de cette étape.

Q3. Interpréter au niveau microscopique la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval.

2. Refroidissement du fer

Lorsque le fer est à la température souhaitée de 900 °C, le maréchal-ferrant le sort de la forge et le façonne à l'aide d'un marteau pendant une minute environ. Il s'installe ensuite près du cheval et il s'écoule à nouveau environ une minute.

Le fer, encore chaud, est alors posé quelques secondes sur la face inférieure du sabot, ce qui est sans douleur pour l'animal, mais brûle la corne en laissant une trace. Cela permet au maréchal-ferrant de juger si la forme est satisfaisante. Si c'est le cas, il refroidit rapidement le fer en le trempant dans l'eau puis le fixe définitivement sur le sabot à l'aide de clous.

2.1. Refroidissement à l'air libre

On considère que les transferts thermiques entre le fer à cheval et le milieu extérieur suivent la loi de Newton. Le système étudié est le fer à cheval.

Q4. Le maréchal-ferrant martèle le fer à cheval dans l'air. Appliquer le premier principe de la thermodynamique pour le système étudié entre les instants t et $t + \Delta t$; la durée Δt étant supposée faible devant une durée caractéristique d'évolution de la température et la température variant de $\theta(t)$ à $\theta(t + \Delta t)$.

En déduire que l'équation différentielle régissant l'évolution de la température du fer à cheval peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{\theta}{\tau} = \frac{\theta_{Ext}}{\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{m_{Fer} \cdot c_{Fer}}{h_{air} \cdot S}$$

Dans ces conditions $\tau = 880$ s.

L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{Ext}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{Ext}$$

Q5. Vérifier que la fonction proposée $\theta(t)$ est bien solution de l'équation différentielle précédente.

Q6. Calculer la valeur de la température du fer au moment où le maréchal-ferrant le pose sur la face inférieure du sabot du cheval. Commenter.

2.2. Refroidissement dans l'eau avant la pose.

Pour accélérer le refroidissement du fer afin de le poser rapidement sur le sabot, le maréchal-ferrant plonge le fer encore chaud à la température de 600 °C dans un récipient contenant de l'eau à température ambiante de 15 °C que l'on considère comme constante.

Q7. En adaptant la solution obtenue dans le cadre du modèle précédent, estimer la valeur de la durée nécessaire pour que le fer soit refroidi à une température θ_{finale} = 40 °C à laquelle l'artisan pourra poser le fer à l'aide de clous sur le sabot du cheval.

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.

Q8. Dans la réalité, 20 secondes suffisent pour refroidir le fer dans de l'eau à 15 °C. Commenter.

Exercice C – DÉFIBRILLATEUR CARDIAQUE (5 points)

MOT-CLÉ : modèle du circuit RC série

D'après une étude menée par l'université de Lille en 2018, chaque année, environ 46 000 arrêts cardiaques se produisent en dehors des hôpitaux. C'est pourquoi les établissements accueillant du public, sont progressivement tenus d'installer un défibrillateur cardiaque.

Cet appareil permet d'appliquer un choc électrique sur le thorax d'un patient dont le cœur se contracte de façon irrégulière et inefficace.

L'objectif de cet exercice est de comprendre le fonctionnement d'un défibrillateur au travers d'un modèle simplifié.



Un défibrillateur installé en lycée

Le circuit électrique d'un défibrillateur cardiaque peut être modélisé de façon simplifiée par le circuit représenté en figure 1 contenant :

- un circuit de charge constitué de l'association en série d'un générateur de tension *E*, d'un conducteur ohmique de résistance *r* et d'un condensateur de capacité *C* ;
- un circuit de décharge constitué du condensateur chargé et d'un conducteur ohmique de résistance *R* équivalente à celle du thorax du patient ;
- un interrupteur à deux positions (1 ou 2) qui permet de fermer soit le circuit de charge soit le circuit de décharge.

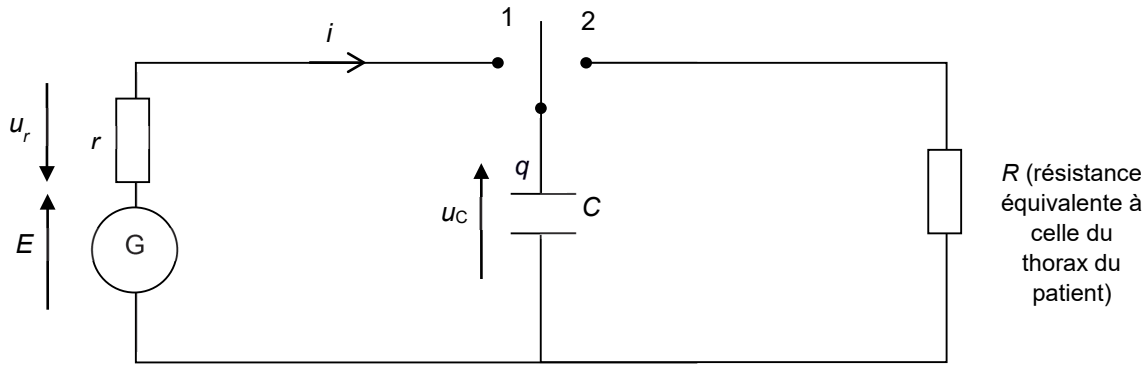


Figure 1. Schéma électrique simplifié d'un défibrillateur cardiaque

On s'intéresse à la charge du condensateur du défibrillateur. À la date t = 0 s, l'utilisateur déclenche la charge du condensateur de capacité *C* considéré comme initialement totalement déchargé.

Q1. Indiquer dans quelle position est basculé l'interrupteur pour réaliser la charge du condensateur du circuit schématisé figure 1.

Q2. À l'aide de la loi des mailles, montrer que l'équation différentielle régissant l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur lors de sa charge est :

$$r \cdot C \cdot \frac{\mathrm{d}u_C(t)}{\mathrm{d}t} + u_C(t) = E$$

Q3. Vérifier que la solution de cette équation différentielle est $u_C(t) = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{charge}}}\right)$ en précisant l'expression et l'unité de la constante τ_{charge}.

Q4. Tracer l'allure de la courbe donnant l'évolution temporelle de la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge, en précisant les valeurs de $u_C(t)$ à t = 0 s et au bout d'un temps très long.

Q5. Montrer qu'à la date $t_1 = 5 \times \tau_{charge}$, la tension aux bornes du condensateur $u_C(t)$ a atteint 99 % de sa valeur finale.

On s'intéresse maintenant à la décharge du condensateur et on réalise le montage de la figure 1 avec un conducteur ohmique de résistance R = 10 kΩ et un condensateur de capacité C = 1,5 µF, permettant d'avoir un temps caractéristique proche de celui d'un défibrillateur commercial.

On suit l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur initialement chargé. La courbe expérimentale obtenue est représentée en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Q6. Déterminer graphiquement l'instant t_2 où l'interrupteur a été basculé de la position 1 à la position 2.

Q7. En faisant apparaître clairement la démarche sur l'**ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, évaluer graphiquement le temps caractéristique de décharge τ_{graph}. Commenter.

Sur la notice d'un défibrillateur commercial, les valeurs suivantes sont annoncées :
- durée totale de charge : moins de 10 secondes ;
- durée de délivrance du choc : moins de 4 secondes ;
- tension appliquée à la victime adulte : environ 2 000 V ;
- valeur de la capacité C = 170 µF.

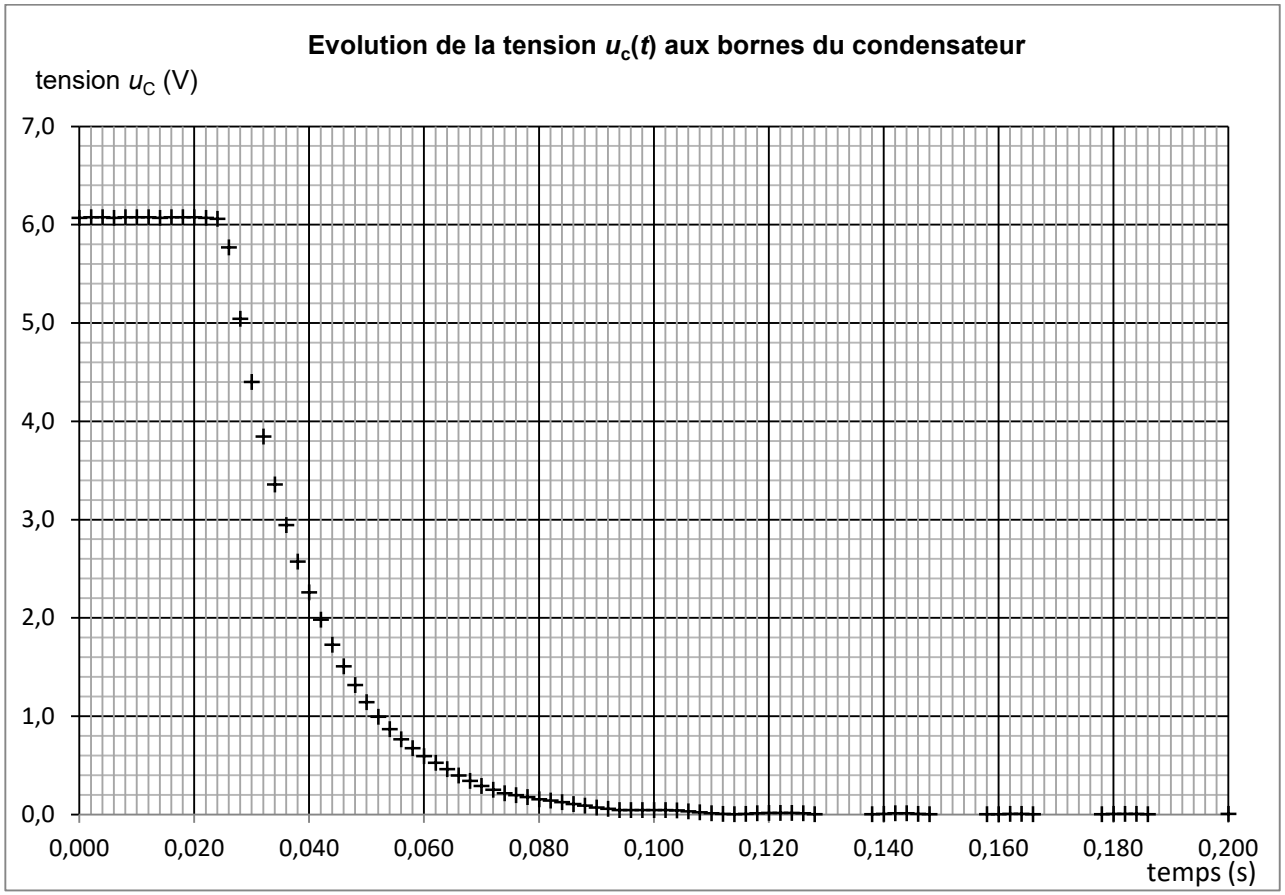
Q8. Sachant que, dans ces conditions d'utilisation, la résistance électrique offerte par le corps d'un adulte est comprise entre 50 Ω et 150 Ω, estimer la durée nécessaire pour que la décharge du condensateur du défibrillateur soit considérée comme totale. Commenter.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

22-PYCJ1ME1

ANNEXE à rendre avec la copie



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