

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

Jour 1

PHYSIQUE-CHIMIE

Mardi 6 février 2024

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 collègue » est autorisé.*

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

Ce sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9.

Le candidat traite les 3 exercices

EXERCICE 1 – LE MIEL ET LES ABEILLES (10 POINTS)

Les abeilles sont capables de communiquer entre elles pour repérer les sources de nourriture et les sources de danger. Elles récoltent le nectar des fleurs pour le transformer en miel. Les miels vendus dans le commerce sont régulièrement analysés pour détecter d'éventuelles fraudes.

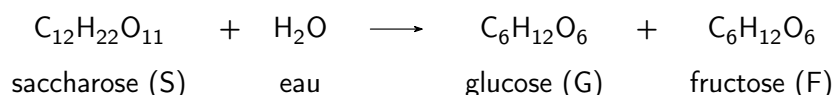
Les parties A, B et C de l'exercice sont indépendantes.

Partie A – Du nectar au miel

Les abeilles utilisent le nectar présent dans les fleurs pour fabriquer leur miel. Le nectar est aspiré par la trompe de la butineuse, puis il est emmagasiné dans son jabot où il est transformé en raison de l'absorption d'eau et de l'apport de salive riche en invertase. De retour à la ruche, la butineuse régurgite le contenu de son jabot aux ouvrières qui poursuivent la transformation dans leurs propres jabots.

Lors de cette transformation, le saccharose présent dans le nectar réagit avec l'eau pour former du glucose et du fructose qui sont les principaux constituants du miel. La molécule d'eau « casse » la molécule de saccharose en deux. On parle d'hydrolyse du saccharose. Cette transformation chimique est une transformation totale.

L'équation de la réaction d'hydrolyse est la suivante :



La température à l'intérieur de la ruche reste égale à 35°C.

On se propose de déterminer l'ordre de la réaction d'hydrolyse du saccharose.

À température constante, à pH = 5 constant, on mélange du saccharose avec de l'eau (sans invertase) et on suit l'évolution de la concentration du saccharose en fonction du temps. On obtient le graphique représenté sur la **figure 1**. [S] désigne la concentration en saccharose à l'instant t :

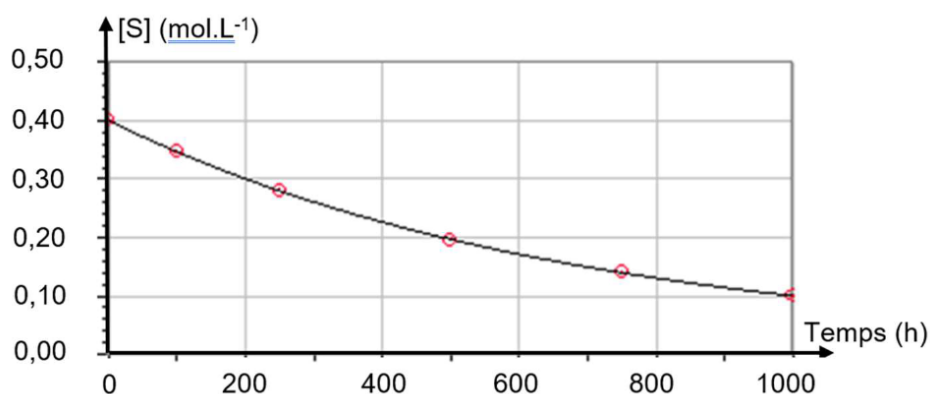


FIGURE 1 – Graphique représentant l'évolution de la concentration [S] en fonction du temps

Source : dlecorgnechimie.fr

- A.1. Justifier en quoi la transformation chimique peut être considérée comme lente.
- A.2. En utilisant la **figure 1**, déterminer la concentration initiale en saccharose $[S]_0$.
- A.3. Estimer, en expliquant la démarche, la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.
- A.4. Définir la vitesse volumique de disparition v_{disp} du saccharose en fonction de la concentration en saccharose [S].

A.5. Indiquer, en justifiant qualitativement, comment varie la vitesse de disparition du saccharose au cours du temps.

On fait l'hypothèse que l'hydrolyse du saccharose suit une loi de vitesse d'ordre 1. Dans ce cas, on montre que la concentration en saccharose $[S]$ vérifie la relation $\ln [S] = -k \times t + \ln [S]_0$ avec t le temps (en h), k la constante de vitesse à la température de l'expérience (en h^{-1}) et $\ln [S]_0$ le logarithme népérien de la concentration initiale en saccharose (sans unité).

Les valeurs de $\ln [S]$ ont été calculées puis modélisées par la fonction $\ln [S] = -k \times t + \ln [S]_0$ à l'aide d'un programme Python. On obtient alors le graphique représenté sur la **figure 2**.

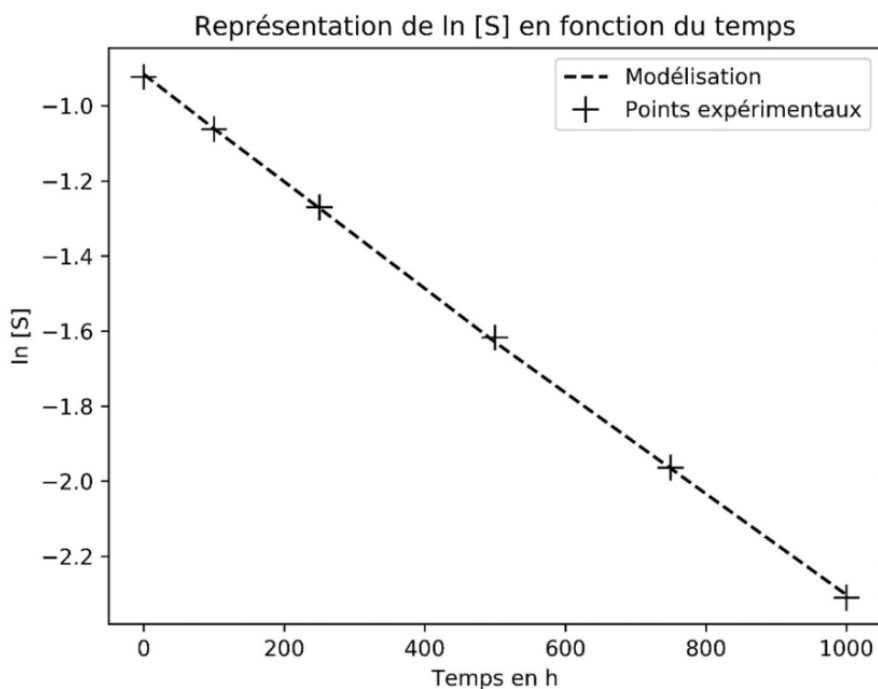
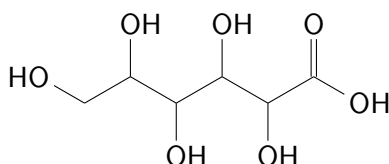


FIGURE 2 – Graphique représentant les données expérimentales et la modélisation

A.6. À partir de la modélisation représentée sur la **figure 2**, justifier que l'hypothèse de la cinétique d'ordre 1 est validée.

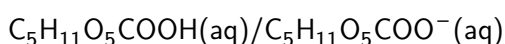
Partie B – Mesure de l'acidité libre d'un miel de châtaignier

Le miel de châtaignier est majoritairement constitué de sucres (77 %) et d'eau (19 %) et son pH est égal à 4,5. Le principal acide présent dans le miel est l'acide gluconique dont la formule topologique est :



Par souci de simplification, on considèrera que l'acide gluconique est le seul acide présent dans le miel. La teneur en acidité libre d'un miel s'exprime en milli-équivalents d'acide par kg de miel (mEq/kg). Elle correspond à la quantité de matière en mmol d'acide gluconique présent dans 1,0 kg de miel. Pour respecter la réglementation européenne, l'acidité libre d'un miel ne doit pas dépasser 50 mEq/kg.

Donnée : couple acido-basique acide gluconique / ion gluconate :



Protocole pour mesurer l'acidité libre du miel :

- Préparer un bécher avec 50,0 mL de solution aqueuse contenant 5,00 g de miel.
- Remplir la burette graduée avec la solution titrante d'hydroxyde de sodium ($\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$) de concentration $C_B = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- Placer la sonde pH-métrique dans le bécher et mettre en marche l'agitateur magnétique.
- Tracer la courbe représentant le pH en fonction du volume de la solution titrante.

On obtient le graphique suivant :

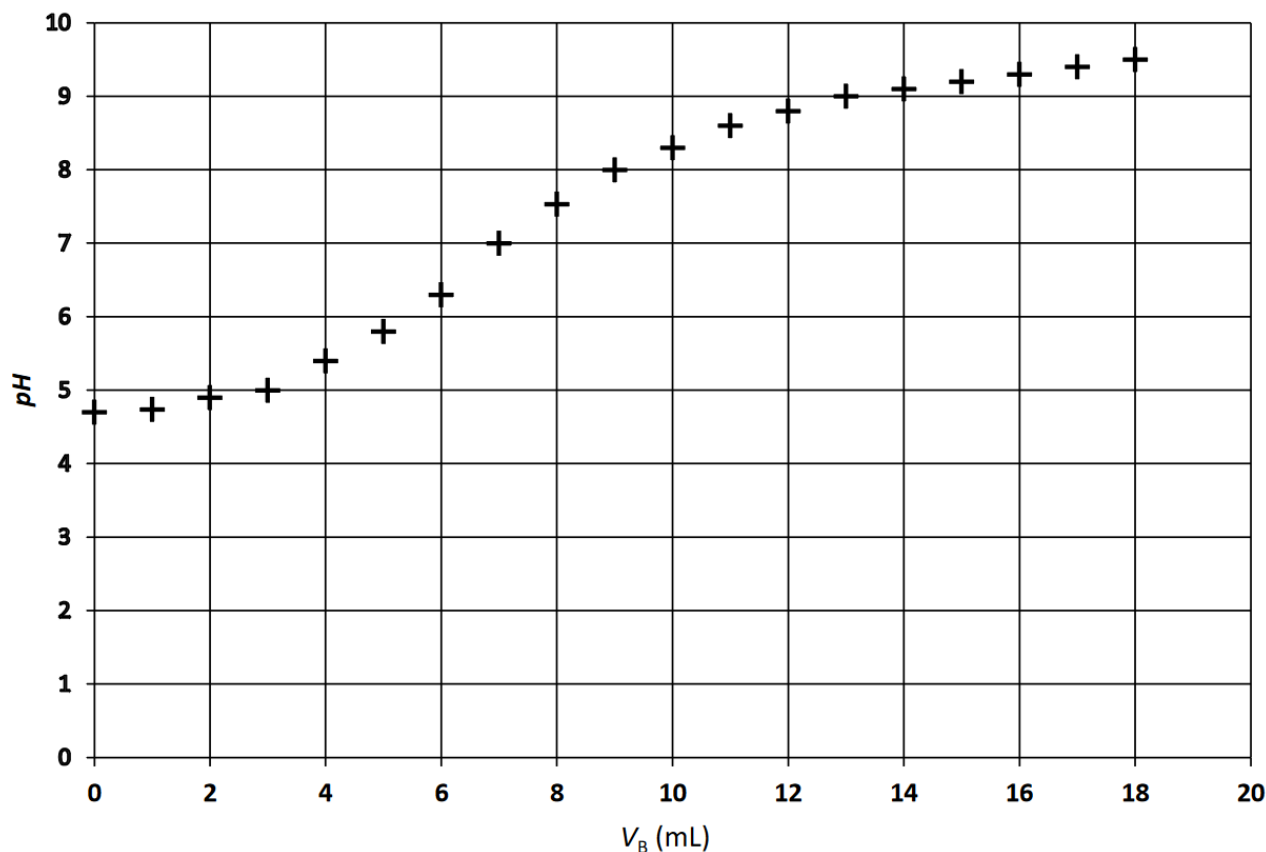


FIGURE 3 – Graphique représentant l'évolution du pH de la solution titrée en fonction du volume V_B de solution titrante versé.

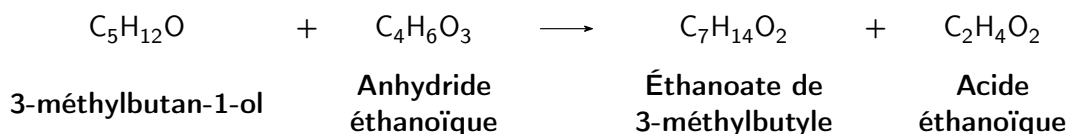
- B.1. Donner la définition d'un acide selon Brönsted.
- B.2. Si on considère que l'acide gluconique est le seul acide présent dans le miel, écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- B.3. Définir l'équivalence d'un titrage.
- B.4. Déterminer si le miel de châtaignier respecte la réglementation européenne.

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

Partie C – Phéromone d'attaque de l'abeille

Pour transmettre un message chimique, les abeilles émettent des substances chimiques aux odeurs particulières, appelées phéromones. La phéromone d'attaque est l'éthanoate de 3-méthylbutyle qui est produite par des cellules bordant la poche à venin.

L'éthanoate de 3-méthylbutyle peut être synthétisé en laboratoire à partir du 3-méthylbutan-1-ol de l'anhydride éthanoïque. La transformation chimique correspondante est modélisée par l'équation bilan ci-dessous :



Protocole : pour obtenir l'éthanoate de 3-méthylbutyle, on chauffe à reflux un volume $V_1 = 9,9$ mL de 3-méthylbutan-1-ol avec un volume $V_2 = 8,6$ mL d'anhydride éthanoïque, en présence d'acide sulfurique. Après séparation et rinçage, on obtient une quantité de matière finale d'éthanoate de 3-méthylbutyle $n_f = 7,4 \times 10^{-2}$ mol.

Données :

Espèces chimiques	Masse molaire (g·mol ⁻¹)	Masse volumique ρ (g·mL ⁻¹)	Température d'ébullition (°C)	Solubilité dans l'eau
3-méthylbutan-1-ol	88,1	0,81	128	Très peu soluble
Anhydride éthanoïque	102,1	1,08	139	Très soluble
Éthanoate de 3-méthylbutyle	130,2	0,87	142	Très peu soluble

C.1. Justifier l'intérêt du chauffage à reflux.

C.2. À l'aide du protocole et des données, vérifier que la quantité de matière initiale du 3-méthylbutan-1-ol est $n_1 = 9,1 \times 10^{-2}$ mol et que la quantité de matière initiale d'anhydride éthanoïque est $n_2 = 9,1 \times 10^{-2}$ mol

C.3. Calculer la valeur de l'avancement maximal x_{\max} .

C.4. Rappeler la définition du taux d'avancement final τ puis calculer sa valeur. Interpréter cette valeur.

EXERCICE 2 – PROTECTION DES CRAPAUDS (5 POINTS)

La plaine de Sorques, située dans le sud de la Seine-et-Marne, est une zone naturelle protégée qui abrite entre autres de nombreux amphibiens (crapauds, grenouilles, tritons).

Les crapauds *Bufo bufo* ont pour habitat la forêt de Fontainebleau la majeure partie de l'année. Une fois par an, au printemps, ces amphibiens migrent vers les plans d'eau pour se reproduire



Barrière de protection le long d'une route

Pour éviter qu'ils ne se fassent écraser en passant sur la route qui traverse cette zone de migration, un dispositif a été installé : des barrières en bois, suffisamment hautes pour empêcher le saut sur la route, sont placées de chaque côté, obligeant les amphibiens à emprunter des passages souterrains appelés « crapauducs ».

Dans cet exercice, on se propose d'étudier le mouvement lors d'un saut d'un crapaud *Bufo bufo* de façon à déterminer la hauteur minimale des barrières de protection le long d'une route.

Le système considéré est un crapaud dont on étudie le mouvement du centre de masse, noté G. Le champ de pesanteur terrestre local \vec{g} est considéré uniforme et les frottements liés à l'action de l'air sont supposés négligeables face au poids.

Données :

- intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- taille moyenne d'un crapaud *Bufo bufo* : 10 cm.

Le mouvement du centre de masse G du crapaud est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni du système d'axes (Ox, Oz) , respectivement horizontal muni du vecteur unitaire \vec{i} et vertical muni du vecteur unitaire \vec{j} (voir **figure 1**).

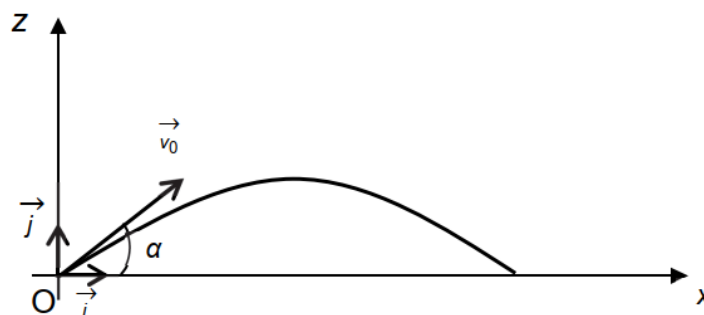


FIGURE 1 – Modélisation du saut du crapaud

À la date $t = 0$, le centre de masse G est placé à l'origine du repère O et son vecteur vitesse initiale, noté \vec{v}_0 , a une direction faisant un angle α avec l'axe horizontal Ox . On note v_0 la norme de \vec{v}_0 .

- Q1.** Établir les expressions littérales des composantes a_x et a_z du vecteur accélération \vec{a}_G du centre de masse du crapaud suivant les axes Ox et Oz .
- Q2.** Établir les expressions littérales des composantes $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse \vec{v}_G du centre de masse du crapaud suivant les axes Ox et Oz .

Q3. Montrer que les expressions littérales des équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ de la position du centre de masse G du crapaud au cours de son mouvement s'écrivent :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t \\ z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t \end{cases}$$

Q4. Établir l'expression de la durée du saut du crapaud, notée t_{saut} , en fonction de v_0 , g , et α .

Q5. En utilisant l'expression de $x(t)$ et l'expression de t_{saut} obtenue à la réponse à la question **Q4**, montrer que la vitesse v_0 permettant au crapaud d'effectuer un saut de longueur d est donnée par la relation :

$$v_0 = \sqrt{\frac{g \cdot d}{2 \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}}$$

Q6. Sachant que les crapauds les plus puissants peuvent faire des sauts d'une longueur égale à 20 fois leur taille, calculer la valeur de v_0 qu'ils atteignent pour un angle $\alpha = 45^\circ$.

La hauteur maximale z_{max} d'un saut est obtenue lorsque ce saut est vertical ; l'angle α vaut alors $\alpha = 90^\circ$, la vitesse initiale est toujours notée v_0 .

Q7. Établir que la hauteur maximale d'un saut a pour expression littérale :

$$z_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g}$$

Q8. En déduire la valeur de la hauteur de barrière minimale, notée H_{champion} , qui permet d'arrêter les crapauds les plus puissants, capables de sauter verticalement avec une vitesse initiale v_0 de valeur calculée à la question **Q6**.

Q9. Les barrières mesurent en réalité 50 à 60 cm de hauteur. Donner un argument permettant d'expliquer pourquoi on choisit d'installer des barrières d'une hauteur inférieure à H_{champion} .

EXERCICE 3 – REFROIDISSEMENT D'UN FER À CHEVAL (5 POINTS)

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 : $\theta_0 = 900^\circ\text{C}$;
- volume du fer à cheval : $V_{\text{Fer}} = 104 \text{ cm}^3$;
- masse volumique du fer, supposée indépendante de la température : $\rho_{\text{Fer}} = 7,87 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$;
- surface extérieure du fer à cheval : $S = 293 \text{ cm}^2$;
- température ambiante extérieure : $\theta_{\text{Ext}} = 15^\circ\text{C}$;
- capacité thermique massique du fer supposée indépendante de la température : $c_{\text{Fer}} = 440 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- 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} :

$$\Phi = h \cdot S (\theta_{\text{Ext}} - \theta)$$

avec h le coefficient de transfert thermique surfacique et S la surface d'échange :

dans l'air, $h_{\text{air}} = 14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et dans l'eau froide $h_{\text{eau}} = 360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

1. Chauffage du fer

Lors du chauffage du fer à cheval pour le rendre plus malléable, sa température passe de la température ambiante $\theta_{\text{Ext}} = 15^\circ\text{C}$ à $\theta_0 = 900^\circ\text{C}$.

- 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 :

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

Dans ces conditions $\tau = 880$ s.

L'équation différentielle précédente admet pour solution la fonction :

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

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 $\theta_{\text{finale}} = 40^\circ\text{C}$ 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.