

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2025

Jour 1

PHYSIQUE-CHIMIE

Lundi 3 février 2025

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 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13.

Le candidat traite les 3 exercices

EXERCICE 1 – COLORATION CAPILLAIRE (9 POINTS)

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

Changer la couleur des cheveux, pigmenter de nouveau un cheveu blanchi par l'âge, voilà la promesse des colorations capillaires. Différentes techniques sont envisageables : les colorations naturelles, qui enrobent la fibre de pigments provenant du monde végétal, et les colorations d'origine synthétique. Parmi elles, les colorations d'oxydation promettent une longue tenue, car les espèces colorantes sont enfermées dans la fibre capillaire.

Le mélange colorant est préparé juste avant l'application, le coiffeur mélange la plupart du temps des volumes sensiblement égaux de solution oxydante à base de peroxyde d'hydrogène et de crème colorante contenant les précurseurs de la molécule colorée et les coupleurs. Cette crème contient également de l'ammoniaque ou une amine organique pour garantir un milieu basique. Après un temps de pose pour développer la couleur et un rinçage, un shampoing neutralise l'effet de l'ammoniaque.

L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques aspects de la formule des produits professionnels permettant de teindre les cheveux de manière durable.

1. Étude de solutions oxydantes

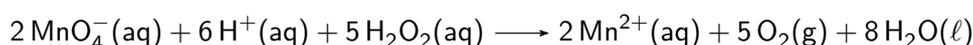
Les solutions oxydantes utilisées pour développer les colorations capillaires contiennent du peroxyde d'hydrogène $\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq})$. Le tableau de la figure 1 présente différentes solutions oxydantes disponibles à l'usage des professionnels de la coiffure, leur pourcentage en masse de peroxyde d'hydrogène et leur masse volumique.

Solutions oxydantes	Pourcentage en masse de peroxyde d'hydrogène dans la solution	Masse volumique de la solution (en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
Solution n°1	3,0 %	1011
Solution n°2	6,0 %	1022
Solution n°3	9,0 %	1033
Solution n°4	12,0 %	1044

FIGURE 1 – Tableau des différents oxydants disponibles avec leur pourcentage en masse de peroxyde d'hydrogène et leur masse volumique

Il est possible de déterminer la concentration en quantité de matière en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 d'une solution oxydante pour coloration capillaire à l'aide d'un dosage par titrage. Le réactif titrant est le permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) en milieu acide.

L'équation de la réaction modélisant la transformation observée durant le dosage par titrage est :



La solution oxydante, notée S, est préalablement diluée au vingtième ainsi sa concentration en quantité de matière est divisée par 20. La solution obtenue est notée S_{20} .

Q1. Donner le protocole, en indiquant la verrerie, qui permet de préparer un volume V de valeur égale à 100,0 mL de solution S_{20} à partir de la solution S.

On place un volume V_1 de solution S_{20} dans un erlenmeyer et on ajoute quelques gouttes d'une solution d'acide sulfurique concentrée. La burette contient la solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) de concentration en quantité de matière c_2 . Le volume de solution de permanganate de potassium pour atteindre l'équivalence est noté V_E .

Données :

- valeur du volume V_1 : $V_1 = 10,0 \text{ mL}$;
- valeur de la concentration en quantité de matière c_2 de la solution de permanganate de potassium ($\text{K}^+(\text{aq})$; $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$) : $c_2 = 2,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$;
- valeur du volume V_E de solution de permanganate de potassium versé à l'équivalence : $V_E = 18,1 \text{ mL}$;
- valeur de la masse molaire du peroxyde d'hydrogène : $M_{\text{H}_2\text{O}_2} = 34 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q2. Établir la relation à l'équivalence entre la quantité de matière du peroxyde d'hydrogène n_1 et la quantité de matière n_{2E} des ions permanganate.

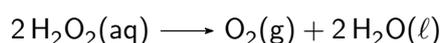
Q3. Déterminer c_1 , la concentration en quantité de matière du peroxyde d'hydrogène de la solution S_{20} .

Q4. En déduire la concentration en quantité de matière c du peroxyde d'hydrogène dans la solution oxydante S .

Q5. Vérifier, à l'aide des valeurs du tableau de la figure 1, que la solution oxydante étudiée est la solution n°2.

Le titre en volume correspond au volume de dioxygène libéré par la décomposition en eau et en dioxygène d'un litre de solution de peroxyde d'hydrogène dans les conditions normales de température et de pression. Exemple : un litre de peroxyde d'hydrogène à 10 volumes libère 10 L de dioxygène selon l'équation de décomposition.

L'équation de la réaction modélisant la décomposition du peroxyde d'hydrogène est la suivante :



Le tableau de la figure 2 présente des informations concernant la solution n°2, son pourcentage en masse de peroxyde d'hydrogène, son titre en volume et sa masse volumique.

Solutions oxydantes	Pourcentage en masse de peroxyde d'hydrogène dans la solution	Titre en volumes (en volumes)	Masse volumique de la solution (en $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
Solution n°2	6,0 %	20 volumes	1022

FIGURE 2 – Informations concernant la solution n°2

Données :

- volume molaire des gaz à température et pression normales : $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- valeur de la masse molaire du peroxyde d'hydrogène : $M_{\text{H}_2\text{O}_2} = 34 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Pour la question suivante, 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.

Q6. Vérifier que la solution oxydante n°2 à 6,0 % en masse de peroxyde d'hydrogène dans la solution correspond effectivement à un titre en volume de valeur proche de 20 volumes.

2. Étude de la crème colorante

La crème colorante contient une espèce basique de type ammoniacale ou amine organique dont la fonction est de fixer le pH du mélange colorant vers une valeur de 9,5. À ce pH, les écailles du cheveu s'ouvrent pour laisser les précurseurs des espèces colorées pénétrer abondamment la fibre.

Données :

- couple acide-base ion ammonium / ammoniac : $\text{NH}_4^+(\text{aq}) / \text{NH}_3(\text{aq})$;
- couples acide-base de l'eau : $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) / \text{H}_2\text{O}(\ell)$ et $\text{H}_2\text{O}(\ell) / \text{HO}^-(\text{aq})$.

Q7. Écrire l'équation de la réaction modélisant l'action de l'eau sur l'ammoniac $\text{NH}_3(\text{aq})$.

Le document de la figure 3 présente des composés employés presque systématiquement dans les colorations pour cheveux. Ce sont des composés qui peuvent s'oxyder très facilement.

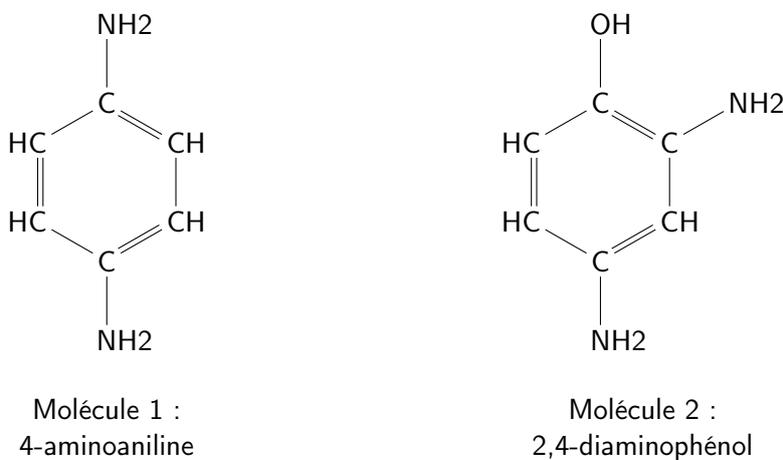


FIGURE 3 – Formules semi-développées de composés employés dans les colorations pour cheveux

Q8. Recopier la formule semi-développée de la molécule 2, entourer et nommer les groupes caractéristiques présents.

3. Développement de la couleur

Lorsque l'on mélange la crème colorante et la solution oxydante, une espèce colorée apparaît peu à peu. Cette espèce est capable de teindre le cheveu en s'insérant à l'intérieur de la fibre capillaire. Le développement de cette couleur peut être étudié au spectrophotomètre.

Lorsque la solution n'est pas trop concentrée, elle suit la loi de Beer-Lambert, qui peut permettre de vérifier la teneur en colorant de la crème colorante.

Pour réaliser une simulation de la loi de Beer-Lambert, on choisit d'utiliser un programme Python, qui lorsqu'il a été exécuté donne le résultat présenté figure 4.

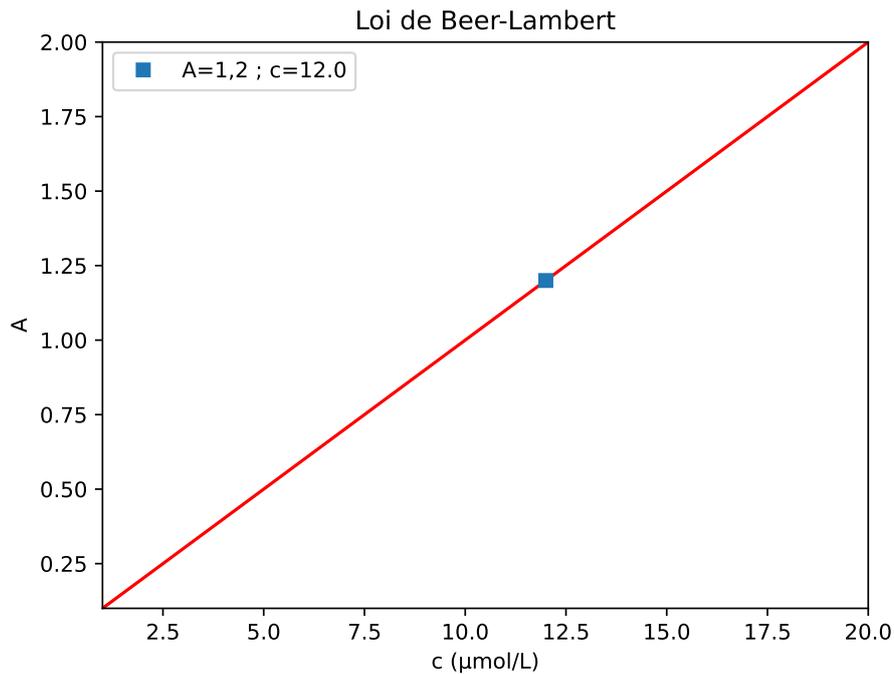


FIGURE 4 – Représentation graphique de la simulation de la loi de Beer-Lambert obtenue avec le programme python

Les solutions de la gamme d'étalonnage envisagée contiennent le colorant capillaire obtenu par oxydation de l'espèce qu'on appellera par la suite molécule C dans une gamme de concentration en quantité de matière comprise entre $1,0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ à $2,0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données :

- la valeur de la longueur ℓ de la cuve est égale à 1,0 cm ;
- la valeur du coefficient d'extinction molaire ε (epsilon) de l'espèce colorée est égale à $1,00 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$;
- la loi de Beer-Lambert appliquée dans son domaine de validité s'écrit $A = \varepsilon \cdot \ell \cdot c$ avec A la valeur de l'absorbance, ε le coefficient d'extinction molaire de l'espèce, c la valeur de la concentration et ℓ la valeur de la longueur de la cuve du spectrophotomètre.

Le programme Python est présenté figure 5.

```

1  import numpy as np
2  import matplotlib.pyplot as plt
3
4  # on déclare les constantes
5  epsilon =
6  l =
7
8  c=np.linspace(1,20,num=2)
9
10 A =
11
12 plt.margins(0)
13 plt.title('Loi de Beer-Lambert')
14 plt.xlabel('c (µmol/L)')
15 plt.ylabel('A')
16 plt.plot(c,A,'r')
17
18
19 pointisole=1.2/(epsilon*1*10**-6)
20
21 plt.plot(pointisole,1.2,'s',label=f"A=1,2 ; c={pointisole}")
22 plt.legend()
23 plt.show()

```

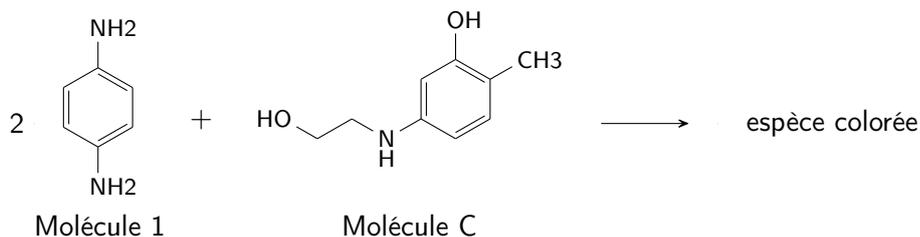
FIGURE 5 – Programme Python

Q9. Recopier et compléter les lignes 5, 6 et 10 du code Python.

Le programme affiche également la valeur de la concentration en quantité de matière correspondant à une absorbance $A = 1,20$ pour un échantillon préparé en diluant 100 fois le mélange crème colorante - solution oxydante.

On considèrera que les valeurs numériques des masses volumiques de la crème et de l'oxydant sont proches de celle de l'eau, constituant majoritaire du mélange. Le mélange est préparé en réunissant des volumes égaux de crème colorante (molécule C) et de solution oxydante (molécule 1).

Le développement de la couleur se fait selon l'équation simplifiée de réaction :



Q10. Déterminer la concentration C_c en quantité de matière de la molécule C dans le mélange.

Donnée : la masse molaire de la molécule C : $M_C = 169 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Q11. La législation autorise jusqu'à 1,5% en masse de la molécule C dans le mélange colorant prêt à l'emploi. Vérifier que la crème colorante respecte la législation.

On enregistre, figure 6, le spectre du « mélange prêt à l'application » après le développement de la couleur.

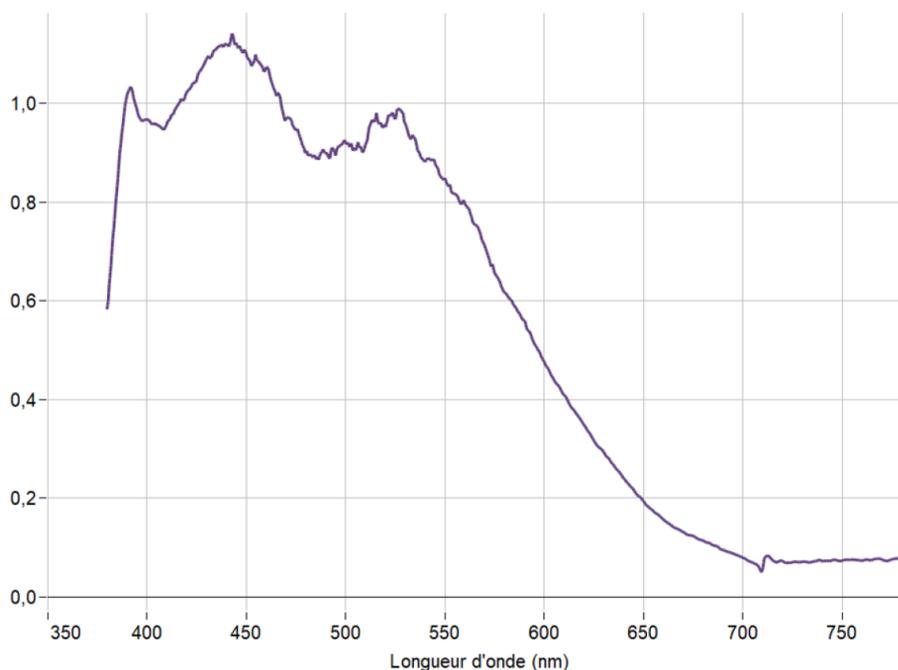


FIGURE 6 – Spectre du « mélange prêt à l'application »

Sur le diagramme en étoile de la figure 7 les couleurs complémentaires sont diamétralement opposées.

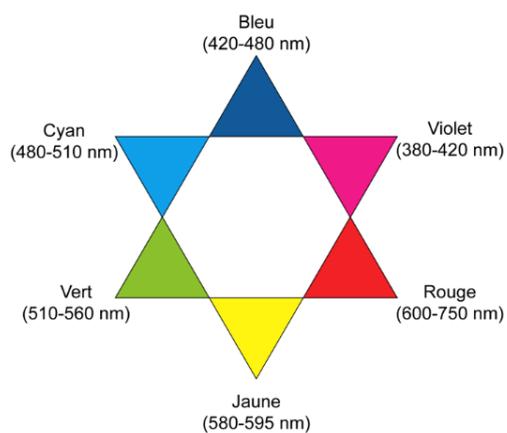


FIGURE 7 – Diagramme en étoile présentant les couleurs complémentaires et les longueurs d'onde

Q12. À l'aide des figures 6 et 7, déterminer la couleur principalement absorbée et en déduire la couleur dominante du mélange « mélange prêt à l'application ».

On suit l'évolution de l'absorbance en fonction du temps, la courbe obtenue est donnée figure 8.

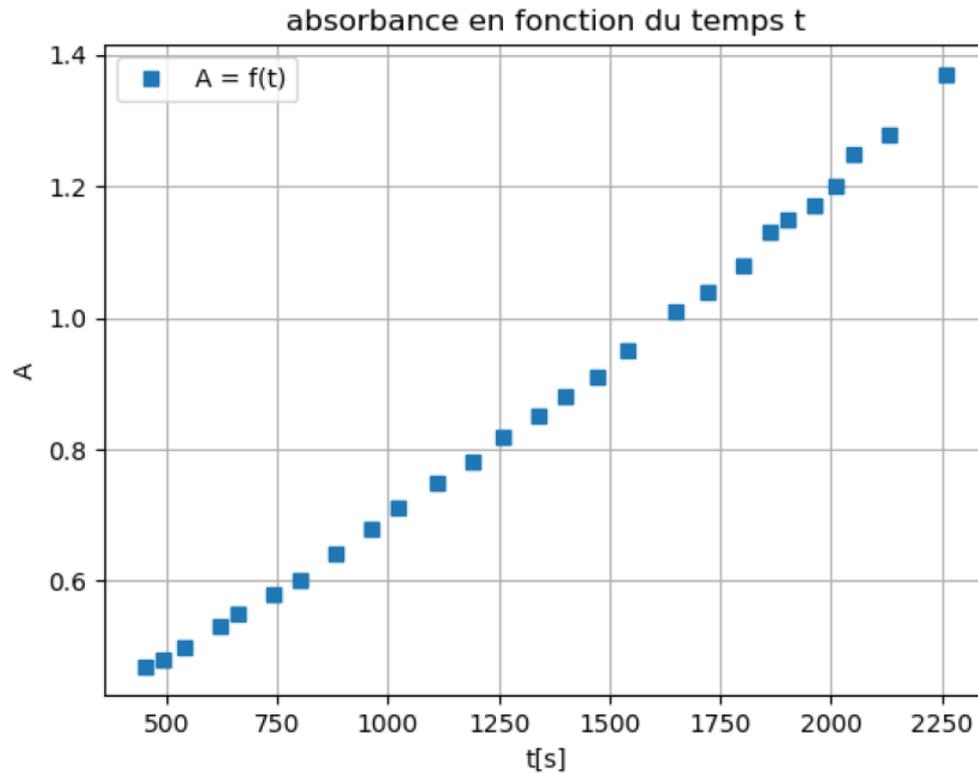


FIGURE 8 – Représentation graphique de l'absorbance en fonction du temps pour le mélange colorant dilué au centième

Q13. Donner la définition de la vitesse volumique d'apparition du produit coloré, notée v_{produit} .

Q14. À partir de l'expression de la loi de Beer-Lambert, montrer que l'expression de la vitesse d'apparition du produit coloré est :

$$v_{\text{produit}} = \frac{1}{\varepsilon \cdot \ell} \cdot \frac{dA}{dt}$$

Données :

- la valeur de la longueur ℓ de la cuve est égale à 1,0 cm ;
- la valeur du coefficient d'extinction molaire ε (epsilon) de l'espèce colorée est égale à $1,00 \times 10^5 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$;

Q15. Déterminer la vitesse d'apparition du produit v_{1500} à la date 1500 s.

EXERCICE 2 – 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 : $\theta_0 = 900\text{ °C}$;
- 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 : $\theta_{\text{Ext}} = 15\text{ °C}$;
- 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 $\theta_{\text{Ext}} = 15\text{ °C}$ à $\theta_0 = 900\text{ °C}$.

- 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 $\theta(t + \Delta t)$.

Q5. Exprimer la variation d'énergie interne ΔU du fer à cheval, supposé incompressible, en fonction de m_{Fer} , c_{Fer} et $\Delta\theta = \theta(t + \Delta t) - \theta(t)$.

Q6. Dédurre des questions précédentes 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 :

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

Q7. Vérifier que la fonction proposée $\theta(t)$ est bien solution de l'équation différentielle précédente.

Q8. 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.

Q9. En adaptant la solution obtenue dans le cadre du modèle précédent (refroidissement dans l'air), estimer la valeur de la durée nécessaire pour que le fer soit refroidi maintenant dans l'eau, 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.

Q10. Dans la réalité, 20 secondes suffisent pour refroidir le fer dans de l'eau à 15°C . Commenter.

EXERCICE 3 – ACCÉLÉROMÈTRE D'UN MOBILE MULTIFONCTION (6 POINTS)

Les mobiles multifonctions, souvent appelés smartphones, sont équipés de plusieurs capteurs leur permettant d'être utilisés comme des instruments de mesure. Par exemple, la plupart des smartphones disposent d'un accéléromètre, capteur qui permet de mesurer l'accélération à laquelle le téléphone est soumis.

L'objectif de cet exercice est d'établir un modèle de la force de frottement s'exerçant sur un smartphone chutant dans l'air, à l'aide des mesures d'accélération fournies par l'accéléromètre embarqué.



Données :

- masse du smartphone utilisé : $m = 182 \text{ g}$;
- intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$;
- dans tout l'exercice, on ne tient pas compte de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le smartphone.

Le mouvement du centre de masse G du smartphone est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen, muni d'un repère d'espace d'axe (Oz) , vertical, orienté vers le haut et de vecteur unitaire \vec{k} (voir figure 1). À la date $t = 0$, le smartphone est lâché à plat, avec une vitesse initiale nulle. Son centre de masse G se trouve alors au point H de coordonnée $z = h$. Il est réceptionné quelques instants plus tard sur un coussin posé au sol. Lorsque le smartphone est en contact avec le coussin, son centre de masse est à l'altitude $z = 0$.

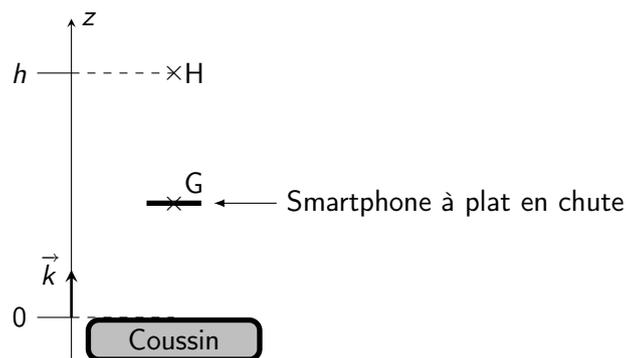


FIGURE 1 – Modélisation de la chute du smartphone

1. Modèle de la chute libre sans frottement

On fait tout d'abord l'hypothèse que le smartphone est en mouvement de chute libre verticale. On ne tient donc pas compte des forces de frottement exercées par l'air sur le smartphone en mouvement.

Q1. Dans ce modèle, faire un bilan des forces appliquées au système {smartphone}. En déduire l'expression de la coordonnée a_z de l'accélération du centre de masse G du système.

Q2. Établir l'expression de la coordonnée $v_z(t)$ de la vitesse du centre de masse G du système puis montrer que l'équation horaire de l'altitude $z(t)$ du centre de masse G a pour expression :

$$z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + h$$

On choisit l'origine de l'énergie potentielle de pesanteur $E_{PP}(z)$ au niveau de l'origine de l'axe (Oz) :

$$E_{PP}(z = 0) = 0$$

Q3. Justifier que l'énergie mécanique E_M du smartphone est constante et qu'elle a pour expression : $E_M = m \cdot g \cdot h$.

2. Étude expérimentale de la chute du smartphone

Pour confronter le modèle de chute libre sans frottement à l'expérience, on lâche à la date $t = 0$ un téléphone équipé d'un accéléromètre, avec une vitesse initiale nulle depuis la hauteur $h = 1,70$ m. La figure 2 est obtenue à partir des valeurs de l'accélération enregistrées par le capteur entre le lâcher du téléphone et la date $t = 0,47$ s.

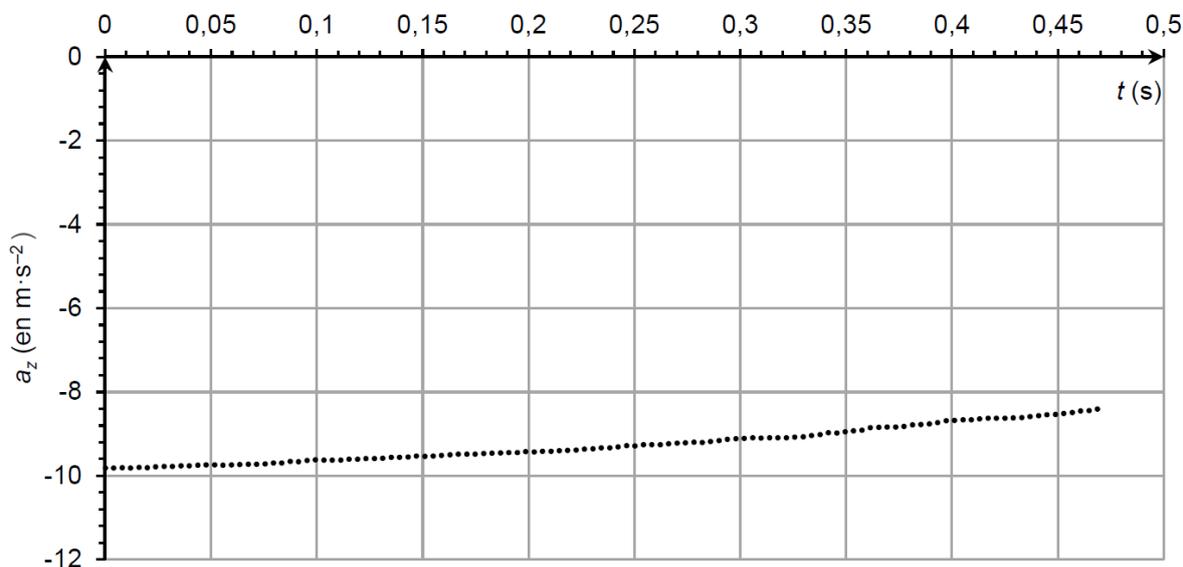


FIGURE 2 – Accélération verticale a_z du smartphone en fonction du temps t

Q4. Indiquer, en justifiant, si l'évolution temporelle de la valeur de la composante a_z de l'accélération obtenue expérimentalement est compatible avec le modèle de chute libre sans frottement.

Le traitement des données acquises permet de tracer l'évolution temporelle de trois formes d'énergies du smartphone : énergie potentielle de pesanteur $E_{PP}(t)$, énergie cinétique $E_C(t)$ et énergie mécanique $E_M(t)$, comme représenté sur la figure 3.

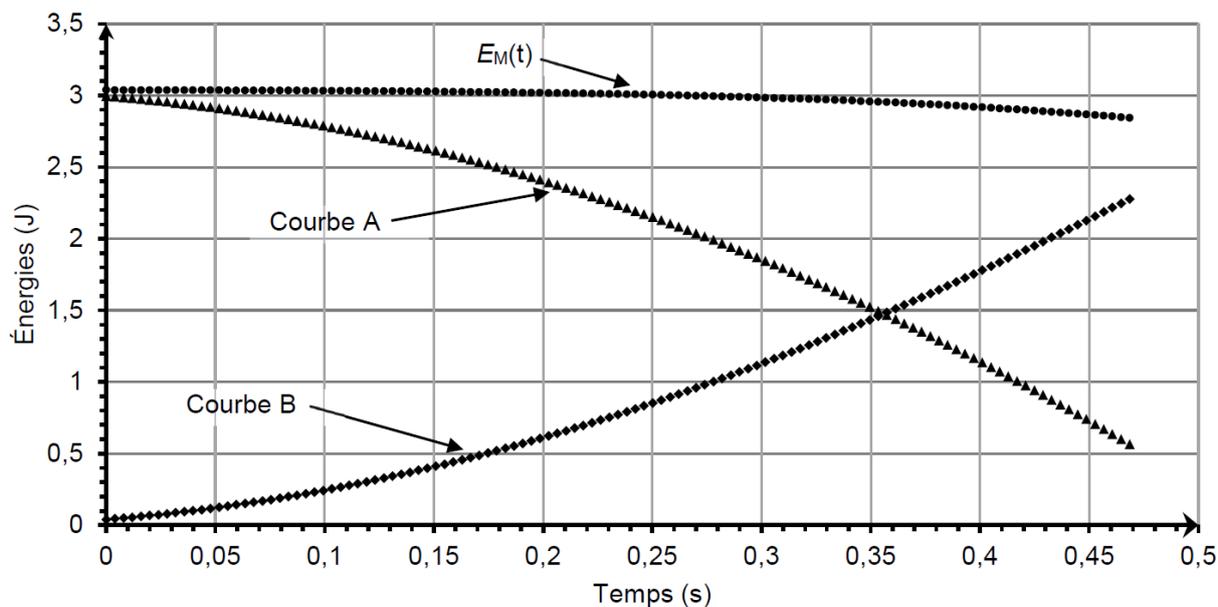


FIGURE 3 – Représentations graphiques de $E_{PP}(t)$, $E_C(t)$ et $E_M(t)$ lors de la chute du smartphone

Q5. Associer, en justifiant, chaque courbe d'évolution temporelle A et B de la figure 3 à la forme d'énergie correspondante.

Q6. Montrer, à partir de la figure 3, que la vitesse du smartphone est proche de $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à la date $t = 0,45 \text{ s}$.

Les actions de frottement de l'air sur le smartphone sont représentées par une force \vec{f} verticale et dirigée vers le haut. Cette force est nulle lorsque la vitesse du smartphone est nulle.

Q7. En appliquant la deuxième loi de Newton au système {smartphone}, montrer que la coordonnée verticale de la force de frottement vérifie :

$$f = m \cdot (a_z + g)$$

Les données expérimentales permettent de représenter les variations de la composante verticale de l'accélération a_z du smartphone en fonction du carré v^2 de sa vitesse. Les résultats sont représentés sur la figure 4. Les données expérimentales sont correctement représentées par une modélisation affine :

$$a_z = 0,0555 \times v^2 - 9,80 \quad \text{où } a_z \text{ est exprimée en } \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \text{ et } v \text{ en } \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

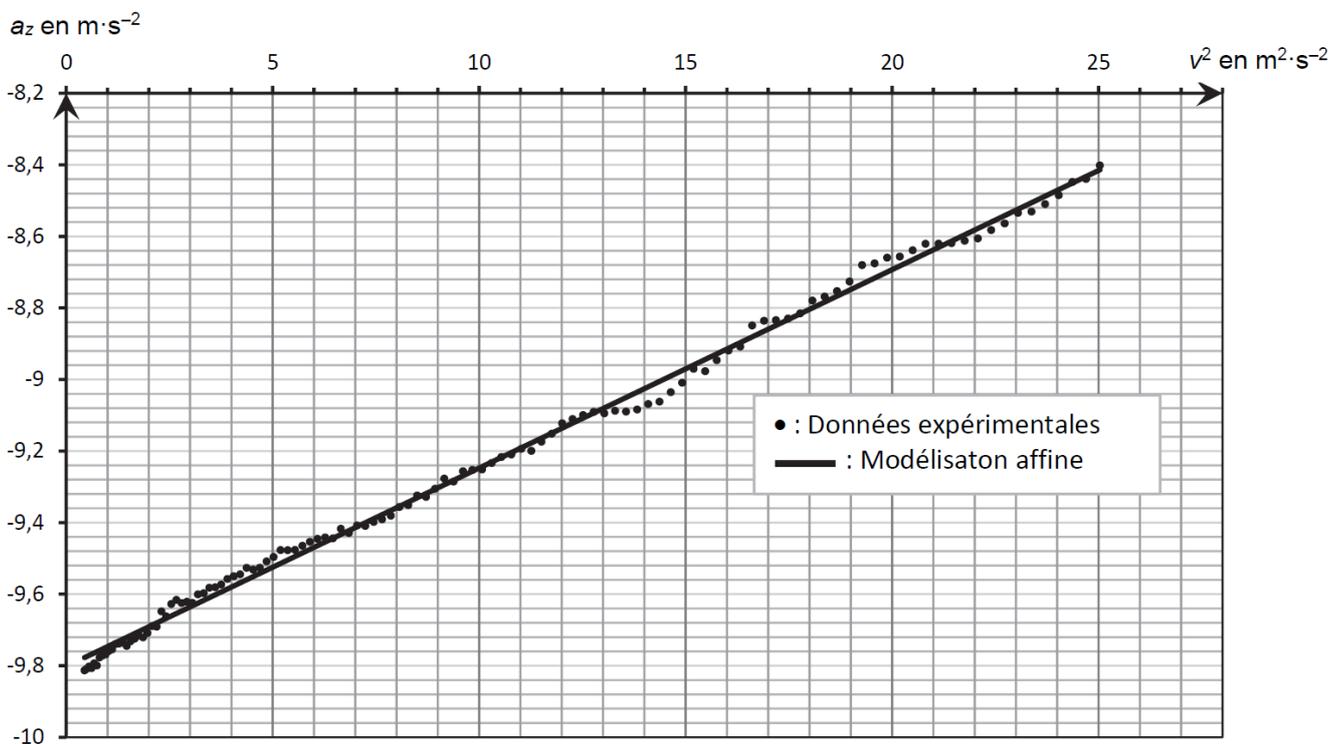


FIGURE 4 – Modélisation de la représentation de a_z en fonction de v^2

Q8. Déterminer la valeur expérimentale de l'intensité de la pesanteur g que l'on peut déduire de cette expérience.

Q9. Montrer que l'on peut déduire de ces résultats que la force de frottement exercée par l'air peut s'écrire $f = k \cdot v^2$ où k est un coefficient dont on donnera la valeur et l'unité.

Q10. Calculer la valeur f de la force de frottement en fin de chute. Comparer cette valeur à celle du poids du smartphone et commenter.