1. Session 2023 – Jour1 – Amérique du Nord

EXERCICE 1 : LE STREET - UNE PRATIQUE OLYMPIQUE (11 POINTS)

Depuis les Jeux Olympiques de Tokyo en 2020, le skateboard est un sport olympique. Une épreuve de « street » se déroulera à l'occasion des Jeux Olympiques de Paris de 2024. Le street consiste en la réalisation de figures et d'enchaînements pendant une durée limitée sur un parcours reproduisant des éléments de rue, appelés modules, tels que des plans inclinés, des rails, des bancs…

Image : © Paris 2024

On se propose dans cet exercice d'étudier quelques phases de mouvement simple réalisées par un skateboardeur lors de la pratique du street. Dans tout cet exercice, on appellera skateboardeur le système {skateboard + skateboardeur}. Ce système de masse m est indéformable et modélisé par un point matériel assimilé à son centre de masse G. Les études des différentes phases du mouvement sont effectuées dans le référentiel terrestre considéré galiléen. L'ensemble des phases étudiées est représenté ci-dessous sans souci d'échelle.

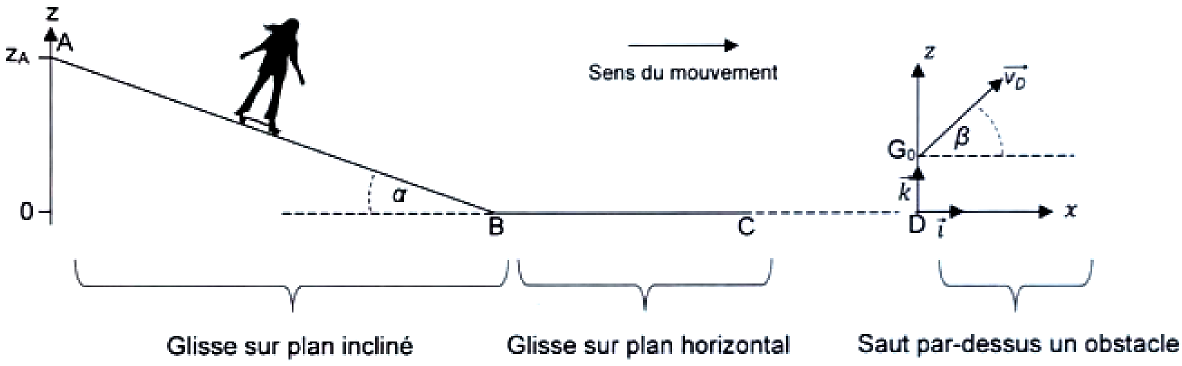


Figure 1. Les différentes phases du mouvement

Données :

- masse du système {skateboardeur + skateboard} : m = 75,0 kg ;
- intensité du champ de pesanteur : g = 9,81 m·s^{-2}.

A. Glisse sur plan incliné

Le skateboardeur est à l'arrêt au point A en haut d'un module de plan incliné de longueur AB faisant un angle α avec le plan l'horizontal. Le skateboardeur s'élance sans vitesse initiale le long de la pente pour rejoindre le point B. Durant cette phase, on considère que les frottements de l'air sont négligeables et que les frottements des roues sur la piste sont modélisés par une force notée $\vec{F}$.

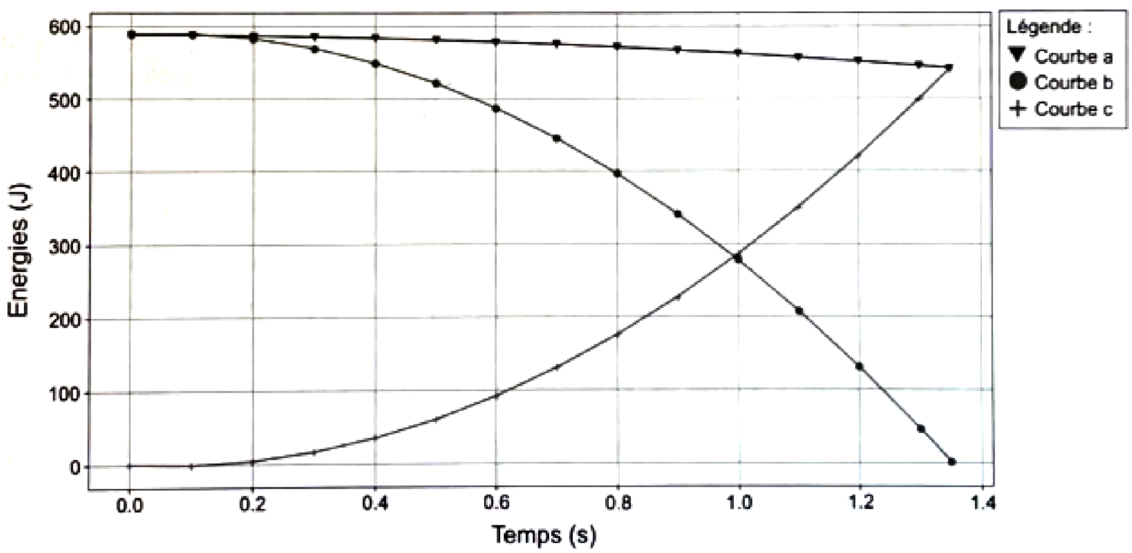
Le script en langage de programmation Python ci-dessous permet de tracer les courbes représentatives des énergies du système en fonction du temps, le long du trajet AB.

Script en langage de programmation Python :

```
import matplotlib.pyplot as plt

#Saisie des valeurs
t=[0.00,0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70,0.80,0.90,1.00,1.10,1.20,1.30,1.35]
E1=[0.0,3.9,15.8,34.3,59.4,91.2,129.6,174.6,226.2,284.5,349.3,420.8,498.9,540.5]
E2=[588.6,583.1,569.7,549.3,521.7,487.1,445.4,396.6,340.7,277.8,207.7,130.6,46.4,1.6]

#Calcul de E3 à partir de E1 et E2
E3=[]
for i in range(len(t)):
    Ebis=E1[i]+E2[i]
    E3.append(Ebis)

plt.axes()
plt.plot(t, E1, 'r+-')
plt.plot(t, E2, 'go-')
plt.plot(t, E3, 'bv-')
plt.xlabel('Temps (s)')
plt.ylabel('Énergies (J)')
plt.title('Évolution temporelle des énergies du système')
plt.grid()
plt.show()
```

Les courbes ci-dessous sont obtenues à partir de l'exécution de ce script.

Évolution temporelle des énergies du système :



Q.1. À l'aide du script en langage de programmation Python, nommer en justifiant les énergies correspondant à E_1, E_2 et E_3. Attribuer ces énergies aux courbes du graphique ci-dessus (courbes a, b et c).

Q.2. Interpréter l'évolution temporelle de l'énergie E_3 représentée sur le graphique ci-dessus.

Q.3. Déterminer la valeur de la vitesse atteinte par le skateboardeur au point B.

B. Phase de mouvement horizontal

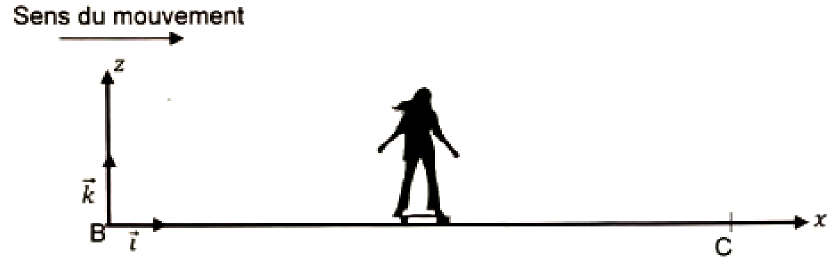
Durant la phase de mouvement entre les points B et C, Le skateboardeur glisse jusqu'à s'arrêter au point C. Les forces de frottement liées à l'air sont toujours négligées. Le skateboardeur est notamment soumis à une force de frottement $\vec{f}$ qui s'oppose au mouvement.

On définit μ_c le coefficient de frottement cinétique tel que :

$$\mu_c = \frac{f}{R}$$

avec :

- f : norme de la force de frottement ;
- R : norme de la réaction normale au plan.



Données :

- coefficient de frottement cinétique : $\mu_c = 0{,}040$;
- vitesse du skateboardeur au point B : $v_B = 3{,}8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- théorème de l'énergie cinétique : la variation d'énergie cinétique d'un système entre deux positions A et B est égale à la somme des travaux des forces appliquées à ce système entre les deux positions A et B.

Q.4. Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées au skateboardeur et les représenter sans souci d'échelle sur la copie.

Q.5. À l'aide du théorème de l'énergie cinétique appliqué entre les points B et C, établir la relation entre v_B, m, f et la distance d'arrêt BC.

Q.6. Montrer que la distance d'arrêt BC s'exprime par la relation :

$$BC = \frac{v_B^2}{2 \cdot \mu_c \cdot g}$$

Q.7. Calculer la valeur de la distance d'arrêt.

Les roues de skateboard sont réalisées en polyuréthane et sont caractérisées par leur dureté. Plus les roues sont « dures » plus les frottements sont faibles.
Un skateboardeur choisit de remplacer les roues habituelles de son skateboard par des roues moins dures de même géométrie.

Q.8. Indiquer en justifiant comment évolue la distance d'arrêt du skateboard suite à ce changement de roues.

C. Étude d'un saut et photographie

Le skateboardeur arrive à la verticale du point D et déclenche un saut par-dessus un obstacle de longueur L et de faible hauteur. Le centre de masse G_0 du skateboardeur a alors pour coordonnées z_0 = 80 cm et $x_0 = 0$ et sa vitesse est notée $\overrightarrow{v_D}$. Le début de l'obstacle est à une distance ℓ du point D. Durant le saut, l'action exercée par l'air sur le système est considérée comme négligeable.

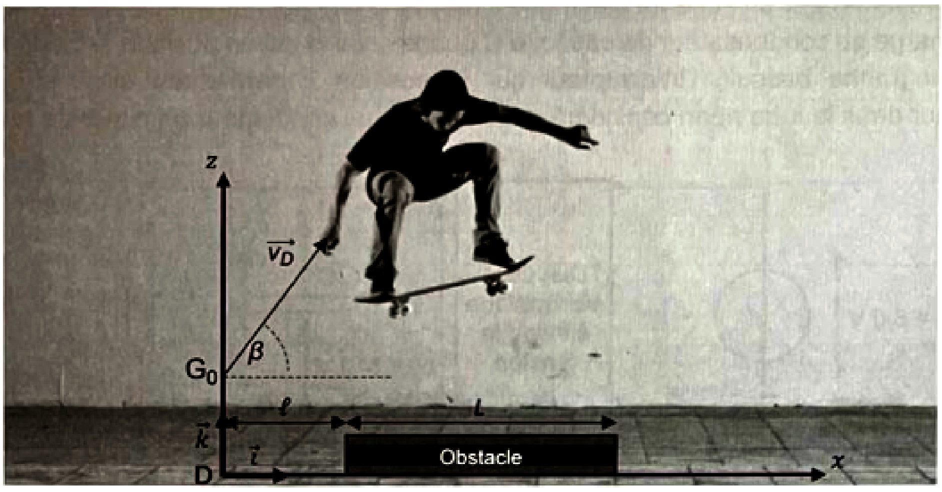


Figure 2. Représentation de la situation sans souci d'échelle

Dans cette partie, on souhaite vérifier si le skateboardeur franchit l'obstacle.

Données : ℓ = 0,70 m et L = 1,0 m.

Q.9. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir les équations horaires décrivant la trajectoire du centre de masse G du skateboardeur lors du saut.

Q.10. Montrer que l'équation de la trajectoire du centre de masse G s'écrit sous la forme :

$$z(x) = -\frac{g}{2 \cdot v_D^2 \cdot \cos^2(\beta)} \cdot x^2 + (\tan\beta) \cdot x + z_0$$

L'équation de la trajectoire est modélisée par l'équation suivante, x et z étant exprimées en m :

$$z(x) = -0{,}894\, x^2 + 1{,}22\, x + 0{,}80$$

Q.11. Calculer la valeur de la coordonnée x du centre de masse lorsque le skateboardeur retrouve l'altitude initiale $z = z_0$.

Q.12. En déduire si le skateboardeur franchira ou pas l'obstacle.

EXERCICE 2 – DOROTHY CROWFOOT, FEMME DE SCIENCES (6 points).

Dorothy Crowfoot (1910 - 1994), chimiste britannique est la troisième femme à recevoir le prix Nobel de Chimie en 1964. Elle fut récompensée pour avoir déterminé la structure en trois dimensions de molécules complexes comme l'insuline. La compréhension de la géométrie de l'insuline a permis de grandes avancées dans le traitement du diabète. Ses travaux ont approfondi ceux de William Lawrence Bragg qui utilisa le premier les rayons X pour déterminer l'arrangement d'atomes ou d'ions au sein de certains cristaux.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la production des rayons X puis d'utiliser le phénomène d'interférences pour déterminer la distance entre deux molécules voisines dans un cristal.

Production des rayons X.

Le tube à rayons X, dont le schéma est représenté figure 1, est un dispositif permettant de produire des rayons X.

Il contient deux plaques métalliques A et B, séparées d'une distance d et assimilables aux armatures d'un condensateur plan alimenté par un générateur de tension électrique G.

Un filament électrique chauffé par effet Joule produit des électrons qui sont accélérés entre les armatures.

Les électrons percutent les atomes de la plaque B et provoquent l'émission des rayons X.

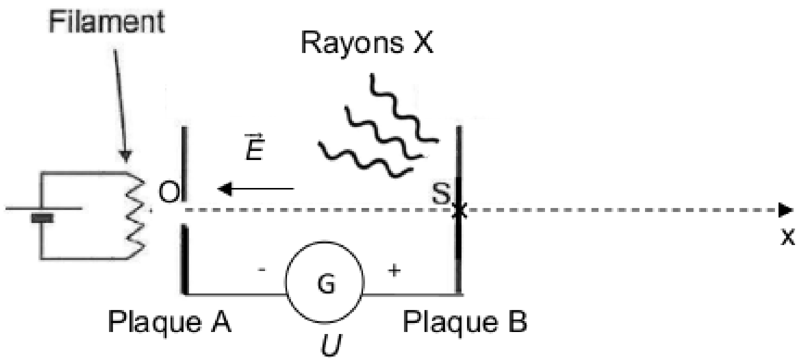


Figure 1. Schéma du tube à rayons X.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse à un électron issu du point O sans vitesse initiale et accéléré jusqu'au point S de la plaque B.

Données :
- La valeur de la tension électrique U est égale à 20,0 kV ;
- La valeur de la distance d entre les points O et S est égale à 1,00 cm ;
- La valeur de la charge élémentaire e est égale à $1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;
- La valeur de la masse de l'électron m est égale à $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ;

- La relation entre la valeur E du champ électrique $\vec{E}$ supposé uniforme (exprimé en $V \cdot m^{-1}$), la tension électrique U (exprimée en V) et la distance entre les électrodes d (exprimée en m) est :

$$E = \frac{U}{d}$$

- La valeur d'un électronvolt (eV) est égale à $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

Q1. Donner l'expression de la force électrique $\vec{F}$ subie par l'électron en fonction de la charge élémentaire e et du champ électrique $\vec{E}$. Sur la copie, reproduire les deux plaques A et B puis représenter, sans souci d'échelle, la force électrique $\vec{F}$ en un point quelconque de l'axe (Ox) entre O et S.

Q2. Sachant qu'on négligera le poids de l'électron et à l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de l'électron dans le repère (O,x).

Q3. Montrer que l'expression de la vitesse $v_x(t)$ s'écrit sous la forme : $v_x(t) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t$ et établir l'équation horaire $x(t)$.

Q4. Montrer que la valeur de la vitesse v_s de l'électron au point S est égale à $8{,}38 \times 10^7$ $m \cdot s^{-1}$.

Au point S, l'électron percute un des atomes de la plaque B dans le but de provoquer l'émission de rayons X. Pour que celle-ci ait lieu, l'électron doit avoir une énergie cinétique Ec_S supérieure à Ec_{min} de valeur égale à $6{,}90 \times 10^4$ eV.

Q5. Calculer la valeur Ec_S de l'énergie cinétique de l'électron puis vérifier que cette énergie est insuffisante pour produire des rayons X.

Q6. Choisir, en argumentant votre choix, parmi les deux valeurs de tensions électriques suivantes U_1 = 5 kV et U_2 = 70 kV, la tension électrique qui permettrait d'augmenter la valeur de l'énergie cinétique de l'électron.

EXERCICE 2 - UN SAUT PARFAIT (5,5 points)

Le saut au ski Freestyle est une discipline olympique qui est l'équivalent sur neige du trampoline ou de la gymnastique.
Les skieurs s'élancent à plus de 60 km·h^{-1} sur une rampe et montent à une hauteur suffisante pour réaliser des figures.

La performance est jugée par rapport à la qualité d'exécution et de réception ainsi que par rapport à la hauteur et à la portée du saut.

Pour une même valeur de la vitesse initiale, les caractéristiques du saut - durée, hauteur, portée – dépendent notamment de l'inclinaison α de la rampe par rapport au plan horizontal.

Dans la **partie A**, on utilise un modèle simplifié pour prévoir, à partir des équations horaires, comment varient la durée du saut ainsi que la distance et la hauteur maximales théoriques en fonction de l'angle α de la rampe avec l'horizontale.
Dans la **partie B**, on examine la hauteur réellement atteinte à partir des données expérimentales dans le cadre d'une étude énergétique.

On s'intéresse au mouvement du centre de masse G du skieur qui s'élance depuis une rampe, à une hauteur initiale H_0, avec une vitesse initiale dont le vecteur $\overrightarrow{V_0}$ est incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale (voir **figure 1** ci-dessous).

Dans tout l'exercice, le référentiel terrestre est supposé galiléen. Les axes sont choisis de telle sorte que le plan *(Ox, Oz)* contienne la trajectoire.

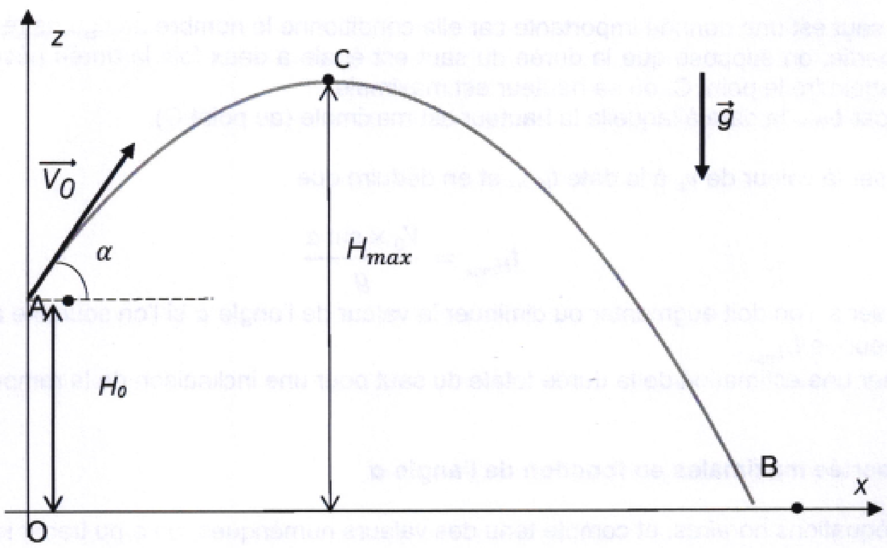


Figure 1 - Schématisation de la trajectoire du centre de masse G

Données

- Masse du skieur avec son équipement : m = 80 kg
- Valeur du champ de pesanteur terrestre : g = 9,81 m·s^{-2}
- Valeur de la hauteur initiale H_0 = 3,60 m
- Valeur de la vitesse initiale : V_0 = 17 m·s^{-1}

Rappel

- La fonction sinus est croissante sur l'intervalle [0, 90°].

Partie A – Étude théorique portant sur l'influence de l'angle α entre la rampe et le plan horizontal

Dans cette partie, on fait les hypothèses simplificatrices suivantes :

- on néglige les frottements de l'air sur le skieur ;
- on néglige les rotations du skieur sur lui-même.

La seule force appliquée sur le skieur est donc son poids.

1. Déterminer, à partir de la deuxième loi de Newton, les expressions littérales des coordonnées a_x et a_z du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre de masse G du skieur.

2. Établir les expressions des coordonnées $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse du centre de masse G et montrer que les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du centre de masse sont :

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x(t) = V_0 \times (\cos\alpha) \times t \\ z(t) = -\dfrac{1}{2} g \times t^2 + V_0 \times (\sin\alpha) \times t + H_0 \end{cases}$$

Durée du saut en fonction de l'angle α

La durée du saut est une donnée importante car elle conditionne le nombre de figures réalisables. Dans cette partie, on suppose que la durée du saut est égale à deux fois la durée nécessaire au skieur pour atteindre le point C, où sa hauteur est maximale.
On désigne par t_{Hmax} la date à laquelle la hauteur est maximale (au point C).

3. Préciser la valeur de v_z à la date t_{Hmax} et en déduire que :

$$t_{H_{max}} = \frac{V_0 \times \sin\alpha}{g}$$

4. Préciser si l'on doit augmenter ou diminuer la valeur de l'angle α si l'on souhaite augmenter la valeur de $t_{H_{max}}$.
5. Donner une estimation de la durée totale du saut pour une inclinaison de la rampe de 30°.

Hauteur et portée maximales en fonction de l'angle α

À partir des équations horaires, et compte tenu des valeurs numériques, on a pu tracer les évolutions de la hauteur maximale H_{max} et de la portée OB en fonction de l'angle α.

Les graphiques correspondants sont donnés en **figures 2 et 3** ci-après.

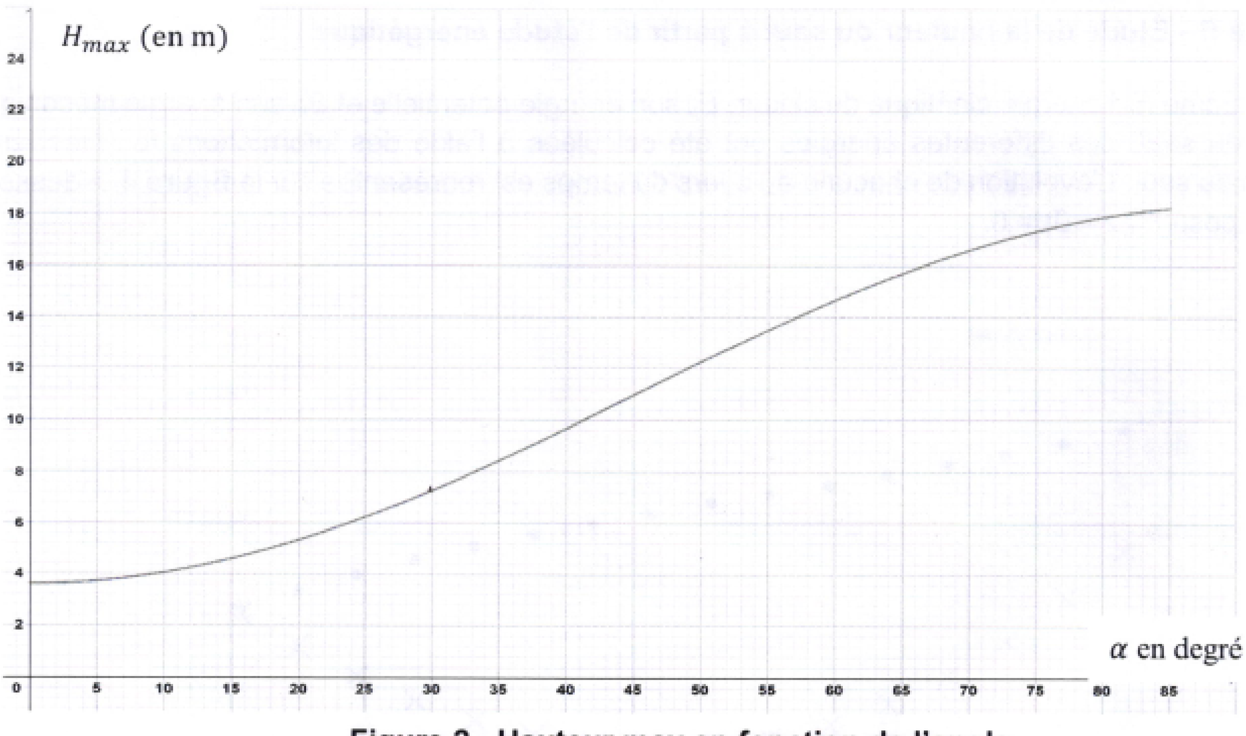


Figure 2 - Hauteur max en fonction de l'angle

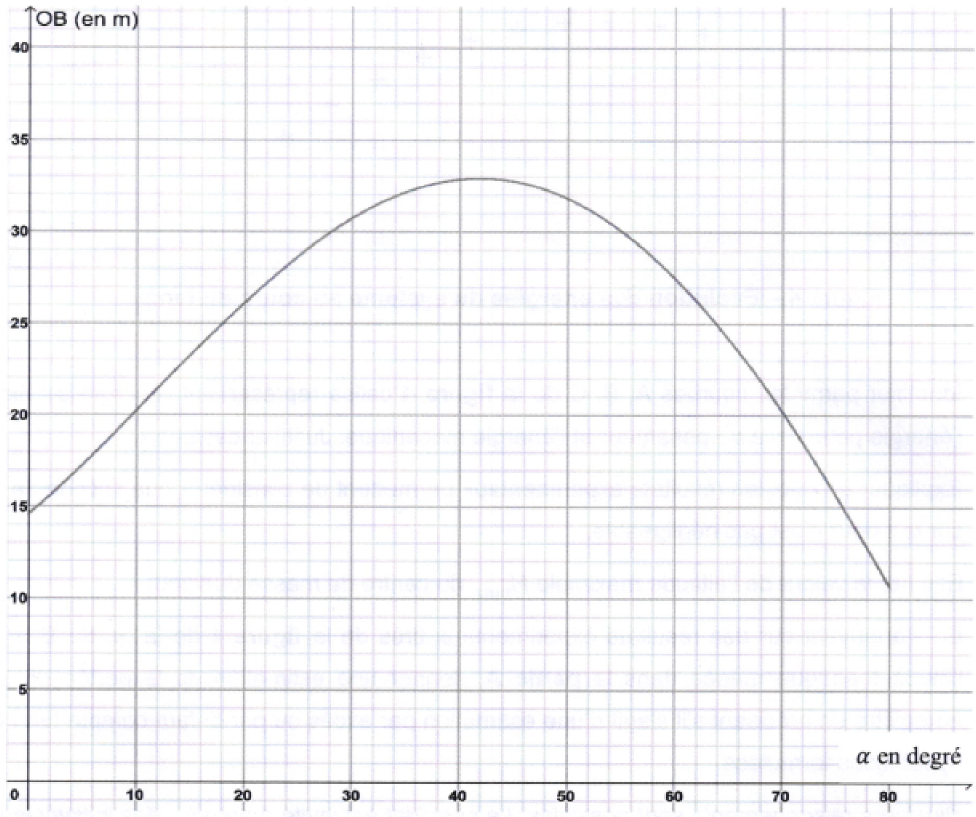


Figure 3 - Portée en fonction de l'angle

6. Indiquer dans quel intervalle de valeurs doit théoriquement se trouver l'angle α pour continuer d'augmenter simultanément la hauteur et la portée tout en permettant d'envisager un saut d'une hauteur d'au moins 7 m.

Partie B - Étude de la hauteur du saut à partir de l'étude énergétique

On nomme E_c l'énergie cinétique du skieur, E_p son énergie potentielle et E_m son énergie mécanique. Lors du saut, ces différentes énergies ont été calculées à l'aide des informations fournies sur la vidéo du saut. L'évolution de chacune au cours du temps est représentée sur la **figure 4** ci-dessous. On a posé $E_p(z = 0) = 0$.

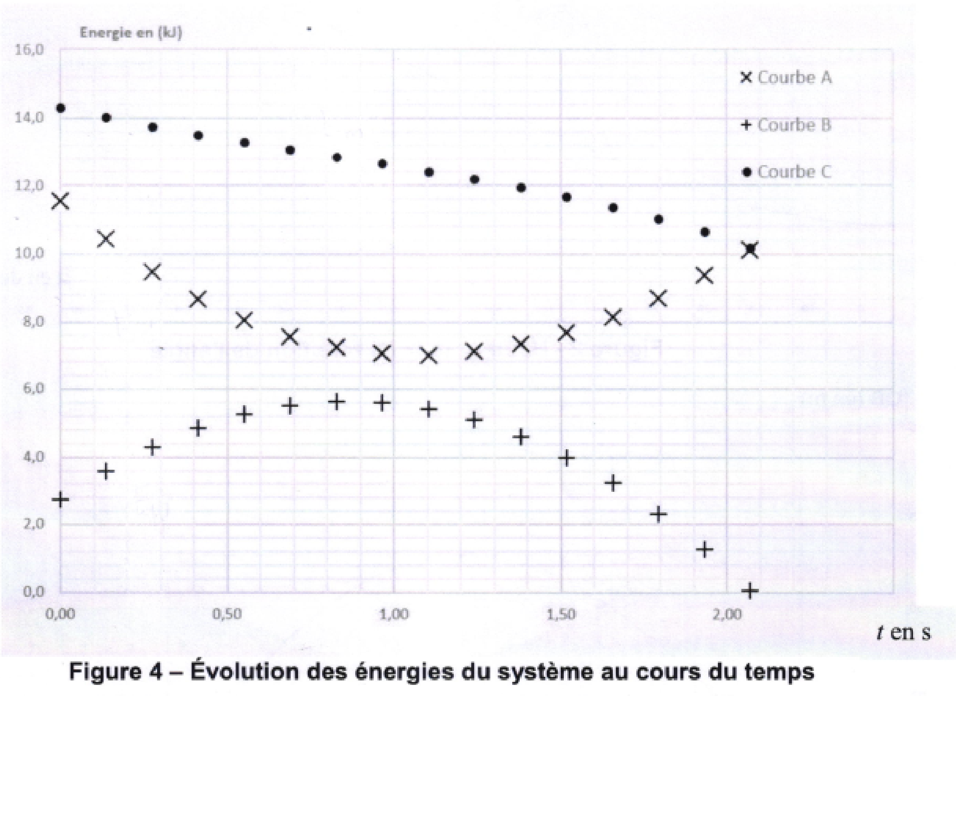


Figure 4 – Évolution des énergies du système au cours du temps

7. Identifier parmi les courbes A, B, C de la **figure 4** celles représentant l'énergie cinétique, l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie mécanique. Justifier ces choix.

8. Expliquer en quoi les résultats expérimentaux permettent de considérer que l'action de l'air sur le skieur n'est pas négligeable.

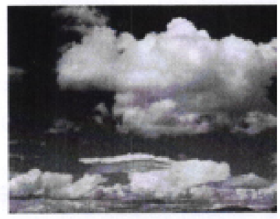
9. Estimer la valeur de l'altitude maximale H_{max} du centre de masse du skieur.

10. En s'appuyant sur des résultats expérimentaux tirés de la **figure 4** de la **partie B** et sur l'étude théorique menée dans la **partie A**, donner une estimation de la portée du saut enregistré en précisant s'il s'agit d'une estimation par excès ou par défaut compte tenu des hypothèses formulées.

    Plusieurs raisonnements sont possibles. Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche.

EXERCICE 3 – ÉTUDE DES AGRÉGATS D'EAU (5,5 points)

Pour étudier la formation des gouttelettes d'eau dans l'atmosphère, il est possible en laboratoire de reconstituer de très petites gouttelettes contenant quelques dizaines de molécules d'eau, appelées agrégats, et qui peuvent grossir par « collage » de molécules d'eau supplémentaires. La masse de ces agrégats est un paramètre important pour comprendre le mécanisme de formation de la pluie. On cherche donc à mesurer la masse de ces agrégats pour mieux les étudier.



L'objectif de cet exercice est d'illustrer le principe de la détermination de la masse des agrégats par l'utilisation d'un accélérateur linéaire.

Le dispositif expérimental est schématisé **figure 1** ci-dessous. On injecte à l'entrée de la zone de collision des agrégats constitués de N = 50 molécules d'eau. Chaque agrégat porte une charge électrique q positive. Les agrégats peuvent subir des collisions avec des molécules d'eau dans cette zone de collision.
On cherche à déterminer la masse des agrégats à la sortie de la zone de collision pour savoir si des molécules d'eau se sont collées aux agrégats. Pour cela, les agrégats passent, après la zone de collision, dans une zone d'accélération constituée de deux armatures métalliques A et B distantes de 10 cm, percées chacune d'un trou en leur centre, et aux bornes desquelles on applique une tension U = 10 kV. À la sortie de la zone d'accélération, les agrégats entrent dans une zone de déplacement libre où règne un vide poussé. On enregistre alors le temps de vol des agrégats, c'est-à-dire la durée pour parcourir la distance D entre la plaque B et le détecteur.
La mesure du temps de vol permet de déterminer la masse m de l'agrégat.

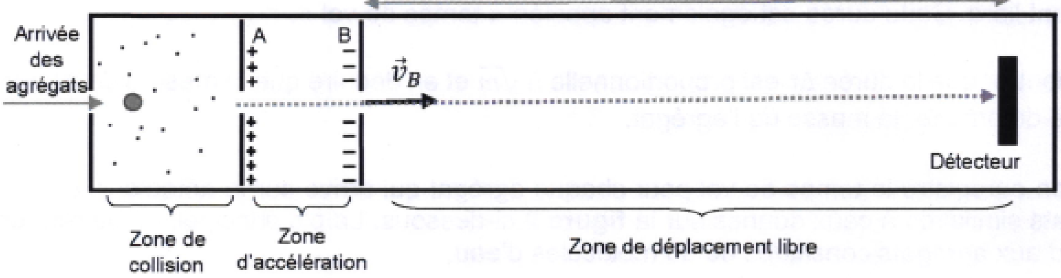


Figure 1 - Dispositif simplifié de l'accélérateur linéaire

Données

- Charge d'un agrégat : $q = +1{,}60 \times 10^{-19}$ C
- Tension entre les plaques A et B : $U_{AB} = U = 10{,}0$ kV
- Distance entre les plaques : AB = 10 cm
- Nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}
- Masse molaire de l'eau : $M = 18{,}0$ g·mol^{-1}
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}

Rappel

Pour un condensateur plan présentant une distance AB entre ses armatures, le champ électrique $\vec{E}$ entre les deux armatures est uniforme et est relié à la tension U_{AB} par la relation : $E = \frac{|U_{AB}|}{\mathrm{AB}}$.

1. Montrer que la masse m_1 d'un agrégat contenant N = 50 molécules d'eau est d'environ $1{,}50 \times 10^{-24}$ kg et expliquer pourquoi il n'est pas possible de déterminer cette masse directement.

2. Sur un schéma, représenter le vecteur champ électrique $\vec{E}$ dans la zone d'accélération et déterminer sa valeur E.

3. Donner les caractéristiques (direction, sens, valeur) de la force électrique $\vec{F}$ qui s'exerce sur un agrégat dans la zone d'accélération.

4. Montrer, en comparant les valeurs P_1 du poids d'un agrégat de masse m_1 et F de la force électrique, qu'il est possible de négliger l'effet du poids devant celui de la force électrique.

5. Exprimer le travail $\mathrm{W_{AB}}(\vec{\mathrm{F}})$ de la force électrique dans la zone d'accélération en fonction de q et U.

La vitesse v_A d'un agrégat de masse m entrant dans la zone d'accélération est négligeable devant la vitesse de sortie v_B.

6. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que la vitesse en sortie de zone d'accélération est donnée par $v_B = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$.

7. En négligeant le poids de l'agrégat dans la zone de déplacement libre, décrire le mouvement de l'agrégat dans la zone de déplacement libre.

On désigne par Δt la durée qu'il faut à l'agrégat pour parcourir la distance D dans la zone de déplacement libre. Cette durée est également appelée « temps de vol ».

8. Montrer que la durée Δt est proportionnelle à $\sqrt{m}$ et en déduire que la mesure de Δt permet de déterminer la masse de l'agrégat.

Lorsque l'on enregistre le temps de vol pour chaque agrégat qui arrive sur le détecteur, on obtient des résultats similaires à ceux donnés sur la **figure 2** ci-dessous. Le pic principal, dit de référence, correspond aux agrégats constitués de 50 molécules d'eau.

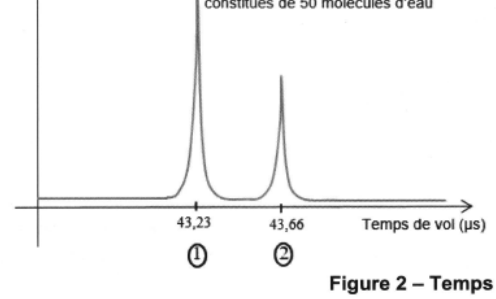


Figure 2 – Temps de vol des agrégats

9. Déterminer le nombre de molécules d'eau qui constituent les agrégats du deuxième pic.

Exercice 1

C. Le saut de bosse

Le pilote aborde maintenant une bosse double avec l'objectif de complètement franchir l'obstacle.

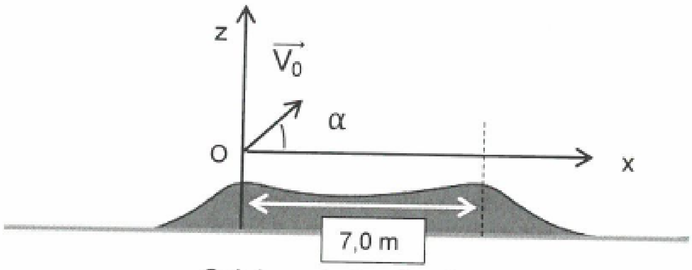


Schéma de la situation

Le vecteur vitesse initiale du système $\overrightarrow{V_0}$ est incliné d'un angle α = 23° par rapport à l'horizontale.

Les deux sommets sont situés à la même hauteur et distants de 7,0 m.

À la date t = 0 de son « envol » l'ensemble {pilote + bicyclette}, assimilé à un point matériel noté G, se trouve en O. Sa masse totale vaut m = 93 kg, et la norme de $\overrightarrow{V_0}$ est mesurée à 13,6 m·s^{-1}.

On néglige l'action de l'air sur l'ensemble {pilote + bicyclette}.

Q.8. En appliquant la deuxième loi de Newton au système, montrer que les équations horaires du mouvement pendant le saut sont :

$$\overrightarrow{OG}\begin{pmatrix} x(t) = (V_0 \cdot \cos\alpha)\cdot t \\ z(t) = -\frac{1}{2}g\cdot t^2 + (V_0\cdot \sin\alpha)\cdot t \end{pmatrix}$$

Le système retrouve le contact avec le sol au bout de 1,0 s.

Q.9. Déterminer si le saut est réussi dans le cadre du modèle utilisé.

En réalité le système entre en contact avec le sol juste après le deuxième sommet, pour une distance horizontale parcourue de l'ordre de 8,0 m.

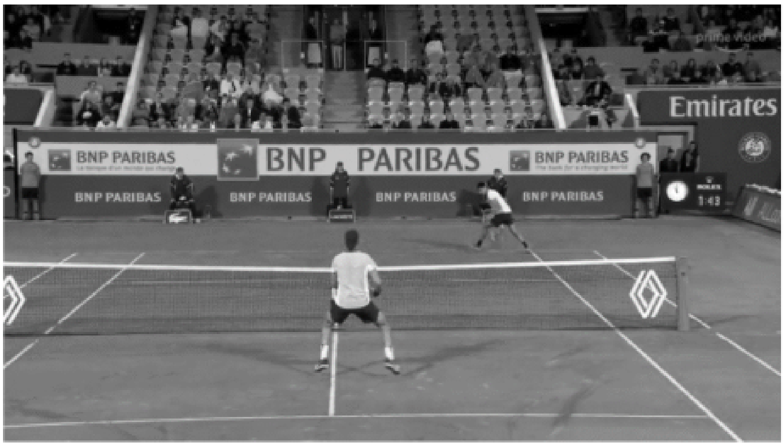
Q.10. Montrer que le modèle n'est pas adapté à la description du saut et en indiquer une raison possible.

6. Session 2023 – Jour1 – La Réunion

EXERCICE II - LE « TWEENER-LOB » OU LE COUP ENTRE LES JAMBES (5 points)

Lors des huitièmes de finale de Roland Garros en 2022, Carlos Alcaraz a réalisé un « tweener-lob » contre Karen Khachanov. Pour que le « tweener-lob » soit réussi, la balle doit passer au-dessus de l'adversaire et retomber avant la ligne de fond de court.

On s'intéresse dans cet exercice à ce geste tennistique. L'étude sera menée dans le référentiel terrestre supposé galiléen et le système $\{\text{balle}\}$ sera considéré comme un point matériel noté G. On négligera tout type de frottement.



Le tweener lobé de Carlos Alcaraz contre Khachanov en huitièmes de finale de Roland-Garros 2022.

Source : www.tennislegend.fr

Carlos Alcaraz est situé sur la ligne de fond de court lorsqu'il joue son « tweener-lob ». Il frappe la balle à une hauteur $y_0 = 30{,}0\ \text{cm}$ et lui communique une vitesse $\overrightarrow{v_0}$ contenue dans un plan vertical, de valeur $v_0 = 55{,}1\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, et formant un angle $\alpha = 48{,}0°$ avec l'horizontale.

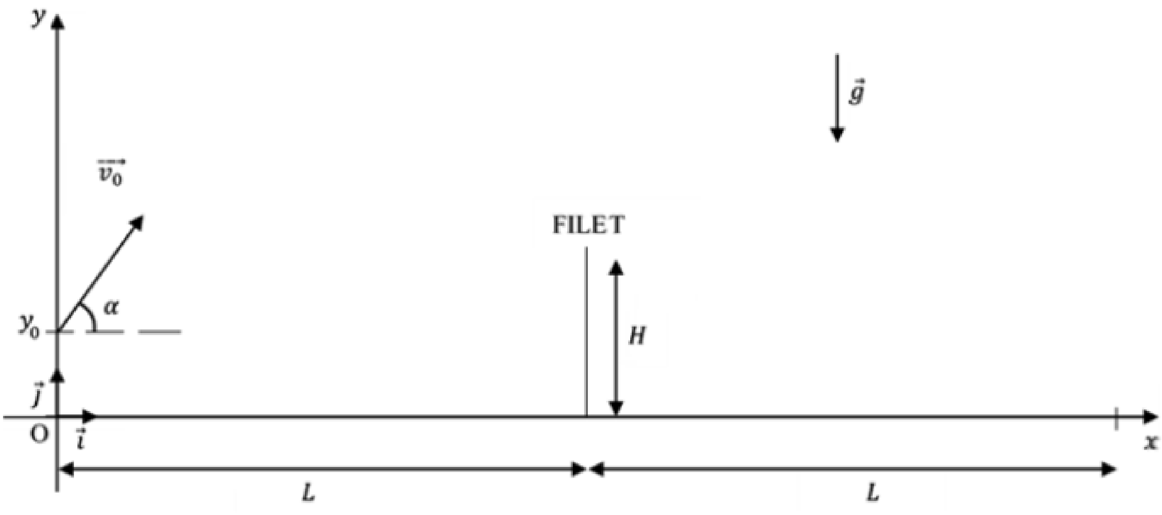


Figure 1 : Représentation schématique de la situation

Données :

- accélération de pesanteur : $g = 9{,}81\ \mathrm{m.s^{-2}}$;
- masse de la balle : $m = 58{,}5\ \mathrm{g}$;
- longueur entre la ligne de fond de court et le filet : $L = 12{,}0\ \mathrm{m}$;
- hauteur du filet : $H = 0{,}914\ \mathrm{m}$.

PARTIE A : Étude du mouvement de la balle lors du « tweener-lob »

A.1. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération lors du mouvement de la balle dans le repère $(O;\vec{\imath}\,;\vec{\jmath})$.

La balle est frappée à la date $t = 0\ \mathrm{s}$.

A.2. Déterminer, en détaillant chaque étape de votre raisonnement, les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du point G dans le repère $(O;\vec{\imath};\vec{\jmath})$.

A.3. En déduire que l'équation de la trajectoire de la balle est, dans les unités du système international :

$$y = -0{,}047\,x^2 + 1{,}1\,x + 0{,}30$$

A.4. L'adversaire Karen Khachanov se situe à $3{,}0\ \mathrm{m}$ du filet et le tamis de sa raquette est alors à une hauteur de $4{,}0\ \mathrm{m}$ lorsque Carlos Alcaraz tente de le lober. Déterminer si la balle jouée par C. Alcaraz passe au-dessus de la raquette de son adversaire.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'est pas aboutie. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

PARTIE B : Étude énergétique du mouvement de la balle

On choisira un axe vertical ascendant et une énergie potentielle de pesanteur nulle à l'origine du repère $(O;\vec{\imath};\vec{\jmath})$.

À $t = 0\ \mathrm{s}$, la balle est située au point $(x_0 = 0\,;y_0 = 0{,}30\ \mathrm{m})$ avec une vitesse $v_0 = 55{,}1\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

B.1. Rappeler la définition de l'énergie mécanique E_m de la balle.

B.2. Exprimer l'énergie mécanique $E_\mathrm{m}(0)$ de la balle à $t = 0\ \mathrm{s}$, en fonction de m, g, v_0 et y_0. Calculer sa valeur.

B.3. Indiquer sous quelle condition s'applique la conservation de l'énergie mécanique.

B.4. Calculer la valeur de la vitesse de la balle v_f quand elle retombe au sol. Indiquer si la valeur réellement mesurée par le radar du terrain sera supérieure ou inférieure à celle calculée. Justifier.