EXERCICE II – LA PHYSIQUE S'INVITE SUR UN TERRAIN DE RUGBY (6 points)

Au rugby, une chandelle est un tir au pied vers l'avant et très en hauteur qui permet au tireur, sur sa lancée, de récupérer le ballon à sa retombée avant l'adversaire.

Dans cet exercice, on se propose d'étudier une chandelle par une approche dynamique dans la première partie ; la seconde partie concerne une étude énergétique.

Les parties A et B de cet exercice sont indépendantes et peuvent être traitées séparément.

Lors d'un entrainement, un joueur de rugby réalise une chandelle. Le système considéré est le ballon de rugby, assimilé à un point matériel de centre de masse noté G. Le mouvement du ballon est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen et muni du système d'axes (Ox, Oz), de base $(O ; \vec{i} ; \vec{k})$.

À $t = 0$ s, le joueur communique au ballon, de masse m, une vitesse $\vec{v_0}$ qui forme un angle α avec l'horizontale. Le ballon se trouve alors à une hauteur h au-dessus du sol comme indiqué sur la **figure 1**.

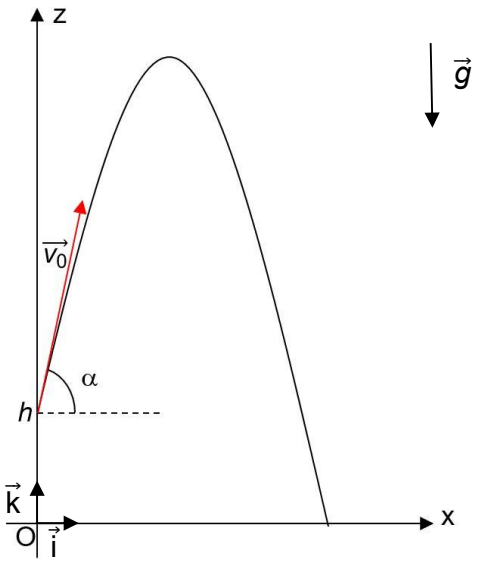


Figure 1 – Schéma de la situation lors de la chandelle

Hypothèses :

- La valeur du champ de pesanteur terrestre local $\vec{g}$ est considérée uniforme.
- Les frottements liés à l'action de l'air sont supposés négligeables.

Données :

- Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Valeur v_0 de la vitesse initiale communiquée au ballon : $v_0 = 20{,}5$ m·s^{-1}.
- Altitude initiale du ballon : $h = 90$ cm.
- Angle à l'instant initial : $\alpha = 70°$.

Partie A – Étude dynamique d'une chandelle

1. En précisant la loi utilisée, exprimer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du ballon à l'instant t : $a_x(t)$ et $a_z(t)$.

2. Montrer que les équations horaires du mouvement sont :

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

3. Vérifier que le vol du ballon, jusqu'à ce qu'il touche le sol, dure 3,97 s.

Une chandelle est réussie si le joueur de rugby qui a tapé le ballon le récupère. Lors de sa chandelle, le joueur saute et parvient à récupérer son ballon au bout de 3,82 s.

4. Calculer l'altitude du ballon lorsque le joueur le récupère.

Lors de la coupe du monde 2023, le talonneur Julien Marchand a tapé le ballon, puis a sprinté vers le ballon avec une vitesse moyenne de 25,7 km·h^{-1}.

5. Déterminer si Julien Marchand aurait été capable de réussir la chandelle étudiée dans les questions précédentes (chandelle du joueur de rugby précédent avec les mêmes caractéristiques).

Partie B – Étude énergétique d'une chandelle

Par une modélisation numérique, on cherche à calculer la vitesse du ballon lorsqu'il est récupéré par le joueur. Pour cela, on effectue une étude énergétique du système défini dans la **partie A** à l'aide d'un programme en langage Python dont un extrait est présenté ci-dessous. Ce programme utilise les coordonnées $x(t)$ et $z(t)$ du vecteur position et $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse obtenues par modélisation de la trajectoire du ballon.

Les variables `x`, `z`, `vx` et `vz` sont déclarées dans le code mais non affichées dans l'extrait de la **figure 2**.

```
…
# Déclaration des constantes
m = 0.440   # en kg
g = 9.81    # en N/kg
…
# Calcul des énergies
… = (vx**2 + vz**2)**(1/2)
… = 0.5 * m * v**2
Ep = .....                  # Ep = 0 si z = 0
Em = .....
```

Figure 2 – Extrait du programme écrit en langage Python

L'exécution de ce programme permet d'obtenir le graphique de la **figure 3** page suivante qui modélise l'évolution des énergies du point G au cours du temps.

6. Relever dans le code de la **figure 2** la valeur de la masse du ballon.

7. Identifier les grandeurs calculées aux lignes 26 et 27.

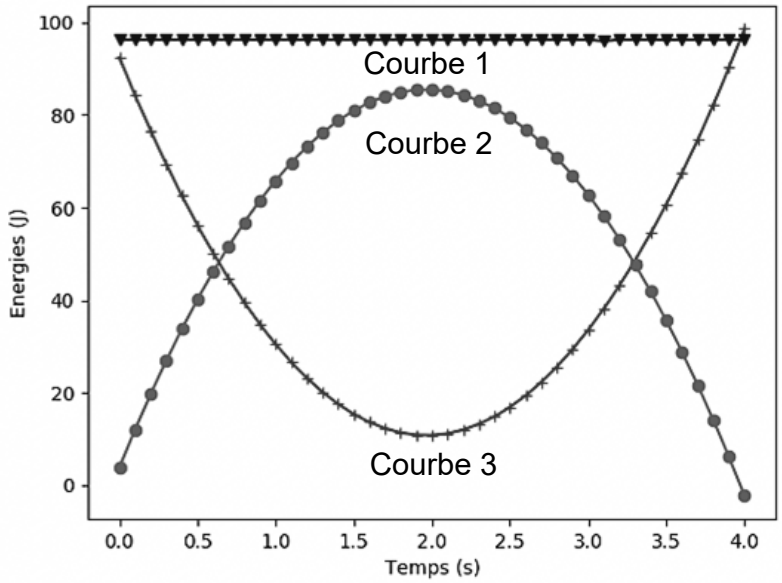


Figure 3 – Évolution temporelle des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique

8. Recopier et compléter le code des lignes 27, 28 et 29 du programme.

9. En justifiant, attribuer la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe du graphique de la **figure 3**.

10. Indiquer, en expliquant, si l'hypothèse sur les frottements de l'air, proposée au début de l'exercice, a été prise en compte dans la modélisation numérique.

Le joueur tape le ballon et lui communique une vitesse initiale v_0 dont la valeur est celle de la **partie A**. Il récupère le ballon à une altitude de 2,90 m.

11. À l'aide d'une étude énergétique, calculer la vitesse du ballon, en km·h^{-1}, lorsqu'il est récupéré par le joueur.

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.