

Corrige rigoureux – ECE Physique-Chimie

Record de plongeon

Objectif du TP

On cherche à vérifier si la vitesse d'entrée dans l'eau annoncée, environ

$$123 \text{ km h}^{-1},$$

est cohérente avec l'étude vidéo du plongeur, puis à comprendre pourquoi un bassin de seulement 8 m de profondeur peut suffire.

Données

$$g = 9,81 \text{ m s}^{-2} \quad m = 73 \text{ kg} \quad V = 76 \text{ L} \quad \rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg L}^{-1}$$

Hauteur du saut :

$$h = 58,8 \text{ m}$$

Durée annoncée de la chute :

$$\Delta t = 3,58 \text{ s}$$

Vitesse annoncée :

$$v_{\text{annoncée}} = 123 \text{ km h}^{-1}$$

Conversion :

$$123 \text{ km h}^{-1} = \frac{123}{3,6} = 34,2 \text{ m s}^{-1}$$

1. Vérification de la conservation de l'énergie mécanique

1.1. Protocole proposé

On exploite la vidéo du plongeur avec un logiciel de pointage.

1. Ouvrir la vidéo du saut dans un logiciel de pointage.
2. Définir un repère : l'origine O est au point d'entrée dans l'eau, avec l'axe vertical orienté vers le haut. Ainsi, l'altitude du plongeur est positive pendant la chute et vaut environ

$$z \simeq 58,8 \text{ m}$$

au départ.

3. Étalonner l'image avec la hauteur connue du saut :

$$58,8 \text{ m}.$$

4. Pointer, image par image, la position du plongeur, matérialisée par le point vert.
5. Relever les coordonnées du plongeur :

$$x(t), \quad z(t).$$

6. Calculer la vitesse :

$$v(t) = \sqrt{v_x(t)^2 + v_z(t)^2}.$$

Dans ce TP, le mouvement est presque vertical ; on peut donc utiliser principalement

$$v(t) \simeq |v_z(t)|.$$

7. Calculer les energies :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pp} = mgz$$

$$E_m = E_c + E_{pp}.$$

8. Tracer, en fonction du temps, les courbes

$$E_c(t), \quad E_{pp}(t), \quad E_m(t).$$

Si l'energie mecanique E_m reste approximativement constante, alors le modele de la chute libre est acceptable.

1.2. Exemple de valeurs experimentales supposees

On suppose que l'exploitation video donne la modelisation suivante de la composante verticale de la vitesse :

$$v_{\text{vert}}(t) = -9,91t + 1,32$$

avec v_{vert} en m s^{-1} et t en s.

Le coefficient directeur est proche de

$$-g = -9,81 \text{ m s}^{-2},$$

ce qui est coherent avec un mouvement de chute libre.

t (s)	z (m)	v (m.s^{-1})	E_c (kJ)	E_{pp} (kJ)	E_m (kJ)
0,00	58,8	1,3	0,06	42,1	42,2
0,50	58,2	3,6	0,48	41,7	42,2
1,00	55,2	8,6	2,70	39,5	42,2
1,50	49,6	13,5	6,70	35,5	42,2
2,00	41,6	18,5	12,5	29,8	42,3
2,50	31,1	23,5	20,1	22,3	42,4
3,00	18,2	28,4	29,5	13,0	42,5
3,58	0,0	34,2	42,6	0,0	42,6

Conclusion sur la conservation de l'energie mecanique

On constate que :

$$E_c \text{ augmente}$$

car le plongeur accelere pendant la chute.

$$E_{pp} \text{ diminue}$$

car l'altitude du plongeur diminue.

En revanche, la somme

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

reste globalement proche de 42 kJ. Les petites variations peuvent etre dues aux imprecisions de pointage, au choix de l'echelle et aux frottements de l'air.

Conclusion

L'énergie mécanique est approximativement conservée. Le modèle de la chute libre est donc acceptable pour décrire le plongeur avant l'entrée dans l'eau.

2. Détermination de la vitesse d'entrée dans l'eau

2.1. Pourquoi ne pas étudier la composante horizontale ?

Le plongeur se déplace essentiellement verticalement. La composante horizontale de son mouvement est très faible devant la composante verticale. On peut donc considérer que :

$$v \simeq |v_{\text{vert}}|$$

Il n'est donc pas nécessaire d'étudier précisément la composante horizontale de la vitesse.

2.2. Modélisation de la vitesse verticale

L'énoncé propose de modéliser la composante verticale de la vitesse par :

$$v_{\text{vert}}(t) = at + b$$

D'après les valeurs expérimentales supposées :

$$v_{\text{vert}}(t) = -9,91t + 1,32$$

Pour

$$t = 3,58 \text{ s,}$$

on obtient :

$$v_{\text{vert}}(3,58) = -9,91 \times 3,58 + 1,32$$

$$v_{\text{vert}}(3,58) \approx -34,2 \text{ m s}^{-1}$$

La vitesse d'entrée dans l'eau correspond à la valeur absolue :

$$v_{\text{entree}} = 34,2 \text{ m s}^{-1}$$

Conversion en km h^{-1} :

$$v_{\text{entree}} = 34,2 \times 3,6$$

$$v_{\text{entree}} \approx 123 \text{ km h}^{-1}$$

Conclusion

La vitesse déterminée expérimentalement est cohérente avec la vitesse annoncée de 123 km h^{-1} .

3. Étude du mouvement dans l'eau

3.1. Forces exercées sur le plongeur

Une fois dans l'eau, on suppose d'abord que le plongeur est soumis uniquement à deux forces :

- son poids \vec{P} , vertical vers le bas ;
- la poussée d'Archimède \vec{P}_A , verticale vers le haut.

Poids

$$P = mg$$

$$P = 73 \times 9,81$$

$$P \approx 716 \text{ N}$$

Poussee d'Archimede

$$P_A = \rho V g$$

Attention : l'énoncé donne :

$$\rho_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg L}^{-1}$$

et

$$V = 76 \text{ L.}$$

Donc :

$$P_A = 1,0 \times 76 \times 9,81$$

$$P_A \approx 746 \text{ N}$$

Valeurs a completer dans le programme Python

Le programme fourni contient les lignes suivantes a completer :

```
# Masse (kg) :  
m = 73  
  
# Valeur de la vitesse d'entree (m/s) :  
v_0 = 34.2  
  
# Poids (N) :  
P = 716  
  
# Poussee d'Archimede (N) :  
P_A = 746
```

On peut aussi garder davantage de chiffres :

```
m = 73  
v_0 = 34.2  
P = 716.13  
P_A = 745.56
```

3.2. Profondeur atteinte avec cette hypothese

Dans le programme, l'accélération verticale dans l'eau vaut :

$$a = \frac{P_A - P}{m}$$

$$a = \frac{745,56 - 716,13}{73}$$

$$a \approx 0,403 \text{ m s}^{-2}$$

Cette acceleration est orientee vers le haut, mais elle est tres faible devant la vitesse initiale d'entree dans l'eau.

La profondeur maximale atteinte dans cette hypothese est donnee par :

$$z_{\min} = -\frac{v_0^2}{2a}$$
$$z_{\min} = -\frac{34,2^2}{2 \times 0,403}$$

$$z_{\min} \approx -1,45 \times 10^3 \text{ m}$$

Donc le programme prevoit une profondeur d'environ :

$$1450 \text{ m}$$

Conclusion

Cette valeur est totalement incompatible avec la profondeur reelle du bassin, qui vaut seulement 8 m. L'hypothese selon laquelle le plongeur serait soumis uniquement a son poids et a la poussee d'Archimede dans l'eau n'est donc pas valide.

3.3. Phenomene physique expliquant la faible profondeur du bassin

Le phenomene physique oublie dans le modele precedent est :

la force de frottement de l'eau, ou force de trainee

Quand le plongeur entre dans l'eau a grande vitesse, l'eau exerce sur lui une force de resistance tres importante, opposee au mouvement. Cette force augmente fortement avec la vitesse.

Elle provoque donc une deceleration tres rapide du plongeur, ce qui permet de reduire fortement sa profondeur d'enfoncement.

Conclusion finale

Le bassin de 8 m peut suffire car l'eau exerce une force de frottement tres importante sur le plongeur. Cette force dissipe rapidement l'energie cinetique et ralentit fortement le plongeur apres son entree dans l'eau.

Code Python corrige

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Masse (kg) :
m = 73

# Valeur de la vitesse d'entree (m/s) :
v_0 = 34.2

# Poids (N) :
P = 716.13

# Poussee d'Archimede (N) :
P_A = 745.56

# Calcul de l'acceleration
a = (P_A - P)/m
```

```

# Determination des limites du graphe
t_max = 2*(v_0)/a
z_min = -v_0**2/(2*a)

# Valeurs de temps (abscisse)
t = np.linspace(0, t_max, 1000)

# Calcul de l'ordonnee
z = (1/2)*a*t**2 - (v_0)*t

# Dessin de la courbe
n_ticks = 10

fig, ax = plt.subplots()
ax.plot(t, z)
plt.title("Profondeur du plongeur en fonction du temps")
ax.xaxis.set_ticks_position('top')
ax.xaxis.set_label_position('top')
ax.set_xticks(np.linspace(0, t_max, n_ticks))
ax.set_yticks(np.linspace(z_min-100, 0, n_ticks))
ax.set_xlabel("t(s)")
ax.set_ylabel("z(m)")
plt.show()

```

Bilan a retenir pour l'ECE

- Avant l'entree dans l'eau, l'energie mecanique est approximativement conservee.
- Le mouvement peut donc etre assimile a une chute libre.
- La vitesse d'entree dans l'eau vaut environ :

$$34,2 \text{ m s}^{-1} \approx 123 \text{ km h}^{-1}.$$

- Dans l'eau, le poids et la poussee d'Archimede ne suffisent pas a expliquer l'arret du plongeur.
- Il faut prendre en compte la force de frottement de l'eau, tres importante a grande vitesse.