

Étude de la chute verticale d'un solide dans un fluide

Objectifs

- Enregistrer la chute d'un solide dans un fluide puis analyse l'enregistrement avec un logiciel de pointage.
- Tracer la courbe $v = f(t)$: déterminer la vitesse limite, reconnaître le régime initial, le régime permanent, et déterminer le temps caractéristique.
- Vérifier les résultats expérimentaux par une méthode de calcul analytique en utilisant un tableur.

Cette activité est décomposée en deux parties :

- Quel est le mouvement d'un solide dans un fluide ?
- Comment modéliser une force de frottement ?

Quel est le mouvement d'un solide en chute dans un fluide ?

I. Chute d'un ensemble de ballons de baudruche dans l'air

1. Tracer le graphe $v = f(t)$.

- ✓ Exploiter le fichier vidéo «chutair.avi» avec le logiciel Avimeca :
 - Modifier la taille de l'image (passer à 200 %), échelle verticale (le manipulateur mesure 1,85 m), repère (axe Oy vers le bas, axe Ox le plus haut possible dans l'image).
 - Saisir les positions du mobile ($t = 0$ pour l'image 3).
 - Copier vos mesures dans le presse papier.
- ✓ Ouvrir le tableur et copier les valeurs du presse papier pour tracer le graphique :
 - Organiser les mesures pour avoir en colonne A, le temps $t(s)$ et en colonne B, la position $y(m)$.
 - Enregistrer votre fichier qui sera réutilisé.
 - Calculer en colonne C la vitesse expérimentale $V_{exp}(m/s)$.
 - Tracer le graphe $V_{exp} = f(t)$ puis imprimer le.

2. Exploitation du graphe.

Déterminer graphiquement la vitesse limite et le temps caractéristique. Identifier sur le graphique le régime initial et le régime asymptotique. Conclure.

II. Quels sont les paramètres qui influent sur la chute du solide.

Trois vidéos sont mises à votre disposition pour répondre à la question. L'objet qui chute a le même volume.

Vidéo	Masse (g)	agrandissement	Échelle (entre deux traits blancs)	Image de départ	Vitesse limite ($m.s^{-1}$)	Temps caractéristique (s)
Chute léger eau	5,13	130,00%	1,0 m	20		
Chute lourd eau	6,92	130,00%	1,0 m	22		
Chute léger visqueux	5,13	120,00%	0,20 m	13		

1. Exploitation des vidéos.

Suivre le protocole précédent pour exploiter. Ne pas imprimer les graphiques mais relever l'allure des courbes en notant la vitesse limite et le temps caractéristique. Compléter le tableau.

2. Conclusion.

Mettre en commun les résultats des différents groupes et conclure.

Comment modéliser une force de frottement ?

Pour répondre à cette question, on va utiliser la chute de ballons de baudruche dans l'air.

Données: masse des ballons gonflés: 19 g. Volume des ballons: 5,4 L masse volumique de l'air 1,29 g.L⁻¹

I. Premier essai de modélisation: avec l'hypothèse $f = k.V$.

1. Établissement de l'équation différentielle

- Appliquer au solide la seconde loi de Newton et montrer alors qu'avec l'hypothèse faite, la vitesse satisfait à une équation différentielle de la forme:

$$L'accélération a = \frac{dv}{dt} = A - B.V \quad (A \text{ et } B \text{ étant des constantes})$$

- Montrer que l'estimation de la vitesse limite permet de calculer la valeur de B.
- Calculer les valeurs de A et de B pour la chute des ballons de baudruche étudiée.

2. Quelle est la méthode de résolution numérique (méthode d'Euler) ?

- Considérons l'équation différentielle : $a(t) = A - B.V(t)$. On connaît les valeurs de A et de B.
- À une date t_i , on connaît la valeur de la vitesse V_i , on peut donc faire le calcul de l'accélération à cette date $a_i = A - B.V_i$
- A la date suivante $t_{(i+1)} = t_i + dt$. On admet que pendant la durée dt qui nous mène au point suivant, on peut considérer que l'accélération est constante et égale à la valeur calculée à la date t_i .
- On peut maintenant calculer la vitesse à la date $t_i + dt$: $V_{(i+1)} = a_i.dt + V_i$
- La nouvelle valeur de la vitesse nous sert à initialiser un nouveau calcul de l'accélération ...etc...

3. Application de la méthode.

- Ouvrir le tableur et les mesures réalisées avec la chute des ballons.
- Ajouter en colonne D la vitesse calculée avec la méthode d'Euler V_1 (m/s) et en colonne E l'accélération calculée avec la méthode d'Euler a_1 (m/s²).
- Porter la valeur 0 comme première valeur de la vitesse calculée et la valeur de A comme première valeur de l'accélération calculée.
- Écrire la formule de l'accélération dans la cellule suivante E3: = A-B*D2. Copier la formule.
- Écrire la formule de la vitesse dans la colonne D après la valeur 0: = D(i-1)+E(i-1)*0,04 (0,04 étant le pas de calcul correspondant à la valeur de dt). Copier la formule.
- Sur un même graphique présenter $V_{exp}(t)$ et $V_1(t)$ puis conclure.

II. Deuxième essai de modélisation : avec l'hypothèse $f = k'.v^2$.

1. Établissement de l'équation différentielle

- Appliquer au solide la seconde loi de Newton et montrer alors qu'avec l'hypothèse faite, la vitesse satisfait à une équation différentielle de la forme : $a = \frac{dv}{dt} = A - C.v^2$ (A et C étant des constantes).
- Calculer les valeurs de A et de C pour la chute des ballons de baudruche étudiée.

2. Application de la méthode.

On va calculer en colonne F : V_2 (m/s) et en colonne G : a_2 (m/s²)

- Inspirez-vous du travail précédent pour faire les calculs.
- Sur un même graphique présenter $V_{exp}(t)$, $V_1(t)$ et $V_2(t)$ puis conclure.