

Montage 1 : dynamique newtonienne

1. Introduction

Il paraît impossible de parler de **dynamique newtonienne** sans présenter Isaac Newton (1642-1727). Ce physicien anglais a réussi à prouver qu'une seule théorie permettait de comprendre **la chute des corps et la gravitation**.

La résolution d'un problème de mécanique nécessite de la rigueur et il convient donc de définir, pour chaque étude, **le système et le référentiel**.

Quelles sont les lois de Newton ? Comment les appliquer ?

Quelles en sont les limites ?



Mes partis pris

Ici, on met en avant les trois lois de Newton, en présentant une ou plusieurs expériences pour chaque loi.

Les avantages sont :

- la création d'un fil conducteur naturel ;
- l'utilisation de la table à coussin d'air pour deux expériences, ce qui permet de gagner du temps. La gestion du temps est très importante lors de cette épreuve. En effet, en fin de préparation, il est appréciable de se dégager quelques précieuses minutes pour réviser quelques concepts, éviter quelques écueils, etc.

Mes conseils

- Comme dans tout montage de mécanique, le jury appréciera sans doute la rigueur du candidat dans la définition du système, du référentiel, dans l'énoncé des lois et des principes et dans la projection des forces.
- Prendre le temps de régler correctement la table à coussin d'air afin d'obtenir des résultats cohérents.

Bibliographie

[5] [6]

2. Le principe d'inertie

2.1. Etude expérimentale

<i>2^{de}</i>	<i>Matériel : table à coussin d'air, mobiles autoportés, feuille blanche avec papier carbone pour l'enregistrement.</i>
-----------------------	---

La table à coussin d'air permet de considérer des **systèmes pseudo-isolés**.

En effet, les **frottements** peuvent être **négligés devant les autres forces**.

On enregistre devant le jury le mouvement d'un mobile autoporté sur une table à coussin d'air qui n'est pas inclinée :

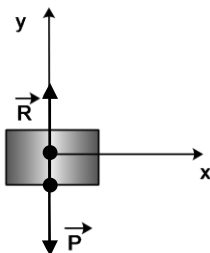


Fig 1.1 : principe d'inertie

Le mobile est soumis à deux forces qui se compensent (fig 1.1) : le poids vertical vers le bas et la réaction de la table à coussin d'air, verticale vers le haut. On obtient un enregistrement de ce type :



Fig 1.2 : enregistrement des positions du mobile

On peut dire que l'on obtient un **mouvement rectiligne** (fig 1.2).

On calcule, pendant la présentation, la vitesse en quelques points : on appelle M le centre d'inertie du mobile. C'est donc ce point qui est marqué sur l'enregistrement.

En notant τ l'intervalle de temps entre 2 points, on obtient la vitesse au point 2 grâce à la formule suivante :

$$V_2 = \frac{|M_1 M_3|}{2\tau}$$

On peut généraliser cette formule :

$$V_m = \frac{|M_{m-1}M_{m+1}|}{2\tau}$$

On peut calculer 3 vitesses devant le jury et déterminer l'écart en pourcentage :

$$Ecart_{\%} = \frac{\Delta V}{V_{max}}$$

L'écart étant faible (inférieur à 5%), on peut dire que le mouvement est **uniforme**.
Finalement, on déduit que le mobile est animé d'un **mouvement rectiligne uniforme**.

2.2. Enoncé du principe d'inertie

La première loi de Newton peut s'énoncer comme suit :

« **Un système soumis à des forces qui se compensent est au repos ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme.** »

Réciproque :

« **S'il est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme, un système est soumis à des forces qui se compensent.** »

Il faut préciser que l'on applique les lois de Newton au centre d'inertie du mobile.

3. Le principe fondamental de la dynamique

3.1. Enoncé du principe fondamental de la dynamique

La deuxième loi de Newton appelée également principe fondamental de la dynamique s'énonce comme suit :

« Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées au système est égale à la dérivée par rapport au temps de la quantité de mouvement \vec{p} :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a} \text{ lorsque la masse du système est constante. } \gg$$

Ce principe est valable en référentiel non galiléen à condition d'ajouter les forces d'inertie (forces d'entraînement et/ou de Coriolis).

3.2. Chute libre parabolique

3.2.1. Détermination de l'intensité de la pesanteur g

TS

Matériel : lanceur Jeulin®, webcam reliée à un ordinateur équipé du logiciel de traitement vidéo aviméca® et de traitement de données regressi®, rétroprojecteur.

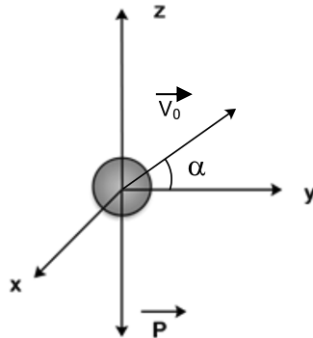


Fig 1.3 : chute libre parabolique

On lance la bille avec une vitesse V_0 raisonnable et un angle α proche des 45° .

$$\vec{V}_0 \begin{cases} V_{0x} = 0 \\ V_{0y} = V_0 \cos \alpha \\ V_{0z} = V_0 \sin \alpha \end{cases}$$

Le rétroprojecteur permet d'augmenter la luminosité et ainsi **la vitesse d'obturation** de la webcam. Si la luminosité n'est pas suffisante, des traînées vont apparaître derrière la bille en mouvement et il sera compliqué de la pointer avec précision.

Au système {bille}, on applique le principe fondamental de la dynamique dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen. La seule force appliquée au système est le poids, la force de frottement et la poussée d'Archimède sont négligeables.

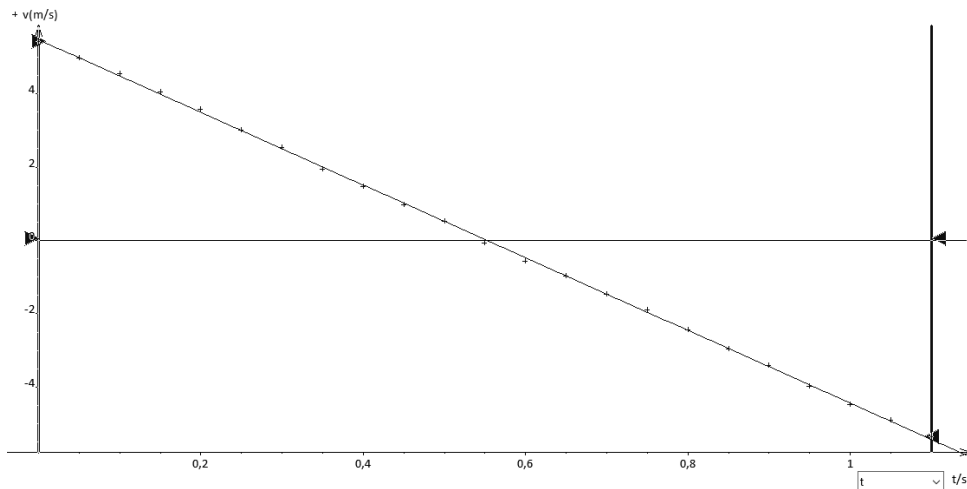
$$\vec{P} = m\vec{a} \text{ donc } m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\text{En projection, } \vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \text{ donc } \vec{v} \begin{cases} V_x = 0 \\ V_y = V_0 \cos \alpha \\ V_z = -gt + V_0 \sin \alpha \end{cases}$$

Avec le tableur regressi®, on calcule la vitesse en chaque point grâce à la formule :

$$V_z = \frac{dz}{dt}$$

Ensuite en traçant $v_z = f(t)$, on peut retrouver la valeur de g .

Fig 1.4 : détermination de la valeur de g

En effet, on remarque que le coefficient directeur de cette droite est égal à $-g$. Sur l'exemple choisi (fig 1.4), on trouverait $g = 9,91 \text{ m.s}^{-2}$, ce qui est correct par rapport à la valeur tabulée de 9,81.



Remarque

Une application de balistique installée sur les différents postes peut permettre de montrer l'influence de différents paramètres sur le mouvement (angle α , V_0 , ...). Cela évite de refaire l'expérience plusieurs fois devant le jury, action qui peut s'avérer fastidieuse et dénuée d'intérêt.

3.2.2. Etude énergétique

IS

Matériel : lanceur Jeulin®, webcam reliée à un ordinateur équipé du logiciel de traitement vidéo aviméca® et de traitement de données regressi®, rétroprojecteur.

On peut tracer, sur regressi®, la courbe montrant l'évolution de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle en fonction du temps. On remarque bien l'échange entre les deux réservoirs d'énergie (fig 1.5) :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \text{ et } E_p = m \times g \times z$$

On peut également mettre en évidence la conservation de l'énergie mécanique (croix en gris clair en haut du graphique).

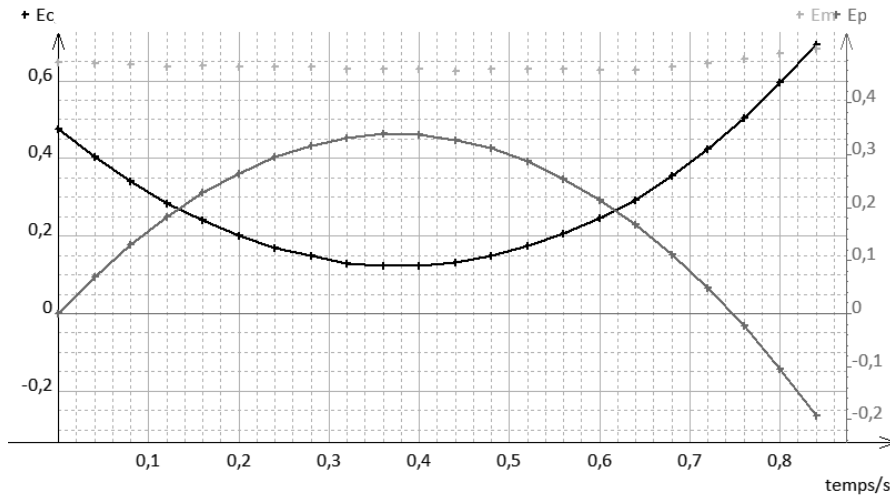


Fig 1.5 : chute, étude énergétique

3.3. Chute ralentie dans un fluide

TS

Matériel : tube rempli de glycérine, bille, webcam reliée à un ordinateur équipé du logiciel de traitement vidéo aviméca® et de traitement de données regressi®, rétroprojecteur.

On va étudier la chute d'une bille dans un fluide visqueux.

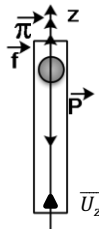


Fig 1.6 : chute libre dans un liquide visqueux

On réalise la chute d'une bille de rayon r , de volume V et de masse volumique ρ_{bille} dans un tube de glycérine de masse volumique ρ_{fluide} et de viscosité η .

Le système est la {bille}. Les forces qui s'appliquent au système sont :

- son poids $\vec{P} = -mg\vec{u}_z = -\rho_{bille} \times V \times g\vec{u}_z = -\frac{4\pi \cdot g \cdot r^3 \cdot \rho_{bille}}{3} \vec{u}_z$

- la force de frottement fluide : $\vec{f} = 6\pi\eta r v \vec{u}_z$

- la poussée d'Archimède : $\vec{\pi} = \frac{4\pi \cdot g \cdot r^3 \cdot \rho_{fluide}}{3} \vec{u}_z$

On applique le principe fondamental de la dynamique au système {bille} dans le référentiel du laboratoire, supposé galiléen :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a} = \vec{P} + \vec{f} + \vec{\pi}$$

En remplaçant, on obtient :

$$\ddot{z} + \frac{9\eta}{2\rho_{bille}r^2}\dot{z} = g\left(1 - \frac{\rho_{fluide}}{\rho_{bille}}\right)$$

On est dans le cas d'une chute ralentie où on peut montrer l'apparition d'une vitesse limite.

Lorsque l'on atteint le régime permanent, la vitesse est constante donc $\dot{z} = 0$ et

$\dot{z} = V_{lim}$. On a en fait :

$$\eta = \frac{2r^2 \cdot g(\rho_{bille} - \rho_{fluide})}{9V_{lim}}$$

Remarque : on considère que l'écoulement à l'intérieur du tube est **laminaire (on a une organisation apparente dans l'écoulement)**. La force de frottement n'a pas la même expression pour un écoulement turbulent où elle est proportionnelle au carré de la vitesse.

Pour un temps très long, la vitesse atteint donc une valeur limite, constante comme le montre le graphique $v = f(t)$ (fig 1.7).

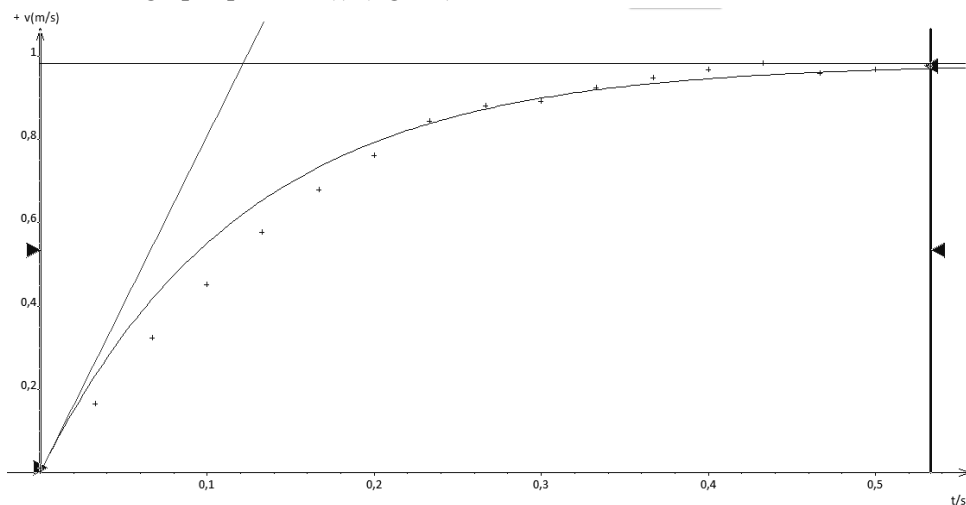


Fig 1.7 : apparition d'une vitesse limite

On peut obtenir une valeur de la viscosité du fluide en mesurant cette vitesse limite. Pour cela, on réalise un pointage et on trace l'asymptote $V = V_{lim}$ sur le graphique.



Remarques

- Bien que la manipulation en elle-même soit d'un niveau « terminale scientifique », l'étude de la vitesse limite et la résolution de l'équation différentielle sont d'un niveau post-baccalauréat.
- Une animation sur la chute d'une bille est disponible et permet de voir l'influence du volume de la bille, de la viscosité du fluide, etc.

4. Le principe des actions réciproques

4.1. Mise en évidence expérimentale

TS

Matériel : 2 dynamomètres, table à coussin d'air munie de 2 mobiles autoportés, feuille blanche pour enregistrement, anneaux aimantés pour entourer les mobiles.

On peut mettre tout d'abord en évidence le phénomène.

On accroche 2 dynamomètres entre eux et on exerce une force en tirant sur l'un d'eux. La force affichée est la même sur les deux instruments.

On va procéder ensuite à une étude quantitative sur table à coussin d'air.

On accole les deux mobiles avec les anneaux aimantés. On sent la force de répulsion entre les 2 aimants. On lâche les mobiles et on les voit s'écarter.

On réalise l'enregistrement. On calcule la vitesse et l'accélération instantanée au point M grâce aux formules suivantes :

$$V_m = \frac{|M_{m-1}M_{m+1}|}{2\tau} \quad \text{et} \quad a_m = \frac{|V_{m+1}-V_{m-1}|}{2\tau}$$

Fig 1.8 : principe des actions réciproques

On remarque que l'accélération est identique pour les 2 mobiles (fig 1.8). Comme la seule force qui s'exerce sur chaque mobile est la force de répulsion de l'aimant, les forces du mobile 1 sur le mobile 2 et du mobile 2 sur le mobile 1 sont **égales en norme, en direction et opposées en sens**.