

Les outils de la mécanique

Introduction

De l'atome aux galaxies, la matière est en mouvement.

La mécanique se donne pour but de décrire le mouvement d'objets appelés systèmes ; l'étude est dans un premier temps ramenée à celle du mouvement de leur centre d'inertie. La **cinématique** est l'étude des mouvements en fonction du temps, indépendamment des causes qui les produisent ; la **dynamique** s'intéresse aux liens entre les mouvements des objets et les actions qu'ils subissent.

1 - Les lois de Newton

La connaissance scientifique ne s'est pas toujours répandue aussi facilement qu'aujourd'hui : les barrières linguistique et géographique ont longtemps freiné sa diffusion. C'est en latin et à Londres que le physicien anglais Isaac Newton a écrit en 1687 *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, considérée comme une œuvre majeure dans l'histoire des sciences.

La physicienne française Émilie DU CHÂTELET (1706-1749) eut la chance de recevoir une éducation peu commune pour les filles de cette époque. Très ouvert à la culture, son père qui recevait poètes et philosophes dans son salon, lui avait enseigné le latin. Particulièrement douée pour les études et passionnée de sciences, É. DU CHÂTELET étudie les travaux du scientifique allemand G. W. LEIBNIZ et rencontre les savants A. CLAIRAUT, P. de MAUPERTUIS, J. S. KÖNIG, J. BERNOULLI, L. EULER, G.-L. BUFFON, etc. Encouragée par VOLTAIRE, elle entreprit en 1745 de traduire en français *Les Principes mathématiques de la philosophie naturelle* d'I. NEWTON. Sa remarquable compréhension des concepts lui permit de réaliser une traduction fidèle, enrichie de commentaires personnels. Son œuvre publiée en 1756, après sa mort prématurée, est ainsi préfacée par VOLTAIRE : « On a vu deux prodiges : l'un, que NEWTON ait fait cet ouvrage ; l'autre, qu'une Dame l'ait traduit et l'ait éclairci. [...] Jamais femme ne fut si savante qu'elle, et jamais personne ne mérita moins qu'on dise d'elle, c'est une femme savante : elle ne parlait jamais de science qu'à ceux avec qui elle croyait pouvoir s'instruire, et jamais n'en parla pour se faire remarquer. » Émilie DU CHÂTELET énonce ainsi les trois lois du mouvement établies par I. NEWTON :



Doc. 2 Émilie DU CHÂTELET, peinture d'après Maurice Quentin de La Tour.

1. Tout corps persévère de lui-même dans son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite.
2. Le changement qui arrive dans le mouvement est toujours proportionnel à la force motrice, et se fait dans la direction de cette force.
3. L'action et la réaction sont toujours égales et contraires.

Questions

1. Relever les noms des scientifiques cités dans le texte. Faire une rapide biographie, en précisant les domaines dans lesquels ils se sont illustrés.
2. Que signifie l'expression « de lui-même » dans la première loi de Newton ? Quel autre nom donne-t-on à cette loi ?
3. Quand dit-on que le mouvement d'un système « change » ou varie ? A quoi est due cette variation ?

La quantité de mouvement d'un système assimilé à un point matériel s'écrit $\vec{p} = m \times \vec{v}$ où m est sa masse et v sa vitesse.

4. a. Quelles sont les conséquences d'une variation du mouvement sur cette grandeur ?
b. Pourquoi, d'après vous, la masse intervient-elle dans cette grandeur ?

Actuellement, la deuxième loi de Newton est formulée par la relation $\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ où $\sum \vec{F}_{ext}$ est la résultante (ou somme) des forces extérieures appliquées au système.

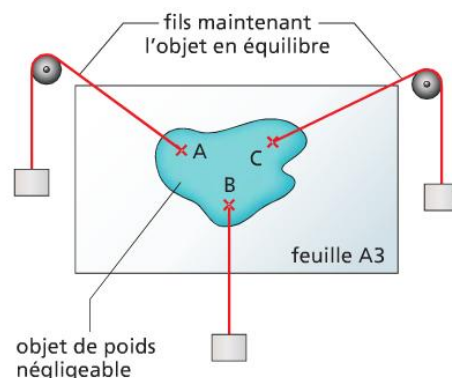
5. a. Que représente le terme $\frac{d\vec{p}}{dt}$?
b. Comparer cette égalité avec la deuxième loi de Newton traduit par M^{me} du Châtelet.
c. Exprimer $\frac{d\vec{p}}{dt}$ en fonction de l'accélération \vec{a} d'un système de masse constante et reformuler la deuxième loi de Newton dans ce cas.

2 – Systèmes en équilibre statique

2.1 – Situation n°1 : c'est tendu

Un objet, de poids négligeable, est maintenu à l'équilibre par trois fils tendus.

1. Tracer sur la feuille de papier la direction de chacun des fils.
2. Déterminer le centre d'inertie de l'objet.
3. Après avoir déterminé la valeur des tensions des fils, représenter toutes les forces subies par l'objet à partir du centre d'inertie (indiquer l'échelle).
4. Construire la somme vectorielle de deux des trois tensions.
5. Commentez l'accord entre la première loi de Newton et la construction vectorielle réalisée.



2.2 – Situation n°2 : Eurêka !

Le fonctionnement d'une balance électronique affichant une masse m passe en réalité par la mesure de la force \vec{F} exercée sur son plateau par l'objet qui y est posé.

Pour chacune des situations suivantes, noter la masse indiquée par la balance lorsqu'elle supporte

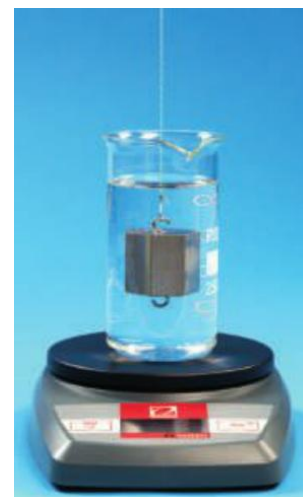
- ① un objet en métal de masse m_1
- ② un bécher partiellement rempli d'eau (masse m_2)
- ③ le bécher dans lequel l'objet est entièrement plongé, suspendu à un fil, sans toucher le fond (masse m_3)

1. Dans les situations ① et ②, montrer, à l'aide de la première et de la troisième lois de Newton, que les masses affichées sont bien celles des objets posés sur le plateau.

Considérons le système {bécher + eau} de la situation ③.

2. Donner l'expression de la force exercée par le plateau sur le système étudié.
3. Montrer de même que le système subit, de la part de l'objet, une force verticale et vers le bas de valeur $\rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot g$.
4. Etablir une relation entre m_2 , m_3 , ρ_{eau} et V .
5. En déduire que la densité du métal composant l'objet peut s'écrire $d = \frac{m_1}{m_3 - m_2}$.

Calculer d .

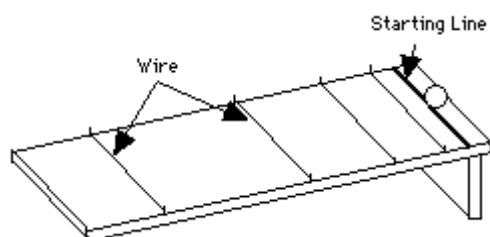


3 – Galilée et le plan incliné : étude dynamique

La théorie de la chute des « graves » de Galilée marque réellement la naissance de la science du mouvement. C'est de cette rencontre entre un phénomène naturel, son expérimentation et son idéalisation géométrique que sont nés la plupart des concepts qui permettent de décrire le mouvement.

Parmi ceux-ci la notion d'inertie est probablement la plus importante. Une roue, lancée initialement dans un mouvement de rotation, ne s'arrête de tourner que parce que la friction s'oppose à ce mouvement. Pour Galilée c'est la gravité qui est responsable de l'accélération des corps massifs vers le centre de la Terre. Un corps lâché d'une certaine altitude est alors naturellement accéléré dans son mouvement naturel pour rejoindre ce centre.

irh.unice.fr/spip.php?article65

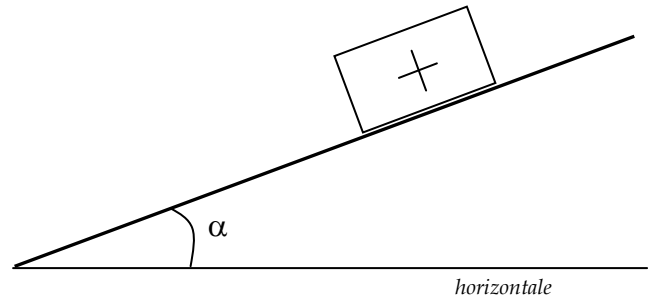


Une chute verticale étant trop rapide pour que Galilée la mesure exactement, il ralentissait la boule en la faisant rouler sur un plan incliné. D'un bout à l'autre de la surface de celui-ci, il disposait un certain nombre de fils horizontaux tendus, laissant entendre un "clic" à chaque fois que la boule en franchissait un. Galilée déplace alors les fils sur le parcours, jusqu'à obtenir des clics également espacés dans le temps. www.phy6.org/stargaze/Ffall.htm

La table, de longueur $L = 1,00$ m, a été surélevée de $h = 1,1$ cm. Le mobile autoporteur est abandonné sur la pente, soufflerie en marche, sans vitesse initiale.

Document de travail : enregistrement papier

- Définir le système et le référentiel d'étude.
- Décrire la trajectoire du mobile.
- Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système (soufflerie en marche) et en déduire les coordonnées du vecteur résultante des forces extérieures $\sum \vec{F}_{ext}$ dans le repère d'étude.
- Construire un tableau $(x;t)$, en respectant l'échelle 1/2. Tracer $x(t)$ en **fenêtre n°1** et modéliser l'évolution de $x(t)$.
- Déterminer la vitesse instantanée $v(t)$, la tracer en **fenêtre n°2** et la modéliser. Pourquoi ne peut-on pas calculer les valeurs initiale et finale de $v(t)$?
- Déterminer l'accélération instantanée $a(t)$ et la tracer en **fenêtre n°3**. Peut-on la modéliser correctement ? Que prévoit la théorie ?
- Sur l'enregistrement, représenter :
 - les quatre vecteurs vitesse aux dates t_3 et t_5 , puis t_{11} et t_{13} .
 - le vecteur accélération $\vec{a}_G(t) = \frac{\Delta v_G}{\Delta t}(t)$ aux dates t_4 et t_{12} .
 - le vecteur résultante/somme des forces extérieures appliquées au système : $\sum \vec{F}_{ext}$ aux dates t_4 et t_{12} .



Conclure, en tenant compte de la précision de votre travail, sur le lien entre la résultante des forces extérieures et l'accélération : la deuxième loi de Newton est-elle vérifiée ici ?

Prolongements

Sur le plan incliné façon Galilée

- D'après vous, quelle serait la vitesse atteinte par le mobile si le plan incliné mesurait 1 km de long ?
 - Cette valeur vous semble-t-elle réaliste ?
 - Quelle action mécanique faut-il prendre en compte pour expliquer que la vitesse n'atteigne pas une valeur infinie ?
 - Que dire du mouvement du mobile dans ce cas ? Quelle conséquence cela a-t-il sur le bilan des forces extérieures appliqué au mobile autoporté ?
- Arrivé en bout de table, le manipulateur oublie de le retenir : le mobile tombe en direction du sol.
 - Lors de cette chute, faire le bilan des forces extérieures appliquées au mobile.
 - Le principe d'inertie s'applique-t-il dans ce cas ?
 - Que vaut l'accélération du mobile en chute ?

Dans les airs...

Comment expliquez-vous l'état d'**impesanteur** des astronautes (ou des passagers de l'Airbus Zéro-G, pendant quelques secondes) ?

... comme sur la Terre

Vous pourrez essayer : il n'est pas possible de lancer un mobile autoporté (ou un glaçon) sur une table lisse et horizontale et de lui faire décrire un cercle. Les lois de la physique le démontrent : comment ?