

I. Comment décrire le mouvement d'un solide ?

Afin de décrire le mouvement d'un solide, il faut :

- choisir un système.
- choisir un repère d'espace et de temps (référentiel).
- effectuer le bilan des forces extérieures qui s'exercent sur ce solide.
- définir le vecteur de position, le vecteur vitesse et le vecteur accélération.
- déterminer sa trajectoire.

1. Choisir un système.

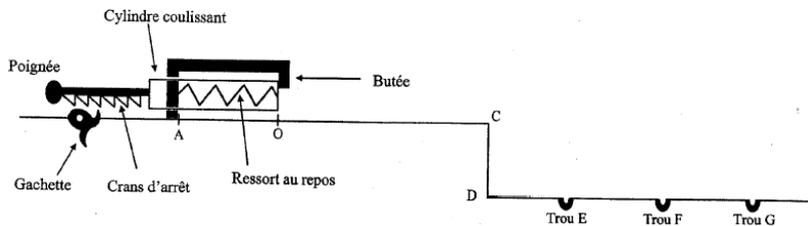
Un système peut être un objet ou un ensemble d'objets sur lequel les forces extérieures s'appliquent.

Question discussion réponse :

Voici quelques débuts d'énoncés de sujets de baccalauréat.  
Indiquez dans chaque cas quel est le système étudié :

Enoncé n° 1 : **Antilles Juin 2005**

*Le but du jeu est d'envoyer une bille d'acier dans un trou. Pour lancer la bille, le joueur comprime un ressort, à spires non jointives, qui va la propulser lors de la détente. La boule roule ensuite sur un plan horizontal suivant la droite (AC), quitte ce plan pour chuter dans un des trous du sol. Le schéma du dispositif est représenté ci-dessous : (schéma non à l'échelle).*



Enoncé n° 2 : **National Juin 2004**

*L'objectif de cette partie est d'étudier la mécanique du vol d'un ballon sonde à faible altitude (sur les premières centaines de mètres). On peut alors considérer que l'accélération de la pesanteur  $g$ , le volume du ballon  $V_b$  et la masse volumique  $\rho$  de l'air restent constantes.*

*On modélisera la valeur  $f$  de la force de frottement de l'air sur le système étudié par l'expression:  
 $f = K \cdot \rho \cdot v^2$  où  $K$  est une constante pour les altitudes considérées et  $v$  la vitesse du centre d'inertie du système {ballon + nacelle} .*

Réponses :

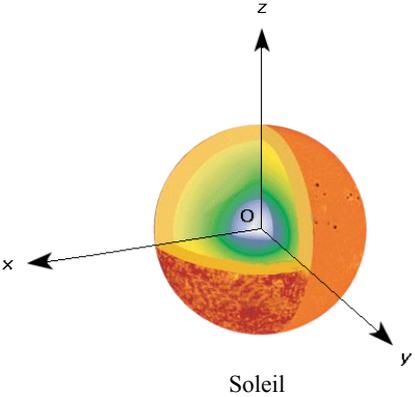
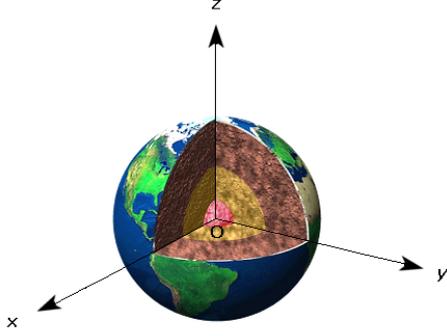
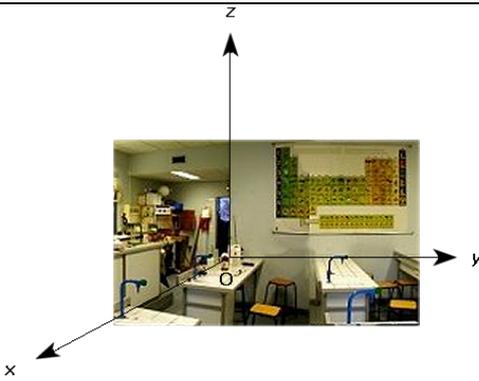
Enoncé n° 1 : le système est la boule (bille d'acier)

Enoncé n° 2 : le système est le ballon + nacelle

2. Choisir un repère d'espace et de temps.

Un référentiel est un repère d'espace et de temps.

Exemples de référentiels :

Référentiel	Description	Exemples de domaines d'étude
Héliocentrique	 <p>Soleil</p> <p>Les 3 axes sont dirigés vers 3 étoiles lointaines supposées fixes</p>	<p>Etude du mouvement des planètes</p> <p>Etude du mouvement des comètes</p>
Géocentrique	 <p>Terre</p> <p>Les 3 axes sont dirigés vers 3 étoiles lointaines supposées fixes</p>	<p>Etude du mouvement des satellites artificiels autour de la Terre</p> <p>Etude du mouvement de la Lune</p>
Terrestre	 <p>Laboratoire</p>	<p>Etude du mouvement d'un solide sur terre</p>

L'ensemble de ces référentiels sont supposés galiléens.

Un référentiel est dit galiléen si le principe d'inertie est applicable dans celui-ci.

Question discussion réponse :

- Observer les films suivants
- Indiquer dans chaque cas quel est le référentiel approprié pour l'étude du mouvement de la fusée.
- Justifier votre choix

Les films sont téléchargeables sur le site :

<http://www.educnet.education.fr/orbito/pedago/inertie/inert1.htm>



Vidéo n° 1



Vidéo n° 2

Réponse :

- Vidéo n° 1 : Référentiel terrestre.
- Vidéo n° 2 : Référentiel géocentrique.
- Justification : Le corps qui est immobile sert de corps de référence pour décrire le mouvement ; il joue le rôle d'un référentiel.

### 3. Faire l'inventaire des forces appliquées à un système.

Dans le cadre du programme de terminale S, différentes forces seront étudiées :

- le poids  $\vec{P}$
- la poussée d'Archimède  $\vec{\pi}$
- les forces de frottement  $\vec{f}$
- la réaction au plan  $\vec{R}$
- la tension d'un fil ou d'un ressort  $\vec{T}$

Rappel :

Une force est caractérisée par :

- sa direction
- son sens
- son point d'application
- son intensité (norme)

Question discussion réponse :

Donner les caractéristiques du poids et de la poussée d'Archimède.

Réponse :

Poids  $\vec{P}$

- direction : verticale
- sens : vers le bas
- point d'application : le centre d'inertie du solide
- intensité :  $P = mg$

Poussée d'Archimède  $\vec{\pi}$

- direction : verticale
- sens : du bas vers le haut
- point d'application : centre d'inertie du fluide déplacé
- intensité :  $\pi = \rho V g$

Nous utiliserons également dans la suite du cours, les expressions vectorielles de ces forces.

Exemple :  $\vec{P} = m \vec{g}$  et  $\vec{\pi} = -\rho V \vec{g}$

#### 4. Définir le vecteur accélération.

Dans un repère orthonormé d'origine O, on définit :

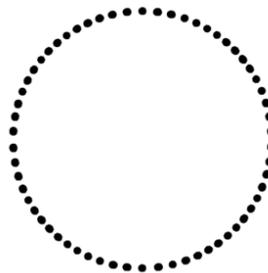
- Le vecteur de position  $\vec{OM}$  M est la position du mobile à la date  $t$
- Le vecteur vitesse  $\vec{v}_G = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{l}}{\Delta t}$   $\Delta t$  est la durée
- Le vecteur accélération  $\vec{a}_G = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$

#### 5. Déterminer la trajectoire.

Exemples de trajectoires vues en terminale S :



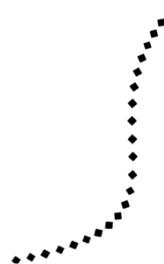
Rectiligne



Circulaire



Parabolique



Curviligne

## II. Les lois de Newton.

### 1. Première loi de Newton : principe d'inertie.

Dans un référentiel galiléen, si la somme des forces extérieures appliquées au centre d'inertie d'un solide est nulle, alors son mouvement est rectiligne uniforme et réciproquement.

$$\text{Si } \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Leftrightarrow \text{alors } \vec{v}_G = \text{const}$$

Solide : corps indéformable

Centre d'inertie : point du solide dont le mouvement est le plus simple

### 2. Troisième loi de Newton : principe des actions réciproques.

A et B étant deux corps en interaction

La force exercée par A sur B notée  $\vec{F}_{A/B}$  et la force exercée par B sur A notée  $\vec{F}_{B/A}$  ont même direction, même intensité mais des sens opposés.

$$\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}$$

### 3. Deuxième loi de Newton.

Cette partie est également vue en TP

#### 3.1. Mise en évidence expérimentale du lien entre $\sum \vec{F}_{ext}$ et $\Delta \vec{v}_G$ .

**Ce cours est vidéoprojeté aux élèves sous la forme d'une présentation powerpoint**

Lors de cette présentation on étudie comment :

- tracer des vecteurs vitesse
- tracer un vecteur accélération
- mettre en évidence expérimentale le lien entre  $\sum \vec{F}_{ext}$  et  $\Delta \vec{v}_G$ .
- Montrer que  $\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$

Une présentation des diapositives est proposé aux formats :

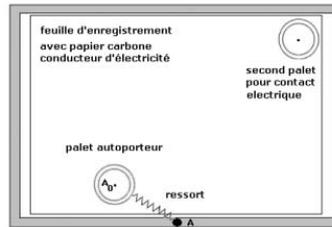
- Powerpoint
- pdf
- html

## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### I. Le dispositif expérimental

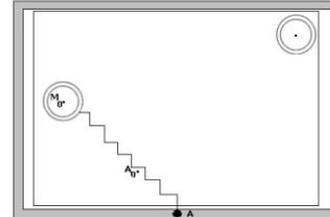
#### Avant l'expérience :

- le ressort est au repos
- le palet autoporteur est immobile



#### A la date $t_0 = 0$ :

- on écarte le palet de sa position de repos
- on communique au centre d'inertie du mobile une vitesse  $v_0$  horizontale et perpendiculaire au fil.

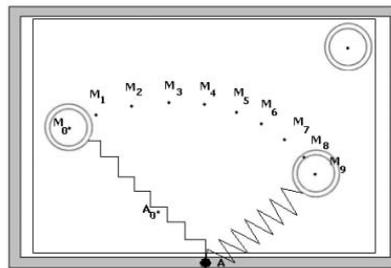


## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### I. Le dispositif expérimental (suite)

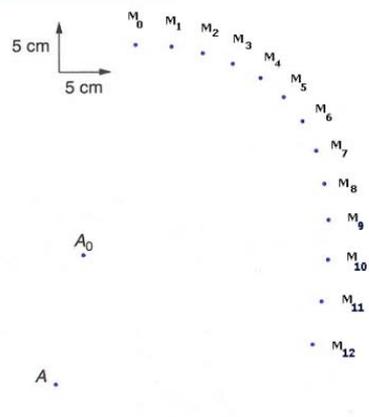
#### Pendant l'expérience :

- on enregistre les positions de G sur la feuille à intervalles de temps égaux



## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### II. Enregistrement obtenu



intervalle de temps  $\tau = 60 \text{ ms}$

masse du palet  $m = 0,99 \text{ kg}$

raideur du ressort  $k = 20 \text{ Nm}$

## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### III. Référentiel, système, bilan des forces

1. Référentiel : L'étude s'effectue dans le référentiel terrestre supposé galiléen

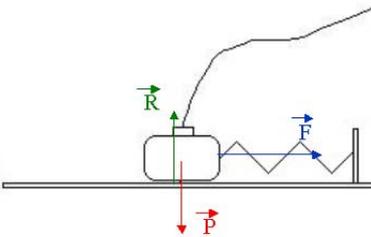
Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié

2. Système : Le système étudié est le palet autoporteur

3. Bilan des forces :

- Le poids
- La réaction du support
- La tension du ressort

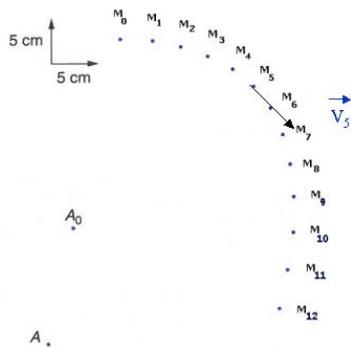
La somme des forces se réduit à la seule force exercée par le ressort



## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### IV. Détermination graphique des vecteurs vitesse

1. Détermination graphique du vecteur vitesse  $\vec{V}_5$



a- On mesure les distances  $M_4M_5$  et  $M_5M_6$  et on détermine  $M_4M_6$

$$M_4M_6 = 6,0 \text{ cm} = 0,060 \text{ m}$$

b- On détermine la durée du trajet entre  $M_4$  et  $M_6$

$$2\tau = 120 \text{ ms} = 0,12 \text{ s}$$

c- On calcule la norme du vecteur vitesse  $\vec{V}_5$

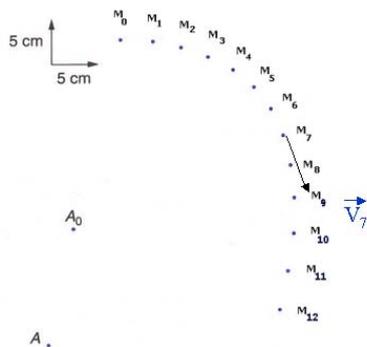
$$V_5 = \frac{M_4M_6}{2\tau} = \frac{0,060}{0,12} = 0,50 \text{ m/s}$$

d- On représente le vecteur vitesse  $\vec{V}_5$  en prenant une échelle tel que : 1 cm : 0,1 m/s

## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### IV. Détermination graphique des vecteurs vitesse (suite)

2. Détermination graphique du vecteur vitesse  $\vec{V}_7$



a- On mesure les distances  $M_6M_7$  et  $M_7M_8$  et on détermine  $M_6M_8$

$$M_6M_8 = 6,6 \text{ cm} = 0,066 \text{ m}$$

b- On détermine la durée du trajet entre  $M_6$  et  $M_8$

$$2\tau = 120 \text{ ms} = 0,12 \text{ s}$$

c- On calcule la norme du vecteur vitesse  $\vec{V}_7$

$$V_7 = \frac{M_6M_8}{2\tau} = \frac{0,066}{0,12} = 0,55 \text{ m/s}$$

d- On représente le vecteur vitesse  $\vec{V}_7$  en prenant une échelle tel que : 1 cm : 0,1 m/s

## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### V. Détermination graphique du vecteur accélération $\vec{a}_G$

Par définition, le vecteur accélération  $\vec{a}_G$  est égal à 
$$\vec{a}_G = \frac{\vec{V}_7 - \vec{V}_5}{2\tau}$$

a- On détermine le vecteur accélération graphiquement en mesurant dans un premier temps  $\Delta\vec{V}$ .  
(on reporte les vecteurs en  $M_6$ )

b- On calcule la norme du vecteur accélération  $\vec{a}_G$

**Le vecteur  $\Delta\vec{V}$  mesure 2,3 cm, alors  $\Delta V = 0,23$  m/s on en déduit la norme de  $\vec{a}_G = \frac{0,23}{0,12} = 1,92$  m.s<sup>-2</sup>**

c- On trace le vecteur accélération en utilisant une nouvelle échelle 1 cm : 0,1 m.s<sup>-2</sup> soit un vecteur de 19,2 cm !

## Approche expérimentale de la deuxième loi de Newton

### VI. Comparaison du produit de la masse $m$ et de l'accélération $a$ avec la norme de la force $F$

1. Calcul du produit  $ma$

$$ma = 0,99 \times 1,92 = 1,90 \text{ kg.m.s}^{-2}$$

2. L'intensité de la force peut être déterminée par la relation liée au ressort  $F = k(l - l_0)$   
On trouve  $F = 1,90$  N

3. Le vecteur accélération est colinéaire au vecteur force

**La deuxième loi de Newton, dans un référentiel galiléen, s'écrit :**

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}_G$$

### 3.2. Rôle de la masse.

On répète l'expérience précédente avec des masses différentes (masse du palet autoporteur + surcharges)

On mesure la valeur de  $\Delta v_G$  pour différentes masses en utilisant le même ressort dans chaque cas (force de tension du ressort constante)

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

$m$ (kg)	0,990	1,20	1,45	1,70
$\Delta v_G$ (m.s <sup>-1</sup> )	0,230	0,190	0,158	0,134
$m \Delta v_G$ (kg.m.s <sup>-1</sup> )				

Question discussion réponse :

- compléter la dernière ligne du tableau.
- Conclusion : la valeur de  $\Delta v_G$  pendant une durée donnée est ..... à ..... de la masse  $m$  du solide

Réponse :

$m$ (kg)	0,990	1,20	1,45	1,70
$\Delta v_G$ (m.s <sup>-1</sup> )	0,230	0,189	0,158	0,134
$m \Delta v_G$ (kg.m.s <sup>-1</sup> )	0,228	0,227	0,229	0,228

Conclusion : la valeur de  $\Delta v_G$  pendant une durée donnée est *proportionnel* à *l'inverse* de la masse  $m$  du solide.

### 3.3. Enoncé de la deuxième loi de Newton.

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un solide est égale au produit de sa masse par l'accélération de son centre d'inertie.

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \vec{a}_G$$

$F$  s'exprime en Newton (N)  
 $m$  s'exprime en kilogramme (kg)  
 $a_G$  s'exprime en m.s<sup>-2</sup>

III. Comment reconnaître si un mouvement est uniforme, uniformément accéléré ou uniformément ralenti ?

La méthode consiste à étudier le signe du produit scalaire des deux vecteurs  $\vec{a}$  et  $\vec{v}$

Rappel :  $\vec{a} \cdot \vec{v} = a \times v \times \cos(\vec{a} ; \vec{v})$

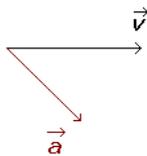
Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$  le mouvement est uniformément accéléré

Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0$  le mouvement est uniformément ralenti

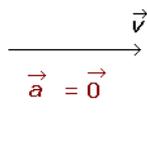
Si  $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$  le mouvement est uniforme

Question discussion réponse :

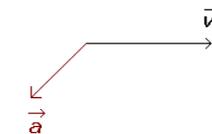
- Indiquer dans chaque cas la nature du mouvement
- Représenter dans chaque la résultante  $\vec{F}$  des forces extérieures qui s'appliquent sur le solide ponctuel. (la grandeur du vecteur  $\vec{F}$  est qualitative)
- Proposer des exemples de situations dans la vie courante où l'on retrouve chacun de ces cas.



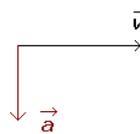
cas n° 1



cas n° 2



cas n° 3



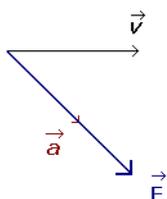
cas n° 4

Réponse :

cas n°1

$\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$

mouvement uniformément accéléré

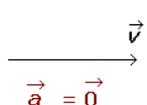


un petit train tiré par une ficelle sur des rails

cas n° 2

$\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$

mouvement uniforme

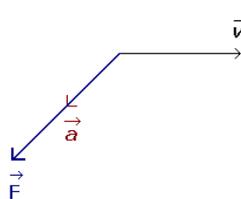


patineur sur la glace

cas n° 3

$\vec{a} \cdot \vec{v} < 0$

mouvement uniformément ralenti

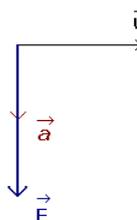


action d'un vent contraire latéral sur une voile

cas n° 4

$\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$

mouvement uniforme circulaire

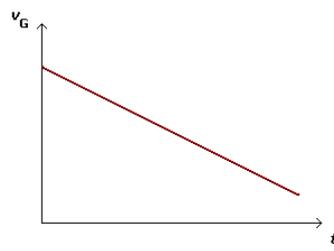


révolution de la Terre autour du Soleil

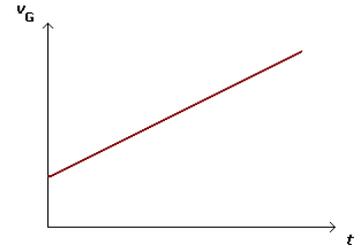
Une autre méthode consiste à analyser les courbes  $v_G = f(t)$



Mouvement uniforme



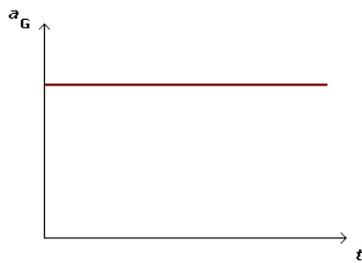
Mouvement uniformément ralenti



Mouvement uniformément accéléré

Question discussion réponse :

A quel type de mouvement, le graphe suivant correspond-il ?



Réponse :

Il s'agit d'un graphe  $a_G = f(t)$

L'accélération est constante et positive, il s'agit alors d'un mouvement uniformément accéléré.