

## Partie Comprendre : Lois et modèles

### CHAP 05-ACT EXP Vecteur vitesse ; vecteur accélération ; quantité de mouvement

#### Objectifs :

- Mettre en œuvre un protocole expérimental pour étudier un mouvement
- Tracer des vecteurs vitesses et accélération à différents instants et pour différents mouvements
- Mettre en œuvre une démarche d'investigation pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.

## 1. MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME

### 1.1 Expérience

- sur une table à coussin d'air horizontale, lançons avec une vitesse initiale  $v_0$  un mobile autoporteur.
- La position du point axial du mobile est enregistrée à intervalles de temps successifs égaux ( $\tau = 40 \text{ ms}$ ) (Voir enregistrement 1 sur la feuille ANNEXE 1)

### 1.2 Exploitation de l'enregistrement

- On suppose qu'à l'instant  $t = 0$ , le corps se trouve au point  $A_0$ . Sa position est  $x_0 = 0$  et sa vitesse est  $v_0$
- On définit l'axe  $A_0x$  orienté de  $A_0$  vers  $A_{20}$ .

a) Expliquer pourquoi ce document permet d'affirmer que le mouvement est rectiligne et uniforme

### 1.3 Vecteurs vitesse

a) Calculer à partir de l'enregistrement (en  $\text{m.s}^{-1}$ ) les vitesses  $v_5$  et  $v_7$  aux points  $A_5$  et  $A_7$ .

Détailler le calcul pour une vitesse. Exprimer les résultats avec 1 chiffre après la virgule

#### Par exemple pour calculer et construire le vecteur vitesse au point $A_4$ :

##### 1) Il faut calculer la valeur de la vitesse au point $A_5$ (notée $v_5$ ) :

on assimile  $v_4$  à la vitesse moyenne mesurée entre les deux points  $A_3$  et  $A_5$  qui entourent  $A_4$

- On mesure au mieux la distance  $A_3A_5$ .
- On calcule la valeur de la vitesse au point  $A_4$  avec :

$$v_4 = \frac{A_3A_5}{t_{A_3 \rightarrow A_5}} = \frac{A_3A_5}{2 \cdot \tau}$$

$A_3A_5$  : La distance entre  $A_3$  et  $A_5$  (en mètre)  
 $t_{A_3 \rightarrow A_5}$  : Le temps mit pour aller de  $A_3$  à  $A_5$ , c'est à dire  $2 \cdot \tau$   
 ou  $\tau$  est l'intervalle de temps correspondant à deux marque consécutives (ici  $\tau = 40 \text{ ms} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ )

##### 2) On trace le vecteur vitesse :

- L'origine du vecteur, c'est le point  $A_4$
- La direction du vecteur vitesse est tangente à la trajectoire, elle peut être confondue avec la direction du segment  $A_3A_5$
- Le sens du vecteur vitesse, c'est le sens du mouvement

b) Représenter (en vert) sur l'enregistrement, les vecteurs vitesses  $\vec{v}_5$  et  $\vec{v}_7$  aux points  $A_5$  et  $A_7$ . (Détailler le calcul pour 1 vecteur. Choisir l'échelle 1 cm pour  $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ )

### 1.4 Vecteurs accélération

Sachant que le vecteur accélération au point A<sub>6</sub> est donné par :

$$\vec{a}_6 = \frac{\vec{v}_7 - \vec{v}_5}{t_7 - t_5} = \frac{\Delta \vec{v}_6}{2\tau}$$

a) Que pouvez-vous dire de la valeur de l'accélération (noté a) pour un mouvement rectiligne uniforme ?

## 2. MOUVEMENT RECTILIGNE VARIE

### 2.1 Expérience

- On enregistre le mouvement d'un point d'un mobile en chute libre, c'est à dire lâché sans vitesse initiale en fonction du temps

- La position du point est enregistrée à intervalles de temps successifs égaux ( $\tau = 40 \text{ ms}$ )

(Voir enregistrement 2 sur la feuille ANNEXE 1)

### 2.2 Exploitation de l'enregistrement : vecteurs vitesse

- On suppose qu'à l'instant  $t = 0$ , le corps se trouve au point A<sub>0</sub>. Sa position est  $x_0 = 0$  et sa vitesse est de  $\vec{v}_{A_0} = 0 \text{ m.s}^{-1}$

- On définit l'axe A<sub>0</sub>x orienté de A<sub>0</sub> vers A<sub>6</sub>.

a) Calculer à partir de l'enregistrement (en  $\text{m.s}^{-1}$ ) les vitesses  $\vec{v}_1$  ;  $\vec{v}_3$  et  $\vec{v}_5$  aux points A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>5</sub>.  
**Détailler le calcul pour une vitesse. Exprimer les résultats avec 1 chiffre après la virgule**

b) Comment varie la vitesse au cours de la chute ?

c) Représenter (**en vert**) sur l'enregistrement, les vecteurs vitesses  $\vec{v}_1$ ,  $\vec{v}_3$  et  $\vec{v}_5$  aux points A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>5</sub>.  
**(Détailler le calcul pour 1 vecteur. Choisir l'échelle 2 cm pour 1  $\text{m.s}^{-1}$ )**

### 2.3 Exploitation de l'enregistrement : vecteurs accélération

1) a) Au point A<sub>2</sub>, tracer (**soigneusement et au crayon**) le vecteur  $\Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_3 - \vec{v}_1$ . Mesurer sa longueur. Noter cette longueur sur le rapport.

b) A l'aide de l'échelle (**2 cm pour 1  $\text{m.s}^{-1}$** ), en déduire la norme  $\Delta v_2$

2) Sachant que la norme du vecteur accélération au point A<sub>2</sub> (notée  $a_2$  ou  $\|\vec{a}_2\|$ ) est donné par :

$$a_2 = \frac{\Delta v_2}{2\tau}$$

a) Calculer  $a_2$  (**1 chiffre après la virgule**). Donner son unité

b) Identifier cette valeur

3) a) A l'aide de l'échelle (**1 cm pour 2  $\text{m.s}^{-2}$** ), calculer la longueur du vecteur accélération  $\vec{a}_2$

b) Tracer (**en rouge**) sur l'enregistrement  $\vec{a}_2$

#### AIDE :

- Le point d'application c'est le point A<sub>2</sub>

- La direction, et le sens du vecteur  $\vec{a}_2$  est donné par celui de  $\Delta \vec{v}_2$

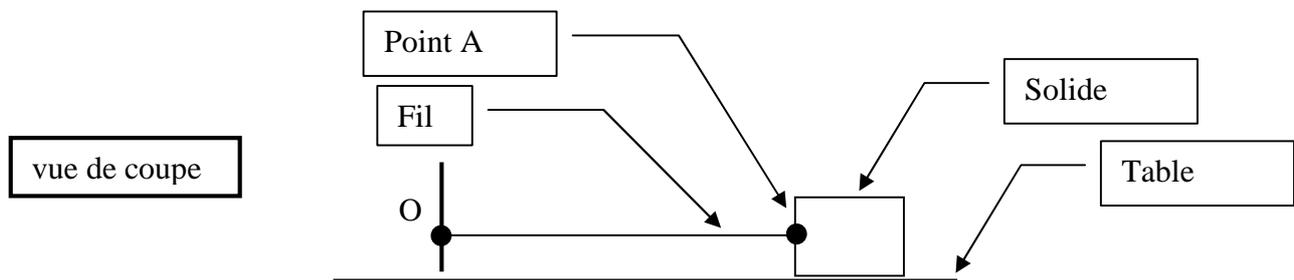
4) Refaire la même chose au point  $A_4$ . (**Ne détailler pas les calculs**)

5) Que pouvez vous dire de la valeur de l'accélération pour un mouvement rectiligne varié ?

### 3. MOUVEMENT CIRCULAIRE UNIFORME

#### 3.1 Expérience

- On enregistre le mouvement d'un point d'un mobile en rotation en fonction du temps
- La position du point est enregistrée à intervalles de temps successifs égaux ( $\tau = 40 \text{ ms}$ ) (**voir enregistrement sur l'ANNEXE 2**)
- On suppose qu'à l'instant  $t = 0$ , le corps se trouve au point  $A_0$  et sa vitesse est de  $\mathbf{v}_{A0}$
- Le solide est attaché à l'aide d'un fil au point fixe O. La distance OA représente le rayon de la trajectoire



#### 3.2 Exploitation de l'enregistrement : vecteurs vitesse

- a) Mesurer sur l'enregistrement le rayon  $R$  de la trajectoire. Noter cette valeur sur votre rapport
- b) Calculer à partir de l'enregistrement (en  $\text{m.s}^{-1}$ ) les vitesses  $\mathbf{v}_4$  et  $\mathbf{v}_6$  aux points  $A_4$  et  $A_6$ .  
**Détailler le calcul pour une vitesse. Exprimer les résultats avec 1 chiffre après la virgule**

**Aide :**

- Pour trouver la distance d'une portion de la trajectoire circulaire par exemple  $A_2A_4$ , on considère que la longueur de cette portion de trajectoire est égale à la longueur du segment  $A_2A_4$  que l'on mesure avec une règle

- c) Représenter (**en vert**) sur l'enregistrement, les vecteurs vitesses  $\vec{v}_4$  et  $\vec{v}_6$  aux points  $A_4$  et  $A_6$ .  
**(Détailler le calcul pour 1 vecteur. Choisir l'échelle  $8 \text{ cm pour } 1 \text{ m.s}^{-1}$ )**

**Aide :**

- Le vecteur vitesse est tangent à la trajectoire, on admet ici que le vecteur vitesse au point  $A_4$  par exemple est parallèle au segment  $A_3A_5$

#### 3.3 Exploitation de l'enregistrement : vecteurs accélération

- 1) a) Au point  $A_5$ , tracer (**soigneusement et au crayon**) le vecteur  $\Delta \vec{v}_5 = \vec{v}_6 - \vec{v}_4$ .  
**(Voir ci-dessous pour tracer le vecteur  $\Delta \vec{v}_5$ )**

**Exemple**  
 Pour tracer  $\vec{a}_7$ , il faut dans un premier temps avoir représenté comme précédemment les vecteurs  $\vec{v}_6$  et  $\vec{v}_8$ , puis, au point  $G_7$ , il faut construire le vecteur  $\Delta\vec{v}_7 = \vec{v}_8 - \vec{v}_6$ .

Pour tracer  $\vec{a}_7$  en  $G_7$ , on choisit par exemple une échelle de 1 cm pour  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  pour l'accélération. Sa longueur est de 3,6 cm, son sens et sa direction sont ceux de  $\Delta\vec{v}_7$ .

La mesure du vecteur  $\Delta\vec{v}_7$  permet, avec l'échelle des vitesses, de trouver sa valeur :  $\Delta v_7 = 1,8 \times 1,0 = 1,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . L'accélération est donc :  $a_7 = \frac{\Delta v_7}{2\tau} = \frac{1,8}{0,10} = 18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

- Mesurer sa longueur. Noter cette longueur sur le rapport.

b) A l'aide de l'échelle (**8 cm pour  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$** ), en déduire  $\Delta v_5$ .

2) Sachant que la norme du vecteur accélération au point  $A_5$  (notée  $a_5$  ou  $\|\vec{a}_5\|$ ) est donné par :

$$a_5 = \frac{\Delta v_5}{2 \cdot \tau}$$

Calculer  $a_5$  (**1 chiffre après la virgule**).

3) a) A l'aide de l'échelle (**1 cm pour  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$** ), calculer la longueur du vecteur accélération  $\vec{a}_5$

b) Tracer en **rouge**, au point  $A_5$ , le vecteur accélération  $\vec{a}_5$  sur l'enregistrement.

4) Refaire les mêmes tracés et les mêmes comparaisons au point  $A_7$  c'est à dire :

a) Au point  $A_7$ , tracer le vecteur  $\Delta\vec{v}_7 = \vec{v}_8 - \vec{v}_6$ .

b) Déterminer la norme  $\Delta v_7$ .

c) Déterminer la norme  $a_7$

d) Tracer en rouge, au point  $A_7$ , le vecteur accélération  $\vec{a}_7$ . (**Echelle : 1 cm pour  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$** )

5) Donner les caractéristiques (direction, sens, grandeur) du vecteur accélération au cours d'un mouvement circulaire uniforme.

#### 4. MODE DE PROPULSION PAR REACTION

Le mode de propulsion par réaction des fusées a permis à l'Homme d'envoyer des satellites, des sondes spatiales et des êtres humains dans l'espace afin d'explorer l'Univers.

##### 4.1 Pour commencer (situation déclenchante)

Le premier satellite artificiel de la Terre, Spoutnik-1, fut lancé par l'URSS (la Russie actuelle) le 4 octobre 1957. Ce lancement marqua le début de la conquête spatiale. Depuis, plus de 5 000 satellites, sondes

interplanétaires et vaisseaux habités ont été envoyés dans l'espace grâce à des fusées, comme Ariane 5 (Fig. ci-dessous), qui est l'actuel lanceur européen.

Lors de son ascension, lorsqu'elle a atteint une certaine altitude, la fusée Ariane 5 se sépare de ses EAP (Fig. ci-contre). L'ouverture de la coiffe libère au final le satellite sur son orbite.

(cf vidéo dans le répertoire de votre classe)

## 4.2 Investigation

Comment expliquer l'ascension de la fusée ?

a) Rédiger un protocole expérimentale permettant de modéliser le vol d'une fusée

**Matériel à votre disposition :** Ballon de baudruche

**Appeler le prof pour vérification**

b) Réaliser cette expérience.

c) Ce ballon a-t-il besoin de l'air de la salle pour voler ? Pourrait-il voler dans le vide ?

d) Quelles analogies peut-on faire entre le vol d'une fusée et celui d'un ballon de baudruche ?

## 4.3 Étude de document (recherche de validation)

**On considère un système isolé (S), constitué d'une fusée et de son contenu (y compris son combustible et son comburant), de masse  $m_0$  dans un référentiel galiléen où il est immobile à la date  $t = 0$ .**

a) Que vaut alors, à  $t = 0$ , la quantité de mouvement de ce système ?

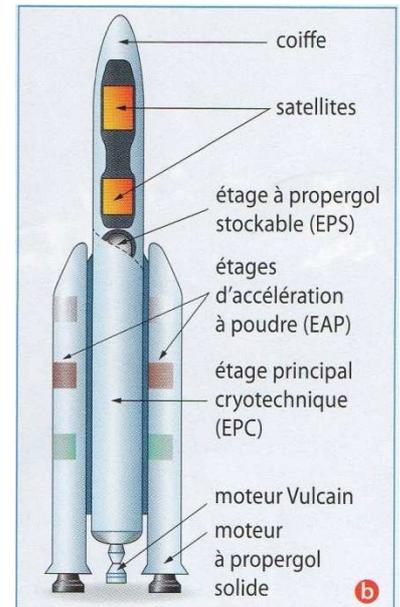
**À un instant  $t$ , on décompose le système (S) en deux : fusée et gaz éjectés.**

b) Que vaut alors, à l'instant  $t$ , la quantité de mouvement de ce système ?

c) En déduire l'expression de la vitesse de la fusée en fonction des autres paramètres.

**Pour conclure**

d) Comment expliquer le mode de propulsion d'une fusée



Alors qu'il est instituteur à Kalouga, Tsiolkovski publie en 1883 un ouvrage, *L'Espace libre*, dans lequel il propose d'utiliser la propulsion par réaction pour les vols dans l'espace. Mais c'est son ouvrage de 1903, *L'Exploration de l'espace cosmique à l'aide d'engins à réaction*, et ses additifs de 1911, 1912, 1914 et 1926 qui vont faire autorité. Tsiolkovski est le premier à comprendre et à mettre en équation le fonctionnement de la fusée. Notons qu'un autre Russe, Konstantin Ivanovitch Konstantinov, dans son *Traité d'artillerie* (1857), avait cerné le principe fondamental du fonctionnement de la fusée. Il écrivait, en effet, que « la quantité de mouvement communiquée à la fusée par la combustion du combustible et du comburant est, à tout instant, égale à la quantité de mouvement des gaz éjectés ». Tsiolkovski s'intéresse à la propulsion à liquides et préconise, plus de cinquante ans avant son avènement, l'utilisation de l'hydrogène et de l'oxygène liquides.

Jacques Villain, extrait de « La conquête de l'espace - Des pionniers à la fin de la guerre froide »  
*Encyclopædia Universalis.*

**Enregistrement 1**  
( $\tau = 40$  ms)

**ANNEXE 1**

● 0

**Enregistrement 2**

● 1

( $\tau = 40$  ms)

● 0

● 2

● 1

● 3

● 2

● 3

●

●

●

●

●

●

●

●

●

ANNEXE 2

( $\tau = 40$  ms)

