

# La cinématique

## 1. Introduction

La *mécanique* est la partie de la physique qui permet de décrire et de comprendre les mouvements des corps matériels. Dans la mécanique, on peut distinguer trois grandes parties : la cinématique, la dynamique et la statique.

La *cinématique* est la partie de la mécanique qui décrit les mouvements sans envisager les causes, les circonstances et les effets de ces mouvements.

La *dynamique* est la partie de la mécanique qui cherche à expliquer les causes des mouvements.

La *statique* est la partie de la mécanique qui étudie les situations caractérisées par l'absence de mouvement. ( Etude des corps en équilibre )

Cette année, nous nous limiterons à l'étude de la cinématique.

## 2. Notions importantes

### 2.1 MOBILE PONCTUEL

Un mobile est un corps qui peut être mis en mouvement

Un mobile ponctuel est un mobile fictif dont les dimensions sont ramenées à celles d'un point dans le but d'en simplifier l'étude du mouvement.

Ainsi si on étudie le mouvement d'une voiture se déplaçant sur une route, sur notre feuille on le représentera par un point qui se déplace. C'est plus facile !



### 2.2 POSITION

En mécanique, la première chose à faire est de pouvoir situer un point dans l'espace afin de caractériser son état de repos ou son état de mouvement.

La position d'un corps est ce qui permet de le situer dans l'espace. Elle est donnée par ses coordonnées (  $x, y, z$  ) dans un système de référence.

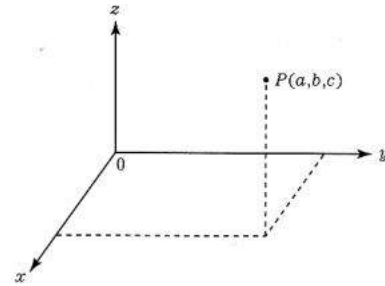
## 2.3 SYSTEME DE REFERENCE OU REFERENTIEL

### 2.3.1 Définition

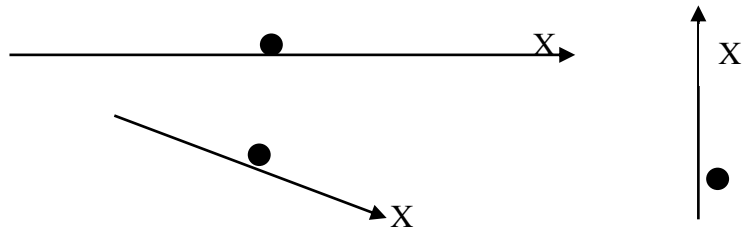
Un système de référence est un ensemble de trois axes sécants non coplanaires d'origine  $O$  qui permet de caractériser les positions d'un corps.

Lorsque le centre de la Terre est choisi comme origine du repère, on parle de repère géocentrique.

Si l'origine  $O$  est placée sur le Soleil, on parle de repère héliocentrique ou copernicien



Dans cette partie du cours, nous nous limiterons à l'étude du mouvement d'objets qui se déplacent en ligne droite. Un seul axe de référence suffit alors. On l'appellera  $X$ .



## 2.4 TRAJECTOIRE D'UN MOBILE

La trajectoire est l'ensemble des positions occupées par le corps au cours du temps.

(elle est ajoutée en noir sur le schéma).

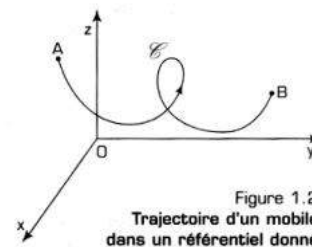


Figure 1.2  
Trajectoire d'un mobile  
dans un référentiel donné

## 2.5 DUREE DU MOUVEMENT

Je pars de la maison à 7 h 55 min, j'arrive à l'école à 8 h 10 min.

Comme nous venons de l'indiquer, nous pouvons simplement imaginer un point qui se déplace (sans plus préciser). Cet exemple va nous permettre de définir quelques termes...

- 7 h 55 min est *l'instant initial* ( $t_0$ ), la maison est la position initiale ( $X_0$ )
- 8 h 10 min est *l'instant final* ( $t_f$ ), l'école est la position finale ( $X$ )
- La durée de mon trajet ( $\Delta t$ ) est de 15 minutes (8 h 10 - 7 h 55) :  $\Delta t = t_f - t_0$ .

*La durée d'un phénomène (ici, mon trajet), s'obtient en soustrayant les instants (les heures) de fin et de début.*

$\Delta t$  est aussi l'intervalle de temps qui sépare deux événements (ici, le départ de la maison et l'arrivée à l'école).

$\Delta$  est la lettre grecque delta majuscule. Correspondant à notre «D», elle est utilisée pour rappeler que nous devons calculer une différence.

*La position initiale est la position occupée par le point mobile à l'instant initial  $t_0$  c'est-à-dire à l'instant où débute l'observation* (ici, la maison).

## 2.6 VITESSE MOYENNE

### 2.6.1 Exemples

1. Supposons que l'on se rende dans le sud de la France situé à plus ou moins 1000 km de chez nous et ce en 12 h 30 min. Nous pouvons dire que le véhicule s'est déplacé à la vitesse moyenne de  $1000 / 12.5 = 80$  km/h
2. Le 9 juillet 1995, lors d'un contre la montre, Indurain relie Huy et Seraing distants de 53 km en 1h 03 min. On sait qu'il n'a pas toujours roulé à la même vitesse mais nous dirons qu'il a une vitesse moyenne de  $53 / 1.05 = 50.48$  km/h

### 2.6.2 Définition

*La vitesse moyenne (au sens commun) d'un mobile est la grandeur qui caractérise la rapidité avec laquelle le mobile s'est déplacé le long de sa trajectoire.*

*Cette vitesse se calcule simplement en en divisant la distance parcourue d par la durée du parcours  $\Delta t$*

$V_{moy} = \frac{d}{\Delta t}$	$V_{moy}$	Vitesse moyenne en $m/s$
	$d$	Distance parcourue en mètres ( $m$ )
	$\Delta t$	Intervalle de temps en secondes ( $s$ )

#### Les unités

Si la distance parcourue  $d$  est en mètre (m) et le temps  $\Delta t$  en seconde (s), la vitesse moyenne (notée souvent  $V_m$ ) s'exprime en m/s mais elle peut aussi s'exprimer en km/h. Il est important de savoir convertir les 2 sortes d'unités.

$$1 \text{ km/h} = 1000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 1 \text{ m} / 3.6 \text{ s}$$

$$\text{ou} \quad \mathbf{1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}}$$

*Pour passer des km/h en m/s : on divise par 3,6*  
*Pour passer des m/s en km/h : on multiplie par 3,6*

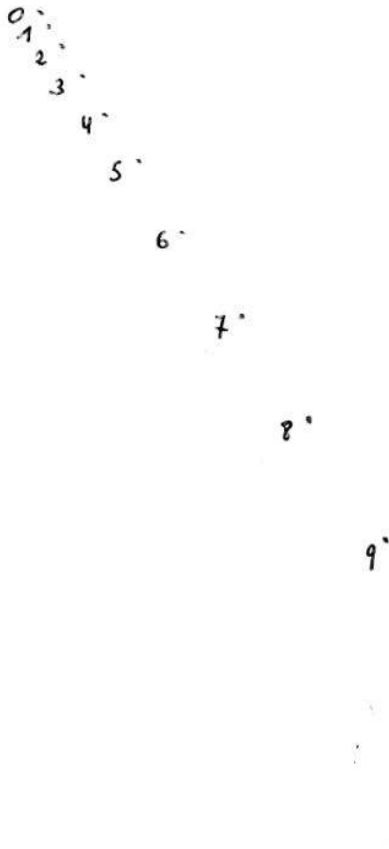
### 2.6.3 Exercices

1. Convertissez les vitesses suivantes en  $m/s$  :  
 72 km/h, 5 km/h (vitesse d'un marcheur), 30 km/s (vitesse de la Terre autour du Soleil).  
 ( rép : 20m/s 1,39m/s 30000 m/s )
2. Convertissez en km/h :  
 10 m/s (vitesse moyenne d'un sprinter), 330 m/s (vitesse du son dans l'air).  
 ( rép : 36 km/h 1190 km/h )
3. Un athlète court un marathon (42,195 km) en 2 h 5 min 42 s. Calculez sa vitesse moyenne.  
 ( rép : 5,59 m/s = 20,1 km/h )
4. Je pars de la maison à 8 h 20 min 30 s. Le compteur de ma voiture indique 437,2 km. Je me gare près du bureau à 9 h 2 min 40 s. Le compteur indique 486,5 km. Calculez la vitesse moyenne durant le trajet (en  $m/s$  et en km/h).  
 ( rép : 19,5 m/s = 70,2 km/h )

## 2.7 VITESSE INSTANTANÉE

### 2.7.1 Exemple

Supposons qu'un objet se déplace en ligne droite en laissant une trace ( un point ) toutes les secondes. Comment peut-on faire pour estimer la vitesse à l'instant 9



Calculer la vitesse moyenne  $V_m$  entre les points :

[9 et 13]  $V_m =$

[9 et 12]  $V_m =$

[9 et 11]  $V_m =$

[9 et 10]  $V_m =$

[8 et 9]  $V_m =$

[8 et 10]  $V_m =$

D'après vous, laquelle de toutes ces vitesses moyennes indique le mieux la vitesse à l'instant  $t = 9$  ?

On notera la vitesse instantanée au point 9

$V_9 =$

**La vitesse instantanée d'un mobile est la vitesse du mobile à un instant précis. Elle est notée  $V(t)$  ou  $V_t$ .**

**C'est la vitesse moyenne de ce mobile déterminée pendant une durée très courte qui encadre le moment considéré.**

Ainsi pour calculer  $V_t$ , on calculera la vitesse moyenne en prenant le point  $(t - 1)$  et le point  $(t + 1)$

Ceci sera très utile pour exploiter les expériences du cours

Calculer à partir de l'exemple précédent la vitesse instantanée aux instants  $t = 6$  s et  $t = 12$  s

### 3. Mouvement rectiligne uniforme

Dans les chapitres qui suivent, nous allons nous intéresser plus particulièrement à des mouvements qui se déroulent sur une ligne droite.

#### 3.1 DEFINITION

*Le mouvement est rectiligne si sa trajectoire est une droite.*

##### 3.1.1 Remarques

Dans ce cas particulier d'un mouvement rectiligne, rappelons que l'étude se fera en prenant :

Un axe de référence noté  $X$

Une origine  $O$

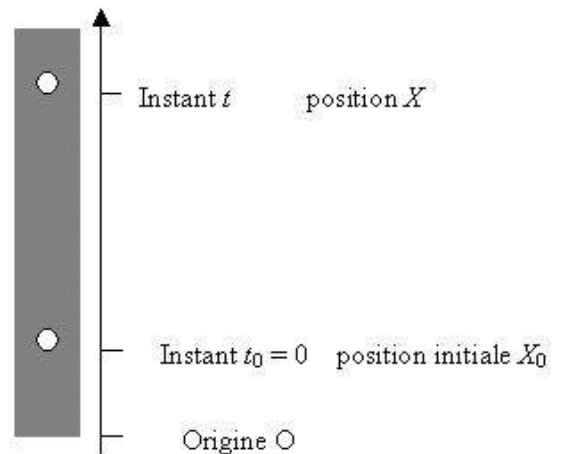
Un instant initial  $t_0$

Un sens d'orientation positif de l'axe

Les différentes positions dans ce cas seront en fonction des différents instants notées :  $x(t_0)$ ,  $x(t_1)$ ,  $x(t_2)$ ,  $x(t_3)$ , ... ou pour simplifier  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , ..

#### 3.2 MOUVEMENT RECTILIGNE UNIFORME ( MRU )

**3.2.1 Expérience** : montée d'une bulle dans un tube rempli d'huile ou d'eau



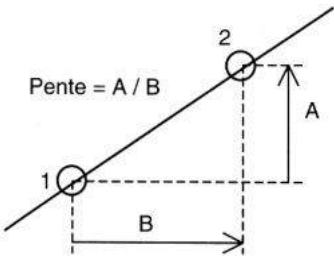
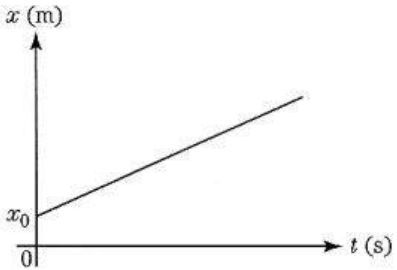
##### 3.2.2 Exploitation

- Noter dans un tableau de mesures les différentes positions  $x$  parcourues depuis l'origine en fonction du temps  $t$
- Faire le graphique  $x$  en fonction de  $t$  ( $x = f(t)$ )
- Comment est le graphique  $x$  en fonction de  $t$  ( $x = f(t)$ ) ?
- Comment évolue  $x$  en fonction de  $t$  ?
- Calculer la vitesse du mobile aux différents instants ( par la méthode des points avant et après)
- Faire le graphique de la vitesse en fonction du temps  $v = f(t)$
- Comment est le graphique  $v = f(t)$  ?
- Comment évolue  $v$  en fonction de  $t$  ?
- Calculer la pente du graphique  $x = f(t)$ . A quoi correspond-t-elle ?

### 3.2.3 MRU : conclusions

1. Le graphique  $x = f(t)$  est une droite passant par la valeur  $x_0$

#### Rappel sur l'équation d'une droite

Mathématique	Physique
$y = mx + p$ <p><math>m</math> = le <u>coefficient angulaire</u> ou <u>coefficient de direction</u> ou <u>la pente</u></p> $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$  <p><math>p</math> = l'ordonnée à l'origine  <math>p</math> est la valeur de <math>y</math> obtenue en faisant <math>x = 0</math>  <math>p</math> est l'intersection de la droite avec l'axe <math>y</math></p>	$X = mt + p$ $m = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1}$ <p>Analysez les unités de <math>m \rightarrow m</math> <b>représente la vitesse moyenne de la bulle</b> <math>m = V = \frac{\Delta X}{\Delta t}</math></p>  <p><math>p = X_0</math> qui représente la position initiale de la bulle  <b>Conclusion : L'équation de notre droite est :</b>  <math display="block">X = X_0 + V.t</math></p>

**L'équation de position  $X = X_0 + V.t$  est une équation qui permet à chaque instant  $t$  de trouver la nouvelle position  $x$  du mobile connaissant sa position initiale et sa vitesse.**

**Le calcul de la vitesse par la méthode du point avant et du point après montre effectivement que le coefficient directeur de la droite dans la graphique  $x = f(t)$  est bien la vitesse du mobile et que cette vitesse est constante dans notre mouvement**

**On appelle mouvement rectiligne uniforme, un mouvement dans lequel la trajectoire est une droite et dans lequel la vitesse est constante.**

Attention : **Ne pas confondre position et déplacement.** Les positions sont notées  $X$  et les déplacements  $d$ . Connaissant  $X$  et  $X_0$ , la valeur du déplacement est :  $d = X - X_0$

### 3.2.4 MRU : lois du mouvement : généralisation

Supposons un corps en MRU depuis une position initiale  $X_0$  ( en  $t_0 = 0$ ) jusqu'à la position  $X$  atteinte à l'instant  $t$

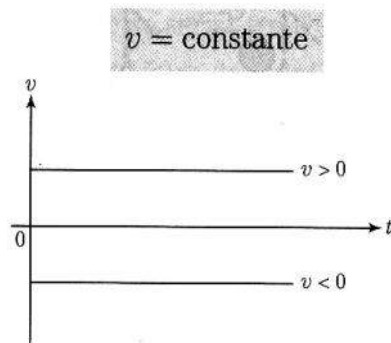


Loi de la vitesse

$$V = \text{constante} = \frac{X - X_0}{t} = \frac{d}{t}$$

☝ Remarque sur le signe de la vitesse

Si	Alors	Donc
$X > X_0$	$V > 0$ , la vitesse est positive	le mobile se déplace dans le sens positif de la trajectoire
$X < X_0$	$V < 0$ , la vitesse est négative (↙)	le mobile se déplace dans le sens négatif de la trajectoire
$X = X_0$	la vitesse $V = 0$	le mobile est à l'arrêt



Le graphe  $v = f(t)$  est une droite horizontale.

Loi de la position

$$X = X_0 + v.t$$

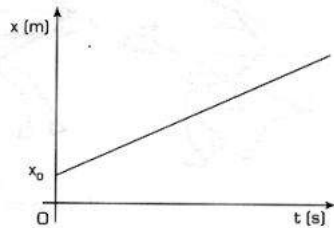


Figure 1.16a  
Graphe  $x = f(t)$  pour un MRU de sens positif

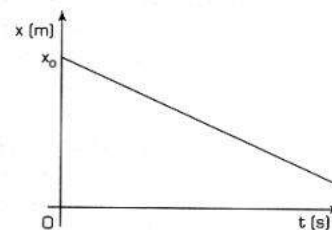


Figure 1.16b  
Graphe  $x = f(t)$  pour un MRU de sens négatif

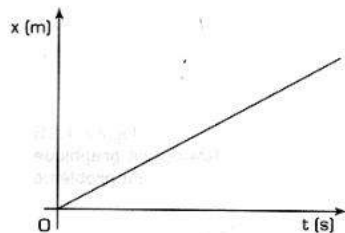


Figure 1.17a  
Graphe  $x = f(t)$  pour un MRU de sens positif, si  $x_0 = 0$

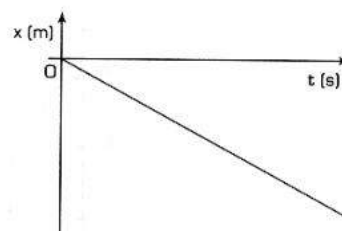
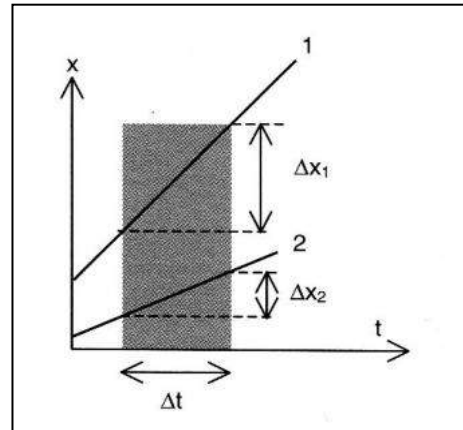


Figure 1.17b  
Graphe  $x = f(t)$  pour un MRU de sens négatif, si  $x_0 = 0$

Le graphe  $x = f(t)$  est une droite oblique

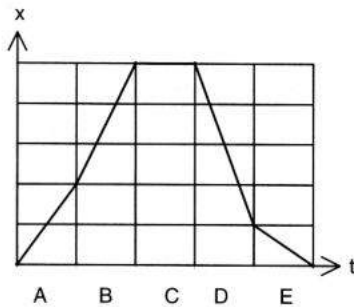
Attention :  
*la pente de ces graphes  $\Delta X / \Delta t$  donne la  
vitesse du mobile.  
Plus la pente du graphique est grande,  
plus la vitesse est élevée.*



### 3.3 EXERCICES SUR LE MRU

#### Remarque importante

On supposera dans tous les exercices qui suivent que les mouvements dont il est question se déroulent en ligne droite et à vitesse constante (ou qu'ils sont formés d'une succession de MRU, comme dans les exercices 1, 2 et 4). C'est rarement le cas dans la pratique. On imagine mal une voiture rouler pendant deux heures en ligne droite et à vitesse constante ! Néanmoins, cette idéalisation permet de résoudre certains problèmes. Il s'agit aussi d'un premier pas vers l'étude des situations plus réalistes que nous rencontrerons plus tard.



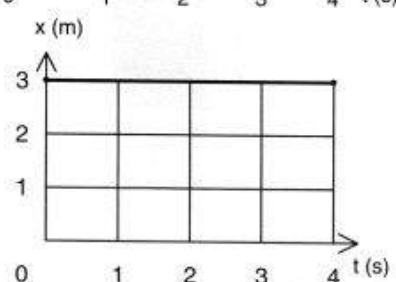
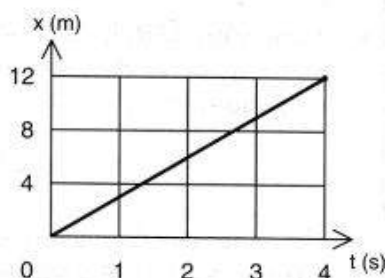
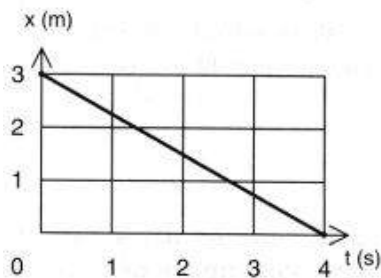
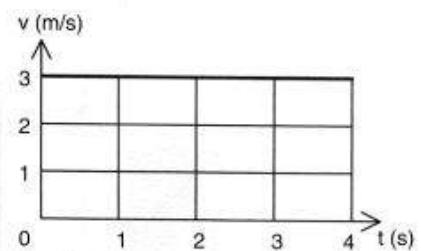
1. Le graphique ci-contre représente les cinq étapes (A à E) du voyage d'un cycliste.

Durant quelle(s) étape(s)...

- sa vitesse est-elle positive ?
- sa vitesse est-elle nulle ?
- sa vitesse est-elle négative ?
- sa vitesse a-t-elle la plus grande valeur positive ?
- le cycliste roule-t-il le plus vite ?
- la plus grande distance est-elle parcourue ?

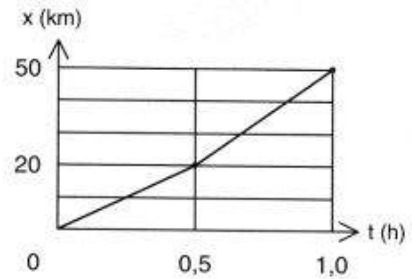
2. Un homme marche en ligne droite jusqu'au coin de la rue pour poster une lettre. Là, il rencontre un ami, bavarde quelques instants puis revient chez lui en courant, toujours en ligne droite. Tracez des graphiques vraisemblables pour  $x(t)$  et  $v(t)$ .

3. Lequel des trois graphiques  $x(t)$  ci-dessous correspond-il au graphique  $v(t)$  donné ci-contre ? Justifiez votre réponse.

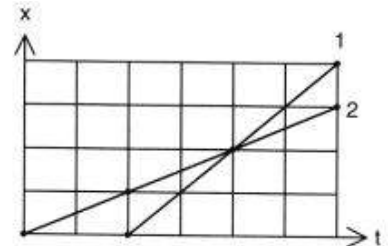




4. Le graphique ci-contre décrit le mouvement d'une voiture. Tracez le graphique  $v(t)$  correspondant.



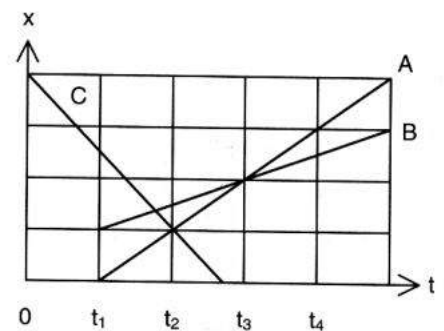
5. Deux voitures (1 et 2) roulent sur une même route (graphique ci-contre).
- Quelle est la voiture la plus rapide ?
  - Que se passe-t-il à l'instant  $t_1$  ?



6. Trois voitures (A, B et C) se déplacent sur une même route rectiligne (graphique ci-contre).

Les propositions suivantes sont-elles vraies ou fausses ?

- Les trois véhicules se déplacent dans le même sens.
  - A est la plus rapide.
  - A dépasse C à l'instant  $t_2$ .
  - A dépasse B à l'instant  $t_3$ .
  - À l'instant  $t_2$ , A roule moins vite que B.
  - À l'instant  $t_1$ , B est plus près de A que de C.
7. Deux voitures partent en même temps de deux villes A et B distantes de 120 km. Elles roulent l'une vers l'autre. La voiture partie de A roule à 60 km/h, celle partie de B à 90 km/h. Déterminez graphiquement à quelle heure et à quelle distance de la ville A les voitures se croiseront.



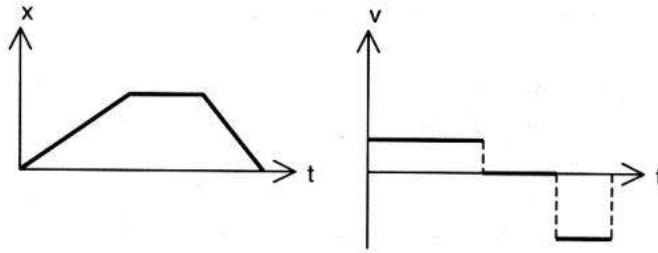
8. Deux automobiles A et B partent d'un même endroit sur la même route rectiligne. Elles roulent dans le même sens. A part à 13 h et B à 13 h 30 min. A roule à 80 km/h et B à 110 km/h. Déterminez graphiquement l'heure et l'endroit du dépassement.

9. Deux trains venant de deux gares A et B distantes de 400 km roulent l'un vers l'autre sur des voies parallèles. Le premier, parti de A à midi, roule à 120 km/h. Le second, parti de B deux heures plus tôt, roule à 80 km/h. Déterminez graphiquement l'heure et l'endroit du croisement.

**Solutions**

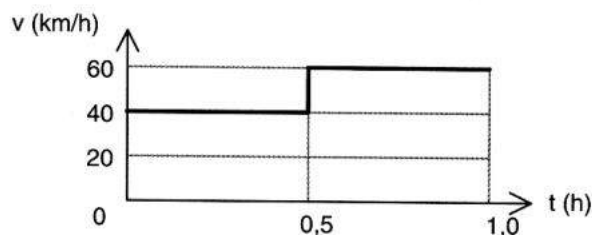
1. a/ A et B ; b/ C ; c/ D et E ; d/ B ; e/ D ; f/ D.

2.



3. Le 2<sup>e</sup>: 12 m sont parcourus en 4 s et c'est le seul graphique pour lequel la vitesse est positive ; elle est nulle dans le 3<sup>e</sup> graphique.

4.



5. a/ La 1 ; b/ 1 dépasse 2.

6. a/ F ; b/ F ; c/ F (ils se croisent) ; d/ V ; e/ F ; f/ V.

7. 48 minutes après le départ (= 0,8 h), à 48 km de A.

8. À 14 h 50 min (14,833 h), à 147 km du départ.

## 4. MRUV (mouvement rectiligne uniformément varié)

### 4.1 EXPERIENCE : LE PLAN INCLINE

Etude d'une bille roulant sur un rail incliné.

### 4.2 EXPLOITATION

- Noter dans un tableau de mesures, les différentes positions  $x$  parcourues depuis l'origine en fonction du temps  $t$  ( nombre de tops du métronome )
  - Faire le graphique  $x$  en fonction du nombre de tops (  $x = f(t)$  )
  - Comment est le graphique  $x$  en fonction de  $t$  (  $x = f(t)$  ) ?
  - Comment évolue  $x$  en fonction de  $t$  ?
  - (Facultatif) Comment peut-on redresser cette courbe ?
  - (Facultatif) Réaliser le graphique  $x$  en fonction de  $t^2$  (  $x = f(t^2)$  )
- Analyser la distance parcourue  $d$  entre deux tops successifs et ce en fonction du temps  
**Une distance  $d$  sur un temps nous renseigne sur la vitesse moyenne entre 2 tops .**

- Faire le graphique de la « vitesse » en fonction du temps  $V = f(t)$
- Comment est le graphique  $V = f(t)$  ?
- Comment évolue  $V$  en fonction de  $t$  ?
- Calculer la pente du graphique  $V = f(t)$ . A quoi correspond-t-elle ?

### 4.3 MRUV : CONCLUSIONS

1. **Le graphique  $x = f(t)$  est une courbe** (parabole) ce qui ne correspond pas à une fonction générale du premier degré. On n'est donc pas en présence d'un MRU
2. (Facultatif) **Le graphique  $x = f(t^2)$  est une droite**  
Les deux grandeurs  $x$  et  $t^2$  sont donc proportionnelles  $\rightarrow x = k \cdot t^2$

*La distance parcourue par la bille est proportionnelle au carré du temps écoulé.*

3. **Le graphique  $v = f(t)$  est une droite oblique**

Les deux grandeurs  $V$  et  $t$  sont donc proportionnelles  $\rightarrow V = k' t$

*La vitesse du mobile est proportionnelle au temps écoulé.*

*La vitesse augmente d'une manière uniforme*

*On dit que la bille accélère ou que le corps subi une accélération pendant sa descente.*

*On appelle MRUV un mouvement dans lequel la vitesse varie (augmente ou diminue) d'une manière uniforme ou dans lequel l'accélération est constante.*

### 4.4 MRUV : LOIS DU MRUV

Dans les expériences précédentes, on s'est arrangé pour simplifier certaines choses. En effet, le début du mouvement coïncidait avec l'origine 0 de l'axe X et à cet endroit la vitesse du mobile était de 0 m/s.

Schématisons une situation plus générale

Appelons

0 : origine du repère

$X_0$  : position à l'instant  $t = 0$  ou la position initiale

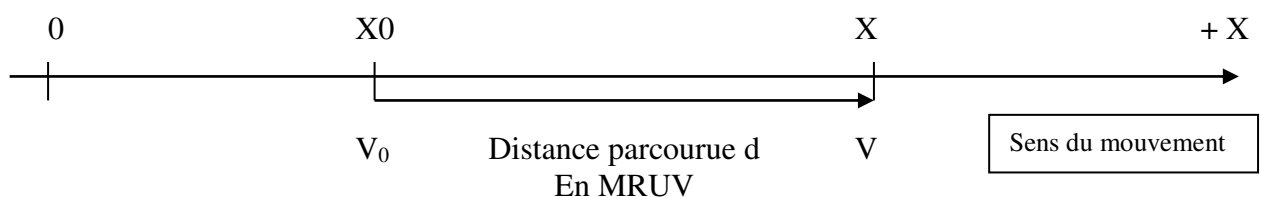
$X$  : la position à l'instant  $t$

$V_0$  : la vitesse à l'instant  $t = 0$  ou vitesse initiale

$V$  : la vitesse à l'instant  $t$

$a$  : l'accélération du mouvement

$t$  : temps que dure le mouvement



**Loi de l'accélération**

$$a = \text{constante} = \frac{V - V_0}{t}$$

***L'accélération est une grandeur qui caractérise la variation de vitesse en fonction du temps***

Elle est d'autant plus grande que la vitesse varie beaucoup en peu de temps.

***On définit l'accélération d'un mobile comme étant le rapport de la variation de vitesse  $V$  sur le temps  $t$  mis pour l'obtenir.***

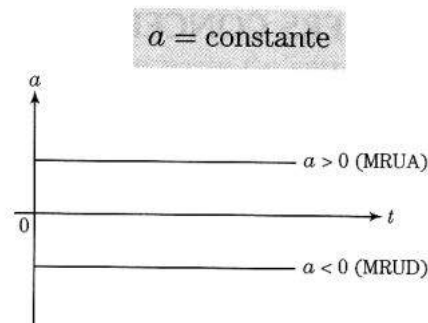
*Elle se note  $a$*

$$a = \frac{\Delta V}{t} = \frac{V - V_0}{t} = \text{constante pour un MRUV}$$

**Les unités**

$V$  en m/s et  $t$  en s alors  $a$  s'exprime en  $\text{m} / \text{s}^2$

***Un mètre par seconde carré est l'accélération d'un mobile dont la vitesse augmente uniformément de 1m/s par seconde écoulée.***



**Le graphe  $a = f(t)$  est une droite horizontale**

***Le mouvement uniformément varié est le mouvement dans lequel la vitesse varie d'une manière uniforme ou dans lequel l'accélération est constante.***

☞ Remarque sur le signe de l'accélération

Si	Alors	Donc	Conclusion
$V > V_0$	$a > 0$ , l' <b><u>accélération est positive</u></b>	<b><u>le mobile voit sa vitesse augmenter</u></b>	il accélère → MRUA mouvement rectiligne uniformément accéléré
$V < V_0$	$a < 0$ , l' <b><u>accélération est négative</u></b>	<b><u>le mobile voit sa vitesse diminuer</u></b>	il ralentit → MRUD mouvement rectiligne uniformément décéléré
$V = V_0$	$a = 0$ , l' <b><u>accélération est nulle</u></b>	le mobile se déplace à vitesse constante	MRU Mouvement rectiligne uniforme

## Exemples d'accélération

Le tableau 1.6 reprend quelques ordres de grandeur d'accélération et leur durée d'application.

mobile	$ a $ (m/s <sup>2</sup> )	durée (s)
ascenseur (au démarrage)	2	3
automobile (arrêt brutal)	10	3
atterrissage en parachute	50	0,2
ouverture du parachute	200	0,2
atterrissage dans un filet de pompier	200	0,1
atterrissage de chute libre	1500	0,02
accident mortel	10000	0,01

Tableau 1.6

## Loi de la vitesse

$$V = V_0 + a.t$$

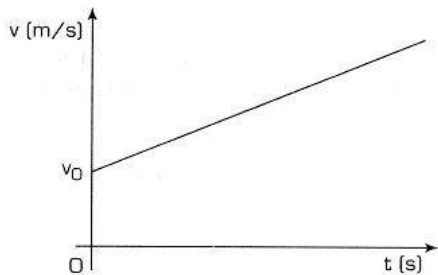


Figure 1.27a

Graphe  $v = f(t)$  pour un MRUA

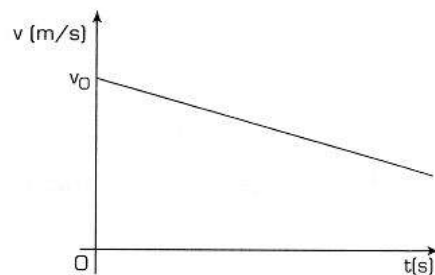


Figure 1.27b

Graphe  $v = f(t)$  pour un MRUD

**Le graphe  $v = f(t)$  est une droite oblique**

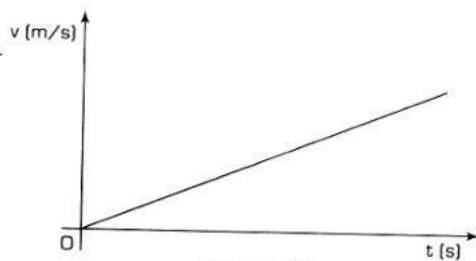


Figure 1.28

Graphe  $v = f(t)$  pour un MRUA  
où  $v_0 = 0$

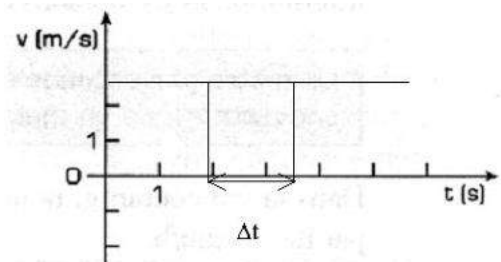
Attention

***La pente  $\Delta V / \Delta t$  de ces graphes donne la valeur de l'accélération  $a$  du mobile***

## Loi de la position

Rappelons-nous que dans un MRU, la vitesse est constante

De ce fait, la surface  $V.\Delta t$  représente la distance parcourue par le mobile en MRU



Par analogie la surface située en dessous de la droite dans le graphique  $V = f(t)$  du MRUA représente aussi la distance parcourue en MRUA par le mobile.

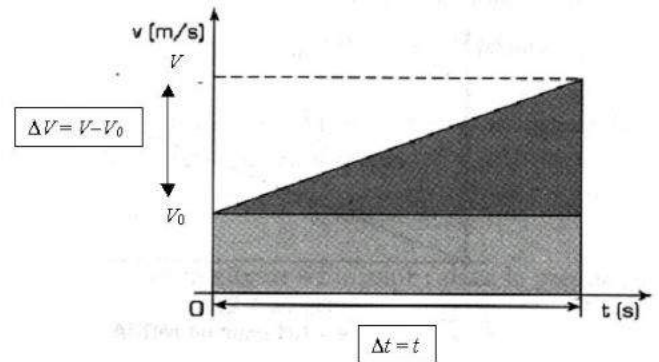
Cette surface représente  $d = \text{aire d'un rectangle} + \text{aire d'un triangle}$

$$\begin{cases} d = V_0 \cdot t + \frac{V - V_0}{2} t \\ a = \frac{V - V_0}{t} \end{cases} \rightarrow d = V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Comme  $d = X - X_0$

$$X = X_0 + V_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

**Le graphe  $x = f(t)$  est une parabole (fonction du second degré en  $t$ )**



#### 4.5 Exercices

$t$ (s)	$v$ (km/h)
0	40
3	45
6	50
9	55
12	60

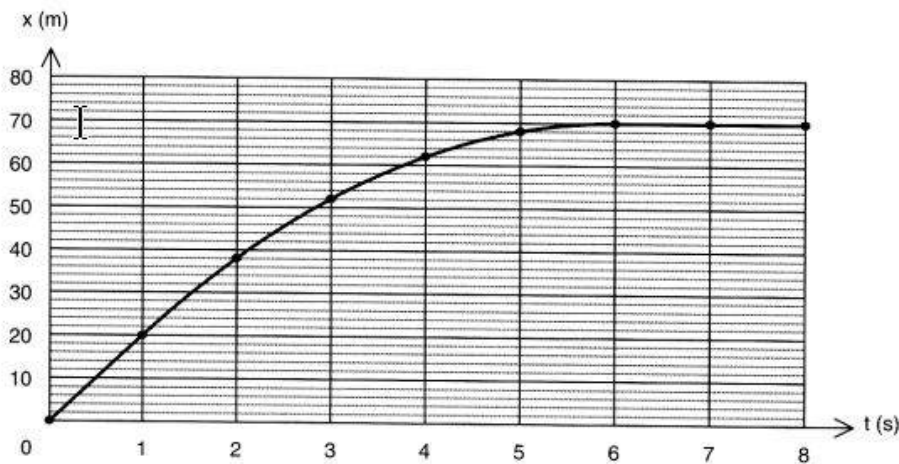
1. Le tableau ci-contre donne la vitesse d'un mobile à différents moments.  
Peut-il s'agir d'un MRUV ? Justifiez.

2. Même question qu'en 1 avec le tableau à droite

$t$ (s)	$v$ (km/h)
40	105
45	102
50	99
55	96

3. Un chariot de barre suivant un MRUV. Son accélération vaut  $2 \text{ m/s}^2$ .
- Tracez le graphique donnant sa vitesse pendant les 5 premières secondes de son mouvement.
  - Calculez les distances parcourues depuis le départ jusqu'aux instants 1, 2, 3, 4 et 5 s.
  - Tracez le graphique donnant la distance parcourue depuis le départ pour les 5 premières secondes du mouvement.
4. Une voiture roulant à  $10 \text{ m/s}$  commence à freiner. Son accélération vaut  $-2 \text{ m/s}^2$ .
- Au bout de combien de temps s'arrête-t-elle ?
  - Quelle distance a-t-elle alors parcourue depuis le début du freinage ?
  - Tracez le graphique de la vitesse en fonction du temps, depuis le début de la décélération jusqu'à l'arrêt.
  - Tracez le graphique de la distance parcourue en fonction du temps, depuis le début de la décélération jusqu'à l'arrêt.

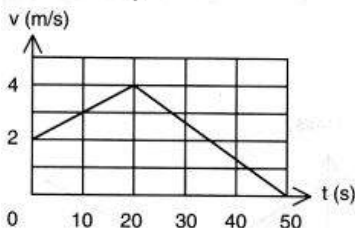
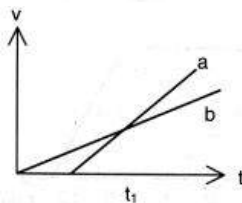
5. Une voiture roule à vitesse constante. Soudain, le conducteur voit un obstacle. Une seconde plus tard (temps de réflexion), il commence à freiner. Le graphique ci-dessous représente le mouvement depuis l'instant où le conducteur aperçoit l'obstacle ( $t = 0$  s).



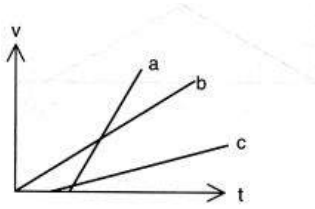
- Au bout de combien de temps la voiture s'arrête-t-elle ?
  - Quelle est la distance d'arrêt (entre l'instant où le conducteur voit l'obstacle et l'arrêt) ?
  - Quelle est la vitesse de la voiture au début du freinage ?
  - Quelle est la distance parcourue par la voiture pendant le temps de réflexion ?
  - Quelle est l'accélération pendant le freinage ?
  - Quelle est la vitesse en  $t = 4$  s ?
  - Faites un graphique  $v(t)$ .
6. Une voiture aborde la bande de lancement d'une autoroute à 54 km/h. Son conducteur accélère ( $a = 1,5 \text{ m/s}^2$ , constante) pour atteindre une vitesse suffisante avant de s'insérer dans le trafic. Combien de temps lui faudra-t-il pour atteindre 108 km/h ? Quelle distance aura-t-il alors parcourue ?

7. Quelle est, parmi les 4 égalités ci-dessous, celle qui correspond à la loi de l'accélération dans un MRUV ( $k$  est une constante non nulle) :

$$a = k \cdot t \quad a = k \cdot t^2 \quad a = -k \cdot t \quad a = k.$$

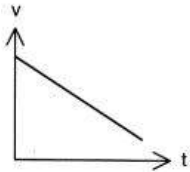


8. Deux voitures démarrent du même endroit et roulent sur une même route rectiligne (graphique ci-contre).
- Quelle est celle qui a la plus grande accélération ?
  - Que se passe-t-il à l'instant  $t_1$  ?
  - Les deux voitures sont-elles au même endroit à l'instant  $t_1$  ? Si non, quelle est celle qui a de l'avance ? Justifiez.
9. Le graphique ci-contre représente 50 secondes du mouvement d'un objet. Calculer la distance qu'il parcourt :
- durant les 20 premières secondes,
  - durant les 30 secondes suivantes.

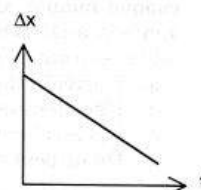
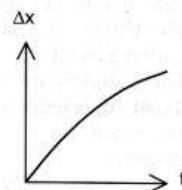
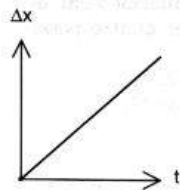
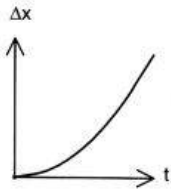
**Des exercices pour s'entraîner**

10. Classez les trois mouvements du graphique ci-contre par ordre d'accélération croissante.

11. Pour pouvoir décoller, un petit avion doit atteindre 144 km/h. Que doit valoir l'accélération constante nécessaire à son décollage sur une piste de 300 m ? Quelle est la durée de la phase d'élan ?



12. Parmi les 4 graphiques  $\Delta x(t)$  ci-dessous, quel est celui qui correspond le mieux au graphique de la vitesse proposé ci-contre ?

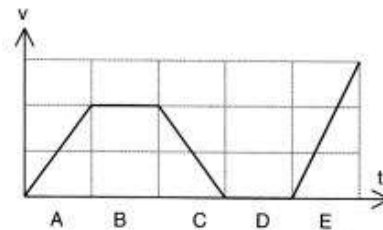


13. Un train roule à 72 km/h lorsque, à l'approche d'une gare, le mécanicien actionne les freins. Le train s'arrête en 15 s. Calculez l'accélération (supposée constante) et la distance de freinage.

14. Le graphique ci-contre représente l'évolution de la vitesse d'un train au cours du temps. Les 5 étapes (A à E) ont la même durée.

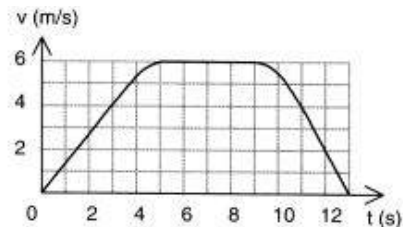
Lors de quelle(s) étape(s)...

- la plus grande distance est-elle parcourue ?
- la plus grande vitesse instantanée est-elle atteinte ?
- la vitesse est-elle constante ?
- l'accélération est-elle positive ?
- l'accélération est-elle négative ?



15. Un ascenseur se déplace du rez-de-chaussée au treizième étage d'un immeuble. L'évolution de sa vitesse est donnée par le graphique ci-contre.

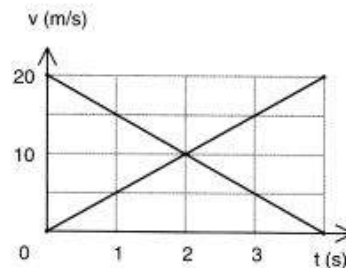
- Quelle distance parcourt-il pendant les 3 premières secondes de son mouvement ?
- Quelle est son accélération en  $t = 3$  s ?



16. Une balle de fusil ayant une vitesse de 400 m/s percute un sac de sable. La balle s'arrête au bout de 30 cm. Calculez l'accélération et la durée du freinage (supposé uniforme).

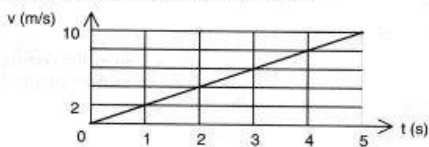
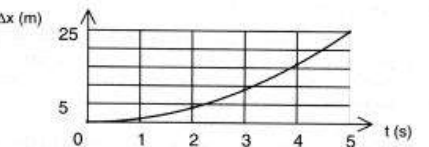
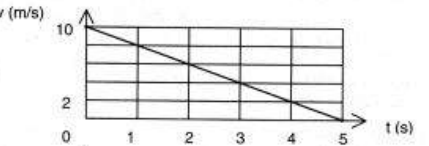
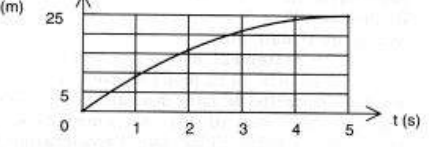
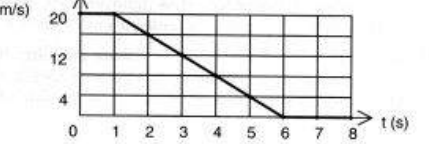
17. Le graphique ci-contre représente le mouvement de deux objets. Est-il vrai ou faux d'affirmer que :

- les mobiles se déplacent dans le même sens ?
- l'un des mobiles ralentit ?
- de  $t = 0$  s à  $t = 2$  s, les mobiles ont parcouru la même distance ?
- les accélérations des deux mobiles sont égales en valeur absolue ?
- les mobiles ont parcouru tous deux 40 m au cours des 4 secondes représentées ?
- entre  $t = 1$  s et  $t = 3$  s, les mobiles ont la même vitesse moyenne ?
- en  $t = 2$  s, l'un des mobiles a parcouru une distance 3 fois plus grande que l'autre ?





## Solutions ( 1 à 17)

<p>1. Oui, la vitesse augmente de 5 km/h toutes les 3 s.</p> <p>2. Oui, la vitesse diminue de 3 km/h toutes les 5 s.</p> <p>3. a/ </p> <p>b/ 1, 4, 9, 16 et 25 m ;</p> <p>c/ </p> <p>4. a/ 5 s ; b/ 25 m ;</p> <p>c/ </p> <p>d/ </p> <p>5. a/ 6 s ; b/ 70 m ; c/ 20 m/s ; d/ 20 m ; e/ -4 m/s<sup>2</sup> ; f/ 8 m/s ;</p> <p>g/ </p>	<p>6. <math>\Delta t = 10 \text{ s}</math> ; <math>\Delta x = 225 \text{ m}</math>.</p> <p>7. <math>a = k</math>.</p> <p>8. a/ a ; b/ elles vont à la même vitesse ; c/ la voiture « b » a de l'avance sur a : les distances parcourues par les voitures depuis le départ sont égales aux aires des triangles jusqu'à <math>t_1</math>. Celui correspondant à b est plus grand (b est partie plus tôt).</p> <p>9. a/ 60 m ; b/ 60 m (aires du trapèze et du triangle).</p> <p>10. c, b, a.</p> <p>11. <math>a = 2,67 \text{ m/s}^2</math> ; <math>\Delta t = 15 \text{ s}</math>.</p> <p>12. Le 3<sup>e</sup>.</p> <p>13. <math>a = -1,33 \text{ m/s}^2</math> ; <math>\Delta x = 150 \text{ m}</math>.</p> <p>14. a/ B ; b/ E ; c/ B et D ; d/ A et E ; e/ C.</p> <p>15. a/ 6 m ; b/ 1,33 m/s<sup>2</sup>.</p> <p>16. <math>a = -267 \text{ 000 m/s}^2</math> ; <math>\Delta t = 0,0015 \text{ s}</math>.</p> <p>17. Seul le C est faux.</p>
--	---

## 5. La chute libre

### 5.1 CHUTE D'OBJETS DANS L'AIR

1. Laissons tomber simultanément, de 2 m de haut, une feuille de papier et une balle de tennis. La balle atteint le sol bien avant la feuille qui virevolte lentement, semblant planer dans l'air.

***Ce premier essai suggère que les objets tombent d'autant plus vite qu'ils sont plus lourds. C'est ce que pensait Aristote.***

2. Reconnaissons l'expérience en froissant la feuille en boule avant de la lâcher. Cette fois, la balle et la feuille froissée arrivent au sol pratiquement en même temps. Pourtant, le poids de la feuille n'a pas changé! Contrairement à ce qu'affirmait Aristote, ce n'est pas la différence de poids qui compte. C'est l'air qui joue un rôle important en ralentissant la feuille intacte.

**La résistance de l'air est d'autant plus grande que la surface que lui offre l'objet est plus importante.**

3. Reconnaissons, mais d'un peu plus haut (3,5 m). Cette fois, la balle a un petit peu d'avance sur la boule de papier. La différence de poids a peut-être une influence... mais en tout cas pas aussi forte que le croyait Aristote.

4. Faisons une dernière expérience. Lâchons simultanément, de 3,5 m de haut, *deux objets de poids très différents... mais pas trop légers: une balle de tennis et une grosse bille d'acier* (une planche posée sur le sol permet d'éviter les dégâts lors de l'impact). Ils arrivent simultanément au sol.

Comparons les deux dernières expériences. Ce n'est pas la différence de poids qui est importante, mais à nouveau la résistance de l'air. C'est l'air qui freine la boule de papier dans la troisième expérience: plus les objets tombent de haut, plus leur vitesse augmente... plus la résistance augmente. Il suffit de sortir sa main par la fenêtre d'une voiture roulant à 40 ou 100 km/h pour se rendre compte que la résistance de l'air augmente avec la vitesse. Et plus les objets sont massifs, moins la résistance de l'air a de l'effet sur eux.

## Conclusions

*L'air freine plus la boule de papier que la balle de tennis. Ce freinage ne devient perceptible que si la vitesse est assez importante, c'est-à-dire si les objets sont lâchés d'assez haut.*

La différence de poids des corps ne semble pas avoir une grande importance dans une chute où la résistance de l'air ne joue pratiquement aucun rôle. *C'est le cas si les objets ne sont pas trop légers, n'offrent pas une grande surface à l'air, ne tombent pas de trop haut.*

## 5.2 EXPERIENCE DU TUBE DE NEWTON

Vers 1600, Galileo Galilei dit Galilée (1564 - 1642), le maître à penser de la physique de la fin de la Renaissance, défendit l'idée que, s'il n'y avait pas d'air, tous les objets, quel que soit leur poids, tomberaient exactement de la même manière.

La confirmation de cette intuition nécessitait la réalisation d'essais de chutes en l'absence d'air. Ceci ne put être réalisé que plus tard (fin du XVIIe siècle), lorsque les « pompes à vide » furent inventées.

En 1971, lors d'une mission Apollo, David Scott fit solennellement, pour des centaines de millions de téléspectateurs, l'expérience sur la Lune. Il lâcha en même temps un marteau et une plume d'aigle. Les deux objets tombant dans le vide presque parfait (la Lune ne possède pas d'atmosphère) arrivèrent simultanément au sol. Galilée ne s'était pas trompé!

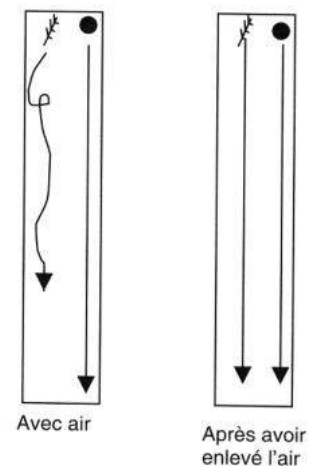
### 5.2.1 Expérience

Au laboratoire, nous pouvons enlever une bonne partie de l'air d'un tube en l'aspirant avec une pompe à vide (mais on ne peut faire un vide parfait). Dans ce tube (appelé tube de Newton) sont enfermés un morceau de plomb et un morceau de plume.

Si nous laissons l'air, la plume tombe beaucoup moins vite que le plomb.

*Mais, quand l'air est enlevé, la plume tombe aussi vite que le plomb. C'est l'expérience du « tube de Newton ». Tous les corps tombent à la même vitesse quelque soit leur masse*

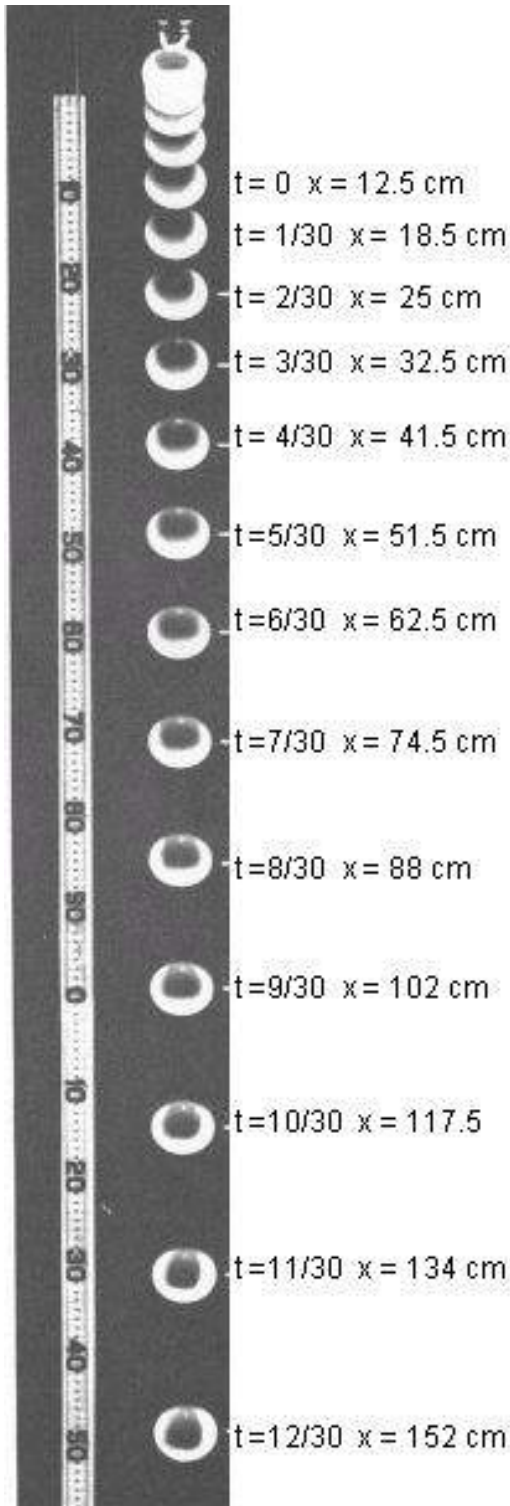
### 5.2.2 Définition



Par chute libre, on entend la chute des corps sans aucune opposition. Elle ne peut avoir lieu que dans le vide.

*On peut montrer que si on s'arrange pour que l'action de l'air soit faible (par exemple en utilisant des objets assez lourds, pas trop étendus, et en ne les lâchant pas de trop haut), la chute dans l'air peut être considérée comme libre.*

### Étude de la chute libre

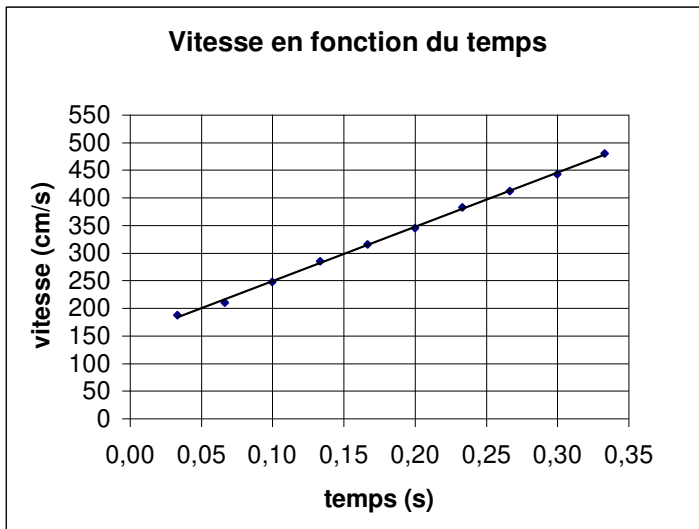


Voici l'étude chronophotographique d'une bille de billard en chute libre.

Les photos sont prises tous les  $1/30$  s

- Faire un tableau de mesure avec le temps  $t$ , la position  $X$  et la vitesse  $V$
- Faire le graphe  $v = f(t)$
- Calculer l'accélération  $a$  de la chute libre

### 5.2.3.1 Conclusions



Le calcul de la pente du graphe  $V = f(t)$  donne une valeur de l'accélération égale à  $9,8 \text{ m/s}^2$

*Tout corps lâché au voisinage de la Terre tombe verticalement.*

*L'étude de la chute montre que tous les corps en chute libre ( ne subissant pas ou très peu les frottements de l'air ) sont en MRUA.*

*L'accélération est la même quelle que soit la masse du corps.*

*Elle est notée  $g$  et vaut  $9,81 \text{ m/s}^2$*

*Notons que la valeur de  $g$  sera arrondie à  $10 \text{ m/s}^2$  pour les applications numériques.*

### 5.2.3.2 Lois de la chute libre

*Ces lois découlent de celles établies pour le MRUA dans lesquelles on remplace  $a$  par  $g$*

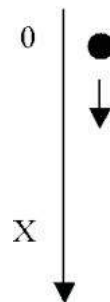
Loi de l'accélération  $a = g = \text{Constante} = 10 \text{ m/s}^2$

Loi de la vitesse  $V = g.t$

Loi de la position  $X = \frac{a.t^2}{2}$

$X$  étant la distance parcourue verticalement depuis le début de la chute.

On la note aussi  $h$  ( hauteur )



## 5.3 LANCEMENT D'UN OBJET VERS LE HAUT

On peut montrer expérimentalement que lancer un objet vers le haut est exactement le symétrique de la chute: si la résistance de l'air est négligeable, le mouvement est un MRUV.

Dans les exercices, on choisit, *pour la montée, le sens positif vers le haut.*

*La vitesse est donc positive et diminuée. L'accélération est alors négative et vaut  $-g$ .*

*La durée de la montée puis celle de la descente sont identiques, l'objet qui retombe retrouve finalement sa vitesse de départ.*

## 5.4 EXERCICE

1. Une pierre lâchée d'un pont touche la surface de l'eau au bout de 2,5s.  
Quelle est sa vitesse au sol ?  
Quelle est la hauteur du pont ?  
(rép : 25m/s / 31,25 m)
2. Une balle est lâchée d'une fenêtre située à 20 m du sol.  
Combien de temps lui faut-il pour atteindre le sol  
Quelle est sa vitesse finale ?  
(rép : 2s / 20m/s)
3. Un hélicoptère capable de rester sur place laisse tomber des colis d'une hauteur de 200m. Quelle est la durée de la chute et la vitesse du colis au sol ?  
(rép : 6,32s / 63,2 m/s)
4. De quelle hauteur doit tomber un corps pour que sa chute dure 1s ?  
( rép : 5m)
5. Représenter l'évolution d'une chute libre en  $t=0$  ,  $t=1$  ,  $t=2$ ,  $t=3$  ,  $t=4$ ,... ( échelle : 5m de chute égal 1 cm )