

# UAA5 : FORCES ET MOUVEMENTS

<b>A) Mouvement rectiligne uniforme MRU.....</b>	<b>3</b>
I- Repos et mouvement d'un corps .....	3
a) Qu'est - ce - qu'un point matériel ? .....	3
b) Repère d'espace.....	4
c) Repère de temps.....	4
II- Mouvement de translation rectiligne .....	5
1) Espace parcouru lors d'un mouvement rectiligne .....	5
III- Le MRU .....	8
1) Activité 1 .....	8
2) Activité 2 .....	8
IV- Définition du mouvement rectiligne uniforme MRU.....	8
V- Loi de la position- Equation horaire du mouvement.....	9
VI- Exercices.....	9
VII- Représentation graphique.....	9
1) Exemple.....	9
Exercices .....	10
<b>B) Mouvement rectiligne uniformément varié MRUV .....</b>	<b>13</b>
I- Activité 1.....	13
II- Activité 2.....	13
III- Introduction .....	14
IV- Définition .....	14
V- Les lois du mouvement .....	14
1) Accélération moyenne.....	14
4) La position du mobile.....	15
VI- Détermination graphique.....	16
1) Détermination graphique de la vitesse moyenne et instantanée.....	16
VII- Résumé MRU - MRUV .....	18
VIII- Exercices .....	19
<b>C) La chute libre.....</b>	<b>21</b>
I- Définition d'un mouvement de chute libre .....	21
II- Activités.....	21
1) Expérience 1 .....	21
2) Expérience 2 : le tube de Newton.....	21
3) Expérience 3 : Chute d'une balle .....	21

4) Expérience 4 : graphes obtenus à partir de la chute d'une balle .....	23
5) Vitesse en fonction du temps.....	23
6) Déplacement en fonction du temps .....	23
<b>III- Le mouvement de chute libre .....</b>	<b>24</b>
1) Corps lancé verticalement vers le bas .....	24
2) Corps lancé verticalement vers le haut.....	24
<b>IV- Influence de la résistance de l'air.....</b>	<b>24</b>
<b>V- Vitesse de chute libre dans un fluide .....</b>	<b>25</b>
3) Exercices.....	25
<b>D) Les lois de Newton.....</b>	<b>26</b>
I- Introduction .....	26
II- Qu'est - ce - qu'un point matériel ? .....	26
III- La première loi : le principe d'inertie.....	26
IV- La seconde loi : le principe fondamental de la dynamique (PFD).....	27
1) Exemples .....	27
2) Enoncé .....	27
3) Comment appliquer cette loi ?.....	27
V- La troisième loi : le principe des actions réciproques (action/réaction).....	27
1) Exemple.....	28
VI- Application : vitesse de chute libre dans un fluide .....	28
VII- Exercices.....	28
<b>E) Mouvement circulaire uniforme : M.C.U. ....</b>	<b>30</b>
I- Définition .....	30
II- Rotation d'une pierre accrochée à une corde (fronde).....	30
III- Vitesse linéaire.....	31
IV- La vitesse angulaire .....	31
V- La Force centrifuge : une force fictive .....	31
VI- La loi de gravitation de Newton (1642-1727) .....	32
VII- Le mouvement central.....	32
VIII- Le satellite géostationnaire.....	33
IX- Exercices.....	34

# UAA5 : FORCES ET MOUVEMENTS

## A) Mouvement rectiligne uniforme MRU

---

### I- Repos et mouvement d'un corps

#### 1) Activité

Considérons deux athlètes courant côte à côte ;

- Sont-ils en mouvement vis à vis du point de départ ?
- Sont-ils en mouvement vis à vis de l'arrivée ?
- Sont-ils en mouvement l'un vis à vis de l'autre ?



Quelle est la condition pour que les notions de mouvement et de repos aient un sens ?

*Un système de référence ou « référentiel » est l'objet à partir duquel on étudie le mouvement.*

Quelle est la condition pour qu'un corps soit au repos vis à vis d'un système de référence ?

*Un corps sera au repos si sa position, par rapport à un référentiel, ne varie pas au cours du temps*

Quelle est la condition pour qu'un corps soit en mouvement vis à vis d'un système de référence ?

*Un corps sera en mouvement si sa position, par rapport à un référentiel, varie au cours du temps*

**La notion de repos ou de mouvement est relative. Elles dépendent du référentiel choisi.**

#### 2) Les référentiels

Lors de l'étude des mouvements (dynamique, cinématique) on peut souvent réduire le mouvement d'un corps à celui de son centre de gravité représenté par un point matériel. L'ensemble des positions prises par un point matériel au cours du temps s'appelle la trajectoire.

Pour décrire le mouvement il faudra donc pouvoir :

- Situer la position d'un point dans l'espace en lui attribuant des coordonnées.
- Mesurer les temps correspondant à chacune des nouvelles positions du point lorsqu'il se déplace.

Un référentiel est donc l'ensemble formé d'un repère (à une ou plusieurs dimensions) et d'une horloge.

##### a) **Qu'est - ce - qu'un point matériel ?**

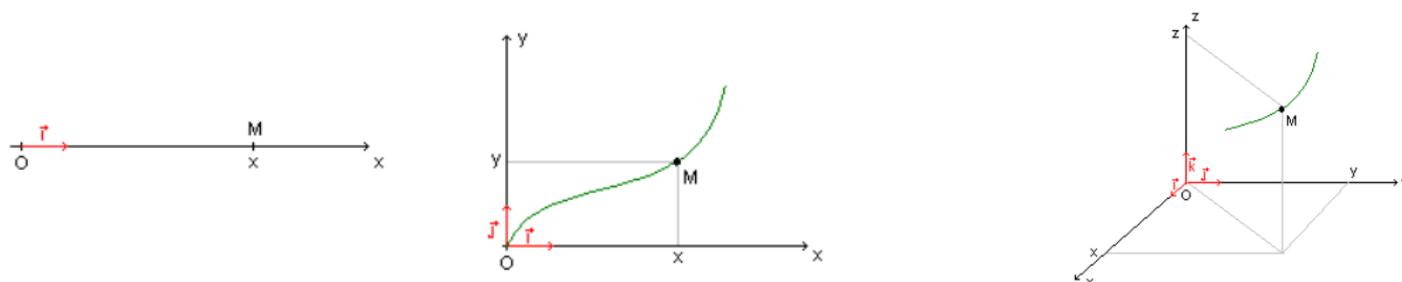
Un point matériel est un objet de dimension nulle, mais qui possède une masse. Pratiquement, cela n'existe pas bien sûr !

En fait, lorsqu'on parle de « point matériel », on désigne un objet dans la taille est si petite que l'on peut négliger ses caractéristiques propres (volume, densité ...)

## b) Repère d'espace

Le mouvement peut s'effectuer sur une droite, sur un plan ou dans l'espace.

Le repère, en physique, est défini comme un ensemble de 1, 2 ou 3 axes du repère mathématique.



On appelle donc repère le système de repérage dans l'espace associé au référentiel.

## c) Repère de temps

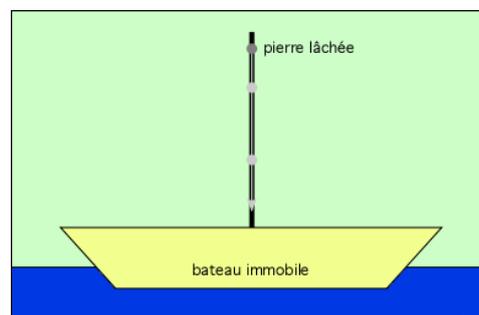
Pourquoi une horloge ? Parce qu'elle nous sert à mesurer les différents instants auxquels se trouve un point lors de son déplacement.

En mécanique newtonienne, on considère qu'il existe une horloge universelle, commune à tous les référentiels. C'est pratique parce qu'on peut définir ainsi la simultanéité des événements dans différents repères.

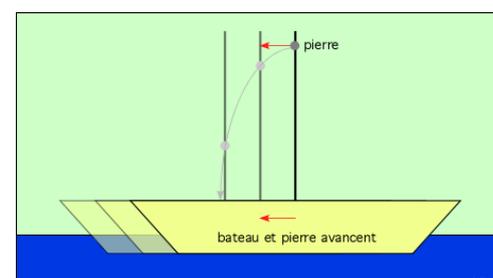


## 3) Relativité galiléenne

Un marin placé au pied du mât d'un bateau observait qu'un objet lâché du haut du mât tombait toujours à ses pieds quand le bateau était à quai. Il voyait une trajectoire rectiligne.

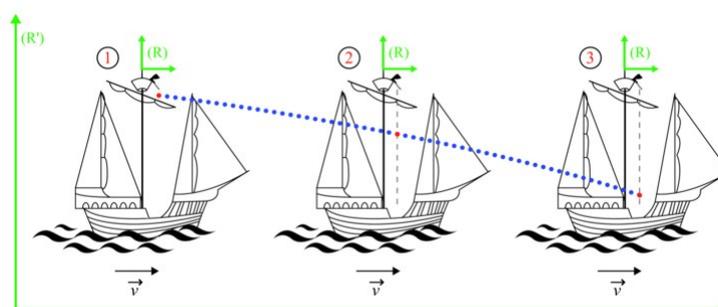


Lorsque le bateau se déplace le long du quai de façon régulière, ce même marin observait toujours une trajectoire rectiligne alors que Galilée se trouvant sur le quai observait une trajectoire parabolique. Les deux observateurs mesurent par contre le *même temps de chute*.



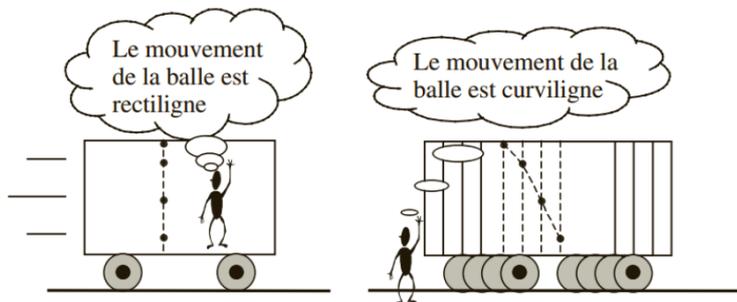
Galilée observe que l'objet semble parcourir un chemin plus long que celui observé par le marin.

Mais la vitesse observée par Galilée est plus grande que celle observée par le marin car Galilée tient compte de la vitesse de l'objet lors de sa chute et de celle du bateau alors que le marin ne tient pas compte de la vitesse du bateau.



**Exemple :**

Un observateur regardant la chute d'un corps lorsqu'il se trouve dans un wagon ou lorsqu'il est à l'extérieur du wagon.

**Remarque :**

Einstein exprimera dans sa théorie de la relativité restreinte (1905) qu'il était indispensable d'attribuer à chaque référentiel sa propre horloge, qui définissait son temps propre ; le temps s'écoule de façon différente selon la vitesse avec laquelle l'observateur se déplace. Cet effet est probant lorsqu'un objet atteint des vitesses proches de celles de la lumière. Ce qui implique qu'il faut oublier la simultanéité.

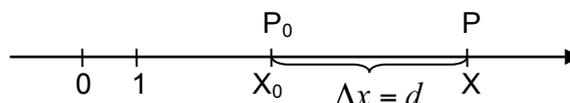
## II- Mouvement de translation rectiligne

Comme son nom l'indique, la trajectoire d'un mobile animé d'un mouvement de translation sera rectiligne et assimilée à une droite.

### 1) Espace parcouru lors d'un mouvement rectiligne

Pour repérer le mouvement d'un mobile, on définit **un axe de position** suivant la trajectoire rectiligne avec :

- Un sens positif (sens de la flèche)
- Une origine : un point 0
- Une unité : mètre (m)



Le mobile se déplace du point  $P_0$  au point  $P$  sur l'axe des  $x$  :

$P_0$  : position  $x_0$

$P$  : position  $x$

$d$  est une variation de position:  $d = \Delta x = x - x_0$  unité SI: m

Le déplacement  $\vec{d}$  est une grandeur vectorielle (point d'application, direction, sens, norme) de norme  $d$ .

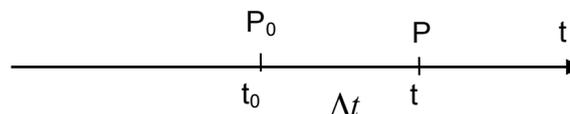
### 2) Durée

On utilise une ligne du temps orienté,

$P_0$  : position  $x_0$ , à un instant initial  $t_0$

$P$  : position  $x$ , à un instant  $t$

$\Delta t$  est une variation de temps:  $\Delta t = t - t_0$  unité SI: s



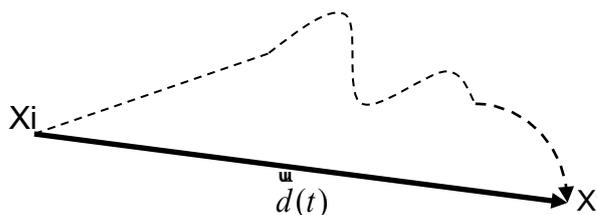
La variation de temps est toujours positive car le temps s'écoule toujours de la même façon.

Exemple : Une voiture passe à Bruxelles à 12h et arrive à Anvers à 13h :  $t_0=12h$  et  $t=13h$   $\Delta t = 1h$

### 3) Vitesse moyenne au sens physique

La vitesse moyenne d'un mobile est **un vecteur** caractérisant la rapidité avec laquelle **son déplacement** a été effectué.

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{d}(t)}{\Delta t}$$



La norme de ce vecteur (ou intensité) est donnée par :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\text{Déplacement}}{\text{Intervalle de temps}} = \frac{\text{Position finale} - \text{Position initiale}}{\text{Intervalle de temps}}$$

En d'autres termes :

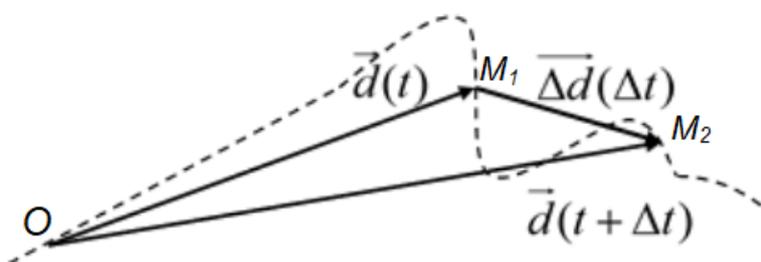
$$v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

L'unité SI de la vitesse est :  $[v] = \text{m/s}$  (mais on utilise aussi le km/h)

### 4) Vitesse instantanée

La vitesse instantanée d'un objet est la vitesse qu'il a à un instant précis et non au cours d'un intervalle de temps donné.

La vitesse instantanée peut se définir comme une vitesse moyenne entre la position  $M_1$  du point mobile à la date  $t_1$  et la position  $M_2$  de ce même point à la date  $t_2 = t_1 + \Delta t$  où  $\Delta t$  représente une durée très faible (voir figure ci-dessous).



Cette vitesse moyenne tend d'autant plus vers la vitesse instantanée à la date  $t$  que la durée  $\Delta t$  tend vers zéro.

Lorsqu'on considère une durée élémentaire  $\Delta t$  « infiniment petite » le point mobile passe d'une position  $M_1$  à une position  $M_2$  « infiniment proche » de  $M_1$ .

La durée élémentaire est choisie suffisamment petite pour que la vitesse moyenne sur le déplacement élémentaire coïncide avec la vitesse instantanée. On peut alors écrire que :

$$v_{\text{instantanée}} = v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{d}(t)}{\Delta t}$$

Vous verrez plus tard en mathématique que l'on peut écrire formellement :

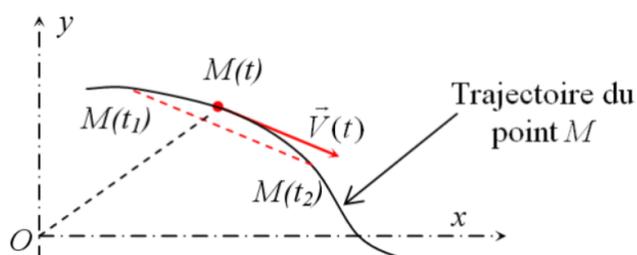
$$v_{\text{instantannée}} = v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d(t) - d(t - \Delta t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{d(t + \Delta t) - d(t)}{\Delta t} = d'(t)$$

On retrouve l'expression en mathématique de la notion de dérivée

**Remarque :**

Lorsque le point M tend vers le point M', la corde MM' tend vers la tangente à la trajectoire au point M.

Le vecteur vitesse  $\vec{v}(t)$  à un temps t est tangent à la trajectoire au point M considéré.



## 5) Exercices

- 1) Un véhicule part d'une ville A à 14h15 et atteint la ville B à 17h30. Si la distance qui sépare A de B vaut 150[km], quelle a été en [m/s] sa vitesse moyenne ?
- 2) Quelle distance a parcouru un piéton qui marche à la vitesse moyenne de 4,2[km/h] pendant 10 minutes ?
- 3) La période de rotation diurne de la Terre est de 24 heures. Quelle est donc, en [km/h], la vitesse d'un point situé à l'équateur ? (Chercher dans la table CRM les données nécessaires).
- 4) Vous regardez le soleil à 9h20. A quelle heure le Soleil a-t-il émis la lumière qui vous parvient à cet instant ? ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ )
- 5) En vous promenant dans la campagne, vous constatez qu'un orage éclate dans une région voisine. Vous enclenchez votre chronomètre au moment où vous observez un éclair. Le bruit du tonnerre vous parvient 15 secondes plus tard. A quelle distance vous trouvez-vous de l'orage ?
- 6) Une automobile circule pendant 20 minutes à la vitesse de 75[km/h], puis pendant les 10 minutes suivantes à la vitesse de 120[km/h]. A quelle vitesse uniforme aurait-elle dû circuler pour parcourir, dans le même temps, la même distance totale ?

### III- Le MRU

#### 1) Activité 1

Etudions le mouvement d'un train à vitesse constante. Le tableau suivant nous donne sa position en fonction du temps.

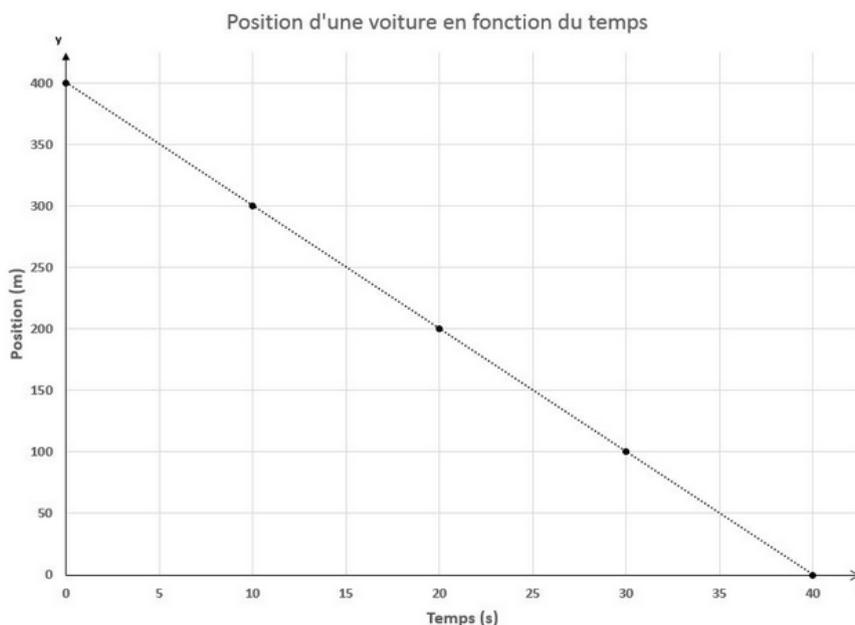
Position (km)	38	85,5	133	171	285
Temps (min)	20	45	70	90	150

#### Questions

- 1) Pourquoi appelle-t-on le mouvement du train un mouvement rectiligne uniforme (MRU) ?
- 2) Tracer le graphe de la distance en mètres en fonction du temps en secondes. Que remarquez-vous ?
- 3) Déterminer à l'aide du graphe la distance parcourue par le train au bout de 1h et 15 min ?
- 4) Quelle est la vitesse du train ?
- 5) Déterminer l'aire sous la courbe du graphe de la vitesse en fonction du temps entre 0 et 1h 15 min. Que remarquez-vous ? Quelle conclusion pouvez-vous faire ?

#### 2) Activité 2

Observe le graphique suivant qui caractérise le déplacement d'un mobile. Que peux-tu dire du mouvement ? Que peux-tu déterminer à partir du graphe ?

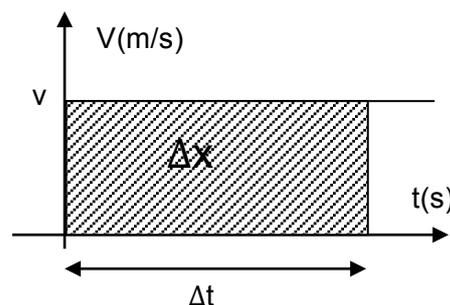


### IV- Définition du mouvement rectiligne uniforme MRU

Un mobile animé d'un mouvement rectiligne uniforme MRU est caractérisé par une trajectoire rectiligne parcourue à vitesse constante.

Son déplacement sera donc proportionnel au temps.

MRU : 
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{constante}$$
      Unité SI : m/s



**Remarque :**

Si on représente la vitesse en fonction du temps qui pour un MRU est une constante, l'aire sous la courbe correspond au déplacement du mobile.

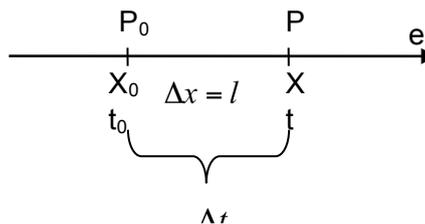
## V- Loi de la position- Equation horaire du mouvement

Un mobile a une position  $P_0 : x_0$  à  $t_0$  et une position  $P : x$  à  $t$ .

Son déplacement est de  $\Delta x = x - x_0$ . La vitesse moyenne du mobile est alors :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Leftrightarrow \boxed{\Delta x = v\Delta t} \Leftrightarrow x - x_0 = v\Delta t$$

$$x = x_0 + v\Delta t \Leftrightarrow \boxed{x = x_0 + v(t - t_0)}$$



On obtient alors la loi de position ou équation du mouvement ou encore équation horaire du mouvement.

**Remarques :**

- $\Delta x = +v\Delta t \Leftrightarrow x = x_0 + v(t - t_0)$  : le sens du mouvement est dans le sens **positif** de l'axe des positions
- $\Delta x = -v\Delta t \Leftrightarrow x = x_0 - v(t - t_0)$  : le sens du mouvement est dans le sens **négalif** de l'axe des positions

## VI- Exercices

La vitesse d'une voiture est de 20 m/s. Combien de temps lui faut-il pour atteindre une ville distante de 65 km ? Quelle distance aura parcouru le véhicule en 25 mm ?

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{d}{v} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{65 \cdot 10^3}{20} = 3250s \quad \Delta t = \frac{3250}{60} = 54 \text{ min}$$

$$l = v \cdot \Delta t \Leftrightarrow l = 20 \cdot 25 \cdot 60 = 30000m = 30km$$

## VII- Représentation graphique

L'équation horaire d'un mouvement MRU est l'équation d'une droite :

$$x = x_0 \pm v(t - t_0)$$

$x =$	$\pm v \cdot$	$(t - t_0)$	$+$	$x_0$
	pente	variable temps		ordonnée à l'origine

### 1) Exemple

Une voiture 1 quitte la borne 145,6km de l'autoroute à 8h en roulant à une vitesse de 54km/h une heure plus tard une autre voiture 2 réalise un trajet en sens inverse à 82km/h en partant de la borne 356 km

- Déterminer l'instant auquel les deux véhicules vont se croiser.
- Déterminer la borne où se passera le croisement.

- **Véhicule 1 :**

$P_0: 145,6 \text{ km}$   $t_0 = 8\text{h}$

Le sens de son mouvement est vers les  $x$  positifs

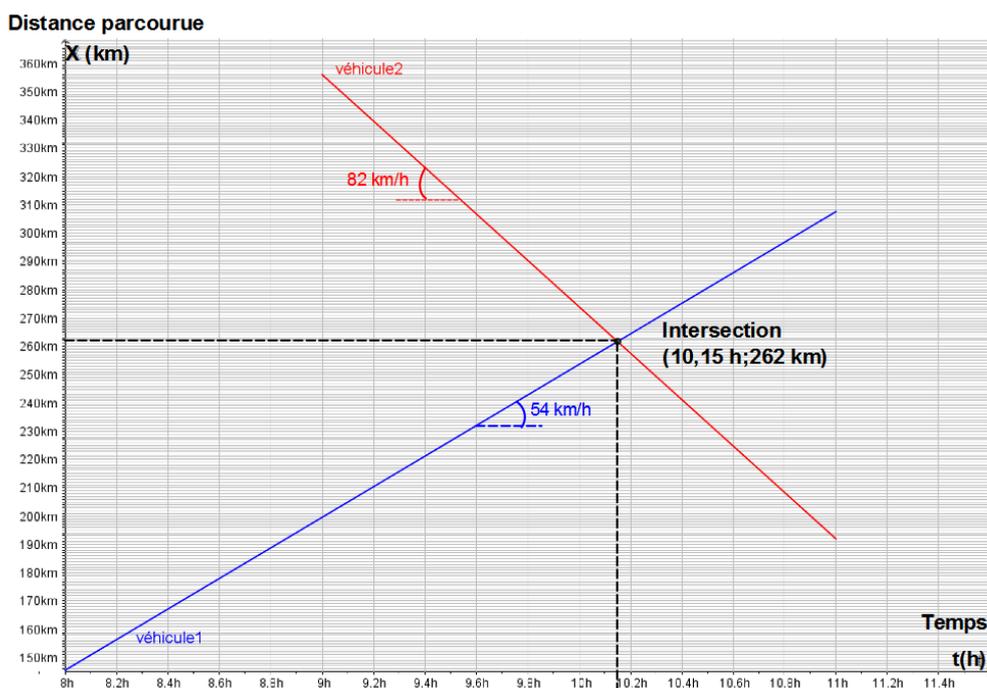
La distance parcourue par le véhicule 1 au cours du temps est représentée par une droite croissante de pente égale à sa vitesse moyenne constante (54 km/h).

### 1) Véhicule 2 :

$P_0: 356 \text{ km}$   $t_0 = 9\text{h}$

Le sens de son mouvement est vers les  $x$  négatifs

La distance parcourue par le véhicule 2 au cours du temps est représentée par une droite décroissante de pente égale à sa vitesse moyenne constante (82 km/h)



### La rencontre

La rencontre correspond au point d'intersection entre les deux droites. C'est à dire à la borne

$t = 10,15 \text{ h} = 10\text{h et } 9 \text{ minutes}$  et  $x = 262 \text{ km}$

## Exercices

- 1) Un cycliste part de Versoix à 8 heures du matin. Il roule pendant 2 heures à la vitesse constante de 25[km/h] en direction de Lausanne. Il s'arrête alors pendant  $\frac{1}{2}$  heure, puis il repart en sens inverse avec une vitesse différente. Il arrive alors chez lui à 11h
  - a) A quelle vitesse a-t-il effectué le retour ?
  - b) Tracer le graphique horaire de son mouvement.

- 2) Trace le graphique horaire de la voiture à partir des données du tableau suivant. Que peux-tu dire de son mouvement ? détermine la vitesse du véhicule.

### Déplacement d'une voiture en fonction du temps

Temps (s)	Déplacement (m)
0	400
10	300
20	200
30	100
40	0

- 3) Un train parcourt 540km à la vitesse constante de 75km.h entre sa ville de départ "A" et une autre ville "B".

Il s'arrête 1h35 puis parcourt 132 km à 85km/h vers la ville "C".

- Calculez le temps mis entre les deux première villes "A-B".
- Calculez le temps mis dans sa deuxième tranche "B-C".
- Calculez le temps total mis par le train pour relier la première ville "A" à la troisième "C".

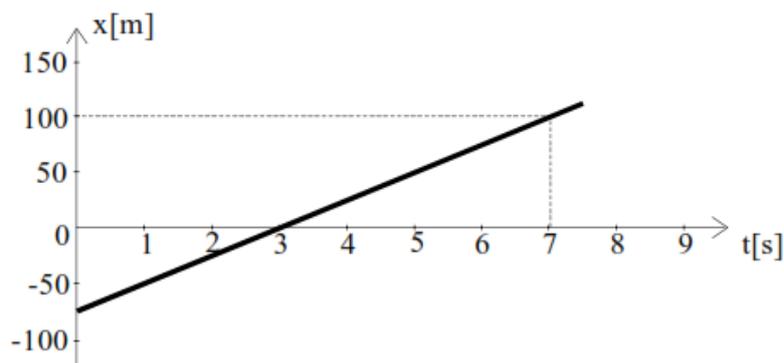


- 4) Une voiture 1 quitte la ville A vers la ville B distante de 1350 km en roulant à une vitesse de 54km/h au même moment une autre voiture 2 réalise le même trajet mais en sens inverse à 82km/h.

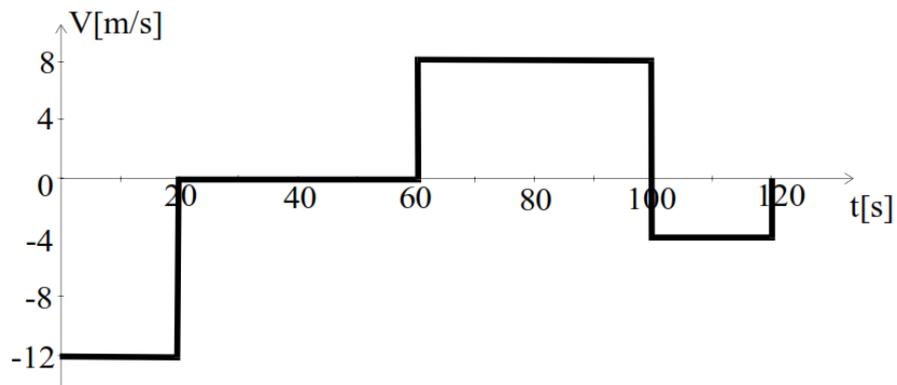
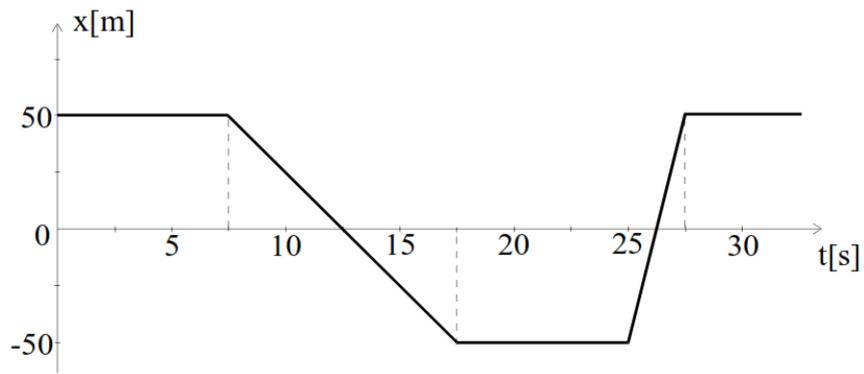
- Déterminer graphiquement l'instant auquel les deux véhicules vont se croiser
- Déterminer le lieu où se passera le croisement.



- 5) Le graphique horaire d'une voiture en MRU est le suivant :  
En examinant soigneusement ce graphique :



- Donner la position initiale de la voiture,
  - Calculer sa vitesse et vérifier qu'elle est constante
  - Calculer sa position après 2 minutes.
- 6) Pour chacun des graphiques ci-dessous, donner le maximum d'informations sur le mouvement représenté. (Position initiale, type de mouvement, sens du mouvement, vitesse, ...).



## B) Mouvement rectiligne uniformément varié MRUV

### I- Activité 1

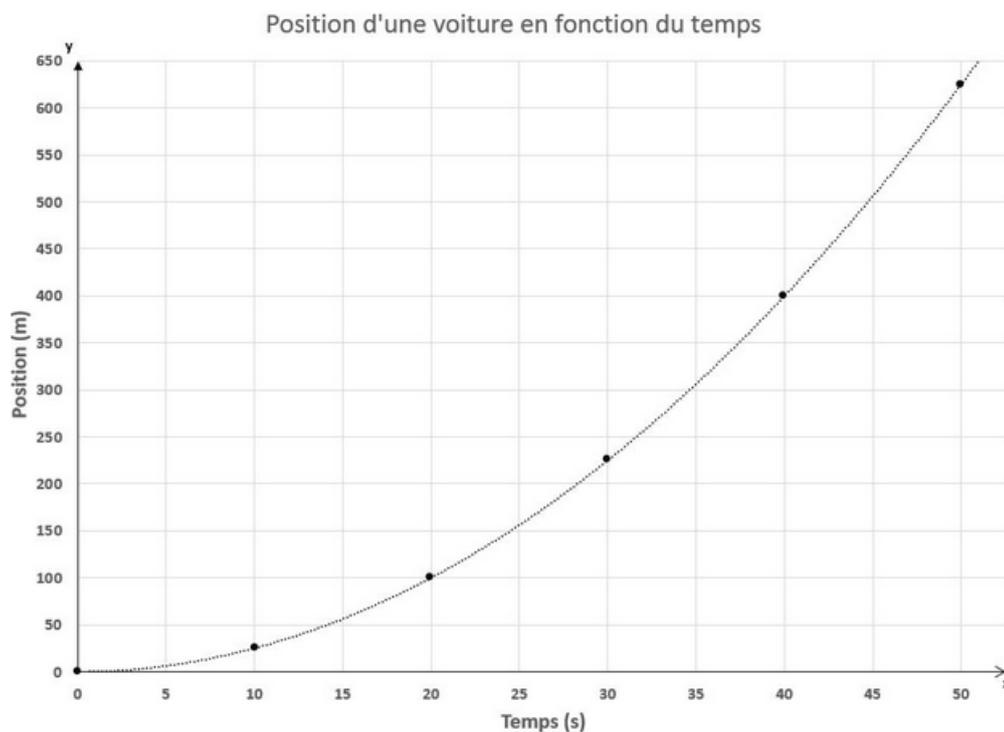
Etudions le mouvement d'un train dont la vitesse en fonction du temps est donnée par le tableau suivant :

Vitesse (m/s)	10	22	40	70	82	62	22	0
Temps (s)	0	10	25	50	60	70	90	101

#### Questions

- 1) Pourquoi appelle-t-on le mouvement du train un mouvement rectiligne uniformément varié (MRUV) ?
- 2) Tracer le graphe de la vitesse en m/s en fonction du temps en seconde. Que remarquez-vous ?
- 3) Déterminer à partir du graphe la vitesse du train à  $t=30s$  et  $t=80s$
- 4) Détermine les valeurs caractéristiques du graphe obtenu et explique ce qu'ils représentent.
- 5) Par analogie avec le mouvement MRU que représente alors l'aire sous la courbe du graphe de la vitesse en fonction du temps ? Faire le calcul de 0 à 10s, puis de 0 à 20s et ainsi de suite jusqu'à 60 s.
- 6) Tracer le graphe des valeurs obtenues en fonction du temps. Que remarquez-vous ?
- 7) Quel graphe faut-il construire pour déterminer la position du train à n'importe quel temps  $t$  ?

### II- Activité 2



A partir du graphe ci-dessous que peux-tu dire du mouvement ?

Détermine la vitesse moyenne du mobile entre  $t=10s$  et  $t=40s$

Comment déterminer la vitesse à  $t=20s$  ?

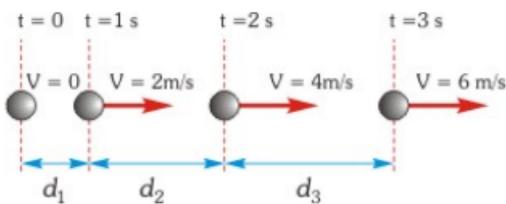
### III- Introduction

Une voiture double un camion. La vitesse instantanée n'est plus une constante. Elle augmente avec le temps

Une voiture freine pour laisser passer un piéton. La vitesse instantanée diminue avec le temps. Ce sont tous deux des mouvements variés.

### IV- Définition

Le mouvement rectiligne uniformément varié est le mouvement caractérisé par une trajectoire rectiligne parcourue à une vitesse qui varie proportionnellement avec le temps.



Le mouvement sera **accélééré** MRUA si la vitesse **augmente** proportionnellement en fonction du temps

Le mouvement sera **décélééré** MRUD si la vitesse **diminue** proportionnellement en fonction du temps

### V- Les lois du mouvement

Par définition du MRUV, la vitesse varie proportionnellement avec le temps donc :

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{constante}$$

#### 1) Accélération moyenne

Lorsque la vitesse d'un mobile n'est plus constante, l'accélération est la grandeur physique qui caractérise la variation de la vitesse au cours du temps.

L'accélération moyenne d'un objet est donc donnée par :

$$a_m = \frac{v_m}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Pour un mouvement MRUV l'accélération est une constante

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{constante}$$

$$\text{Unités : } [a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{m/s}{s} = m/s^2$$

## 2) Accélération instantanée

L'accélération instantanée d'un objet est l'accélération qu'il a à un instant précis et non au cours d'un intervalle de temps donné.

Cette accélération est obtenue en raccourcissant l'intervalle de temps entre les deux mesures de position finale et initiale, jusqu'à ce que cet intervalle soit infiniment court, et tende vers zéro. On a alors l'accélération instantanée à ce moment précis.

En mathématique vous verrez plus tard qu'il s'agit de la dérivée seconde du déplacement et que l'on peut écrire formellement que :

$$a_{\text{instantanée}} = a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t) - v(t_0)}{\Delta t} = \frac{dv(t)}{dt} = d^2r(t)$$

## 3) Vitesse d'un MRUV

Si un mobile est en mouvement avec une vitesse initiale  $v_0$  à un temps  $t_0$  puis accélère (ou décélère) pour atteindre une vitesse  $v$  à un temps  $t$ . On peut écrire alors que :

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \pm a \Leftrightarrow \frac{v - v_0}{t - t_0} = \pm a \Leftrightarrow v - v_0 = \pm a(t - t_0) \Leftrightarrow v = v_0 \pm a(t - t_0)$$

L'équation de la vitesse d'un mouvement MRUV est l'équation d'une droite:

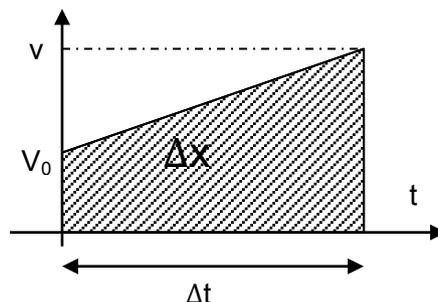
$$v = v_0 \pm a(t - t_0) \Leftrightarrow v = \underbrace{\pm a}_{\text{pente}} \cdot \underbrace{(t - t_0)}_{\substack{\text{variable} \\ \text{temps}}} + \underbrace{v_0}_{\substack{\text{ordonnée} \\ \text{à l'origine}}}$$

Le mouvement sera **accélééré MRUA** si  $v = a(t - t_0) + v_0$ , la vitesse augmente proportionnellement avec le temps.

Le mouvement sera **décélééré MRUD** si  $v = -a(t - t_0) + v_0$ , la vitesse diminue proportionnellement avec le temps.

## 4) La position du mobile

Considérons le graphe obtenu de la vitesse en fonction du temps pour un mobile qui serait accéléré (MRUA). La vitesse augmente alors proportionnellement avec le temps.

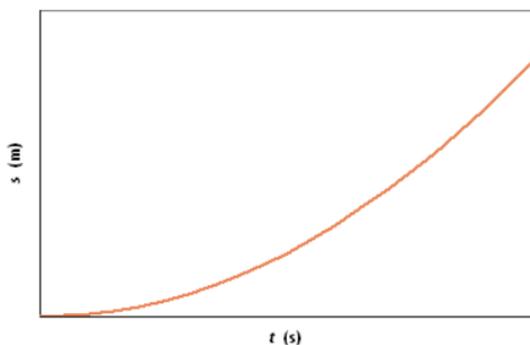


L'aire sous la courbe est égale au déplacement du mobile

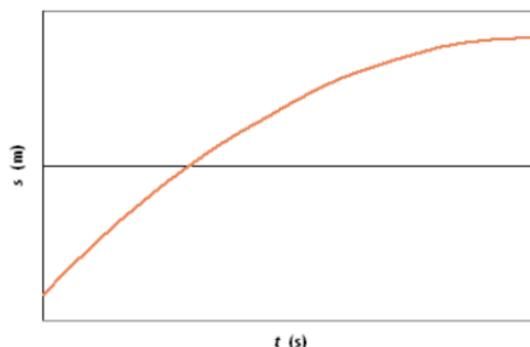
Le graphe du déplacement du mobile en fonction est une demi parabole, il s'agit d'une fonction du second degré.

L'équation est de la forme :  $x(t) = at^2 + b$

Position en fonction du temps (MRUA)



Position en fonction du temps (MRUD)



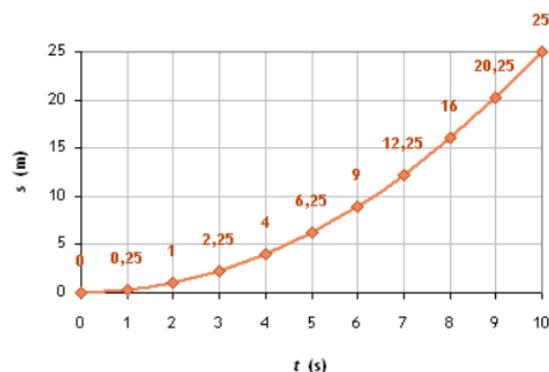
## VI- Détermination graphique

### 1) Détermination graphique de la vitesse moyenne et instantanée

Déterminer à partir des graphes ci-dessous :

- La vitesse moyenne du mobile entre la 2<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> seconde ?
- La vitesse instantanée du mobile à la 6<sup>e</sup> seconde

Position du mobile en fonction du temps

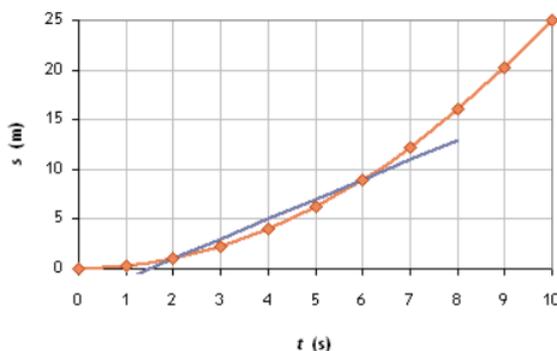


a) La vitesse moyenne du mobile entre la 2<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> seconde ?

La valeur de la vitesse moyenne entre  $t=2s$  et  $t=6s$  est obtenue en calculant le coefficient angulaire de la droite sécante :

$$v_m = \frac{9-1}{6-2} = 2 \text{ m/s}$$

Position du mobile en fonction du temps

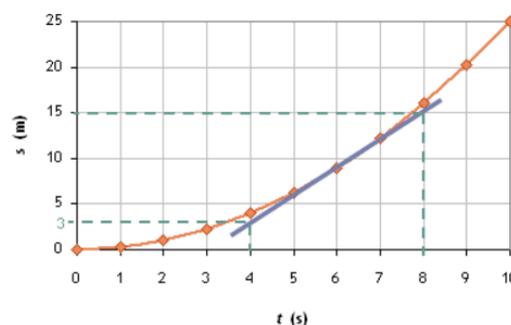


b) La vitesse instantanée du mobile à la 6<sup>e</sup> seconde

En calculant le coefficient angulaire de la droite tangente à  $t=6s$ , on obtient la valeur de la vitesse instantanée :

$$v(t=6s) = \frac{15-3}{8-4} = 3 \text{ m/s}$$

Position du mobile en fonction du temps



## 2) Détermination graphique de l'accélération moyenne et instantanée

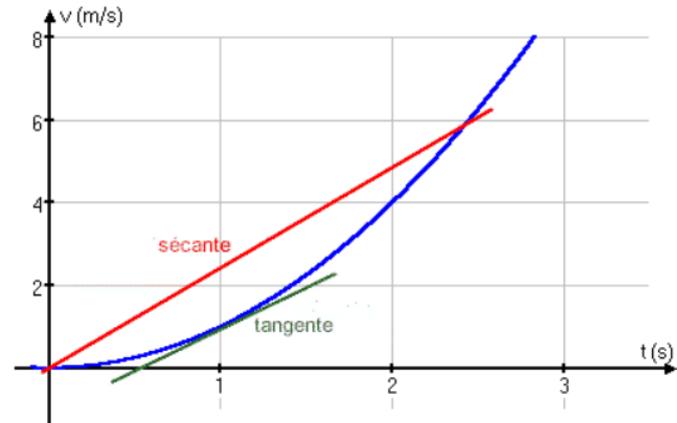
Déterminer à partir des graphes ci-dessous :

- L'accélération moyenne du mobile entre  $t=0\text{s}$  et  $t=2,5\text{s}$
- L'accélération instantanée du mobile à  $t=1\text{s}$

De la même manière que précédemment :

$$a_m = \frac{6-0}{2,5-0} = 2,4 \text{ m/s}^2$$

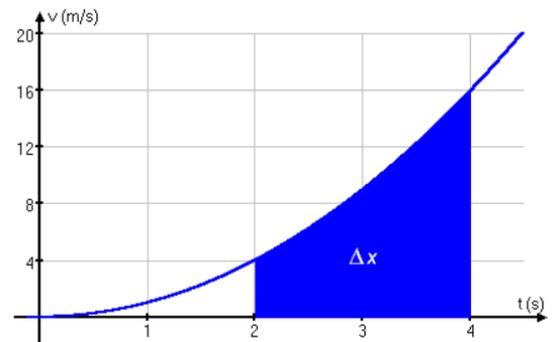
$$a(t) = \frac{2,5-0}{1,5-0,5} = 1 \text{ m/s}^2$$



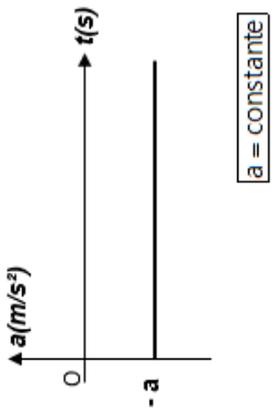
## 3) L'aire sous la courbe de la vitesse en fonction du temps

De manière générale, l'aire comprise sous la fonction de vitesse (graphique de la vitesse en fonction du temps) pour un intervalle de temps donné (entre  $t = 2\text{s}$  et  $t = 4\text{s}$  sur le graphique) correspond au déplacement effectué.

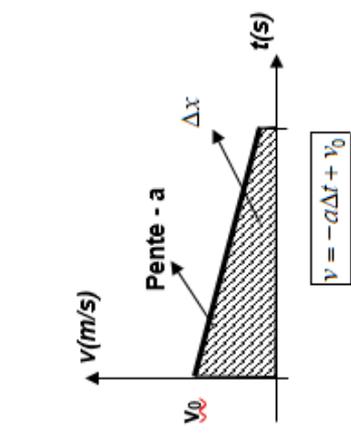
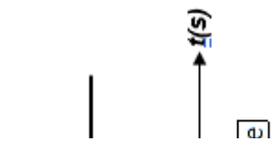
L'aire, sur un graphique de vitesse en fonction du temps, possède des unités de déplacement.



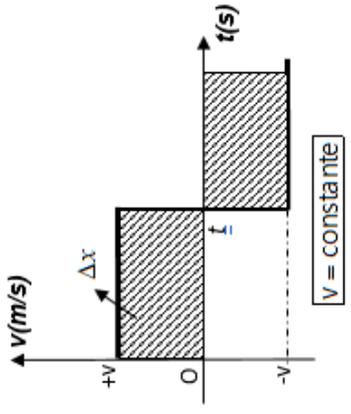
# VII- Résumé MRU - MRUV



$a = \text{constante}$

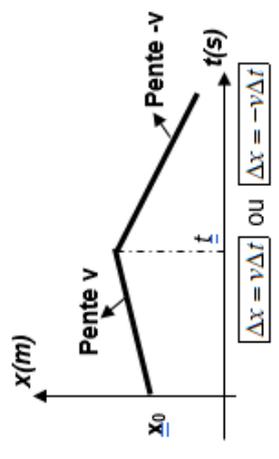
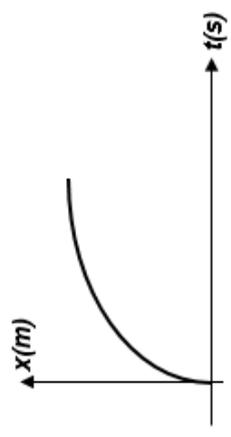


$v = -a\Delta t + v_0$



$v = \text{constante}$

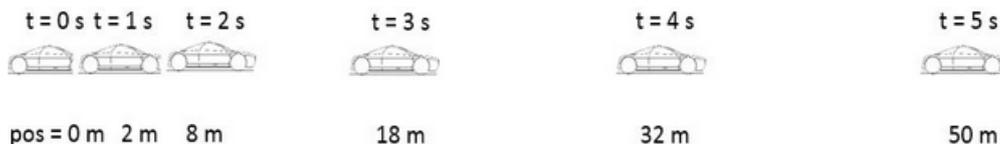
$a = 0$



$\Delta x = v\Delta t$  ou  $\Delta x = -v\Delta t$

## VIII- Exercices

- 1) Trace sur un graphe la position du mobile en fonction du temps. Que peux-tu dire du mouvement ?



- 2) A partir des données du tableau suivant, tracer sur un graphe la vitesse du véhicule en fonction du temps.

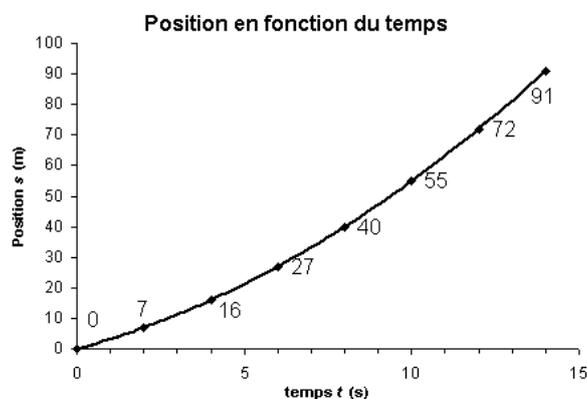
**Vitesse d'une voiture en fonction du temps**

Temps (s)	Vitesse (m/s)
0	12,5
10	10,0
20	7,5
30	5,0
40	2,5

Déterminer le temps écoulé et la distance parcourue par la voiture lorsqu'il est à l'arrêt.

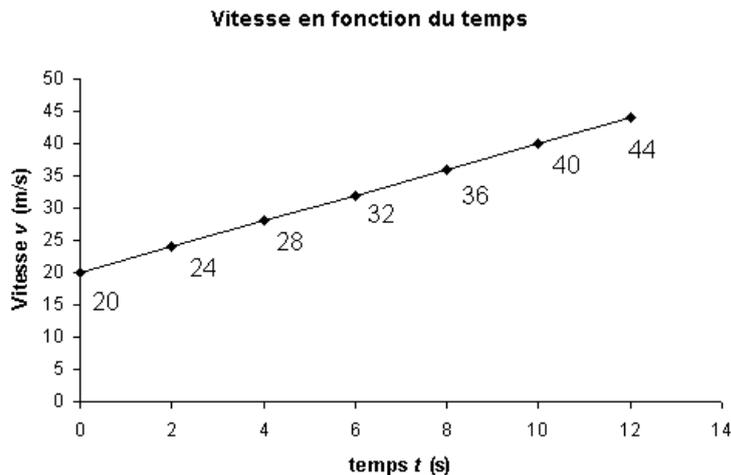
- 2) Voici le graphique de la position en fonction du temps d'un mobile.

- Quel était le déplacement du mobile après 6 secondes ?
- Quelle était la vitesse instantanée du mobile au temps 6 s ?
- Quelle a été la vitesse moyenne du mobile pour tout le trajet ?

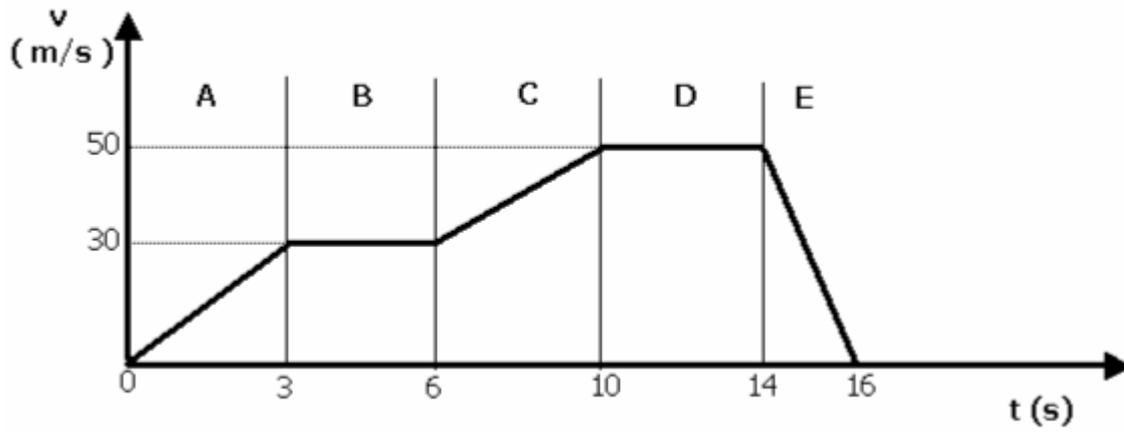


- 3) Voici le graphique de la vitesse d'un mobile en fonction du temps.

- Quelle était la vitesse initiale du mobile ?
- Quelle était l'accélération du mobile pour tout le déplacement ?
- Quelle était l'accélération du mobile entre la deuxième et la dixième seconde ?
- Quel a été le déplacement du mobile lors de ce mouvement ?
- Quel a été le déplacement du mobile entre la quatrième seconde et la huitième



- 4) Voici un graphique représentant la vitesse d'un mobile en fonction du temps.



- Quelle(s) section(s) de ce graphique représente(nt) un MRUA ?
- Quel a été le déplacement du mobile de la sixième à la seizième seconde ?
- Quelle a été la vitesse moyenne du mobile pour ce déplacement ? (Arrondir au dixième)
- Quelle a été l'accélération du mobile pour la section C ?
- Quelle section de ce graphique présente la plus grande accélération ?

## C) La chute libre

---

### I- Définition d'un mouvement de chute libre

Un corps est en chute libre lorsqu'il tombe sous le seul effet de son poids.

### II- Activités

#### 1) Expérience 1

Une feuille de papier et une boule de papier : ils n'arrivent pas en même temps

Une balle et une boule de papier que l'on laisse tomber : ils arrivent en même temps

#### **Conclusion :**

Pour 2 corps de masses identiques dont la résistance à l'air est très différente la durée de chute n'est pas la même

Pour 2 corps de masses différentes mais de résistance à l'air identique, la durée de chute est la même (du moins pour de faibles hauteurs de chute)

#### 2) Expérience 2 : le tube de Newton

On place une bille de verre et une plume dans un tube en verre dans lequel on peut faire le vide et on le retourne brusquement.

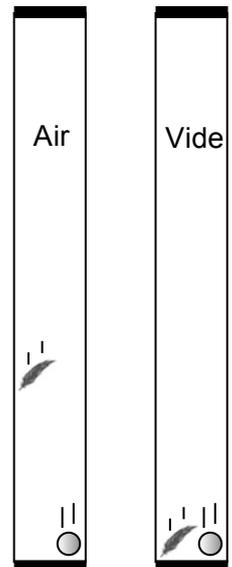
- Quand le tube contient de l'air, la bille tombe plus rapidement que la plume.
- Quand on a fait le vide dans le tube, la bille et la plume atteignent le bas du tube en même temps.

#### **Conclusion :**

La chute libre d'un corps ne dépend pas de la masse lorsqu'il n'y a pas de résistance à l'air.

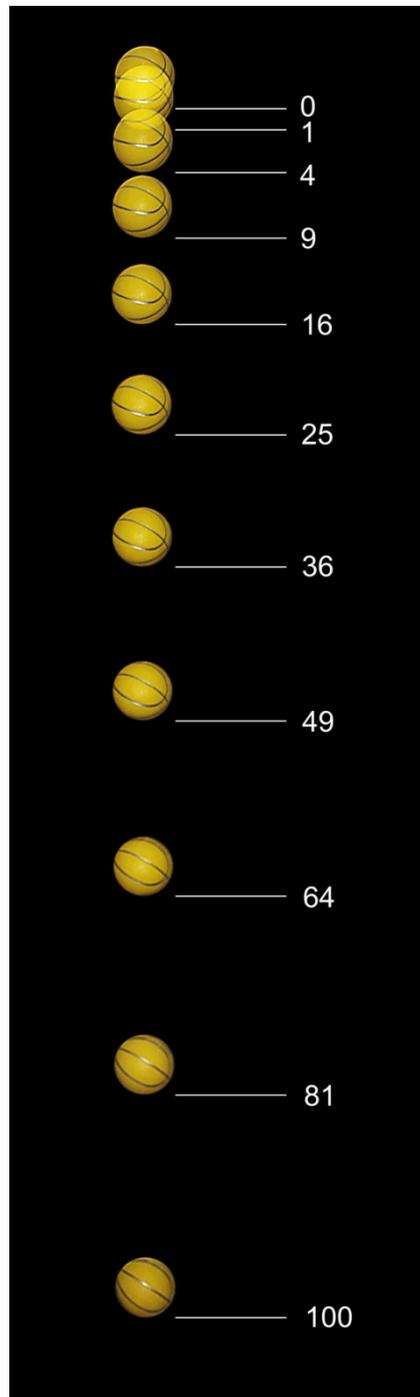
#### **Autre remarque :**

la vitesse du corps augmente en fonction du temps : le corps est soumis à une accélération. Laquelle ?



#### 3) Expérience 3 : Chute d'une balle

Cette photo a été prise sur une période de 0,5 seconde avec un flash stroboscopique réglé sur 20 impulsions par seconde. La balle, de la taille d'une balle de tennis, était retenue par un fil noir sectionné au moment où l'exposition a commencé et où le flash produisit sa première impulsion lumineuse.



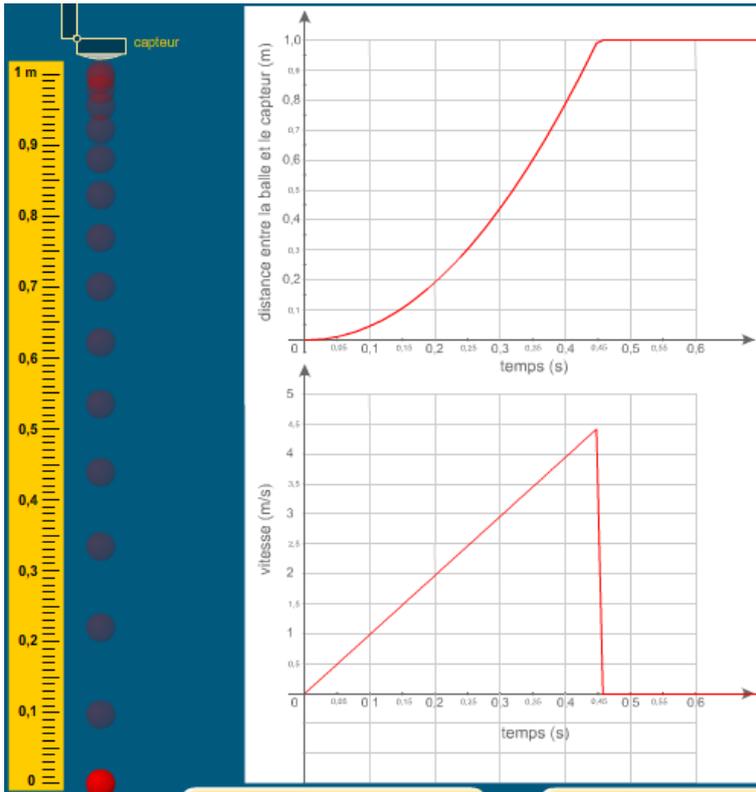
A partir de cette chronophotographie, compléter le tableau suivant

$\Delta x$ (m)										
$t$ (s)										

Tracer le graphe du déplacement de la balle en fonction du temps.  
Que pouvez-vous conclure ?

#### 4) Expérience 4 : graphes obtenus à partir de la chute d'une balle

Les graphes ci-dessous ont été obtenus à partir de la chute d'une balle d'une hauteur de 1m



Graphe 1

Graphe 2

#### 5) Vitesse en fonction du temps

Le graphe 2 représente la vitesse de la balle en fonction du temps, c'est une droite croissante. Que pouvez-vous conclure ?

#### 6) Déplacement en fonction du temps

Le graphe 1 représente le déplacement de la balle en fonction du temps.

Le résultat du graphe est-il cohérent avec ce que vous avez conclu pour l'expérience 3 ?

### III- Le mouvement de chute libre

#### 1) Corps lancé verticalement vers le bas

Le mouvement d'un corps en chute libre est un MRUA : l'accélération est constante et appelée **l'accélération gravifique**. Elle est notée  $g$ .

- $g$  varie légèrement en fonction de l'altitude et de la latitude sur une même planète.
- $g$  varie très fortement selon la planète où nous nous trouvons.

**Remarque :**

- Dans les exercices et sur la terre nous prendrons toujours comme valeur arrondie  $g=10\text{m/s}^2$

#### 2) Corps lancé verticalement vers le haut

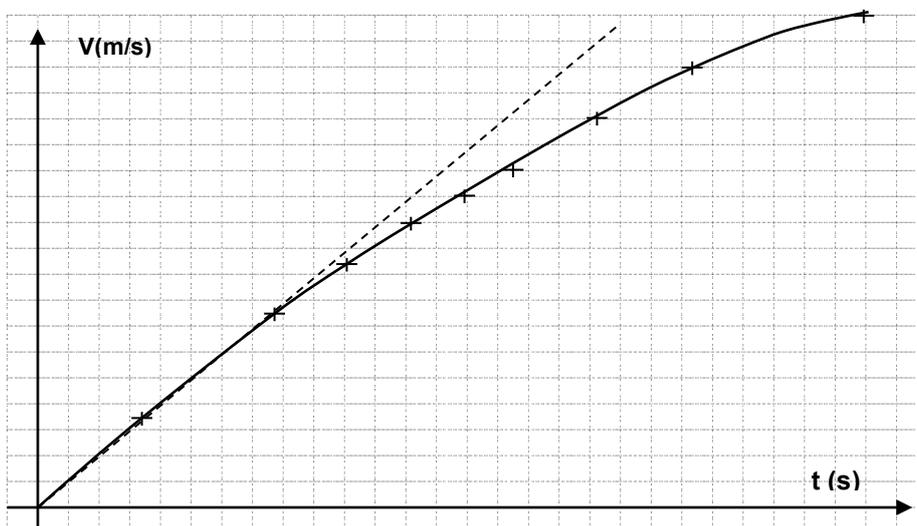
Il s'agit aussi d'un mouvement de chute libre.

La vitesse à l'origine du mouvement n'est alors plus nulle ( $v_0 \neq 0$ ) (car on lance le corps avec une certaine vitesse)

Il s'agit alors d'un MRUD car la vitesse de la balle diminue proportionnellement en fonction du temps

### IV- Influence de la résistance de l'air

On lâche une balle d'une hauteur beaucoup plus importante et on réalise le graphe de la vitesse en fonction du temps. Le graphe obtenu n'est plus une droite



**Conclusion :**

La situation précédente est idéalisée

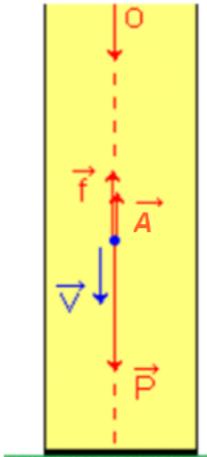
La résistance de l'air influence la chute des objets, elle augmente avec la vitesse du corps en chute libre.

Pour une grande hauteur de chute libre, la vitesse d'un corps ne s'accroît pas indéfiniment. Le corps va atteindre **une vitesse maximale que l'on appellera vitesse limite**.

## V- Vitesse de chute libre dans un fluide

Une bille est lâchée dans un fluide. Faisons le bilan des forces qui s'appliquent sur la bille :

- Le poids  $\vec{P}$
- La force d'Archimède :  $\vec{A}$
- La force de frottement (pour des petites vitesses) :  $\vec{f}$  qui dépend de la vitesse



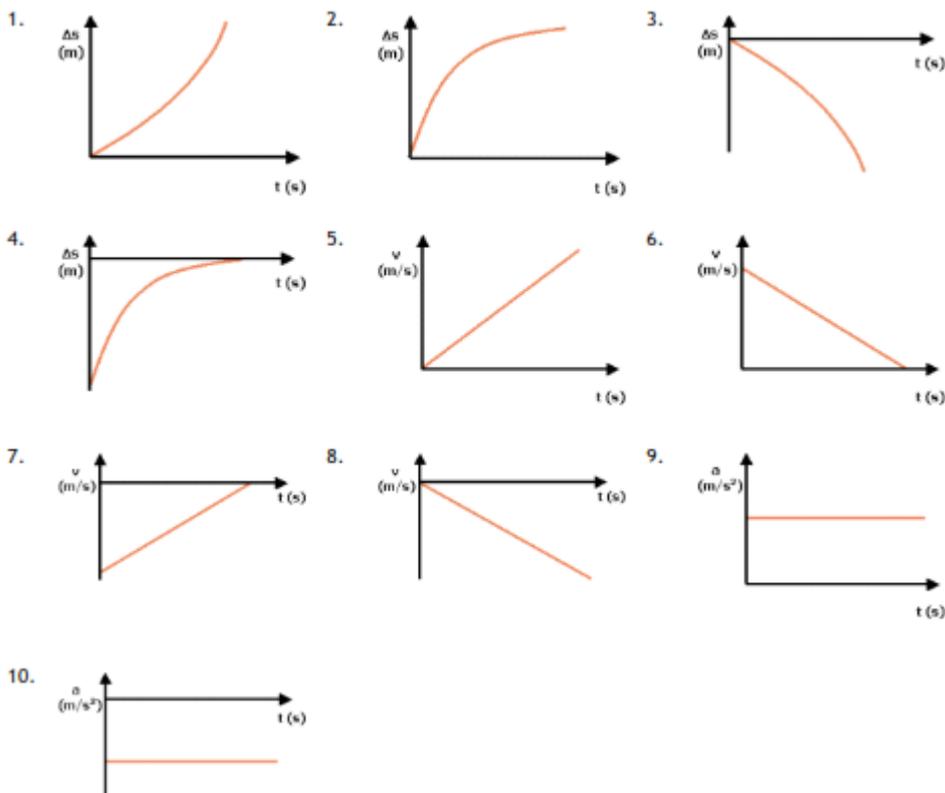
La vitesse de la bille peut varier ou être constante en fonction du liquide choisi.

- Si la vitesse est constante le mouvement est un MRU
- Si la vitesse varie proportionnellement avec le temps le mouvement est un MRUV

Pour étudier les deux cas il faudra utiliser les lois de Newton qui seront expliquées dans la suite de ce chapitre.

### 3) Exercices

Lesquels des graphiques suivants peuvent être associés à un objet en chute libre, si l'objet est initialement à la position verticale 0 m ?



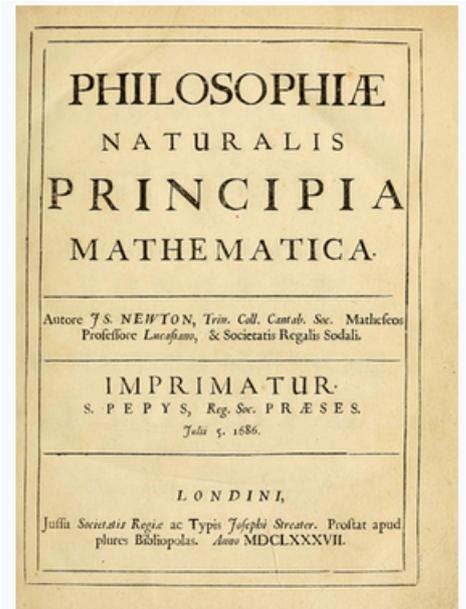
## D) Les lois de Newton

### I- Introduction

Les trois lois de Newton fondent la mécanique classique et plus particulièrement la dynamique.

Rappelons que la cinématique consiste à décrire les mouvements d'un point matériel ou d'un système de points matériels, alors que la dynamique s'intéresse aux causes de ces mouvements.

Les textes originaux de ces lois, traduits en français, proviennent du « Principia – Principes mathématiques de la philosophie naturelle » d'Isaac Newton, traduit par la Marquise du Châtelet et préfacé par Voltaire, récemment réédité par Dunod.



### II- Qu'est - ce - qu'un point matériel ?

Un point matériel est un objet de dimension nulle, mais qui possède une masse. Pratiquement, cela n'existe pas bien sûr !

En fait, lorsqu'on parle de « point matériel », on désigne un objet dans la taille est si petite que l'on peut négliger des « détails » (comme son moment d'inertie et d'autres encore).

### III- La première loi : le principe d'inertie

Longtemps les physiciens précédant Newton se sont demandé ce qui provoquait le mouvement et si un mouvement pouvait exister sans force. Galilée et Descartes ont fait avancer la question en introduisant la notion d'inertie, c'est d'ailleurs Galilée qui a énoncé le principe d'inertie, que Newton a repris dans sa première loi.

Dans son énoncé original, Newton écrit « *Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état* ».



L'énoncé moderne du principe d'inertie est :

Tout point matériel isolé soumis à un système de forces de résultante nulle, conserve son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme

- Corps au repos et  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$   $\Leftrightarrow$   $\vec{v} = \vec{0}, \vec{a} = \vec{0}$  repos
- Corps en mouvement MRU et  $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$   $\Leftrightarrow$   $\vec{v} \neq \vec{0}$  ( $\vec{v}$  cste),  $\vec{a} = \vec{0}$

Le principe d'inertie est très important en physique, c'est même sans doute le plus important. Il est à l'origine de toutes les réflexions qui ont conduit à la relativité restreinte puis à la relativité générale.

## IV- La seconde loi : le principe fondamental de la dynamique (PFD)

### 1) Exemples

Un mobile prend une accélération sous l'action d'une force.

Si une force agit sur un corps, le corps accélère dans la direction de la force.

### 2) Enoncé

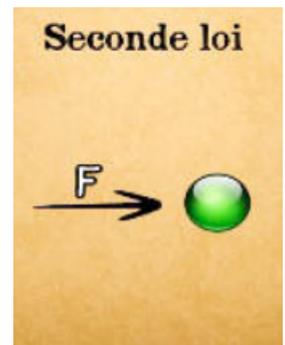
Newton a énoncé le principe fondamental de la dynamique (ou PFD) ainsi dans les Principia:

« Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice, et se font dans la ligne dans laquelle cette force a été imprimée ».

C'est assez obscur !

On l'énonce en langage moderne de la façon suivante :

Tout point matériel soumis à un système de forces de résultante non nulle mais constante en intensité, en direction et en sens, modifie son état initial pour prendre une accélération constante.



Et sous forme mathématique :

$$\sum \vec{F}_{ext} \neq \vec{0}, \quad \sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a} \quad \Rightarrow \quad \text{MRUV: } \dot{v} \neq \vec{0} \text{ et } \dot{a} \neq \vec{0} \text{ (} \dot{a} = \text{cste)}$$

Un newton est donc l'intensité de la force qui communique une accélération de  $1\text{m/s}^2$  à un corps d'une masse de 1 kg.

### 3) Comment appliquer cette loi ?

En règle générale, le PFD sert à déterminer le mouvement d'un point matériel ou d'un système de points, connaissant les forces qui s'appliquent à ce point.

Pour résoudre un problème de dynamique en utilisant le PFD, il faut :

- Choisir un référentiel
- Analyser la physique du problème, c'est-à-dire comprendre les phénomènes physiques en cause.
- Faire le bilan de toutes les forces, quel que soit leur nature, qui agissent sur le point matériel étudié (ou le centre d'inertie de l'objet étudié).
- Projeter chacune de ces forces sur les axes du référentiel.

## V- La troisième loi : le principe des actions réciproques (action/réaction)

Son énoncé original est « l'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires ».



En langage moderne :

Toute force d'action  $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ , exercée par un corps 1 sur un corps 2 provoque simultanément et dans la même direction, une force de réaction  $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ , exercée par le corps 2 sur le corps 1, de même intensité que la force d'action et de sens opposé.

### 1) Exemple

Une bille en mouvement qui percute un obstacle fixe: après le choc la bille reprend un mouvement dans le sens opposé.

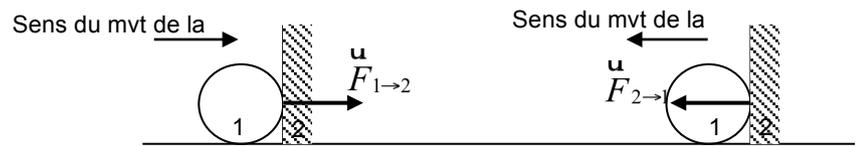
Au moment du choc :

La bille 1 exerce une force sur l'obstacle 2:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$$

L'obstacle 2 va réagir à la force appliquée par la bille 1 et exerce une force de même

direction de même intensité mais de sens opposé :  $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$



## VI- Application : vitesse de chute libre dans un fluide

La vitesse de la bille peut varier ou être constante en fonction du liquide choisi.

- Si la vitesse est constante ou nulle le mouvement est un MRU alors :

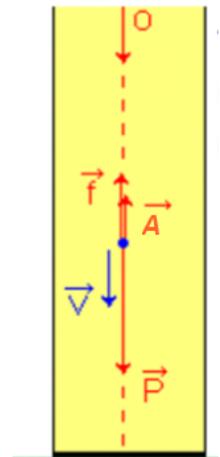
$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$$

Par projection sur l'axe du vertical :  $P - f - A = 0$

- Si la vitesse varie proportionnellement avec le temps le mouvement est un MRUV

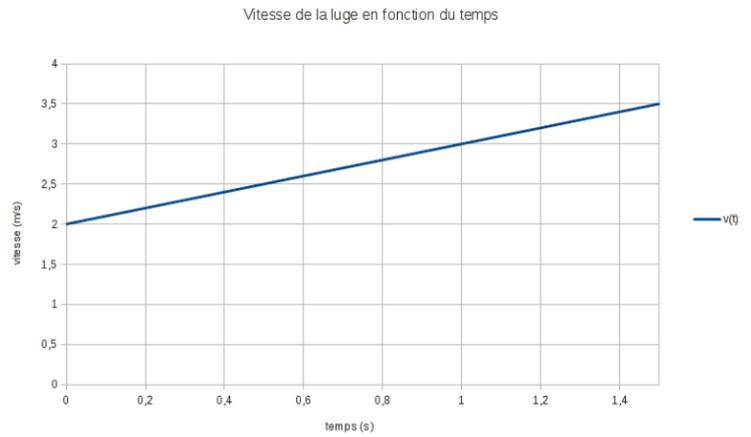
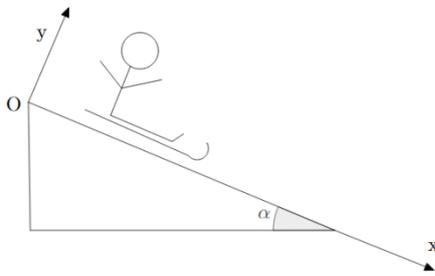
$$\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}$$

Par projection sur l'axe du vertical :  $P - f - A = m \cdot a$



## VII- Exercices

- 1) Un parachutiste se lance du haut d'un avion. Quelle est la résistance de l'air sachant que le parachutiste a une masse de 70kg et qu'il chute à vitesse constante?
- 2) Un objet est placé sur un plan incliné à  $15^\circ$ . Quelle est l'accélération de cet objet si une force de frottement de 12N ralentit la descente de cet objet de 8kg ?
- 3) On considère le système {enfant + luge} assimilé à un point matériel, de masse  $m$ , dévalant une piste faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale. On néglige tout frottement avec l'air et la piste. On donne  $v_i = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

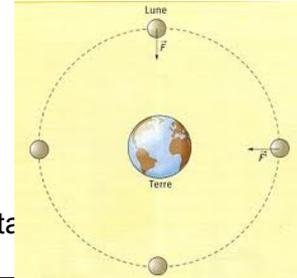


- Dans quel référentiel le mouvement est étudié ?
- À partir du graphique ci-dessous, retrouver la valeur de l'accélération  $a$ . Quel est le sens et la direction du vecteur accélération ?
- Quelles sont les forces s'appliquant sur le système.
- Représenter ces forces sur un schéma.
- Etablir la relation vectorielle reliant ces forces avec l'accélération.
- Ecrire cette relation dans le repère  $(0 ; x ; y)$
- En déduire la valeur de l'angle  $\alpha$

# E) Mouvement circulaire uniforme : M.C.U.

## I- Définition

C'est par définition le mouvement d'un objet qui se déplace à **vitesse constante** sur une trajectoire **circulaire**.

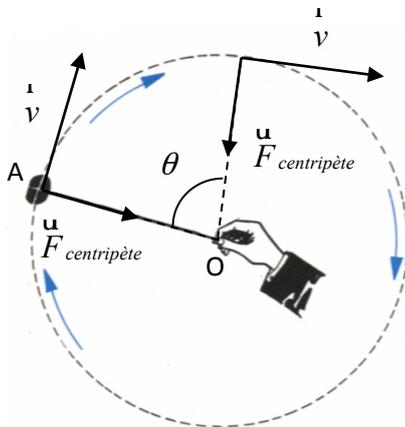


Mouvement circulaire uniforme des hélices d'avion, des roues de voiture ou encore de la rotation d'une roue.

Un point A effectue un mouvement circulaire uniforme si A parcourt des arcs égaux en des temps égaux.

## II- Rotation d'une pierre accrochée à une corde (fronde)

La pierre décrit un mouvement circulaire uniforme, sur sa trajectoire la vitesse est constante et la pierre ne possède pas d'accélération dans la direction du mouvement.



D'après le principe fondamental de la dynamique, si aucune accélération n'agit sur l'objet, alors aucune force non plus  $\left( \begin{matrix} \vec{u} \\ \vec{F} = m \cdot \vec{a} = \vec{0} \end{matrix} \right)$ , sa trajectoire est rectiligne et sa vitesse « **linéaire** » est constante (principe d'inertie).

Cependant, à chaque instant, le vecteur vitesse change de direction. Il faut donc appliquer continuellement une force sur l'objet pour parvenir à changer sa trajectoire.

Dans le cas d'une trajectoire circulaire, la force à exercer est dirigée vers le centre de la trajectoire ; la force est radiale ou encore **centripète**.

On peut donc définir une **accélération centripète** et d'après la loi de Newton

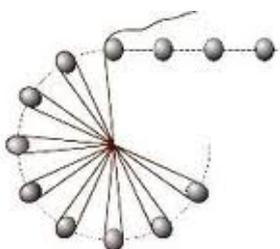
$$\vec{F}_{centripète} = m \cdot \vec{a}_{centripète}$$

$$\begin{matrix} r \\ a_c = \frac{v^2}{R} \end{matrix}$$

et

$$\begin{matrix} r \\ \vec{u} \\ F_c = m \cdot \frac{v^2}{R} \end{matrix}$$

- { R : rayon de la trajectoire circulaire
- { r : vitesse "linéaire"
- { m : masse de l'objet



**Remarque** : Si on coupe la corde (c'est à dire suppression de la force centripète), la pierre retrouve un mouvement rectiligne uniforme tangent à sa trajectoire circulaire précédente

### III- Vitesse linéaire

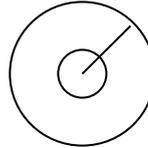
On appelle vitesse linéaire du point A, l'arc de cercle décrit par A en 1 seconde (unité de temps).

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} v : \text{vitesse linéaire (m/s)} \\ R : \text{rayon du cercle (m)} \\ T : \text{période (temps mis pour faire 1 tour) (s)} \end{array} \right.$$

**Remarque** : si on considère deux frondes faisant le même nombre de tour par seconde mais de rayon différent, le rapport des vitesses linéaires est égal à celui des rayons :

$$\frac{v}{v'} = \frac{2\pi R/T}{2\pi R'/T} = \frac{R}{R'}$$



### IV- La vitesse angulaire

On appelle vitesse angulaire  $\omega$  d'un point A du cercle, l'angle au centre balayé par le rayon OA en 1 seconde (unité de temps).

L'unité d'angle est le radian (=  $57^{\circ}17'44,8''$ ).

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega : \text{vitesse angulaire (rad/s)} \\ T : \text{période (temps mis pour faire 1 tour) (s)} \end{array} \right.$$

La vitesse angulaire est indépendante du rayon de la trajectoire décrite par le point.

On peut en déduire que :

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi}{T} \cdot R = \omega \cdot R \quad \text{donc} \quad v = \omega \cdot R \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{v}{R}$$

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R} = m \cdot \left( \frac{v}{R} \right)^2 \cdot R = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Dans un M.C.U., la vitesse linéaire est égale au produit de la vitesse angulaire et de la longueur du rayon de la trajectoire.

**Remarques :**

- Pour une même vitesse angulaire, les vitesses linéaires des objets sont proportionnelles aux rayons :
 
$$v_1 = \omega \cdot R_1, v_2 = \omega \cdot R_2 = \dots \quad \text{et} \quad \omega = \frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2}{R_2} = \dots$$

### V- La Force centrifuge : une force fictive

La force centripète ne doit pas être confondue avec la force centrifuge.

La force centrifuge est **une force fictive** liée à l'inertie et qui n'a été introduite que pour expliquer les mouvements observés par un observateur se trouvant sur un référentiel tournant. Ce que l'on retrouve aussi pour la force de Coriolis.

L'observateur aura la sensation d'être soumis à une force qui l'éloigne du centre de rotation.

La sensation de la force centrifuge apparaît pour un passager lorsqu'un véhicule roule dans un virage.

**Sécurité routière :**

La force centripète est proportionnelle au carré de la vitesse ce qui signifie que, lorsque la vitesse double, la force centripète est multipliée par quatre.

Afin de compenser l'effet de cette force centripète, les virages sont souvent surélevés à l'extérieur pour éviter les problèmes de dérapages



## VI- La loi de gravitation de Newton (1642-1727)

Vers 1666 Newton découvre l'idée de la gravitation ; ses travaux seront publiés en 1687. En se basant sur le mouvement circulaire uniforme (M.C.U.), Newton s'aperçoit de l'existence d'une force dirigée vers le centre de la trajectoire des corps (ex : la fronde).

Sur la Terre, un corps qui tombe décrit un mouvement rectiligne uniformément accéléré (M.R.U.A.) avec une force constante quel que soit le corps. La force d'attraction qui tire le corps vers la terre est appelée force de pesanteur ( $P = mg$ ).

Les corps célestes et la Terre doivent obéir aux mêmes lois.

Donc la Force qui retient la lune près de la Terre et qui la force à changer continuellement de direction est la force de pesanteur.

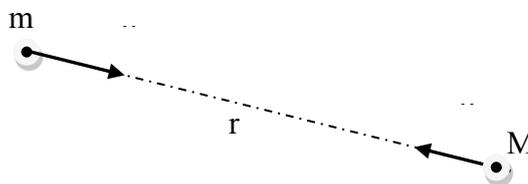
***Voilà pourquoi la Lune tourne autour de la Terre. Si la lune était immobile, elle tomberait directement sur la Terre.***

Par analogie, il explique le mouvement des planètes autour du soleil avec le même raisonnement. Ce qui confère un caractère universel à la force de pesanteur ou force de gravité.

Deux corps ponctuels, c'est-à-dire de dimension petite par rapport à la distance qui les sépare, s'attirent l'un vers l'autre avec :

- des forces directement opposées
- des forces dirigées selon la droite qui les joint dont l'intensité commune est proportionnelle à leur masse et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

$$F = G \frac{M.m}{r^2}$$



$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N/m}^2\text{kg}^2$  :

Valeur obtenue par Cavendish (1798) grâce à une balance de torsion.

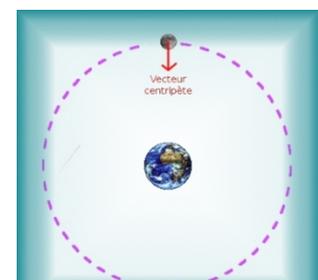
Pour tout corps à la surface de la terre :

$$F = G \frac{M.m}{r^2} \Rightarrow \boxed{F = g.m}$$

L'accélération de la pesanteur terrestre, « g », dépend donc de l'altitude et de la latitude (puisque c'est une grandeur calculée à partir de la distance deux planètes ou entre un objet et le centre de la terre).

( $g_{\text{équateur}} = 9,78 \text{ m/s}^2$  et  $g_{\text{pôle}} = 9,83 \text{ m/s}^2$ )

## VII- Le mouvement central



Newton a démontré que, dans le cas où la vitesse et la force centripète varient (selon des lois bien précises), la trajectoire du mobile sera une courbe régulière : ellipse pour le mouvement des planètes, parabole ou hyperbole pour le mouvement des comètes.

La trajectoire circulaire (mouvement de la lune autour de la terre) n'est qu'un cas particulier du mouvement elliptique.

Tous ces mouvements curvilignes sont généralement appelés mouvements centraux.

Le mouvement d'un corps, soumis à une force dont la direction ne coïncide pas avec celle de la vitesse linéaire du mobile, est appelé mouvement central.

La force centrale qui incurve la trajectoire des corps célestes est la force de gravitation.

## VIII- Le satellite géostationnaire

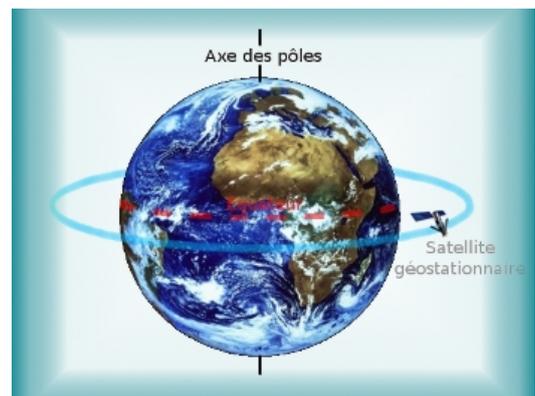
Un Satellite est un corps en orbite autour d'un corps plus massif.

Il peut s'agir d'un satellite naturel ou d'un satellite artificiel ou même d'une galaxie satellite.

Un **satellite géostationnaire** est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite géostationnaire. Sur cette orbite le satellite se déplace de manière exactement synchrone avec la planète et reste constamment au-dessus du même point de la surface.

Le premier satellite artificiel Spoutnik I fut lancé par l'URSS en 1957.

Il s'agissait d'une sphère de 58 cm de diamètre, pesant 83,6 kg. Satellisé sur une orbite elliptique à une altitude comprise entre 230 et 950 km, il tournait autour de la Terre en environ 98 minutes .



L'étude du **mouvement des planètes** s'effectue dans un **repère héliocentrique** (on se place au centre du soleil).

L'étude du **mouvement des satellites** de la terre se fait dans un **repère géocentrique** (on se place au centre de la terre).

Ces deux référentiels sont **considérés comme galiléens** (les lois de Newton y sont applicables).

On vient de voir que si la trajectoire d'un solide est **circulaire uniforme**, alors la force qui lui est appliquée est centripète et a pour intensité :

$$F = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R : \text{rayon de l'orbite circulaire} \\ v : \text{vitesse "linéaire"} \\ m : \text{masse de l'objet} \end{array} \right.$$

Sachant que cette force est aussi la force d'attraction :  $F = G \frac{M_{\text{Terre}} \cdot m}{R^2}$

On déduit la vitesse d'un solide en orbite autour de la Terre :

$$F = m \cdot \frac{v^2}{R} = G \frac{M_{\text{Terre}} \cdot m}{R^2} \quad \Leftrightarrow \quad v = \sqrt{\frac{M \cdot G}{R}}$$

Enfin de cette relation, on déduit la période de révolution d'un solide en orbite autour de la Terre :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi R}{\sqrt{\frac{G \cdot M_{\text{terre}}}{R}}} \quad \text{Avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} T : \text{période de révolution du solide (s)} \\ G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N / m}^2 \text{kg}^2 \\ M_{\text{Terre}} = 5,9736 \times 10^{24} \text{ kg} \\ R : \text{rayon de l'orbite circulaire (m)} \end{array} \right.$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{G \cdot M_{\text{terre}}}}$$

## IX- Exercices

- 1) Quelle est la vitesse angulaire de la terre en rotation autour de son axe ?  
Quelle est la vitesse linéaire d'un point à l'équateur sachant qu'il mesure  $\sim 40\,000$  km ?  
R :  $7,27 \cdot 10^{-5}$  rad/s - 1666 km/h
- 2) Calculer le nombre de tours par minute que font les roues d'une auto dont la vitesse est de 50 km/h, le diamètre des roues mesurant 75 cm. R : 354 tours.
- 3) Combien de tours complets fait en une minute, une roue de 3,20 m de diamètre si l'on sait que sa vitesse linéaire est de 16 m/s ? R : 95,5 tours.
- 4) La navette spatiale américaine peut évoluer à 250 km de hauteur avec une vitesse de 28000 km/h. Elle fait alors le tour de la Terre en 90 minutes. En déduire le rayon de la Terre. (R : 6434km)
- 5) Que devient la force centripète d'un corps en mouvement circulaire, lorsque sa vitesse linéaire a triplé. R : 9 fois la force centripète initiale.
- 6) On fait tourner une pierre attachée à une ficelle de 0,60m de longueur. Comment varie la force centripète lorsqu'on double la longueur de la corde, le nombre de tour par seconde restant constant ? R : elle est doublée.
- 7) A quelle altitude se trouve l'orbite d'un satellite géostationnaire ?  
Quelle est la vitesse (linéaire) de rotation de ce satellite ? ( $M_{\text{terre}} = 6 \cdot 10^{24}$  kg).  
Montrer que la vitesse orbitale d'un satellite est indépendante de sa masse.