CHAPITRE I : FORCES ET MOUVEMENTS

CHAPITRE I : 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.

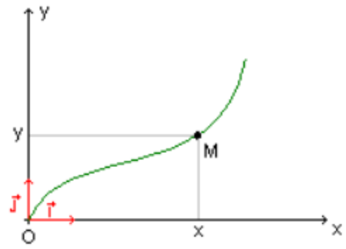
Un référentiel est donc l'ensemble formé d'un repère (à une ou plusieurs dimensions) et d'une horloge.

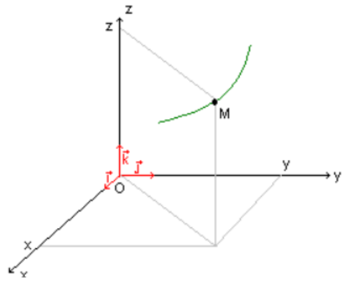
a) Qu'est - ce - qu'un point matériel ?

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 définit 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.

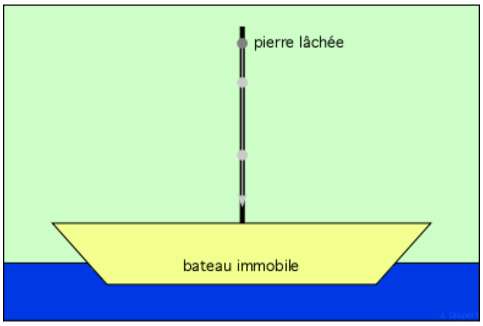
c) Repère de temps

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

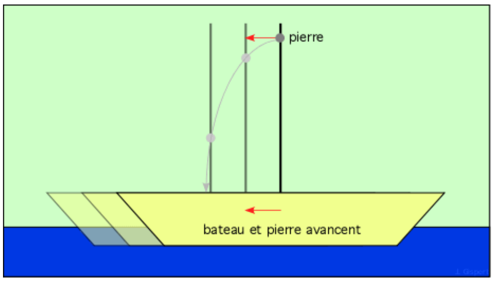
En mécanique newtonienne, on considère qu'il existe une horloge universelle, commune à tous les référentiels. C'est pratique parce qu'on peut définir ainsi la simultanéité des évènements dans différents repères.

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.

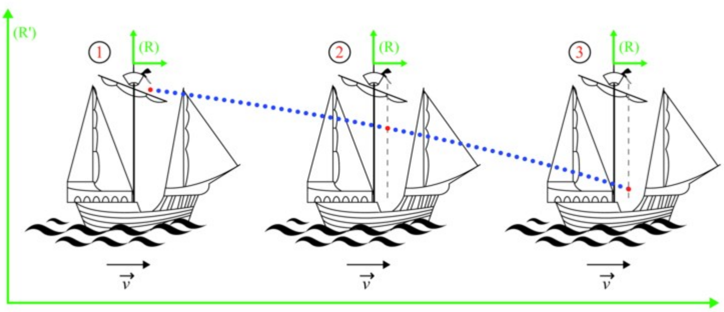


Lorsque le bateau se déplace le long du quai de façon régulière, ce même marin observait toujours une trajectoire rectiligne alors que Galilée se trouvant sur le quai observait une trajectoire parabolique. Les deux observateurs mesurent par contre le *même temps de chute.*



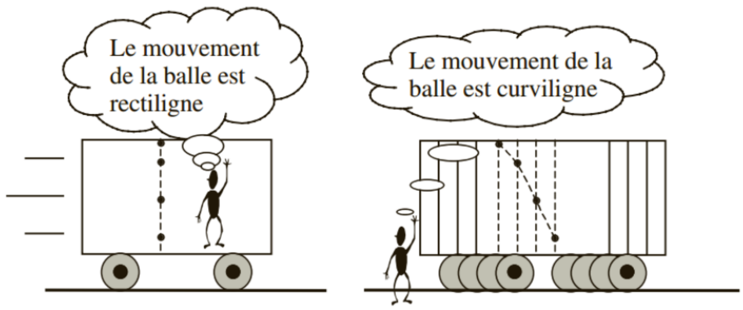
Galilée observe que l'objet semble parcourir un chemin plus long que celui observé par le marin.

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.

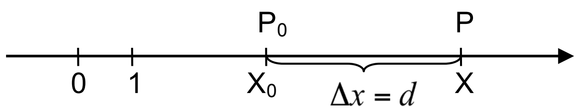
II- Mouvement de translation rectiligne

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)

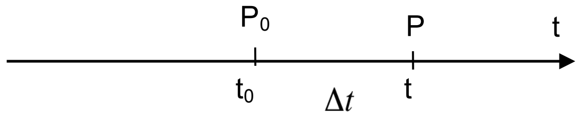


Le mobile se déplace du point P_0 au point P sur l'axe des x :
P_0 : position x_0
P : position x

d est une variation de position: $\boxed{d = \Delta x = x - x_0}$ 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

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

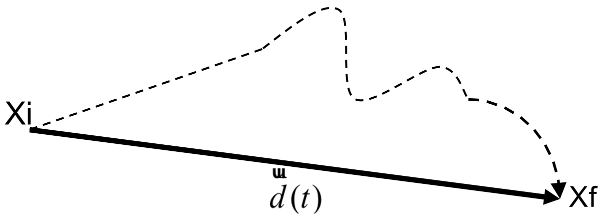
La variation de temps est toujours positive car le temps s'écoule toujours de la même façon.

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 :

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

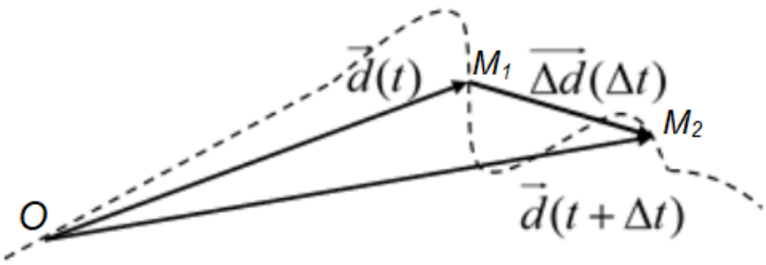
En d'autres termes : $\boxed{v_m = \frac{d}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}}$

L'unité SI de la vitesse est : [v] = 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 Δt 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 Δt tend vers zéro.

Lorsqu'on considère une durée élémentaire Δt « 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 :

$$\boxed{\vec{v}_{\text{instantannée}} = \vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{d}(t)}{\Delta t}}$$

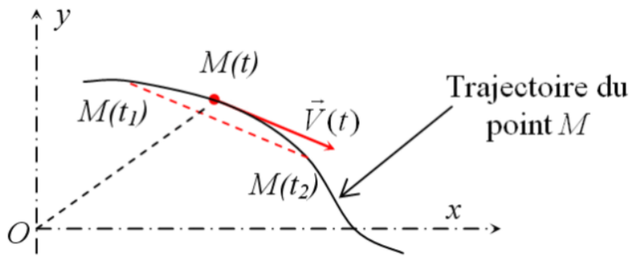
Vous verrez plus tard en mathématique que l'on peut écrire formellement :

$$\boxed{\vec{v}_{\text{instantannée}} = \vec{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{d}(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{d}(t+\Delta t) - \vec{d}(t)}{\Delta t} = \vec{d}\,'(t)}$$

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) <u>Exercices</u>

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 ? ($c=3.10^8$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 1a

Afin de tester la nouvelle ligne Londres-Strasbourg, un T.G.V. la parcourt sans s'arrêter. Dans les gares de Lille, Paris et Strasbourg, un contrôleur complice vous téléphone pour vous donner l'heure du passage du train en gare et vous pouvez ainsi établir le tableau suivant :

	Londres	Lille	Paris	Strasbourg
Position (km)	0	700	1050	1400
Temps (h)	8h00	10h00	11h00	12h00

a) Placer ces points sur un graphe représentant la position du TGV en fonction du temps.
b) Relier les points entre eux. A quel type de graphe cela correspond-il ?
c) Donner toutes les caractéristiques de ce graphe et donner le cas échéant l'équation reliant la position au temps.
d) Qu'en concluez-vous ?

2) Activité 1b

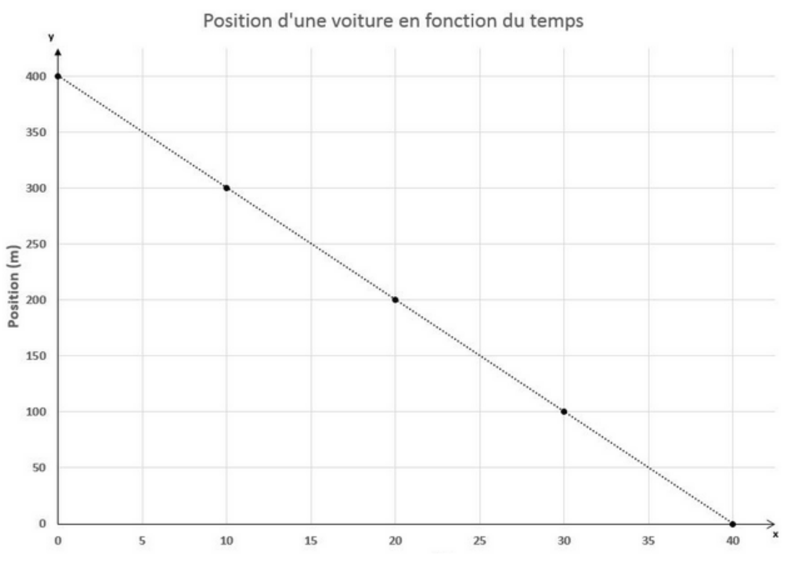
Etudions le mouvement d'un train à vitesse constante. Le tableau suivant nous donne sa position en fonction du temps.

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 l'équation qui caractérise le graphe obtenu en spécifiant les unités des valeurs utilisées.
4) Déterminer par le calcul la distance parcourue par le train au bout de 1h et 15 min ? Vérifier avec votre graphe que la valeur obtenue est correcte.
5) Quelle est la vitesse du train ?
6) 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 ?

3) Activité 2



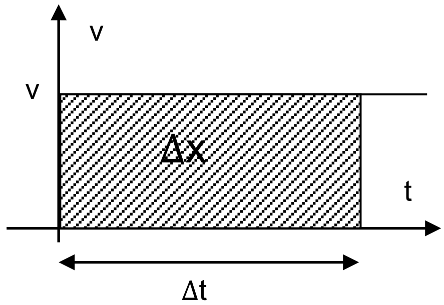
Observe le graphique suivant qui caractérisent le déplacement d'un mobile.
Que peux-tu dire du mouvement ?
Que peux-tu déterminer à partir du graphe ?

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 : $\boxed{v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{constante}}$ <u>Unité SI</u> : 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.

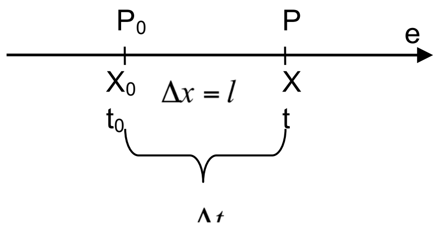
V- Loi de la position- Equation horaire du mouvement

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 :

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

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



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 **négatif** de l'axe des positions

VI- Exercices

1) 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 ?

$$v = \frac{d}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{d}{v} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{65.10^3}{20} = 3250s \quad \Delta t = \frac{3250}{60} = 54\min$$
$$l = v.\Delta t \Leftrightarrow l = 20.25.60 = 30000m = 30km$$

2) Un piéton part à midi d'une localité A et suit une route rectiligne à la vitesse de 5 km/h. A 16 h, un cycliste roulant à 15 km/h suit la même route dans le même sens. A quelle heure et à quelle distance de A le cycliste dépassera-t-il le piéton ?

Equation horaire du piéton :
$$x_p = x_{0p} + v_p \Delta t \Leftrightarrow x_p = v_p(t_p - t_{0p})$$

Equation horaire du cycliste :
$$x_c = x_{0c} + v_c \Delta t \Leftrightarrow x_c = v_c(t_c - t_{0c})$$

Lorsque le cycliste double le piéton :

$x_p = x_c$ et $t_p = t_c = t \quad x_{0p} = x_{0c} = 0,\ t_{0p} = 12h$ et $t_{0c} = 16h$

$$v_p(t-12) = v_c(t-16) \Leftrightarrow t = \frac{v_c.16 - v_p.12}{v_c - v_p} = \frac{15.16 - 5.12}{15-5} = 18h$$
$$x_c = v_c(t - t_{0c}) \Leftrightarrow x_c = x_p = 15(18-16) = 30km$$

VII- Représentation graphique

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

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

$$\boxed{x = \underbrace{\pm v}_{\text{pente}} \cdot \underbrace{(t - t_0)}_{\text{variable temps}} + \underbrace{x_0}_{\text{ordonnée à l'origine}}}$$

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.

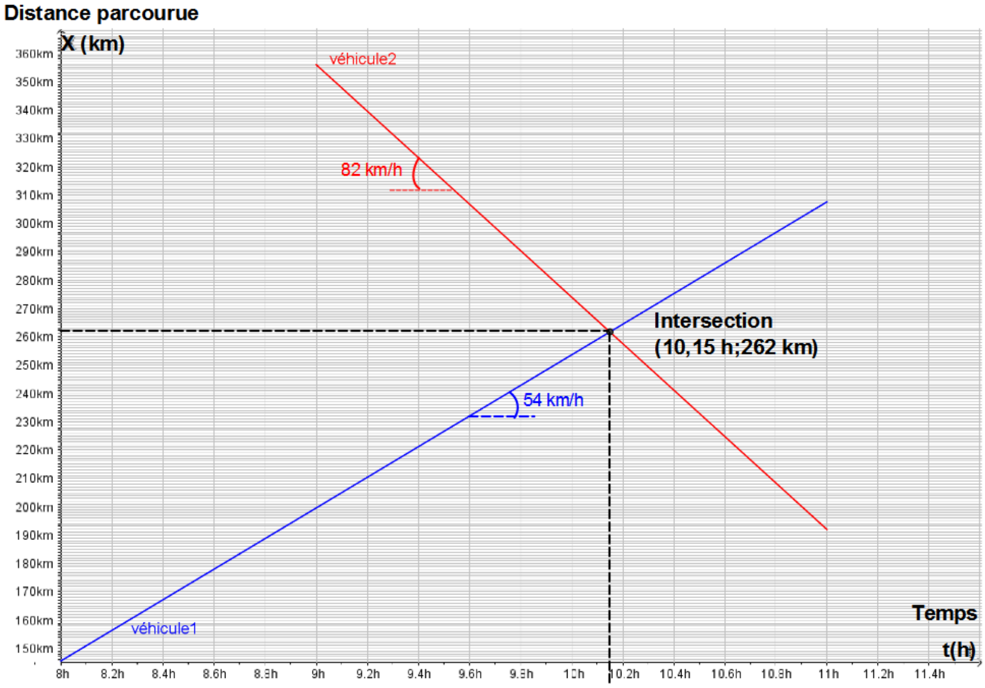
- ***Véhicule 1 :***

P_0: 145,6 km t_0 =8h
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).

- ***Véhicule 2 :***

P_0: 356 km t_0 =9h
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)

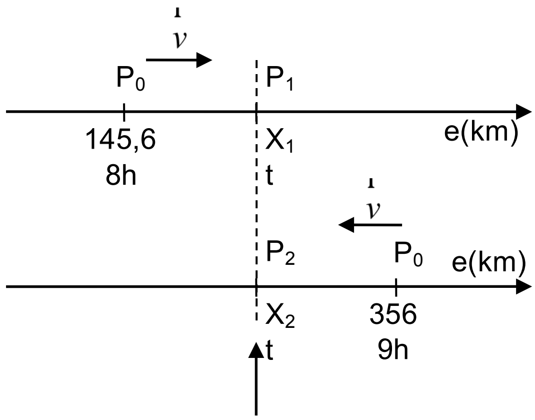


La rencontre

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

t =10,15 h = 10h et 9 minutes et *x=262 km*

VIII- Résolution algébrique



Rencontre des 2 véhicules

Equation du mouvement de la voiture 1 :

$$x_1 = x_{01} + v_1(t - t_{01}) \Leftrightarrow \boxed{x_1 = 145,6 + 54(t-8)}$$

Equation du mouvement de la voiture 2 :

$$x_2 = x_{02} + v_2(t - t_{02}) \Leftrightarrow \boxed{x_2 = 356 - 82(t-9)}$$

Rencontre des 2 véhicules : $x_1 = x_2$

$$145,6 + 54(t-8) = 356 - 82(t-9)$$

$$\Leftrightarrow \qquad t = \frac{356 - 145,6 + 54.8 + 82.9}{54+82} = \frac{1380,4}{136} = 10,15h = \underline{10h \text{ et } 9 \text{ min}}$$

$$x_1 = x_2 = 356 - 82(10,15 - 9) = \underline{261,70km}$$

IX- Exercices

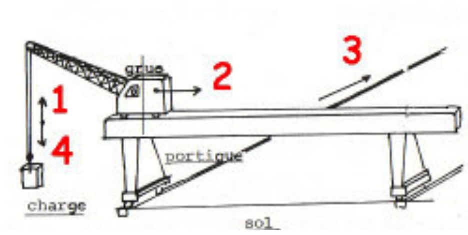
1) Un cycliste part de Versoix à 8 heures du matin. Il roule pendant 2 heures à la vitesse constante de 25[km/h] en direction de Lausanne. Il s'arrête alors pendant ½ heure, puis il repart en sens inverse avec une vitesse différente. Il arrive alors chez lui à 11h
   a) A quelle vitesse a-t-il effectué le retour ?
   b) Tracer le graphique horaire de son mouvement.

2) 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".
   a) Calculez le temps mis entre les deux première villes "A-B".
   b) Calculez le temps mis dans sa deuxième tranche "B-C".
   c) Calculez le temps total mis par le train pour relier la première ville "A" a la troisième "C".

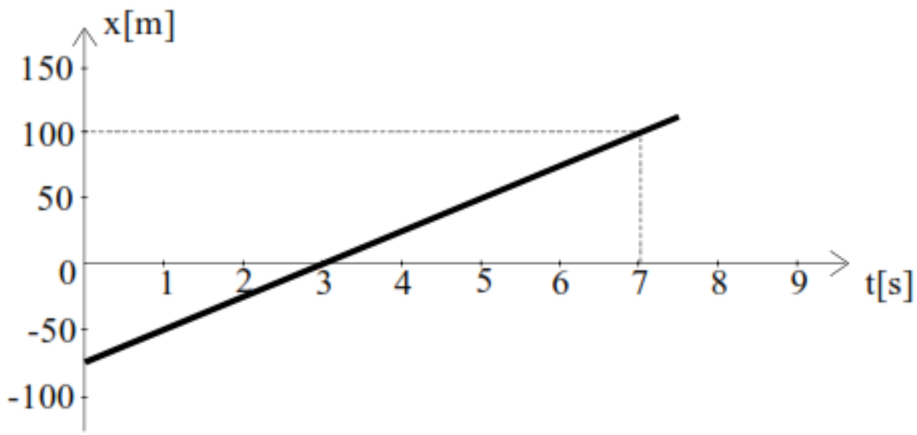
3) Une voiture 1 quitte la ville A vers la ville B distante de 1350 km en roulant à une vitesse de 54km/h au même moment une autre voiture 2 réalise le même trajet mais en sens inverse à 82km/h.

   a) Déterminer l'instant auquel les deux véhicules vont se croiser
   b) Déterminer le lieu où se passera le croisement.

4) Un pont roulant réalise 4 mouvements successifs. Tout d'abord le levage de la charge sur une hauteur de 8m est réalisé à la vitesse de 1m/s, puis translation du pont sur un portique sur 12m à 100m/mn, ensuite translation de l'ensemble du portique sur une distance de 62m à 24m/mn et enfin descente de la charge du pont roulant sur une hauteur de 6m à 1 m/s.
   a) Calculez la durée totale de ces 4 mouvements.

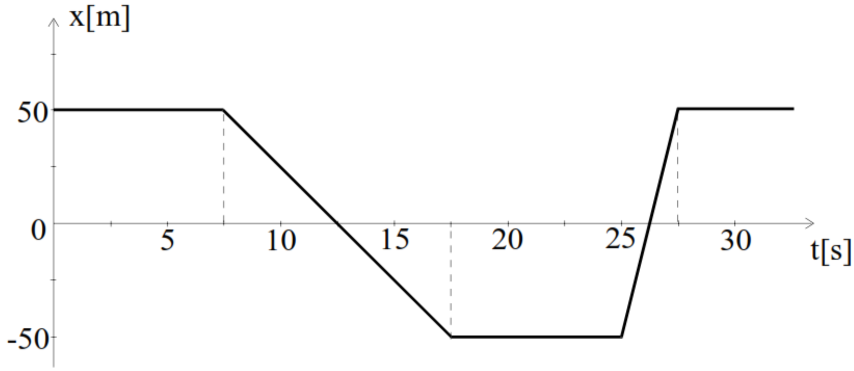


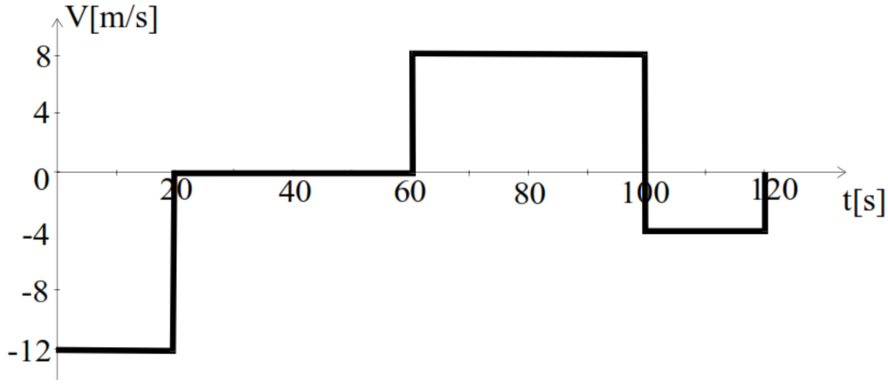
5) Le graphique horaire d'une voiture en MRU est le suivant :
   En examinant soigneusement ce graphique :



   a) Donner la position initiale de la voiture,
   b) Calculer sa vitesse et vérifier qu'elle est constante
   c) Ecrire l'équation horaire correspondant à ce mouvement
   d) 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, …).


x[m]
50
0
-50
5
10
15
20
25
30
t[s]


V[m/s]
8
4
0
-4
-8
-12
20
40
60
80
100
120
t[s]

B) Mouvement rectiligne uniformément varié MRUV

I- Activité 1

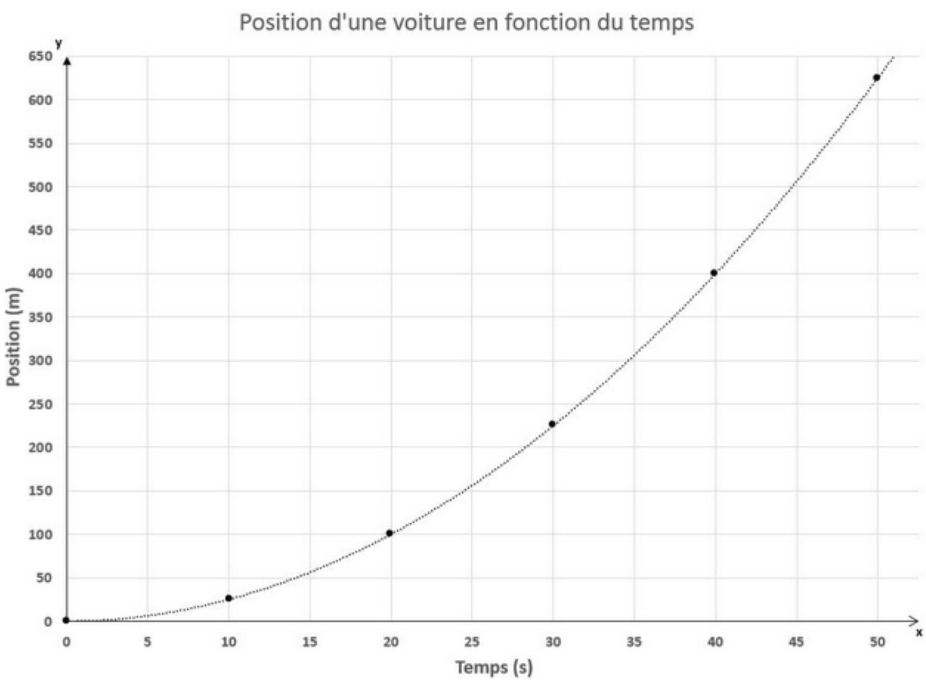
Etudions le mouvement d'un train qui accélère à partir d'une vitesse de 10 m/s puis après une minute freine jusqu'à l'arrêt.

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 la ou/et les équation(s) qui caractérise(nt) le graphe obtenu en spécifiant les unités des valeurs utilisées.
4) Déterminer par le calcul la vitesse du train à t= 30s et t=80s et vérifier sur le graphe que la valeur calculée est correcte.
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) Que faudrait-il tracer pour obtenir une proportionnalité ?
8) En déduire alors l'équation du graphe en spécifiant les unités des valeurs utilisées.
9) Quelle serait cette équation lorsque le train freine ?
10) Quelle conclusion générale pouvez-vous faire sur l'étude du mouvement MRUV.

II- Activité 2



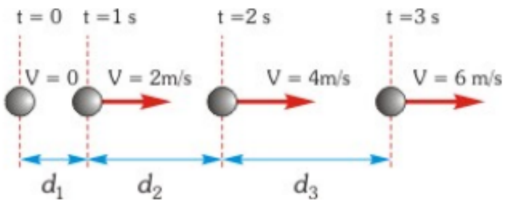
A partir du graphe ci-dessous que peux-tu dire du mouvement ?
Détermine la vitesse moyenne du mobile entre t=10s et t=40s
Comment déterminer la vitesse à t=20s ?

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 **accéléré** MRUA si la vitesse **augmente** proportionnellement en fonction du temps

Le mouvement sera **décéléré** 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 :

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

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 :

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

Pour un mouvement MRUV l'accélération est une constante

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

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 :

$$\boxed{\vec{a}_{\text{instantannée}} = \vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{v}(t)}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \vec{d}\,''(t)}$$

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 :

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

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

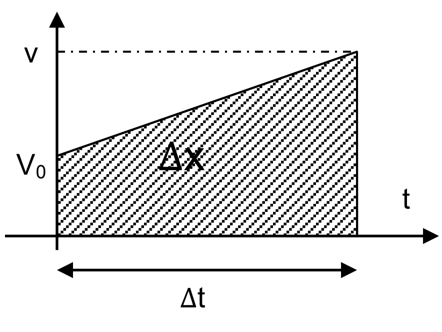
$$v = v_0 \pm a(t - t_0) \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{v = \underbrace{\pm a}_{\text{pente}} \cdot \underbrace{(t - t_0)}_{\text{variable temps}} + \underbrace{v_0}_{\text{ordonnée à l'origine}}}$$

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

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

4) 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.



Puisque l'aire sous la courbe est égale au déplacement du mobile, déterminons alors Δx :

$$\Delta x = \frac{(v - v_0)}{2}\Delta t + v_0 \Delta t = \frac{(v_0 + a\Delta t - v_0)}{2}\Delta t + v_0 \Delta t$$

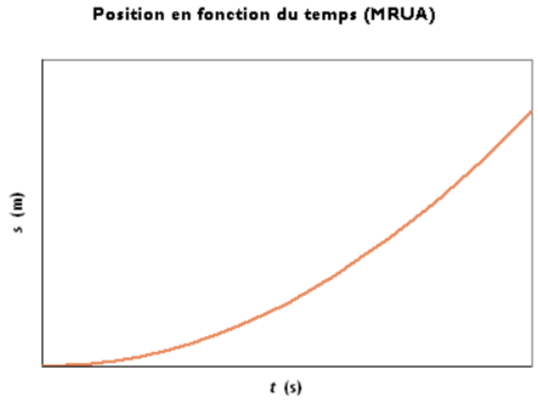
$$\Delta x = \frac{a(\Delta t)^2}{2} + v_0 \Delta t \Leftrightarrow x - x_0 = \frac{a(t - t_0)^2}{2} + v_0(t - t_0) \Leftrightarrow \boxed{x = +\frac{1}{2}a(t - t_0)^2 + v_0(t - t_0) + x_0}$$

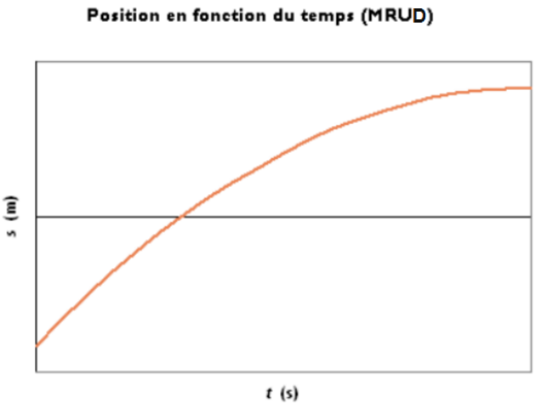
On obtient l'équation d'une fonction du second degré.

Pour un MRUD, on obtient alors : $\boxed{x = -\frac{1}{2}a(t - t_0)^2 + v_0(t - t_0) + x_0}$

Remarque :

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



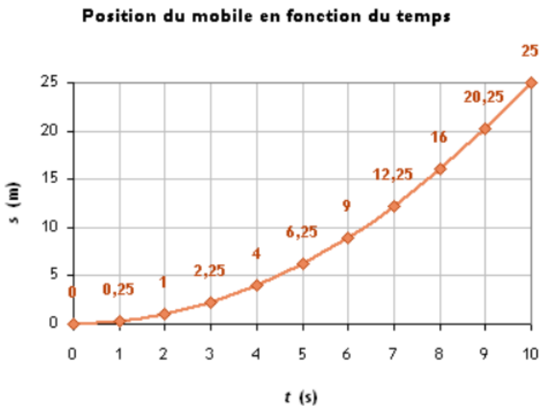


VI- Détermination graphique

1) <u>Détermination graphique de la vitesse moyenne et instantanée</u>

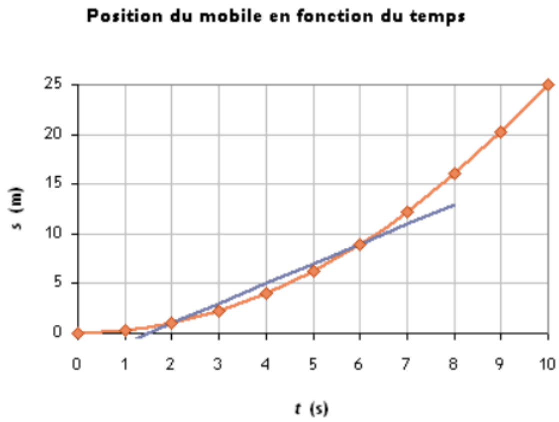
Déterminer à partir des graphes ci-dessous :

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

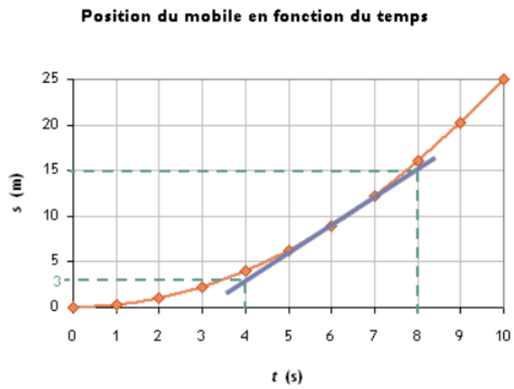


a) La vitesse moyenne du mobile entre la 2e et la 6e seconde ?

La valeur de la vitesse moyenne entre t=2s et t=6s est obtenue en calculant le coefficient angulaire de la droite sécante : $v_m = \frac{9 - 1}{6 - 2} = 2\, m/s$



b) La vitesse instantanée du mobile à la 6e seconde



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

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

2) <u>Détermination graphique de l'accélération moyenne et instantanée</u>

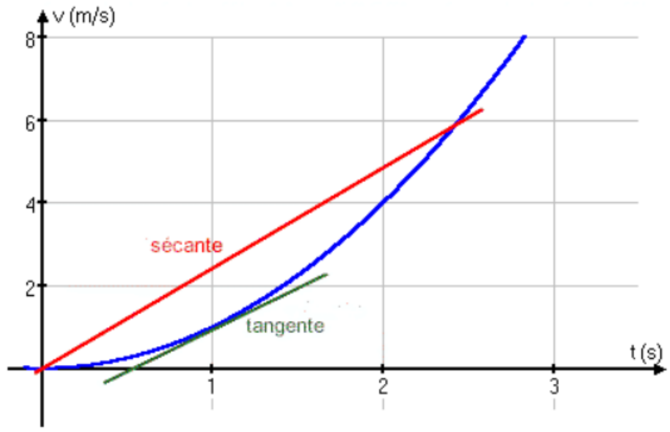
Déterminer à partir des graphes ci-dessous :

- L'accélération moyenne du mobile entre t=0s et t=2,5 s
- L'accélération instantanée du mobile à t=1s

De la même manière que précédemment :

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

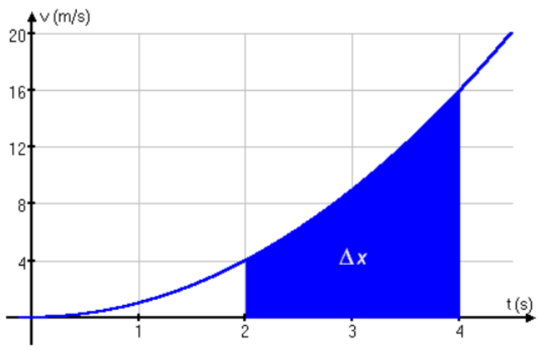
$$a(t) = \frac{2,5-1,5}{1,5-0,5} = 1\ m/s^2$$



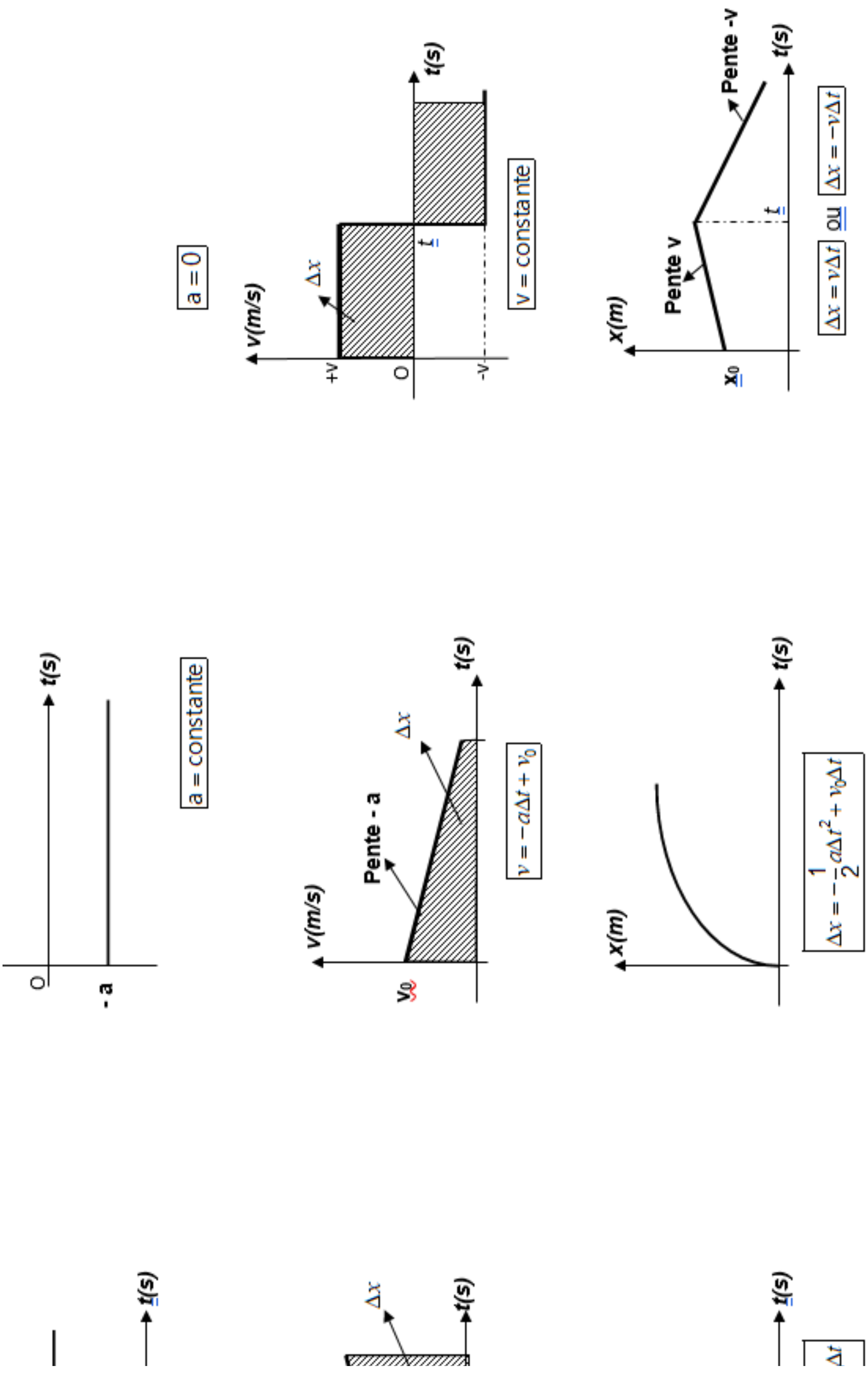
3) <u>L'aire sous la courbe de la vitesse en fonction du temps</u>

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 s et *t* = 4 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



C) Application du mouvement MRUV : 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

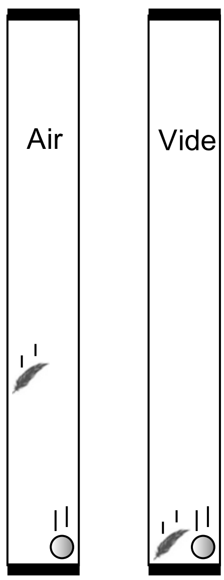
Conclusion :

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 :

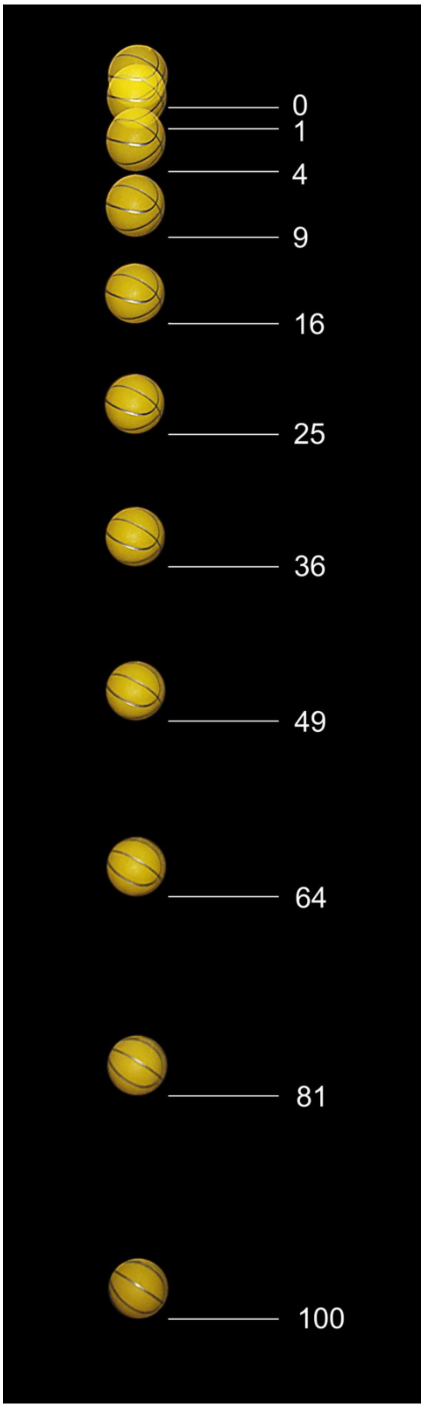
La chute libre d'un corps ne dépend pas de la masse lorsqu'il n'y a pas de résistance à l'air.

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

Un objet en chute libre depuis une position fixe parcourt une distance proportionnelle au carré du temps écoulé. 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.



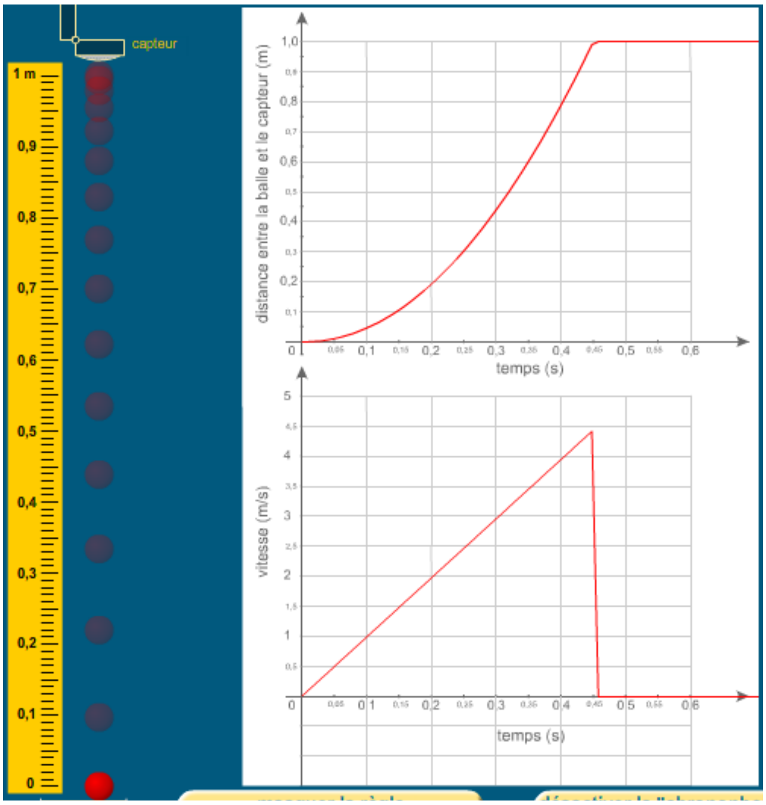
A partir de cette chronophotographie, compléter le tableau suivant

$\Delta x\ (m)$										
$t\ (s)$										
$t^2 (s)$										

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 bille en fonction du temps, c'est une droite croissante. La vitesse varie proportionnellement en fonction du temps. La valeur de la pente de la droite est de 10 m /s².
Que pouvez-vous conclure ?

6) Déplacement en fonction du temps

Le graphe 1 représente le déplacement de la bille en fonction du temps. C'est une demi parabole
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.

$$\boxed{\begin{array}{l} \Delta x = -\frac{1}{2} g(\Delta t)^2 - v_0 \Delta t \\ v = -g\Delta t - v_0 \end{array}}$$

Remarques :

- L'accélération $\vec{g}$ étant dirigé vers le centre de la terre est considérée comme négative dans l'équation puisque par convention l'axe vertical est orienté vers le haut.
- V_0 est la vitesse avec laquelle l'objet en chute libre sera lâché, elle est aussi négative car de sens contraire à l'axe des y.
- Dans les exercices et sur la terre nous prendrons toujours comme valeur arrondie g=10m/s²

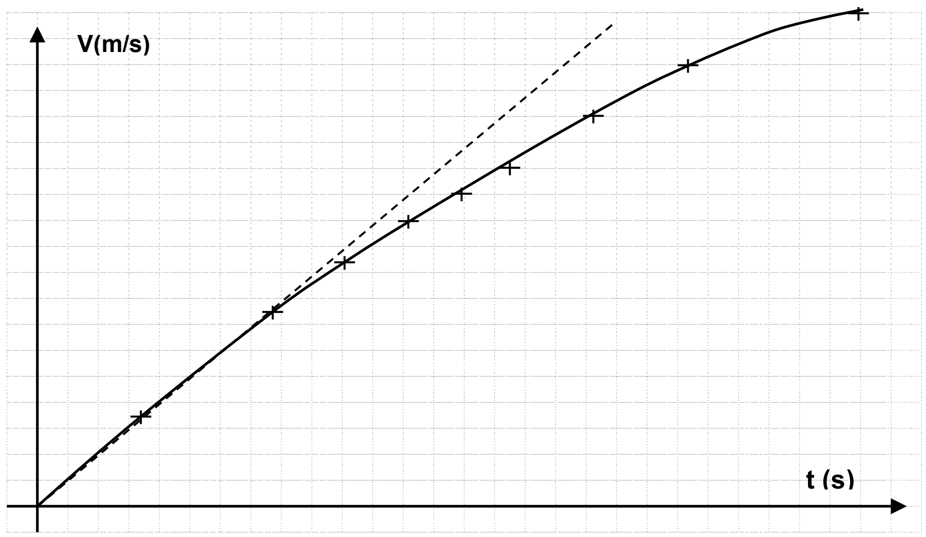
2) Corps lancé verticalement vers le haut

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 l'accélération est de sens contraire au sens du mouvement

$$\boxed{\begin{array}{l}\Delta x = -\frac{1}{2}g(\Delta t)^2 + v_0\Delta t \\ v = -g\Delta t + v_0\end{array}}$$

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



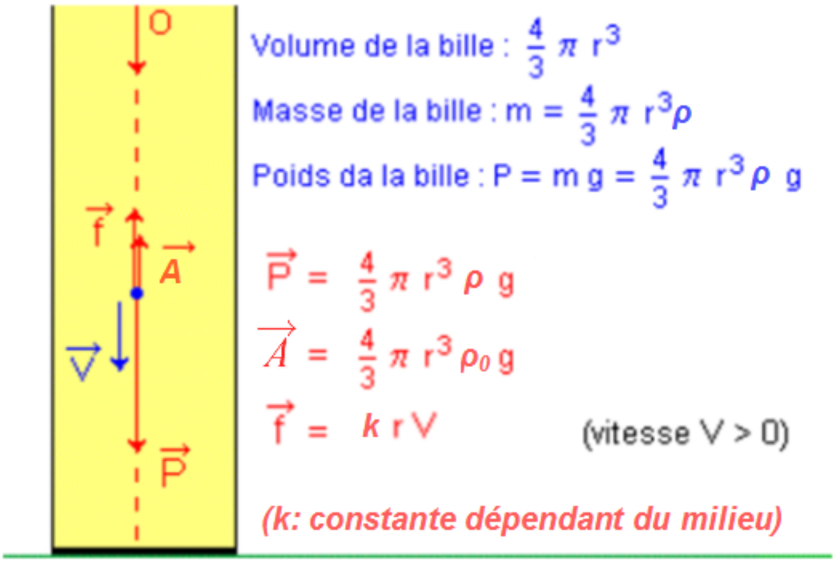
Conclusion :

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'accroit 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 :

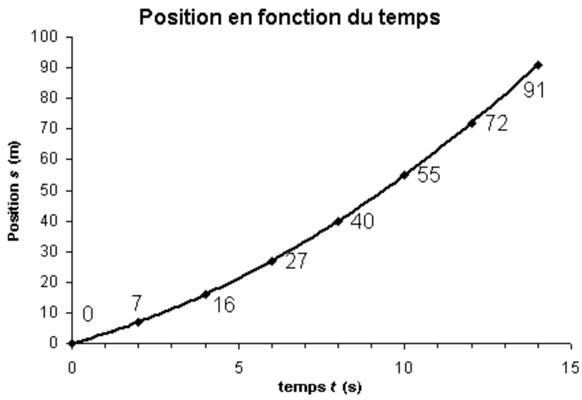
- Le poids $\vec{P}$
- La force d'Archimède : $\vec{A}$
- La force de frottement (pour des petites vitesses) : $\vec{f}$ qui dépend de la vitesse



La vitesse de la bille peut varier où être constante en fonction du liquide choisi.
Pour étudier les deux cas il faudra utiliser les lois de Newton qui seront expliquées dans la suite de ce chapitre.

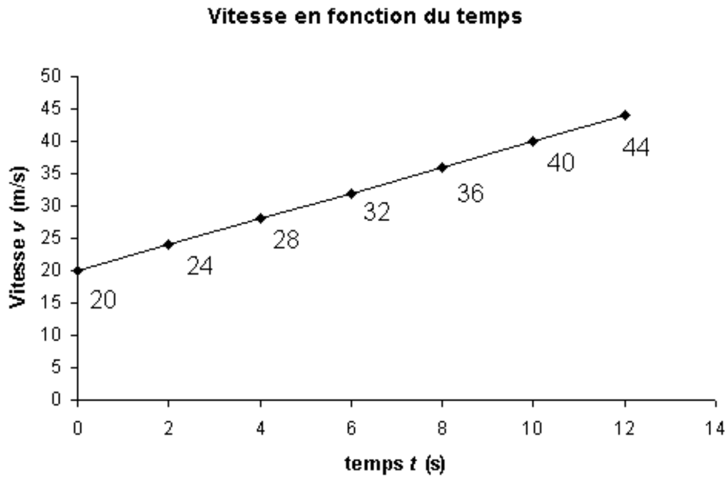
VI- Exercices MRUA MRUV

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



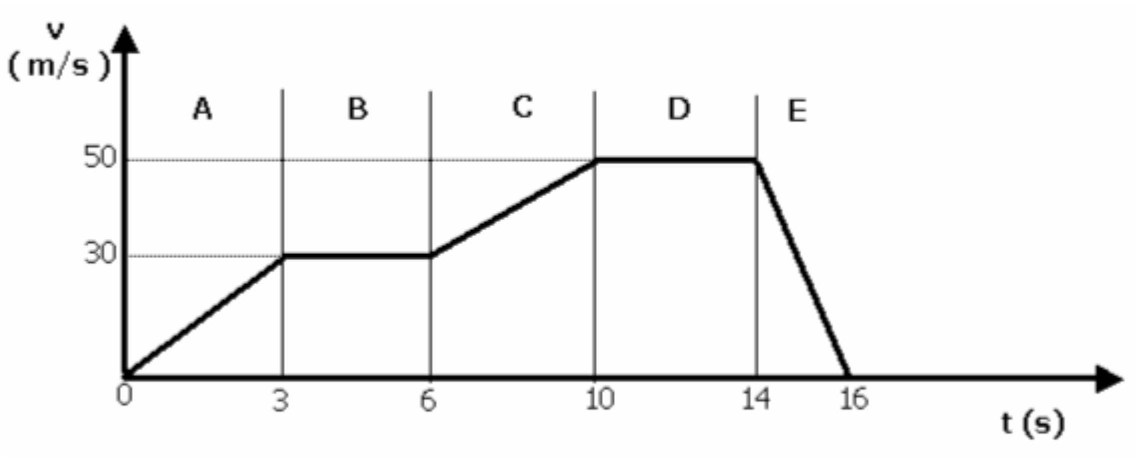
   a) Quel était le déplacement du mobile après 6 secondes ?
   b) Quelle était la vitesse instantanée du mobile au temps 6 s ?
   c) Quelle a été la vitesse moyenne du mobile pour tout le trajet ?

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



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

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



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

4) Une voiture de course sort d'une courbe et parcourt une section droite en 11 secondes. À la fin de cette section, l'odomètre de la voiture indique 314 km/h. Sachant, que dans cette section l'automobile possédait une accélération constante de 6 m/s2, quelle était sa vitesse initiale, en km/h, à la sortie de la courbe ? (Arrondir votre réponse au dixième)

5) Amélie décide de descendre la pente devant chez elle en planche à roulettes. Sachant que cette pente lui donne une accélération de 5 m/s2, et qu'elle ne s'est pas donnée d'élan, en combien de temps aurait-elle franchi les 240 m de la pente ? (Arrondir votre réponse au dixième)

6) Valérie se laisse aller en vélo sans pédaler, sa vitesse est alors de 12 m/s. Elle décide d'accélérer sur 100 m pour dépasser un autre cycliste. À la fin de son accélération, elle possédait une vitesse de 17 m/s. Pendant combien de temps a-t-elle accéléré, sachant que son accélération fut constante ? (Arrondir votre réponse au dixième)

7) Deux plongeuses de haute voltige, lors d'un spectacle, prennent place sur une tour. La première plongeuse se laissera tomber d'une hauteur de 25 m et la deuxième d'une hauteur de 15 m. Après combien de temps, la plongeuse s'élançant de la plus basse plateforme, devra-t-elle se laisser tomber pour atteindre l'eau en même temps que la première plongeuse ?

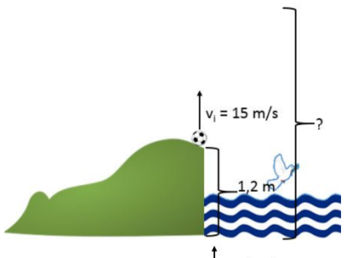
8) David veut s'acheter une fusée modèle réduit, mais deux modèles l'intéressent. Le premier modèle se vend 100 $, le deuxième est à 300 $, mais est capable de propulser la fusée avec une vitesse initiale deux fois plus grande. David peut-il s'attendre, s'il paye le prix du triple du prix de la première fusée, qu'elle ira trois fois plus haut ?
a) Non, elle n'ira que deux fois plus haut.
b) Oui, elle ira exactement trois fois plus haut.
c) Oui, il peut même s'attendre à ce qu'elle atteigne une hauteur quatre fois plus élevée.
d) Oui, il peut même s'attendre à ce qu'elle atteigne une hauteur huit fois plus élevée.

9) Lors d'un match de basket-ball, une adversaire réussit à s'échapper avec le ballon et file à une vitesse constante de 12 km/h vers le panier. Lorsque l'adversaire atteint sa position, Marie-Ève alors immobile, accélère à 1,2 m/s2. Après combien de temps peut-elle espérer rattraper son adversaire ? (Arrondir votre temps au dixième).

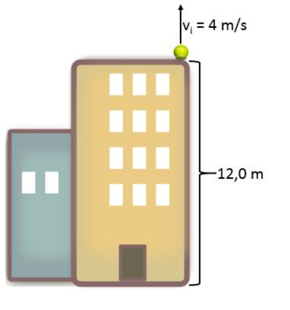
10) Si on laisse tomber un sou noir d'un édifice dont la hauteur est de 365 m, à quelle vitesse, en km/h, atteindra-t-il le sol ? (Arrondir votre réponse au dixième)

11) François cherche à savoir la hauteur du pont suspendu sur lequel il prend place. Isabelle lui suggère de laisser tomber une roche au bas du pont, elle chronométra le temps que prendra la roche à tomber dans la rivière sous le pont et pourra ainsi déterminer la hauteur du pont. François qui n'a pas bien compris les consignes de Isabelle, lance la roche vers le haut. Isabelle chronomètre quand même le temps que prend la roche à monter et à retomber dans la rivière. Sachant que la roche est restée dans les airs durant 6 secondes et que la vitesse initiale du lancer était de 3 m/s, à quelle hauteur est situé le pont ?

12) On lance une balle vers le haut avec une vitesse de $15{,}0\,\mathrm{m/s}$. On lâche la balle d'une hauteur de $1{,}2\,\mathrm{m}$ par rapport au sol. Quelle sera la hauteur maximale atteinte par la balle ?



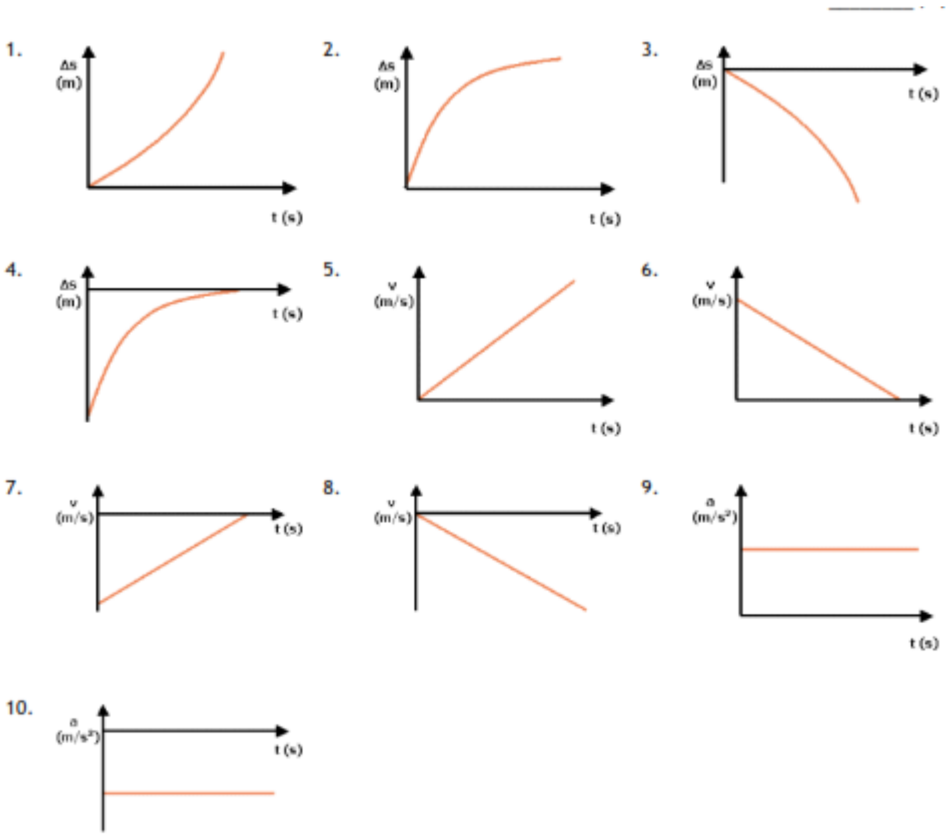
13) Du toit d'un édifice de $12{,}0\,\mathrm{m}$, on lance vers le haut une balle avec une vitesse de $4{,}0\,\mathrm{m/s}$. Combien de temps la balle prendra-t-elle pour atteindre le sol ?



15) Une bille de masse m=10g est lâchée sans vitesse d'une hauteur de 50 m. Calculer :
   a) La vitesse atteinte et la distance parcourue à t=2s.
   b) La durée de la chute et la vitesse d'arrivée au sol.
   c) L'énergie potentielle initiale. (Origine des altitudes : le sol)
   d) Si la masse double que deviennent les résultats précédents.

16) Un jongleur lance une balle verticalement vers le haut, avec une vitesse initiale v_i= 10m.s^{-1}.
Déterminer:
   (a) La date t ; date où le sommet du trajet est atteint.
   (b) La hauteur maximale atteinte par la balle
   (c) La date du retour de la balle à la position initiale
   (d) La vitesse à cet instant.

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



18) La distance parcourue durant la dernière seconde de chute libre (sans vitesse initiale) est égale au quart de la distance totale de chute. Quelle est la hauteur de chute ?
Une bille est abandonnée sans vitesse initiale. Quelle est la distance parcourue pendant la n^{eme} secondes de chute ? g=10ms^{-2}

19) Une première balle est lancée vers le haut avec une vitesse initiale de 8 ms^{-1}. Une seconde plus tard une autre balle est lancée vers le haut avec une vitesse initiale de 6 ms^{-1}. Les deux balles partent du même endroit choisi comme origine.
Quelle est l'altitude de la rencontre ?

20) On lâche une pierre sans vitesse du haut d'un puits. On entend "plouf" 3 s après le lacher.
Quelle est la profondeur du puits ? vitesse du son dans l'air 340 ms^{-1}.

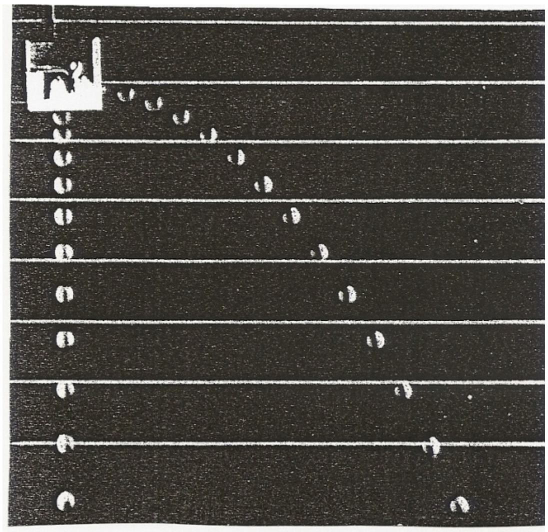
21) Un avion tombe en chute libre pendant 20 secondes environ. On considère alors que l'avion n'est soumis qu'à son poids. Embarqué dans cet avion un scientifique John Buck attaché à un siège, observe un objet qui flotte dans l'air de l'avion. Le scientifique voit l'objet immobile.

a) Au début de la chute, l'avion parcourt d = 100 m en Δ t = 0,45 s dans le référentiel terrestre. Exprimer et calculer la vitesse moyenne de l'avion en km.h-1
b) Dans quel référentiel le scientifique, attaché à son siège, est-il immobile ?
c) Dans le référentiel terrestre, peut-on dire que l'objet est soumis à des forces qui se compensent ?
d) Pourquoi le scientifique voit l'objet immobile flottant dans l'air ?
e) Le référentiel de l'avion est-il un référentiel dans lequel le principe d'inertie est applicable ?

D) Le tir horizontal

I- Définition

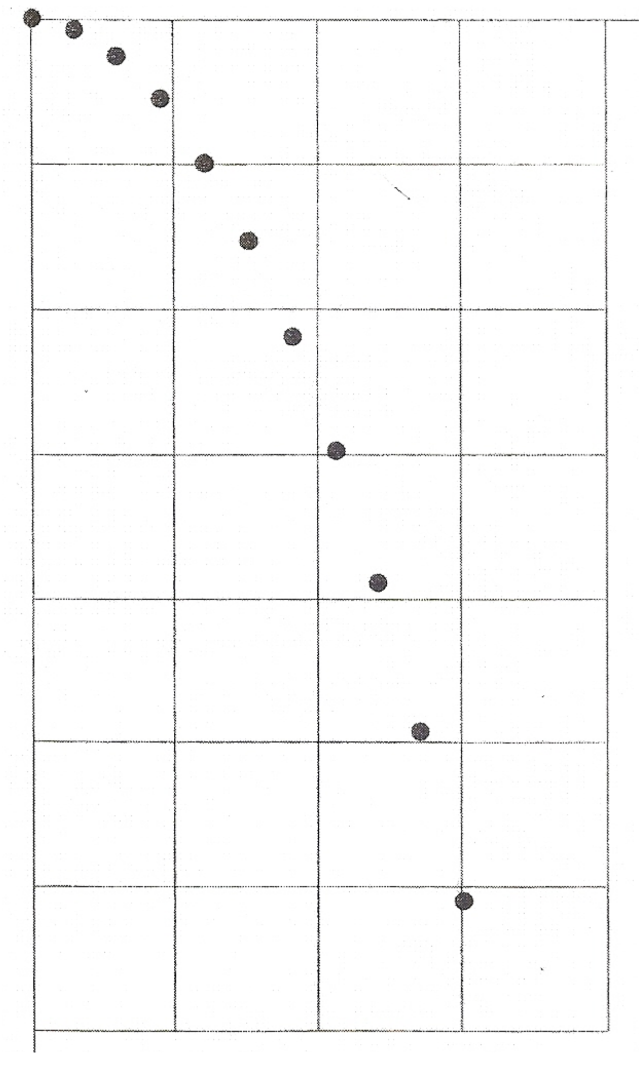
Un **projectile lancé horizontalement** possède une vitesse initiale horizontale, mais ne possède aucune vitesse initiale verticale.



La chronophotographie suivante montre les trajectoires de deux billes lancées en même temps, l'une dans un mouvement de chute libre et l'autre dans un tir horizontal.
Distance entre deux lignes : 15 cm
Intervalle entre deux éclairs : 20 ms
Nombre d'éclairs en total : 14

Que remarques-tu ?

II- Activité



Observe la chronophotographie réalisée ci-contre :

- Intervalle de temps entre deux flashs : 0,05 s
- Chaque graduation représente 0,2 m

Nommer les axes : x axe horizontal et y axe vertical
t=0s à l'origine (x_0=0, y_0=0)

Préciser les unités et la graduation de chaque axe

1) Déplacement horizontal suivant l'axe des x

Pour chaque position de la bille, mesure la distance parcourue par la bille selon l'axe x et complète le tableau ci-dessous :

t(s)	**0**	**0.05**	**0.1**	**0.15**	**0.2**	**0.25**	**0.3**	**0.35**	**0.4**	**0.45**	**0.5**
x(m)											

Que remarques-tu ? Quelle conclusion peut-on faire ?

2) Déplacement vertical suivant l'axe des y

Complète le tableau ci-dessous :

t(s)	**0**	**0.05**	**0.1**	**0.15**	**0.2**	**0.25**	**0.3**	**0.35**	**0.4**	**0.45**	**0.5**
y(m)											

Que remarques-tu ? Quelle conclusion peut-on faire ?

III- Equation de la trajectoire

1) Horizontalement : mouvement MRU

$$\Delta x = v_{0x}\Delta t \Leftrightarrow \boxed{\Delta t = \frac{\Delta x}{v_{0x}}} (1)$$

2) Verticalement : mouvement MRUA

$$\Delta y = -\frac{1}{2}g(\Delta t)^2 \quad (2)$$ (Sens de l'axe y vers le haut)

3) Equation de la trajectoire

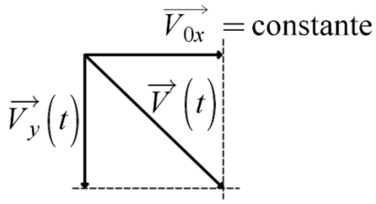
(1) +(2) : $$\Delta y = -\frac{1}{2}g\left(\frac{\Delta x}{v_{0x}}\right)^2 \Leftrightarrow \boxed{y = -\frac{g}{2{v_{0x}}^2}\Delta x^2 + y_0}$$

Equation mathématique d'une parabole : $y = ax^2 + c$

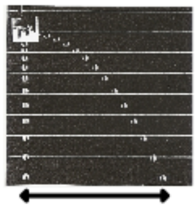
Remarques :

- Pour x_0=0, y_0=0, l'équation de la trajectoire se simplifie et devient : $y = -\frac{g}{2v_{0x}^{2}}x^2$.

- Pour chaque instant t on peut décomposer sa vitesse $\vec{v}(t)$ en une vitesse horizontale $\vec{v}_{0x}$ (constante) et une vitesse verticale $\vec{v}_y(t)$



- La distance totale parcourue suivant l'axe des x se nommera ***la portée (x_p)***



x_p

4) <u>Exercice : tir d'obus</u>

Un avion A, volant horizontalement à une vitesse de 288 km/h à une altitude de 490 m, veut bombarder un objectif B avec une bombe de masse 500 kg.
a) Ecrire les équations paramétriques et cartésienne de la trajectoire de la bombe à partir du moment où elle est larguée.
b) Déterminer l'angle de tir (c.-à-d l'angle que fait la droite AB avec la verticale de A à l'instant du tir).
c) Déterminer l'énergie cinétique de la bombe à l'arrivée sur l'objectif.

E) Mouvement de balistique

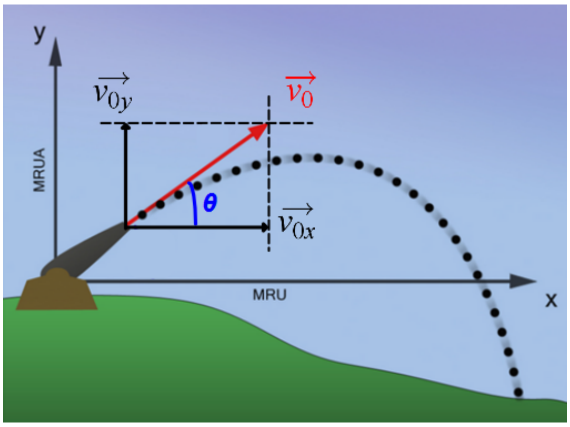
I- Définition

Le **mouvement de projectile**, ou **mouvement de balistique**, est le mouvement d'un objet lancé avec une vitesse possédant une composante horizontale.

Le mouvement de projectile se décompose en deux parties. Les deux mouvements (horizontal et vertical) effectués par le projectile sont complètement indépendants l'un de l'autre :

- À l'horizontale, le projectile se déplace à vitesse constante, comme dans le mouvement rectiligne uniforme (MRU)

- À la verticale, l'objet se déplace en fonction de l'accélération gravitationnelle: il agit donc comme un corps en chute libre. Ainsi, peu importe la vitesse horizontale de l'objet, le mouvement vertical ne variera qu'en fonction de l'accélération gravitationnelle (en supposant qu'on néglige la résistance de l'air).



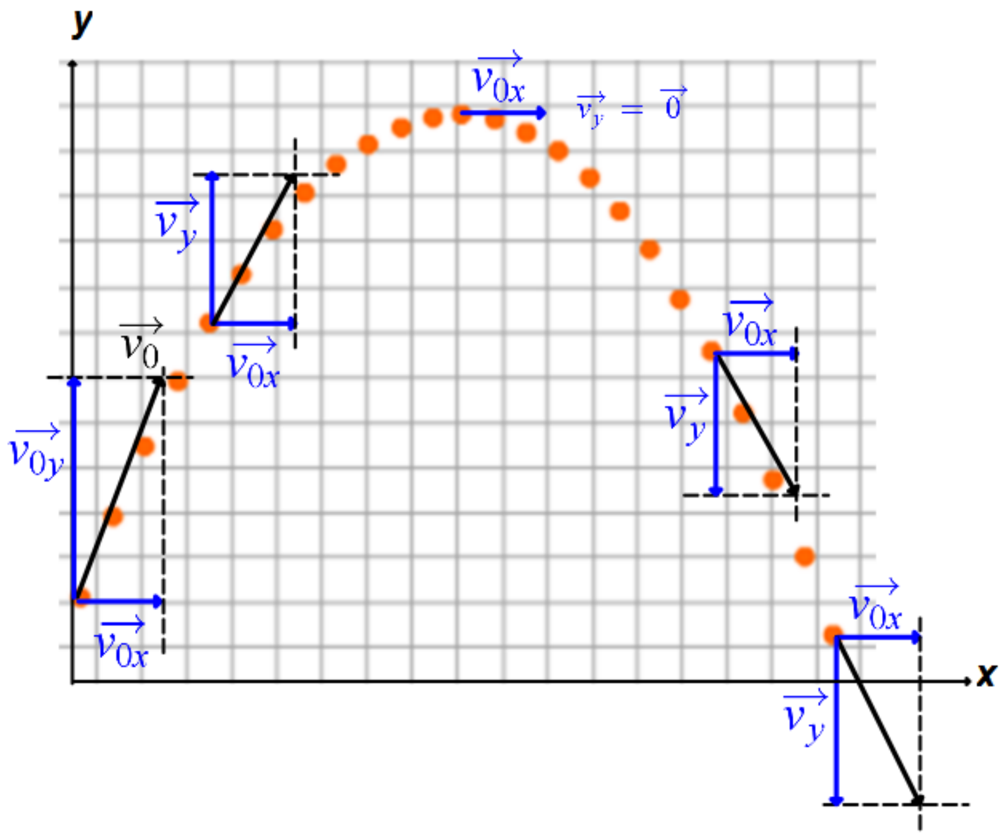
II- Décomposition des vitesses

Au lancement du projectile, la vitesse initiale $\vec{v}_0$ doit être décomposée en deux composantes, soit une composante horizontale $\vec{v}_{0x}$ et une composante verticale $\vec{v}_{0y}$, en utilisant les relations trigonométriques on peut écrire :

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cos\theta \\ v_{0y} = v_0 \sin\theta \end{cases} \qquad {v_{0x}}^2 + {v_{0y}}^2 = {v_0}^2$$

En chaque point de la trajectoire du projectile, on pourra aussi décomposer la vitesse en deux composantes :

- La composante horizontale $\vec{v}_{0x}$ reste constante pendant tout le mouvement du projectile. Le mouvement selon la direction horizontale est un MRU.
- La composante verticale $\vec{v}_y$ est un vecteur qui varie proportionnellement avec le temps. Le mouvement selon la direction verticale est un MRUV.



Remarques :

Le mouvement de projectile est symétrique. Le point de symétrie est situé au moment où le projectile atteint son point le plus haut.
Au point le plus haut, la vitesse verticale est nulle. L'objet possède uniquement une composante de vitesse horizontale.

III- Equation de la trajectoire

1) Dans la direction horizontale

Le mouvement est un MRU (vitesse constante v_{0_x})

$$x(t) = v_{0_x}(t - t_0) + x_0 \qquad avec \qquad t_0 = 0, x_0 = 0 \Leftrightarrow \boxed{x(t) = v_{0_x} t} \qquad (2)$$

2) Dans la direction verticale

Le mouvement de projectile est un MRUD (chute libre)

$$y(t) = -\frac{1}{2}g(t - t_0)^2 + v_{o_y}(t - t_0) + y_o \qquad \Leftrightarrow \boxed{y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{o_y}t + y_0} \qquad (1)$$

$$et \qquad \boxed{v_y(t) = -gt + v_{o_y}}$$

3) Equation de la trajectoire

$$(2)\ x(t) = v_{0_x} t \Leftrightarrow t = \frac{x}{v_{0_x}} \quad on\ \ remplace\ dans(1) \qquad y(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_{o_y} t + y_0 = -\frac{1}{2} g \left[\frac{x}{v_{0_x}}\right]^2 + v_{o_y} \left[\frac{x}{v_{0_x}}\right] + y_0$$

$$\boxed{y(t) = -\frac{g}{2{v_{0_x}}^2} x^2 + \frac{v_{o_y}}{v_{0_x}} x}$$

On obtient l'équation d'une parabole de la forme : $y = -kx^2 + bx$

- **Lorsque la hauteur maximale est atteinte** $v_y = 0$

$$\underbrace{v_y}_{0} = -g t_{y_{\max}} + v_{o_y} \Leftrightarrow t_{y_{\max}} = \frac{v_{o_y}}{g}$$

$$y_{\max} = -\frac{1}{2} g {t_{y_{\max}}}^2 + v_{o_y} t_{y_{\max}} = -\frac{1}{2} g \left[\frac{v_{o_y}}{g}\right]^2 + v_{o_y} \left[\frac{v_{o_y}}{g}\right]$$

$$\boxed{y_{\max} = \frac{1}{2} \frac{{v_{o_y}}^2}{g}}$$

Si le projectile est lancé à la même hauteur que lorsqu'il atteint le sol alors :

- Le temps que met le projectile dans son mouvement ascendant sera le même que le temps qu'elle mettra pour son mouvement descendant.
- La portée du tir sera donc égale à deux fois la distance horizontale parcourue pendant le temps de sa montée.
- La vitesse atteinte sur le sol sera la même que la vitesse initiale.

4) Exercices

1) Une arbalète tire une flèche avec un angle de 30° par rapport à l'horizontale avec une vitesse initiale de180 km/h d'un donjon haut de 25m.
Déterminer le temps de chute de la flèche et la hauteur maximale atteinte
Quelle est la portée du tir ?
Avec quelle vitesse heurte-t-il le sol ? et avec quel angle d'attaque ?

2) Une arbalète tire une flèche avec un angle de 30° par rapport à l'horizontale avec une vitesse initiale de180km/h d'un donjon haut de 25m.
a) déterminer le temps de chute de la flèche.
b) Quelle est la portée du tir ?
c) Avec quelle vitesse heurte-t-il le sol ?

3) Une fusée fabriquée par la République Démocratique du Haut-Twadla (RDHT)part avec une vitesse verticale de Mach2 (= 2 fois la vitesse du son dans l'air ~340 m/s).
Quelle est la hauteur maximale qu'elle peut atteindre ? Calculez-la en utilisant vos notions d'énergie mécanique (Em = ½ mv² + mgh)
A l'aide des équations du mouvement.

4) Des espions du Bas-Rtwadla Démocratique, pays voisin et meilleur ennemi du Haut-Twadla, ont placé une calle sous un des pieds de la fusée. Elle possède dès lors une inclinaison de 15° par rapport à la situation décrite ci-dessus. Ils espèrent ridiculiser le RDHT et que la fusée tombe sur la capitale du pays se trouvant à 450km de la fusée.
La capitale est-elle atteinte ? (Portée)
A quelle hauteur se trouve l'apogée (zénith) de la trajectoire ?
Quelle est la portée si l'angle d'inclinaison est de 30° ou de 60°

5) Sanson envoie chaque jour des fleurs par-dessus le mur du jardin de Dalila en espérant que la belle ne l'oublie pas car voilà 1 mois qu'il ne l'a plus vue. Le mur est haut 250cm. Sanson se place toujours à 5m du mur pour lancer ses fleurs.
Avec quelle vitesse minimum doit-il les lancer ?

a. Calculer les composantes verticales et horizontales de la vitesse au moment départ du lancé.
Remarque : on considère que les fleurs sont lancées du sol.

6) La trajectoire d'un objet céleste est changée lorsque celui-ci ressent de façon significative les champs magnétique et gravitationnel créés par une étoile proche. L'équation des positions se transforme dès cet instant en $p(t) = 4/5.g.t^3 + 12t^2 - \cos(25t) +15$.
Calculer la position, la vitesse et l'accélération de l'objet 10 min après avoir commencé à subir l'action des champs de façon significative.

7) Coup franc en football

Ronaldo tire un coup franc à 18 m des buts adverses. Il communique à la balle une vitesse faisant un angle de 30° par rapport à l'horizontale.

1. Rappelez, sans les établir, les équations horaires et cartésienne de la balle. (On néglige le frottement)
2. Ronaldo veut mettre le ballon au-dessous de la barre transversale (hauteur du but : 2,44 m – rayon du ballon : 0,14 m = hauteur à atteindre : 2,30 m). Déterminez la norme de la vitesse initiale.
3. La balle doit passer au-dessus du mur situé à 9 m (mettons que, même en sautant, les défenseurs ne dépassent pas 2,20 m). Est-ce le cas dans les conditions établies au point 2 ?

8) Lanceur de poids

Lors d'une manifestation sportive, un athlète lance le poids (sphère métallique de 6 kg). Il le propulse en détendant son bras qui fait alors un angle de 40° avec l'horizontale. La boule quitte sa main à une hauteur de 2,3 m et frappe le sol à une distance de 18,4 m.

1. Rappelez, sans les établir, les équation paramétriques et horaire de la sphère.
2. Quelle est la vitesse initiale du poids ?
3. Vous savez que les lanceurs de poids font quelques tours sur eux-mêmes avant de propulser le poids. Celui-ci acquiert alors une certaine vitesse (mettons 5 m/s) avant que n'agisse la force musculaire du bras. Calculez cette force musculaire, si la sphère se trouve (au niveau du cou) à une hauteur de 1,65 m et part avec une vitesse de 12 m/s faisant un angle de 40° avec l'horizontale.

9) Guillaume Tell

Héros légendaire de l'indépendance suisse, Guillaume Tell, mis à l'épreuve par le bailli Geßler, transperça d'une flèche une pomme placée sur la tête de son fils. Quelques jours après cet exploit, Tell aperçoit l'infâme bailli Geßler en haut de la tour du beffroi ; il veut se venger.
Le bailli que l'on assimilera à une cible ponctuelle B se trouve à une hauteur H = 40 m par rapport à la pointe de la flèche de son arbalète (point O) et à une distance D = 50 m devant lui (suivant une horizontale). On assimilera la flèche à sa pointe G et on négligera les frottements.

1. Ecrire (sans les établir) les équations paramétriques de la trajectoire de la flèche et en déduire son équation cartésienne.
2. Sachant que l'angle de tir vaut 64°20', calculer la vitesse de lancement v_0 de la flèche pour qu'il puisse atteindre le bailli B
3. Pour transpercer la veste de cuir du bailli, la flèche doit avoir une vitesse minimale de 100 km/h quand elle l'atteint. Est-ce que le bailli peut être dangereusement blessé par la flèche de Tell ?

10) Le joueur de golf

Un golfeur frappe la balle de golf avec un fer 5 qui a un loft (angle entre la face ouverte et la verticale) de 28°.

1. Faites une figure soignée et écrivez (sans les établir) les équations horaires ainsi que l'équation cartésienne de la balle. On néglige le frottement.
2. La balle atterrit 140 m plus loin, à la même hauteur. Déterminez sa vitesse de départ.
3. Calculez l'accélération centripète de la tête du club au moment où elle frappe la balle, sachant que la distance qui sépare l'épaule du golfeur et la tête du club (la longueur du bras du golfeur + longueur du club) vaut 1,70 m. Montrez que sa vitesse angulaire vaut alors environ 24 rad/s.
4. Quelle serait la distance atteinte, si le golfeur frappait la balle avec un club 9 (loft = 43°) avec la même vitesse angulaire, sachant que le club 9 est plus court de 7 cm ?
5. Si vos calculs sont exacts, vous aurez trouvé une distance supérieure dans le deuxième cas. L'expérience montre toutefois que la distance atteinte avec un club 9 dans ces conditions est bien moindre. Expliquez !

11) Partie de tennis

Au cours d'un match de tennis, un joueur fait le service de façon suivante :
Il lance la balle verticalement vers le haut avec une vitesse v_{vert} = 4,64 m/s, la balle se trouvant à une hauteur
h_0 = 1,20 m au-dessus du sol lorsqu'elle quitte la main du joueur.

1. A quelle hauteur maximale H par rapport au sol va-t-elle monter ?
2. Lorsque la balle est au sommet de sa trajectoire, le joueur la frappe avec sa raquette. La balle part alors avec une vitesse v_0 faisant un angle alpha avec l'horizontale.
   Ecrivez, sans les établir, les équations paramétriques de la balle et déduisez-en l'équation cartésienne.
3. La longueur du court de tennis étant 2L = 23,77 m, quelle doit être la vitesse minimale $v_{0\,min}$ de la balle pour qu'elle passe tout juste au-dessus du filet placé au milieu du court et ayant une hauteur h = 0,915 m ? (On donne H = 2,30 m et alpha = 5°)
   En réalité, la balle part avec une vitesse v_0' = 25 m/s.
4. A quelle distance du fond de court adverse va-t-elle toucher terre ?
5. Quel aura été son temps de vol ?

12) M3P7 Bombardement d'un navire (examen repêchage 2003)

Un navire se déplace selon la direction OX sur un lac. Un avion vole horizontalement à 180 m au-dessus du navire dans la même direction OX et à la vitesse constante v = 85 m/s. A l'instant t = 0, l'avion se trouve à une distance horizontale de 450 m derrière le bateau et le pilote largue une bombe.

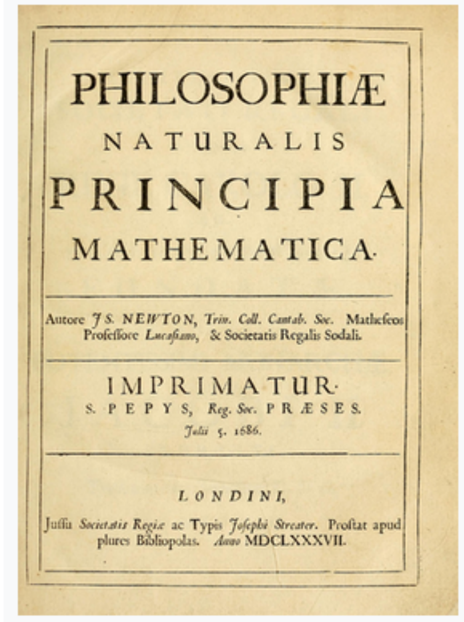
a) Donner les équations horaires de la bombe.
b) Calculer la durée de chute de la bombe en négligeant les frottements.
c) Calculer la vitesse du navire sache qu'il est touché par la bombe.

13) Zazie et Nestor

Du haut d'un immeuble, Zazie lance des boules de neige sur les passants qui passent dans sa rue, 30 m plus bas. Elle lance une boule une vitesse v0 qui fait un angle a = 36° avec l'horizontale. On néglige la résistance de l'air.

1. Ecrivez, sans les établir, les équations horaires de la boule et déduisez-en l'équation cartésienne.
2. Nestor Boyau est immobile, à 20 m du pied de l'immeuble. Quelle valeur doit-elle donner à v_0 pour que le projectile atteigne la tête du pauvre Nestor Boyau, à 1,50 m du sol ?
3. On considère à présent que Nestor se déplace à une vitesse de 4 m/s vers l'immeuble et se trouve à la même distance de 20 m à t = 0. Zazie lance une boule sous le même angle de 36° à une vitesse v0 = 10 m/s. Va-t-elle atteindre Nestor ? Motivez !

F)Les lois de Newton



PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

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 $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ $\Leftrightarrow$ $\vec{v} \neq \vec{0}$ (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- Limitations

1) L'isolement du corps

Disons tout de suite que l'hypothèse de cette loi est purement théorique : il n'existe aucun corps dans l'univers que soit rigoureusement isolé ! Pour pouvoir l'appliquer, il faut faire des approximations (négliger l'influence des autres corps) voire même tricher carrément !
Par exemple, l'expérience classique d'illustration de ce principe se fait sur un banc à coussin d'air. On arrive ainsi à presque éliminer les frottements et surtout à compenser le poids du corps (un palet) en mouvement.
On essaye de se placer de cette manière dans une situation où le corps n'est soumis à aucune interaction, mais c'est tout à fait artificiel !
Il faut penser à cette contrainte lorsqu'on veut utiliser la première loi. Inutile de penser Première Loi dans un système où il y a interactions entre des corps.

2) Le référentiel

Le principe d'inertie, la Première Loi de Newton, repose entièrement sur une catégorie particulière de référentiels. On les appelle « référentiel d'inertie » ou « référentiel galiléen ». En fait, cette loi n'est vraie que dans ces référentiels.
On définit un référentiel galiléen comme un référentiel dans lequel un point matériel soumis à une force nulle présente un mouvement rectiligne uniforme (vitesse constante, éventuellement nulle). Un référentiel galiléen est donc défini par rapport à la Première Loi de Newton, ce qui est à retenir.

3) Comment appliquer cette loi ?

Pour employer le principe d'inertie, il faut que :

- L'objet est assimilable à un point matériel dans le domaine d'étude,
- Le référentiel d'étude est inertiel (galiléen),
- L'objet n'est soumis à aucune interaction.

V- 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 :

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

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

3) Limitations

Encore une fois, le référentiel doit être absolument précisé, et il est absolument nécessaire que ce soit un référentiel inertiel.

4) 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, qui sera toujours inertiel (ou galiléen, c'est à peu près pareil).
- 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.

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

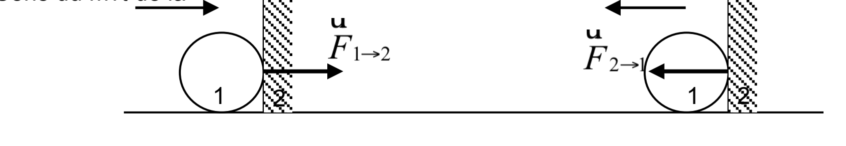
Son énoncé original est *« l'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales, et dans des directions contraires ».*

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.

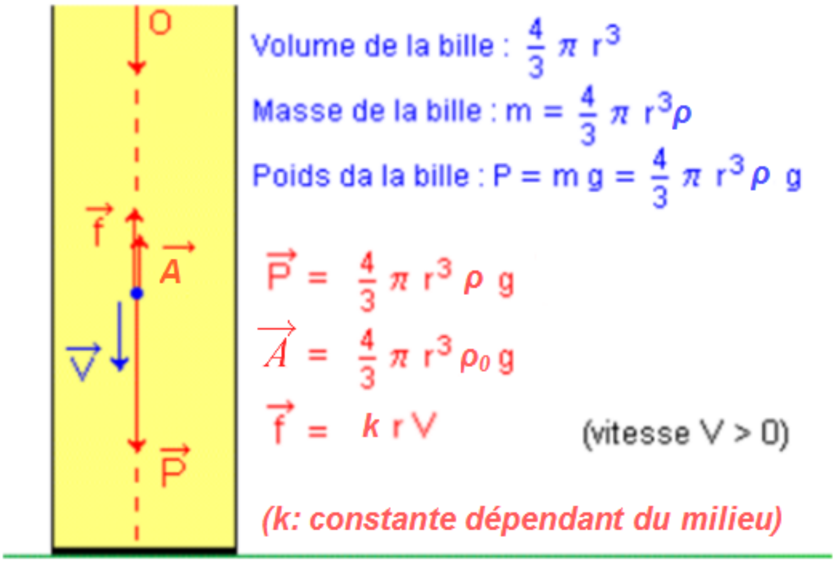
1) Exemple

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



VII- Vitesse de chute libre dans un fluide



La vitesse de la bille peut varier où 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

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

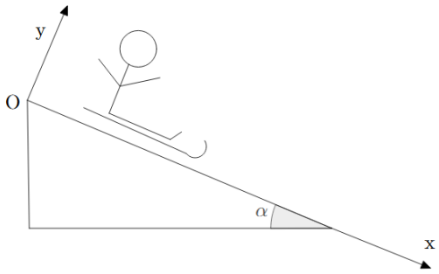
Par projection sur l'axe du vertical : $P - f - A = m.a$

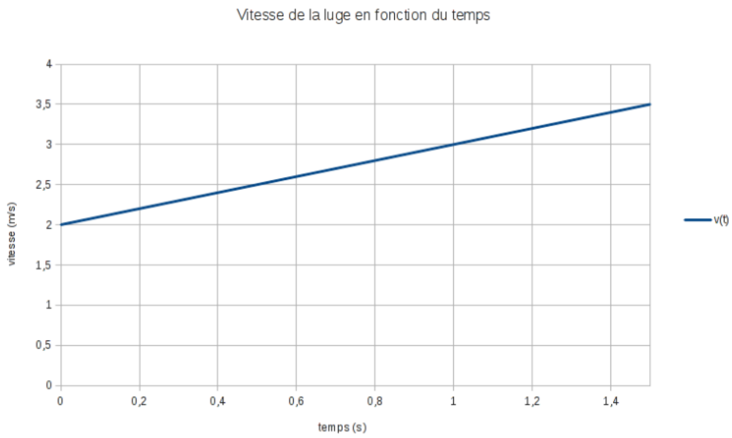
VIII- Exercices

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 °. 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 α avec l'horizontale. On néglige tout frottement avec l'air et la piste.
On donne v_i= 2 m.s^{-1}.





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

4) La cabine d'un ascenseur, de masse M égale à 400 kg, transporte 5 personnes dont la masse m est de 300 kg. Pendant la montée de la cabine, le câble tracteur exerce sur cette dernière une force constante $\vec{F}$, verticale et ascendante, d'une valeur égale à 8 500 N.

a) Effectuez l'inventaire des forces extérieures exercées sur la cabine, en négligeant les forces de frottement.
b) Faire un schéma du système, et représenter les forces.
c) Énoncer la deuxième loi de Newton. L'appliquer au système précédent.
d) En déduire la valeur et les caractéristiques du vecteur accélération du centre d'inertie de la cage d'ascenseur au cours de cette phase ascendante. La cabine, initialement au repos, part maintenant vers le bas, en transportant les mêmes personnes.
e) Quels sont la direction et le sens du vecteur accélération du centre d'inertie de la cabine au moment du démarrage ?
f) Sans calcul mais en justifiant, comparer la nouvelle valeur F' de la tension du câble tracteur avec la valeur du poids P de l'ensemble.

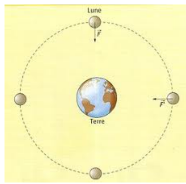
5) Skieur
On considère un skieur de masse m=70 kg. On négligera les frottements de l'air sur le skieur. On étudie tout d'abord le mouvement de descente du skieur.
a) Le skieur a un mouvement rectiligne uniforme vers le bas, sur une piste noire, inclinée d'un angle α=10°.
- Faire le bilan des forces s'exerçant sur l'ensemble {skieur+ski}.
- Appliquer la seconde loi de Newton ou le principe d'inertie.
- Projeter l'équation précédente sur deux axes bien choisit, afin de trouver les composantes de toutes les forces en présence.

b) Tout recommencer pour la phase de montée, lorsque le skieur est tiré par une perche inclinée
de β=30° par rapport à la verticale, tirant le skieur vers le haut, toujours sur la piste noire parfaitement rectiligne, inclinée d'un angle α=10°. La valeur de la tension $\vec{T}$ exercée par la perche est de 900 N.

G) 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***.

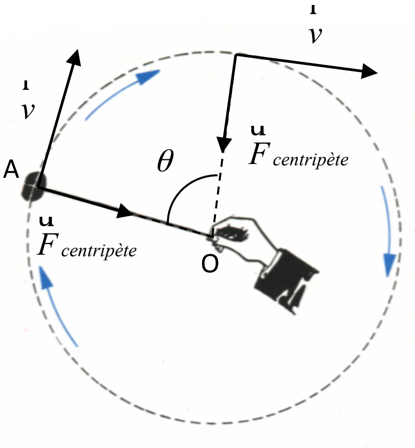


Mouvement des hélices d'avion, des roues de voiture ou encore de la rotation de la terre, de la lune.

Un point A effectué 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 décrie un mouvement circulaire uniforme, sur sa trajectoire la vitesse est constante et la pierre ne possède pas d'accélération dans la direction du mouvement.

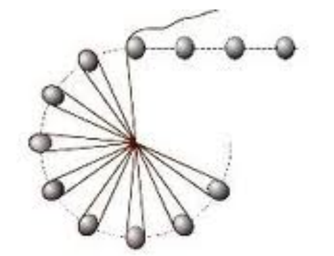


D'après le principe fondamental de la dynamique, si aucune accélération n'agit sur l'objet, alors aucune force non plus $\left(\vec{F} = m.\vec{a} = \vec{0}\right)$, sa trajectoire est rectiligne et sa vitesse **« linéaire »** est constante (principe d'inertie).
Cependant, à chaque instant, le vecteur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

$$\vec{F}_{centripète} = m.\,\vec{a}_{centripète}$$

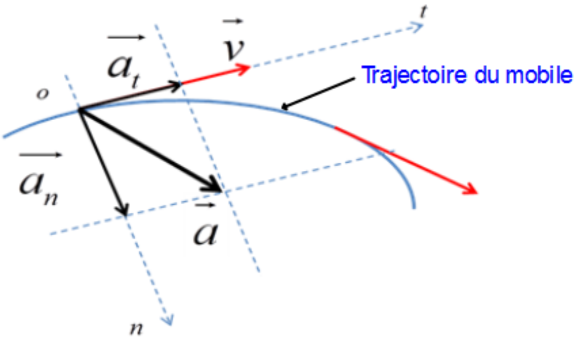
$$\boxed{\vec{a}_c = \frac{\vec{v}^2}{R}} \qquad et \qquad \boxed{\vec{F}_c = m.\frac{\vec{v}^2}{R}} \qquad \begin{cases} R : \text{rayon de la trajectoire circulaire} \\ \vec{v} : \text{vitesse "linéaire"} \\ \text{m: masse de l'objet} \end{cases}$$


Mouvement d'une pierre lancée par la fronde.

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

Remarque :

Pour un mouvement dont la trajectoire est un cercle ou un arc de cercle, et où le module du vecteur vitesse n'est pas constant.



On décompose le vecteur accélération en une composante tangentielle $\vec{a_t}$ et une composante normale $\vec{a_n}$.

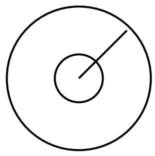
- La composante normale de l'accélération $\vec{a_n}$ est toujours positive : elle est toujours tournée vers le centre de courbure de la trajectoire au point considéré. Elle indique que la direction du vecteur vitesse change et est d'autant plus important que le rayon de courbure est faible (virage serré).
  Si le mouvement est rectiligne (rayon de courbure infini) ce terme est nul.

- La composante tangentielle $\vec{a_t}$ de l'accélération, indique si la valeur de la vitesse change. Si le mouvement est uniforme ce terme est nul.

III- Vitesse linéaire

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

$$\boxed{v = \frac{2\pi R}{T}} \qquad \begin{cases} v : \text{vitesse linéaire } (m/s) \\ R : \text{rayon du cercle } (m) \\ T : \underline{\text{période}} \text{ (temps mis pour faire 1 tour) } (s) \end{cases}$$



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 :

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

IV- La vitesse angulaire

On appelle vitesse angulaire ω 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°17'44,8'').

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \qquad \begin{cases} \omega : \text{vitesse angulaire } (rad/s) \\ T : \underline{\text{période}} \text{ (temps mis pour faire 1 tour) } (s) \end{cases}$$

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

On peut en déduire que :

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \underbrace{\frac{2\pi}{T}}_{\omega}.R = \omega.R \qquad donc \qquad \boxed{v = \omega.R \quad ou \quad \omega = \frac{v}{R}}$$

$$\boxed{\vec{F}_c = m.\frac{\vec{v}^2}{R} = m.\left(\frac{\vec{v}}{R}\right)^2.R = m.\omega^2.R}$$

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 : $v_1 = \omega.R_1, v_2 = \omega.R_2 = ...$ *et* $\omega = \frac{v_1}{R_1} = \frac{v_2}{R_2} = ...$
- L''accélération angulaire, η, peut être définie comme suit : $\boxed{\eta = \frac{\omega}{t}}$ (rad / s^2)

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).

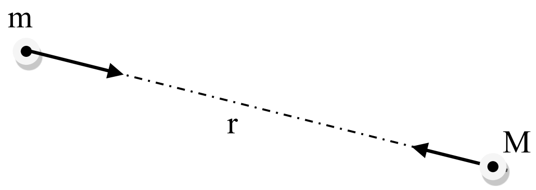
Les corps célestes et la Terre doivent obéir aux mêmes lois.
Donc la Force qui retient la lune près de la Terre et qui la force à changer continuellement de direction est la force de pesanteur.
Voilà pourquoi la Lune tourne autour de la Terre. Si la lune était immobile, elle tomberait directement sur 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 directements opposées
- des forces dirigées selon la droite qui les joint dont l'intensité commune est proportionnelle à leur masse et inversément proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

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



G = 6,67.10⁻¹¹ N.m²/kg² :

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

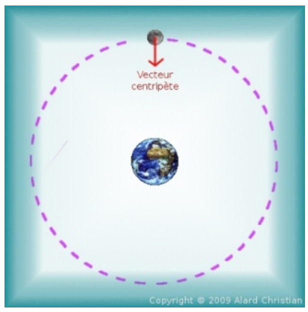
Pour tout corps à la surface de la terre :

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

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 m/s² et $g_{\text{pôle}}$ = 9,83 m/s²)

VII- Le mouvement central



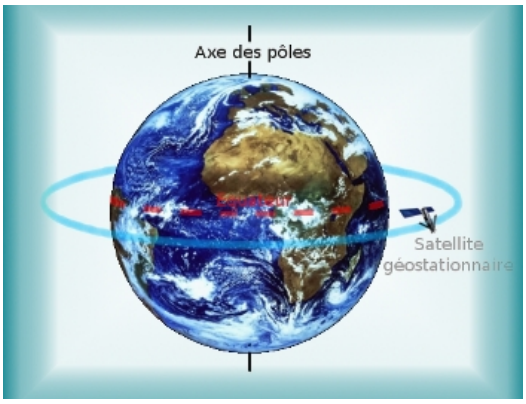
Newton a démontré que, dans le cas où la vitesse et la force centripète varient (selon des lois bien précises), la trajectoire du mobile sera une courbe régulière : ellipse pour le mouvement des planètes, parabole ou hyperbole pour le mouvement des comètes.
La trajectoire circulaire (mouvement de la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

$$\boxed{F = m.\frac{v^2}{R}} \qquad \begin{cases} R: \text{rayon de l'orbite circulaire} \\ v: \text{vitesse "linéaire"} \\ \text{m: masse de l'objet} \end{cases}$$

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 ~ 40 000 km ?
R: $7{,}27.10^{-5}$ 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) Calculer la force centripète qui agit sur un cycliste décrivant une courbe de 10 m de rayon à la vitesse de 12 km/h. La masse totale du cycliste (avec son vélo) vaut 90 kg.

6) Que devient la force centripète d'un corps en mouvement circulaire, lorsque sa vitesse linéaire a triplé. R : 9 fois la force centripète initiale.

7) 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.

8) Une locomotive d'une masse de 120 tonnes roule à une vitesse uniforme de 90 km/h dans une courbe de 400m de rayon. Quelle est l'intensité de la force centripète agissant sur la locomotive ?
(g = 9,81 m/s²) R : 187500 N .

9) La planète Neptune gravite autour du soleil sur une orbite dont le rayon moyen est environ 30 fois plus grand que le rayon orbital de la Terre. Quelle est sa période de rotation ?

R : 164,3 ans

10) A quelle altitude se trouve l'orbite d'un satellite géostationnaire ?
Quelle est la vitesse (linéaire) de rotation de ce satellite ? ($M_{terre} = 6.10^{24}$ kg).
Montrer que la vitesse orbitale d'un satellite est indépendante de sa masse.