MOUVEMENTS

1- Référentiels

1.1- Système et référentiel

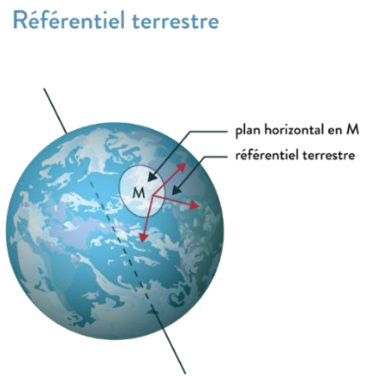
Un référentiel est un objet choisi arbitrairement et considéré comme immobile, par rapport auquel on étudie le mouvement d'un autre objet auquel on s'intéresse.

Un système mécanique est un objet dont on étudie le mouvement et les forces qu'il subit. Toutefois, la description de ce mouvement dépend du référentiel choisi.

Un référentiel est donc un solide par rapport auquel le physicien étudie le mouvement d'un objet. Il est déterminé par la donnée de quatre points non coplanaires. On doit associer à ce référentiel une horloge.

1.2- Référentiel Terrestre

Tout objet immobile par rapport à la terre (paillasse, salle de classe) est appelé "référentiel terrestre" appelé aussi "référentiel du laboratoire".

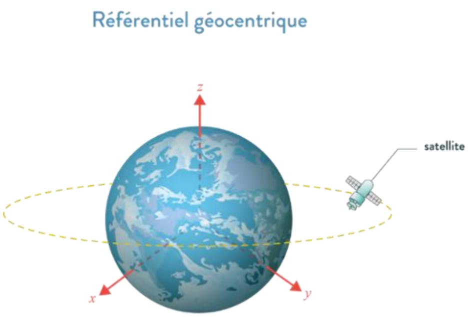


On prend souvent comme référentiel le référentiel Terrestre.

Il est construit à partir d'un point de la surface de la Terre et d'un repère orthonormé. Il est entrainé par la rotation de la Terre.

1.3- Référentiel Géocentrique

Le "référentiel géocentrique" est un objet mathématique, appelé repère, dont le centre est au centre de la terre et les axes dirigés vers des étoiles lointaines.



Il est construit à partir du centre de la Terre et de trois étoiles, les 4 points n'étant pas dans un même plan.

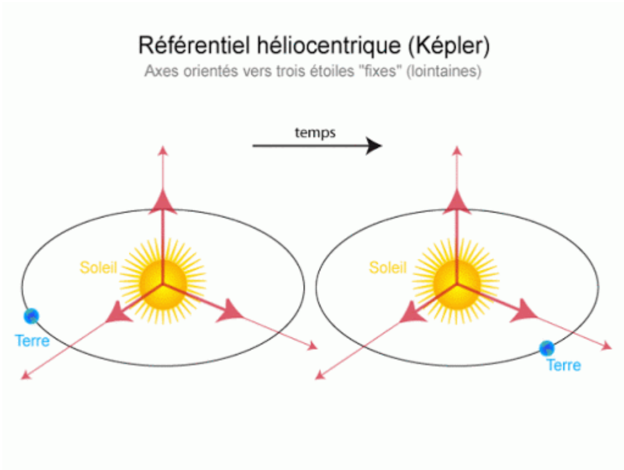
Dans ce référentiel, la Terre a un mouvement propre de rotation autour de l'axe des pôles.

La durée de la période de rotation défini le jour sidéral qui est de 23H56min.

Il est utilisé pour étudier le mouvement de la Lune et des satellites artificiels terrestres

1.4- Référentiel Héliocentrique

Le "référentiel héliocentrique" est un objet mathématique, appelé repère, dont le centre est au centre du soleil et les axes dirigés vers des étoiles lointaines.



Il est construit à partir du centre du soleil et de trois étoiles, les 4 points n'étant pas coplanaires.

Dans ce référentiel, le centre de la Terre effectue un mouvement de révolution autour du Soleil. La durée de la période de révolution de la Terre défini l'année sidérale qui est d'environ 365,256jours.

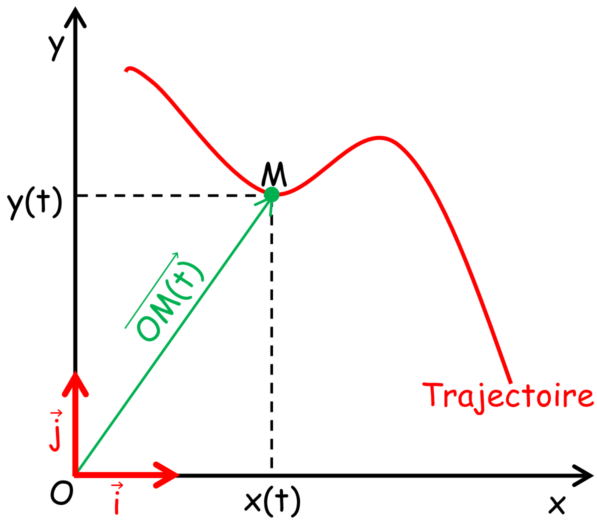
Il est utilisé pour étudier le mouvement des planètes autour du Soleil ou pour les voyages interplanétaires.

2- Trajectoires

2.1- Notion de trajectoire

La trajectoire d'un point mobile M est l'ensemble des positions successives occupées par ce point au cours du temps (c'est le chemin suivi par ce point mobile). Toutefois, la forme de la trajectoire d'un point mobile M dépend de la position et du mouvement de l'observateur.

L'étude du mouvement d'un mobile nécessite non seulement le choix d'un référentiel auquel on associe un repère mais encore le choix d'une horloge pour mesurer le temps.



Dans le repère orthonormé **$(O;\vec{i},\vec{j})$**, lié au référentiel d'étude, la position d'un mobile ponctuel est, à l'instant t, donnée par le vecteur position:

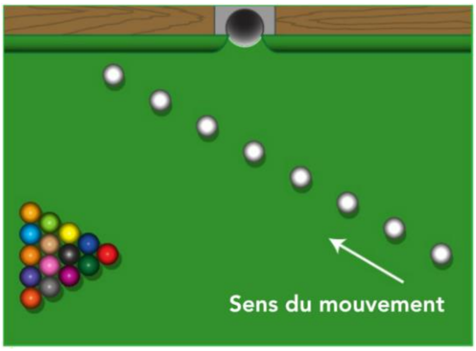
$$\overrightarrow{OM(t)} = x(t).\vec{i} + y(t).\vec{j}$$

A cet instant t, le mobile se trouve à une certaine distance de l'origine O du repère donnée par:

$$OM(t) = \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}$$

2.2- Mouvement rectiligne uniforme

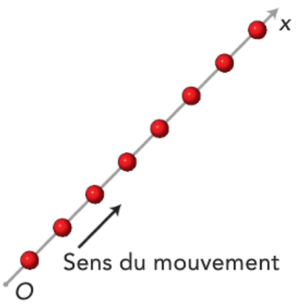
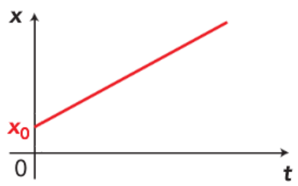
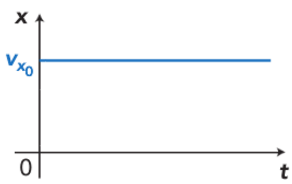
Dans un référentiel donné, le mouvement d'un système est rectiligne et uniforme lorsque la trajectoire est une portion de droite et la valeur de la vitesse est constante.



Dans un référentiel donné, un système a un mouvement rectiligne uniforme si son vecteur vitesse $\vec{v}$ est constant (même direction, même sens et même valeur).

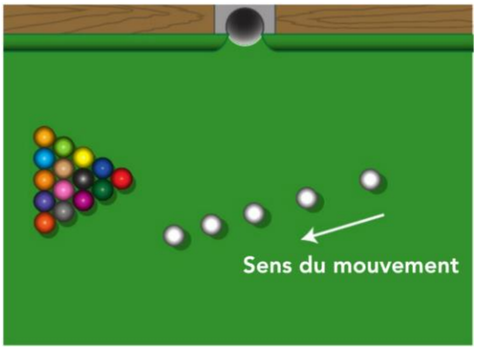
Comme le vecteur vitesse $\vec{v}$ ne varie pas (mêmes direction, sens et valeur) on dira que l'accélération $\vec{a}$ est nulle.

Les graphiques suivants caractérisent un mouvement rectiligne et uniforme sur un axe Ox orienté dans le sens du mouvement.

Chronophotographie du mouvement sur un axe Ox	Représentation graphique de la coordonnée x(t) de la position	Représentation graphique de la coordonnée v_x (t) de la vitesse	Représentation graphique de la coordonnée a_x (t) de l'accélération
	 Équation de la représentation graphique : $x(t) = v_{x_0} \cdot t + x_0$	 Équation de la représentation graphique : $v_x(t) = v_{x_0}$	 Équation de la représentation graphique : $a_x(t) = 0$

2.3- Mouvements rectilignes uniformément variés

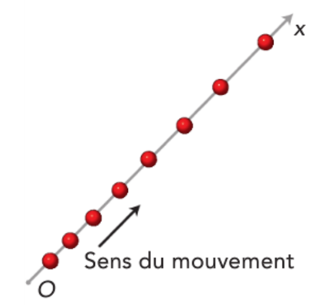
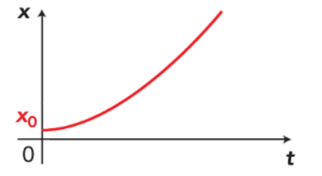
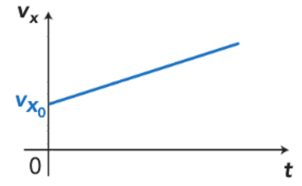
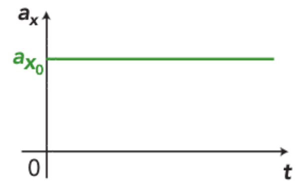
Dans un référentiel donné, le mouvement d'un système est rectiligne et uniformément varié lorsque sa trajectoire est une portion de droite et la valeur de sa vitesse varie (augmente ou diminue). La valeur de la vitesse est alors une fonction affine du temps.



Comme le vecteur vitesse $\vec{v}$ varie pas (mêmes direction et sens mais des valeurs différentes) on dira que l'accélération $\vec{a}$ est non nulle.

Si la vitesse augmente on dira que le mouvement sera accéléré et si elle diminue on dira que le mouvement sera décéléré.

Les graphiques suivants caractérisent un mouvement rectiligne uniformément accéléré sur un axe Ox orienté dans le sens du mouvement.

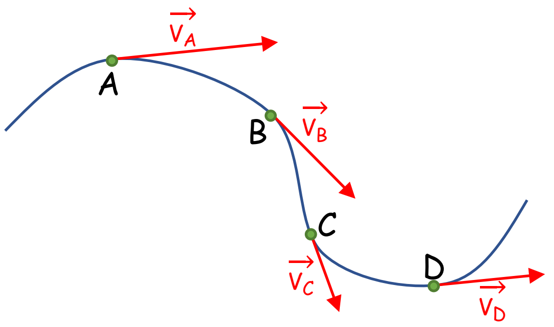
Chronophotographie du mouvement rectiligne sur un axe Ox	Représentation graphique de la coordonnée x(t) de la position	Représentation graphique de la coordonnée $v_x(t)$ de la vitesse	Représentation graphique de la coordonnée $a_x(t)$ de l'accélération
	 Équation de la représentation graphique : $x(t) = \frac{1}{2} \cdot a_{x_0} \cdot t^2 + v_{x_0} \cdot t + x_0$	 Équation de la représentation graphique : $v_x(t) = a_{x_0} \cdot t + v_{x_0}$	 Équation de la représentation graphique : $a_x(t) = a_{x_0}$

2.4- Mouvement curviligne

Un mouvement est dit curviligne lorsque la trajectoire est une courbe quelconque.

En tout point, le vecteur vitesse $\overrightarrow{V_M}$ est constamment tangent à la trajectoire.

Comme le vecteur vitesse varie constamment (direction, sens et valeur), l'accélération en tout point est non nulle.

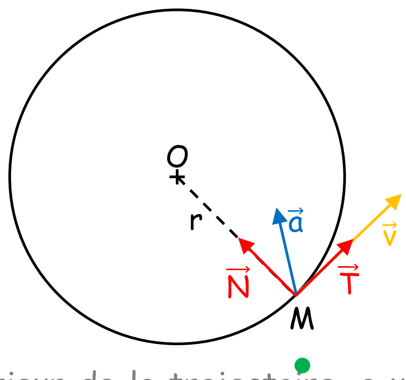


2.5- Mouvement circulaire (hors programme)

Désignons par $\vec{v}$ le vecteur vitesse et $\vec{a}$ le vecteur accélération d'un mobile ponctuel décrivant une trajectoire circulaire.

Lors d'un mouvement circulaire, le vecteur vitesse $\vec{v}$ est toujours tangent à la trajectoire:

$$\vec{v}=v.\vec{T}$$



Le vecteur accélération $\vec{a}$, qui est toujours dirigée vers l'intérieur de la trajectoire, a une composante normale et une composante tangentielle, d'où la relation:

$$\vec{a} = a_T.\vec{T} + a_N.\vec{N}$$

La composante tangentielle a_T de l'accélération, qui peut être positive ou nulle, fait varier la valeur de la vitesse. Cette composante est donné par la relation:

$$a_T = \frac{dv}{dt}$$

La composante normale a_N de l'accélération, qui est positive, modifie la direction de la vitesse. Cette composante est donné par la relation:

$$a_N = \frac{v^2}{r}$$

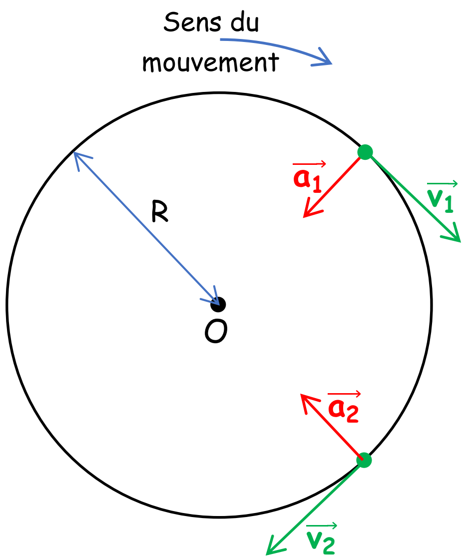
On écrira ainsi le vecteur accélération $\vec{a}$ sous la forme:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}.\vec{T} + \frac{v^2}{r}.\vec{N}$$

2.6- Mouvement circulaire uniforme

Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, les valeurs **v** et **a** de la vitesse $\vec{v}$ et de l'accélération $\vec{a}$ sont constantes. On aura donc:

$$a = a_N = \frac{v^2}{r} = cte \quad \text{et} \quad a_T = \frac{dv}{dt} = 0$$



Dans un référentiel donné, un système a un mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est une portion de cercle de rayon R et si la valeur **v** de sa vitesse $\vec{v}$ et la valeur **a** de son accélération $\vec{a}$ sont constantes:

$$v = cte \quad \text{et} \quad a = \frac{v^2}{R} = cte$$

Remarque: Dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme, le vecteur accélération $\vec{a}$ est dit centripète car il est orienté vers le centre O de la trajectoire

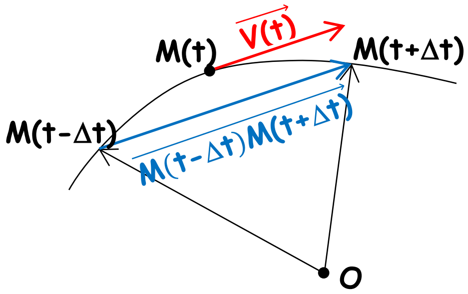
Si un point M est animé d'un mouvement circulaire uniforme, alors:
- Le vecteur vitesse $\vec{v} = v.\vec{T}$ est tangent au cercle.
- Le vecteur accélération $\vec{a} = a_N.\vec{N} = \frac{v^2}{r}.\vec{N}$ est centripète.

On dit que le mobile ponctuel M est soumis à une force centrale (ou radiale), c'est-à-dire constamment orientée vers le centre.

3- Vitesse

3.1- Vitesse moyenne

Si, dans un référentiel donné, entre les dates **t-Δt** et **t+Δt**, un mobile se déplace de la position **M(t-Δt)** à la position **M(t+Δt)**, alors le vecteur vitesse moyen $\vec{V}$ au point **M(t)** entre ces deux dates est:



$$\vec{V} = \overrightarrow{V(t)} = \frac{\overrightarrow{M(t-\Delta t)M(t+\Delta t)}}{2\Delta t} = \frac{\overrightarrow{OM(t+\Delta t)} - \overrightarrow{OM(t-\Delta t)}}{2\Delta t}$$

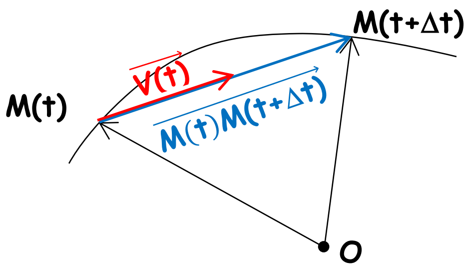
La durée **2.Δt** correspond au temps nécessaire pour passer de la position **M(t-Δt)** à la position **M(t+Δt)**.

Ce vecteur vitesse $\vec{V}$ est colinéaire au vecteur déplacement $\overrightarrow{M(t-\Delta t)M(t+\Delta t)}$ entre les deux points **M(t-Δt)** et **M(t+Δt)**.

Avec cette méthode, le vecteur vitesse $\vec{V}$ est tangent à la trajectoire.

Remarque: On peut utiliser une autre méthode pour déterminer la vitesse moyenne en deux positions.

Si, dans un référentiel donné, entre les dates **t** et **t+Δt**, un mobile se déplace de la position **M(t)** à la position **M(t+Δt)**, alors le vecteur vitesse moyen $\vec{V}$ au point **M(t)** entre ces deux dates est:



$$\vec{V} = \overrightarrow{V(t)} = \frac{\overrightarrow{M(t)M(t+\Delta t)}}{\Delta t} = \frac{\overrightarrow{OM(t+\Delta t)} - \overrightarrow{OM(t)}}{\Delta t}$$

La durée **Δt** correspond au temps nécessaire pour passer de la position **M(t)** à la position **M(t+Δt)**.

Ce vecteur vitesse $\vec{V}$ est colinéaire au vecteur déplacement $\overrightarrow{M(t)M(t+\Delta t)}$ entre les deux points **M(t)** et **M(t+Δt)**.

Avec cette méthode le vecteur vitesse $\vec{V}$ est tangent à la trajectoire que si les deux positions successives sont très proches et donc que la durée **Δt** est petite.

3.2- Vitesse instantanée

Le vecteur vitesse instantanée $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ (à l'instant t) est obtenu lorsque les deux positions successives sont très proches et donc que la durée Δt est petite.

D'un point de vue mathématique, le vecteur vitesse instantanée $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ (à l'instant t) est la dérivée par rapport au temps du vecteur position $\overrightarrow{OM(t)}$ du mobile ponctuel:

$$\vec{v} = \overrightarrow{v(t)} = \frac{d\overrightarrow{OM(t)}}{dt}$$

3.3- Caractéristiques du vecteur vitesse

Les caractéristiques du vecteur vitesse sont les suivantes:

- Le point d'application de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est le point **M** où se trouve le mobile ponctuel à cet instant.
- La direction de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est celle de la tangente en **M** à la trajectoire suivie par le point étudié.
- Le sens de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ est celui du mouvement.
- La longueur de $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$ représente la norme du vecteur vitesse à cet instant.
- La vitesse s'exprime en $m.s^{-1}$ (m/s) dans le système international d'unités.

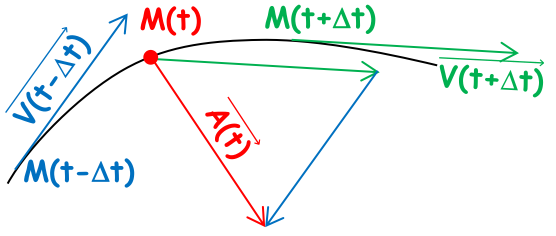
Quelques remarques:

- Si le point mobile M parcourt des distances égales pendant des intervalles de temps égaux, la valeur de sa vitesse reste constante au cours du temps. On dit alors que le mouvement de M est uniforme.
- Si la valeur de la vitesse augmente au cours du temps, le mouvement est accéléré.
- Si la valeur de la vitesse diminue au cours du temps, le mouvement est décéléré.

4- Accélération (hors programme)

Dans un référentiel donné le vecteur vitesse d'un mobile ponctuel peut changer de valeur et (ou) de direction. C'est l'accélération.

Si, dans un référentiel donné, à l'instant **t-Δt** le mobile possède la vitesse $\overrightarrow{V(t-\Delta t)}$ et à l'instant **t+Δt** la vitesse $\overrightarrow{V(t+\Delta t)}$, alors le vecteur accélération $\overrightarrow{A(t)}$ à l'instant t est:



$$\vec{A} = \overrightarrow{A(t)} = \frac{\overrightarrow{V(t+\Delta t)} - \overrightarrow{V(t-\Delta t)}}{2\Delta t}$$

La durée **2.Δt** correspond au temps nécessaire pour passer de la position **M(t-Δt)** à la position **M(t+Δt)**.

D'un point de vue mathématique, le vecteur accélération instantanée $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ du mobile ponctuel la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse $\vec{v} = \overrightarrow{v(t)}$:

$$\vec{a} = \overrightarrow{a(t)} = \frac{d\overrightarrow{v(t)}}{dt}$$

Les caractéristiques du vecteur accélération sont les suivantes:

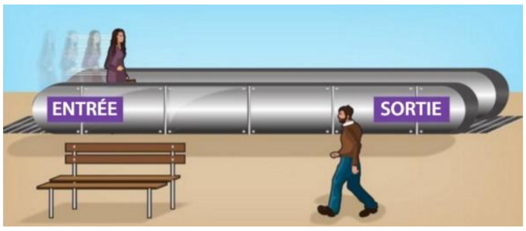
- Le point d'application de $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ est le point **M** où se trouve le mobile ponctuel à cet instant.
- Le vecteur $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ est dirigé vers l'intérieur de la trajectoire.
- La longueur de $\vec{a} = \overrightarrow{a(t)}$ représente, à une échelle donnée, la norme du vecteur accélération à cet instant.
- L'accélération s'exprime en $\mathbf{m.s^{-2}}$ ($\mathbf{m/s^2}$) dans le système international d'unités.

5- Exercices d'application

Exercice 1

On considère la situation schématisée ci-contre.

- *Proposer un référentiel dans lequel la personne sur le tapis roulant est immobile*
- *Proposer un référentiel dans lequel la personne sur le tapis roulant est en mouvement.*
- *Conclure quant à l'influence du choix d'un référentiel.*

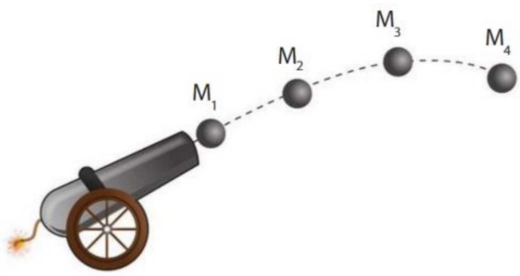


- La personne sur le tapis roulant est immobile dans un référentiel lié au tapis roulant.
- La personne est en mouvement dans un référentiel lié au sol.
- Le choix du référentiel d'étude influe sur la nature du mouvement (trajectoire et vitesse).

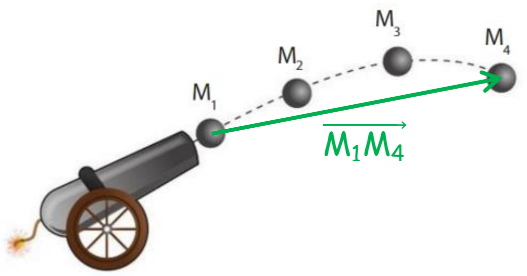
Exercice 2

On considère la situation schématisée ci-contre.

- *Construire le vecteur déplacement $\overrightarrow{M_1M_4}$.*
- *Comparer la distance M_1M_4 à la distance réellement parcourue par le système entre M_1 et M_4.*



Le vecteur $\overrightarrow{M_1M_4}$ a pour origine la position M_1 et pour extrémité la position M_4.

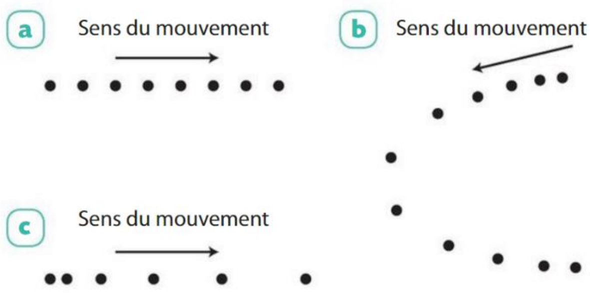


- La distance M_1M_4 correspond à la corde de cette trajectoire curviligne du boulet. Elle est plus petite que la distance réellement parcourue par le système entre M_1 et M_4.

Exercice 3

Associer aux trois mouvements ci-contre les caractéristiques qui s'y rapportent.

- *Uniforme*
- *Curviligne*
- *Rectiligne*
- *Décéléré*
- *Accéléré*



- Mouvement (a): Mouvement rectiligne uniforme.
- Mouvement (b): Mouvement curviligne accéléré puis décéléré.
- Mouvement (c): Mouvement rectiligne accéléré.

Exercice 4

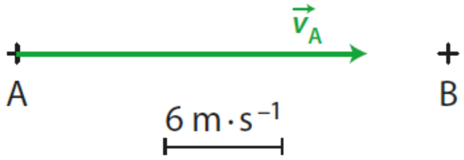
*Une voiture est en mouvement entre une position **A** et une position **B**, dans un référentiel terrestre.*

- *Dans le cas où la durée t_B-t_A est très petite, identifier la vitesse que l'on peut déterminer dans ces conditions.*
- *Calculer la valeur **V** de la vitesse $\vec{V}$ la voiture parcourant **180m** en **10s**.*
- *Schématiser la situation et représenter le vecteur vitesse à l'aide d'une échelle adaptée.*

- Entre deux instants très proches, la vitesse déterminée s'approche de la vitesse au point **A**: c'est la vitesse instantanée $\vec{v}$.
- On aura pour la vitesse **V**:

$$V = \frac{d}{\Delta t} = \frac{180}{10} = 18\,m.s^{-1}$$

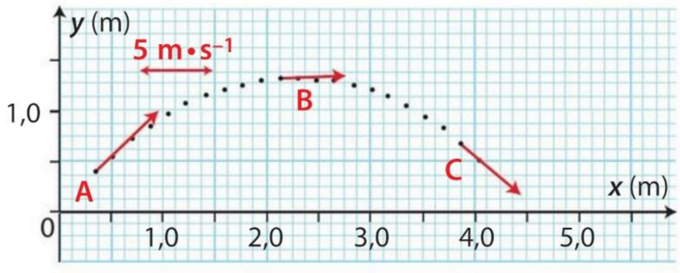
- En utilisant l'échelle 1cm pour $6 m\cdot s^{-1}$, on trace le vecteur $\overrightarrow{V_A}$:



Avec cette échelle, le vecteur $\overrightarrow{V_A}$ est représenté par une flèche de longueur **3cm**.

Exercice 5

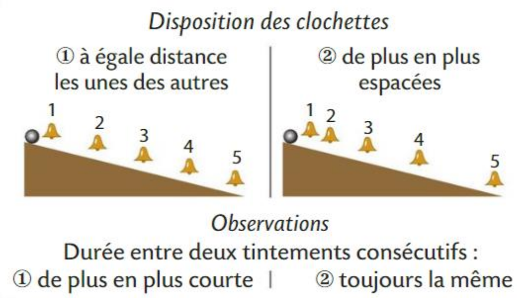
On a représenté ci-contre les vecteurs vitesse d'un système mobile en trois points de sa trajectoire.



- *Déterminer les valeurs de la vitesse en **A**, **B** et **C**.*
- *Quelles caractéristiques du vecteur vitesse varient lors de ce mouvement?*
- On mesure la longueur des segments fléchés sur la trajectoire en prenant en compte l'échelle fournie:
  - Valeur de la vitesse en **A**: V_A **= 6,7 m·s⁻¹**.
  - Valeur de la vitesse en **B**: V_B **= 4,3 m.s⁻¹**.
  - Valeur de la vitesse en **C**: V_C **= 5,8 m.s⁻¹**.
- Le vecteur vitesse $\vec{V}$ change de direction et de valeur lors de ce mouvement.

Exercice 6

Au XVIème siècle, le savant Galilée étudie l'évolution de la valeur de la vitesse d'une bille lors de sa chute.
Le dispositif expérimental est schématisé ci-contre.

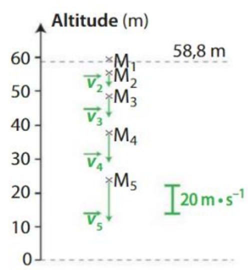


- *Comment évolue le vecteur vitesse $\vec{V}$ lors du mouvement de la bille sur le plan incliné?*

- La chute de la bille est étudiée dans le référentiel terrestre (lié au laboratoire).
- La valeur de la vitesse est donnée par la relation $V = \frac{d}{\Delta t}$, donc:
  - Si la distance **d** entre 2 clochettes reste constante, et si la valeur de la vitesse **V** augmente, alors la l'intervalle de temps **Δt** pour passer d'une clochette à la suivante diminue (graphique 1).
  - Si la valeur de la vitesse **V** augmente, et si l'intervalle de temps **Δt** pour passer d'une clochette à la suivante reste constante, alors la distance entre 2 clochettes successives augmente (graphique 2).
- Au cours du mouvement, la valeur du vecteur vitesse augmente, sa direction et son sens ne sont pas modifiés.

Exercice 7

*En aout 2015, un nouveau record du monde de plongeon de haut vol a été établi. Le plongeur a sauté d'une hauteur de **58,80m**. Il est rentré dans l'eau avec une vitesse de **122km.h⁻¹** après **4s** de chute environ. Le saut est schématisé ci-contre.*



- *Commenter l'évolution des vecteurs vitesse entre la position M_2 et la position M_5.*

- *Donner la nature du mouvement du sauteur entre ces deux positions.*
- *Comparer la valeur de la vitesse en **M_5** et celle au moment de l'entrée dans l'eau. Les résultats sont-ils cohérents?*

- Les vecteurs vitesse $\overrightarrow{V_1}$, $\overrightarrow{V_2}$, ..., $\overrightarrow{V_5}$, conservent la même direction et le même sens, mais leur valeur augmente.
- Le mouvement du sauteur est rectiligne accéléré entre les positions **M_2** et **M_5**.
- Comme le mouvement est accéléré, la valeur de la vitesse à l'entrée dans l'eau sera supérieure à **V_5**.
  Graphiquement, en utilisant l'échelle fournie, on mesure environ **$V_5 = 30\ m \cdot s^{-1}$**, soit environ **$108\ km \cdot h^{-1}$**.
  Ce résultat est cohérent avec la valeur du texte de **$122 km \cdot h^{-1}$**.