



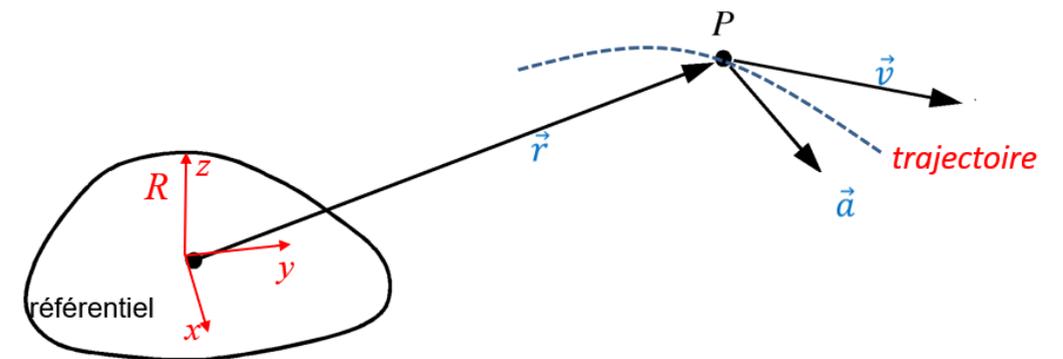
Cours 1 – 11/09/2024

1. Introduction, vecteurs, cinématique, référentiel, et systèmes de coordonnées

1.1. Référentiel et Repère

1.2. Scalaires et vecteurs

1.3. Cinématique (étude du mouvement)





1. Introduction

■ Qu'est ce que la physique ?

Le mot **Physique** vient du grec et signifie « **connaissance de la nature** »

Physique : Science consacrée à l'étude de phénomènes liés à la matière et à la lumière.

- Les phénomènes ont été observés dans la nature dans un premier temps, puis lors d'expériences conçues en laboratoire.



Démarche scientifique :

Observer \Rightarrow Analyser \Rightarrow Comprendre \Rightarrow Prédire



1. Introduction

■ Les différents domaines de la physique

A l'origine, liés à la perception de phénomènes naturels :

Vision : optique (lumière) et mécanique (mouvement)

Ouïe : acoustique (son)

Toucher : thermodynamique (chaleur)

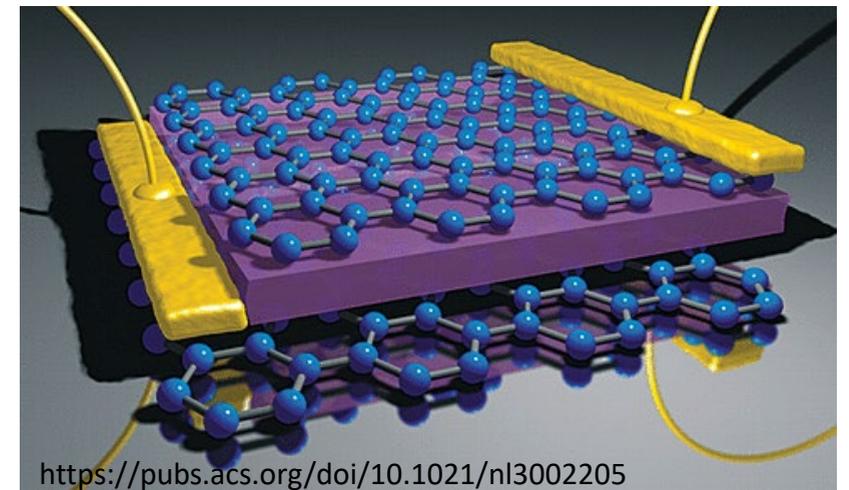
Avec le développement de nouvelles expériences :

Electromagnétisme (XIX^{ème})

Mécanique quantique (début XX^{ème})

Physique du solide, physique nucléaire

Physique de la matière molle, géophysique, biophysique





1. Introduction

■ Domaines de la physique – Echelle de taille

10^{-33} m

10^{-10} m

10^{-8} m

10^{-5} - 10^5 m

10^8 m

10^{28} m

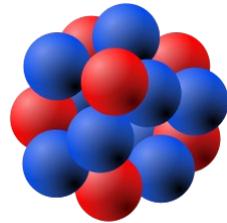


Physique nucléaire

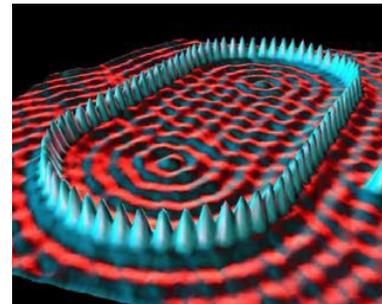
Physique classique

Cosmologie

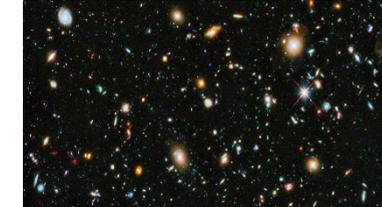
Gravité quantique



Physique quantique



Astrophysique



- 10^{15} peta
- 10^{12} tera
- 10^9 giga
- 10^6 méga
- 10^3 kilo
- 10^2 hecto
- 10^1 déca
- 10^0
- 10^{-1} déci
- 10^{-2} centi
- 10^{-3} milli
- 10^{-6} micro
- 10^{-9} nano
- 10^{-12} pico
- 10^{-15} femto
- 10^{-18} atto

Information

vidéo : Powers of Ten™ (1977)





1. Introduction

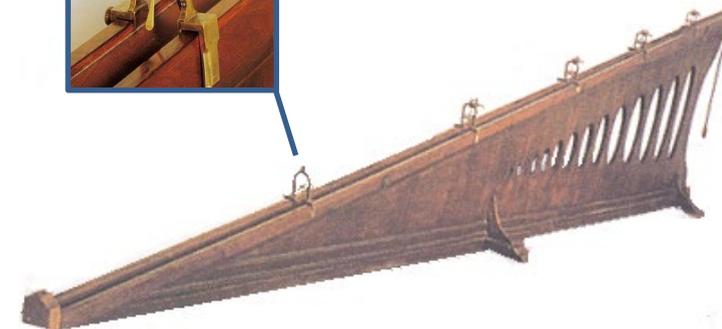
■ La mesure

La mesure est essentielle en physique car elle permet une comparaison précise des résultats des expériences et de mettre en évidence la manifestation d'un phénomène.

La mesure est la base de toute expérience

Protocole expérimental :

- *Comment mesurer ?*
- *Validité de la mesure ?*
- *Précision ?*
- *Unité ?*



Galilée (1564-1642)

1. Introduction



■ La distance

Définitions du mètre (m) :

1791 : dix-millionième partie d'un quart de méridien terrestre
(c'est de là que vient le fait que la circonférence de la Terre est de 40 000 km)



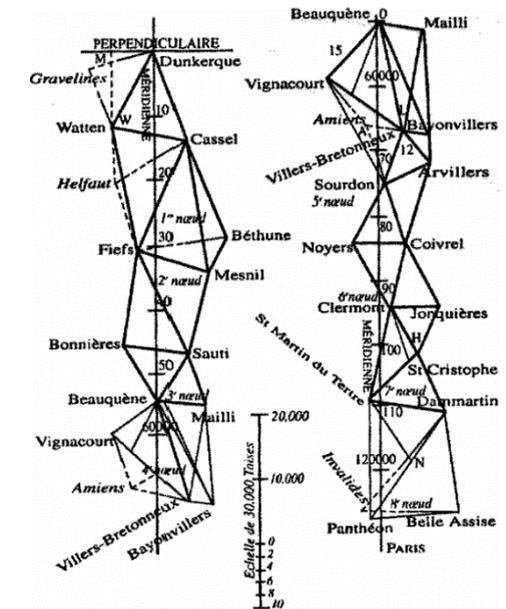
Jean-Baptiste Joseph DELAMBRE
(1747 - 1822)



Pierre-François MECHAIN
(1744-1804)

Delambre et Méchain ont mis 7 ans pour mesurer le ¼ de méridien (L) de Dunkerque à Barcelone

Définition : 1 mètre = 10^{-7} L



1889 à 1960 : barre de platine-iridium utilisée comme étalon pour le mètre



1983 : distance parcourue par la lumière dans le vide en 1/299 792 458 seconde

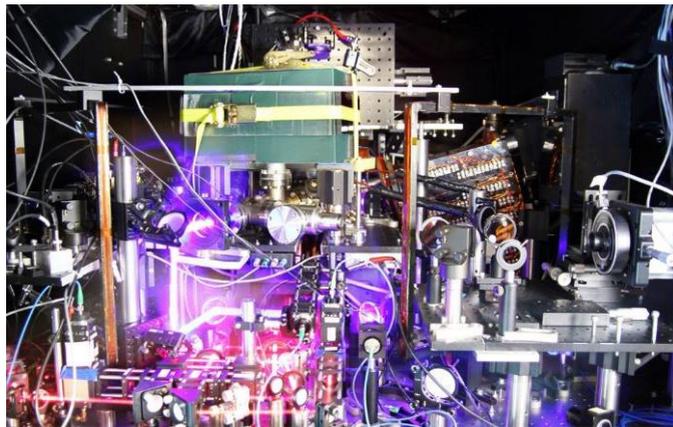


1. Introduction

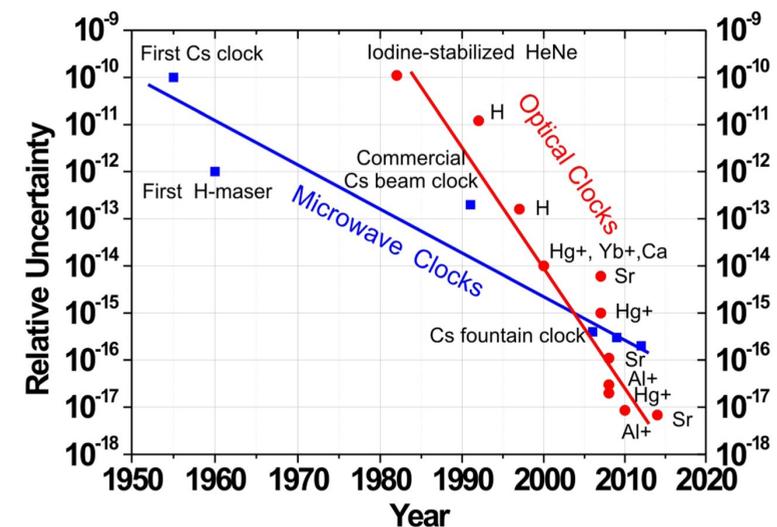
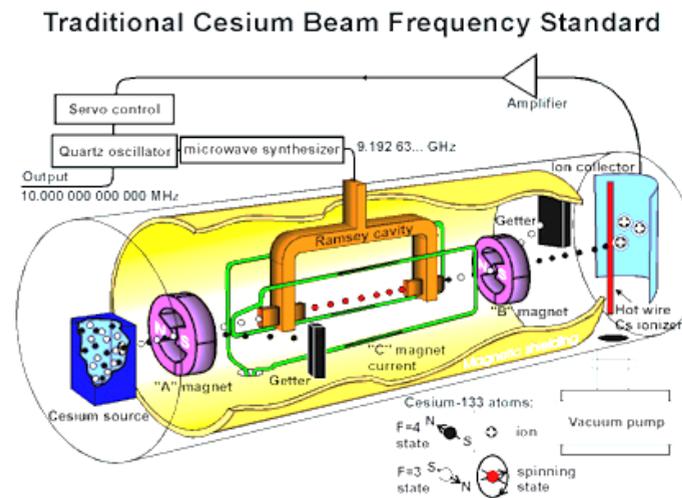
■ Le temps

Définitions de la seconde (s) :

- En **1960**, pour tenir compte des irrégularités du mouvement de la Terre autour du soleil, elle a été définie comme une fraction de l'année solaire 1900.
- Depuis **1967**, la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux d'énergies de l'état fondamental de l'atome de césium 133 pris à 0 K (précision actuelle 10^{-14} - 10^{-16} , record 10^{-19}).



Horloge atomique

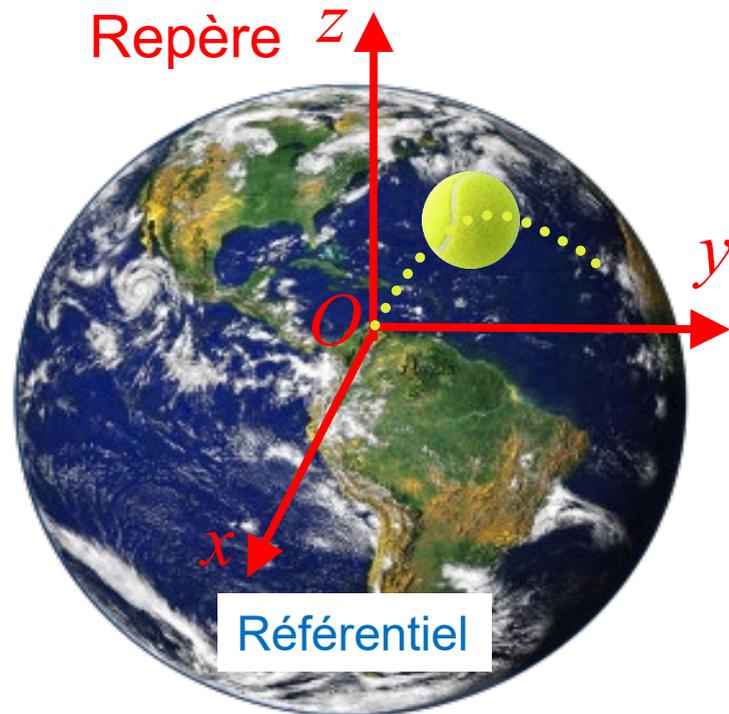


2030 dans votre téléphone ?



1.1. Référentiel et Repère

Exemple : on cherche à étudier le mouvement d'une balle de tennis : pour connaître sa position il faut un **repère** que l'on place dans un **référentiel**. On peut alors associer des coordonnées (x, y, z) à la balle, qui serviront à développer un modèle et/ou à trouver une loi physique.



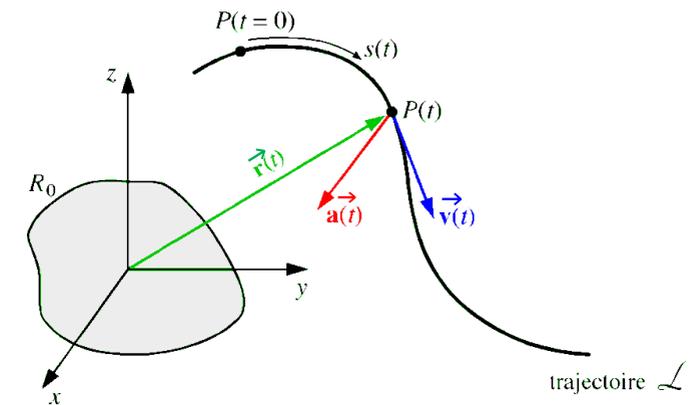
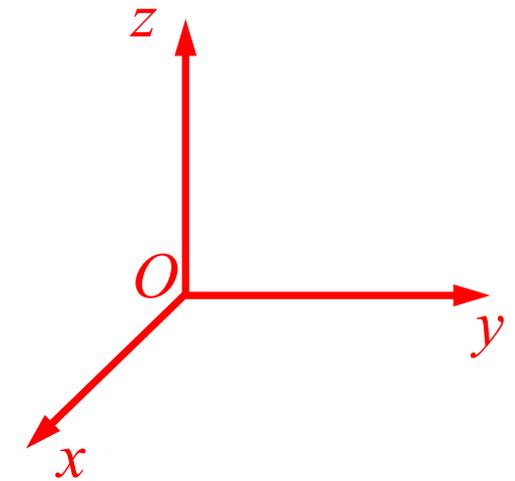
Référentiel



Référentiel galiléen (ou inertiel) : solide indéformable non accéléré

⚠ La Terre par définition n'est pas un référentiel galiléen car elle tourne

Repère





1.2. Scalaires et vecteurs

■ Scalaires

Un **scalaire** est une grandeur déterminée uniquement par sa valeur numérique

Exemples : surface, longueur, masse, charge électrique, temps...

Un scalaire est un invariant, s'il ne dépend pas du référentiel

- c'est le cas de la charge de l'électron par exemple.

En mécanique classique : **masse, longueur, et temps** sont des **invariants**

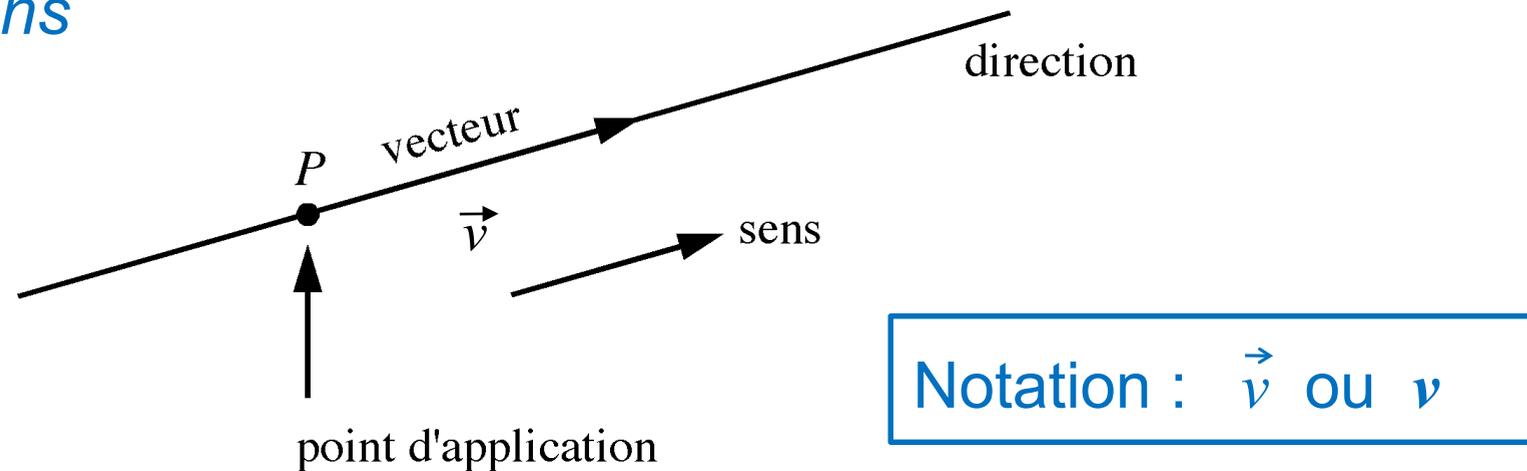


1.2. Scalaires et vecteurs

■ Vecteurs

Un **vecteur** comporte plusieurs informations :

- *intensité (norme ou module)*
- *direction (droite qui porte le vecteur)*
- *sens*



La norme (module, intensité) d'un vecteur est notée $\|\text{vecteur}\|$

⇒ c'est un nombre positif qui a la dimension de la grandeur physique associée

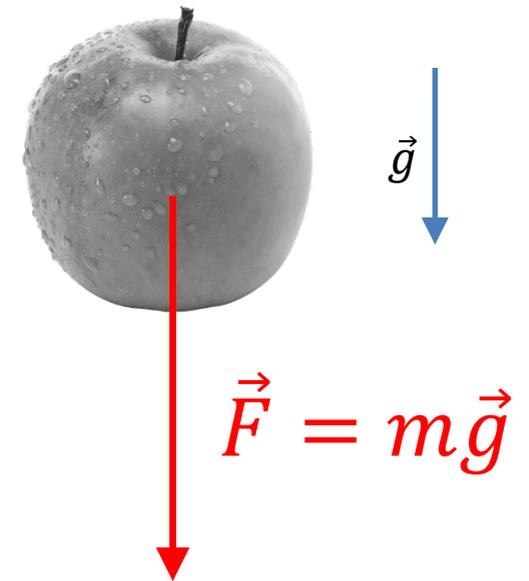


1.2. Scalaires et vecteurs

■ Exemples de scalaire et de vecteur : Matière et Force

Pour un objet de masse m :

La relation entre accélération et force est $\vec{F} = m\vec{a}$



une force est un vecteur, une masse un scalaire



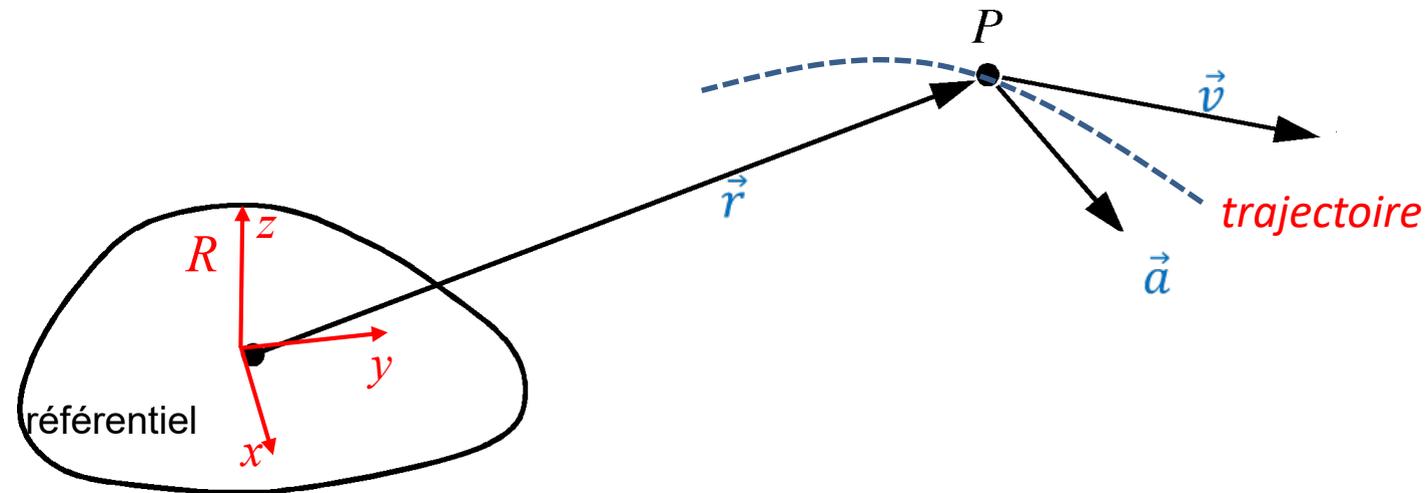
1.3. Cinématique

Etude du mouvement d'un objet en fonction du temps, sans se préoccuper des causes responsables du mouvement.

■ Vecteurs : étude du mouvement d'un point P

On peut associer plusieurs vecteurs à un seul point P en mouvement:

- le vecteur « position » \vec{r} m
- le vecteur « vitesse » \vec{v} m/s
- le vecteur « accélération » \vec{a} m/s^2



La position du point P est repérée par les coordonnées du vecteur "position" \vec{r} dans le repère R associé au référentiel



1.3. Cinématique

■ Vitesse et accélération d'un objet à un instant t

- La vitesse est une variation du vecteur position par rapport au temps
- L'accélération est une variation du vecteur vitesse par rapport au temps

- le vecteur « position » \vec{r}

- le vecteur « vitesse » $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$

- le vecteur « accélération » $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$

Notation :

$$\frac{d\boxed{}}{dt} = \dot{\boxed{}}$$

$$\frac{d^2\boxed{}}{dt^2} = \ddot{\boxed{}}$$

Attention : la norme d'un vecteur peut rester constante et sa direction changer. Le vecteur n'est donc pas constant et sa dérivée par rapport au temps n'est pas nulle

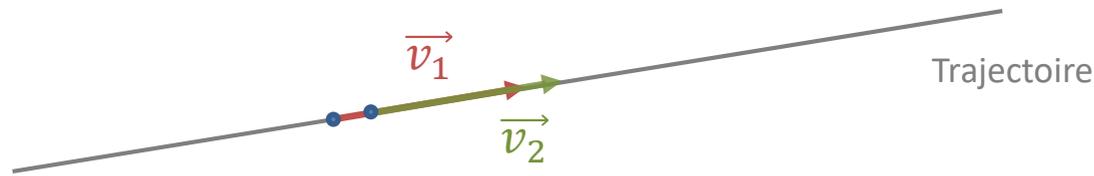


1.3. Cinématique

■ Vitesse et accélération d'un objet à un instant t

Mouvement avec norme du vecteur vitesse constante

1 - Mouvement rectiligne uniforme (MRU) :

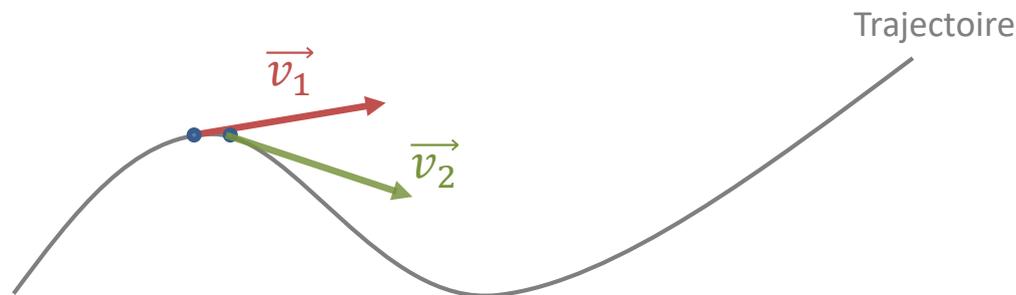


$$\vec{v}_1 \quad \vec{v}_2 \quad \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{0}$$

Vecteurs constants, norme et sens \Rightarrow différence nulle

Pas de variation du vecteur vitesse au cours du temps \Rightarrow pas d'accélération

2 - Mouvement incurvé :



$$\vec{v}_1 \quad \vec{v}_2 \quad \Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

Mêmes normes mais directions différentes \Rightarrow différence non nulle

Soient deux instants très proches sur une trajectoire incurvée, la différence des deux vecteurs "vitesse" est un vecteur ($\Delta\vec{v}$). Nous verrons plus loin que ce vecteur est relié à l'accélération (changement de direction) de l'objet.



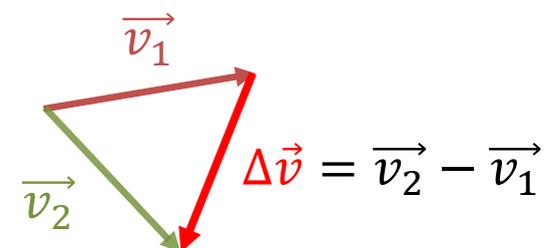
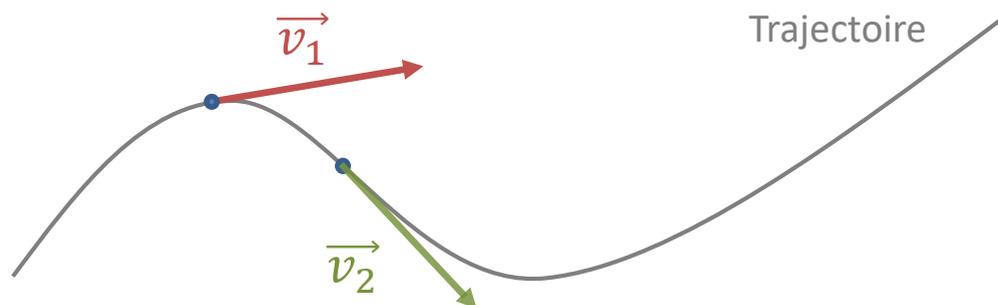
1.3. Cinématique

■ Dérivée temporelle d'un vecteur

Exemple : le vecteur accélération est donné par

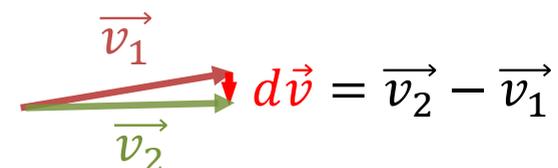
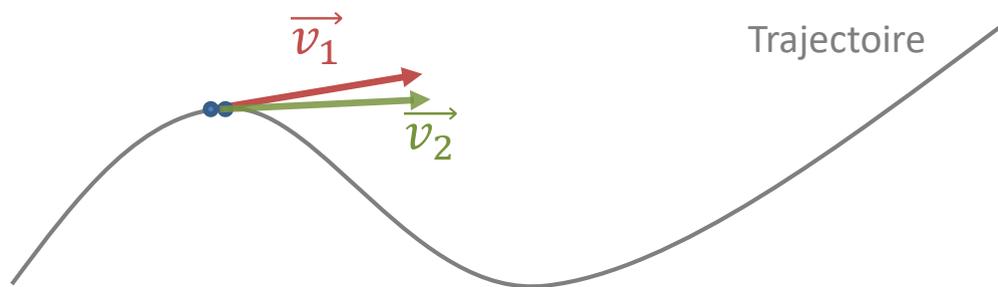
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$

■ 2 instants séparés de $\Delta t = t_2 - t_1$ avec $t_2 \neq t_1$



$\Delta\vec{v}$ correspond à une variation du vecteur vitesse entre deux points suffisamment éloignés dans le temps ($\Delta t = t_2 - t_1$)

■ 2 instants séparés de $dt = t_2 - t_1$ avec $t_2 \approx t_1$



$d\vec{v}$ correspond à une variation du vecteur vitesse entre deux points très proches dans le temps ($t_2 \approx t_1$).

Le vecteur accélération est défini par la variation du vecteur vitesse pendant un intervalle de temps infinitésimal $dt = t_2 - t_1$ avec $dt \rightarrow 0$.

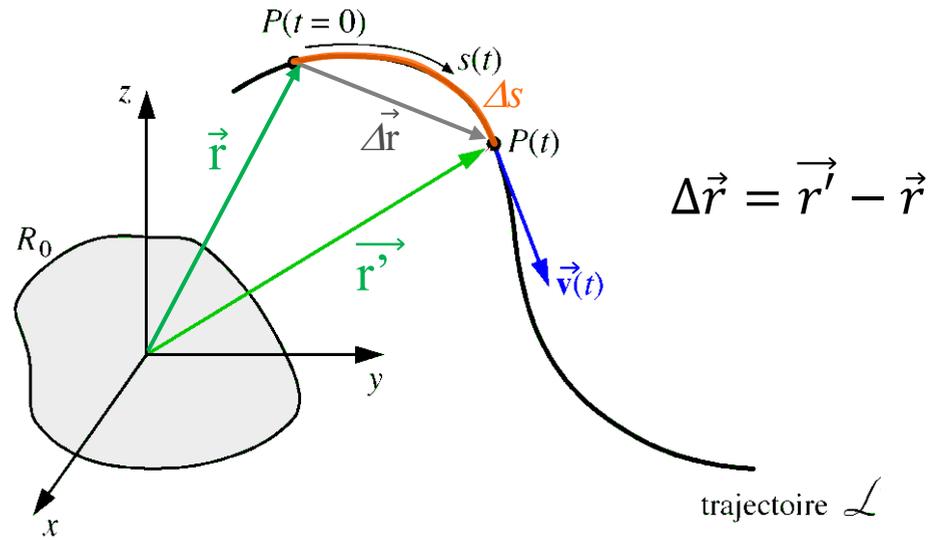
accélération :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$



1.3. Cinématique

■ Vecteur vitesse instantanée



Vitesse moyenne entre $P(t=0)$ et $P(t)$:

$$\vec{v}_{moy} = \Delta s / \Delta t$$

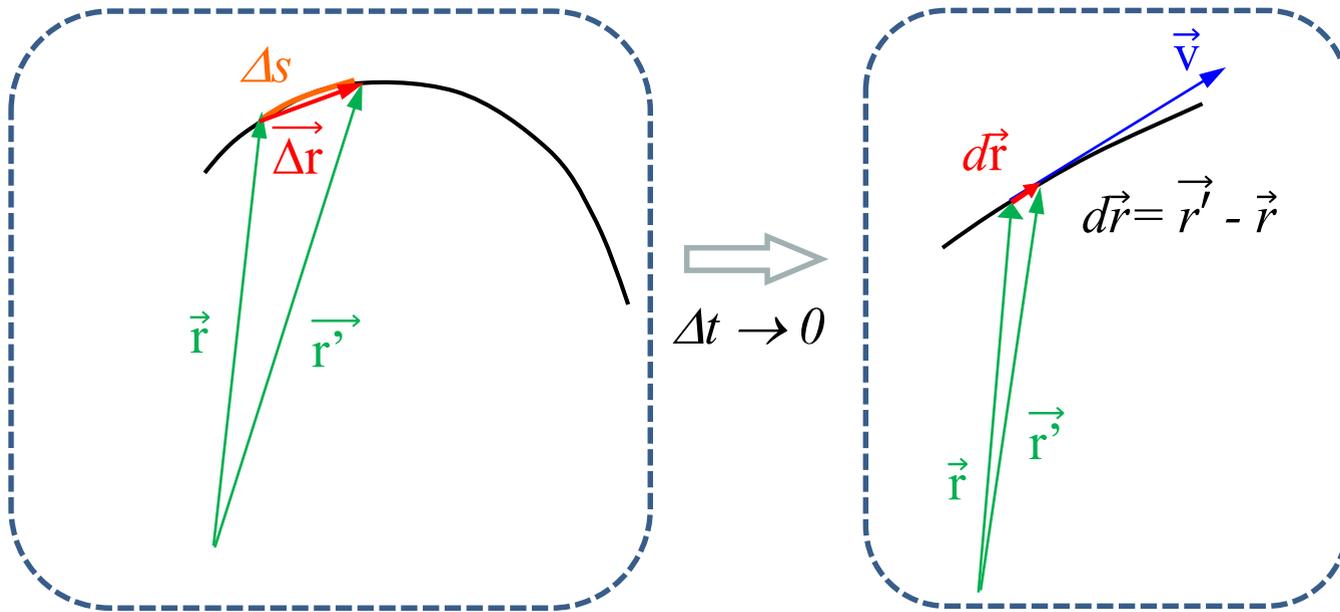
s : abscisse curviligne et $\Delta s \equiv$ longueur d'arc

Vitesse instantanée :

$\Delta t \rightarrow 0$ alors $\Delta s \rightarrow \|\Delta r\|$

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

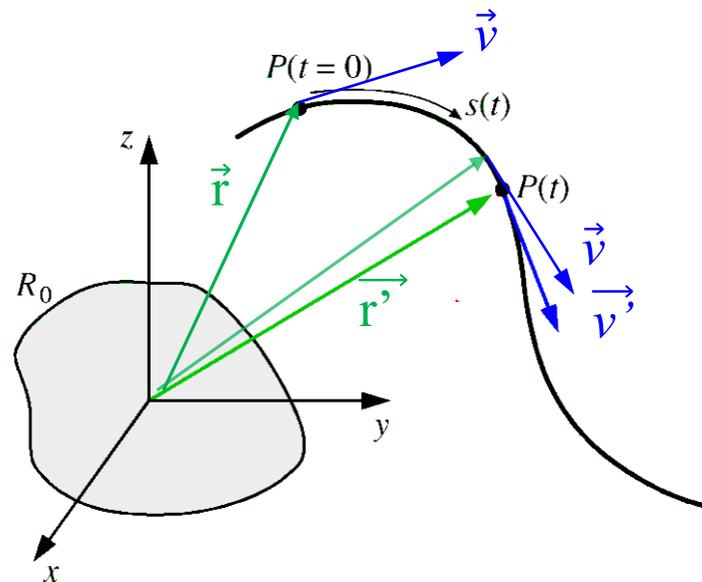
Le vecteur « vitesse instantanée » est dirigé selon la direction de la tangente à la courbe (trajectoire).



1.3. Cinématique



■ Vecteur accélération instantanée

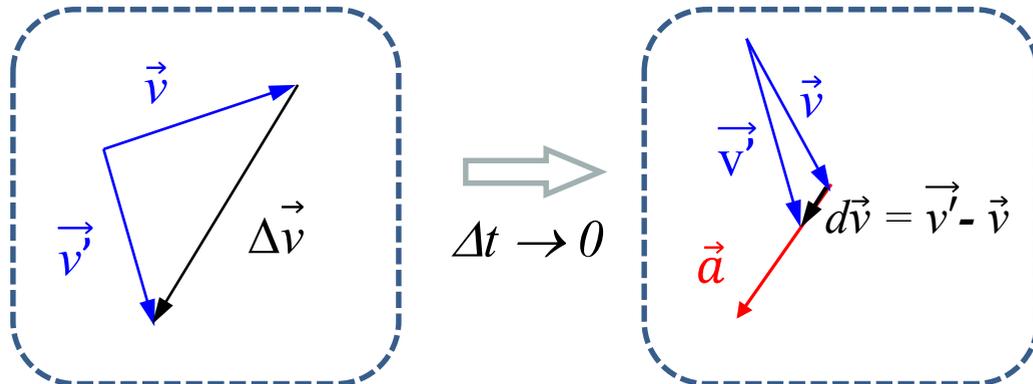


Accélération moyenne entre $P(t=0)$ et $P(t)$:

$$\mathbf{a}_{\text{moy}} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$$

Accélération instantanée :

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{d\vec{r}}{dt} \right] = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$



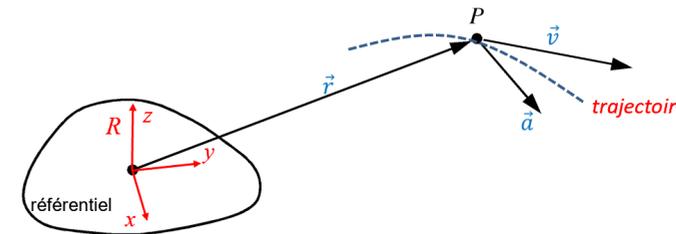
Le vecteur «accélération instantanée» est lié au changement de direction et est dirigé vers l'intérieur de la courbe (c'est-à-dire du côté concave).



1.3. Cinématique

Pour étudier la trajectoire d'un objet, il faut un système de coordonnées afin d'indexer sa position en fonction du temps. Il existe plusieurs systèmes de coordonnées, qui sont plus ou moins bien adaptés au mouvement considéré :

- coordonnées cartésiennes
- coordonnées polaires
- coordonnées curvilignes (repère de Frenet)
- coordonnées cylindriques
- coordonnées sphériques



Pour chaque système de coordonnées, un repère permet d'obtenir les composantes des vecteurs *position*, *vitesse*, et *accélération*.

Le repère doit être **orthonormé direct** :

\vec{e}_x , \vec{e}_y et \vec{e}_z forment une base orthonormée directe (règle du tire bouchon)

\vec{e}_x , \vec{e}_y et \vec{e}_z sont dits « vecteurs de base » du repère

\vec{e}_x , \vec{e}_y et \vec{e}_z sont des vecteurs unitaires de norme 1 et formant entre eux des angles à 90°

