Mécanique 1

universite PARIS-SACLAY

POLYTECH PARIS-SACLAY

Organisation

→ Enseignant de Cours: Yves BERNARD ***yves.bernard@universite-paris-saclay.fr***
GeePs Laboratoire de Génie électrique et électronique de Paris

→ Chargés de TD (5 Groupes) Fatma, Maxime, Gabriel, Paul, Yves

→ Organisation Du Module :

- Cours 14h (7 séances)
  - Polycopié sur ecampus

- TD 25,5 h (13 séances) → Début semaine du 2/10
  - Polycopié d'exercices sur ecampus
  - Notes de cours déposées au fur et à mesure
  - Parfois une interro en début de séance

- TP 5h (2 séances) → Premier vers le 13/11
  - Polycopié de TP à venir sur e-campus

Modalités de contrôle

→ Interros courtes en début de certains TD

→ Interro « longue » le 17/11 (1h30)

→ Comptes-rendus de TP

→ Interro finale le 10/01 (2h)

Note Module = 0,4 finale+0,3 longue+0,2 TP+0,1 interros

Objectifs

Découvrir et comprendre les bases de la physique classique

- Développer un esprit scientifique et former sa culture scientifique générale
- Repérer le **sens physique** dans les équations

Apprendre à mettre sous forme *mathématique* un problème de mécanique afin de le résoudre

- Poser le problème physique
- Choisir une représentation mathématique
- Établir les équations régissant la physique du problème
- Résoudre et discuter la solution

Programme

- Introduction
- Cinématique du point matériel
- Dynamique du point matériel et principe fondamental de la dynamique
- Energie

Mécanique ?

<u>Physique</u>:

= Science → Étude **conceptuelle** et **quantitative** des composants de la **matière**

<u>Mécanique:</u>

= branche de la physique qui étudie le **<u>mouvement</u>** des systèmes matériels et leurs **<u>déformations</u>**, en relation avec les **<u>forces</u>** qui provoquent ou modifient ce mouvement ou ces déformations

<u>La démarche Scientifique – construction des lois</u>

Observation Expérimentale → Idées: théorie → Généralisation (loi)

Validation après reproductibilité par l ’expérience

Programme

- **Introduction**
- Cinématique du point matériel
- Dynamique du point matériel et principe fondamental de la dynamique
- Energie

Introduction

1.1 Notre mécanique

La mécanique dans les théories physiques

La mécanique classique: bref historique

1.2 Les interactions fondamentales

1.3 Les propriétés Physiques : Dimensions et unités

Analyse et calcul dimensionnels

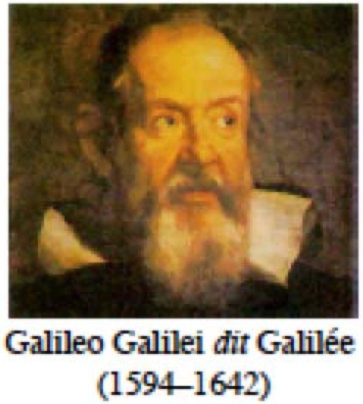
Equations aux dimensions

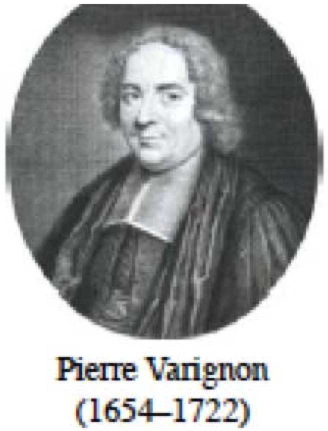
- Rappels sur le calcul vectoriel

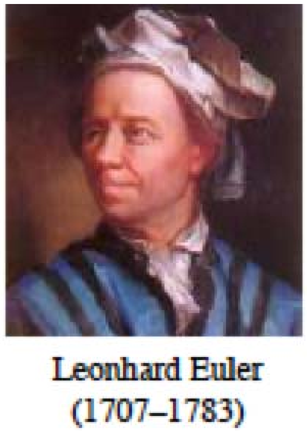
1ère loi (axiome*) de la mécanique Newtonienne:

« Tout corps reste à **l'état** de repos ou de mouvement rectiligne uniforme dans lequel il se trouve, à moins qu'une **force** n'agisse sur lui, et ne le contraigne à changer d'état. »

Historique et grands acteurs de la mécanique classique







Chute libre

F=ma
Gravitation
Axiomes de la mécanique

Statique
$\Sigma F = 0$

Mécanique **analytique**
Solide

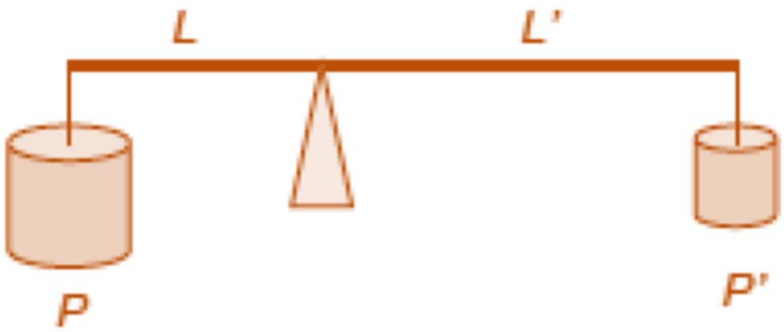
* Dans la logique aristotélicienne, point de départ d'un raisonnement considéré comme non démontrable, évident

Introduction : notre mécanique

Autre axiome

« Un levier qui est chargé de manière symétrique se trouve en équilibre »

« La charge totale s'exerce au point d'appui »



Loi des leviers:

Des poids quelconques s'équilibrent à des distances inversement proportionnelles à leur poids.

« Donnez-moi un point d'appui, et je soulèverai le monde »

- Archimède
(287–212 av. J.-C.)

Introduction : notre mécanique

Les limites de la physique classique

1)

Galilée:

je marche à la vitesse V_{pied} sur un tapis roulant

si la vitesse du tapis est V_{tapis} :

alors ma vitesse par rapport au sol est

$V_{pied}+V_{tapis}$ addition des vitesses

Galileo Galilei *dit* Galilée
(1594–1642)

Einstein:

La vitesse de la lumière dans le vide **c est une constante**

(c = 299792458 m/s) – aucune vitesse ne peut lui être supérieure:

→ L'addition des vitesses n'est plus valable si l'objet à une vitesse proche de celle de la lumière

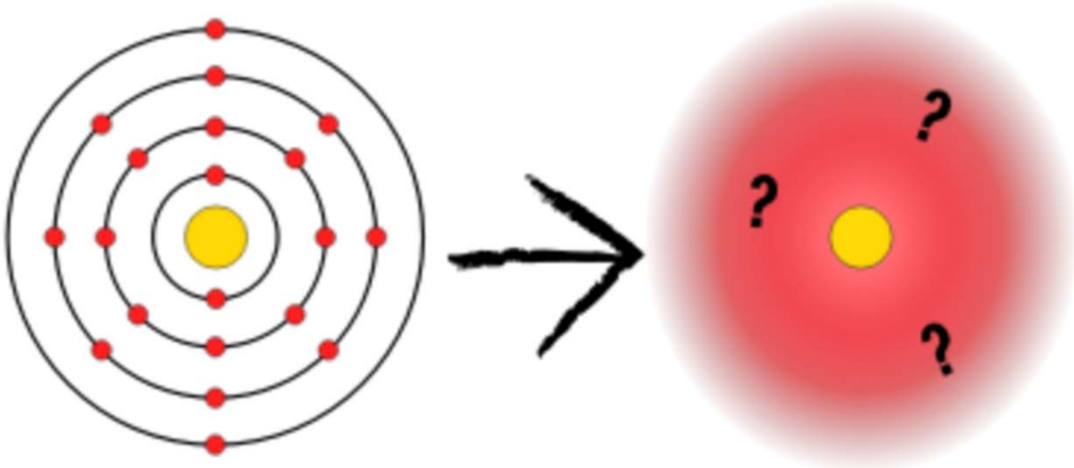
Albert Einstein
(1879–1955)

Les limites de la physique classique

2)

À l'échelle microscopique (nano-pico) – atomique et subatomique:

- l'énergie est quantifiée (Planck, Einstein, Bohr)
- dualité onde-particule (de Broglie, Schrödinger)
- pas de déterminisme (pas de trajectoire, … Heisenberg)



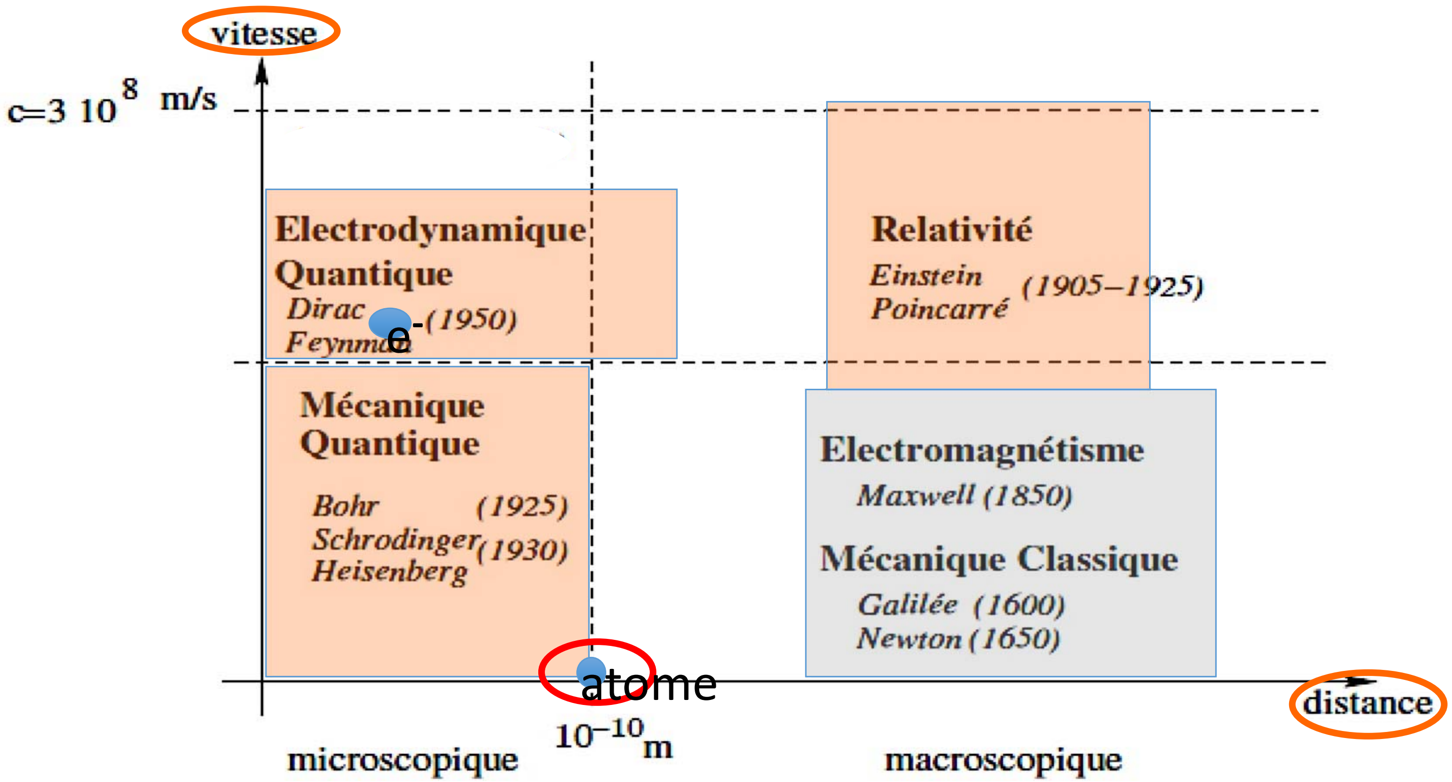
$$\Delta x\, \Delta p \geq h$$

$h = 6.626\ 10^{-34}$ kg m^2/s (constante de Planck)

Introduction : notre mécanique

A notre échelle 'humaine' ou macroscopique

- faibles vitesses,
  → les effets **relativistes** sont négligeables !
- dimensions 'macroscopiques' –
  → les effets **quantiques** sont négligeables !



Classifications des grandes théories physiques

Introduction : notre mécanique

Le Cours de Mécanique 1

limité à la mécanique **classique**

→ Système de **points** matériels

Pas de mouvement du solide sur lui-même (rotation autour de son axe)

Système de points matériels

Systèmes **idéaux** : les masses concentrées en un **point** (= centre de masse)

Introduction : les interactions fondamentales

Il existe **quatre** interactions fondamentales:

Gravitation, interaction électromagnétique, forte, faible

distinguées par :

leur **intensité**

leur **portée**

1) la ***gravitation*** et ***l'électromagnétisme***: portée **« infinie »**.

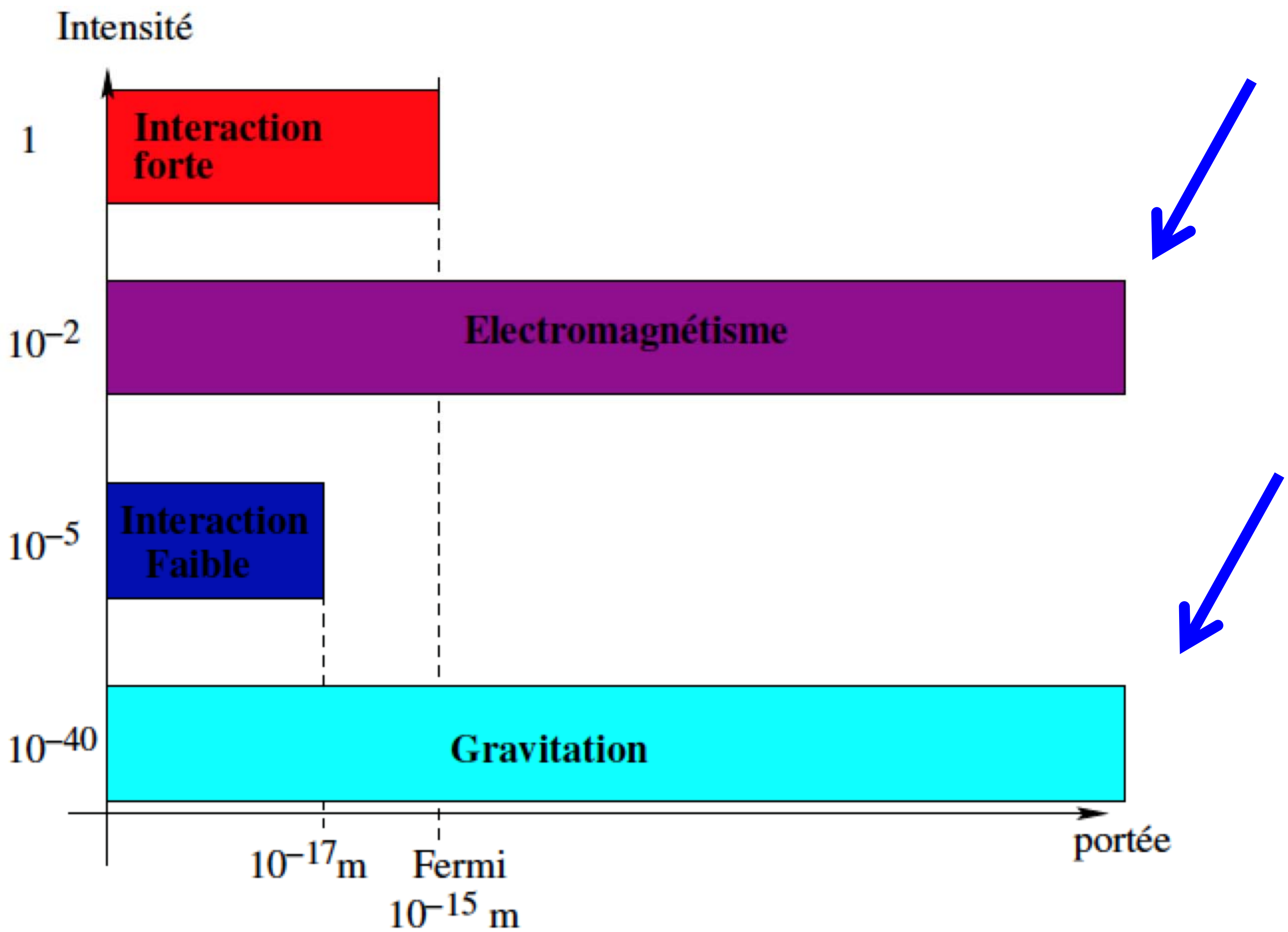
Deux masses → force de gravitation varie en $\mathbf{1/R^2}$

Deux charges → force de coulomb $\mathbf{1/R^2}$

→ force de gravitation << force **électromagnétique**

2) Interaction ***forte*** et Interaction ***faible***: portée courte intra-noyau

Introduction : les interactions fondamentales



Grandeurs physiques : dimensions et unités

• La valeur mesurée ou calculée d'une grandeur physique
est exprimée sous la forme du **produit d'un nombre par une unité**

d = 500 m

rapport entre la valeur de la grandeur en question et **l'unité**	**l'unité:** référence utilisée pour donner un sens à la valeur

Remarque: Pour une grandeur donnée →différentes unités possibles

d = 500 m

d = 0,5 km

Ou encore: t = 2 h

t = 120 min

Les Grandeurs Physiques = d , t ⟶ **NATURE** PHYSIQUE DE LA GRANDEUR

➔ DIMENSIONS: L T

Introduction : Les propriétés physiques

LES UNITÉS

- Choix de valeurs de **références**: à partir de phénomènes physiques stables

→ La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins F=3 et F=4 de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (jour dure 86400s).

→ Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 de seconde (distance pôle/équateur=10000km).

Le système international d'unités (SI)

adopté par la 11e Conférence générale des poids et mesures (1960)

- Bureau International des Poids et Mesures : http://www.bipm.org/

Introduction : Les propriétés physiques

LES DIMENSIONS

LES **DIMENSIONS =** Propriétés 'naturelles' de la grandeur physique

Comparaison de propriétés physiques: **mêmes dimensions**

On note dimension(G) [G]

dimensions ≠ unités

Sept unités de base

Grandeur		Unité		Dimension
Nom	Symbole	Nom	Symbole	
Longueur	*l*	mètre	m	L
Masse	*m*	kilogramme	kg	M
Temps - durée	*t*	seconde	s	T
Intensité du courant électrique	*I*	ampère	A	I
Température thermodynamique	*T*	kelvin	K	θ
Quantité de matière	*n*	mole	mol	N
Intensité lumineuse	*I*	candela	cd	J

Introduction : Les propriétés physiques

Calcul des **dimensions dérivées** à partir des dimensions de **base**

→ utilisation de formules <u>simples</u> les définissant

EXEMPLES:

Surface
Vitesse
Force
Énergie
Pression

Introduction : Les propriétés physiques

Propriétés	Equations/lois	Dimensions	unités (S.I.)	symboles
Aire, surface	$S = x^2$	L^2		m^2
Volume	$V = x^3$	L^3		m^3
fréquence	$\nu = \frac{1}{T}$	T^{-1}	hertz	Hz
vitesse	$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$	LT^{-1}		$\mathrm{m.s}^{-1}$
accélération	$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$	LT^{-2}		$\mathrm{m.s}^{-2}$
Force	$\vec{F} = m\vec{a}$	MLT^{-2}	newton	N
Energie	$E_c = \frac{1}{2}m\|\vec{v}\|^2$	ML^2T^{-2}	joule	J
Puissance	$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v}$	ML^2T^{-3}	watt	W
Pression	$P = \frac{\|\vec{F}\|}{S}$	$ML^{-1}T^{-2}$	pascal	Pa

Introduction : Les propriétés physiques

- Deux grandeurs physiques ne peuvent être égales que si elles sont de même dimension

$$\boxed{G1 = G2 \quad \Rightarrow \quad [G1] = [G2]}$$

- On ne peut additionner (-) que des grandeurs de même dimension

$$\boxed{G = g1+g2+ \ldots \quad \Rightarrow \quad [G] = [g1]= [g2]}$$

➔ C'est l'homogénéité des équations physiques

TOUTE RELATION ENTRE DES GRANDEURS PHYSIQUES DOIT ÊTRE **HOMOGÈNE**

Introduction : Les propriétés physiques

Soit la grandeur physique G qui dépend de g1,g2, …

$G = g1 + g2 + ...$ ➔	$[G] = [g1] = [g2] = ...$

$G = g1 * g2$ ➔	$[G] = [g1] * [g2]$

$G = g1/g2$ ➔	$[G] = [g1]/[g2]$

Dimension d'une constante numérique K : $[k] = 1$

<u>Elle est sans dimension</u>

Préciser ce qui se passe pour 0 (qui a toutes les dimensions)

Introduction : Les propriétés physiques

Soient la grandeur physique G qui dépend simplement de g1, g2, g3 sous forme de lois de puissance (lois d'échelle):

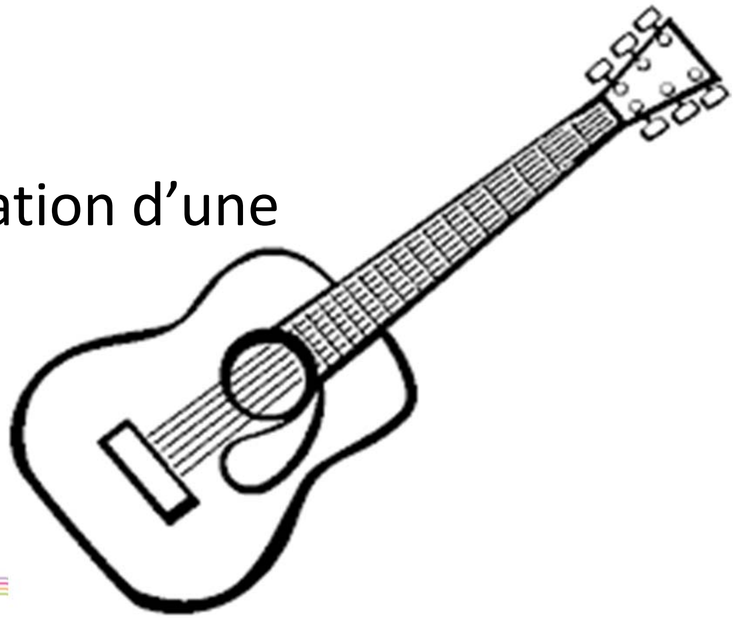
$$G = g_1^{\alpha}\, g_2^{\beta}\, g_3^{\gamma} \quad \rightarrow \quad [G] = [g_1]^{\alpha}\, [g_2]^{\beta}\, [g_3]^{\gamma}$$

La détermination des valeurs de α, β, γ → expression analytique de G

<u>Exemple</u>:

calculer l'expression de la <u>fréquence</u> de vibration d'une corde de guitare:

m, l, F (tension appliquée)



Introduction : Les propriétés physiques

$G = g_1^{\alpha} g_2^{\beta} g_3^{\gamma}$ → $[G] = [g_1]^{\alpha} [g_2]^{\beta} [g_3]^{\gamma}$

Exemple:

calculer l'expression de la fréquence de vibration d'une corde de guitare: m, l, F (tension appliquée)

La détermination des valeurs de α, β, γ → expression analytique de f ?

$f = K\, m^{\alpha}\, l^{\beta}\, F^{\gamma}$ avec $[K] = 1$

$[f] = [M]^{\alpha} [L]^{\beta} [MLT^{-2}]^{\gamma}$

$T^{-1} = M^{(\alpha+\gamma)} L^{(\beta+\gamma)} T^{(-2\gamma)}$

M, L, T : indépendantes:

$-1 = -2\gamma$ $\gamma = 1/2$

$0 = \alpha + \gamma$ $\alpha = -1/2$

$0 = \beta + \gamma$ $\beta = -1/2$

$$f = K\sqrt{F/m.l}$$

Introduction : Les propriétés physiques

Soit la grandeur physique G qui dépend g1, g2,g3 sous forme exponentielle, logarithmique …

$G = g_1 \, Ln\,(g_2)$ ➔ $[G] = [g_1 \, Ln\,(g_2)]$

a) Ln = fonction mathématique, sans signification physique

→ g_2 doit être sans dimension : $[g_2] = 1$

→ $[g_1] = [G]$

<u>Remarque</u> <u>générale</u>:

- Une fonction mathématique définie uniquement pour son comportement en termes de variation n'a pas de dimension physique

- les arguments de la fonction doivent être <u>sans dimension</u>

Ex: Cos, Sin, exp, log, …

Fin de l'Introduction

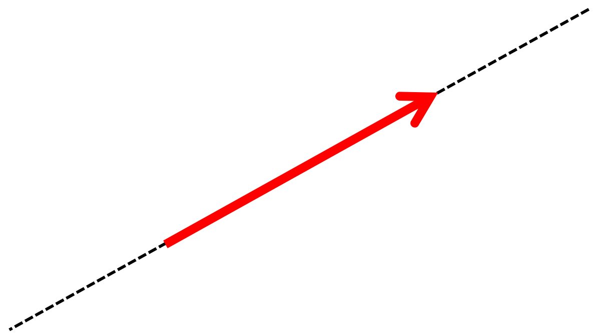
À SAVOIR:

- Trouver la dimension de n'importe quelle grandeur physique
- Poser et résoudre une équation aux dimensions.

Grandeurs physiques non vectorielles?
(scalaires)

Quelques Notions sur les Vecteurs

Vecteur position
Vecteur Vitesse
....
Entité physique vectorielle: orientée



→ PETIT RAPPEL SUR LES PROPRIÉTÉS DES VECTEURS

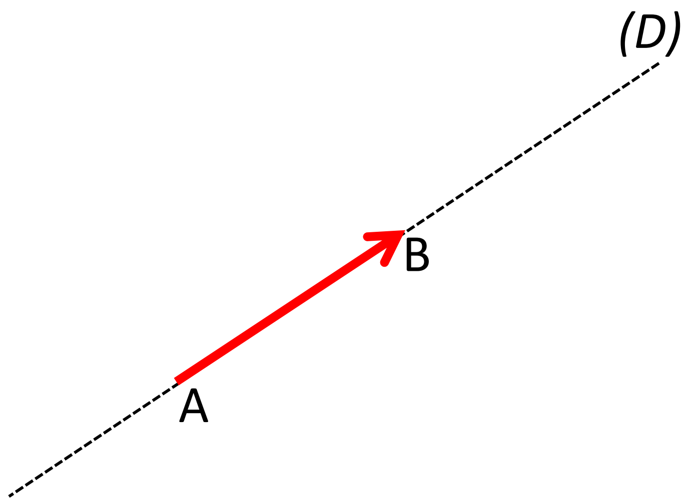
Rappel sur les vecteurs

<u>LES VECTEURS</u>

<u>Définition</u>

<u>Segment de droite Orienté</u>

représenté graphiquement par une flèche



Il est défini par:

sa *direction = droite qui le porte (D)*

son *sens A vers B:* $\overrightarrow{AB}$

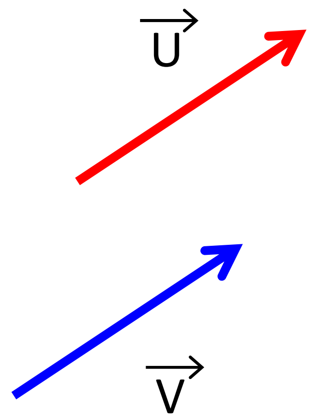
sa <u>norme</u> ou <u>module</u> : $||\overrightarrow{AB}||$

Rappel sur les vecteurs

<u>Propriétés</u>

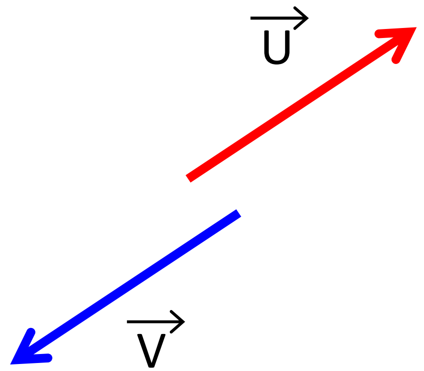
égalité de 2 vecteurs: $\vec{U} = \vec{V}$

direction
sens
norme



2 vecteurs opposés: $\vec{U} = -\vec{V}$

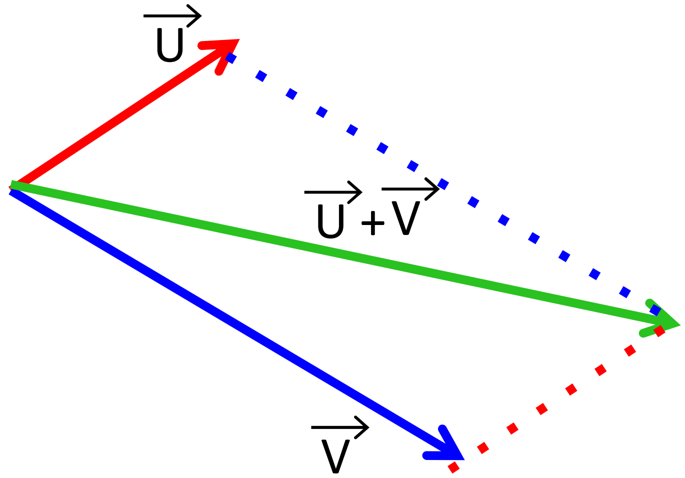
même direction
même longueur
sens **<u>opposés</u>**

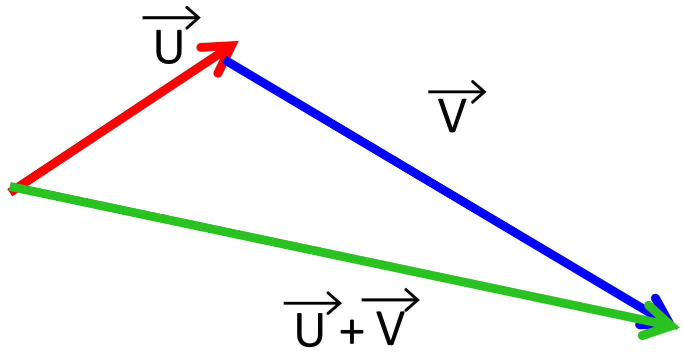


Rappel sur les vecteurs

Propriétés

Addition de vecteurs: $\vec{U} + \vec{V}$

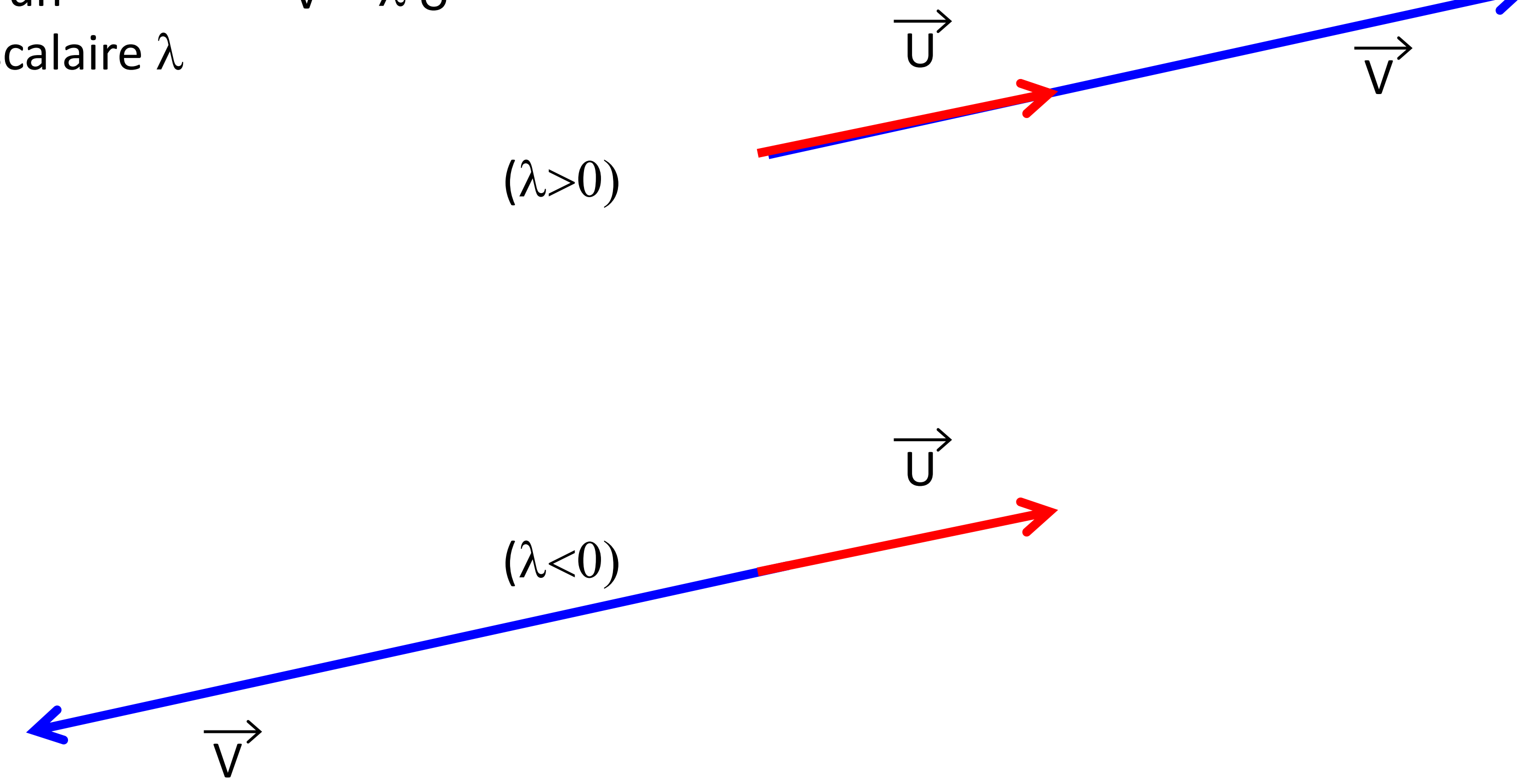




Rappel sur les vecteurs

Propriétés

Multiplication d'un vecteur par un scalaire λ $\quad \vec{V} = \lambda \vec{U}$



Signe → changement de sens si $\lambda<0$

Module → allongement: $(\lambda>1)$

ou rétrécissement : $\lambda<1$

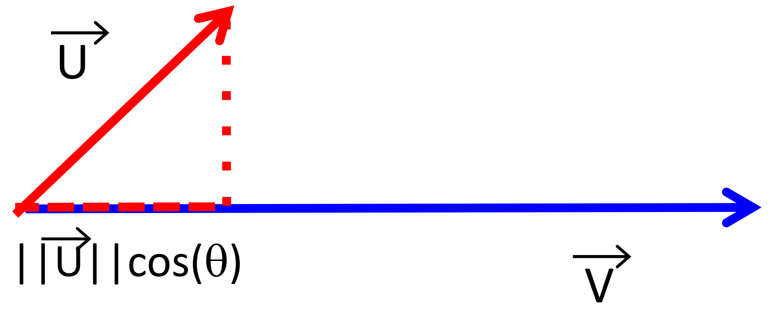
Rappel sur les vecteurs

Propriétés

Produit scalaire

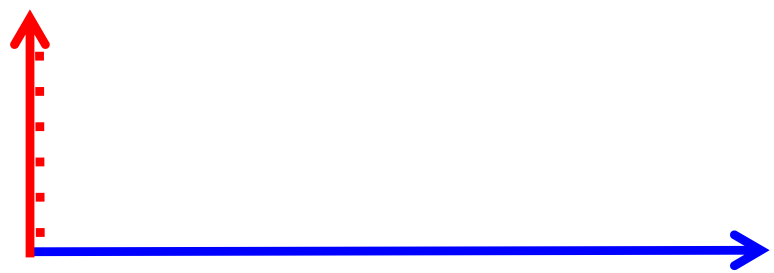
$$\vec{U} \,.\, \vec{V} = ||\vec{U}||\,.\,||\vec{V}||\cos(\theta)$$

$$(\theta) = (\vec{U}\,,\ \vec{V})$$



$\theta=0$ → colinéaires → produit scalaire = produit des normes

$\theta=\pi/2$ → orthogonaux : → produit scalaire = 0



Rappel sur les vecteurs

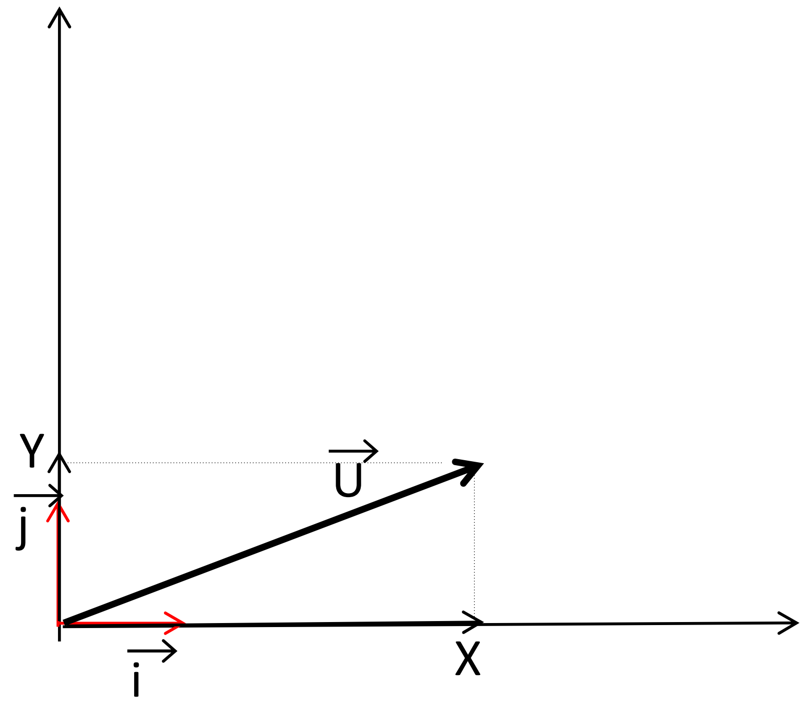
Propriétés

Décompositions dans une base **orthonormée** $(\vec{i}\ ,\ \vec{j})$

$||\vec{i}|| = ||\vec{j}|| = 1$

$(\vec{i}\ ,\ \vec{j}) = \pi/2$

$\vec{U} = X\,\vec{i} + Y\,\vec{j}$ X, Y composantes de $\vec{U}$



$\vec{i}\,.\,\vec{U} = ||\vec{U}||\cos(\theta_x) = \textcolor{red}{\mathbf{X}}$

$\vec{j}\,.\,\vec{U} = ||\vec{U}||\cos(\theta_y) = \textcolor{red}{\mathbf{y}}$

Rappel sur les vecteurs

Propriétés : produit scalaire et norme

Soit un système d'axes x, y muni d'une base **orthonormée** $(\vec{i}, \vec{j})$

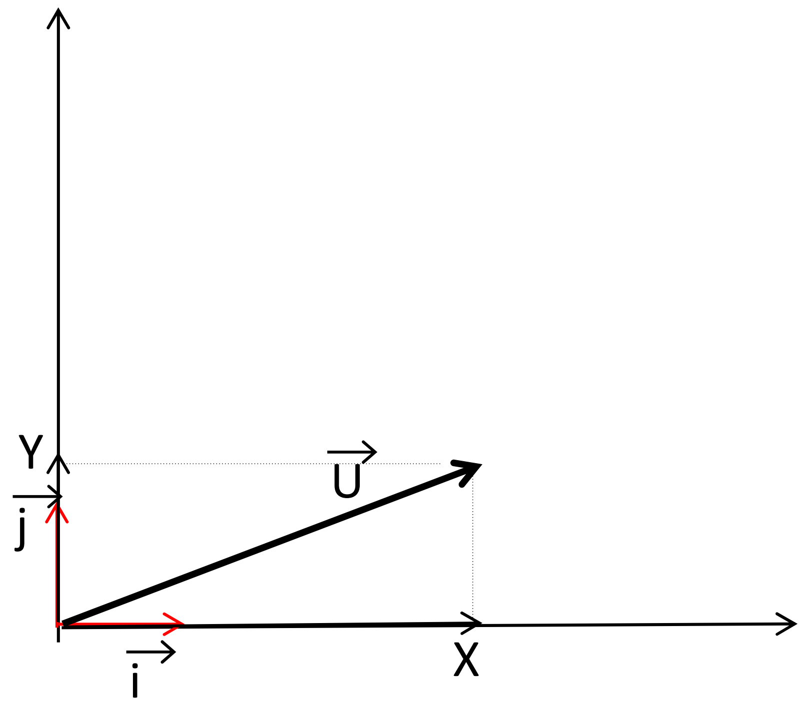
On y exprime les différents vecteurs par leurs composantes

$$\overrightarrow{U_1} = X_1\vec{i} + Y_1\vec{j}$$

$$\overrightarrow{U_2} = X_2\vec{i} + Y_2\vec{j}$$

Le produit scalaire des deux vecteurs est:

$$\boxed{\overrightarrow{U_1}.\overrightarrow{U_2} = X_1X_2 + Y_1Y_2}$$



Et la norme de U est:

$$\vec{U} = X\vec{i} + Y\vec{j}$$

$$\vec{U}.\vec{U} = \left\|\vec{U}\right\|^2 = X^2 + Y^2$$

$$\boxed{\left\|\vec{U}\right\| = \sqrt{X^2 + Y^2}}$$