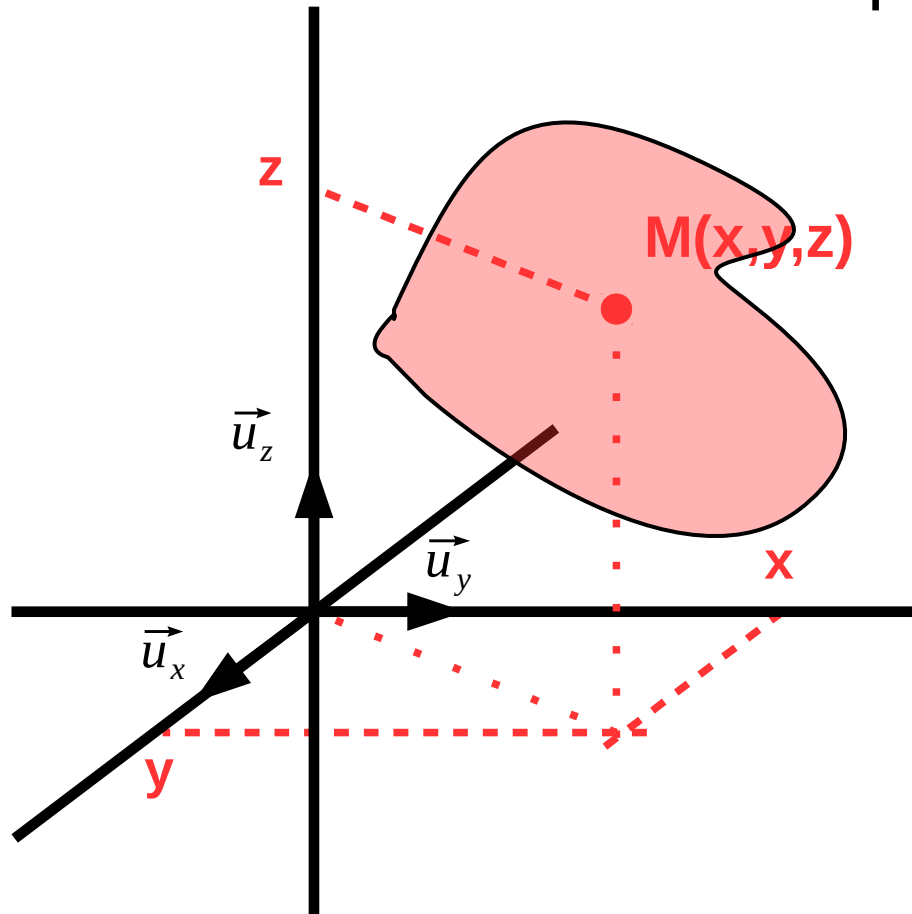


Physique – Mécanique

Chapitre 2 – Lois de Newton

- Système matériel et centre d'inertie
- Lois de Newton
- Forces
- Exemples d'étude
- Référentiel non galiléen

Définition : Ensemble de points matériels



ou...



Deux types de systèmes :

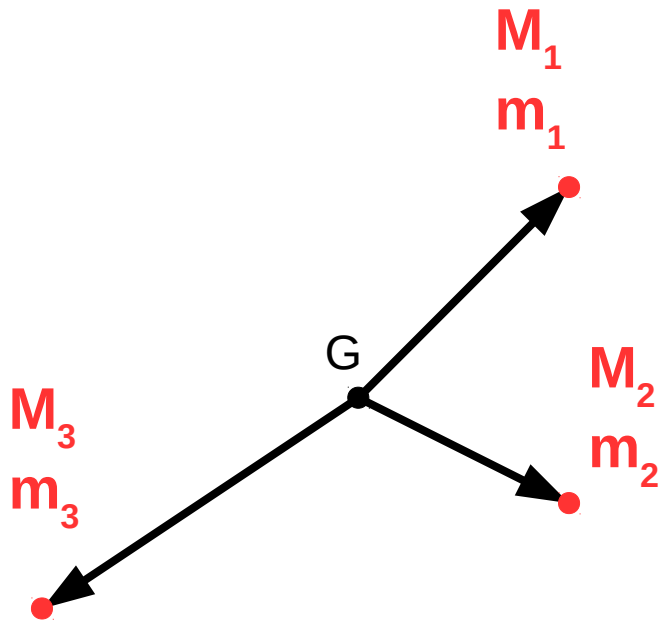
- Système indéformable : Points fixes
- Système déformable : Points non fixes

Suivant les forces :

- Système isolé : Aucune force extérieure
- Système pseudo-isolé : Forces extérieures compensées
- Système non isolé : Forces extérieures non compensées

Masse et centre d'inertie

Point matériel ou masse ponctuelle : on associe à un point M_1 , une masse m_1



Système discret de point M_i :

Barycentre : $\sum_i m_i \overrightarrow{GM_i} = 0$

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\sum_i m_i \overrightarrow{OM_i}}{\sum_i m_i}$$
$$m = \sum_i m_i$$

→ On a défini le centre d'inertie

Système continu : Passage $\sum \rightarrow \int$

Masse : caractéristique invariable du système
Défini la quantité de matière du système
Unité : le kilogramme (kg)

Quantité de mouvement

Définition : La quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse.

$$\vec{p} = m \vec{v}$$



Pour un point matériel M_1 de masse m_1 : $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$

Pour le système :

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i = m \vec{v}_G$$

Système = point matériel G + masse totale $\vec{p} = m \vec{v}_G$


Première loi de Newton : le principe d'inertie

Première loi de Newton : le principe d'inertie

« Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare. »

« Tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelques forces n'agissent sur lui et ne le contraignent à changer d'état »

Newton – Philosophiæ naturalis principia mathematica – 1687

~~Interactions~~  $\vec{p} = \text{constante}$
 $\vec{v} = \text{constante}$

Attention :
seulement vrai dans les référentiels galiléens

Référentiel galiléen ?

Définition : Référentiel dans lequel est vérifié le principe d'inertie

$$\vec{a}_{G/R} = \vec{a}_{G/R'} + \vec{a}_{O'/R} + \vec{\Omega} \wedge (\vec{\Omega} \wedge \overrightarrow{O'G}) + \frac{d\vec{\Omega}}{dt} \wedge \overrightarrow{O'G} + 2\vec{\Omega} \wedge \vec{v}_{G/R'}$$

$$\text{Dans R : } \vec{v}_{G/R} = \text{constante} \Rightarrow \frac{d\vec{v}_{G/R}}{dt} = \vec{a}_{G/R} = 0$$

$$\text{Dans R' : } \vec{v}_{G/R'} = \text{constante} \Rightarrow \frac{d\vec{v}_{G/R'}}{dt} = \vec{a}_{G/R'} = 0$$

$$\Rightarrow \vec{a}_{O'/R} = \vec{0} \quad \text{et} \quad \vec{\Omega} = \vec{0}$$

Tout référentiel en translation uniforme est un système galiléen

Deuxième loi de Newton : le PFD

Notion de force

- Pas d'interaction → système au repos
- Déviation → Interaction → force

Principe fondamental de la dynamique (PFD)

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

– Newton

Variation quantité de mouvement = force ext. x temps

$$d\vec{p} = \vec{F} dt$$

PFD :

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

Troisième loi de Newton : le principe de réaction

« 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 de sens contraires. »

— Newton

$$\vec{F}_{2/1} = -\vec{F}_{1/2}$$

Ce principe s'applique
quelque soit le référentiel



Où l'on revient sur la notion de force...

Force == action subit par un système

- acteur / receveur
- Direction : axe acteur – receveur
- Sens : <0 (acteur vers receveur) si attractive et >0 si répulsive
- Point d'application : centre d'inertie

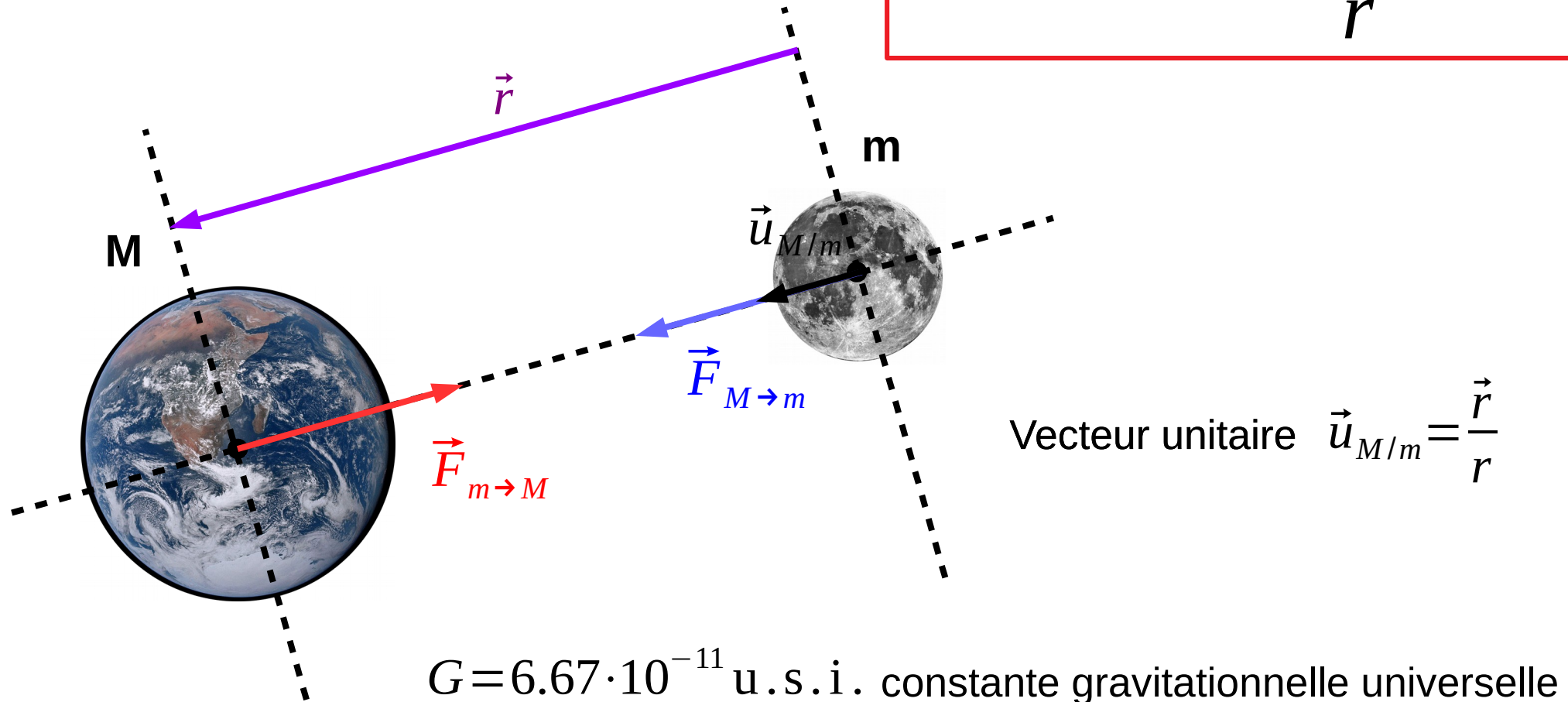
→ **Une force est un vecteur**

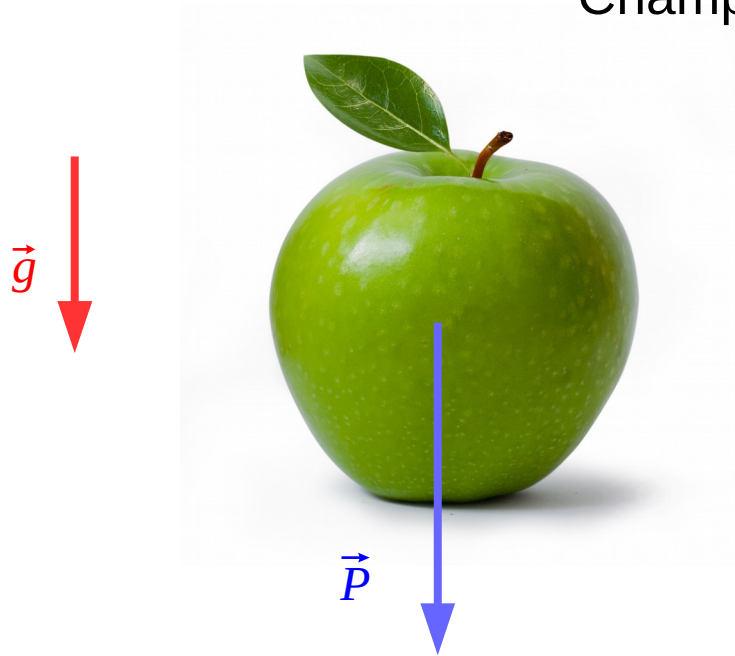
2 types de forces :

- interactions à distance == les 4 forces fondamentales
Forces gravitationnelles, de Lorentz, faibles et fortes
Décroît lorsque la distance augmente
- de contact == résultantes macroscopiques des 4 forces fondamentales
Forces de contact, frottements, tension... etc...

Force de gravitation

$$\vec{F}_{M \rightarrow m} = -G \frac{m M}{r^2} \vec{u}_{M/m}$$





Champ de pesanteur : $\vec{g} = -G \frac{M}{R^2} \vec{u}$

$$g = G \frac{M}{R^2} = 9.80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\boxed{\vec{P} = m \vec{g}}$$

Considérée comme localement uniforme

Forces de Lorentz = Forces électriques + forces magnétiques

Seulement pour les particules chargées

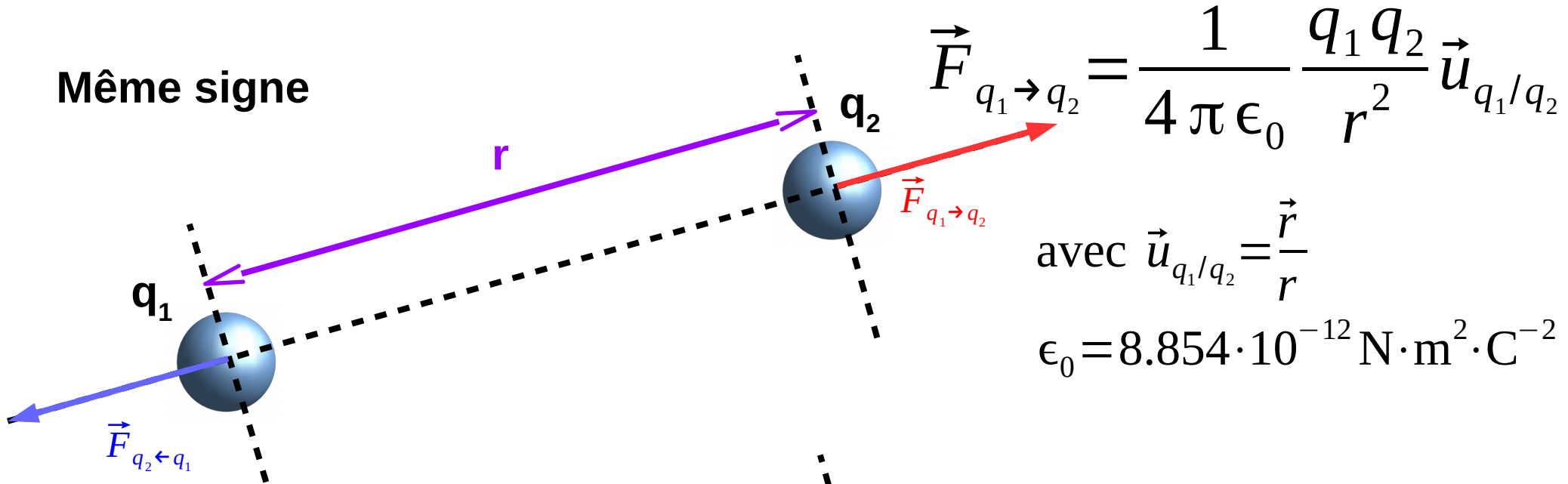
> > forces gravitationnelle ($\sim 10^{40}$ fois plus)

Forces électriques seules pour les particules au repos

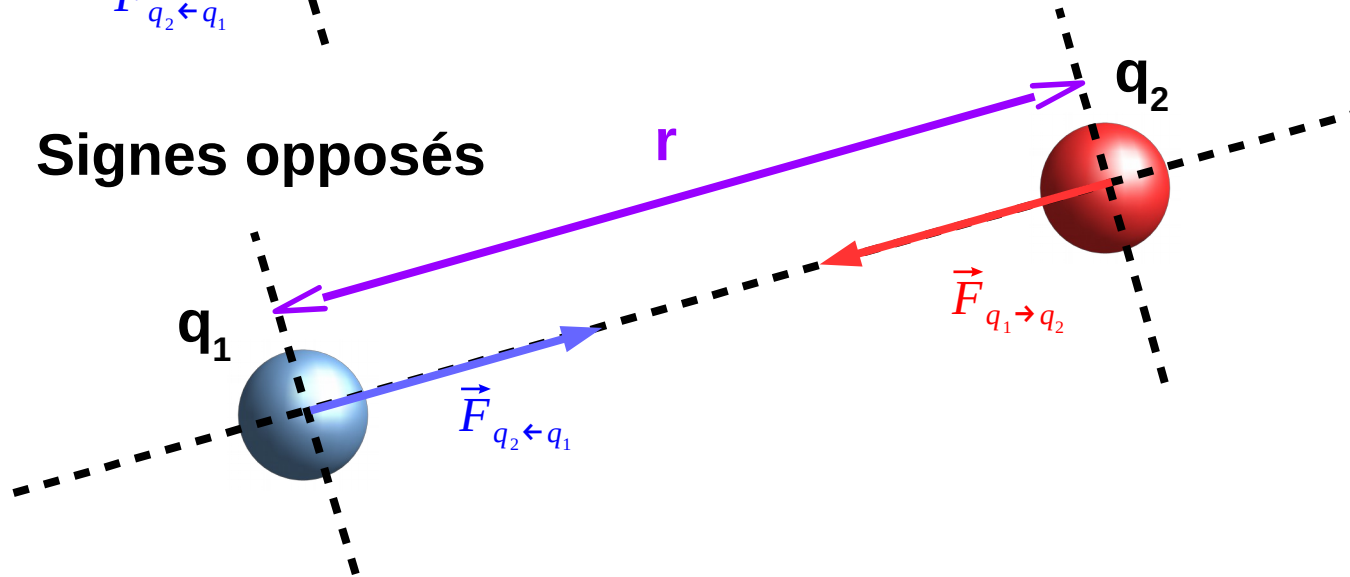
Forces magnétiques en plus pour les particules en mouvement

Forces électriques

Même signe



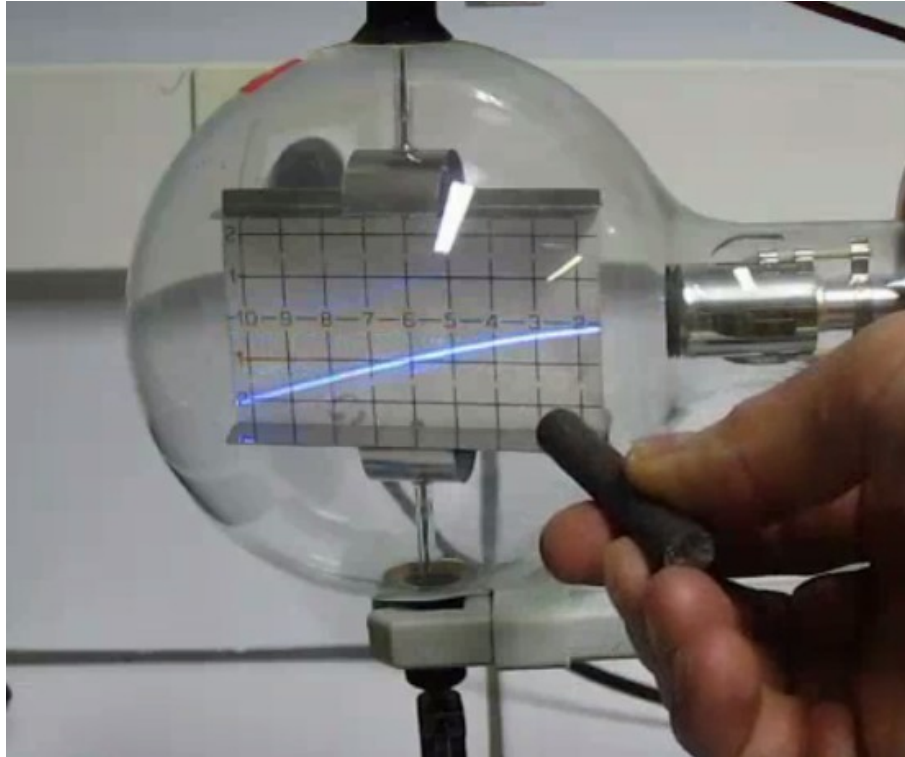
Signes opposés



Champ électrique :

$$\vec{F}_{q_1 \rightarrow q_2} = q_2 \vec{E}$$
$$\text{avec } \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r^2} \vec{u}_{q_1/q_2}$$

Forces magnétiques



$$\vec{F} = q \vec{v} \wedge \vec{B}$$

avec \vec{B} = champ magnétique (en Tesla)

Propriété :

- Courte portée (échelle atomique) ($\sim 10^{-17}\text{m}$)
- Intensité faible (environ 10 000 x moins que la force électromagnétique)
- Interaction entre matière et neutrino

Responsable de :

- Désintégration radioactive de particules subatomiques
- Origine de la fusion nucléaire dans les étoiles
- Elle permet la datation au carbone 14

Propriété :

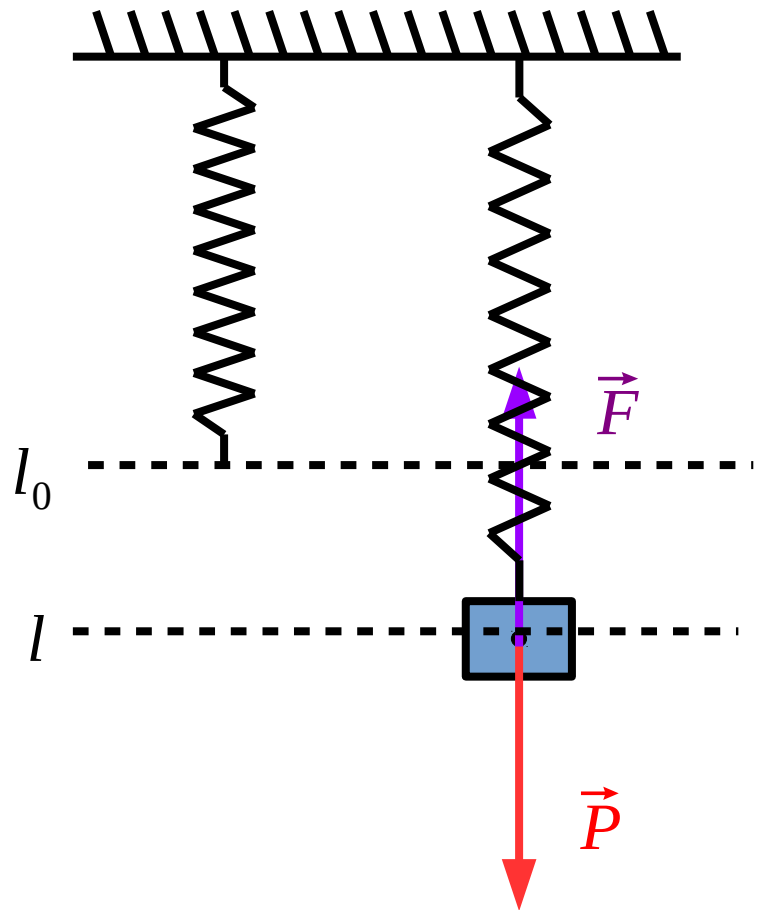
- Courte portée (échelle atomique) ($\sim 10^{-15}\text{m}$)
- Intensité forte (100 x plus grande que l'interaction EM)

Responsable de :

- Assure la cohésion du noyau

Forces de tensions

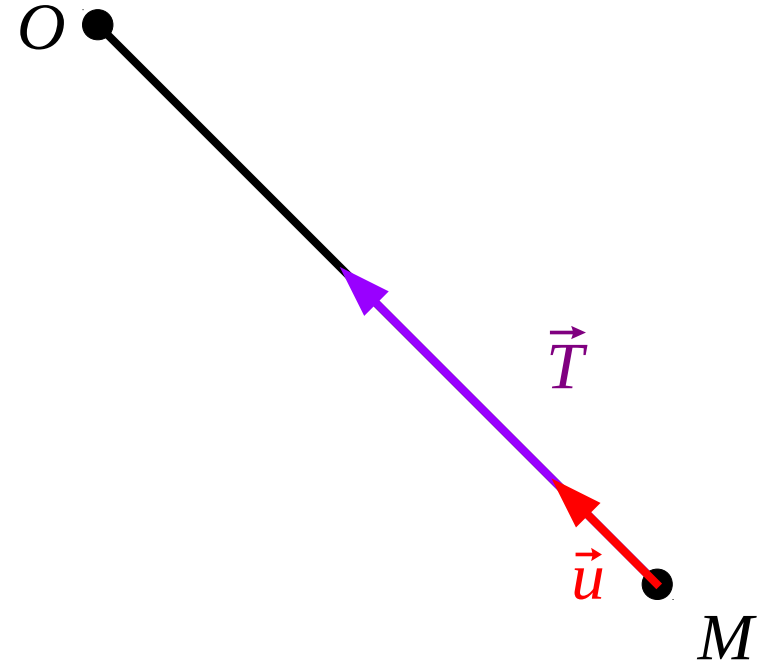
- Ressort de longueur à vide ℓ_0
- Raideur k ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)
- Masse négligeable
- S'oppose à la déformation $\ell - \ell_0$



$$\vec{F} = -k(l - l_0)\vec{u}$$

Tension d'un fil

- Fil inextensible
- Masse négligeable
- Force dirigée suivant le fil
- Norme dépend des autres forces

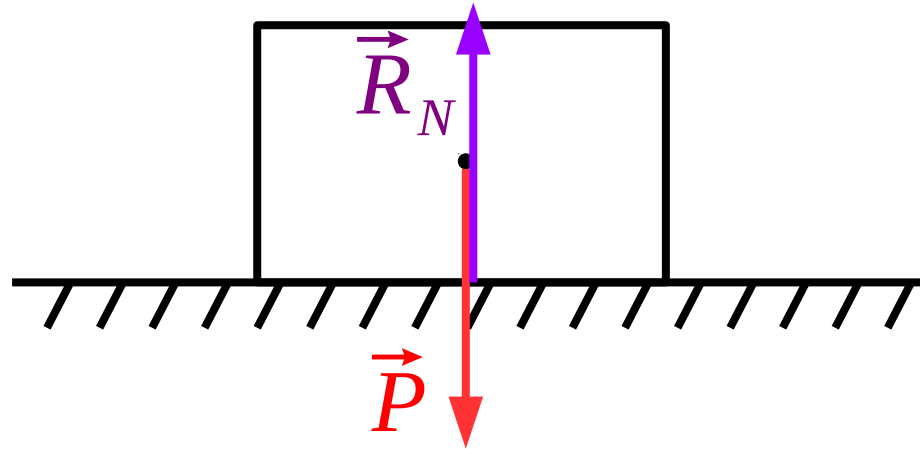


$$\vec{T} = T \vec{u}$$

\vec{u} vecteur unitaire dirigé de M vers O

$|T| > 0$ le fil reste tendu

Réaction du support



Forces en présence :

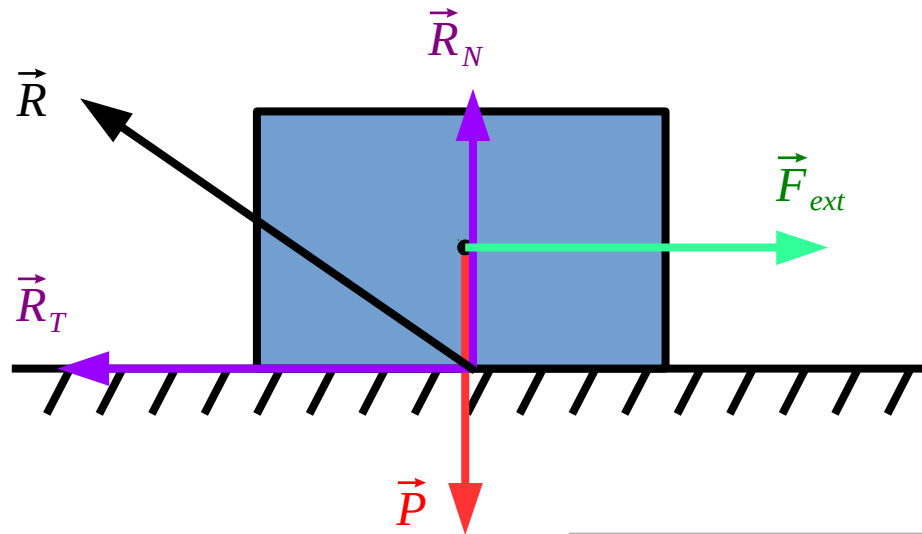
- Poids de la masse m appliqué au CI \vec{P}
- Réaction du support \vec{R}_N

A l'équilibre :

$$\vec{P} + \vec{R}_N = 0 \Rightarrow \vec{P} = -\vec{R}_N$$

Forces frottements solides

Apparaît lorsque l'on cherche à faire glisser un corps sur un support



$$\vec{R} = \vec{R}_T + \vec{R}_N$$

L'intensité R_T est proportionnelle à R_N

$$R_T = \mu R_N$$

Matériaux	μ
Acier-acier	0,2
Bois-bois	0,3
Garniture frein - acier	0,45
Caoutchouc - bitume	0,6

Frottements visqueux :

→ apparition d'une force qui s'oppose au mouvement



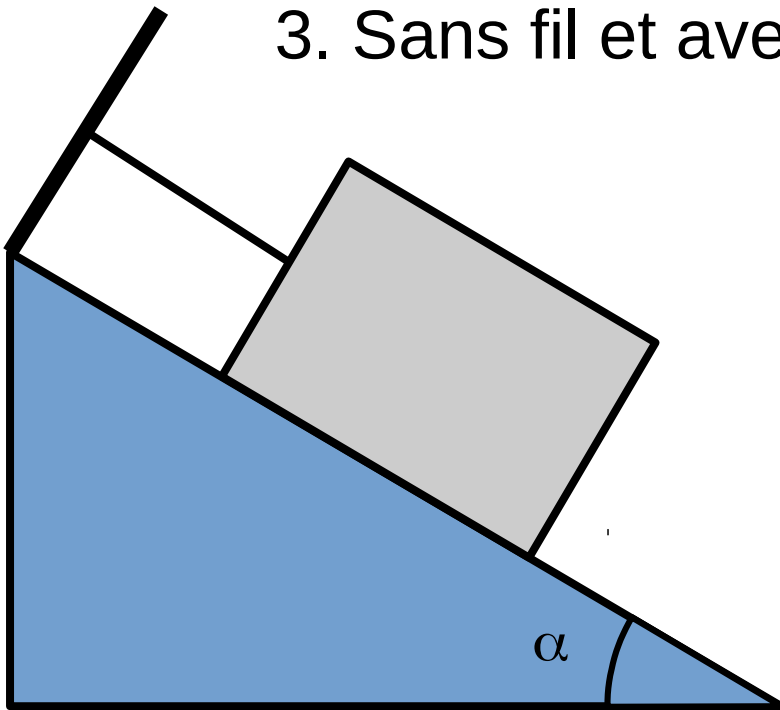
$$\vec{F}_{frott} = -\gamma \vec{v}$$

avec $\gamma > 0$

Exemple 1

Conditions d'équilibre avec :

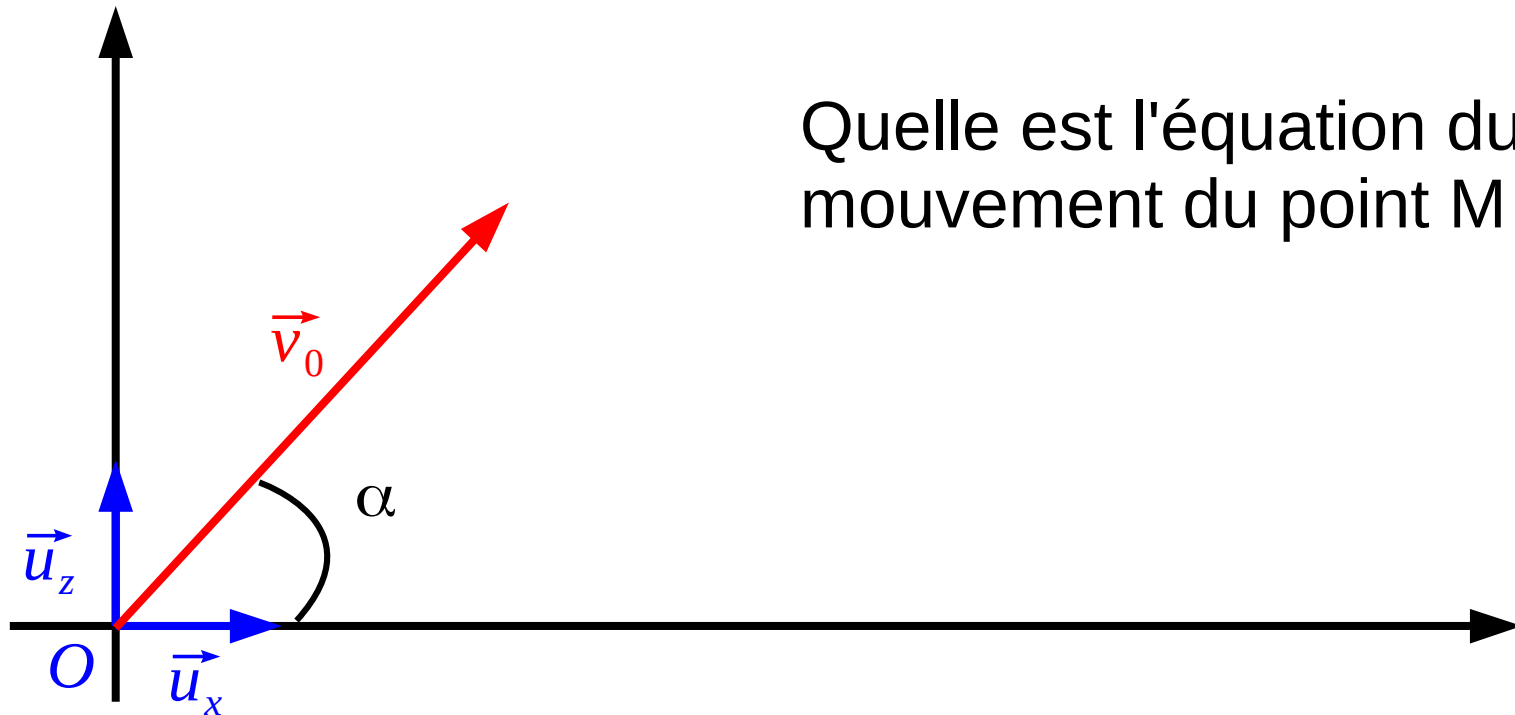
1. Fil non élastique et sans frottement ?
2. Fil élastique de raideur k et sans frottement ?
3. Sans fil et avec frottement solide de coefficient μ ?



Exemple 2

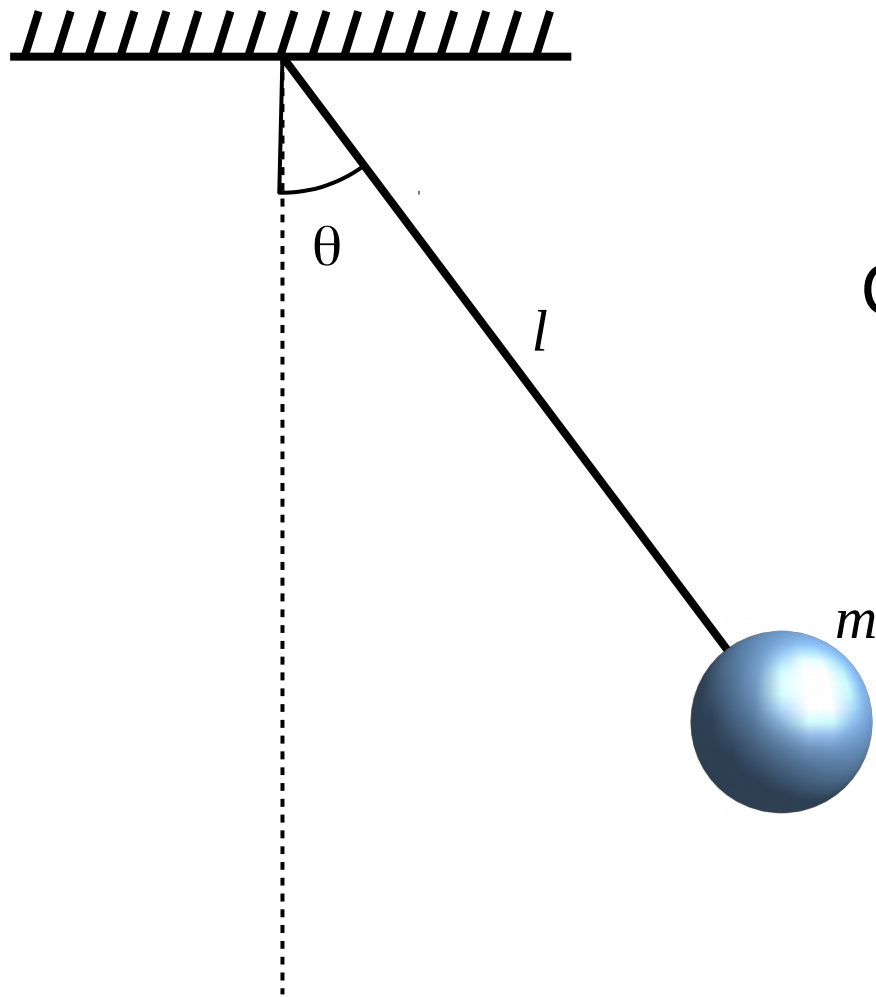
Tir balistique sans frottement

Objet M de masse m lancée à la vitesse \vec{v}_0 depuis le point O



Quelle est l'équation du mouvement du point M ?

Exemple 3 – Pendule simple



Quelle est l'équation différentielle du pendule ?

Pendule de Foucault



Déplacement du plan d'oscillation lié à la rotation de la Terre

Loi de la dynamique dans un référentiel non galiléen

– Référentiel galiléen : PFD

– Référentiel non galiléen : ~~PFD~~



Modification PFD

Rappel sur l'accélération

Loi de composition :

$$\vec{a}_{M/R} = \vec{a}_{M/R'} + \vec{a}_e + \vec{a}_c$$

Accélération d'entraînement :

$$\vec{a}_e = \vec{a}_{O'/R} + \vec{\Omega} \wedge (\vec{\Omega} \wedge \overrightarrow{O'M}) + \frac{d\vec{\Omega}}{dt} \wedge \overrightarrow{O'M}$$

Accélération de Coriolis :

$$\vec{a}_c = 2 \vec{\Omega} \wedge \vec{v}_{M/R'}$$

D'où on modifie le PFD...

Dans un référentiel galiléen :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m \vec{a}_{M/R}$$

Dans un référentiel non galiléen :

$$m \vec{a}_{M/R'} = \sum \vec{F}_{\text{ext}} - m \vec{a}_e - m \vec{a}_c$$

Pseudo-force :

- Force d'inertie d'entraînement
(projection lors d'une accélération)

$$\vec{f}_{\text{ie}} = -m \vec{a}_e$$

- Force de Coriolis

$$\vec{f}_{\text{ic}} = -m \vec{a}_c$$