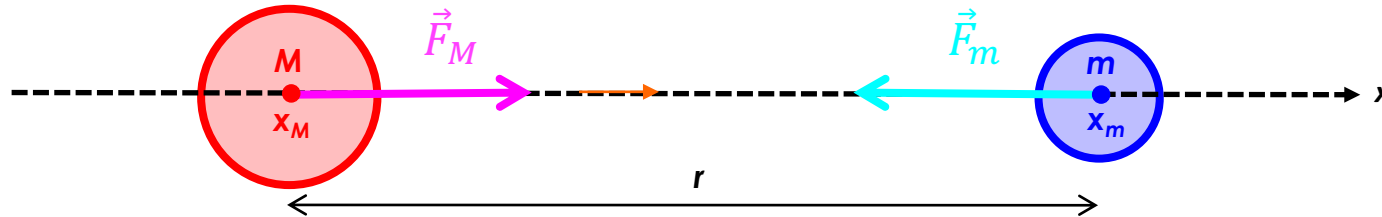


1 – L'interaction gravitationnelle (Newton)



$$\vec{F}_m = -\vec{F}_M = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{u}$$

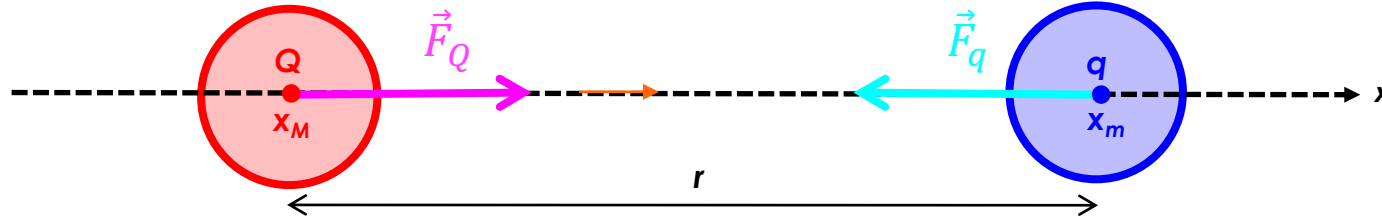
Les masses sont toujours positives.
Cette force est toujours attractive.

Constante de gravitation :
 $G = 6,67384 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Newton ignore la cause de cette force. Par la suite, Einstein décrira la gravitation de manière géométrique (déformation de l'espace-temps). Il n'existe pas encore de description quantique aboutie de la gravitation.

Pour les physiciens des particules, les interactions entre particules de matière (fermions), résultent de l'échange de particules-vecteurs (bosons). Existe-t-il un graviton, qui serait le boson de l'interaction gravitationnelle ?

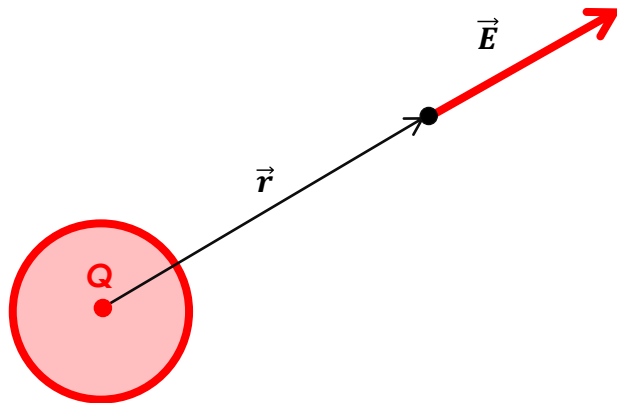
2 – L'interaction électromagnétique (Maxwell)



Force de Coulomb (électrique)
entre deux charges statiques
(immobiles) :

$$\vec{F}_q = -\vec{F}_Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \vec{u}$$

Les charges sont positives ou négatives.
Cette force est attractive (charges de
signe opposé) ou répulsive (charges de
même signe).



Permittivité du vide :

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12} \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{A}^2 \cdot \text{s}^4$$

Une charge électrique Q crée en
chaque point un champ électrique
radial \vec{E} .

La force exercée sur un charge q en ce
point est :

$$\vec{F}_q = q\vec{E} \text{ avec } \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{u}}{r^2}$$

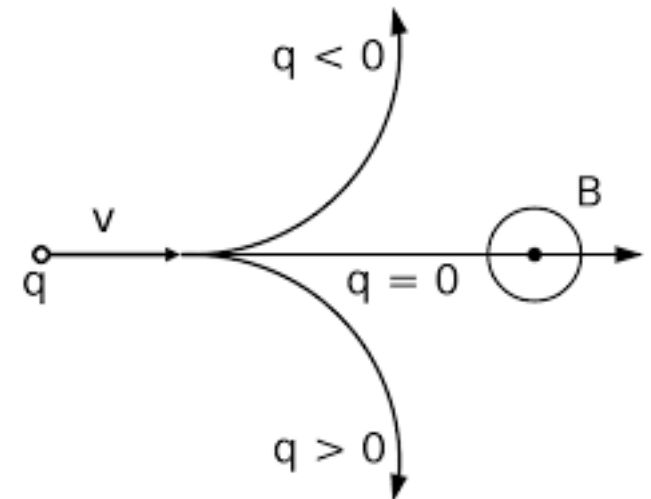
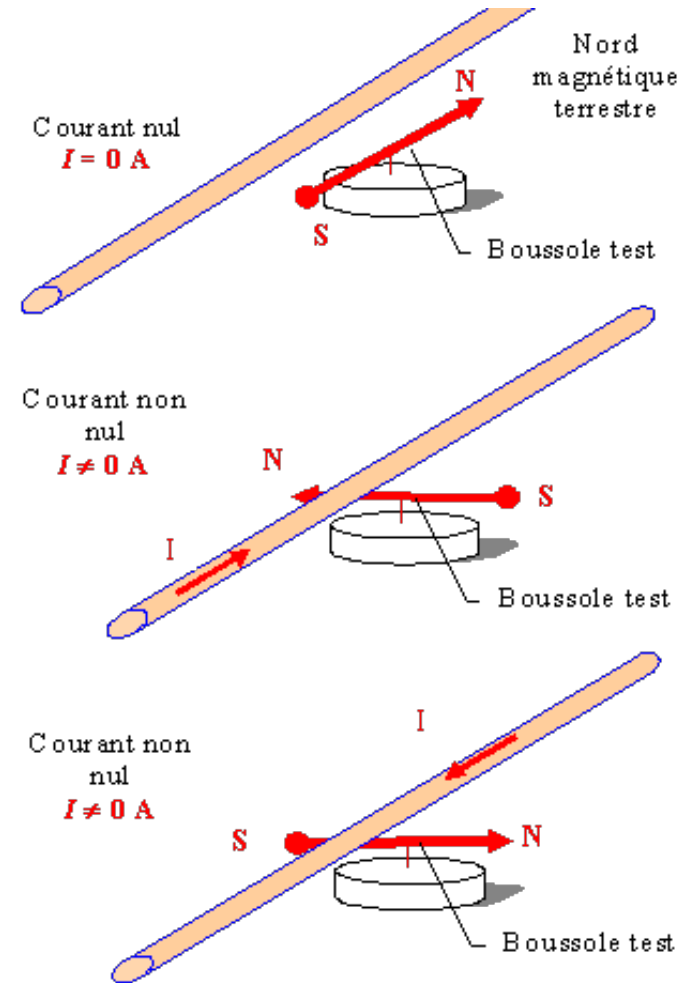
2 – L'interaction électromagnétique (Maxwell)

Faraday et Maxwell ont unifié forces électrique (charges) et magnétique (aimants).

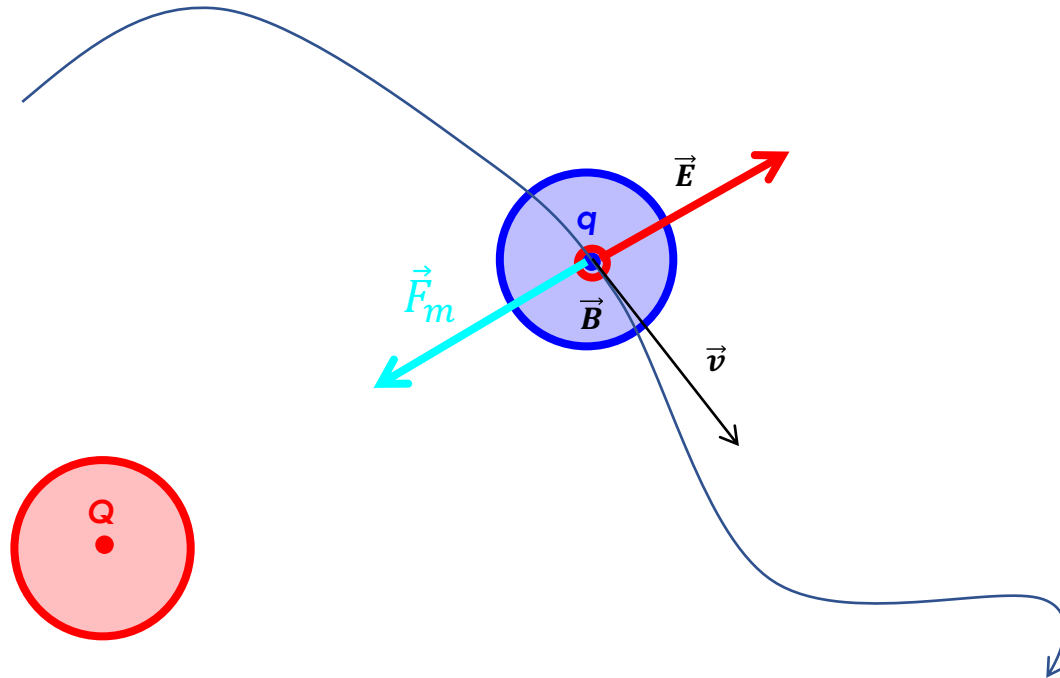
Un courant électrique (charges en mouvement) dévie une boussole (expérience d'Oersted).

Un aimant en mouvement crée un courant électrique (dynamo).

Le champ magnétique fait tourner les particules chargées (utilisé dans les accélérateurs de particules en anneau : CERN, etc).



2 – L'interaction électromagnétique (Maxwell)



Une charge statique crée un champ électrique \vec{E} .

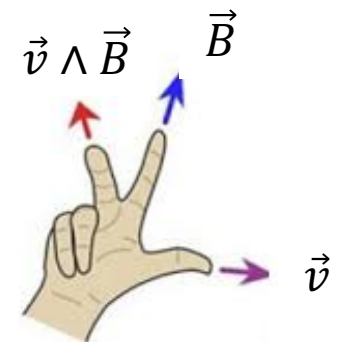
Une charge en mouvement (courant électrique) crée un champ magnétique \vec{B} .

La force électromagnétique est plus complexe que la force de gravitation. Elle dépend du mouvement des particules.

Force de Lorentz entre deux charges en mouvement :

$$\vec{F}_q = q\vec{E} + q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

En termes de particules, le boson de l'interaction électromagnétique est le photon. Les particules chargées échangent des photons.



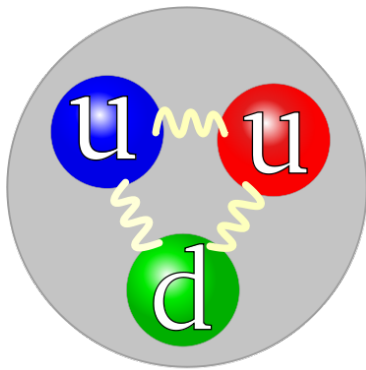
3 – L'interaction nucléaire forte (Yukawa)

Les particules chargées de même signe (protons, par exemple) se repoussent (interaction électromagnétique).

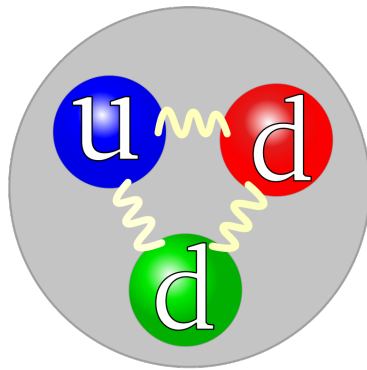
Mais, à très courte distance, l'interaction nucléaire forte l'emporte et « colle » les particules entre elles (fusion nucléaire).

Cette interaction est purement quantique. Ses bosons sont les gluons (il en existe 8 sortes). Elle colle entre eux les quarks (découverts par Gell-Mann)) dans les protons et neutrons, ainsi que les protons et neutrons entre eux.

Sa charge est appelée « couleur » (valeur R, V ou B). Elle est décrite par la chromodynamique quantique.



Proton



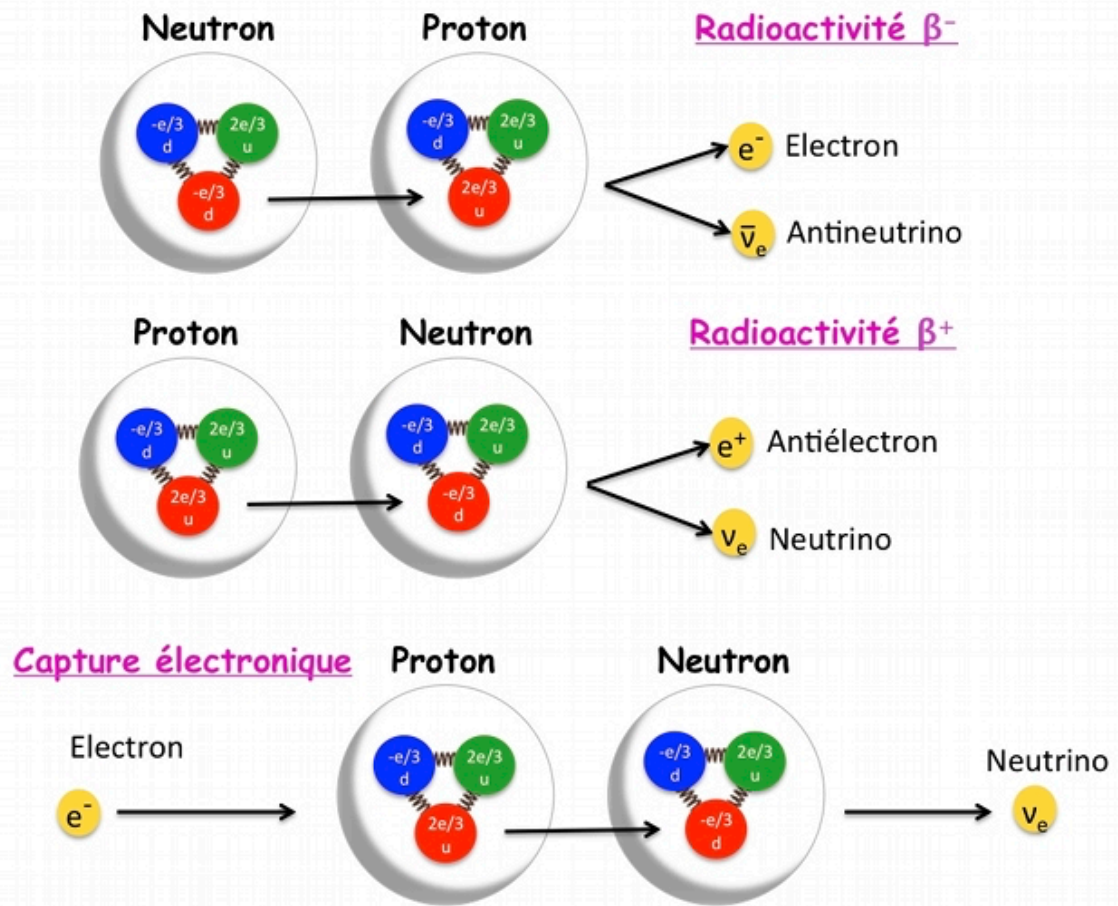
Neutron



4 – L'interaction nucléaire faible (Fermi)

Cette interaction gouverne certains processus radioactifs de désintégration (fission nucléaire).

Cette interaction est purement quantique. Ses bosons sont appelés W^+ , W^- et Z^0 .



Dans les années 1960, Glashow, Salam et Weinberg (Nobel de Physique 1979) ont montré que les interactions faible et électromagnétique sont deux volets d'une seule et même interaction, appelée électrofaible.

Cette unification est très bien vérifiée expérimentalement.

Comparons les interactions

Interaction	Bosons	Intensité relative	Portée en m	Dépendance à la distance
Nucléaire forte	Gluons (8)	1	$2,5 \times 10^{-15}$	$1/r^7$
Electromagnétique	Photon	10^{-2}	∞	$1/r^2$
Nucléaire faible	W^+ , W^- , Z^0	10^{-13}	10^{-18}	$1/r^5$ à $1/r^7$
Gravitationnelle	Graviton ?	10^{-38}	∞	$1/r^2$

L'interaction gravitationnelle est, de très loin, la plus faible de toutes.

Les deux principales tentatives de description quantique de la gravitation sont :

- La théorie des cordes (particules = cordes vibrantes).
- La gravité quantique à boucles (espace-temps quantifié).

Ces théories ne sont pas abouties et, pour le moment, non vérifiables (énergies à atteindre trop grandes). Elles se manifesteraient à l'échelle de Planck (10^{-35} m, trous noirs, Big-Bang).

L'unification des interactions

