

# Rappels de physique

Jean-Marie De Conto

# Masse, force, vitesse, accélération, quantité de mouvement....

- Quantité de mouvement (« momentum » en anglais) d'une particule

$$\vec{p} = m_0 \cdot \vec{v}$$

- Relation entre force et accélération:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m_0 \cdot \vec{a}$$

- La formule avec l'accélération est inapplicable pour des vitesses non négligeables par rapport à celle de la lumière (à  $v \sim c$ , on n'accélère plus!). Dans ce cas on considère les paramètres de Lorentz:

$$\beta = \frac{v}{c} \text{ et } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \rightarrow \infty \text{ quand } v \rightarrow c$$

- On a alors

$$\vec{p} = \gamma \cdot m_0 \cdot \vec{v}$$

- La vraie relation entre force et cinématique est :

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

- $m_0$  est la « masse au repos » autrement dit la masse et  $m = \gamma \cdot m_0$  est parfois appelée « masse relativiste »
- Quand la particule est immobile, l'énergie totale est

$$E_0 = m_0 \cdot c^2$$

- Quand la particule est mobile, l'énergie totale est

$$E = m \cdot c^2 = \gamma \cdot m_0 \cdot c^2$$

- Et l'énergie cinétique est donc

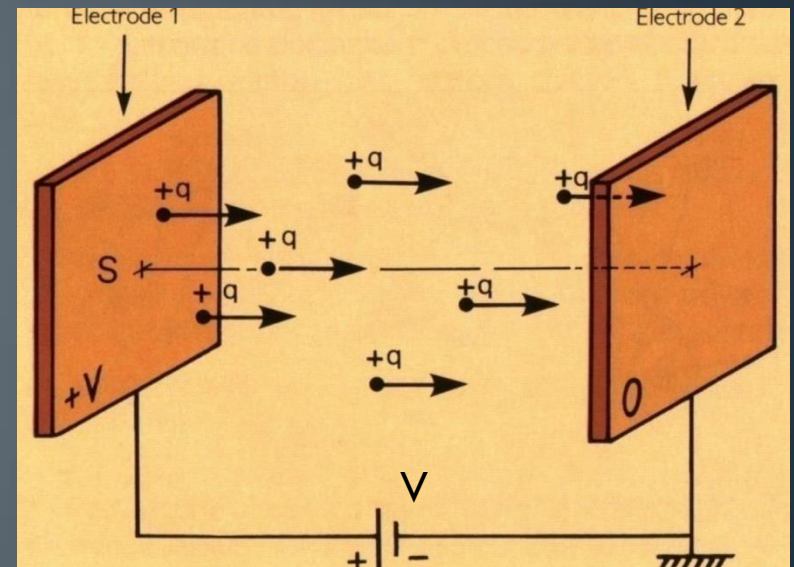
$$T = E - E_0 = (\gamma - 1) \cdot m_0 \cdot c^2 \sim \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v^2 \text{ pour } v \ll c$$

# Les sources des forces: les champs

- $E = \frac{V}{d}$  dans un simple gap
- Plus généralement, le champ électrique est la variation spatiale du potentiel

- $\vec{E} = -grad(V) = - \begin{bmatrix} \frac{\partial V}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial y} \\ \frac{\partial V}{\partial z} \end{bmatrix}$

- E est en volts par mètre
- La force de Lorentz subie par une particule de charge q est



$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

# Les sources des forces: les champs

- Deux grandeurs
  1. Le champ magnétique  $H$  (ampères par mètre) qui caractérise l'effet de charges mobiles
  2. L'induction magnétique  $B$  (en teslas) qui caractérise la magnétisation du milieu sous l'effet de  $H$

$$\vec{B} = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}$$

- Champ magnétique créé par un conducteur: théorème d'Ampère

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I_{tot} = nI_{conducteur}$$

- Pour un fil infini

$$2\pi dH = I \rightarrow B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi d}$$

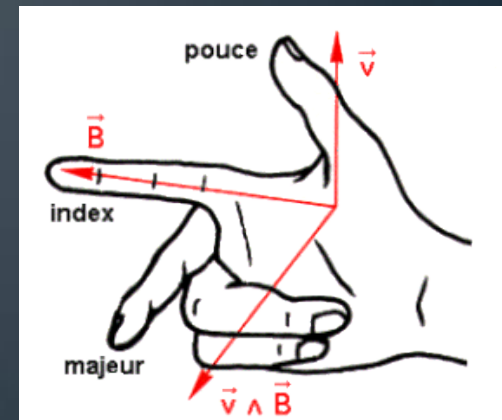
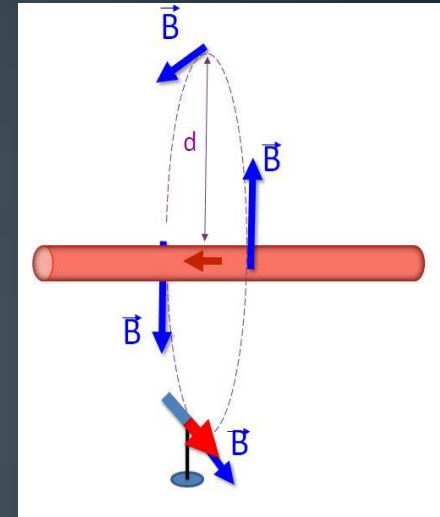
- Force de Lorentz subie par une particule:

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

- L'intensité de la force dépend de l'angle entre la vitesse et le champ

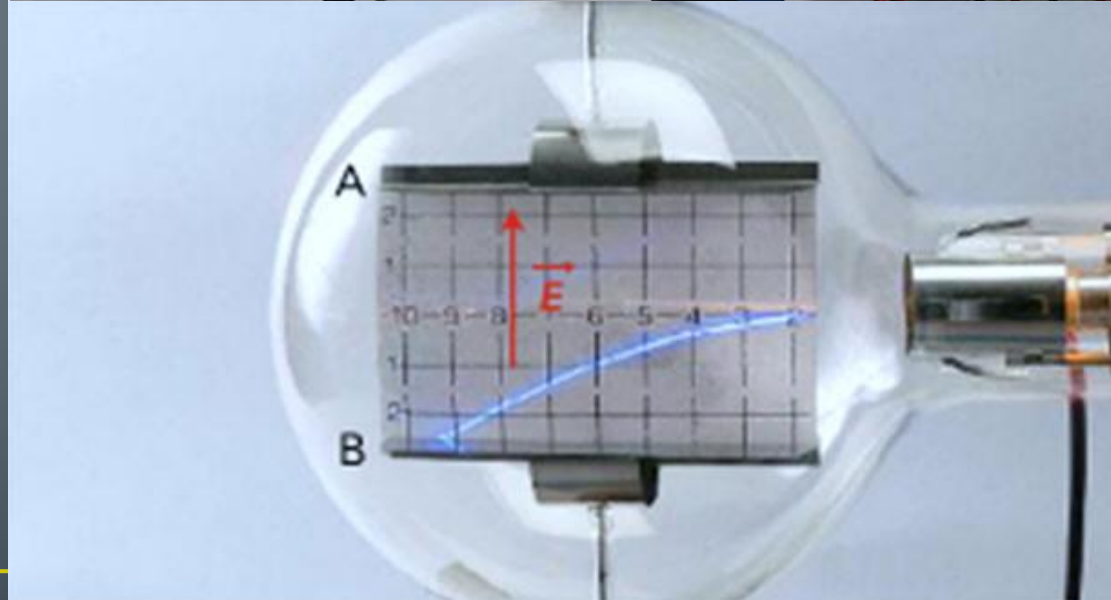
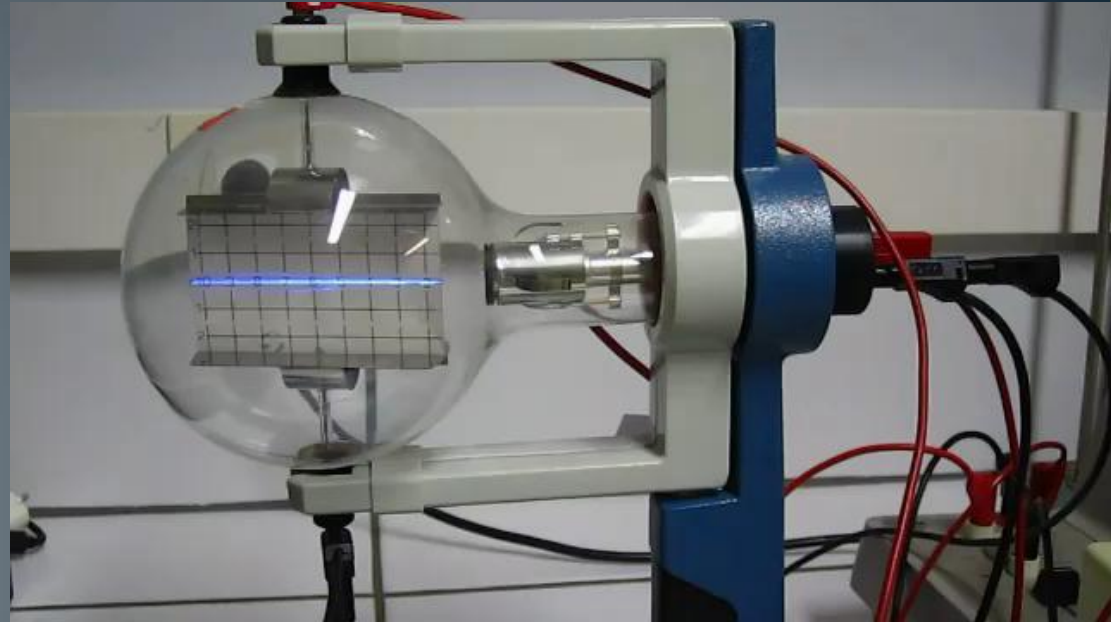
$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta$$

1. Un champ perpendiculaire à la vitesse a un effet maximal
2. Un champ colinéaire à la vitesse n'a aucun effet
3. La force est toujours perpendiculaire à la vitesse, donc un champ magnétique ne peut pas faire varier l'énergie cinétique



# Comment 'manipule' t-on les particules chargées (Merci Fabian)

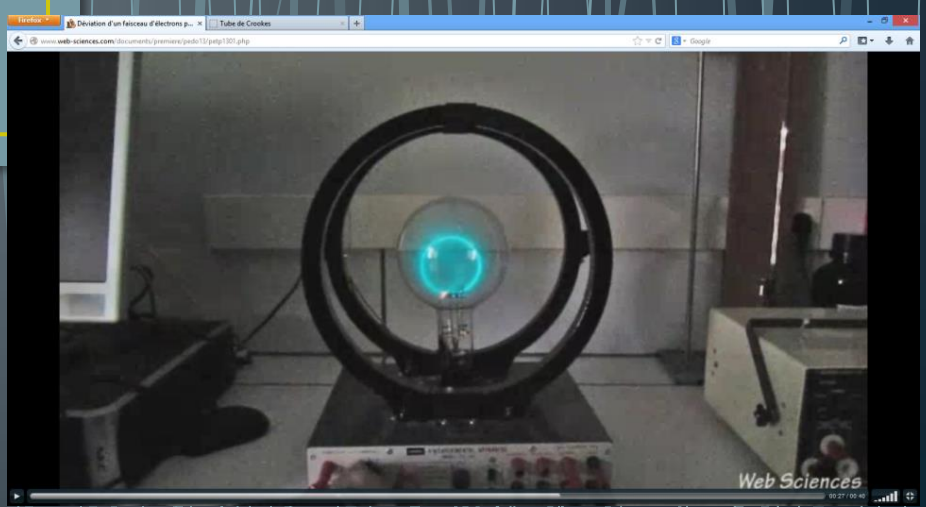
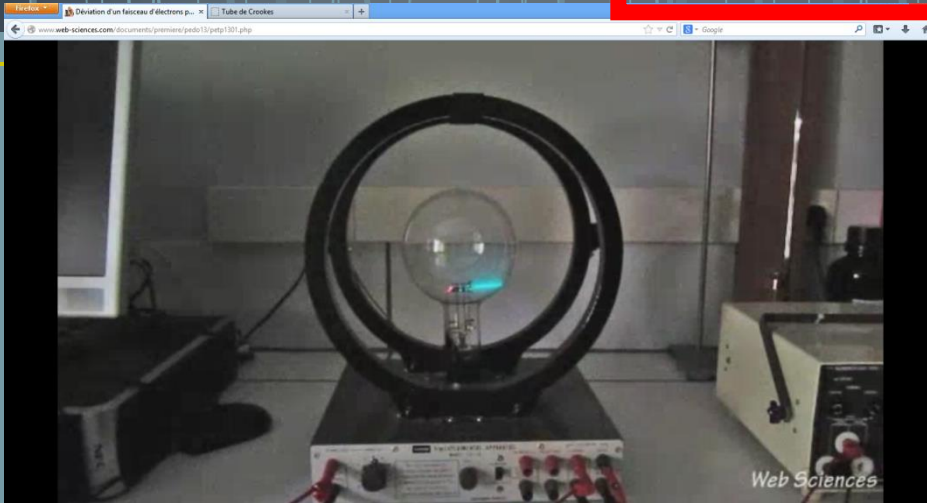
$$\vec{F} = q\vec{E}$$





# Comment 'manipule' t-on les particules chargées (re-merci re-Fabian)

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



# Energie

- Energie: s'exprime en joules
- Gain d'énergie cinétique dans un simple gap:

$$\Delta E = qV$$

- Energie dérivée: l'électron-volt (un électron accéléré sous un volt)

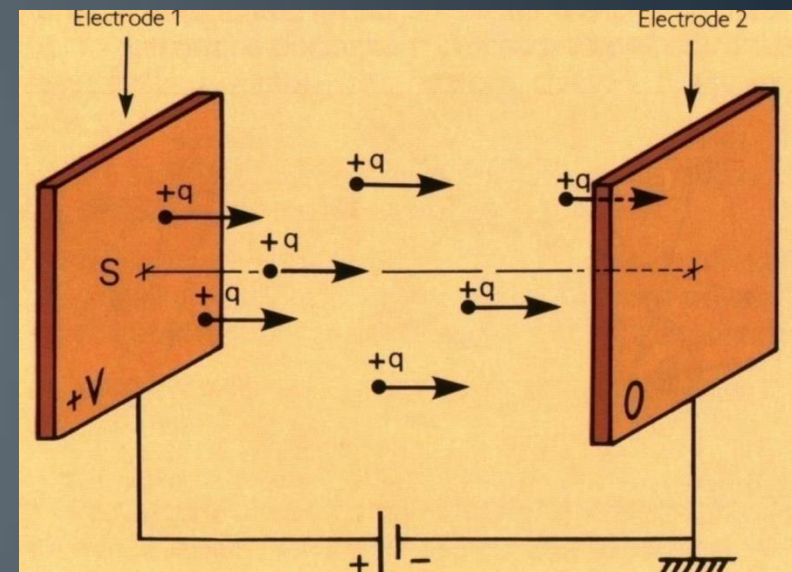
$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- Energie au repos

$$E_{0,J} = m_0 \cdot c^2 = e \cdot E_{0,eV}$$

- 0.5 MeV environ pour l'électron
- 0.94 GeV environ pour le proton

Un électron de 1 MeV a la même vitesse qu'un proton de 1.88 GeV, soit  $\gamma = 3$  et donc  $\beta = 0.87$  soit 94% de la vitesse de la lumière



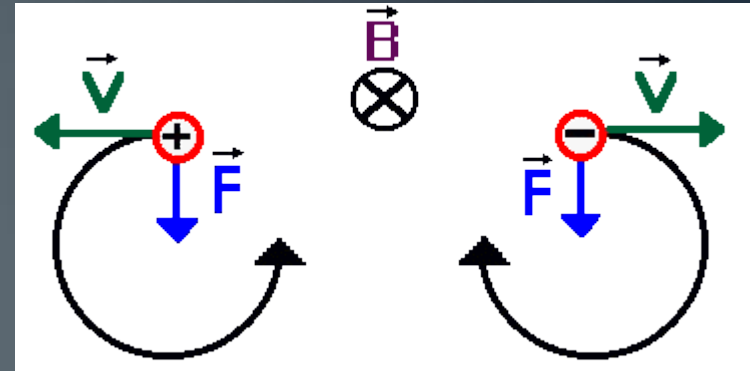
# Rigidité magnétique

- Rayon de courbure dans un champ magnétique:

$$\rho = \frac{mv}{qB} = \frac{\gamma \cdot m_0 v}{qB}$$

- $B\rho = \frac{mv}{q} = \frac{\gamma \cdot m_0 \beta c}{q}$  est LA

quantité unique qui caractérise la trajectoire dans un champ magnétique



Deux particules confondues au départ, de même rigidité, quelles que soient leurs nature ou leur charge, auront la même trajectoire dans une structure magnétique. Le champ magnétique sépare les particules selon leur rigidité.



# Echelles

- Longueur d'onde de Broglie

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{p} = \frac{h}{\beta\gamma m_0 c} \quad (h=6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}=4.1 \cdot 10^{-15} \text{ eV})$$

- Sonder la matière à une échelle donnée demande que la longueur d'onde de Broglie soit du même ordre de grandeur.

Atome:  $10^{-10}$  m

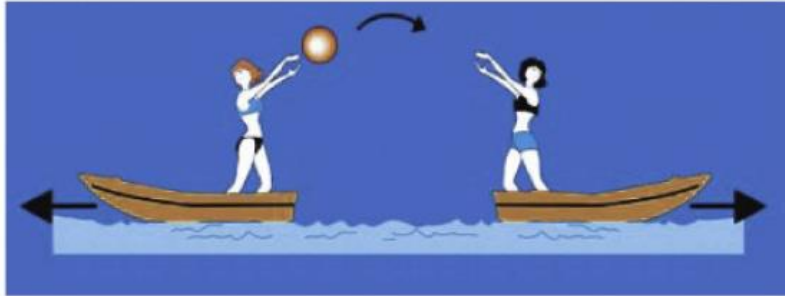
Proton:  $10^{-15}$  m soit des électrons de 25 MeV

Quark:  $10^{-19}$  m soit des électrons de 2.5 GeV

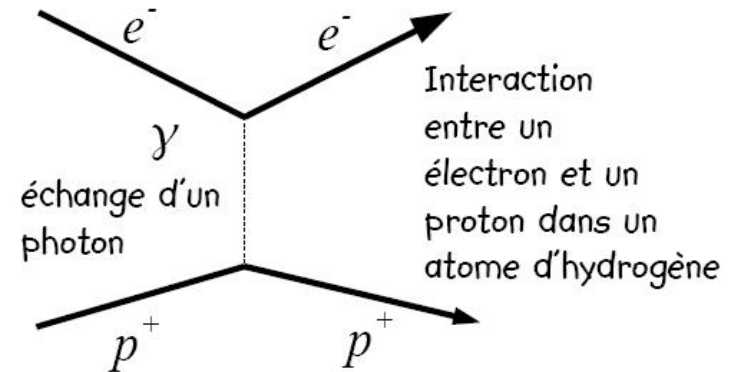
- NB1: l'énergie d'un accélérateur dépend bien sûr également des seuils énergétiques requis pour les réactions étudiées.
- NB2: Pour les machines à rayonnement synchrotron, ce qui compte est l'énergie des rayons X produits, c'est donc un problème différent.

# Au fond, c'est quoi une force?

- Quatre interactions fondamentales
- Une force à distance, sans transmetteur? Ca paraît idiot. En fait c'est faux



L'échange de bosons est responsable de la force

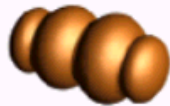


- Une force se transmet par échange de particules appelées « bosons » (du physicien Indien Bose)
- Newton a découvert l'action à distance, et révolutionner la physique
- Au fond, il avait tort!

# Des bosons!

## Strong

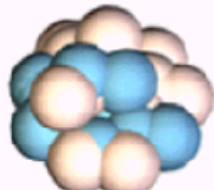
Gluons (8)



Quarks



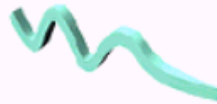
Mesons  
Baryons



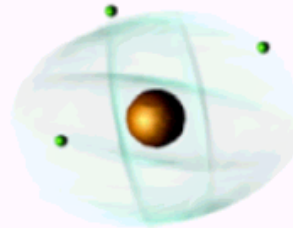
Nuclei

## Electromagnetic

Photon



Atoms  
Light  
Chemistry  
Electronics



Strong (color) spin = 1

Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
<b>g</b> gluon	0	0

## Gravitational

Graviton ?

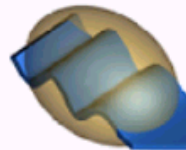


Solar system  
Galaxies  
Black holes

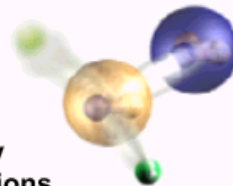


## Weak

Bosons (W,Z)



Neutron decay  
Beta radioactivity  
Neutrino interactions  
Burning of the sun



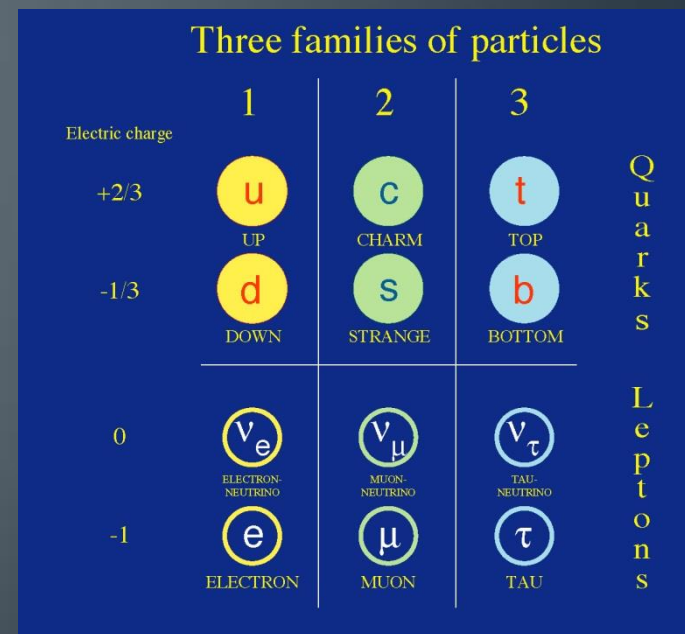
Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
<b>W<sup>-</sup></b>	80.4	-1
<b>W<sup>+</sup></b>	80.4	+1
<b>Z<sup>0</sup></b>	91.187	0

# Nous avons « décrit » ce qui transmet les forces, mais la matière dans tout cela?

- Trois familles de particules, pas moins, pas plus
- Les quarks vont par deux ou trois, cinq ou six
- On rajoute les anti-particules
- ...et le bonson de Higgs and co

Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	$<1 \times 10^{-8}$	0	<b>u</b> up	0.003	2/3
<b>e</b> electron	0.000511	-1	<b>d</b> down	0.006	-1/3
$\nu_\mu$ muon neutrino	$<0.0002$	0	<b>C</b> charm	1.3	2/3
<b><math>\mu</math></b> muon	0.106	-1	<b>S</b> strange	0.1	-1/3
$\nu_\tau$ tau neutrino	$<0.02$	0	<b>t</b> top	175	2/3
<b><math>\tau</math></b> tau	1.7771	-1	<b>b</b> bottom	4.3	-1/3



# Retour sur l'interaction forte: stabilité du noyau

- Le noyau devrait être instable (répulsion coulombienne)
- C'est l'interaction forte qui crée la stabilité
- Cela se traduit par un excès de neutrons
- Programmes de physique actuels:
  - étude de noyaux loin de la vallée de stabilité
  - Étude de superlourds (GSI)

