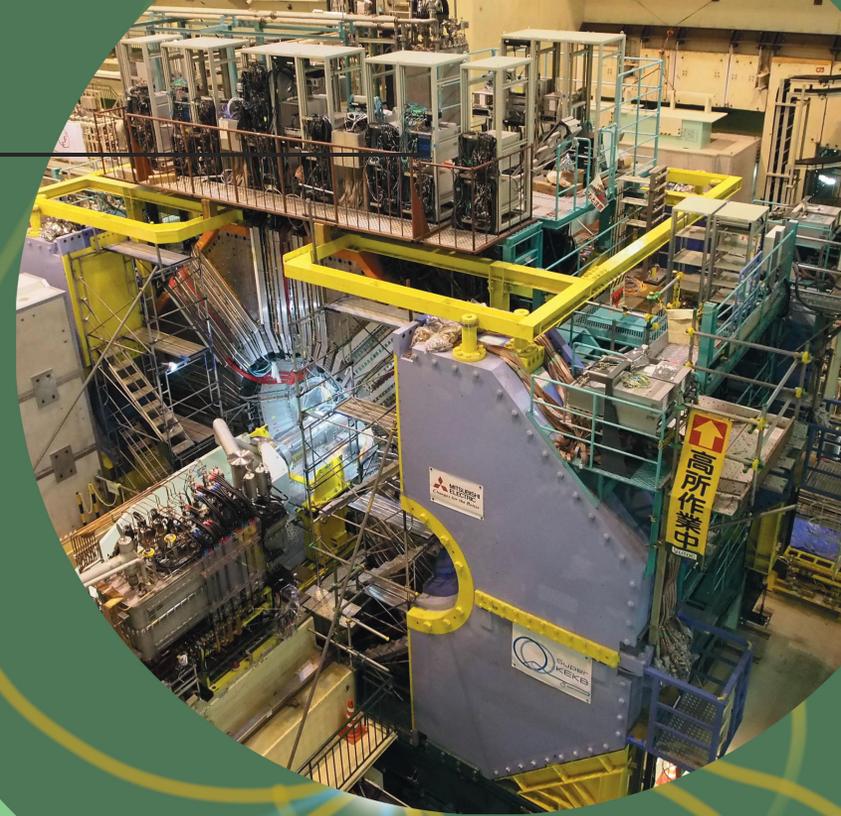


# Méthodes expérimentales à Belle 2

Belle II international masterclasses

Jeudi 21 mars 2023



INTERNATIONAL

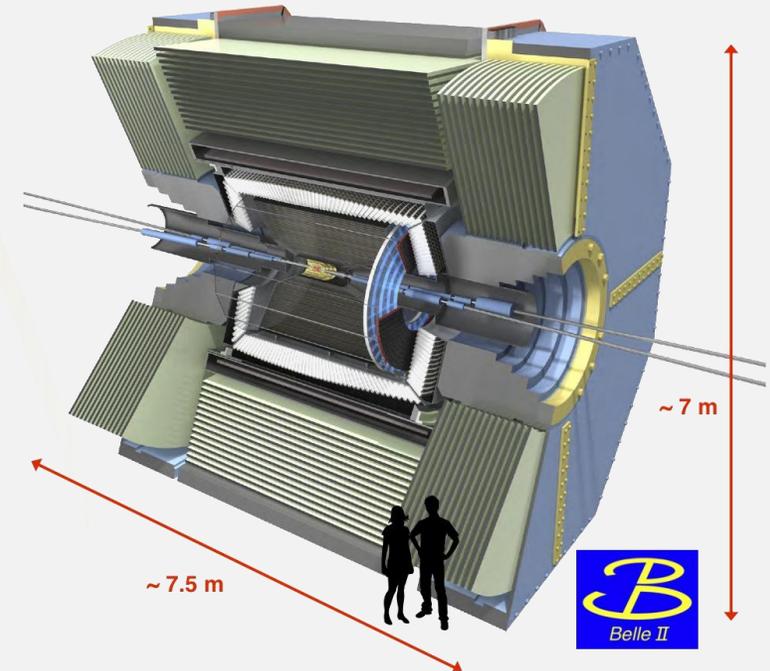
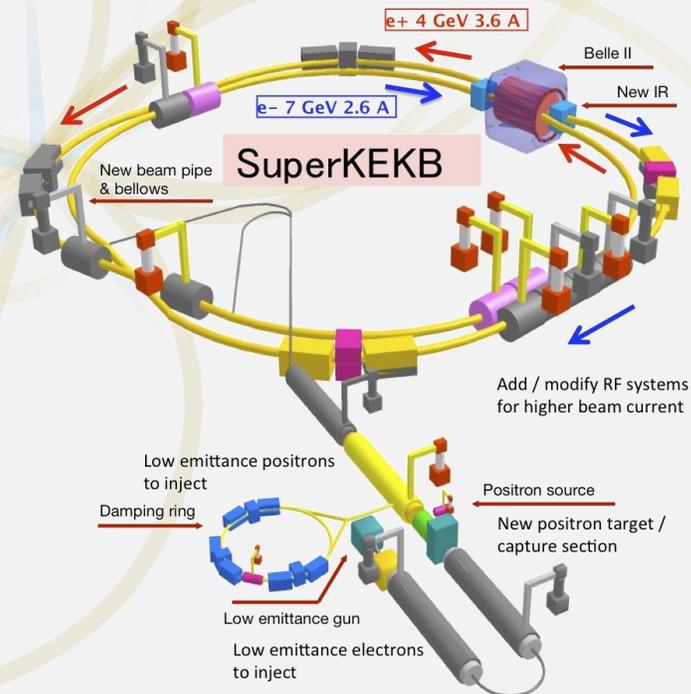


**MASTERCLASSES**

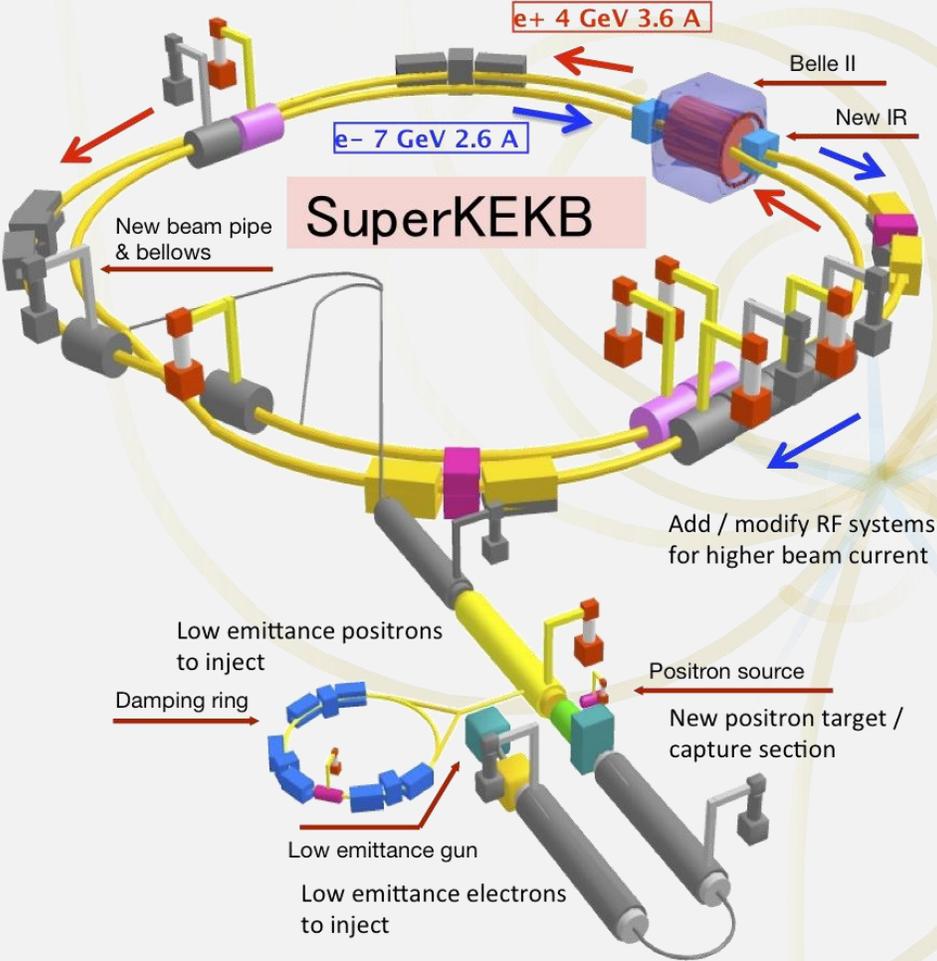
hands on particle physics

# Les grandes étapes

- **Accélérer** → donner de l'énergie aux particules
- **Collisionner** → transformer l'énergie d'une collision en matière
- **Détecter** → mesurer les propriétés des particules produites
- **Analyser** → reconstruire l'histoire des particules produites



# SuperKEKB - Un accélérateur de particule



# Comment accélérer un électron ?

---

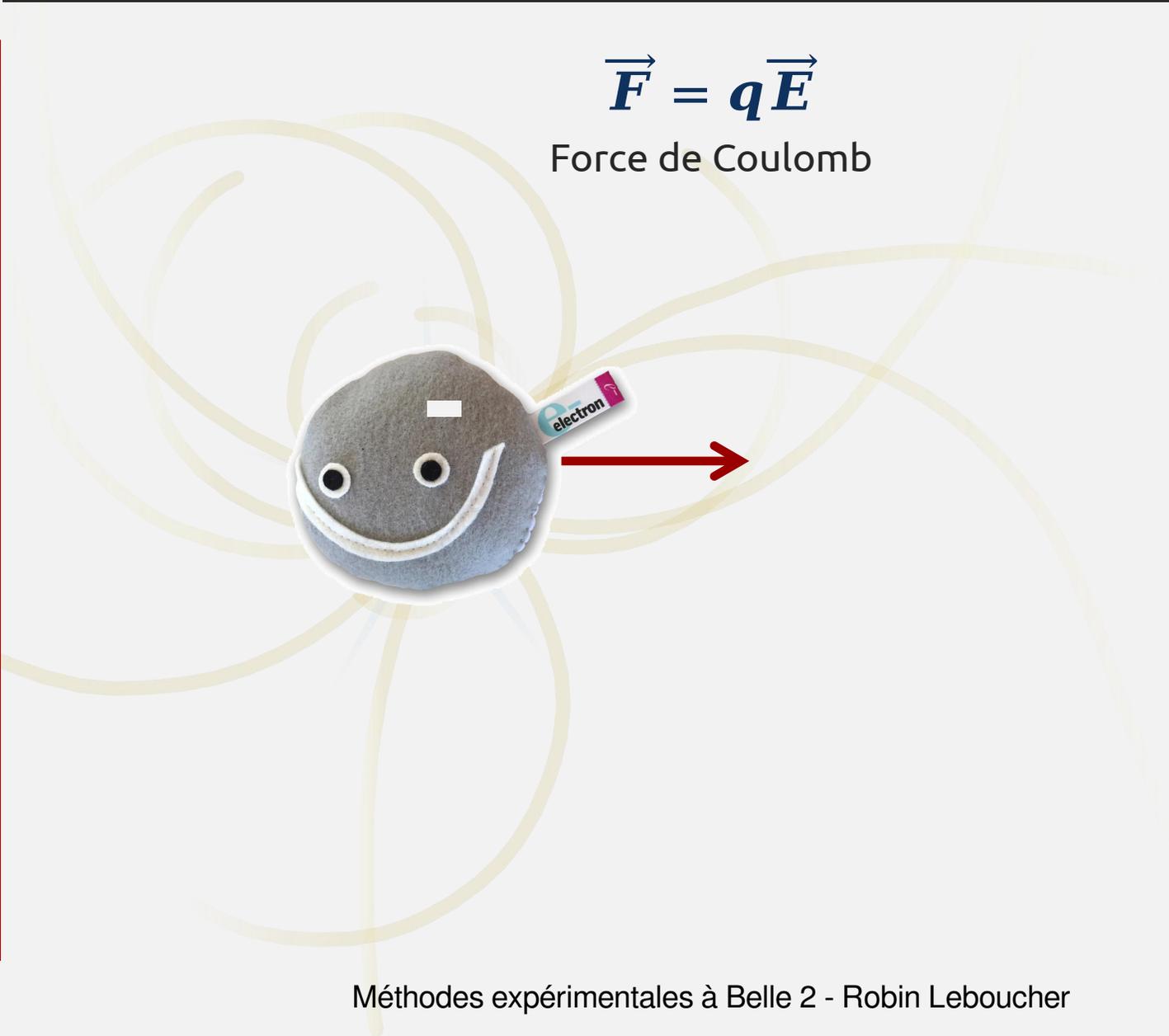


# Comment accélérer un électron ?



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

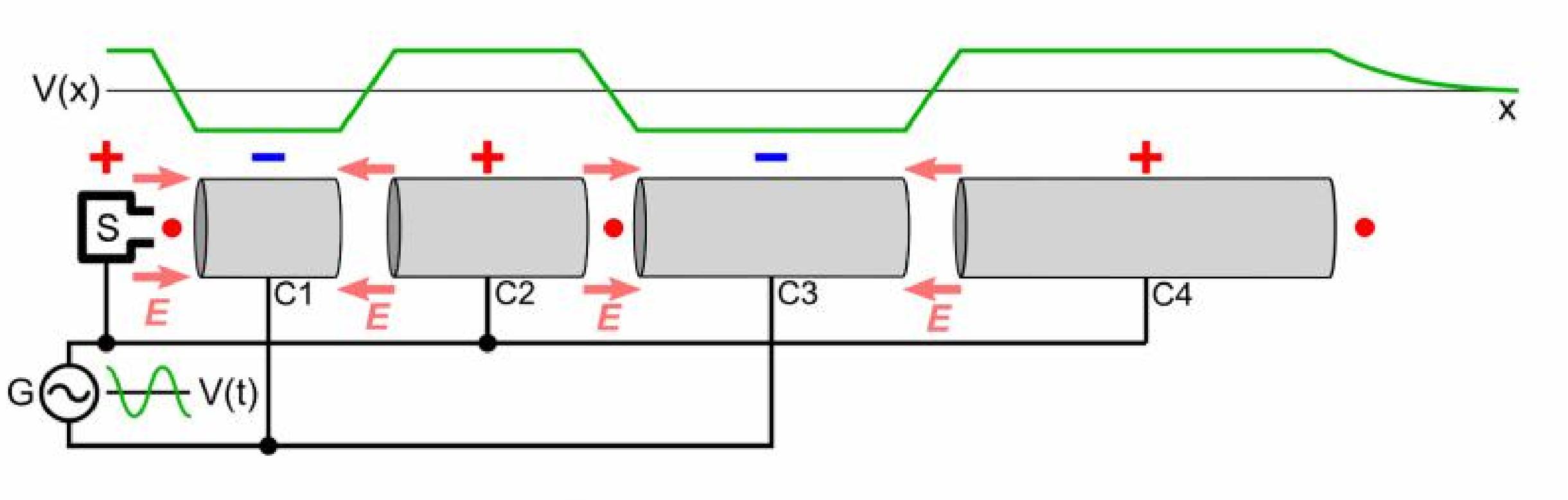
Force de Coulomb



# Comment accélérer un électron ?

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

Force de Coulomb



# Comment contrôler la trajectoire d'un électron ?

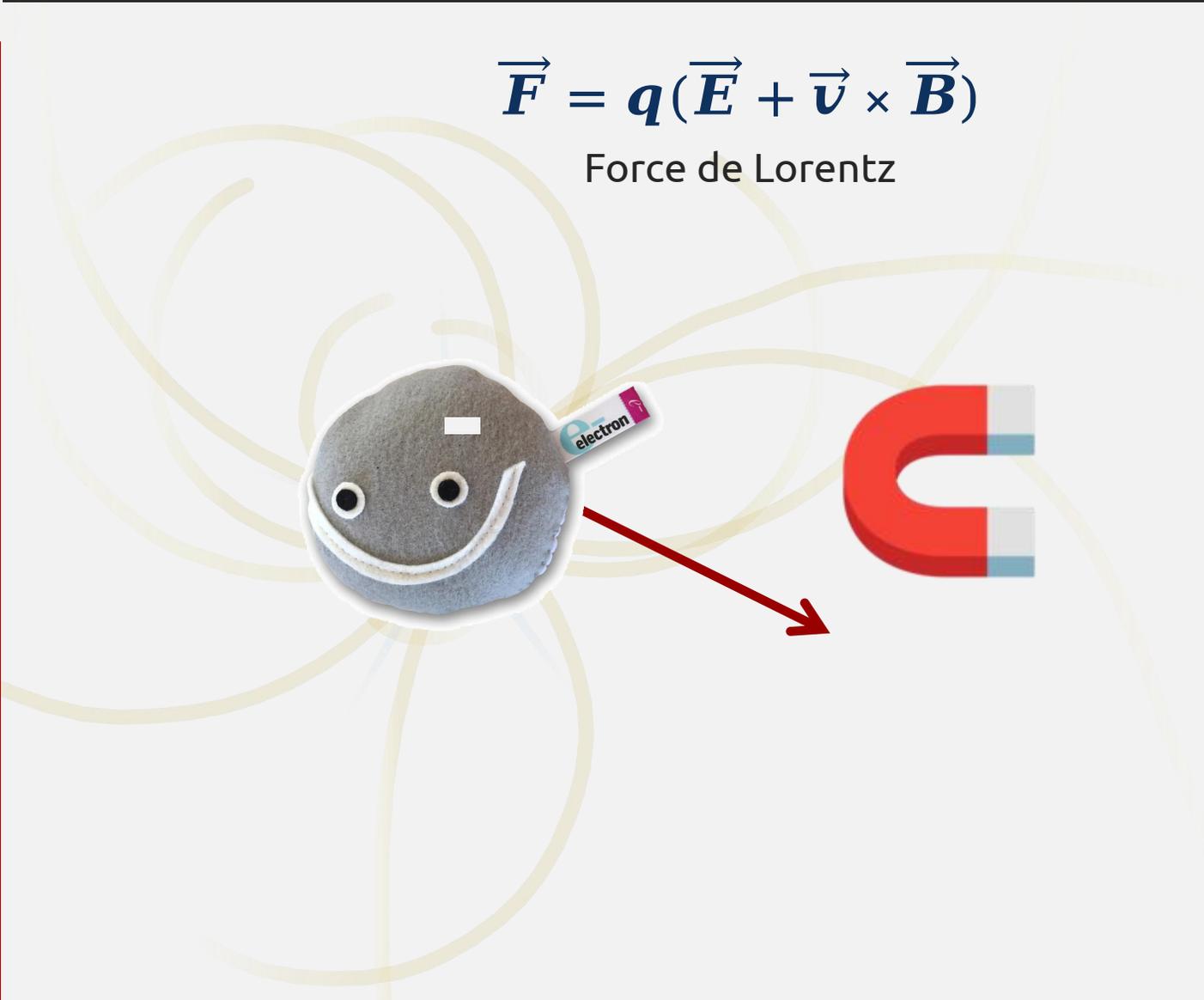
---



# Comment accélérer un électron ?

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

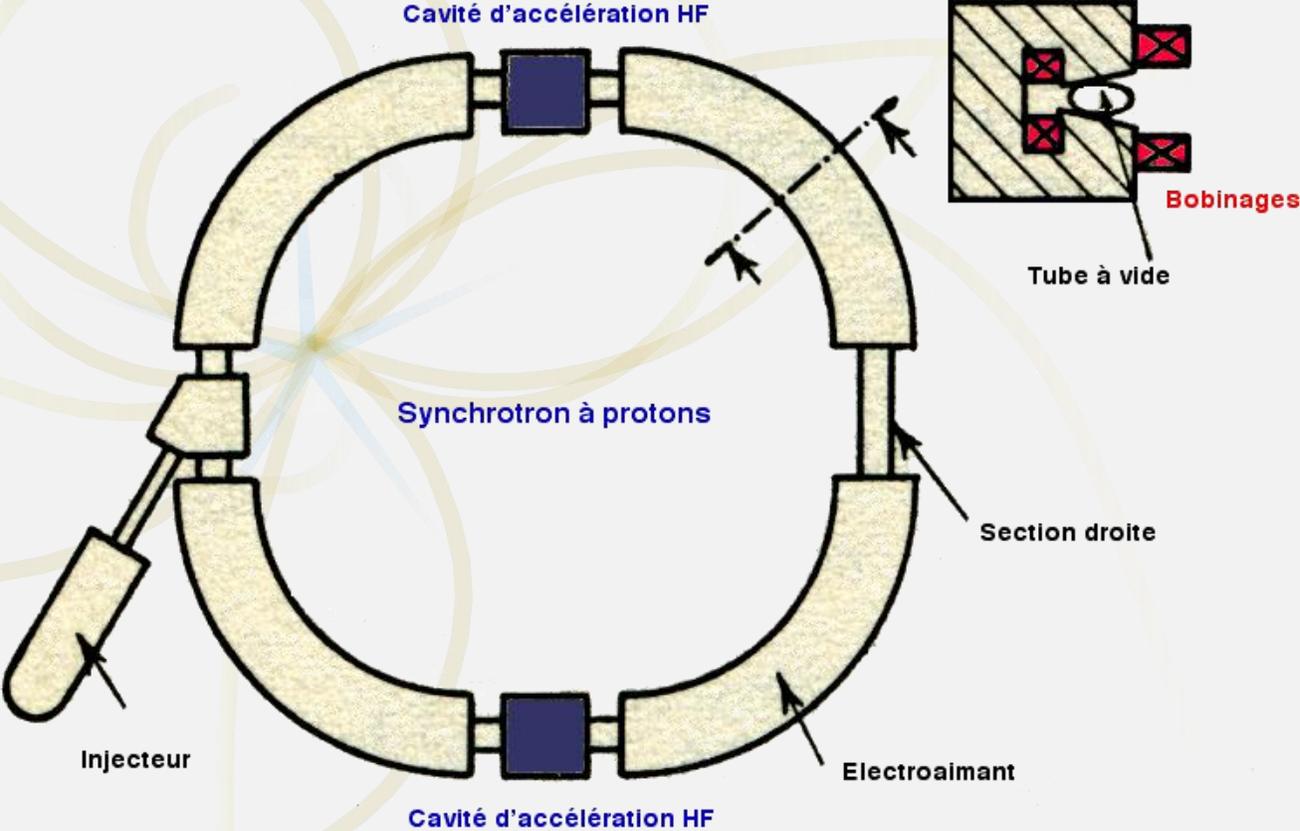
Force de Lorentz



# Comment accélérer un électron ?

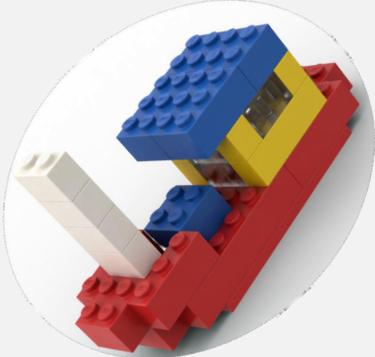
$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Force de Lorentz



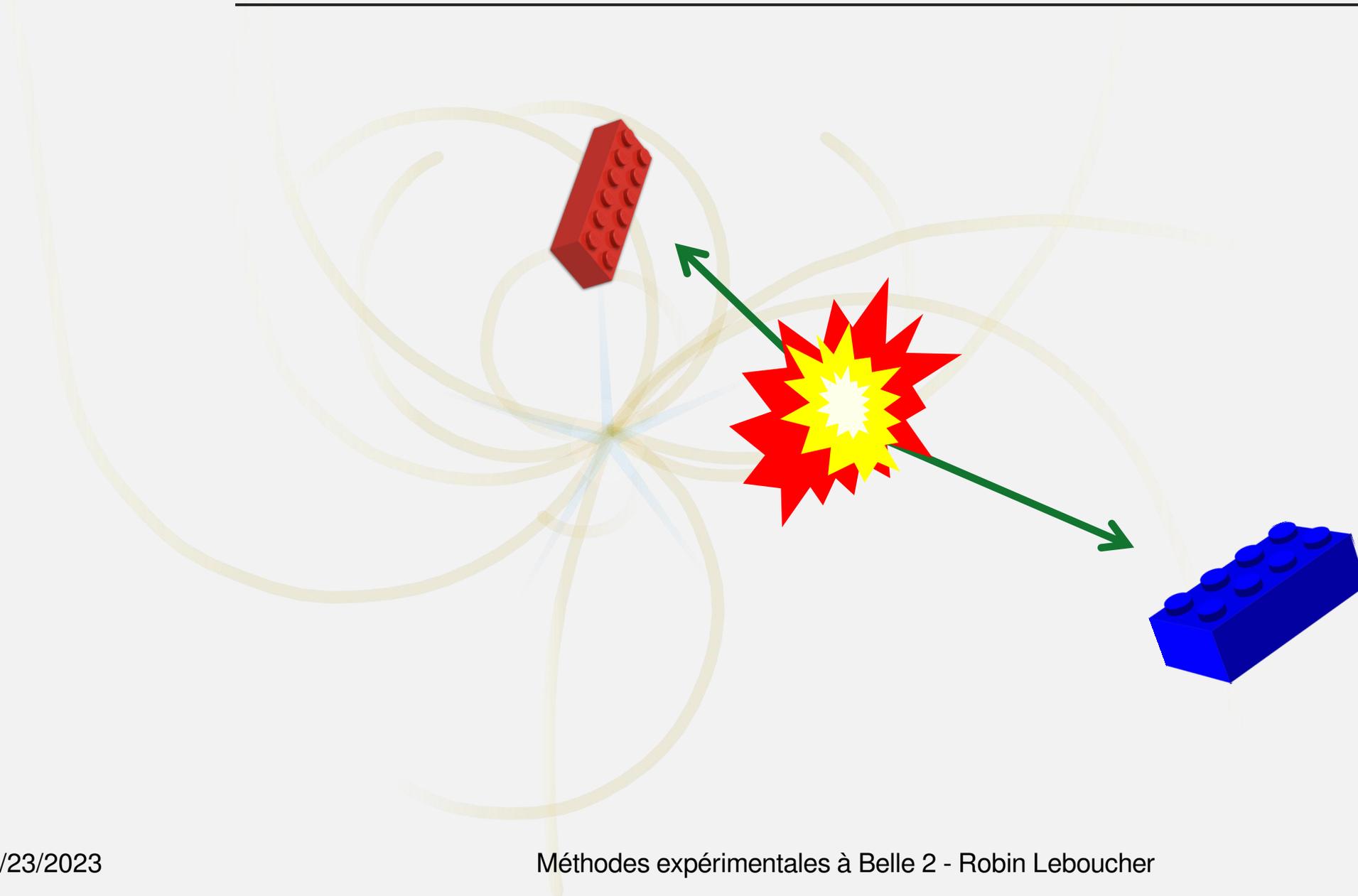
# Comment créer des particules ?

---



# Comment créer des particules ?

---



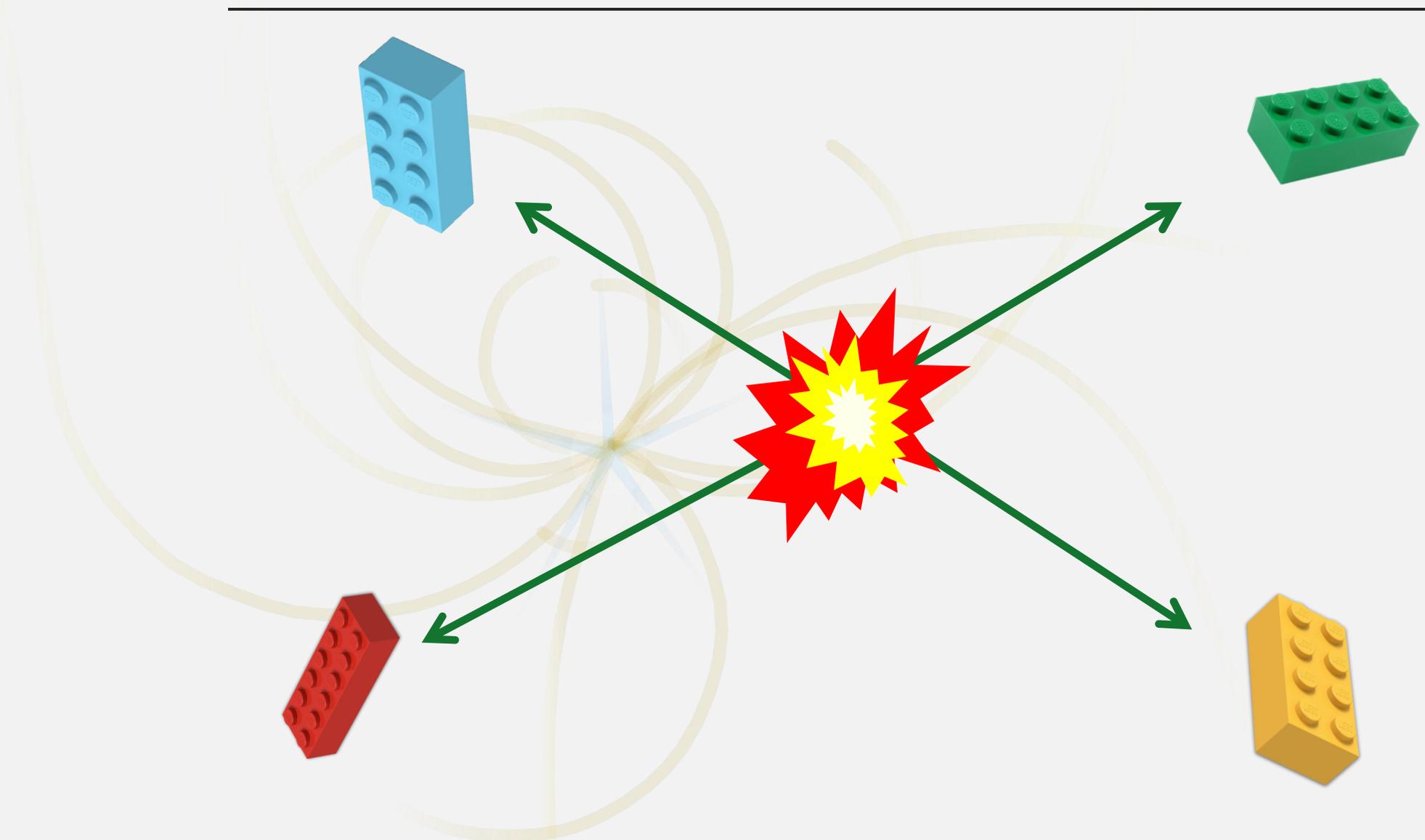
# Comment créer des particules ?

---



# Comment créer des particules ?

---



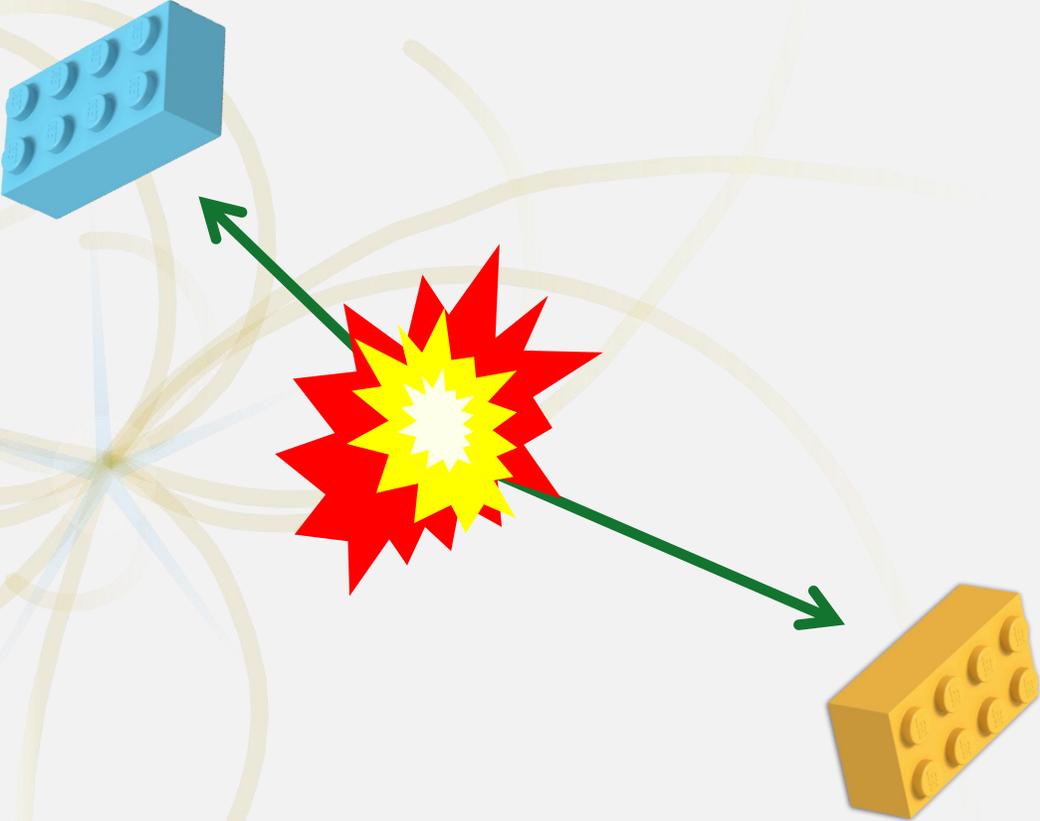
# Comment créer des particules ?

---

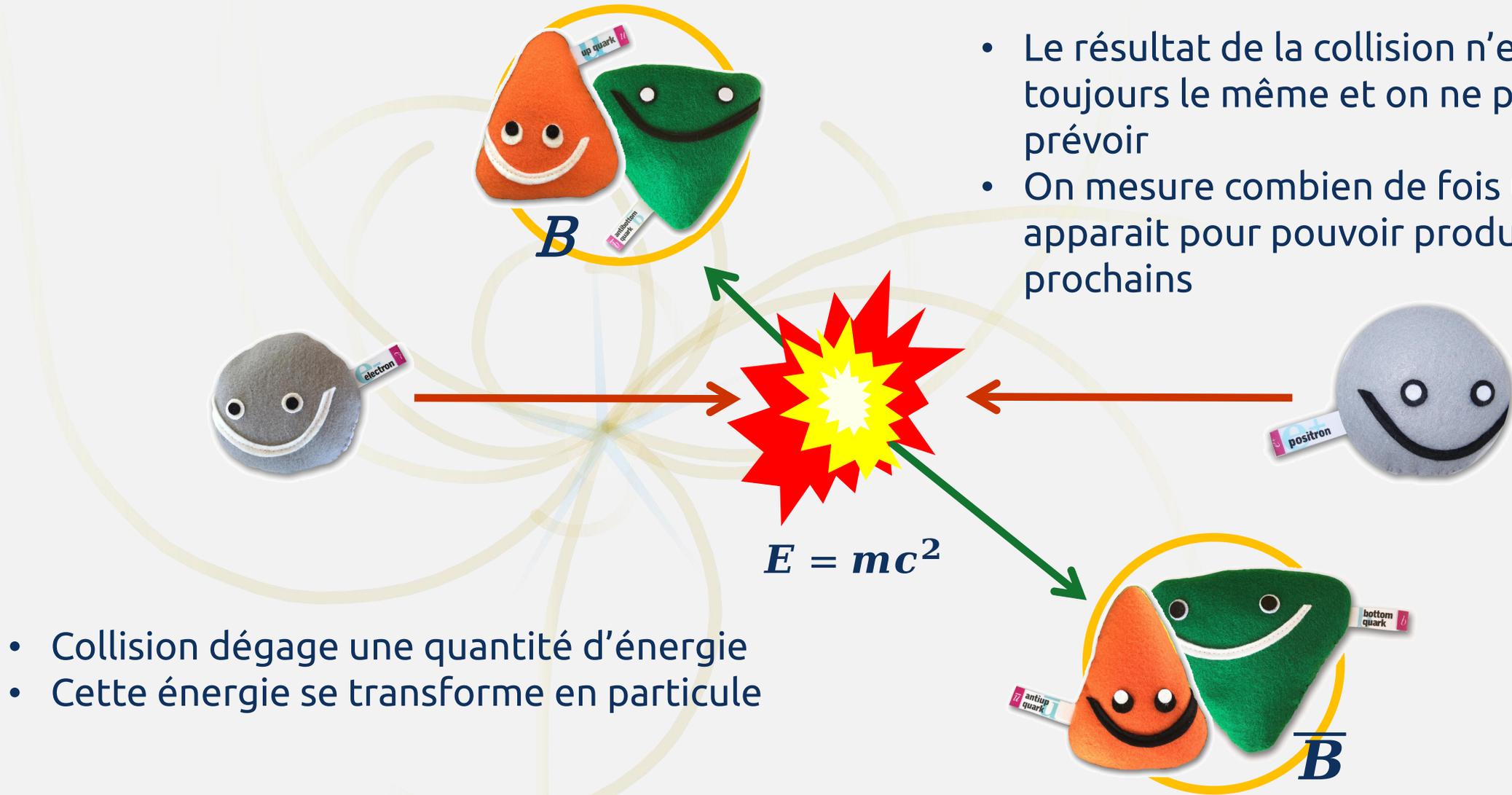


# Comment créer des particules ?

---



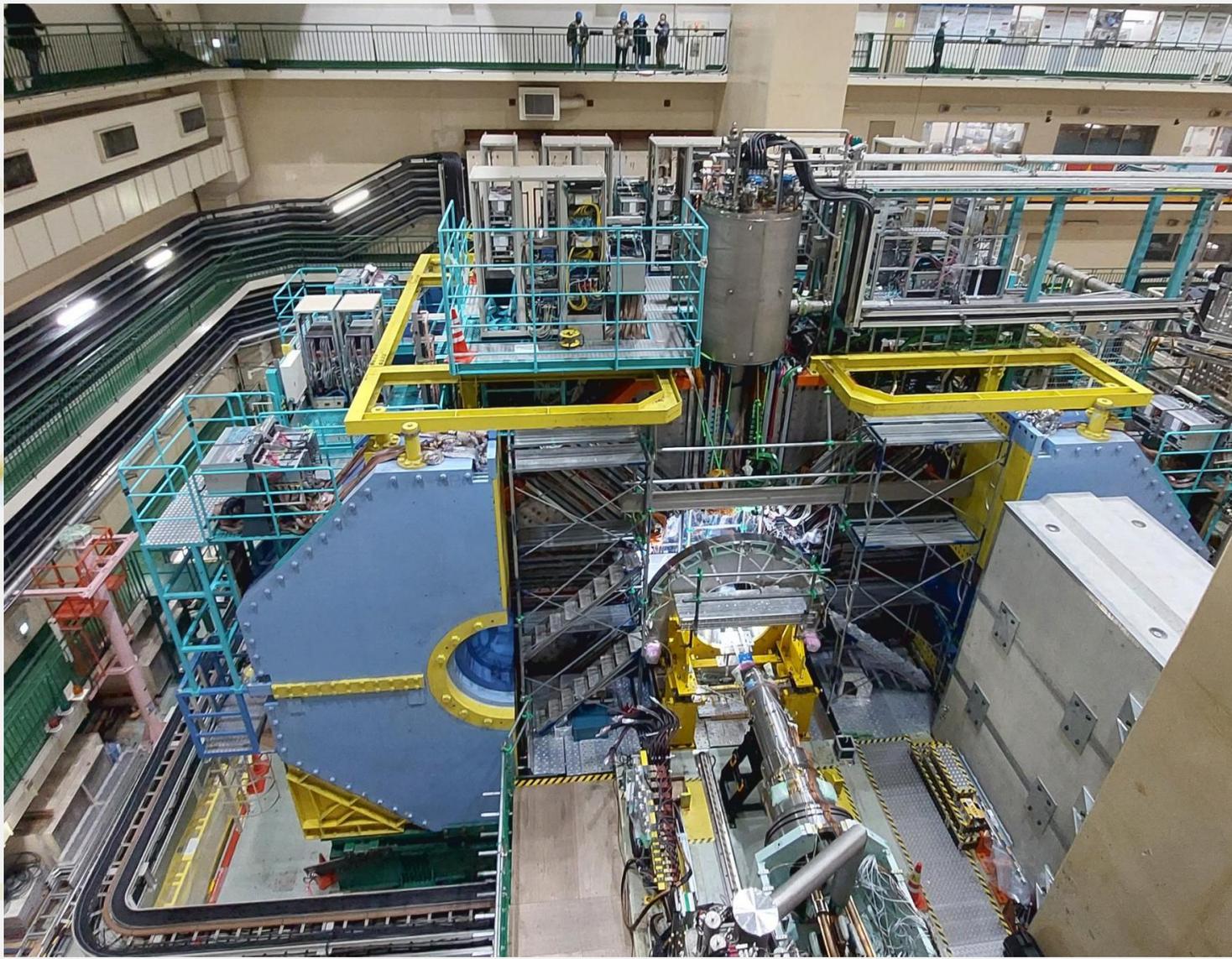
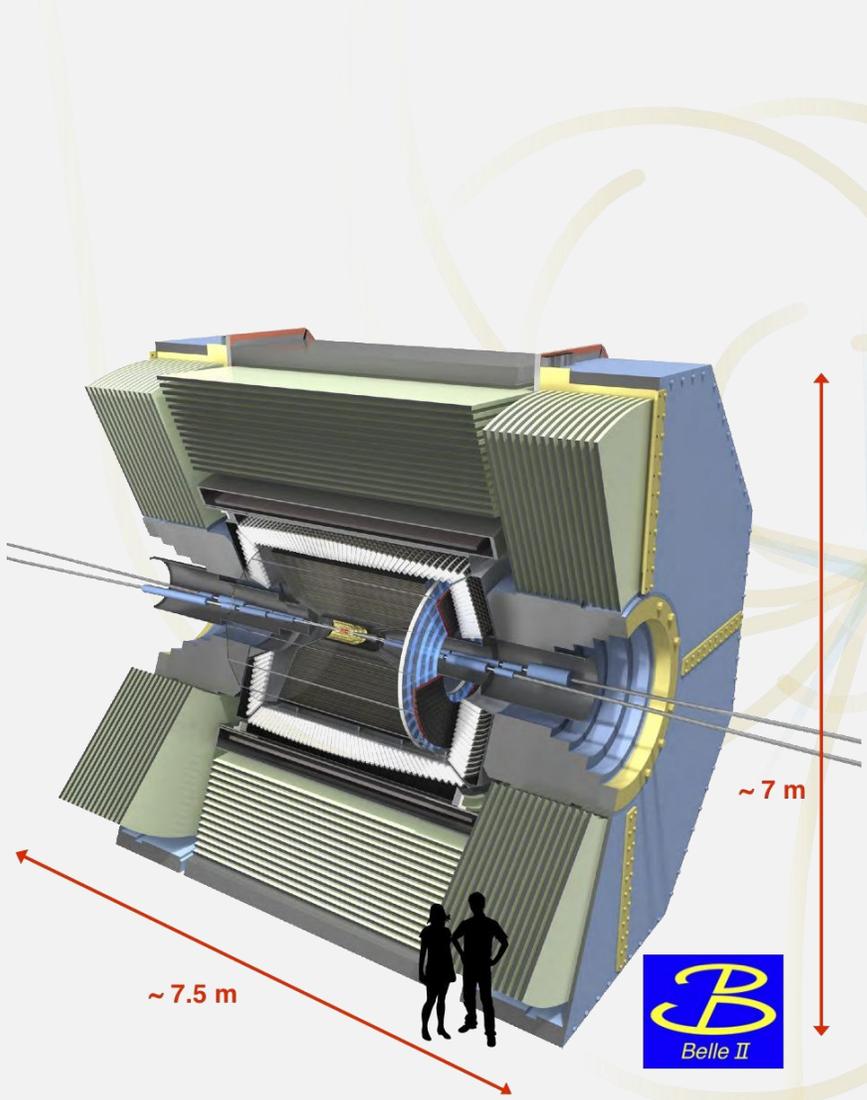
# Comment créer des particules ?



- Le résultat de la collision n'est pas toujours le même et on ne peut pas le prévoir
- On mesure combien de fois un résultat apparait pour pouvoir produire les prochains

- Collision dégage une quantité d'énergie
- Cette énergie se transforme en particule

# Belle 2 - Le détecteur



# Mesurer la quantité de mouvement

---

La quantité de mouvement :

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

Avec la même force on peut faire aller vite un objet léger ou lentement on objet lourd

Correction relativiste :

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

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Petite correction dans la vie de tous les jours, par exemple pour une vitesse de 100 km/h,  $\gamma = 1.00000000000000044$

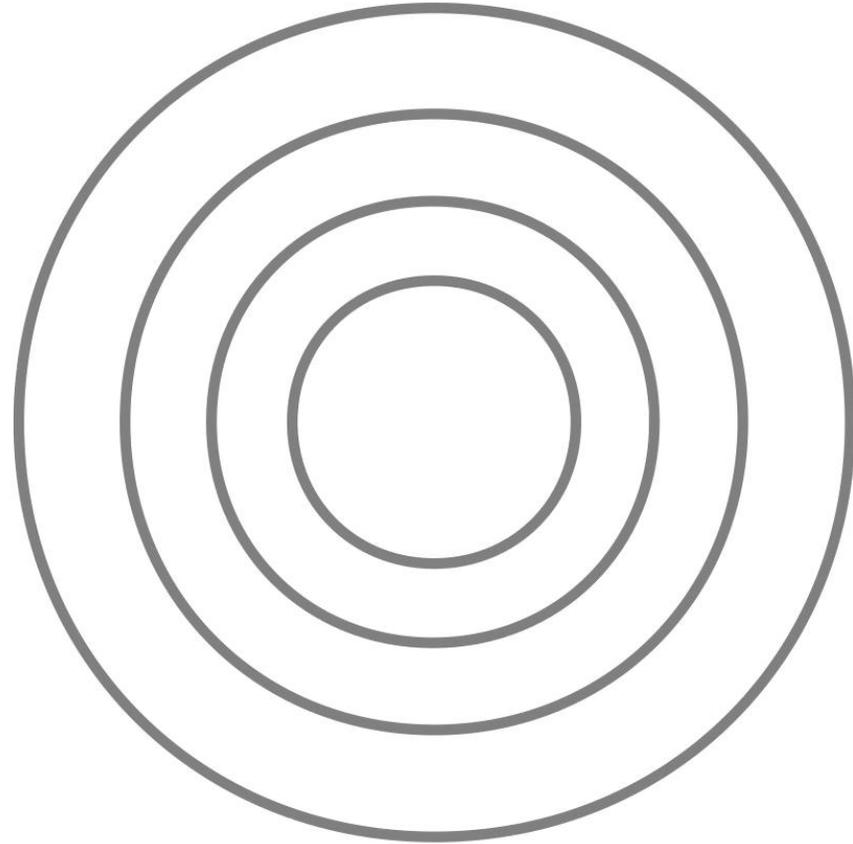
Dans notre cas, les électrons vont à 99.9999997% $c$  soit  $\gamma \ll 10000$

# Mesurer la quantité de mouvement

---

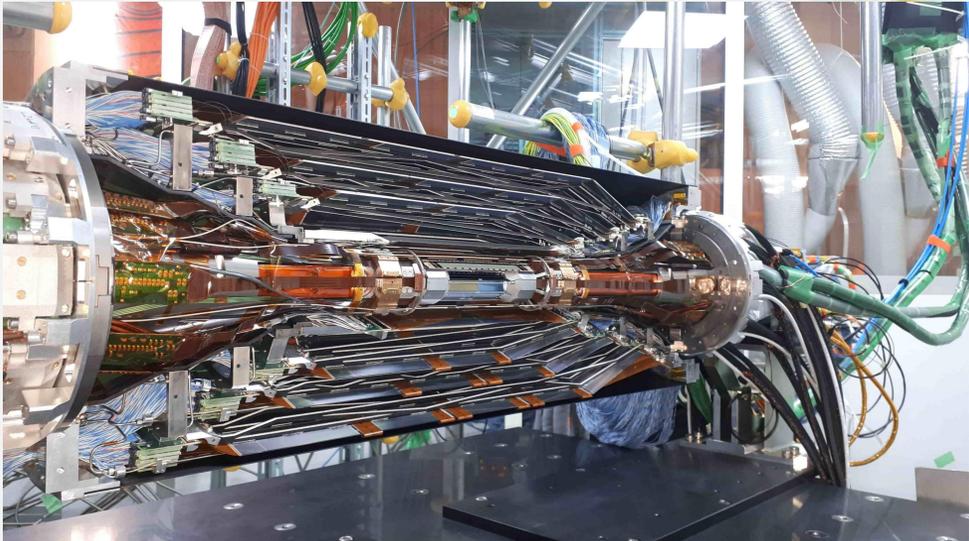
- La particule active des capteurs (comme ceux des appareils photos)
- En combinant les pixels activés on retrace sa trajectoire

Cas d'un e-

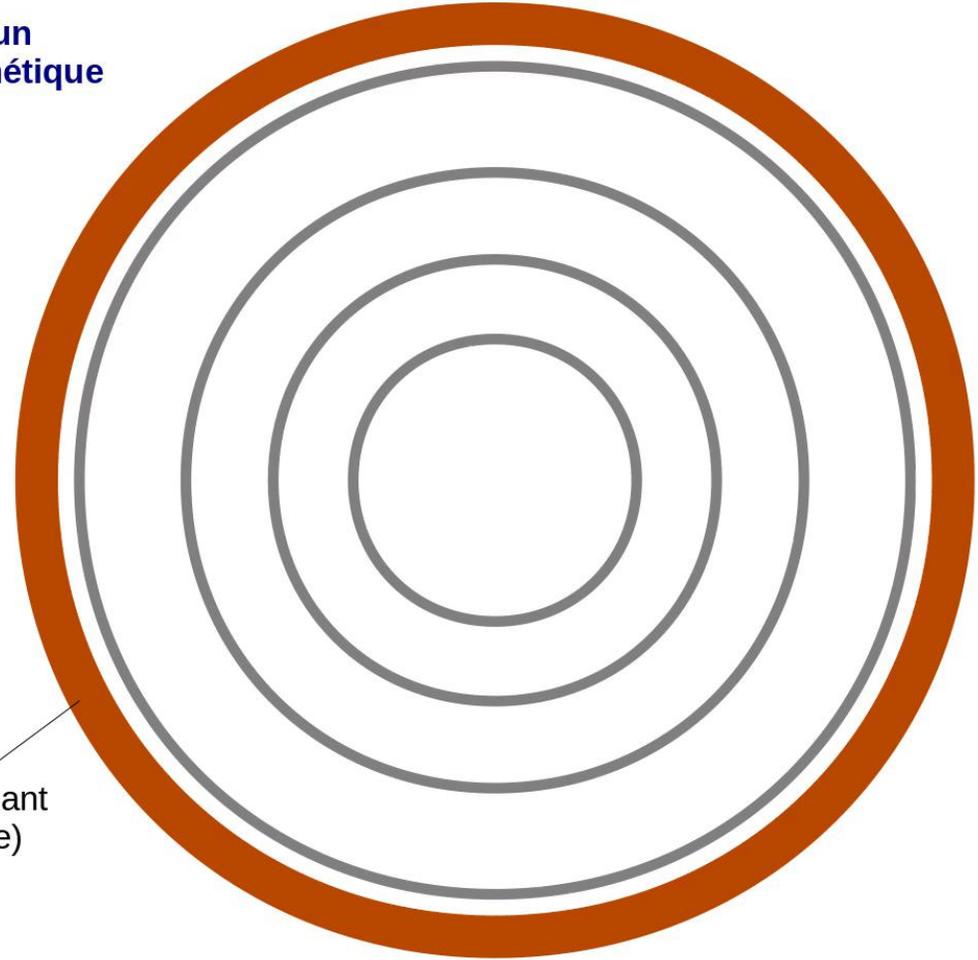


# Mesurer la quantité de mouvement

- L'aimant va tordre les trajectoires
- La courbure dépend de la quantité de mouvement



Appliquons un  
champ magnétique



Electro-aimant  
(solénoïde)

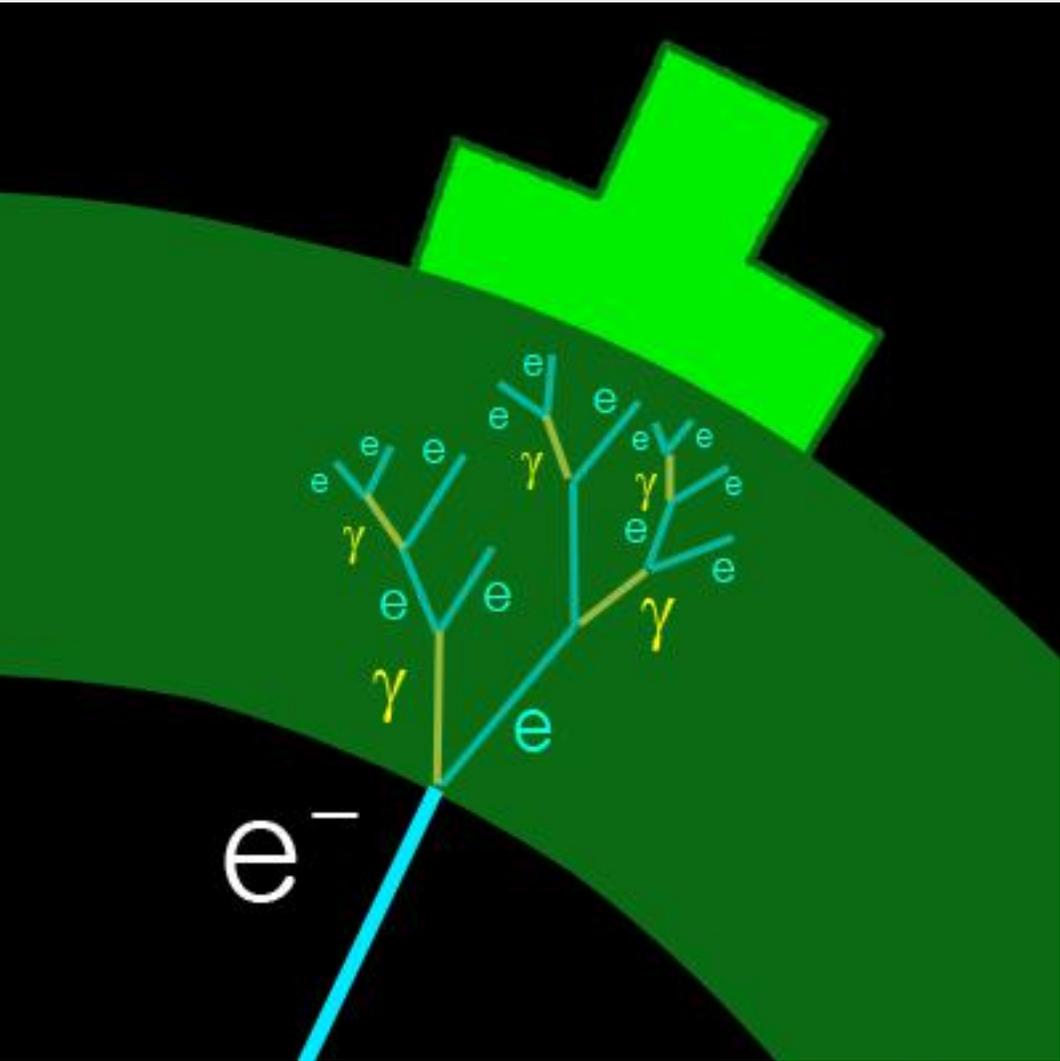
# Mesurer l'énergie

---

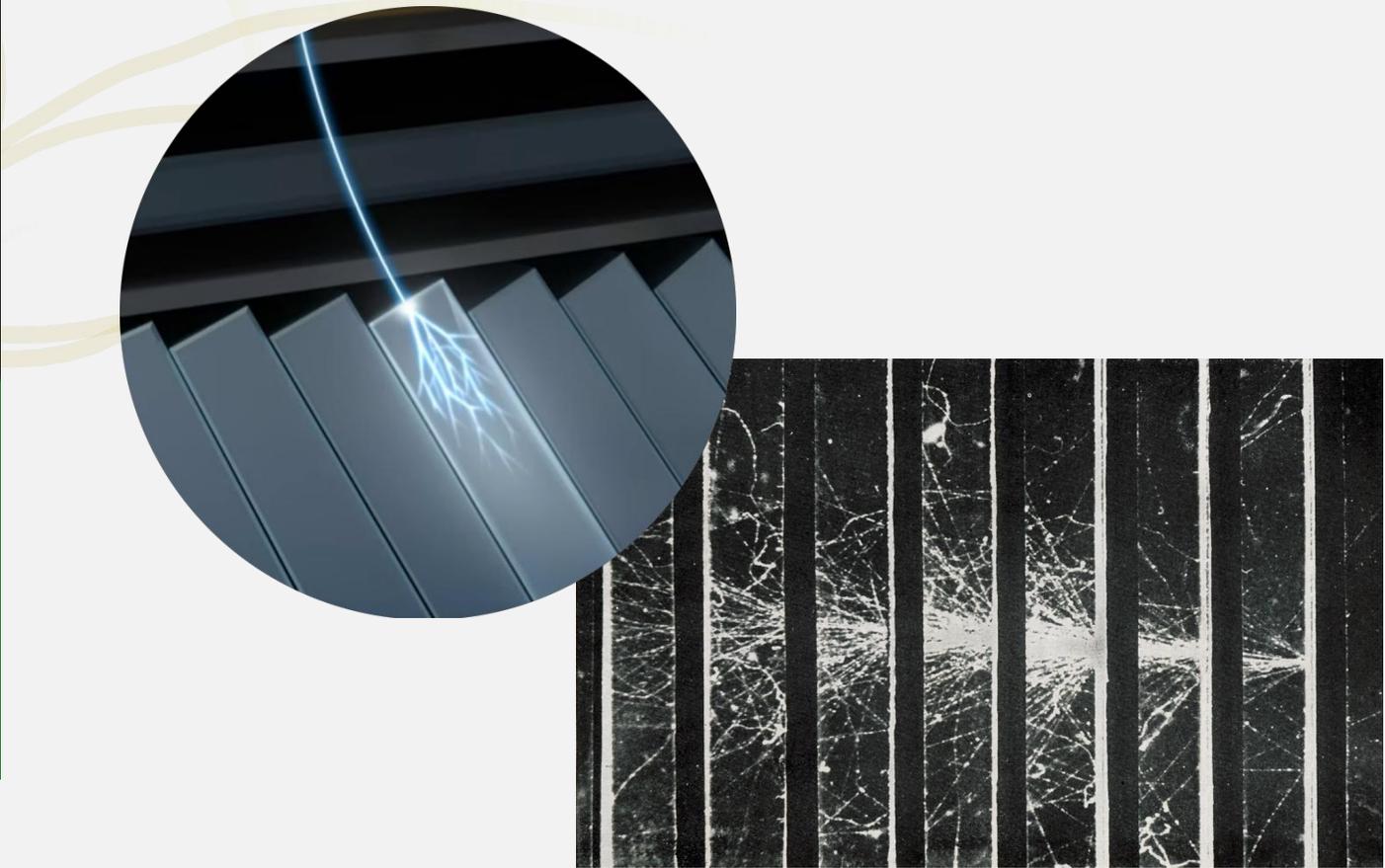


On mesure l'énergie en stoppant la particule

# Mesurer l'énergie

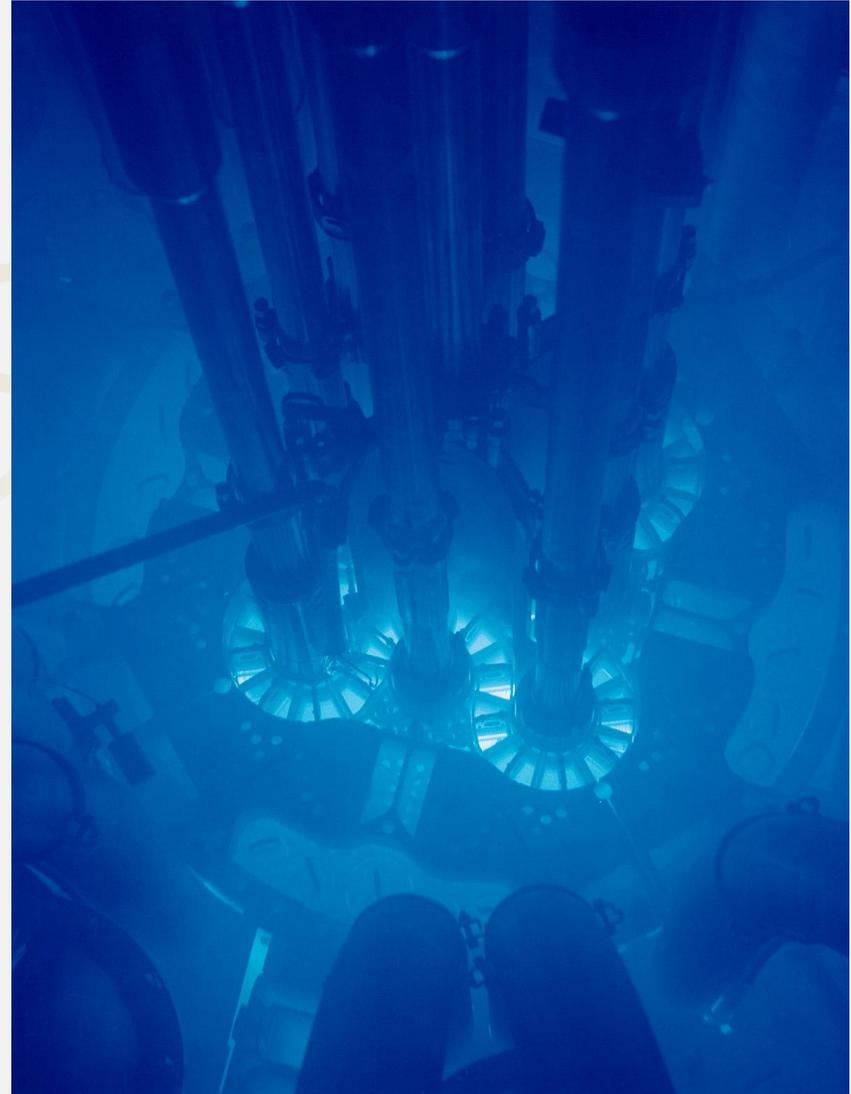


La particule émet en cascade des électrons et photons  
Ils sont captés et additionner pour connaître l'énergie initiale

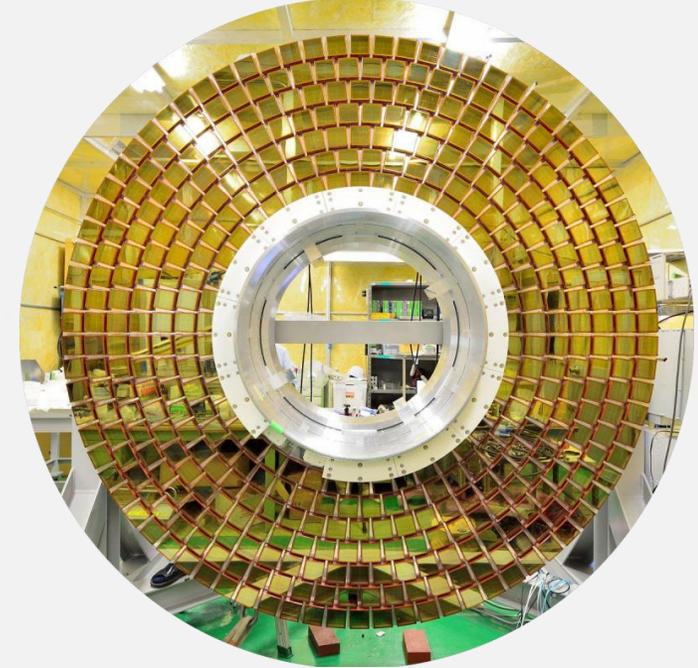
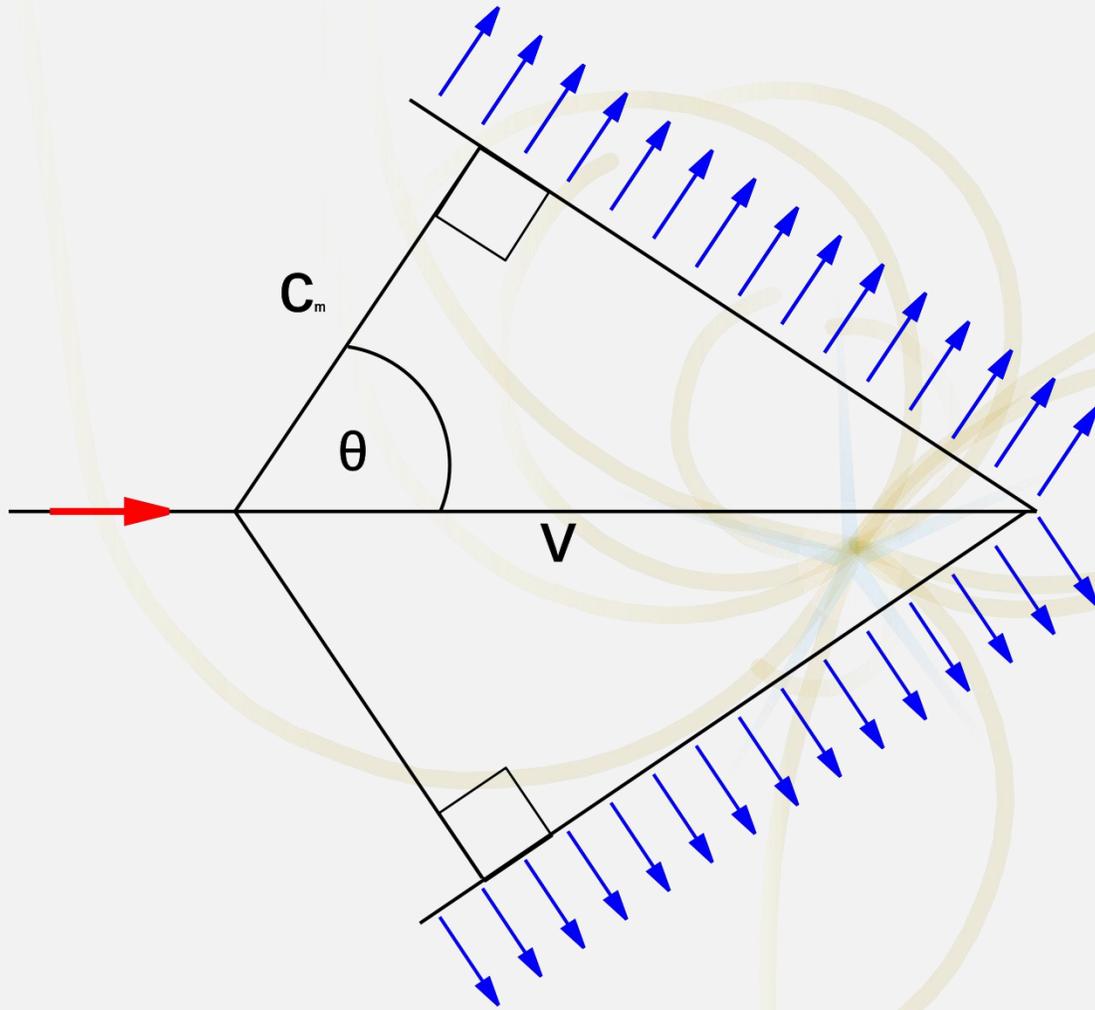


# Mesurer la masse

---



# Mesurer la masse



$$\cos \theta = \frac{C_m}{v}$$

En combinant avec la mesure de la quantité de mouvement on obtient la masse

Chaque particule peut être identifié avec sa masse

# Que deviennent les particules produites ?

Particules produites lors de la collision sont instables

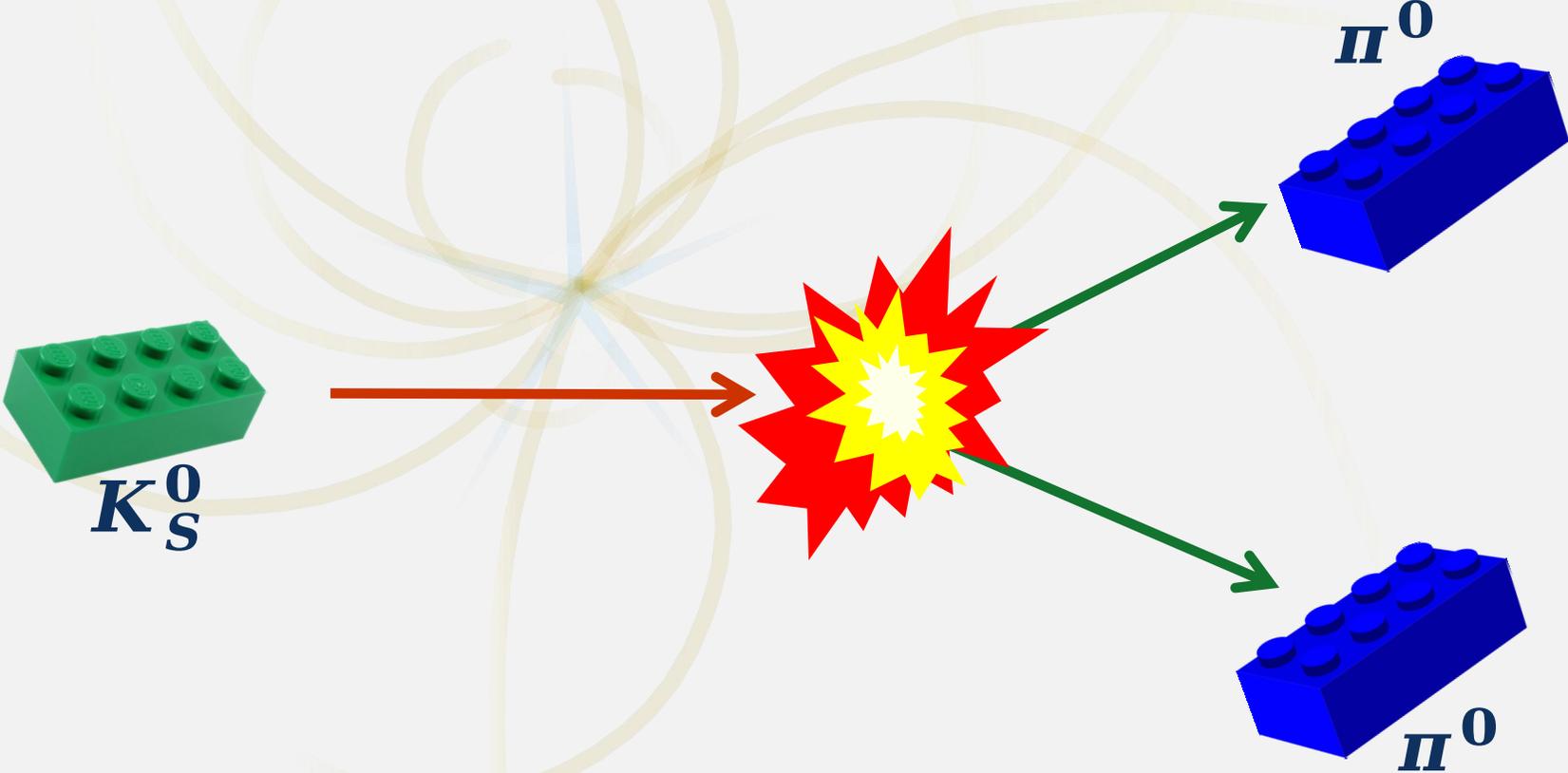
Désintégration spontanée en particules plus stables en...



# Que deviennent les particules produites ?

Particules produites lors de la collision sont instables

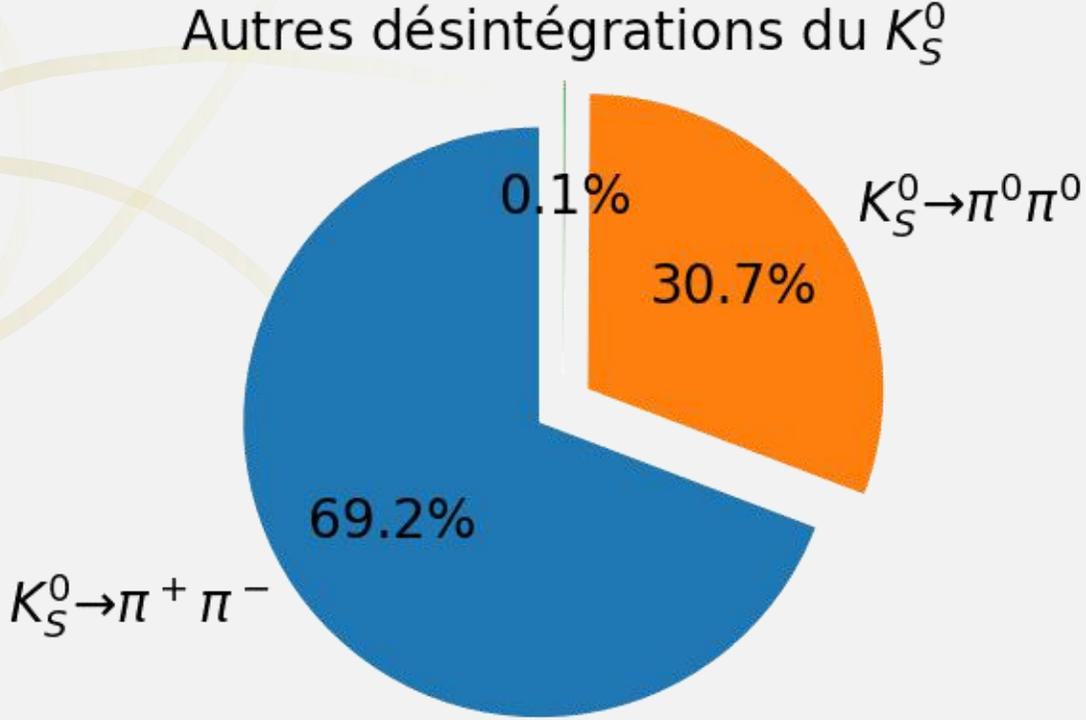
ou en...



# Que deviennent les particules produites ?

Particules produites lors de la collision sont instables

Désintégration dans un état à une certaine chance d'arrivé



# Que deviennent les particules produites ?

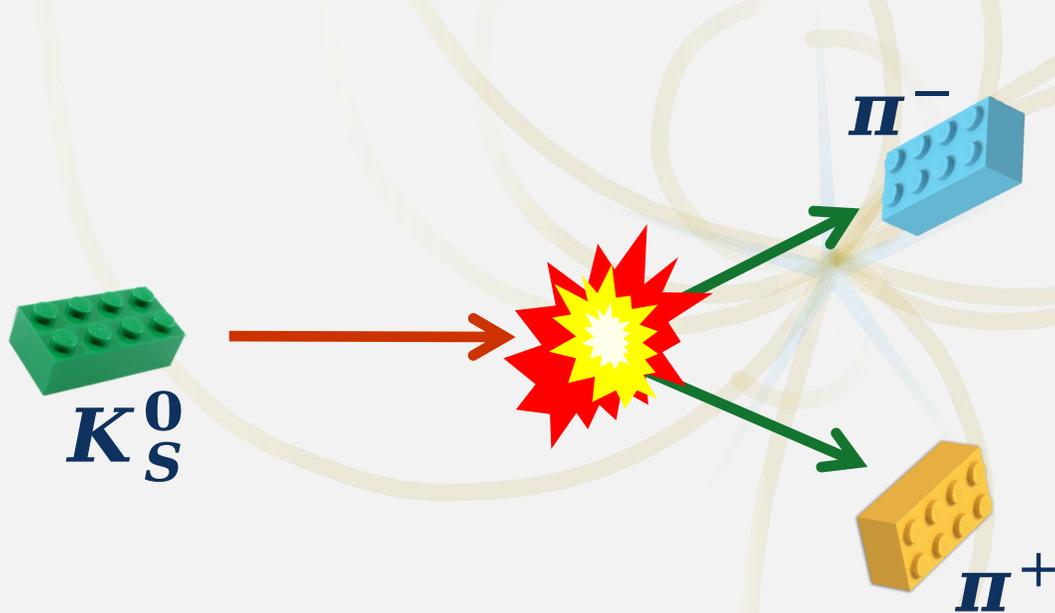
Comment déterminer les propriétés d'une particule qui n'a pas eu le temps de traverser le détecteur ?



# Que deviennent les particules produites ?

Comment déterminer les propriétés d'une particule qui n'a pas eu le temps de traverser le détecteur ?

En combinant les particules produites lors de sa désintégration



$$E_0^2 = m_0^2 c^4 + \vec{p}^2 c^2$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{E_0^2}{c^4} - \frac{\vec{p}_0^2}{c^2}}$$

$$m_0 = \sqrt{\frac{(E_1 + E_2)^2}{c^4} - \frac{(\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2}{c^2}}$$

# Faire une découverte

---



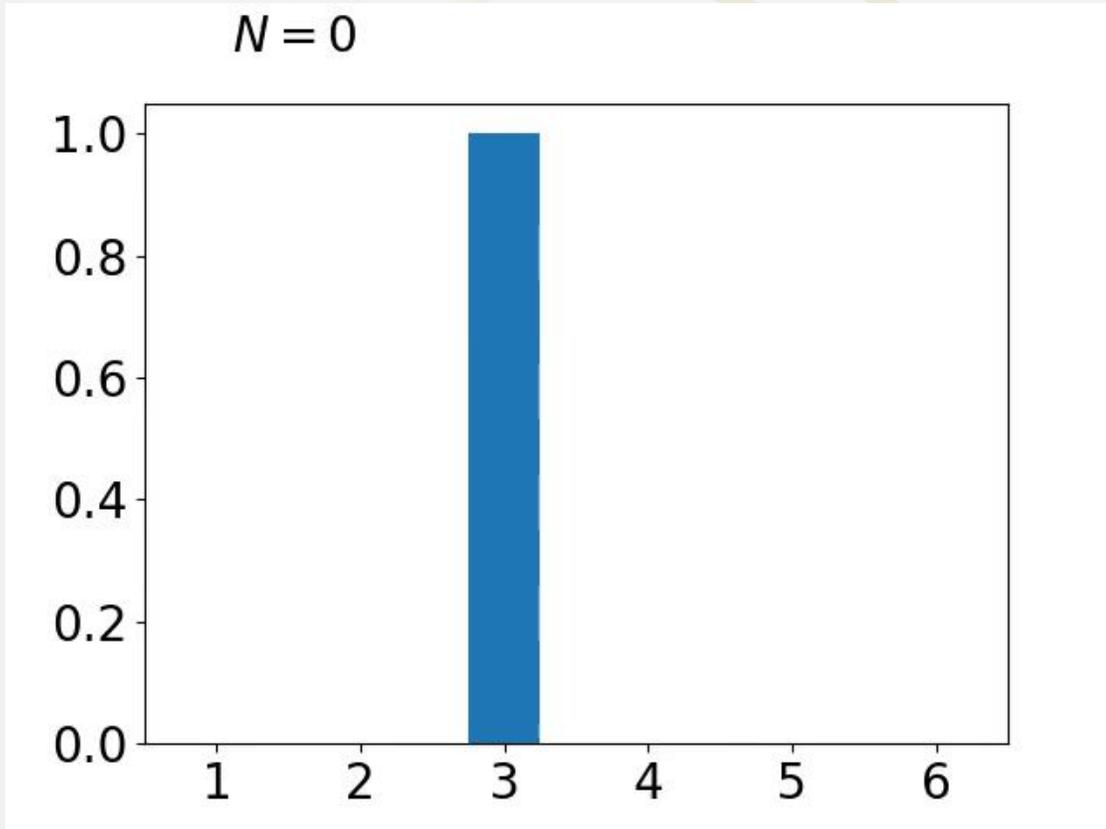
Hypothèse : le dé a la même chance de tomber sur chacune des faces

Expérience : lancer les dés

Test : répéter 10000 fois l'expérience et compter combien de fois sont apparues chaque face

# Faire une découverte

---

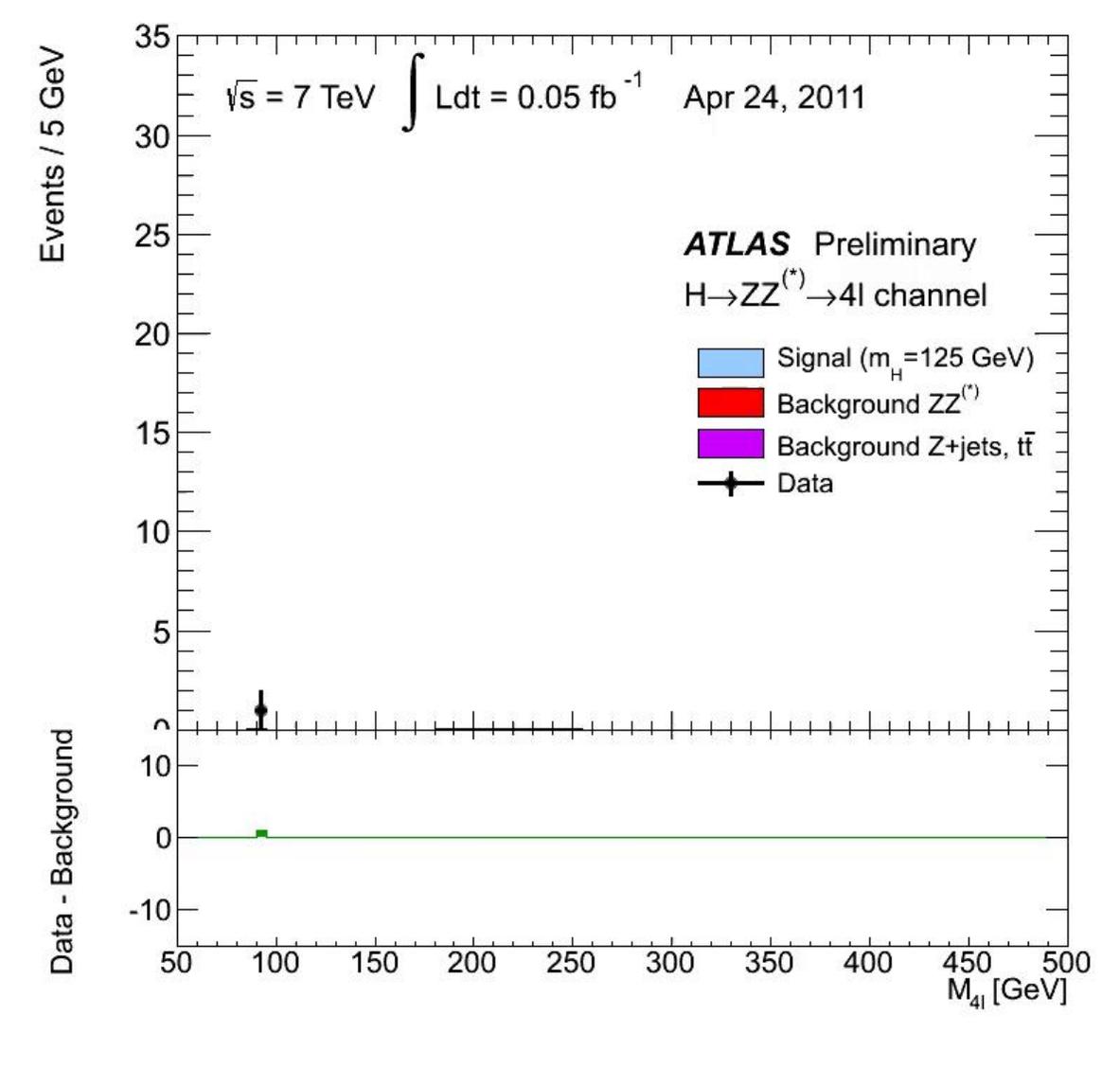


Hypothèse : le dé a la même chance de tomber sur chacune des faces

Expérience : lancer les dés

Test : répéter 10000 fois l'expérience et compter combien de fois sont apparues chaque face

# Faire une découverte



# Suppléments

---

