

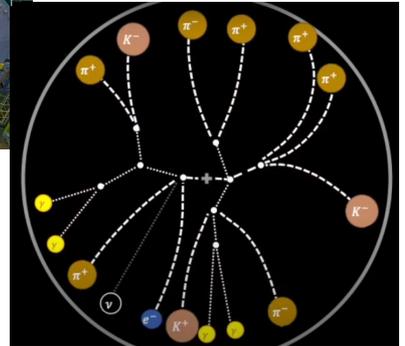
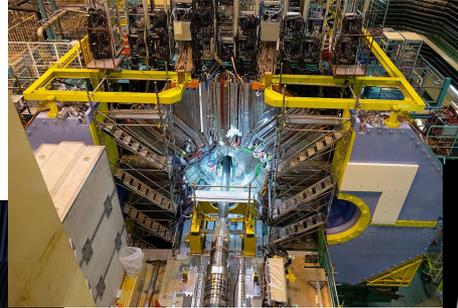
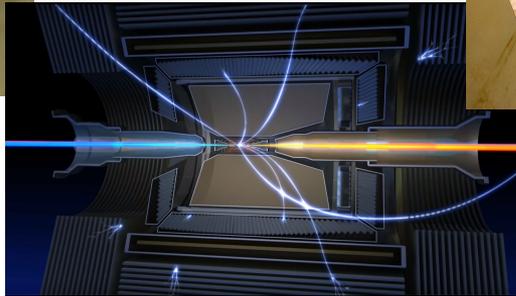


*Belle II Masterclass*  
L'expérience Belle II

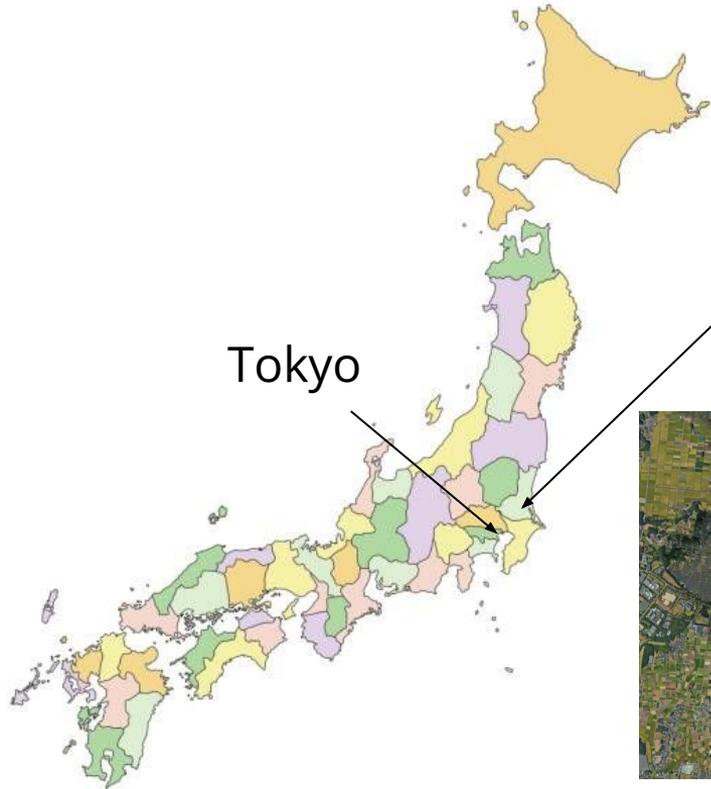
26 mars 2024

# Belle II : une usine à particules

- Étape 1 : accumuler de l'énergie → **Accélération**
- Étape 2 : convertir l'énergie en matière → **Collision**
- Étape 3 : identifier et mesurer les propriétés des particules → **Détection**
- Étape 4 : retracer l'histoire des particules → **Analyse**



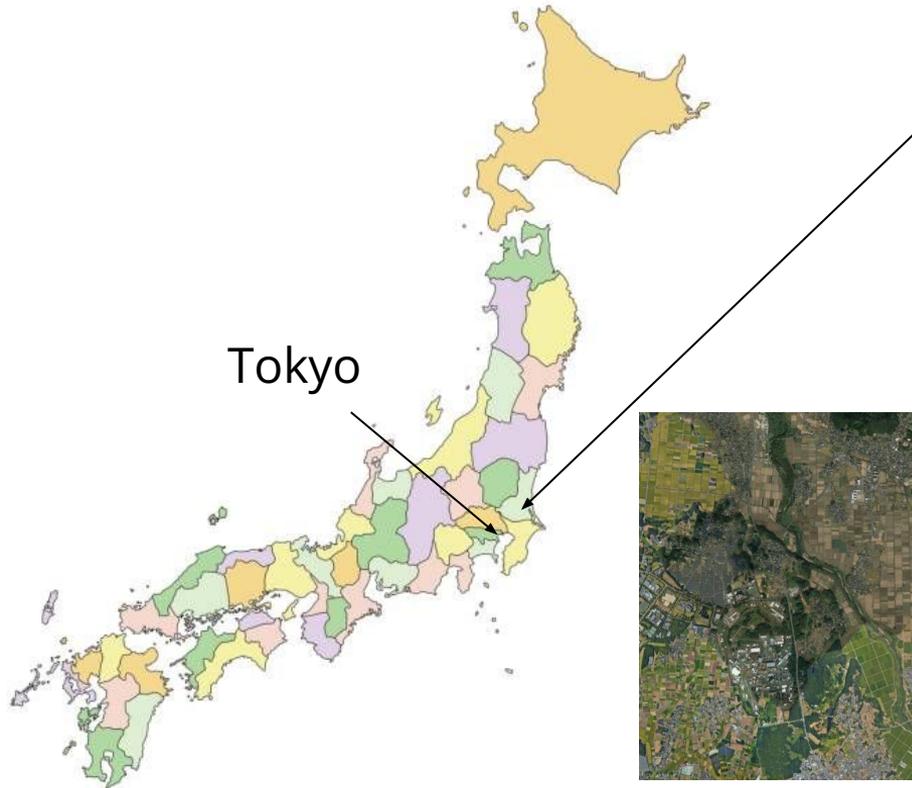
# Tsukuba : the place to be



Tsukuba



# Tsukuba : the place to be

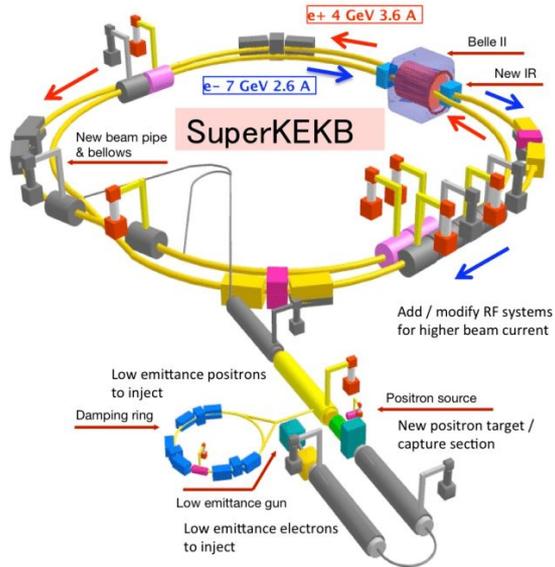


Tsukuba



# KEK : Le centre de recherche

## Accélérateur SuperKEKB



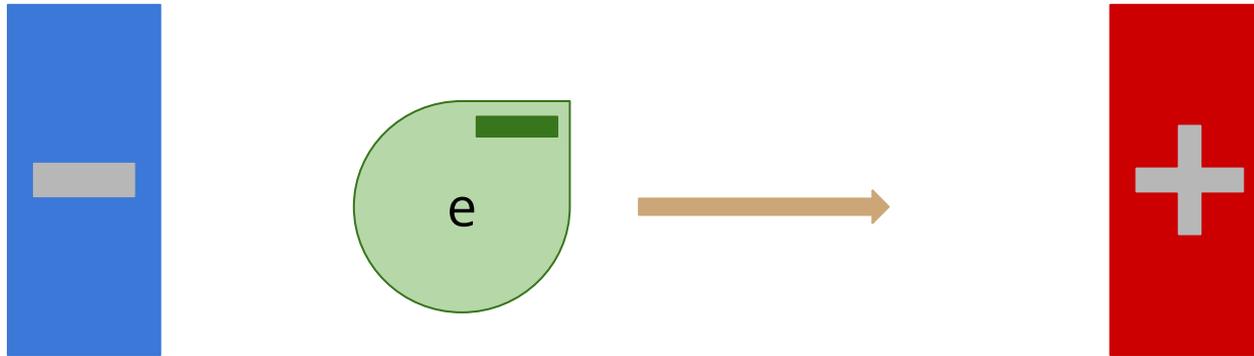
## Détecteur Belle II



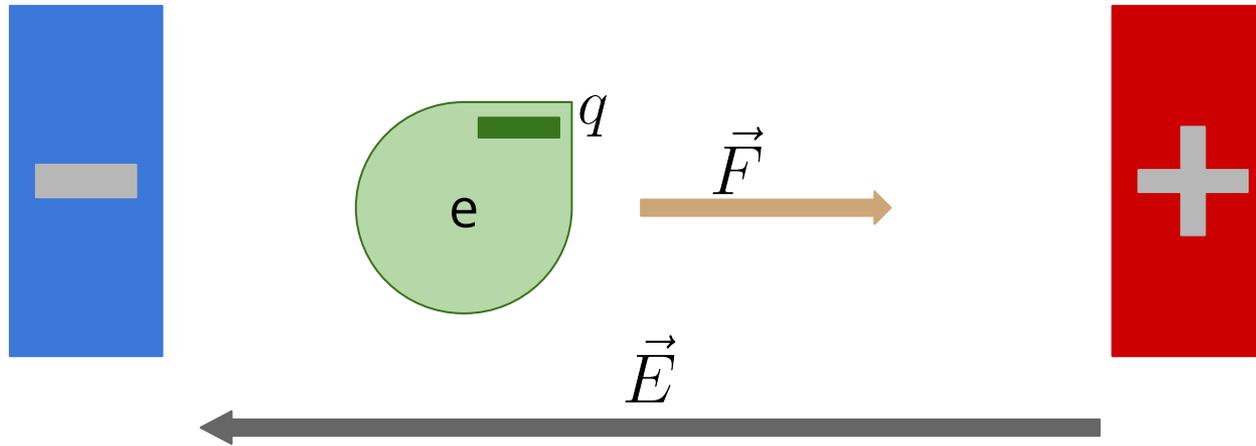
# SuperKEKB : L'accélérateur



# Accélérer un électron



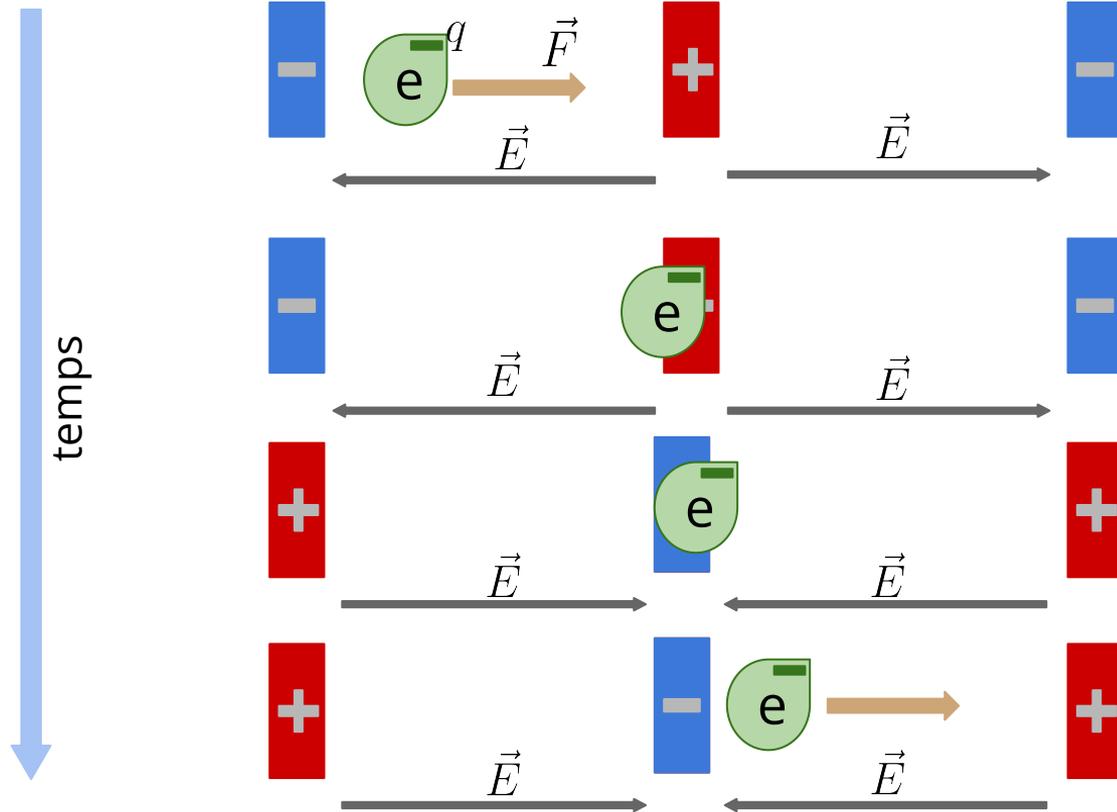
# Accélérer un électron



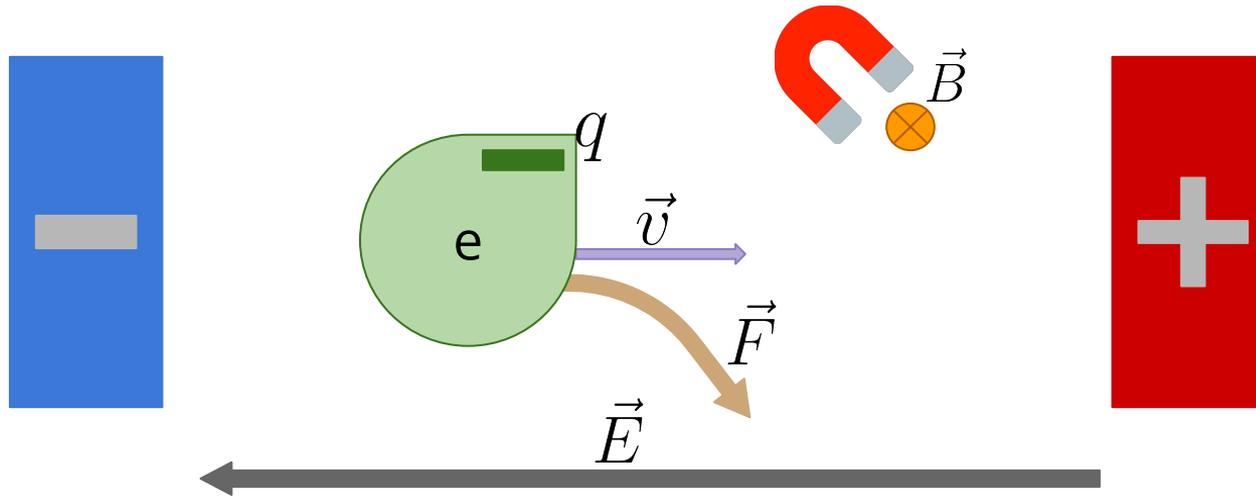
Force de Coulomb :  $\vec{F} = q\vec{E}$

# Accélérer un électron

Force de Coulomb :  $\vec{F} = q\vec{E}$

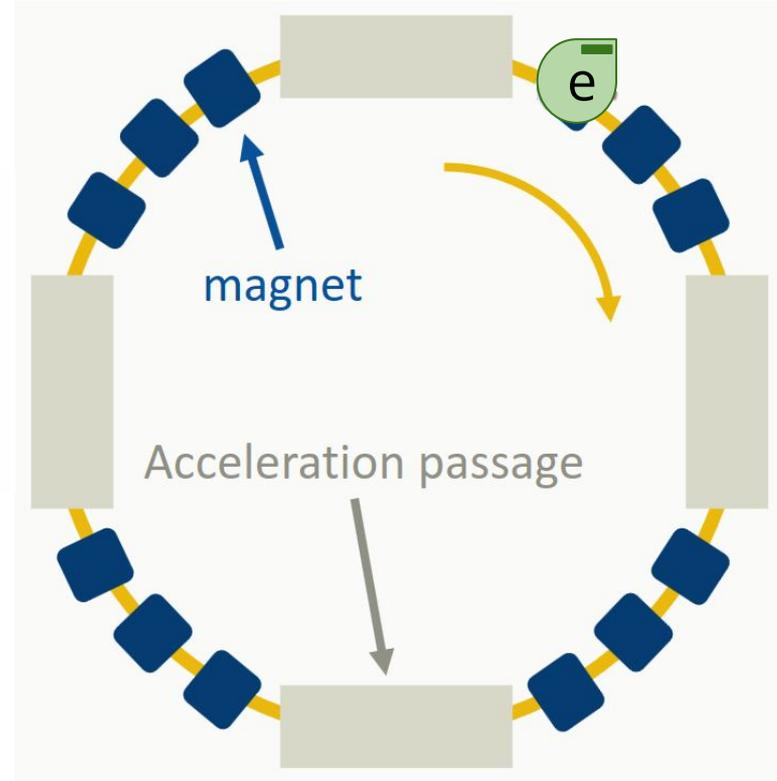
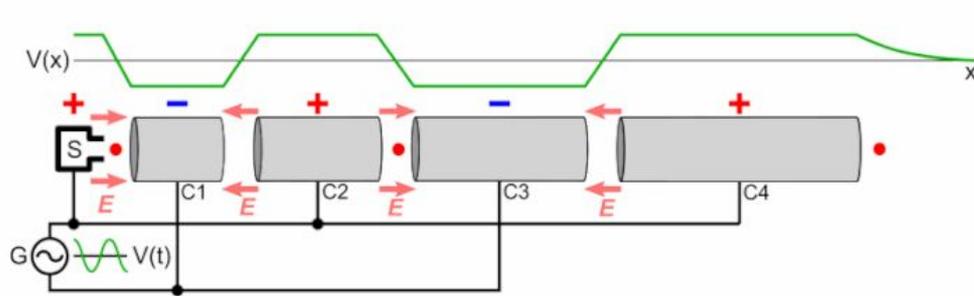


# Accélérer un électron *dans une courbe*

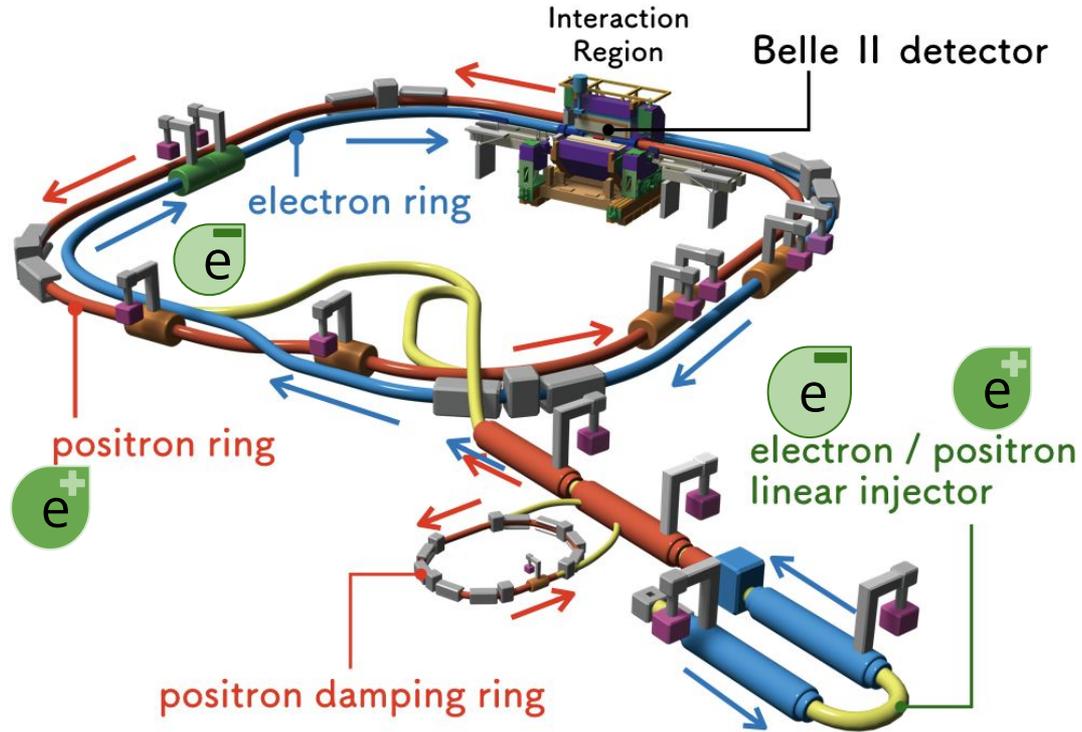


Force de Lorentz :  $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

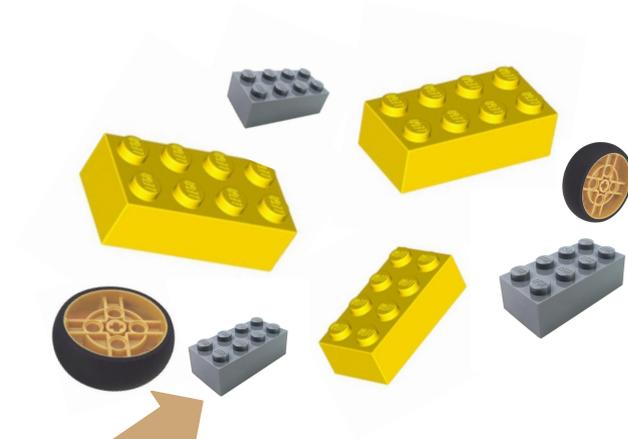
# Accélérer un électron en cercle



# Accélérateur



# Créer des particules



Pas vraiment ça

# Créer des particules



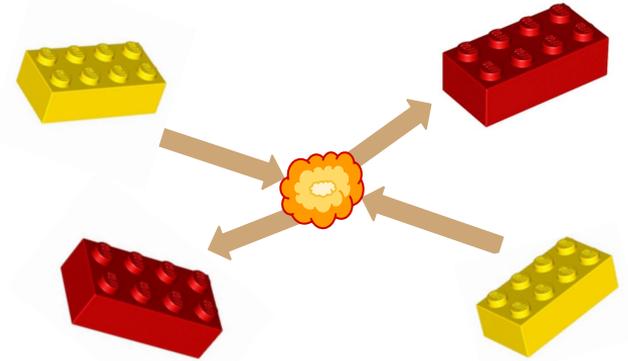
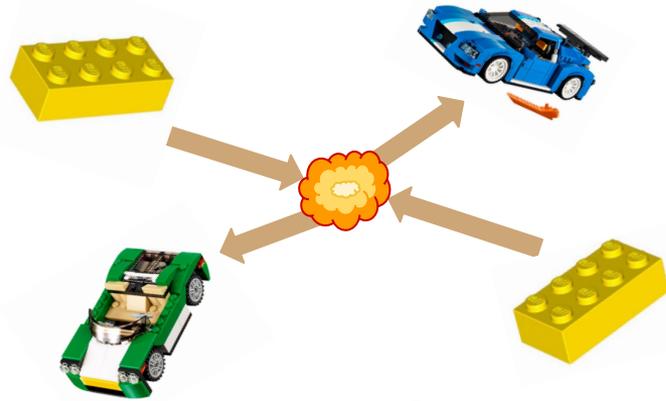
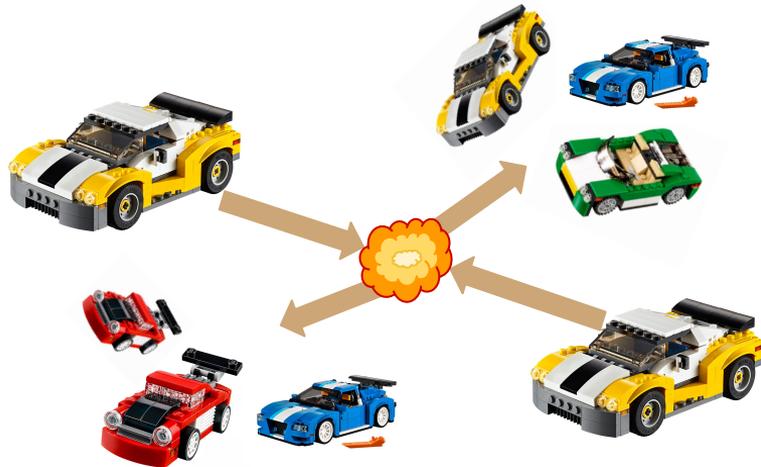
Pas tout à fait ça non plus

# Créer des particules



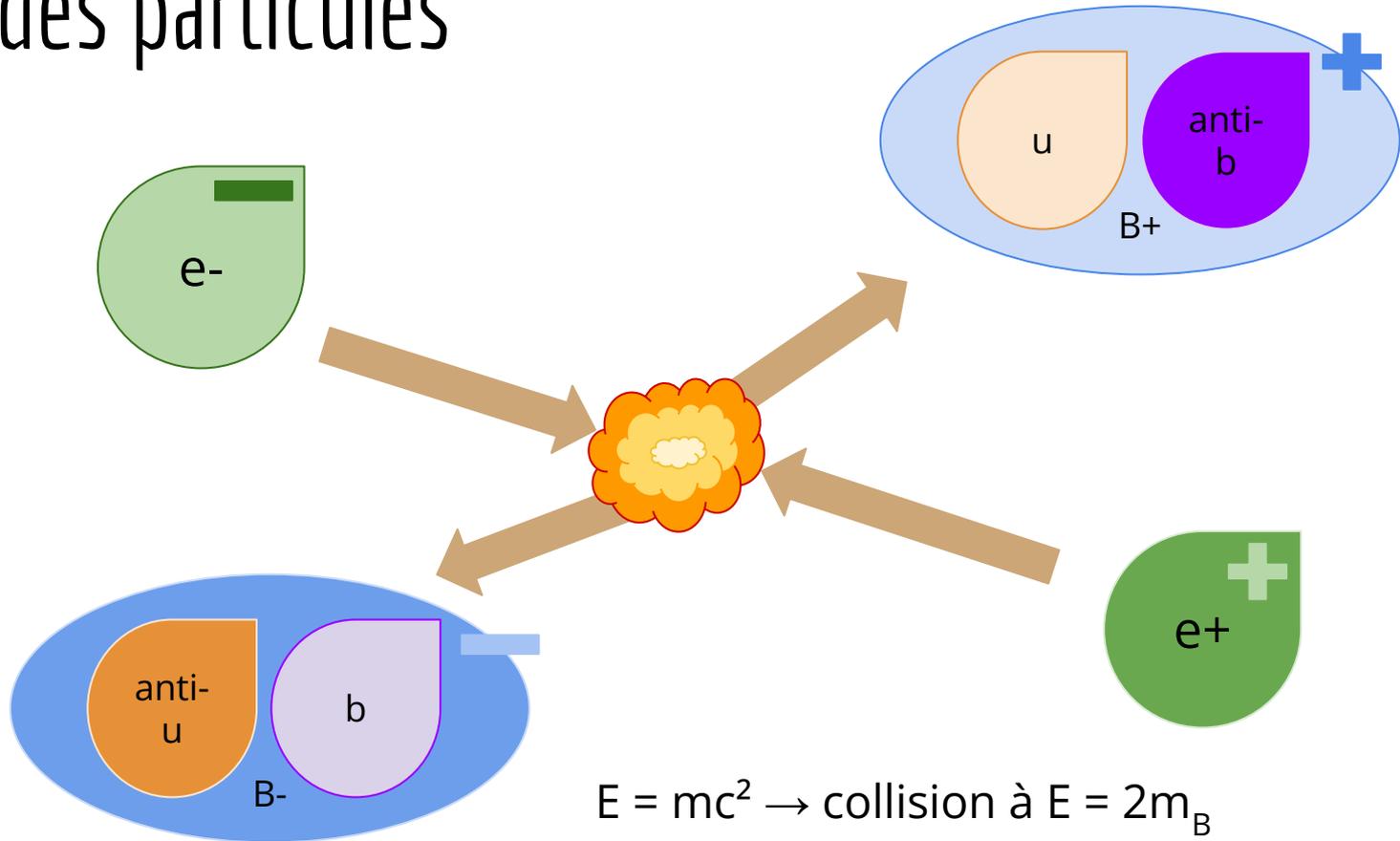
Plutôt ça

# Créer des particules

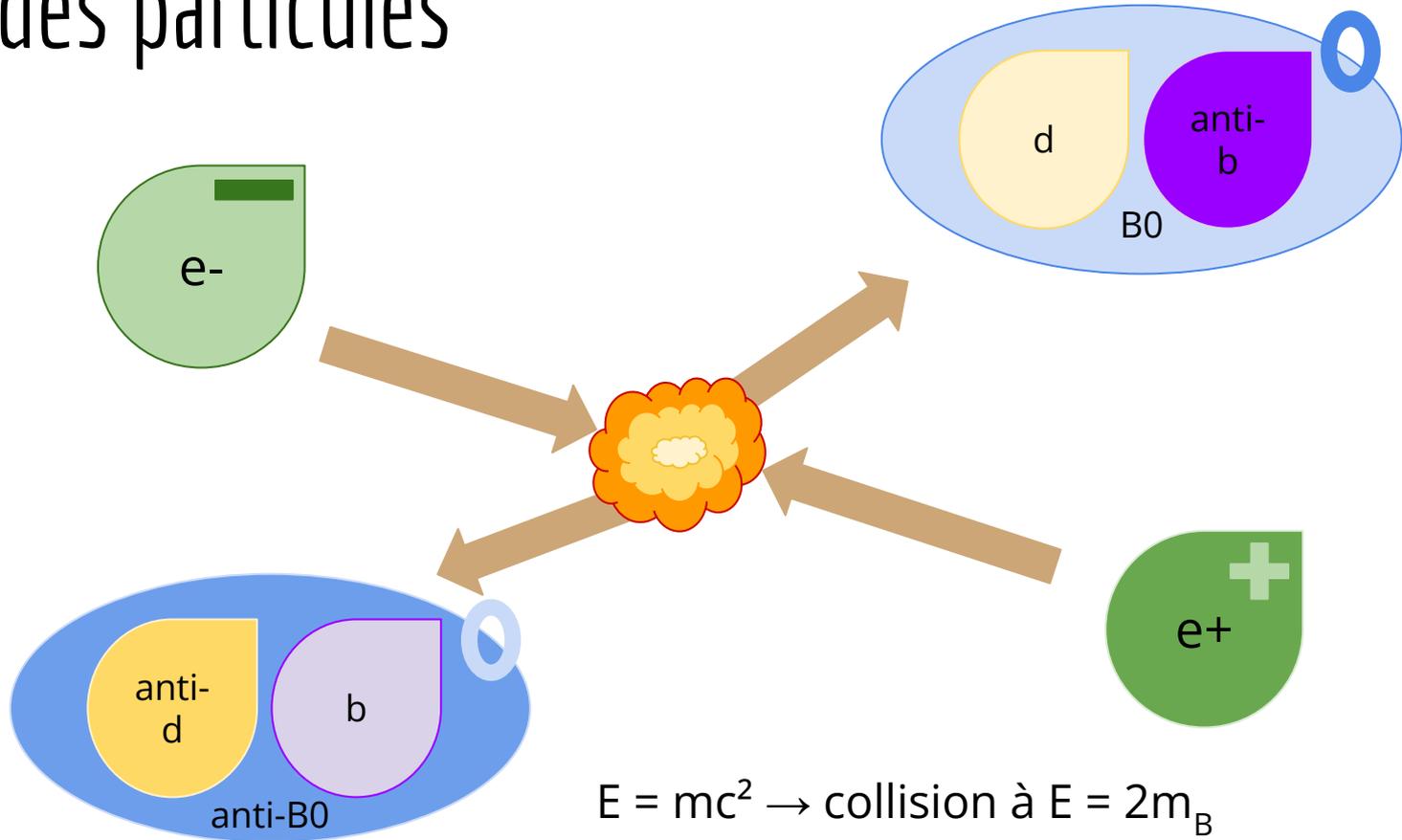


Ou ça

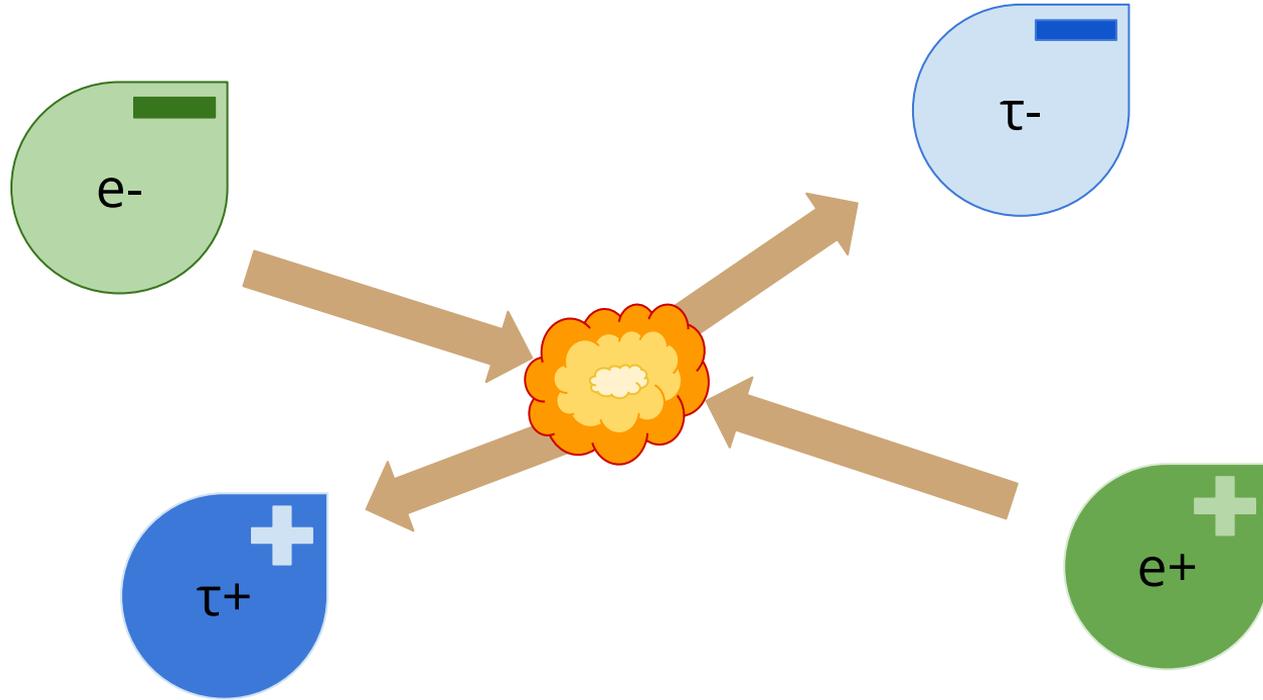
# Créer des particules



# Créer des particules



# Créer des particules



$E = mc^2 \rightarrow$  collision à  $E = 2m_B > 2m_\tau$

# Créer des particules

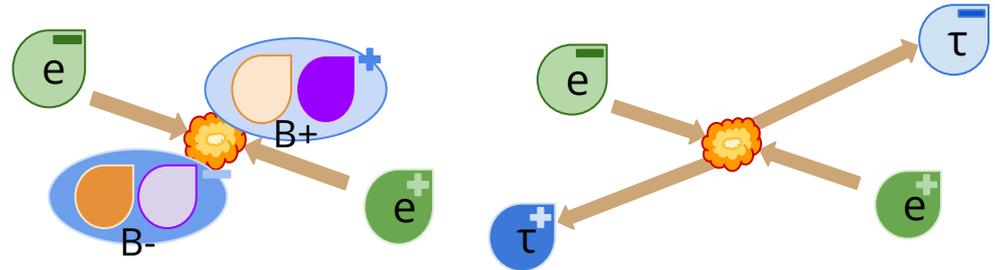
- La collision peut donner différents résultats et **on ne peut pas prédire à l'avance ce qu'il va se passer**
- Les particules produites partent plus ou moins loin selon leur masse

$$E = mc^2 \rightarrow$$

$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$$

$p \propto mv$  : quantité de mouvement

- L'énergie restante est convertie en "vitesse"

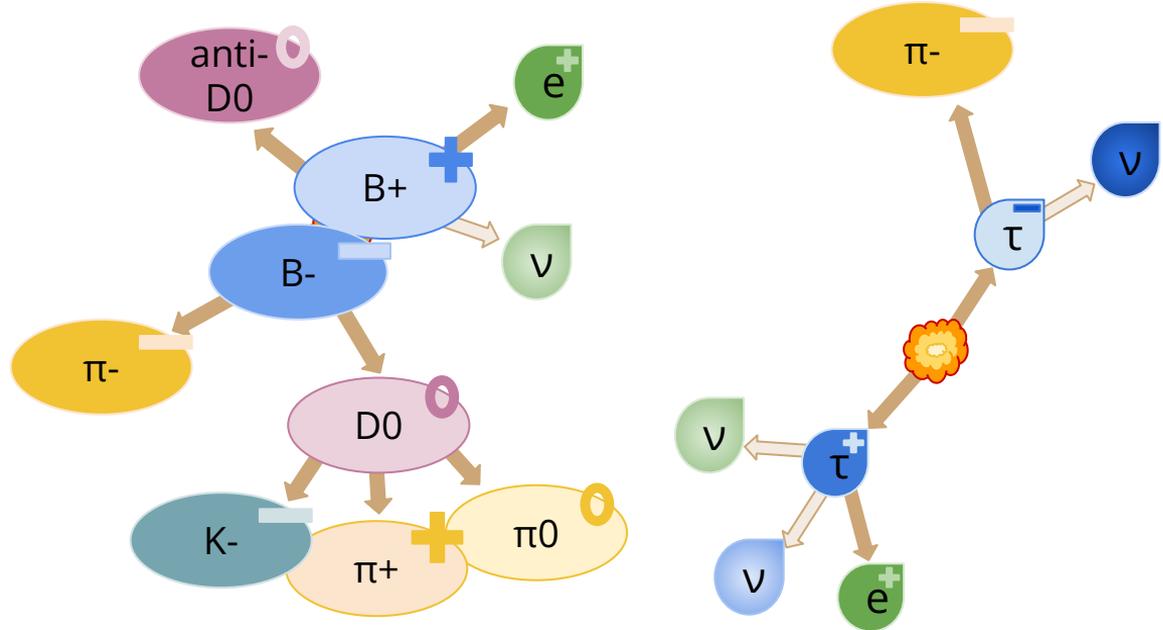


# La vie des particules

- Une fois produites les particules se désintègrent en d'autres particules plus légères

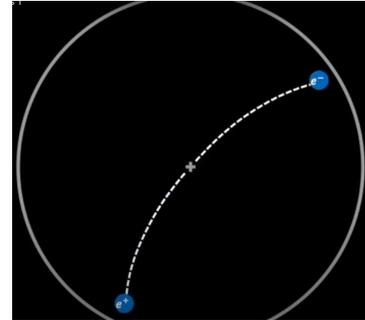
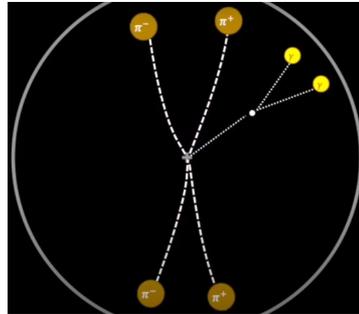
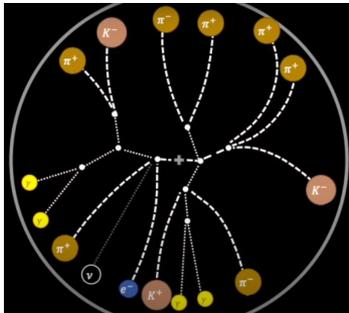
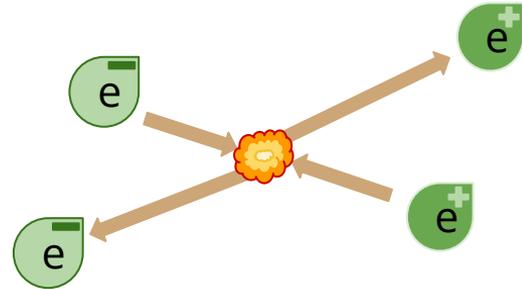
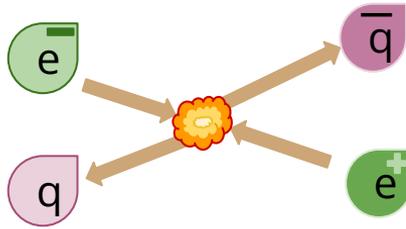
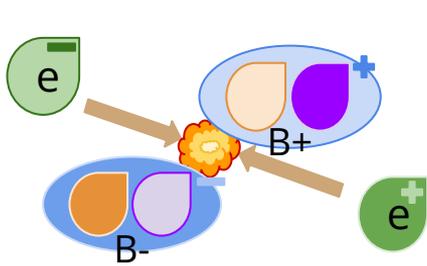
$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$$

$p \propto mv$  : quantité de mouvement

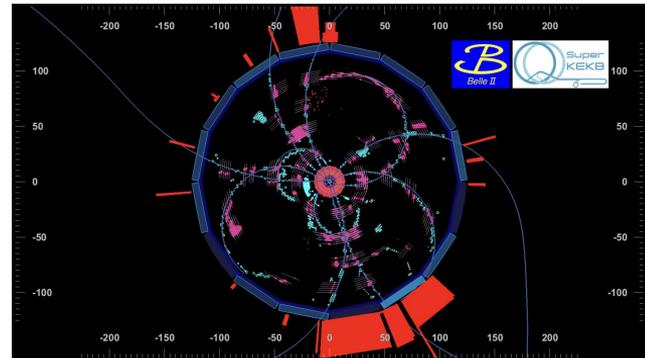
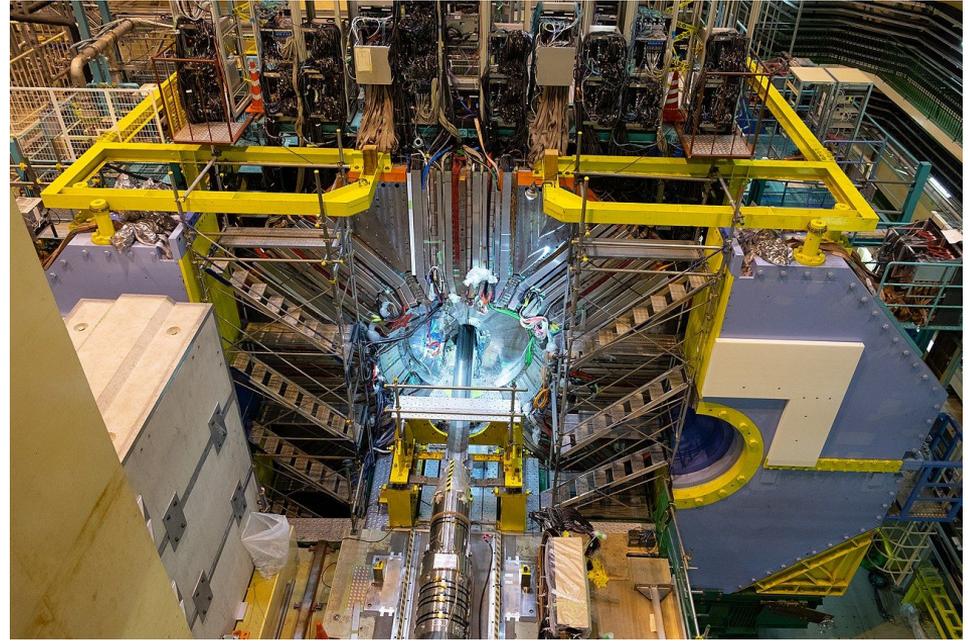
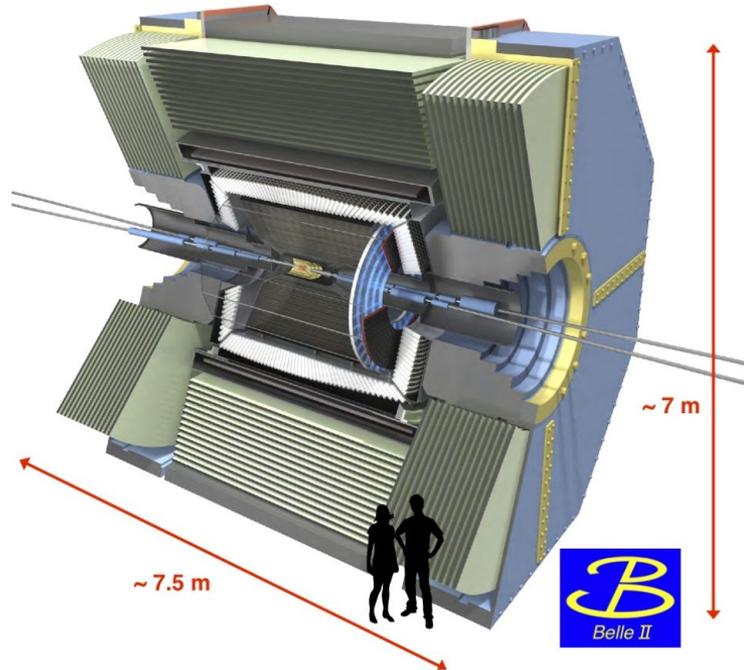


# La vie des particules

- L'énergie et la quantité de mouvement disponible pour les particules "filles" dépendent de celles de la "mère"

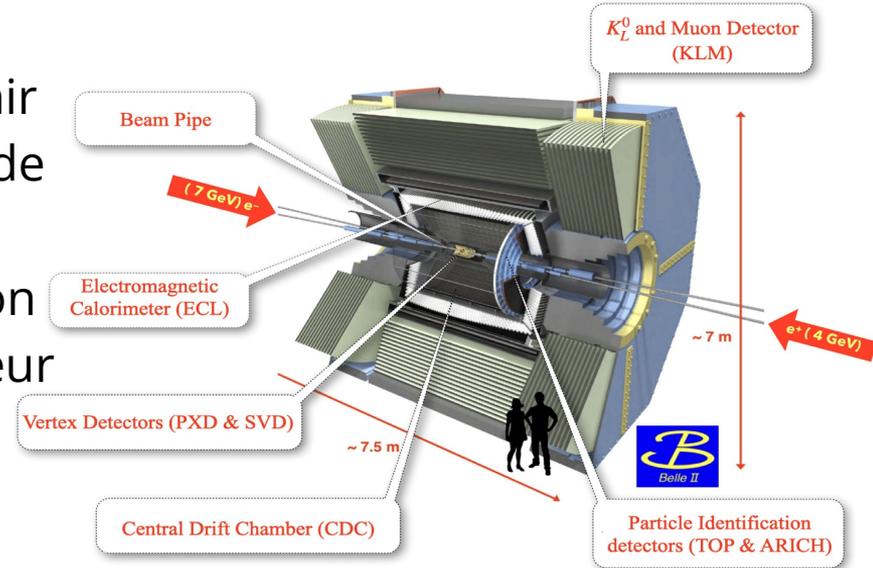
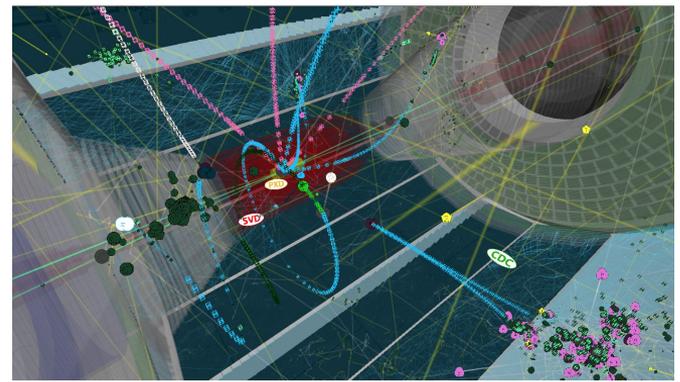


# Belle II : Le détecteur

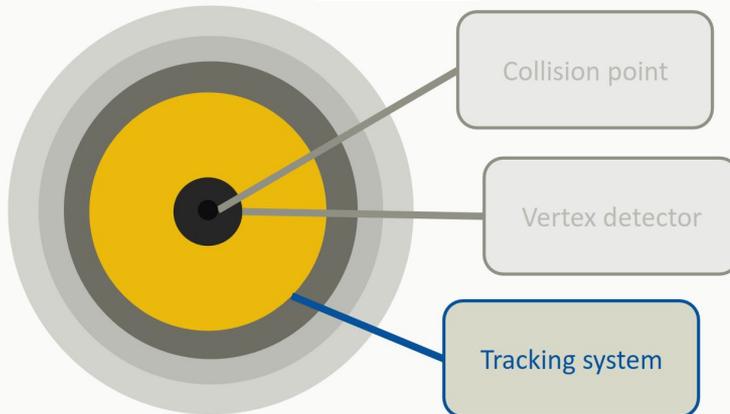
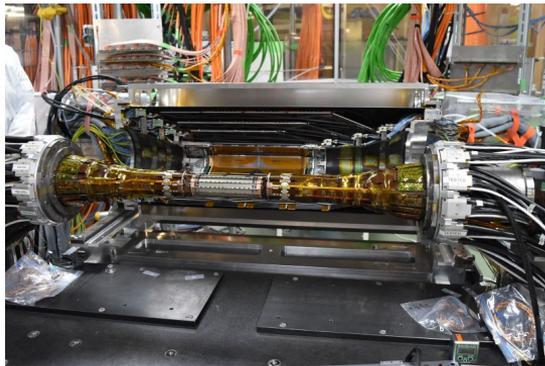
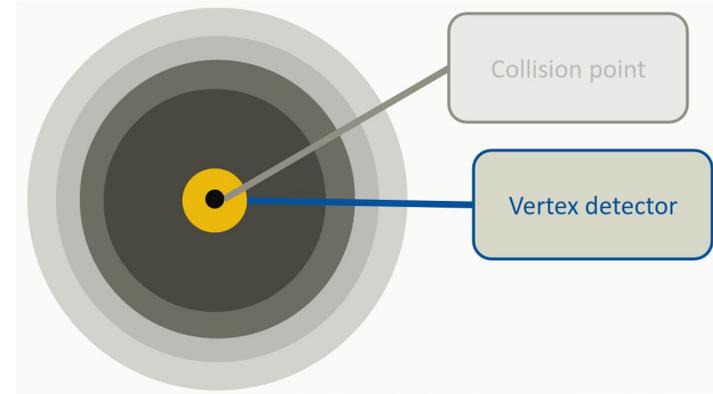
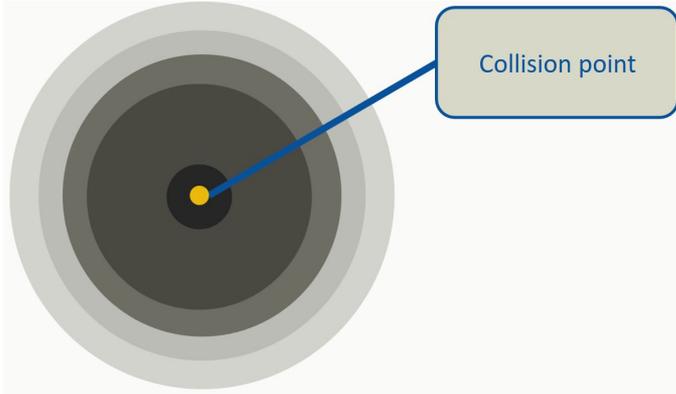


# Détecter des particules

- **Détecteur en couches** comme un oignon
- Interaction des particules avec le détecteur en le traversant
- Chaque sous-détecteur permet d'obtenir des informations différentes (quantité de mouvement, énergie, charge...)
- En **combinant toutes les informations** on peut identifier les particules, retracer leur trajectoire et retrouver leur origine

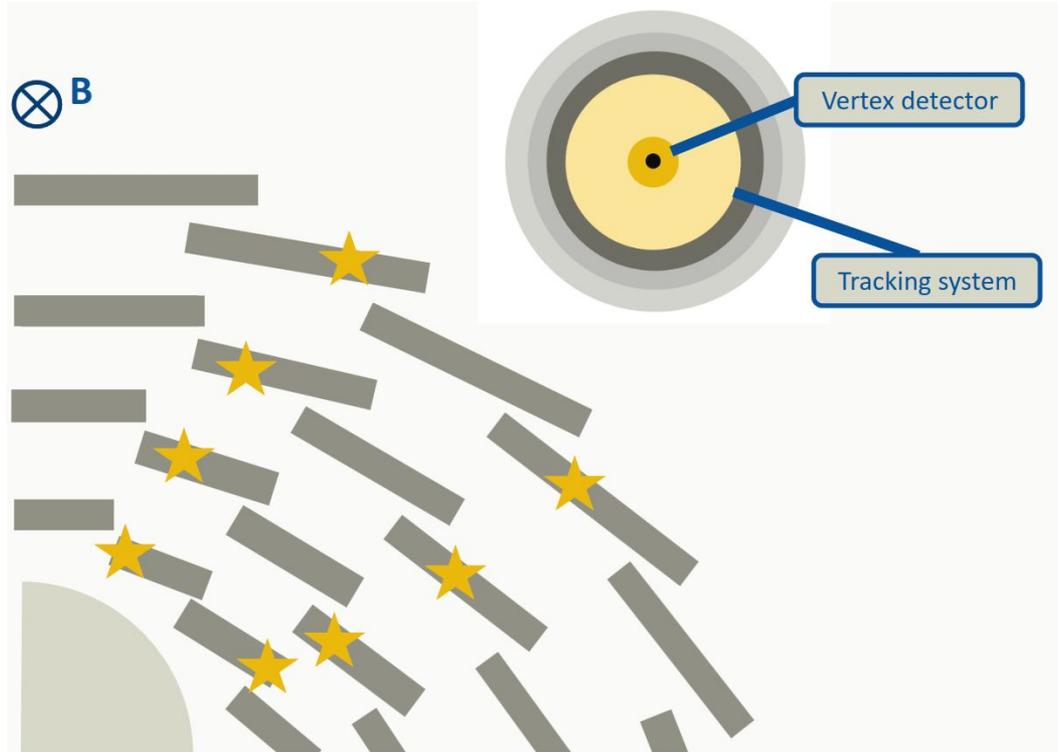


# Reconstruire les trajectoires



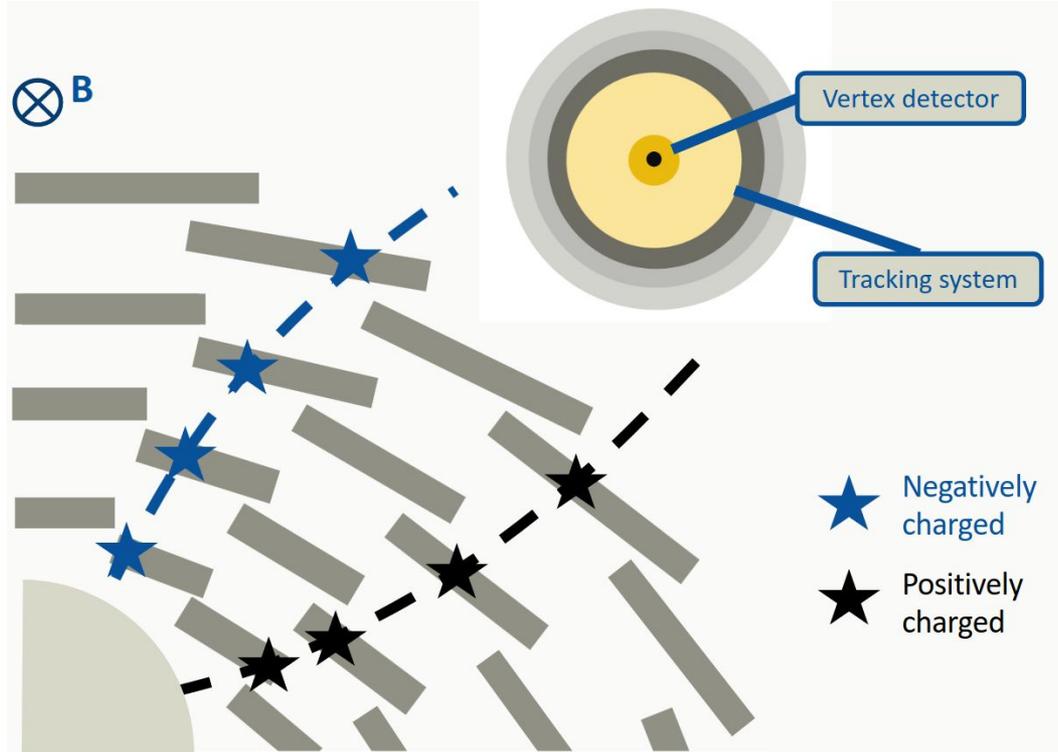
# Reconstruire les trajectoires

- Les particules chargées créent des signaux électriques



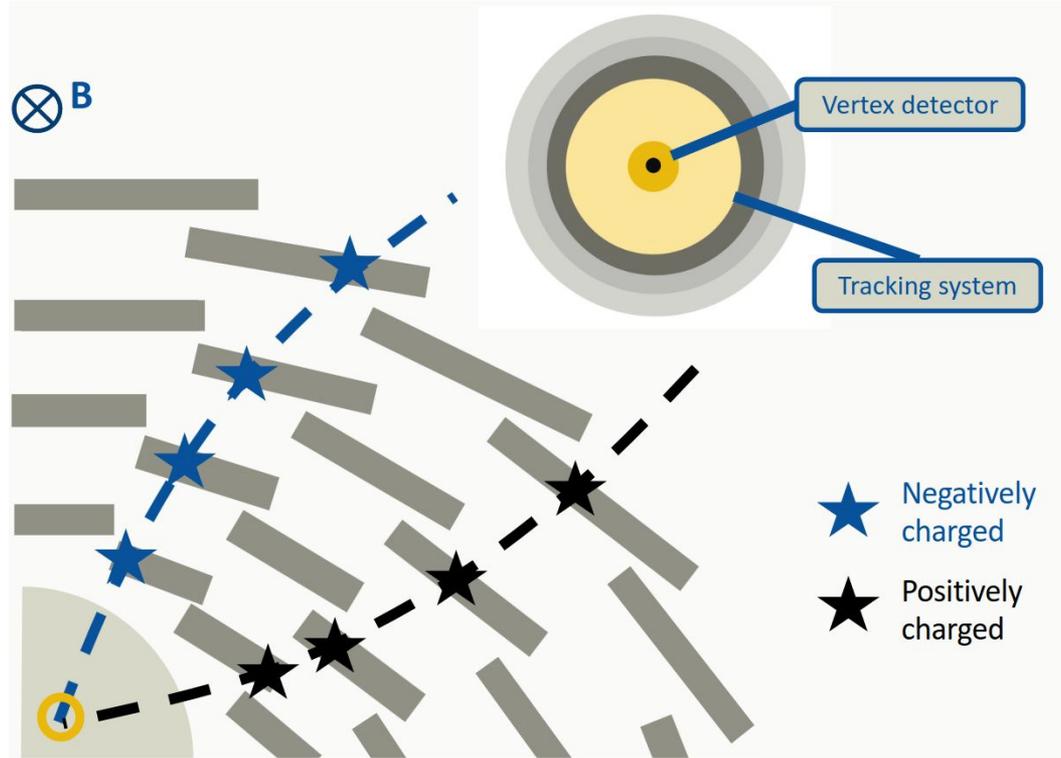
# Reconstruire les trajectoires

- Les particules chargées créent des signaux électriques
- Grâce à ça, on peut retracer la trajectoire et déduire la quantité de mouvement

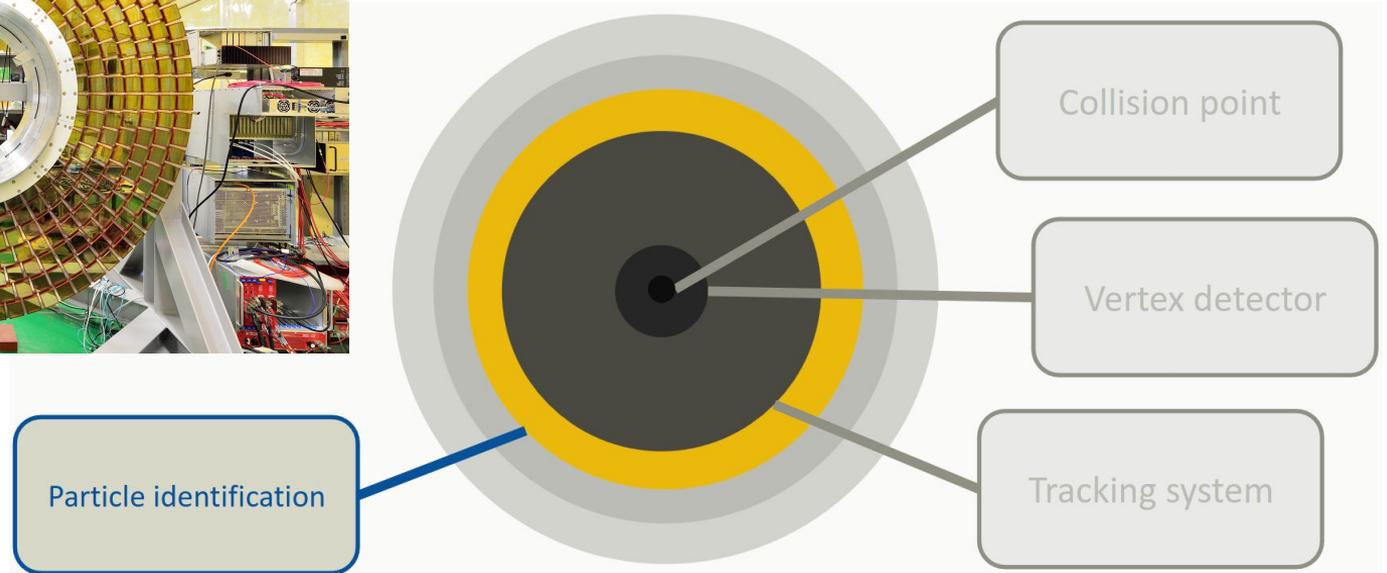
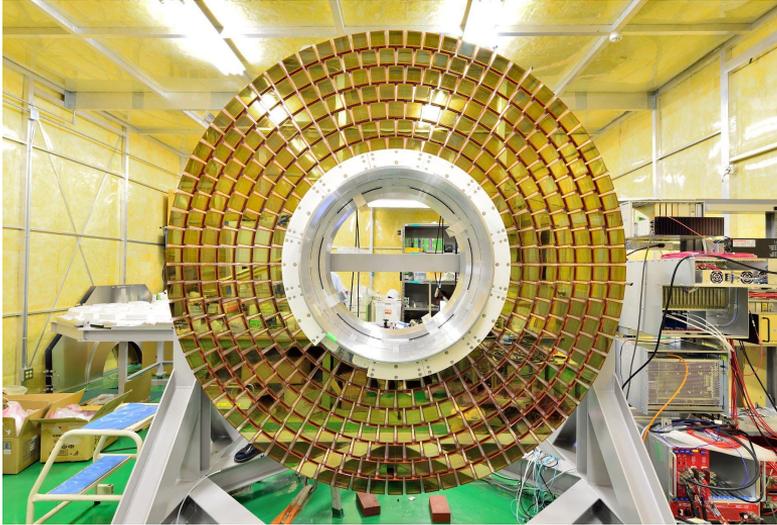


# Reconstruire les trajectoires

- Les particules chargées créent des signaux électriques
- Grâce à ça, on peut retracer la trajectoire et déduire la quantité de mouvement
- On peut aussi retrouver le point de désintégration (vertex)



# Identifier les particules

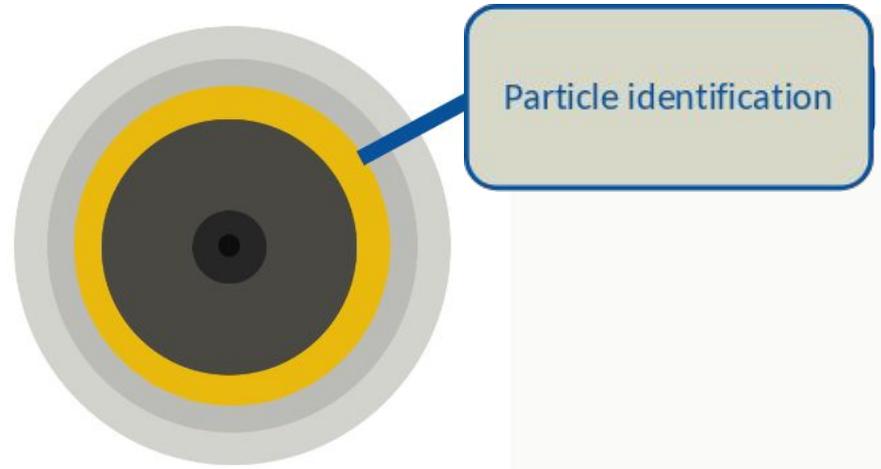


# Identifier les particules

- Les particules peuvent être **identifiées via leur masse**
- Une même vitesse conduit à des quantité de mouvement différentes selon la masse

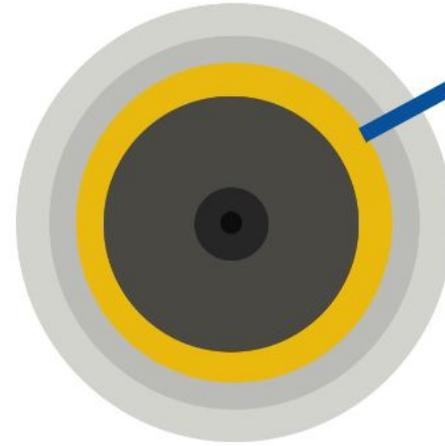
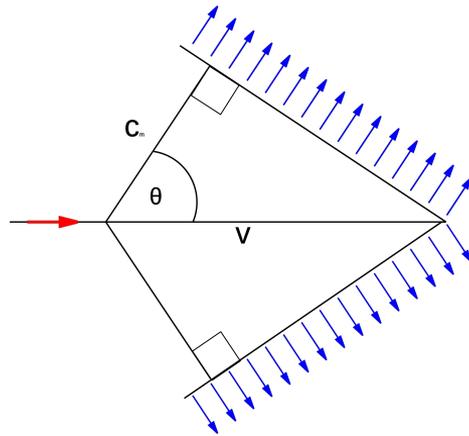
$$p \propto mv$$

Exemple : même vitesse, différents impacts selon la balle



# Identifier les particules

- On utilise le même principe que le passage du mur du son
- En combinant avec la mesure de la quantité de mouvement, on peut déduire la masse

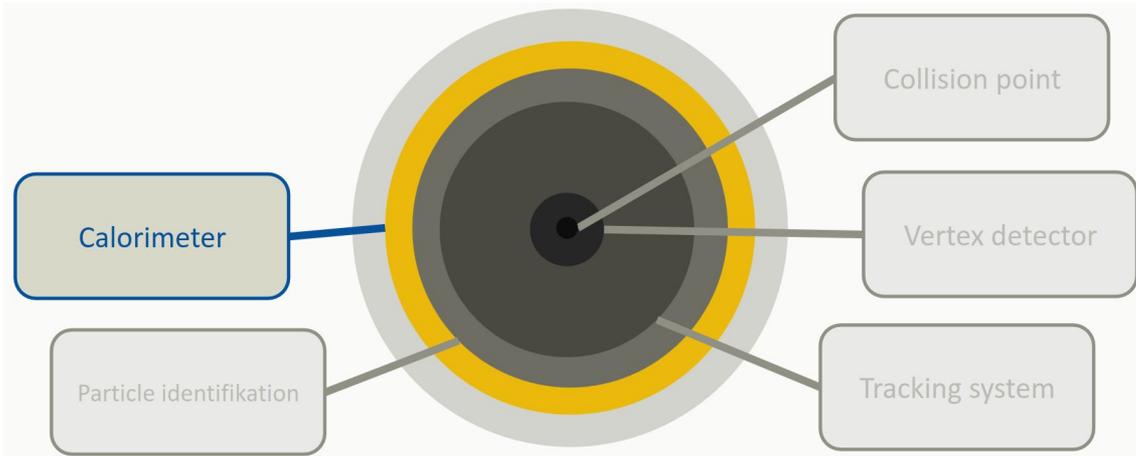


Particle identification

Effet Cherenkov

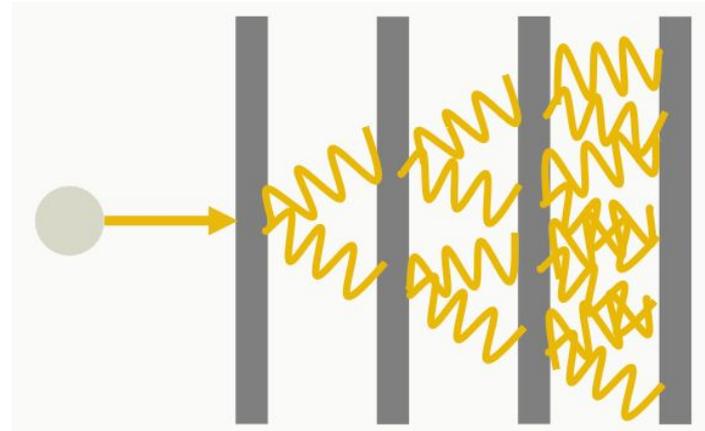
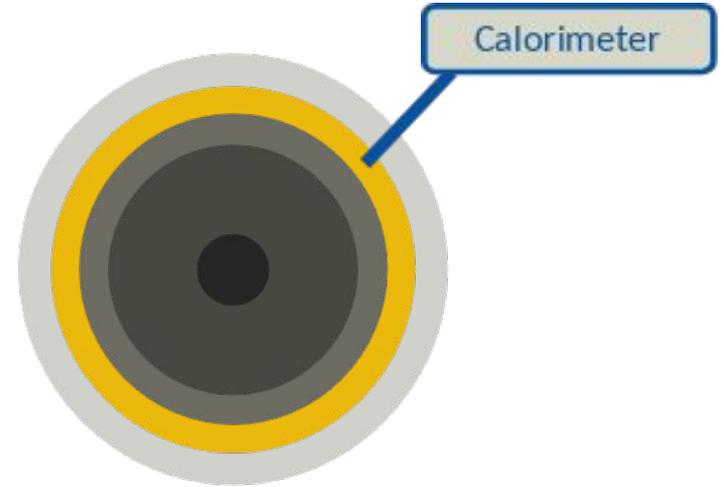
$$\cos \theta = \frac{c_m}{v}$$

# Mesurer l'énergie

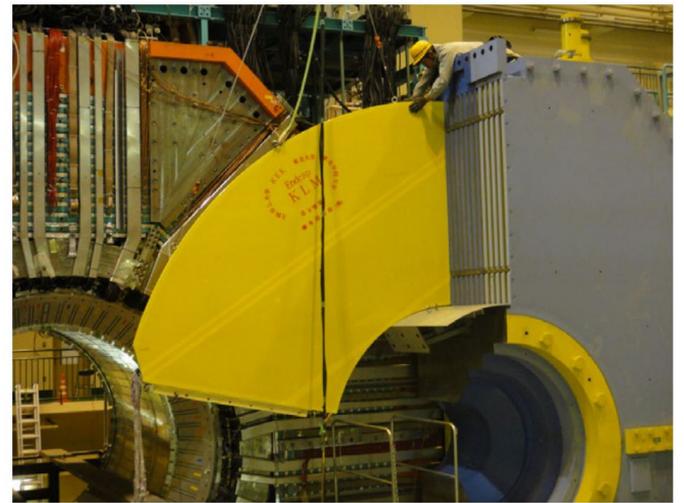
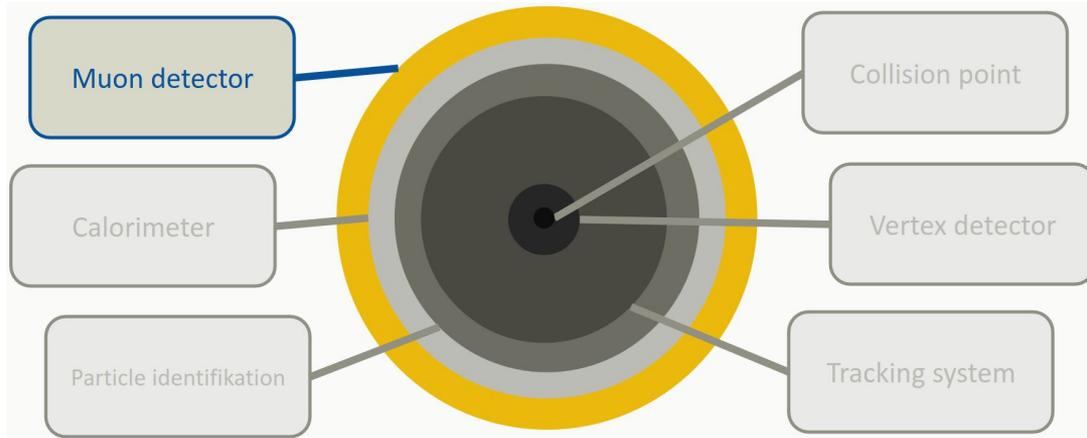


# Mesurer l'énergie

- On mesure l'énergie en **stoppant les particules**
- En traversant le calorimètre la particule est stoppée et des électrons et photons sont produits en cascade
- Ils sont captés et additionnés pour déduire l'énergie initiale

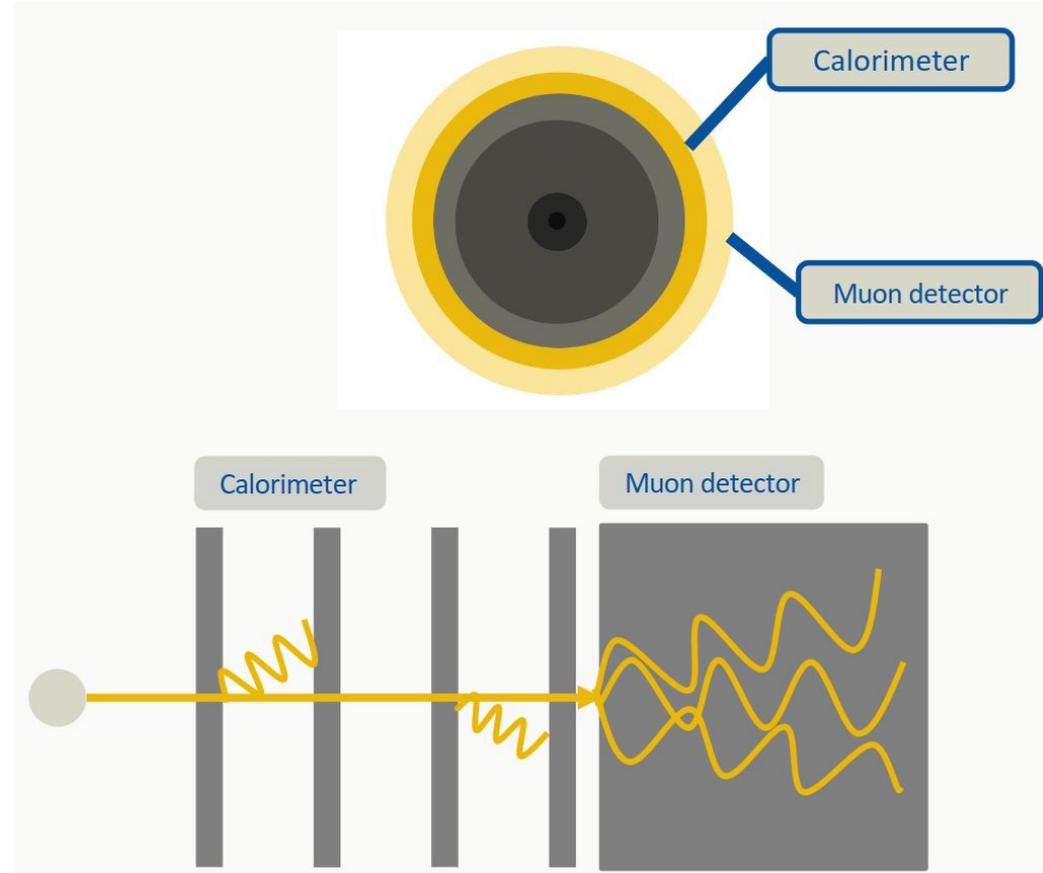
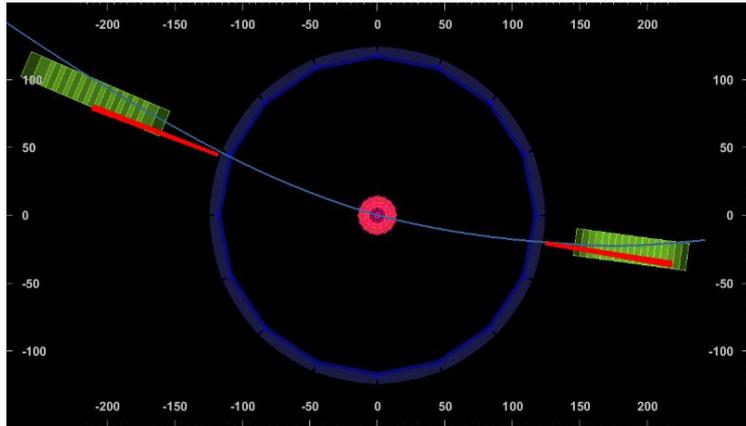


# Détecter les muons



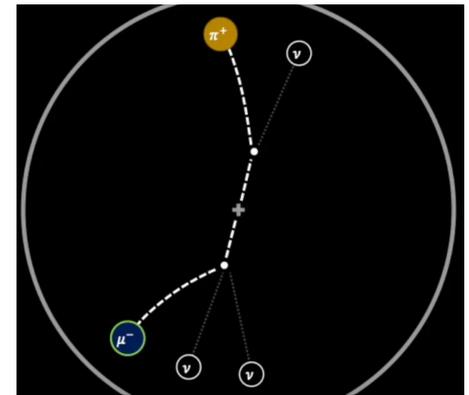
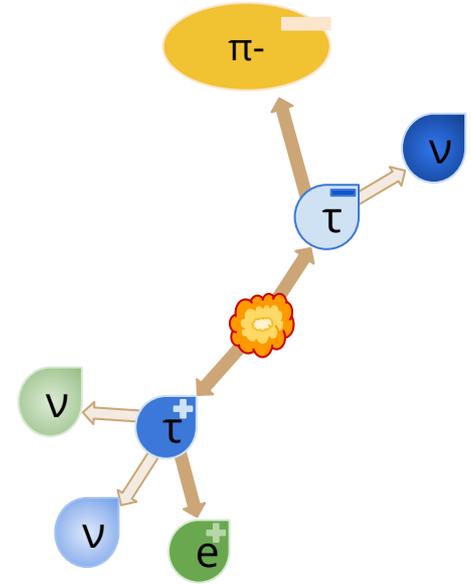
# Détecter les muons

- Les muons interagissent peu avec le calorimètre
- Ils laissent un signal dans le détecteur de muons



# Détecter les neutrinos ?

- Les neutrinos n'interagissent pas avec le détecteur → Ils **ne laissent aucune trace**
- On ne peut déduire leur existence que par de l'**énergie manquante**
- On connaît l'énergie totale de l'état initial et la somme des énergies des particules détectées : la différence correspond à l'énergie des neutrinos
- Autrement dit : s'il manque de l'énergie, c'est qu'il y a des neutrinos

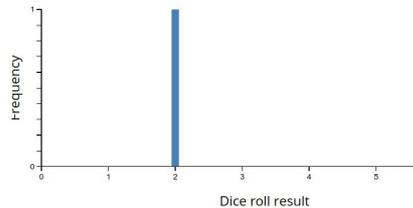


# Combiner les informations

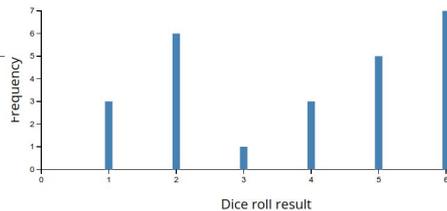
- Collecter tous les signaux
- Reconstituer l'événement : depuis les particules de l'état final, on remonte la chaîne de désintégration
- Recommencer autant de fois que possible
  - Réduire les erreurs et incertitudes de mesure
  - Réduire les fluctuations statistiques



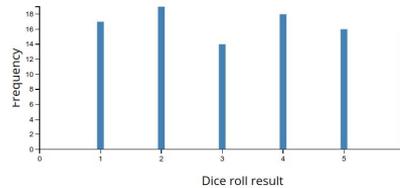
Number of rolls: 1



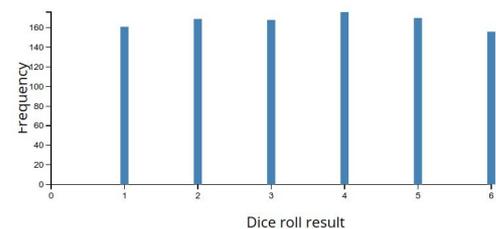
Number of rolls: 25



Number of rolls: 100



Number of rolls: 1000





Merci pour votre attention !