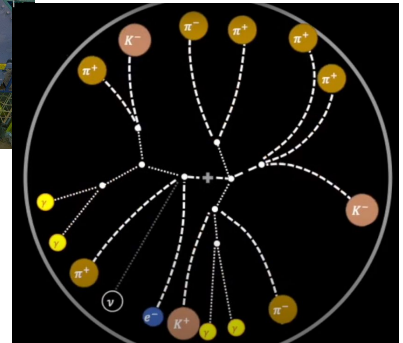
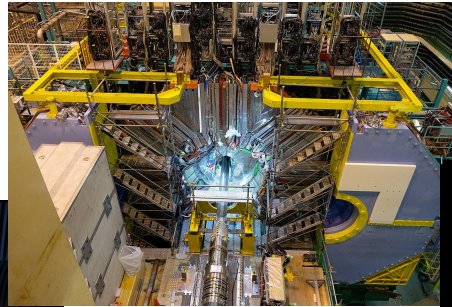
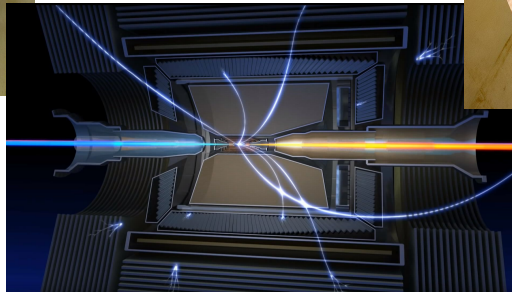


Belle II Masterclass
L'expérience Belle II

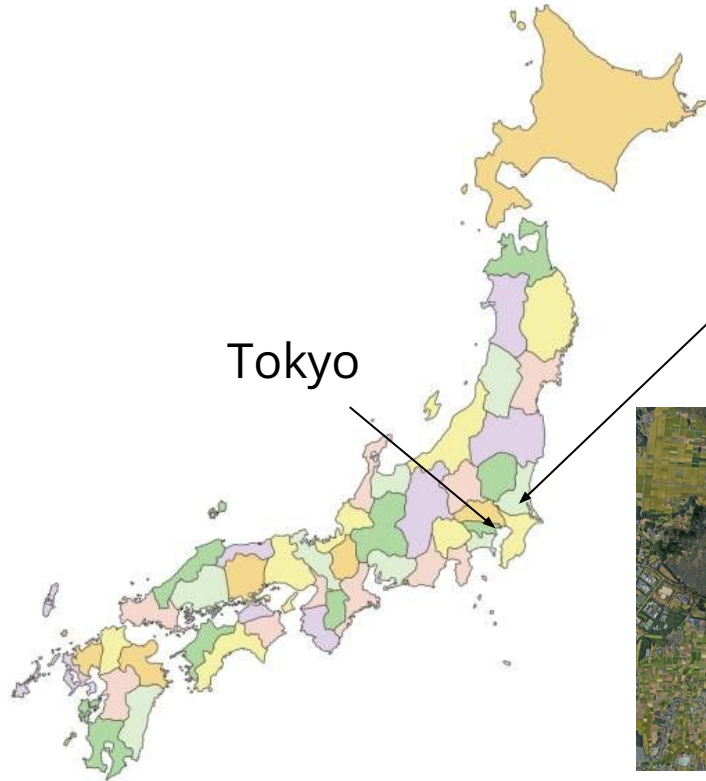
11 mars 2025

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**



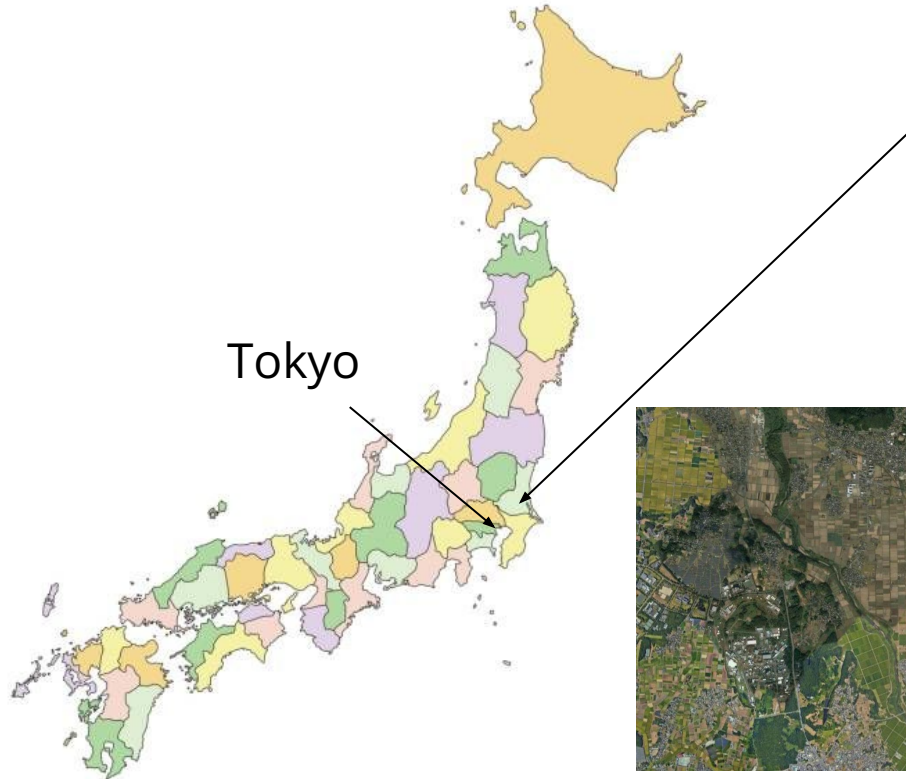
Tsukuba : the place to be



Tsukuba



Tsukuba : the place to be

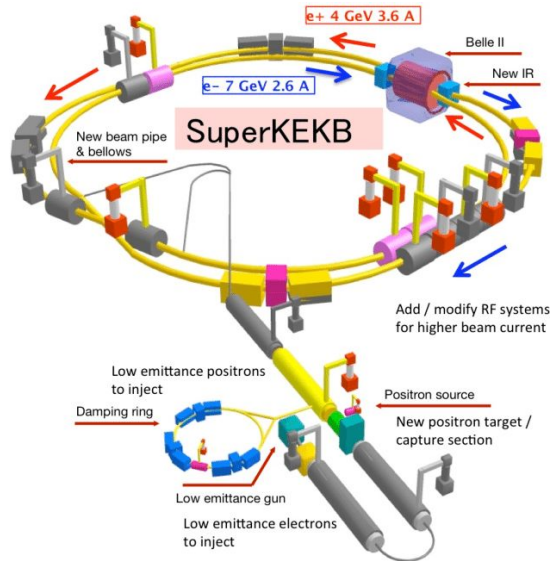


Tsukuba

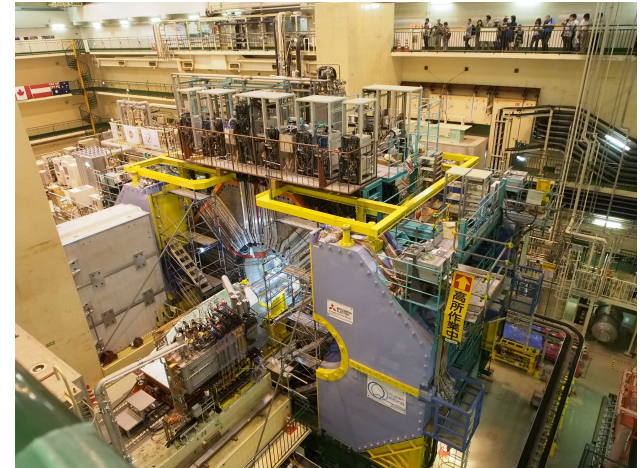


KEK : Le centre de recherche

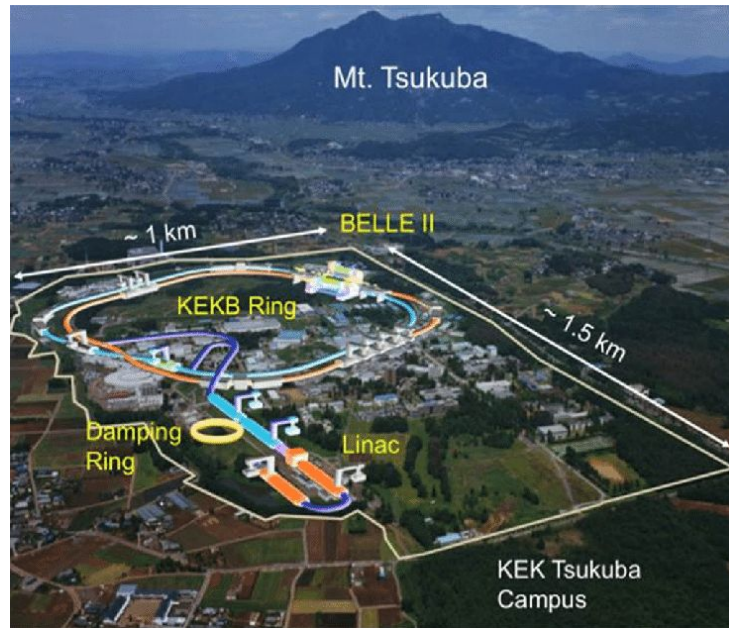
Accélérateur SuperKEKB



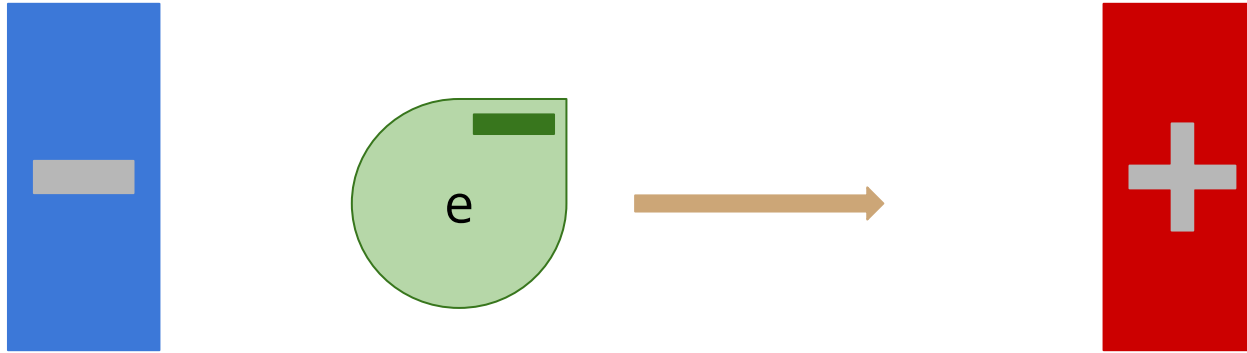
Détecteur Belle II



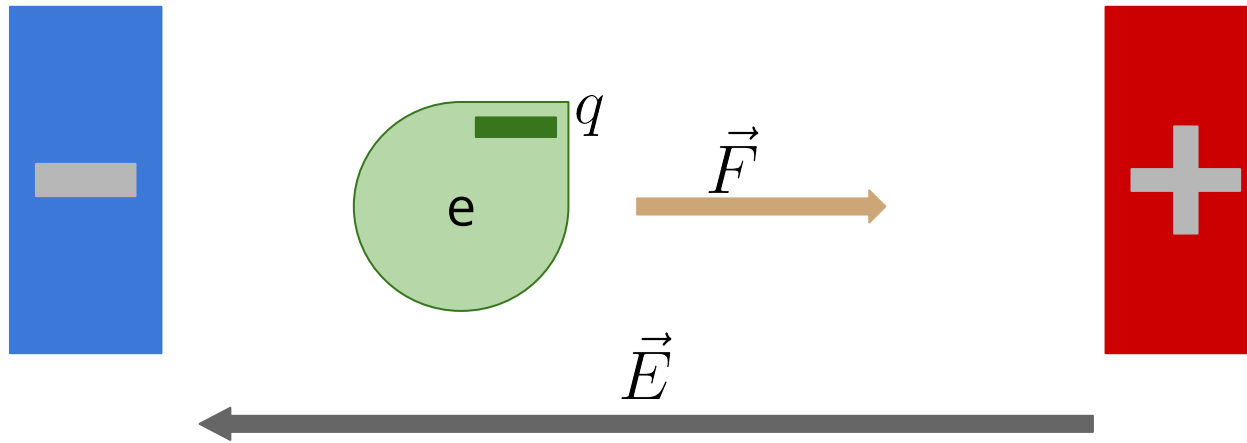
SuperKEKB : L'accélérateur



Accélérer un électron



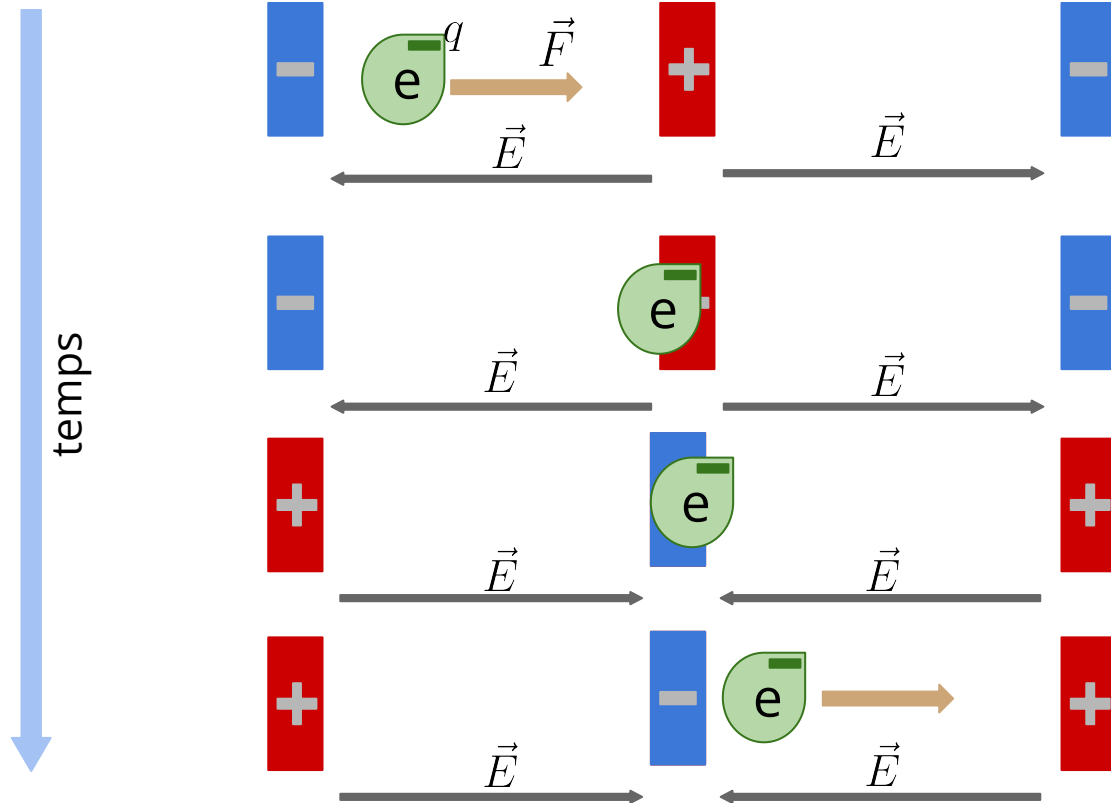
Accélérer un électron



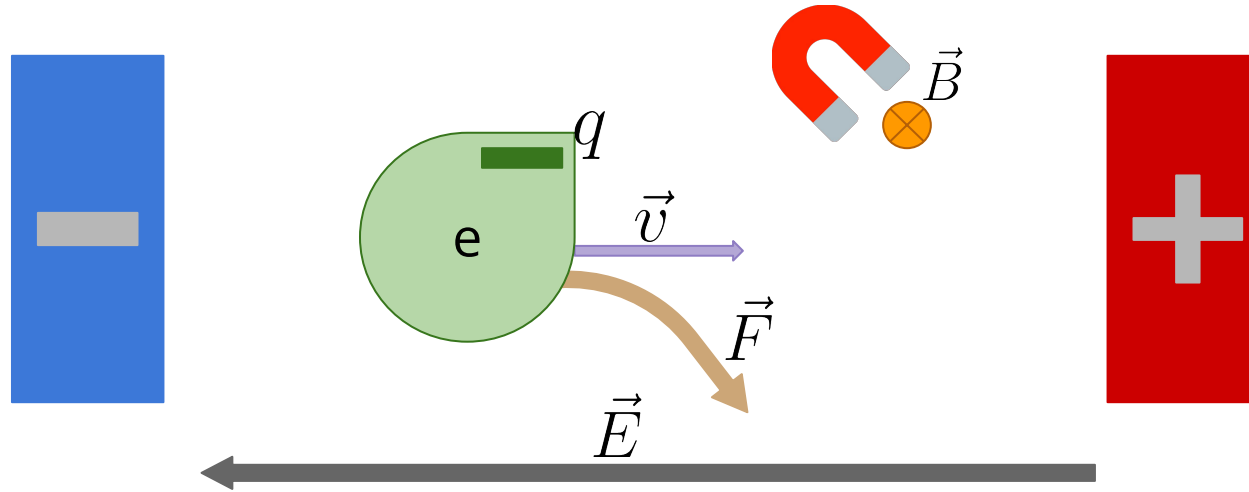
Force de Coulomb : $\vec{F} = q\vec{E}$

Accélérer un électron

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

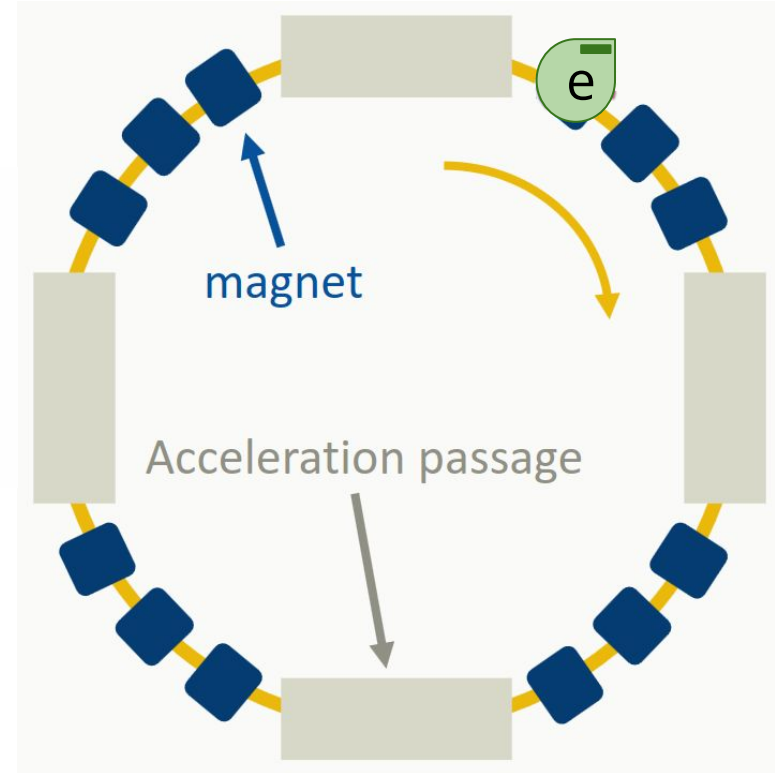
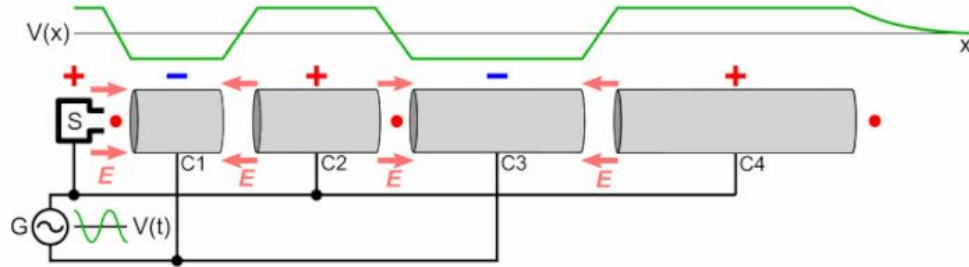


Accélérer un électron *dans une courbe*

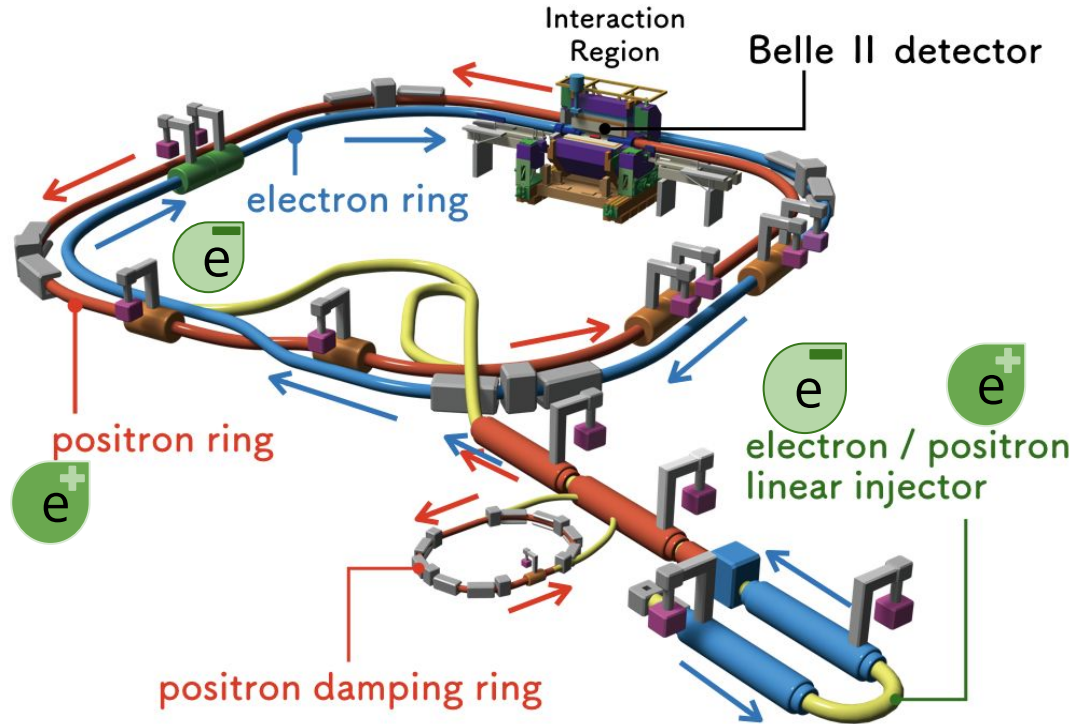


Force de Lorentz : $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

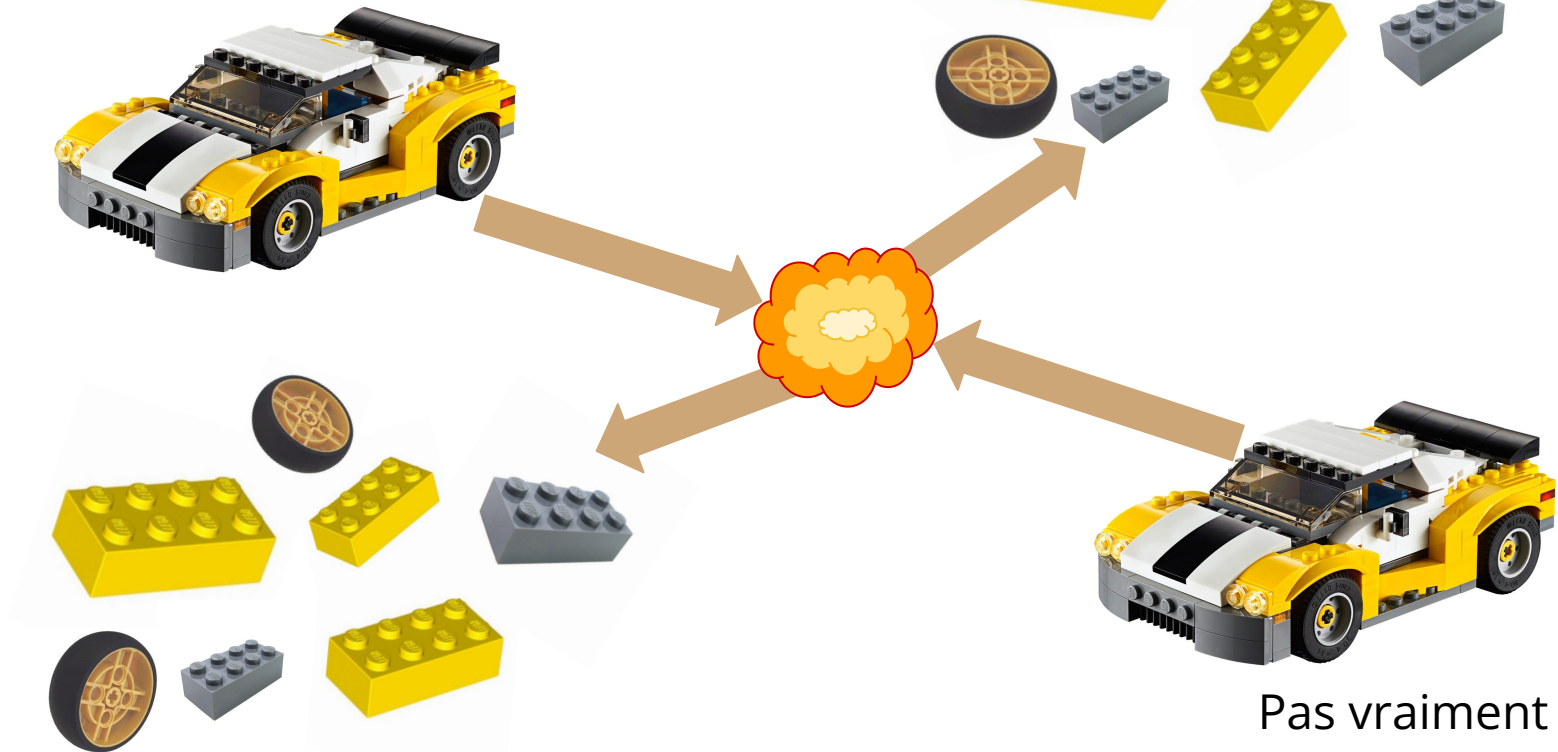
Accélérer un électron en cercle



Accélérateur

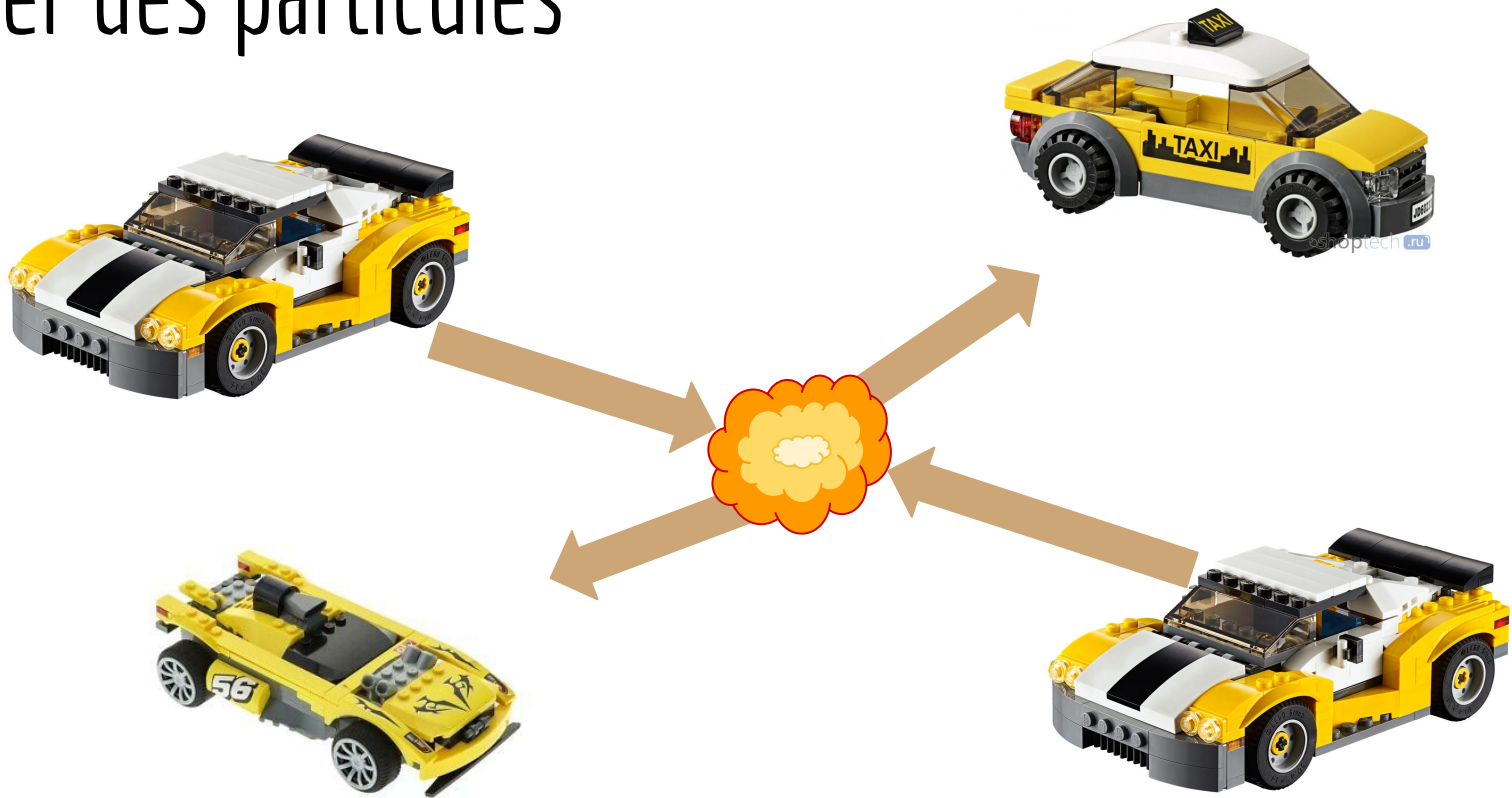


Créer des particules



Pas vraiment ça

Créer des particules



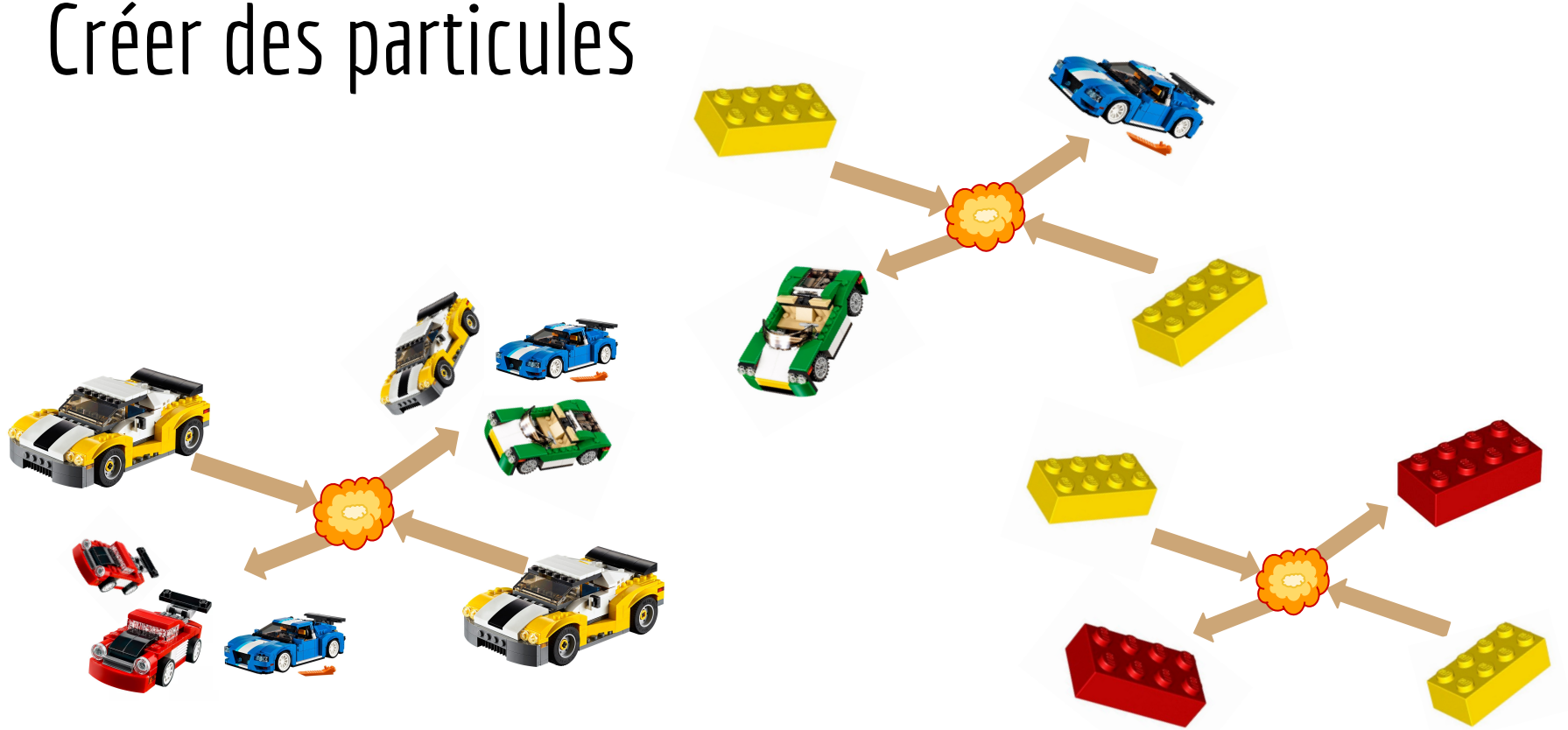
Pas tout à fait ça non plus

Créer des particules



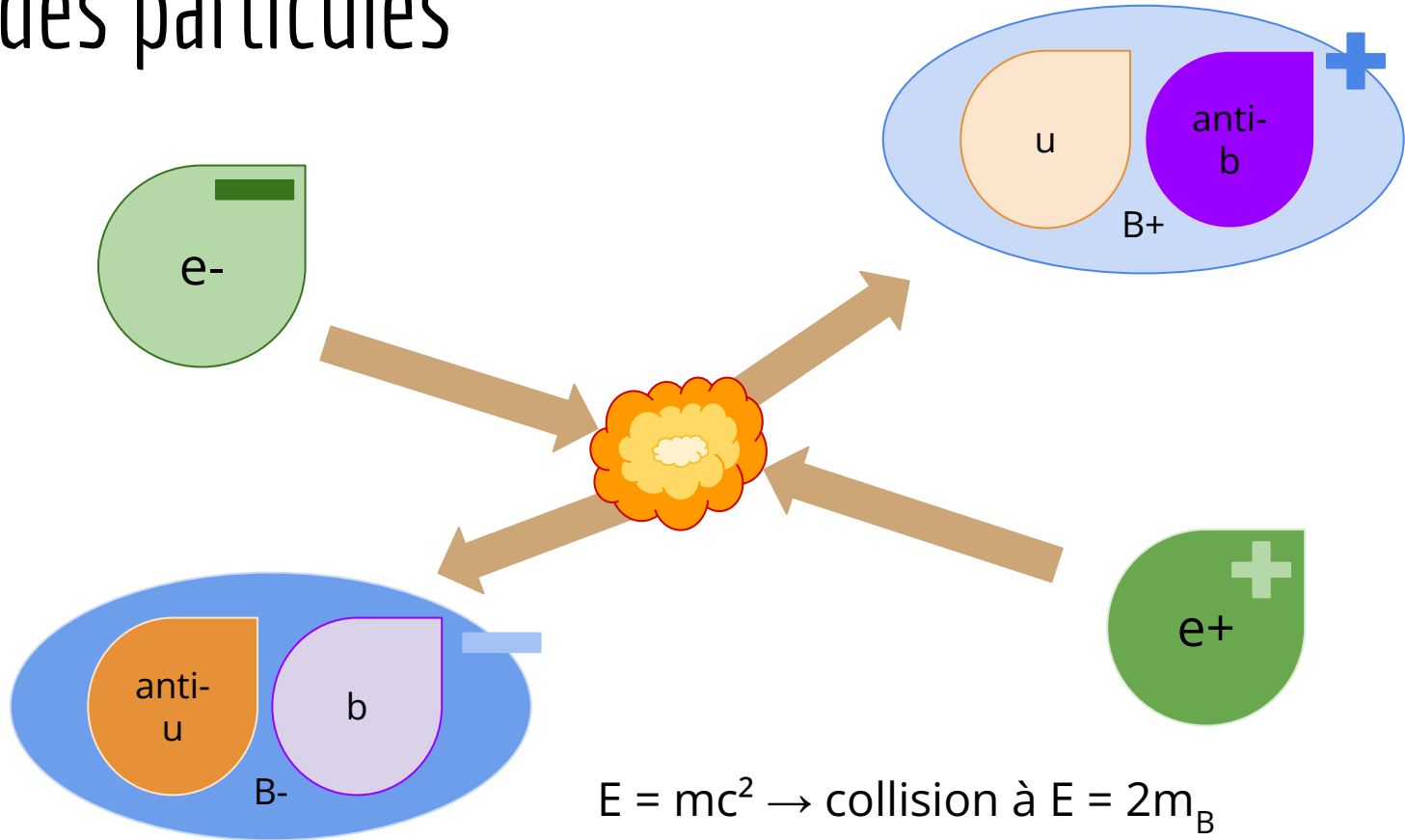
Plutôt ça

Créer des particules

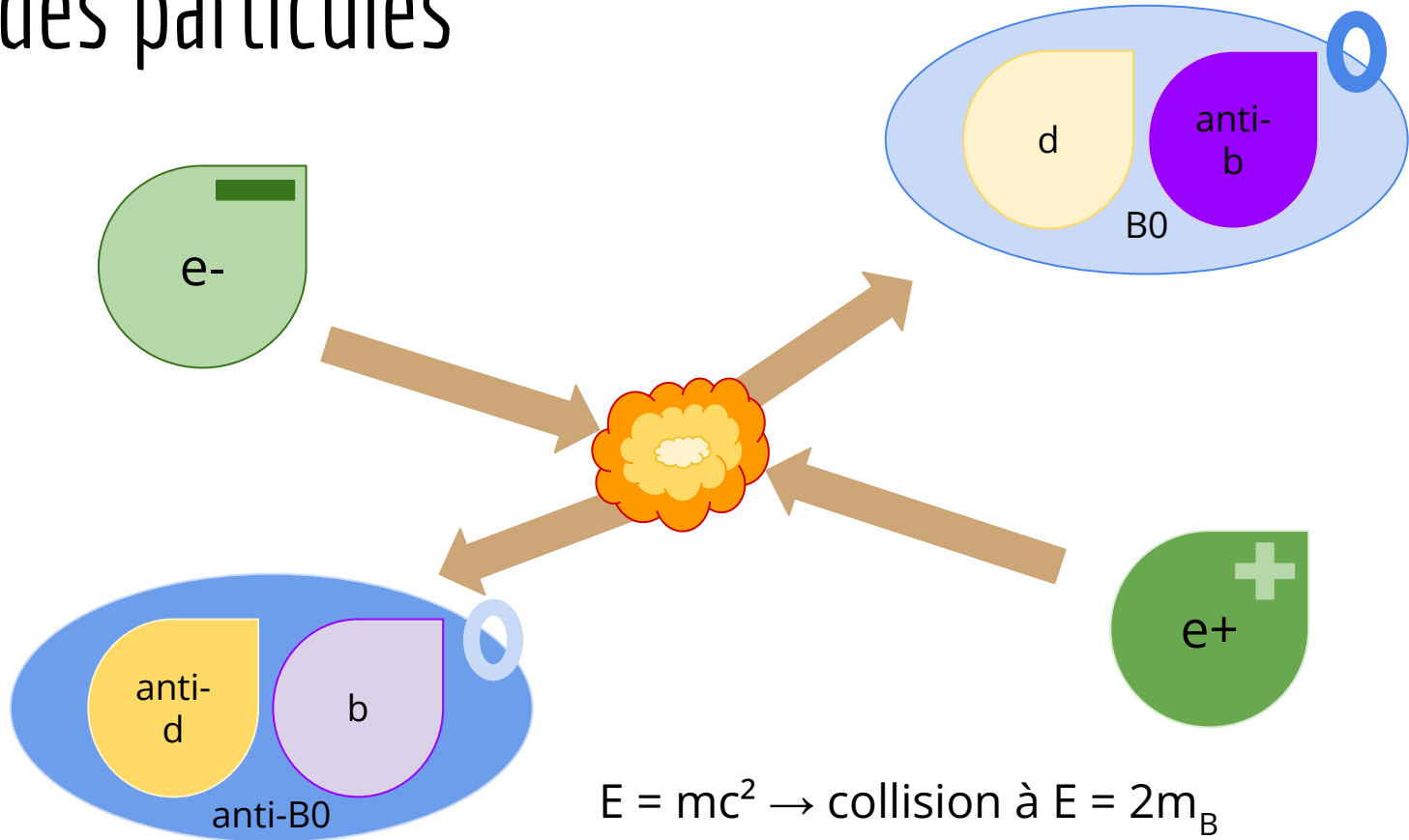


Ou ça

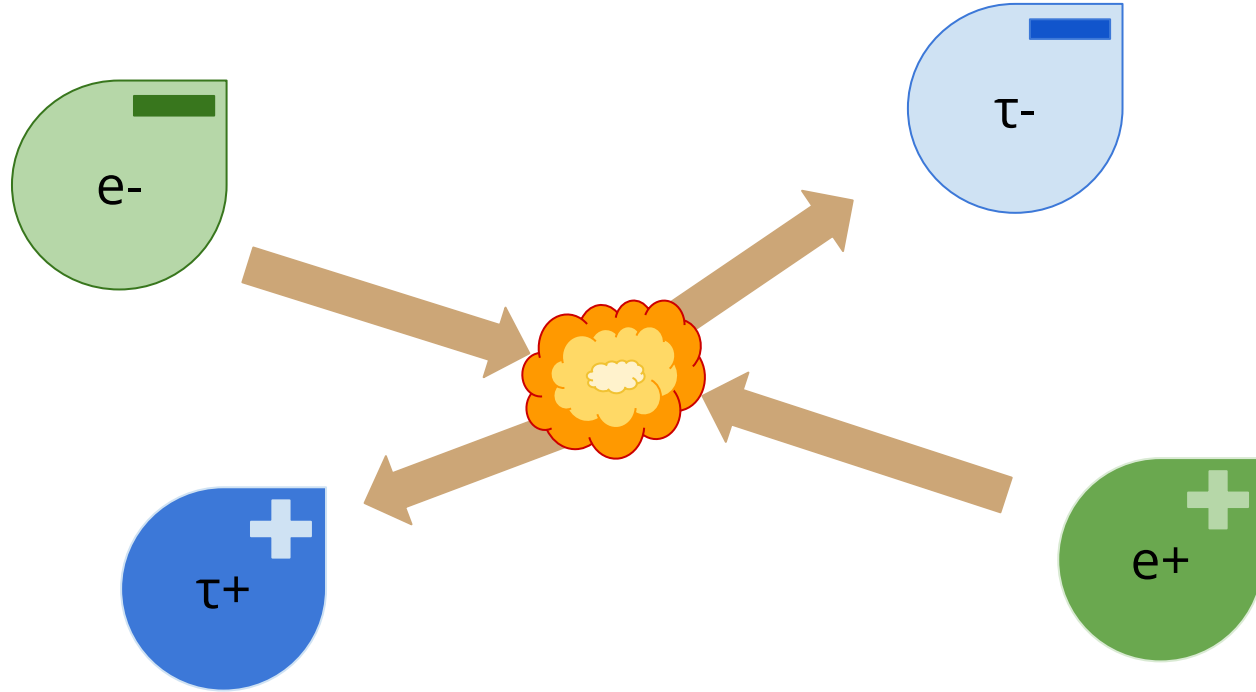
Créer des particules



Créer des particules



Créer des particules



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

Créer des particules

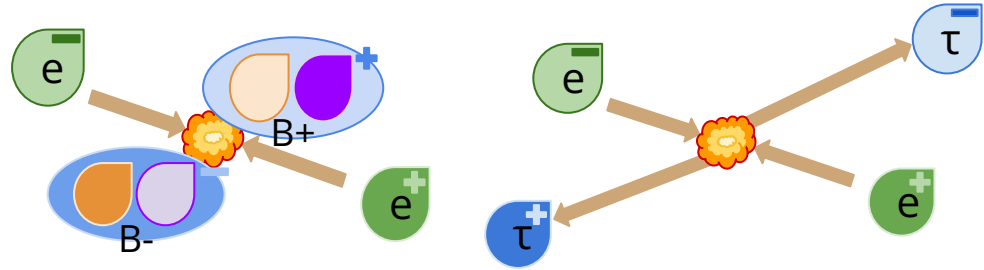
- Les particules produites partent plus ou moins loin selon leur masse

$$E = mc^2 \rightarrow$$

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

$p \propto mv$: quantité de mouvement

- L'énergie restante est convertie en "vitesse"



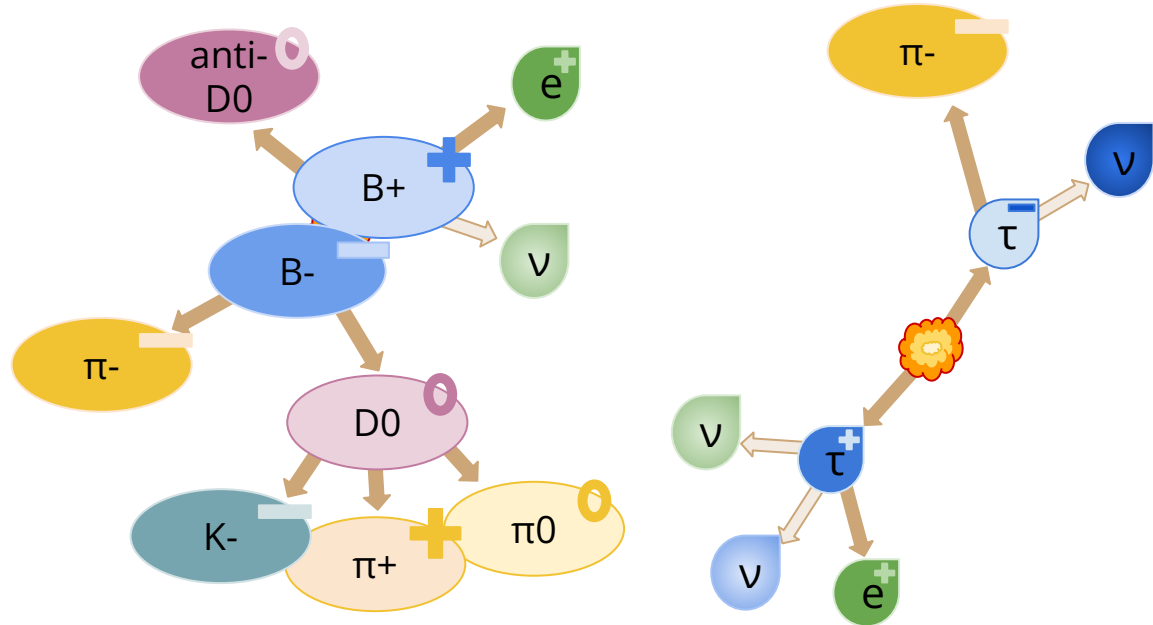
- La collision peut donner différents résultats et on ne peut pas prédire à l'avance ce qu'il va se passer

La vie des particules

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

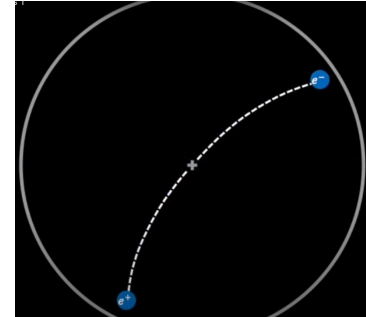
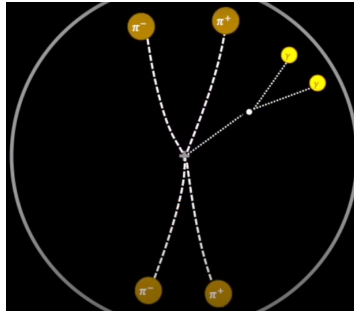
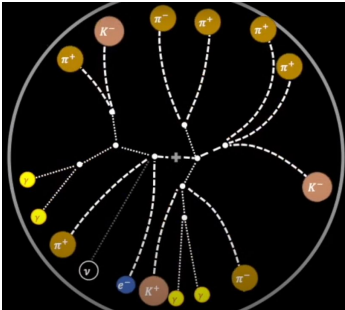
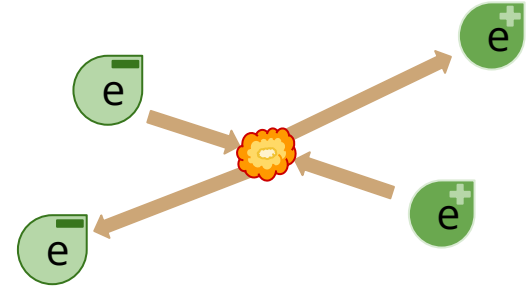
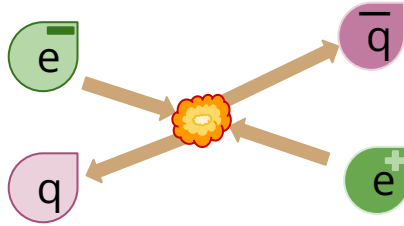
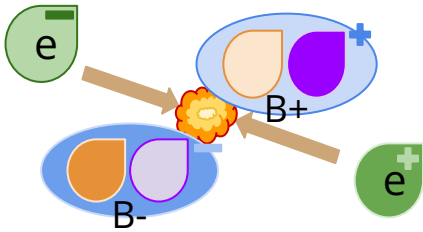
$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$$

$p \propto mv$: quantité de mouvement

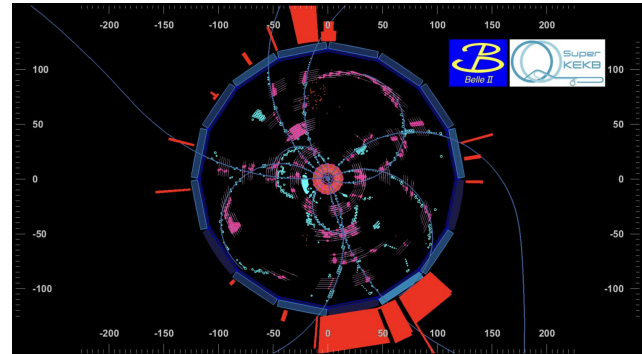
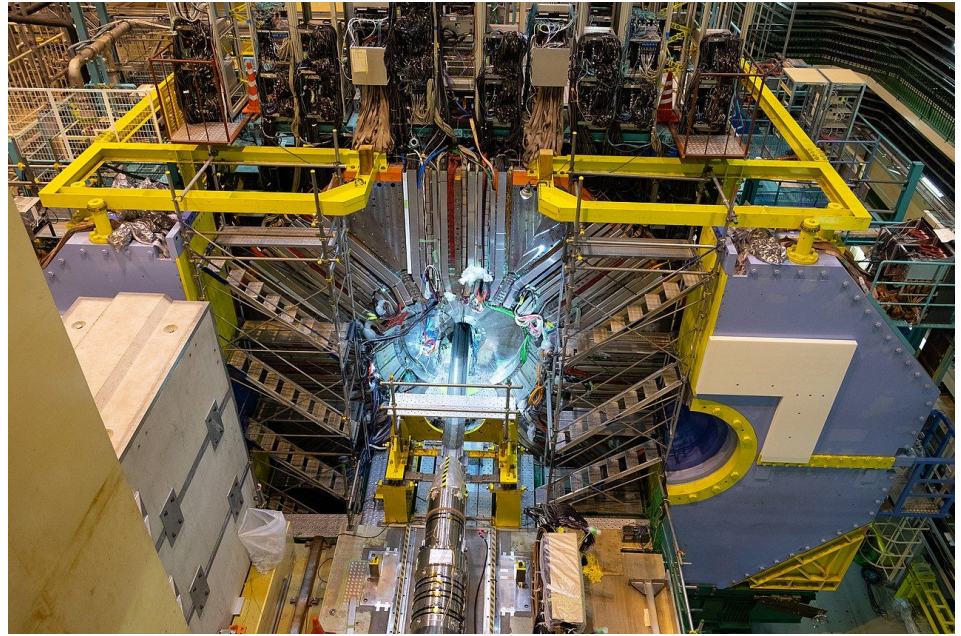
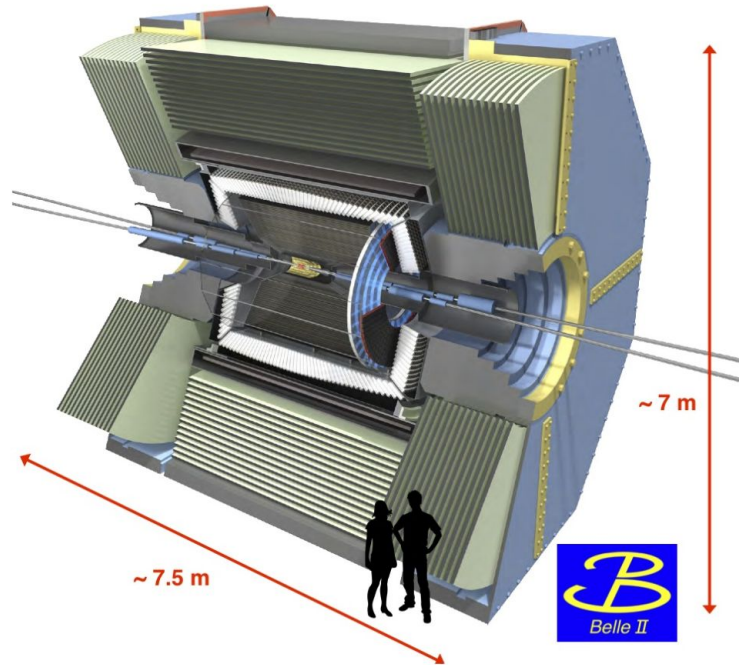


La vie des particules

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

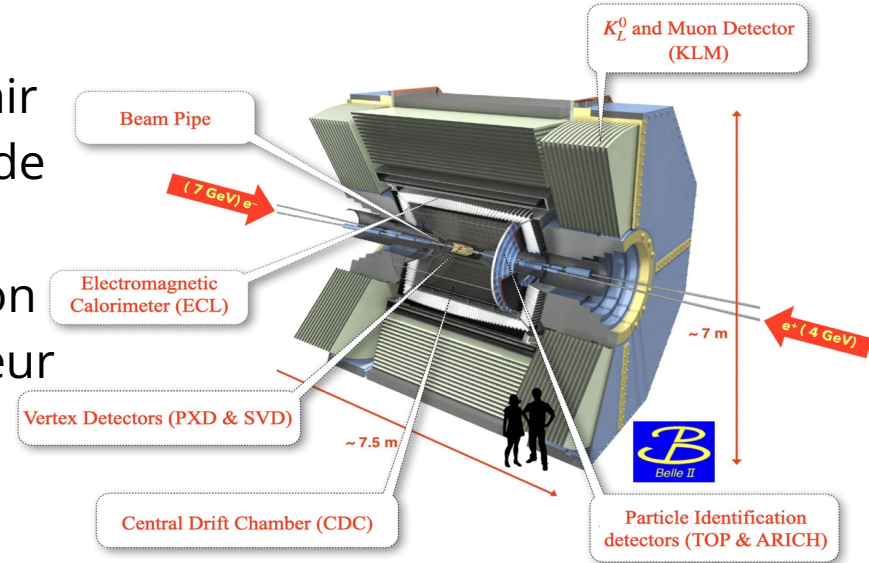
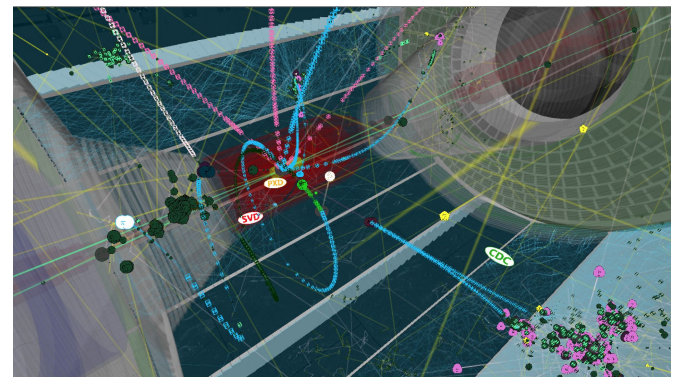


Belle II : Le détecteur

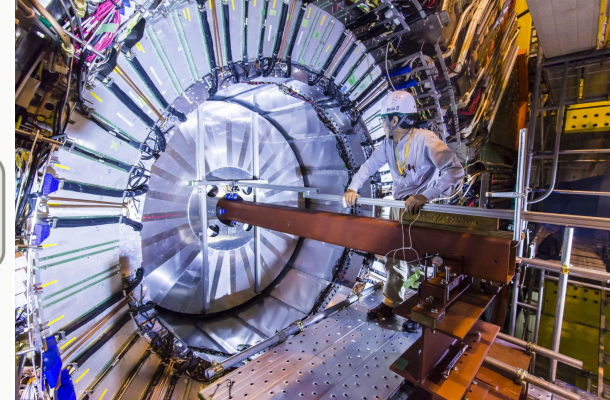
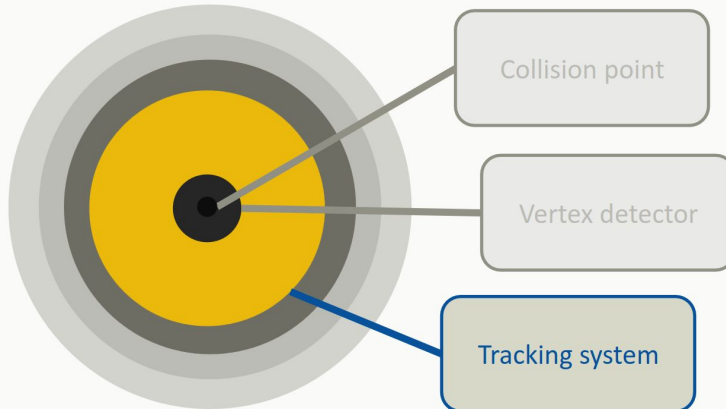
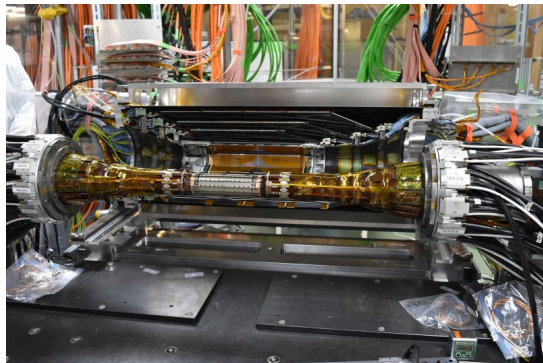
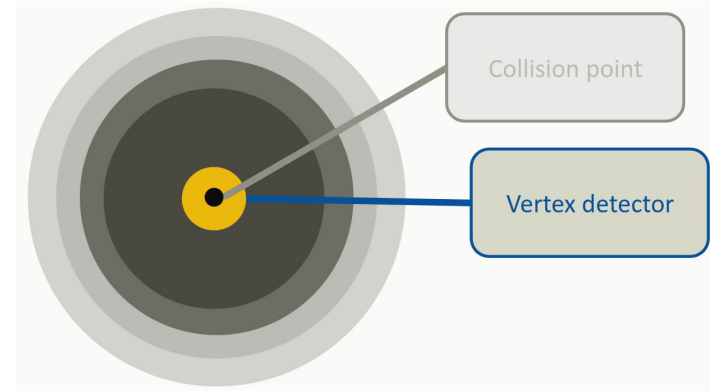
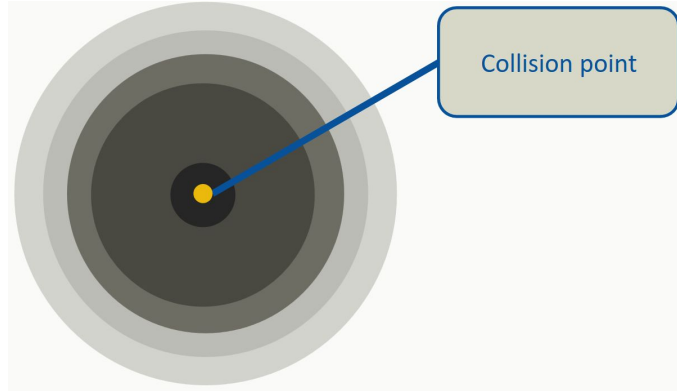


Détecter des particules

- **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

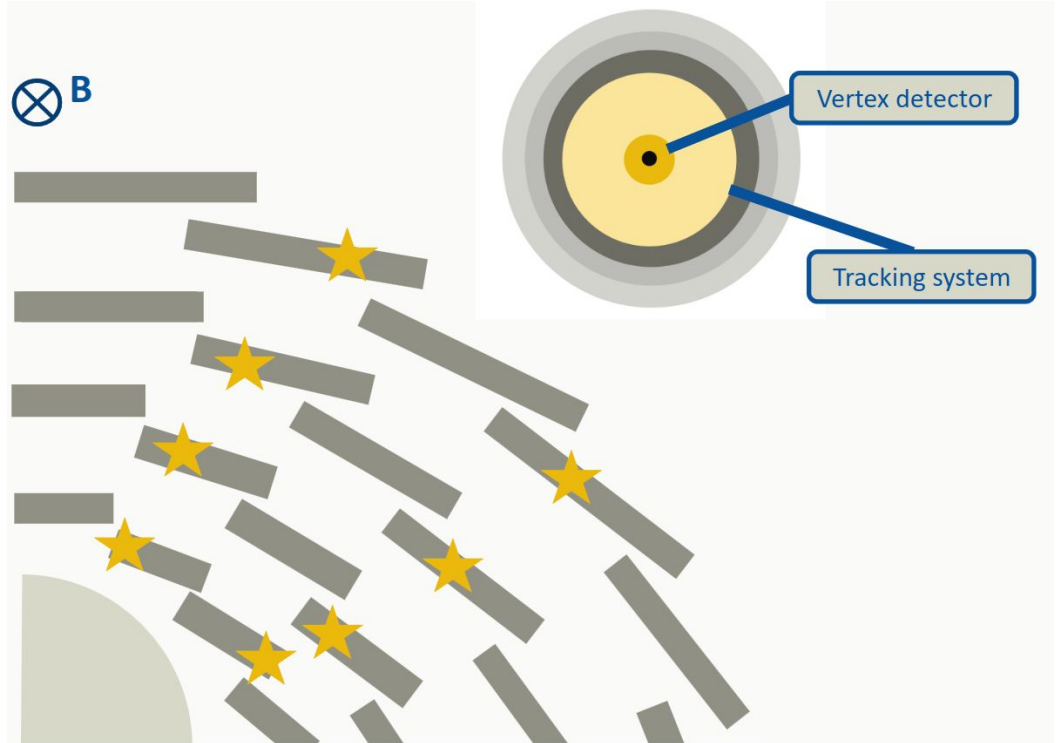


Reconstruire les trajectoires



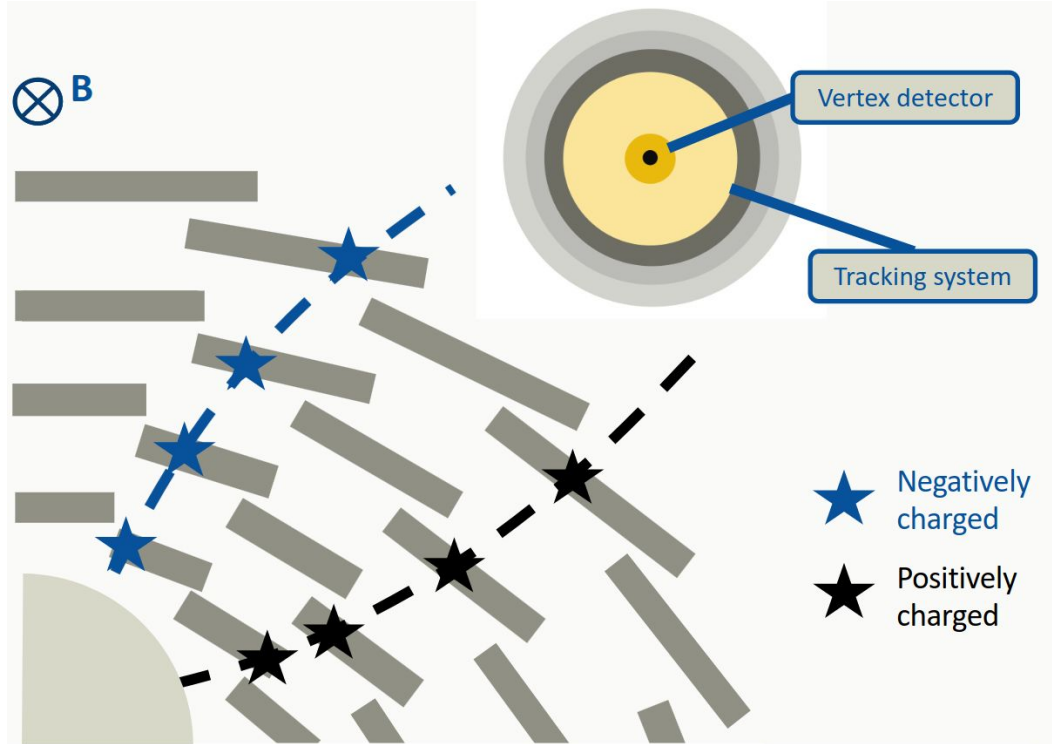
Reconstruire les trajectoires

- Les particules chargées créent des signaux électriques



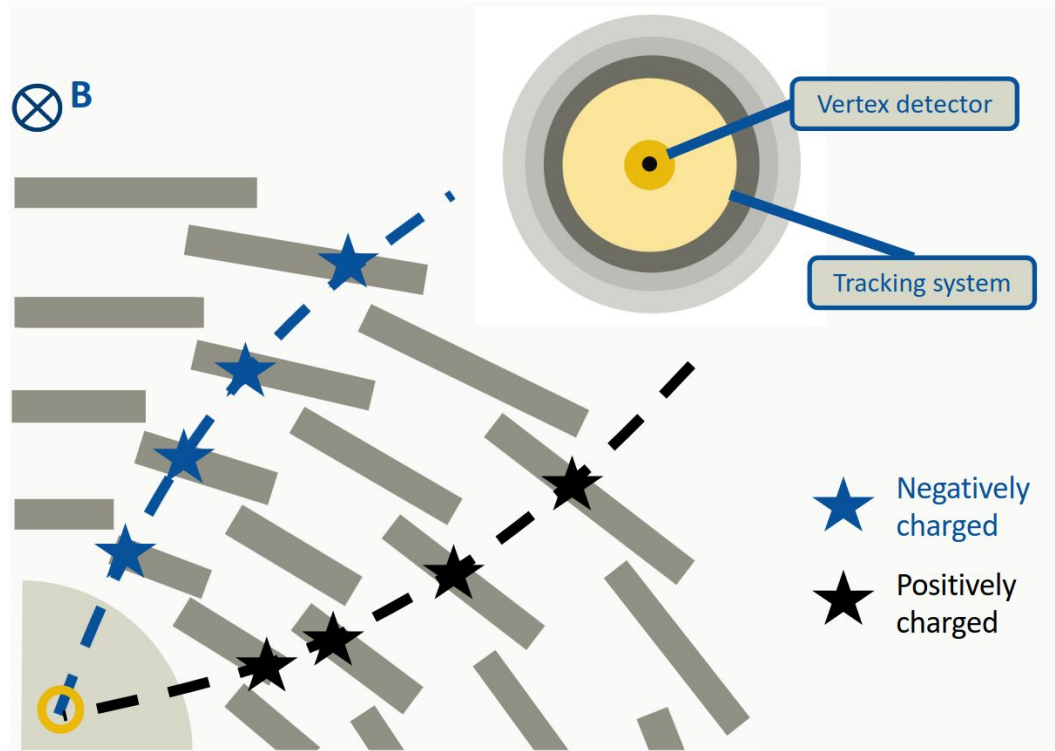
Reconstruire les trajectoires

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

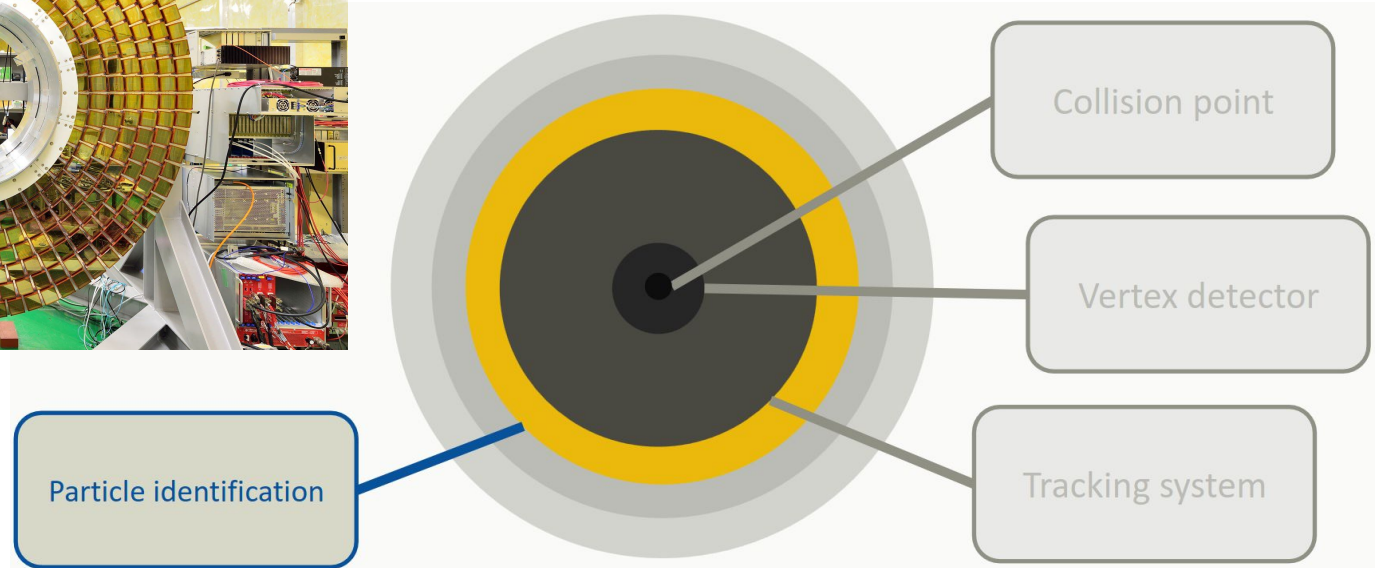
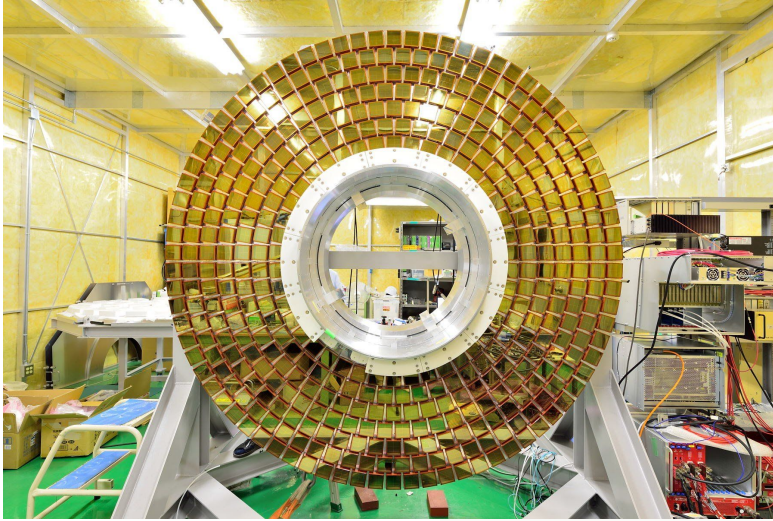


Reconstruire les trajectoires

- 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

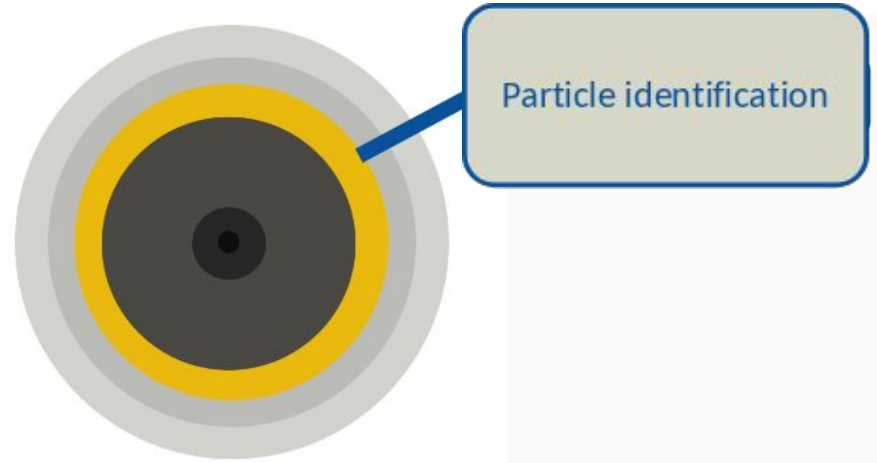


Identifier les particules

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

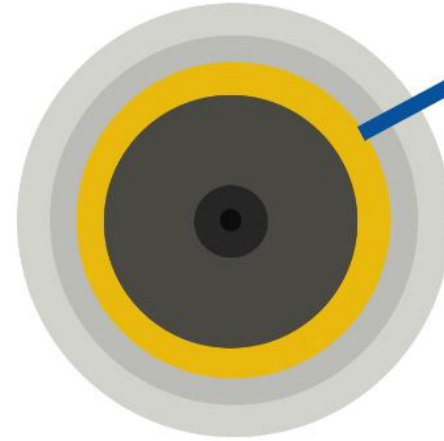
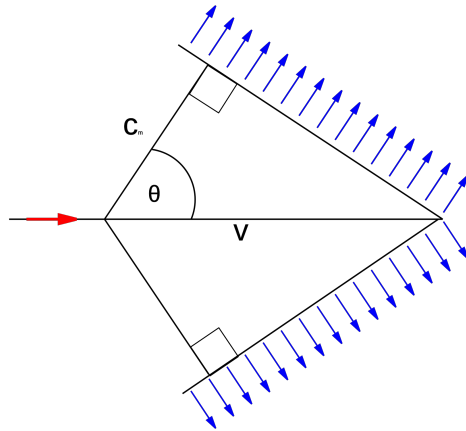
$$p \propto mv$$

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

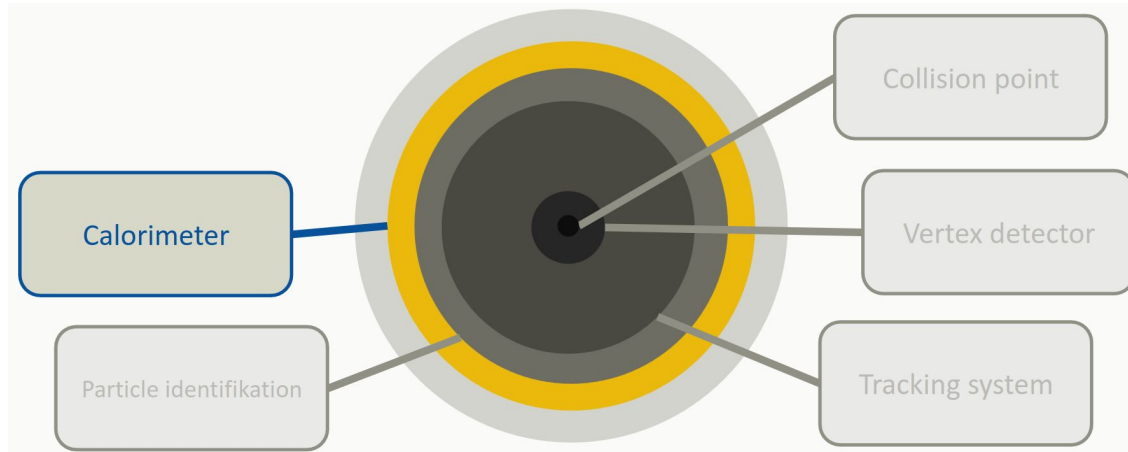


Particle identification

Effet Cherenkov

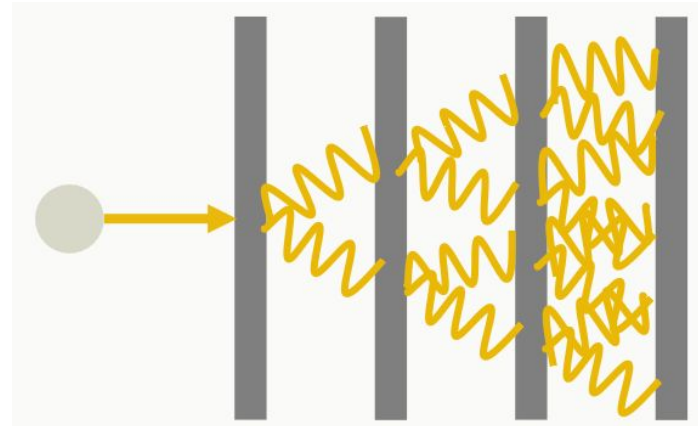
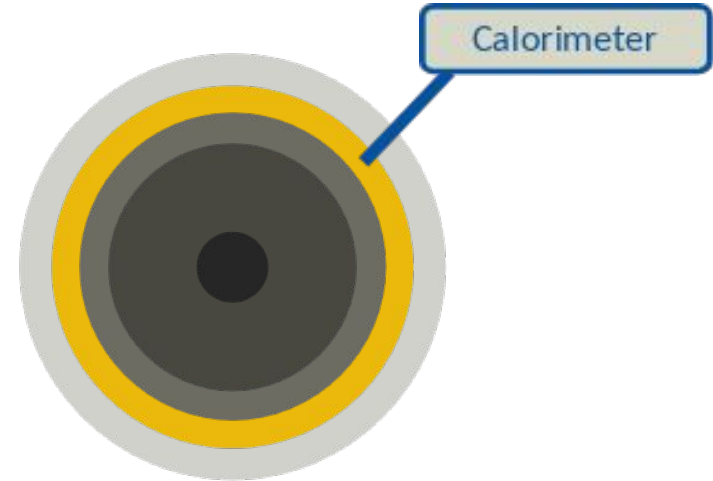
$$\cos \theta = \frac{c_m}{v}$$

Mesurer l'énergie

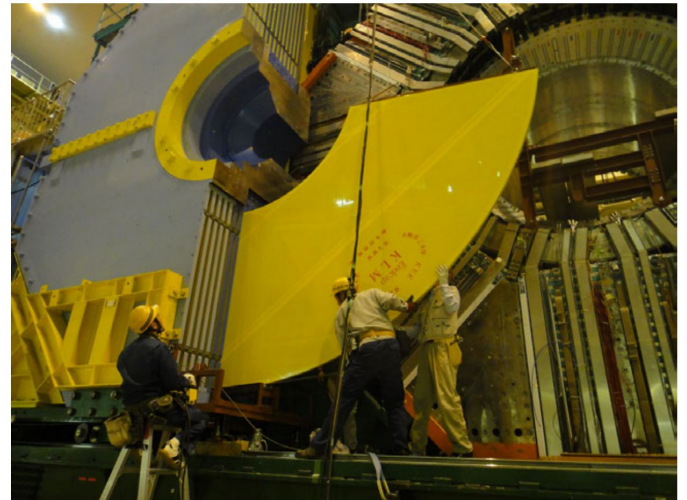
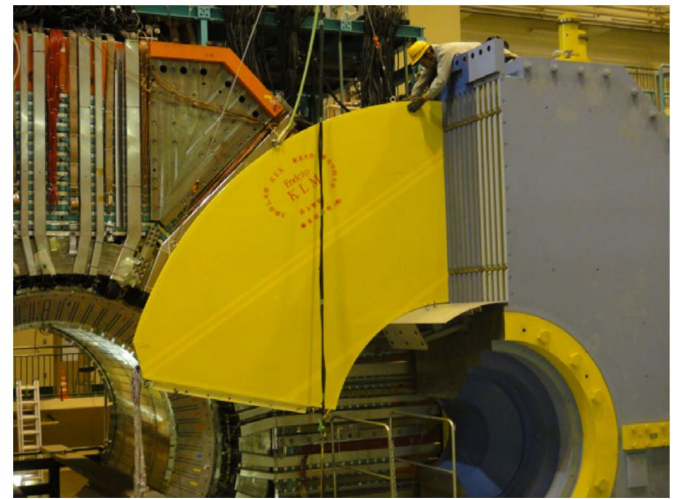
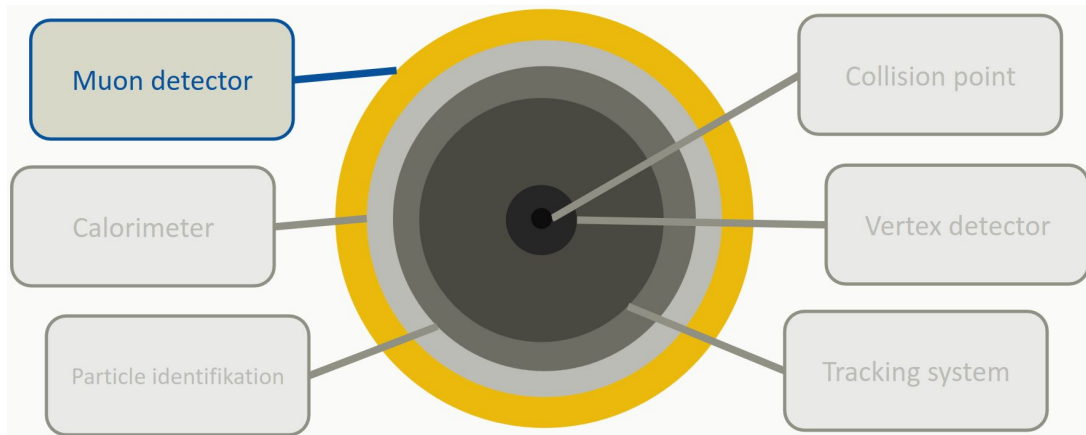


Mesurer l'énergie

- 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

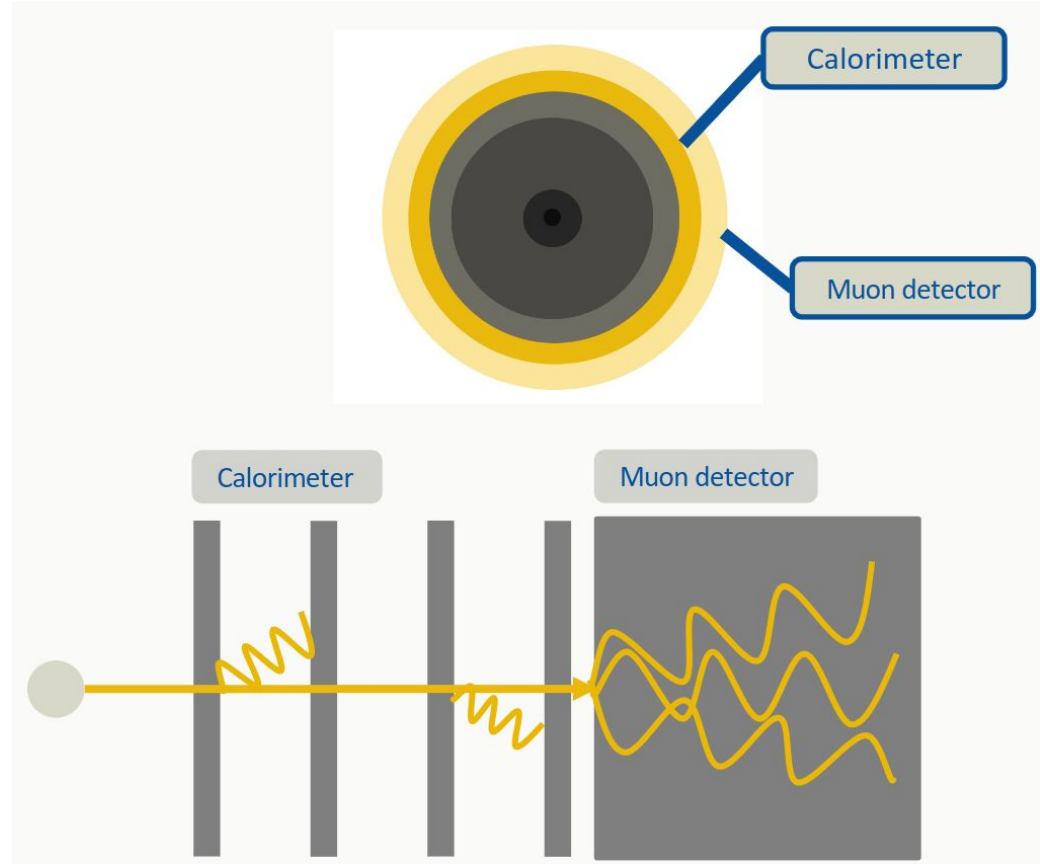
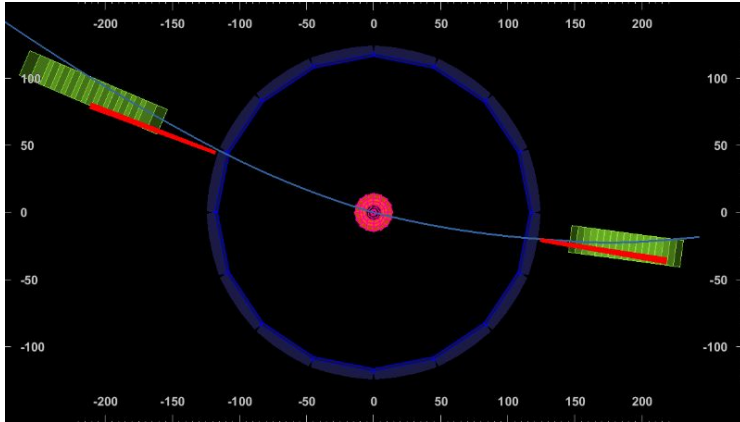


Détecter les muons



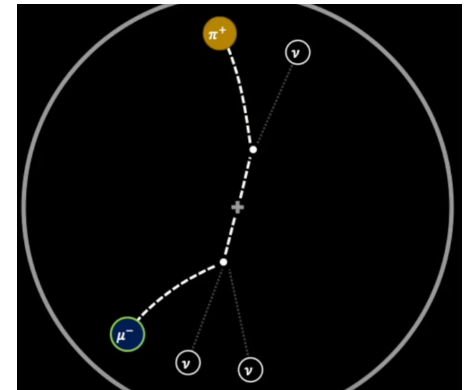
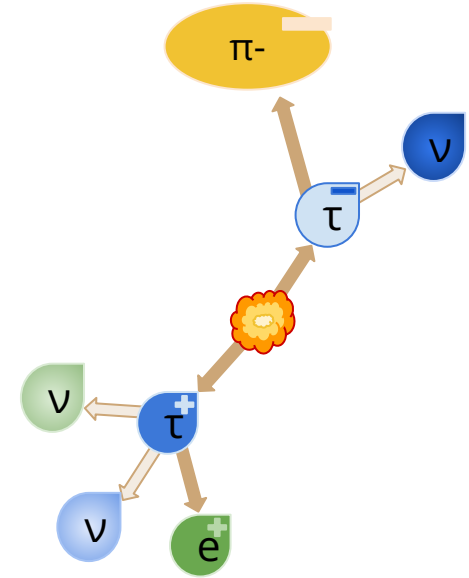
Détecter les muons

- 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

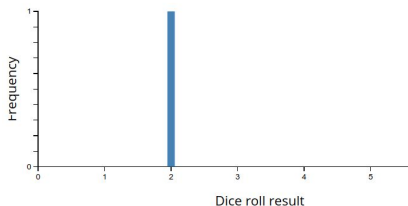


Combiner les informations

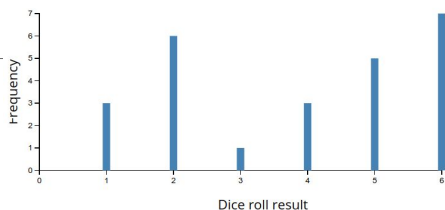
- Collecter tous les signaux
- Reconstituer l'événement : depuis les particules de l'état final, on remonte la chaîne de désintégration
- Recommencer autant de fois que possible
 - Réduire les erreurs et incertitudes de mesure
 - Réduire les fluctuations statistiques



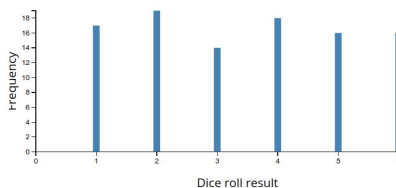
Number of rolls: 1



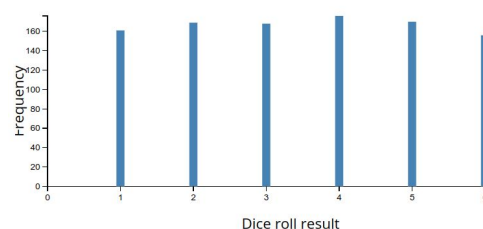
Number of rolls: 25



Number of rolls: 100



Number of rolls: 1000



An aerial photograph of the Belle II superconducting magnet assembly. The large, light blue, cylindrical structure is the main component, with various yellow and blue support structures and piping. A sign with a blue 'B' logo and 'Belle II' is visible on the left side of the main structure. Another sign with 'KEK' is visible below it. To the right, a yellow sign with a red arrow pointing up and the Japanese text '高所作業中' (High-altitude work in progress) is visible. The entire scene is overlaid with a semi-transparent blue filter.

Merci pour votre attention !