



Les autres peuvent vous indiquer la voie, mais vous devez la parcourir vous-même

I. Interaction particule/matière & Conception d'un détecteur

II. Détecteurs de traces & Identification des particules

I. Interaction particule/matière & Conception d'un détecteur

II. Détecteurs de traces & Identification des particules

Introduction

Remarques:

- **Le Diable est dans les détails.** (René Descartes)
- Tout est une question de Vocabulaire..

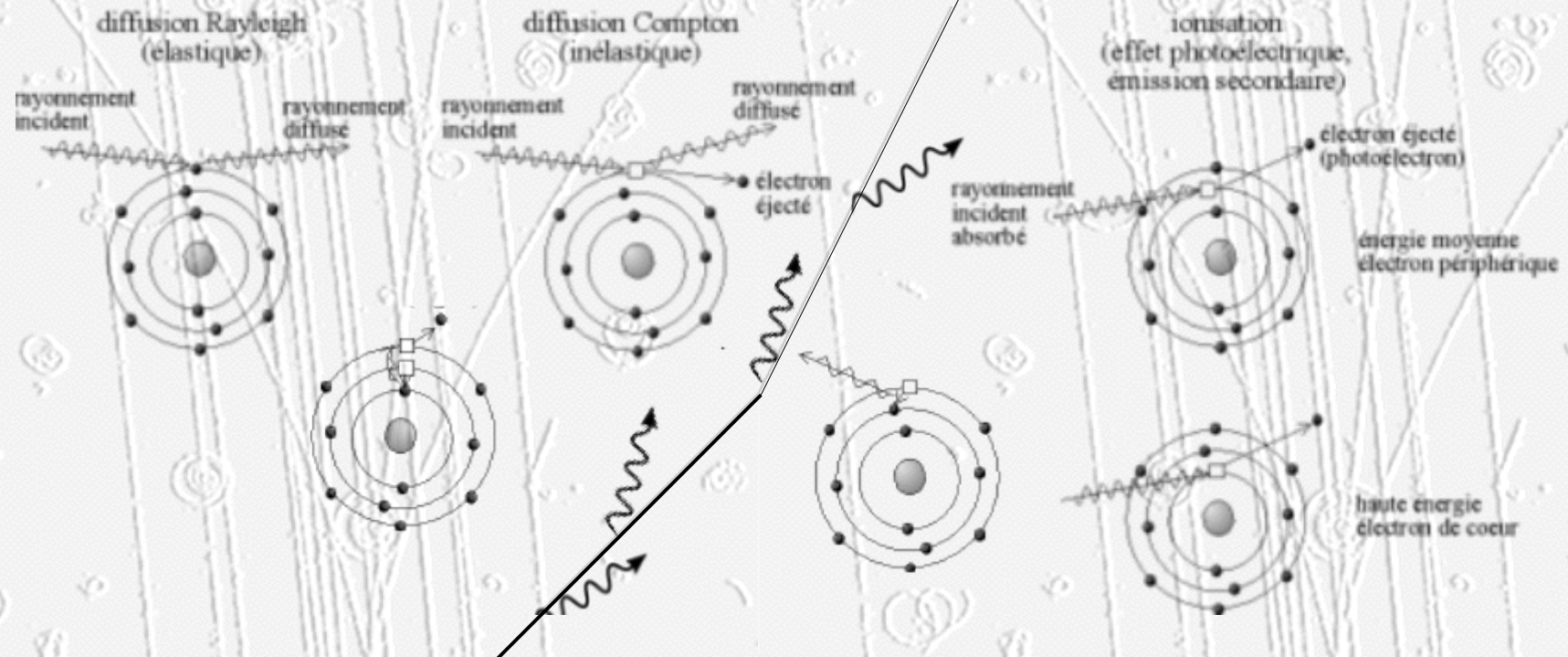
« Une rupture du continuum espace-temps a produit une nouvelle séquence chrono événementielle entraînant l'émergence de cette réalité alternative »
(Retour vers le futur II)



The background of the slide is a complex pattern of particle tracks, likely from a bubble chamber or cloud chamber. These tracks are represented by numerous thin, intersecting lines that form a dense, web-like structure. Interspersed among these lines are various circular and spiral patterns, which represent the interaction points or decay products of particles. The overall appearance is that of a microscopic view of particle interactions.

Interaction particule/matière & Conception d'un détecteur

Interaction particule/matière (rappels)



Trajectoire d'une particule chargée

Voir le cours de [P.Puzo](#)

<http://www.in2p3.fr/actions/formation/PhyAuDet10/Puzo.pdf>

Interactions particules-matière

Particules détectable directement

- Photon, électron, muon, Hadron($k, \pi, p, n, \lambda \dots$)

Matière du détecteur

- Atome (noyaux et électron)

Interaction fonction de

- Charge, masse, énergie, ... de la particule
- A, Z des noyaux... de la matière

Remarque: on lit (ou on parle) de collision, ce terme peut être mal interprété (ce n'est pas de la pétanque..)

Interaction est plus juste.

Interactions particules-matière

Interactions

- Interaction électromagnétique
 - Atome :
 - Excitation ou ionisation des électrons
 - Diffusion élastique ou inélastique (=> diffusion multiple)
 - Production de paires e^+/e^- (aussi γ)
 - Rayonnent: Bremsstrahlung, Transition, Cherenkov
 - γ : Compton, Photoélectrique (voir cours Calo)
- Interaction Forte
 - Hadrons $E > \text{GeV}$ (?)
- Interaction Faible
 - Négligeable excepté pour les neutrino
 - indirectement (muon => Cherenkov)
- Interaction Gravitationnelle
 - Négligeable (sauf pour...)



Interactions particules-matière

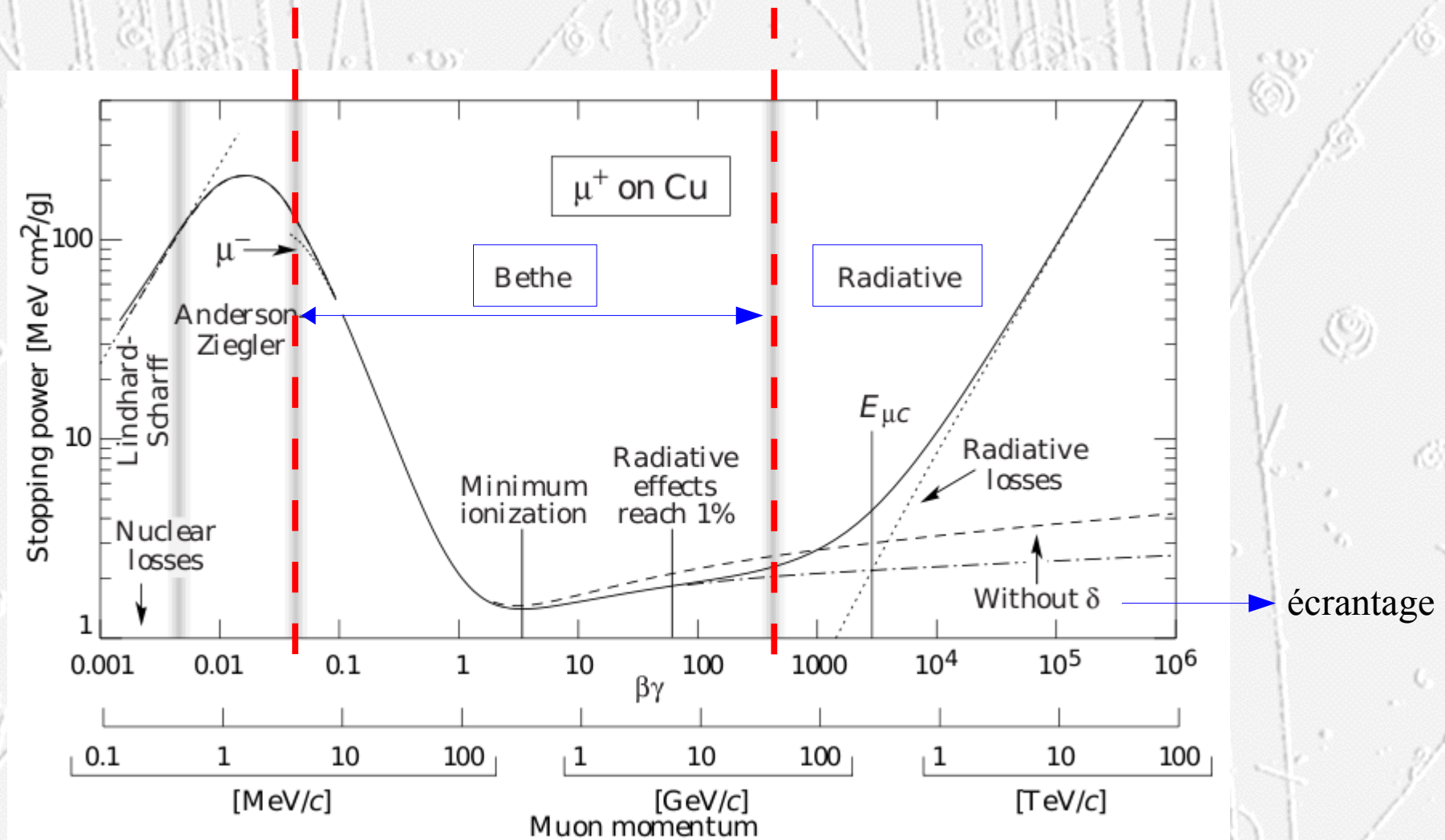
Particules sont détectées à travers leurs interactions avec la matière du détecteur

- Ionisation (dE/dx)
- Bremsstrahlung
- Effet Cherenkov
- Rayonnement de Transition

- Effets perturbants la mesure
 - Fluctuations de Landau
 - Diffusion multiple
 - Création de pair (e^+/e^-)

Interactions particules-matière

PDG 2010 : 27. Passage of particles through matter fig 27.1



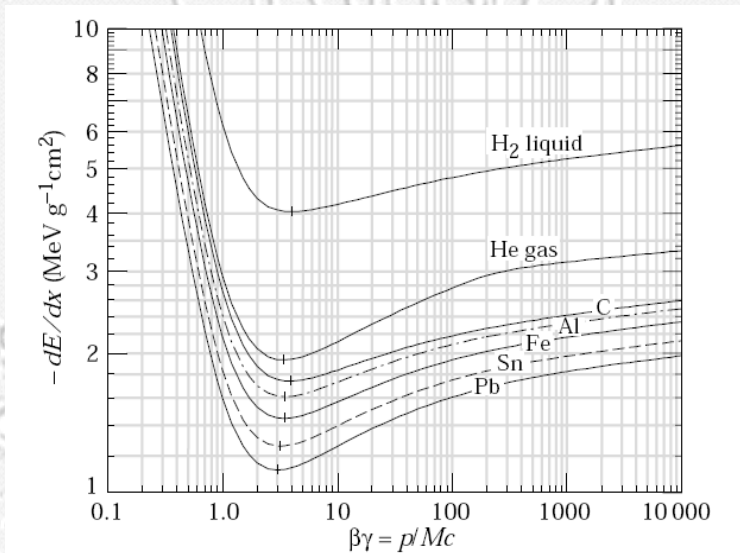
Interactions particules-matière

Formule de Bethe-Bloch (PDG 2010)

$$-\frac{dE}{dx} = K z^2 \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{max}}{I^2} - \beta^2 - \frac{\delta(\beta\gamma)}{2} \right] \propto \frac{1}{\beta^2} \ln(\beta^2 \gamma^2)$$

Avec : $\frac{K}{A} = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 / A = 0.307075 \text{ MeV g}^{-1} \text{cm}^2$, for $A = 1 \text{ g mol}^{-1}$

$$T_{max} = \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2}{1 + 2\gamma m_e / M + (m_e / M)^2}$$



A, Z : Masse & Numéro atomique de la matière du détecteur

N : nombre d'atome par unité de volume

Z : Numéro atomique de la particule incidente

I : constant Ionisation ($I=16Z^{0.9} \text{ eV } Z>1$)

T_{max} : Énergie de transfert maximum dans une collision

m_e : masse de l'électron

N_A : nombre d'Avogadro

$\delta(\beta\gamma)$: effet de densité (écranage) correction à l'énergie perdue
x densité de surface (g/cm^2)

remarque : on mesure ΔE sur Δx

dE/dx est en $\text{MeV cm}^2/\text{g}$

Remarques: **Hans Bethe** calcul (non- et relativiste) LO
Felix Bloch corrections d'ordre supérieur
Enrico Fermi Ecranage

Formule ok $\sim \text{MeV} \rightarrow \sim \text{TeV}$, [entre crochet] légèrement différente pour les $e^-/+$

Interactions particules-matière

Il existe une énergie critique E_c

- différente selon les particules (e , μ , γ)
- $E_{c\gamma} \sim 1 \text{ MeV}$ E_{ce} de $\sim 10 \text{ MeV}$ à 300 MeV , $E_{c\mu} > 100 \text{ GeV}$
- Au dessous de E_c les pertes d'énergie des particules chargées (e , μ) se font par ionisation -formule de Bethe-Bloch
- Au dessus de E_c les pertes d'énergie se font par rayonnement :

Processus : $\gamma \rightarrow e + e^-$, $e+/- \rightarrow e +/- \gamma$

- caractérisées par une longueur de radiation : X_0

Hadrons perdent de l'énergie par Bethe-Bloch et par interactions fortes

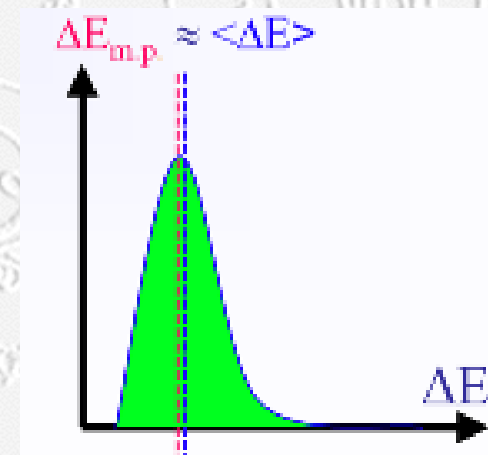
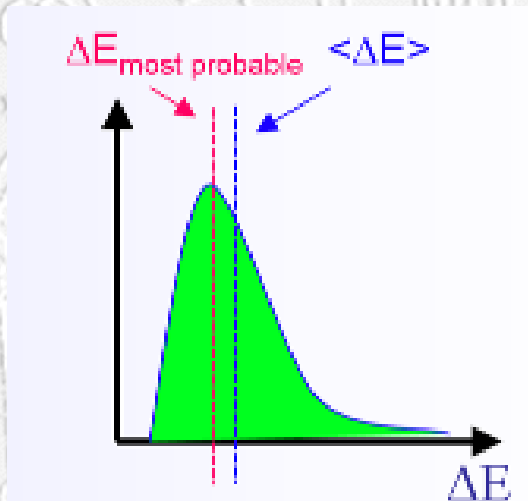
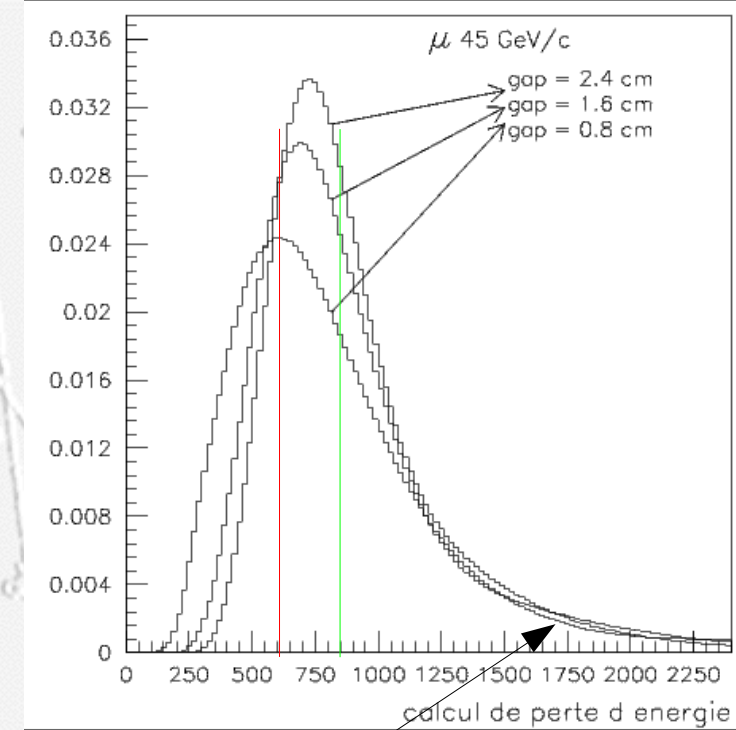
- longueur d'interaction λ (+ grande que X_0 au delà de $Z > 6$)

Interactions particules-matière

Perturbation de la mesure (physique)

- Fluctuation de Landau

- Effet de échantillonnage
- Valeur la plus probable vs moyenne
 - Épaisseur fine: ~égalité (Théorème central limite)
- Grande Fluctuation : queues de Landau (δ ray)



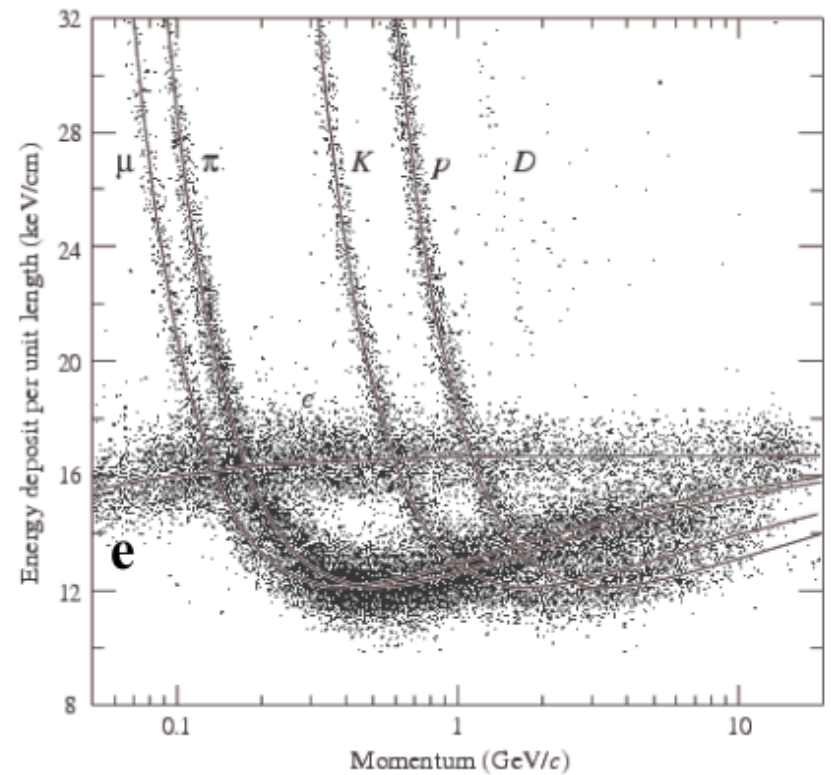
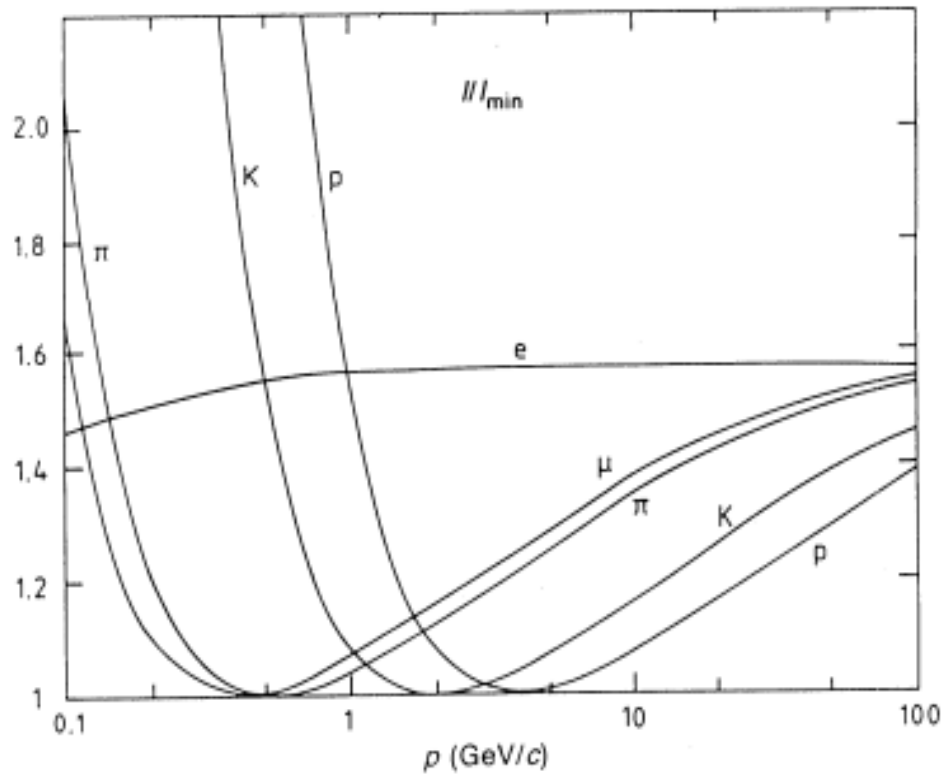
Interactions particules-matière

$$p = \gamma M \beta c$$

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{1}{\beta^2} \ln(\beta^2 \gamma^2)$$

Calcul

Réalité



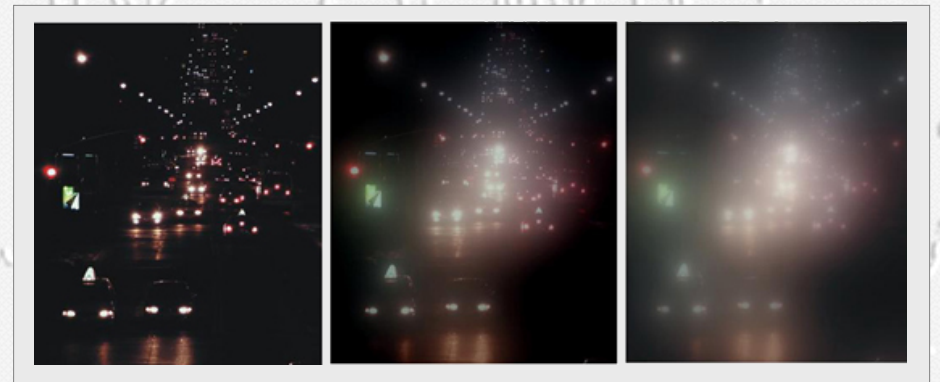
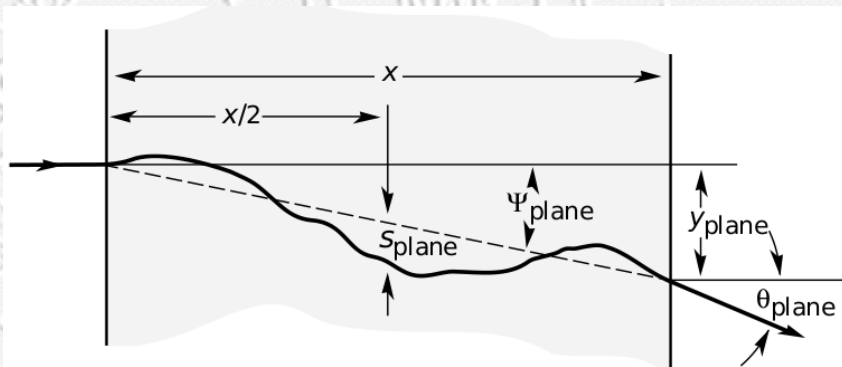
←→
Gamme d'énergie : ~0.1-->~10 GeV

Interactions particules-matière

En traversant de la matière les particules chargées subissent de la diffusion Coulombienne

- Diffusion multiple : **perturbation la détection**
 - Déflexion de la trajectoire de la particule par le milieu
 - Minimiser la matière pour le trajectographe

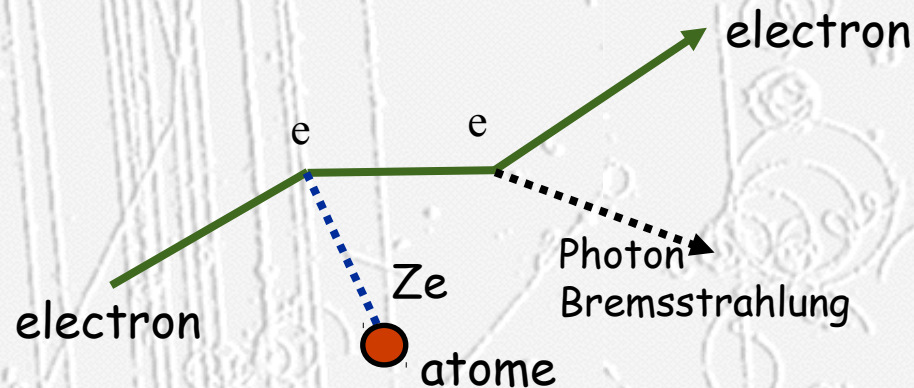
$$\theta_0 = \frac{13.6 \text{ MeV}}{\beta c p} z \sqrt{x/X_0} \left[1 + 0.038 \ln(x/X_0) \right]$$



Interactions particules-matière

Bremsstrahlung

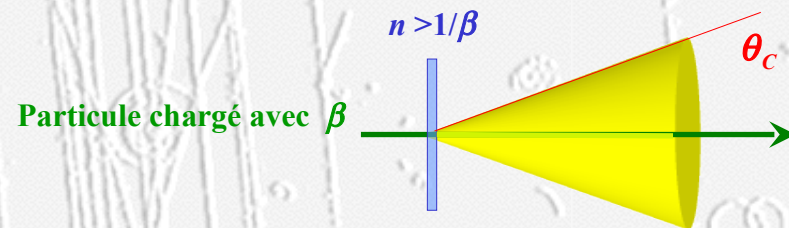
- Interaction avec le champ électrique des atome
- Mécanisme principale de perte d'énergie pour les électrons (>10 MeV)
- Les particules chargés sont accélérées ou décélérées par le champ électrique de l'Atome et donc produisent un rayonnement
 - Important pour les électrons, >100 GeV pour les muons



Interactions particules-matière

Effet Cherenkov

- Particule relativiste chargée traversant un milieu d'indice de refraction $n > 1/\beta$
Émettra une radiation Cherenkov tangent à cône d'angle θ_c autour de la trace: $\cos \theta_c = (n\beta)^{-1}$
- Relativiste signifie que la particule se déplace plus vite que la lumière dans le milieu



Interactions particules-matière

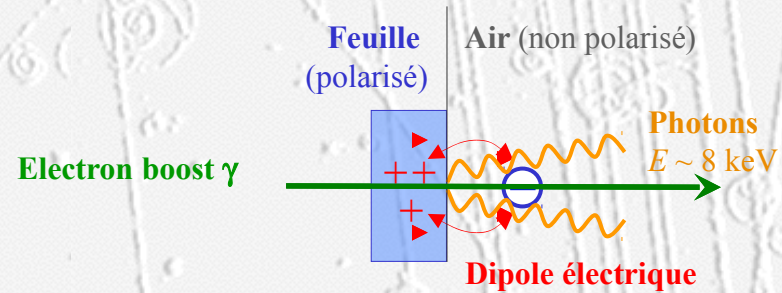
Rayonnement de transition

- Particule chargée change de milieu
 - Discontinuité de l'indice de réfraction
 - Émission de photons (\sim KeV) à la frontière entre les milieux
 - Nombre de photons croient avec le nombre de Transitions
 - Compromis à trouver avec l'absorbtion
 - Rayonnement de transition + dE/dx
- En pratique
 - Identifie les électrons contre le reste du monde

Interactions particules-matière

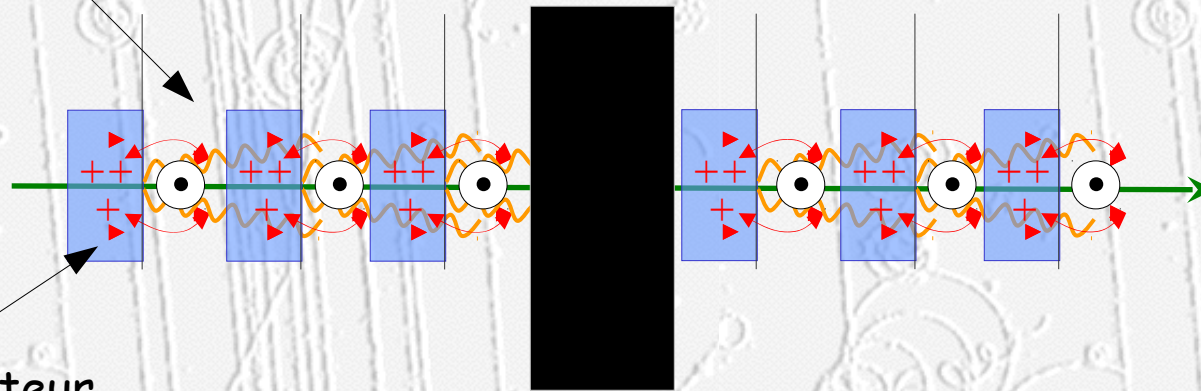
Rayonnement de transition

- Schéma de principe



Radiation si $\gamma > 1000$ & > 100 transitions

Détecteur



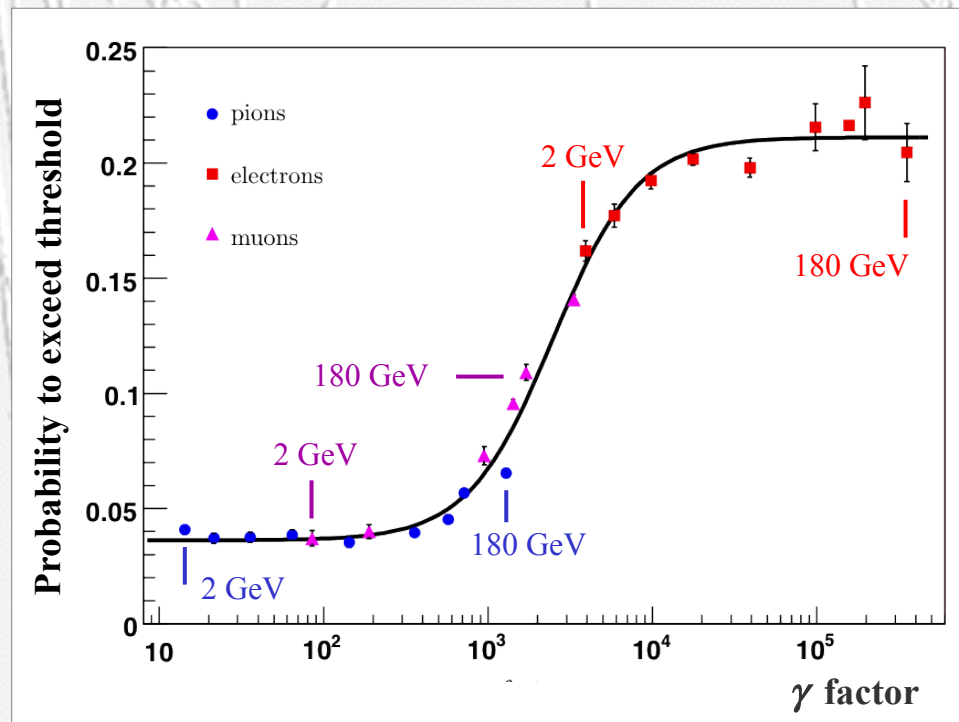
support :

tous les photons de RT sont absorbés

Interactions particules-matière

Rayonnement de transition

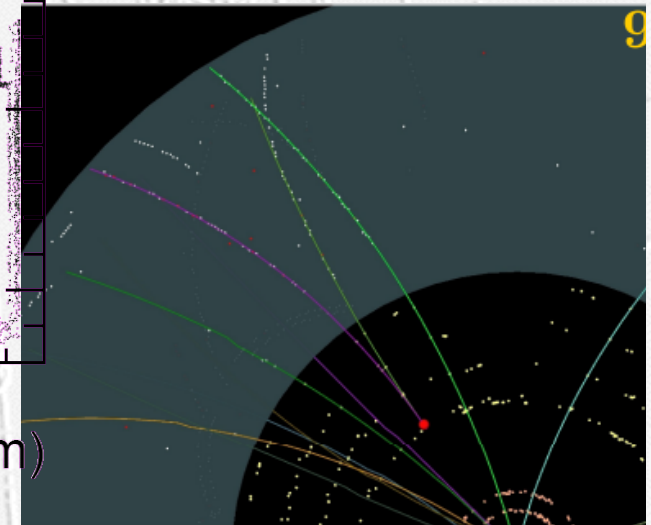
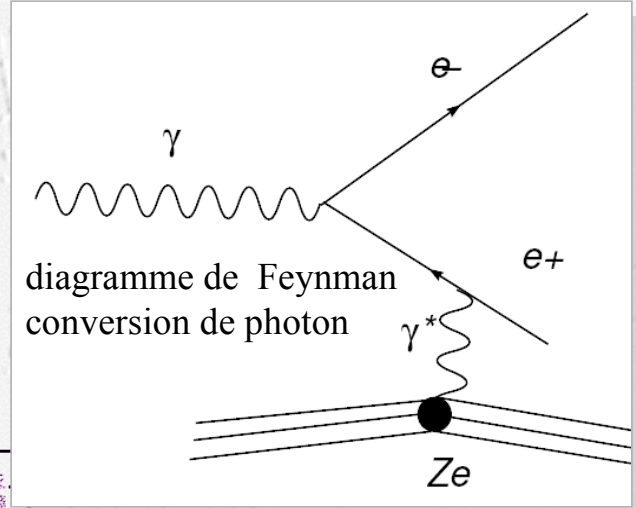
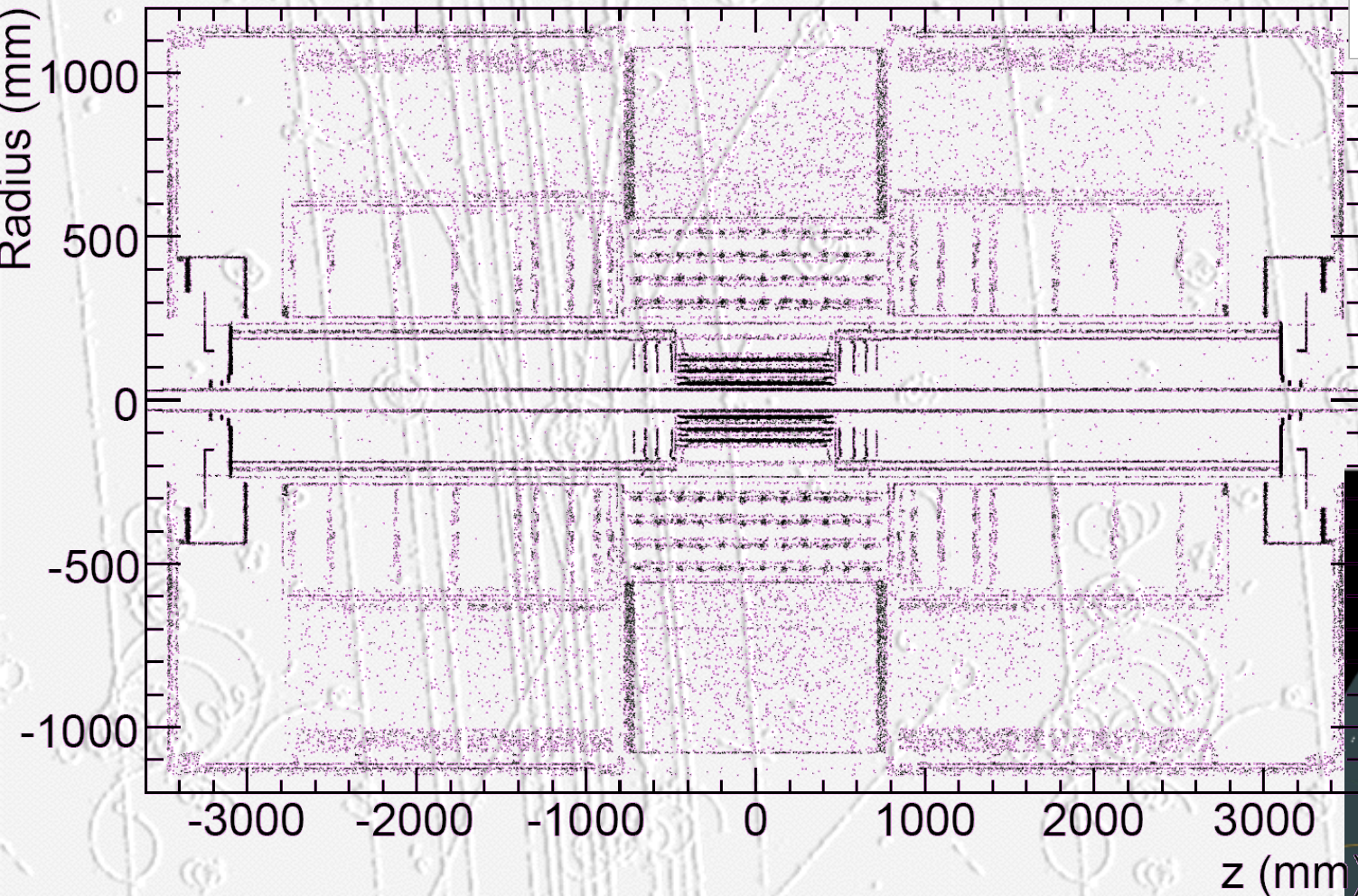
- Exemple : Atlas TRT test beam



Interactions particules-matière

Conversions

- Perturbations & Outils



The background of the slide is a complex pattern of particle tracks, likely from a bubble chamber or cloud chamber. These tracks are represented by numerous thin, intersecting lines that form a dense, web-like structure. Scattered throughout this network are various circular and spiral patterns, which represent the interaction points or decay products of particles. The overall appearance is that of a microscopic view of particle interactions.

Interaction particule/matière
&
Conception d'un détecteur