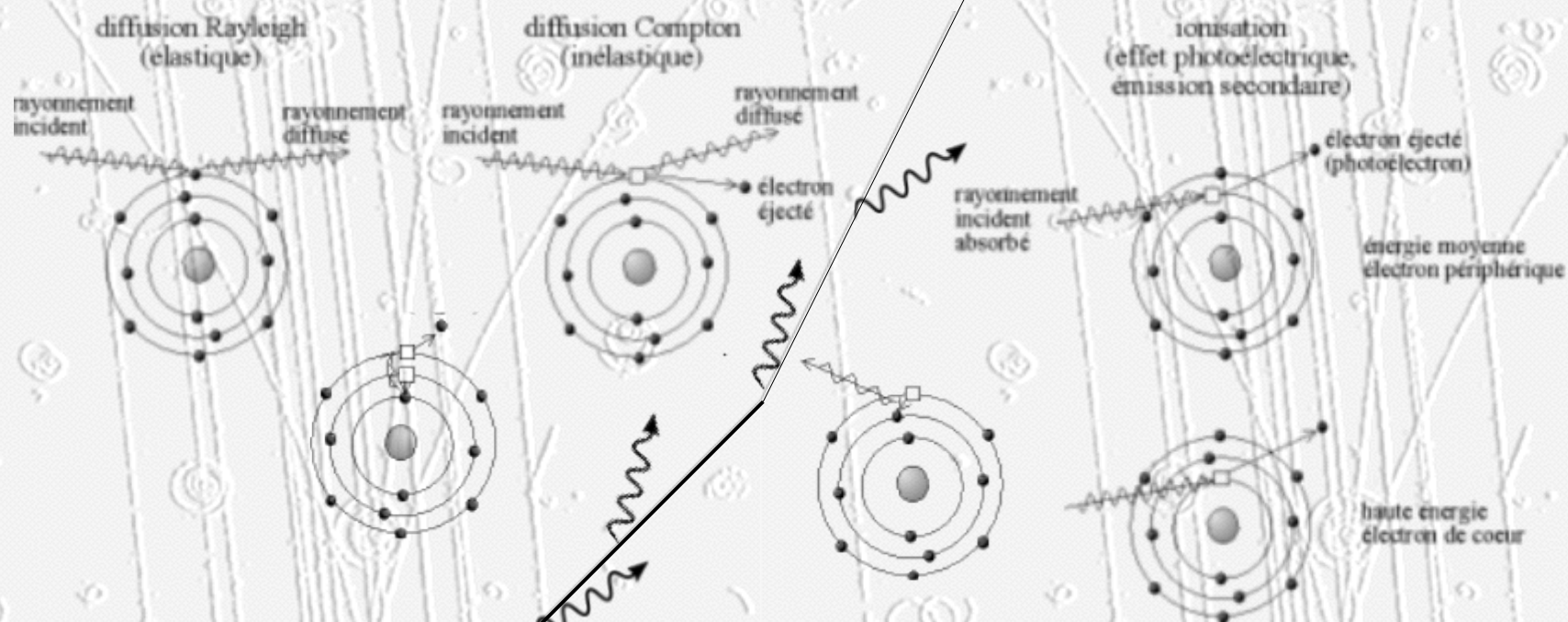


Conception d'un détecteur

0. Rappel hier
1. Introduction
2. Généralités
3. Détecteurs



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 sont détectées à travers leurs interactions avec la matière du détecteur

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

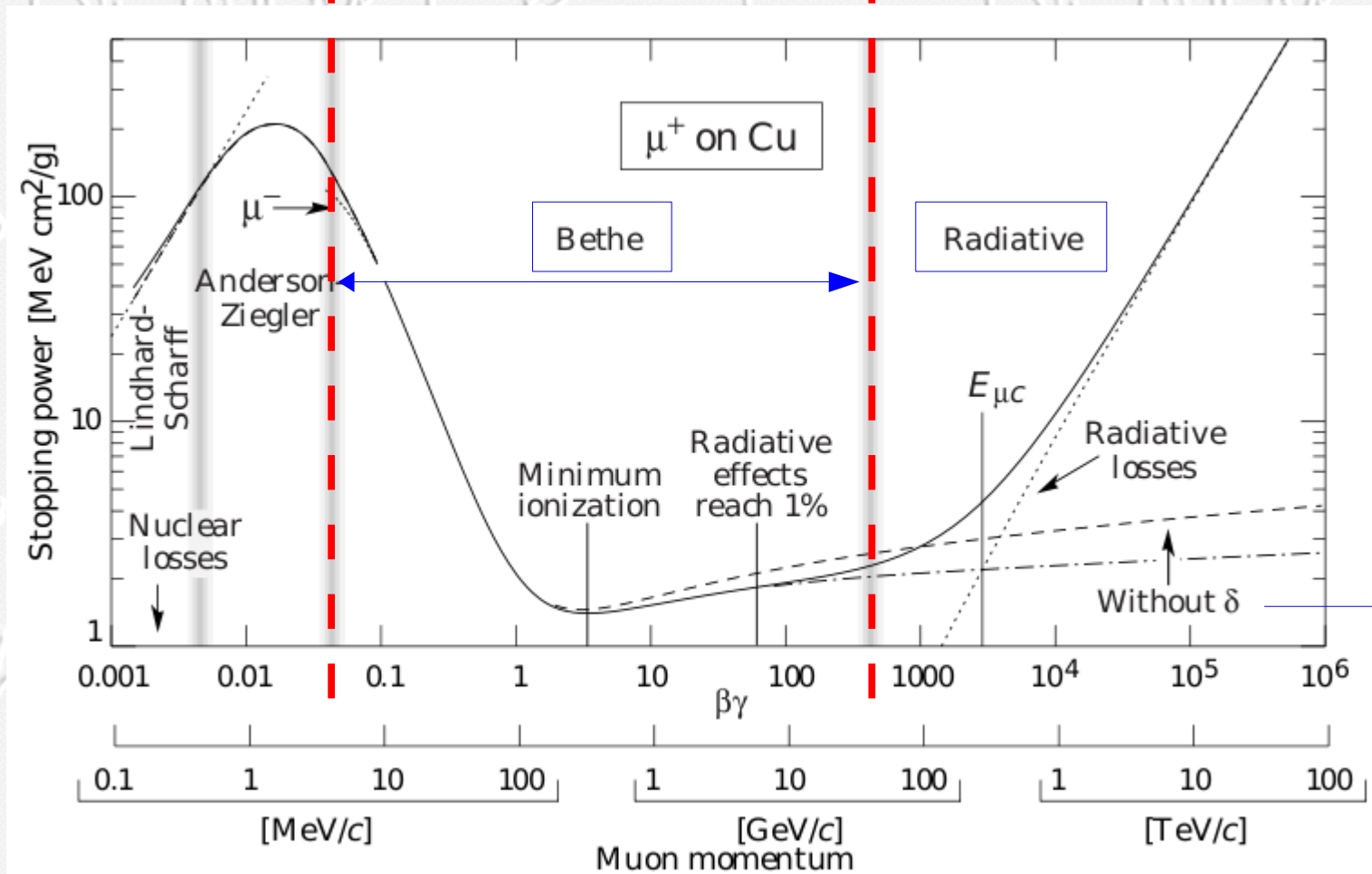
- Effets perturbants la mesure
 - Fluctuations de Landau
 - Diffusion multiple
 - Création de pair (e^+/e^-)

Interactions particules-matière

Formule de Bethe-Bloch (PDG 2010)

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

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



1.Introduction

Biais principal : les expériences auxquels j'ai participé

- Au près de collisionneur
 - LHC (**Atlas**, CMS...), Fermilab (CDF, **D0**) , LEP (**Delphi**, Aleph,...)

les expériences auxquels j'aurai pu (du?) participer

- Hors accélérateur
 - Super Kamiokande, Antares...
- Espace
 - Détecteur embarqué i.e. : AMS2

Les Trucs dont je ne dirai rien (à tort!)

- Médical
 - Scanner, IRM, PetScan, hadron thérapie ...
- Industriel
 - Scan conteneurs...

Conception d'un détecteur

1. Introduction
2. Généralités
3. Détecteurs

2. Généralités

Définition

- Appareil destiné à déceler la présence d'un **phénomène** et éventuellement à la **mesurer**
- Un détecteur est un dispositif technique (instrument, substance, matière) qui **change d'état en présence de l'élément ou de la situation pour lequel il a été spécifiquement conçu**.
Des fonctions supplémentaires peuvent apporter des précisions **qualitatives ou quantitatives** sur la nature du phénomène observé

2. Généralités

Exemples simples:

- Sable (trace) :
 - Principe du détecteur de « trace »
 - Mesure qualitative & quantitative
- Œil (détecteur):
 - Sympa, facile à utiliser
 - Gamme d'énergie limité
 - Difficulté de récupérer l'information



L'œil était dans la tombe



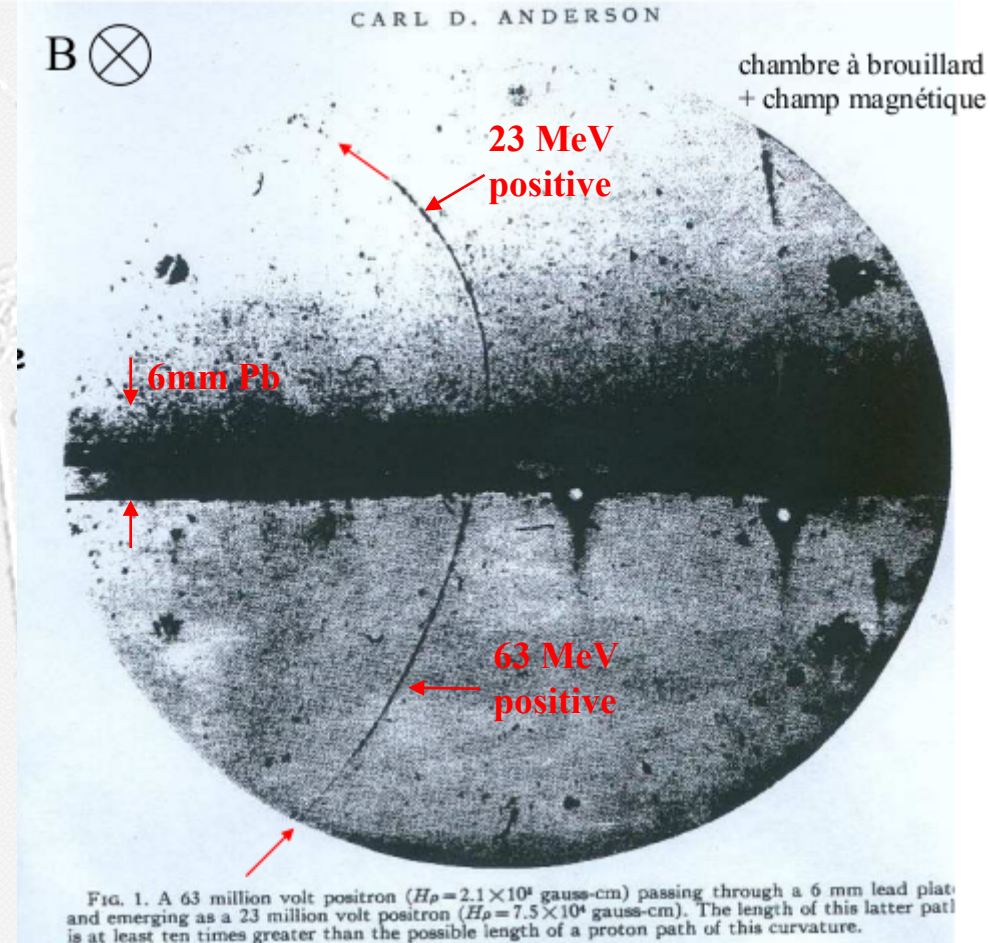
et regardait Caïn

2. Généralités

Exemple en Physique:

- Trace (sable) :
- Chambre à brouillard (bulles...)
- Photographie (œil)
- Conservation de l'information
- Remarque :
- Champ magnétique a permis l'identification

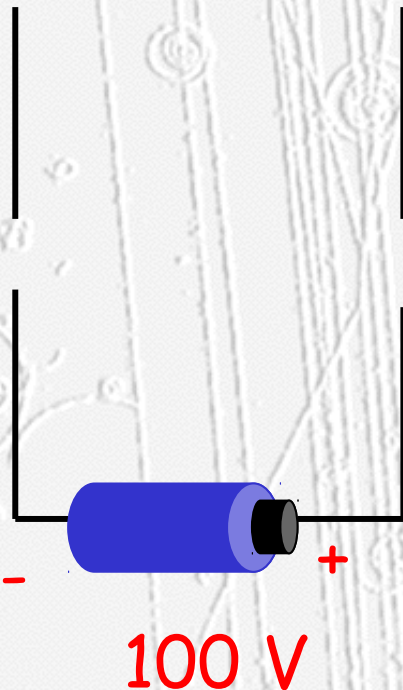
Découverte du positon C.Anderson 1932 (prédit par P.Dirac 1928)



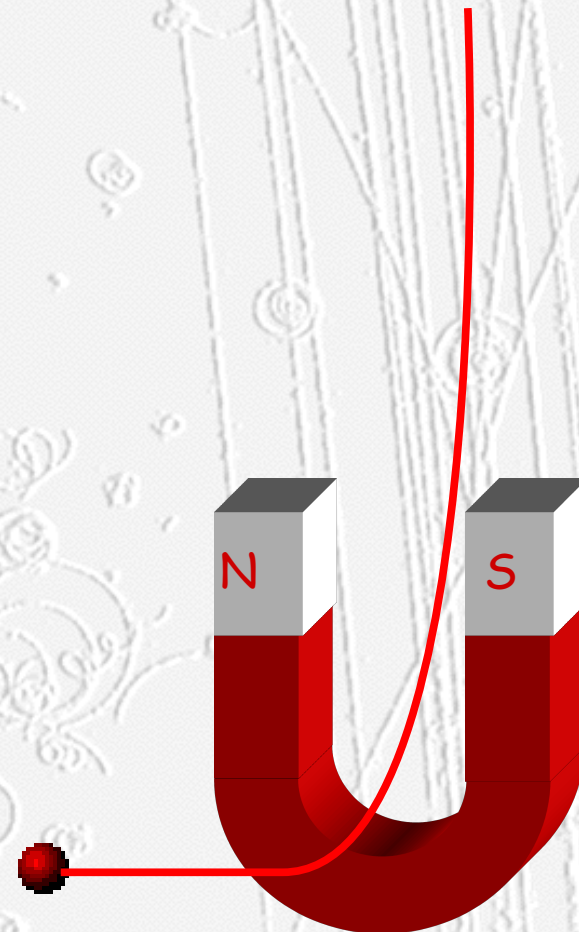
2. Généralités

- **Principes utilisés**

- Champs électriques pour accélérer les charges
- Camps magnétiques pour courber le parcours des charges

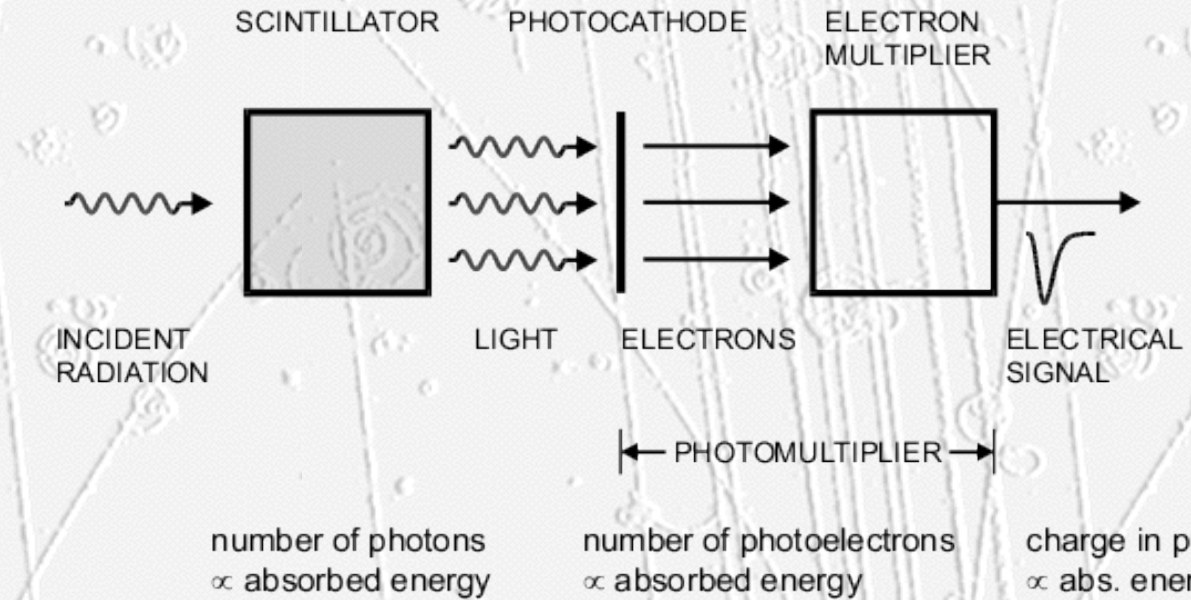


$E=100 \text{ eV}$



Charge
opposée

2. Généralités



Principe:

- Capteur (sable):
 - fourni un courant
 - Intégral du courant fournit la charge transférée au capteur
 - Cette charge total est proportionnelle à l'énergie absorbé par le capteur donc à l'énergie perdue par la particule à travers le capteur.
- Système d'acquisition (œil)
 - Signal (analogique)
 - Mise en forme (*shaping*)
 - Numérisation (*digitization*)
 - Conservation (disque)

2. Généralités

Définir son domaine d'utilisation

- Pour quelles applications ?
 - Industriel, Recherche,...
- Pour quelle Physique ?
 - Particules à détecter: gamme d'énergie
 - Optique
 - Nucléaire (quelques MeV)
 - Particules du MeV (masse du neutrino) au TeV (plus?)
 - Performances en qualité de précision spatiale
 - Vitesse de réponse
 - Type de particules sur lesquelles on veut mettre l'accent
 - Chargée (champ magnétique)
 - Neutre
 - Faible interaction avec la matière => volume ?
- **Simplicité / coût**

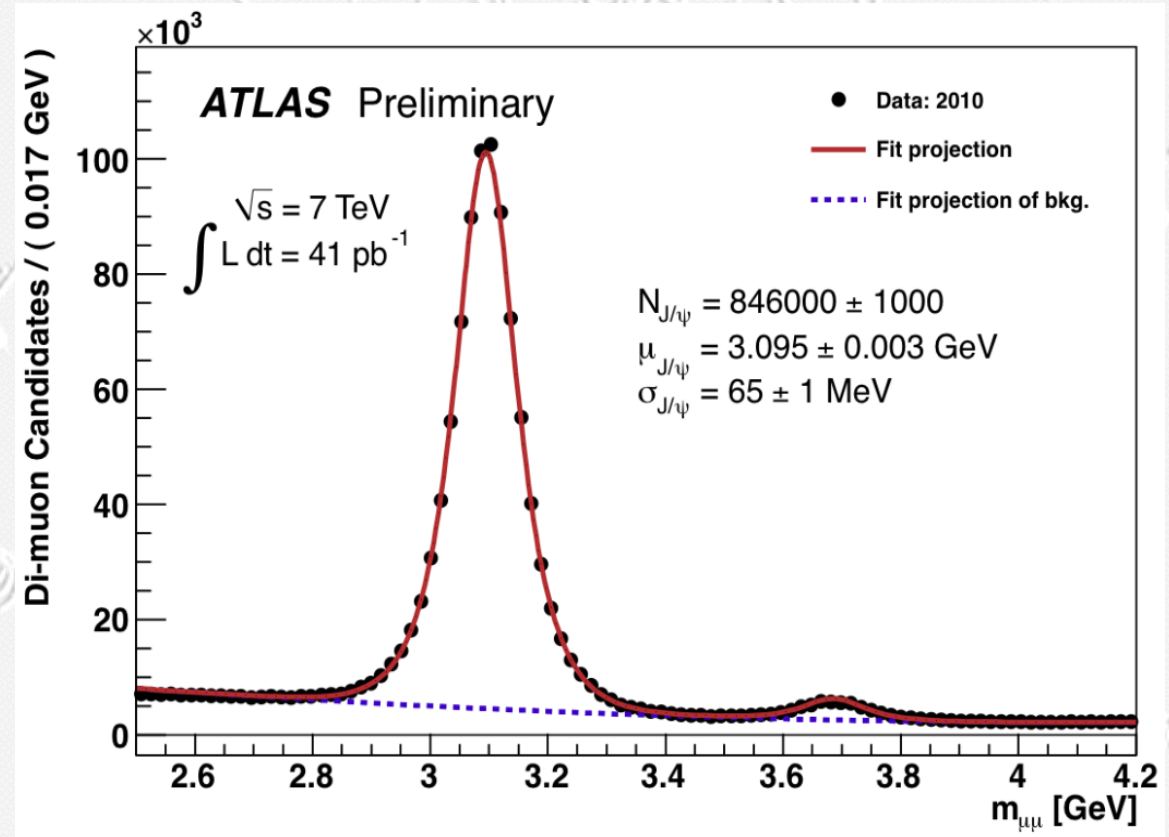
2. Généralités

Mesurer

- Énergie
- Impulsion
- Charge
- masse

Identifier

- Directe
 - Électron, muon, pion, photon...
- Indirecte
 - Masse invariante



2. Généralités

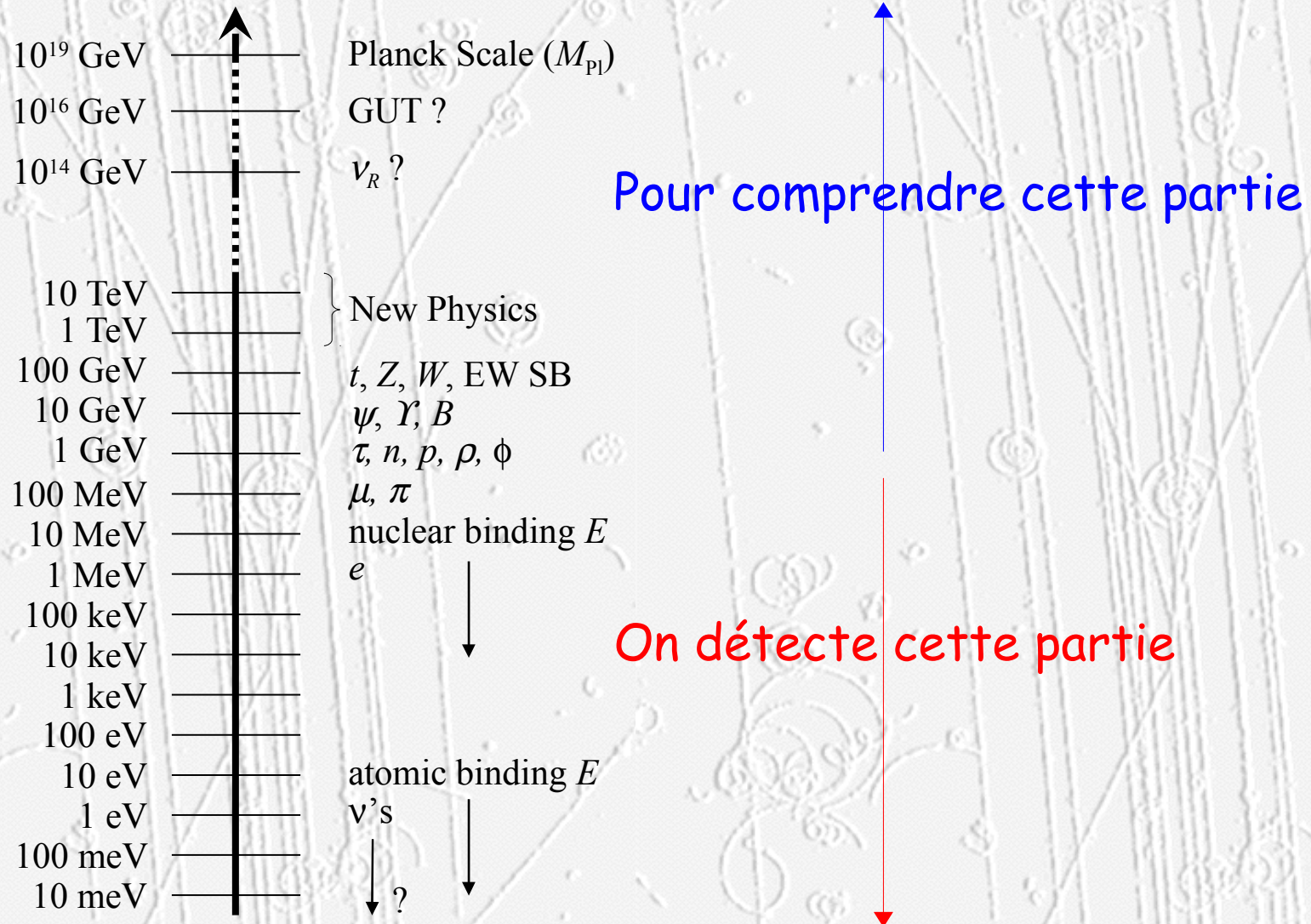
Remarques:

- Informations portent sur les particules à durée de vie «longue»
 - z, w, top, \dots ne sont pas identifiés directement
 - $t\bar{t} \rightarrow w b w \bar{b} \rightarrow 2 \text{jets} + 2l + E_{\text{miss}}$
- **Simulation Indispensable**
- **Système de déclenchement (»trigger «)**
- Mesure est destructive ! (sauf pour le muon et neutrino)
- Redondance
 - ex : énergie + trace dans champ magnétique
- Détecteurs « n'interfèrent » pas entre eux
 - ex : matière du trajectographe vs mesure d'énergie du calo
- **Bruit de fond**
 - **Physique**, Collision, détecteur (électronique), cosmiques...
 - μ cosmique = $\mu \leftarrow \pi, Z, W, \text{top}, \dots$



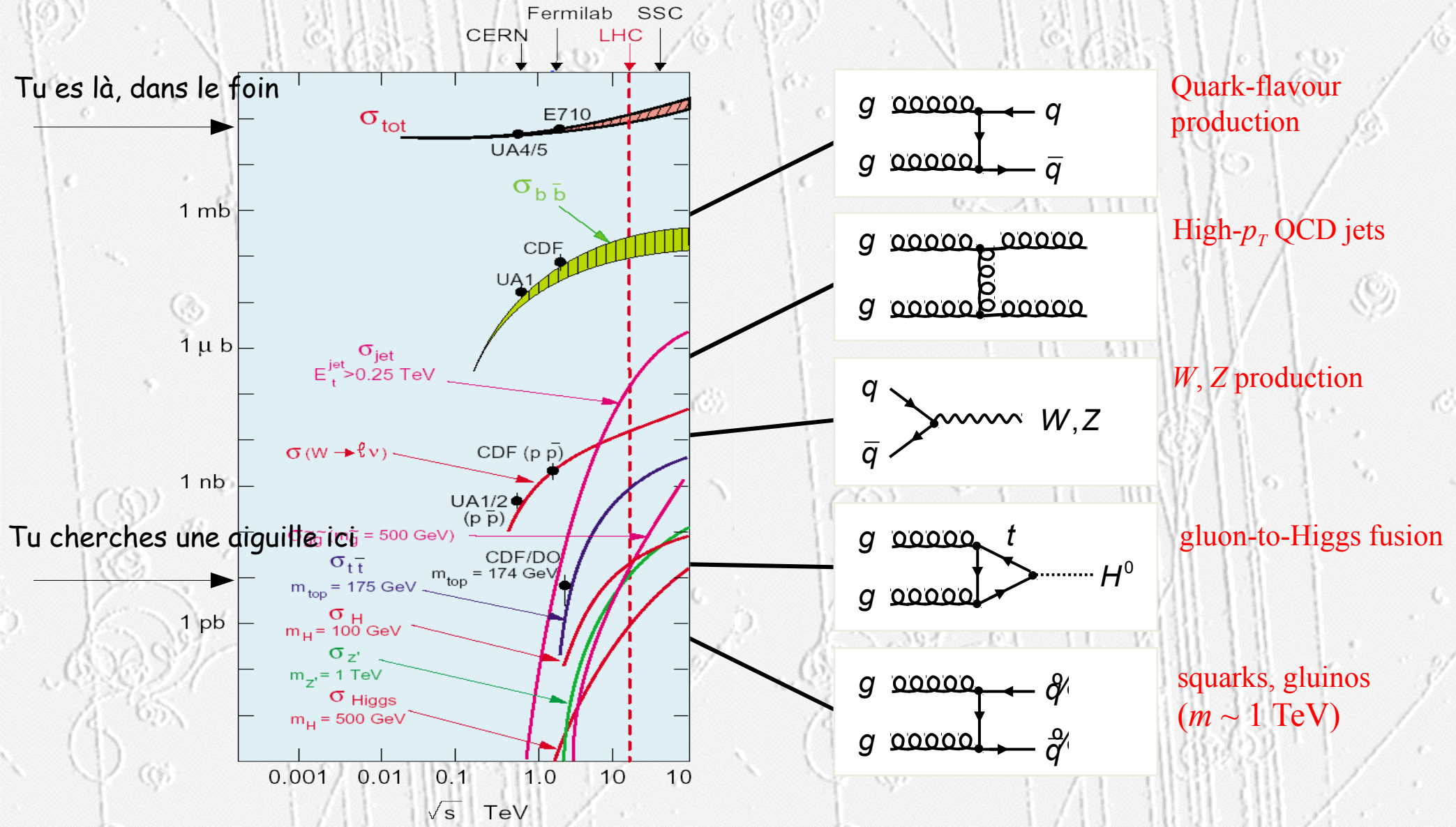
2. Généralités

Interlude de physique au LHC



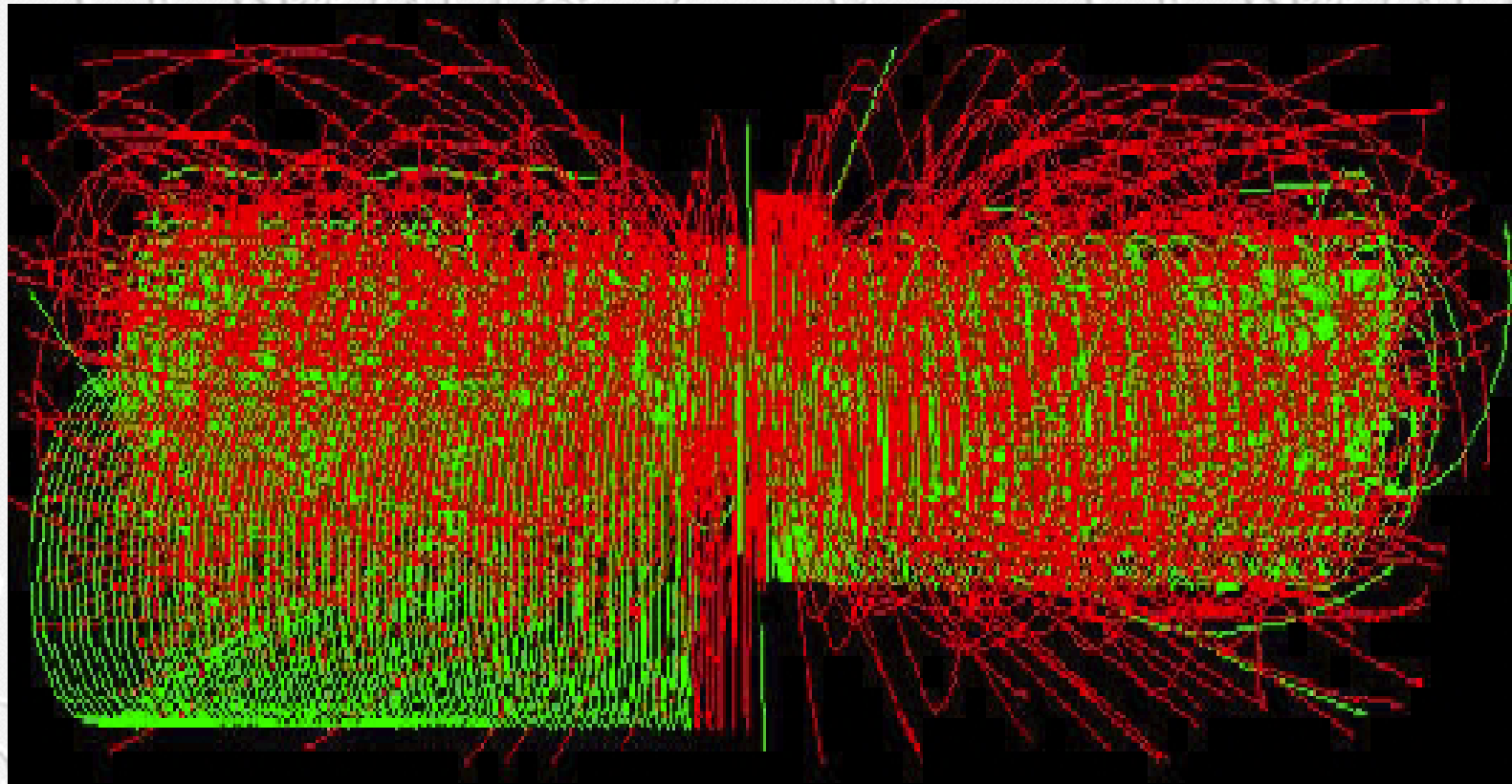
2. Généralités

Interlude de physique au LHC



2. Généralités

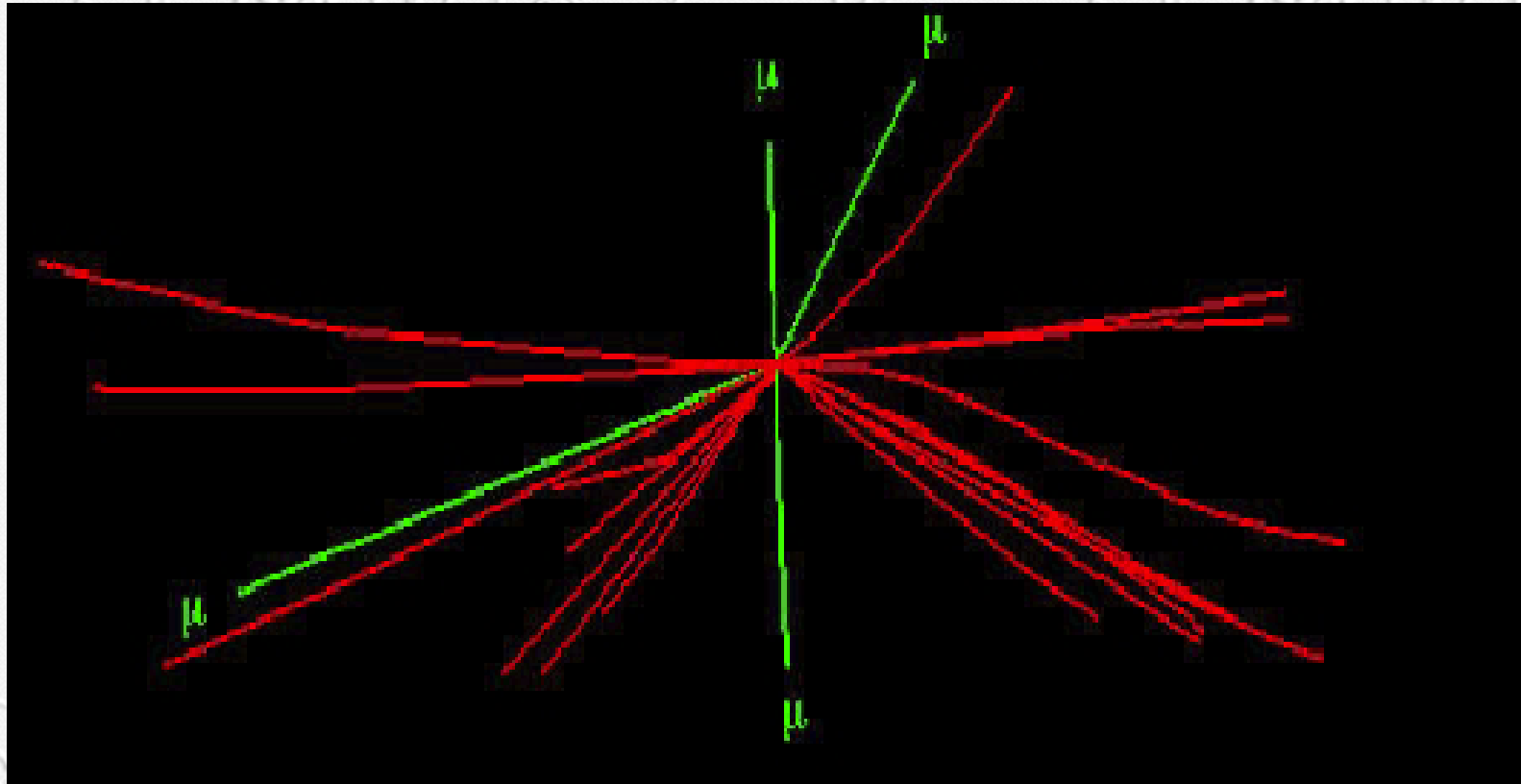
Interlude de physique au LHC



+30 min. bias events

2. Généralités

Interlude de physique au LHC



Higgs \rightarrow 4μ

2. Généralités

Interlude de physique au LHC

- Système de déclenchement :
 - Trié les évènements
 - 2 types de détecteurs :
 - Précis (résolution spatiale) mais lent
 - Moins précis mais rapide

Conception d'un détecteur

1. Introduction
2. Généralités
3. Détecteurs

3. Détecteurs

Cible fixe

- $e, p, \mu, \nu, \dots \rightarrow$ Matière

Collisionneur

- $e+/-, pp(\bar{p})$: énergie identique \Rightarrow détecteur symétrique
- ep : particules différentes \Rightarrow détecteur asymétrique
- $e+/-$: énergie différentes \Rightarrow détecteur asymétrique

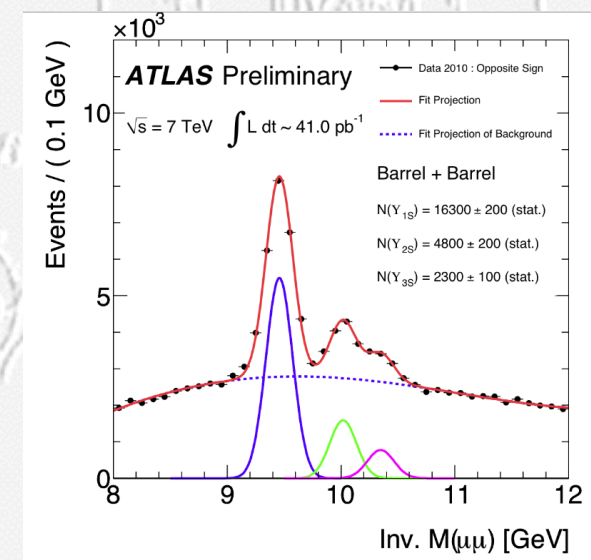
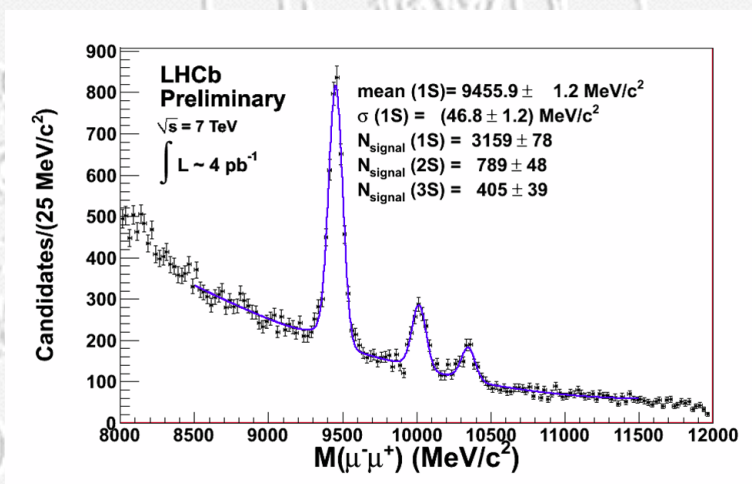
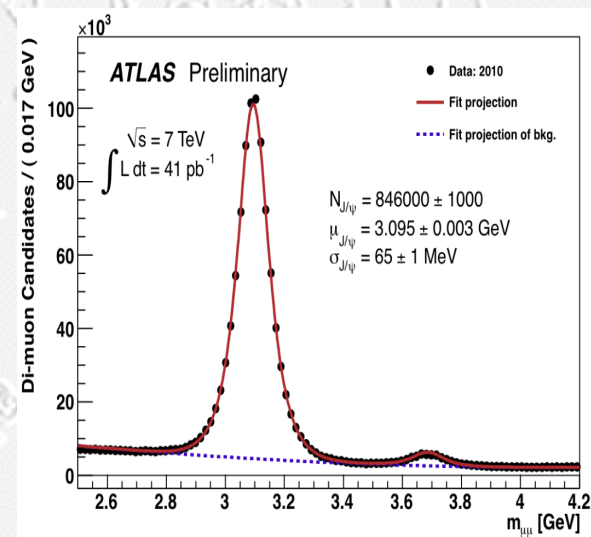
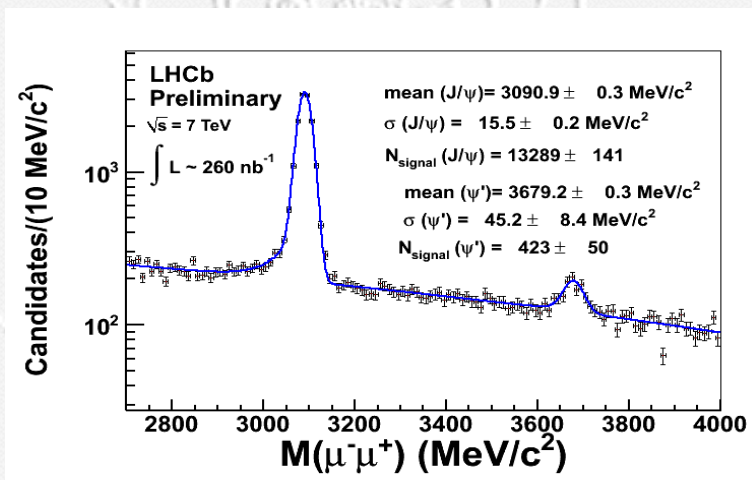
Exemples

- Symétrique
 - LHC (Atlas, cms), FNAL (DO, CDF), LEP (ADOL)
 - On veut tout mesurer (Emiss) \Rightarrow compromis sur la précision de mesure
- Asymétrique
 - LHC (Alice, Lhcb), SLAC (BaBar) HERA (H1, Zeus)
 - On sait ce qu'on cherche \Rightarrow mesure précise sur un angle solide donné

3. Détecteurs : symétrique vs Asymétrique

LHCb: asymétrique

ATLAS: symétrique



3. Détecteurs

Paramètres significatifs (?) pour la détection

- Interactions particules-matière
 - Moyen de comprendre, différencier, mesurer...
 - Trace des particules (différentes selon m, charge,...)
 - Type du milieu (détecteur)

Mesures partielles et/ou destructives (pour parties)

- Spécifiques à certaines particules (sous-détecteurs)

Séparation de charge : champ magnétique

- Mesure de l'impulsion pour les particules chargées
- +/- séparation / focalisation / nettoyage

Herméticité

- $W \rightarrow \mu\nu$: ν , contrôle tant que possible du Etmiss
- Moins vrai pour SK (mesure spécifique aux neutrinos)

3. Détecteurs: paramètres significatifs (?)

Longueur de Radiation

- X_0 = Longueur caractéristique des pertes par radiation
 - Atténuation l'énergie par radiation : $E = E_0^{-x/X_0}$
 - Longueur sur la quelle un électron perd 1 / e de son énergie par bremsstrahlung

Longueur d'interaction

- λ = Longueur caractéristique d'interaction nucléaire
 - Libre parcours moyen d'un hadron entre 2 Interactions nucléaire

3. Détecteurs: paramètres significatifs

Longueur de Radiation

- X_0 = Longueur caractéristique des pertes par radiation
 - Atténuation l'énergie par radiation : $E = E_0^{-x/X_0}$
 - Longueur sur la quelle un électron perd 1 / e de son énergie par bremsstrahlung

Longueur d'interaction

- λ = Longueur caractéristique d'interaction nucléaire
 - Libre parcours moyen d'un hadron entre 2 Interactions nucléaire

3. Détecteurs: paramètres significatifs (?)

Longueur de Radiation X_0

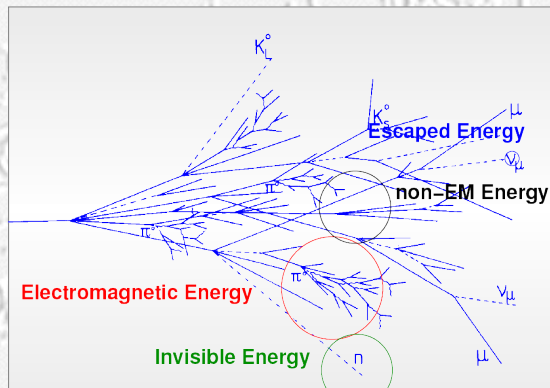
PDG : 27.24

$$X_0 \sim 716.4 A / (Z(Z + 1) \ln(287 / \sqrt{Z}))$$

« Transparence »

Matériel	X_0 [cm]
Be	35.3
Carbon-fibre	~ 25
Si	9.4
Al	8.9
Fe	1.8
PbWO ₄	0.9
Pb	0.6

Longueur d'interaction λ



« absorption »

Matériel	λ [cm]
Si	45.5
Fe	16.8
Pb	17.1

3. Détecteurs: paramètres significatifs (?)

6. ATOMIC AND NUCLEAR PROPERTIES OF MATERIALS

Table 6.1. Revised May 2002 by D.E. Groom (LBNL). Gases are evaluated at 20°C and 1 atm (in parentheses) or at STP [square brackets]. Densities and refractive indices without parentheses or brackets are for solids or liquids, or are for cryogenic liquids at the indicated boiling point (BP) at 1 atm. Refractive indices are evaluated at the sodium D line. Data for compounds and mixtures are from Refs. 1 and 2. Further materials and properties are given in Ref. 3 and at <http://pdg.lbl.gov/AtomicNuclearProperties>.

Material	Z	A	$\langle Z/A \rangle$	Nuclear collision length λ_I {g/cm ² }	Nuclear interaction length λ_I {g/cm ² }	$E/dx _{\min}$ { MeV / g/cm ² }	Radiation length ^c X_0 {g/cm ² } {cm}		Density {g/cm ³ } {g/ℓ} for gas	Liquid boiling point at 1 atm(K)	Refractive index n {(n - 1) × 10 ⁶ } for gas
H ₂ gas	1	1.00794	0.99212	43.3	50.8	(4.103)	61.28 ^d	(731000)	(0.0838)[0.0899]		[139.2]
H ₂ liquid	1	1.00794	0.99212	43.3	50.8	4.034	61.28 ^d	866	0.0708	20.39	1.112
D ₂	1	2.0140	0.49652	45.7	54.7	(2.052)	122.4	724	0.169[0.179]	23.65	1.128 [138]
He	2	4.002602	0.49968	49.9	65.1	(1.937)	94.32	756	0.1249[0.1786]	4.224	1.024 [34.9]
Li	3	6.941	0.43221	54.6	73.4	1.639	82.76	155	0.534		—
Be	4	9.012182	0.44384	55.8	75.2	1.594	65.19	35.28	1.848		—
C	6	12.011	0.49954	60.2	86.3	1.745	42.70	18.8	2.265 ^e		—
N ₂	7	14.00674	0.49976	61.4	87.8	(1.825)	37.99	47.1	0.8073[1.250]	77.36	1.205 [298]
O ₂	8	15.9994	0.50002	63.2	91.0	(1.801)	34.24	30.0	1.141[1.428]	90.18	1.22 [296]
F ₂	9	18.9984032	0.47372	65.5	95.3	(1.675)	32.93	21.85	1.507[1.696]	85.24	[195]
Ne	10	20.1797	0.49555	66.1	96.6	(1.724)	28.94	24.0	1.204[0.9005]	27.09	1.092 [67.1]
Al	13	26.981539	0.48181	70.6	106.4	1.615	24.01	= 8.9 X	2.70		—
Si	14	28.0855	0.49848	70.6	106.0	1.664	21.82	9.36	2.33		3.95
Ar	18	39.948	0.45059	76.4	117.2	(1.519)	19.55	14.0	1.396[1.782]	87.28	1.233 [283]
Ti	22	47.867	0.45948	79.9	124.9	1.476	16.17	3.56	4.54		—
Fe	26	55.845	0.46556	82.8	131.9	1.451	13.84	1.76	7.87		—
Cu	29	63.546	0.45636	85.6	134.9	1.403	12.86	1.43	8.96		—
Ge	32	72.61	0.44071	88.3	140.5	1.371	12.25	2.30	5.323		—
Sn	50	118.710	0.42120	100.2	163	1.264	8.82	1.21	7.31		—
Xe	54	131.29	0.41130	102.8	169	(1.255)	8.48	2.87	2.953[5.858]	165.1	[701]
W	74	183.84	0.40250	110.3	185	1.145	6.76	0.35	19.3		—
Pt	78	195.08	0.39984	113.3	189.7	1.129	6.54	0.305	21.45		—
Pb	82	207.2	0.39575	116.2	194	1.123	6.37	0.56	11.35		—
U	92	238.0289	0.38651	117.0	199	1.082	6.00	≈0.32	≈18.95		—