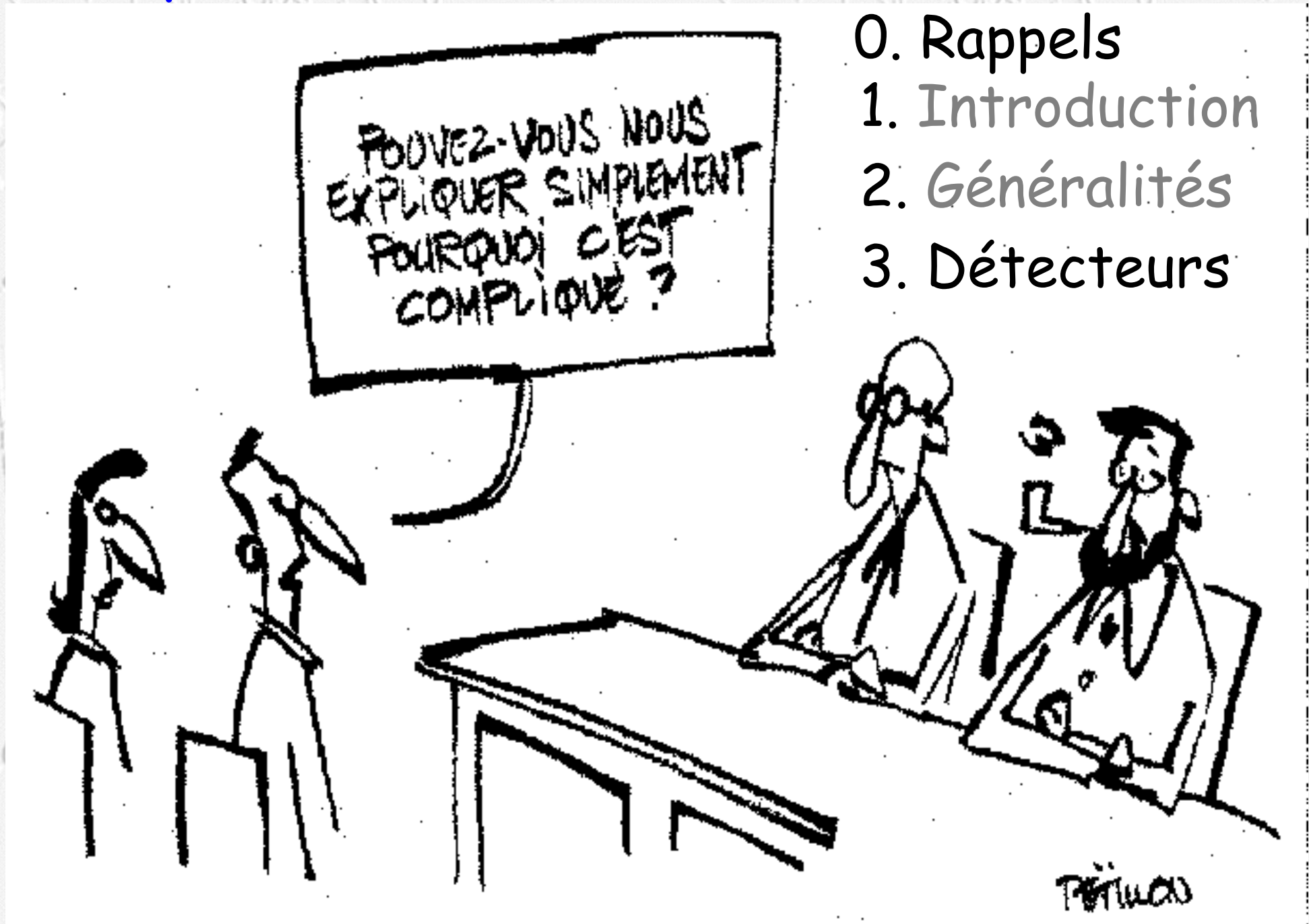
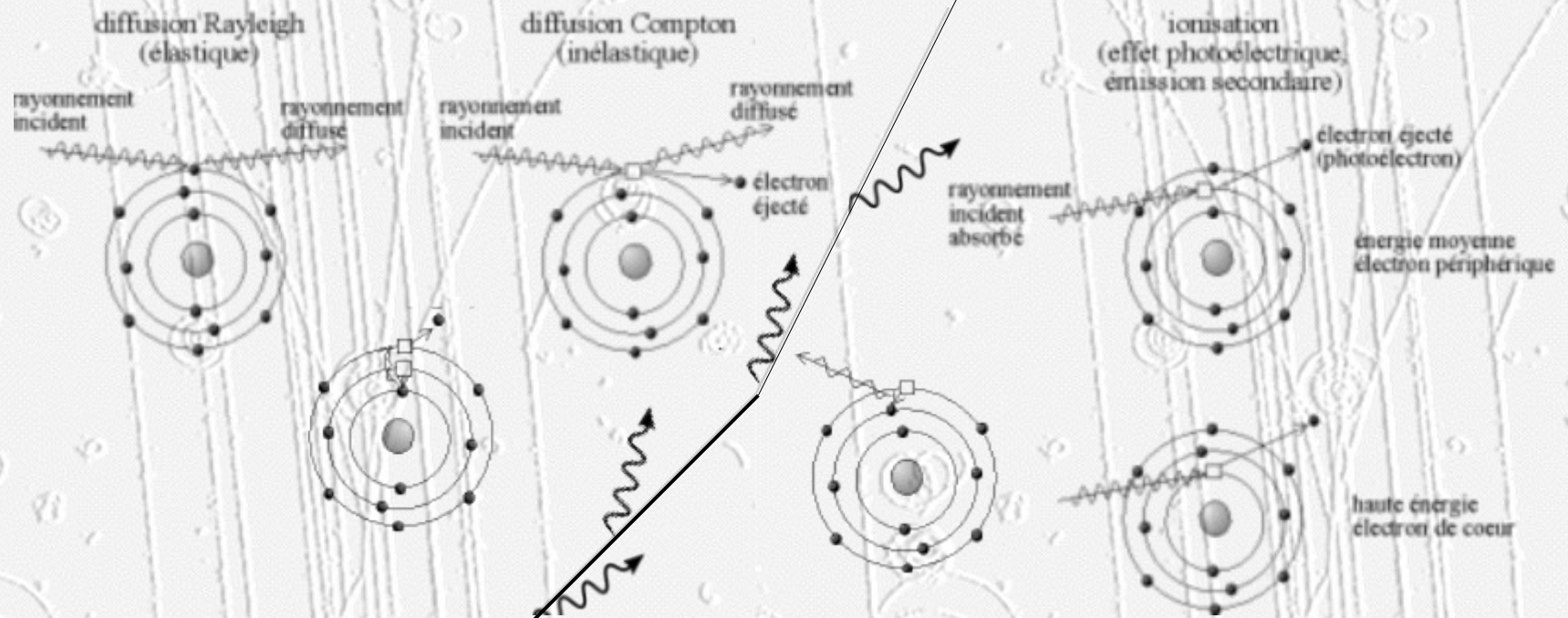


Conception d'un détecteur



Interaction particule/matière (rappels)



Trajectoire d'une particule chargée

Interactions particules-matière

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

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

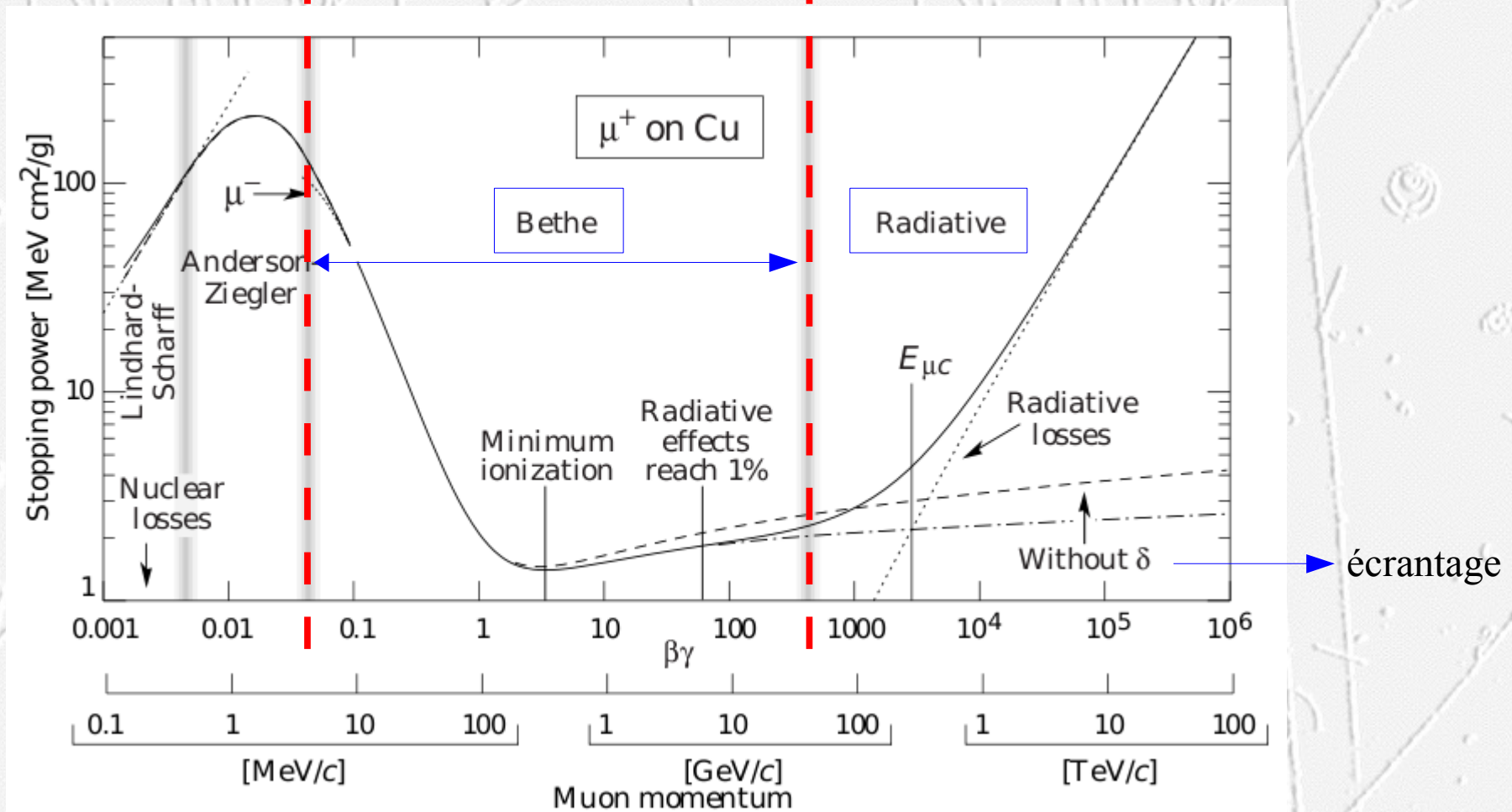
Effets perturbant la mesure

- Fluctuations de Landau
- Diffusion multiple
- Création de paires (e^+/e^-)

Interactions particules-matière

Ionisation (dE/dx) : Formule de Bethe-Bloch

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



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

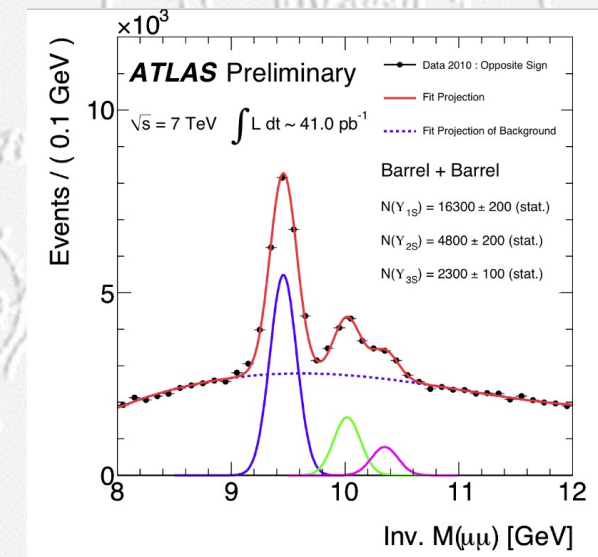
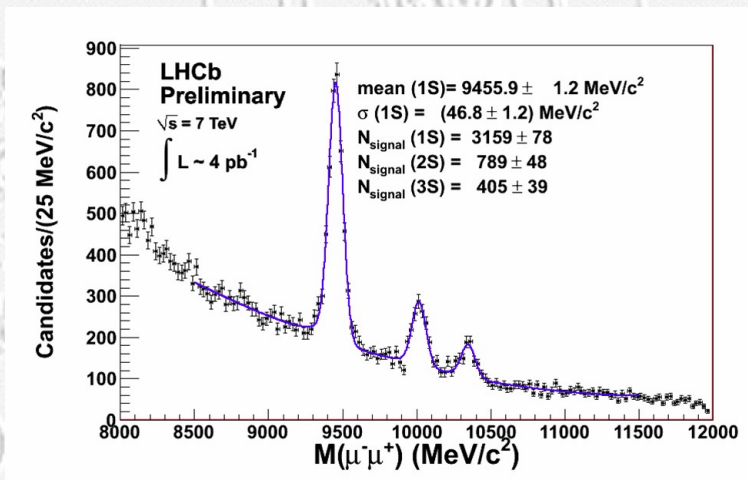
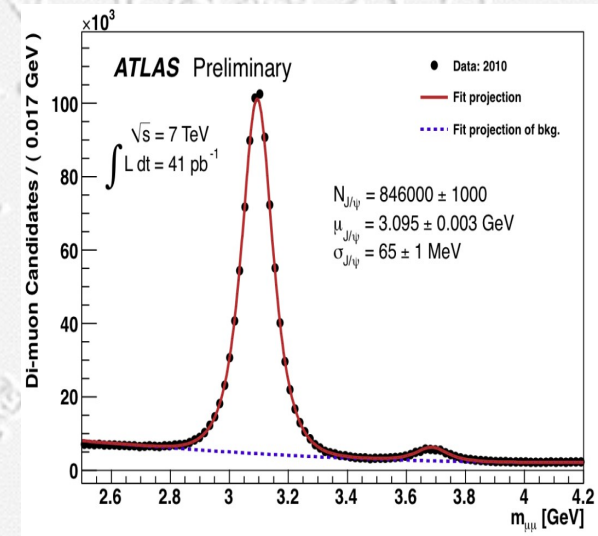
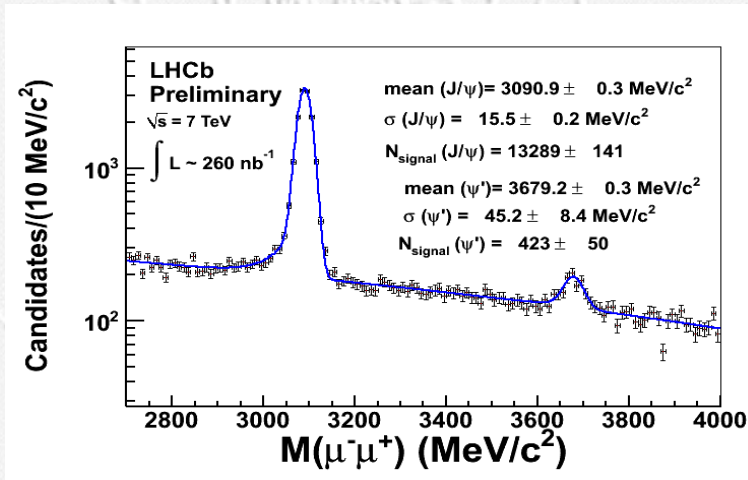
Exemples

- Symétrique
 - LHC (Atlas, cms), FNAL (D0, CDF), LEP (ADOL)
 - On veut tout mesurer (E_{miss}) \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 (neutrino), contrôle (tant que possible) de énergie manquante (E_{miss})
- 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 : $E = E_0 \times e^{-x/X_0}$
 - 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

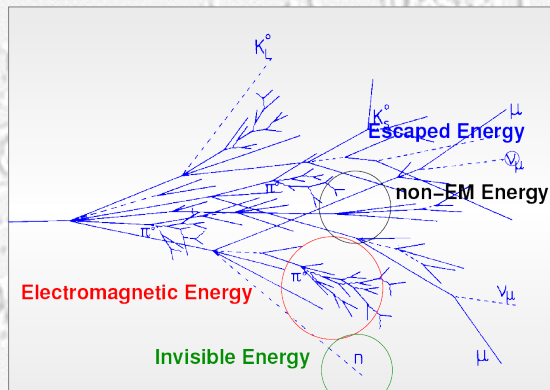
PDG : 27.24

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

« 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 }	$\left\{ \frac{E/dx _{\min}}{g/cm^2} \right\}$ {MeV}	Radiation length 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		—

3. Détecteurs : remarque

Vous mesurez cela



3. Détecteurs : remarque

Vous mesurez cela



Mais la réalité est comme cela !!!

3. Détecteurs: mesure partielle, destructive

Du point d'interaction vers l'extérieur du détecteur

Trajectographie : détecteurs « Transparents »

- Mesure des particules chargées
 - mesure de la position du vertex (« peu » de perte d'énergie)
 - mesure de la trace et de l'impulsion (si champ magnétique)
 - identifier les particules : dE/dx ou rayonnement de transition ou de Cherenkov ou un temps de vol.

Calorimètres : détecteurs « massifs »

- Mesure des électrons, photons, hadrons
 - mesurer l'énergie des particules (+ id. du type)

Muons

- Identification des muons
 - Connexion avec le trajectographe : Alignement relatif des sous-détecteurs
 - Mesure de l'impulsion si champ magnétique

Remarque:

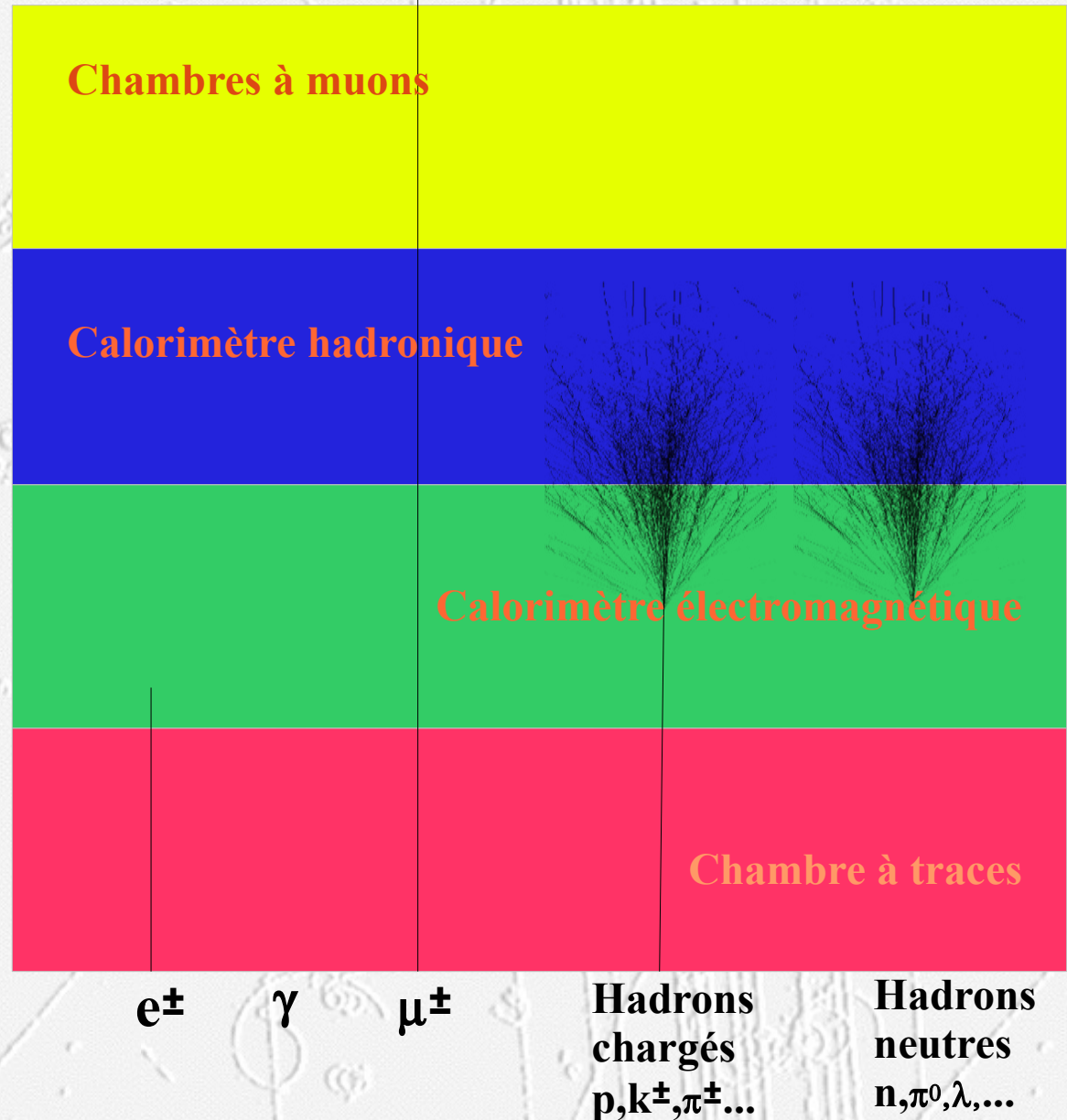
- Énergie manquante $\Rightarrow V$
- Ou mauvaise estimation de l'herméticité

3. Détecteurs: mesure partielle & destructive

Réponse schématique
d'un détecteur
(dans un collisionneur)

Trace laissée ds le détecteur

Gerbe (électromagnétique ou
hadronique)



3. Détecteurs: **champ magnétique**

- $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} = q/\gamma m \vec{P} \times \vec{B}$
 - $P \sim 0.3 B R$ (P en GeV, B en Tesla, R en mètre)
 - **Intégrale de champ**
- Solénoïdal
 - Constant sur une grande partie de son volume
 - trajectographie « simplifiée »
 - pp(bar): ok Plan transverse ($R\phi$) (E beam mal connu!)
 - Pouvoir diminue qd on se rapproche de l'axe
 - « Nettoyage » des traces chargées de faible impulsion
- Toroïdal
 - Champ moins homogène
 - Volume potentiel plus grand
 - Intégral de champ +/- constant vers l'avant

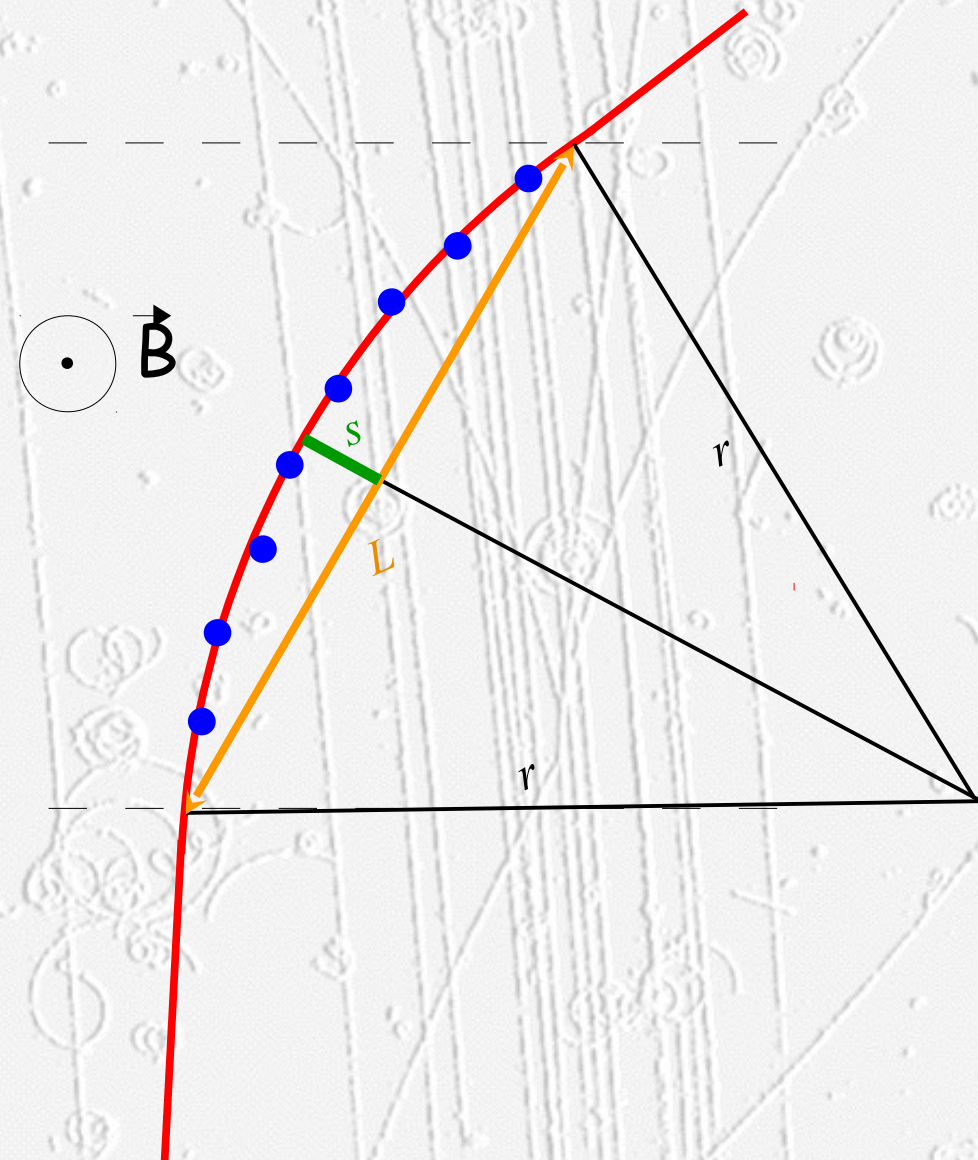
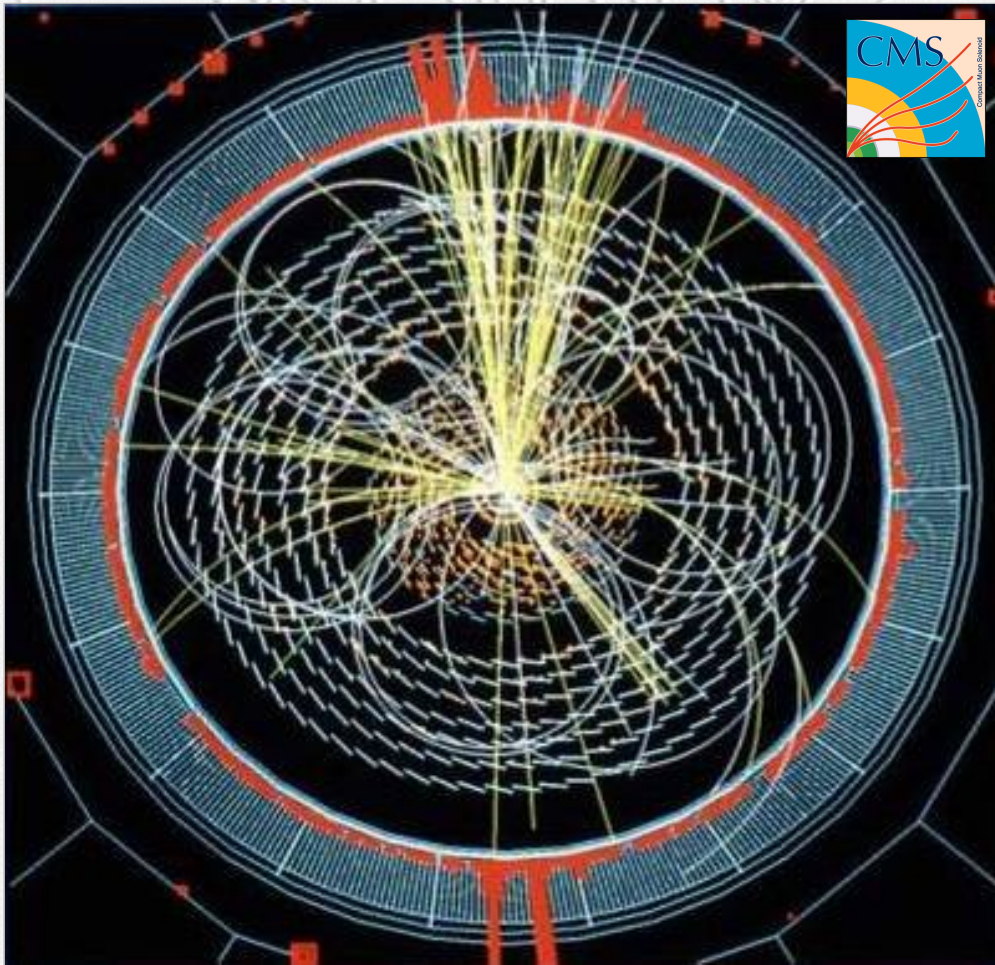
Détermination du champ

Magnetic field	OFF	ON
All Tracks	4.9 M	2.7 M
SCT Tracks	1.2 M	880 k
Pixel Tracks	230 k	190 k

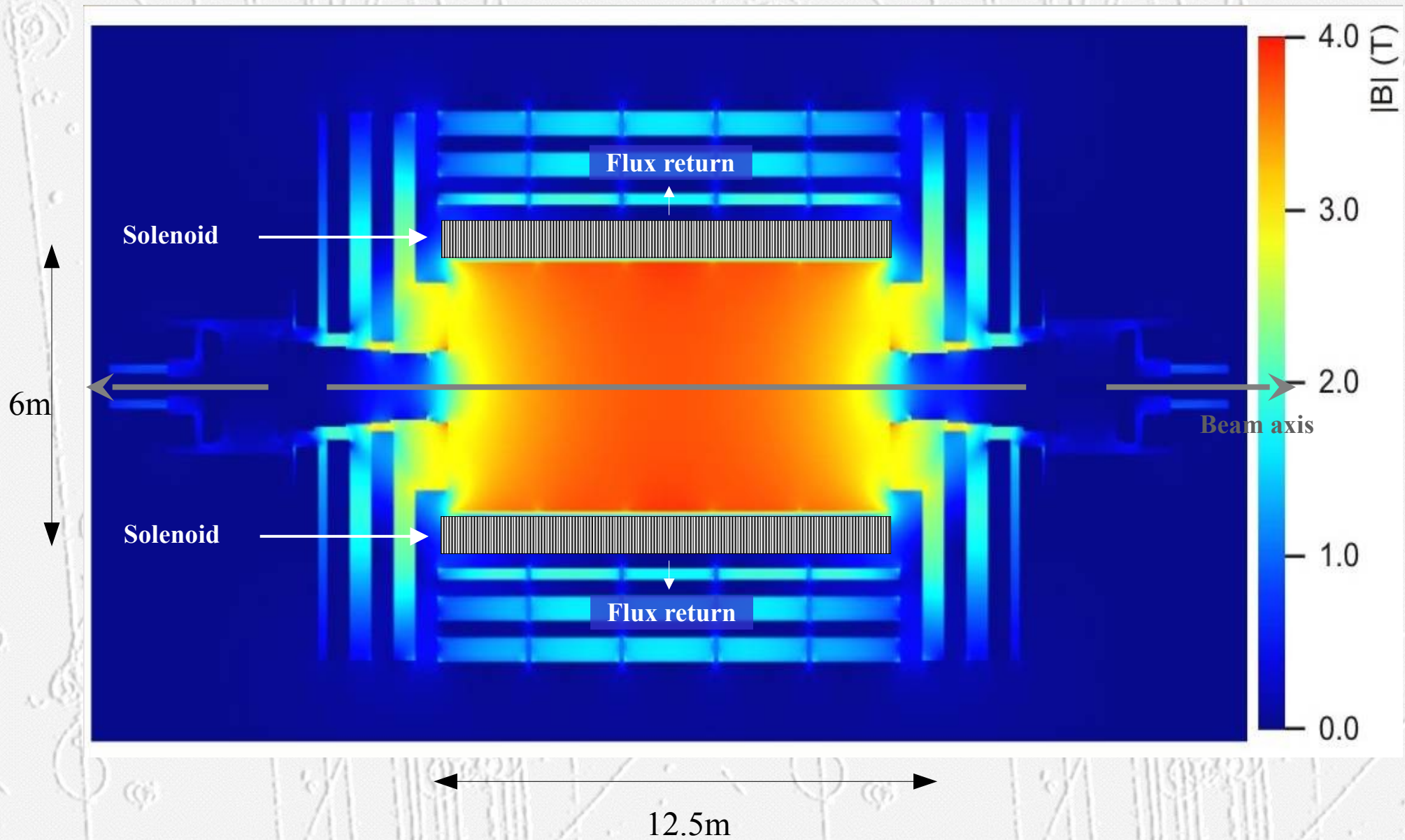
ATLAS track statistics since Sep 2008

3. Détecteurs: **champ magnétique**

- Permet la mesure de l'impulsion des trace chargées
- La comparaison +/-

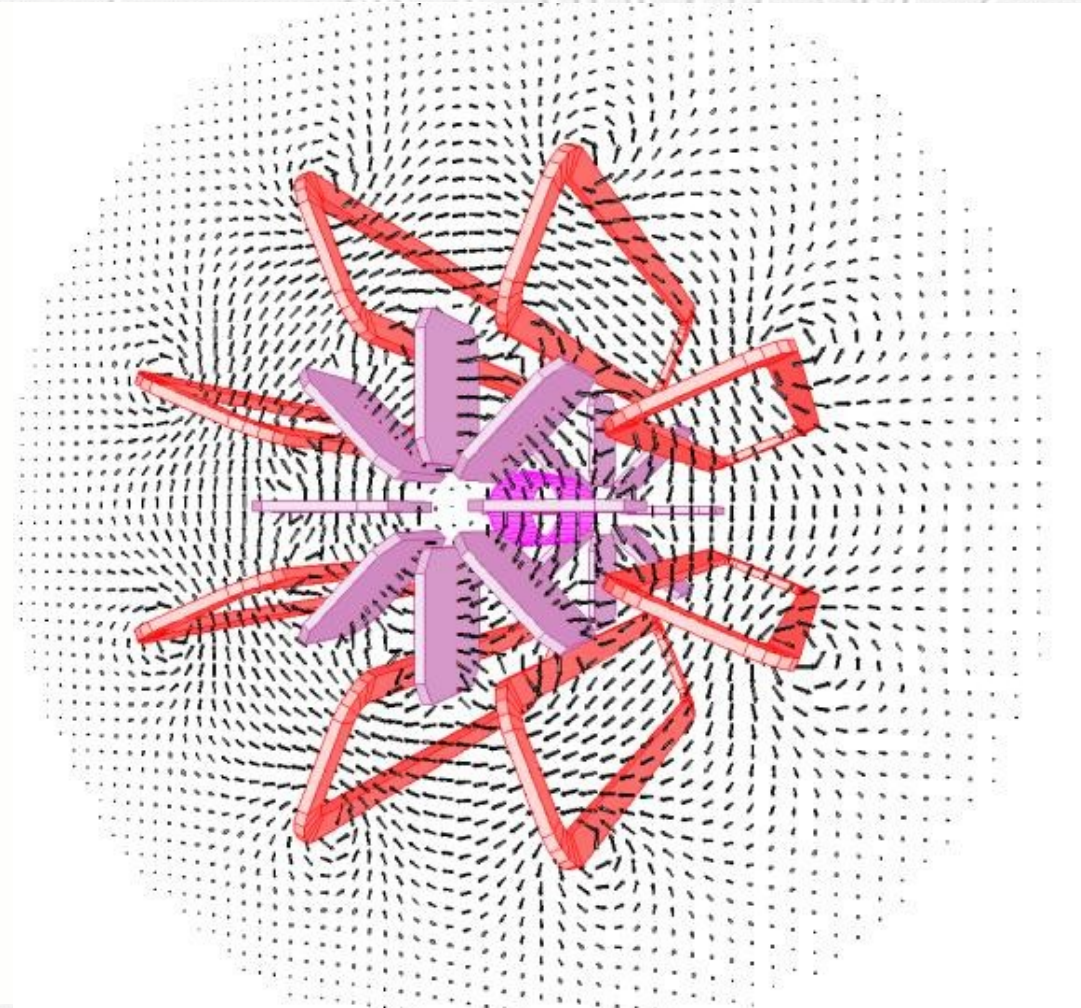
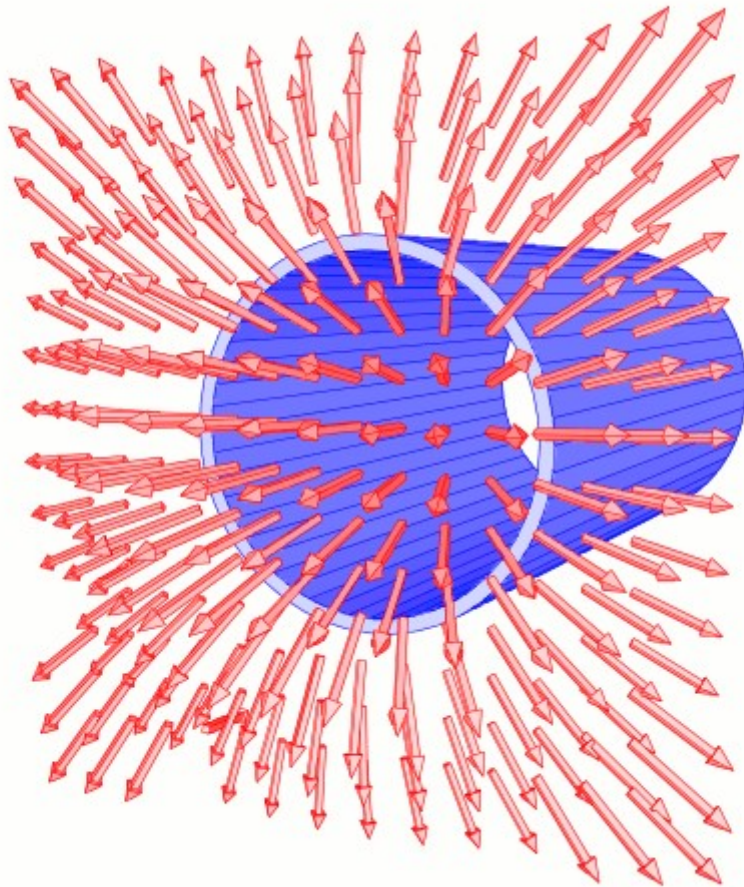


3. Détecteurs: champ magnétique Solénoïde CMS



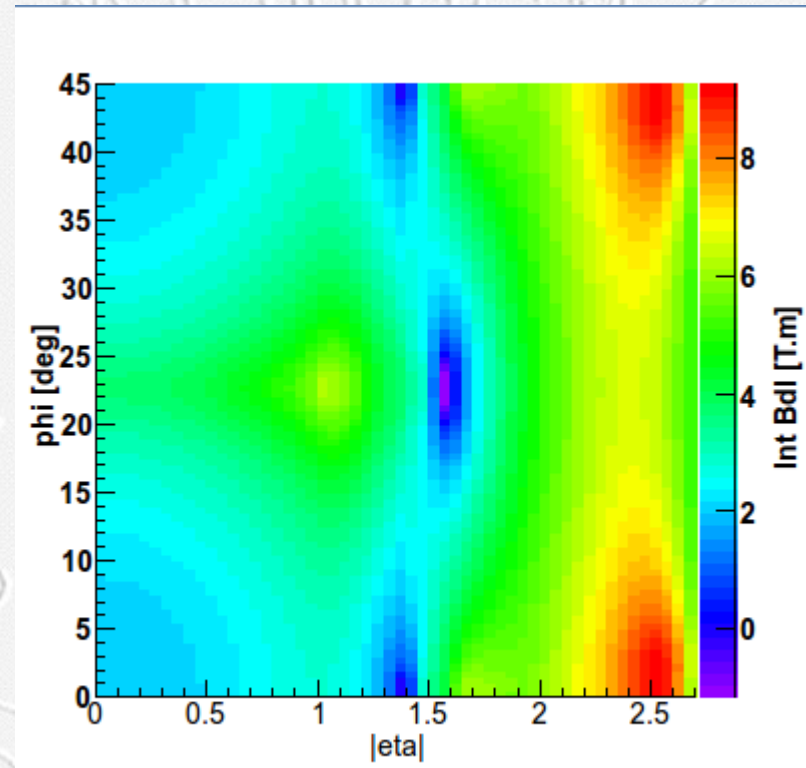
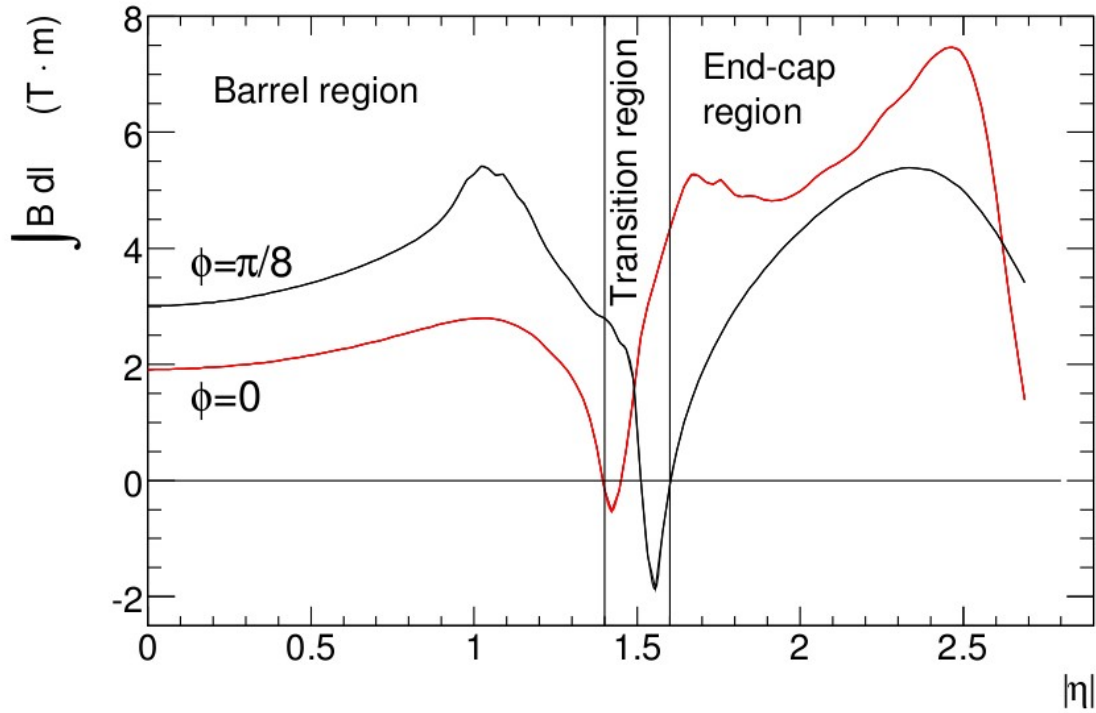
3. Détecteurs: champ magnétique

Solénoïde & toroïde



3. Détecteurs: champ magnétique

Intégrale de Champ



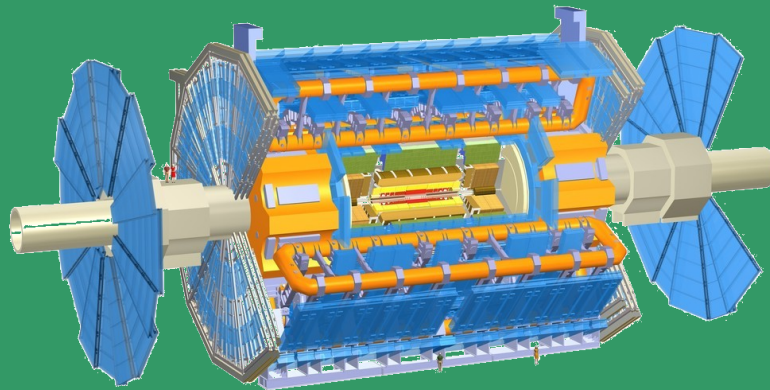
3. Détecteurs: **herméticité**

Collisionneur

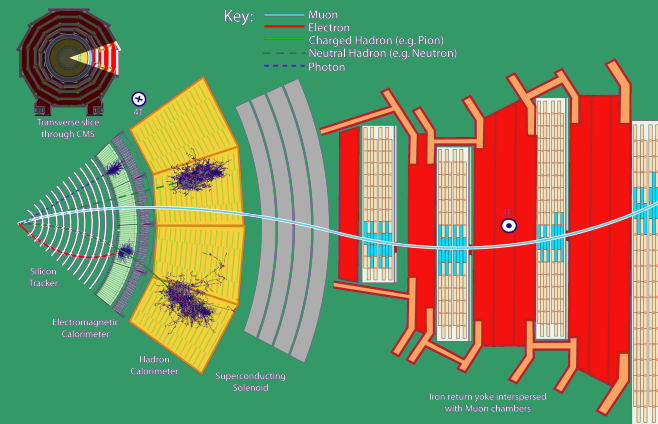
- Mesure de l'énergie totale (transverse si pp)
 - Permet la détermination de l'énergie manquante
 - $W \rightarrow \mu\nu$: le muon peut être identifié, le neutrino seulement déduit de la compréhension de l'événement et du détecteur
 - **Simulation indispensable !**
- S'approcher le plus possible de 4π
 - Cylindre + bouchon (disques)
 - Problème à la transition cylindre/bouchon : Alignement
 - Estimation précise de l'angle solide (tube faisceau!)

3. Détecteurs : **exemples**

Collisionneur



ATLAS: Jet, Énergie manquante, muon (« standalone »)



CMS: mesure électron/photon trajectographie muon

3. Détecteurs : **exemples**

Collisionneur

ATLAS (7 ktons)

CMS (12.5 ktons)

INNER TRACKER

- Silicon pixels + strips
- TRT with particle identification
- $B = 2T$
- $\sigma(p_T) \sim 3.8\%$ (at 100 GeV, $\eta = 0$)

- Silicon pixels + strips
- No dedicated particle identification
- $B = 4T$
- $\sigma(p_T) \sim 1.5\%$ (at 100 GeV, $\eta = 0$)

MAGNETS

- 4 Magnets
- Solenoid + Air-core muon toroids
- Calorimeters outside solenoid field

- 1 Magnet
- Solenoid
- Calorimeters inside field

EM CALORIMETER

- Pb / Liquid Ar sampling accordion
- $\sigma(E) \sim 10\text{--}12\% / \sqrt{E} \oplus 0.2\text{--}0.35\%$
- Longitudinal segmentation
- Saturation at ~ 3 TeV

- PbWO_4 scintillation crystals
- $\sigma(E) \sim 3\text{--}5.5\% / \sqrt{E} \oplus 0.5\%$
- No longitudinal segmentation
- Saturation at 1.7 TeV

HAD CALORIMETER

- Fe / Scint. tiles (EC: Cu-liquid Ar)
- $\sigma(E) \sim 45\% / \sqrt{E} \oplus 1.3\%$ (Barrel)

- Cu (EC: brass) / Scint. tiles
- Tail catchers outside solenoid
- $\sigma(E) \sim 100\% / \sqrt{E} \oplus 8\%$ (Barrel)

MUON

- Drift tubes & CSC (fwd) + RPC/TGC
- $\sigma(p_T) \sim 10.5\% / 10.4\%$ (1 TeV, $\eta = 0$)
(standalone / combined with tracker)

- Drift tubes & CSC (EC) + RPC
- $\sigma(p_T) \sim 13\% / 4.5\%$ (1 TeV, $\eta = 0$)
(standalone / combined with tracker)

3. Détecteurs : **simulation**

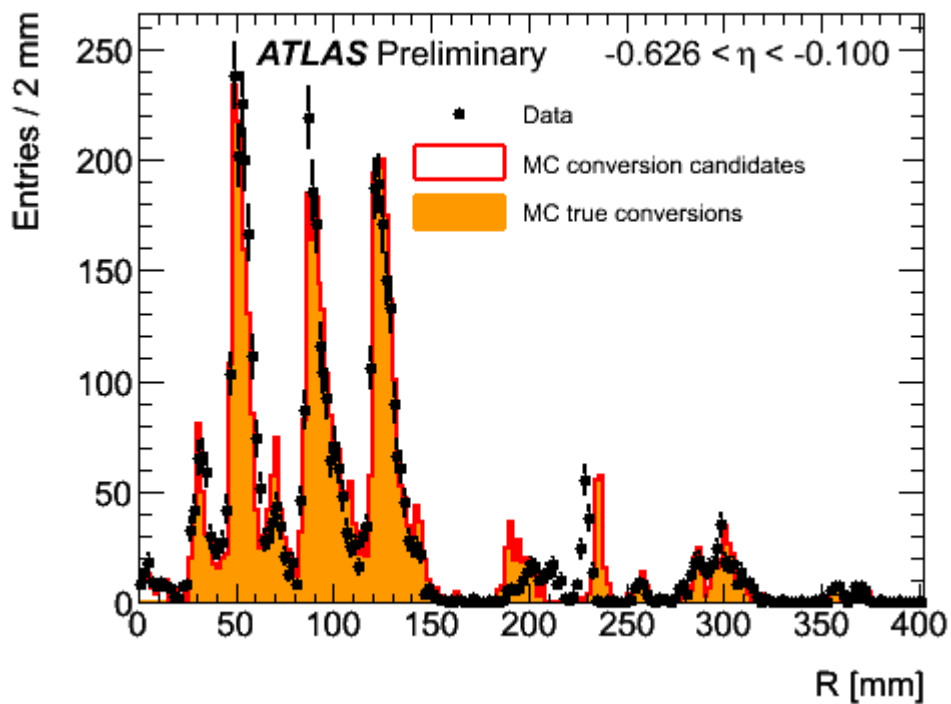
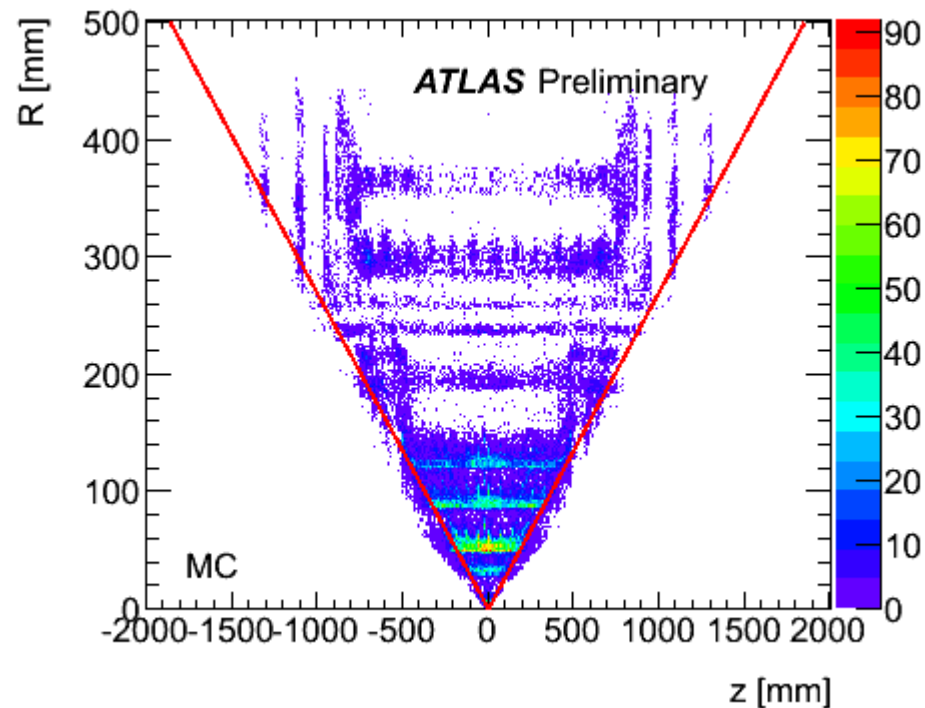
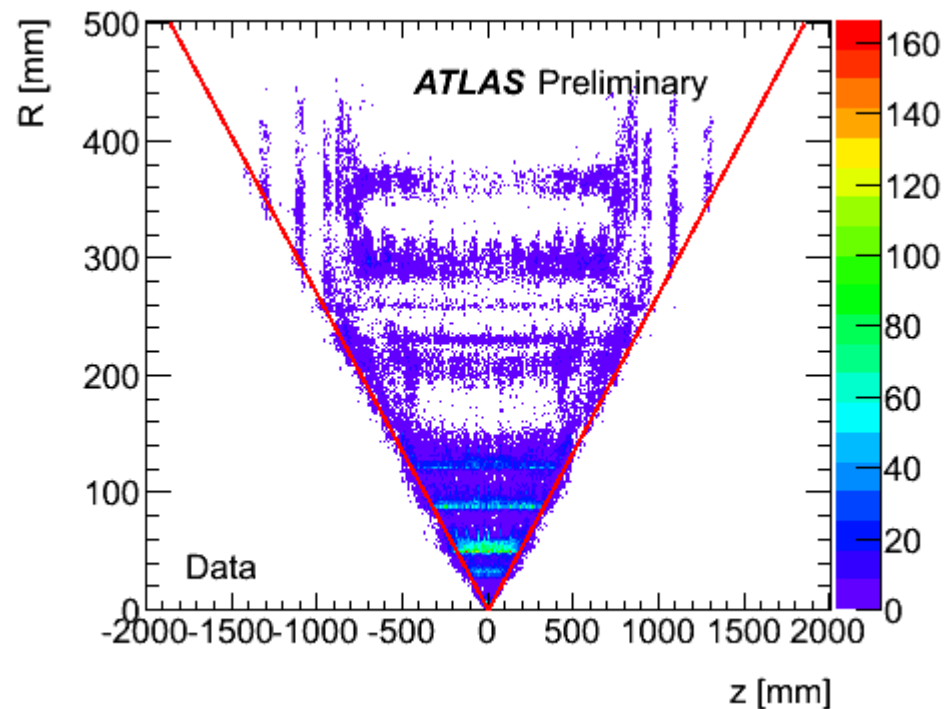
Simulation

- Pas mesure possible sans comparaison data/mc
- La plupart des phénomènes mesurés peuvent provenir
 - D'autres phénomènes physiques
 - De la mauvaise connaissance de l'appareil
 - De problèmes électroniques
 - De programme de reconstruction imparfait
- Génération , digitisation, simulation

3. Détecteurs : simulation

Data/MC

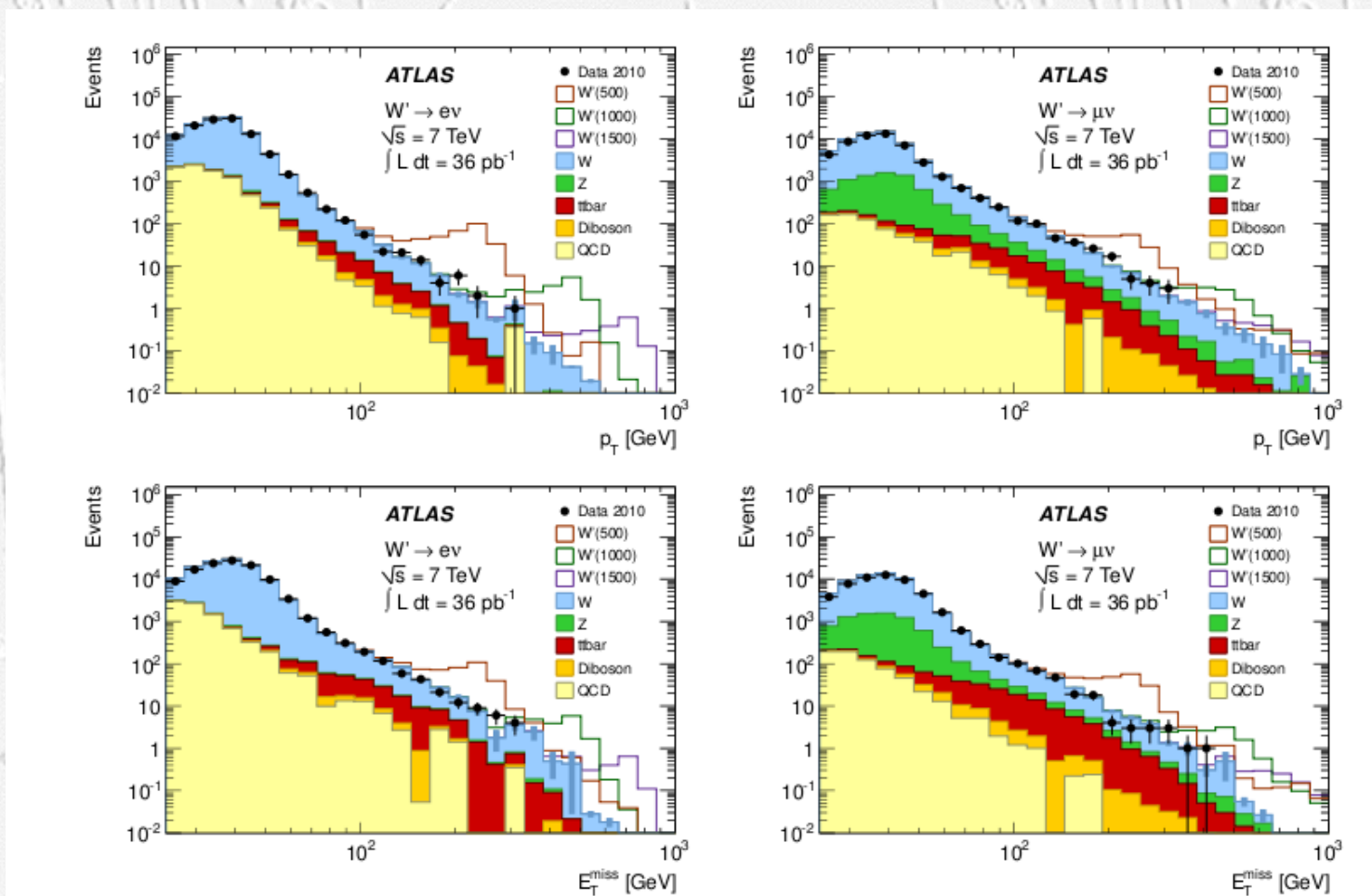
- Atlas : Pixels & SCT



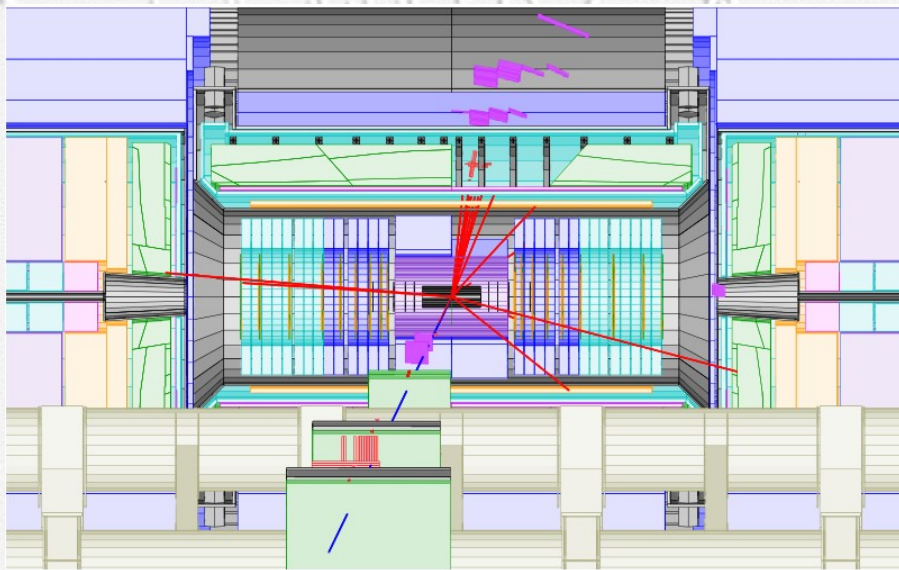
3. Détecteurs : **simulation**

Data/MC

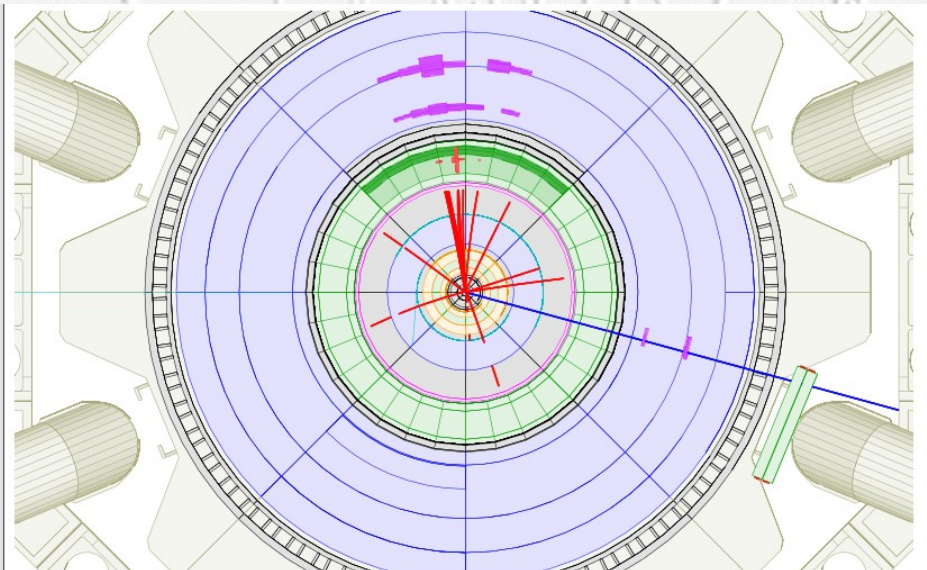
- Recherche W'



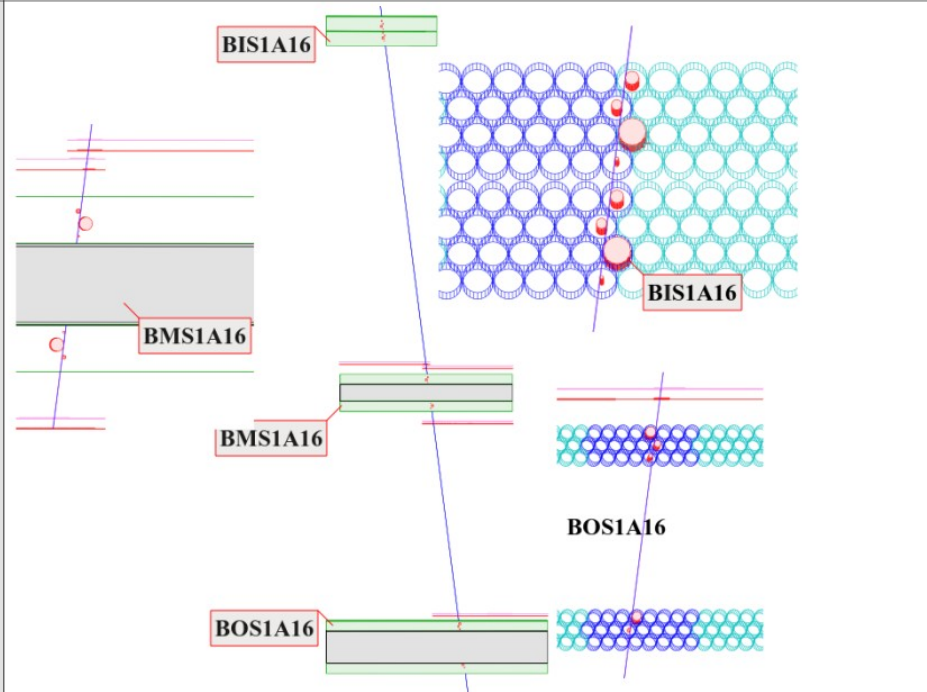
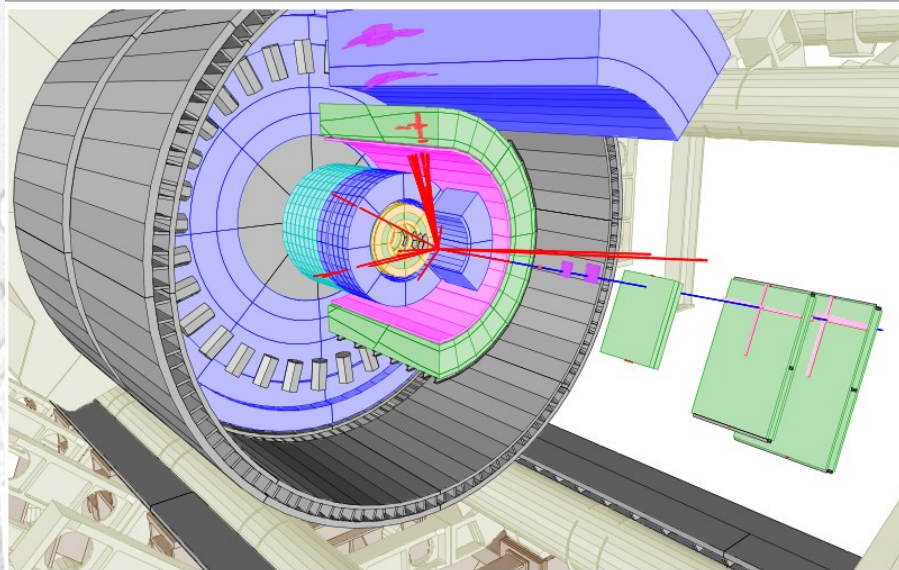
3. Détecteurs : *simulation*



YZ view



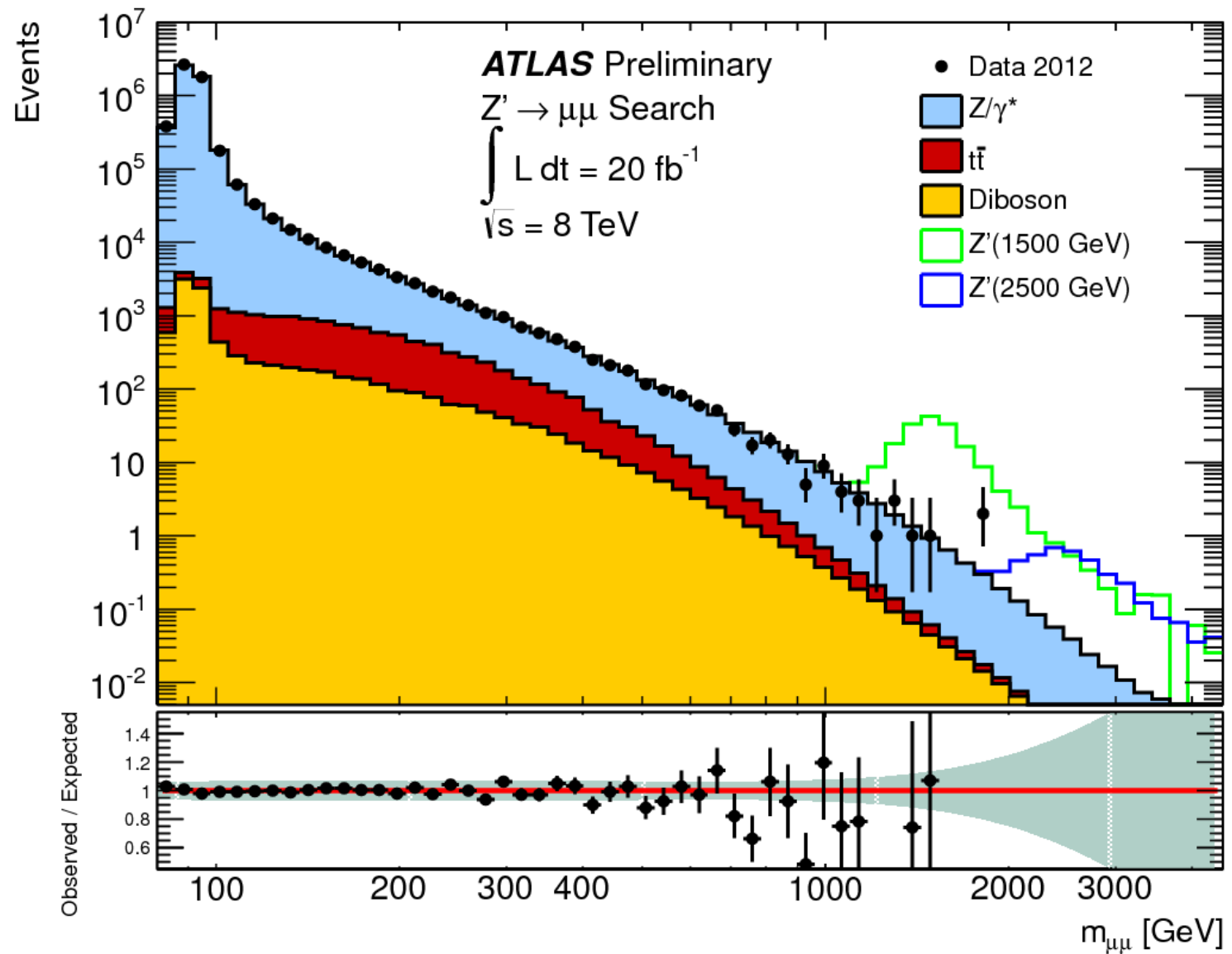
XY view



Run Number: 180149,
Event Number: 25360846
Date: 2011-04-22, 20:17:34 CET

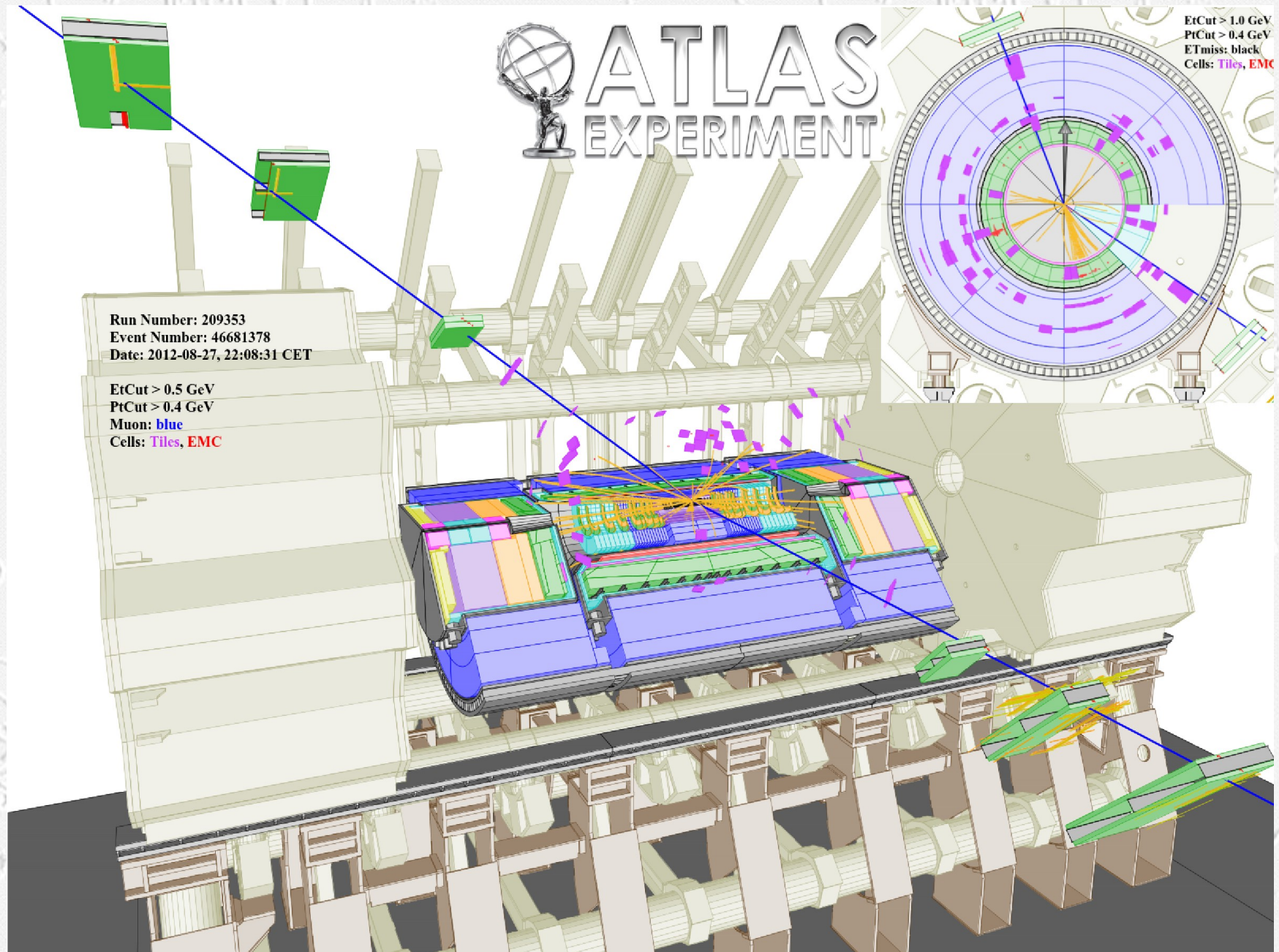
3. Détecteurs : simulation

Data/MC : Z'



3. Détecteurs : **simulation**

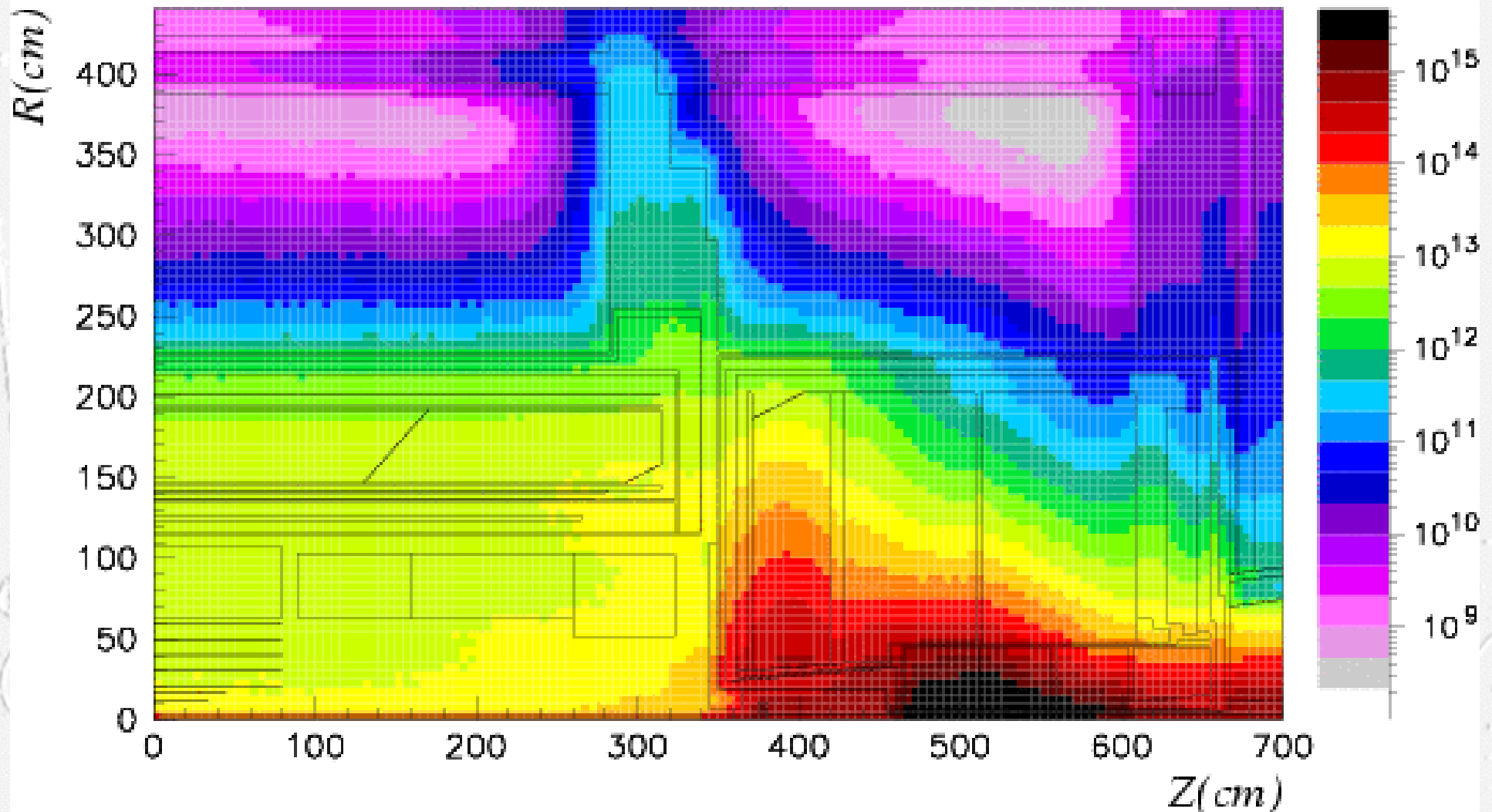
The highest momentum muon has a p_T of 653 GeV and an η of 0.99.
The subleading muon has a p_T of 646 GeV and an η of -0.85.
The invariant mass of the pair is 1844 GeV



3. Détecteurs : Environnement

ATLAS Flux de neutrons

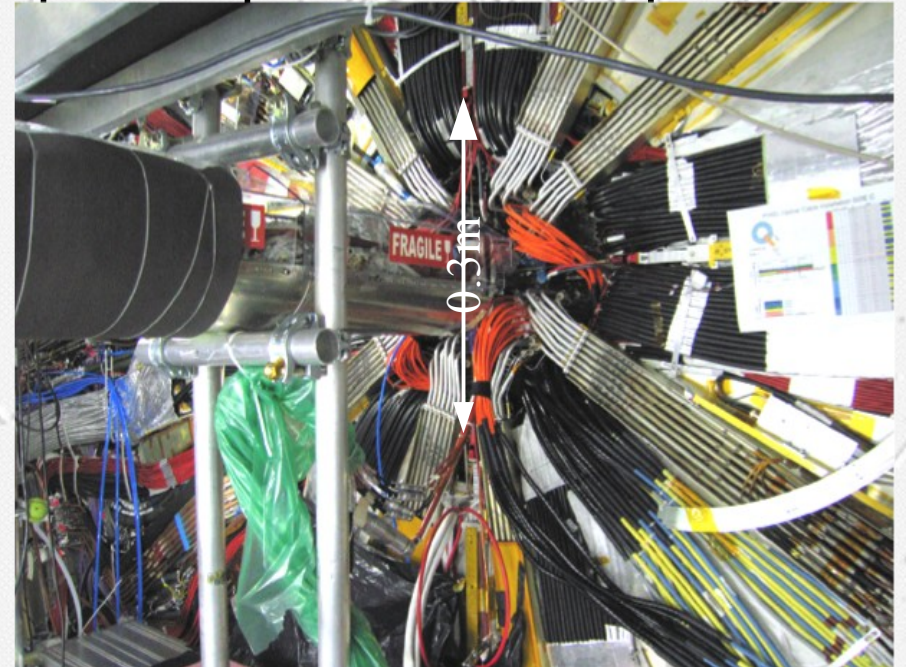
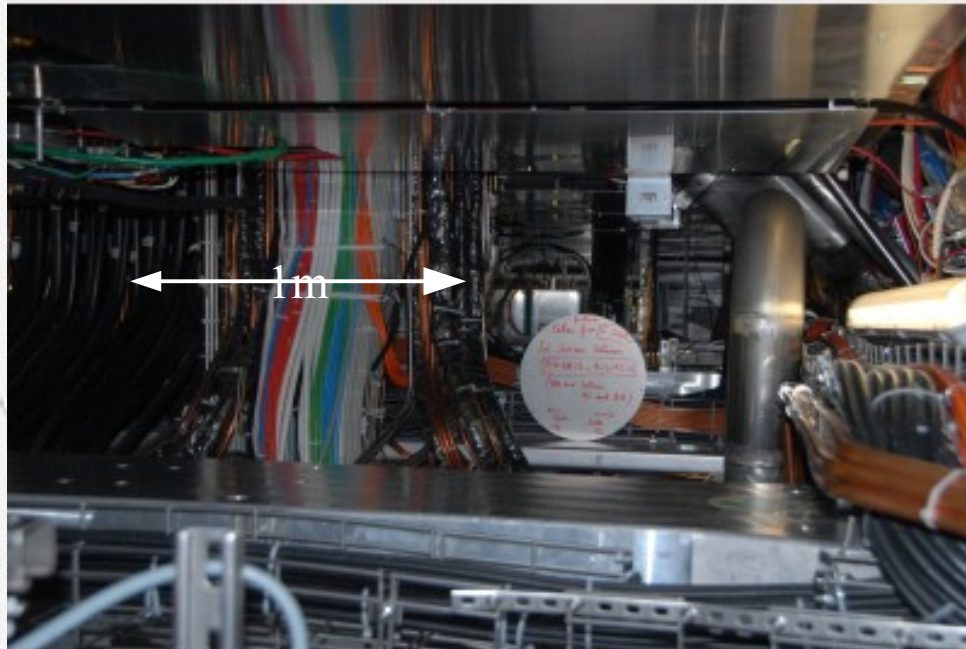
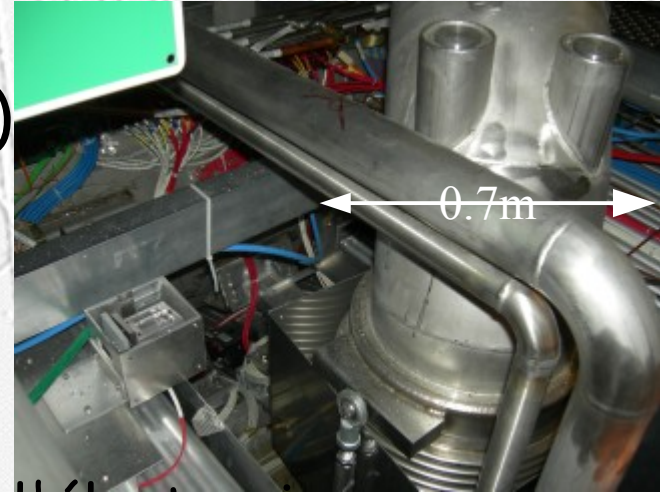
(1 MeV $n_{eq}/cm^2/yr$)



3. Détecteurs : *Services*

Ne pas négliger les problèmes liés aux services

- Récupération du signal (fils, fibres,...)
- Alimentation électrique, gaz,...
- Refroidissement
 - Estimation de la puissance dispensée par l'électronique



- Résumé

- **Électron & γ** : Calorimètre (elec)
 - +Trajectographe pour l'électron
- **Muon** : Tracjectographe
 - +info calo
- **Hadron**(k, π, p, n, λ) : Calorimètres (elec + Hadronique)
 - Jets
- **ν** : Énergie manquante
 - Herméticité