

Résumé de l'épisode précédent

Conception d'un détecteur

Episode IV

A NEW HOPE

*It is a period of civil war.
Rebel spaceships, striking
from a hidden base, have won
their first victory against
the evil Galactic Empire.*

Résumé → Episode IV A New Hope

1/ Introduction

- références, vocabulaire, unités

2/ Détecter quoi ↔ pourquoi

- remarques liminaires
- modélisation
- détecteur : ckoï ?

3/ Interaction particules matière

- rapide aperçu

4/ Généralités sur les détecteurs

5/ Exemples

- D0 (Fermilab)
- ATLAS (CERN)



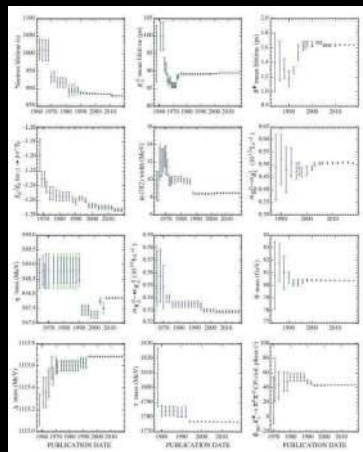
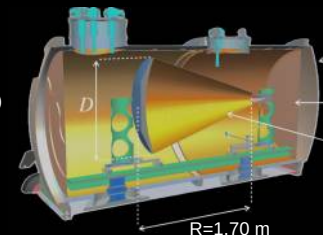
Particules

Delphi, D0, ATLAS...

Ondes

G-LEAD DAWA
(Dark matter Axion Wide-band Approach)

Champs



Résumé → Episode IV A New Hope

Déterminer la bonne question → contexte scientifique

-ex: recherche du boson de Higgs

→ la plage d'énergie à étudier → 100 GeV à 1000 GeV

boson

h

fermions



Théorie → conditions de production

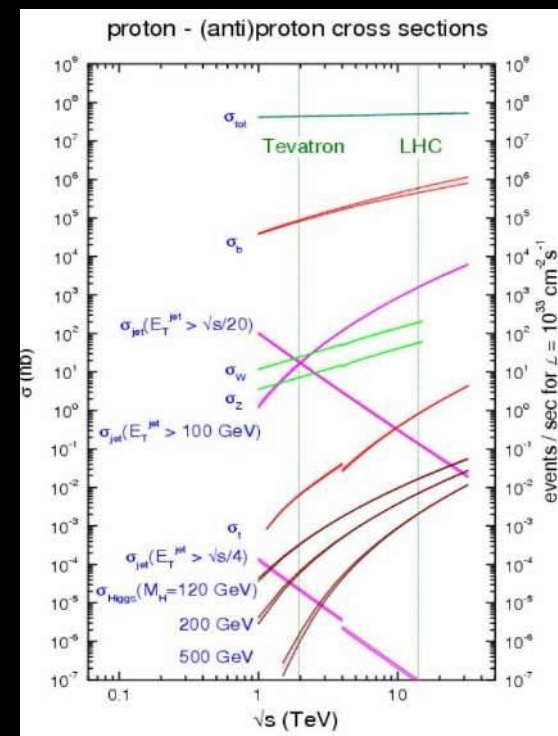
-paramètres théoriques sur 100 GeV à 1000 GeV

→ nombre de higgs , bruit de fond,...

Conditions des mesures : où

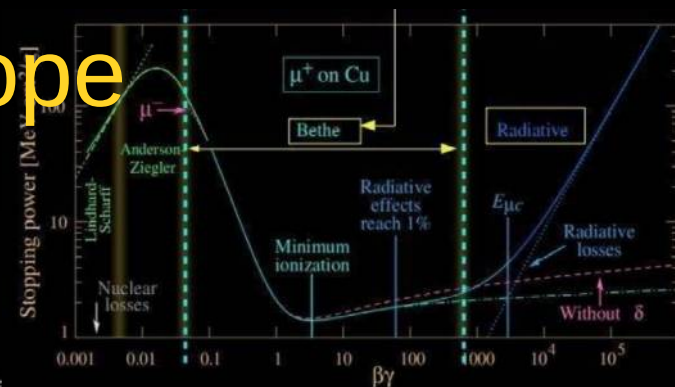
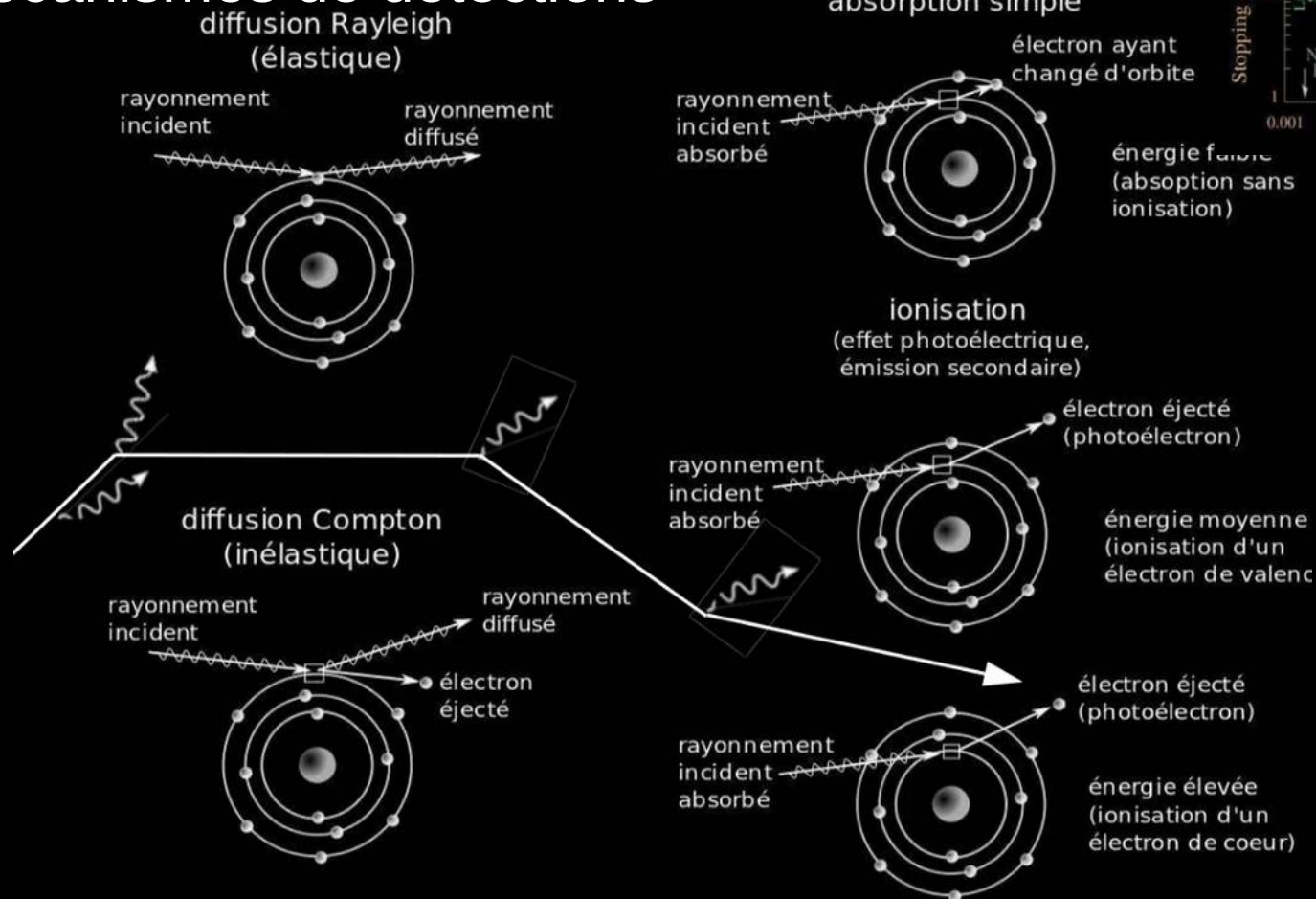
-CERN

→ 25ns → 40 MHz



Résumé → Episode IV A New Hope

Mécanismes de détections



Résumé → Episode IV A New Hope

Détection

-traces chargées

non destructif

-mesures énergie totale

absorption total

Particules élémentaires



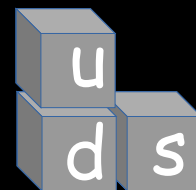
États liés → hadrons

$p, \pi^\pm, K^\pm \dots$

$n, \pi^0, \lambda \dots$



Pions : $u\bar{d}, d\bar{u}, (u\bar{u}-d\bar{d})$



Contraintes sur le détecteur

-résolutions : impulsion=énergie, spatiale, temporelle

Marco / Marco

-couverture angulaire : acceptances (η, ϕ)

-taux de comptage et tolérance au rayonnement

Damien / Marco

-contraintes mécaniques, thermiques et d'espace

Julien

STAR WARS

**THE EMPIRE
STRIKES BACK**

EPISODE V

Conception d'un détecteur

23-25 Novembre 2025, Roscoff

1/ Introduction

- références, vocabulaire, unités

2/ Détecter quoi ↔ pourquoi

- remarques liminaires
- modélisation
- détecteur : ckoï ?

3/ Interaction particules matière

- rapide aperçu

4/ Généralités sur les détecteurs

5/ Exemples

- D0 (Fermilab)
- ATLAS (CERN)

Merci à

Bertrand, Christina, Damien,
Julien, Marco B., Marco D.,
Raphaël

Pas de Merci à

Aline, je n'étais pas présent...

4/ Généralités sur les détecteurs

Interactions particules-matière

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 énergie manquante (E_{t_miss})
- Moins vrai pour SK (mesure spécifique aux neutrinos)

4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique

$$\mathbf{F} = q (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

← force de Lorentz

$$\mathbf{F} = \frac{q}{m\gamma} \mathbf{p} \times \mathbf{B}$$

← partie magnétique

$$\mathbf{p}_{[\text{GeV}]} = 0.3q \mathbf{B}_{[\text{T}]} \mathbf{R}_{[\text{m}]}$$

← réécriture en unités qui vont bien

Intégrale de champ

→ $\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ → définit le système magnétique

→ $\int \mathbf{B} \cdot \mathbf{l} \cdot d\mathbf{l}$ → définit la résolution en impulsion du détecteur

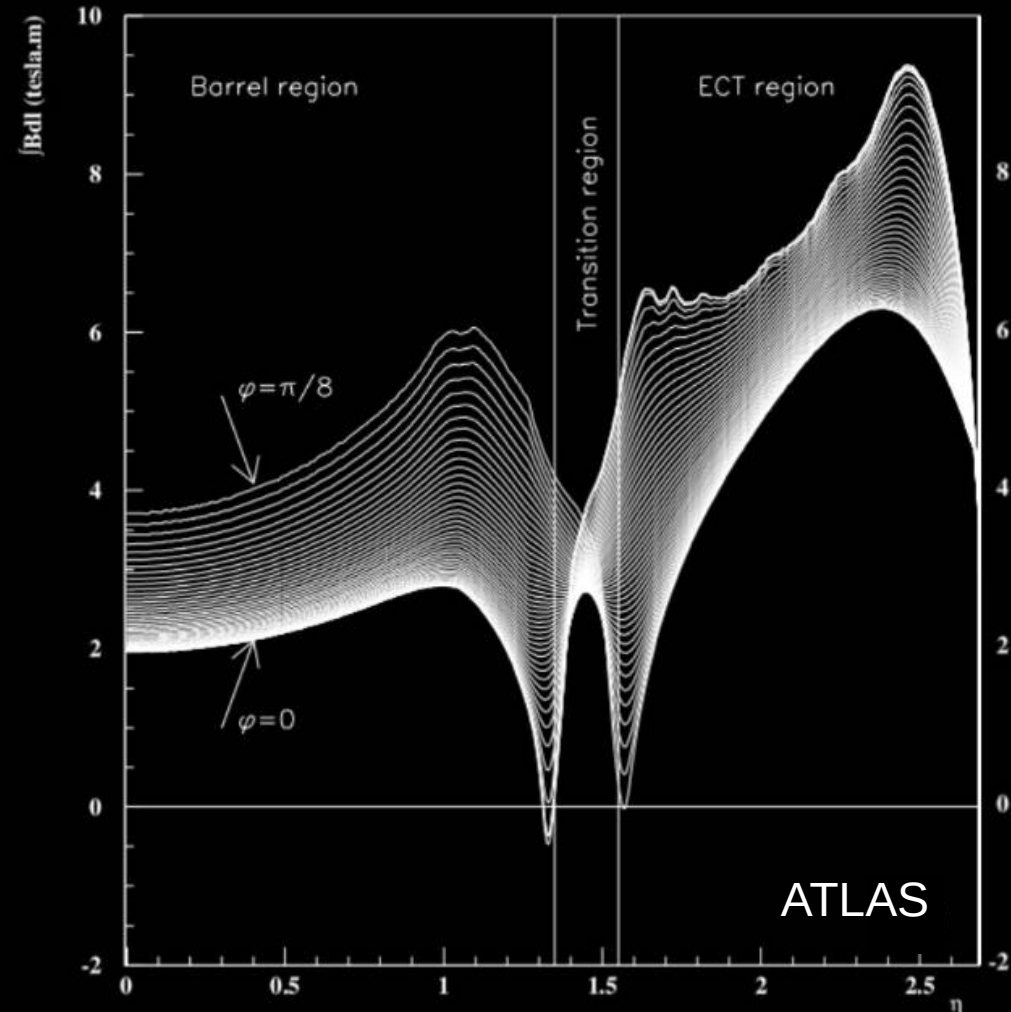
4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique

Intégrale de champ

$$\rightarrow \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

\rightarrow défini le système magnétique



4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique

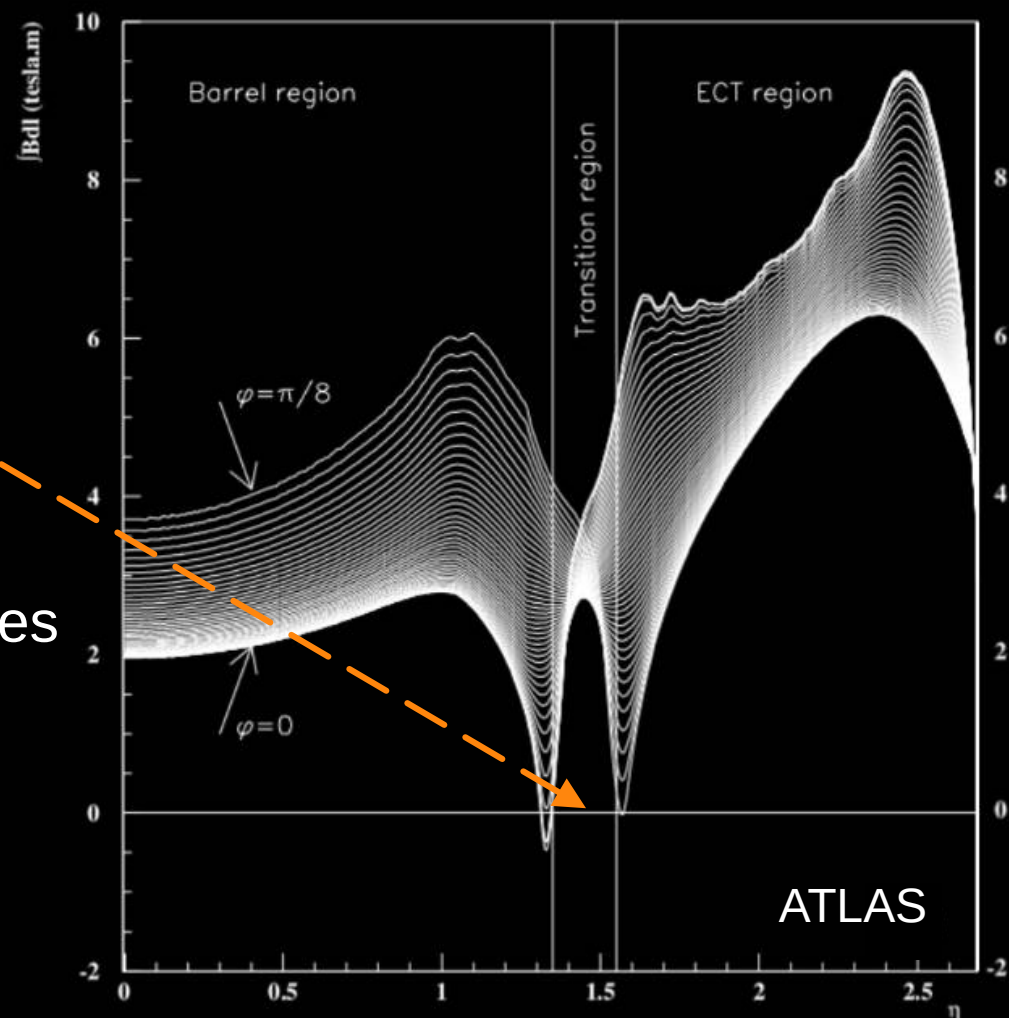
Intégrale de champ

$$\rightarrow \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$$

\rightarrow défini le système magnétique

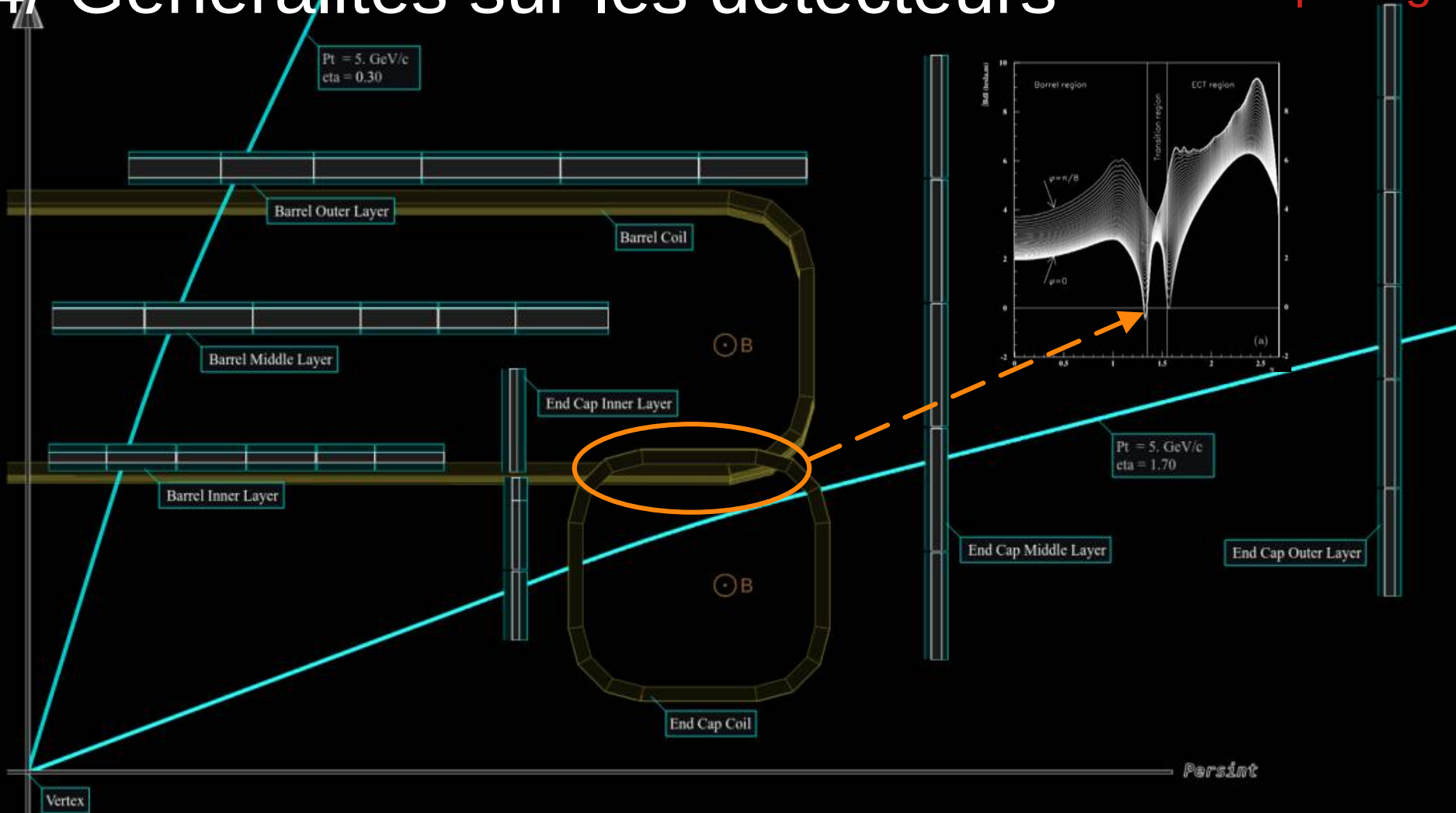
Et là, c'est le drame !

Julien,
Je dois changer le cahier des charges



4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique



4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique

Solénoïdal

- Constant sur une grande partie de son volume
 - trajectographie « simplifiée »
- pp(bar): ok Plan transverse ($R\phi$) (E beam mal connu!)
- impulsion donnée : courbure diminue qd rapproche de l'axe
- « Nettoyage » des traces chargées de faible impulsion

Toroïdal

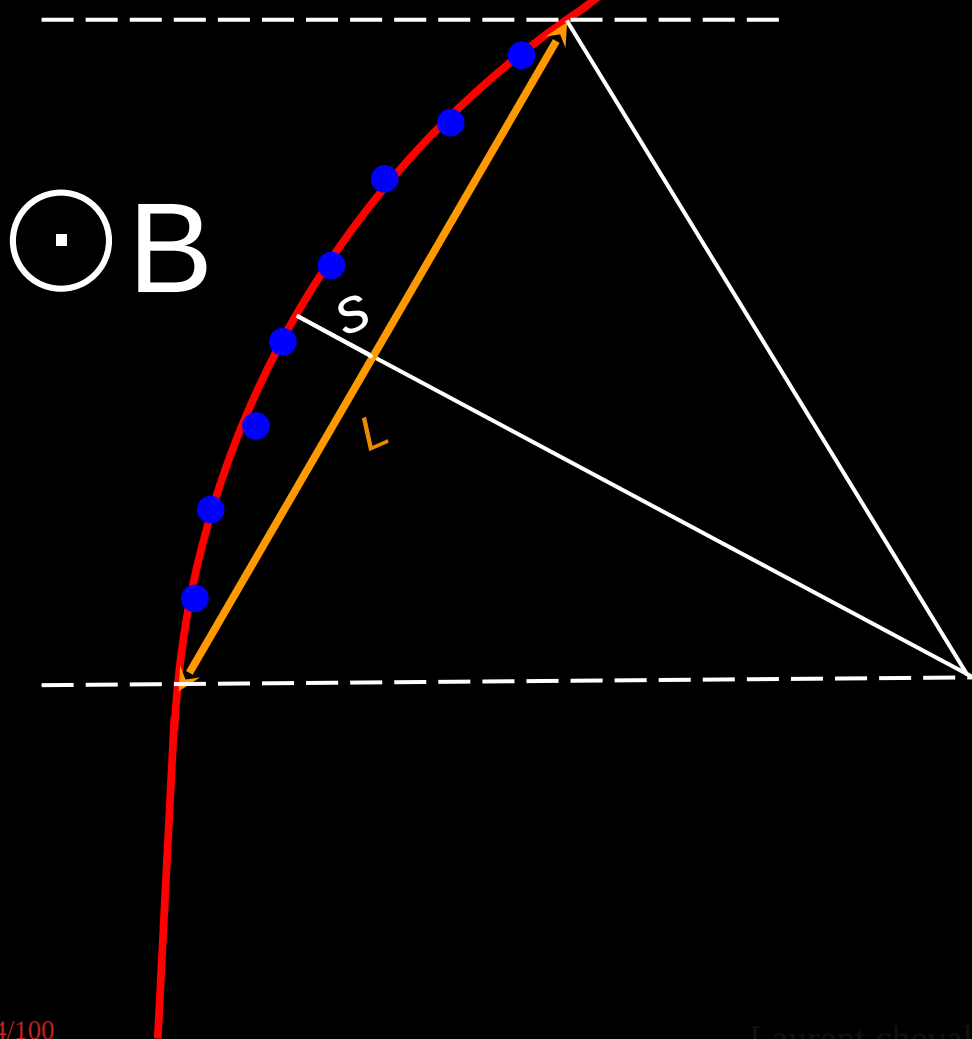
- Champ moins homogène
- Volume potentiel plus grand
- Intégral de champ +/- constant vers l'avant

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

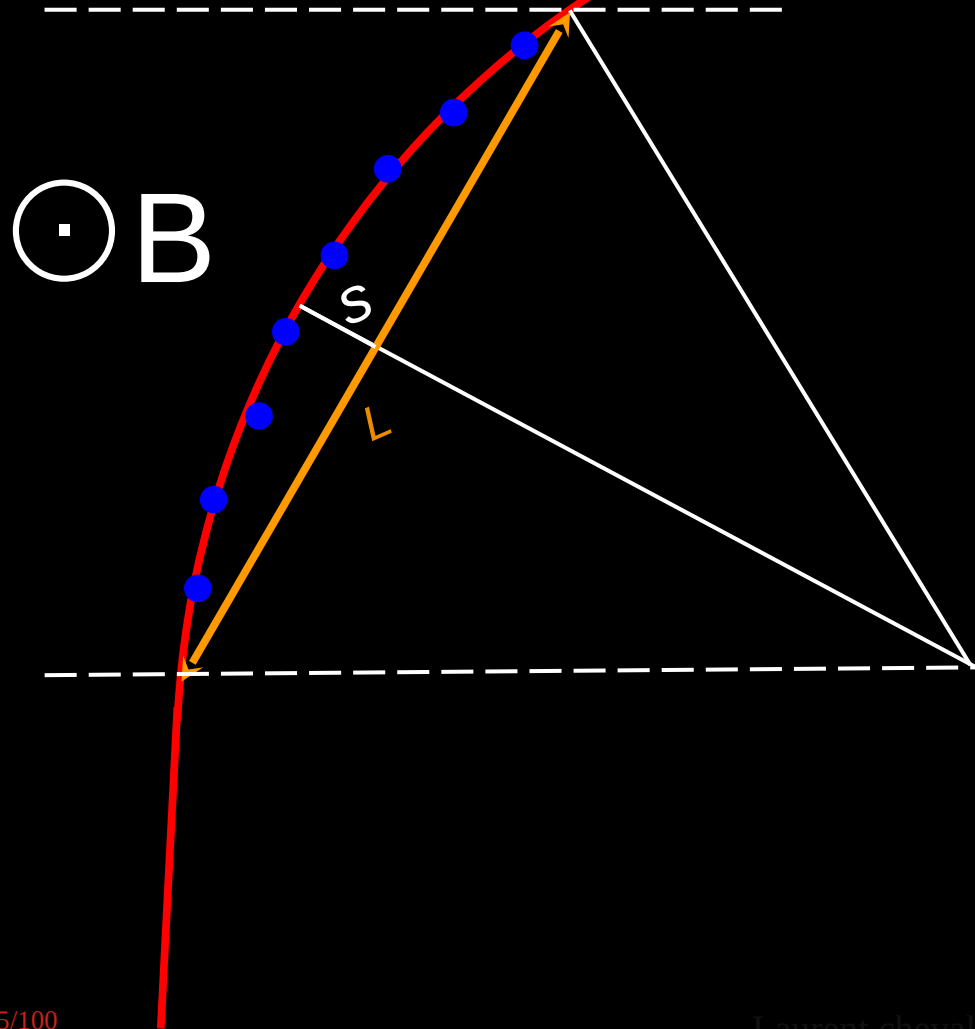
4/ Généralités sur les détecteurs

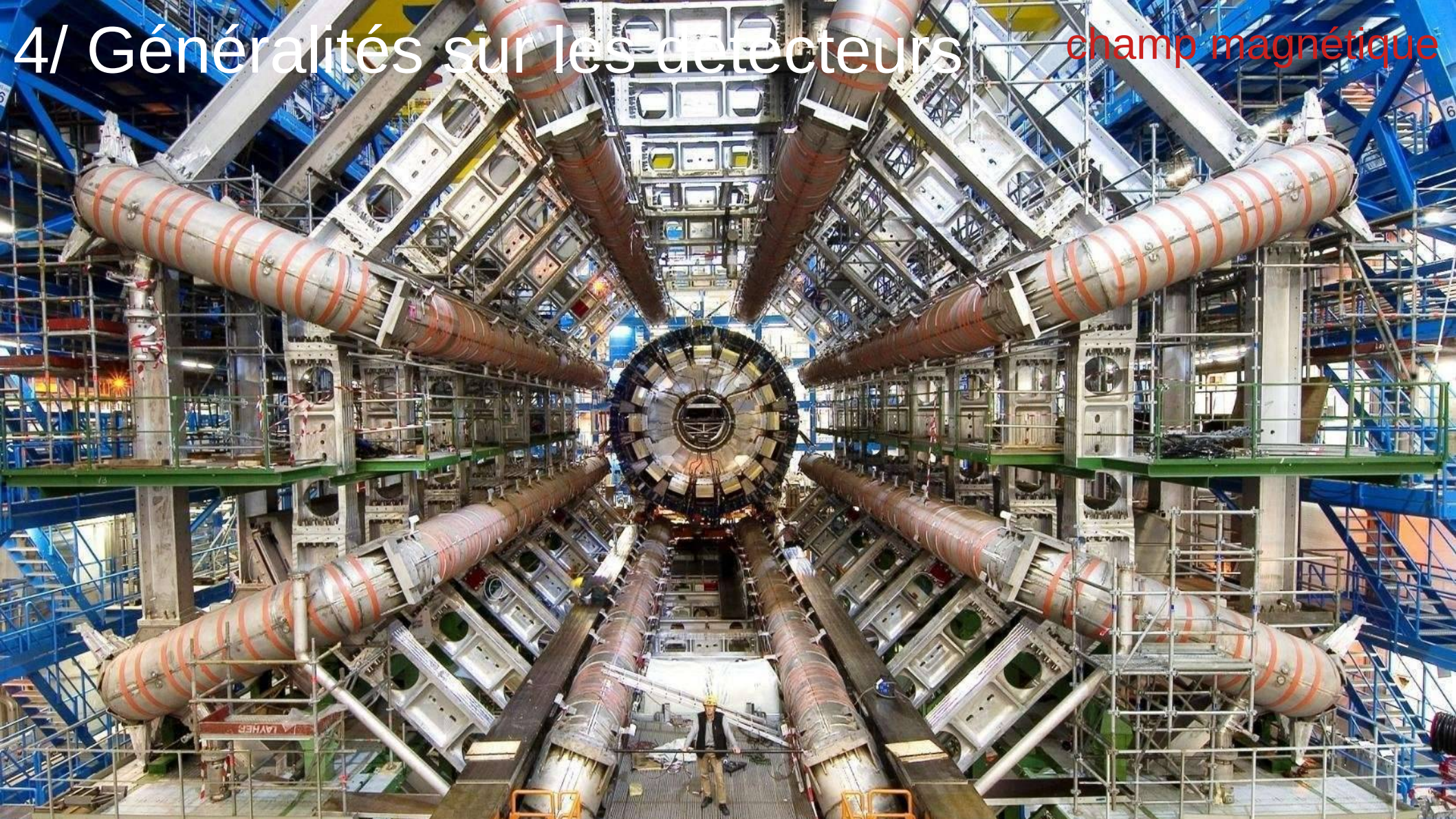
champ magnétique



4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique



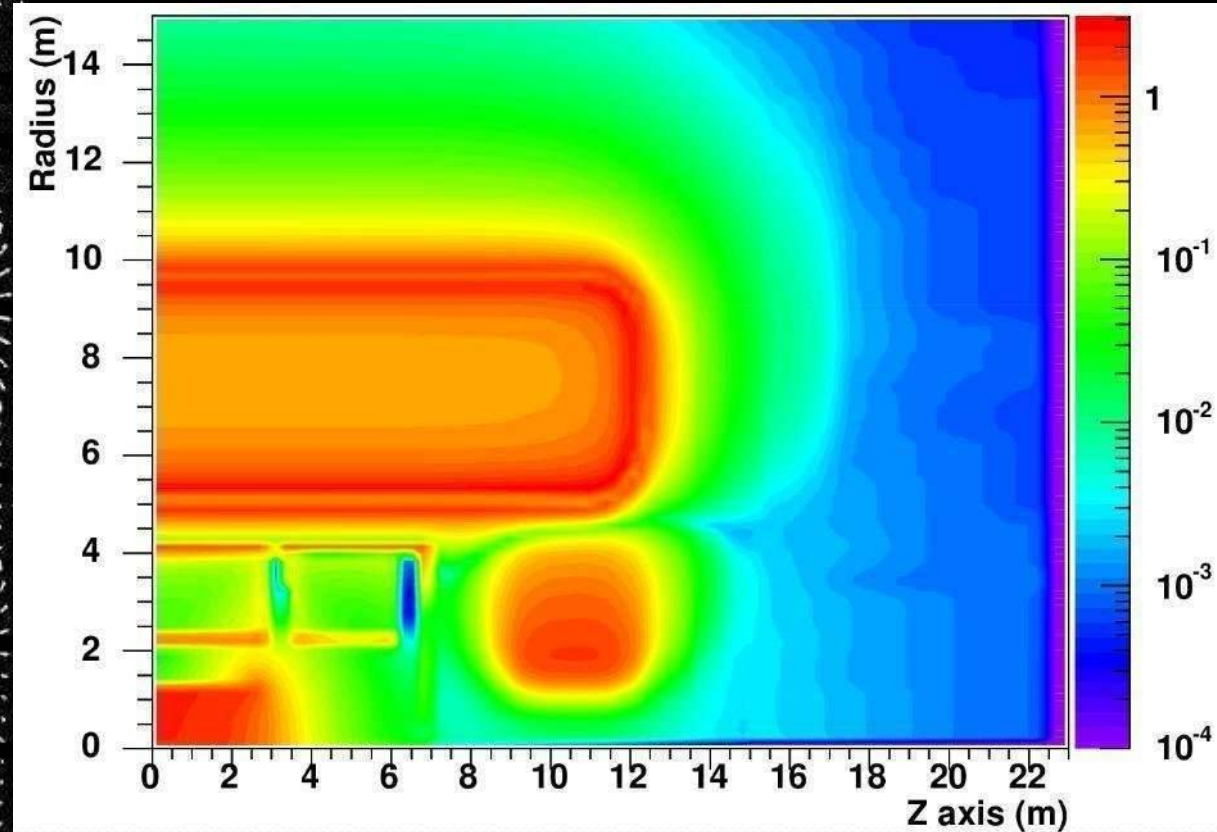
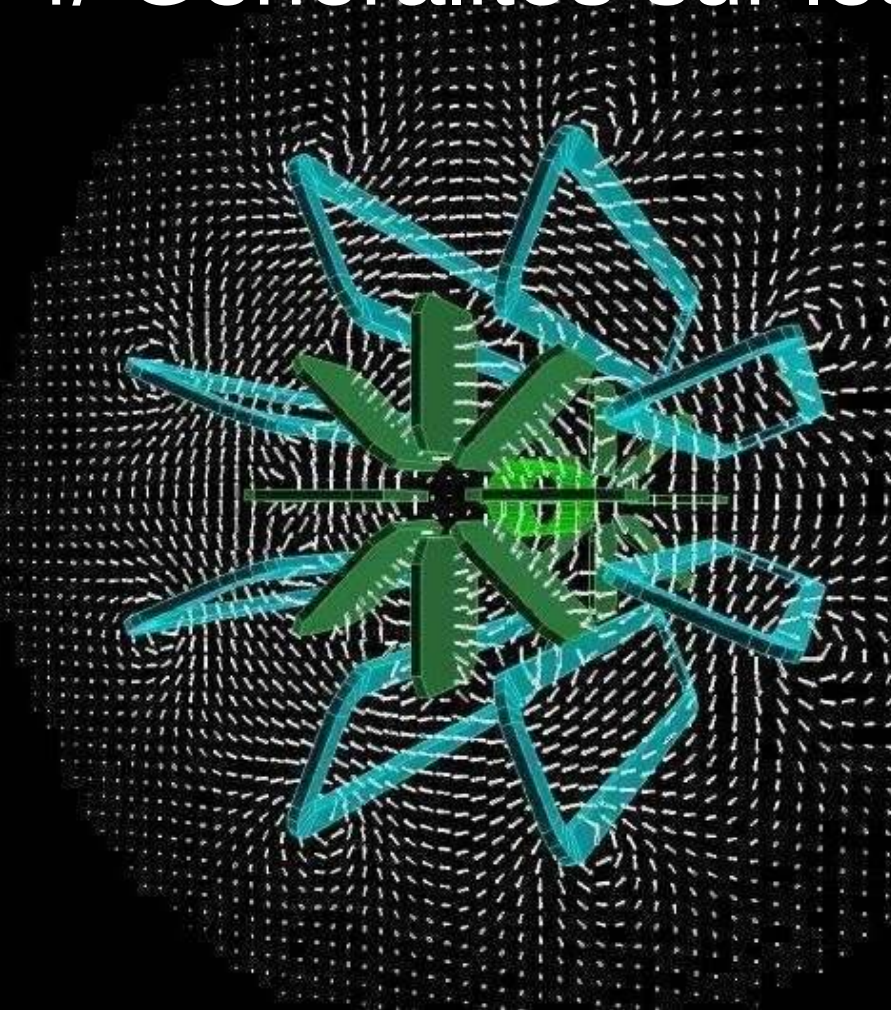


4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique

4/ Généralités sur les détecteurs

champ magnétique



4/ Généralités sur les détecteurs

Paramètres significatifs

Point d'interaction

Trajectographie

Cal électromagnétique

Spectromètre à muons

Longueur de Radiation

- X_0 = Longueur caractéristique des pertes par radiation
 - Atténuation l'énergie par radiation : $\exp(-x/X_0)$
 - Longueur sur la quelle un électron perd 1/e de son énergie par brem

Longueur d' interaction

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

4/ Généralités sur les détecteurs

Paramètres significatifs

Cal hadronique

Longueur de Radiation

- X_0 = Longueur caractéristique des pertes par radiation
 - Atténuation l'énergie par radiation : $\exp(-x/X_0)$
 - Longueur sur la quelle un électron perd 1/e de son énergie par brem

Longueur d' interaction

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

4/ Généralités sur les détecteurs

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
 - rayonnement de transition
 - Cherenkov
 - temps de vol.

Calorimètres : détecteurs « massifs » → absorption → mesure énergie

- mesure des électrons, photons, hadrons

Point d'interaction

Trajectographie

Cal électromagnétique

Cal hadronique

Spectromètre à muons

4/ Généralités sur les détecteurs

Point d'interaction

Trajectographie

Cal électromagnétique

Cal hadronique

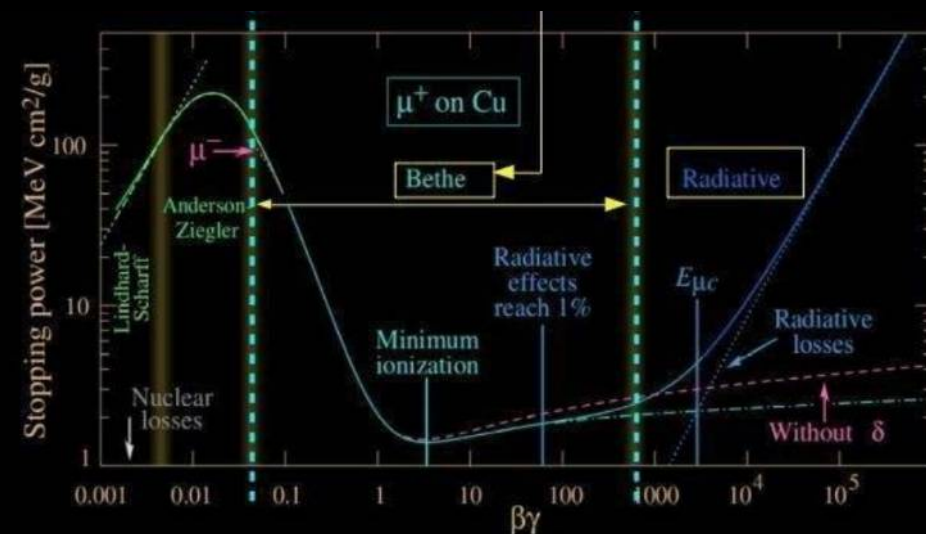
Spectromètre à muons

Muons

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

Remarque:

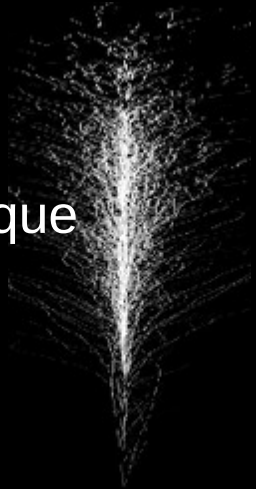
- énergie manquante $\rightarrow \nu$
- estimation de l'herméticité



4/ Généralités sur les détecteurs

Réponse schématique

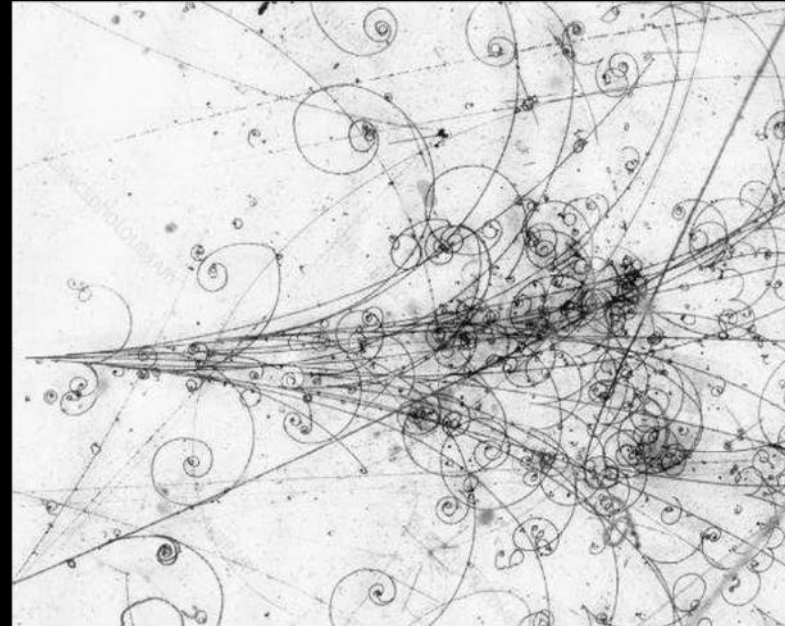
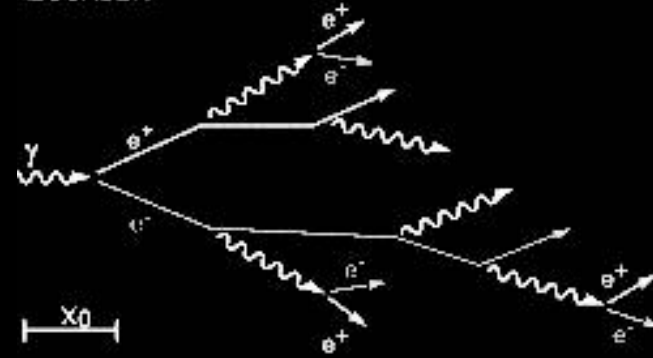
Gerbe :
électromagnétique
hadronique



Trace observée



ABSORBER

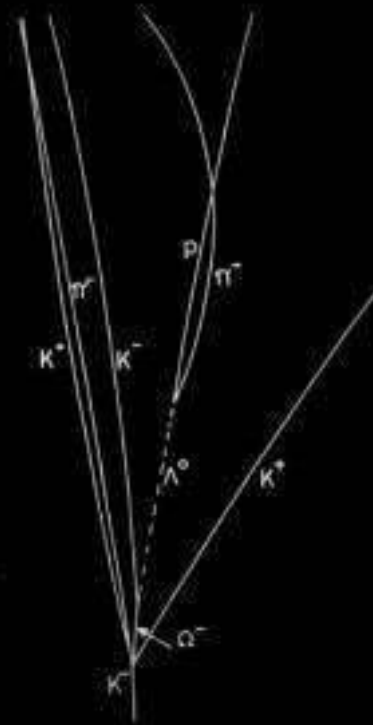
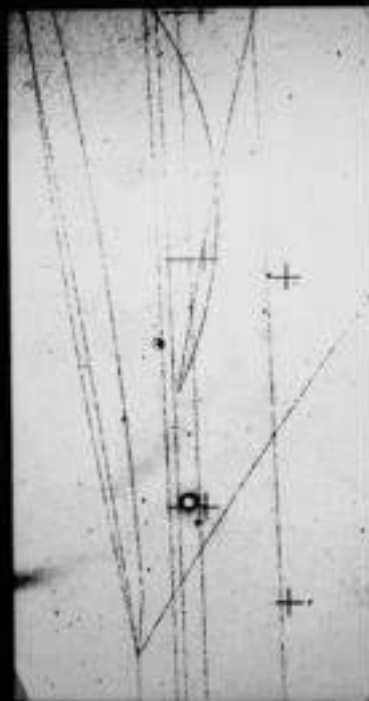


4/ Généralités sur les détecteurs

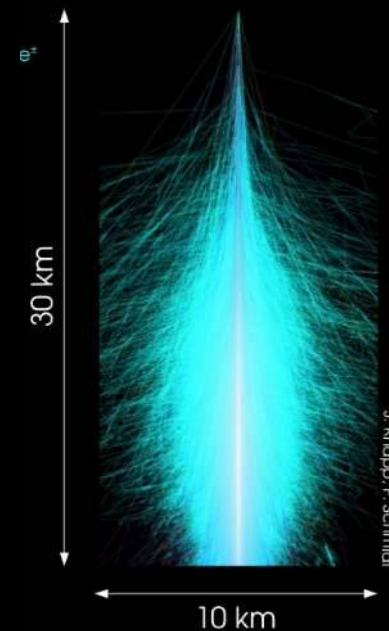
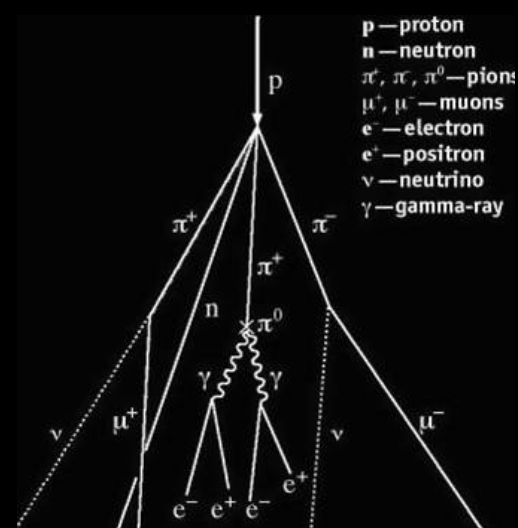
Réponse schématique

Gerbe :
électromagnétique
hadronique

Trace observée



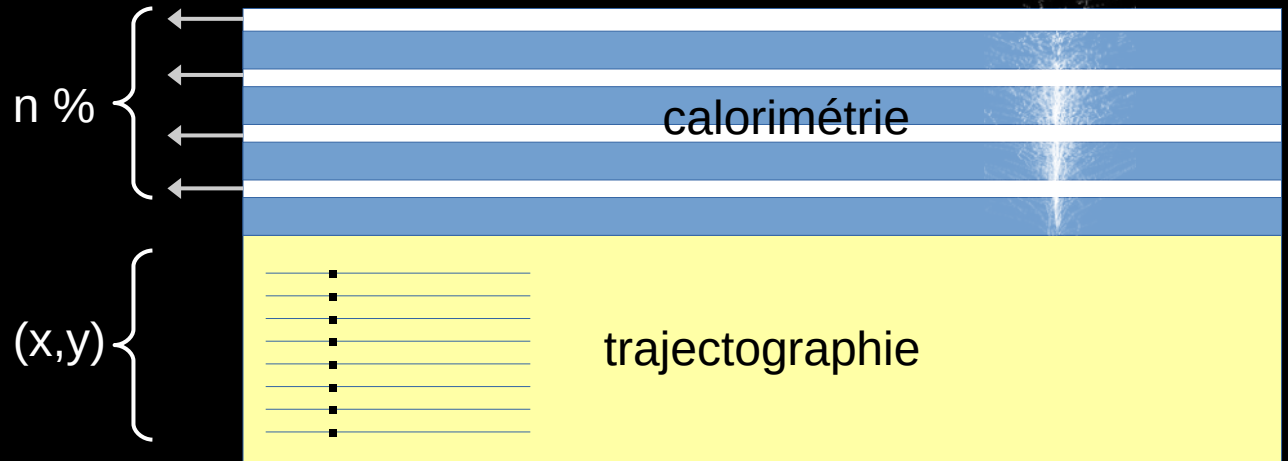
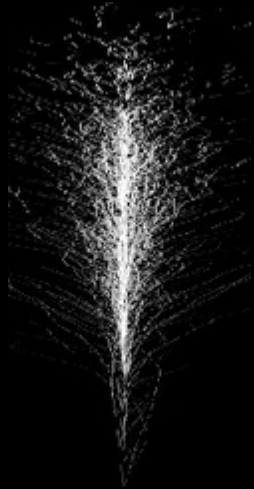
AT 10 GeV/c



4/ Généralités sur les détecteurs

Réponse schématique

Gerbe :



Trace observée:



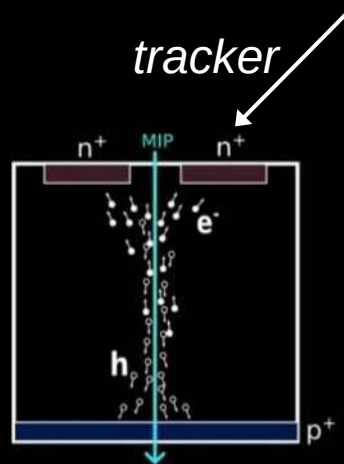
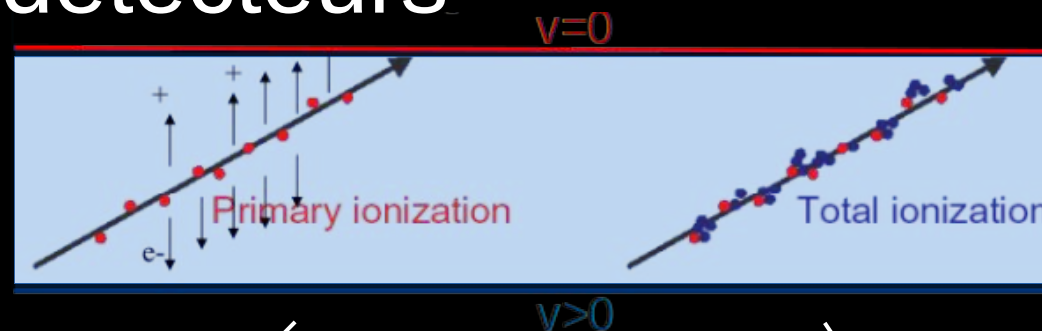
4/ Généralités sur les détecteurs

Réponse schématique

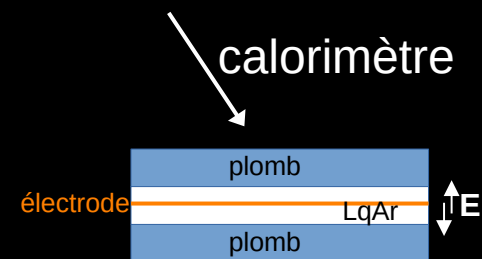
Gerbe :



Trace observée:



tracker



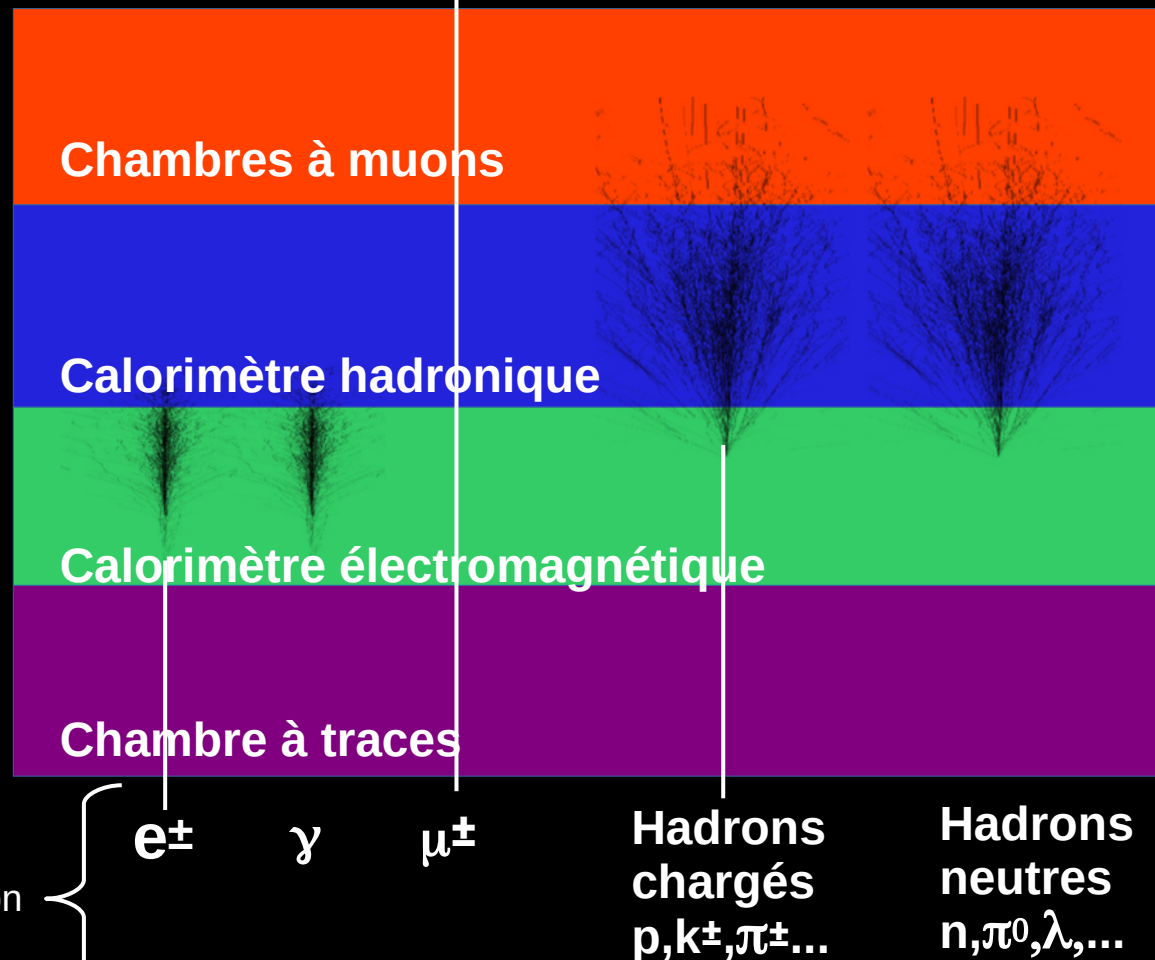
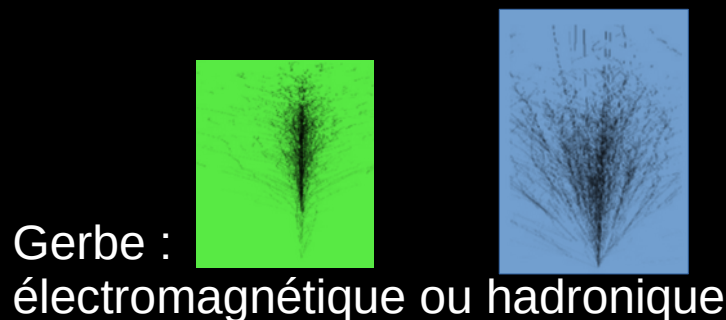
calorimètre

Particule interagit avec la matière du détecteur et produit quelques électrons qui seront multipliés

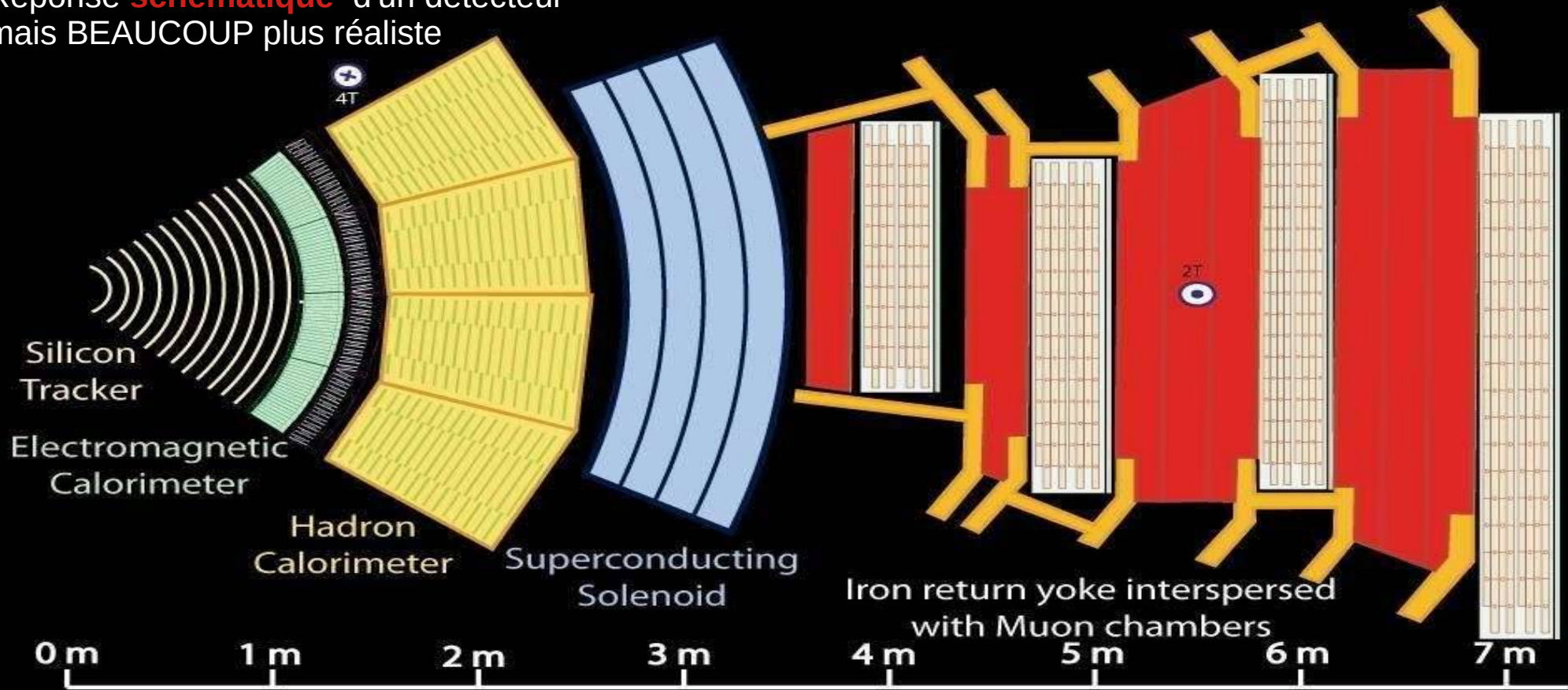
4/ Généralités sur les détecteurs

détecteur

Réponse schématique d'un détecteur
mesures partielles & destructives

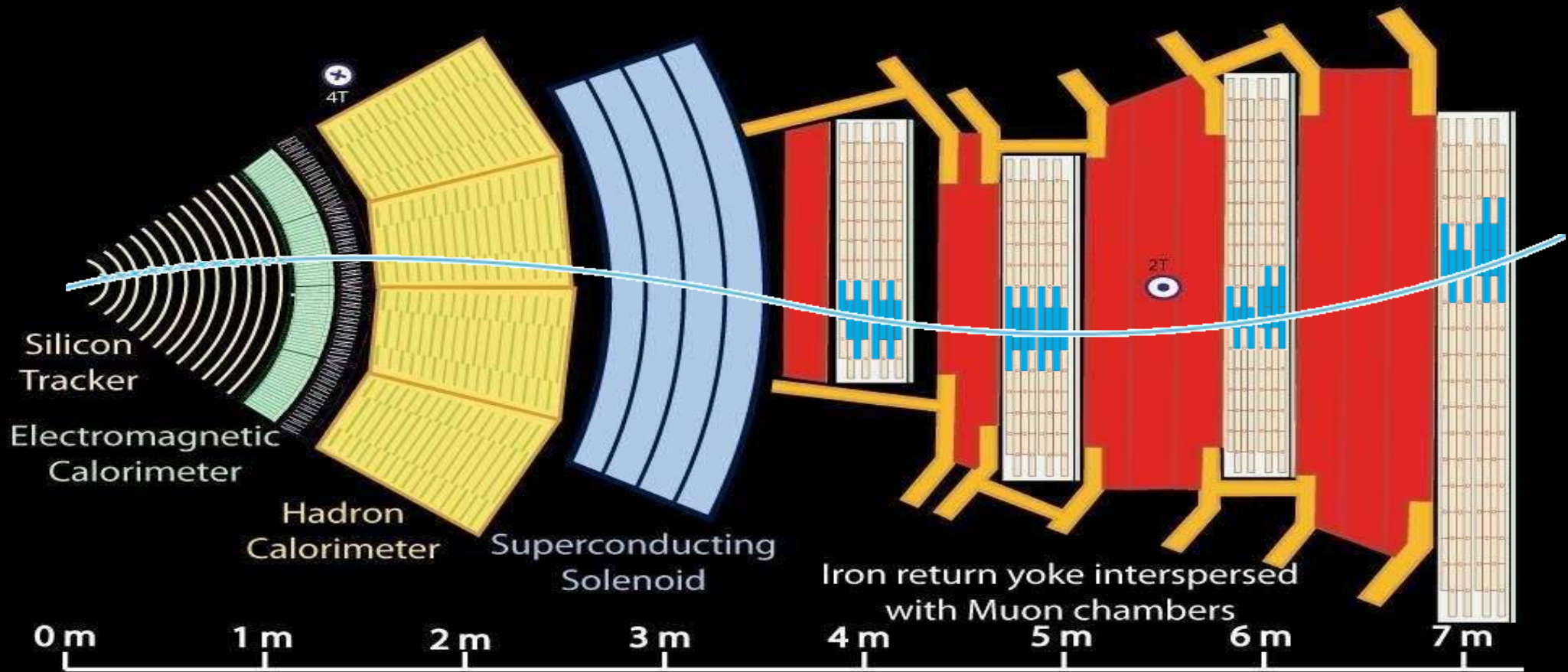


Réponse **schématique** d'un détecteur
mais BEAUCOUP plus réaliste



Key:

- | | | |
|-------------------------------|----------|----------------------------|
| Muon | Electron | Charged Hadron (e.g. Pion) |
| Neutral Hadron (e.g. Neutron) | Photon | |



Key:

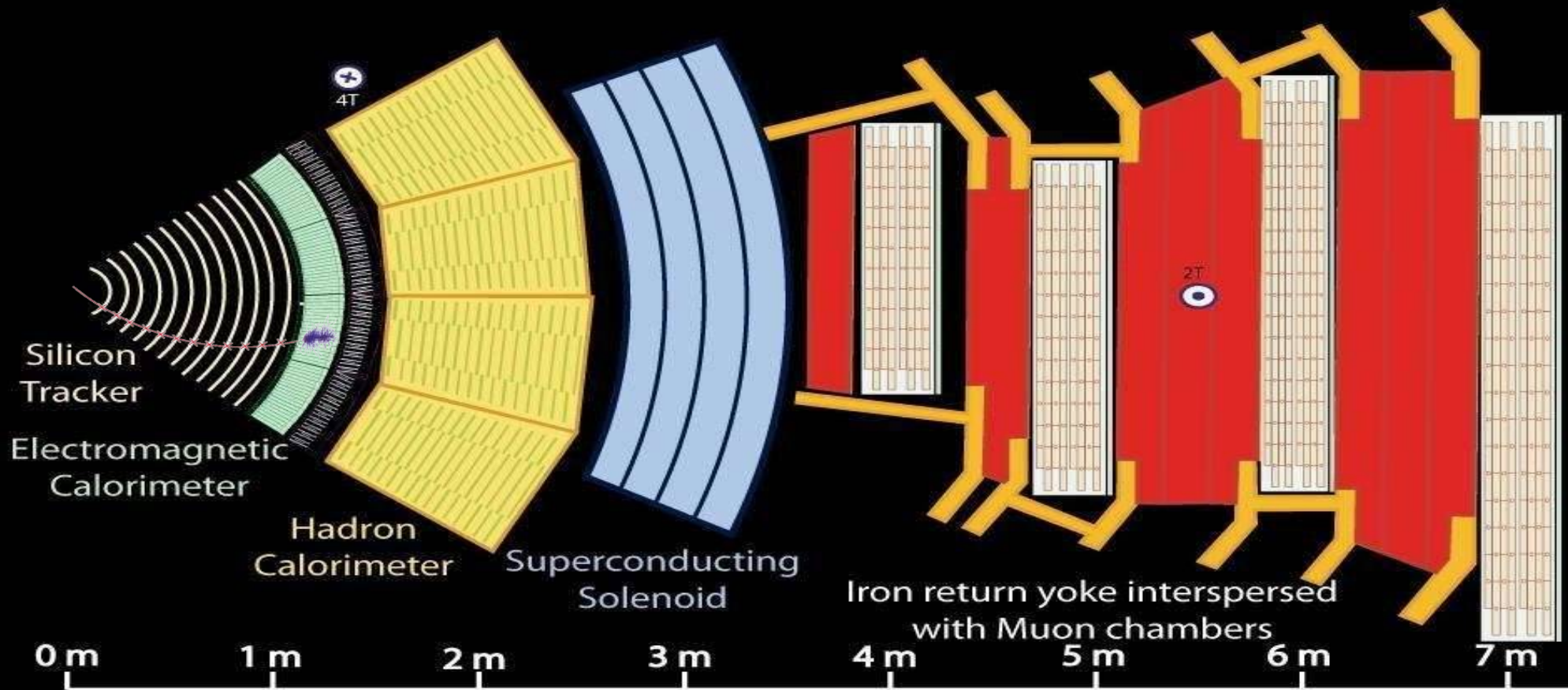
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

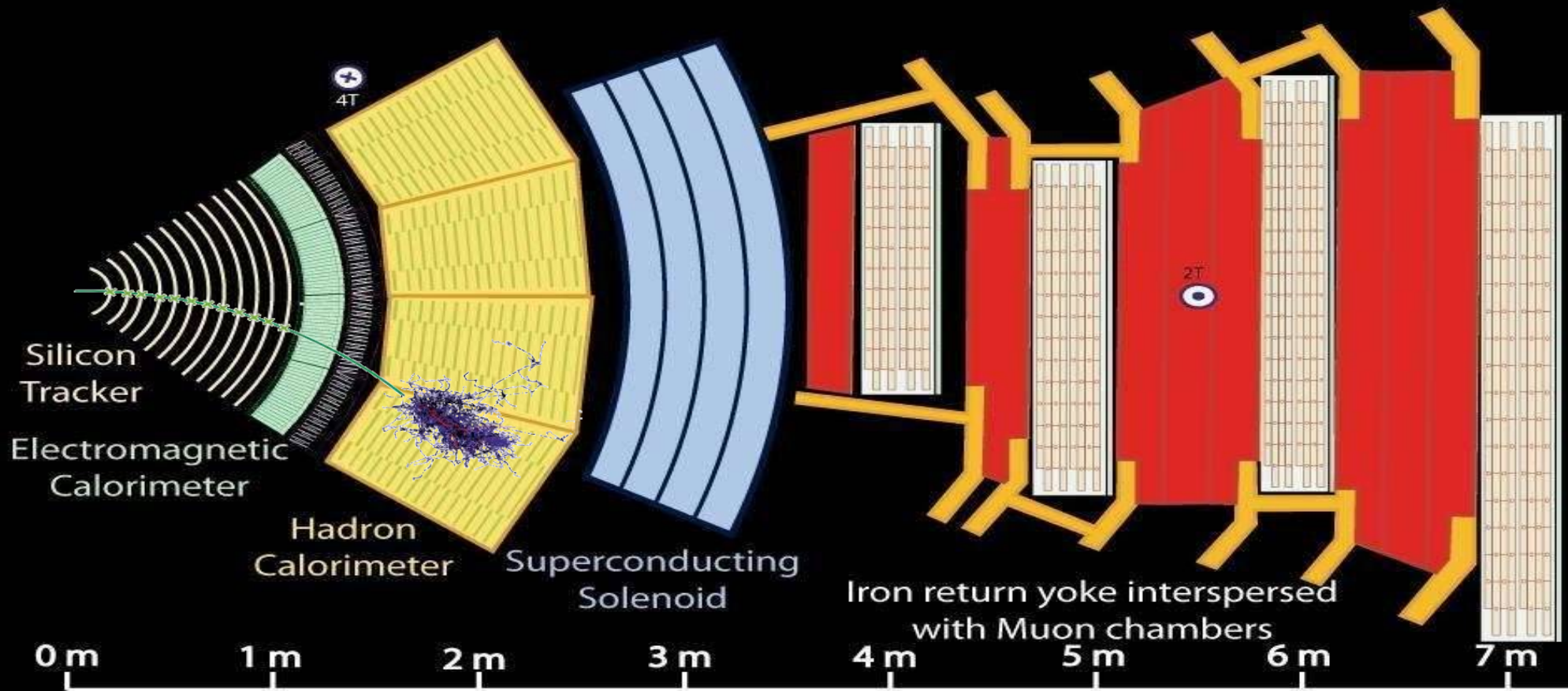
— Muon

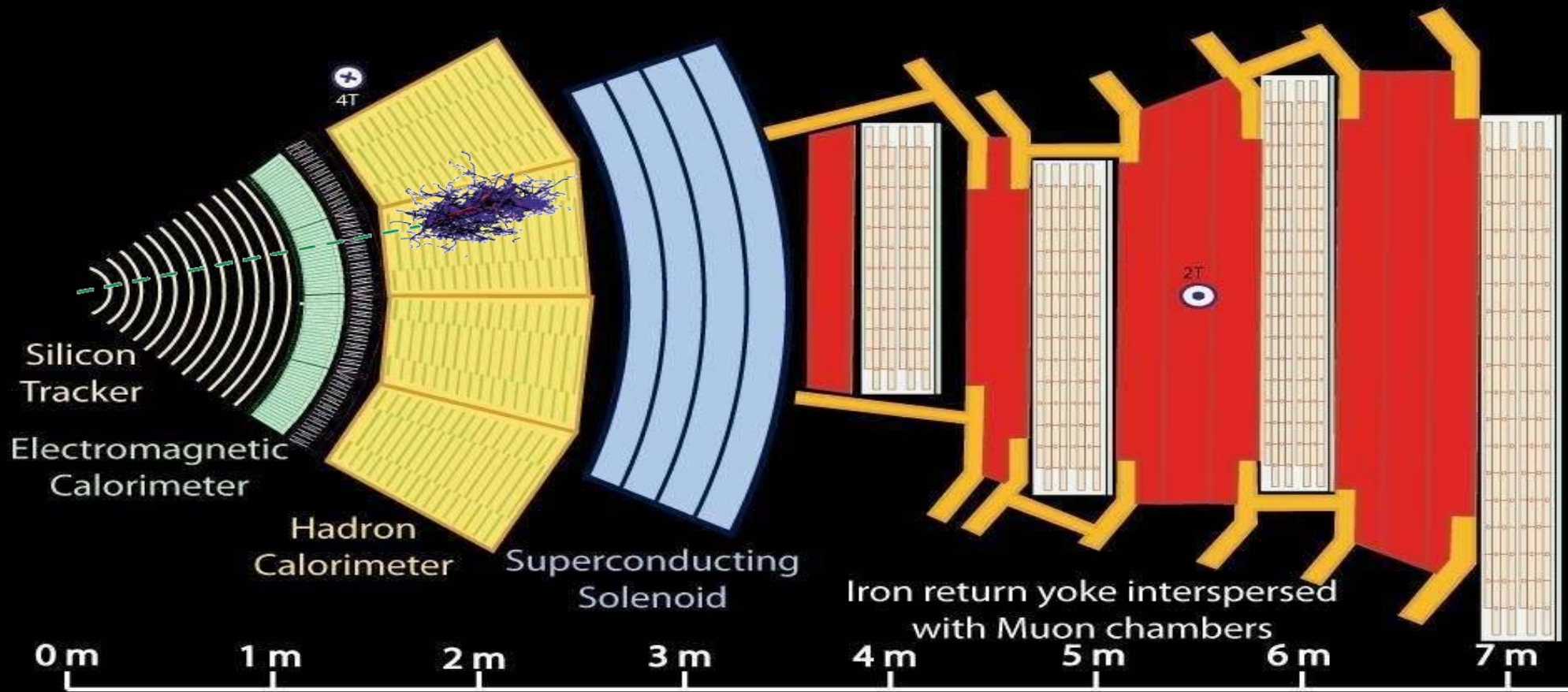
— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon





Key:

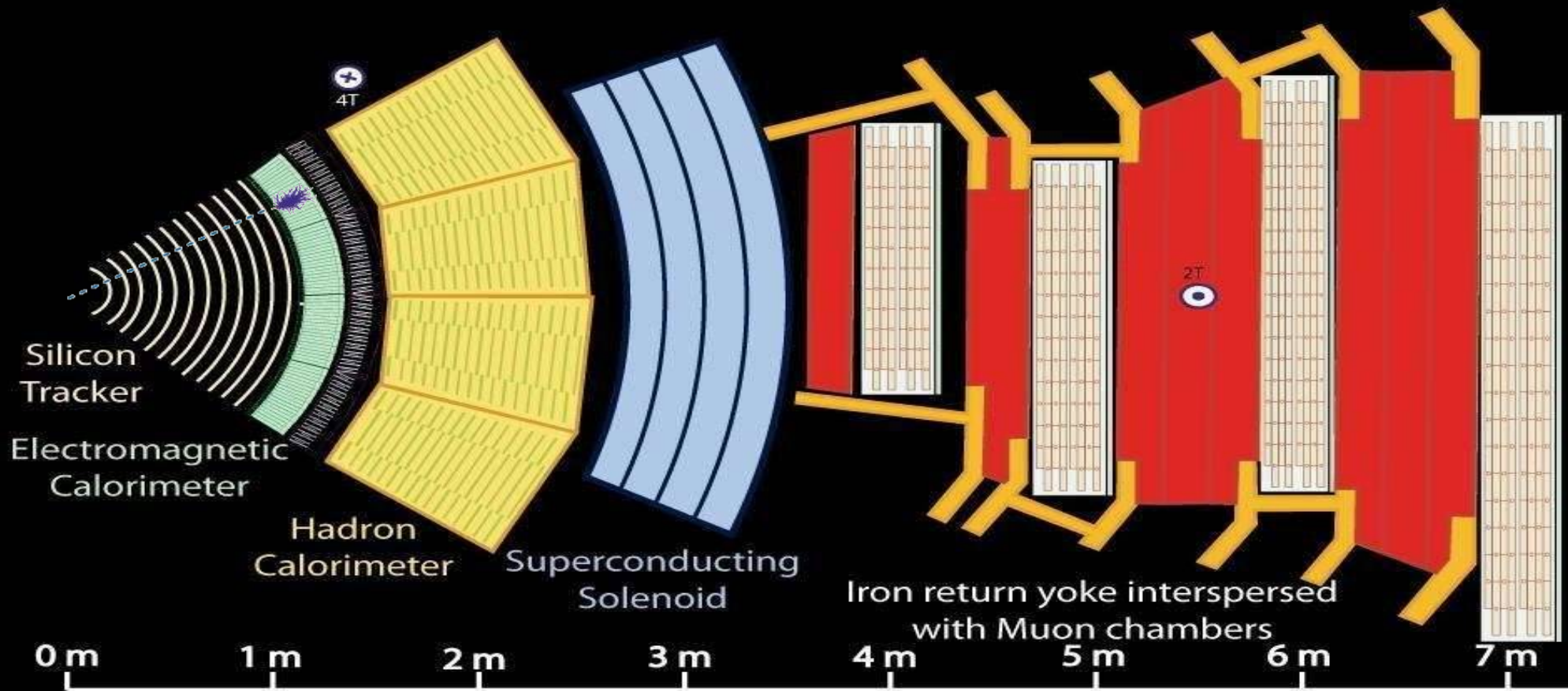
— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon



Key:

— Muon

— Electron

— Charged Hadron (e.g. Pion)

- - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)

- - - Photon

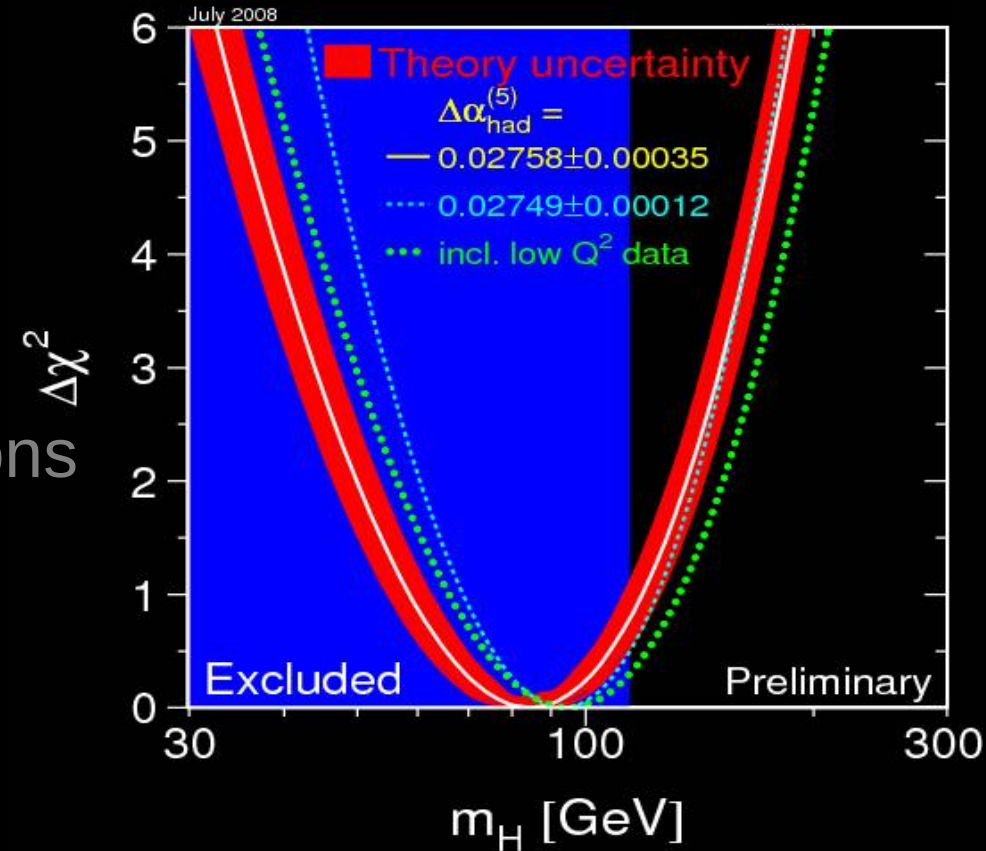
4/ Généralités sur les détecteurs

Physique

- théorie (MS) → simulations
 - permet de concevoir le détecteur
 - contraintes précédentes

Physique

- théorie (Maxwell) → simulations
 - détecteur ← GEANT4

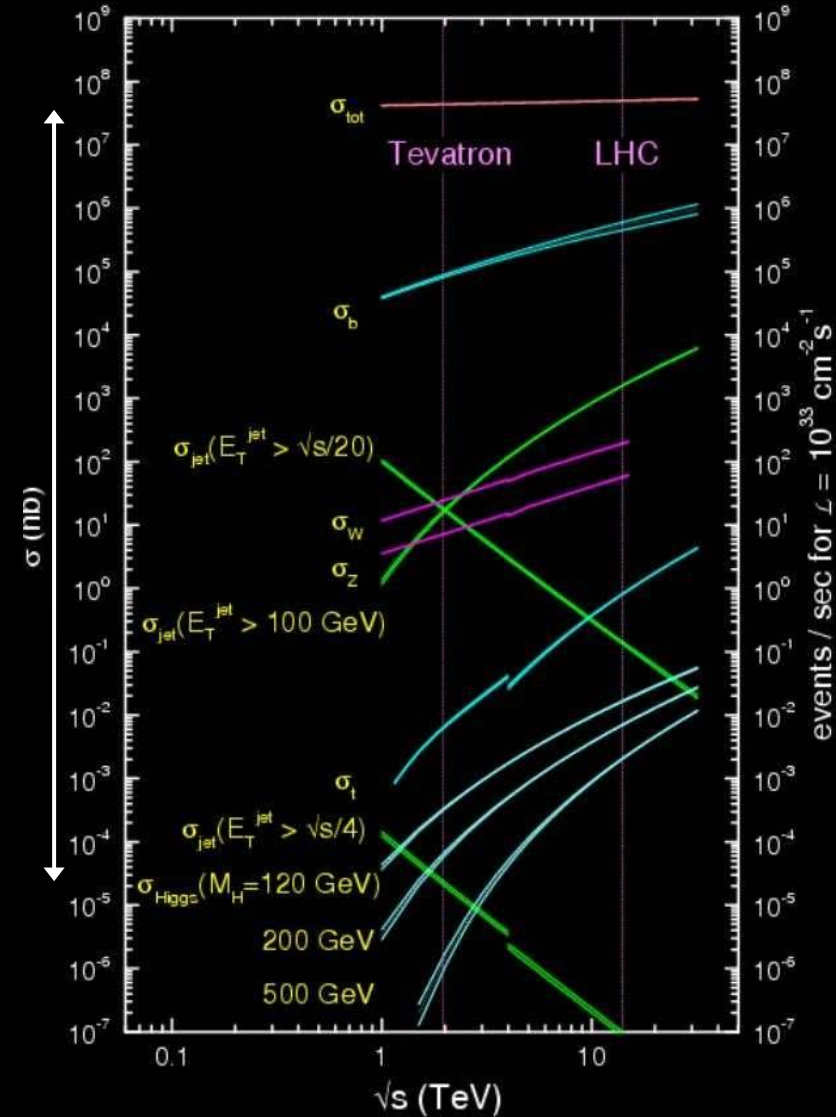


Physique → théorie → simulations

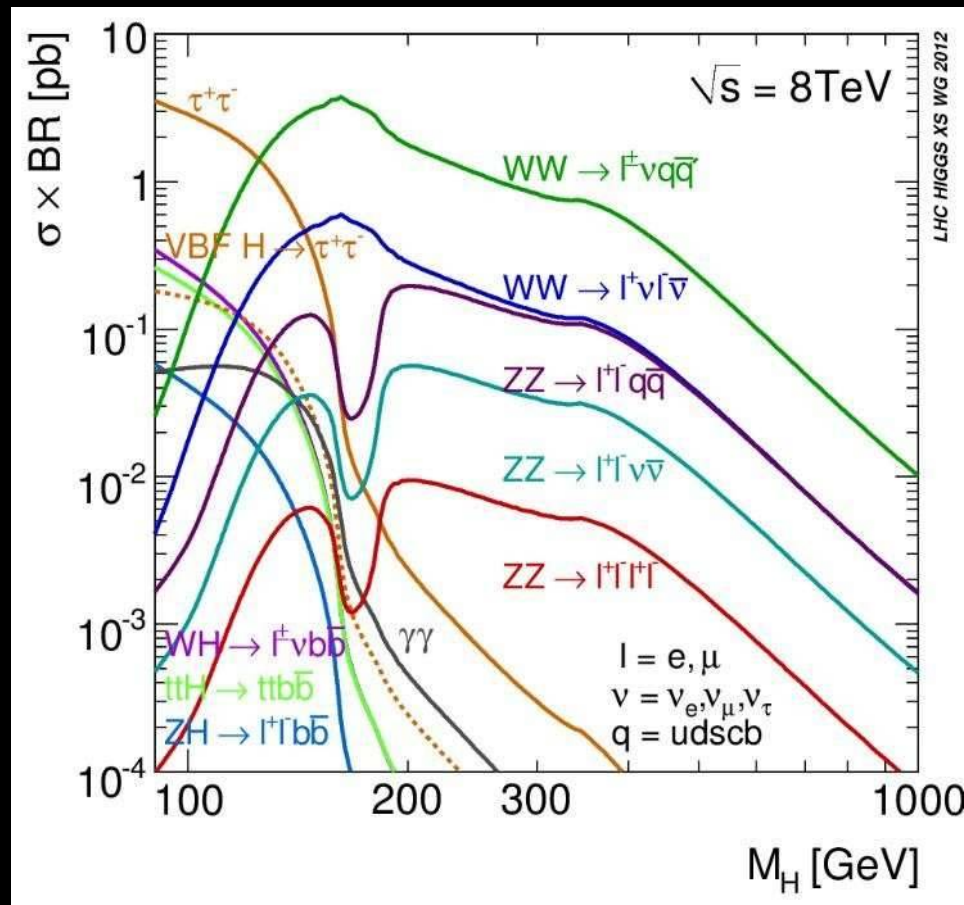
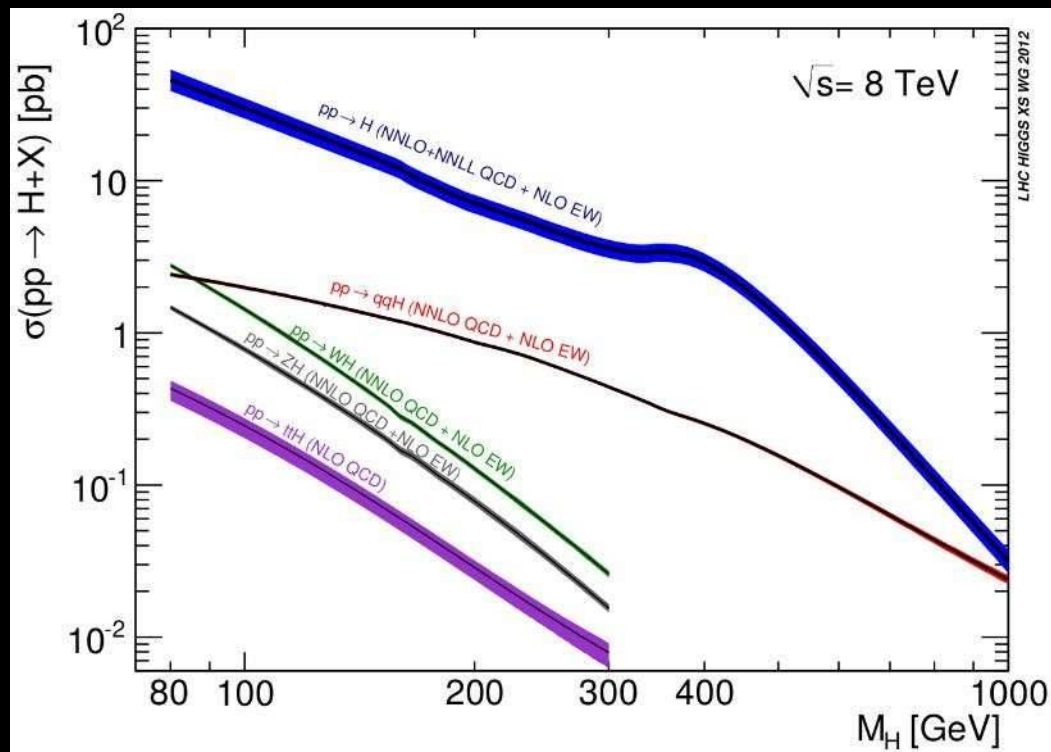
ordre de grandeur $\sim 10^{12}$
de ce qu'on cherche



proton - (anti)proton cross sections



Physique → théorie → simulations



Physique \rightarrow théorie \rightarrow simulations



générateur

hard process

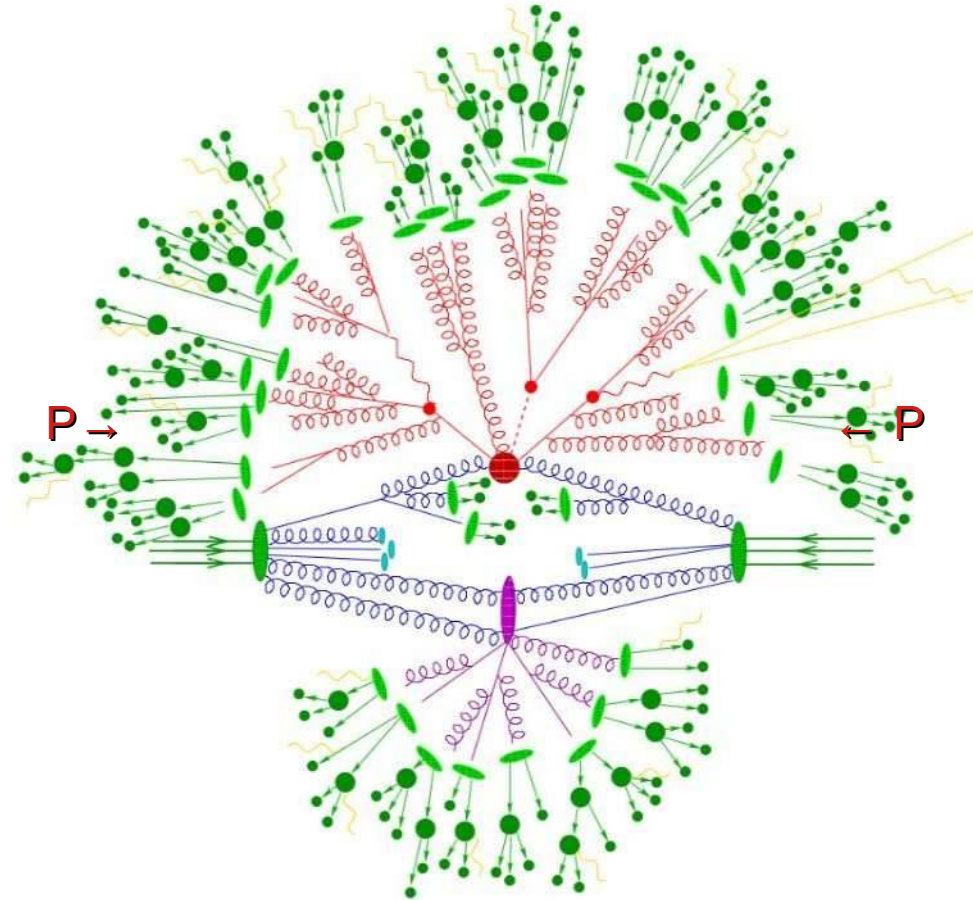
parton distribution function

underlying event

parton shower

hadronisation

pile-up



25ns \rightarrow 40 MHz \rightarrow 100Hz \rightarrow 400 Hz

1 Mbytes (10^6 octets)

1 année $\rightarrow 10^7$ s

Par expérience LHC

$\rightarrow 10^2 \times 10^6 \times 10^7 = 10^{15}$ octets = 1PBytes/an

dictionnaire usuel ~ 60000 mots $\sim 10^5$ octets

\rightarrow 1 PB \sim 1 milliards de dictionnaires/an

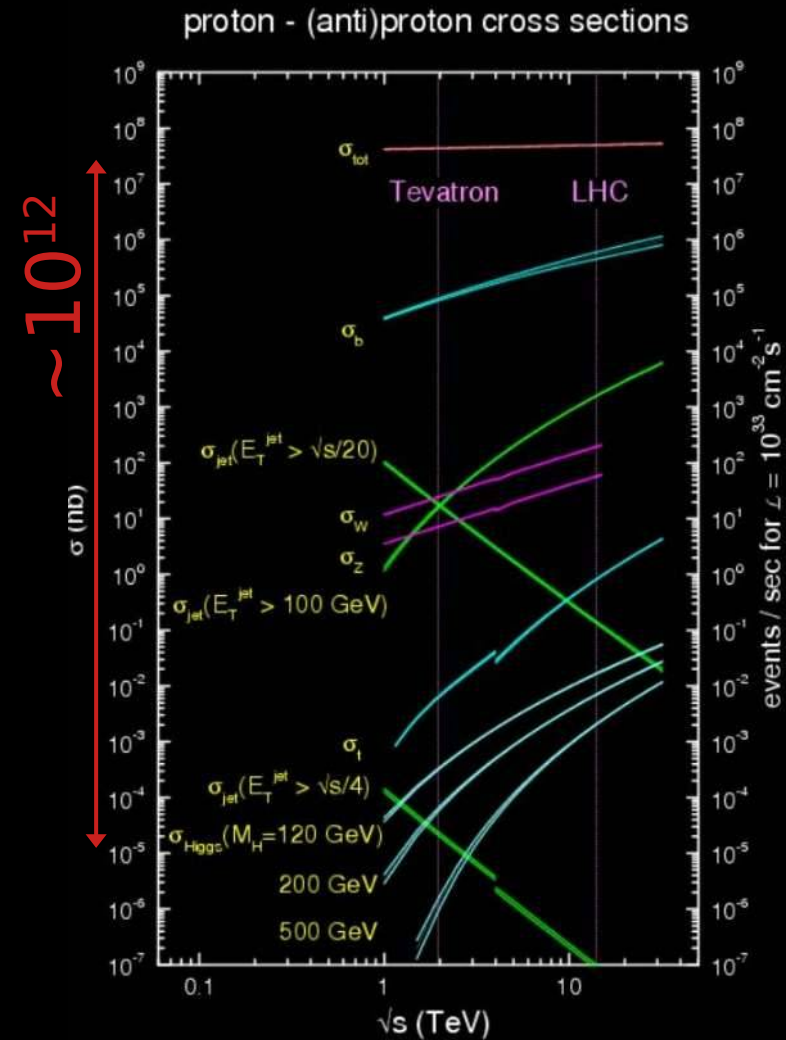
\rightarrow 1 million de DVD par an (pour un boomer)

Solution

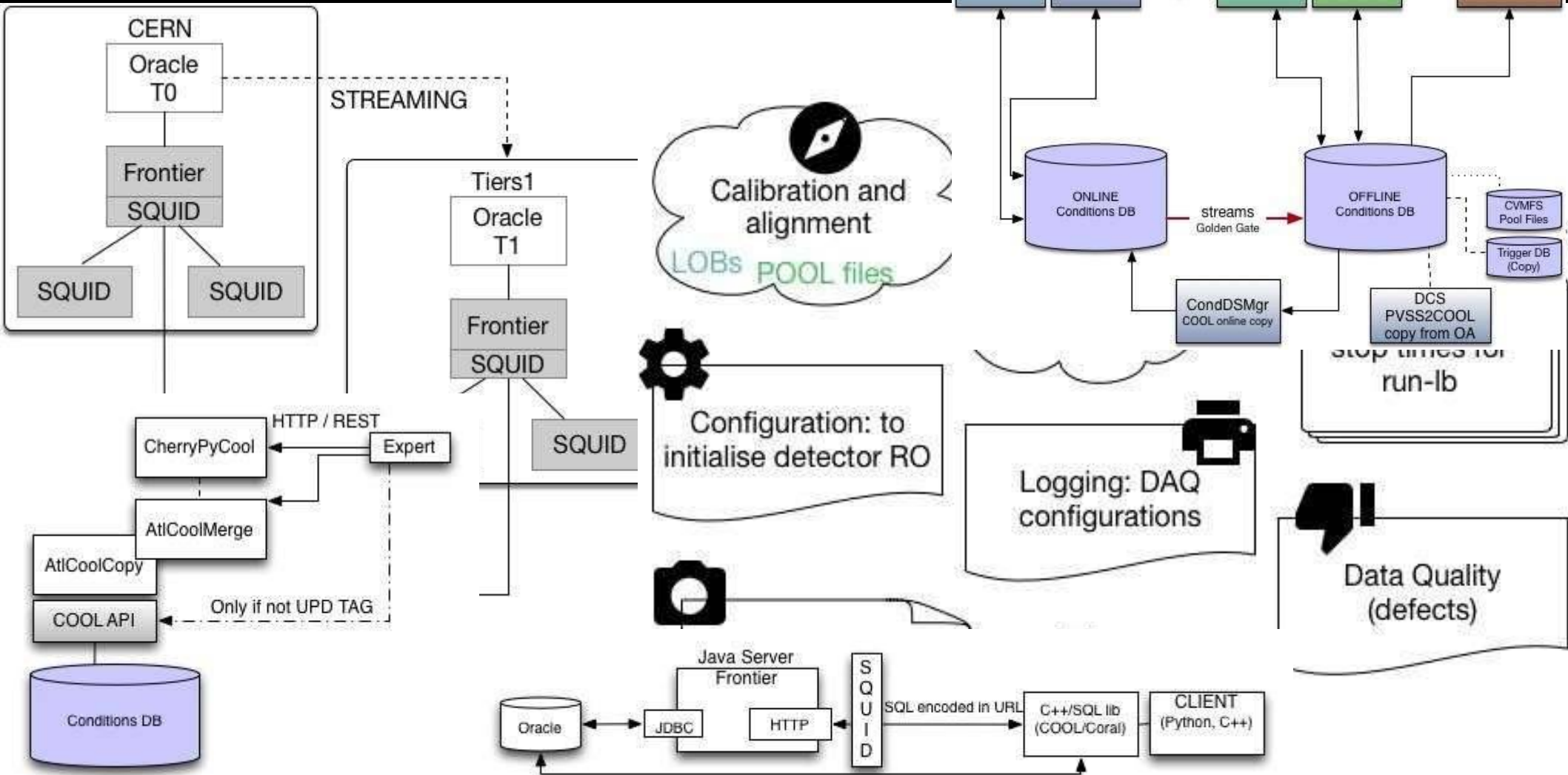
\rightarrow calculs délocalisés

\rightarrow Tier 0,1,2

\rightarrow simulation... $\rightarrow \sim 10^{16}$ B/an



Estimation de la gestion du flux de données



4/ Généralités sur les détecteurs

Physique

- théorie (MS) → simulations
 - permet de concevoir le détecteur
 - contraintes précédentes

Physique

- théorie (Maxwell) → simulations
 - détecteur ← GEANT4

Physique → théorie → simulations

Pas de mesures raisonnables sans

- détermination des erreurs de mesures
- comparaison data/simulation (Monte-Carlo)

La plupart des phénomènes mesurés peuvent provenir

- phénomènes physiques
 - Cherchés → ex : higgs
 - Autres → ex : pile-up
- de la mauvaise connaissance de l'appareil
- de problèmes électroniques
- du programme de reconstruction imparfait

Interaction particules / matière

Création de paires

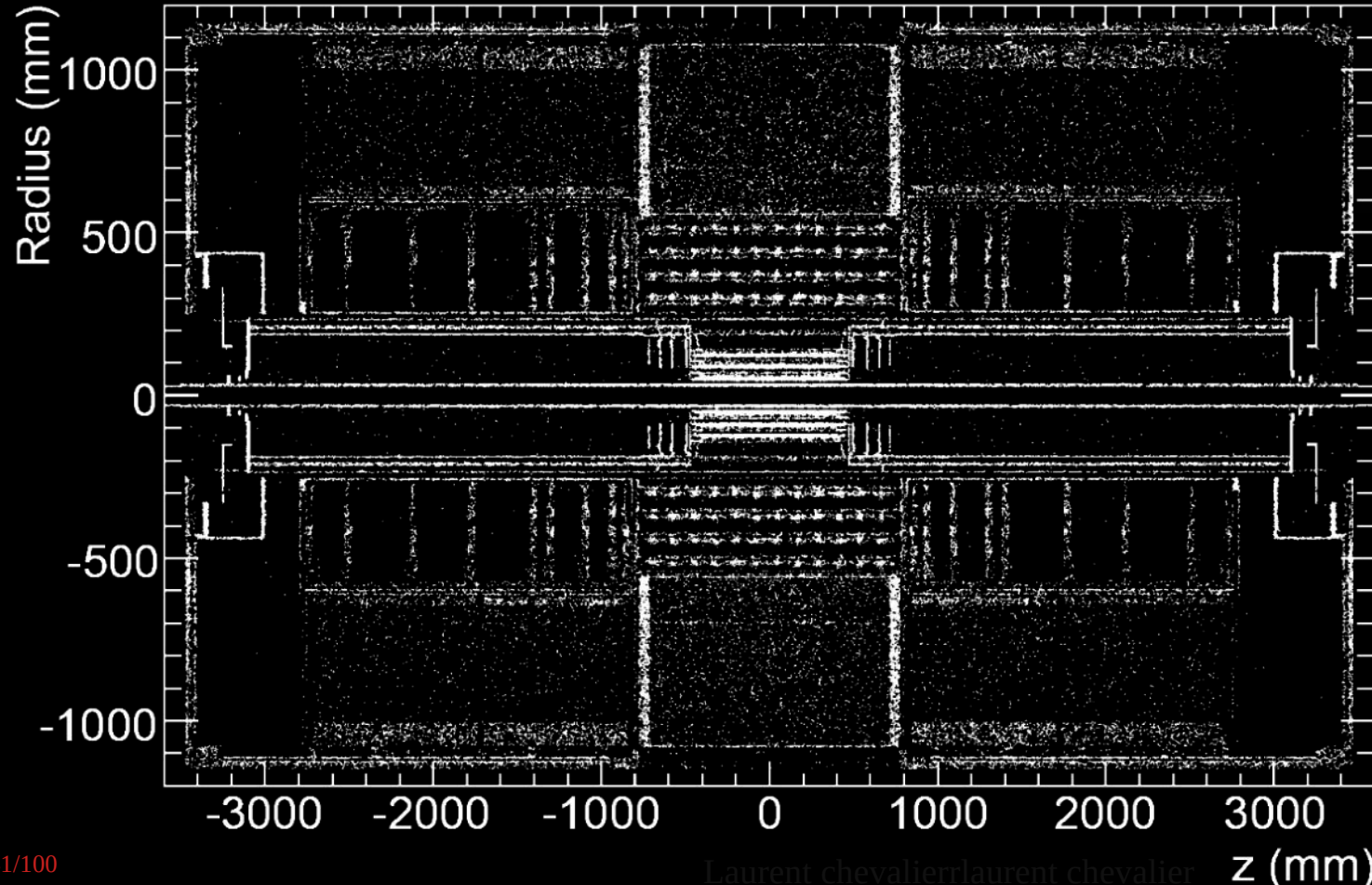
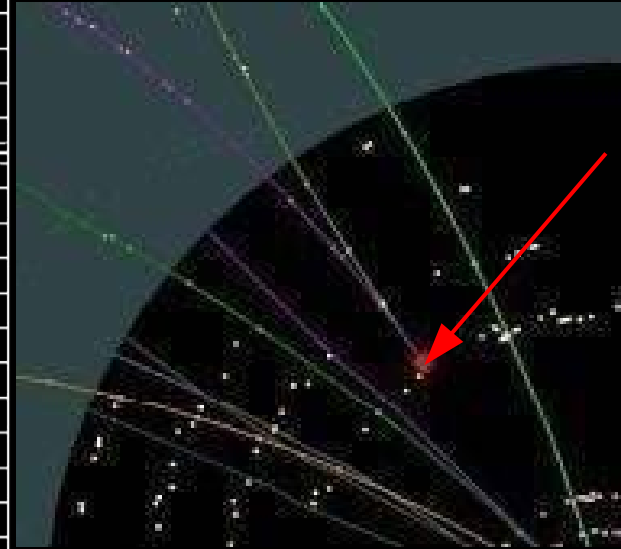
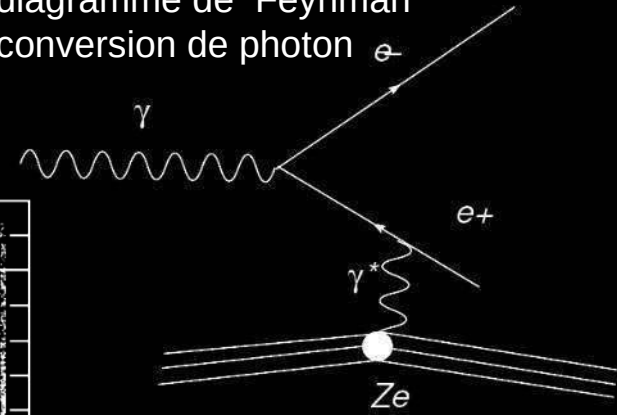


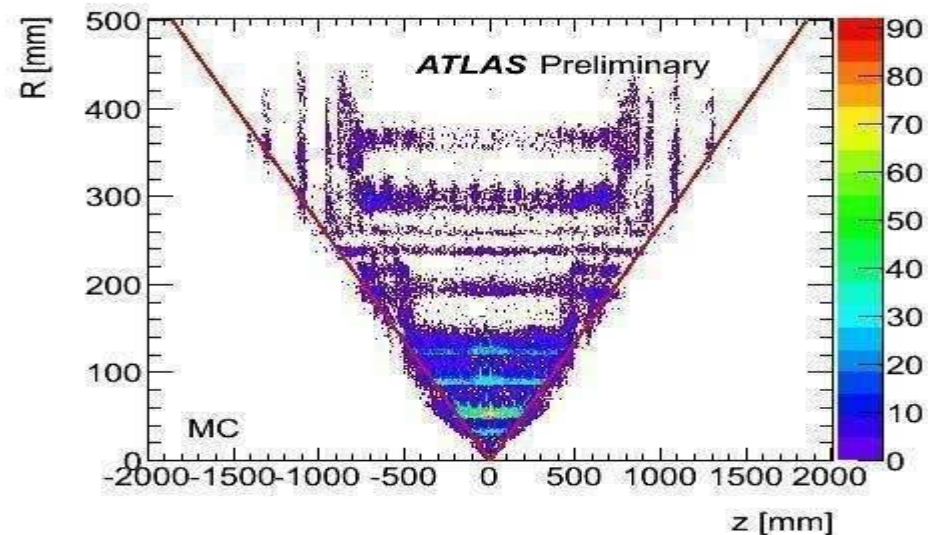
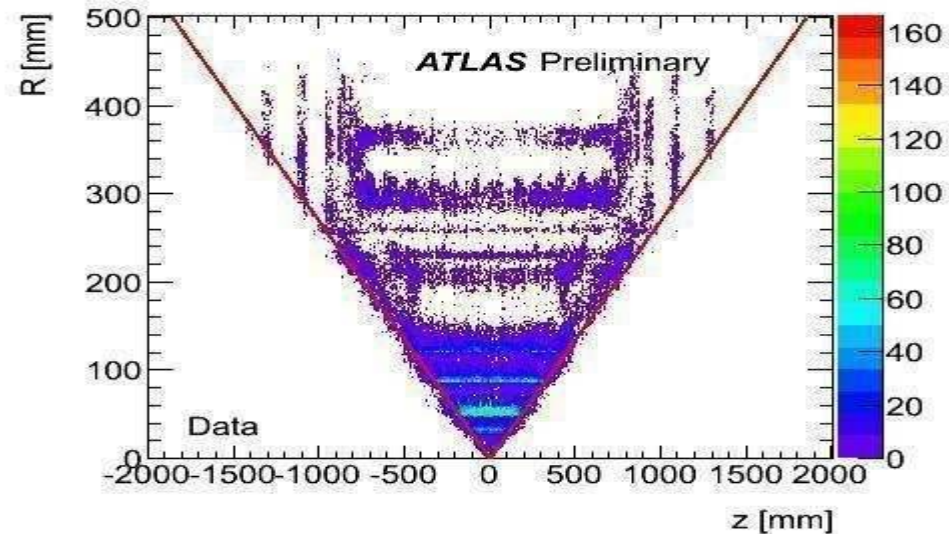
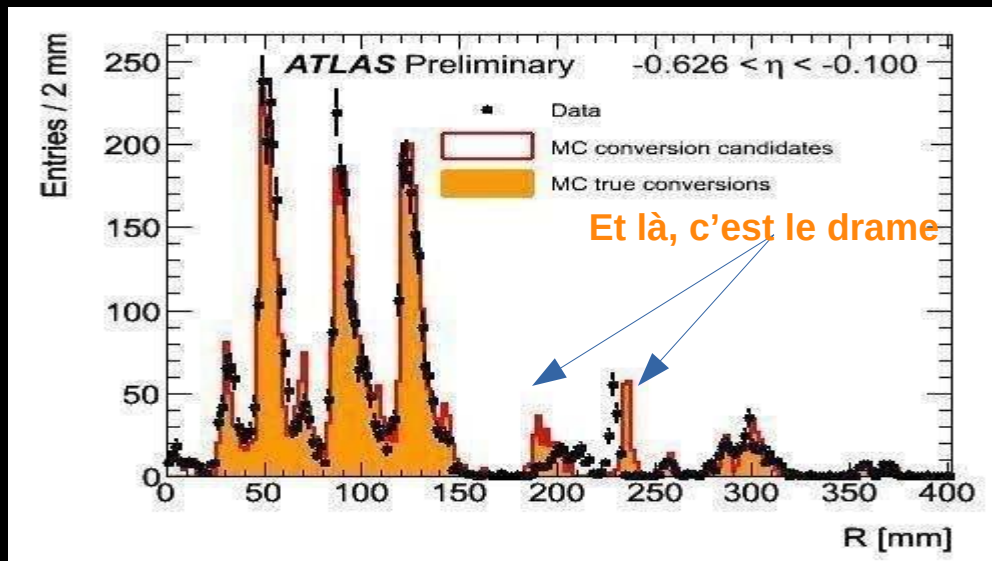
diagramme de Feynman
conversion de photon e^-



Simulation

Data/MC

- Atlas : Pixels & SCT

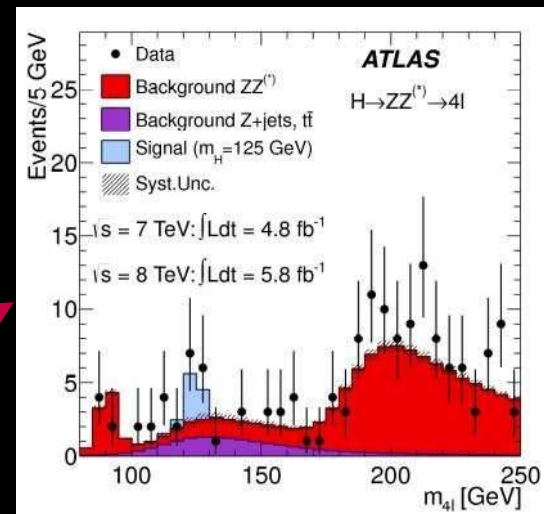
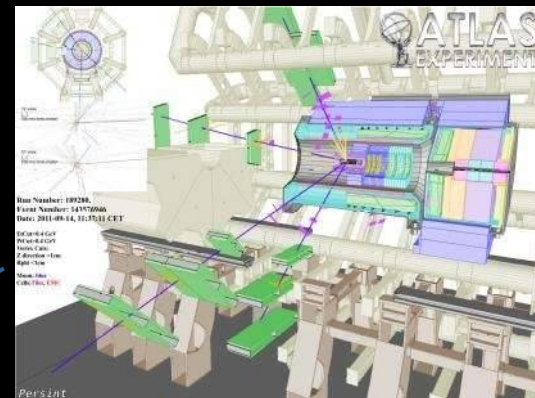


simulation

données

reconstruction

analyses
mesures



Conception d'un détecteur

23-25 Novembre 2025, Roscoff

1/ Introduction

- références, vocabulaire, unités

2/ Détecter quoi ↔ pourquoi

- remarques liminaires
- modélisation
- détecteur : ckoï ?

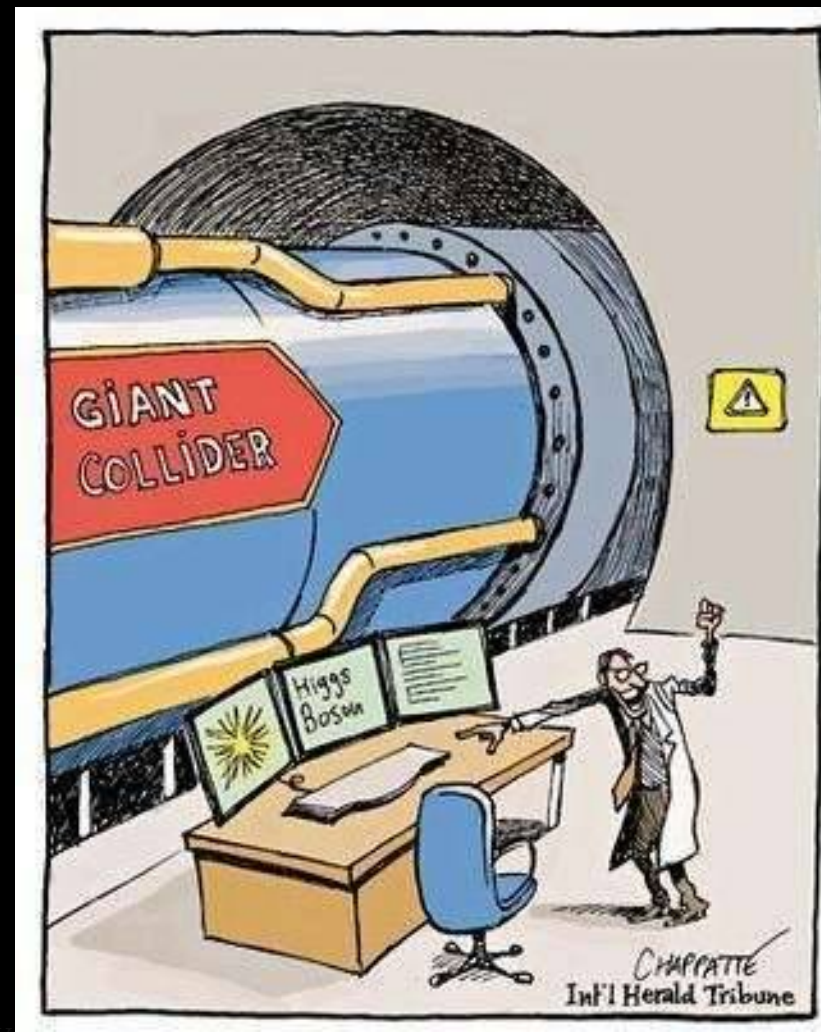
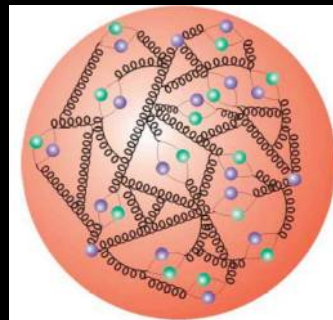
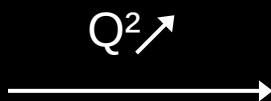
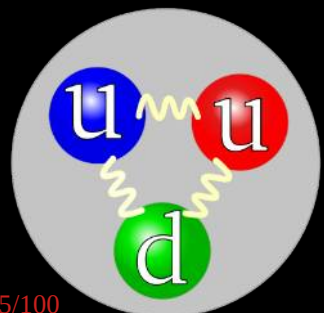
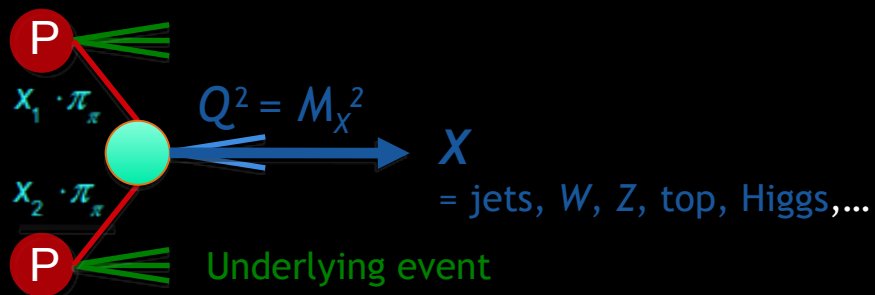
3/ Interaction particules matière

- rapide aperçu

4/ Généralités sur les détecteurs

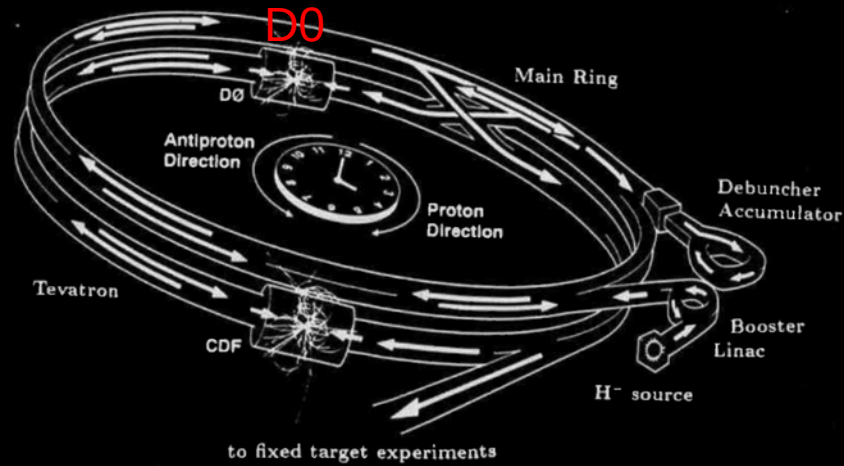
5/ Exemples

- D0 (Fermilab)
- ATLAS (CERN)



Collisionneurs TeVatron

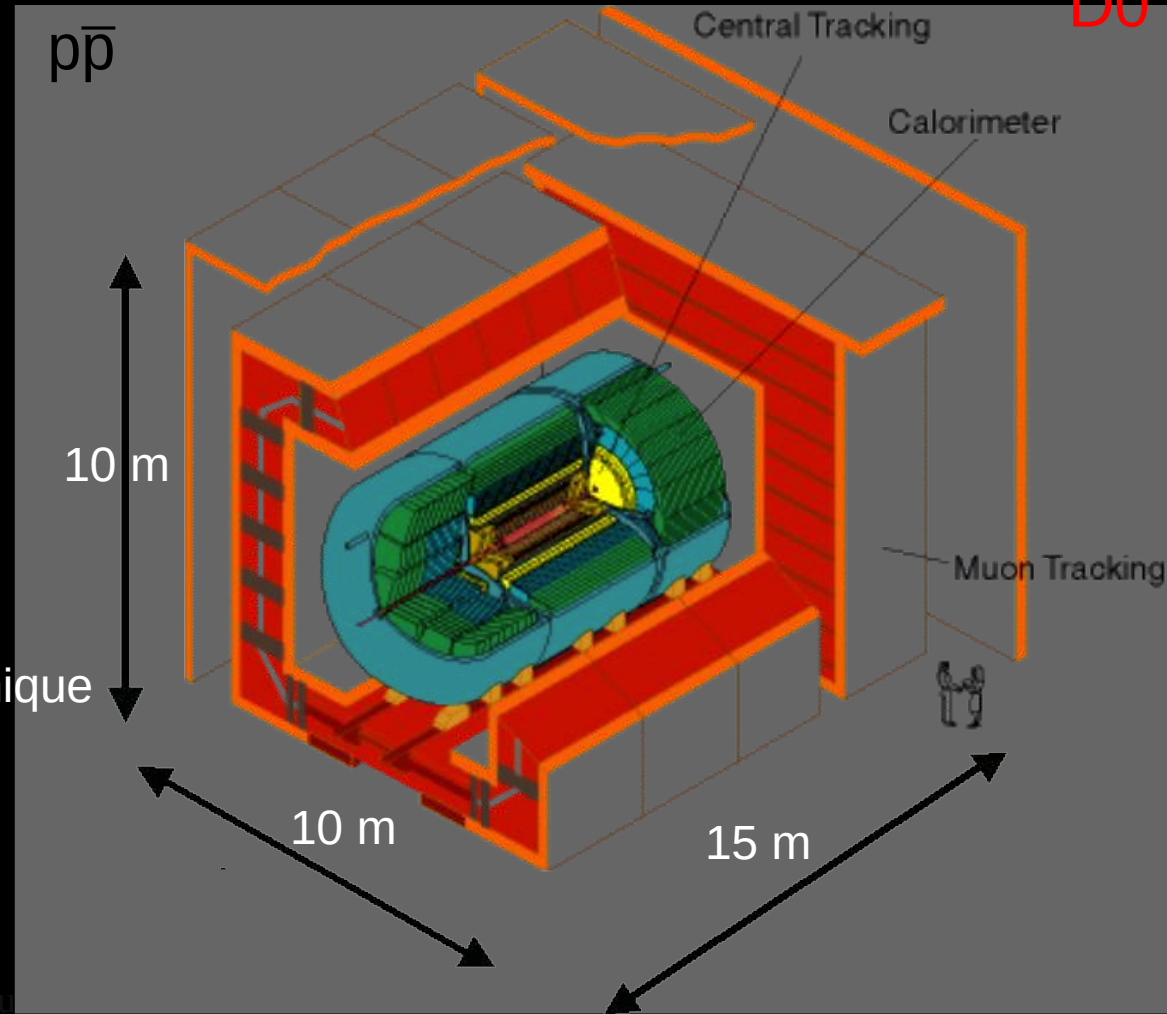
FNAL (USA) Tevatron: 1.8 TeV
Run I : 1992-1995



D0

- Trajectographie (détecteur à gaz)
- Détecteur à rayonnement de transition
- Calorimètre électromagnétique et hadronique
- Chambres à muons

- Toroïde à fer ~1.8 T
- pas de solénoïde !



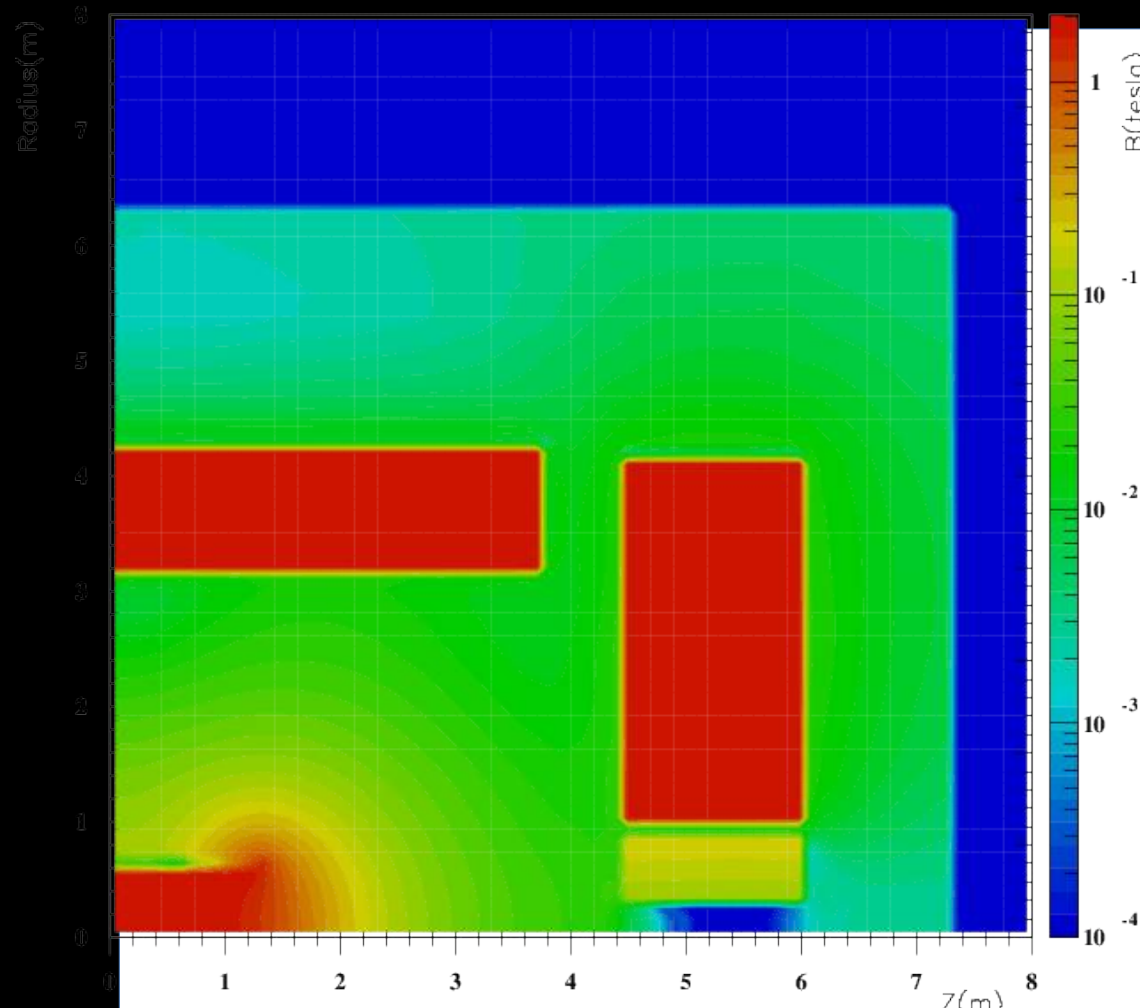
D0

D0

Champ magnétique

Run II : 1998-2004

D0



D0

47/100

DØ

DØ

conception 1983

pas de simulation complète du détecteur avec GEANT

détection muons avec le plus grand angle solide

calorimètre à compensation uranium/argon **très compact**

trajectographie R ~1m

pas de solénoïde suffisamment puissant pour la trajectographie

Run I 1992

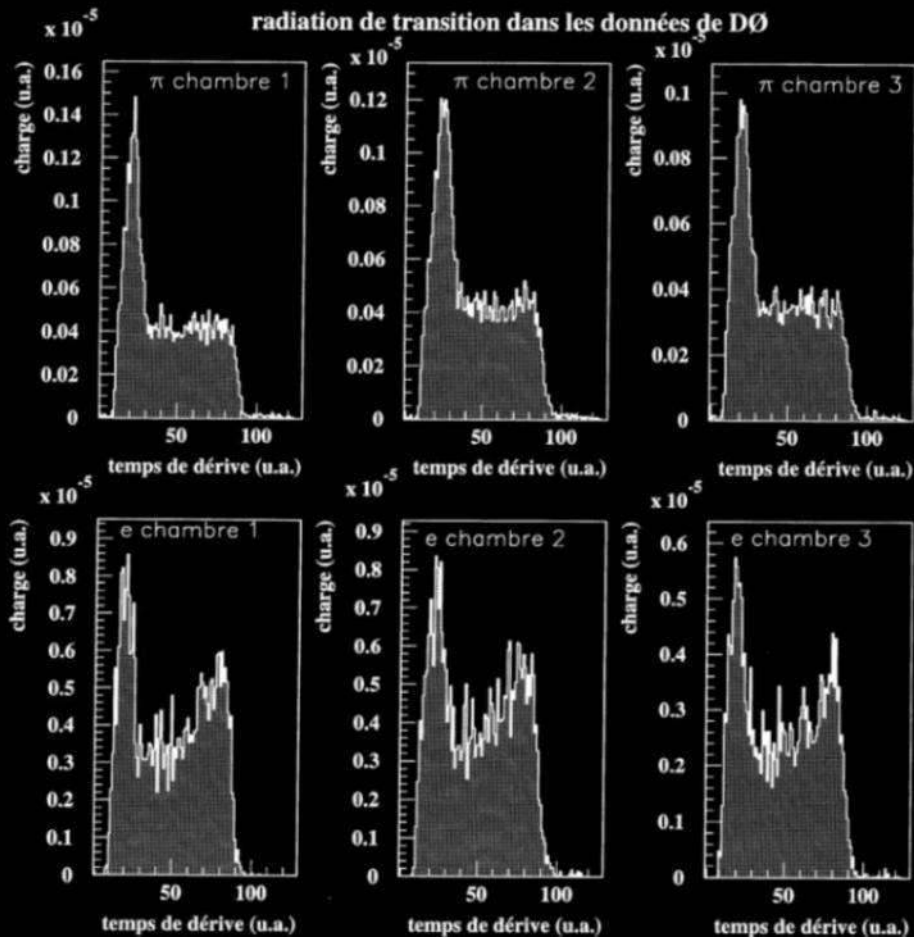
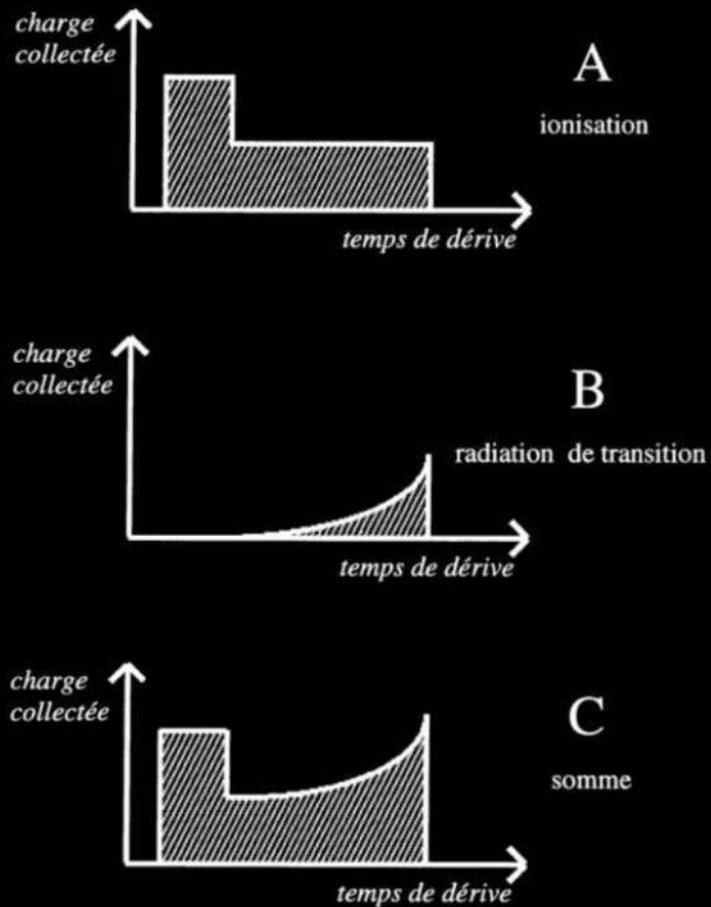
protons du main ring traversaient le détecteur DØ !!!

temps entre collision 3.5 μ s

masse du Z \rightarrow 60 GeV ???

environ 500 signataires

Détecteurs D0 → TRD

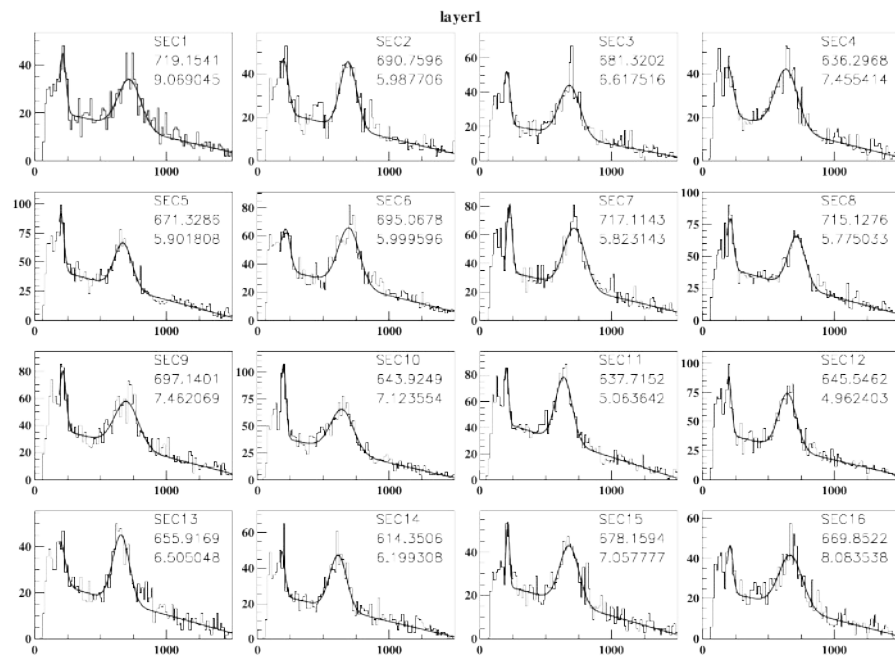
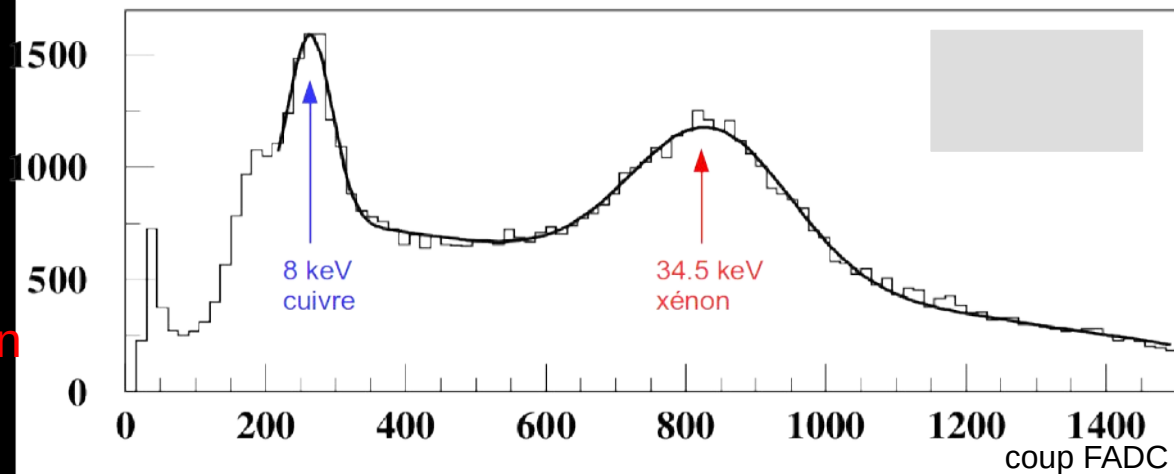


Détecteurs D0

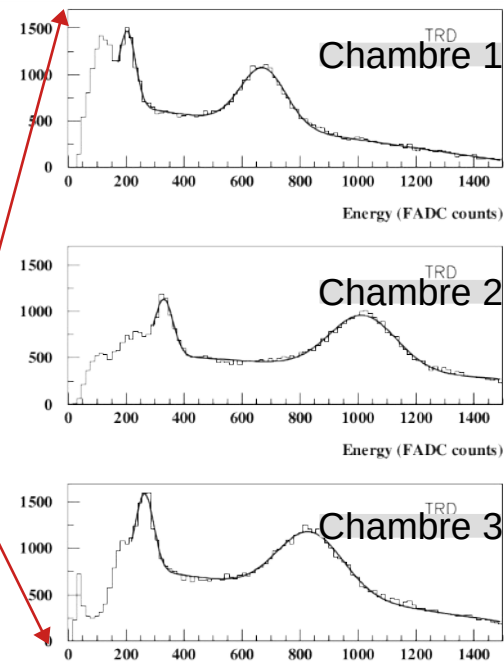
Étalonnage TRD

Uranium (calorimètre)

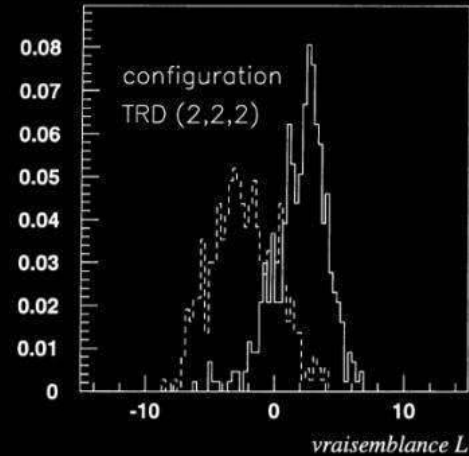
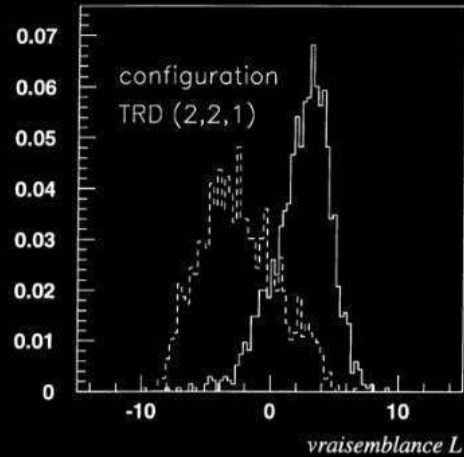
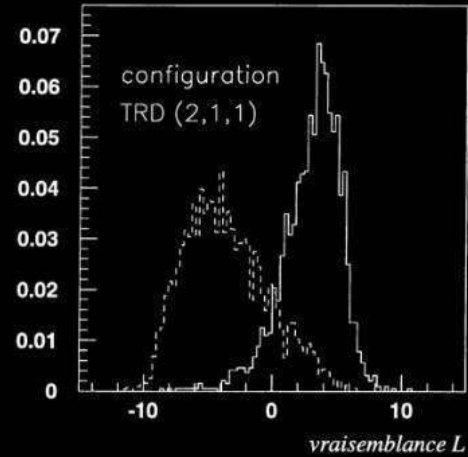
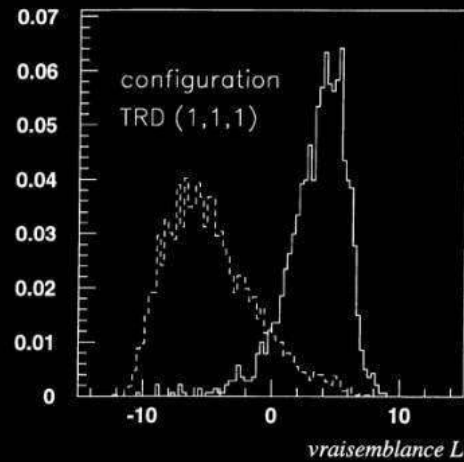
signal → cuivre & xénon



16 secteurs
3 chambres

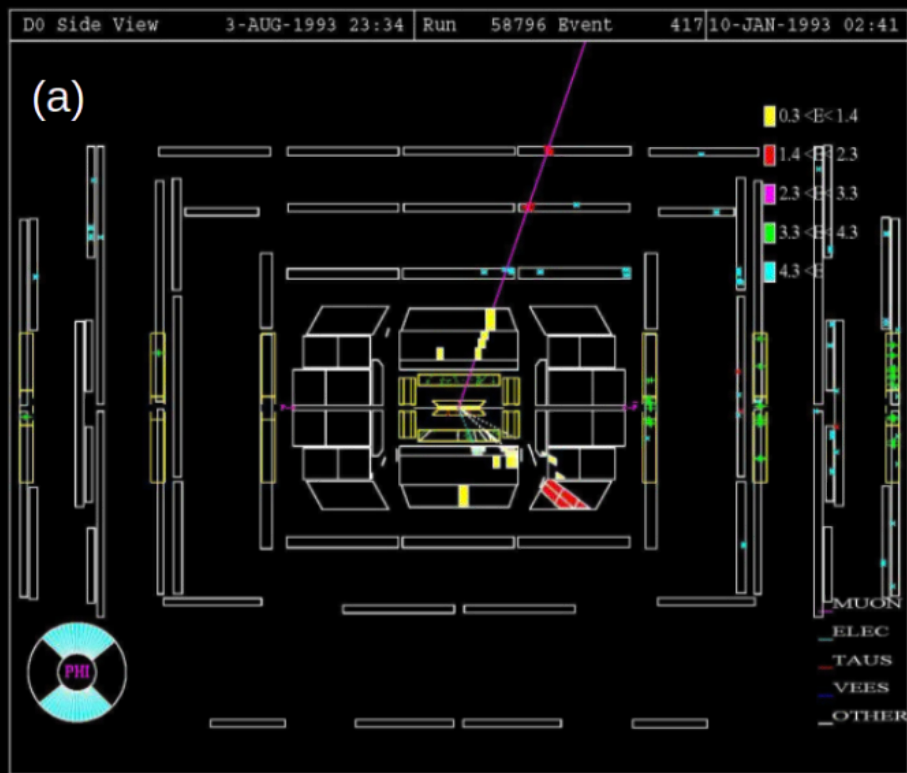


Détecteurs D0



D0

$t\bar{t} \rightarrow WbWb \rightarrow 2 \text{ leptons} + 2 \text{ jets} + \text{énergie manquante}$



17 candidats : 7 avec 1 électron, 5 « confirmés » par le TRD

D0

52/100

Laurent chevalier

$t\bar{t} \rightarrow WbWb \rightarrow 2 \text{ leptons} + 2 \text{ jets} + \text{énergie manquante}$

Observation des premiers quarks top 1995

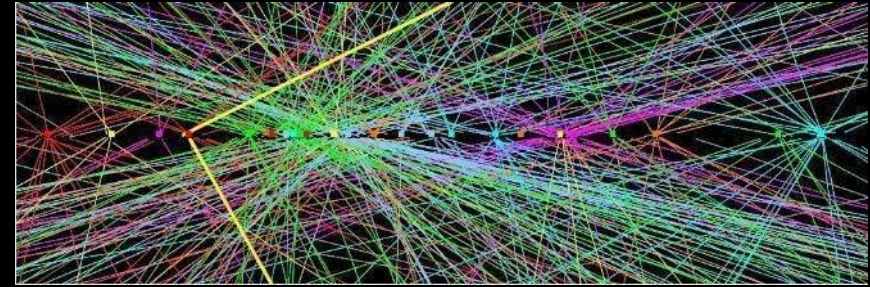
$$D\emptyset \rightarrow m_{\text{top}} = 199_{-21}^{+19}(\text{stat}) \pm 22(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

$$CDF \rightarrow m_{\text{top}} = 176 \pm 8(\text{stat}) \pm 10(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

Remarque : prédiction 1992

$$LEP1 \rightarrow m_{\text{top}} = 172.6_{-10.2}^{+13.2} \text{ GeV}/c^2$$

LHC PP: boom, 7, 8 et 14 TeV



The diagram illustrates a complex network or system. A central red dot is connected by multiple colored lines (green, red, blue, purple) to various clusters of green dots. The diagram is labeled with 'p' at the bottom left and right, and 'q' at the top right.



Détecteur

ATLAS (7 ktons)

CMS (12.5 ktons)

INNER TRACKER

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

- Silicon pixels + strips
- No dedicated particle identification
- $B = 4\text{T}$
- $\sigma(p_T) \sim 1.5\%$ (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 $\sim 3\text{ TeV}$

- 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)

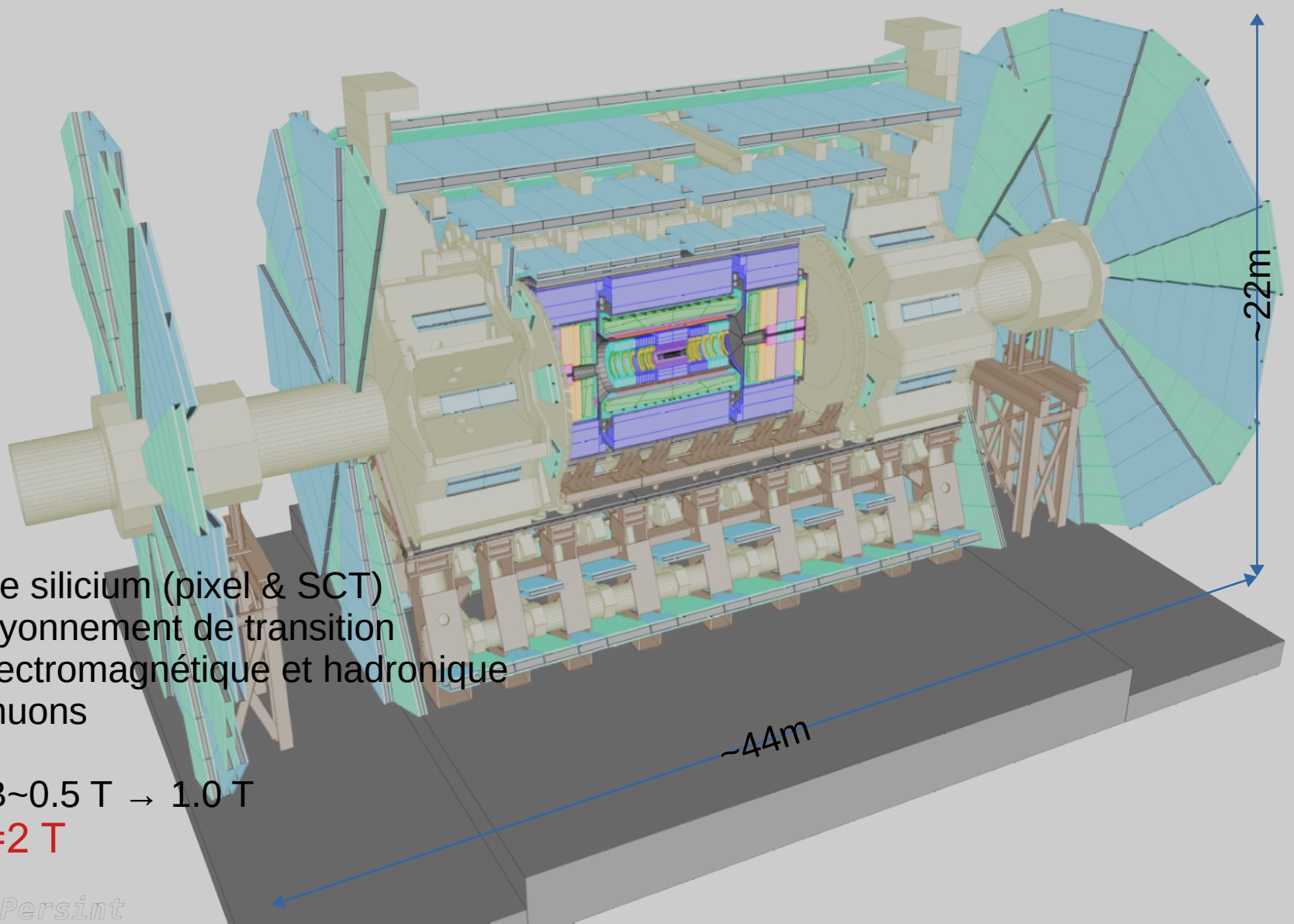
- Cu (EC: brass) / Scint. tiles
- Tail catchers outside solenoid
- $\sigma(E) \sim 100\% / \sqrt{E} \oplus 8\%$ (Barrel)

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)

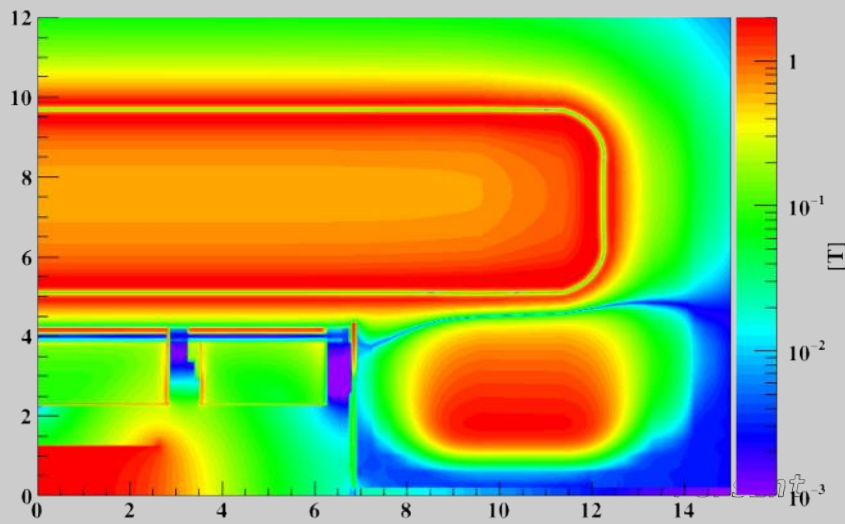
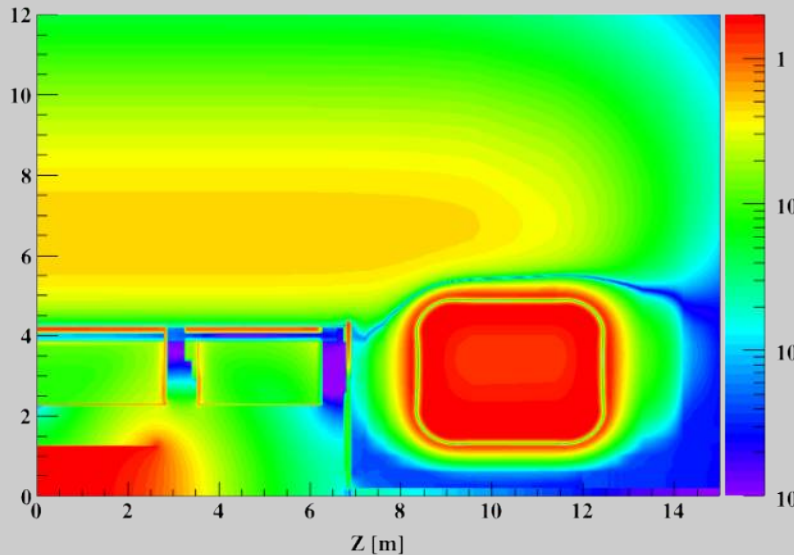
ATLAS



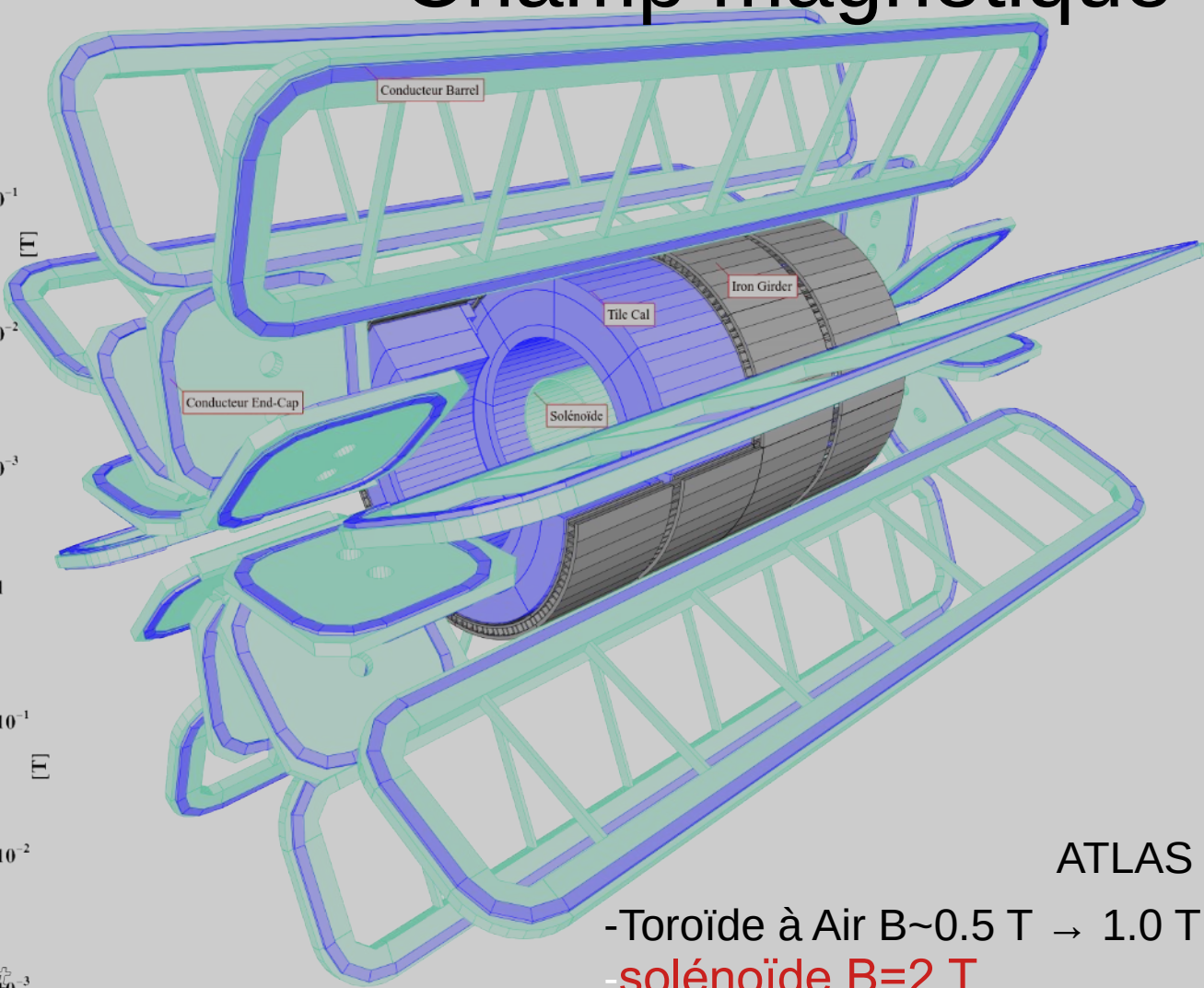
- Trajectographie silicium (pixel & SCT)
- Décteur à rayonnement de transition
- Calorimètre électromagnétique et hadronique
- Chambres à muons

- Toroïde à Air $B \sim 0.5 \text{ T} \rightarrow 1.0 \text{ T}$
- solénoïde $B=2 \text{ T}$**

ATLAS



Champ magnétique



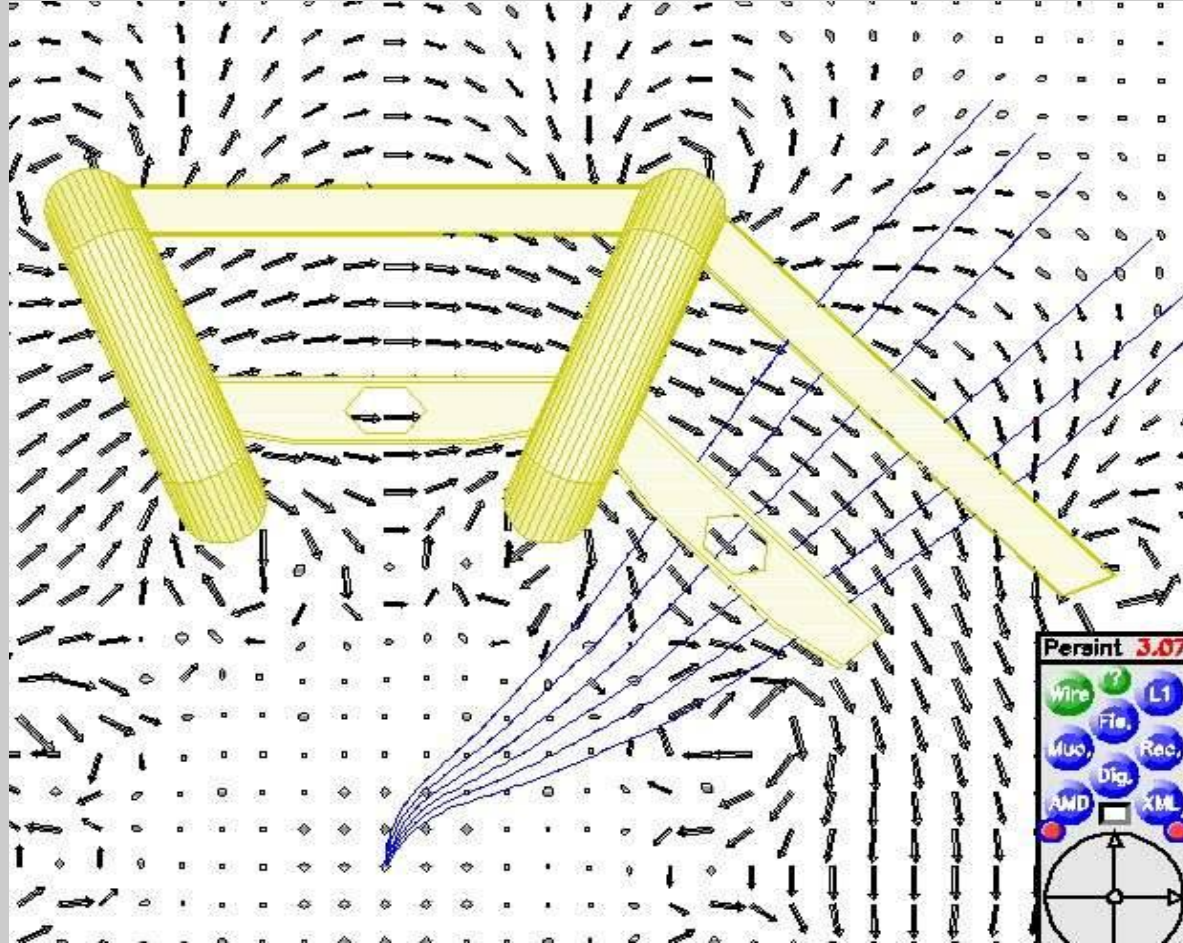
ATLAS

-Toroïde à Air $B \sim 0.5 \text{ T} \rightarrow 1.0 \text{ T}$

-solénoïde $B=2 \text{ T}$

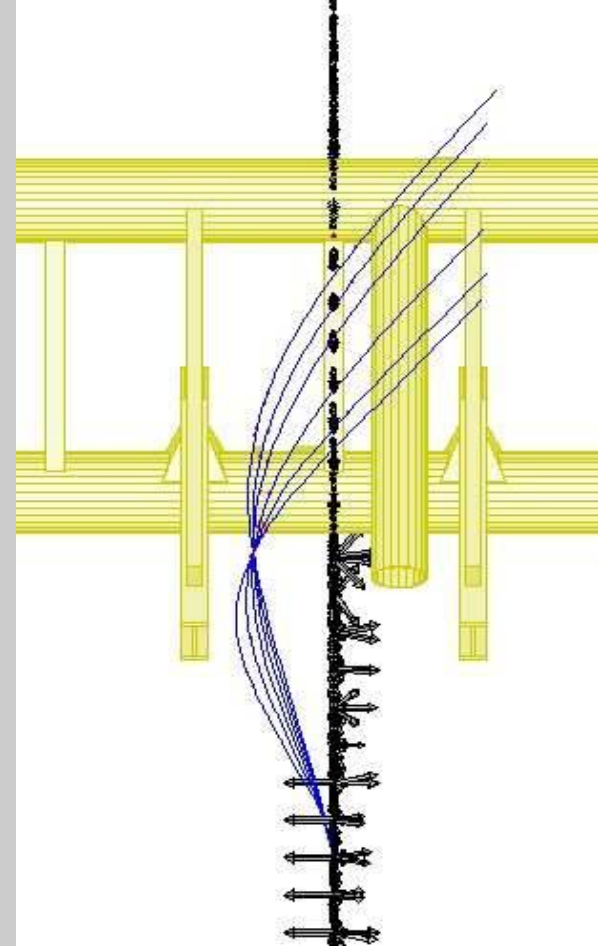
ATLAS

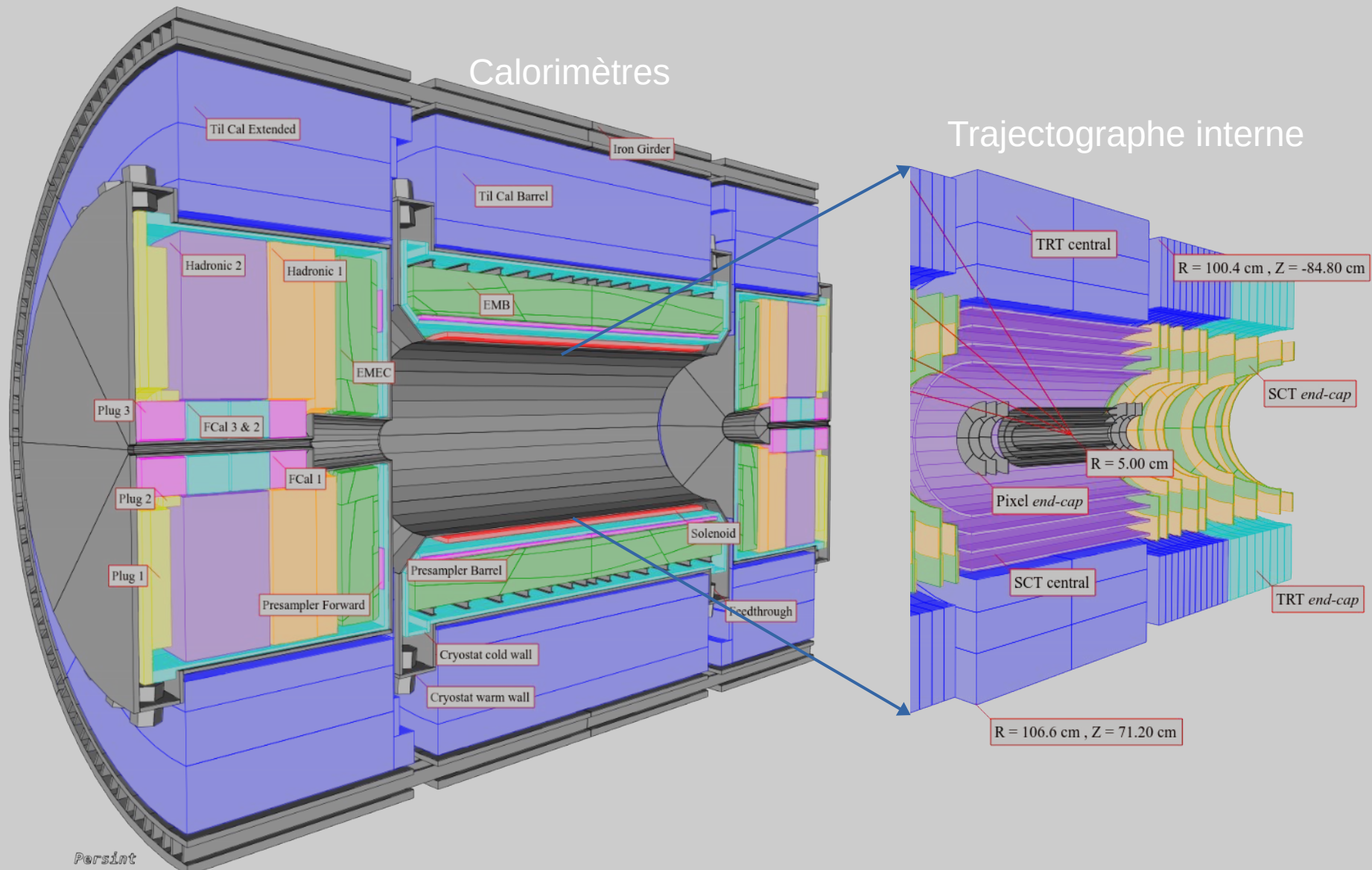
R- ϕ projection



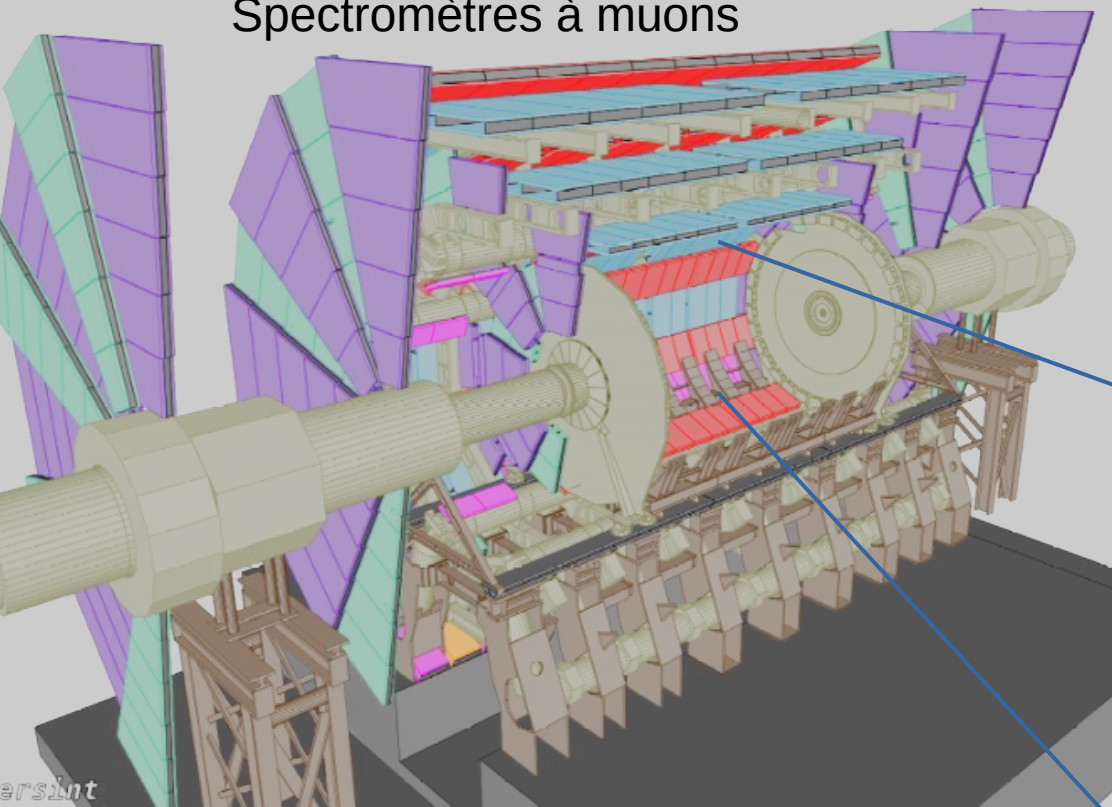
Champ magnétique

R-Z projection

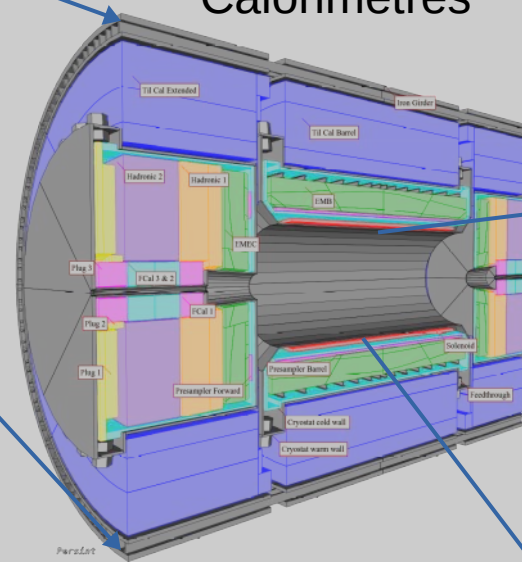




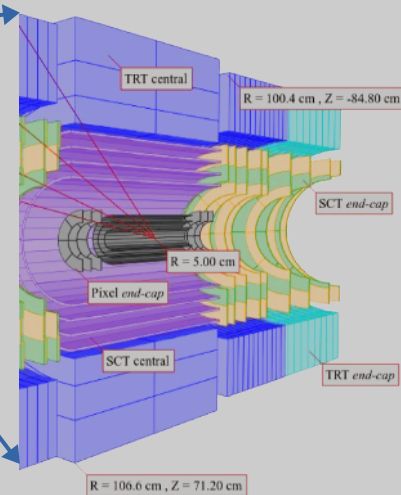
Spectromètres à muons

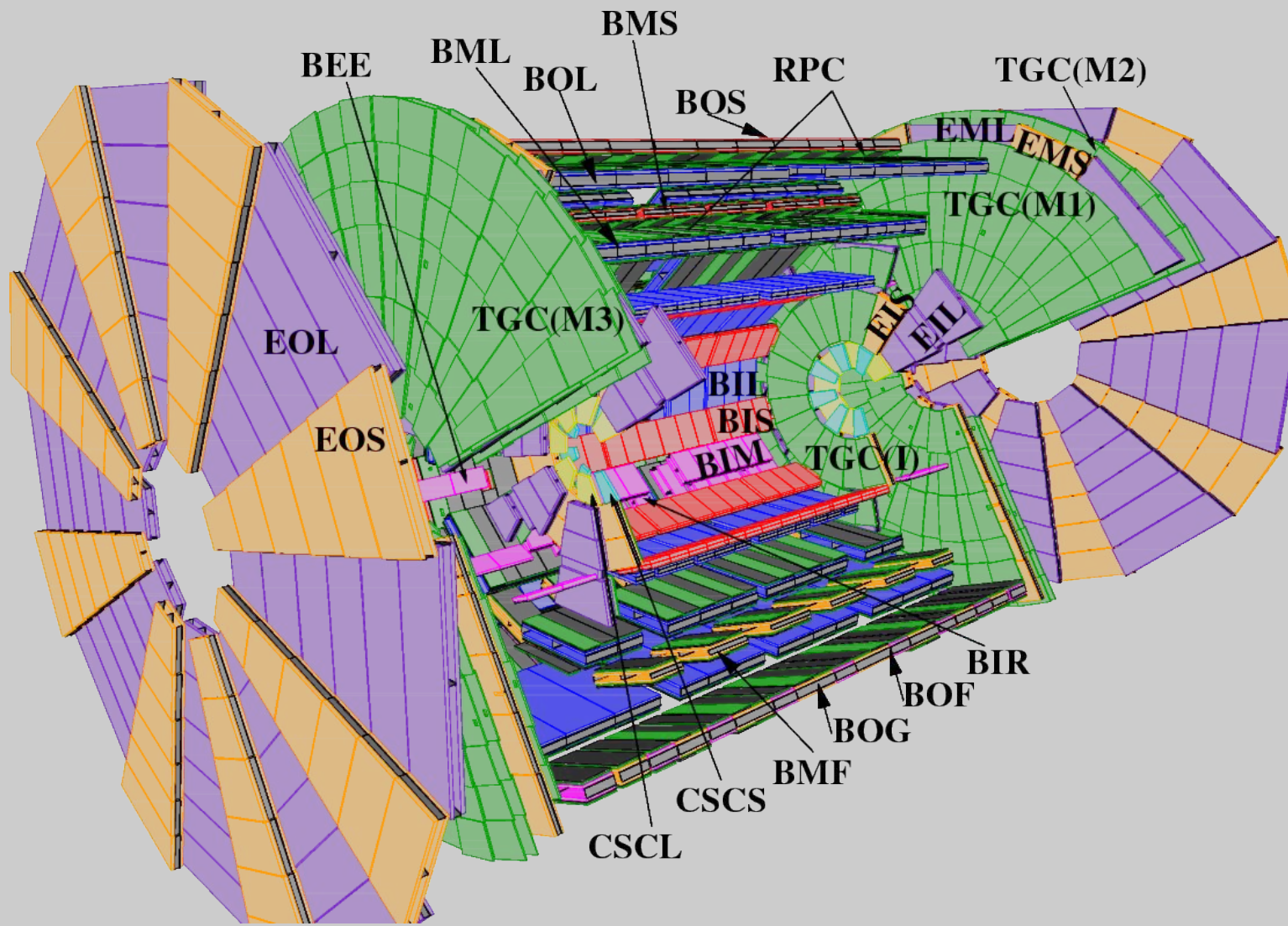


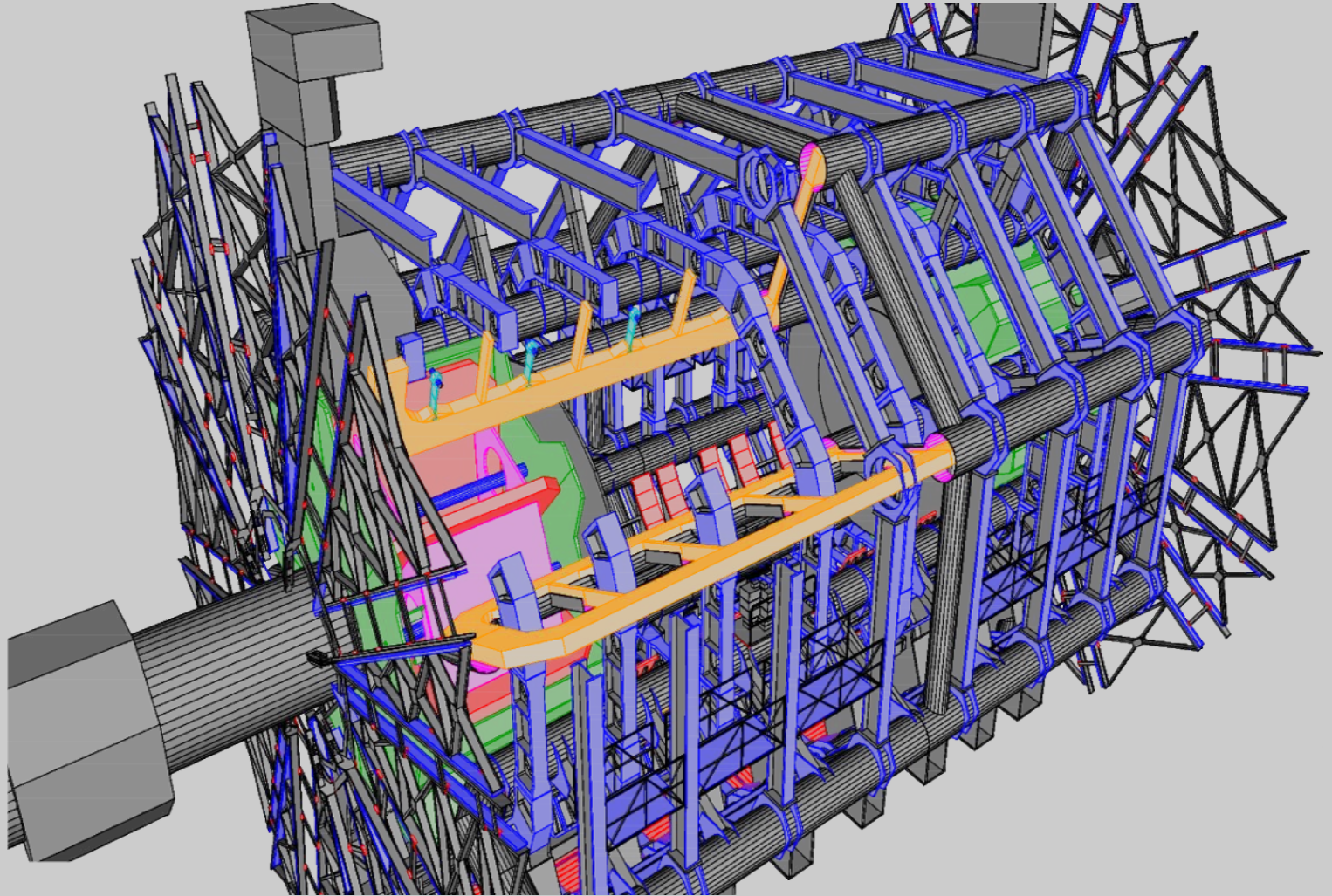
Calorimètres

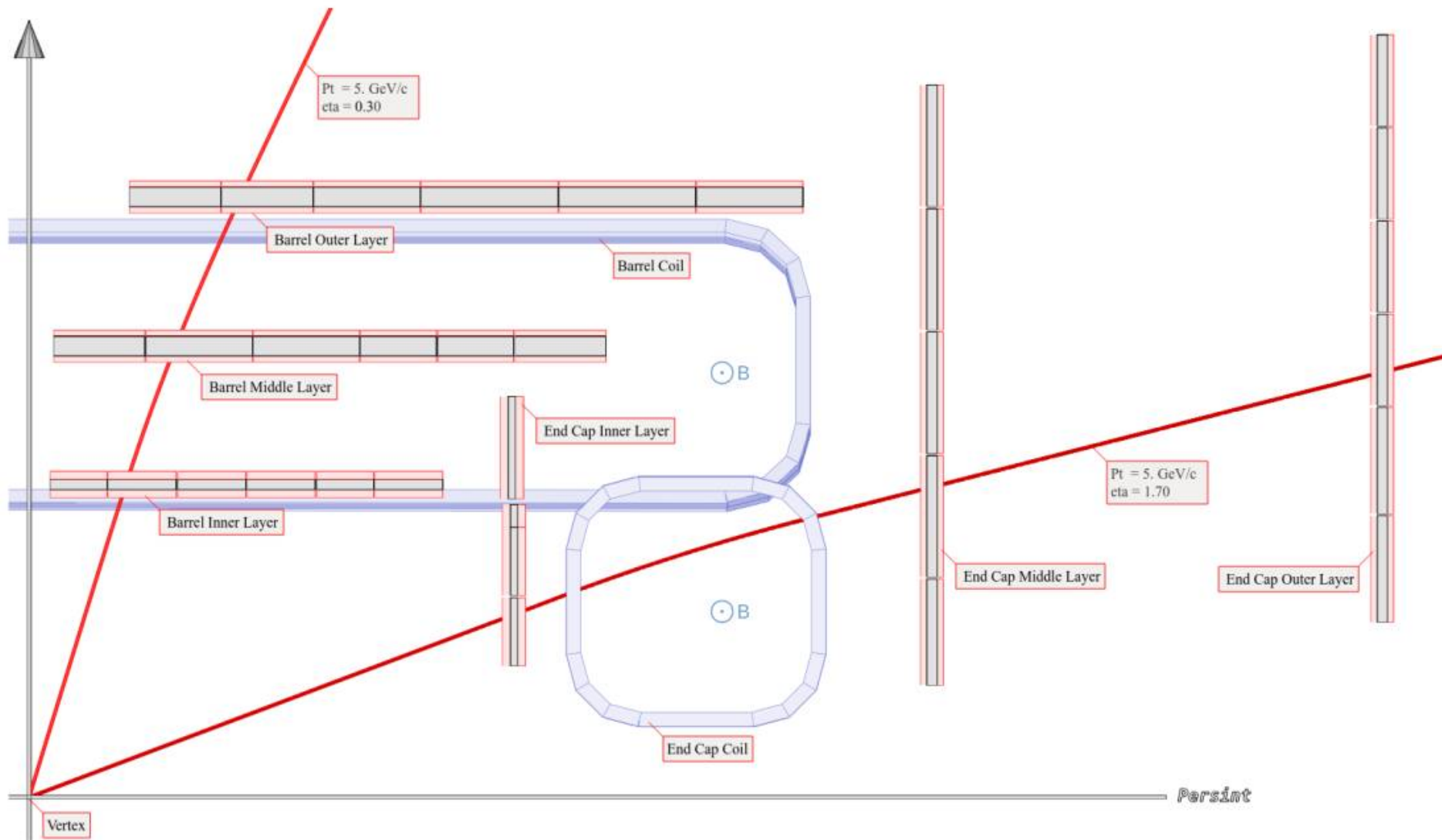


Trajectographie

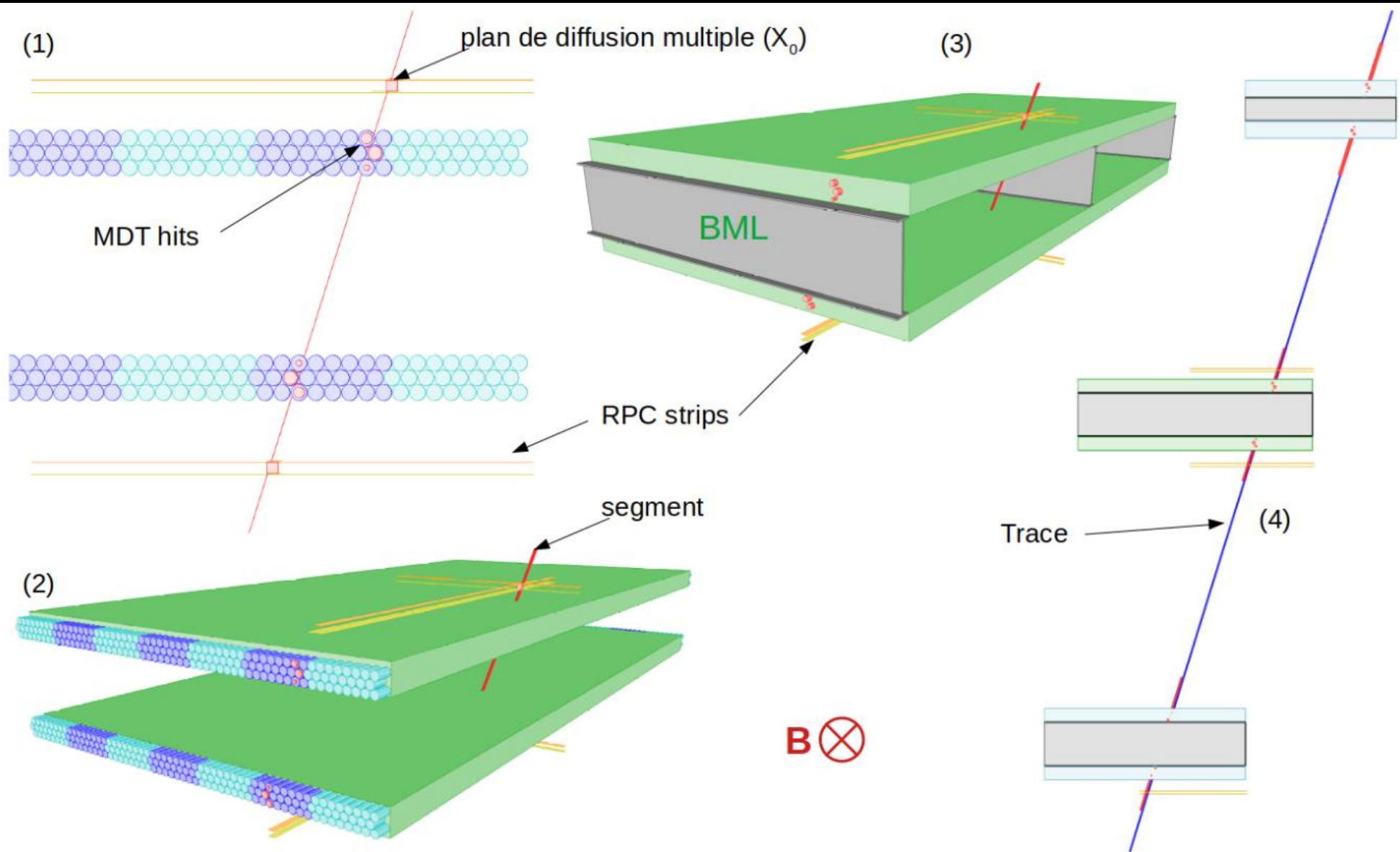


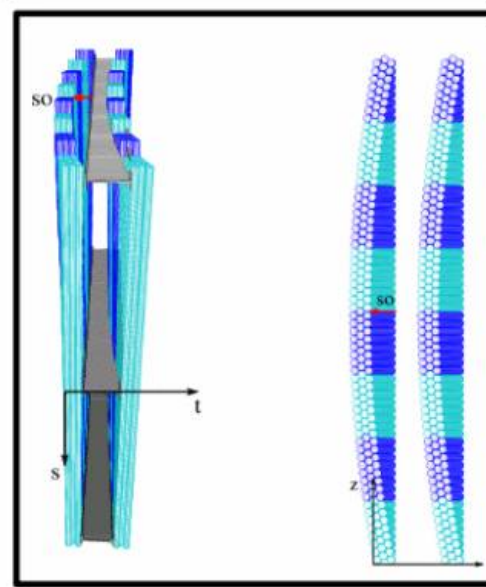
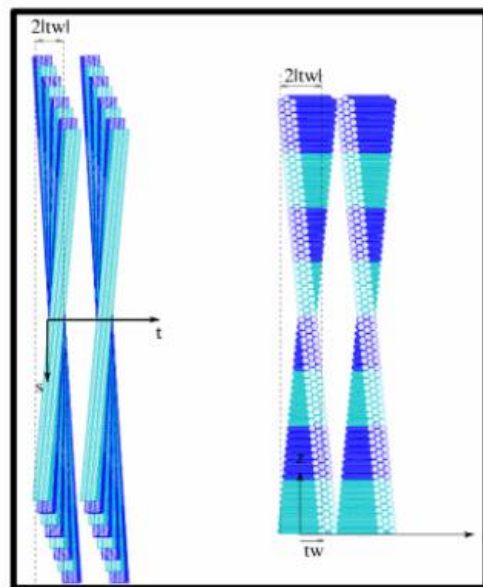
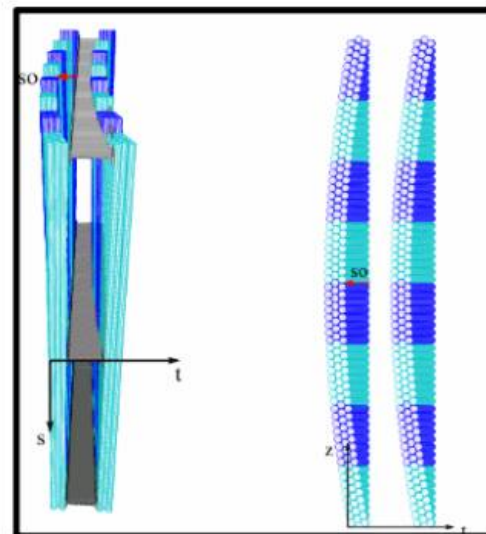
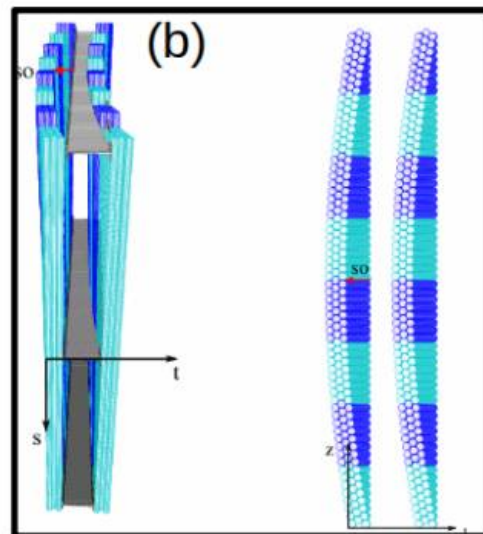
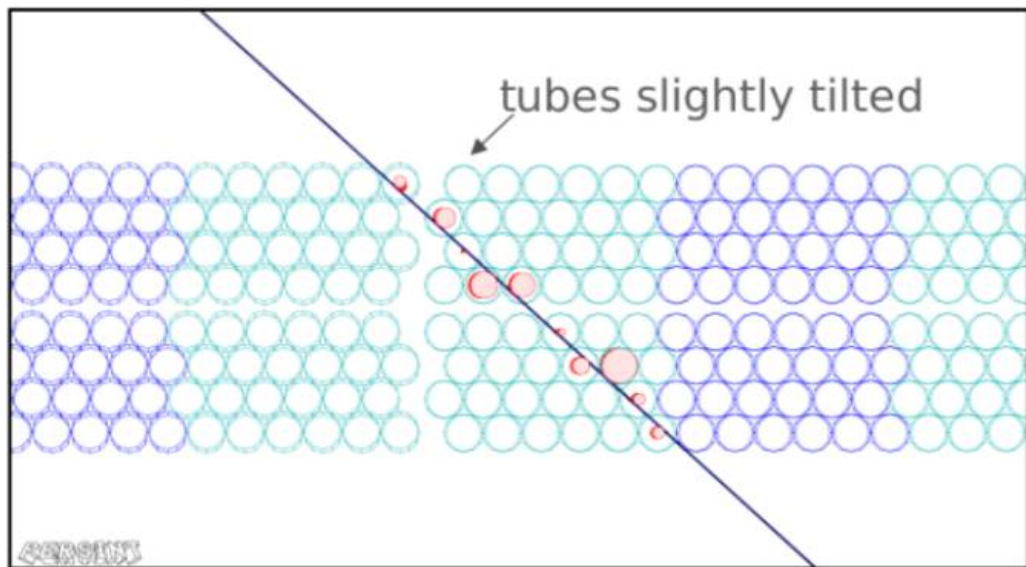
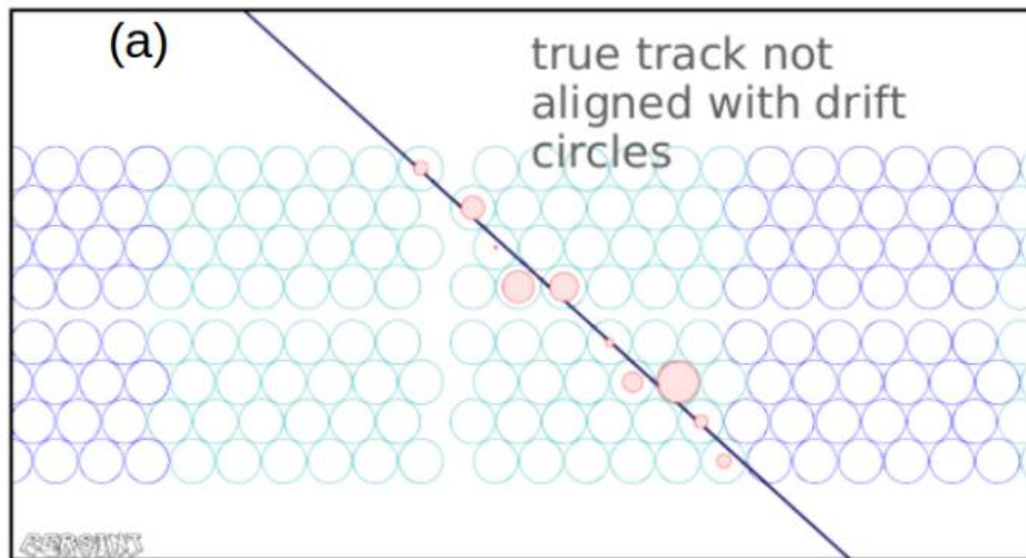


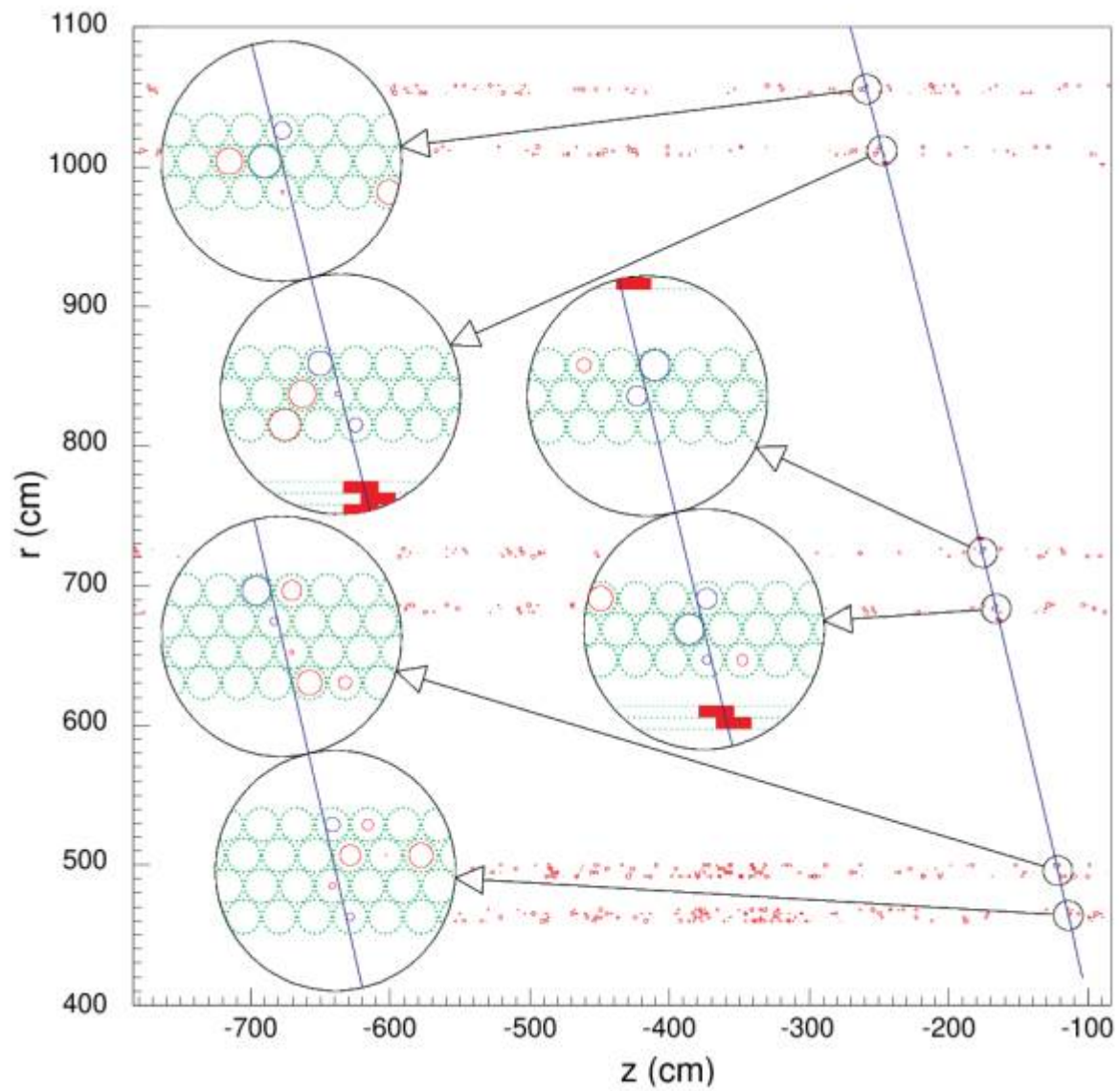




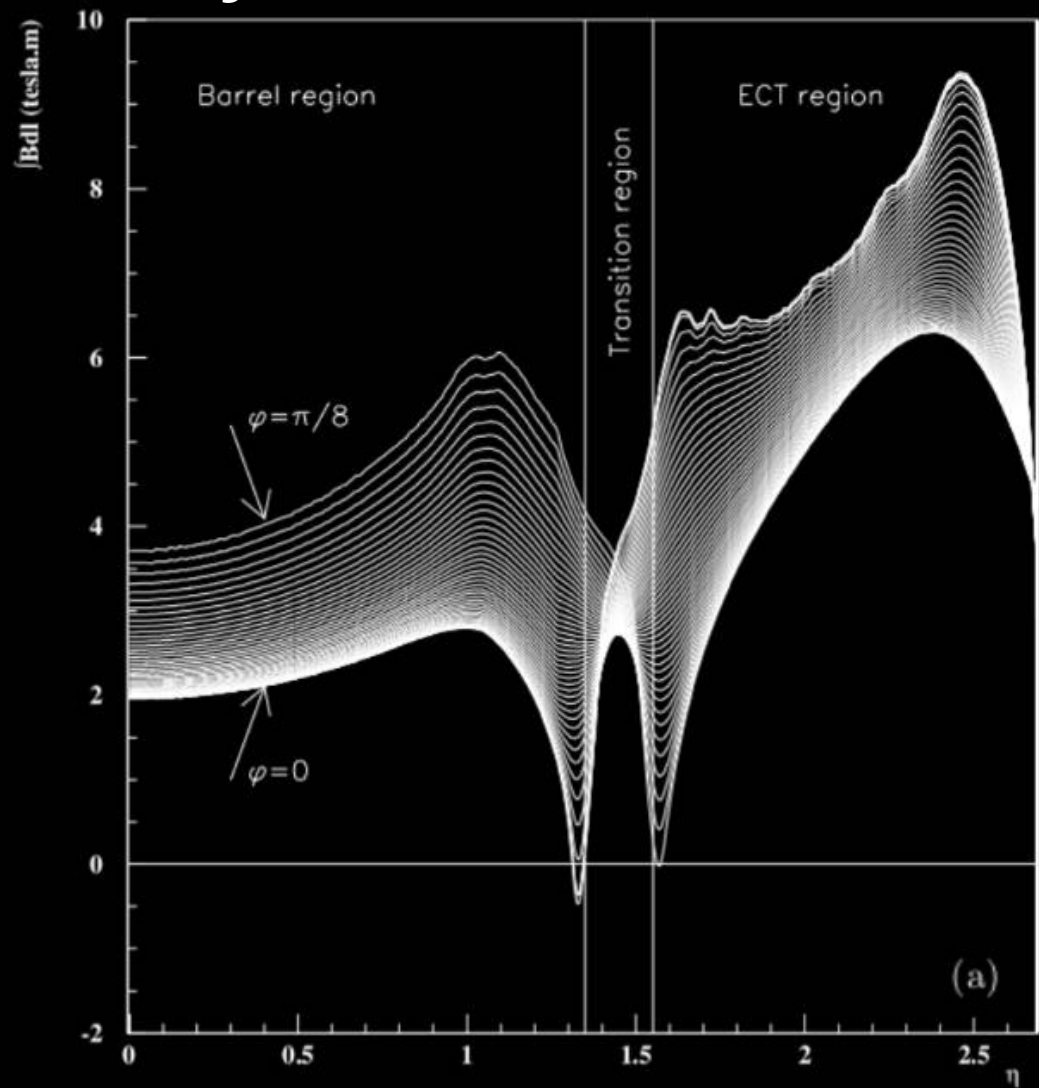
Persint



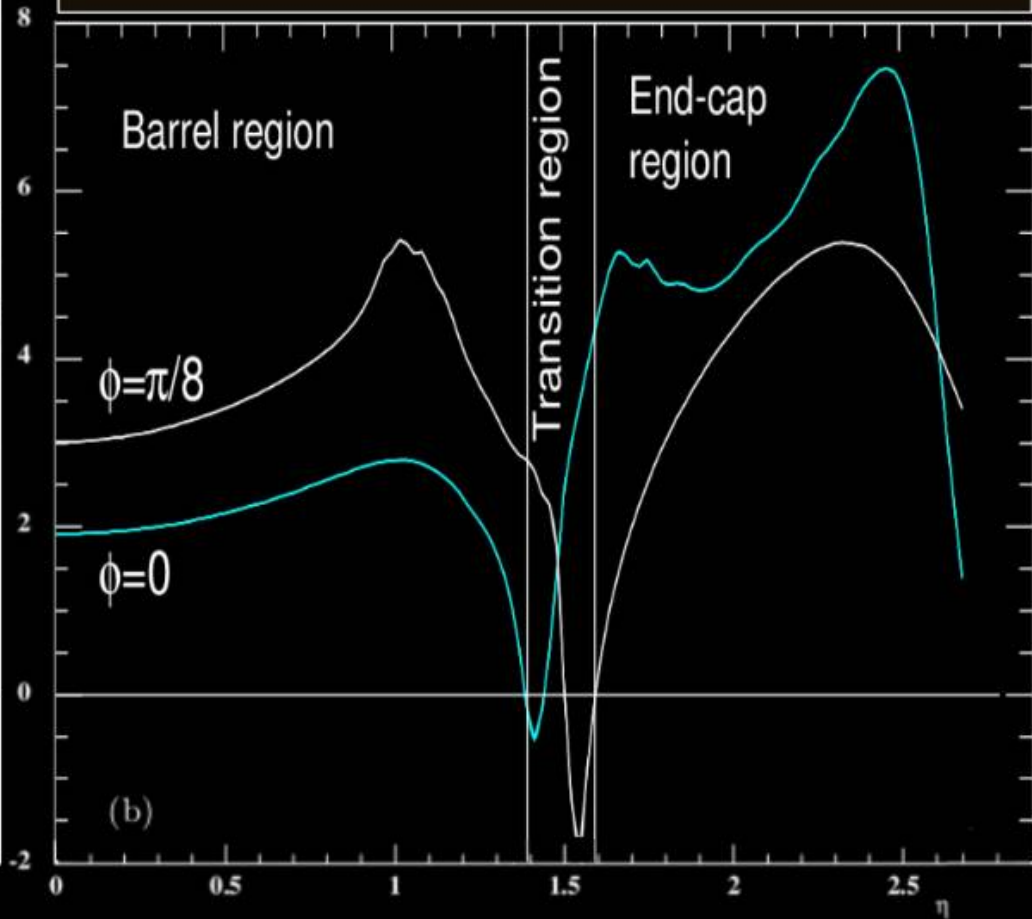




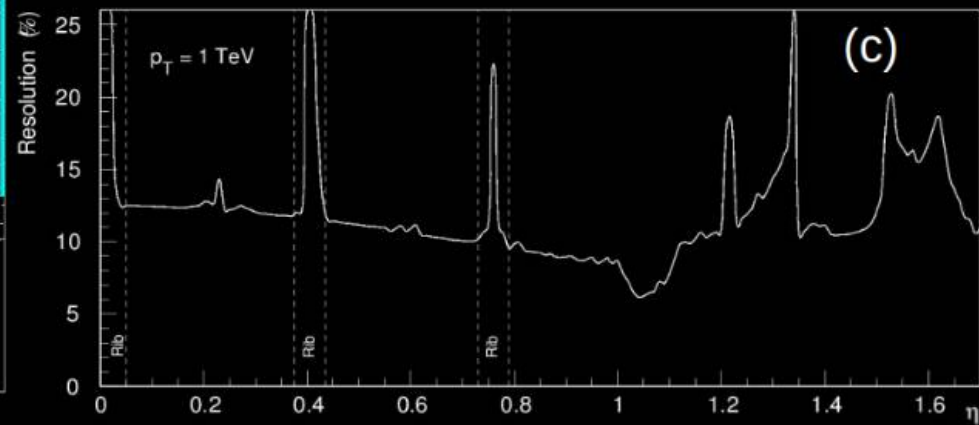
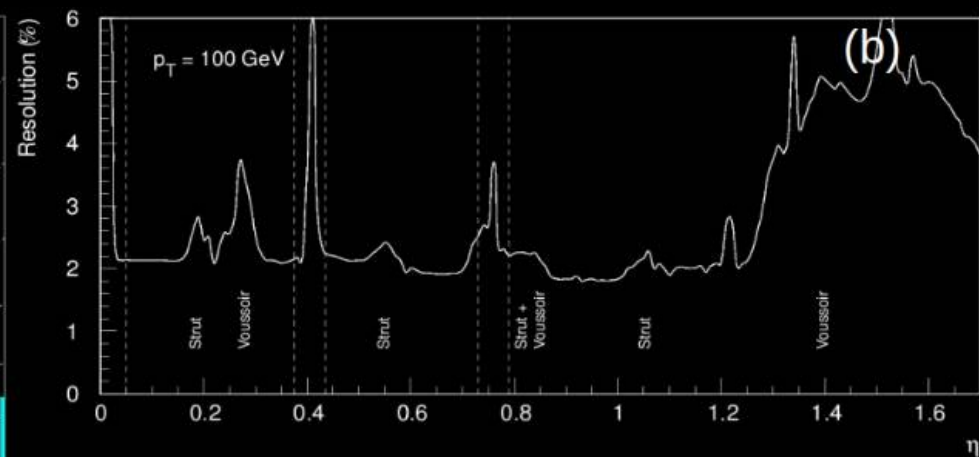
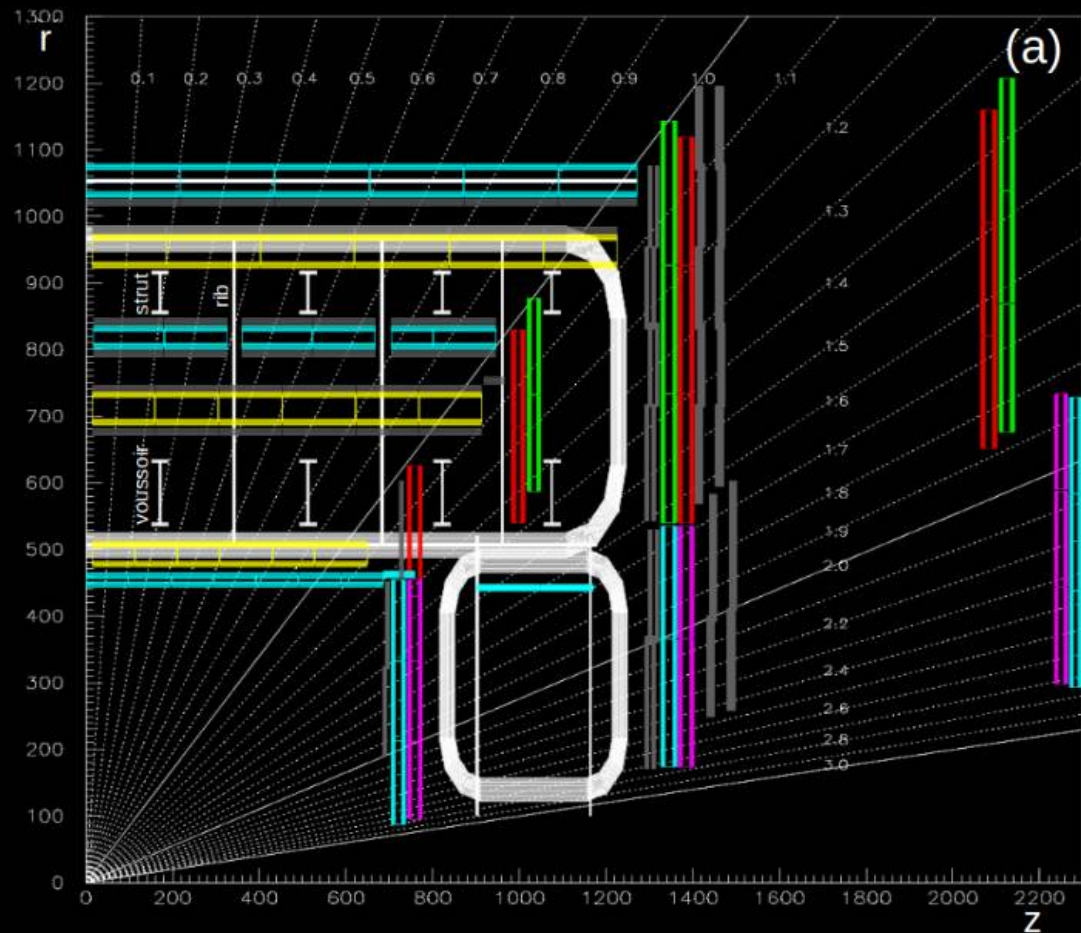
$\int B \cdot dl \rightarrow$ définit le système magnétique

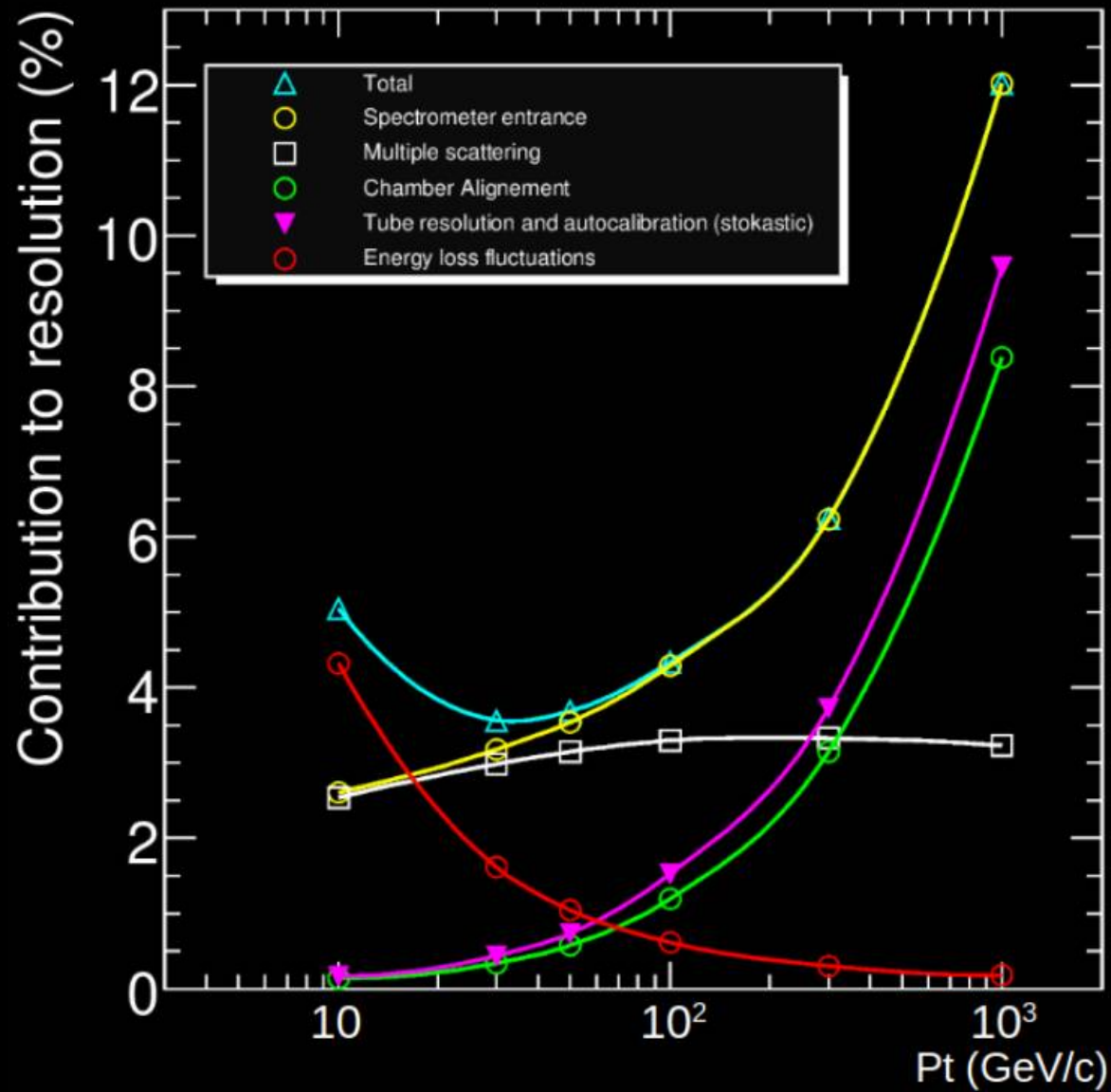


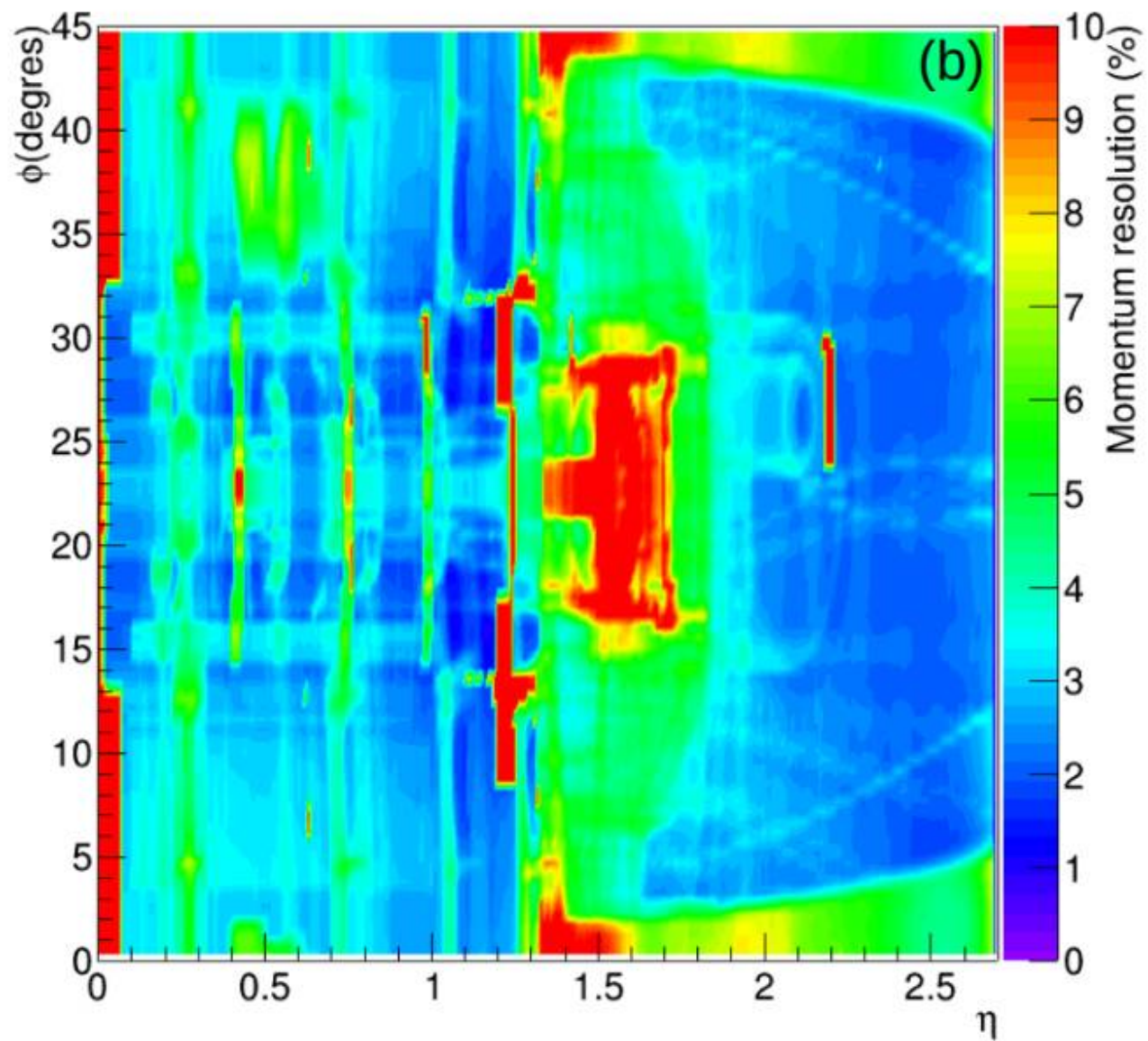
Intégral de champ calculée pour les dimensions actuelles du spectromètre



$\int B \cdot I \cdot dl \rightarrow$ défini la résolution en impulsion du détecteur

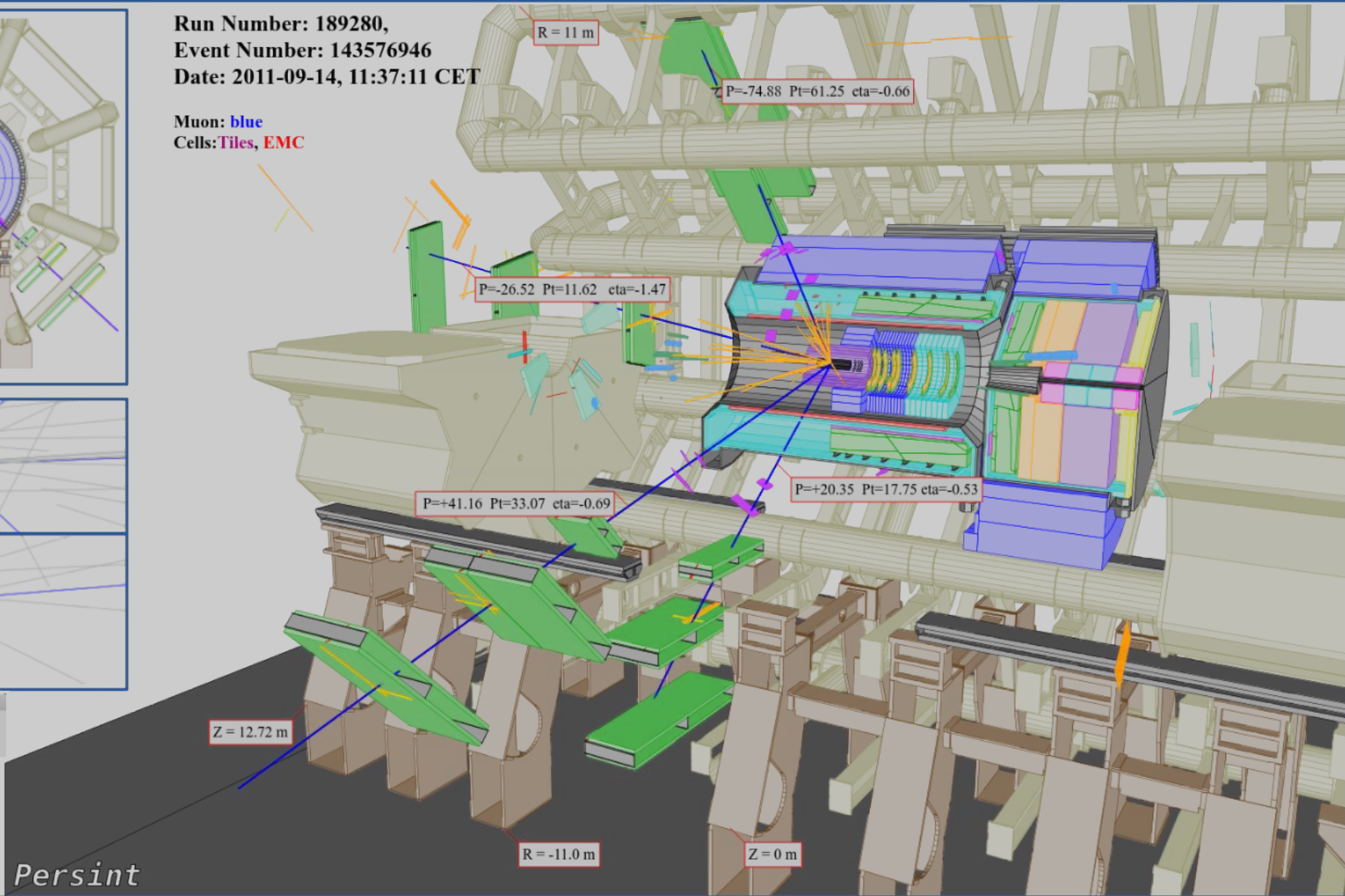
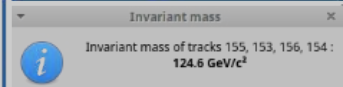
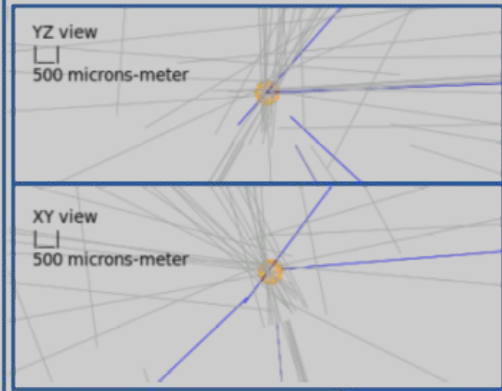
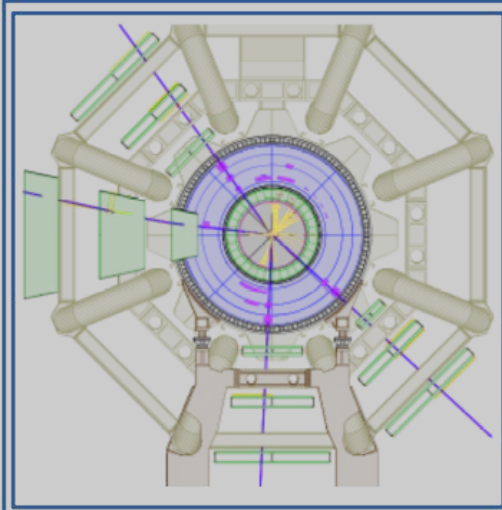






Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

Muon: blue
Cells: Tiles, EMC



Persint

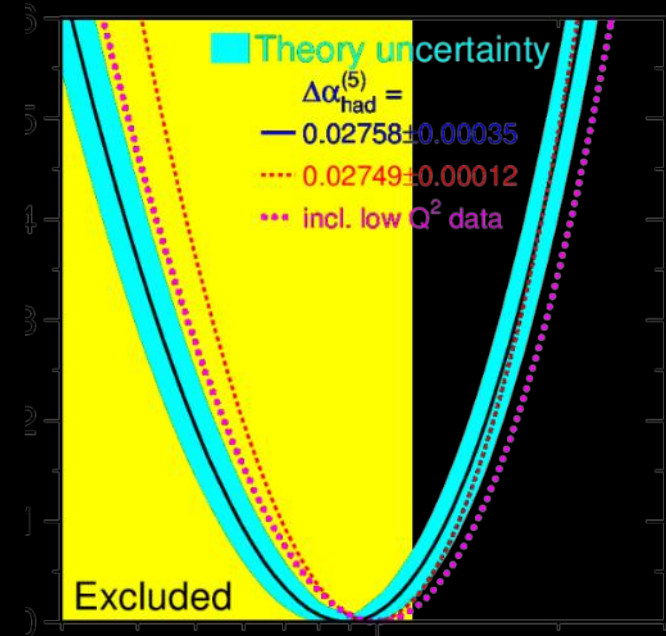
Observation des premiers bosons de Higgs 2012 (5 fb^{-1})

$$m_{4l} = 126.0 \pm 0.5 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{\gamma\gamma} = 124.5 \pm 0.5 \text{ GeV}/c^2$$

Remarque : prédiction 2006

$$\text{LEP2} \rightarrow m_H \sim 100 \pm 25 \text{ GeV}/c^2$$



Spécial
Festival d'Avignon

La 66^e fête du théâtre
démarré le 7 juillet
Supplément

Le Monde

Le Monde
des livres

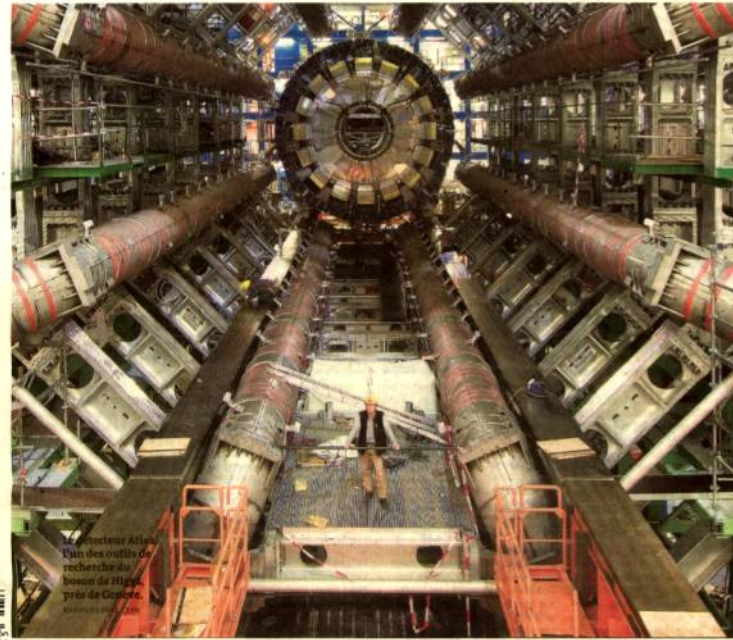
Les coups de cœur
de la rédaction
Supplément

Jeudi 5 juillet 2012 • 68^e année • N°20981 • 1,60 € • France métropolitaine • www.lemonde.fr

Fondateur : Hubert Beuve-Méry • Directeur : Erik Izrael

Science : la matière dévoilée

- Le boson de Higgs, particule manquante pour expliquer l'Univers, vient d'être découvert
- Les physiciens du CERN de Genève ont prouvé son existence à 99,9999 %



C'est dans cette cathédrale souterraine de béton et d'acier, le LHC (Large Hadron Collider), situé près de Genève, que les physiciens ont trouvé leur graal, la seule particule élémentaire à n'avoir jamais été observée, celle qui valide la théorie scientifique sur la constitu-

tion de la matière, celle que les savants cherchent depuis 1964, le boson de Higgs. Mercredi 4 juillet, les chercheurs du CERN ont annoncé devant 400 physiciens survoltés – et l'Écossais Peter Higgs lui-même – avoir trouvé le fameux boson avec une certitude de 99,9999 %.

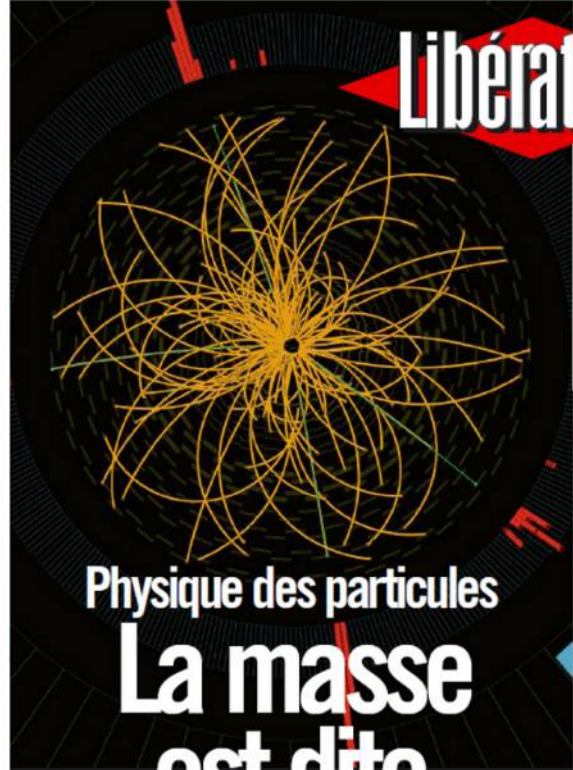
Il aura fallu 4 milliards d'euros d'investissements et des années d'observation de particules lancées à 1 milliard de km/h dans un anneau géant enterré entre France et Suisse pour parvenir à écrire cette nouvelle page de l'histoire des sciences. ■ Pages 2-3

150 EURO, PREMIÈRE ÉDITION N°9688

JEUDI 5 JUILLET 2012

WWW.LIBERATION.FR

Libération



Physique des particules

La masse est dite

Le Cern a réussi à mettre en évidence le boson de Higgs qui résout une énigme fondamentale et ouvre une nouvelle étape scientifique. **PAGES 2-5**

Détecteurs ATLAS

ATLAS

conception 1990

simulation complète du détecteur avec GEANT 3 et 4

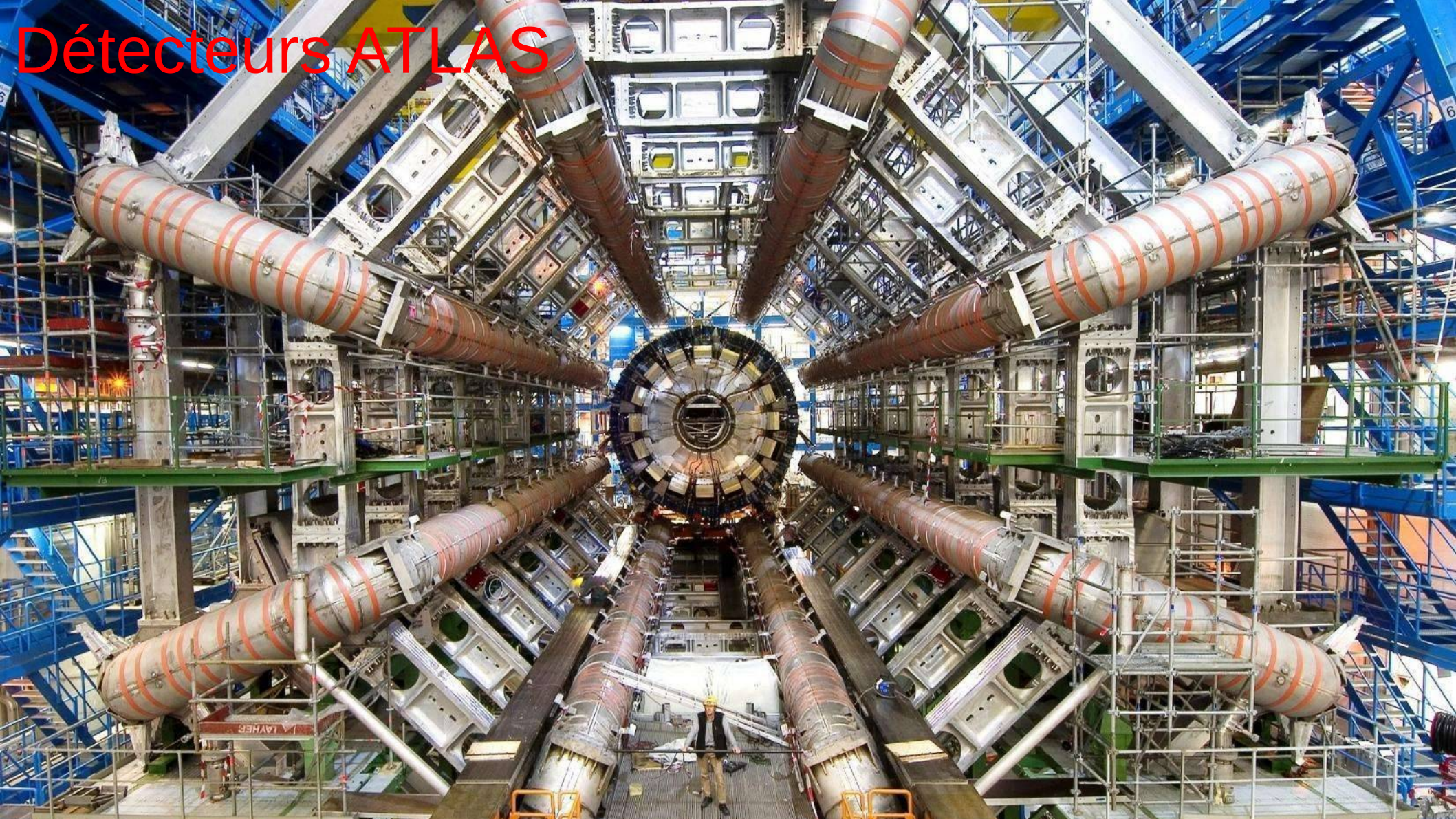
trajectographie R $\sim 2\text{m}$

solénoïde 2 T et Toroïde

Run I 2009-2012

temps entre collision 25 ns

environ 3000 signataires



Détecteurs ATLAS

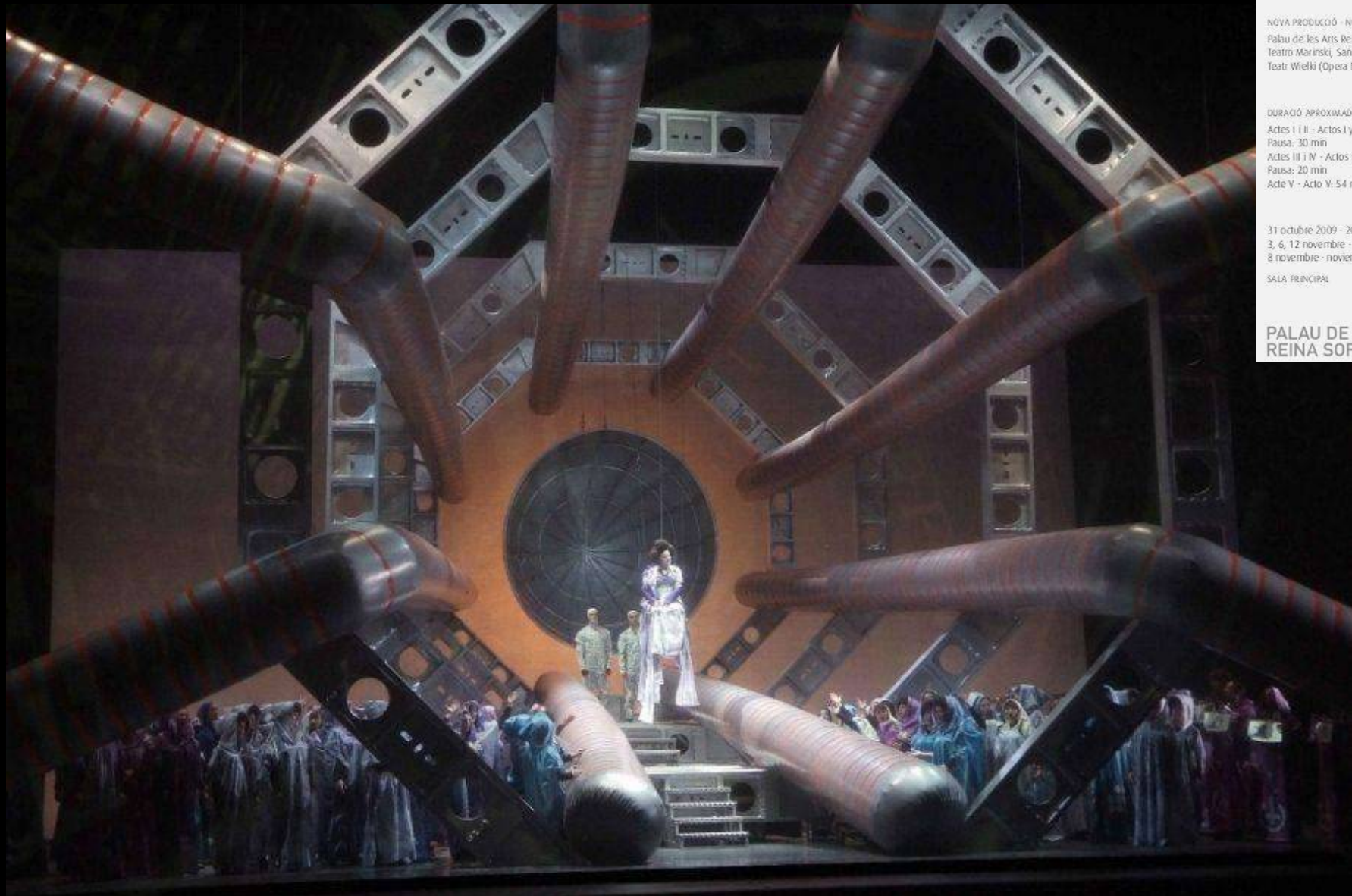
NOVA PRODUCCió - NUEVA PRODUCCIÓN
Palau de les Arts Reina Sofia
Teatro Marinski, San Petersburgo
Teatr Wielki (Opera Narodowa), Varsovia

DURACIó APROXIMADA · DURACIÓN APROXIMADA
Actes I i II - Actos I y II: 1 h 21 min
Pausa: 30 min
Actes III i IV - Actos III y IV: 1 h 42 min
Pausa: 20 min
Acte V - Acto V: 54 min

31 octubre 2009 - 20.00 h
3, 6, 12 novembre · noviembre 2009 - 20.00 h
8 novembre · noviembre 2009 - 19.00 h

SALA PRINCIPAL

PALAU DE LES ARTS
REINA SOfIA Temporada 2009-2010



Détecteurs D0 vs ATLAS

Accélérateurs → LHC vs TeVatron

chaud / froid

1.8 TeV / 14 TeV

LHC(1,9 K soit 271.3°C, 10^{-13} atm, 10^9 collisions par seconde)

champ magnétique * 10

intensité des faisceaux $10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ / $2 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Détecteurs ~10 ans d'écart

D0 : pas de solénoïde

→ pas de séparation de charge

→ pas de mesure d'impulsion !!!

ATLAS :

avancées énormes en électronique, informatique, détection

ATLAS et CMS au CERN

ont profité des avancées des précédents détecteurs Delphi, Aleph, L3 et opal

Détecteurs D0 vs ATLAS

Accélérateurs → LHC vs TeVatron

chaud / froid

1.8 TeV / 14 TeV

LHC(1,9 K soit 271.3°C, 10^{-13} atm, 10^9 collisions par seconde)

champ magnétique * 10

intensité des faisceaux $10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ / $2 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Détecteurs ~10 ans d'écart

avancées énormes en électronique, informatique, détection

ATLAS et CMS au CERN

ont profité des avancées des précédents détecteurs Delphi, Aleph, L3 et opal

Conclusion

relire la présentation

Backup

Détecter pourquoi ?

comprendre

1.00794 1 H Hydrogène																	4.002602 2 He Hélium
6.941 3 Li Lithium	9.012182 4 Be Béryllium																
22.98976 11 Na Sodium	24.3050 12 Mg Magnésium																
39.0983 19 K Potassium	40.078 20 Ca Calcium	44.95591 21 Sc Scandium	47.867 22 Ti Titane	50.9415 23 V Vanadium	51.9962 24 Cr Chrome	54.93804 25 Mn Manganèse	55.845 26 Fe Fer	58.93319 27 Co Cobalt	58.9334 28 Ni Nickel	63.546 29 Cu Cuivre	65.38 30 Zn Zinc	69.723 31 Ga Gallium	72.64 32 Ge Germanium	74.92160 33 As Arsenic	78.96 34 Se Sélénium	79.904 35 Br Brome	83.798 36 Kr Krypton
85.4678 37 Rb Rubidium	87.62 38 Sr Strontium	88.90585 39 Y Yttrium	91.224 40 Zr Zirconium	92.90638 41 Nb Niobium	95.96 42 Mo Molybdène	(98) 43 Tc Technetium	101.07 44 Ru Ruthénium	102.9055 45 Rh Rhodium	106.42 46 Pd Paladium	107.8662 47 Ag Argent	112.441 48 Cd Cadmium	114.818 49 In Indium	118.710 50 Sn Étain	121.760 51 Sb Antimoine	127.60 52 Te Tellure	126.9044 53 I Iode	131.293 54 Xe Xénon
132.9054 55 Cs Césium	137.327 56 Ba Baryum	174.9668 71 Lu Lutétium	178.49 72 Hf Hafnium	180.9478 73 Ta Tantale	183.84 74 W Tungstène	186.207 75 Re Rhenium	186.207 76 Os Osmium	192.221 77 Ir Iridium	195.084 78 Pt Platine	196.9665 79 Au Or	200.59 80 Hg Mercure	204.383 81 Tl Thallium	207.2 82 Pb Plomb	208.9804 83 Bi Bismuth	(210) 84 Po Polonium	(210) 85 At Astatine	(220) 86 Rn Radon
(223) 87 Fr Francium	(226) 88 Ra Radium	(262) 103 Lr Lawrencium	(261) 104 Rf Rutherfordium	(262) 105 Db Dubnium	(266) 106 Sg Seaborgium	(264) 107 Bh Bohrium	(271) 108 Hs Hassium	(268) 109 Mt Meitnerium	(271) 110 Ds Darmstadtium	(272) 111 Rg Roentgenium	(285) 112 Cn Copernicium	(284) 113 Nh Nihonium	(289) 114 Fl Flerovium	(288) 115 Uup Ununpentium	(292) 116 Lv Livermorium	(293) 117 Uus Ununseptium	(294) 118 Uuo Ununoctium

138.9054 57 La Lanthane	140.116 58 Ce Cérium	140.9076 59 Pr Praseodyme	144.242 60 Nd Néodyme	(145) 61 Pm Prométhium	150.36 62 Sm Samarium	151.964 63 Eu Europium	157.25 64 Gd Gadolinium	158.9252 65 Tb Terbium	162.500 66 Dy Dysprosium	164.9303 67 Ho Holmium	167.259 68 Er Erbium	168.9342 69 Tm Thulium	173.054 70 Yb Ytterbium
(227) 89 Ac Actinium	232.0380 90 Th Thorium	231.0368 91 Pa Protactinium	238.0289 92 U Uranium	(237) 93 Np Neptunium	(244) 94 Pu Plutonium	(243) 95 Am Americium	(247) 96 Cm Curium	(247) 97 Bk Berkélium	(251) 98 Cf Californium	(252) 99 Es Einsteinium	(257) 100 Fm Fermium	(258) 101 Md Mendelevium	(258) 102 No Nobelium

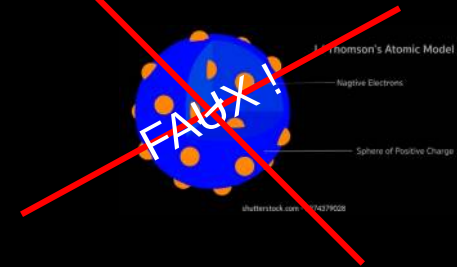
...and this is how, in 1869, Dmitri Mendeleev completed the first periodic table.



comprendre

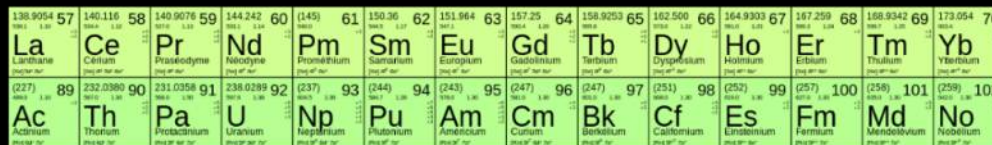
138.9054	57	140.116	58	140.9076	59	144.242	60	(145)	61	150.36	62	151.964	63	157.25	64	158.9253	65	162.50	66	164.9303	67	167.259	68	168.9342	69	173.054	70
La Lanthane		Ce Cérium		Pr Praseodyme		Nd Neodyme		Pm Prométhium		Sm Samarium		Eu Europium		Gd Gadolinium		Tb Terbium		Dy Dysprosium		Ho Holmium		Er Erbium		Tm Thulium		Yb Ytterbium	
(227)	89	232,0380	90	231,0358	61	238,0289	92	(237)	93	(244)	94	(243)	95	(247)	96	(247)	97	(251)	98	(252)	99	(257)	100	(258)	101	(259)	102
Ac Actinium		Th Thorium		Pa Protactinium		U Uranium		Np Neptunium		Pu Plutonium		Am Americium		Cm Curium		Bk Berkelium		Cf Californium		Es Einsteinium		Fm Fermium		Md Mendelevium		No Nobelium	

comprendre

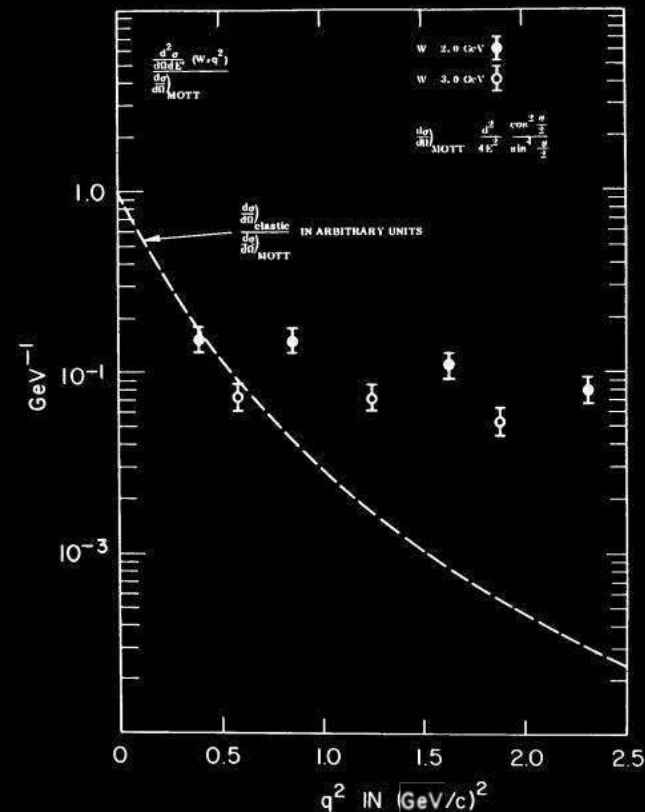
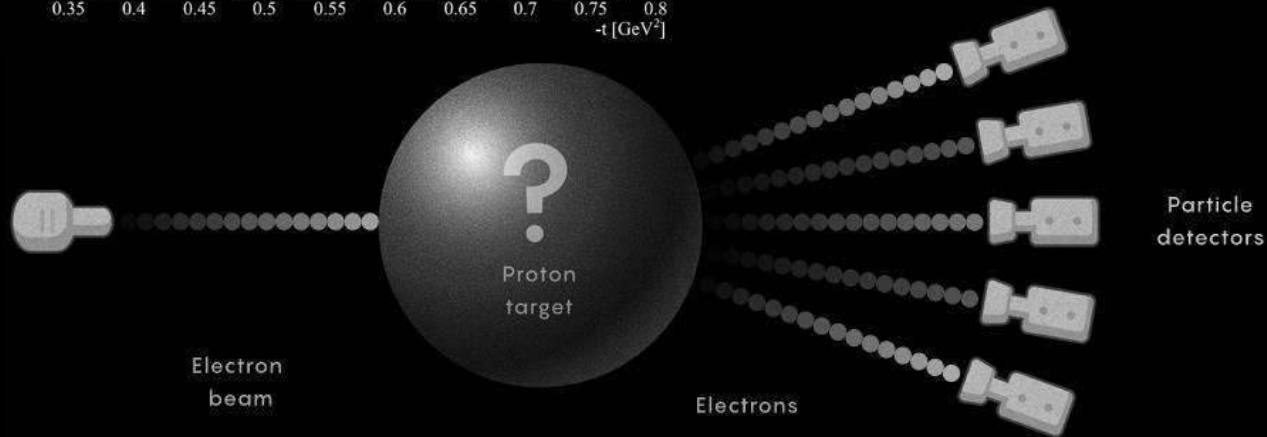
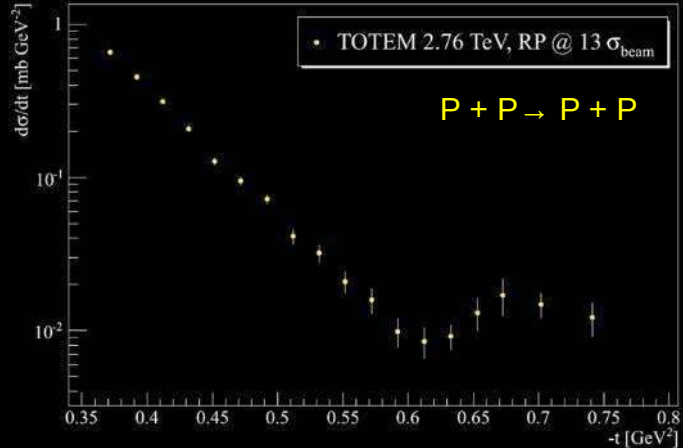


A graph showing the number of counts versus the scattering angle for the transition $\text{H\acute{e}lium} \rightarrow \text{Or}$. The y-axis is labeled "No. of counts" with an upward arrow. The x-axis is labeled "Scattering angle" with tick marks at 0 , $\pi/2$, and π . A dashed line represents the expected exponential decay for a point nucleus. Data points (white circles) follow this line at low angles but deviate downwards at higher angles, labeled "Atom has substructure".

← mieux (?)

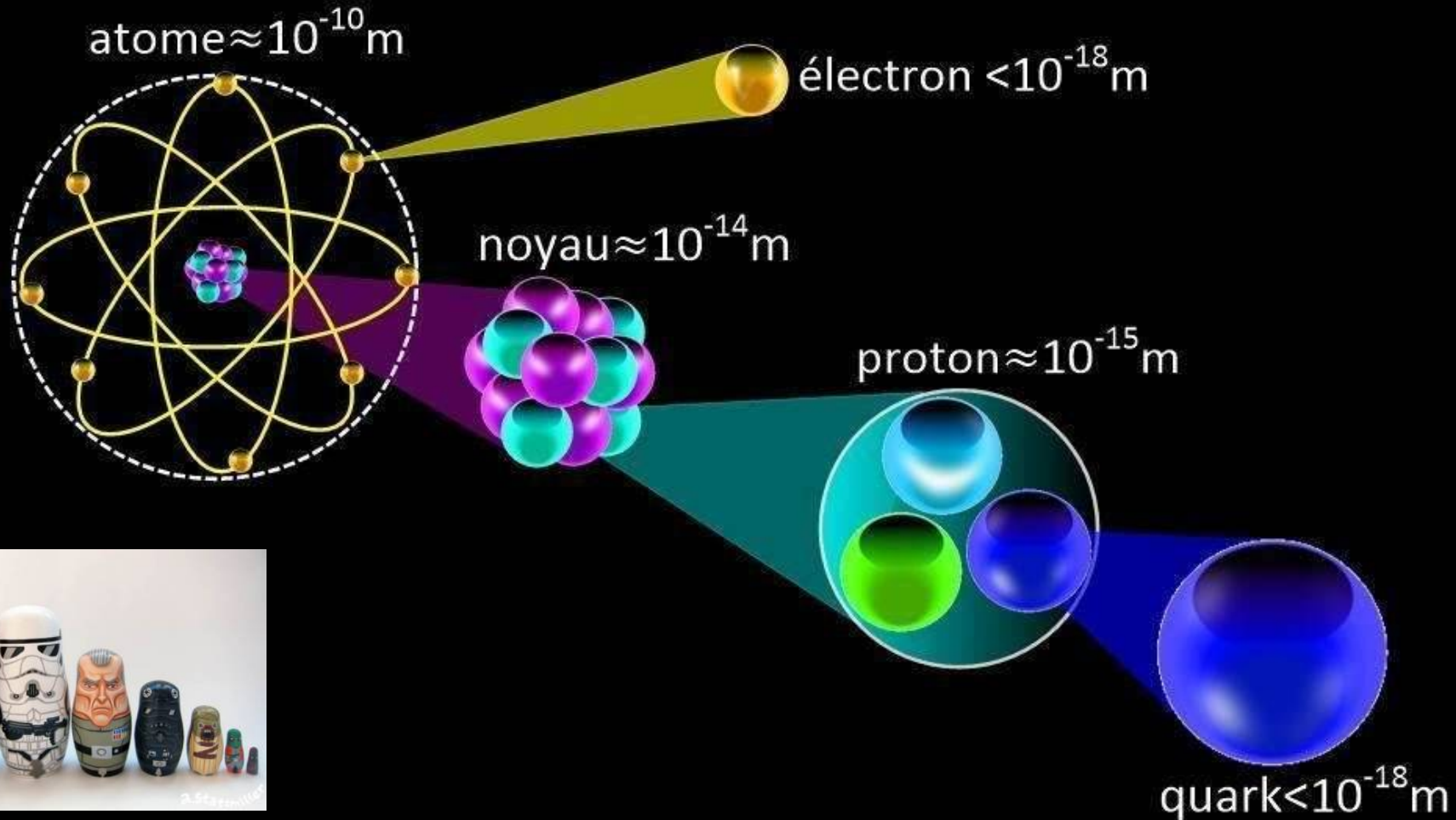


comprendre

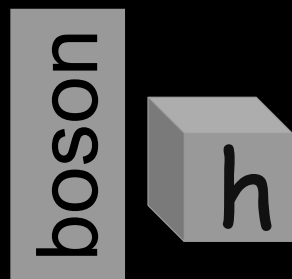


Détecter pourquoi ?

comprendre

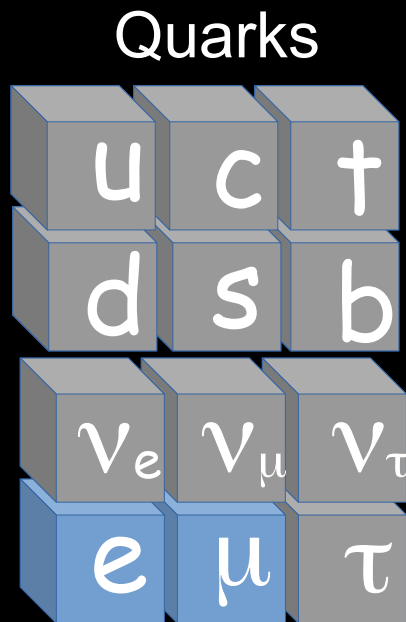


Détecter quoi ?

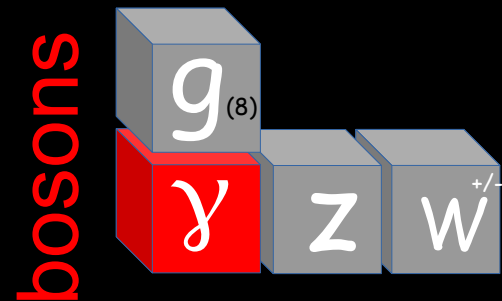


Spin 0

fermions



Spin 1/2



Spin 1