

0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales (suite)

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)

Great Pyramid (Khufu's Pyramid)



King's
chamber

Grand
gallery

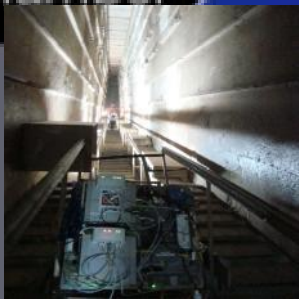
Queen's
chamber



Preliminary endoscopic images of ScanPyramids North Face Corridor (under analysis)

Big void

Small void



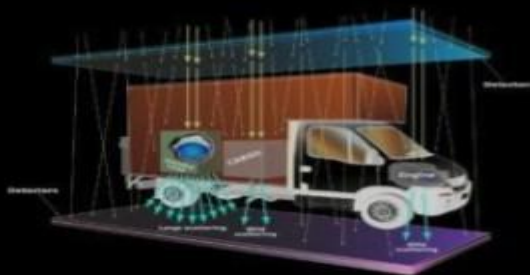
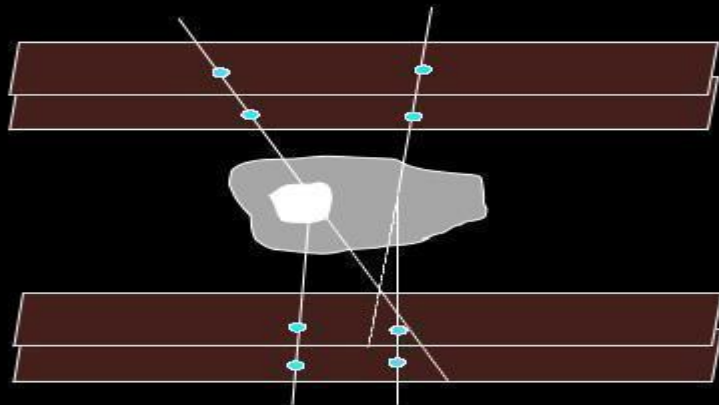
Muography

Applications

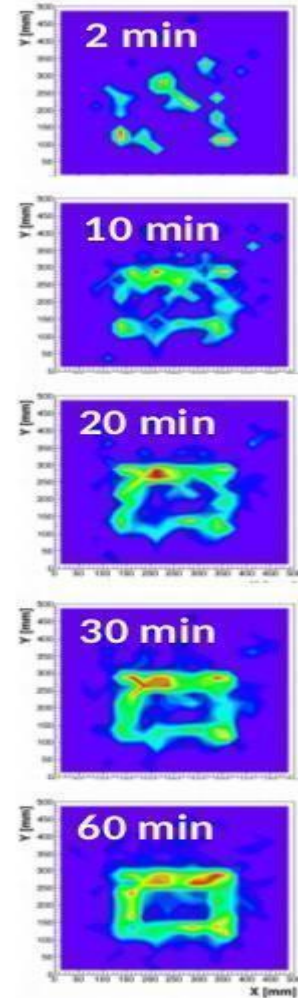
- Archéologie → pyramides
- Sécurité → conteneurs
- Géosciences → volcans
- Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

- Use cosmic muons to analyze truck, container....
- Multiple diffusion:
 - 2 detectors: deviation angle
 - fast ($\sim$ mn), 3D,



it chevalier





MUON CARGO

Non-invasive container inspection

Learn more



Muography

Applications

Archéologie → pyramides

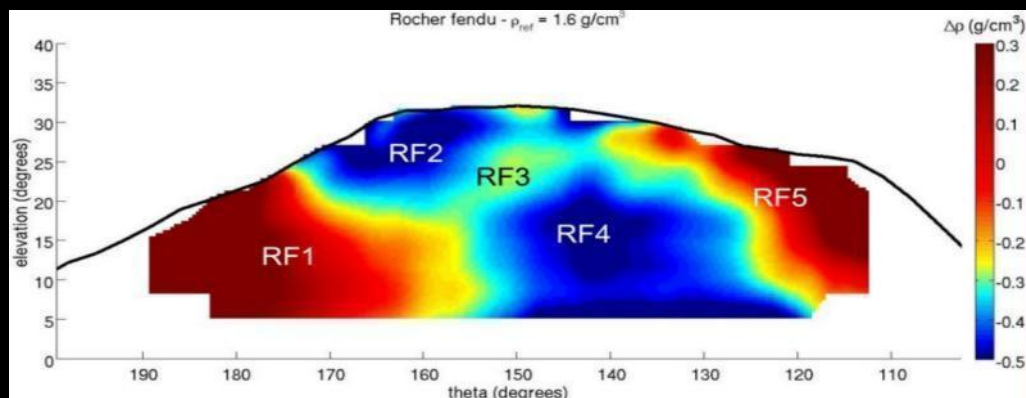
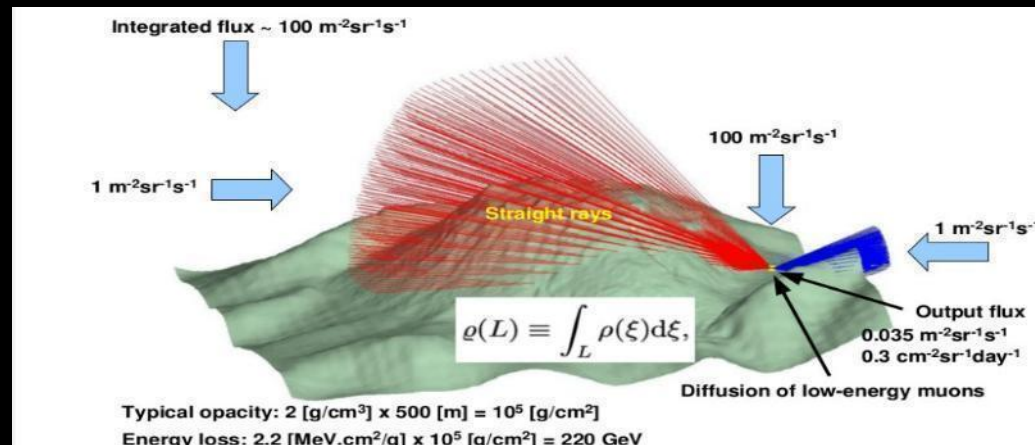
Sécurité → conteneurs

Géosciences → volcans

Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

- the probability of muon absorption is proportional to the density
Muon flux $\rightarrow$ density map
- Use cosmic muons to analyze Archaeology, Volcanology, buildings structure,...



nevalie



Muography

Applications

- Archéologie → pyramides
- Sécurité → conteneurs
- Géosciences → volcans
- Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

Sûreté nucléaire

- Réacteurs de Marcoule G2 et G3 démantèlement
- 1958-1984



- compare structure interne et plan (<1958...)
- préparation de du génie civil
- identifier des anomalies potentielles

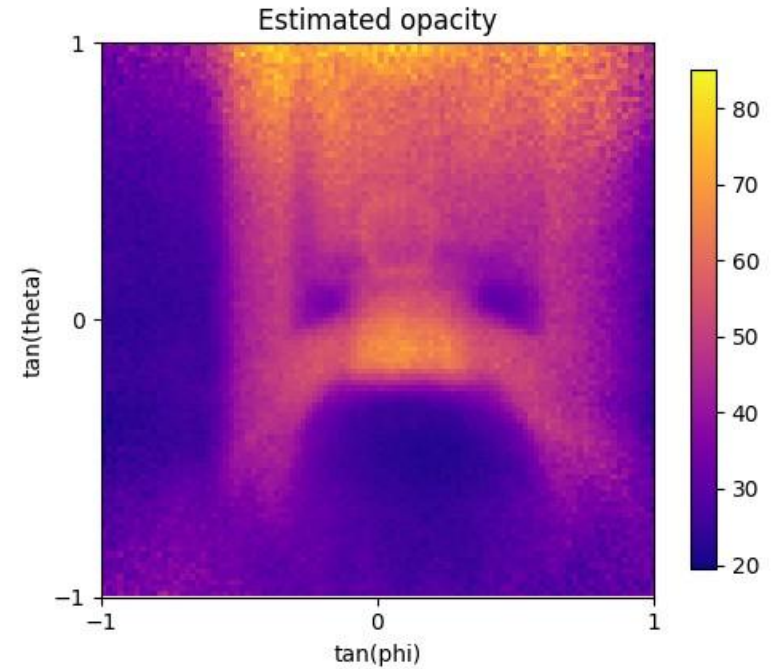
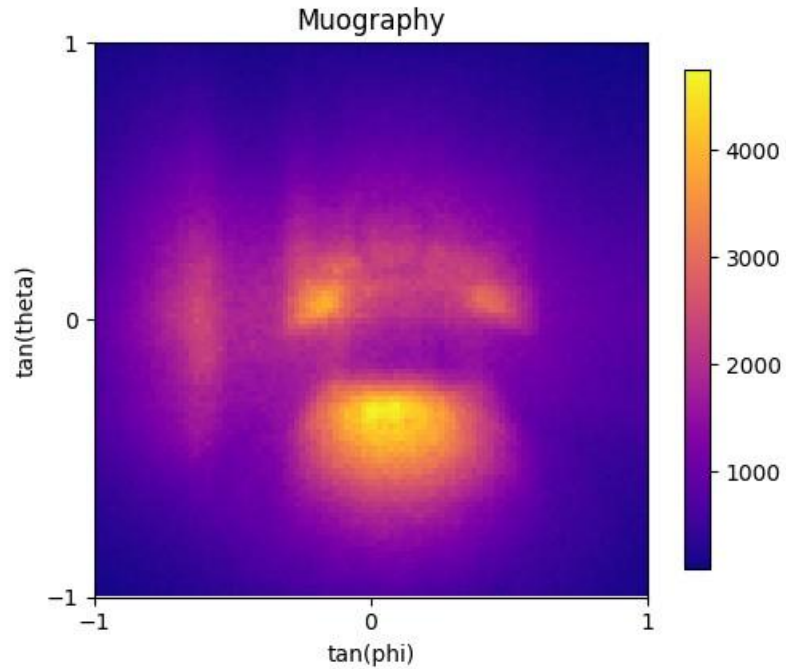
remarques :

- structure interne pas accessible à des humains
- X-rays et ultrasons ne peuvent pénétrer



laurent chevalier

Muography



laurent chevalier

Muography

G2

G3

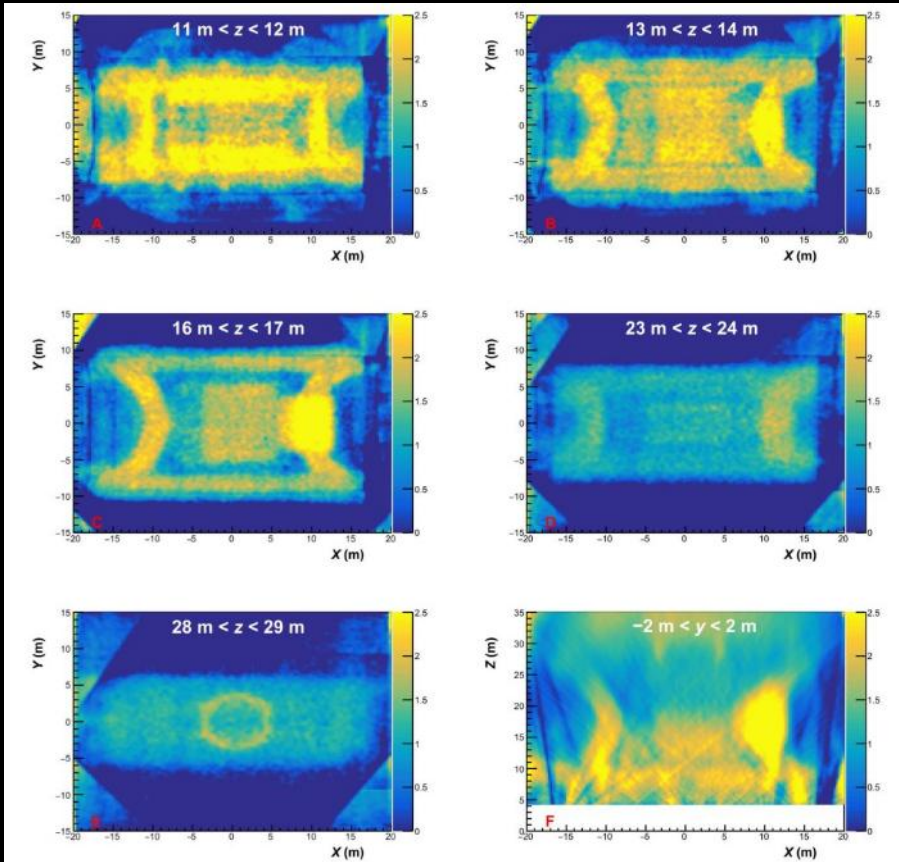
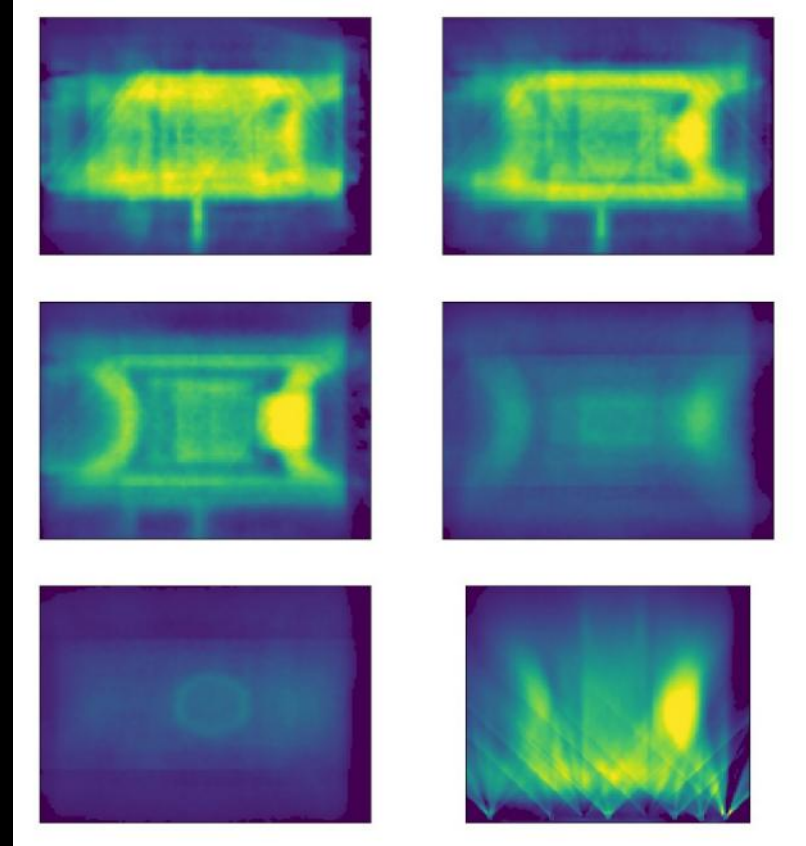


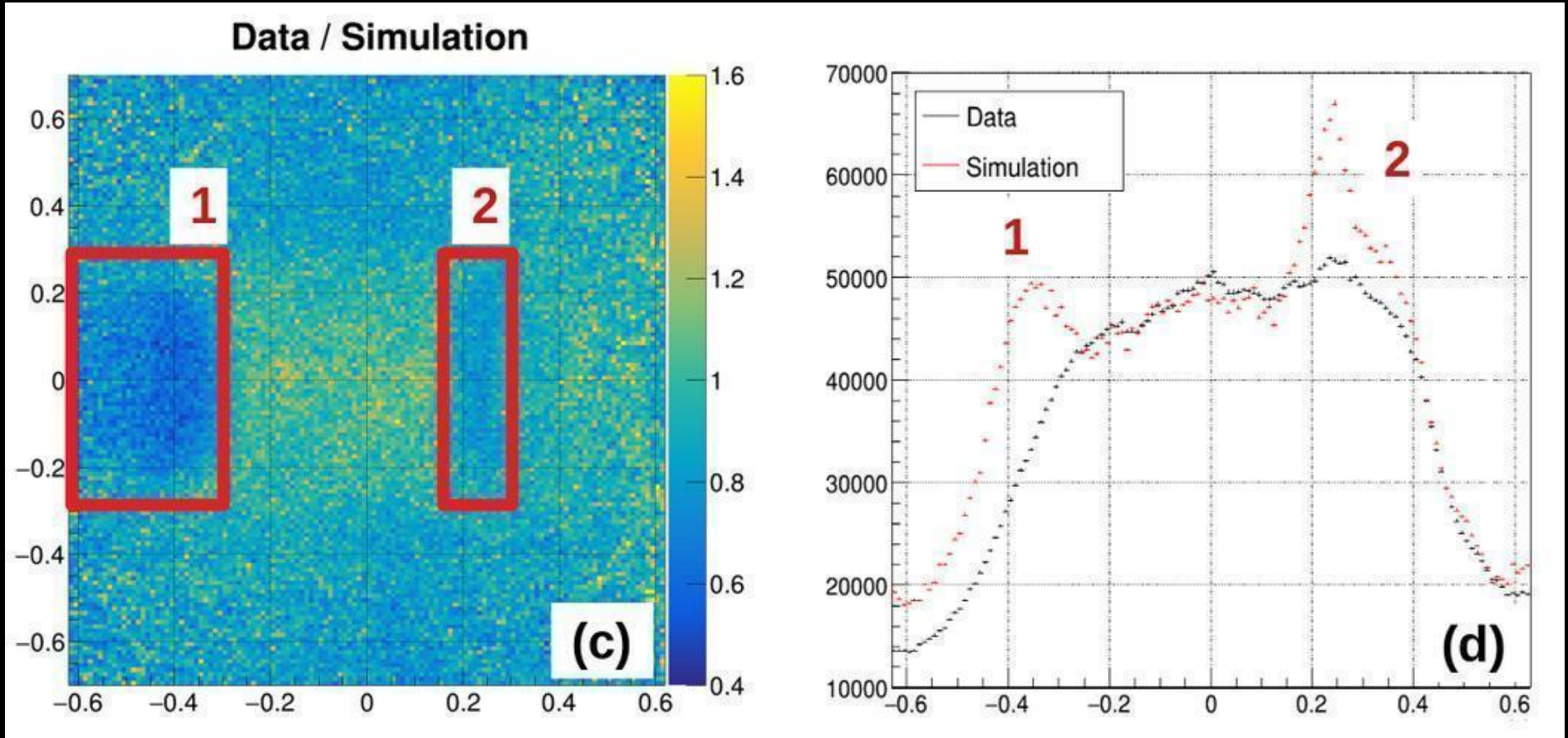
Fig. 4. Some tomographic slices obtained from the 3D reconstruction of the reactor, revealing several details of the structure. (A to E) $x-y$ slices at different heights. (F) $x-z$ slices close to the y axis. See text for more details.



laurent chevalier

Muography

identifier des anomalies



0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

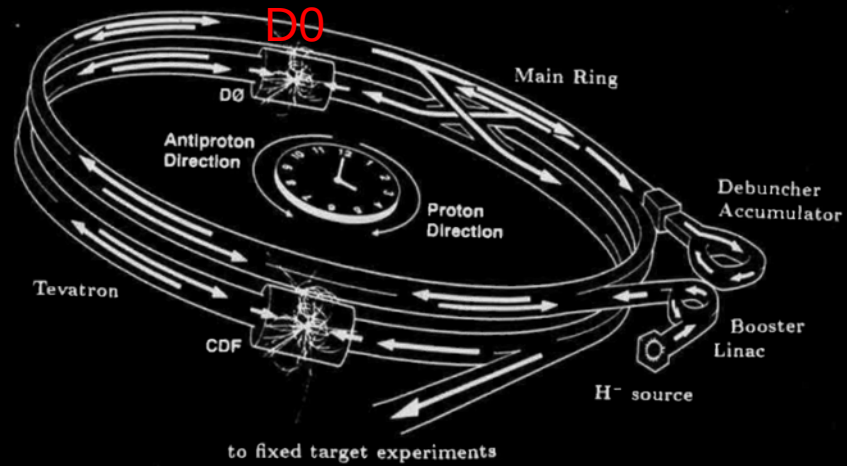
2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)

Collisionneurs TeVatron

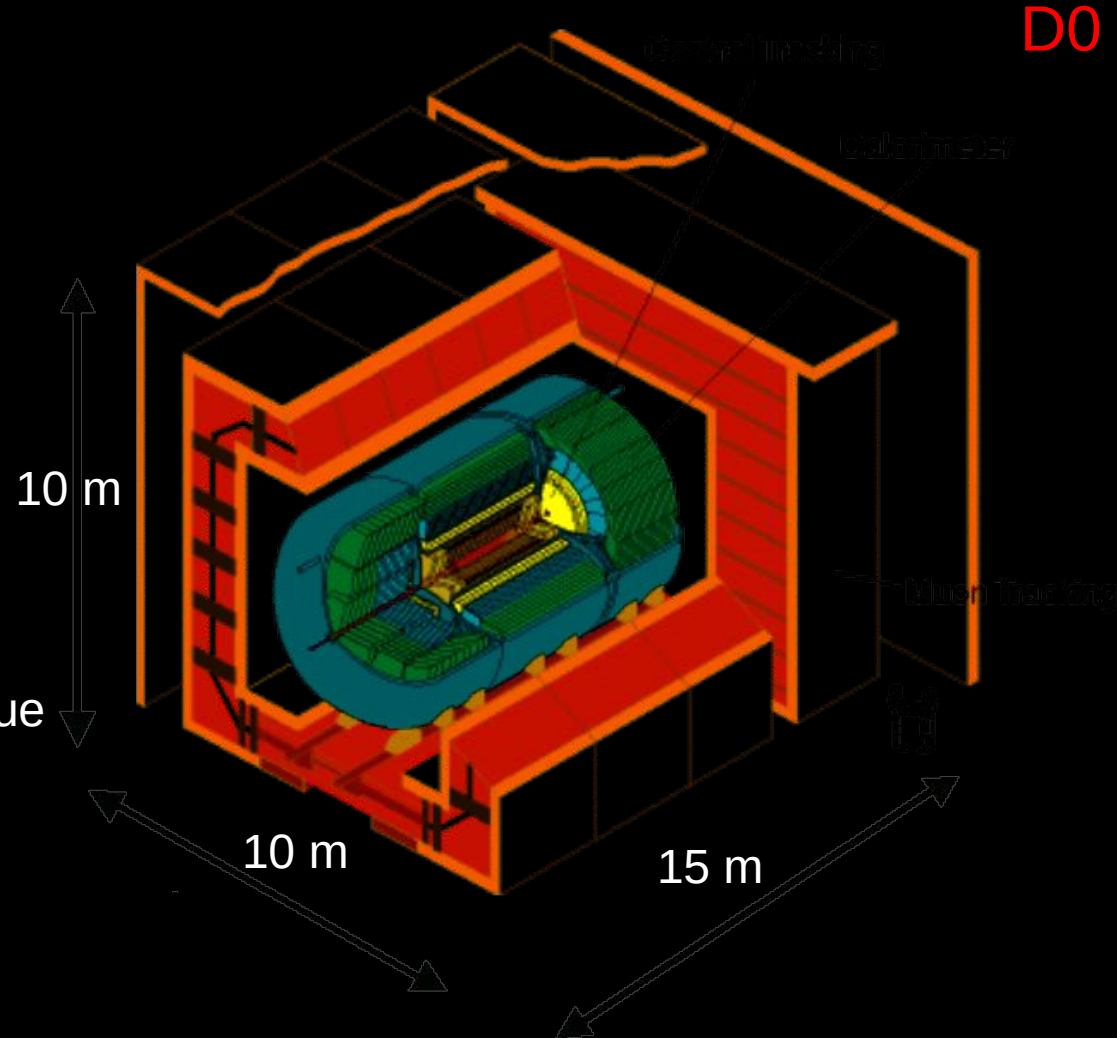


D0

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

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

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

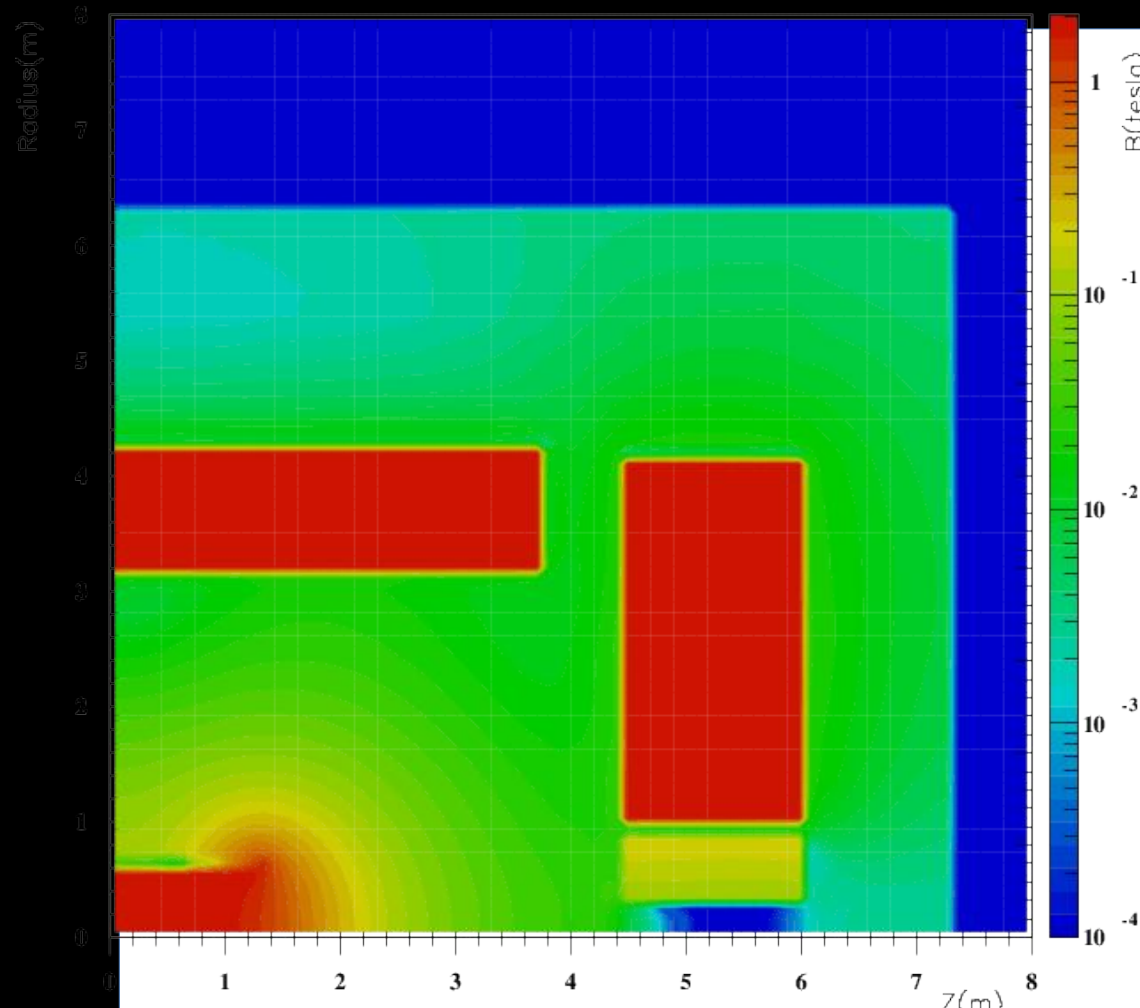


D0

Champ magnétique

Run II : 1998-2004

D0



D0

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

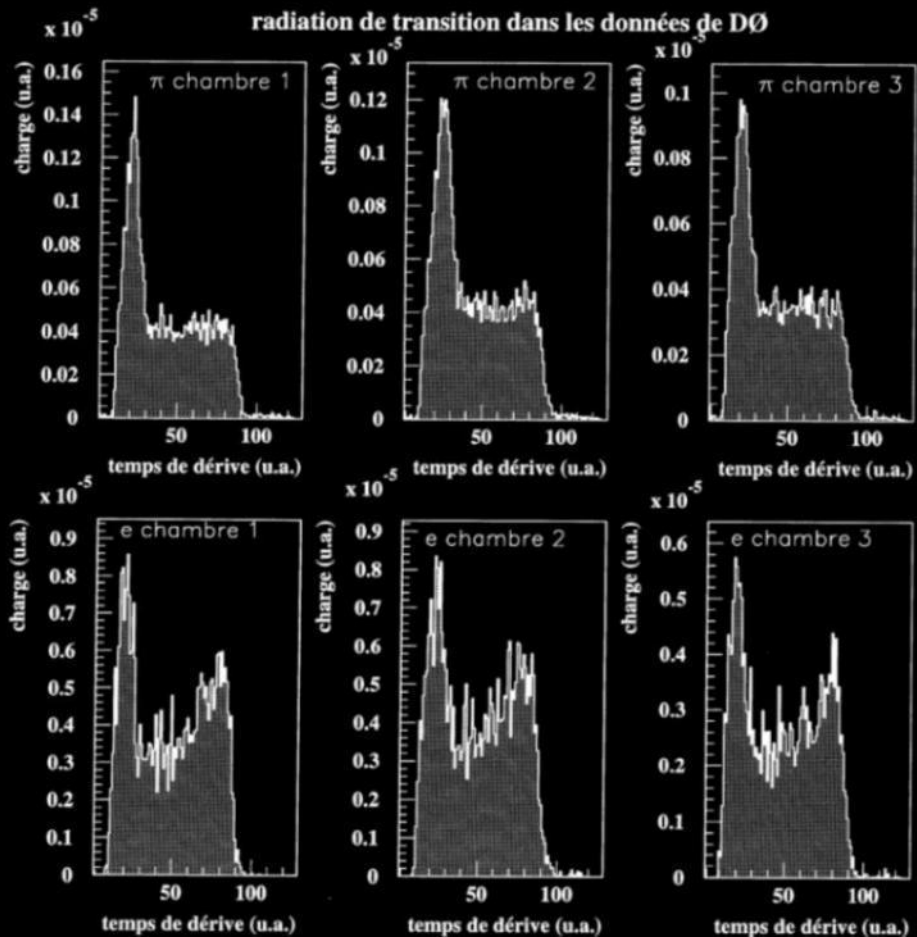
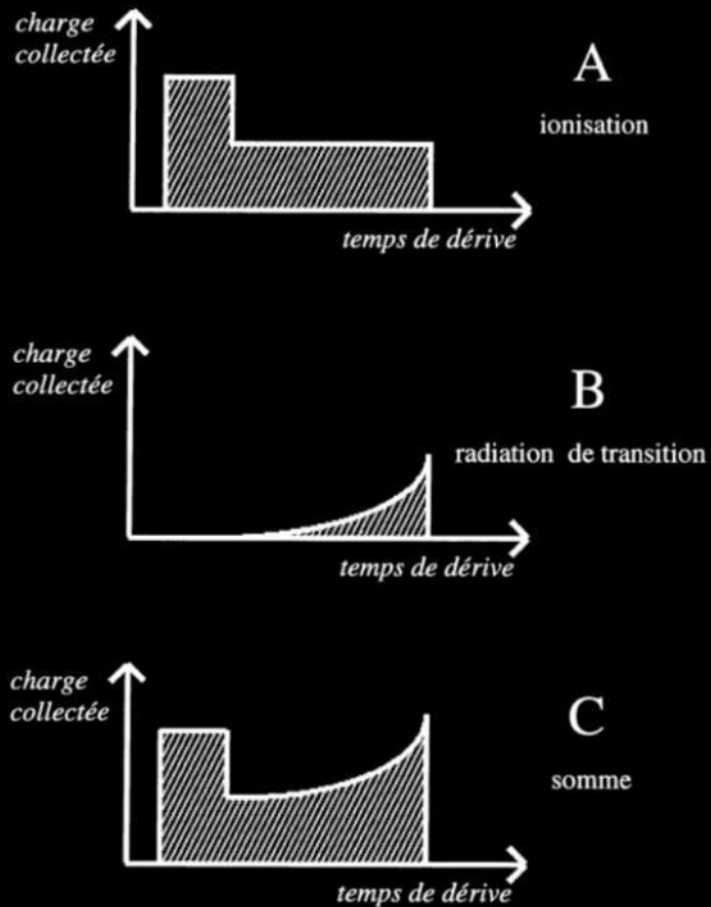
protons du main ring traversaient le détecteur DØ !!!

temps entre collision 3.5 μ s

masse du Z $\rightarrow$ 60 GeV ???

environ 500 signataires

Détecteurs D0 → TRD

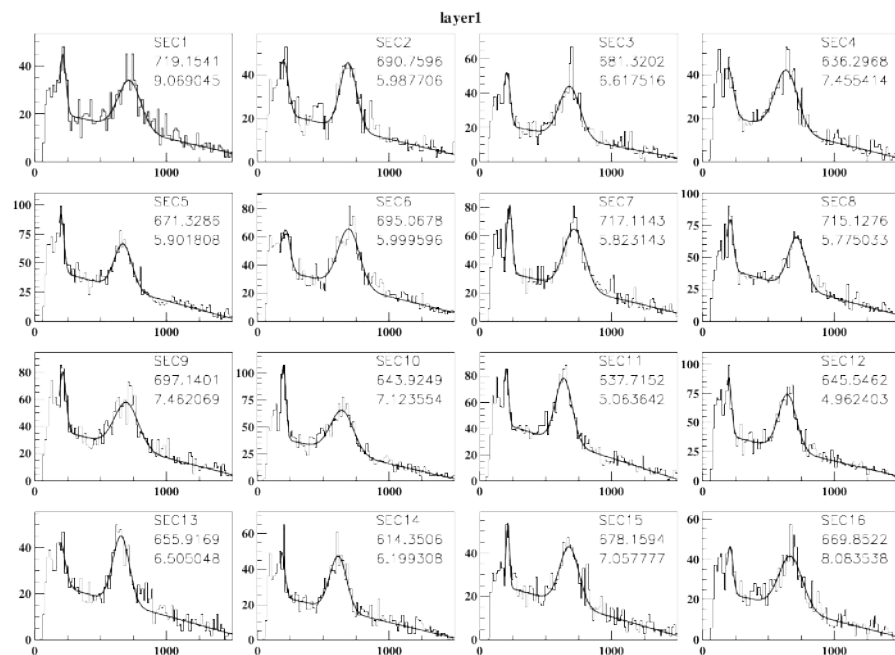
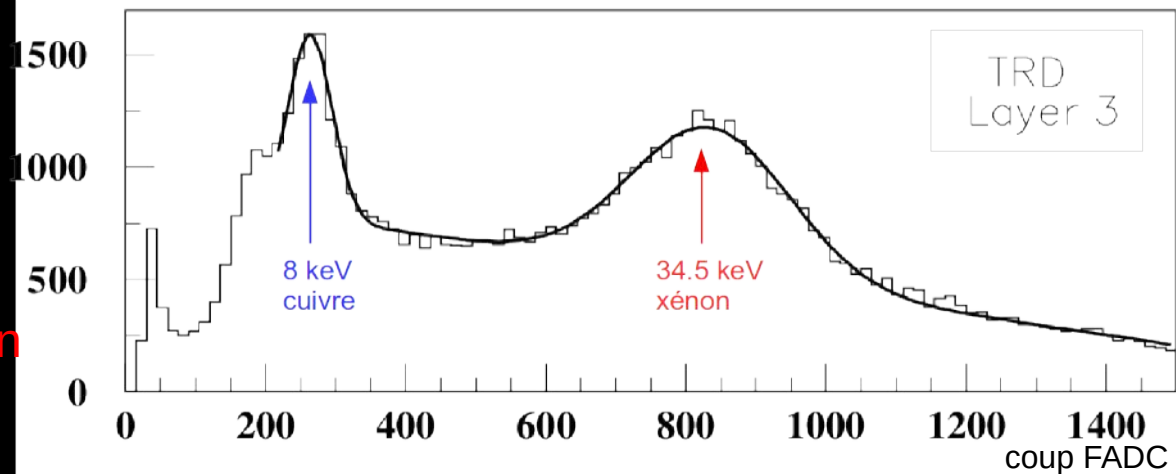


Détecteurs D0

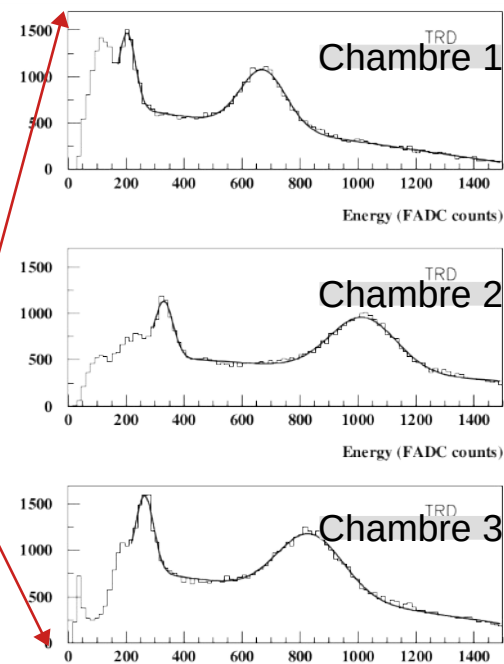
Étalonnage TRD

Uranium (calorimètre)

signal → cuivre & xénon

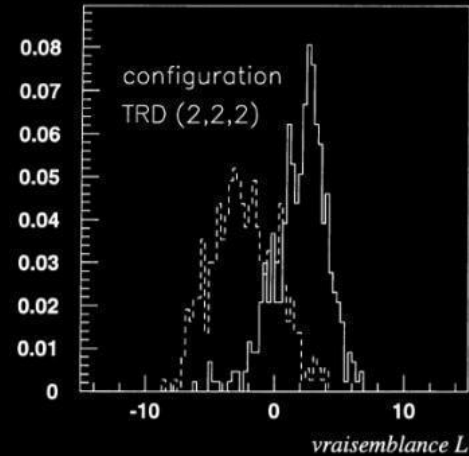
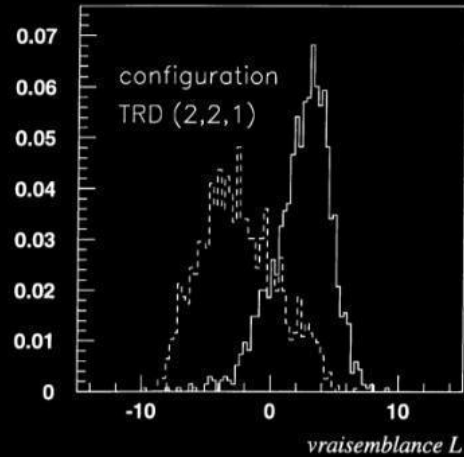
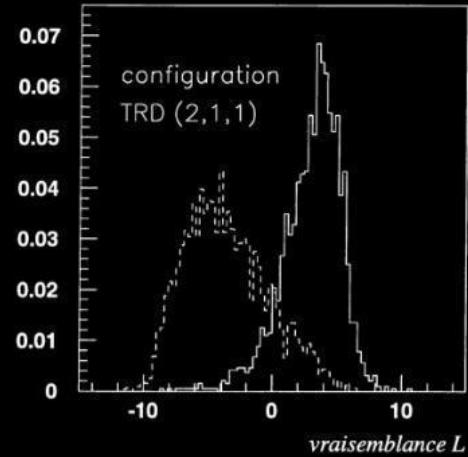
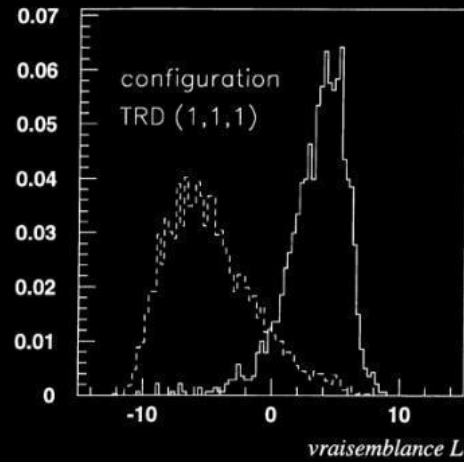


16 secteurs
3 chambres



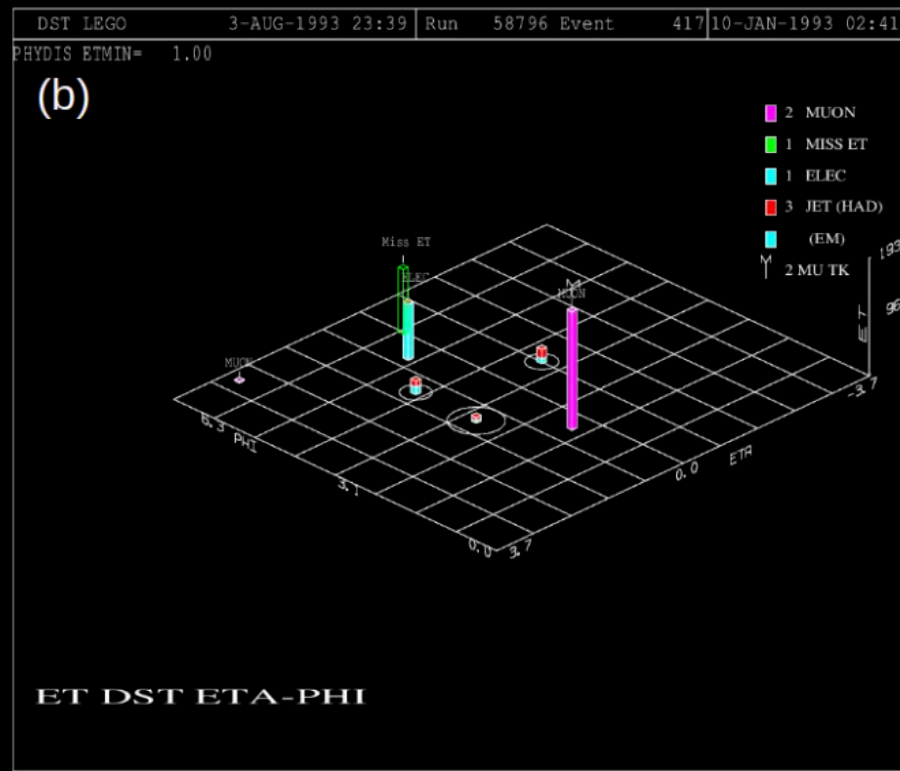
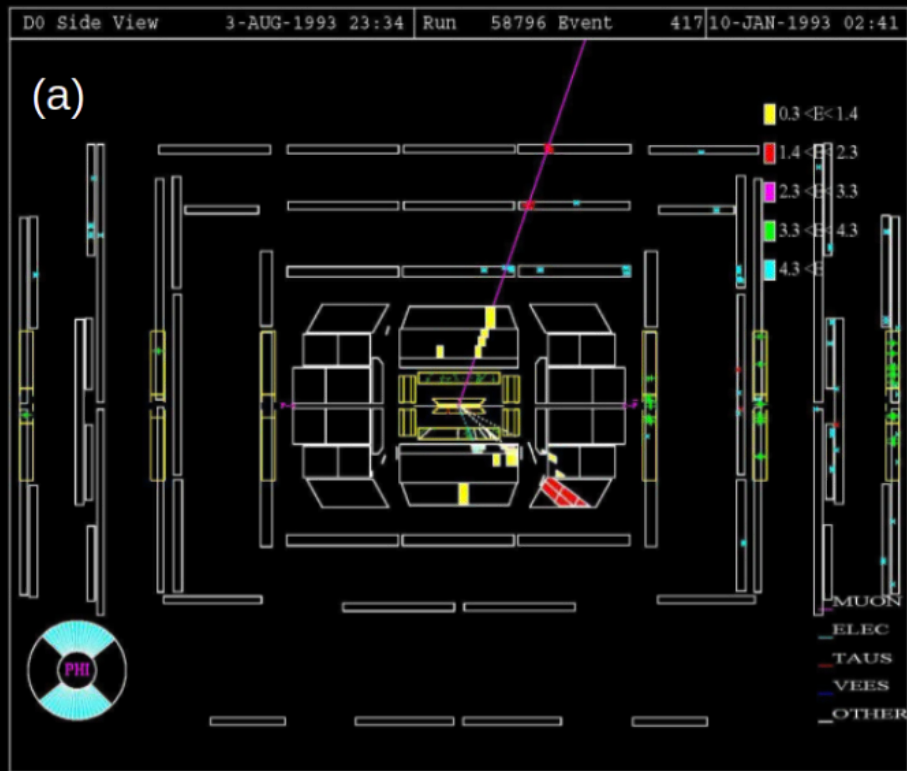
Energy (FADC counts)

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

D0

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

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

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

Le Monde

JEUDI 2 MARS 1995

Des physiciens ont déchiffré l'alphabet des particules

L'existence du sixième quark est confirmée

IL AURAIT PU S'APPELER le quark « timide » tant il s'est dérobé depuis plus de vingt ans au regard des chercheurs. En juillet 1984, les équipes du Laboratoire européen pour la physique des particules (CERN) avaient cru percevoir dans les gerbes de particules élémentaires de leur grand accélérateur de particules. C'était, en fait, une erreur, la machine n'était pas assez puissante pour révéler ce très petit et dernier représentant de la famille des quarks, qui doivent leur nom au Prix Nobel de physique Murray Gell-Mann, grand auteur du roman de James Joyce, *Ulysses*, dont ce mot est tiré.

Depuis bien longtemps déjà, les chercheurs ont montré qu'il leur fallait disposer d'un alphabet de douze particules pour construire les mots et les phrases permettant de décrire la matière nous entoure : six leptons (particules élémentaires, par exemple, l'électron, composant de

base de l'atome ou les fameux neutrinos capables de traverser sans sourcilier plusieurs Terres mises bout à bout) et six quarks, tous dotés d'un amusant diminutif. Jusqu'en avril de l'année dernière, seulement onze de ces particules avaient été clairement identifiées sans le moindre doute cependant sur l'existence de la douzième : le quark « top », le plus lourd de la famille.

« On savait en effet où le chercher, précise Michel Spiro, chef du service de physique des particules au Commissariat à l'énergie atomique (CEA). On savait, grâce à des travaux du CERN, comment il devait apparaître, comment il devait se désintégrer, quelle était sa masse, très lourde, et vraisemblablement égale à celle du noyau d'un atome d'or. Mais le « top » se dérobait toujours, et les physiciens attendaient avec impatience que les deux équipes de quatre cents physiciens qui travaillaient sur le très puissant accélérateur de particules

de Chicago, le Tevatron, prennent enfin sur le fait cette « insaisissable anguille ».

C'est en avril 1994 que la traque a abouti, donnant la primeur de l'événement à l'équipe qui disposait de l'expérience appelée CDF (*Le Monde* du 27 avril 1994). Mais les résultats obtenus demandaient confirmation de ces premières indications. Moins d'un an après, les membres de l'autre équipe ont pu avec l'expérience D Zéro, à laquelle participent étroitement des chercheurs de Saclay sous la conduite d'Armand Zylbertajn, préciser la vraie nature du quark « top » et confirmer cette nouvelle. Elle devrait d'ailleurs faire l'objet d'une très prochaine conférence de presse, démontrant, s'il le fallait, la validité du fameux modèle standard qui nous permet de décrire l'univers avec ces deux groupes de six particules qui se répartissent en trois familles de quatre chacune.

Jean-François Augereau

PARTICULES

Quark top : confirmation

Des chercheurs du Fermilab (Fermi National Laboratory, Illinois) ont découvert et « mesuré » le quark top, une particule fondamentale, mais hélas ! éphémère. En avril 1994, une équipe du même laboratoire en avait déjà détecté des traces, mais

complète la famille des quarks imaginée par Murray Gell-Mann dans les années 60, qui lui valut le prix Nobel en 1969. D'après sa théorie, les quarks, au nombre de six, sont avec les six leptons (électrons, muons, tau, et leur neutrinos...), les constituants élémentaires de la matière. Associés aux bosons (photons, gluons...), particules qui assurent la cohésion des inter-



SCIENCES

Après dix ans de quête, une découverte majeure

Au cœur des atomes le dernier des quarks démasqué

Tous les calculs des physiciens montraient que cette particule « devait » exister. On a enfin prouvé, et à dix-sept reprises, sa vie très fugace, au terme d'une coopération internationale exemplaire.

ATOME NOYAU PROTON QUARKS

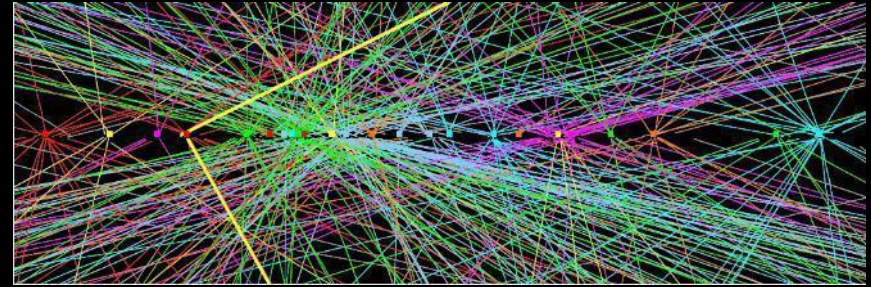
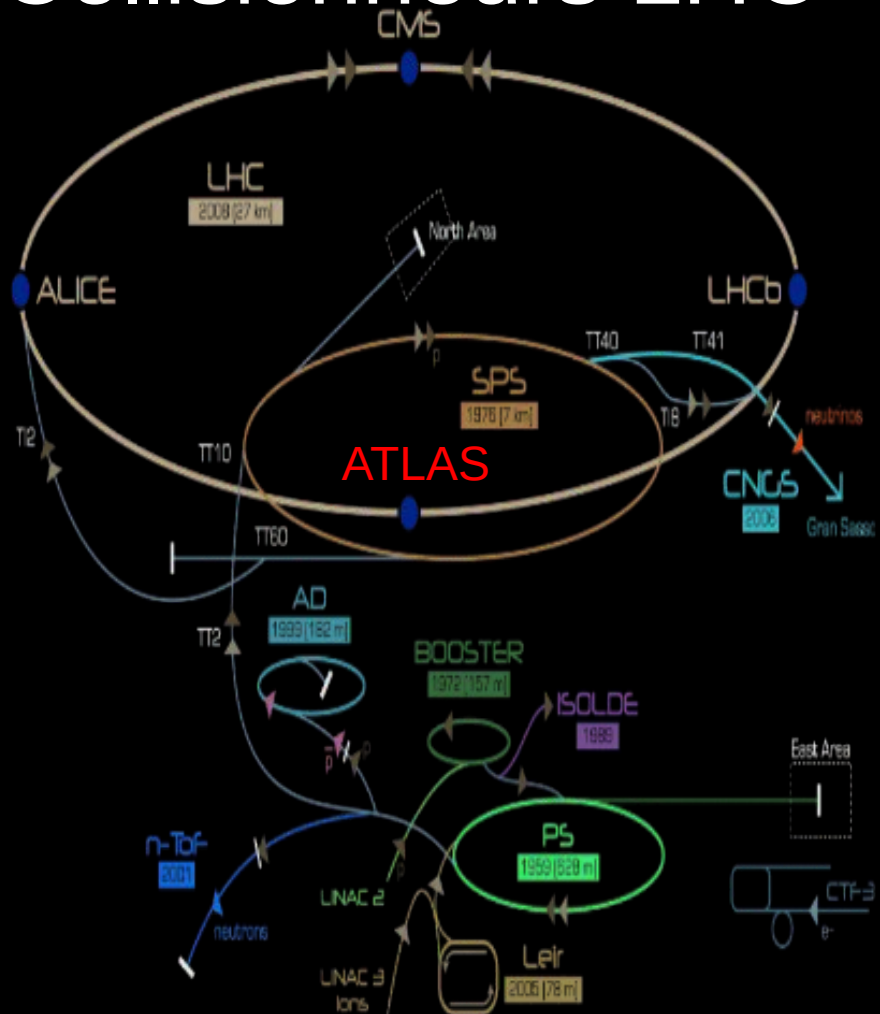
Up Down Strange Charm Bottom Top

La chasse au boson de Higgs

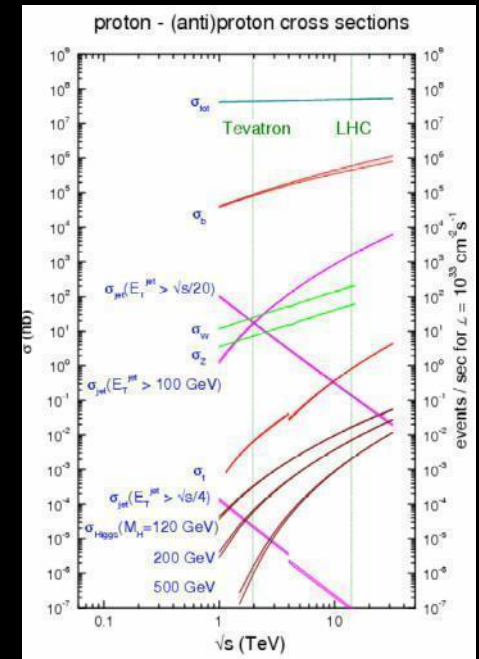
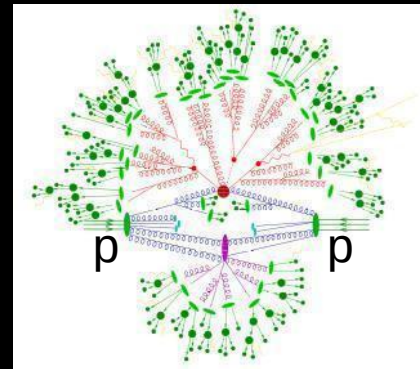
L'expérience, qui a débuté en 1992, est conçue pour détecter l'existence du boson de Higgs, la particule qui donne sa masse aux autres particules de la matière. Elle est la plus puissante jamais construite, avec une énergie de collision de 1,8 téraélectronvolt (TeV).



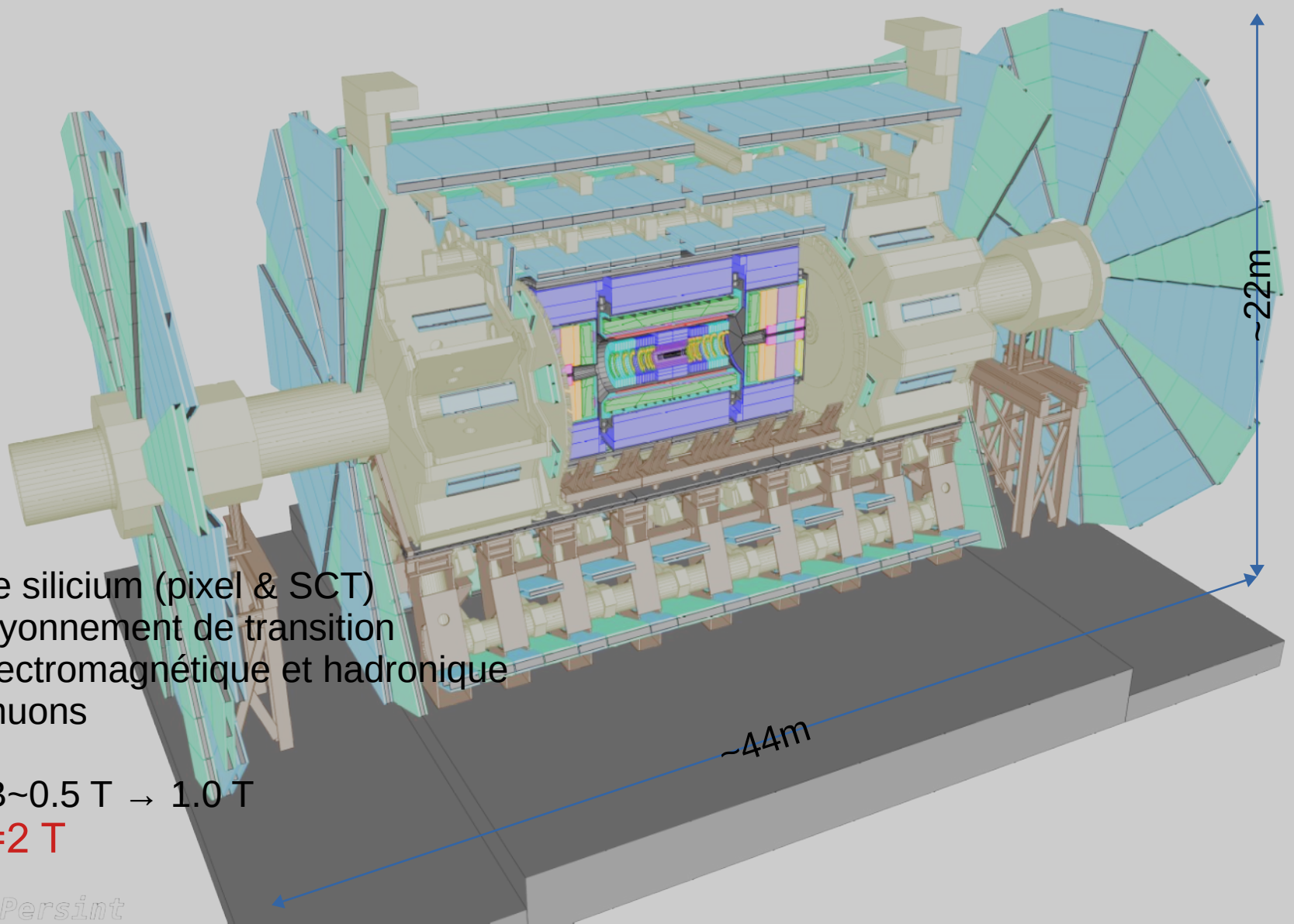
LHC PP: boom, 7, 8 et 14 TeV



20 vertex ~5cm



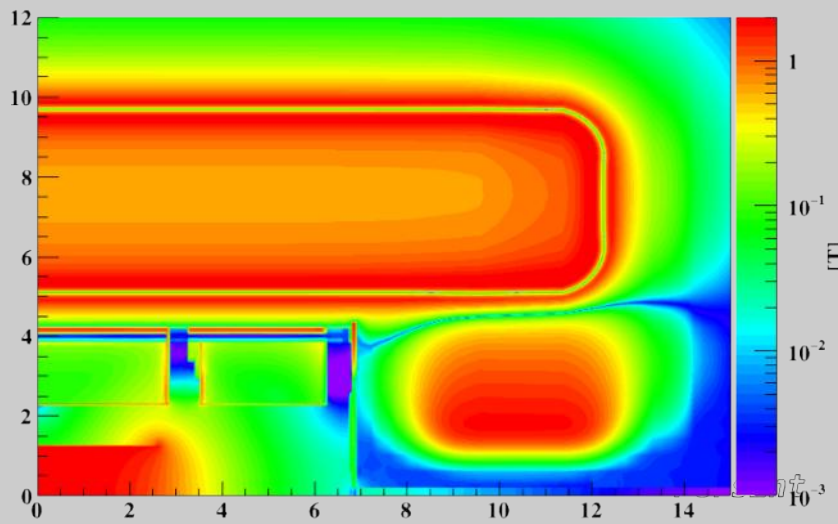
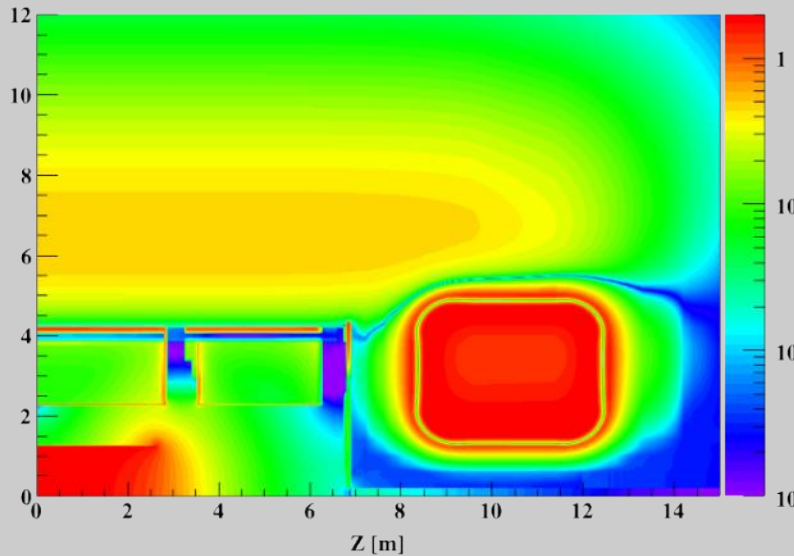
ATLAS



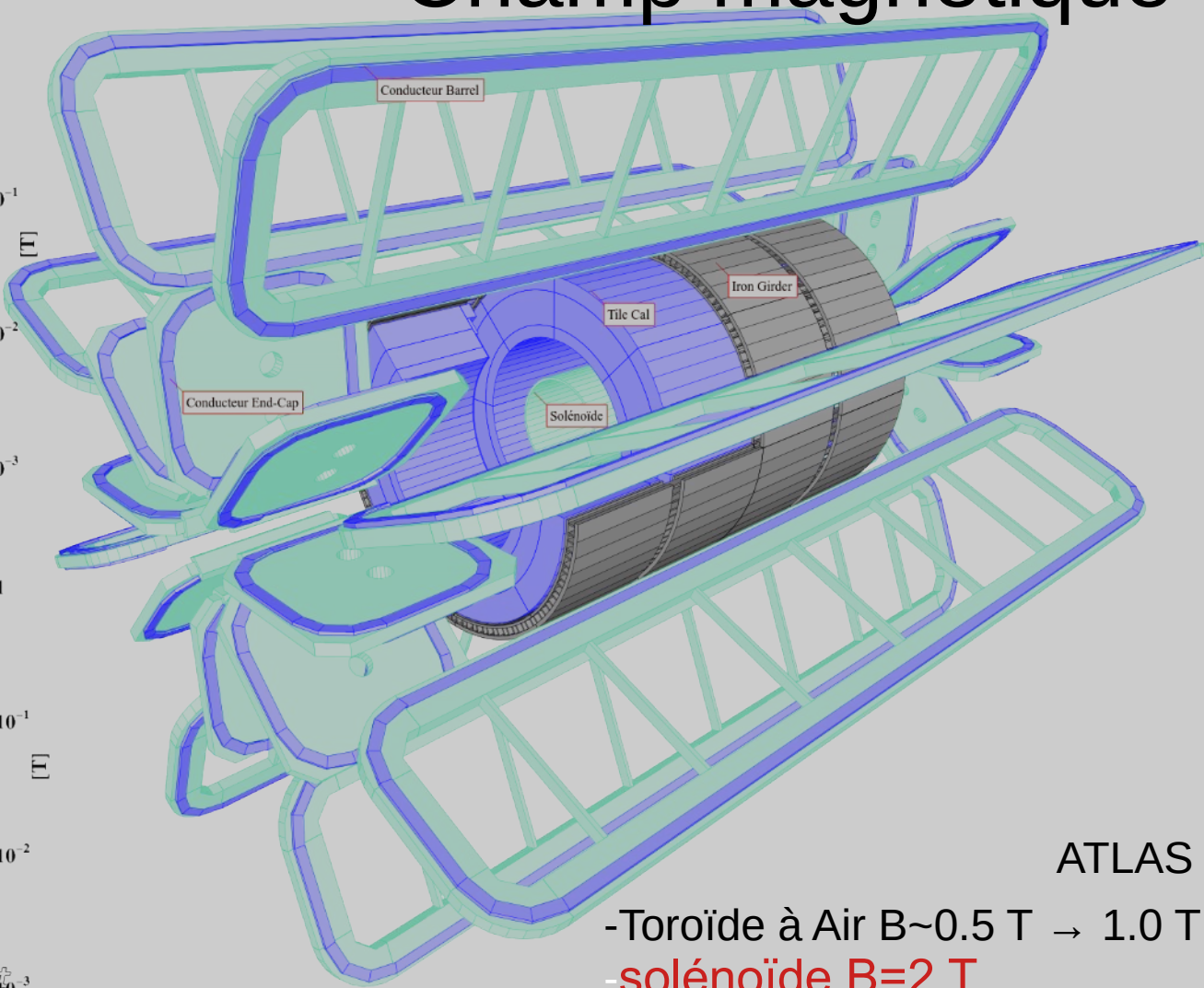
- Trajectographe silicium (pixel & SCT)
- Décteur à rayonnement de transition
- Calorimètre électromagnétique et hadronique
- Chambres à muons

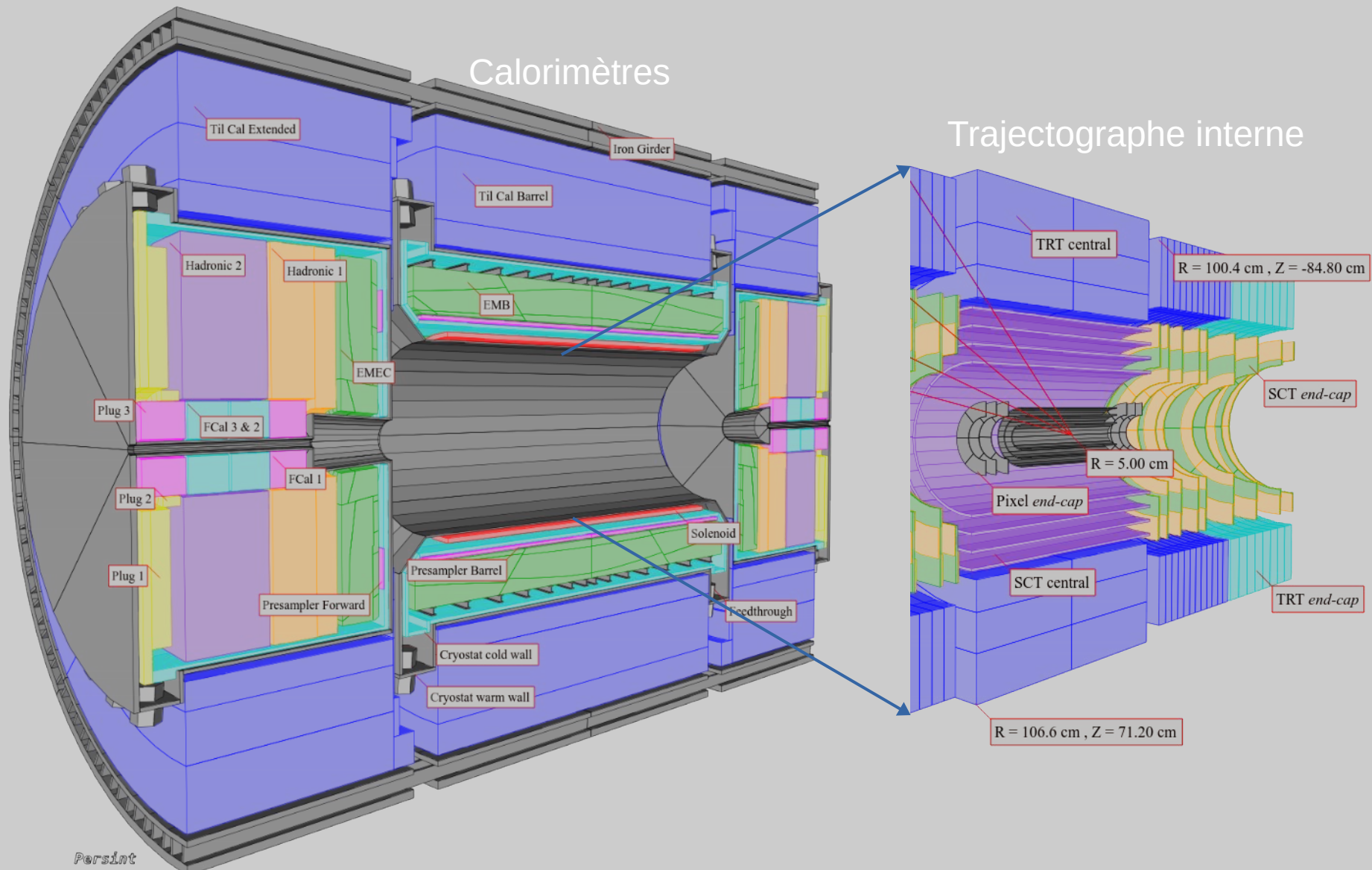
- Toroïde à Air $B \sim 0.5 \text{ T} \rightarrow 1.0 \text{ T}$
- solénoïde $B=2 \text{ T}$**

ATLAS

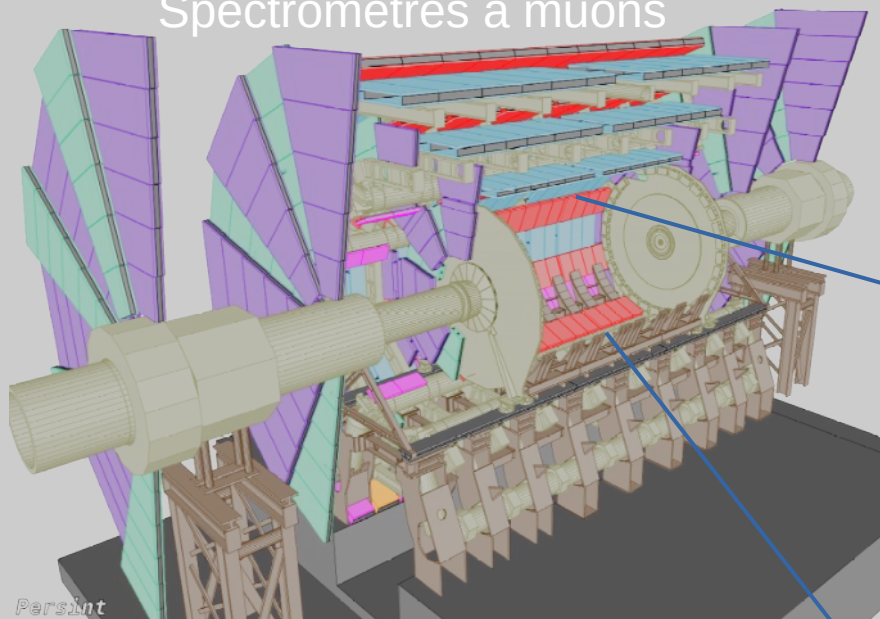


Champ magnétique

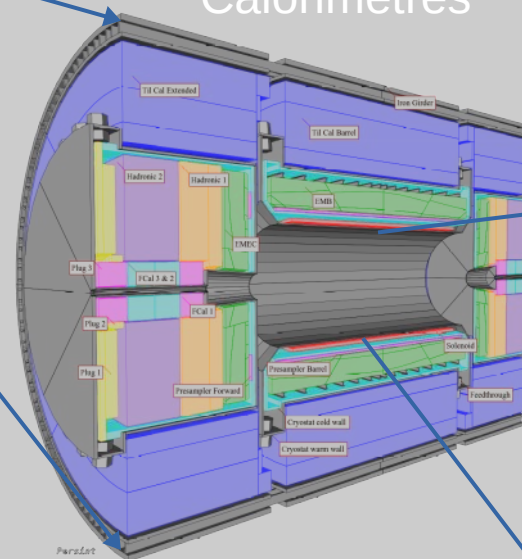




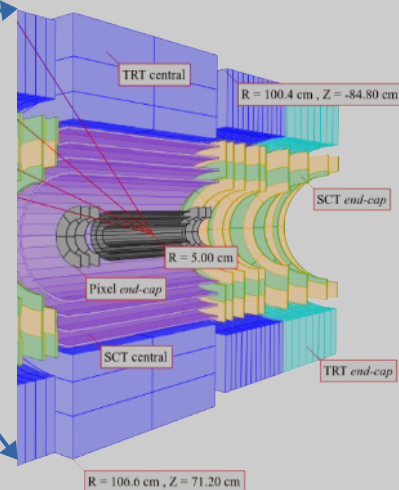
Spectromètres à muons

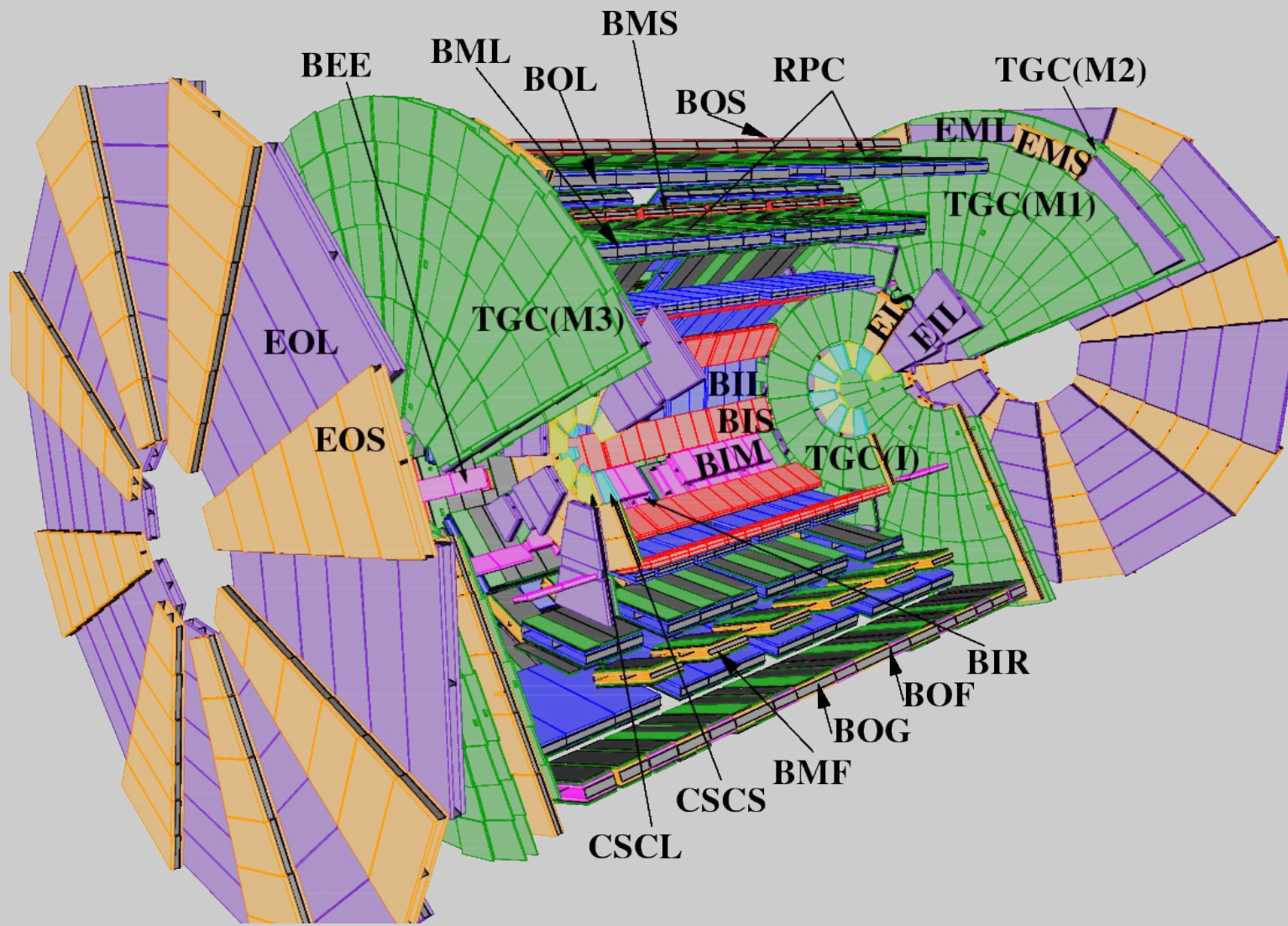


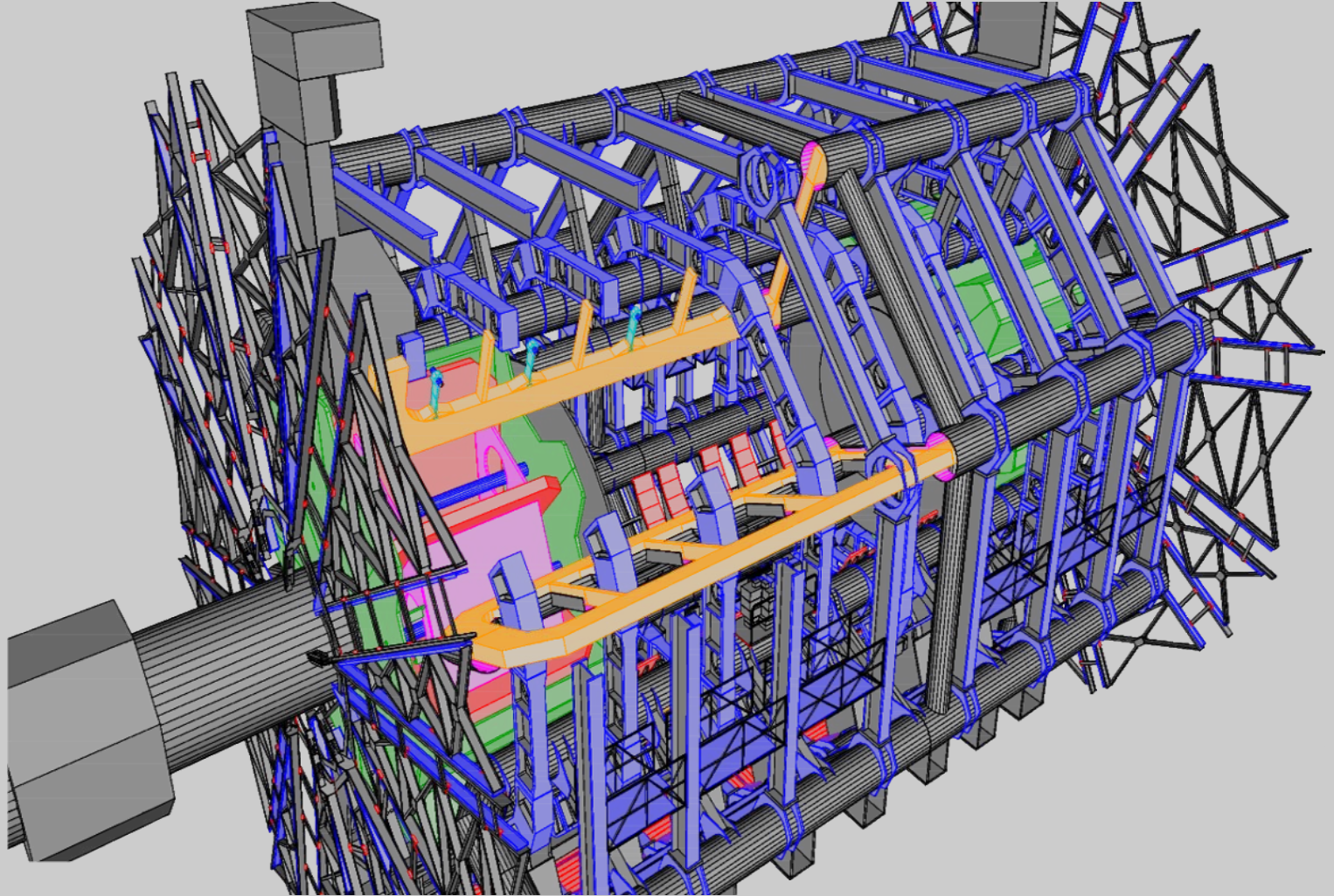
Calorimètres



Trajectographe interne

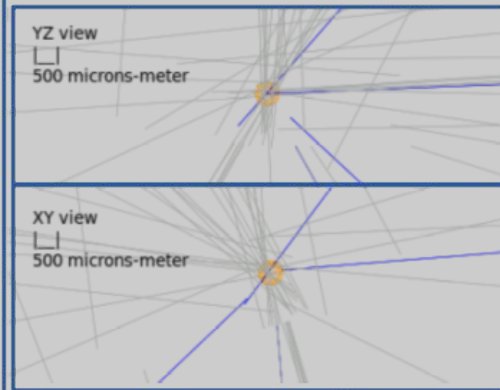
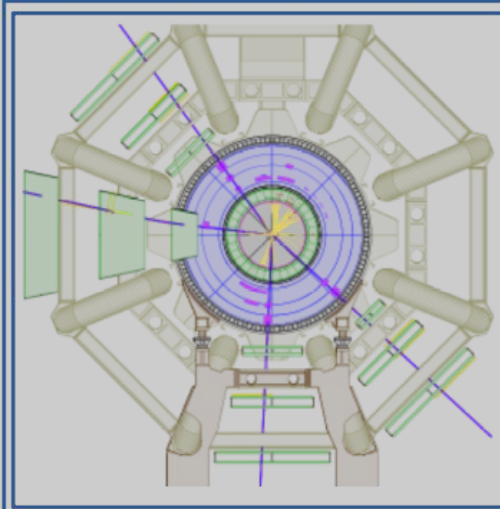






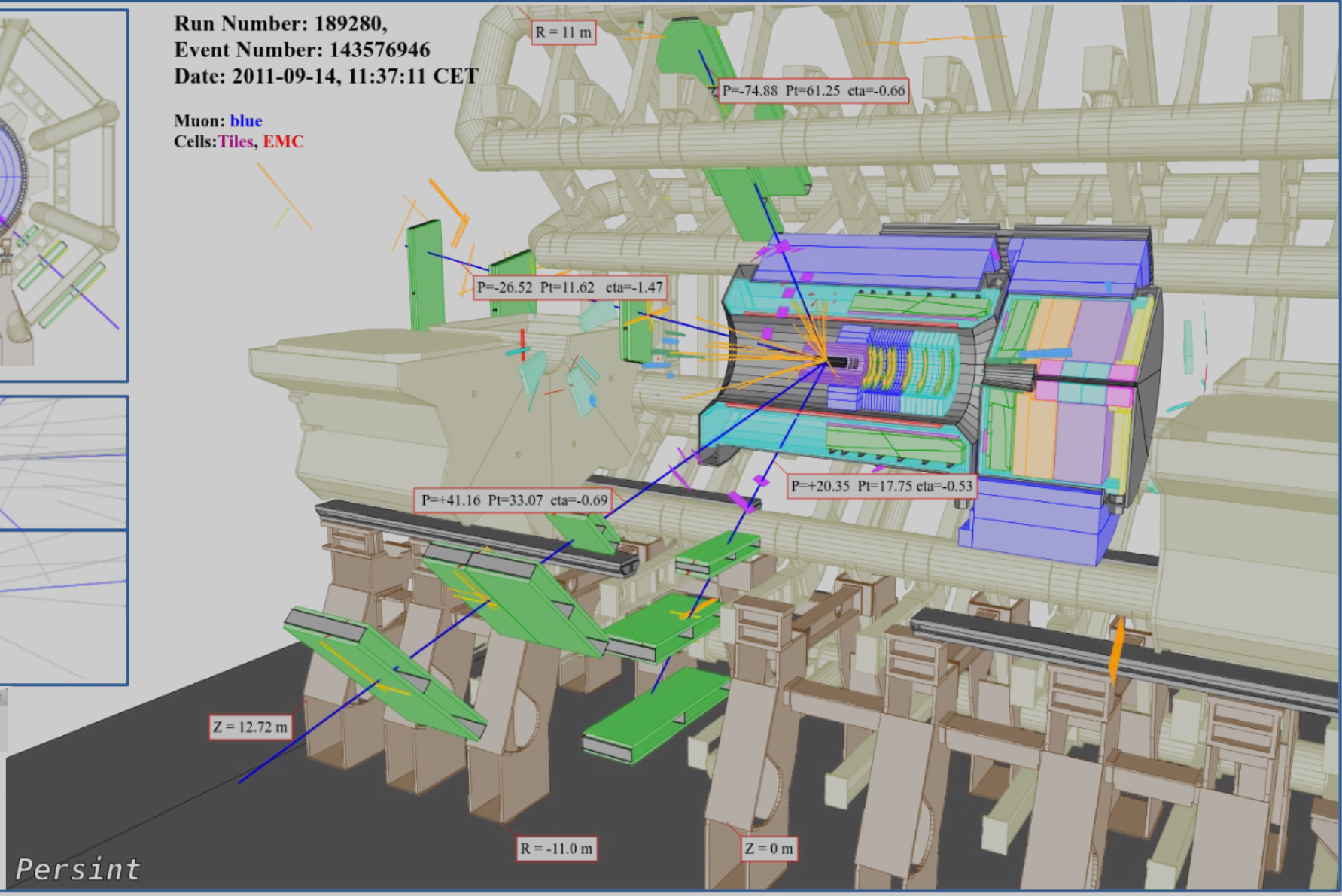
Run Number: 189280,
Event Number: 143576946
Date: 2011-09-14, 11:37:11 CET

Muon: blue
Cells: Tiles, EMC



Invariant mass
Invariant mass of tracks 155, 153, 156, 154:
124.6 GeV/c²

A small plot showing the invariant mass of tracks 155, 153, 156, 154. The plot shows a single peak at 124.6 GeV/c².



Persint

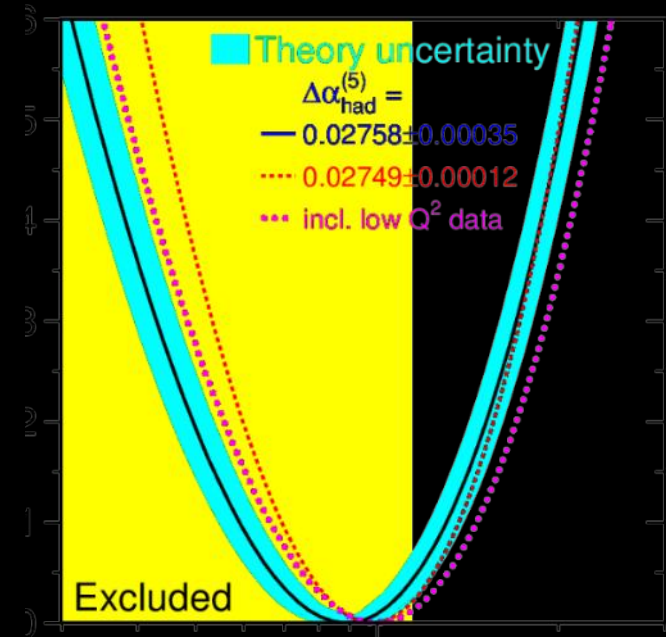
Observation des premiers bosons de Higgs 2012 (5 fb^{-1})

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

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

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

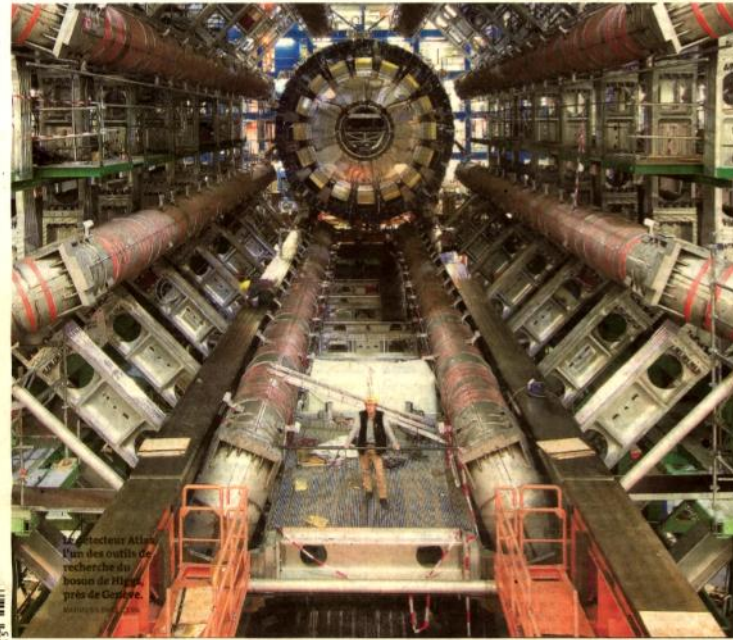
Les coups de cœur
de la rédaction
Supplément

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 %



Le détecteur ATLAS, l'un des outils de recherche du boson de Higgs, près de Genève.

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 lanolées 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

1,50 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 3-5**

Détecteurs ATLAS

ATLAS

conception 1990

simulation complète du détecteur avec GEANT 3 et 4

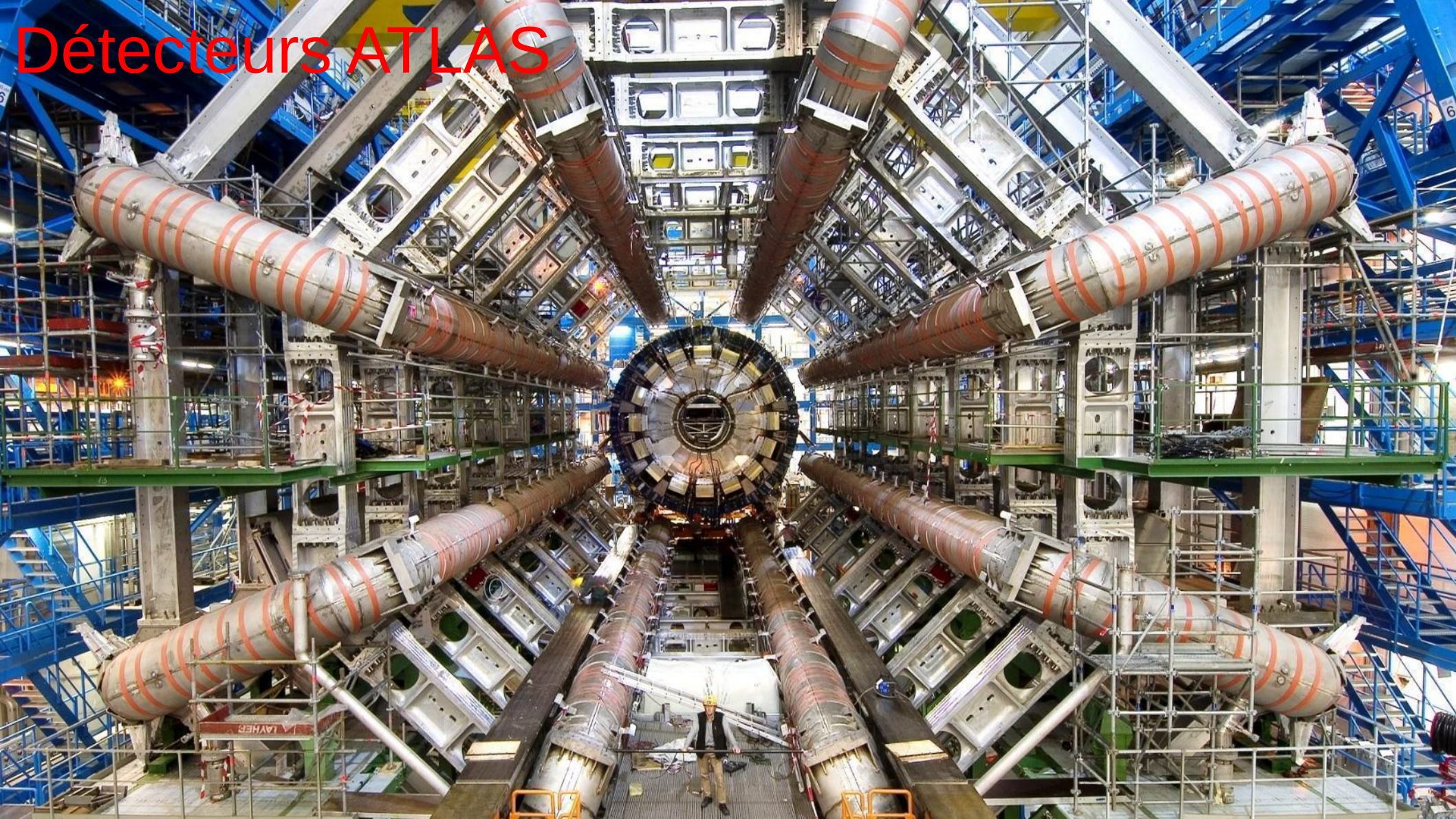
trajectographie R $\sim 2\text{m}$

solénoïde 2 T et Toroïde

Run I 2009-2012

temps entre collision 25 ns

environ 3000 signataires



Détecteurs ATLAS

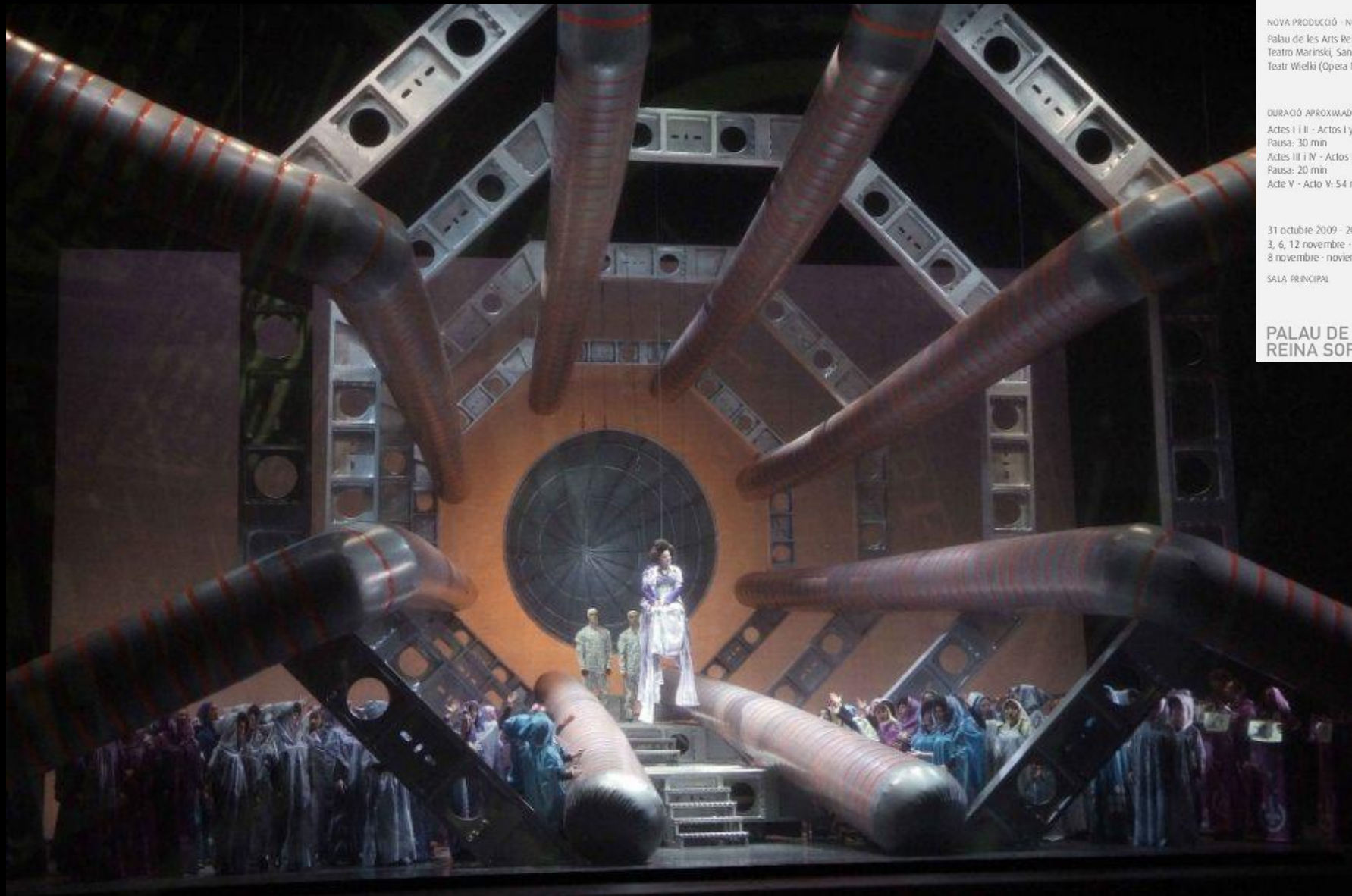
NOVA PRODUCCIÓN · NUEVA PRODUCCIÓN
Palau de les Arts Reina Sofia
Teatro Marinski, San Petersburgo
Teatr Wielki (Opera Narodowa), Varsovia

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