

Le spectromètre à muon d'Atlas : construction, *commissioning*...

Philippe Schune
CEA-Saclay, Dapnia

Le spectromètre à muon d'Atlas : construction, *commissioning*...

...ou : « ATLAS ne s'est pas faite en un jour...

...et n'est –malheureusement– toujours pas finie »

Pour un auditoire plutôt :

plus intéressé par la physique
disposant plutôt d'un vocabulaire « calorimétrique »
mal réveillé...

Philippe Schune
CEA-Saclay, Dapnia

Instituts participants à la construction du spectrographe à muon

La production des ~630 (MDT-barrel) +512 (MDT-EC) +32 (CSC) (*) (~surface d'un terrain de rugby) + chambres *trigger* (RPC/TGC) et de leur infrastructure a été répartie sur plus de 40 instituts à travers 10 pays.

Allemagne	(Munich LMU et <u>MPI</u> , <u>Freiburg</u>)
CERN	
Chine	(Beijing IHEP, N.Univ. et S.Univ., Hefei)
Etats-Unis	(Ann Arbor, Boston, <u>Brandeis</u> , Brookhaven, Harvard, MIT, Northern Illinois, Stony Borook, Tufts, Tuckson, Seattle, Michigan Univ.)
France	(<u>Saclay</u>)
Grèce	(Thessalonique, Athènes TU, Athènes U)
Israël	(Haïfa, Tel-Aviv, Weizmann)
Italie	(Bologne, Cosenza, Frascati, Lecce, Naples, Pavie, Rome I, II et III)
Japon	(KEK, Kobe, Shinshu, Tokyo ICEPP, MU et UAT)
Pays-Bas	(<u>NIKHEF</u> , Nijmegen)
Russie	(Doubna JINR, Minsk, Protvino, St.Petersburg NPI)

D'où parfois quelques difficultés d'organisation (ex. : *layout* Q...)

(*) une chambre de précision est parfois (*Barrel*) assemblée avec une chambre de déclenchement (*middle* et *outer*)

plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

« Il était une fois » à Saclay, à Rutherford, au CERN, etc...

Design du toroïde et du *layout* des chambres

Letter of Intent d'Atlas (01/10/1992)

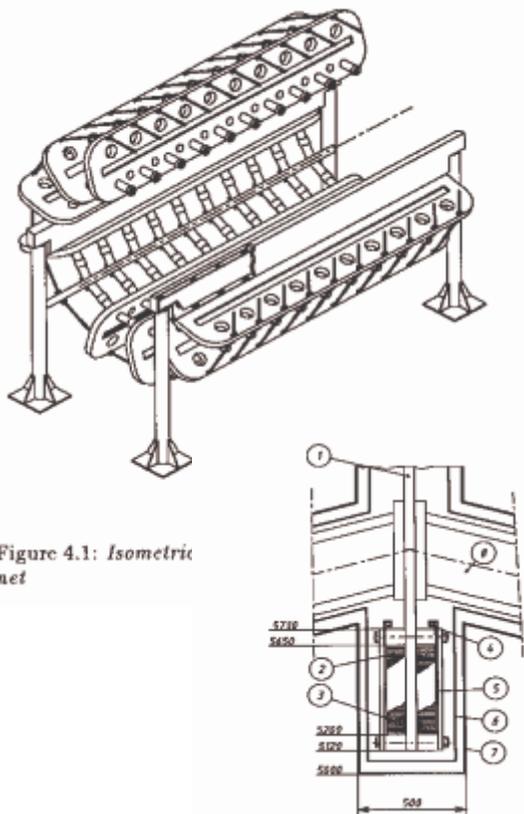
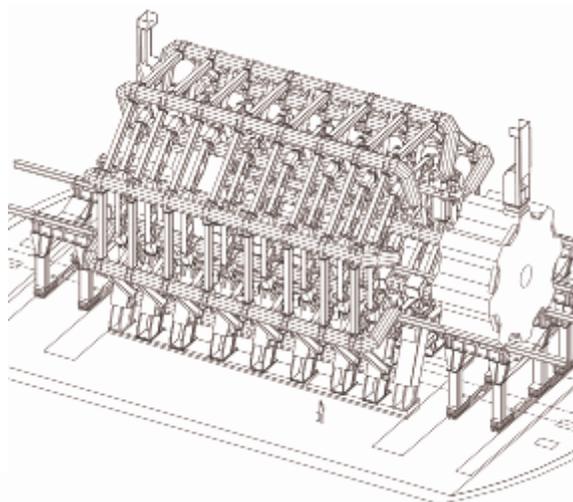


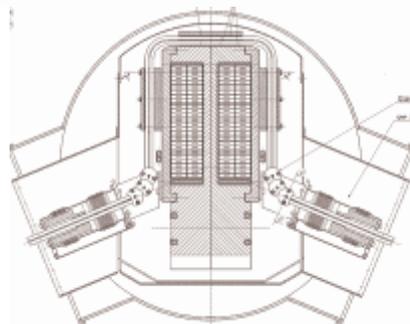
Figure 4.1: Isometric net

1992

12 bobines
10 anneaux de voussoirs
structure froide d'un seul tenant
supra en simple galette par coté
(+ option toroïdes à Fer)

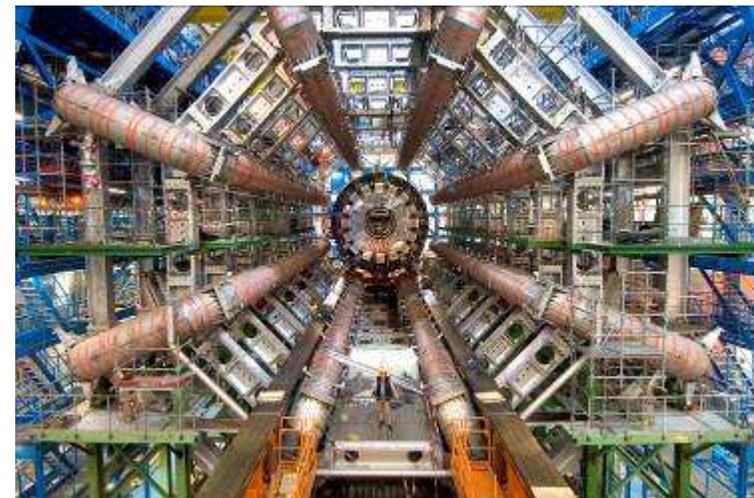


TDR d'Atlas (04/1997)



1997

8 bobines
8 anneaux de voussoirs
voussoirs chauds
supra double galettes par coté
(toroïde à air *baseline* officielle)



Caverne Atlas, fin 2005

1^{ère} chambre à muon dans la caverne le 14 février 2005 (BOG, s12)



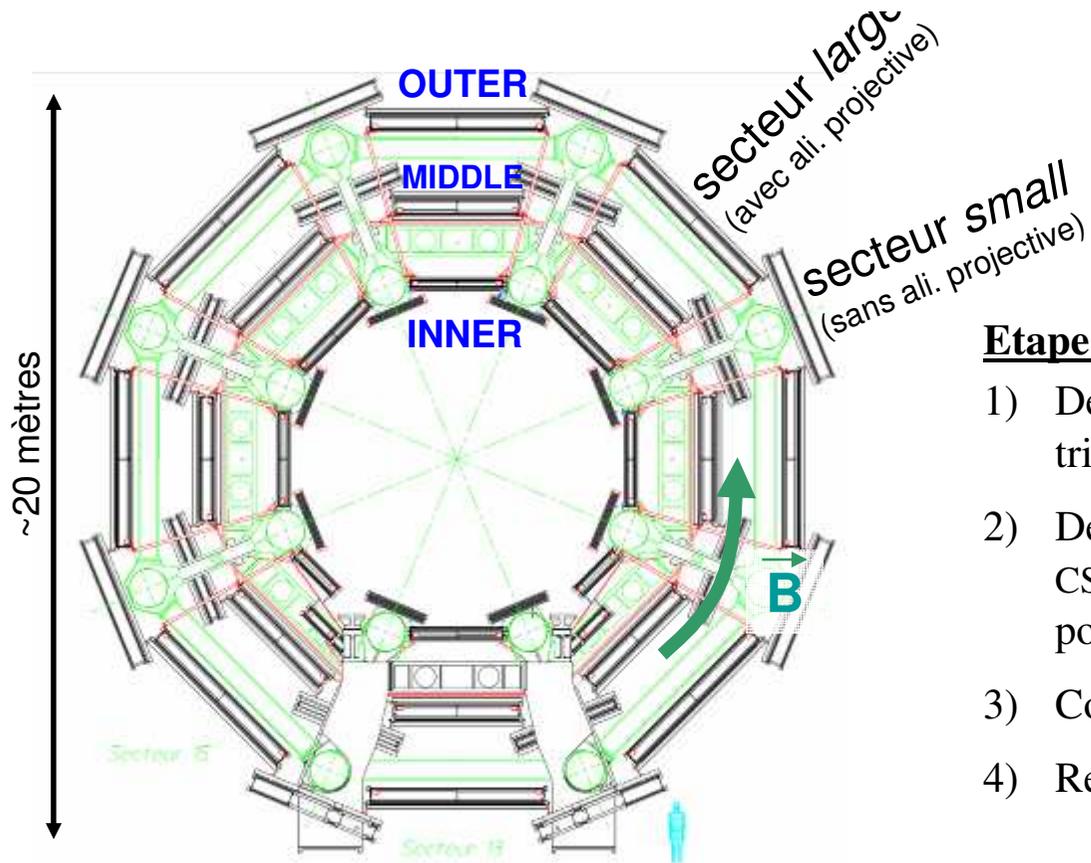
2005

Merci à



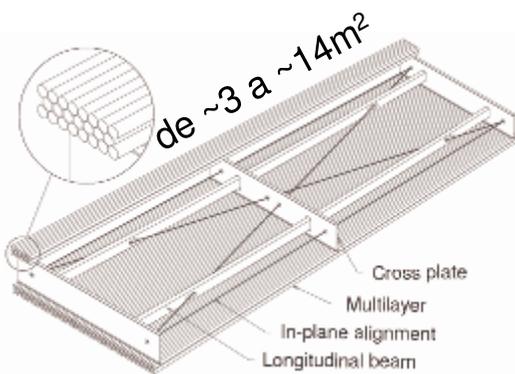
et à tout ceux qui ont fait de cette aventure une réalité !

Principe du spectromètre à muon d'Atlas



Etape de mesure et de la reconstruction des muons :

- 1) Déflexion dans le champ toroidal (calculé grâce à ~ 1800 triplet de Hall)
- 2) Détection avec un triplet de chambres (total ~ 1200 , avec CSC) : *inner*, *middle* et *outer* (+ chambres trigger, aussi pour la 2nd coordonnée ; précision $\sim 1\text{cm}$)
- 3) Corrections d'alignement ($\sim 20'$) avec ~ 14000 el^t optiques
- 4) Reconstruction de la trace muon, etc...

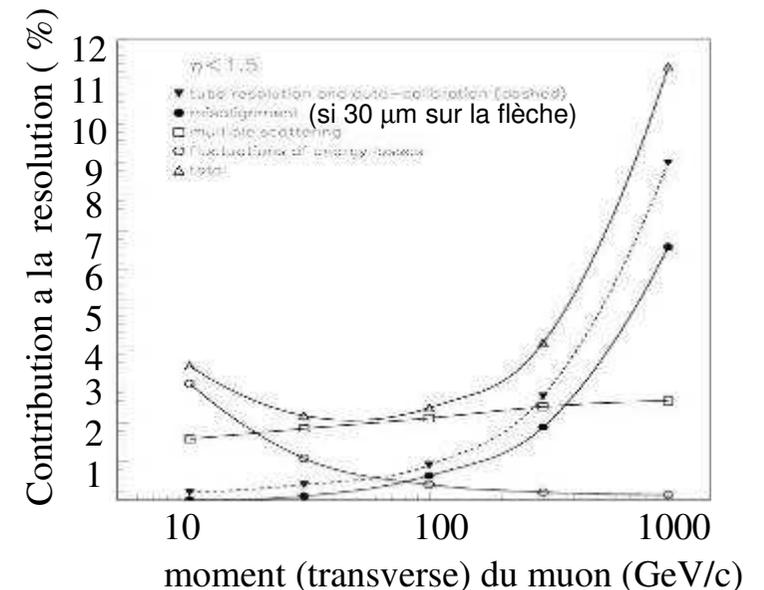


Contrainte sur la reconstruction:

à 1 TeV la flèche est $\sim 600\ \mu\text{m}$
 \Rightarrow 10% de résolution impose une précision sur la mesure des chambres de $60\ \mu\text{m}$.

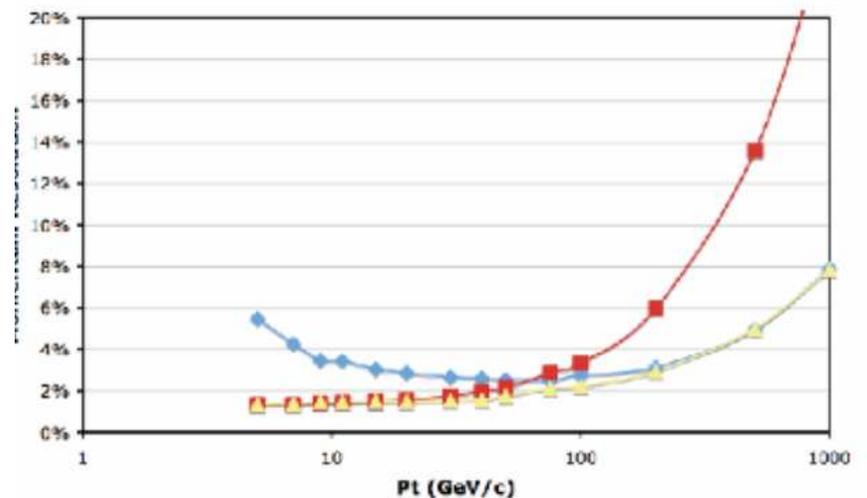
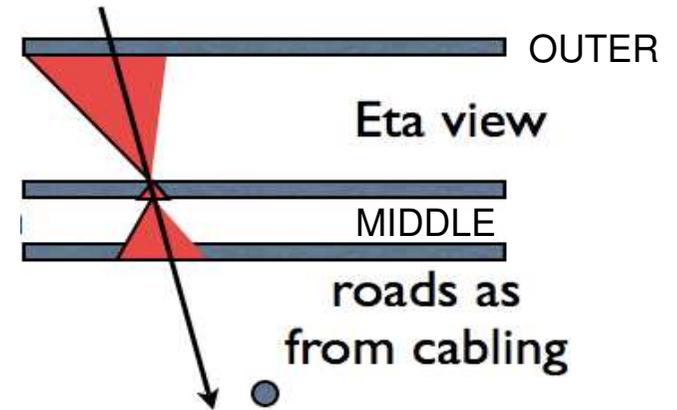
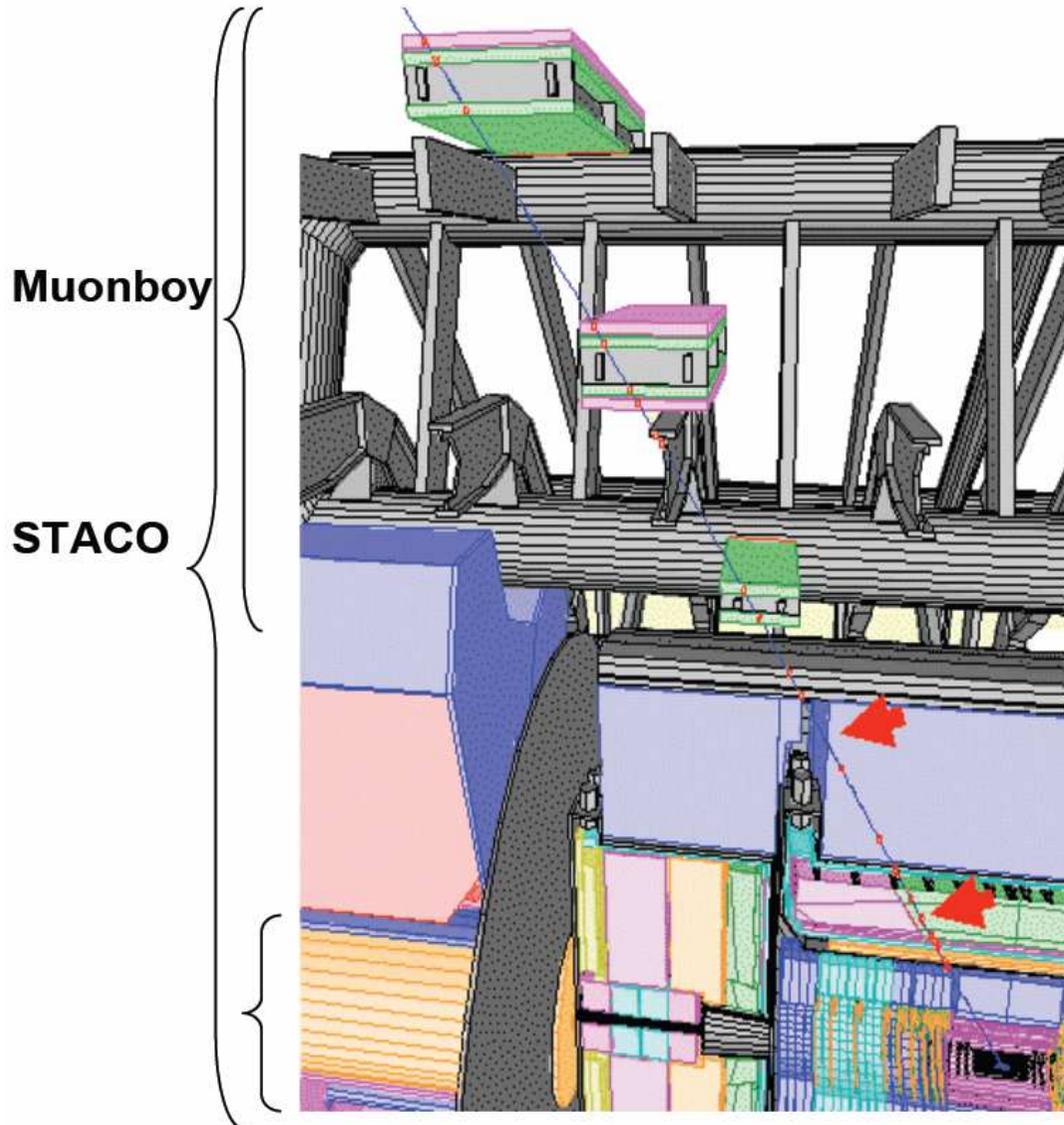
De plus la contribution de l'alignement doit être négligeable soit $\sim 30\ \mu\text{m}$ sur la flèche.

~ 1140 chambres à dérive: $\sigma \sim 80\ \mu\text{m}/\text{tube}$
 avec 2x3 (ou 2x4) couches de tubes on a: $\sigma \sim 60\ \mu\text{m}$



Trigger et mesure des muons dans Atlas : Id et/ou spectromètre

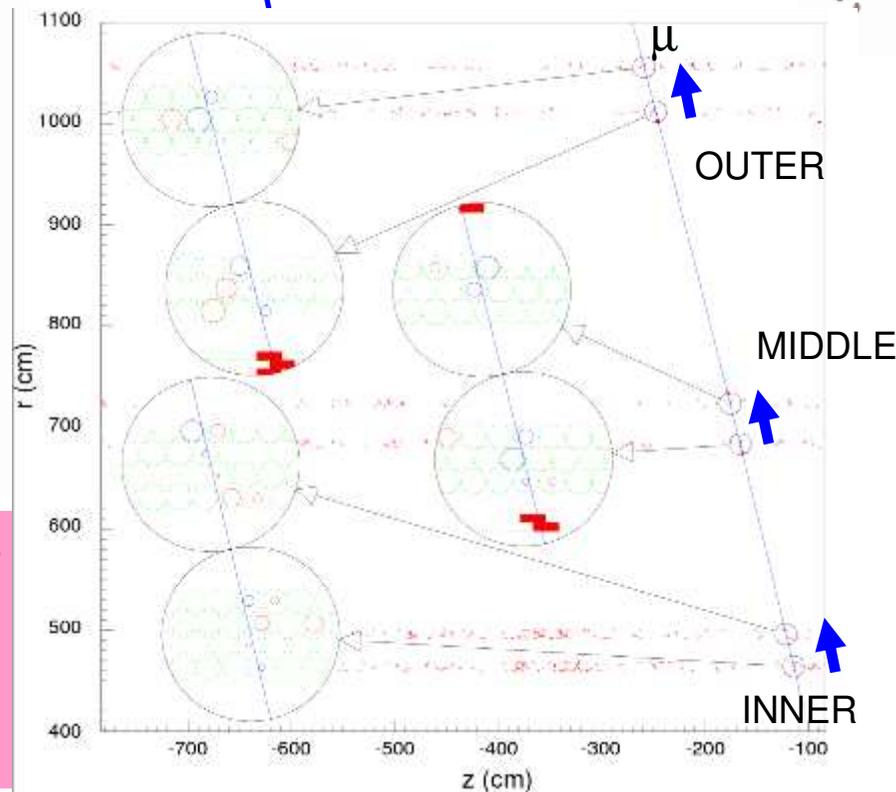
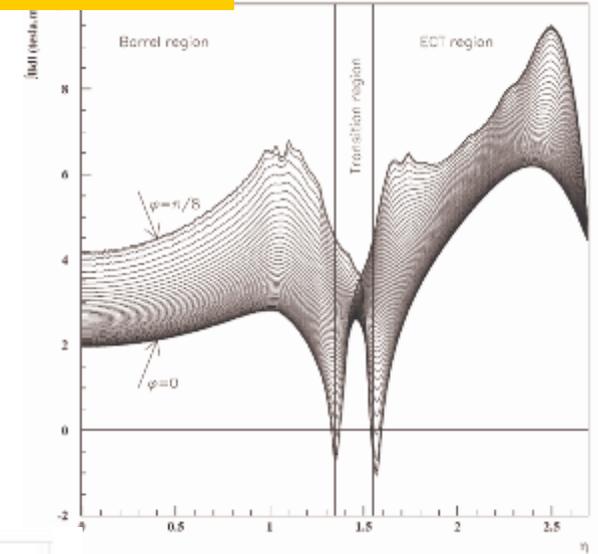
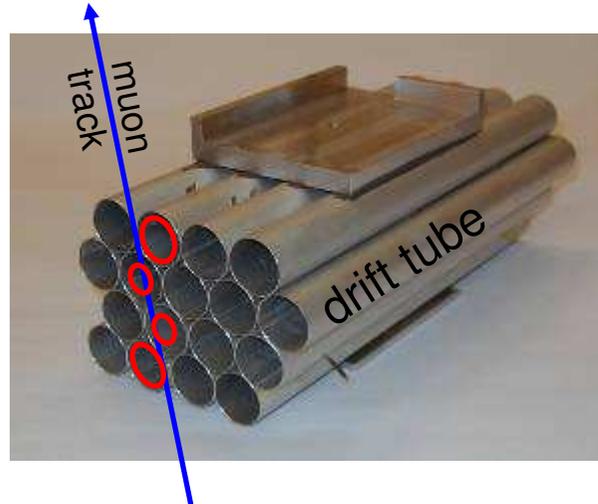
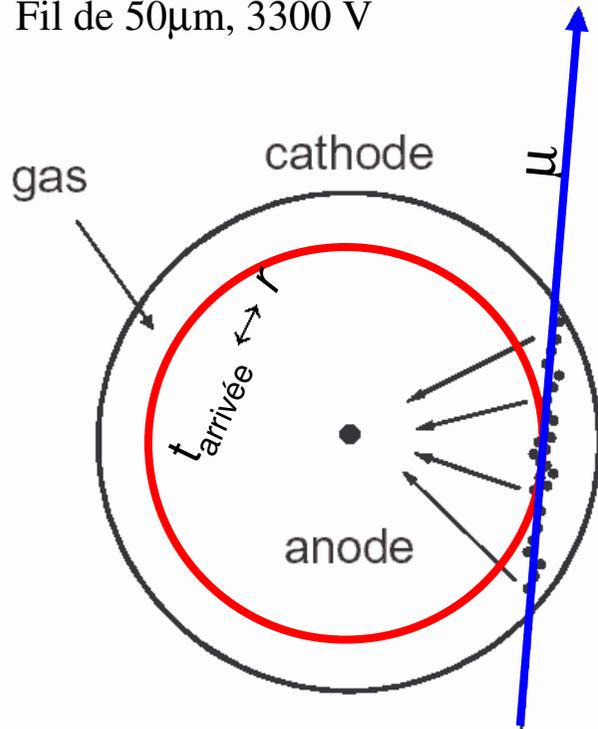
Principe du *trigger* (couverture angulaire importante) :



Haut p_t : spectro domine
 Bas p_t : ID, apport spectro sur la
 résolution négligeable mais
 identification

Mesure de la flèche dans le spectromètre d'Atlas

Gaz : Ar-CO₂ (93%-7% à 3 bar)
 Temps d'arrivée au ~25eme elec.
 Tube de 30mm de Ø (paroi 0,4mm)
 Longueur de 2 à 6 m
 Fil de 50µm, 3300 V



IBdl variable => 2nd coord. (~cm) grâce au RPC/TGC

(RPC : sensibilité aux neutrons moindre : 10⁻⁴ (aussi CSC), au lieu de 10⁻³ pour les MDT)

MDT : sensible à l'angle de Lorentz (B), jusqu'à 20ns de retard, sur 680ns au max (pas les CSC).

$\sigma \sim 80 \mu\text{m}/\text{tube}$, et en combinant les 2x3 (ou 2x4) tubes d'une chambre : $\underline{\sigma \sim 60 \mu\text{m}} \text{ localement}$; et mesure angulaire (vecteur) $\sim 200 \mu\text{rad}$. $\epsilon(\text{tube}) \sim 95\%$: moitié paroi, moitié bord/centre

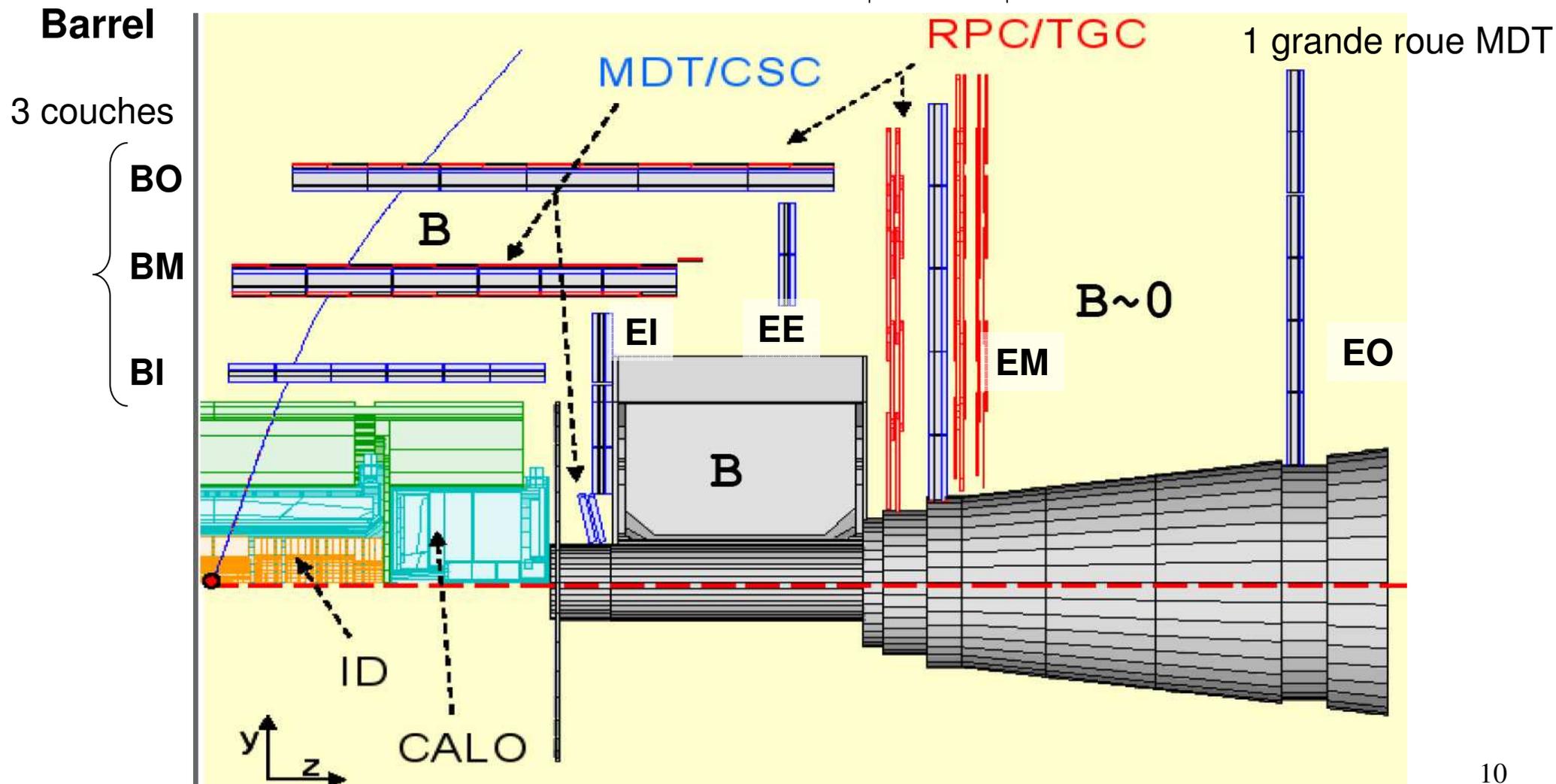
plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

Layout des chambres

END-CAP

4 grandes roues : TGC1, MDT, TGC2, TGC3



Construction des chambres de précision

Nikhef (11/2002)



Table en marbre (plane $\leq 5\mu\text{m}$)

peignes de positionnement
($<10\mu\text{m}$) des tubes MDT



Tissage des tubes (>350000) : fils tungstène ($50\mu\text{m}$) centrés (grâce aux *end-plug*) à mieux que $20\mu\text{m}$

Pour chaque chambre : 6 ou 8 couches de tubes en 2 *multi-layers* (vecteur)
(de quoi couvrir un terrain de... rugby)

La chambre est construite couche par couche : chaque nouvelle couche étant en contact (aspiré) sur les peignes du marbre (et collée aux précédentes). Tous les fils sont positionnés les uns par rapport aux autres à mieux que $30\mu\text{m}$ (déformation contrôlée par l'alignement interne).

Epaisseur de colle contrôlée entre chaque couche, etc...

Intégration des chambres en surface



BB5
(ex. puits UA1)



BM+BO : ~15 pers. / 2,5 ans => 35 h.an
(extrapolé à l'ensemble : > 100 h.an)

Plusieurs zones d'intégration au CERN :

Barrel (624) : BB5, b.183, puis à SX1 ; End-Cap (512+32) : b.191
BM/BO, BI EI,EM,EO

Equipement des chambres :

(toute l') électronique, câblage, gaz, alignement, sondes-B,
assemblage RPC-MDT.

Correction de flèche de la chambre afin centrer le fils dans
le tube $\leq 100 \mu\text{m}$ (*r-t*) contrôlé par l'alignement interne

Tests cosmiques : tubes MDT morts < 0,1%.

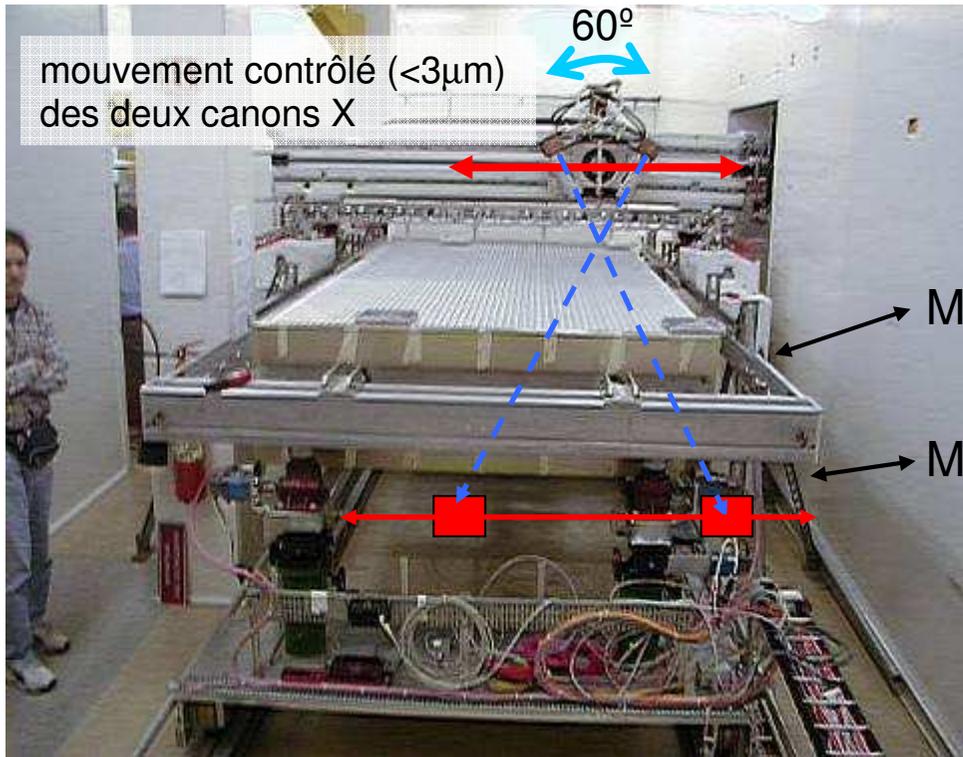


Installation derniers capteurs ali.
(ordre de prod.), (re)vérif. RO₁ gaz

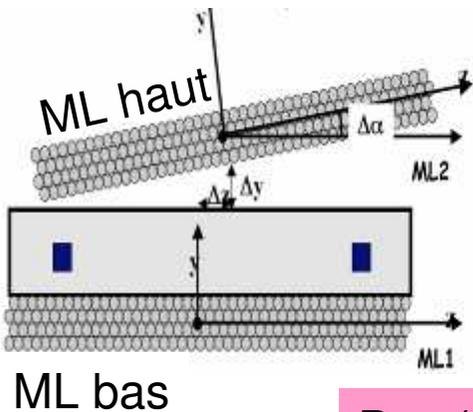
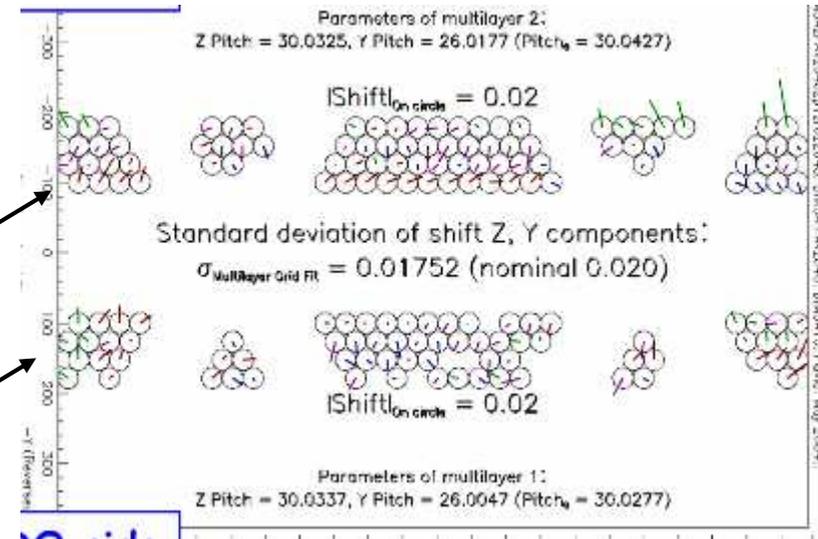
Contrôle qualité des chambres (MDT) au tomographe à rayons X

10 à 15% de toute la production contrôlée => validation de chaque centre de production

CERN, b.188



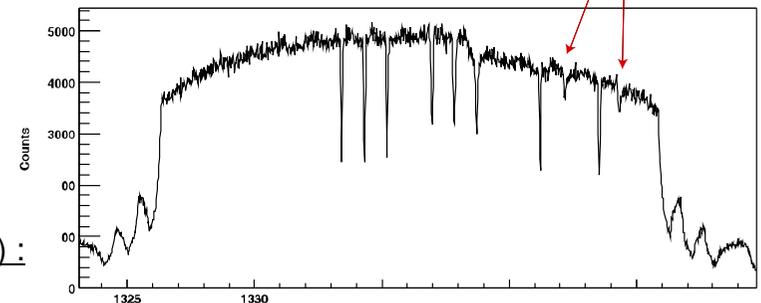
aussi info sur fils (très) décentrés (ex. $>50\mu\text{m}$)



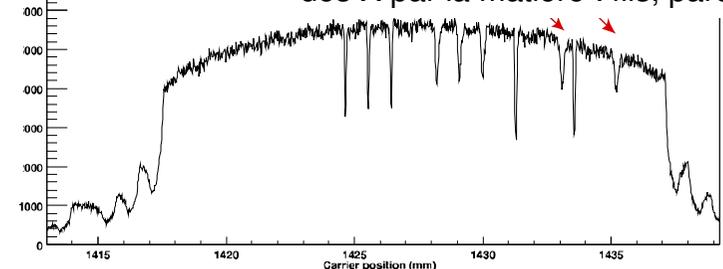
5 scans / chambres => fit de 7 paramètres de déformations de la chambre (mauvaise construction) :

- 1) Distance *Multi-Layer* (ML)
 - 2) Angle ML supérieur
 - 3) Décalage ML
 - 4-7) Pas des fils des deux ML (hor. et vert.)
- à $\sim 3\mu\text{m}$ près ($0,1\mu\text{m}$ sur le pas)

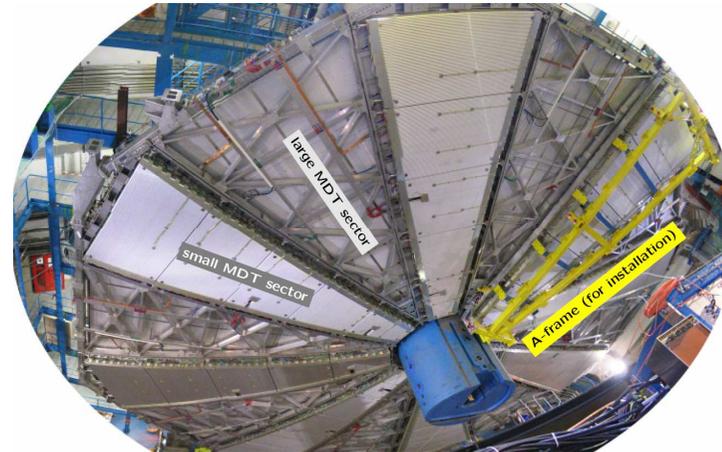
Pas (encore) utilisé dans le soft...



BML_2001_08_p4_r0_349 *Raw shadowgram* : absorption des X par la matière : fils, parois..



Etat de l'installation des chambres : *Barrel* et *End-Cap*



Montage des grandes roues (hors EO) des end-cap
pétale par pétale : 72 TGC + 32 MDT (~9x4m²)

End-cap :

Coté C : toutes les grandes roues TGC+MDT installées

Coté A : fin de la 3eme roue TGC le 15/09 (le reste ok)

EIL4 (dans toroïde *barrel*) : toutes en place ; gênantes pour les tests d'alignement projectif

Le but : tout inclure dans M5 sauf EIL4-A (service ok ~fin octobre)

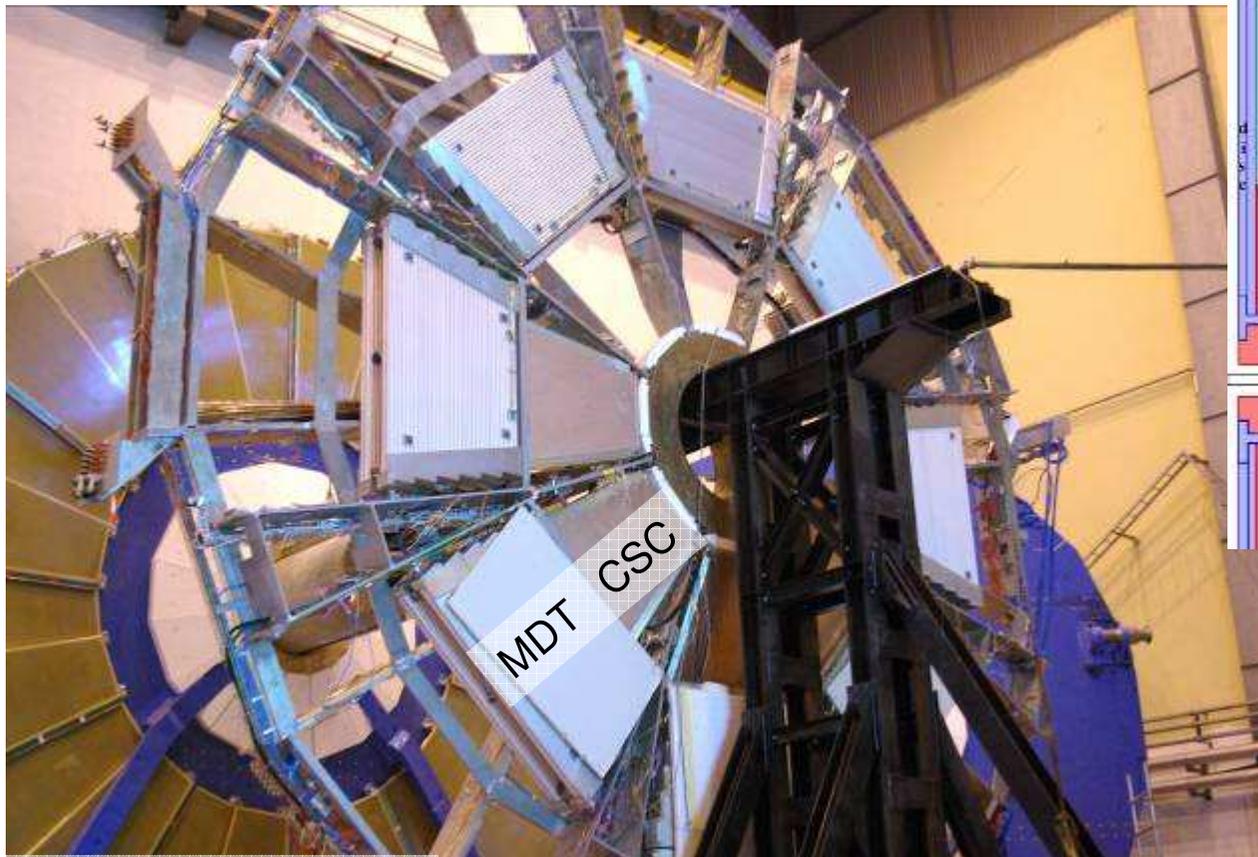
Grandes roues EO (encore 32 pétales !). But : fin montage mécanique 11/2007 puis services... (ric-rac pour mars 2008)

Barrel : seulement 27 chambres pas en position
Secteurs 03-04-05-06 presque validés (25%)
0,4% tubes morts (~1 tube/ch.)

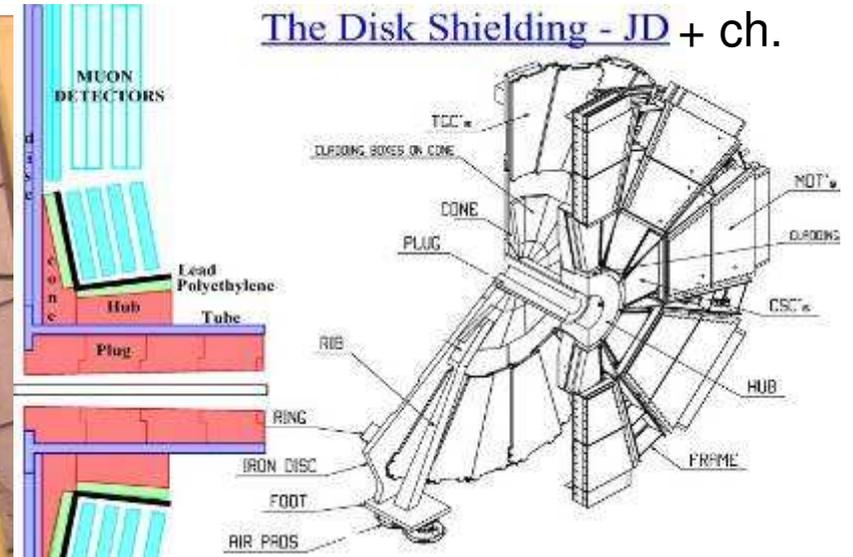


Chambres particulières:
16 BML-7 (RPC seules)
+ 48 S2/S3 (acceptance
entre les BMS (*rib*⁴
du
toroïde) : ok

Etat de l'installation des « petites » roues



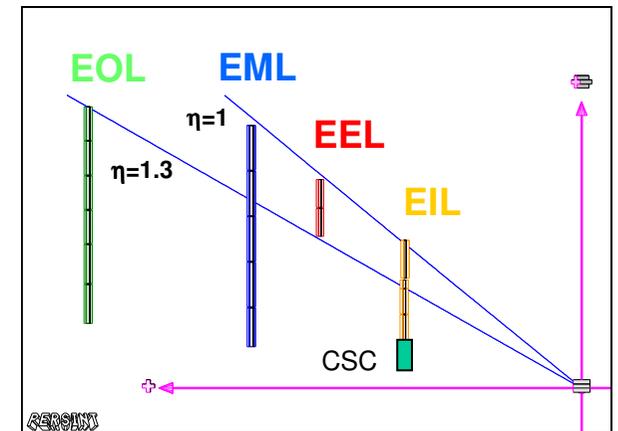
The Disk Shielding - JD + ch.



TGC (2nd coordonnée)
sur blindage (JD)

32 MDT + 16 CSC par petite roue
(CSC de eta = 2 a 2,7)

Installation en caverne à partir de 12/2007 puis
commissioning de 01/2008 a 03/2008

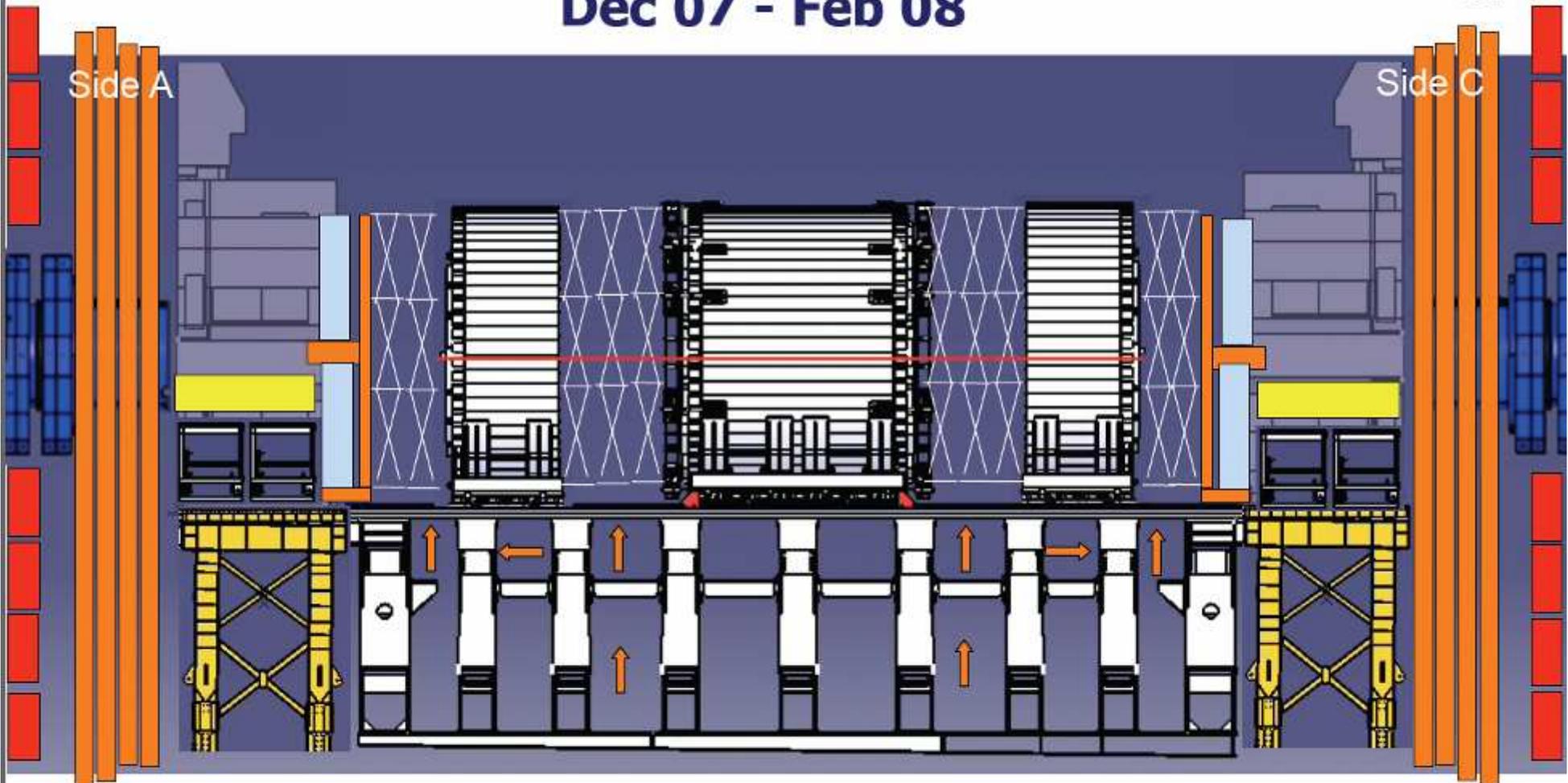


2008 : 1 CSC sur 2 (16 au lieu de 32)+ EEL&EES absentes (2009) :
~10% de l'espace de phase affecté...

Ce que l'on peut espérer juste avant la fermeture : février 2008



Dec 07 - Feb 08



- Beam Shielding
- Big Wheels
- Outer Wheels
- Small Wheels

Puis fermeture en mars 2008...

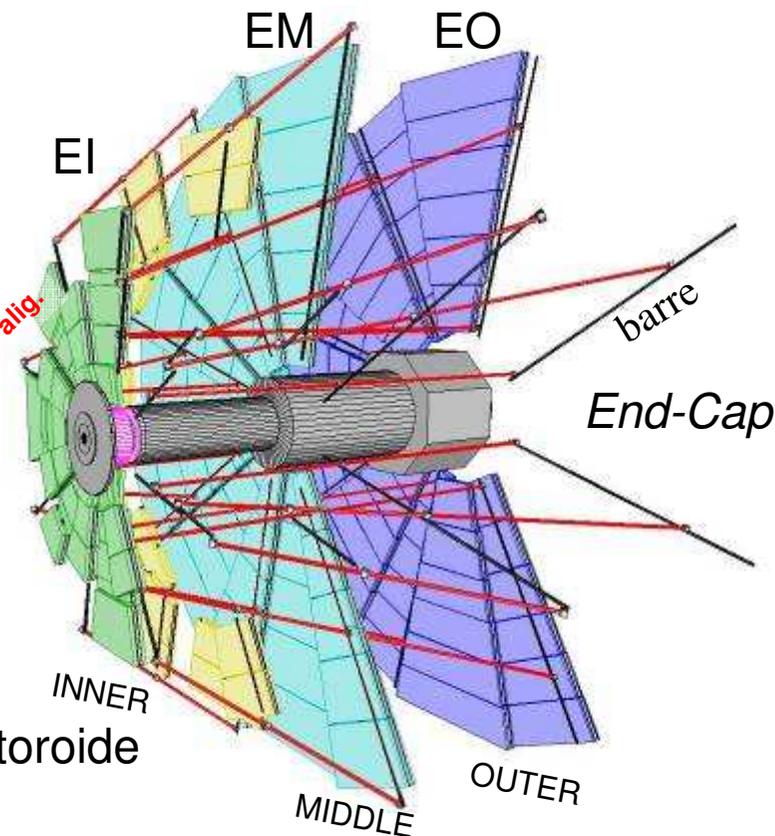
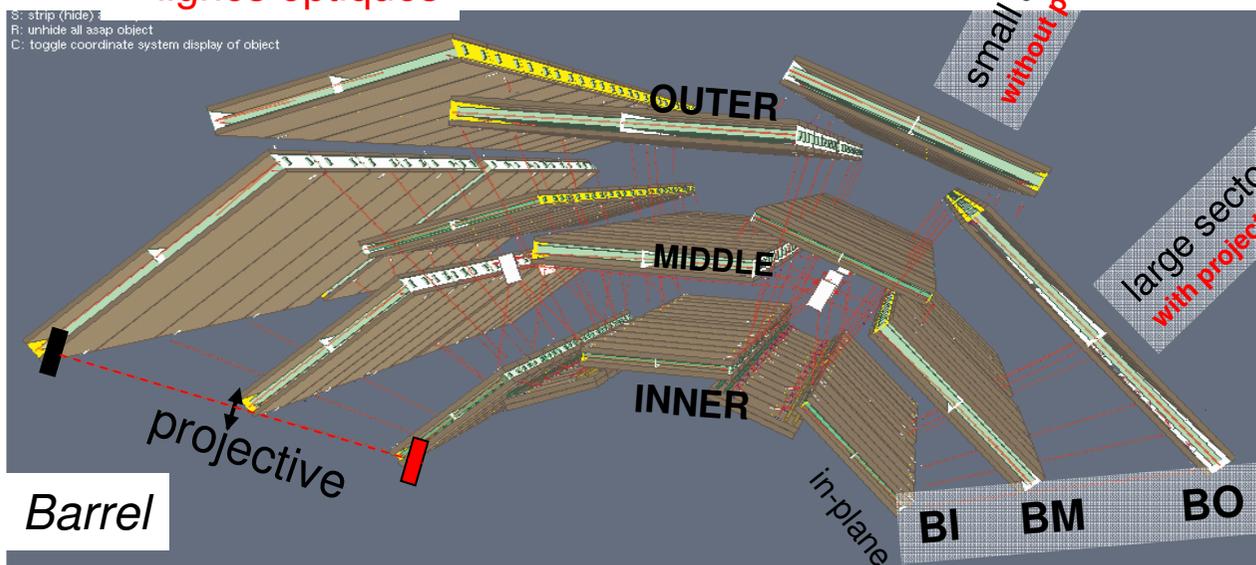
plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

L'alignement des chambres à muon

— = lignes optiques

S: strip (hide)
R: unhide all asap object
C: toggle coordinate system display of object



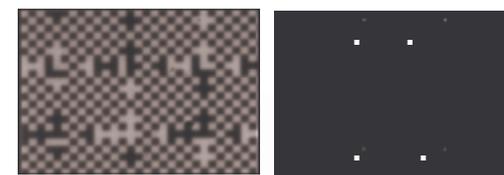
Barrel : réseau de capteurs sur les chambres (MDT) et sur toroïde

End-cap : réseau de barres alignées, puis chambres

certaines = triplet de capteurs : camera, lentille, mask

Barrel : 5873 lignes optiques (décrite chacune ~100 constantes)
Soit ~8000 éléments optiques (camera/ lentille/ cible) calibrés à ~30 μm
et ~4300 supports mécaniques (certains mesurés en 3D)

End-cap :
96 barres d'aluminium (long. 3 à 10m), contrôlées à ~20μm (calibrées 3D)
~7000 lignes optiques
Soit ~6000 éléments optiques (calibrés) reliant les chambres aux barres



cibles barrel



barre EC

On vise un alignement absolu. Malgré tout, des traces droites seront nécessaires pour obtenir la géométrie initiale (verif. calib.) + pour aligner certaines chambres (small)





Composants de l'alignement (barrel)

quelques uns des éléments de l'alignement

Saclay



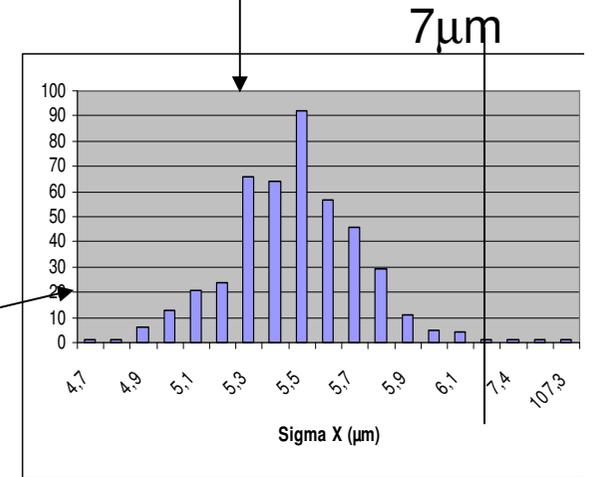
- 1) 66 mvt connus
- 2) lecture des 2 lignes optiques composant les capteurs
- 3) fit des positions des éléments optiques sur le capteur

Banc de calibration « praxial »



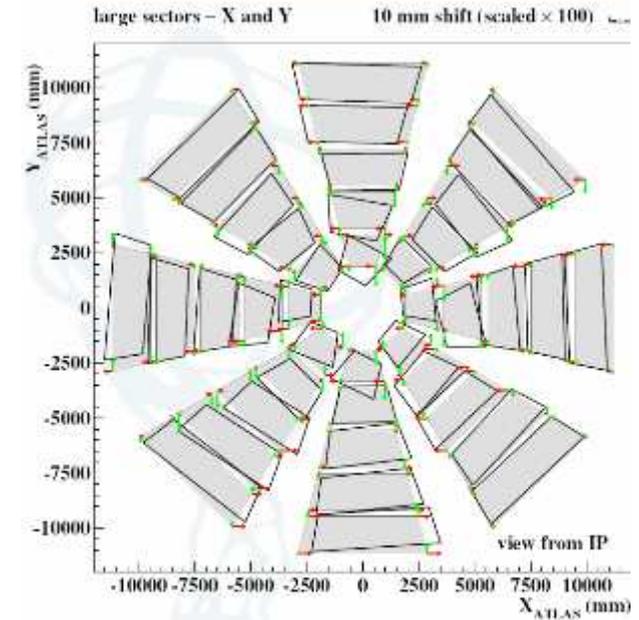
Nikhef

5817 éléments optiques calibrés sur 5 bancs
 831 éléments mécaniques mesurés en 3D (<20µm)
 2166 lignes optiques collées sur les MDT
 par 8 institutes
 => 36 mois de production + calibration



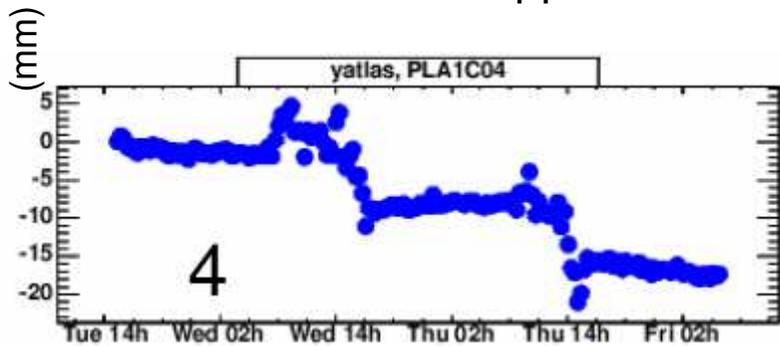
Exemple de resolution finale <10µm ; gamme : 5mm, 5mrad

Premiers résultats de l'alignement *in-situ*

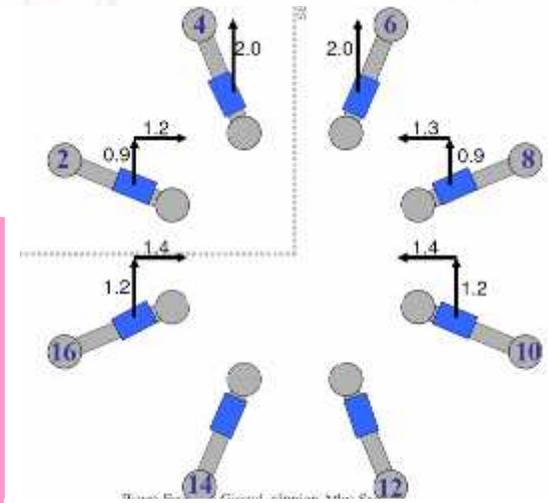


ΔX_{large} : 3 mm rms, 9 mm max
 ΔY_{large} : 3 mm rms, 11 mm max

End-cap : il a fallu ajuster la position de ~20-30% des chambres (~qqes heures/ch ; mm chose + tard pour EO \neq EI : b.191)
Barrel : alignement => position et ajustement, une par une, de ~30% des chambres, qqes heures/ch (BMS,BMF,BOF/G,BIR-BIM)



Barrel : ~50% de l'alignement projectif fonctionne ainsi que >90% du reste («fonctionne»). Travail de 4 à 5 per. sur 32 mois plus 3 per. supp. depuis 3 mois. Fini fin 2007.
End-cap : 30% du système validé (EM) en 2 ans. Restent 6 mois pour les 70% restant...



18/11/2006 à 23h : 21kA.
 Déformation vue par le système de référence (en mm)

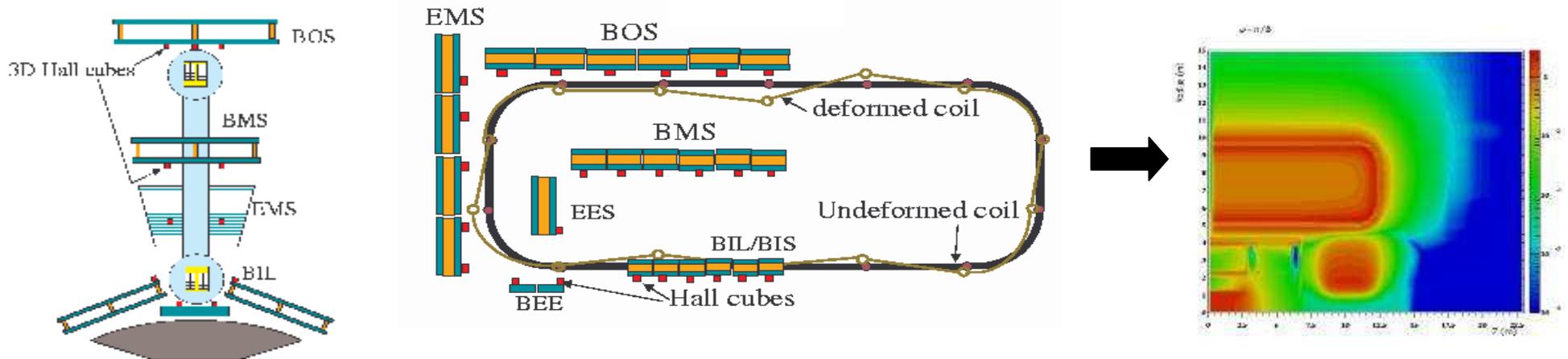
Relâchement mécanique (11/2005) :
17mm prédit, ~17mm mesuré ! (+9mm depuis)

plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

Détermination du champ-B dans le spectromètre à muon

Impossibilité de faire un mapping du toroïde => utilisation d'un réseau de sondes-B

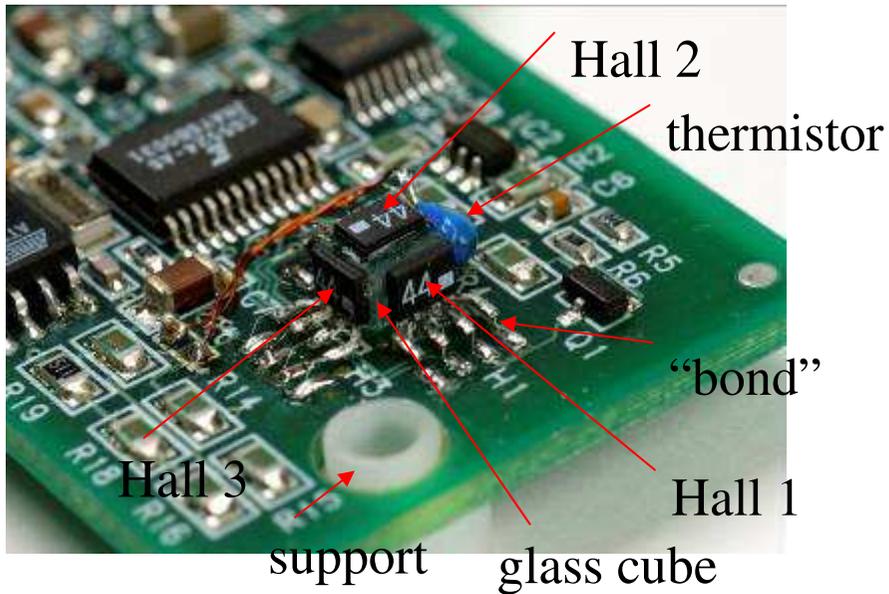


(données sondes-B - calc. mat. mag.) \Rightarrow position des conducteurs \Rightarrow carte de champ
avec position connue (1mm, 2mrad) \sim 1 mm

§ Contraintes sur la reconstruction absolue du champ magnétique B :

- § Demande pour la physique : $\Delta(|B|)/|B| < 4 \cdot 10^{-3}$ (dominé par m_W)
- § **Reconstruction du champ** : $\Delta B < 1$ mT (10 gauss) barrel, < 2 mT (20 gauss) EC
- § auto-calibration des MDT: $\Delta B < 4$ mT (40 gauss) (\leftarrow # de zone de calibration)

Compte tenu des performances des sondes-B ainsi que de l'algorithme de reconstruction du champ magnétique, les limites sur la connaissance du champ seront dominées par les incertitudes sur les masses magnétiques... (\leftarrow bcp de données accumulées sur ce point)²²

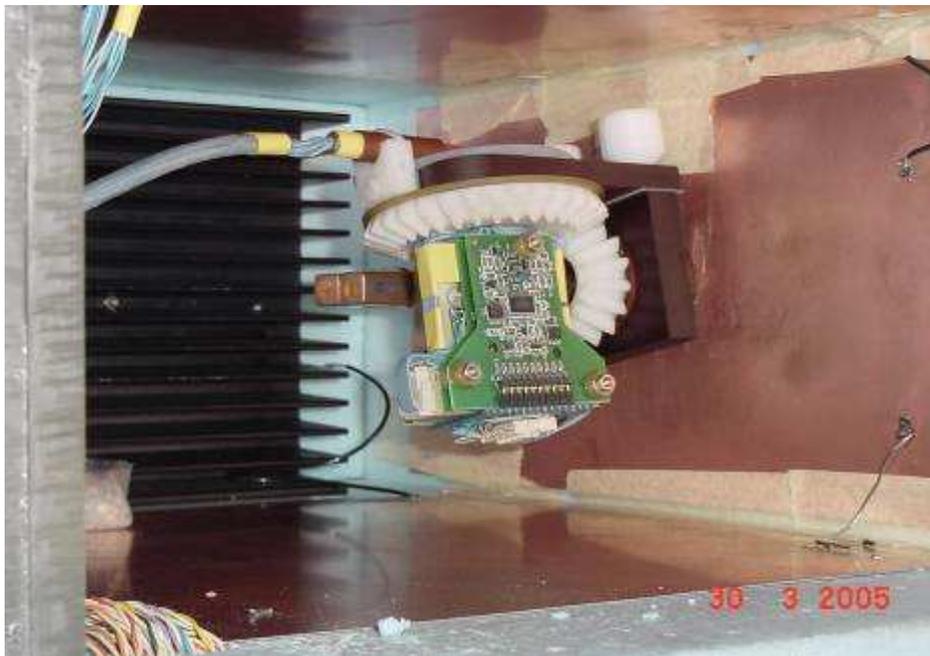


Calibration sondes de Hall

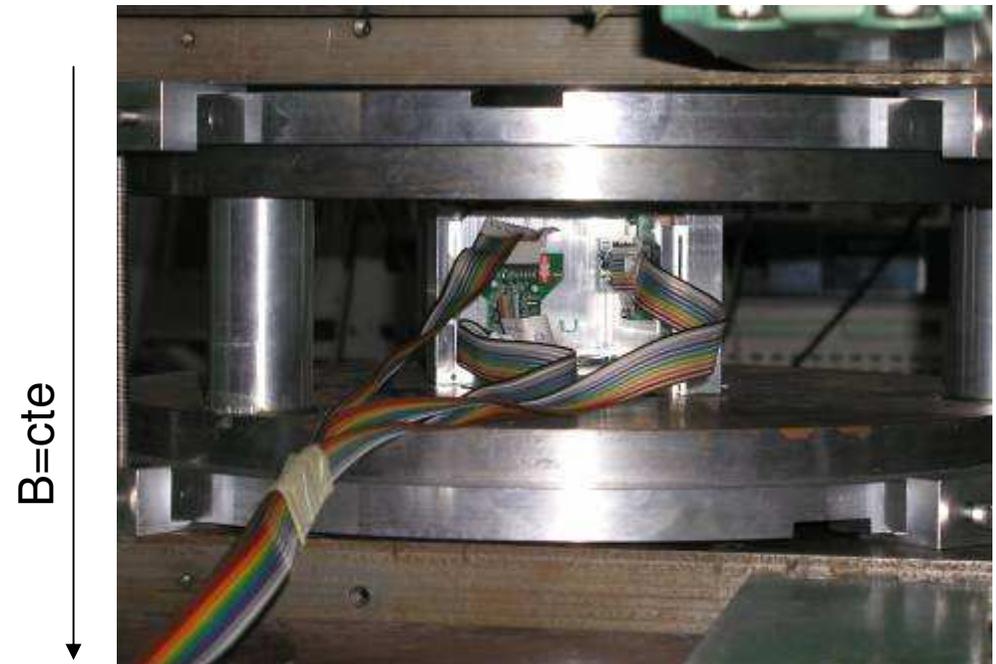
1789 sondes ; calib : ~200/mois

On tourne le capteur selon 2 axes perp. (φ et θ précisément mesurés)
 La mesure est refaite pour différents champ et température

⇒ Fit de la réponse de la sonde Hall.
 Précision qqes gauss

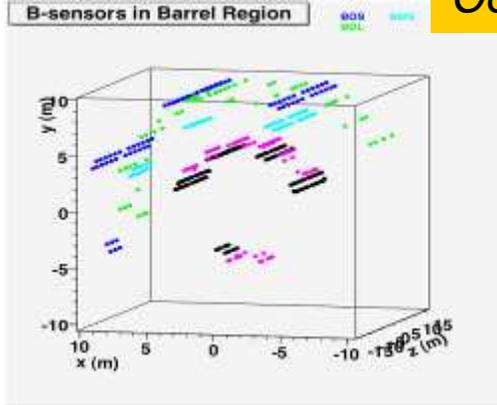


Dans boîtier pour contrôler temp.

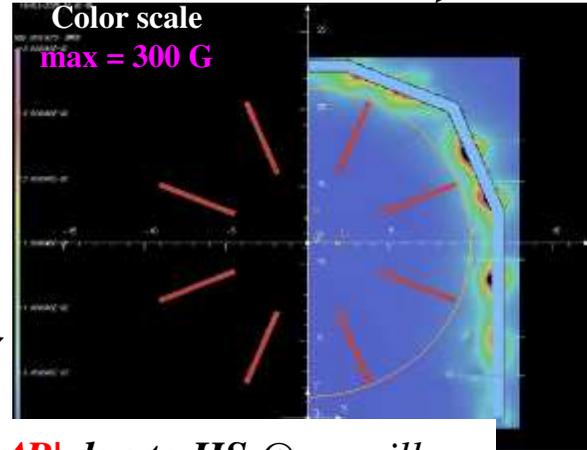


Commissioning des sondes et calcul de la carte de champ

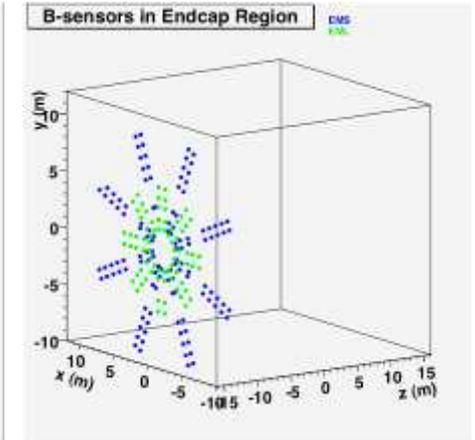
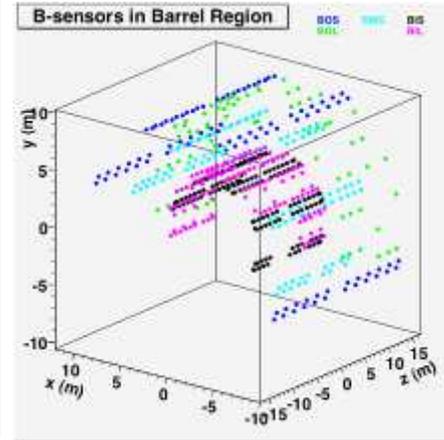
Verif./test de la contribution des masses magnétiques



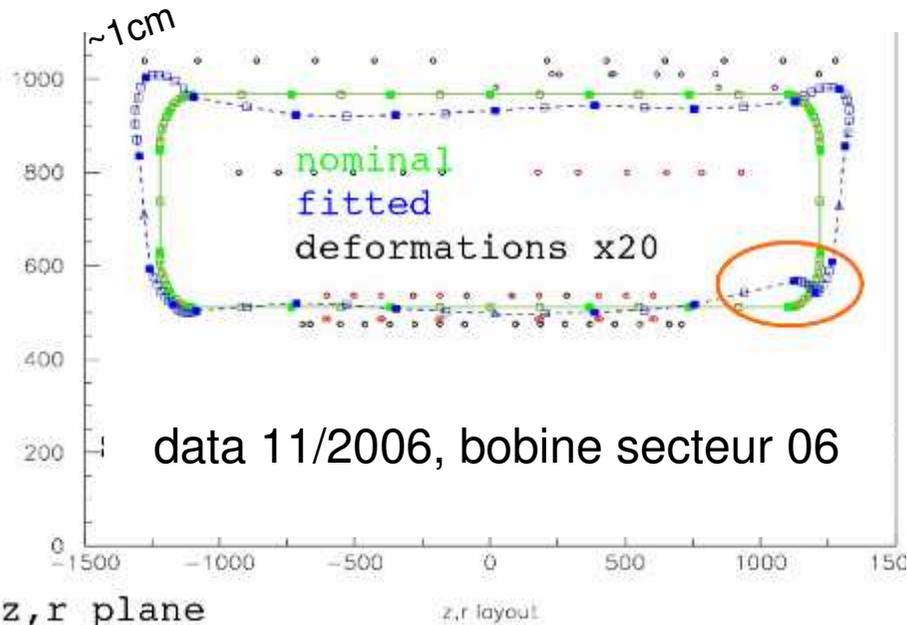
11/2006, 421 sondes
+42 sur des barres



$|\Delta B|$ due to HS @ $z = \text{pillar}$



sondes sur les BI/BM/BO-S



sondes total visible (08/2007) :

564 (B) + 201 (E) = 765 (sur 1789)

Mais 100 a 120 mal décrites dans la database...

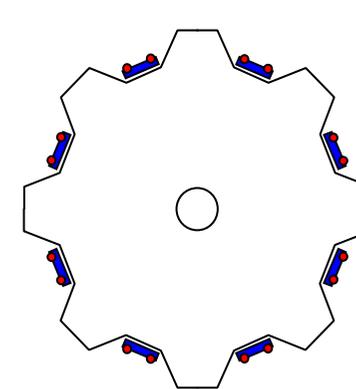
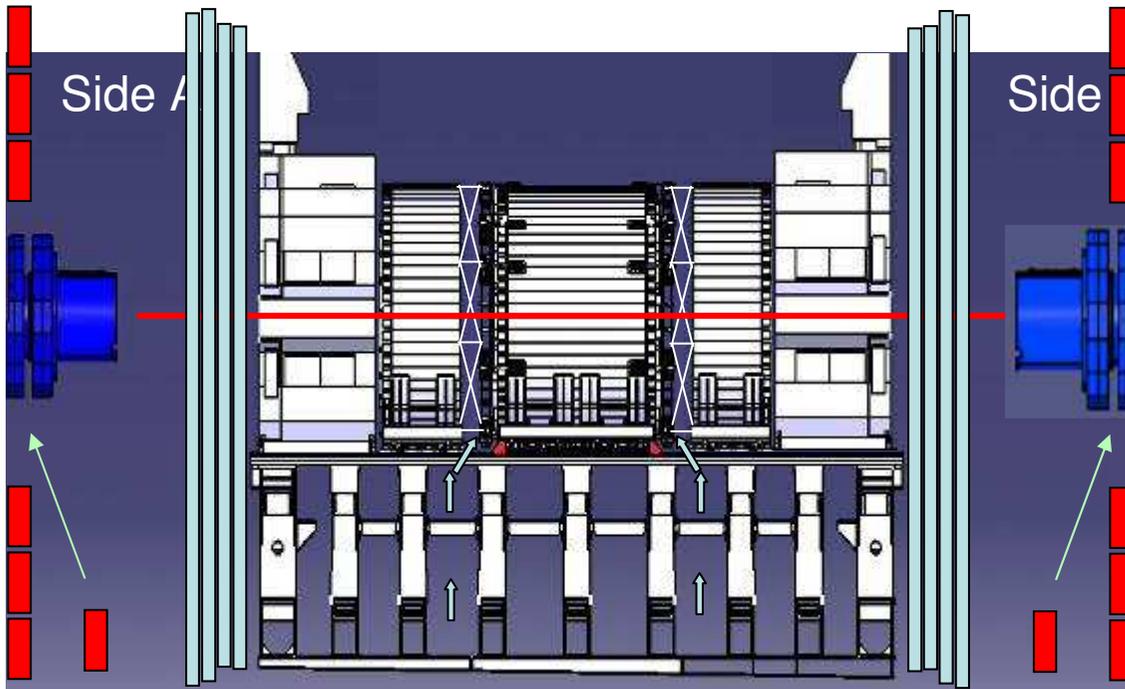
Calcul de la carte de champ en début et fin de run

(~200Mb, a diminuer...)

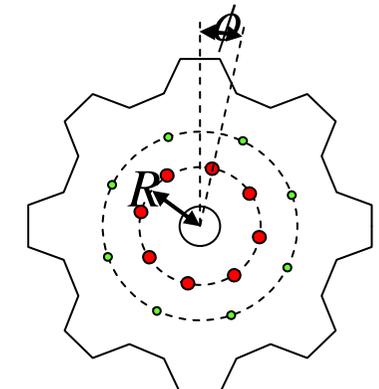
gradient le plus important : ~10 gauss / mm (sur les BIS et BOS du bout)

Ainsi, en run normal, B sur une sonde ne devrait pas varier de plus de 10 gauss (secteur 13 : mvt de ~900 μm max lors du quench le 11/2006)

Prochains tests des aimants : automne 2007



64 sondes BEE



32 (+32?) sondes
position via géomètre en surface

Tests magnétiques de la fin de l'année :

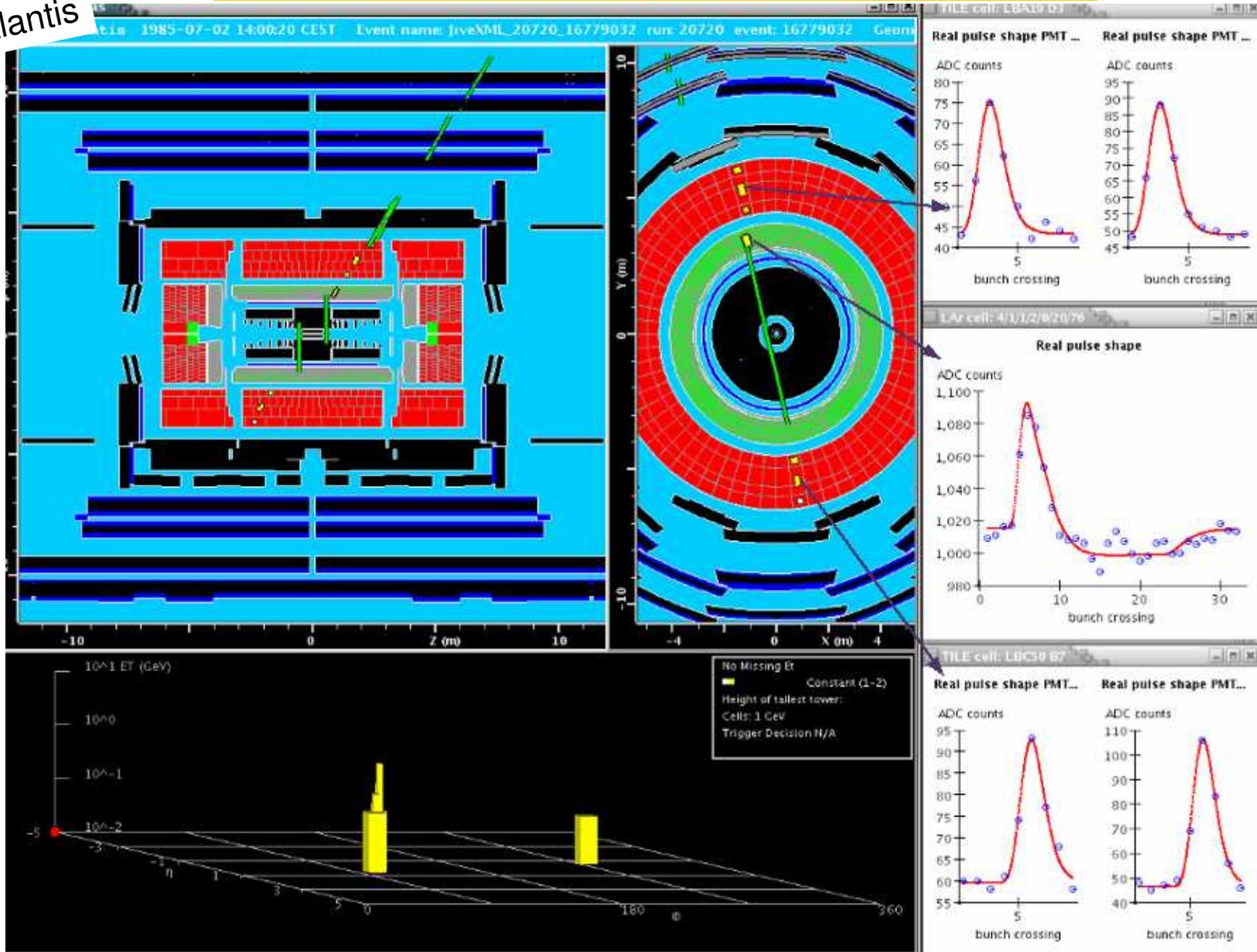
1. ECT seul, un à la fois
2. BT seul (demande; tbc)
3. BT + 1 ECT only (A; C) @ bas courant (tbc)
4. BT + les deux ECT (position symétrique, tbc)

plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

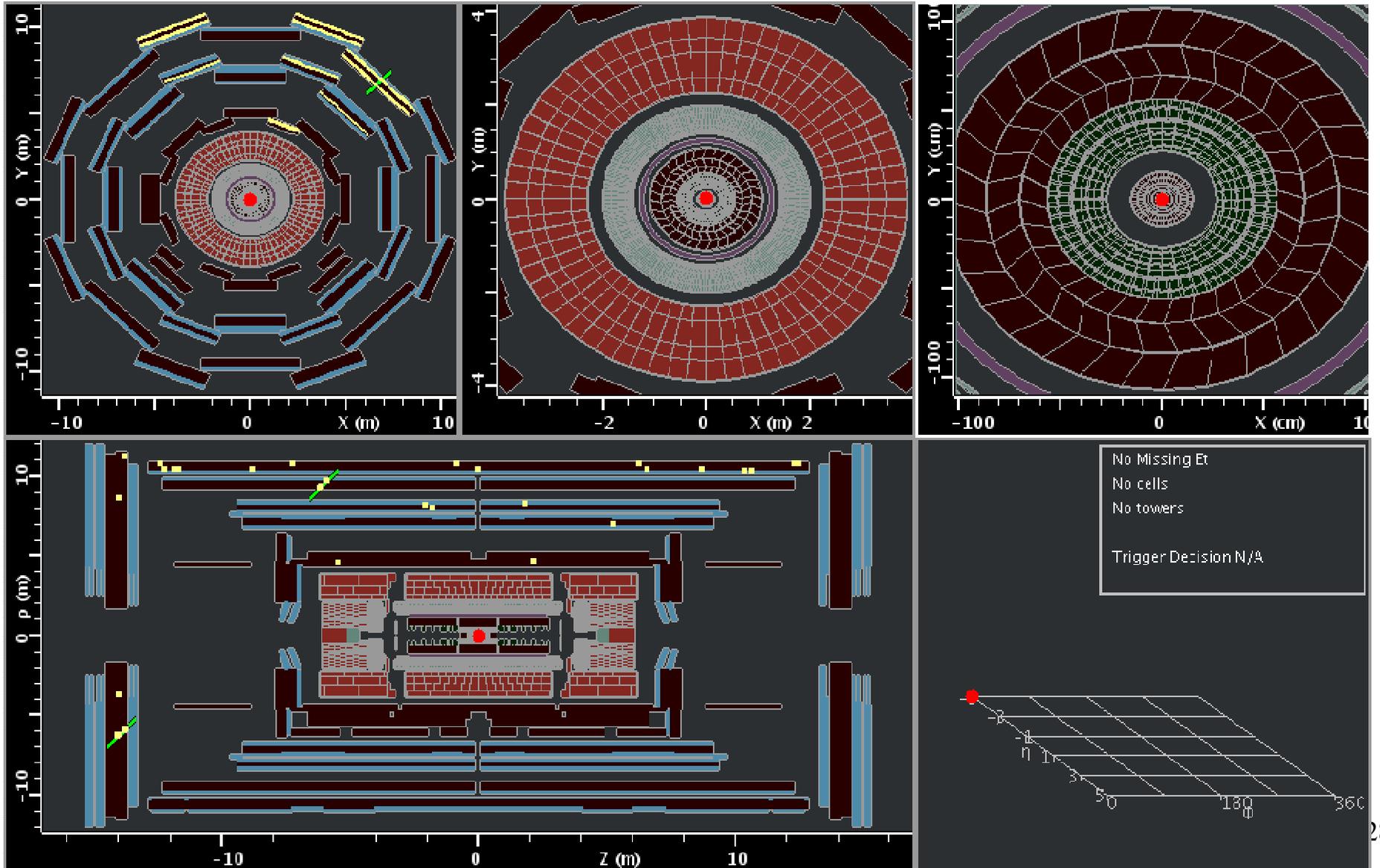
Event display d'un événement M4 (muon)

Atlantis



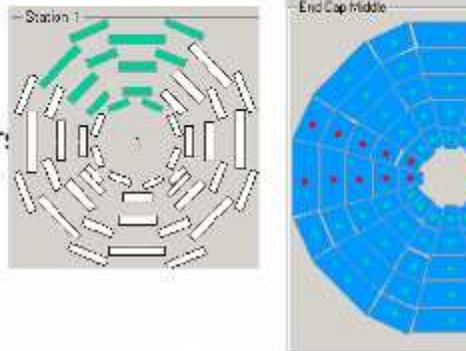
Évènement cosmique déclenché par une TGC

ATLAS Atlantis 1982-08-26 20:48:50 CEST Event name: JiveXML_20899_16779156 run: 20899 event: 16779156 Geometry: <default



Muon M4 Setup

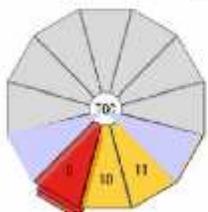
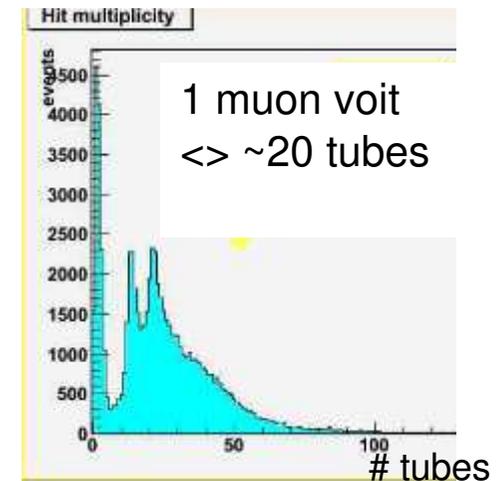
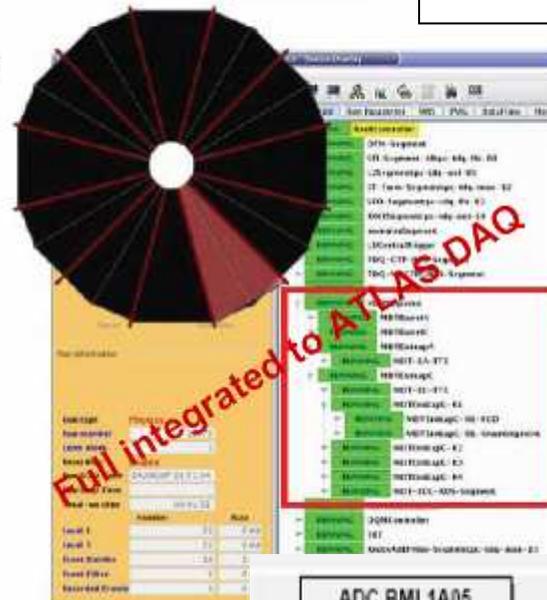
- MDTs Total: 224 chambers
 - Barrel : Sectors 3, 4, 5 and 6 (144 chambers)
 - EndCap : Full big wheel side C (78/80 chambers)
 - 2 chambers not used
 - one broken fiber and
 - one CSM sending corrupted data



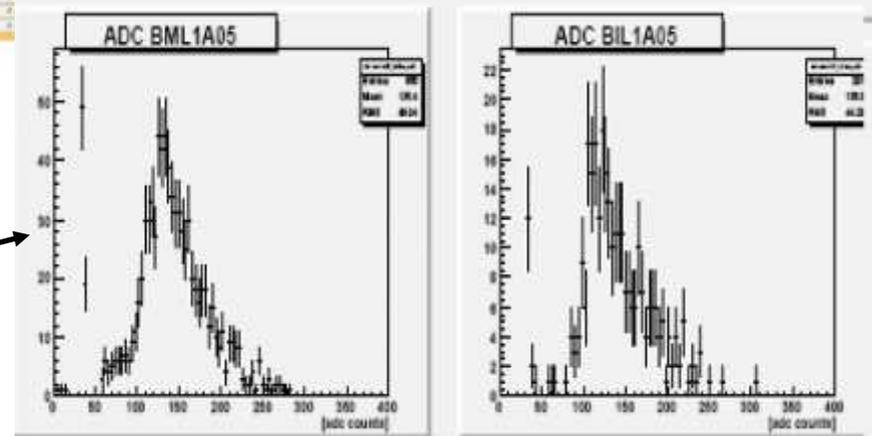
Essayer de reproduire les données *test-beam* H8-2004 : segment dans une chambre avec 5 ou 6 coups : $\epsilon \sim 94\%$
 si matière devant (petite gerbe corrélée avec la trace du muon) : $\epsilon \sim 92\%$

- RPCs issues:
 - RPC coverage : Complete sector 5
 - Timing as for M3-->Has to be readjusted at startup

- TGCs issues:
 - 3 TGC sectors in bottom half wheel
 - (corresponds to 5 MDT sectors)
 - 1 TGC sector in top wheel
 - (corresponds to 2 MDT sectors)
 - Timing to be verified (and readjusted if needed)



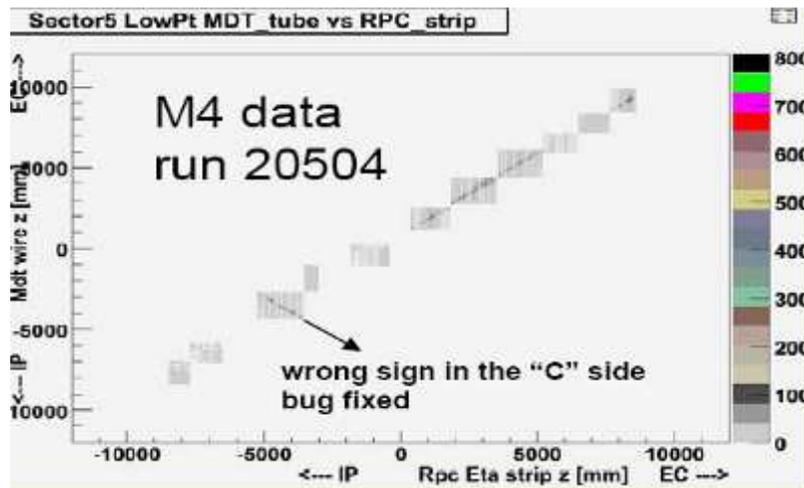
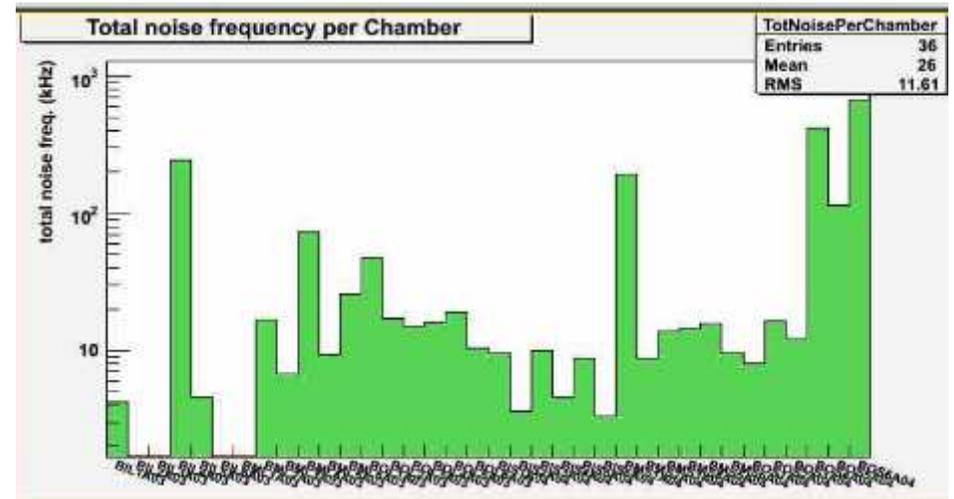
Triggers from TGC and RPC



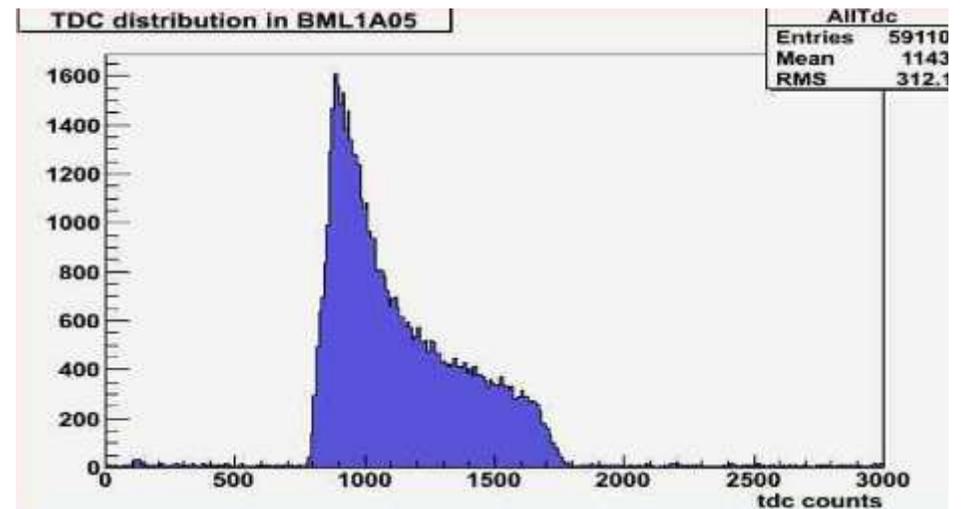
Ces runs permettent les premiers calculs de : t_0 (données M3), # tubes morts (0,4%), problème de gaz, d'électronique, comparaison tube et son voisin...

Quelques plots provenant de M4

Ces runs permettent les premiers calculs de :
 t0 (données M3), # tubes morts (0,4%), problème
 de gaz, d'électronique, comparaison tube et
 son voisin...



RPC

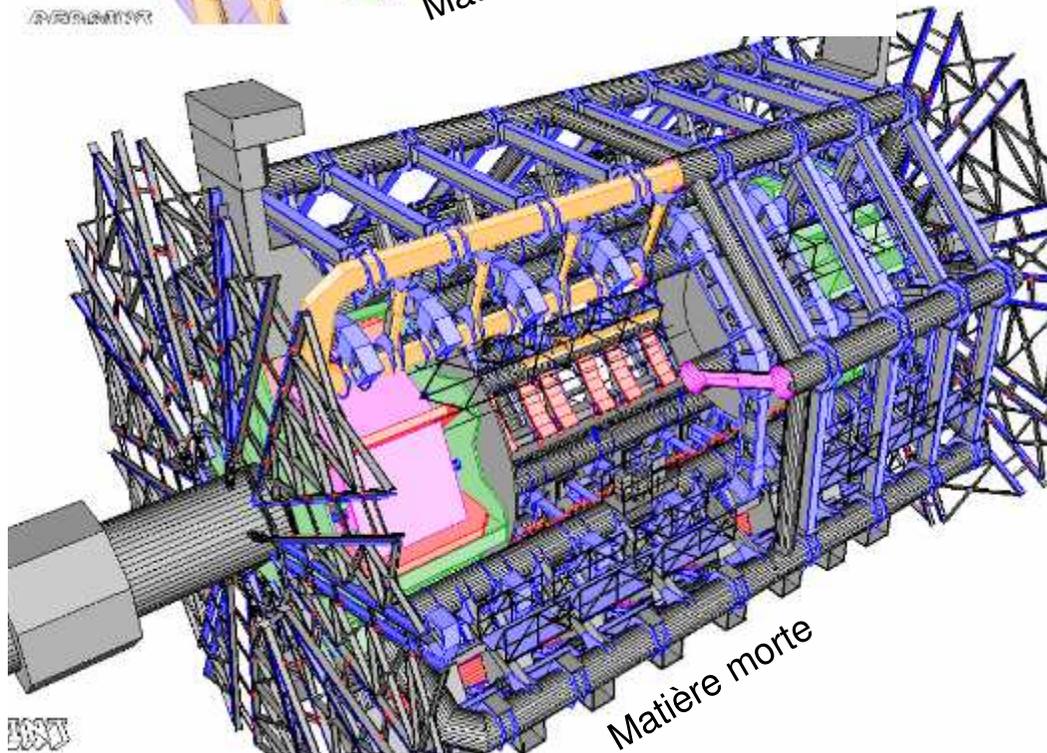
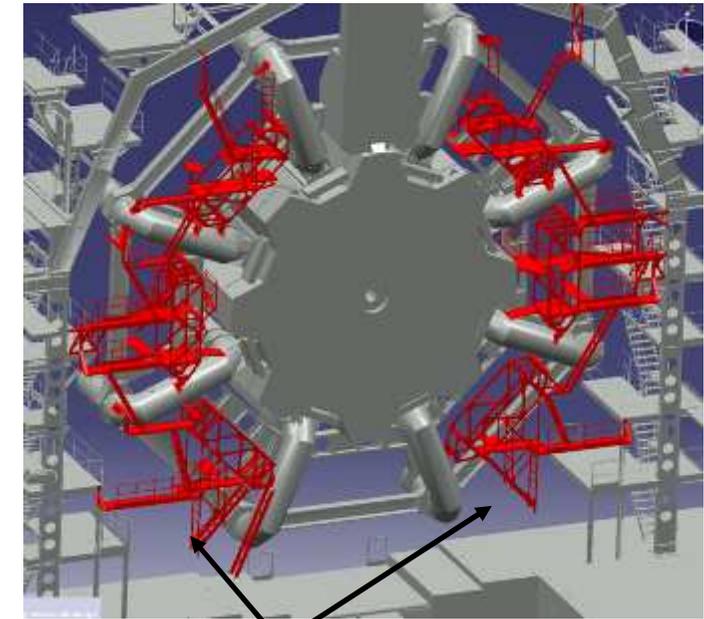
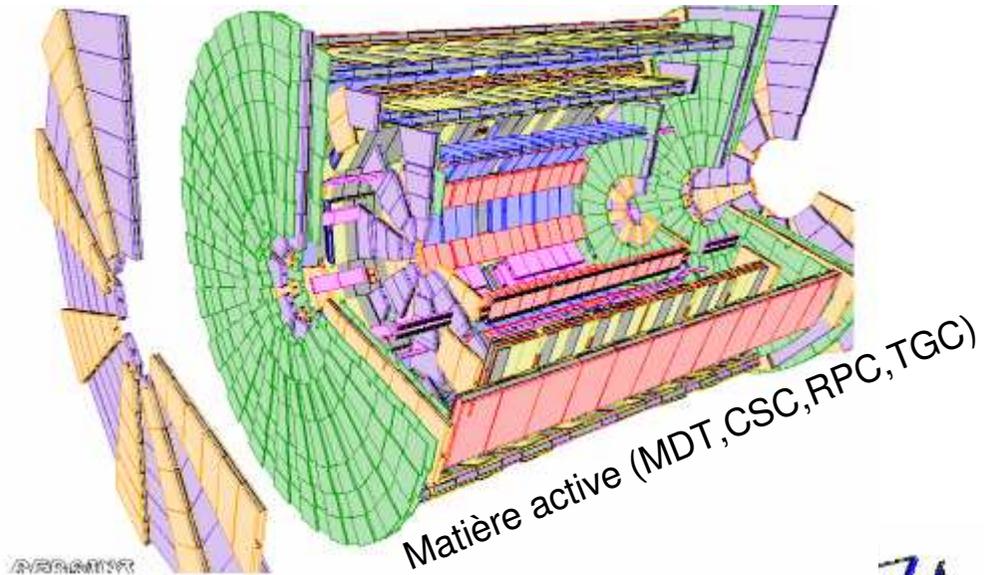


MDT

plan

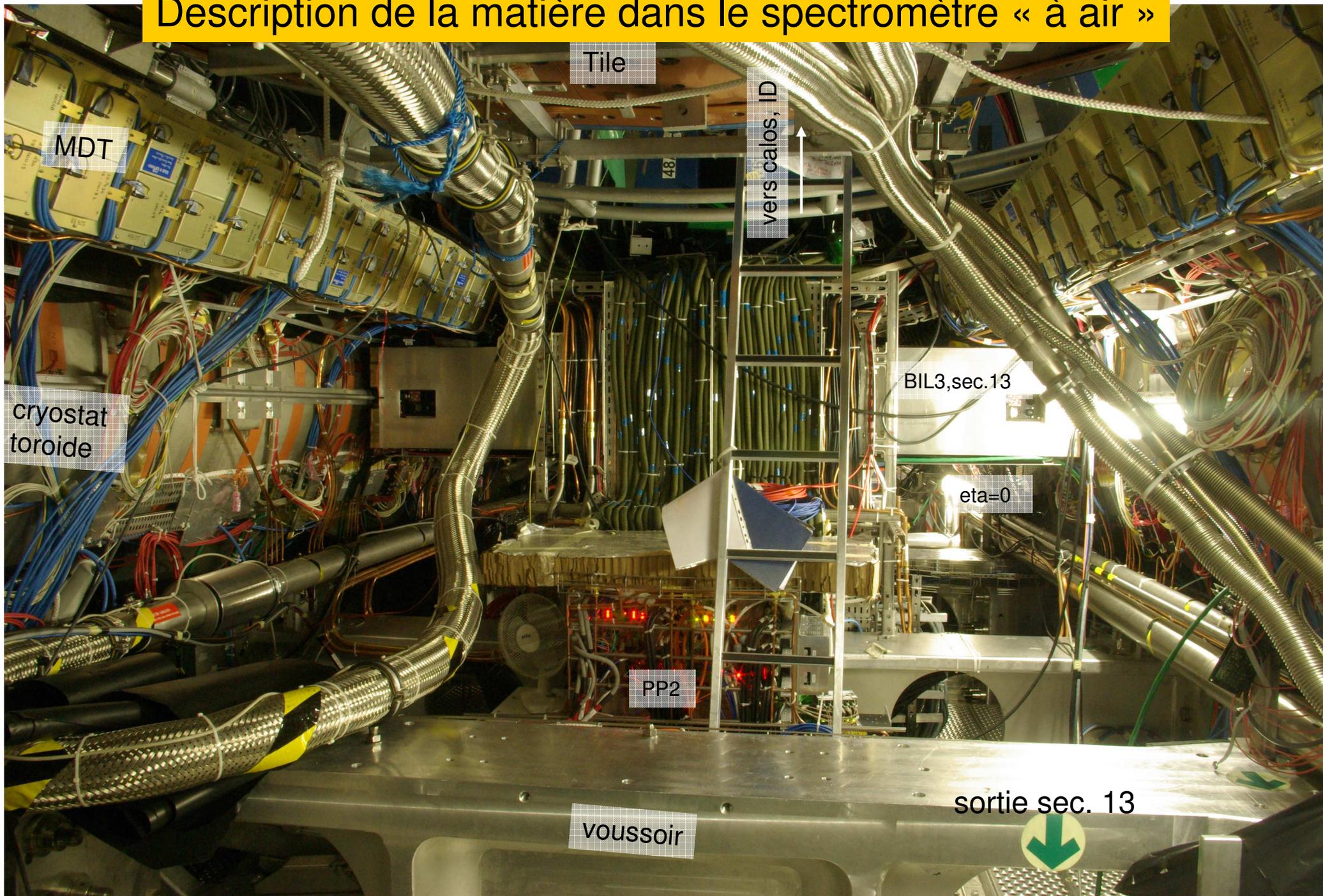
- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Événements cosmiques M4
- 3bis) Quelques remarques sur la matière dans le spectromètre...
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

Description de la matière dans le spectromètre « à air »



Quelle quantité de matière morte n'est pas décrite ? (combien de tonnes ?)

Description de la matière dans le spectromètre « à air »



Remarque : connaissance de l'énergie absolue dans le spectromètre

Pour de remonter à l'énergie du muon, au vertex, il y a nécessité de corriger des pertes d'énergie en amont du spectromètre (calos +... = $\sim 200 X_0$) : $\Delta E \sim 3 \text{ GeV}$

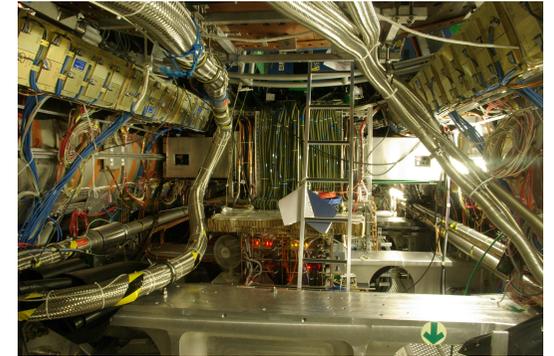
Problème : connaître la matière morte afin de connaître l'énergie perdue par un muon à **10 MeV** près : \Leftrightarrow connaître la matière morte traversée à 7 g/cm^2 (perte $\langle \rangle \sim 1,5 \text{ à } 1,8 \text{ MeV}/(\text{g/cm}^2)$)

C'est-à-dire connaître la quantité de matière traversée dans et en amont du toroïde à :

Alu :	26 mm près	(0,3 X_0)	si matière inconnue que de alu
Cuivre :	8 mm près	(0,6 X_0)	« « « « cuivre
Inox :	9 mm près	(0,5 X_0)	« « « « inox

pas si simple...

La bonne description de la matière est cruciale. Pourra-t-on « tomographier » le spectromètre avec des traces ? Problème de statistique, découpage en zone η/ϕ , etc...



plan

- 1) Principe de fonctionnement du spectromètre
- 2) Construction / calibration / *commissioning* des différents éléments :
 - 2.1) chambres
 - 2.2) capteurs alignements
 - 2.3) sondes champ magnétique
- 3) Evénements cosmiques M4
- 4) *Planning* ou dans quel état sera le spectromètre à l'été 2008
- 5) Morale de tout ça ?

Ou en sera-t-on fin mars 2008 (si pas de souci majeur)

L'annulation du *run* de novembre 2007 a permis de maintenir un planning d'installation stable: important pour l'avancement !

Barrel :

les **MDT** devraient être prêtes (même si des alim. CAEN ne seront pas livrées avant fin mai 2008 : 25% pour les MDTs –DC-DC converter– entre fin mars et fin mai)

Le point bloquant est le *commissioning* des **RPC**

End-Cap :

Les roues **TGC+MDT** devraient être juste prêtes.

Les roues **MDT** EO montées. Prêtes ?

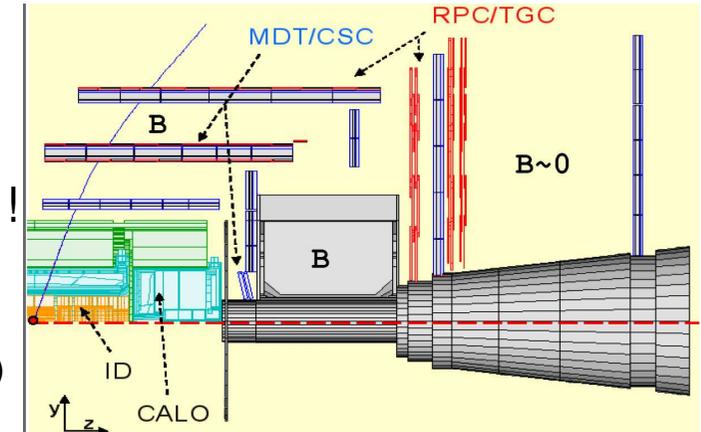
A noter les chambres décalées en temps :
EEL et EES (2009): pas de changement de l'acceptance, mais résolution dégradée...

CSC : 1 couche sur 2 seulement au départ :
acceptance identique, résolution dégradée...

Alignement : barrel fonctionnement ok
(calibration ? simulation ? traces droites ?)

End-cap : prêt aussi sauf mauvaise surprise.

Sondes magnétique : ok, compréhension masse magnétique ?



RPC-LVL1 schedule ; actions :

Identify in commissioning document possible areas where parallel work can be improved .../...

Identify working tasks where additional manpower can be obtained from **non-RPC institutes** to increase commissioning rate .../...

Take into account CAEN availability into commissioning schedule .../...

Tout fini (d'après planning) : **mi-août 2008**

Fin mai: manque 3 sec. 1/2 i.e. ~20%

Fin mars: manque 6 sec. 1/2 i.e. ~40%

Morale de tout ça...

Un énorme effort (matériel et humain) a été fait par tous les laboratoires de la collaboration « muon » et la coordination technique pour installer le spectromètre à muon, et des résultats encourageants ont été obtenus (*)

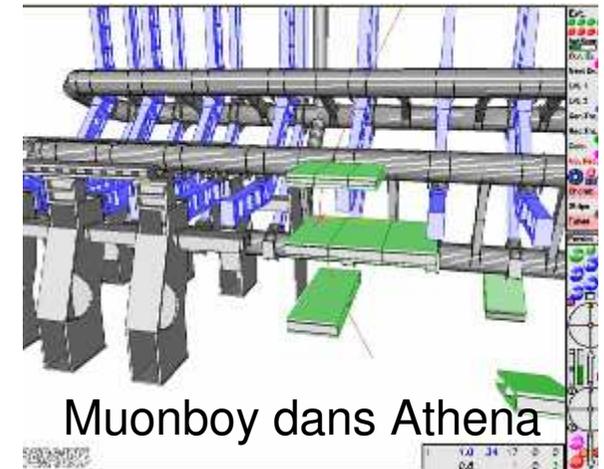
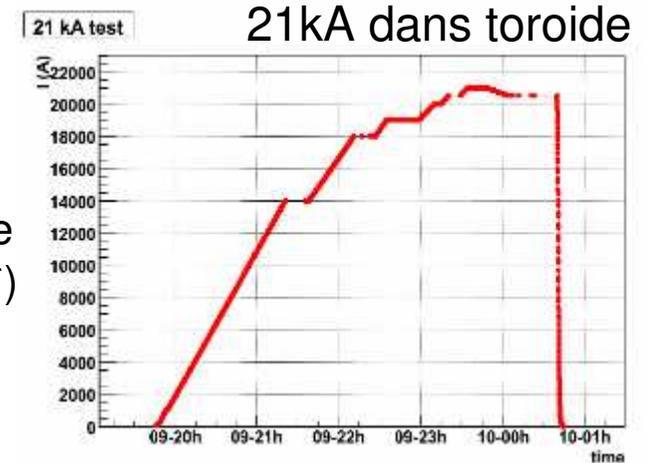
- **Courant nominal dans le toroïde (jusqu'à 21kA)**
- **Premières mesures et fit du champ + mesure de la déformation pendant les montées de courant (alig.)**
- **toutes les chambres Barrel en place sauf 27, et les grandes roues EM (fin 10/07)**
- **224 chambres MDT dans M4 : 25% du Barrel ; 0,4% voies mortes, et < 0,1% de hot tubes (sur 40000)**
- **90% de l'alignement Barrel est opérationnel**

L'effort est loin d'être terminé : le planning officiel prévoit une fin du *commissioning* du système à muon en avril 2008 !! (début février 2005...)

Un lot considérable de données a été accumulé pendant cette phase : certaines sont déjà utilisées, mais pas toute. Il reste un gros effort à faire pour intégrer toutes ces informations: i.e. décrire le détecteur tel qu'il est vraiment !! (data X-tomo, matière -actives et mortes-)

Il est important d'essayer d'utiliser au mieux ce formidable outil qu'est le spectromètre : en utilisant les canaux muon !!

(*) Le travail de conception, production, calibration, installation du spectromètre à muon a probablement nécessité de 2000 à 3000 h.an (hors toroïdes)



Muonboy dans Athena

Commissioning = installer et réparer (erreurs, pannes, casse, etc...)



Une part non-négligeable du temps passé dans la caverne d'Atlas provient de la difficulté à **accéder** aux zones d'intervention ainsi qu'à atteindre le capteur/câble/boîtier à réparer/debugger => temps x *n*. Valable pour toutes les personnes bossant sur le spectromètre : MDT, RPC, alignement, etc...